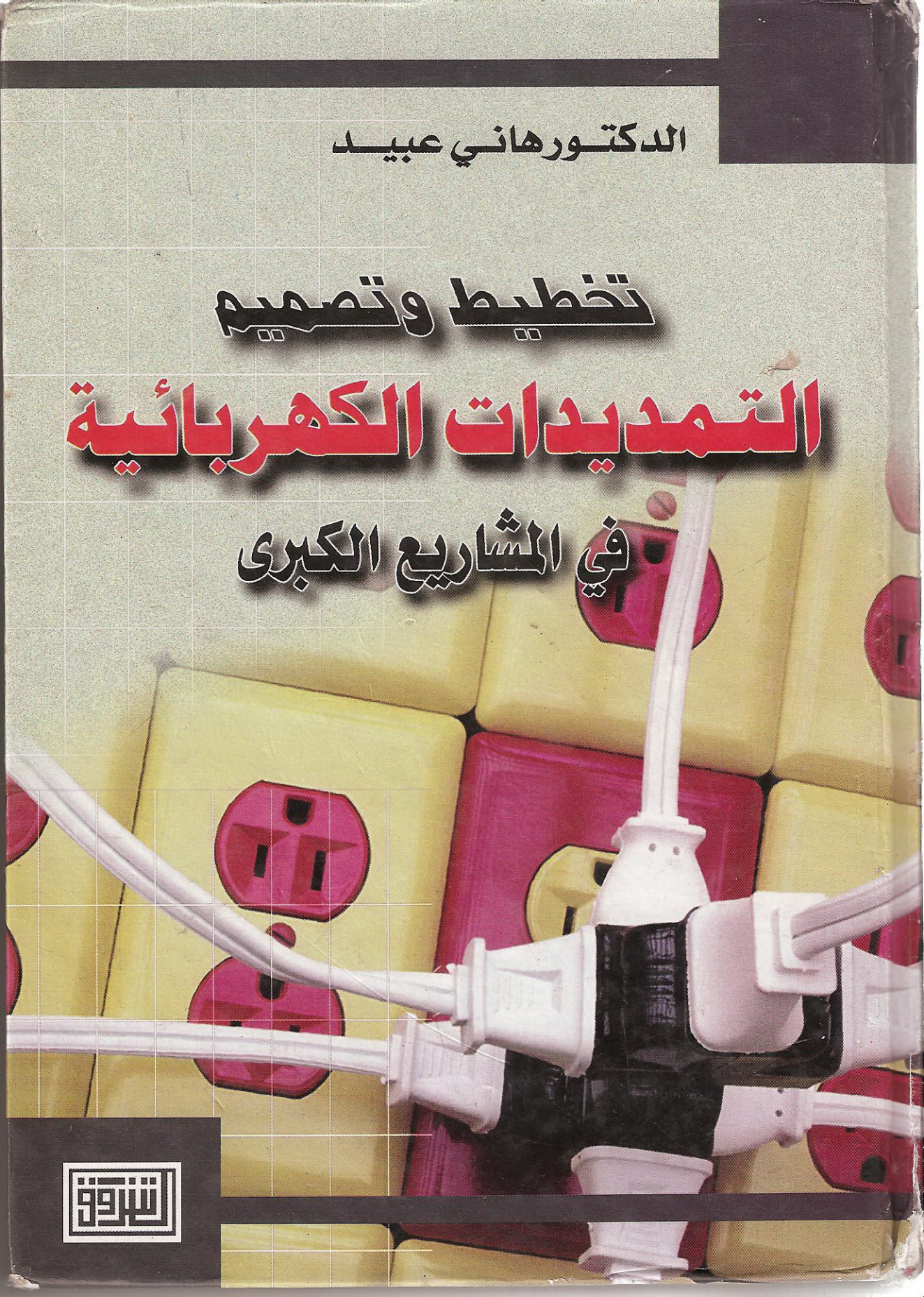
الدكتور هاني عبيد

تخطيط وتصميم
التمديدات الكهربائية
في المشاريع الكبرى



مراد زيد ...
24/2/2004
لا تأمن على غدر الزمان لطالما رقصت على جثث
لا تأمن على غدر الزمان لطالما رقصت على جثث
الاسود كلاب ... [redacted]
مابالها تعلوا على أسيادها ... تبقى الاسود
اسود والكلاب كلاب ...
تبقى الاسود خيفة في أسرها ...
حتى مراد نبحت عليها كلاب ...

تخطيط وتصميم
التمديدات الكهربائية في المشاريع الكبرى

تخطيط وتصميم
التمديدات الكهربائية في
المشاريع الكبرى

تأليف

الدكتور هاني عبيد

عضو متقدم في المعهد الأمريكي للمهندسين الكهربائيين والإلكترونيين

عضو أكاديمية نيويورك للعلوم

مهندس رأي مسجل في نقابة المهندسين الأردنيين

وإتحاد المهندسين العرب- مستشار في الهندسة الكهربائية

كلية الهندسة - جامعة العلوم التطبيقية

2001

رقم التصنيف : 371.3
المؤلف ومن هو في حكمه: هاني عبيد
عنوان الكتاب: تخطيط وتصميم التمديدات الكهربائية في المشاريع الكبرى
الموضوع الرئيسي: أ- الهندسة الكهربائية - المشاريع
2- التيار الكهربائي
رقم الإيداع: 1357 / 7 /20001
بيانات النشر : عمان: دار الشروق
○ تم إعداد بيانات الفهرسة الأولية من قبل المكتبة الوطنية

ردمك ISBN 9957 - 00 - 155 -8

○ تخطيط وتصميم التمديدات الكهربائية في المشاريع الكبرى .
○ الدكتور هاني عبيد .
○ الطبعة العربية الأولى : الإصدار الاول ، 2001 .
○ جميع الحقوق محفوظة © .

دار الشروق للنشر والتوزيع
هاتف : 4618190 / 4618191 / 4624321 فاكس : 4610065
ص.ب : 926463 الرمز البريدي : 11110 عمان - الاردن

دار الشروق للنشر والتوزيع
رام الله: المنارة - شارع المنارة - مركز عقل التجاري هاتف 02/2961614
نابلس: جامعة النجاح - هاتف 09/2398862
غزة: الرمال الجنوبي قرب جامعة الأزهر هاتف 07/2847003

جميع الحقوق محفوظة، لا يسمح بإعادة إصدار هذا الكتاب أو تخزينه في نطاق استعادة المعلومات أو نقله أو إستنساخه بأي شكل من الأشكال دون إذن خطّي مسبق من الناشر.

All rights reserved. No Part of this book may be reproduced, or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage retrieval system, without the prior permission in writing of the publisher.

□ التنضيد والاخراج الداخلي وتصميم الغلاف وفرز الألوان و الأفلام :
الشروق للدعاية والإعلان والتسويق / قسم الخدمات المطبعية
هاتف : 4618190/1 فاكس 4610065 / ص.ب . 926463 عمان (11110) الأردن

Email : shorok Jo@nol.com.Jo

محتويات

الإهداء
المقدمة ____ 13

الفصل الأول

الأحمال الكهربائية

1.1 مقدمة ____ 17
2.1 الأحمال القياسية (النوعية) حسب المراجع الأمريكية ____ 22
1.2.1 أحمال الإنارة ____ 22
2.2.1 الأحمال الكهربائية لمقابس الاستخدام العام ____ 24
3.2.1 أحمال التكييف والأجهزة المساعدة ____ 26
1.3.2.1 تكييف الهواء ____ 27
2.3.2.1 الأجهزة المساعدة ____ 29
3.3.2.1 التدفئة ____ 30
4.2.1 أحمال أنظمة المياه والصحة العامة ____ 31
5.2.1 الحماية من الحريق ____ 33
6.2.1 أنظمة الحركة ____ 33
7.2.1 أنظمة معالجة المعطيات ____ 38
8.2.1 أجهزة تحضير الطعام ____ 39
9.2.1 أحمال خاصة أو متنوعة ____ 39
3.1 تقديرات الأحمال حسب المراجع الأوروبية ____ 40
1.3.1 الفنادق ____ 40

2.3.1 المستشفيات ـــــــ 41
3.3.1 قاعات المعارض ـــــــ 41
4.3.1 مباني المكاتب ـــــــ 42
4.1 تقديرات الأحمال حسب الشركة السعودية الموحدة للكهرباء ـــــــ 51
1.4.1 إيجاد الحمل إذ كان التكييف من نوع الشباك أو الوحدات المنفصلة ـــ 53
2.4.1 إيجاد الحمل في حالة التكييف المركزي ـــــــ 58
3.4.1 حساب الحمل في المشاريع المنزلية والتجارية المشتركة ـــــــ 58
4.4.1 حساب الحمل في المشاريع التي تحتوي على تكييف مركزي ومكيفات شباك ـــــــ 58
5.4.1 حساب الأحمال للمشاريع ذات الارتفاع الداخلي العالي ـــــــ 59
5.1 الطلب الموحد على الحمل الكهربائي ـــــــ 59
6.1 مساحات غرف محطات التحويل وغرف الكهرباء ـــــــ 62

الفصل الثاني

إختيار مقاطع الموصلات الكهربائية

1.2 الموصلات الكهربائية والعازلة ـــــــ 75
2.2 ممانعة الموصل ـــــــ 80
3.2 السعة التمريرية (الامبيرية) للأسلاك الكهربائية ـــــــ 89
1.3.2 جداول شركة ABB ـــــــ 92
2.3.2 جداول شركة Groupe Schneider ـــــــ 99
3.3.2 السعة الامبيرية للكوابل حسب IEC ـــــــ 110
4.2 الإختيار الاقتصادي للكوابل ـــــــ 124
5.2 تحديد سعات المواسير وصناديق الكوابل ـــــــ 135

الفصل الثالث

فقد وهبوط الفولطية

1.3 حسابات فقد الفولطية في الدارة أحادية الطور ـــــ 141

2.3 مفهوم هبوط الفولطية وفقدها ـــــ 146

3.3 فقد الفولطية في الدارات ثلاثية الأطوار ـــــ 152

4.3 حساب فقد الفولطية في الدارات ثلاثية الأطوارالتي تُغذي عدداً من الأحمال 153

5.3 حساب فقد الفولطية باستخدام جداول المواصفات البريطانية ـــــ 157

1.5.3 حساب فقد الفولطية باعتبار درجة حرارة الموصل التشغيلية ـــــ 158

2.5.3 حساب فقد الفولطية باعتبار معامل القدرة للحمل ـــــ 160

3.5.3 حساب فقد الفولطية في الدارات الحلقية ـــــ 163

6.3 الطريقة العامة في حساب فقد الفولطية ـــــ 164

7.3 قيم فقد الفولطية المسموح بها ـــــ 167

الفصل الرابع

التأريض

1.4 مقدمة ـــــ 173

2.4 أنواع أنظمة التأريض ـــــ 177

3.4 نظام التأريض TN ـــــ 182

4.4 نظام التأريض TT ـــــ 198

5.4 نظام التأريض IT ـــــ 201

1.5.4 حساب التيار وفولطية التلامس عند حدوث العطل الأول ـــــ 203

2.5.4 حساب التيار وفولطية التلامس عند حدوث العطل المزدوج ـــــ 206

6.4 نظام التأريض ـــــ 214

7.4 الأرض ـــــ 215

8.4 قضبات التأريض 222
9.4 حساب مقاومة قضبان التأريض العامودية 225
1.9.4 التربة التي تتكون من طبقة واحدة 223
2.9.4 التربة التي تتكون من طبقتين 225
3.9.4 شرائط التأريض الأفقية 227
4.9.4 مقاومة المكاهر الأرضية الدائرية 230
5.9.4 الصفائح المعدنية 231
6.9.4 المكاهر الأرضية الأخرى 231
7.9.4 ملخص لمعادلات حساب مقاومة المكاهر الأرضية 232
10.4 معامل الاستفادة من المكاهر 234
11.4 المقاومة الأرضية على شكل شعاع 239
12.4 إختيار المواد المعدنية لصناعة المكاهر 241
1.12.4 صدأ ثنائي المعدن 241
2.12.4 الصدأ الكيماوي 243
13.4 موصلات التأريض 247
14.4 موصلات الوقاية 249
1.14.4 موصلات الوقاية المستخدمة للأغراض الوظيفية وأغراض الحماية 252
2.14.4 القنوات المعدنية والمجاري كموصلات حماية 254
3.14.4 إستخدام تسليح الكوابل كموصل وقاية 254
15.4 إختيار مقاطع موصلات تساوي الجهد 259
1.15.4 الربط متساوي الجهد الرئيسي 260
2.15.4 الربط متساوي الجهد التكاملي 262
3.15.4 الربط متساوي الجهد الإضافي 264
16.4 تأريض المشروع المكون من عدة مباني 264

الفصل الخامس

قواطع الدارة

1.5 مقدمة 267

2.5 أنواع قواطع الدارة 270

1.2.5 قواطع الدارة الصغرانية 270

2.2.5 قواطع الدارة المقولبة 273

3.2.5 القواطع الحرارية المغناطيسية 279

4.2.5 القواطع الهيدرومغناطيسية 281

5.2.5 القواطع الالكترونية 282

3.5 تأثير الظروف الخارجية على تعيير القاطع 283

1.3.5 تأثير الرطوبة 285

2.3.5 تأثير الإرتفاع على القاطع 285

4.5 منحنيات المزق لقواطع الدارة 286

5.5 كيفية إختيار قاطع الدارة 289

1.5.5 حماية الكوابل من الحمل المفرط 291

2.5.5 حماية الكوابل من قصر الدارة 293

3.5.5 تحديد تيار قصر الدارة الأدنى على إمتداد الكابل 294

4.5.5 تحديد طول الكابل الأقصى والمحمي من قصر الدارة 295

6.5 قواطع تحديد التيار 309

7.5 الحماية الاحتياطية 312

8.5 الحماية الانتقائية 315

1.8.5 الانتقائية التيارية 316

2.8.5 الانتقائية الزمنية 316

3.8.5 الانتقائية باستخدام المناطق 319

9.5 مقررات قصر الدارة للكوابل 320

الفصل السادس

عامل القدرة وطُرق تحسينه

1.6 مفهوم القدرة المراكسة ـــــــ 327

2.6 عامل القدرة ـــــــ 331

3.6 مبدأ تحسين عامل القدرة ـــــــ 334

4.6 تحديد مقررات المكثفات لتحسين عامل القدرة ـــــــ 338

5.6 المكثفات ـــــــ 339

6.6 عناصر الشبكة التي تستهلك قدرة المراكسة ـــــــ 345

1.6.6 محولات القدرة ـــــــ 345

2.6.6 المحركات الحثية ـــــــ 348

7.6 معادلة القدرة المراكسة ـــــــ 352

1.7.6 طريقة الجداول ـــــــ 352

2.7.6 الطريقة البيانية ـــــــ 354

3.7.6 الطريقة الحسابية ـــــــ 355

8.6 أنواع المعادلة ـــــــ 355

1.8.6 المعادلة الفردية ـــــــ 356

2.8.6 المعادلة الجماعية ـــــــ 358

3.8.6 المعادلة شبه الجماعية ـــــــ 360

4.8.6 المعادلة المركزية باستخدام نظام تحكم آلي ـــــــ 361

1.4.8.6 المنظم الآلي لعامل القدرة ـــــــ 364

9.6 حساب المغذيات وحماية المكثفات ـــــــ 374

الفصل السابع

حسابات الاستنارة

1.7 مقدمة 377
2.7 المصابيح التوهمية 380
3.7 مصابيح التفريغ الزئبقية 382
1.3.7 المصابيح الفلورية 383
2.3.7 المصابيح الزئبقية ذات الضغط العالي 386
3.3.7 مصابيح الضوء المتآلف 387
4.3.7 المصابيح الهاليدية المعدنية 388
4.7 مصابيح الصوديوم 388
1.4.7 مصابيح الصوديوم ذات الضغط المنخفض 388
2.4.7 مصابيح الصوديوم ذات الضغط العالي 390
5.7 مصطلحات الإنارة 391
2.5.7 الدفق الاشعاعي 395
3.5.7 الشدة المنيرية 396
4.5.7 الاستنارة 398
5.5.7 الانارية 399
6.7 العلاقة بين الشدة المنيرية والاستنارة 402
7.7 جداول الاستنارة باستخدام طريقة اللومن 405
8.7 حسابات الاستنارة باستخدام طريقة اللومن 411
9.7 حسابات الاستنارة للطرق 419
10.7 حسابات الإنارة الغامرة 429
1.10.7 ترتيب الكشافات 430
2.10.7 مستويات الاستنارة 433
3.10.7 حساب عدد الكشافات 436

الفصل الثامن

حماية المنشآت من العواصف البرقية

1.8 مقدمة ـــــــ 441

2.8 فرانكلين والبرق ـــــــ 442

3.8 العواصف الرعدية ـــــــ 444

4.8 كيف يتكون البرق ـــــــ 448

5.8 التفريغ الكهربائي بين السحابة البرقية والأرض ـــــــ 452

6.8 كثافة الوميض الأرضي ـــــــ 453

7.8 النموذج الكهرومغناطيسي ـــــــ 457

8.8 تحديد منطقة الحماية ـــــــ 458

9.8 مكونات نظام الحماية من البرق ـــــــ 462

10.8 وسيلة الاعتراض ـــــــ 464

1.10.8 شبكة من الموصلات الأفقية ـــــــ 464

2.10.8 وسيلة إعتراض مكونة من موصل ـــــــ 470

3.10.8 وسيلة إعتراض على شكل قضيب أو قضبان على سطح المبنى ـــــــ 471

4.10.8 قضبان حماية عامودية منفردة ـــــــ 475

5.10.8 موصلات إعتراض منفردة ـــــــ 481

6.10.8 شبكة إعتراض منفردة ـــــــ 484

7.10.8 مانعات الصواعق الاشعاعية ـــــــ 485

11.8 الموصلات الهابطة ـــــــ 489

1.11.8 ترتيبات تنفيذ الموصلات الهابطة ـــــــ 492

12.8 تأريض نظام الحماية من البرق ـــــــ 497

13.8 إعتبارات تصميمية ـــــــ 499

14.8 دراسة بعض الحالات العملية ـــــــ 504

15.8 الحاجة إلى الوقاية من الصواعق ـــــــ 507

المراجع الأجنبية ـــــــ 519

المراجع العربية ـــــــ 524

المصطلحات الفنية ـــــــ 527

المقدمة

تفخر الأمم بلغاتها القومية، فتكتب الأدب والشعر والعلم بتلك اللغة. أما نحن العرب فنضع سدا أمام اللغة العربية وخاصة في مجال العلم والهندسة ونبقيها خارج أسوار الجامعات، وبذلك ابتعدت هذه الجامعات عن كونها منارات ومشاعل للغتنا القومية، وأصبح من يكتب العلم والهندسة باللغة ا لعربية كمن يقبض على الجمر بيديه. واللغة العربية عصية على من يحاول غمطها أو الإقلال من شأنها وينطبق على لغتنا قول المتنبي:

من كان فوق محل الشمس موضعه فليس يرفعـــه شيء ولا يضـــع

فبينما الأخرون يجيدون تسلق الظلال ويحرمون من متعة الصعود، نجد القلة القليلة المؤمنة بأمتها ولغتها تتسلق الصخور ليفئ في ظلها الشامخ الأقزام والصغار.

فاللهم أبعدنا عن الرأي الفطير والعمل الفسول والقول العجول، واجعل أعمالنا مفيدة وآراؤنا سديدة وأقوالنا أكيدة في الحق والخير.

هذا الكتاب في تخطيط وتصميم التمديدات الكهربائية الكبرى أردناه دليلا فنيا للمهندسين العاملين في مجال الاستشارات والمقاولات الكهربائية، ومرجعا هندسيا لطلاب كليات الهندسة والمعاهد التطبيقية، وفق احدث الكودات والمواصفات الصادرة في هذا المجال. إن المكتبة العربية تفتقر الى مثل هذا النوع من المراجع باللغة العربية، وقد لمست ذلك من خلال نفاد الطبعة الاولى من كتاب «التمديدات الكهربائية وحمايتها» والصادر في عام 1996 (المؤلفان: د. هاني عبيد، د. محمد عالية). لقد احتل الكتاب السابق مكانا مرموقا كمرجع للمهندسين وكان عونا لهم وهذا بشهادتهم.

يتكون هذا الكتاب من ثمانية فصول تغطي مفاصل رئيسية في عملية التصميم

للشبكات الكهربائية في المشاريع الكبرى حسب الكودات والمواصفات والقياسيات الدولية المعتمدة في هذا المجال، وخاصة ما صدر عن اللجنة الكهروتقنية الدولية IEC.

يستعرض الفصل الاول الأحمال الكهربائية، طبيعتها وكيفية تقديرها. لقد حاولنا، قدر المستطاع، تصنيف هذه الاحمال حسب نوعها واستخداماتها ليسهل تقديرها وحسابها، مع إدراكنا مسبقا أن الخبرة العملية تلعب دوراً كبيراً في هذا المجال. من هذا المنطلق سيجد المهندس ثلاث طرق لتقدير الأحمال الكهربائية، وهذه الطرق هي: تقدير الأحمال حسب المراجع البريطانية والأوروبية، وتقدير الأحمال حسب المراجع الأمريكية، واخيراً، تقدير الأحمال حسب تعليمات الشركة السعودية الموحدة للكهرباء، والتي في نظرنا تصلح أساسا لتقدير الأحمال الكهربائية في دول الخليج العربية والدول المشابهة لها في المناخ، ولذلك ننصح باستخدامها. ولا بد في هذا المقام من نصيحة نسديها الى المهندسين من أن الخبرة العملية للمهندس تلعب دوراً كبيراً عند تقدير الأحمال الكهربائية، وعلى المهندس أن يستخدم خبرته بكل ثقة ومسؤولية.

أما الفصل الثاني فقد خصص لعملية اختيار الأسلاك والكوابل الكهربائية، حيث تعتمد عملية الاختيار على طريقة تمديد هذه الكوابل. وقد استعرضنا طريقة استخدام جداول السعة الامبيرية لشركة ABB وشركة Group Schneider واخيرا الجداول الخاصة باللجنة الكهروتقنية الدولية. وينتهي هذا الفصل باستعراض الاختيار الاقتصادي للكوابل والذي قد يجده المهندس غريبا نوعا ما، حيث تعتمد عملية الاختيار على مفهوم الاستثمار المالي طيلة العمر التشغيلي للكابل، حيث يأخذ بعين الاعتبار كلفة فقد الطاقة في الكابل.

وقد شرحنا في الفصل الثالث كيفية حساب فقد وهبوط الفولطية وبينا الفرق بينهما، ثم استعرضنا حساب فقد الفولطية في الدارات الحلقية.

وخصص الفصل الرابع لاحد المواضيع المهمة عند تصميم شبكات التمديدات الكهربائية الا وهو موضوع التأريض، والذي يجد المهندس نفسه أمام معضلات تسبب

له إشكاليات عديدة. لذلك جاء هذا الفصل موسعا في محتواه وأردناه تفصيليا ليغطي الموضوع بشمولية وبعمق. استعرضنا في هذا الفصل أنظمة التأريض المختلفة وكيفية حساب ممانعة انشوطة العطل، وكذلك أفردنا مجالا واسعا لعناصر نظام التأريض وكيفية حساب مقاومة الأشكال المختلفة للمكاهر الأرضية، وكذلك كيفية حساب مقاطع الكوابل المستخدمة كموصلات وقاية وموصلات تأريض وموصلات تساوي الجهد.

وأفردنا فصلا خاصا ليغطي موضوع الحماية في نظام التمديدات الكهربائية والذي يتم عن طريق الاختيار الصحيح لقواطع الدارة، وكذلك شرحنا أنواع الحماية المختلفة ومميزات قواطع الدارة وطريقة اختيارها لتؤدي وظيفة حماية الأشخاص والممتلكات عند تصميم شبكة التمديدات الكهربائية.

تحتوي شبكات التمديدات الكهربائية في أي مشروع كبير على عدد وافر من المحركات الكهربائية الناتجة عن أن أحمال التكييف تشكل جزءا كبيرا من الحمل الكهربائي، ويؤدي ذلك الى انخفاض عامل القدرة الكلي للمشروع، وهذا بدوره يزيد من كلفة فاتورة الكهرباء، إضافة الى بعض الظواهر الفنية المتصلة بانخفاض عامل القدرة. من هذا المنطلق فان الفصل السادس خصص للقدرة المراكسة وعامل القدرة وكيفية تحسينه ورفع قيمته الى مستوى مقبول فنيا واقتصاديا.

ورغم أن موضوع الإنارة الاصطناعية هو موضوع قائم بذاته (انظر كتابنا الخاص بموضوع الإنارة والموسوم «الانارة الاصطناعية - تخطيط وتصميم» والصادر في1986 عن نقابة المهندسين الأردنيين)، فقد رأينا ان نفرد فصلا خاصا عن كيفية تصميم الإنارة حتى يكون كتابنا هذا شاملا، ونعتقد ان هذا الفصل يغطي كل ما يحتاجه المهندس في هذا المجال ومن أراد التوسع والاستزادة فعليه بكتابنا الذي أشرنا إليه سابقا أو منشورات جمعية مهندسي الإنارة لشمال أمريكا IES of North America.

أما موضوع حماية المنشآت من العواصف البرقية فقد توسعنا فيه كثيرا وافردنا

الفصل الثامن بكامله له . إن السبب في ذلك يعود الى أن المنشآت الحديثة كبيرة وذات ارتفاعات عالية ، اضافة الى وجود عدد كبير من الأجهزة الثمينة والمكلفة في المباني الحديثة ، مما يجعل من عملية حمايتها من ضربات البرق متطلبا رئيسيا . ولا بد أن نشير الى أن هذا الفصل يغطي فقط حماية المنشآت الخارجية من البرق أو بعبارة أخرى حماية الهيكل الخارجي وبالتالي لم نتعرض الى الحماية الداخلية ، والمقصود فيها حماية الأجهزة الالكترونية من قيم الفولطية العالية والناتجة عن ضربات البرق وعمليات الفتح والقفل في الأنظمة الكهربائية . وعملية الحماية هذه يطلق عليها حماية التمّور Surge protection.

حاولنا قدر المستطاع أن يشمل هذا الكتاب أمثلة محلوله تساعد المهندسين على فهم المادة الهندسية التي نستعرضها ، حيث نعتبر أن الأرقام تشرح ما عجزت الكلمة توضيحه ، وكان ممكنا أن نتوسع اكثر في الأمثلة المحلولة لولا أن حجم الكتاب وضع قيدا علينا ، وذلك حاولنا أن نوازن بين الاثنين ونعتقد أننا قد وفقنا في ذلك .

ورغم الجهد الكبير الذي بذل في هذا الكتاب ، تأليفا وطباعة واخراجا ، إلا أننا لا ندعي الكمال أو العصمة عن الهفوات والأخطاء ، وعذرنا ان وجد ذلك أن الفائدة التي يجنيها المهندس من هذا الكتاب تشفع في التغاضي عن النقص أو الخطأ . والله الموفق .

الدكتور هاني عبيد

حزيران 2001-6-23

عمان

الفصل الأول
الأحمال الكهربائية

1.1 مقدمة

تكمن الخطوة الأولى في تصميم التمديدات الكهربائية لأي مرفق مهما كان نوعه في تقدير الأحمال الكهربائية التي يحتاجها هذا المرفق. وتتم هذه العملية عادة في مرحلة التصميم الأولي، حيث نحتاج في هذه المرحلة الى تقدير المساحات اللازمة للمعدات الكهربائية (مثل المحولات ولوحات التوزيع الرئيسية والمولدات الاحتياطية)، وكذلك أية متطلبات تفرضها الكودة أو تنص عليها المواصفات لضمان استمرارية التيار الكهربائي وتوافر السلامة للأشخاص والأجهزة الكهربائية.

وتقسم الأحمال الكهربائية إلى نوعين رئيسيين، وهما:

أ- الأحمال الصناعية Industrial Loads

تعتمد هذه الأحمال على العملية التكنولوجية المستخدمة في الصناعة، وأنواع الماكنات والأجهزة المركبة. وتتوافر جداول خاصة تبين الأحمال الكهربائية النوعية أو القياسية لكل صناعة على حدة. وبما أن العملية الصناعية (الإنتاجية) تكون محددة في مرحلة التصميم الأولي، لذلك تستخدم المعطيات الكهربائية عن الأحمال المطلوبة من الشركة الصانعة بشكل مباشر. ويمكن إستخدام الأحمال الكهربائية النوعية (القياسية) للصناعات المختلفة والواردة في الجداول القياسية لاغراض تقدير الاحمال المستقبلية وقدرات التوليد اللازمة على المستوى الوطني.

ب- الأحمال غير الصناعية Nonindustrial Loads

وتغطي الأحمال غير الصناعية الاحمال الكهربائية للمنازل والمنشآت التجارية والمباني العامة مثل المدارس والجامعات والمستشفيات والمراكز التجارية. وتستخدم الاحمال النوعية أو القياسية لتقدير هذه الأحمال في مرحلة التصميم الأولي.

وتصنف الأحمال الكهربائية غير الصناعية الى المجموعات التالية

1- أحمال الإنارة - الإنارة الداخلية للفراغات والممرات والإنارة العامة، والإنارة الخارجية (إنارة تجميلية، إنارة الساحات الخارجية ومواقف السيارات المكشوفة، وإنارة السلامة والأمان). وتغطي أحمال الانارة كل ما يتعلق بالإنارة العادية والطارئة.

2- أحمال الأجهزة الكهربائية Appliances وتغطي ماكنات التصوير والأجهزة المستخدمة في المكاتب ومقابس ماكنات البيع ومقابس الاستخدام العام.

3- أعمال التكييف Space Conditioning وتغطي أجهزة التبريد والتدفئة والمضخات والوحدات الهوائية.

4- الأحمال الكهربائية لأجهزة المياه والصحة العامة Plumbing & Sanitation مثل المضخات وسخانات المياه ومضخات المياه العادمة وأجهزة معالجة النفايات.

5- أحمال أجهزة إنذار وإطفاء الحرائق Fire Protection.

6- الأحمال الكهربائية للمصاعد والأدراج المتحركة ومصاعد الخدمة.

7- الأحمال الكهربائية لأجهزة معالجة المعطيات Date Processing مثل الحواسيب والطابعات والمعدات الطرفية ووحدات التغذية الكهربائية غير المنقطعة (Uninterruptible power supply) UPS مع ما يلزم من أجهزة وتبريد لهذه المعدات.

8- الأحمال الكهربائية لمعدات تحضير الطعام Food Preparation مثل معدات الطبخ والتسخين والتجميد والتبريد ومراوح الشفط ومعدات طحن الفضلات وغسيل أواني الطبخ . . الخ.

9- أحمال كهربائية خاصة Special Loads وتغطي هذه الأحمال الأجهزة المستخدمة في البورصات والمطاعم والمسارح ومراكز الرياضة واللياقة البدنية، والأماكن الدينية والمراكز الصحية والمختبرات والاستوديهات الإذاعية . . الخ.

10- الأحمال الكهربائية المختلفة Miscellaneous Loads وتغطي أحمال أجهزة الإنذار والحماية وأجهزة التحكم والصوت وأجهزة الصيانة في الورش.

إن أهم طريقة في تقدير الأحمال الكهربائية في مرحلة التصميم الأولي هي طريقة الأحمال النوعية (القياسية) للمتر المربع Specific (Standard) Loads per m^2 . وتعتمد هذه الطريقة على تراكم الخبرة السابقة في التصميم وعلى دراسة الأحمال الكهربائية للمشاريع القائمة. ولا تأخذ هذه الطريقة بعين الاعتبار تغير الحمل الكهربائي مع الزمن، حيث تعتبر هذا الحمل ثابتاً، وبعبارة أخرى يتم إهمال منحنى الحمل Laod curve (تغير الحمل الكهربائي مع الزمن).

ويختلف تقدير الأحمال الكهربائية بحسب مرحلة التصميم للمشروع، فالأحمال الكهربائية للمشروع في مرحلة التصميم الأولي تختلف عن الأحمال الكهربائية للمشروع عند إنجاز التصميم النهائي، فالأولى تقديرية والثانية دقيقة يتم بناءاً عليها تصنيع المعدات واللوحات الرئيسية للمشروع.

ونستعرض فيما يلي المراحل التي تمر بها عملية تقدير الأحمال الكهربائية :

(1) المرحلة الإبتدائية

يتم تقدير الأحمال الكهربائية في هذه المرحلة باستخدام الأحمال الكهربائية النوعية وبمعرفة مساحة الفراغات المعمارية الأولية في المشروع. تستخدم هذه الأحمال لتقدير الحمل الكلي للمشروع وتقدير المحولات المطلوبة والمساحات التي يجب إضافتها للمشروع لاغراض المعدات الكهربائية.

(2) مرحلة التصميم الأولي

ويتم في هذه المرحلة تحديد الخدمات الكهربائية المطلوبة وتحديد مخطط القدرة الاحادي للنظام المقترح Single line diagram وإختيار فولطية التوزيع المعتمدة. وفي هذه المرحلة يتم تحديد مساحات غرف الكهرباء بدقة وكيفية تمديد الكوابل، وتحديد متطلبات السلامة والأمان للإنسان والمعدات.

(3) مرحلة التصميم المتقدم

بناء على الحسابات التي تم إجراؤها في المرحلة السابقة يتم حساب مقاطع الكوابل الرئيسية ومقررات لوحات التوزيع الرئيسية ومقارنة ذلك مع متطلبات الكودة المعتمدة

- في التصميم. يتم في هذه المرحلة إعتماد نظام التأريض الذي سيتم إستخدامه في المشروع.

4 - مرحلة إستخدام كودة حفظ الطاقة

في هذه المرحلة يجري تطبيق متطلبات كودة حفظ الطاقة والتي يعتبر استخدامها إلزامياً، وجزءاً من التشريعات المعتمدة. يتم تحديد الطاقة الكلية للمبنى، مع الأخذ بعين الاعتبار أنه يمكن زيادة الحمل الكهربائي في بعض المناطق ولفترة زمنية محددة بحيث يتم تقليل الحمل في مناطق أخرى، بحيث لا تتغير كمية الطاقة الكلية المستهلكة للمشروع.

5) الأحمال الكهربائية في مرحلة التصميم النهائي

عند إنتهاء التصميم النهائي للمشروع تكون الأحمال الكهربائية قد تحددت بدقة، وبالرجوع إلى المخططات يمكن تحديد أحجام ومقررات وسعات لوحات التحكم بالمحركات، واللوحات الرئيسية والقواطع. كذلك يمكن تصنيف الحمل الكهربائي إلى أحمال إنارة ومقابس وأحمال ميكانيكية . . الخ.

يُقاس الحمل الكهربائي بوحدات الفولط. أمبير أو الواط (فولط. أمبير، واط، كيلو فولط. أمبير، كيلو واط، ميجا فولط. أمبير، ميجا واط).

ولا بد أن نُحدد بدقة المصطلحات المستخدمة بالنسبة للأحمال الكهربائية. فالحمل الكلي Total load هو مجموع الأحمال الكهربائية المغذية من لوحة أو نقطة تغذية.

الحمل المترابط Connected load هو الحمل المقرر للمستهلك والمتصل بنقطة تغذية معينة، ويساوي الحمل المقرر للجهاز أو المستهلك في نقطة التغذية. ويُعرّف الطلب Demand لمنشأ أو نظام ما بأنه متوسط الحمل الكهربائي في نقطة التغذية في فترة زمنية معينة. وتُسمى الفترة الزمنية التي يتم فيها حساب متوسط الحمل بفترة الطلب Demand period. وتُحدد هذه الفترة ببعض الاعتبارات الخاصة للأجهزة التي يتطلب تحديد متوسط الحمل لها، وخاصة الثابت الزمني الحراري Thermal time

I Love My home Land

constant للجهاز. ولا بد أن نُميز بين الطلب والحمل المقرر المتواصل. فكما ذكرنا سابقا فإن الطلب هو متوسط الحمل الذي يفرضه الجهاز على الشبكة الكهربائية خلال فترة زمنية معينة، أي أن الطلب يرتبط بعامل الزمن، بينما الحمل المقرر المتواصل للجهاز هو مقرر الجهاز المثبت على لوحة الجهاز عندما يتم تشغيله تحت ظروف تشغيل محددة.

* ويُعرّف **عامل الطلب** Demand factor بأنه العلاقة بين الطلب الأقصى لنظام ما إلى مجموع الحمل المترابط لهذا النظام. ويساوي الحمل المترابط للنظام مجموع المقررات المتواصلة لاحمال الاجهزة الكهربائية المستهلكة للطاقة والمتصلة بالنظام. ويساوي عامل الطلب دوماً أقل من واحد. (0→1)

ويُعرّف **عامل الاستفادة** Ultilization factor بأنه العلاقة بين الطلب الأقصى للنظام إلى السعة المقررة Rated capacity للنظام. وتحدد السعة المقررة للنظام بالسعة الحرارية لهذا النظام.

أما **عامل الحمل** Load factor فهو العلاقة بين متوسط الحمل خلال فترة زمنية معنية إلى حمل الذروة Peak load والذي يحدث خلال نفس الفترة. وتتراوح قيمة عامل الحمل بين صفر وواحد.

* ويُعرّف **عامل التشتت (التباين)** Diversity factor بأنه العلاقة بين مجموع الطلب الأقصى الافرادي لاحمال مختلفة في النظام الى الطلب الأقصى للنظام ككل.

فإذا كان النظام يتكون من عدد من الاحمال المختلفة، وكل حمل له طلب أقصى خلال فترة زمنية، فإننا نجمع الطلب الاقصى لهذه الاحمال وننسبه إلى الطلب الأقصى للنظام ككل وفي نفس الفترة الزمنية والجواب الذي نحصل عليه يكون هو عامل التشتت للنظام. وعامل التشتت للنظام هو دوماً أكبر أو يساوي واحداً. (1→2)

أما **عامل التطابق** Coincidence factor فيساوي العلاقة بين مجموع الطلب الأقصى المتطابق لمجموعة مستهلكين وبين مجموع الطلب الاقصى لاحمال المستهلكين الافرادية مأخوذة في نفس نقطة التغذية ولنفس الفترة الزمنية. من هنا نستنتج أن عامل التطابق يساوي عكس عامل التشتت.

أما تشتت الحمل Load diversity فهو الفرق بين مجموع الذروة لاحمال مستهلكين منفردين أو أكثر إلى حمل الذروة لمجموع أحمال المستهلكين.

من الشرح السابق يمكننا أن نستخدم العلاقات الرياضية التالية:

عامل التشتت F_D

$$F_D = \frac{D_1 + D_2 + \ldots + D_n}{D_{1+2+\ldots+n}} = \frac{\sum_{S=1}^{n} D_S}{D_{1+2+\ldots+n}} = \frac{1}{F_C}$$

عامل التطابق F_C

$$F_C = \frac{D_{1+2+\ldots+n}}{D_1 + D_2 + \ldots + D_n} = \frac{D_{1+2+\ldots+n}}{\sum_{S=1}^{n} D_S} = \frac{1}{F_D}$$

تشتت الحمل L_D

$$L_D = (D_1 + D_2 + \ldots + D_n) - D_{1+2+\ldots+n} = \left(\sum_{S=1}^{n} D_s\right) - D_{1+2+\ldots+n}$$

حيث أن

$D_1, D_2, \ldots, D_n$ الطلب الأقصى للاحمال التي أرقامها $1, 2, \ldots, n$ على التتابع بغض النظر عن الزمن الذي يحدث فيه هذا الطلب الأقصى.

$D_{1+2+\ldots+n}$ الطلب الأقصى لمجموعة الأحمال $1+2+\ldots+n$.

وعند تقدير الأحمال في مرحلة التصميم الأولى لا بد وأن نُميز بين الأحمال النوعية للمتر المربع حسب المراجع البريطانية (الأوروبية) والمراجع الأمريكية. وسنستعرض هذه الأحمال بالتفصيل.

2.1 الأحمال القياسية (النوعية) حسب المراجع الأمريكية

1.2.1 أحمال الإنارة

تشكل أحمال الانارة بين 20% الى 50% من الحمل الكهربائي في المباني التجارية المكيفة. ويساوي الحمل القياسي للمتر المربع في المباني المختلفة بين 32.28 واط/ م2 الى 64.56 واط/ م2. ويبين جدول - 1 الأحمال القياسية لأنظمة الإنارة للمرافق المختلفة كما وردت في الكودة الوطنية الكهربائية National Electrical Code NEC.

جدول (1)

الأحمال القياسية (النوعية) لأنظمة الإنارة للمرافق المختلفة

نوع الحيز أو المرفق	الحمل النوعي لكل متر مربع (واط)
مستودعات الاسلحة ومباني الاجتماعات العامة	10.76
البنوك	37.66
صالونات التجميل وصالونات الحلاقة	32.28
أماكن العبادة	10.76
النوادي	21.52
قاعات المحاكم	21.52
المنازل (ما عدا الفنادق)	32.28
مواقف السيارات – أماكن التخزين الصناعية	5.37
المستشفيات	21.52
الفنادق ومباني الشقق المفروشة	21.52
غرف الخزين	16.13
المكاتب	37.66
المطاعم	21.52
المدارس	32.28
المتاجر	32.28
المستودعات	2.7
قاعات التجميع*	10.76
صالونات الانتظار والممرات*	5.37
مناطق الخزين*	2.7

* ما عدا الشقق السكنية والمنازل .

وتُشير الكودة الوطنية الكهربائية إلى استخدام عامل الطلب لإحمال الإنارة لأغراض تحديد مقاطع المغذيات لأحمال الإنارة. ويبين جدول -2 عامل الطلب لمغذيات أحمال الإنارة Lighting Load feeder demand factor.

جدول (2)

عامل الطلب لمغذيات أحمال الإنارة

نوع الحيز (المرفق)	جزء حمل الإنارة الذي يتم استخدام عامل الطلب عليه (فولط . امبير)	عامل الطلب نسبة مئوية
الشقق السكنية	أول 3000 فولط . أمبير أو أقل	100
	من 3001 ولغاية 120000	35
	ما تبقى	25
المستشفيات*	أول 50000 فولط . أمبير أو أقل	40
	ما تبقى	20
الفنادق والموتيلات والشقق المفروشة والتي لا تحتوي على أماكن طهو الطعام*	أول 20000 فولط . أمبير أو أقل	50
	من20001 ولغاية 160000 فولط . أمبير	40
	ما تبقى	30
مناطق التخزين	أول 12000 فولط . أمبير أو أقل	100
	ما تبقى	50
كل المرافق الأخرى	مجموع الفولط . أمبير	100

* لا يُستخدم عامل الطلب في حساب المغذيات لمناطق معنية في المستشفيات والفنادق والتي تتطلب إنارة كاملة ومتواصلة مثل غرف العمليات ، قاعات الاستقبال وقاعات الطعام . . .الخ .

2.2.1 الأحمال الكهربائية لمقابس الاستخدام العام

يتم توزيع مقابس الاستخدام العام في المباني التجارية لتزويد القدرة الكهربائية للأجهزة المختلفة التي تُستخدم في هذه المباني مثل أجهزة الحاسوب والطابعات

والأجهزة الطرفية والناسخات وأجهزة الفاكس . الخ . إن عامل الطلب لهذه المقابس منخفض، وبشكل عام يمكن حساب الطلب باستخدام 10.76 فولط . أمبير لكل متر مربع . ولغايات حساب مقاطع الأسلاك والمغذيات فإن كل مقبس مزدوج يحسب بتيار يساوي 1.5 أمبير، أو باستخدام حمل قياسي لمقابس المكاتب يساوي 19.4 فولط . أمبير للمتر المربع الواحد . وتبين الجداول التالية الأحمال القياسية النمطية .

جدول (3)

أحمال مقابس الاستخدام العام/ الاجهزة النمطية

(باستثناء المكيفات الموصولة بقابس وأجهزة التدفئة)

نوع المرفق (الحيز)	الحمل القياسي (النوعي) . ڤولط . امبير/ م^2		
	تقدير منخفض	تقدير عالي	تقدير متوسط
قاعات الاجتماعات العامة	1.08	3.2	2.2
المطاعم	1.08	3.2	2.2
أماكن العبادة	1.08	3.2	2.2
غرف الرسم	4.3	10.76	7.53
قاعات الرياضة	1.08	2.2	1.61
المستشفيات	5.38	16.14	10.76
المستشفيات الكبرى	4.3	10.76	7.53
متاجر الالآت	5.38	26.9	16.14
مباني المكاتب	5.38	16.14	10.76
المدارس الكبيرة	2.2	10.76	6.5
المدارس المتوسطة	2.69	12.9	7.53
المدارس الصغيرة	3.23	16.14	9.68

ملاحظة : الأجهزة المحددة سلفاً يتم حساب مقررها بالڤولط . أمبير .

بالنسبة لنقاط الإنارة التي تزود الطاقة لوحدات إنارة بمهمة ثقيلة Heavy Duty فيتم إعتماد 5 أمبير لكل مخرج.

جدول (4)

الأحمال النمطية للشقق السكنية

النوع	الحمل النمطي
الإنارة والمقابس العادية (عدا الاجهزة المنزلية)	32.28 ڤولط .أمبير/ م2
دارات المطبخ والطعام	1.5 كيلو ڤولط . أمبير لكل دارة
الفرن الكهربائي	12.8 كيلو واط
فرن الميكروويف	1.5 كيلو واط
الثلاجة	0.6-0.3 كيلو واط
المجمدة	0.6-0.3 كيلو واط
جلاية الصحون	2.0-1.0 كيلو واط
جهاز التخلص من الفضلات	0.5-0.33 حصان ميكانيكي
غسالة الملابس	0.5-0.33 حصان ميكانيكي
نشافة الملابس	6.0-1.5 كيلو واط
سخان الماء	9-1.5 كيلو واط
مكيف الهواء 0.5 حصان ميكانيكي للغرفة	1.6-0.8 كيلو واط

3.2.1 أحمال التكييف والأجهزة المساعدة

يستخدم المهندسون حالياً مفهوم التحكم في البيئة للفراغات المعمارية عن طريق إستخدام تكييف الفراغ Space conditioning . ويطلق تعبير تكييف الفراغ على عمليات التدفئة والتهوية والتنظيف والتبريد. وتعتمد القدرة الكهربائية اللازمة لأجهزة التكييف الميكانيكية على الظروف المناخية ومواد البناء المستخدمة وأحمال الإنارة الداخلية وعدد الأشخاص في الفراغ أو الحيز ونوع الأجهزة والمعدات الموجودة. وتتطلب أجهزة معالجة المعطيات (الحواسيب والطابعات والأجهزة الطرفية الأخرى) تكييفاً للهواء للغرف الموجودة فيها لإزالة الحرارة الناتجة من عملها، كذلك تتطلب هذه

الأجهزة وحدات توليد احتياطية في حالة إنقطاع التيار الكهربائي . وفي حالة غياب المعطيات الدقيقة عن أجهزة التكييف يمكن استخدام ما يلي :

1.3.2.1 تكييف الهواء

تتكون أحمال تكييف الهواء من المحركات التي تشغل الضاغطات Compressors ، ومضخات مياه التبريد ، ومضخات التكييف ومكثفات التبخير وأبراج التبريد ومراوح توزيع الهواء وأجهزة التحكم في هذه المعدات .

وللحسابات التقريبية يمكن إعتبار أن طن التبريد (يساوي طن التبريد 12000 وحدة حرارية بريطانية BTU) يحتاج إلى حصان ميكانيكي واحد (يساوي الحصان الميكانيكي 746 واط) لتشغيل وحدات التبريد فقط ، أو ما يعادل 1ك . ف . أ من الحمل الكهربائي . ويشكل حمل الضاغطة عادة ما بين 55% إلى 70% من الحمل الكهربائي الكلي لأجهزة التكييف ، أما الباقي فهو عبارة عن أحمل المضخات والمراوح والأجهزة المساعدة ، لذلك يمكننا استخدام معامل يتراوح من 1.6 إلى 2.0 لكل طن تبريد لتقدير الحمل الكهربائي المطلوب . إن الأرقام السابقة تتعلق بأجهزة التكييف التي مقررها 100 طن أو أكبر . أما للأنظمة التي مقررها أصغر من 100 طن فإن المعامل المستخدم يساوي 2.3 ، وللوحدات الصغيرة يمكننا استخدام معامل يساوي 2.8 .

ومن خبرتنا العملية فإن الأرقام السابقة كبيرة وتؤدي الى زيادة الأحمال الكهربائية ، لذلك نقترح إستخدام المعاملات الواردة في جدول – 5 لأجهزة التكييف المختلفة .

جدول (5)

المعاملات المستخدمة لتقدير الاحمال الكهربائية لأجهزة التكييف المختلفة

نوع جهاز التكييف	المعامل (ك . واط/ طن تبريد)
نظام التبريد المائي .CHW sys	1.75
Control DX system	1.5
Mini DX System	1.40
مكيفات الشباك	1.40
Thru wall A/C	1.70

وعادة، فإن مساحة الفراغات الداخلية تكون معروفة في مرحلة التصميم الأولي، لذلك يمكن تقدير الأحمال الكهربائية، إما باستخدام الحمل القياسي للمتر المربع (جدول -6) أو باستخدام حمل التبريد القياسي (وحدة حرارية بريطانية للمتر المربع) ومن ثم استخدام المعاملات (يبين جدول -7 أحمال التبريد القياسية).

جدول (6)

الأحمال الكهربائية لأجهزة التكييف فقط في المباني المختلفة

نوع البناء	الحمل الكهربائي للمساحة المكيفة ف.أ/م^2
البنوك	75.32
المخازن التجارية	53.8-32.28
الفنادق	64.56
مباني المكاتب	64-56
مباني الاتصالات الهاتفية	86.08-75.32
المحلات التجارية الصغيرة	129.12-43.04
المطاعم (بدون المطبخ)	86.08

جدول (7)

التقديرات الوسطية لأحمال التبريد

نوع البناء	حمل التبريد (و.ح.ب./م^2)
المباني السكنية	215-184
غرف التدريس	646-516
المكاتب العامة	430-369
غرف الاجتماعات	1291-646
ارضيات البولينغ (لكل صف)	*
الغرف النظيفة في المستشفيات	1291-430**
غرف المرضى في المستشفيات	430-369**
قاعات التصنيع	516-369***
المدرجات Arenas	861-646
غرف الاجتماعات في الفنادق	646-516
غرف معالجة المعطيات	1614-1291****

ملاحظات حول جدول - 7

* طن تبريد واحد لكل صف Lane بالإضافة إلى حمل التبريد اللازم لمناطق تواجد الجمهور ومناطق خدمة الطعام.

** لا تسمح معظم الكودات باعادة تدوير Recirculate الهواء من غرف المرضى.

*** بعض المناطق الخاصة قد تحتاج إلى متطلبات إضافية.

**** يتعلق هذا بالحواسيب المركزية الرئيسية وملحقاتها Mainframe computers.

ويشير كتاب HVAC System Design Handbook إلى أن كل طن تبريد يحتاج إلى حوالي 1850 فولط . أمبير، وبناءً على ذلك يمكن تقدير الحمل الكهربائي. ولا بد أن نشير هنا إلى أن زيادة مستويات الاستنارة تؤدي إلى زيارة كمية الحرارة المنطلقة من وحدات الإنارة، وهذا يتطلب زيادة قدرات وحدات التكييف لازالة تلك الحرارة. وكتقدير تقريبي فإن كل 100 كيلو واط. ساعة من طاقة الإنارة تتطلب من 15 الى 20 كيلو واط. ساعة من التبريد لإزالة حرارة وحدات الإنارة.

2.3.2.1 الأجهزة المساعدة

وعادة فإن الاحمال الكهربائية لغرف المراجل Boiler rooms والأجهزة الميكانيكية المساعدة لا تشكل نسبة كبيرة، فهي لا تتعدى 5% من مجموع الأحمال الكهربائية (عدا أحمال التكييف)، ويمكن أن ترتفع إلى حوالي 15% في المدارس. وفي المباني التجارية يمكن أن تكون مقررات Ratings بعض الأجهزة الميكانيكية مساوية الى 10 أو 20 حصان ميكانيكي، لذلك لا بد من التنسيق مع المهندس الميكانيكي لمعرفة هذه الأحمال.

أما الأجهزة الميكانيكية التي تُصنف تحت هذا البند فهي :

1- مراوح السحب Draff fans.

2- مراوح الشفط والتهوية.

3- مضخات تغذية المياه للمراجل والمضيخات الراجعة ، ومضخات المياه والمجاري .

4- ضاغطات الهواء وأجهزة الخدمة .

5- التسخين الكهربائي وعناصر التسخين المساعدة .

6- نبائط التحكم والدارات .

7- أدوات تنظيف الهواء الالكترونية .

3.3.2.1 التدفئة

تتراوح أحمال التدفئة الكهربائية Electrical heating من 10 كيلو واط الى وحدات كبيرة تشكل أحمالها حوالي ثلث أو نصف الحمل الكهربائي الكلي للمبنى . وعادة ، إذا كانت درجة الحرارة الخارجية أقل من درجة حرارة الفراغات الداخلية ، فإن الحرارة تنتقل من الداخل إلى الخارج . ويعتمد معدل إنتقال الحرارة على عوامل عديدة مثل درجة الحرارة الخارجية وسرعة الريح ومساحة السطوح الخارجية و نوعية مواد البناء وكمية العزل الحراري المستخدم في البناء ومتطلبات الهواء الطازج Fresh air ونوعية إستخدام المبنى . وكل العوامل السابقة تحدد كمية الحرارة المطلوبة للفراغات الداخلية للمحافظة على درجة حرارة في الداخل ملائمة للنشاط الإنساني .

وبمعرفة كمية الفقد الحراري ، يمكننا تقدير الحمل الكهربائي المطلوب بالكيلو واط ، وذلك بقسمة الفقد الحراري مقدراً بالوحدات الحرارية البريطانية لكل ساعة على رقم 3413 (يساوي الكيلو واط . ساعة 3413 وحدة حرارية بريطانية) . أما عامل الطلب في هذه الحالة فيساوي 100% .

ويبين جدول – 8 القياسات المقبولة للفقد الحراري لتحقيق بيئة مناسبة ومريحة .

جدول (8)

القياسات المقبولة للفقد الحراري

درجة أيام Degree Days	الفقد الحراري لاغراض التصميم لكل متر مربع من المساحة	
	و.ح.ب./ ساعة	واط
أكثر من 8000	40	11.7
8000-7001	38	11.3
7000-6001	35	10.3
6000-5001	32	9.4
5000-3001	30	8.8
أقل من 3001	28	8.2

ولا بد أن نلاحظ أن المشروع قد يحتوي على تكييف الهواء صيفاً والتدفئة شتاءً، لذلك تحسب الاحمال الكهربائية، ثم يتم تصميم اللوحات وإختيار مقاطع الاسلاك باستخدام الحمل الكهربائي الاكبر بين التكييف والتدفئة.

4.2.1 أحمال أنظمة المياه والصحة العامة

إن أحمال أنظمة المياه وأجهزة الصحة العامة غير كبيرة في المباني التجارية مقارنة مع الأحمال الأخرى. ويبين جدول – 9 أحمال مضخات ضغط المياه، وجدول – 10 أحمال أنظمة تسخين المياه باستخدام الكهرباء.

جدول (9)

الأحمال الكهربائية النمطية لأنظمة رفع المياه بالضغط

في المباني العالية (كيلو واط)

نوع المبنى	وحدة الكمية	عد أدوار البناء			
		5	10	25	50
مبنى شقق سكنية	10 شقق / الدور	-	15	90	350
مستشفيات	30 مريض/ الدور	10	45	250	-
فنادق/ موتيلات	40غرفة/ الدور	7	35	175	450
مبنى مكاتب	مساحة الدور 100م2	-	15	75	750

جدول (10)

الأحمال الكهربائية النمطية لأنظمة تسخين المياه

باستخدام الكهرباء (كيلو واط)

نوع المبنى	وحدة كمية	الحمل الكهربائي
مبنى شقق سكنية	20 شقة	30
سكن الطلاب	100 شخص	75
المدارس الإبتدائية	100 تلميذ	6
المدارس الثانوية	100 طالب	12
المطاعم (خدمة كاملة)	100 سخص/ الساعة	30
مطاعم الوجبات السريعة	100 شخص/ الساعة	15
سكن الممرضات	100 شخص	60
المستشفيات	100 سرير	200
مكاتب	100م2	5

5.2.1 الحماية من الحريق

إن أكبر الأحمال الكهربائية في نظام الحماية من الحريق Fire Protection هو حمل مضخة الحريق، بينما أحمال نظام إنذار الحريق Fire Alarm system هي صغيرة مقارنة مع مضخة الحريق. ويبين جدول – 11 الأحمال الكهربائية النمطية لمضخات الحريق في الأبنية التجارية ذات المخاطرة الخفيفة Light hazard.

جدول (11)

الأحمال الكهربائية النمطية لمضخات الحريق (كيلو واط)*

مساحة الطابق	عدد الطوابق			
متر مربع	5	10	25	50
500	40	65	150	250
1000	60	100	200	400
2500	75	150	275	550
5000	120	200	400	800

* أُعتبر الضغط في الطابق الأول مساوياً للصفر.

6.2.1 أنظمة الحركة

تندرج تحت أنظمة الحركة في المباني المصاعد والأدراج المتحركة ومصاعد الخدمات والأقشطة الناقلة.

يمكن حساب قدرة المصعد بالحصان الميكانيكي باستخدام المعادلة التالية:

$$Hp = \frac{C.V.K}{33000.e}$$

حيث أن:

C– الحمل load المقرر للعربة (ومن ضمنه وزن العربة نفسها)، باوند.

V– سرعة العربة الصاعدة عند الحمل الكلي، قدم/ دقيقة.

1 HP = 746 Watt

K- نسبة الحمل المقرر غير الموازن بواسطة الثقالات Counterweight ، وعادة تساوي هذه النسبة 60% .

e- فاعلية المحرك ، وتساوي من 50% إلى 70% للمحركات المعشقة Geared ، وتساوي 75%-85% للمحركات غير المعشقة Gearless .

وبالنسبة للمصاعد Lifts فيتم تحديد القدرة الكهربائية للمصعد في مرحلة التصميم الأولي بمعرفة المعطيات التالية :

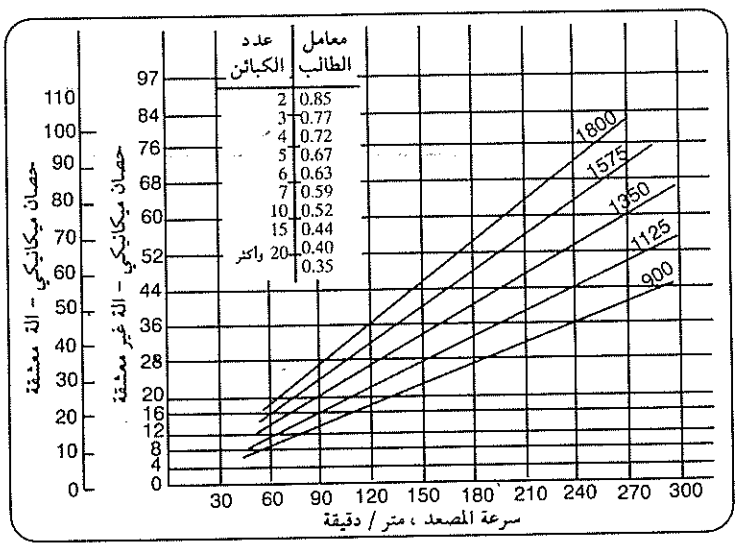
أ- نوع الآلة المستخدمة (هل هي آلة معشقة Geared Machine أو آلة غير معشقة Gearless Machine) .

ب- عدد المصاعد في المبنى .

ج- سرعة المصعد ، متر/ دقيقة .

د- وزن المصعد ، باوند .

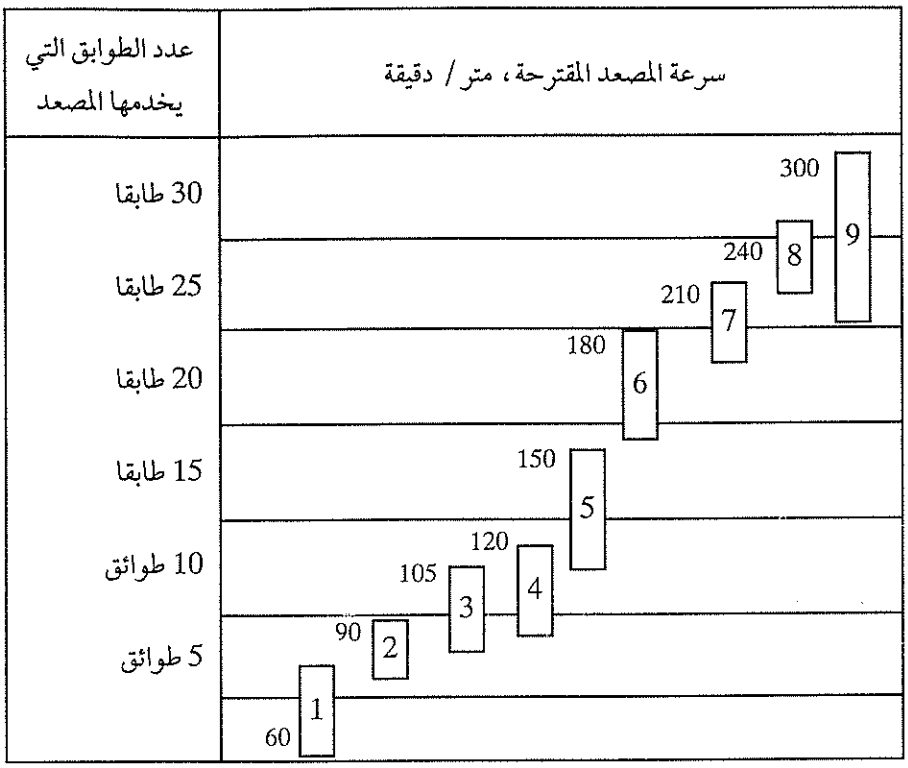
وبمعرفة هذه المعطيات البسيطة ، يمكننا حساب قدرة المحرك اللازمة للمصعد ، وذلك باستخدام شكل - 1 ، ويتبين من الشكل هذا أن القدرة المطلوبة للآلة المعشقة تزيد بـ 40%عن تلك المطلوبة للآلة غير المعشقة .



شكل (1)

حساب قدرة محرك المصعد بمعرفة سرعة المصعد

ويتم تحديد سرعة المصعد المطلوبة في المبنى بمعرفة عدد الطوابق التي يخدمها المصعد المذكور حيث أن هناك علاقة وثيقة ما بين إرتفاع المبنى وسرعة المصعد. ويبين شكل – 2 العلاقة بين عدد الطوابق التي يخدمها المصعد وسرعة المصعد المقترحة، وإذا كان المبنى يتكون من 23 طابقاً، فإن السرعة المقترحة تتراوح ما بين 210 متر/ دقيقة إلى 240 متر / دقيقة.



شكل (2)

أما الأدراج الكهربائية Escalators فيمكن تقدير أحمالها الكهربائية باستخدام جدول – 12.

جدول (12)

الحمل الكهربائيّ للأدراج المتحركة

عرض الدرجة	السرعة	الارتفاع	قدرة المحرك
سم	متر / دقيقة	متر	حصان ميكانيكي
82	27/36	4.2	5
	27/36	5.1	7.5
122	27	5.1	7.5
	27	6.3	10
	27/36	7.5	15

أما عامل الطلب فيساوي 0.85 إذا كان لدينا مصعدان، ويساوي 0.75 إذا كان لدينا أربعة مصاعد. وبشكل عام، واعتماداً على عدد المصاعد في المبنى، يمكننا حساب عامل الطلب كما يلي:

نفرض أن كل المصاعد متشابهة من حيث الخدمة، ولها 50% دورة تشغيل (50% duty cycle).

طريقة الحساب:

$$I_{max}=1.25\ I_L+\sum_{N=1}^{N-1} I_n$$

$$I_{min}=\sqrt{(1.25\ I_L)^2+\sum_{N=1}^{N-1} I_n^2}$$

$$DF=\frac{I_{min}+F\ (I_{max}-I_{min})}{I_{max}}$$

$$F=\frac{1}{N+1}+0.5$$

حيث أن:

N – عدد المصاعد.

N-1 – عدد المصاعد المتبقية (n).

I_L – تيار أكبر مصعد.

I_n- تيار كل مصعد .

I_{min}- التيار الأدنى النظري بالأمبير والذي يساوي جذر مربع مجموع مربعات التيارات الافرادية بالأمبير .

I_{max}- التيار الأقصى بالأمبير والذي يساوي مجموع التيارات الأفرادية لمحركات المصاعد .

DF - عامل الطلب .

F- نسبة عدد المصاعد التي في حالة تشغيل في نفس الوقت من العدد الكلي N .

مثال :

إحسب عامل الطلب لستة مصاعد ، إذا كان التيار المقرر لأكبر مصعد يساوي 100أمبير ، بينما التيار المقرر لكل مصعد من المصاعد الخمسة المتبقية يساوي 80 أمبير .

الحل :

$$F=\frac{1}{N+1}+0.5 = \frac{1}{6+1}+0.5 = 0.643$$

$$I_{min} = \sqrt{(1.25 \times 100)^2 + 5\,(80)^2} = 218 \text{ A}$$

$$I_{max} = 1.25 \times 100 + 5\,(80) = 525 \text{ A}$$

$$DF= \frac{218 + 0.643\,(525-218)}{525} = 0.79$$

ويمكننا استخدام جدول - 13 لتحديد عامل الطلب للمصاعد بدلاً من طريقة الحساب السابقة .

جدول (13)

عامل الطلب للمصاعد لتحديد مقاطع المغذيات*

عدد المصاعد المغذاة من كيبل منفرد	عامل الطلب
1	1.00
2	0.95
3	0.90
4	0.85
5	0.82
6	0.79
7	0.77
8	0.75
9	0.73
10 وأكثر	0.72

* عامل الطلب الوارد في الجدول تم حسابه بافتراض نسبة تشغيل مقدارها 50% ، أي أن نصف الوقت تكون المصاعد في حالة تشغيل كامل ونصف الوقت تكون متوقفة .

2.1 أجهزة معالجة المعطيات

تتفاوت الأحمال الكهربائية لأجهزة معالجة المعطيات Data processing equipment .

وفيما يلي الأحمال النمطية للمنشآت متوسطة وكبيرة الحجم والتي تحتوي على أجهزة معالجة المعطيات .

وحدة المعالجة الرئيسية	75 كيلو ڤولط . أمبير
الأجهزة المتفرقة (الطابعات ، أجهزة تسجيل . . الخ)	175 كيلو ڤولط . أمبير
وحدة المولد- المحرك بذبذبة 400هيرتز	64 كيلو ڤولط . أمبير
التكييف	30 طن

ويمكن أخذ الحمل النوعي لأجهزة الاتصالات والكمبيوتر حوالي 269واط/ م2، إضافة إلى 21.52واط/ م2 لتغطية الإنارة و 161.4واط/ م2 لتغطية تكييف الهواء.

8.2.1 أجهزة تحضير الطعام

تعتمد الأحمال الكهربائية لأجهزة تحضير الطعام Food preparation على عدد الوجبات التي يتم تقديمها في نفس الوقت وعلى المساحة المخصصة، وكذلك تعتمد على استخدام الغاز أو الكهرباء في تشغيل الأفران والأجهزة الحرارية الأخرى.

ويبين جدول – 14 الأحمال النمطية للمطابخ التجارية.

جدول (14)

الأحمال النمطية للمطابخ التجارية

	عدد الأشخاص المخدومين	الحمل الكهربائي كيلو واط
منضدة الغداء بأفران غاز وتخدم 40 شخصاً		30
الكافتيريا	800	150
المطاعم (أفران غاز)		90
المطاعم (أفران كهربائية)		180
المستشفيات (أفران كهربائية)	1200	300
مطابخ غذاء الحمية (أفران غاز)		200
الفنادق		75
الفنادق (متوسطه، أفران غاز، ثلاثة مطابخ)		150
السجون والاصلاحيات (أفران غاز).		175

9.2.1 أحمال خاصة أو متنوعة

تحتوي المباني التجارية والمنشآت على أحمال عديدة ومتنوعة لا تدخل في التصنيفات السابقة، ولذلك أطلق عليها اسم الأحمال الخاصة أو المتنوعة

Miscellaneous or special load . وتقدر قيمة الأحمال لهذا البند في المباني التجارية متعددة الأدوار بحوالي من 10 إلى 20 ڤولط . أمبير لكل متر مربع . ويندرج تحت هذه الأحمال ما يلي :

- معدات البث والارسال الراديوي والتلفزيوني .
- أنظمة المراقبة والتحكم (الحريق ، الأمان ونظام إدارة البناء Building management system (BMS) .
- معدات الفضلات (الحارقات ، أجهزة ضغط النفايات) .
- أجهزة المختبرات .
- أجهزة الصوت والصورة .
- معدات برك السباحة .
- معدات وأجهزة تنقية المياه .
- معدات الاعلان الضوئي .
- أجهزة اللياقة البدنية .

بالنسبة لبرك السباحة فيمكن إعتبار الحمل القياسي للانارة يساوي 150-225 واط/ م2 إذا تم إستخدام وحدات إنارة توهجية ، أو 100 واط/ م2 إذا تم استخدام وحدات إنارة هاليدية معدنية Metal halide ، ويضاف الى الحمل السابق حوالي 30 كيلو واط لتغطية كميرات وأجهزة البث التلفزيوني .

3.1 تقديرات الأحمال حسب المراجع الأوروبية

1.3.1 الفنادق

تتركز الأحمال الكهربائية في الفنادق في غرف الفندق Guest rooms وفي المطابخ ، لذلك يمكن استخدام ما يلي :

متوسط الحمل القياسي للفنادق بدون تكييف يساوي 3500 ڤولط . أمبير/ الغرفة ، متوسط الحمل القياسي للفنادق المكيفة يساوي 4500 ڤولط . أمبير/ الغرفة .

2.3.1 المستشفيات

عند تقدير الأحمال الكهربائية للمستشفيات يمكن استخدام الأحمال القياسية التالية :

الانارة	20واط / م2
القوى power	30واط / م2
الخدمات الميكانيكية	80واط / م2
توسعات مستقبلية	25واط / م2

ويبين الجدول التالي القيم الإرشادية للطلب على الأحمال الكهربائية وعامل التطابق في المناطق التشغيلية Operational areas في المستشفيات .

جدول (15)

القيم الإرشادية للطلب على الأحمال الكهربائية وعامل التطابق في المستشفيات

	النسبة من القدرة المطلوبة %	عامل التطابق
الانارة	25	0.9
التكييف الجزئي	15	1.0
مطبخ كهربائي جزئي	10	0.6
تعقيم كهربائي جزئي	10	0.4
المصاعد	15	1.0
أجهزة طبية وأحمال أخرى	20	0.6

3.3.1 قاعات المعارض

تستخدم قاعات المعارض لعرض المنتجات والأجهزة وغيرها ، ولذلك تتباين الأحمال الكهربائية لها . وتتركز الأحمال الكهربائية في تغطية الانارة العامة ، حيث

يمكن إعتبار الحمل القياسي مساوياً الى 10واط/ م2 في حالة كون مستوى الاستنارة يساوي 300لوكس. أما أنظمة التهوية فتعتمد على حجم القاعة، ويمكن إعتبار الحمل القياسي يساوي 5 كيلو واط لكل 1000 م3 من الحجم.

4.3.1 مباني المكاتب

يمكن إعتبار الحمل القياسي لمباني المكاتب متعددة الأدوار والمكيفة حوالي 100واط/ م2. ويبين جدول -16 نسب الأحمال الكهربائية المختلفة وعامل التطابق لكل منها في مباني المكاتب متعددة الأدوار.

جدول (16)

نسب الأحمال الكهربائية وعامل التطابق في مباني المكاتب متعددة الأدوار

نوع الحمل الكهربائي	نسبة من الحمل الكلي	عامل التطابق %
تدفئة وتهوية	21	100
تبريد	23	100
المعدات الصحية	0.8	85
رشاشات إطفاء الحريق	4.5	100
المصاعد	4.6	70
معالجة المعطيات	4.5	100
معالجة النفايات	2.2	70
أجهزة المطابخ (جزئيا كهربائية)	4.6	40
الانارة وأحمال أخرى	34.8	80

ويبين الدليل الارشادي للمواصفات البريطانية BS 7671 الطبعة السادسة عشرة طلب التيار المفترض لنقاط الاستخدام والمعدات المستخدمة للتيار، وذلك في جدول Table J1 وبعد حساب الطلب على التيار يتم استخدام عوامل التشتت (التباين) Diversity وذلك لحساب الطلب الكلي على التيار بعد التشتت. ويبين جدول - 17

طلب التيار المفترض لنقاط الاستخدام، بينمّا يبين جدول – 18 عوامل التطابق Coincidence factors .

جدول (17)

طلب التيار المفترض لنقاط الاستخدام والمعدات المستخدمة للتيار

الرقم	نقطة الاستخدام أو المعدات المستخدمة للتيار	طلب التيار المفترض
1	مخارج مقابس باستثناء مخارج المقابس ذات التيار المقرر (2) أمبير	التيار المقرر
2	مخارج ومقابس ذات تيار مقرر (2) أمبير	(0.5) أمبير على الأقل
3	مخرج إنارة	تيار مكافئ للحمل الموصول به بحد أدني (100) واط لكل ماسك مصباح .
4	مخرج إنارة تفريغية	ترتب الدارات النهائية بحيث تكون قادرة على حمل تيار الحالة المستقرة الكلي (أي تيار المصباح وجهاز التحكم به والتيارات التوافقية) . وعندما تكون المعلومات الدقيقة غير متوافرة، يكون الطلب بالفولط . أمبير مساوياً على الأقل القدرة المقررة للمصباح بالواط مضروبة في (1.8)، وعامل الضرب هذا مبنى على إفتراض أن عامل قدرة الدارة معدل الى (0.85) متقدم، مع الأخذ في الاعتبار طقم التحكم والتيارات التوافقية .
5	ساعة كهربائية، آلة حلاقة، محول جرس كهربائي، وأي جهاز يستخدم التيار ولا تزيد قدرته على (5) فولط . أمبير	يهمل
6	جهاز طبخ منزلي	أول (10) أمبير من التيار المقرر + (30%) من باقي التيار المقرر+(5) أمبير إذا وجد مخرج مقبس في وحدة التحكم
7	جميع المعدات الثابتة	التيار المقرر لكل منها

جدول (18)
عوامل التطابق (Coincidence Faxtor)

		نوع المرفق		
الرقم	الغرض من الدارة النهائية المغذاة من موصلات أو طقم ميدلات	تركيبات منزلية منفردة بما في ذلك السكن الخاص ضمن المجمعات السكنية .	متاجر صغيرة ومخازن ومكاتب ومرافق تجارية .	فنادق صغيرة وبيوت سكن وضيافة . . . الخ
1	الإضاءة	(66%) من الطلب الكلي للتيار .	(90%) من الطلب الكلي للتيار .	(75%) من الطلب الكلي للتيار .
2	التدفئة والقدرة مع الأخذ بعين الاعتبار ما هو وارد في الفقرات (3) الى (7) في هذا الجدول .	(100%) من الطلب الكلي للتيار حتى (10) أمبير + (50%) من أي طلب متبقي للتيار .	(100%) من الحمل الكامل الأكبر + (75%) من الحمل الكامل للأجهزة المتبقية .	(100%) من الحمل الكامل الأكبر + (80%) من الحمل الكامل الذي يليه في الكبر + (60%) من الحمل الكامل للأجهزة المتبقية .
3	أجهزة المطبخ	(10) أمبير + (30%) من الحمل الكامل لأجهزة الطبخ التي يتجاوز حملها الكامل (10) أمبير + (5) أمبير اذا تواجد مخرج مقبس في وحدة التحكم .	(100%) من الحمل الكامل الأكبر + (80%) من الحمل الكامل الذي يليه في الكبير + (60%) من الحمل الكامل للأجهزة المتبقية .	(100%) من الحمل الكامل الأكبر + (80%) من الحمل الكامل الذي يليه في الأكبر + (60%) من الحمل الكامل الأجهزة المتبقية .
4	المحركات باستثناء محركات الرفع التي تخضع لاعتبارات خاصة .		(100%) من الحمل الكامل للمحرك الأكبر + (80%) من الحمل الكامل الذي يليه في الكبر + (60%) من الحمل الكامل للمحركات المتبقية .	(100%) من الحمل الكامل للمحرك الأكبر + (50%) من الحمل الكامل للمحركات المتبقية .
5	سخانات ماء لحظية ويقصد بها السخانات التي تسخن الماء فقط عندما يفتح الصنبور وبذلك تستخدم الكهرباء بشكل متقطع .	(100%) من الحمل الكامل الأكبر +(100%) من الحمل الكامل الذي يليه في الكبر +(25%) من الحمل الكامل للأجهزة المتبقية .	(100%) من الحمل الكامل الأكبر + (100%) من الحمل الذي يليه في الكبر + (25%) من الحمل الكامل للأجهزة المتبقية .	(100%) من الحمل الكامل الأكبر + (100%) من الحمل الذي يليه في الكبر + (25%) من الحمل الكامل للأجهزة المتبقية .
6	سخانات الماء التي تتحكم بها منظمات حرارية .	100% من الحمل الكامل – يجب التأكد بأن لوحات التوزيع ذوات تيارات مقررة كافية لاستيعاب الحمل الكلي الموصول بها .		
7	تركيبات تدفئة بالتخزين الحراري تركيبات تدفئة أرضيات	100% من الحمل الكامل – يجب التأكد بأن لوحات التوزيع ذوات تيارات مقررة كافية لاستيعاب الحمل الكلي الموصول بها .		
8	الترتيبات القياسية للدارات الكهربائية كما يلي : ❖ دارات كهربائية نهائية تستخدم مخارج مقابس مطابقة للمواصفات القياسية الأردنية أو مايعادلها . ❖ دارات كهربائية نهائية للطباخات في المرافق السكنية .	(100%) من طلب التيار لأكبر دارة+ (40%) من طلب التيار لكل دارة من الدارات الأخرى .	(100%) من طلب التيار لأكبر دارة + (50%) من طلب التيار لكل دارة من الدارات الأخرى .	
9	مخارج مقابس وممدات كهربائية ثابتة باستثناء تلك الواردة في الفقرة رقم8 من هذا الجدول .	(100%) من طلب التيار الأكبر نقطة استخدام + (40%) من طلب التيار لكل نقاط الاستخدام الأخرى .	(100%) من طلب التيار لأكبر نقطة استخدام + (75%) من طلب التيار لكل نقاط الاستخدام الأخرى .	(100%) من طلب التيار لأكبر نقطة استخدام + (75%) من طلب التيار لكل نقطة استخدام في الغرف الرئيسية (مثل غرفة الطعام وغيرها + (40%) من طلب التيار لكل نقطة استخدام أخرى .

أما عوامل الطلب لمغذيات أحمال الإنارة فيبينها جدول- 19.

جدول (19)

عوامل الطلب لمغذيات حمل الإنارة

طبيعة المرفق	جزء حمل الإنارة الذي ينطبق عليه عامل الطلب (بالواط)	عامل الطلب نسبة مئوية
وحدات سكنية	أول 3000 واط أو أقل	100
	من 3001 وحتى 120 000	35
	أكبر من 120 000	25
المستشفيات	أول 50 000 أو أقل	40
	أكبر من 50 000	20
الفنادق والنزل	أول 20 000 أو أقل	50
	من 20 001 وحتى 100 000	40
	أكبر من 100 000	30
المستودعات	أول 12500 أو أقل	100
	أكبر من 12500	50
جميع المرافق الأخرى	جميع الحمل بالواط	100

ويبين جدول -20 عوامل الطلب للأحمال المختلفة في مباني المكاتب والمستشفيات.

جدول (20)

عوامل الطلب في مباني المكاتب والمستشفيات

نوع الحمل الكهربائي	عامل الطلب/ المكاتب%	عامل الطلب/ المستشفيات%
الإنارة	95	90-70
المقابس	10	20-10
التكييف والتدفئة	100	100-90
أجهزة الطبخ	85-60	80-60
المصاعد	100-90	100-50
أحمال أخرى	30	80-60

وبشكل عام ولأغراض حساب مقاطع الكوابل والمغذيات، يمكن استخدام عامل الطلب الوارد في جدول -21.

جدول (21)

عوامل الطلب لأنواع الأحمال المختلفة

نوع الحمل الكهربائي	عامل الطلب%
الإنارة	80
المقابس	30
معدات الطبخ	65
معدات تنظيف وكوي الملابس	65
التدفئة والتكييف والتهوية	80
إعادة التسخين Reheat	70
سخانات المياه الكهربائية	60
المضخات	65

كذلك يمكن الاسترشاد بقيم عوامل الطلب الواردة في جدول -22 .

جدول (22)

عوامل الطلب للأحمال الكهربائية المختلفة

نوع الحمل الكهربائى	جزء الحمل الذي ينطبق عليه عامل الطلب أو طبيعة المرفق	عامل الطلب %
الإنارة المنزلية	أول 250 واط	100
	من 250 إلى 500 واط	60
	أكبر من 1000 واط	50
الإنارة في المنشآت التجارية	المطاعم	70
	المكاتب والمتاجر	70
	المسارح	60
	الصناعات الصغيرة	60
	المدارس، أماكن العبادة	55
	الفنادق	50
خدمات القدرة العامة	أول 7.5 كيلو واط	75
	من 7.5 إلى 15 كيلو واط	65
	من 15 إلى 75 كيلو واط	55
	أكبر من 75 كيلو واط	50

أما عوامل التشتت (التباين) النمطية فيبينها جدول -23 .

جدول (23)

عوامل التشتت (التباين) النمطية

	الإنارة المنزلية	الإنارة التجارية	خدمات القدرة العامة
بين المستهلكين	4-3 / 2-1	1.5	1.5
بين المحولات	1.3	1.3	1.3
بين المغذيات	1.2	1.2	1.2
بين محطات التحويل	1.1	1.1	1.1

إن قيم عوامل التشتت مبنية على الخبرة العملية، حيث أن الأحمال المختلفة لا تعمل في نفس الوقت، بل يكون بينها تشتت أو تباين، وهذا يعني أن مجموع الأحمال المتصلة في نقطة تغذية ما يكون أقل من أقصى طلب لمجموع هذه الأحمال. ويبين جدول -24 عامل التطابق (عامل التطابق هو معكوس عامل التشتت) لأعداد المستهلكين المختلفة والموجودين ضمن عمارة سكنية.

مثال :

عمارة سكنية من سبعة طوابق وبها (42) مستهلكاً، أي في كل طابق ستة مستهلكين. فإذا كان الحمل الكهربائي لكل مستهلك يساوي 8 ك.ف.أ. أحسب الطلب على القدرة الكهربائية لهذه العمارة والتي بناءاً عليها يتم حساب مقطع المغذي الرئيسي للعمارة.

الحل :

القدرة المركبة الكلية للعمارة = 42 x 8 = 336 ك.ف.أ.

جدول (24)

عامل التطابق للمستهلكين في العمارات السكنية

عدد المستهلكين	عامل التطابق %
4-2	100
9-5	78
14-10	63
19-15	53
24-20	49
29-25	46
34-30	44
39-35	42
49-40	41
50 وأكثر	40

وباستخدام عامل التطابق من جدول -24 ، نجد أن هذا العامل يساوي 41٪من هنا فإن الطلب الفعلي على القدرة يساوي :

$$336 * 41\% = 137.76 \text{ KVA.}$$

أما عامل التطابق للدارات المختلفة في لوحات التوزيع فيبينها جدول -25 .

جدول (25)

عامل التطابق للدارات المختلفة في لوحات التوزيع

عدد الدارات	عامل التطابق%
اللوحة مختبرة كلياً	
3 , 2	90
5 , 4	80
9-6	70
10 و أكثر	60
اللوحة جزئياً مفحوصة	100
في كل حالة إختار	

في الجدول السابق فإن عامل التطابق يُستخدم للدارات التي لا يوجد أي إرشاد حول كيفية توزيع الأحمال بين تلك الدارات . أما إذا كانت الدارات مخصصة لأحمال معينة فيمكن إيجاد عامل التطابق من جدول -26 .

جدول -26

عامل التطابق لدارات محددة الاستخدام

نوع الحمل في الدارة	عامل التطابق%
الإنارة	100
التدفئة والتكييف	100
المقابس	10-20*
لمصاعد الركاب والخدمة **	100
- لأكبر محرك	75
- للمحرك الثاني في القدرة	60
- لبقية المحركات	

* في المنشآت الصناعية فإن قيمة عامل التطابق للمقابس تكون أعلى .

** أن تيار المحرك الذي يؤخذ بالاعتبار يساوي التيار المقرر للمحرك ويضاف إليه ثلث تيار بدء التشغيل .

4.1 تقديرات الأحمال حسب الشركة السعودية الموحدة للكهرباء.

إن العنصر الرئيسي في هذه الطريقة هو تحديد مساحة البناء Covered area والتي تشكل العامل الهام في تقدير الأحمال الكهربائية للمستهلكين، كذلك تم تقسيم فئات المستهلكين إلى منزليين وتجاريين، ومن ثم وضعت جداول الأحمال النوعية القياسية وكذلك عامل الطلب لكل مستهلك.

أما فئات المستهلكين فهي :

المستهلك المنزلي Residential customer ويقصد به المنازل المنفصلة والشقق السكنية والفلل والقصور.

المستهلك التجاري Commercial customer ، ويندرج تحته المباني الحكومية ومجمعات المكاتب والمراكز التجارية والمستشفيات والمدارس والجوامع والفنادق والمطاعم.

المستهلك الصناعي Industrial customer وتضم الصناعات التي لديها ترخيص من وزارة الصناعة والتجارة بحيث يكون مجال نشاطها كما ورد في الترخيص.

المستهلك الزراعي Agricultural customer ويضم المزارع لإنتاج المحاصيل الزراعية، ومزارع الأغنام والأبقار والدواجن ومنتجات الألبان وكل ما له علاقة بالزراعة. ولأغراض حساب القدرة الكهربائية المطلوبة يعامل المستهلك الزراعي معاملة المستهلك الصناعي.

عامل الطلب ويعرف بأنه العلاقة بين الطلب الأقصى والحمل المترابط

$$DF = \frac{\text{Maximum demand}}{\text{Connected load}}$$

من هنا يمكن حساب الطلب الأقصى للحمل الكهربائي كما يلي :

Maximum demand load = Connected load x DF

عامل الطلب للمعدة الإفرادية Individual Equipment Demand Factor IEDF وهو عامل الطلب لمعدة معينة منفصلة ، وتتراوح قيمته بين 0.1 إلى 1.0 .

عامل التشتت (التباين) Diversity Factor وهو العلاقة بين مجموع الطلب الأقصى الإفرادي لمجموعة مستهلكين إلى الطلب الأقصى للنظام ككل في فترة زمنية معينة . ومعكوس عامل التشتت يُسمى عامل التطابق . تتراوح قيمة عامل التشتت بين 1.0و 1.8 .

الطلب الأقصى للمستهلك الإفرادي Individual Customer Maximum De-mand ICMD وهو الطلب الأقصى لمستهلك إفرادي والذي تحدث عادة خلال فترة ذروة التحميل .

الحمل التعاقدي Contracted Load وهو سعة تزويد القدرة من شركة الكهرباء ويكافئ مقرر قاطع الدارة الرئيسي الذي يتم تركيبه من قبل شركة الكهرباء ، وعادة يتم حساب تكاليف توصيل الكهرباء والتأمينات حسب مقرر قاطع الدارة .

ويبين جدول -27 الأحمال الكهربائية التقليدية للمستهلكين المنزليين ، حيث تم إعتماد عامل طلب يساوي 50% .

ويبين جدول -28 الأحمال الكهربائية التقليدية للمستهلكين التجاريين ، حيث تم إعتماد عامل طلب يساوي 60% .

لقد تم أخذ حمل التكييف في الجداول السابقة باستخدام وحدات تكييف غير مركزية ، لذلك في حالة وجود تكييف مركزي ، فيجب طرح حمل وحدات التكييف من الحمل المترابط الكلي وإضافة حمل التكييف المركزي ، ولغايات الحساب فقد تم إعتماد الحمل القياسي التالي لأغراض التكييف المركزي .

المستهلك المنزلي 100 ڤولط . أمبير/ متر مربع .

المستهلك التجاري 120 ڤولط . أمبير/ متر مربع .

وفي حالة كون المساحة المغطاة تقع بين رقمين في الجدول، فيمكن حساب الحمل المترابط بالكيلوفولط . أمبير كما يلي :

$$\text{Customer Connected Load } C = C_1 + \frac{(C_2-C_1)\,(F-F_1)}{F_2 - F_1}$$

حيث أن :

F : المساحة المغطاة للمستهلك .

F_1 : المساحة المغطاة في الجدول والتي تأتي مباشرة أسفل F .

F_2 : المساحة المغطاة في الجدول والتي تأتي مباشرة أعلى F .

C_1 : الحمل المترابط المناظر للمساحة F_1 .

C_2 : الحمل المترابط المناظر للمساحة F_2 .

أما بالنسبة لعامل القدرة Power Factor فقد تم إعتماد عامل قدرة لوحدات التكييف يساوي 0.9 ، بينما يساوي هذا العامل 0.75 للأجهزة والمعدات الأخرى .

وسنستعرض فيما يلي كيفية حساب الأحمال باستخدام جداول 28 أو27 .

1.4.1 إيجاد الحمل إذا كان التكييف من نوع الشباك أو الوحدات المنفصلة

أ) يجب أولاً تحديد المساحة المغطاة للبناء .

ب) إيجاد الحمل المترابط ، الطلب على الحمل من الجداول 27 أو 28 .

✓ إذا كانت قدرة وحدة التكييف المنفصلة أكبرمن 8 كيلو واط فتعامل معاملة التكييف المركزي .

الطلب المقدر = الحمل المترابط × 50٪

حمل التكييف = الحمل المترابط × 100 VA

جدول (27)

الأحمال الكهربائية التقديرية للمستهلكين المنزليين

المساحة المعطاة متر مربع	الجمل المترابط ك.ف.أ	حمل وحدة التكييف ك.ف.أ	الطلب المقدر ك.ف.أ	الحمل التعاقدي		حجم عداد الكهرباء أمبير
				مقرر القاطع أمبير	ك.ف.أ	
25	4	2.5	2	30	19.74	3x25(100)
50	8	5.0	4			
75	12	7.5	6			
100	16	10.0	8			
124	19	12.4	9.5			
125	20	12.5	10	60	39.48	3x25(100)
150	24	15.0	12			
175	28	17.5	14			
200	32	20	16			
225	36	22.5	18			
250	40	25	20			
275	43	27.5	21.5			
300	46	30	23			
312	47	31.2	23.5			
313	48	31.3	24	100	65.8	3x25(100)
325	50	32.5	25			
350	53	35	26.5			
375	56	37.5	28			
400	60	40	30			
425	63	42.5	31.5			
450	66	45	33			
475	70	47.5	35			
500	73	50	36.5			
525	76	52.5	38			
550	80	55	40			
575	83	57.5	41.5			
599	85	59.9	42.7			
600	86	60	43	150	98.7	3x40(160)
625	90	62.5	45			
650	93	65	46.5			
675	96	67.5	48			
700	100	70	50			
725	103	72.5	51.5			
750	106	75	53			
775	110	77.5	55			
800	113	80	56.5			
825	116	82.5	58			
850	120	85	60			
875	123	87.5	61.5			

F2

F1

تابع جدول (27)

			63	90	126	900
			65.2	93	130	930
محول تيار	131.6	200	65.35	93.1	131	931
			66.5	95	133	950
			68	97.5	136	975
			70	100	140	1000
			71.5	102.5	143	1025
			73	105	146	1050
			75	107.5	150	1075
			76	110	152	1100
			78	112.5	156	1125
			80	115	160	1150
			81.5	117.5	163	1175
			82	118.8	164	1188
محول تيار	197.4	300 أنظر ملاحظة رقم 1	82.5	118.9	165	1189
			83	120	166	1200
			90	130	180	1300
			96.5	140	193	1400
			103	150	206	1500
			110	160	220	1600
			115	167.9	230	1679
محول تيار	263.2	400	115.5	168	231	1680
			116.5	170	233	1700
			123	180	246	1800
			130	190	260	1900
			131.5	192.3	263	1923
محول تيار	329	500	132	192.4	264	1924
			136.5	200	273	2000
			143	210	286	2100
			150	220	300	2200
			156.5	230	313	2300
			163	240	326	2400
			170	250	340	2500
			176.5	260	353	2600
			183	270	366	2700
			190	280	380	2800
			196.5	290	393	2900
			197.5	291.6	395	2916
محول تيار	526.4	800	198	291.7	396	2917
			203	300	406	3000
			263	389	526	3890

ملاحظة رقم 1- استخدام مصهرات ذات مقرر 400 أمبير بدلاً من مصهرات بمقرر 300 أمبير .

الطلب المقدر = الحمل المترابط * 0.5

الحمل المترابط = الحمل المتكيف * 120 VA / المساحة

جدول (28)

الأحمال الكهربائية التقديرية للمستهلكين التجاريين

المساحة المعطاة متر مربع	الحمل المترابط ك.ف.أ	حمل وحدة التكييف ك.ف.أ	الطلب المقدر ك.ف.أ	الحمل التعاقدي		حجم عداد الكهرباء أمبير
				مقرر القاطع أمبير	ك.ف.أ	
25	6	3	3.6	30	19.74	3x25(100)
50	10	6	6			
75	16	9	6.9			
92	19	11	11.4			
93	20	11.2	12	60	39.48	3x25(100)
100	22	12	13.2			
125	27	15	16.2			
150	32	18	19.2			
175	38	21	22.8			
200	43	24	25.8			
224	47	26.9	28.2			
225	48	27	28.8	100	65.8	3x25(100)
250	54	30	32.4			
275	59	33	35.4			
300	64	36	38.4			
325	70	39	42			
350	75	42	45			
375	80	45	48			
399	85	47.9	51			
400	86	48	51.6	150	98.7	3x40(160)
425	91	51	54.6			
450	96	54	57.6			
475	102	57	61.2			
500	107	60	64.2			
525	112	63	67.2			
550	118	66	70.8			
575	123	69	73.8			
600	128	72	76.8			
611	130	73.3	78			
612	131	73.4	78.6	200	131.6	محول تيار
625	134	75	80.4			
650	139	78	83.4			
675	144	81	86.4			
700	150	84	90			
725	155	87	93			
750	160	90	96			
772	164	92.6	98.4			

تابع جدول (28)

773	165	92.8	99	300	197.4	محول تيار
775	166	93	99.6	أنظر		
800	171	96	102.6	ملاحظة رقم		
825	176	99	105.6	1		
850	182	102	109.2			
875	187	105	112.2			
900	192	108	115.2			
925	198	111	118.8			
950	203	114	121.8			
975	208	117	124.8			
1000	214	120	128.4			
1025	219	123	131.4			
1050	224	126	134.4			
1075	230	129	138			
1076	231	129.1	138.6	400	263.2	محول تيار
1100	235	132	141			
1125	240	135	144			
1150	246	138	147.6			
1175	250	141	150			
1200	256	144	153.6			
1233	263	148	157.8			
1234	264	148.1	158.4	500	329	محول تيار
1300	278	156	166.8			
1400	299	168	179.4			
1500	320	180	192			
1600	342	192	205.2			
1700	363	204	217.8			
1800	384	216	230.4			
1852	395	222.2	237			
2917	396	291.7	198	800	526.4	محول تيار
1853	396	222.4	237.6			
1900	405	228	243			
2000	427	240	256.2			
2100	448	252	268.8			
2200	469	264	281.4			
2300	491	276	294.6			
2400	512	288	307.2			
2465	526	295.8	315.6			

ملاحظة رقم 1- استخدام مصهرات ذات مقرر 400 أمبير بدلاً من مصهرات بمقرر 300 أمبير .

2.4.1 إيجاد الحمل في حالة التكييف المركزي

أ) تحديد المساحة المغطاة Covered area في البناء .

ب) تحديد الحمل المتصل Connected Load الكلي من الجداول .

ج) تحديد حمل وحدات التكييف من الجداول .

د) يتم طرح حمل وحدات التكييف من الحمل الكلي المتصل ، ثم يضاف حمل التكييف المركزي إذا كان معروفاً ، أوحسابه باستخدام الحمل القياسي للمتر المربع . إذا كان حمل التكييف المركزي أقل من حمل وحدات التكييف فيتم إهماله .

هـ) يتم حساب الطلب على الحمل كما يلي :

Demond Load = (Non AC Connected Load x DF) + Central AC Load

3.4.1 حساب الحمل في المشاريع المنزلية والتجارية المشتركة

أ) تحديد المساحة المغطاة في البناء والمستخدمة للأغراض المنزلية ، وكذلك تلك المساحة المغطاة والمستخدمة للأغراض التجارية .

ب) إيجاد الحمل الكلي المتصل والطلب على الحمل لكل إستخدام من الجدول .

ج) حساب الطلب الكلي على الحمل كما يلي :

$$\text{Total Combined Demand Load} = \text{Single Largest Demand} + \frac{\text{Sum of Remaining Demands}}{\text{Diversity Factor (of Remaining Demand)}}$$

4.4.1 حساب الحمل في المشاريع التي تحتوي على تكييف مركزي ومكيفات الشباك

أ) تحديد المساحة المغطاة في البناء والتي يتم تكييفها مركزياً وكذلك تحديد المساحة التي يتم تكييفها بواسطة مكيفات الشباك .

ب) تحديد الحمل الكهربائي المتصل وحمل مكيفات الشباك للمساحة التي يتم تكييفها بواسطة مكيفات الشباك .

ج) تحديد الحمل الكهربائي المتصل والطلب على الحمل للمساحة المكيفة مركزياً .

د) حساب الحمل الكلي المتصل للمستهلك كما يلي :

Total Connected Load= Connected Load for Central AC Area + Connected Load for Unit AC Area .

هـ) حساب الطلب الكلي على الحمل للمستهلك كما يلي :

Total Demand Load = Demand Load for Central AC Area + Connected Load for Unit AC Area x DF.

5.4.1 حساب الأحمال للمشاريع ذات الارتفاع الداخلي العالي

في حالة كون إرتفاع المساحة المغطاة عالياً (أي يزيد على 3.5 متراً) فيجب أن نأخذ بعين الاعتبار أن حمل التكييف فيها سيكون أكبر مقارنة مع حمل التكييف للمشاريع ذات الارتفاعات العادية . إن الأضافة في الحمل الكهربائي تحسب كما يلي :

$$\text{Additional AC Load (KVA)} = \left[\frac{\text{Total Height - Standard Height}}{\text{Standard Height}} \times \text{Unit AC Load of Covered Area}\right] \times 0.7$$

والحمل الذي نحصل عليه من المعادلة السابقة يجب إضافته إلى الحمل الكهربائي .

5.1 الطلب الموحد على الحمل الكهربائي

يبين جدول -29 عامل الطلب للمعدات الكهربائية الإفرادية والمستخدمة في المشاريع . ويتم عادة تصميم اللوحات الرئيسية ومحولات التوزيع باستخدام ما يُسمى الطلب الموحد Combined Demand على الحمل الكهربائي ، حيث أن الطلب على

الحمل الكهربائي للمستهلكين المختلفين لا يتطابق دوماً. ولحساب الطلب الموحد نستخدم المعادلة التالية :

CD= ICMD of the Largest Customer + (Sum of the ICMDs of the remaining customers) ÷ Diversity Factor (of remaining customers).

$$CD = ICMD\ (L) + ((ICMD1 + ICMD2 + \ldots) \div DvF)$$

حيث أن :

CD- الطلب الموحد.

ICMD- الطلب الأقصى للمستهلك الإفرادي.

DvF- عامل التشتت (التباين).

ويمكن حساب عامل التشتت كما يلي :

$$D_vF = \frac{1.25}{\left[0.67 + \frac{0.33}{\sqrt{N}}\right]}$$

جدول (29)

عامل الطلب لبعض المعدات الإفرادية

نوع المعدة/ الجهاز	عامل الطلب، %			
	منزلي	تجاري	صناعي	زراعي
تكييف مركزي	100	100	100	100
وحدات تكييف شباك	60	60	70	70
الإنارة (الداخلية/ الخارجية)	100	100	100	100
تثليج/ تبريد	60	60	60	60
المراوح	20	20	20	20
الأجهزة المستخدمة في المطبخ	20	20	20	-
سخانات الماء	20	20	20	-
معدات تنظيف وكوي الملابس	20	20	20	-
المعدات المستخدمة في مناطق الاستجمام	20	20	-	-
الأجهزة المستخدمة في الخدمة	20	20	20	-
الأجهزة المستخدمة في المكاتب/ المختبرات	-	20	20	-
المحركات المستخدمة في الورش	-	25	25	-
المحركات المستخدمة في الصناعة والإنتاج	-	-	60	-
عمليات التسخين باستخدام الأفران Ovens	-	-	35	-
عمليات التسخين باستخدام المواقد Fur-nances	-	-	70	-
أجهزة متنوعة غير مذكورة سابقاً	10	10	10	10

- أو يمكن إستخدام جدول -30 لايجاد عامل التشتت .

جدول (30)

عامل التشتت

عدد المستهلكين في المجموعة (N)	عامل التشتت DvF	عدد المستهلكين في المجموعة (N)	عامل التشتت DvF
1	1.000	9	1.603
2	1.383	10	1.615
3	1.453	15-11	1.656
4	1.497	20-16	1.681
5	1.529	30-21	1.712
6	1.553	50-31	1.745
7	1.572	100-50	1.798
8	1.590	أكثر من 100	1.800

6.1 مساحات غرف محطات التحويل وغرف الكهرباء

إن الهدف الرئيسي من حساب الأحمال الكهربائية في مرحلة التصميم الأولي هومعرفة مقررات اللوحات الرئيسية ومعدات الإبدال ومدى الحاجة إلى محول توزيع خاص بالمبنى ، وبناءً على هذه المقررات يمكن تقدير وحساب المساحات المطلوبة وأية متطلبات أخرى تتعلق بالإنارة والتهوية والمخارج .

إن توزيع وترتيب اللوحات والمعدات في غرف الكهرباء يخضع لعملية ضمان أمن وسلامة الأشخاص والممتلكات ، لذلك لابد أن نراعي مسافات إبراء Clearances حسب متطلبات الكودة حول هذه المعدات لضمان سلامة حركة الأشخاص داخل الغرفة دون تعرضهم للخطر . ومن المهم أيضاً دراسة كيفية خروج كوابل التغذية إلى كل اللوحات في المبنى وكذلك دخول كوابل التغذية الرئيسية عن طريق ايجاد وتخطيط الخنادق الأرضية Trenches الملائمة وكذلك قنوات Ducts الكوابل .

ويبين جدول 31- القيم الإرشادية لعرض قنوات الكوابل الصاعدة، علماً بأن عمق القناة في هذه الحالة يتراوح بين 10 إلى 15 سم في الجدران والسقوف الخرسانية. إن المجاري والقنوات وأية فتحات في جسم المبنى الإنشائي لابد أن يتم تنسيقها مع المهندس الإنشائي للمبنى لأخذ موافقته المسبقة لأن ذلك يتعلق بسلامة المبنى الإنشائية.

جدول (31)

القيم الإرشادية لعرض قنوات الكوابل الصاعدة

عدد الطوابق	مباني سكنية عالية	مباني طبية، علمية وتدريبية	مباني مكاتب ومتاجر
	عرض القناة أو الفتحة		
2	10	20	30،
4	10	40	60
6	15	60	90
8	40	80	120
10	50	100	150
12	60	120	180
أعلى من 12	حسب المتطلبات		

وعادة، فإذا زاد الحمل عن حد معين فإن المستهلك يؤمن مساحة معينة لأغراض تركيب محطة تحويل خاصة به، حسب الآتي: إذا كانت ڤولطية المستهلك220/127 ڤولط :

المستهلك المنزلي : إذا زادت مساحة البناء على 1100 متر مربع أو زاد الحمل على 152 ك.ف.أ.

المستهلك التجاري : إذا زادت المساحة على 711 متر مربع أو زاد الحمل على 152 ك.ف.أ.

المستهلك المنزلي/ التجاري : إذا زاد الحمل على 152 متر مربع.

وقد تتغير الأرقام السابقة حسب متطلبات شركة الكهرباء المحلية والتي تقوم بتزويد المرفق بالتيار الكهربائي .

أما إذا كانت ڤولطية المستهلك 380/220 ڤولط ، فإن الأرقام الإرشادية تكون كما يلي :

المستهلك المنزلي : إذا زادت المساحة على 1923 متر مربع أو زاد الحمل الكهربائى على 263 ك . ف . أ .

المستهلك التجاري : إذا زادت المساحة على 1233 متر مربع أو زاد الحمل الكهربائى على 263 ك . ف . أ .

المستهلك المنزلي/ التجاري : إذا زاد الحمل على 263 ك . ف . أ .

وإعتماداً على مجموع الأحمال الكهربائية للمشروع يتم إختيار قدرة محول التوزيع الذي بواسطته تتم تغذية المشروع بالقدرة الكهربائية اللازمة . وهناك ثلاث فئات معتمدة لمقررات محولات القدرة وهي :

1- الفئة الأولى Category I : وتحدد قدرات محولات القدرة حتى 3150 ك . ف . أ .

2- الفئة الثانية Category II : وتتراوح قدرة محولات القدرة من 3150 ك . ف . أ وحتى 40 ميجا ڤولط . أمبير .

3- الفئة الثالثة Category III : وهي المحولات التي قدرتها أكبر من 40 ميجاڤولط . أمبير .

ولابد أن نولي عناية إلى نوع المحول المُستخدم هل هو من النوع الجاف Dry type أم من النوع المغمور بالزيت Oil immersed ، والأخير يُستخدم في المناطق التي يوجد فيها إحتياطات كافة ضد الحرائق . ويُنصح في المباني العامة والسكنية استخدام محولات Askarel immersed transformer أو محولات Cast Resin والتي لا تُشكل خطورة أثناء الحريق .

أما أبعاد Dimensions المحولات فإنها تعتمد على قدرة المحول، حيث يبين جدول -32 أبعاد المحولات قدرة 630 ك . ف . أ وقدرة 1600 .

جدول (32)

أبعاد المحولات

قدرة المحول	العرض	الطول	الارتفاع
ك . ف . أ	مم	مم	مم
630	1030	1850	1960
1600	1400	2200	2850

أما أدنى إرتفاع لغرفة المحول فيجب أن يساوي إرتفاع المحول بالإضافة إلى 500مم كحد أدنى كمسافة إبراء .

كذلك لابد من وجود ممر حول المحول، ويكون هذا الممر بعرض لا يقل عن 700مم للمحولات التي قدرتها 630 ك . ف . أ وأقل، و 750 مم للمحولات التي قدرتها 1600 ك . ف . أ وأقل.

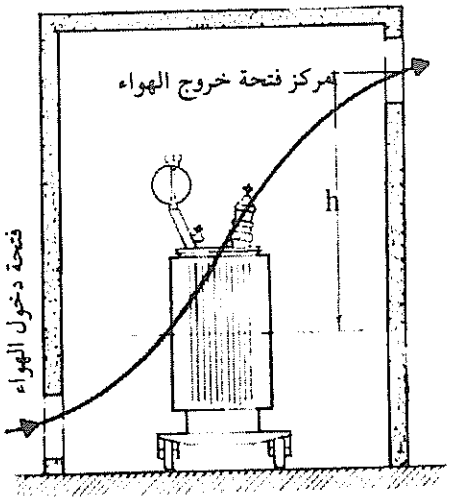
وعادة تُصنع أرضية غرفة المحول إما من الإسمنت المسلح بميلان (1-2) درجة باتجاه حفرة التجميع، أو توضع عوارض حديدية مرتفعة عن الأرض ليتم وضع المحول عليها، ويجب أن لا تقل حفرة التجميع عن 0.6 م3، وذلك لاستيعاب زيت المحول. أما إذا كانت الأرضية مرفوعة على عوارض حديدية فيجب وضع خزان حديدي بسعة لا تقل عن 0.7م3 تحت كل محول .

ولابد أن نراعي التهوية الجيدة في غرفة المحول، بحيث يكون لها فتحة سفلية Inlet air opening، وفتحة علوية في الجهة المقابلة لخروج الهواء الساخن Outlet-air opening . وتشير التنظيمات إلى السماح بارتفاع درجة حرارة غرفة المحول 1.5 درجة مئوية عن الوسط المحيط . إذا كانت الفتحات مزودة بشبك، فيجب زيادة مساحة الفتحة كما يلي :

زيادة مساحة الفتحة 10% إذا كانت مزودة بشبك بسيط .

زيادة مساحة الفتحة 50% إذا كانت مزودة بشبك وغطاء Shutter .

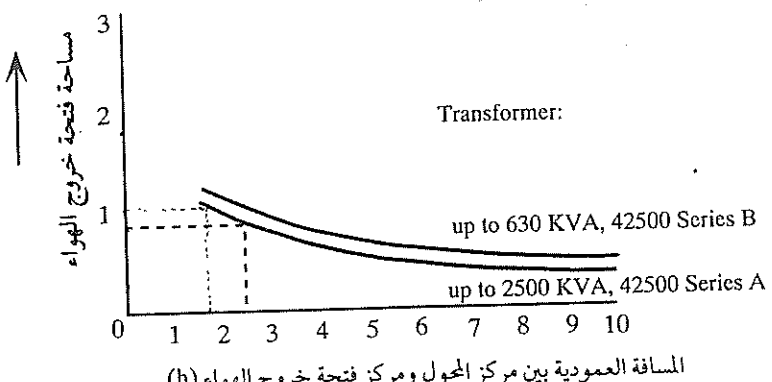
ولتحديد مساحة فتحة خروج الهواء، لابد أن نحدد المسافة h بين منتصف المحول ومركز فتحة الهواء كما يبين شكل -3 .



شكل – 3

تحديد المسافة بين منتصف المحول ومركز فتحة خروج الهواء

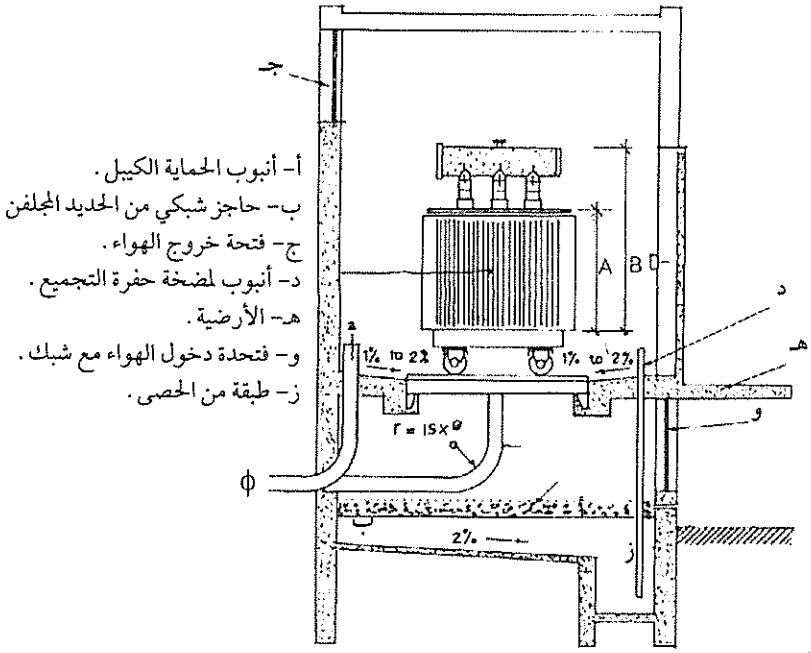
وبمعرفة h يمكننا استخدام المنحنيات الواردة في شكل -4 ونحدد منها مساحة فتحة خروج الهواء . أما فتحة دخول الهواء فتكون عادة أقل من مساحة فتحة خروج الهواء بـ 10% إضافة إلى الزيادات المقررة حسب نوع الشبك الموجود على الفتحة .



شكل – 4

مثال محلول :

لدينا محول قدرته 1500 ك . ف . أ، سيتم وضعه داخل غرفة خاصة به، أحسب مساحة الغرفة وفتحات الهواء اللازمة، إذا كانت فولطية المحول هي 7.2 ك . ف/ 0.48 ك . ف .



شكل - 5

الحل :

سيتم وضع المحول على عوارض حديدة كما يبين شكل -5، والمسافة بين العوارض الحديدية وأرضية الغرفة تساوي 0.7 متر .

من أية نشرة فنية للمحولات نجد أن طول المحول = 2320 مم (من جدول -32 الطول يساوي تقريباً 2200 مم)، وعرض المحول = 1920 مم (من جدول -32 العرض يساوي 1400 مم) وإرتفاع المحول 2900 مم، أما إرتفاع جسم المحول = 1640مم، أي أن :

A= 1640 mm

B= 2900 mm

كما يبين ذلك شكل -5.

أدنى ارتفاع للغرفة= ارتفاع العوارض الحديدية عن أرضية الغرفة + ارتفاع المحول الكلي + 0.5 .

$$\text{Min. Height} = 0.7 + 2.900 + 0.5 = 4.1 \text{ m}$$

أدنى مساحة للغرفة = (طول المحول + عرض الممر) × (عرض المحول + عرض الممر).

للمحولات التي قدرتها 1600 ك . ف . أ وأقل فإن أدنى عرض للمر = 0.75 م .

نفترض أن عرض الممر هو 1 م .

مساحة الغرفة = (1 + 2.32) x (1 + 1.92) = 10 أمتار تقريباً .

لذلك نأخذ غرفة طولها 3.5 متراً وعرضها 3 أمتار (المساحة تساوي 10.5م2)

نحسب الآن المسافة h كما يلي :

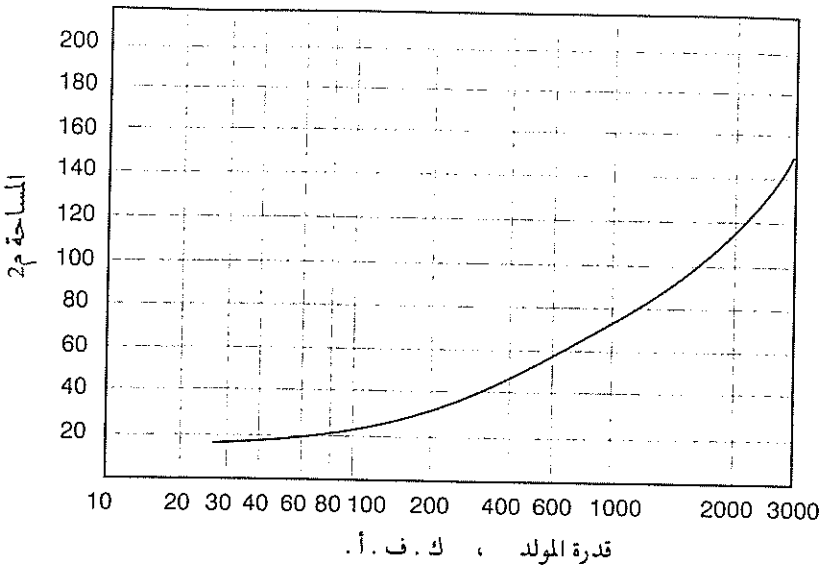
$$h = \frac{A}{2} + (B-A) + 0.5 = \frac{1.64}{2} + (2.9-1.64) + 0.5 = 2.58 \text{ m}$$

من شكل -4 ، نجد أن مساحة فتحة خروج الهواء تساوي 0.8م2 .

مساحة فتحة دخول الهواء تساوي = 0.8x1.1=0.88 م2 .

وبما أن الفتحة مزودة بشبك فيجب زيادة فتحة دخول الهواء بنسبة 10% . أي أن مساحة فتحة دخول الهواء تصبح 1.1x0..85=0.968م2 .

وفي كثير من المشاريع يتطلب الأمر وجود مولد كهربائى إحتياطي لتغذية الأحمال الحرجة Critical Loads والتي لا يُسمح بانقطاع التيار الكهربائي عنها . ويجب أن تكون غرفة المولد الاحتياطي كافية من حيث المساحة لتركيب المولد والأجهزة اللازمة لتشغيله ، وكذلك لإجراء عمليات الصيانة له ، مع الأخذ بعين الاعتبار وجود مسافة لا تقل عن متر إلى 0.8 متر بين الجدار والمولد . وهناك علاقة Correlation بين قدرة المولد الكهربائى الاحتياطي ومساحة الغرفة كما يبين ذلك شكل -6 .



شكل – 6

العلاقة بين قدرة لمولد الاحتياطي ومساحة غرفة المولد .

ويجب أن نولي عناية خاصة لارتفاع غرفة المولد، حيث يتطلب الأمر في بعض المشاريع تركيب رافعة Winch فيها لغايات تركيب المولد وصيانته، لذلك لايجب أن يقل إرتفاع الغرفة عن 5.5 م .

أما إذا كان لدينا أكثر من مولد واحد فلا يجوز إستخدام المنحنى الوارد في شكل – 6، ولغايات تحديد المساحة، يُحبذ إستخدام جدول -33 الذي يبين العلاقة بين مساحة غرفة المولدات وعدد المولدات وقدرة كل مولد .

جدول (33)

مساحة غرفة المولدات وعلاقاتها بقدرة المولد وعدد المولدات

عدد المولدات		1	2	3	4	5	6
أبعاد الغرفة، متر		ط × ع	ط × ع	ط × ع	ط × ع	ط × ع	ط × ع
قدرة المولد كيلو فولط أمبير	2500	12x30					
	3750	12x31					
	5000	12x32					
	6250	12x33					
	7500	12x34	18x31				
	10000		18x32				
	12500		18x34				
	17500		24x34	32x33	38x32		
	25000					38x34	44x33

وعند إختيار المولدات الاحتياطية يجب أن تكون قدرتها كافية لتغطية الأحمال الأساسية (الحرجة) Essential Loads. من هنا فإن:

$$S_G = S_T \times F_L$$

حيث أن:

S_G- قدرة المولد.

S_T- الحمل الأساسي الكلي.

F_L- عامل التحميل Loading Factor.

وعادة، فإن الأحمال الأساسية تتكون من أحمال المحركات والأحمال أحادية الطور (الإنارة، الأجهزة، .... الخ).

ولتحديد أحمال المحركات بالكيلوفولط. أمبير نستخدم المعادلة التالية:

$$S_m = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{P_{mi}}{\cos \alpha_i * \eta_i}$$

حيث أن :

S_m- قدرة المحركات الكلية ، ك . ف . أ .

P_{mi}- القدرة الفعلية للمحرك i ، ك . و .

$\cos \alpha_i$- عامل القدرة للمحرك i .

η_i- فاعلية المحرك i .

أما أحمال الإنارة أحادية الطور ، فإن قدرتها بالكيلوفولط . أمبير تساوي :

$$S_L = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{P_2}{\cos \alpha_i}$$

حيث أن :

S_T- أحمال الإنارة الكلية ، ك . ف . أ .

P_i- حمل الإنارة i بالكيلو واط .

$Cos\ \alpha_i$- عامل القدرة لحمل الإنارة .

وبعد جمع كل القدرات الظاهرية Apparent power لجميع الأحمال نستطيع تحديد القدرة الظاهرية للمولد ، والتي يُحبذ أن تزيد بنسبة 20% كعامل إحتياطي مستقبلي .

$$S_G = 1.2 \times S_T \times F_L$$

وتعتبر عملية تحديد قدرة المولد عملية مهمة حتى نتجنب تقليل الحجم Undersizing أو زيادة الحجم Oversizing . فتقليل حجم المولد يؤدي إلى قصر العمر التشغيلي للمولد وتقليل فترات الصيانة ، إضافة إلى عدم مقدرة المولد من تغطية أية زيادة في الأحمال مستقبلاً . أما زيادة حجم المولد فتؤدي إلى زيادة فترة الصيانة وتقليل العمر الافتراضي للآلة بسبب عدم الاحتراق الكلي . وعادة ، فإن أدنى حمل يجب أن يغذيه المولد يجب أن لا يقل عن 30% من قدرة المولد الاحتياطية . لذلك فإذا كانت الأحمال الحالية قليلة ولكن يتوقع زيادتها بشكل كبير في المستقبل فيحبذ إختيار

وحدة صغيرة الآن ثم تُضاف الوحدات تباعاً في المستقبل، وعندها يجب أن نأخذ بعين الاعتبار وجود لوحة تشغيل المولدات على التوازي Synchronizing Panel.

كذلك لابد أن نولي عناية خاصة بالنسبة إلى المكان الذي سيُركب فيه المولد، ونعني بذلك درجة الحرارة والرطوبة النسبية والضغط الجوي، لأن لهذه العوامل تأثير مباشر على قدرة المولد.

وكدليل إرشادي فيحبذ تخفيض Derate قدرة المولد بنسبة 1% لكل إرتفاع في درجة الحرارة مقداره درجتان أعلى من درجة 27 درجة مئوية. كذلك، يُحبذ تخفيض قدرة المولد بنسبة 1% لكل زيادة في الارتفاع مقدارها 100متر زيادة على الأرتفاع الأساسي وهو 150 متراً. أما زيادة نسبة الرطوبة النسبية فوق 60% فيُحبذ تخفيض القدرة لكل 10%زيادة في الرطوبة النسبية.

ومن الأمور المهمة في تحديد قدرة المولدات الاحتياطية هو دراسة نوع الحمل المطلوب من المولد تغذيته، وخاصة أحمال المحركات. لذلك يُحبذ الاسترشاد بالقواعد التالية:

1- تتسبب المحركات الكبيرة عند بدء تشغيلها في هبوط الفولطية والتردد أثناء عملية تشغيلها، وهذا قد يؤثر على المنوال التشغيلي للأجهزة المربوطة على المولد. لذلك يُفضل في حالة تشغيل هذه المحركات أن يتم تشغيلها على التوالي حتى لا تُسبب هبوط فولطية Voltage dips كبير.

2- في حالة كون هذه المحركات هي محركات مصاعد وروافع، فلابد أن نأخذ بعين الاعتبار مقدرة المولد على إمتصاص الطاقة عندما تعمل هذه المصاعد والروافع في حالة النزول، لأن ذلك قد يؤدي إلى زيادة سرعة المولدات. وعادة، فإن المولدات تستطيع إمتصاص طاقة تُعادل 20-25% من مقررها دون أن يؤدي ذلك إلى زيادة سرعتها عن الحد المقرر.

3- لابد أن نولي عناية خاصة إذا كانت الأحمال هي عبارة عن أحمال تيار مستمر ناتج عن استخدام Thyristors (مثل أحمال البطاريات أو تغذية القدرة غير

المنقطعة UPS (uninterruptible power supply) أو قيادات المحركات ذات السرعة المتغيرة Variable speed motor drives ، لأن ذلك قد يؤدي إلى تشويه شكل موجه الفولطية Voltage distortion .

أما حجم خزان الوقود اللازم تركيبه للمولد ، فيمكن تقدير حجمه التقريبي باستخدام قاعدة بسيطة تقول بأن المولد يستهلك جالون (3.785 لتراً) من الوقود لإنتاج 8 كيلو واط في الساعة ، مع ضرورة إضافة 6-10% إلى حجم الخزان لأغراض تكوين الرطوبة في الخزان Accumulation of condensation of sediment .

الفصل الثاني

إختيار مقاطع الموصلات الكـ

1.2 الموصلات الكهربائية والعازلية

الموصلات الكهربائية Electrical conductors هي عبارة عن [illegible] التي تستخدم في نظم التمديدات الكهربائية . تُصنع المادة الموصلة من النحاس أو الالومنيوم أو سبائكهما . ويكمن الفرق الرئيسي بينهما في المقاومة النوعية Specific Resistance أو المقاومية Resistivity . وبما أن المقاومة النوعية للنحاس أقل من الالومنيوم ، فيلزمنا مقطع كابل من الالومنيوم أكبر من النحاس لتمرير نفس التيار الكهربائي .

ويعود الاستخدام الواسع للنحاس كمادة موصلة في الاسلاك والكوابل إلى أن موصليته عالية مقارنة مع المعادن التجارية الأخرى ، وإلى خصائصه الميكانيكية الجيدة تحت درجات الحرارة المختلفة وإلى مقاومته الجيدة للصدأ Corrosion .

إن النحاس عالي الموصلية High conductivity copper له موصلية تساوي 100% IACS حيث أن IACS هي إختصار إلى Interntional Annealed Copper Standard - قياسية النحاس الملدّن الدولية .

ويبين جدول -1 خصائص المواد التي تُصنع منها الاسلاك والكوابل .

الموصلية σ

المقاومية (المقاومة النوعية) ρ

ρ = 1/σ

جدول (1)

خصائص المواد التي تُصنع منها الأسلاك والكوابل الكهربائية

الخاصية	نحاس ملدّن	نحاس مسحب قاسي	الومنيوم مسحب قاسي	سبيكة الومنيوم	الصلب المجلفن
الموصلية ٪ *	100	97	61	53.5	-
المقاومية . أوم . مم2/ كم	17.241	17.71	28.264	32.2	-
الكثافة في درجة 20°م غم/ سم3	8.89	8.89	2.703	2.7	7.78
المعامل الحراري للمقاومة	0.00393	0.00381	0.00403	0.0036	-
معامل التمدد الحراري في درجة 20م	$17x10^{-6}$	$17x10^{-6}$	$23x10^{-6}$	$23x10^{-6}$	$11.5x10^{-6}$

* وحدة قياس الموصلية نسبة مئوية من IACS وهي قياسية النحاس الملدّن الدولية .

وتستخدم المواد الصلدة العضوية كمواد عازلة في صناعة الاسلاك والكوابل الكهربائية ، ومعظم المواد الصلدة تنتمي إلى مجموعة عالية البلمرة . والبلمرة عبارة عن عملية توحيد جزئيات المادة الأصلية وتكوين جزئيات كبيرة عالية البلمرة بدون تغيير التركيب الأولي . وتستخدم المواد التالية كمواد عازلة للاسلاك والكوابل وهي : البولي فينيل كلورايد ، المطاط المصلد ، اللدائن البلاستيكية ، المواد الليفية ، المواد الشمعية ، والورق والكرتون والالياف .

أ- البولي فينيل كلورايد

تعتبر مادة البولي فينيل كلورايد Polyvinel chloride (PVC) من أكثر المواد العازلة استخداماً ، وهي عبارة عن مسحوق أبيض تصنع منه منتجات ذات متانة ميكانيكية مرتفعة ، إن صمود هذه المادة ضد تأثير الزيوت المعدنية والعديد من المذيبات والقلويات والأحماض يجعل منها مادة غير قابلة للاشتعال .

ومن عيوب هذه المادة أنها تصبح مادة لدنة عند درجات حرارة أعلى من 80° م ولذلك فالكابل المعزول بهذه المادة يجب أن لا يستخدم في درجة حرارة أعلى من

70م، وكذلك فإن هذه المادة لا تهترئ مع مرور الزمن، ولذلك لا الأسلاك المعزولة بهذه المادة.

ب- المطاط المصلد

وتُسمى عملية تصليد المطاط بالكبريت (أو بمادة أخرى) بعملية الف zation، ومن هنا، فيسمى المطاط بـ Vulcanization India rubber، أو Vul-canised rubber insulation، ويُستعمل المطاط على نطاق واسع في صناعة الأسلاك والكوابل. والمادة الخام الأساسية لاعداد جميع أنواع المطاط هي الكاتشوك الطبيعي والاصطناعي.

ويتم الحصول على الكاتشوك الطبيعي من عصير النباتات الاستوائية. ويتكون الكاتشوك من جزيئات الايزوبرين Isoprene، وتتحد هذه الجزيئات فيما بينها مكونة سلاسل جزيئية طويلة.

يتمتع الكاتشوك بمرونة فائقة (أي القدرة على الاستطالة)، وهو ينتمي إلى مجموعة المواد المسماة بالالستوميرات Elastomer، فالاستطالة النسبية للكاتشوك عند القطع تصل إلى 400%-500%، وعند إرتفاع درجة الحرارة يصبح الكاتشوك مرناً أي يصبح قادراً على الانسياب. وتعد لدونة الكاتشوك من الخصائص الضرورية عند إنتاج المطاط، حيث أن ذلك يساعد على تحسين قدرته على الاختلاط مع عوامل طبخ المطاط Vulcanizers ومواد الحشو اللازمة والمواد الملدنة (الملدنات).

يحتوي الكاتشوك على مواد تذوب في الماء، لذلك يمتص الكاتشوك الماء بسهولة الأمر الذي يؤدي إلى تدهور خصائص العزل الكهربائي فيه بشكل واضح.

يُستخدم الآن على نطاق واسع الكاتشوك الاصطناعي، ولا يُستخدم الكاتشوك الطبيعي أو الاصطناعي في حالة نقية، وذلك لانخفاض متانته عند الشد ومرونته عند درجات الحرارة المنخفضة ولارتفاع مقدرته على إمتصاص الرطوبة. وبكبس المطاط على الساخن نحصل على مادة عازلة مصمتة تُغطي الاسلاك والكوابل. ولاكساب المطاط مرونة ومتانة ميكانيكية وصموداً ضد الصقيع وخصائص أخرى يُعرّض لعملية

طبخ (فلكنة)، أي تُعامل الطبقة المطاطية الموجودة على الاسلاك والكوابل حرارياً عند درجة حرارة تتراوح من 140° الى160° م. وفي سياق عملية الطبخ يدخل الكبريتُ في تفاعل كيماوي مع جزيئات الكاتشوك ويربطها الواحدة مع الأخرى، الأمر الذي يُكسب المطاط متانة ميكانيكية عالية مقارنة مع الكاتشوك. أما الكبريت الذي لم يتفاعل مع جزيئات الكاتشوك فإنه يظل حراً، ومع مرور الزمن يبرز على سطح المطاط، ويمكن بذلك أن يدخل في تفاعل كيماوي مع المعدن المتاخم للمطاط، ويؤدي هذا التفاعل عند استعمال المطاط لعزل اسلاك النحاس الى تكوين كبريتيد النحاس الذي يؤثر تأثيراً سيئاً، لهذا فان المطاط يُصَب على أسلاك النحاس بعد قصدرتها أي تبيضها Tinned وذلك لعزل النحاس عن الكبريت.

من أهم مميزات المطاط أن خصائصه تتغير مع الزمن حيث تقل مقاومته ضد السوائل المختلفة، ويقل صموده الحراري والصمود ضد الصقيع وامتصاصه للماء، ويؤدي تعتيق المطاط إلى تدهور خصائصه الميكانيكية وخصائص العزل الكهربائي، لذلك يُستحسن تغيير الكوابل المعزولة بالمطاط بعد مرور 20 الى 30سنة.

ج- اللدائن (البلاستيك) العازلة للكهرباء

تُسمى اللدائن أو البلاستيك بالمواد القادرة في حالتها الساخنة على إكتساب لدونة مرتفعة، أي القادرة على إكتساب شكل معين لاي منتج والاحتفاظ بهذا الشكل.

واللدائن في الغالبية العظمى من الحالات هي عبارة عن مواد ذات أصل عضوي، وتتكون من مواد رابطة ومواد حشو -ملدنات- (مواد ملدّنة) Plasticizers ومواد أخرى (ملونات ومثبتات).

والمواد الرابطة هي عبارة عن راتنجات اصطناعية، وتبعاً للطبيعة الفيزيائية والكيماوية لمادة الربط، فان اللدائن ومنتجاتها تُقسم إلى لدائن لدنة حرارياً ولدائن مستقرة حرارياً. واللدائن اللدنة حرارياً تتحول بعد كبسها من الحالة اللدنة الى الحالة الجامدة بعد تبريدها فقط، ولكنها بعد التسخين تكتسب ليونة مرة أخرى، أي انها تستعيد لدونتها، أما اللدائن المستقرة حرارياً فتتحول أثناء الكبس على الساخن إلى الحالة الجامدة، ولا تصبح لينة عند التسخين التالي.

٥- المواد النسيجية (الليفية) العازلة للكهرباء

تتكون المواد الليفية من ألياف طبيعية أو اصطناعية. والألياف تشتمل على الألياف الاسبستية والقطنية والكتانية وألياف الحرير الاصطناعي وغير ذلك من الألياف النباتية الأصل، مثل ألياف الأشجار المختلفة التي تُستعمل لصناعة الورق. ويتم الحصول على الألياف الاسبستية والقطنية والكتانية عن طريق المعالجة الميكانيكة للاسبستوس والقطن... الخ، أما الألياف الخشبية فيتم الحصول عليها بوساطة المعالجة الكيماوية للخشب.

ومن الألياف الاصطناعية نذكر الحرير النشادي النحاسي، ويتم الحصول على هذه الألياف بالمعالجة الميكانيكية للسليلوز، وبسحب خيوط مستمرة منها، كذلك يمكن إجراء عملية سحب مماثلة لألياف دقيقة من الزجاج المنصهر، وتحظى الألياف الاصطناعية باستعمال واسع أيضاً كمواد عزل ذات صمود حراري.

وتحتوي الألياف النباتية الأصل (الخشبية والقطنية.... الخ) بداخلها على قنوات ذات قطر صغير للغاية تسمى الشعيرات، ونظراً لوجود الشعيرات فإن وصول الرطوبة إلى هذه الألياف يعد أمراً محتملاً، مما يجعل خصائص عزلها للكهرباء أقل جودة، وتسمى المواد التي تمتص الرطوبة بسهولة بالمواد الاسترطابية.

أما الألياف الاصطناعية والزجاجية فلا تحتوي على قنوات شعيرية داخلية، لذا فإنها أقل استرطابية بالمقارنة مع الألياف النباتية، إلا أن هذه الألياف يمكن أن تُغطى بالماء، الأمر الذي يجعل خصائص عزلها الكهربائي أكثر رداءة.

لهذا فإن جميع المواد الليفية تشبع بأنواع من الطلاء العازل للكهرباء وبمواد تشبيع مركبة مختلفةوهكذا فإن كل مادة ليفية عازلة للكهرباء يجب أن تُعالج بمواد تشبيع ورنيشية أو مركبة. وهذا يؤدي إلى زيادة الصمود الحراري وتخفيض استرطابية المواد الليفية.

ويصنع من المواد الليفية الورق، والكرتون، والأقمشة، والشرائط المختلفة، ولمعالجة الخشب كيمائيا يتم الحصول على السليلوز الذي يعتبر المادة الخام التي تصنع منها مختلف أنواع الورق والكرتون العازل للكهرباء. وفضلاً عن السليلوز يحتوي الخشب

- على مواد راتنجية تُكسب الورق قصافة (هشاشة) Brittleness عند احتوائه عليها، وكلما قلت كمية الشوائب هذه في الورق كلما كان الأخير أكثر متانة وأقل عرضة للقدم.

المواد العازلة الشمعية

تتلخص السمة المميزة للمواد العازلة الشمعية في إنخفاض متانتها الميكانيكية، وفي دهنية سطحها الذي لا يكاد يتبلل بالماء، الأمر الذي يجعل إمتصاص الماء في هذه المواد مساويا للصفر تقريبا. وبما أن بنيان جميع المواد العازلة الشمعية بلوري متعدد الحبيبات، لهذا فإنها تتمتع بدرجة إنصهار واضحة المعالم.

والبرافين مادة عازلة شمعية غير مستقطبة تنتج عن تقطير البترول، وهو يتكون من هيدروكربونات جامدة، والبرافينات المنقاة من محتوياتها الزيتية ومن الشوائب الأخرى لها لون أبيض، كما أن خصائص العزل الكهربائي لها جيدة.

ومن العيوب الأساسيةللبرافين كبر قيمة تقلصه الحجمي (12%-15%)، أي إنخفاض حجمه عند إنتقاله من الحالة السائلة إلى الحالة الجامدة، الأمر الذي يؤدي إلى تشقق البرافين ونشوء مسام به، ويتأكسد البرافين إلى حد ما عند تسخينه لفترة طويلة من الزمن، ونتيجة لهذا التأكسد تنخفض خصائص العزل الكهربائي له بوضوح.

2.2 ممانعة الموصل

تتكون ممانعة السلك من المقاومة الفعّالة Active resistance والمراكسة الحثيةInductive reactance. والممانعة عبارة عن كمية مركبة Complex Quantity، أي لها مقدار وإتجاه، ويمكن كتابتها على الصورة التالية:

$$Z=R+j\,X \qquad (1)$$

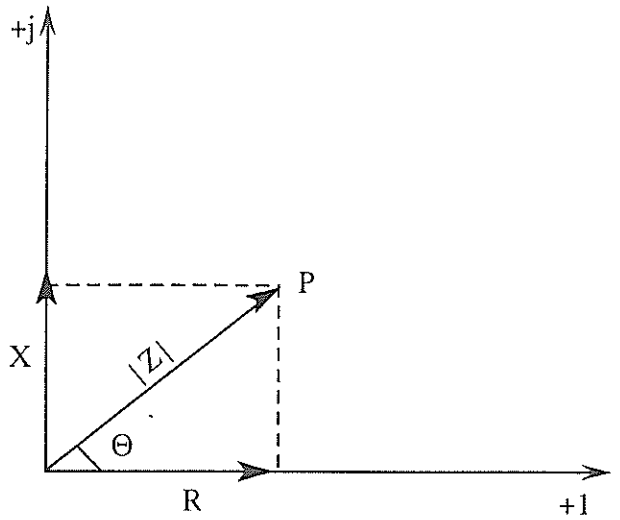
حيث ان:

Z-الممانعة

R-المقاومة الفعّالة

X-المواكسة الحثية

ويمكن تمثيلها على السطح المركب Complex plane كما في شكل -1.



شكل (1)

تمثيل الممانعة على السطح المركب .

من شكل -1 يمكننا كتابة ما يلي :

$$R = |Z| \cos \Theta$$

$$X = |Z| \sin \Theta$$

$$|Z| = \sqrt{R^2 + X^2}$$

أي أن الممانعة يمكن كتابتها على الشكل التالي :

$$Z = |Z| \cos\Theta + j|Z| \sin \Theta = |Z|(\cos \Theta + j\sin \Theta)$$

فإذا أخذنا بعين الاعتبار متطابقة اويلر Euler's Identity ، فان الممانعة يمكن كتابتها على شكل شعاعي Polar form كما يلي :

$$Z = |Z| e^{j\Theta} \qquad (2)$$

- تتميز الموصلات الكهربائية بموصلية كهربائية عالية، وذلك لوجود كمية من الالكترونات الحرة فيها، بمعنى آخر، إن مقاومتها الكهربائية منخفضة، إن المقدار الذي يستعمل في التقييم الكمي لمقدار المقاومة الكهربائية يُسمى المقاومية (المقاومة النوعية) Resistivity، وتساوي :

$$\rho = \frac{1}{\gamma} \qquad (3)$$

حيث أن :

ρ -المقاومية.

γ -الموصلية Conductivity .

وتعد المقاومية ρ من الصفات الكهربائية المميزة، حيث أنها تُساعد على تقييم المقاومة التي يُبديها الموصل عند مرور التيار الكهربائي فيه، فكلما قلت ρ كانت المادة الموصلة أكثر جودة، حيث أنها تسمح بمرور كمية أكبر من التيار.

تتأثر المقاومية بدرجة الحرارة وفق المعادلة التالية :

$$\rho_{T2} = \rho_{T1} [1+\beta_{T1T2} (T2-T1)] \qquad (4)$$

حيث أن :

ρ_{T1} -المقاومة النوعية عند درجة حرارة T_1.

ρ_{T2} -المقاومة النوعية عند درجة حرارة T_2.

β_{T1T2} -المعامل الحراري للمقاومية Temperature coefficient of Resisitivity في المدى الحراري من T_1 الى T_2 لكل درجة مئوية.

إن المعامل الحراري نفسه يتأثر بدرجة الحرارة. ولكن في مدى درجات الحرارة الصغيرة يمكن إعتبار قيم β ثابتة، أما قيمتها عند درجة حرارة أعلى من 20م فتساوي :

$$\beta_T = \frac{1}{233.54 + T}$$

حيث ان T^2 هي درجة الحرارة بالدرجة المئوية

ويبين جدول -2 المعامل الحراري لبعض

جد

المعامل الحراري

المادة الموصلة	معامل
فضة	0.00380
نحاس	0.00393
الومنيوم	0.00377
الزنك (الخارصين)	0.0037
النيكل	0.006-0.0037
حديد	0.006-0.0045
قصدير	0.0042
بلاتين	0.0025
رصاص	0.0042
سبيكة النيكل والكروم	0.0001

تتأثر المقاومة النوعية للموصلات تأثراً شديداً بالشوائب الموجودة فيها، فبعض الشوائب مثل المنغنيز والالومنيوم تقلل من موصلية النحاس النقي بشدة، أما إضافة الذهب والزنك الى النحاس فتؤدي الى خفض موصليته بشكل أقل. كذلك يؤدي التشكيل اللدن للمعادن (الدرفلة والسحب) الى التأثير على مقدار الموصلية، فمع إرتفاع نسبة التشكيل اللدن للمعدن، فان موصليته تنخفض، لذلك فأن اسلاك النحاس المشكلة على البارد تتسم بمقاومة نوعية أكبر بالمقارنة مع النحاس الطري.

ويمكن حساب مقاومة الموصل بالمعادلة التالية:

$$R = \rho \frac{L}{S} = \frac{L}{\gamma S} \qquad (5)$$

حيث ان :

R-مقاومة السلك، أوم.

ρ-المقاومة النوعية، اوم، مم2/ م.

S-مساحة مقطع الموصل، مم2.

γ -الموصلية النوعية، م/ اوم. مم2.

من المعادلة السابقة نستنتج أن مقاومة الموصل تعتمد على العوامل التالية :

①-مادة الموصل (نحاس، الومنيوم. . . الخ).

②-طول الموصل.

③-مساحة مقطع الموصل.

فكلما زاد طول الموصل زادت مقاومته، وكلما زادت مساحة مقطعه قلت مقاومته، كذلك تتأثر مقاومة الموصل بدرجة حرارة تشغيله.

عند إرتفاع درجة حرارة الموصل ترتفع مقاومته حسب المعادلة التالية :

$$R_{T2} = R_{T1} [1 + \alpha_{T1T2} (T_2 - T_1)] \qquad (6)$$

حيث أن :

R_{T1} -المقاومة عند درجة حرارة T1.

R_{T2} -المقاومة عند درجة حرارة T2.

α_{T1T2} - المعامل الحراري للمقاومة عند المدى الحراري من T1 إلى T2.

كذلك، فان المعامل α_{T1T2} تتأثر قيمته بدرجة الحرارة، وعند درجات الحرارة المنخفضة يمكن اعتبار قيمته ثابتة، ولكن عند درجة حرارة أكبر من 200م، فان قيمته تحسب كما يلي :

$$\alpha_T = \frac{1}{234.45+T} \qquad (7)$$

تعتمد درجة حرارة تشغيل الموصل على عاملين و

-درجة حرارة الوسط المحيط بالموصل .

ودرجة حرارة الوسط المحيط بالموصل هي درجه حرارة الكابل عندما يكون ذلك الموصل غير محمل Not Loaded .

وتعتبر درجة حرارة الوسط المحيط للكوابل المنفذة في الهواء مساوية الى 30 درجة مئوية ، اما الكوابل المدفونة في الارض فان درجة حرارة الوسط المحيط تساوي 20 درجة مئوية . في المناطق الحارة (مناطق الخليج العربي) فان درجة حرارة الوسط المحيط بالكابل المنفذ في الهواء تساوي 50 درجة مئوية . والكوابل المدفونة في الارض تساوي 30 درجة مئوية .

-درجة حرارة الموصل نفسه والناتجة عن مرور التيار الكهربائي ، وبسبب ذلك فان مقاومة السلك تزيد ، وبالتالي يقل التيار الكهربائي المار فيه . ويمكن حساب المقاومة عند درجة الحرارة الجديدة إما باستخدام المعادلة (6) أو بمعرفة درجة الحرارة المستدلة للمقاومة الصفرية .

ويمكن حساب المقاومة في أية درجة حرارة بمعرفة درجة الحرارة المستدلة للمقاومة الصفرية Inferred temperature for zero resistance والتي تقاس عادة بالدرجة المئوية ، كما يلي :

$$R_1 = R_2 \frac{IZR+ T_2}{IZR+ T_1}$$

$$R_2 = R_1 \frac{IZR+ T_2}{IZR+ T_1}$$

حيث أن :

R_1- المقاومة عند درجة الحرارة المنخفضة ، أوم .

R_2- المقاومة عند درجة الحرارة العالية ، أوم .

T_1- درجة الحرارة المنخفضة .

$$S = \frac{R_f}{R_o} \qquad (8)$$

حيث أن :

R_f–مقاومة الموصل للتيار المتردد .

R_o–مقاومة الموصل للتيار الثابت .

وتزداد هذه الظاهرة بزيادة التردد وحجم الموصل وشكل الموصل .

ويمكن حساب الظاهرة القشرية لاي موصل ، وسنستعرض الآن حساب الظاهرة القشرية لقضبان النحاس الدائرية .

$$S = \frac{\sqrt{1+\frac{X^4}{48}}+1}{2} \quad \text{When } X \le 3 \qquad (9)$$

$$S = \frac{X}{2\sqrt{2}} + 0.26 \quad \text{When } X > 3 \qquad (10)$$

$$X = \pi\, d \sqrt{\frac{2f\mu \times 10^{-5}}{\rho}} \qquad (11)$$

حيث أن :

d–قطر القضيب النحاسي ، مم .

f–التردد ، هيرتز .

ρ–المقاومة النوعية ، ميكرو أوم ، سم (μ Ω cm) .

μ–نفاذية Permeability النحاس وتساوي 1 .

وفي حالة النحاس عالي الموصلية في درجة 20 درجة مئوية ، فان :

لذلك ، فان $\rho = 1.724$ (μ Ω. cm)

$$X = 1.069 \times 10^{-2}\, d\sqrt{f} \qquad (12)$$

$$X = 1.207 \times 10^{-2}\, \sqrt{A\, f} \qquad (13)$$

حيث ان :

A- مساحة مقطع قضيب النحاس، مم^2.

وتؤدي الظاهرة القشرية الى زيادة الفقد في الموصل.

كذلك فان ظاهرة التقاربية Proximity effect والناتجة عن تقارب الموصلات تؤدي الى زيادة المقاومة الفعّالة للموصل. وبشكل عام فان المقاومة الفعالة للموصل تساوي:

$$R_f = R_o SK \qquad (14)$$

حيث ان :

K- نسبة التقاربية Proximity Ratio.

أما المراكسة الحثية للموصل فتساوي:

$$X_L = 2\pi fL \qquad (15)$$

وتساوي المواسعة الحثية للموصل:

$$X_c = \frac{1}{2\pi fC} \qquad (16)$$

حيث ان :

L-محاثة الموصل، هنري Henry.

C-مواسعة الموصل، فارادي Farady.

يتبين من المعادلة (15) انه لحساب المراكسة الحثية لا بد من حساب محاثة الموصل L، وكذلك لحساب مواسعة الموصل لا بد من حساب سعة C الموصل.

تتكون المحاثة من محاثة الموصل نفسه Self Inductance مفترضين ان هذا الموصل لا يقع في مجال الدفق لاي موصل آخر ومن المحاثة التبادلية Mutual Inductance والناتجة من الدفق الناتج عن موصلات أخرى.

ولايجاد قيم المحاثة والمواسعة للموصل يمكن الرجوع الى الكتب المرجعية في الكهرباء حيث أن هذا الموضوع مطروق بتوسع في تلك المراجع.

ذكرنا سابقاً أن النحاس يستخدم على نطاق واسع كموصل الكهربائية، حيث أن موصليته أكبر بـ65% من موصلية الا مساحة مقطع النحاس أقل مما يؤدي الى توفير في المادة الـ ويبين جدول –4 مقارنة بين كابل نحاس والومنيوم لنفس السعة

جدول (4)

مقارنة بين كابل نحاس والومنيوم

الخاصية	مادة الموصل	
	نحاس	الومنيوم
مساحة المقطع ، مم2	300	500
القطر الكلي ، مم	66.5	83.9
نصف قطر الأنحناء الادنى ، مم	550	700
المقاومة العظمى عند 20 درجة مئوية	0.0601 أوم	0.0617 أوم
فقد الفولطية ، ميللى فولط/متر / أمبير	0.19	0.188
السعة التمريرية ، أمبير	496	501

3.2 السعة التمريرية (الامبيرية) للاسلاك والكوابل.

تعرف السعة الامبيرية Ampacity للاسلاك والكوابل بانها مقدرة السلك أو الكابل على تمرير تيار الحمل في ظروف التشغيل العادية وعلى مقدرتهما على تحمل التيارات الناتجةعن الاعطال (قصر الدارة مثلاً).

إن أهم عامل يحد من السعة الامبيرية للكابل هو درجة الحرارة التي يستطيع عازل الكابل تحملها، حيث أن لكل نوع من العازلية درجة حرارة قصوى تستطيع تحملها. فاذا زادت درجة الحرارة عن ذلك الحد، ابتدأت العازلية بفقدان خواصها الفيزيائية والكيماوية.

السعة الاصبية لكابل المنيوم = 0.62 × السعة الاصبية لكابل نحاس لنفس المقطع

عند مرور التيار الكهربائي في الموصل فان درجة حرارة الموصل ترتفع ، إن تبديد كمية الحرارة المتولدة في الموصل في الوسط المحيط يعتمد على درجة حرارة الوسط الخارجية وعلى طريقة تمديد الكابل .وتؤثر العوامل التالية على كيفية إختيار الكابل :

① -درجة الحرارة .

② -الرطوبة .

③ -الظروف الميكانيكية ومن ضمنها الاهتزاز .

④ -الظروف الكيماوية ومن ضمنها تواجد المواد الهيدروكربونية .

⑤ -الأحمال الزائدة وقصر الدارة .

⑥ -السرقة والتخريب Vandalism .

⑦ -الخطورة ونتائج الحريق والانفجارات .

⑧ -الاشعاع الشمسي والحراري .

⑨ -الأغبرة والمواد المخزّنة .

ويبين جدول -5 درجة الحرارة القصوى لانواع العازلية المختلفة .

جدول (5)

درجة الحرارة القصوى لأنواع العازلية المختلفة

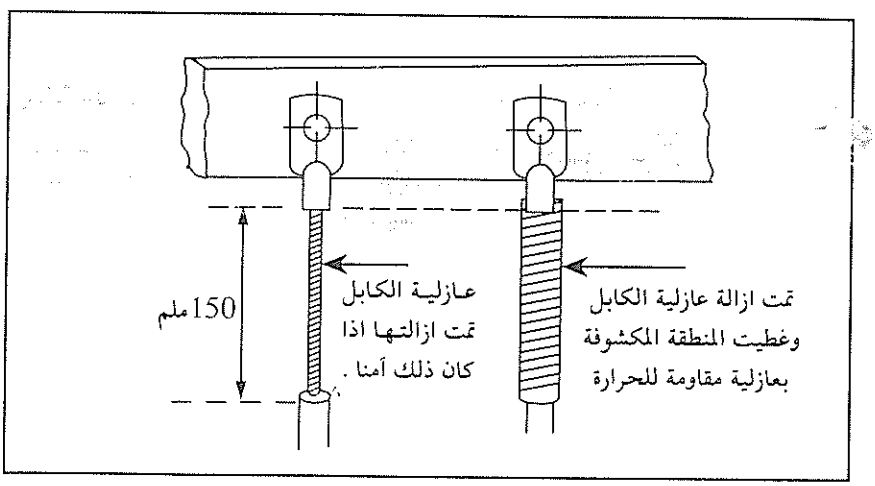
نوع العازلية	درجة الحرارة القصوى درجة مؤية
بولي فينيل كلورايد PVC	70 للموصل
XLPE و EPR	90 للموصل
العازلية المعدنية (المغطاة بمادة PVC أو المكشوفة والقابلة للتلامس	70 للغلاف
العازلية المعدنية (المكشوفة وغير القابلة للتلامس)	150 للغلاف

ويفقد الكابل جزءاً من الحرارة التي يكتسبها نتيجة مرور التيار الكهربائي فيه، وتعتمد قيمة فقد الحرارة في الوسط المحيط على طريقة تمديد الكابل، هل هو ضمن انبوب أو صندوق كوابل، أو أنه ممدد مباشرة في الهواء أو مدفون في الأرض، وكذلك تعتمد على عدد الكوابل ضمن الانبوب، فكلما زاد عدد الكوابل في الانبوب، فان كلاً منها يؤثر على الآخر وبالتالي تصبح عملية تهوية الكابل أكثر صعوبة.

من ذلك نستنتج إن ما يحد من السعة الامبيرية للموصل (نحاس او الومنيوم) هو العازلية، لذلك نجد أن القضبان العمومية المكشوفة تستطيع تحمل أو تمرير تيار كهربائي أكبر من الكابل المصنوع من نفس المادة، لذلك فأن درجة تشغيل القضبان العمومية تكون أكبر من درجة تشغيل الكوابل المتصلة بها. فعند وصل كابل مع قضيب عمومي لا بد أن نراعي ما يلي:

أ-أن لا تزيد درجة حرارة القضيب العمومي على درجة حرارة الكابل.

ب- أو إزالة عازلية الكابل لمسافة 150 مم من نقطة التوصيل، ووضع عازلية مقاومة للحرارة مناسبة لتحمل درجة حرارة القضيب العمومي. ويبين ذلك شكل -2.



شكل -2

إزالة العازلية عن الكوابل عند وصلها بقضبان التوزيع

- إن طريقة إختيار الكوابل وجداول السعة الامبيرية لمقاطع الكوابل المختلفة مثبتة في ملحق 4 من المواصفات البريطانية BS 7671-المتطلبات للتمديدات الكهربائية Requirements for Electrical Installations.IEE Wiring Regulations 16th Edition. 1992.

وإعتماداً على ما ورد في المواصفات فقد تم تبويب جداول للسعة الامبيريةلسهولة الرجوع إليها واستخدامها .

أما الخطوات المتبعة في تحديد مقطع الكابل المناسب فيمكن تلخيصها فيمايلي :

أ) تحديد تيار الحمل الأقصى Maximum load لدارة أو جزء الشبكة المعني I_d .

ب) يتم تحديد التيار المقرر لنبيطة الحماية المناسبة لتلك الدارة I_n بحيث يكون هذا التيار أكبر (أو يساوي) تيار الحمل الأقصى .

جـ) يتم تحديد طريقة تمديد الكابل وعدد الكوابل المتقاربة ودرجة حرارة الوسط المحيط لمعرفة عوامل التصحيح K .

د) يتم تحديدالتيار المسموح به للدارة I_Z والذي يتناسب مع مقطع الكابل الذي تحميه نبيطة الحماية ، بحيث يكون $I_Z > I_n$.

هـ-يتم قسمة التيار I_Z على عوامل التصحيحK ، والتيار الناتج هو التيار الذي يتم على أساسه إختيار مقطع الكابل ، (تيار تحميل الكابل I'_Z) .

من الاستعراض السابق يتبين لنا ضرورة تحقيق الشرط التالي :

$$I_d < I_n < I_z$$

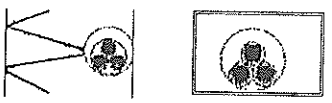
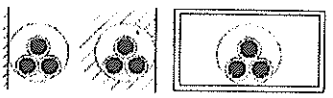
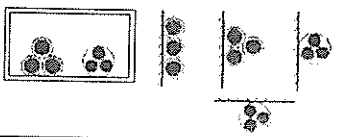
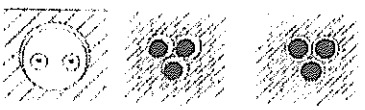
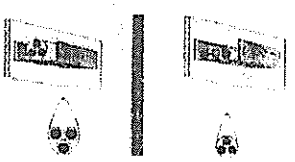
وسنستعرض فيما يلي أهم الطرق والجداول المستخدمة في حساب مقاطع الاسلاك والكوابل لبعض الشركات الصناعية .

1.3.2 جداول شركة ABB

تصنف شركةABB طرق تمديد الكابل الى ست طرق كما هو وارد في جدول -6 .

جدول (6)

طرق تمديد الكابل حسب شركةABB

طريقة التمديد	الوصف	ملاحظات
A		كابل بقلب أو متعدد القلوب في جدار معزول (1) كابل بقلب في قناة Conduit في صندوق مغلق أو قالب (1) .
B		كابل بقلب في قناه في صندوق مفتوح ، أو قناة في خندق ذي تهوية (1) . كابل بقلب أو متعدد القلوب في قناة في الخرسانة .
C		كابل بقلب أو متعدد القلوب في خندق ذي تهوية ، كابل بقلب أو متعدد القلوب على الجدار ، الارضية أو السقف .
D		كابل بقلب أو متعدد القلوب في قناة أو في مجرى duct أرضي أو ممدد مباشرة في الارض .
E-F		كوابل بقلب واحد متلامسة أو كابلان متعددة القلوب في الهواء (على صينية Tray أو مثبتة او معلقة تعليقاً حراً(2))

(1) بدون قراب Sheath فقط بمادة عازلة .

(2) ايضاً مستخدم للصواني المثقبة ، للصواني غير المثقبة (مساحة سطح الثقوب أقل من 30% من المساحة الكلية) فان السعة التمريرية يجب تقليلها بنسبة 5% .

(3) أقصى عدد للكوابل الممدودة هو 20 بمساحة مقطع بحد أقصى 300مم2 .

(4) أقصى عدد للكوابل الممدودة هو 20 بمساحة مقطع بحد أقصى 120مم2 .

(5) أقصى عدد للكوابل الممدودة هو 6 بمساحة مقطع بحد أقصى 300مم2 .

(6) أقصى عدد للكوابل الممدودة هو 27 بمساحة مقطع بحد أقصى 300مم2 .

أما عوامل التصحيح K فتبينها الجداول التالية :

جدول (7)

عوامل التصحيح للتمديدات المتجاورة (أكثر من كابل أو دارة) في الهواء K1

نوع التمديدات	عدد الدارات أو الكوابل متعددة القلوب								
	1	2	3	4	6	9	12	15	20
مدفونة أو مغلقة	1	0.8	0.7	0.7	0.55	0.5	0.45	0.4	0.4
طبقة مفردة على الجدار ، الارضية أو صينية غير مهواة	1	0.85	0.8	0.75	0.7	0.7	-	-	-
طبقة مفردة على صينية مهواة أفقية أو عامودية	1	0.9	0.8	0.75	0.75	0.7	-	-	-
طبقة مفردة مثبتة بمرابط	1	0.85	0.8	0.8	0.8	0.8	-	-	-

جدول (8)

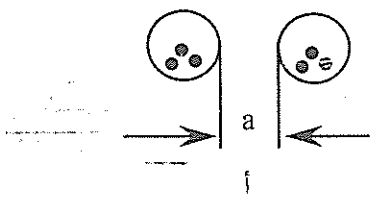
عوامل التصحيح للتمديدات المتجاورة (أكثر من كابل أو دارة) في الارض K2

عدد الدارات	التباعد بين الكوابل (a) بالمتر				
	لا يوجد تباعد	تباعد يساوي قطر الكابل	0.0125	0.25	0.5
2	0.75	0.8	0.85	0.9	0.9
3	0.65	0.7	0.75	0.8	0.85
4	0.6	0.6	0.7	0.75	0.8
5	0.55	0.55	0.65	0.7	0.8
6	0.5	0.55	0.6	0.7	0.8

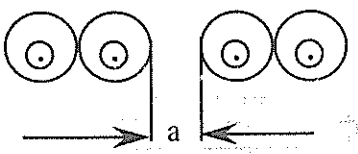
جدول (9)

عوامل التصحيح للتمديدات المتجاورة في مجاري أرضية K3

	كوابل متعددة القلوب عدد الكوابل	التباعد بين الكوابل (a) بالمتر					كوابل بقلب واحد ، عدد الدارات المكونة من2 أو 3كوابل	التباعد بين الكوابل (a) بالمتر			
		لا يوجد	0.25	0.5	1.0			لا يوجد	0.25	0.5	1.0
أ	2	0.85	0.9	0.95	0.95	ب	2	0.8	0.9	0.90	0.95
	3	0.75	0.85	0.9	0.95		3	0.7	0.8	0.85	0.95
	4	0.7	0.8	0.85	0.9		4	0.65	0.75	0.80	0.9
	5	0.65	0.8	0.85	0.9		5	0.6	0.7	0.80	0.9
	6	0.6	0.8	0.8	0.9		6	0.6	0.7	0.8	0.9



أ



ب

جدول (10)

عوامل التصحيح لدرجة الحرارة الخارجيّة للتمديدات في الهواء الطلقK4

درجة الحرارة الخارجية درجة مئوية	عازلية PVC	عازلية XLPE- EPR
10	1.22	1.15
15	1.17	1.12
20	1.12	1.08
25	1.06	1.04
35	0.94	0.96
40	0.87	0.91
45	0.79	0.87
50	0.71	0.82
55	0.61	0.76
60	0.50	0.71
65	-	0.65

جدول (11)

عوامل التصحيح لدرجة الحرارة للتمديدات في الأرضK5

درجة الحرارة الارض درجة مؤية	عازلية PVC	العازلية XLPE- EPR
10	1.10	1.07
15	0.05	1.04
25	0.95	0.96
30	0.89	0.93
35	0.84	0.89
40	0.77	0.85
45	0.71	0.8
50	0.63	0.76
55	0.55	0.71
60	0.45	0.65
65	-	0.6

جدول (12)

السعة الامبيرية (أمبير) لكوابل النحاس

طريقة التمديد	عدد الموصلات												
A	3 PVC	2 PVC	-	3 XLPE	2 XLPE	-	-	-	-	-	-	-	-
B	-	-	3 PVC	2 PVC	3 XLPE	-	2 XLPE	-	-	-	-	-	-
C	-	-	-	3 XLPE	2 PVC	3 PVC	-	2 XLPE	-	-	-	-	-
D	-	-	-	-	-	-	-	-	3 XLPE	2 XLPE	3 PVC	2 PVC	-
E-F	-	-	-	-	3 XLPE	2 PVC	3 PVC	-	2 XLPE	-	3 XLPE		
مساحة مقطع موصل النحاس مم2	السعة الأمبيرية (أمبير)												
1	10.5	11	12	13.5	14.5	17	18	19	21	18	14.5	21	17
1.5	13	14.5	15.5	17	18.5	22	23	24	26	22	18	26	22
2.5	18	19.5	21	23	25	30	32	33	36	29	24	34	29
4	24	26	28	31	34	40	42	45	49	38	31	44	37
6	31	34	36	40	43	52	54	58	63	47	31	56	46
10	42	46	50	54	60	71	75	80	86	63	52	73	61
16	56	61	68	73	80	96	100	107	115	81	67	95	79
25	73	80	89	95	101	119	127	138	149	104	86	121	101
35	-	-	-	117	126	147	157	171	185	125	103	146	122
50	-	-	-	141	153	179	192	210	225	148	122	173	144
70	-	-	-	179	196	229	246	269	289	183	151	213	178
95	-	-	-	216	238	278	298	328	352	216	179	252	211
120	-	-	-	249	276	322	346	382	410	246	203	287	240
150	-	-	-	285	318	371	399	441	473	278	230	324	271
185	-	-	-	324	362	424	456	506	542	312	257	363	304
240	-	-	-	380	424	500	538	599	641	360	297	419	351
300	-	-	-	435	496	576	620	693	741	407	336	474	396

(1) لمعرفة السعة لكابلات الالومنيوم يجب ضرب القيم الواردة في الجدول بمعامل يساوي 0.62

أمثلة تطبيقية:

مثال-1 :

جد تيار تحميل كابل بمقطع 120مم^2 ، مكون من ثلاثة قلوب من النحاس والعازلية XLPE إذا كانت درجة الحرارة الخارجية 50 درجة مئوية وطريقة التمديد C ، وعدد الكوابل المتجاورة أربعة كوابل ممددة على السقف .

الحل : من جدول -12 نجد أن السعة الامبيرية لكابل 120مم^2 بعازلية XLPE وبطريقة تمديد C يساوي 322 أمبيراً .

نجد الآن عوامل التصحيح :

من جدول -10 نجد أن عامل التصحيح للحرارة الخارجية K_4 يساوي 0.82 .

من جدول -7 نجد أن عامل التصحيح للتمديدات المتجاورة K_1 يساوي 0.70 .

تيار تحميل الكابل I'_Z يساوي :

$$I'_Z = I_Z \times K_4 \times K_1 = 322 \times 0.82 \times 0.70 = 184.83 \text{ A}$$

مثال -2

جد مساحة أدنى مقطع لكابل الومنيوم إذا كان تيار تحميل الكابل الأقصى المسموح به للدارة I'_Z يساوي 110 أمبير ، الكابل مكون من ثلاثة قلوب وعازلية PVC ودرجة الحرارة الخارجية 50° درجة مئوية وطريقة التمديد E وهناك 6 كوابل ممدودة في طبقة مفردة على صينية مهواة .

الحل :

من جدول -10 نجد أن عامل التصحيح للحرارة الخارجية K_4 يساوي 0.71 .

من جدول -7 نجد أن عامل التصحيح للتمديدات المتجاورة K_1 يساوي 0.75 .

عامل التصحيح لموصلات الالومنيوم يساوي 0.62 .

نجد الآن السعة الامبيرية للكابل :

$$I_Z = \frac{110}{0.71 \times 0.75 \times 0.62} = 333A$$

من جدول -12 نجد أن السعة الامبيرية لكابل 185مم^2 بعازلية PVC وبطريقة تمديد E تساوي 362 أمبيراً. لذلك فمساحة أدنى مقطع لكابل الالومنيوم يجب أن يكون 185مم^2.

2.3.2 جداول شركة Groupe Schnieder

هذه الجداول هي المستخدمة في برنامج Ecodial والذي أنتجته الشركة للحسابات الكهربائية في شبكات التمديدات.

يتم بداية حساب تيار الحمل الأقصى I_B، وبعد ذلك يتم إختيار مقرر نبيطة الحماية الأمبيرية I_n والذي يكون أكبر أو يساوي تيار الحمل الأقصى I_B. بعد ذلك يتم إختيار تيار تحميل الكابل والذي يتناسب مع مقطع الكابل الذي تستطيع نبيطة الحماية حمايته I_Z.

في حالة كون نبيطة الحماية قاطع دارة فان:

$$I_Z = I_n$$

أو أكبر قليلاً من مقرر النبيطه، أي تيار I_{Z2}

في حالة كون نبيطة الحماية مصهراً فان:

$$I_Z = 1.31\ I_n \quad \text{if } I_n \leq 10A$$

$$I_Z = 1.21\ I_n \quad \text{if } I_n > 10A \text{ and } I_n \leq 25A$$

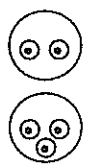
$$I_Z = 1.10\ I_n \quad \text{if } I_n > 25A$$

ويكون نتيجة الحساب السابق تيار I_{Z2}.

يتم تحديد مساحة مقطع الكابل القادر على تمرير تيار I_{Z1} أو I_{Z2} باستخدام تيار I'_Z المكافئ والذي يأخذ في الحساب عوامل التصحيح K. وفيما يلي الجداول المستخدمة.

جدول (13)

جدول الحرف الكودي المرجعي Code reference letter

نوع الموصل	طريقة التمديد	الحرف الكودي
كوابل بقلب أو متعددة القلوب	❖ اسفل القوالب الديكورية بغطاء متحرك أو ثابت، تمديد سطحي أو غاطس او تحت القصارة. ❖ تحت الارضيات المجوفة أو فوق السقف المستعار. ❖ في خندق	B
	❖ تمديدات سطحية بتلامس مع الجدار أو السقف. ❖ فوق الصواني غير المثقبة.	C
كوابل متعددة القلوب 	❖ سلم كوابل، صواني مثقبة مثبتة على أذرع داعمة ❖ تمديد على السطح بوجود مسافة عن السطح باستخدام مرابط ❖ كوابل مثبتة من الأطراف	E
كوابل أحادية القلب		F

يتم تحديد قيمة العامل K للكوابل غير المدفونة في الأرض، ويساوي عامل التصحيح ما يلي:

$$K=K_1K_2K_3$$

حيث ان :

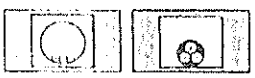
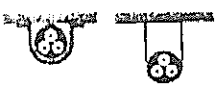
K_1- عامل تصحيح يأخذ بالاعتبار طريقة التمديد (جدول -14).

K_2- عامل تصحيح يأخذ بالاعتبار التمديدات المتجاورة (جدول -15).

K_3- عامل تصحيح يأخذ بالاعتبار تأثير درجة الحرارة الخارجية (جدول -16).

جدول (14)

قيم عامل التصحيح K1 -طريقة التمديدات

الحرف الكودي	تفاصيل التمديدات	مثال	K1
B	كوابل ممددة مباشرة في مادة معزولة حرارياً		0.7
	قنوات ممدودة في مادة معزولة حرارياً		0.77
	كوابل متعددة القلوب		0.9
	تجاويف انشائية وخنادق كوابل مغلقة		0.95
C	تمديد سطحي على السقف		0.95
B,C,E,F	كوابل أخرى		1

جدول (15)

قيم عامل التصحيح K2-التمديدات المتجاورة

تعتبر التمديدات متجاورة Close proximity إذا كان التباعد بين الكابلين أقل من ضعف قطر الكابل الأكبر.

الحرف الكودي	موقع الكوابل المتجاورة	قيم عامل التصحيح K2										
		عدد الدارات أو الكوابل متعددة القلوب										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	16	20
B,C	مطمورة أو مدفونة في الجدران	1	0.8	0.7	0.65	0.6	0.57	0.54	0.52	0.5	0.45	0.41	0.38
C	طبقة مفردة على الجدار أو الأرضية أو على صواني غير مهواة	1	0.85	0.79	0.75	0.73	0.72	0.72	0.71	0.7	0.7		
E,F	طبقة مفردة على صواني أفقية مهواة أو صواني عامودية	1	0.88	0.82	0.77	0.75	0.73	0.73	0.72	0.72	0.72		
	طبقة مفردة على سلالم كوابل أو أذرع . . الخ	1	0.87	0.82	0.8	0.8	0.79	0.79	0.78	0.78	0.78		

ملاحظة :

عندما يتم تمديد الكوابل في أكثر من طبقة فان عامل التصحيح K2 يجب أن يضرب بما يلي :

لطبقتين : 0.8 .

ثلاث طبقات : 0.73 .

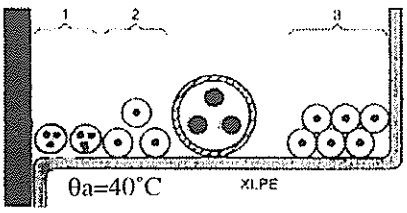
أربع أو خمس طبقات : 0.70 .

جدول (16)

قيم عامل التصحيح K3-تأثير درجة حرارة الوسط المحيط

درجة حرارة الوسط المحيط	نوع العازلية		
	مطاط	PVC	XLPE- EPR
10	1.29	1.22	1.15
15	1.22	1.17	1.12
20	1.15	1.12	1.08
25	1.07	1.07	1.04
30	1.00	1.00	1.00
35	0.93	0.93	0.96
40	0.82	0.87	0.91
45	0.71	0.79	0.87
50	0.58	0.71	0.82
55	-	0.61	0.76
60	-	0.50	0.71
65	-	-	0.65
70	-	-	0.58
75	-	-	-
80	-	-	-

مثال محلول : كابل ثلاثي القلوب منفذ على صينية كوابل مثقبة متجاور مع دارات أخرى تتكون مما يلي :



1- كابلان ثلاثيا القلوب (الدارة الأولى) .

2- الدارة الثانية ثلاثية الاطوار تتكون من ثلاثة كوابل بقلب واحد .

3-الدارة الثالثة ثلاثية الاطوار تتكون من ستة كوابل بقلب واحد ، كابلان لكل طور .

إحسب عامل التصحيح K إذا كانت درجة حرارة الوسط المحيط تساوي 40 درجة مئوية .

الحل : هناك ست دارات منفذة على صينية الكوابل المثقبة .

طريقة التنفيذ هي طريقة E من جدول 15 .

K_1 من جدول -14 يساوي 1 .

K_2 من جدول -15 يساوي 0.73 .

K_3 من جدول -16 يساوي 0.91 .

إذن عامل التصحيح الكلي K يساوي :

$$K=K_1\ K_2\ K_3 = 1x0.73 \times 0.91 = 0.6643$$

جدول (17)

السعة الامبيرية للكوابل

عندما يتم قسمة التيار I_z على عامل التصحيح الكلي فاننا نحصل على التيار I'_z ويبين هذا الجدول هذه القيم .

نوع العازلية وعدد الموصلات (2 أو 3)										
مطاط أو PVC										
-	-	-	PR2	-	PR3		PVC2	PVC3	B	
-	-	PR2	-	PR3	PVC2	-	PVC3	-	C	
-	PR2	-	PR3	PVC2	-	PVC3	-	-	E	
PR2	-	PR3	PVC2	-	PVC3	-	-	-	F	
-	26	24	23	22	19.5	18.5	17.5	15.5		1.5
-	36	33	31	30	27	25	24	21		2.5
-	49	45	42	40	36	34	32	28		4.0
	63	58	54	51	48	43	41	36		6
	86	80	75	70	63	60	57	50		10
	115	107	100	94	85	80	76	68		16
161	149	138	127	119	112	101	96	89		25
200	185	169	158	147	138	126	119	110		35
242	225	207	192	179	168	153	144	134		50
310	289	268	246	229	213	196	184	171		70
377	352	328	298	278	258	238	223	207		95
437	410	382	346	332	299	276	259	239		120
504	473	441	395	371	344	319	299	-		150
575	542	506	450	424	392	364	341	-		185
679	641	599	538	500	461	430	403	-		240
783	741	693	621	576	530	497	464	-		300
940	-	825	754	656	-	-	-	-		400
1083	-	946	868	749	-	-	-	-		500
1254	-	1088	1005	855	-	-	-	-		630

- تابع جدول -17-

موصلات الالومنيوم										
2.5		16.5	18.5	19.5	21	23	25	26	28	-
4		22	25	26	28	31	33	35	38	-
6		28	32	33	36	39	43	45	49	-
10		39	44	46	49	54	59	62	67	-
16		53	59	61	66	73	79	84	91	-
25		70	73	78	83	90	98	101	108	121
35		86	90	96	103	112	122	126	135	150
50		104	110	117	125	136	149	154	164	184
70		133	140	150	160	174	192	198	211	237
95		161	170	183	195	211	235	241	257	289
120		186	197	212	226	245	273	280	300	337
150		-	227	245	261	283	316	324	346	389
185		-	259	280	298	323	363	371	397	447
240		-	305	330	352	382	430	349	470	530
300		-	351	381	406	440	497	508	543	613
400		-	-	-	-	526	600	663	-	740
500		-	-	-	-	610	694	770	-	856
630		-	-	-	-	711	808	899	-	996

مثال محلول :

في المثال السابق ، إذا فرضنا ان كابلاً XLPE سيمرر تياراً مقداره 95 أمبيراً . من المثال السابق فان طريقة التمديد هي E وعامل التصحيح الكلي=0.6643 . لتحديد مساحة مقطع الكابل نختار نبيطة حماية عبارة عن قاطع دارة أو مصهر .

في حالة قاطع الدارة فان التيار المقرر للنبيطة يجب أن يساوي أو أن يكون أكبر قليلاً من 95 ، إذن فتيار النبيطة In يساوي 100 أمبير .

تيار التحميل I'_z=95 أمبيراً .

السعة الامبيرية للكابل I_z تساوي :

$$I_z = \frac{I'_z}{K} = \frac{95}{0.663} = 143\ A$$

من جدول -17 ولطريقة التمديد E ولكابل ثلاثي الاطوار بعازلية XLPE ، نجد أن الكابل الذي مساحة مقطعة تساوي 35مم^2 تساوي سعته الامبيرية 158 أمبيراً .

في حالة كون الكابل مدفوناً في الأرض فإن عامل التصحيح الكلي يساوي :

$$K=K_4 \times K_5 \times K_6 \times K_7$$

حيث أن :

K4-عامل التصحيح الذي يأخذ بالاعتبار تأثير طريقة التمديد ، جدول -18 .

K5-عامل التصحيح الذي يأخذ بالاعتبار تأثير التمديدات المتقاربة ، جدول -19 .

K6-عامل التصحيح الذي يأخذ بالاعتبار تأثير طبيعة وظروف التربة الممدد فيها الكابل ، جدول 20 .

K7-عامل التصحيح الذي يأخذ بالاعتبار تأثير درجة حرارة التربة ، جدول -21 .

جدول (18)

قيم عامل التصحيح K4 ،طريقة التمديد

طريقة التمديد	K4
تمديد الكابل في مجاري أو قنوات أرضية أو قوالب تجميلية	0.8
الحالات الأخرى	1.0

جدول (19)

قيم عامل التصحيح K5 ، تأثير التمديدات المتقاربة

مواقع الكوابل الممدودة	عدد الدارات أو الكوابل متعددة القلوب											
بشكل متقارب	1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	16	20
مدفونة في الأرض	1	0.8	0.7	0.65	0.6	0.57	0.54	0.52	0.5	0.45	0.41	0.38

ملاحظة :

إذا كانت الكوابل ممددة في عدة طبقات فان عامل التصحيح K5 يجب ضربه بالقيم التالية :

إذا كانت الكوابل ممددة في طبقتين 0.8

ثلاث طبقات 0.73

أربع أو خمس طبقات 0.70

جدول (20)

قيم عامل التصحيح K6 ، تأثير طبيعة وظروف التربة

طبيعة التربة	K6
تربة مبلولة لدرجة الاشباع	1.21
تربة مبلولة	1.13
تربة رطبة	1.05
تربة جافة	1.00
تربة جافة جداً بتأثير أشعة الشمس	0.86

جدول (21)

قيم عامل التصحيح K7 ، تأثير درجة حرارة التربة

درجة حرارة التربة	نوع العازلية	
	PVC	XLPE, EPR
10	1.10	1.07
15	1.05	1.04
20	1.00	1.00
25	0.95	0.96
30	0.89	0.93
35	0.84	0.89
40	0.77	0.85
45	0.71	0.80
50	0.63	0.76
55	0.55	0.71
60	0.45	0.65

جدول (22)

السعة الامبيرية للكوابل المدفونة في الأرض

بمعرفة قيمة I_Z وعامل التصحيح الكلي K ، يمكننا إيجاد مساحة مقطع الكابل المدفون في الأرض.

مساحة مقطع كابل النحاس $مم^2$	نوع العازلية			
	PVC		XLPE, EPR	
	3 موصلات	موصلان	3 موصلات	موصلان
1.5	26	32	31	37
2.5	34	42	41	48
4	44	54	53	63
6	56	67	66	80
10	74	90	87	104
16	96	116	113	136
25	123	148	144	173
35	147	178	174	208
50	174	211	206	247

تابع جدول -22

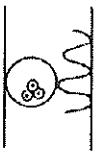
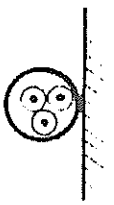
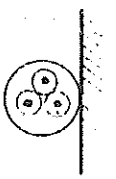
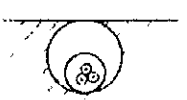
304	254	261	216	70
360	301	308	256	95
410	343	351	290	120
463	387	397	328	150
518	434	445	367	185
598	501	514	424	240
677	565	581	480	300
				كوابل الومنيوم
80	67	68	57	10
104	87	88	74	16
133	111	114	94	25
160	134	137	114	35
188	160	161	134	50
233	197	200	167	70
275	234	237	197	95
314	266	270	224	120
359	300	304	254	150
398	337	343	285	185
458	388	396	328	240
520	440	447	371	300

3.3.2 السعة الامبيرية للكوابل حسب IEC.

يبين جدول -23 طرق تمديد الكوابل المعتمدة في مواصفات IEC .

جدول (23)

طرق تمديد الكوابل

 موصل معزول في انبوب داخل جدار عازل	أ	– كابل متعدد القلوب ممدد مباشرة داخل جدار عازل. – موصلات معزولة في انبوب داخل خندق مغلق. – كابل متعدد القلوب في انبوب داخل جدار عازل.
 موصل معزول في انبوب على الجدار	ب	– موصلات معزولة في صندوق Trunk على الجدار. – موصلات معزولة في انبوب داخل خندق ذي تهوية. – موصلات معزولة ذات قلب واحد. أو متعدد القلوب في انبـــوب او قناة (Duct) داخل الخرسانة.
 كابل متعدد القلوب على الجدار مباشرة	جـ	– كابل احادي القلب على الجدار، الأرض أو السقف. – كابل متعدد القلوب داخل الخرسانة مباشرة. – كابل متعدد القلوب على الأرض. في خندق مفتوح وذي تهوية. – كابل متعدد القلوب في صندوق أو انبوب في الهواء أو ملامس للخرسانة (اضرب القيمة X 0.8– انظر الملاحظة).
 كابل متعدد القلوب في مجرى (Duct) في الارض	د	– كابل احادي القلب في مجرى في الأرض. – كابل احادي القلب او متعدد القلوب مدفون مباشرة في الأرض.

تابع جدول – 24

				ألومنيوم
13.5	11.5	10.5	8.5	1.0
17	15	13.5	11	1.5
22	21	19	15	2.5
29	28	25	20	4
36	36	32	26	6
48	49	44	36	10
62	66	59	48	16
80	83	79	63	25
96	103	98	77	35
113	125	118	93	50
140	160	150	118	70
166	195	181	142	95
189	226	210	164	120
213	261	-	189	150
240	298	-	215	185
277	352	-	252	240
313	406	-	289	300

جدول (25)

السعة الأمبيرية بالأمبير للكوابل المنفذة بالطرق الواردة في جدول -23 العازلية-XLPE EPR- ،موصلان محملان ، نحاس أو الومنيوم ، درجة حرارة الموصل : 90 درجة مئوية ، ودرجة حرارة الوسط المحيط ، 30 درجة مئوية في الهواء ، 20 درجة مئوية في الأرض .

مساحة مقطع الموصل مم2	طرق تمديد الكوابل حسب جدول -23			
	أ	ب	جـ	د
نحاس				
1.0	15	18	19	21
1.5	19	23	24	26
2.5	26	31	33	34
4	35	42	45	44
6	45	54	58	56
10	61	74	80	73
16	81	100	107	95
25	106	133	138	121
35	131	164	171	146
50	158	198	210	173
70	200	254	269	213
95	241	306	328	252
120	278	354	382	287
150	318	-	441	324
185	362	-	506	363
240	424	-	599	419
300	486	-	693	474
الومنيوم				
1.0	11.5	14	15	16
1.5	15	18	19	20
2.5	20	25	26	26
4	27	33	35	34
6	35	43	45	42
10	48	58	62	56
16	64	79	84	73
25	84	105	101	93
35	103	131	126	112
50	125	158	154	132
70	158	200	198	163
95	191	242	241	193
120	220	281	280	220
150	253	-	324	249
185	288	-	371	279
240	338	-	439	321
300	387	-	507	364

جدول (25)

السعة الأمبيرية بالأمبير للكوابل المنفذة بالطرق الواردة في جدول -23 العازلية-XLPE EPR- ،موصلان محملان ، نحاس أو الومنيوم ، درجة حرارة الموصل : 90 درجة مئوية ، ودرجة حرارة الوسط المحيط ، 30 درجة مئوية في الهواء ، 20 درجة مئوية في الأرض .

مساحة مقطع الموصل مم2	طرق تمديد الكوابل حسب جدول -23			
	أ	ب	جـ	د
نحاس				
1.0	15	18	19	21
1.5	19	23	24	26
2.5	26	31	33	34
4	35	42	45	44
6	45	54	58	56
10	61	74	80	73
16	81	100	107	95
25	106	133	138	121
35	131	164	171	146
50	158	198	210	173
70	200	254	269	213
95	241	306	328	252
120	278	354	382	287
150	318	-	441	324
185	362	-	506	363
240	424	-	599	419
300	486	-	693	474
الومنيوم				
1.0	11.5	14	15	16
1.5	15	18	19	20
2.5	20	25	26	26
4	27	33	35	34
6	35	43	45	42
10	48	58	62	56
16	64	79	84	73
25	84	105	101	93
35	103	131	126	112
50	125	158	154	132
70	158	200	198	163
95	191	242	241	193
120	220	281	280	220
150	253	-	324	249
185	288	-	371	279
240	338	-	439	321
300	387	-	507	364

جدول (26)

السعة الأمبيرية بالأمبير للكوابل المنفذة بالطرق الواردة في جدول -23 العازلية PVC ، ثلاثة موصلات محملة ، نحاس أو الومنيوم ، درجة حرارة الموصل :70 درجة مئوية ، ودرجة حرارة الوسط المحيط30 درجة مئوية في الهواء ، 20درجة مئوية في الأرض .

مساحة مقطع الموصل مم2	طرق تمديد الكوابل حسب جدول -23			
	أ	ب	جـ	د
نحاس				
1.0	10.5	12	13.5	14.5
1.5	13	15.5	17.5	18
2.5	18	21	24	24
4	24	28	32	31
6	31	36	41	39
10	42	50	57	52
16	56	68	76	67
25	73	89	96	86
35	89	111	119	103
50	108	134	144	122
70	136	171	184	151
95	164	207	223	179
120	188	239	259	203
150	216	-	294	230
185	248	-	341	257
240	286	-	403	297
300	328	-	464	336
الومنيوم				
1.0	8	9.5	10.5	11.5
1.5	10	12	13.5	14
2.5	14	16.5	19	19
4	19	22	25	24
6	24	28	32	30
10	32	39	44	40
16	43	53	59	52
25	57	69	73	66
35	70	86	91	80
50	84	105	110	94
70	107	133	140	117
95	129	161	170	138
120	149	186	197	157
150	170	-	227	178
185	194	-	259	200
240	227	-	305	230
300	261	-	351	260

جدول (27)

السعة الأمبيرية بالأمبير للكوابل المنفذة بالطرق الواردة في جدول -23 العازلية- XLPE,EPR ،ثلاثة موصلات محملة ، نحاس أو الومنيوم ، درجة حرارة الموصل :90 درجة مئوية ،ودرجة حرارة الوسط المحيط :30 درجة مئوية في الهواء ، 20درجة مئوية في

مساحة مقطع الموصل مم2	طرق تمديد الكوابل حسب جدول -5			
	أ	ب	جـ	د
نحاس				
1.0	13.5	16	17	17.5
1.5	17	20	22	22
2.5	23	27	30	29
4	31	37	40	37
6	40	48	52	46
10	54	66	71	61
16	73	89	96	79
25	95	117	119	101
35	117	144	147	122
50	141	175	179	144
70	179	222	229	178
95	216	269	278	211
120	249	312	322	240
150	285	-	371	271
185	324	-	424	304
240	380	-	500	351
300	435	-	576	396
الومنيوم				
1.0	11	12.5	13.5	13.5
1.5	14	16	17.5	16.5
2.5	19	22	24	22
4	25	29	32	29
6	32	38	41	36
10	43	52	57	47
16	58	71	76	61
25	76	93	90	78
35	94	116	112	94
50	113	140	136	112
70	142	179	174	138
95	171	216	211	164
120	197	250	245	186
150	226	-	283	210
185	256	-	323	236
240	300	-	382	272
300	345	-	440	308

جدول (28)

عامل التصحيح لدرجة حرارة الوسط المحيط التي تختلف يستخدم للسعة الأمبيرية للكوابل الممدودة ف

درجة حرارة الوسط المحيط درجة مئوية	العازلية			
	PVC	XLPE أو EPR	مغطاة بـ PVC أو عادية مكشوفة للاحمال 70° درجة مئوية	عادية وغير معرضة للتلامس 105 درجة مئوية
1.0	1.22	1.15	1.26	1.14
15	1.17	1.12	1.20	1.11
20	1.12	1.08	1.14	1.07
25	1.06	1.04	1.07	1.04
35	0.94	0.96	0.93	0.96
40	0.87	0.91	0.85	0.92
45	0.79	0.87	0.77	0.88
50	0.71	0.82	0.67	0.84
55	0.61	0.76	0.57	0.80
60	0.50	0.71	0.45	0.75
65	-	0.65	-	0.70
70	-	0.58	-	0.65
75	-	0.50	-	0.60
80	-	0.41	-	0.54
85	-	-	-	0.47
90	-	-	-	0.40
95	-	-	-	0.32

جدول (29)

عامل التصحيح لدرجة حرارة الوسط المحيط التي تختلف عن 20 درجة مئوية ، يستخدم للسعة الأمبيرية للكوابل الممدودة في الأرض .

درجة حرارة الأرض درجة مئوية	العازلية	
	PVC	XLPE, EPR
10	1.10	1.07
15	1.05	1.04
25	0.95	0.96
30	0.89	0.93
35	0.84	0.89
40	0.77	0.85
45	0.71	0.80
50	0.63	0.76
55	0.55	0.71
60	0.45	0.65
65	-	0.60
70	-	0.53
75	-	0.46
80	-	0.38

جدول(30)

عوامل التصحيح لمجموعة كوابل أكثر من دارة واحدة أو أكثر من كابل متعدد القلوب تستخدم للكوابل المدودة في أنانبيب أو صناديق ومربوطة على السطح .

ترتيب الكوابل		عوامل التصحيح														
		عدد الدارات أو الكوابل متعددة القلوب														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20
مربوطة على السطح أو داخل انبوب أو صندوق		1.00	0.80	0.70	0.65	0.60	0.55	0.55	0.50	0.50	0.50	0.45	0.45	0.40	0.40	0.40
طبقة واحدة على الجدار أو الأرض	متلامسة	1.00	0.85	0.80	0.75	0.75	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.65	0.65	0.65
	متباعدة	1.00	0.95	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
طبقة واحدة تحت السقف	متلامسة	0.95	0.80	0.70	0.70	0.65	0.65	0.65	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.55	0.55	0.55
	متباعدة	0.95	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85

ملاحظات :

1- تستخدم هذه العوامل للكوابل المتماثلة والمحملة بشكل متساو .

2- اذا كانت مسافة التباعد للكوابل المتجاورة أكبر من ضعف القطر الكلي ، فلا تستخدم عوامل تصحيح .

3-يعني التباعد المسافة بين السطوح المتجاورة لقطر كابل واحد .

4-تستخدم هذه العوامل :

A-لمجموعة من كابلين أو ثلاثة كوابل أحادية القلب .

B-لكوابل متعددة القلوب .

5-إذا إحتوى النظام مجموعة كوابل من قلبين وثلاثة قلوب ، فيؤخذ العدد الكلي كعدد الدارات ، حيث يستخدمعامل تصحيح لموصلين محملين للكابل ثنائي القلب وعامل تصحيح لثلاثة موصلات محملة للكابل ثلاثي القلوب .

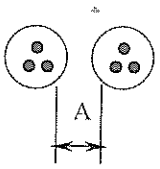
6-إذا كانت المجموعة تتكون من n كوابل أحادية القلب . فيمكن إعتبارها n دارة من موصلين أو $\frac{n}{3}$ دارة ثلاثية الموصلات .

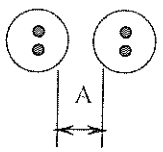
جدول (31)

عوامل التصحيح لأكثر من دارة ، الكوابل مدودةمباشرة في الأرض (كوابل أحادية القلب أو متعددة القلوب) .

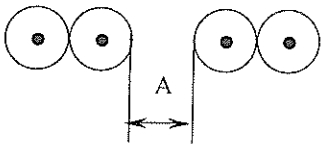
عدد الدارات	المسافة بين كابلين متجاورين A ❖				
	صفر ، الكابلان متلامسان	المسافة تساوي قطر الكابل	0.125 متر	0.25 متر	0.5 متر
2	0.75	0.80	0.80	0.90	0.90
3	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85
4	0.60	0.60	0.70	0.75	0.80
5	0.55	0.55	0.65	0.70	0.80
6	0.50	0.55	0.60	0.70	0.80

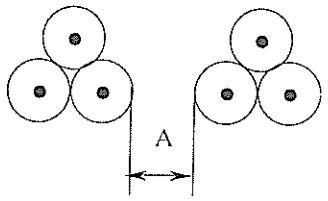
❖للكوابل متعددة القلوب





للكوابل أحادية القلب





عوامل التصحيح السابقة لتمديد الكوابل على عمق 0.7 متر في الأرض .

جدول (32)

عوامل التصحيح لأكثر من دارة ، الكوابل ممدودة داخل مجرى **duct** في الأرض .

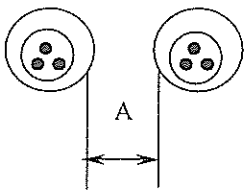
أ)كوابل متعددة القلوب في مجرى أحادي الطريق Single-way duct .

عدد الكوابل	المسافة بين المجريين A❖			
	صفر، المجريان متلامسان	0.25 متر	0.5 متر	1.0 متر
2	0.85	0.90	0.95	0.95
3	0.75	0.85	0.90	0.95
4	0.70	0.80	0.85	0.90
5	0.65	0.80	0.85	0.90
6	0.60	0.80	0.80	0.90

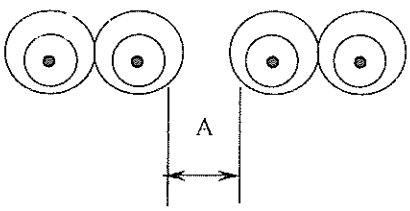
ب)كوابل أحادية القلب في مجرى أحادي الطريق Single -way duct .

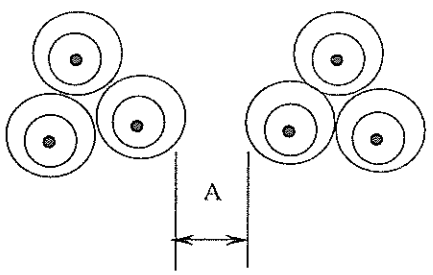
عدد الدارات أحادية القلب من كابلين أو ثلاثة كوابل	المسافة بين المجريين A❖			
	صفر المجريان متلامسان	0.25 متر	0.5 متر	1.0 متر
2	0.80	0.90	0.90	0.95
3	0.70	0.80	0.85	0.90
4	0.65	0.75	0.80	0.90
5	0.60	0.70	0.80	0.90
6	0.60	0.70	0.80	0.90

❖كوابل متعددة القلوب .



كوابل أحادية القلب





ولا بد أن نشير إلى أن جداول السعة الأمبيرية السابقة للكوابل مأخوذة من منحنيات السعة الأمبيرية وعلاقتها بمساحة مقطع الكابل . لذلك يمكننا حساب السعة الأمبيرية للكابل باستخدام المعادلة التالية :

حيث أن : $I= A.S^m - B.S^n$

I-السعة الأمبيرية للكابل، أمبير.

S-مساحة مقطع الكابل، مم2.

A,B-معاملات.

n, m- أس (قوة جبرية) للمعاملات.

إن السعة الامبيرية التي نحصل عليها باستخدام المعادلة السابقة يجب تقريبها لأقرب 0.5 أمبير إذا كانت السعة الأمبيرية لا تزيد على 20 أمبيراً. ويجب تقريبها إلى أقرب أمبير إذا كانت السعة الأمبيرية أكبر من 20 أمبيراً.

وفي معظم الحسابات العملية يمكننا أن نكتفي بالحد الأول في المعادلة أعلاه، حيث تصبح كما يلي:

$$I= A.S^m$$

ويبين جدول -33 قيم المعاملات m,A المستخدمة في حساب السعة الأمبيرية للكوابل المختلفة ولطرق تمديد الكوابل المختلفة أيضاً.

جدول (34)

قيم المعاملات والقوة الجبرية

رقم جدول السعة الامبيرية	العمود	موصلات النحاس		موصلات الالمنيوم	
		A	m	B	n
جدول - 24	أ	11.2	0.612	8.60	0.616
	ب	13.5	0.625	10.5	0.625
	جـ ≤16mm^2	15	0.625	11.6	0.625
	جـ ≥25mm^2	15	0.625	10.5	0.640
	د	17.6	0.551	13.5	0.551
جدول - 25	أ	14.9	0.611	11.6	0.615
	ب	18	0.625	14.0	0.625
	جـ ≤16mm^2	19	0.625	14.8	0.625
	جـ ≥25mm^2	17.5	0.650	12.6	0.648
	د	20.8	0.548	15.8	0.550
جدول -26	أ	10.4	0.605	7.94	0.612
	ب	12	0.625	9.4	0.625
	جـ ≤16mm^2	13.5	0.625	10.5	0.625
	جـ ≥25mm^2	12.4	0.635	9.5	0.633
	د	14.6	0.550	11.3	0.550
جدول - 27	أ	13.34	0.611	10.9	0.605
	ب	16	0.625	12.5	0.625
	جـ ≤16mm^2	17	0.625	13.5	0.625
	جـ ≥25mm^2	15.4	0.635	11.5	0.639
	د	17.3	0.549	13.3	0.551

4.2 الأختيار الاقتصادي للكوابل

كما ذكرنا سابقاً فأن الهدف الرئيسي من تمديد الكوابل هو لتوزيع القدرة الكهربائية من المصدر الى المستهلك بفعالية كل ما أمكن ذلك . وبسبب المقاومة الفعّالة للكوابل

فان بعض القدرة تتحول الى حرارة يتم تبديدها في الوسط المحيط ، ولذلك فلا يمكن الحصول على فعالية 100% بالنسبة للكوابل . إن الفقد في الكابل (الحرارة المبددة) يمكن تقليلها إذا تم تخفيض مقاومة الكابل الى كمية صغيرة جداً عن طريق زيادة كبيرة في مساحة المقطع . ولكن زيادة مساحة المقطع تؤدي الى زيادة كمية النحاس اللازم لتصنيع الكابل (سعر الكابل يتحدد بشكل رئيسي بسعر طن النحاس) وكذلك إلى زيادة كمية المادة العازلة للكابل وهذا يؤدي إلى زيادة سعر الكابل . إضافة الى زيادة كلفة تمديد الكابل .

ويمكن حل هذه المشكلة عن طريق إيجاد مساحة مقطع الموصل الادنى (الأمثل) الذي يحقق أدنى فقد حراري وفي نفس الوقت أدنى سعر للكابل وتركيبه .

إن جداول السعة الامبيرية السابقة تبين مساحة مقطع الكابل من الناحية الحرارية Thermal فقط ، وهي تبين أدنى مساحة مقطع للكابل يستطيع تحمل التيار المعني من الناحية الحرارية . لذلك من الضروري أن يتم إختيار مساحة مقطع الكابل من ناحية اقتصادية (إضافة الى الناحية الحرارية) وذلك لتقليل الفقد الحراري إلى أدنى كمية ممكنة .

إن معدل فقد القدرة (الفقد الحراري) في كابل طوله متر نتيجة لمقاومته R يمكن حسابه كما يلي :

$$W=I^2R \qquad (1)$$

حيث أن التيار I يساوي :

لاحمال الطور الواحد :

$$I=\frac{P}{V.\cos\varphi} \qquad (2)$$

حيث ان :

P- القدرة ، واط

V- فولطية الطور ، فولط .

للاحمال ثلاثية الاطوار :

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}\, V.\cos\varphi} \qquad (3)$$

حيث ان :

V– الفولطية بين الطور والطور، فولط .

cosφ–معامل القدرة .

إذا كان طول الكابل L فان فقد القدرة يساوي :

$$W = \frac{I^2 R.L}{1000} \quad [kW] \qquad (4)$$

ولحساب الطاقة التي يفقدها الكابل، فلا بد أن نضرب المعادلة (4) في فترة تشغيل الحمل T بالساعات .

$$W = \frac{IR^2.L.T}{1000} \quad [kW.h] \qquad (5)$$

فإذا كان سعر الكيلوواط . ساعة الذي تحاسب عليه شركة الكهرباء ويدفعه المستهلك يساوي P فلساً لكل كيلوواط . ساعة . فان سعر الفقد يساوي :

$$C_j = \frac{I^2 R.L.T}{1000} \frac{P}{1000} \qquad \text{(Dinar/month)} \quad (6)$$

وإذا كانت شركة الكهرباء لديها تعرفة للقدرة بالكيلوواط إضافة الى تعرفة استهلاك الطاقة، فلا بد للمستهلك أن يدفع تلك التعرفة ايضاً . فإذا كانت تعرفة الكيلو واط تساوي D دينار لكل كيلو واط من الحمل، فان المستهلك يدفع ما يلي :

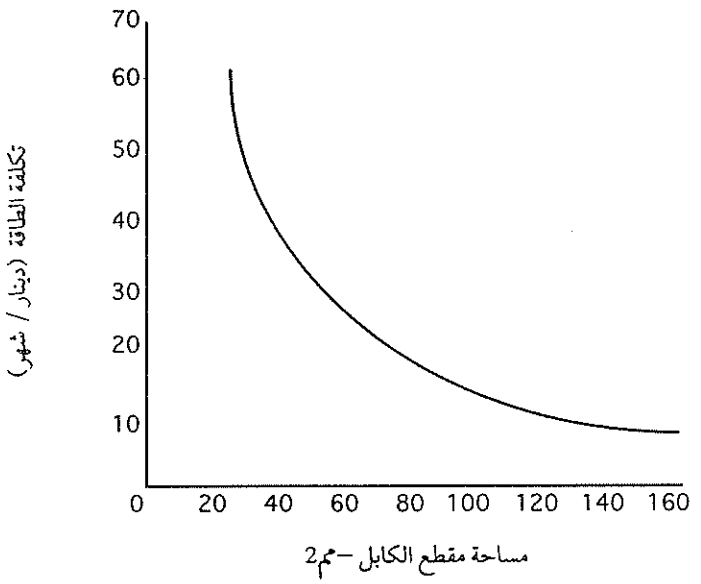
$$C_d = \frac{I^2 R.L}{1000} .D \qquad \text{Dinar/month} \quad (7)$$

مما سبق فان تكلفة الفقد الحراري في الكابل شهرياً تساوي :

$$C = C_j + C_d = \frac{I^2R.L.T}{1000}\ \frac{P}{1000} + \frac{I^2R.L}{1000}\ .D =$$

$$= \frac{I^2R.L}{1000}\ \left(\frac{TP}{1000} + D\right) \qquad (8)$$

من المعادلة (8) فان تكلفة الفقد الحراري في الكابل تتناسب طردياً مع المقاومة والتي بدورها تتناسب عكسياً مع مساحة المقطع ، اي كلما زادت مساحة مقطع الكابل كلما قلت المقاومة وبالتالي إنخفضت تكلفة الفقد الحراري في الكابل . ويبين شكل -3 العلاقة بين تكلفة الفقد الحراري ومساحة مقطع الكابل .



شكل -3

العلاقة بين تكلفة الفقد الحراري في الكابل ومساحة مقطع الكابل .

ذكرنا أن زيادة مساحة مقطع الكابل تؤدي الى زيادة ثمن الكابل نفسه والى زيادة تكلفة تمديد الكابل . فإذا فرضنا ما يلي :

P_c– سعر متر الكابل إضافة الى تكلفة تمديده ومن ضمنها العمالة والمصاريف .

P_t– تكلفة كل طرف Termination من أطراف الكابل .

من هنا يمكننا كتابة ما يلي :

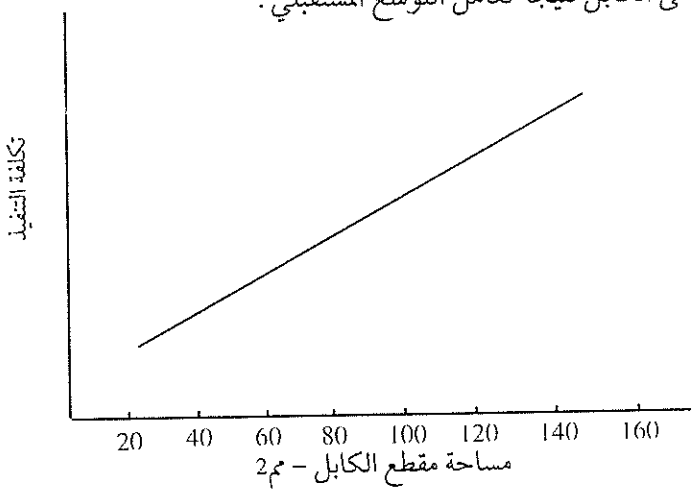
$$C_i = LP_c + mP_t \qquad (9)$$

حيث أن :

m– عدد الكوابل وتساوي 2 للدارة الاحادية و3 للدارة ثلاثية الأطوار .

ويبين شكل -4 العلاقة بين تكلفة تنفيذ الكابل ومساحة مقطع الكابل .

ولا بد ان نشير الى أن كلفة تنفيذ الكابل تدفع مرة واحدة وذلك عند تنفيذ المشروع ، بينما تكلفة الفقد الحراري تدفع شهرياً وعلى مدى العمر التشغيلي للمشروع ، ويمكن لهذه التكلفة أن تتغير مع الزمن نتيجة لتغيير تعرفة الطاقة الكهربائية ، وكذلك لزيادة الأحمال على الكابل نتيجة لعامل التوسع المستقبلي .



شكل-4

العلاقة بين تكلفة تنفيذ الكابل ومساحة مقطعه .

فإذا كان العمر الافتراضي للمشروع Nسنة ، فهذا يعني اننا سندفع 12N مرة ثمن تكلفة الفقد الحراري (Cj+Cd) ، لذلك ولايجاد الكلفة السنوية لا بد لنا من استخدام معدل الخصم Discounting Rate والذي هو عكس معدل الفائدة المركبة .

لنفترض ما يلي :

N- العمر التشغيلي للمشروع ، سنة .

i- معدل الخصم ، نسبة مئوية في السنة .

a-معدل الزيادة السنوية في الحمل الكهربائي .

b-معدل الزيادة في سعر الطاقة (التعرفة الكهربائية)خلال العمر التشغيلي للمشروع ، نسبة مئوية في السنة .

ra-كمية مساعدة تعتمد على الدفعات السنوية Annual Payment .

rm-كمية مساعدة تعتمد على الدفعات الشهرية Monthly Payment .

PV-القيمة الحالية Present Value لعدد 12N دفعة شهرية .

وسنهمل في هذا التحليل المالي معدل التضخم السنوي .

$$ra = \frac{\left(1+\frac{a}{100}\right)^2 X \left(1+\frac{b}{100}\right)}{1+\frac{i}{100}} \qquad (10)$$

$$rm = (ra)^{1/12} \qquad (11)$$

سنرمز الى العامل الذي يجمع تأثير زيادة الحمل الكهربائى وتكلفة الطاقة بالرمزQ .

$$Q = rm \ \frac{(1-ra^N)}{1- rm} \qquad (12)$$

PV=Q (first month's electricity payment)

$$PV=Q\ (C_j+C_d) \qquad (13)$$

إن قيمة PV هي التي يجب إضافتها إلى تكلفة تنفيذ الكابل لنحصل على التكلفة الكلية في نفس الوقت وهو وقت تنفيذ المشروع، حيث أن جميع التكلفات المادية لها نفس الاساس المالي، من هنا فالتكلفة الكلية C_T تساوي:

$$C_T = PV+C_i$$

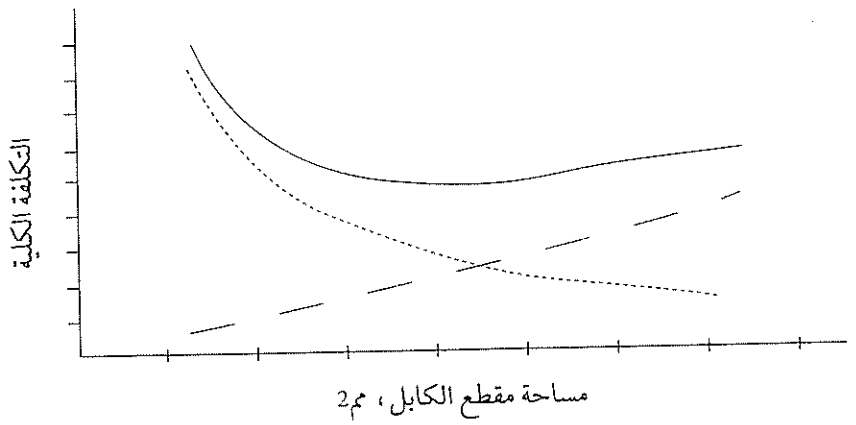
$$C_T = Q\ (C_j + C_d)+C_i \qquad (14)$$

ولو دمجنا المنحنيين الواردين في شكل-3 وشكل-4 لنتج منحنى التكلفة الكلية، ونلاحظ أن المنحنى الناتج له قيمة دنيا وهي القيمة الأفضل أو الأمثل لمساحة مقطع الكابل الذي يقابله أدني تكلفة (تكلفة الفقد في الطاقة وتكلفة التنفيذ) وهذا ما يبينه شكل -5.

———— التكلفة الكلية.

— — — تكلفة تنفيذ الكابل.

..... تكلفة الفقد الحراري في الكابل.



شكل -5

مثال محلول .

لدينا تنور Kiln كهربائي قدرته 100كيلو واط (عامل القدرة = 1.0)، الكابل المغذي لهذا التنور ممدد على صينية كوابل مثقبة مثبتة على أذرع داعمة (طريقة تمديد E من جدول -13)، درجة حرارة الوسط الخارجي 30 درجة مئوية ولا توجد بجانبه أية دارات أخرى . إحسب مساحة المقطع الادنى من الناحية الحرارية وكذلك مساحة المقطع الاقتصادي بتوفر المعلومات التالية :

-تكلفة الكيلوواط . ساعة= 0.05 دينار / ك واط . ساعة .

تكلفة الكيلو واط قدرة=صفراً .

فولطية تشغيل التنور= ثلاثة أطوار، 400 فولط ، ومعدل تشغيل التنور الشهري 350 ساعة ، طول الكيبل المغذي 50 متراً بعازلية XLPE .

الحل :

نجد تيار الحمل الأقصى

$$I= \frac{100 * 10^3}{\sqrt{3} * 400} = 144.5 \text{ A}$$

عوامل التصحيح K_3, K_2.

تتم حماية دارة التنور باستخدام قاطع دارة بمقرر امبيري يساوي :

$$In = 150 \text{ A}$$

من هنا فان السعة الامبيرية للكابل تساوي :

$$Iz = In = 150 \text{ A}$$

من جدول -17 نجد أن الكابل الذي مساحة مقطعه 35مم^2 تساوي سعته الامبيرية 158 أمبيراً ، وهذا أدنى مقطع للكابل من الناحية الحرارية .

نجد مقاومة هذا الكابل (بأهمال الظاهرة القشرية وظاهرة التقارب) .

$$R= \frac{\rho L}{S}$$

$$R= \frac{0.0179X\ 50}{35} =0.026\ Ohm$$

فقد الطاقة في الكابل في الشهر (بمعدل تشغيل 350 ساعة) يساوي (معادلة 5) :

$$W= \frac{144.5^2X0.026X350}{1000} =190\ Kw.h$$

تكلفة الطاقة التي يفقدها الكابل شهريا تساوي :

$$Cj= W.\frac{p}{1000} =190* \frac{150}{1000} =9.5\ \ Dinar\ /month$$

بما ان تكلفة الكيلو واط=صفراً، فان Cd=0

لنفترض أن تكلفة تمديد الكابل الكلية تساوي ثمانية دنانير للمتر الطولي، من هنا فان تكلفة تنفيذ الكابل الكلية تساوي :

$$Ci = 8\ X\ 50= 400\ \ Dinar$$

نفترض الآن أن العمر التشغيلي للمشروع هو 30 سنة، ولا توجد زيادة سنوية في الحمل الكهربائي (a=0) ، ومعدل الزيادة في سعر الطاقة سنوياً تساوي 2% (b=2%) ومعدل الخصم 5% .

نحسب ra (معادلة 10)

$$ra = \frac{1+ \frac{2}{100}}{1+ \frac{5}{100}} =0.971$$

نحسب rm (معادلة 11) :

$$r_m = (0.971)^{1/12} = 0.9976$$

نحسب Q (معادلة 12) :

$$Q = 0.9976 \ \frac{1-0.97^{30}}{1-0.9976} = 0.9976 \ \frac{0.599}{0.0024} = 249$$

من معادلة (13) نحسب القيمة الحالية PV :

$$PV = 249 \times 9.5 = 2365.5 \quad \text{Dinar}$$

التكلفة الكلية للكابل C_T (معادلة 14) تساوي :

$$C_T = 2365.5 + 400 = 2765.5 \quad \text{Dinar}$$

والآن سنجري نفس الحسابات السابقة ولكن لموصل مساحة مقطعة 70مم^2، أي أخذنا موصلا يقع في الجدول بمقاسين أعلى من 35مم^2 (50مم^2، 70مم^2).

$$R = \frac{0.0179 \times 50}{70} = 0.0128 \ \text{Ohm}$$

$$W = \frac{144.5^2 * 0.0128 \times 350}{1000} = 93.5 \ \text{KW.h}$$

$$C_j = 93.5 \times \frac{50}{1000} = 4.675 \ \text{Dinar/ month}$$

نفترض أن كلفة تنفيذ المتر الطولي الواحد من كابل 70مم^2 (ومن ضمنها ثمن الكابل نفسه) يساوي 14 ديناراً / للمتر.

$$C_i = 14 \times 50 = 700 \ \text{Dinar}$$

$$PV = 249 \times 4.675 = 1164 \text{ Dinar}$$

$$C_T = 1164 + 700 = 1864 \text{ Dinar}$$

التوفير الحاصل من استخدام كابل بمقاس 70مم^2 يساوي :

$$\Delta C = 2365.5 - 1864 = 501.5 \text{ Dinar}$$

كان المهندسون المصممون في السابق يأخذون مقاس الكابل الأعلى بمقاسين من مساحة مقطع الكابل الأدنى من الناحية الحرارية ، والمثال السابق يوضح انه لغايات التوفير في الطاقة فأفضل أن يتبنى المهندس المصمم دوماً مساحة مقطع الكابل الذي يقع في الجدول أعلى بمقاسين من مساحة الحد الأدنى من الناحية الحرارية .

لقد قام العديد باجراء الحسابات الاقتصادية لبيان مساحة مقطع الكابل الاقتصادية ، ونورد فيما يلي جدولاً يبين نتائج بعض الحسابات لكابل ثلاثي الاطوار بعازلية PVC ومسلحاً باسلاك فولاذية ومنفذاً في وسط به تهوية .

جدول (34)

مساحة مقطع الكابل الاقتصادي

مساحة مقطع الكابل ، مم^2	مدى تيار التحميل الاقتصادي ، أمبير		المقرر الحراري للتيار حسب IEE
	الحد الأدنى	الحد الأعلى	
25	-	15	91
35	15	23	112
50	23	29	133
70	29	40	163
95	40	55	194
120	55	71	224
150	71	82	250
185	82	106	286
240	106	141	332
300	141	191	372
400	191	-	423

5.2 تحديد سعات المواسير وصناديق الكوابل

يعتمد عدد الكوابل والاسلاك المنفذة داخل المواسير وصناديق الكوابل على عدد من العوامل . أما أهم هذه العوامل فهي :

-طول الماسورة .

-عدد الانحناءات على إمتداد الماسورة .

- نصف قطر الانحناء .

- نوع الكابل إذا كان مصمتاً Solid أو مجدولاً .

-سماكة العازلية .

- نوع مادة الموصل(نحاس أو الومنيوم) .

- الفراغ المطلوب للتوسعات المستقبلية .

ولتحديد عدد الكوابل والاسلاك لا بد من حساب مجموع الحدود Terms الناتجة عن الكوابل المستخدمة ، حيث تبين الجداول الحد المخصص لكل كابل إعتماداً على كون الكابل مصمتاً أو مجدولاً وطول الماسورة وعدد الانحناءات . يبين جدول -35 الحدود لكوابل النحاس المعزولة بمادة PVC .

جدول (35)

الحدود لكوابل النحاس المعزولية بمادة PVC

المرجع	طول الماسورة	نوع الموصل	مساحة مقطع الكابل (م2)							
			1	1.5	2.5	4	6	10	16	25
A	ماسورة مستقيمة بطول	مصمت	22	27	39	-	-	-	-	-
B	3 أمتار وأقل	مجدول	-	31	43	58	88	146	202	385
C	ماسورة مستقمية أكبر من 3	مصمت	16	22	30					
D	أمتار مع أو بدون انحناءات	مجدول	-	22	30	43	58	105	145	217

فإذا كان لدينا مجموعة كوابل مختلفة ولتحديد حجم الماسورة أو الصندوق لا بد من حساب الحد الكلي Total term الناتج عن هذه الكوابل كما يلي :

$$Tt = (t_1 \times n_1) + (t_2 \times n_2) + (t_3 \times n_3) + \ldots + (t_n \times n_n)$$

حيث أن :

t_1-حد الكابل لحجم n_1

t_2-حد الكابل لحجم n_2

t_3-حد الكابل لحجم n_3

t_n-حد الكابل لحجم n_n

n_1-عدد الكوابل من الحجم لاول .

n_2- عدد الكوابل من الحجم الثاني .

n_3-عدد الكوابل من الحجم الثالث .

N_n-عدد الكوابل من الحجم n

T_t-مجموع حدود الكوابل أو الحد الكلي .

فمثلاً ، إذا كان لدينا ستة كوابل مساحة مقطع كل منهم يساوي 2.5 مم^2 والموصل مصمت ، وإثنا عشر كابلاً بمساحة مقطع 1.5مم^2 والموصل مجدول ، وأربعة كوابل بمساحة مقطع 6مم2 ، فإذا كان طول الماسورة يساوي 2.3م وبها ثلاثة إنحناءات ، في هذه الحالة فان الحد الكلي يساوي :

$$T_t = (39 \times 6) + (31 \times 12) + (88 \times 4) = 958$$

لذلك لا بد من إختيار ماسورة يكون حدها أكبر من الحد الكلي . نستخدم جدول -36 ونختار المرجع N3 (الطول بين مترين ومترين ونصف وبثلاثة إنحناءات) ونختار الماسورة التي قطرها يساوي 50مم وحدها يساوي 1671وهو أكبر من الحد الكلي .

ولا بد أن ننظر الى الناحية الاقتصادية ونقارن اقتصادياً بين استخدام ماسورة واحدة لتمديد هذه الكوابل أو استخدام اكثر من ماسورة . ففي المثال السابق فقد يكون أجدى أن نمدد هذه الكوابل في ماسورتين قطر كل منهما يساوي 32مم بدل ماسورة واحدة بقطر 50مم ، وفي الحالة الأولى فان عامل التصحيح لمجموعة الكوابل يكون أكبر لان عدد الكوابل أقل .

جدول (36)
الحدود لمواسير الكوابل

Ref	Length of conduit run, R (m)	conduit term						
		16mm	20mm	25mm	32mm	38mm	50mm	63mm
A	R ≤ 3.0	290	460	800	1400	1900	3500	5600
B	3.0 < R ≤ 3.5	179	290	521	911	1275	2368	3826
C	3.5< R ≤ 4.0	177	286	514	900	1260	2340	3780
D	4.0 < R ≤ 4.5	174	282	507	889	1244	2311	3733
E	4.5< R ≤ 5.0	171	278	500	878	1229	2282	3687
F	5.0 < R ≤ 6.0	167	270	487	857	1199	2228	3599
G	6.0 < R ≤ 7.0	162	263	475	837	1171	2176	3515
H	7.0 < R ≤ 8.0	158	256	463	818	1145	2126	3435
I	8.0 < R ≤ 9.0	154	250	452	800	1120	2080	3360
J	9.0 < R ≤ 10.0	150	244	442	783	1096	2035	3288
	Runs with one bend							
K1	R ≤ 1.0	188	303	543	947	1325	2462	3977
L1	1.0 < R ≤ 1.5	182	294	528	923	1292	2399	3876
M1	1.5< R ≤ 2.0	177	286	514	900	1264	2340	3780
N1	2.0 < R ≤ 2.5	171	278	500	878	1229	2282	3687
O1	2.5< R ≤ 3.0	167	270	487	857	1199	2228	3599
P1	3.0 < R ≤ 3.5	162	263	475	837	1171	2176	3515
Q1	3.5 < R ≤ 4.0	158	256	463	818	1145	2126	3435
R1	4.0 < R ≤ 4.5	154	250	452	800	1120	2080	3360
S1	4.5 < R ≤ 5.0	150	244	442	783	1096	2035	3288
T1	5.0 < R ≤ 6.0	143	233	422	750	1050	1950	3150
U1	6.0 < R ≤ 7.0	136	222	404	720	1008	1872	3024
V1	7.0 < R ≤ 8.0	130	213	388	692	968	1799	2906
W1	8.0 < R ≤ 9.0	125	204	373	667	933	1734	2801
X1	9.0 < R ≤ 10.0	120	196	358	643	900	1671	2700
	Runs with two bends							
K2	R ≤ 1.0	177	286	514	900	1260	2340	3780
L2	1.0 < R ≤ 1.5	167	270	487	857	1199	2228	3599
M2	1.5< R ≤ 2.0	158	256	463	818	1145	2126	3435
N2	2.0 < R ≤ 2.5	150	244	442	783	1096	2035	3288
O2	2.5< R ≤ 3.0	143	233	422	750	1050	1950	3150
P2	3.0 < R ≤ 3.5	136	222	404	720	1008	1872	3024
Q2	3.5 < R ≤ 4.0	130	213	388	692	968	1799	2906
R2	4.0 < R ≤ 4.5	125	204	373	667	933	1734	2801
S2	4.5 < R ≤ 5.0	120	196	358	643	900	1671	2700
T2	5.0 < R ≤ 6.0	111	182	333	600	840	1560	2520
U2	6.0 < R ≤ 7.0	103	169	311	563	788	1463	2364
V2	7.0 < R ≤ 8.0	97	159	292	529	740	1375	2221
W2	8.0 < R ≤ 9.0	91	149	275	500	700	1300	2100
X2	9.0 < R ≤ 10.0	86	141	260	474	663	1232	1990

(1) يُستخدم CSA term مع جدول -38 فقط .

(2) القطر الخارجي للكابل British Electrical Systems Association BESA .

(3) BESA term يُستخدم مع جدول 39 فقط .

وكمثال ، يمكن حساب حجم الصندوق المطلوب لتمديد ستة كوابل بمقطع 2.5مم^2 (الموصل مُصمت) . واثنا عشر كابلاً بمقطع 1.5مم^2 (الموصل مجدول) وأربعة كوابل بمقطع 6مم^2 ، وهذه الكوابل يجب تنفيذها بصندوق بطول 2.3م . نحسب الحد الكلي لصندوق الكابل كما يلي :

$$T_S = (1.02 \times 6) + (8.1 \times 12) + 22.9 \times 4) = 250$$

والآن نستخدم جدول -38 لنجد أن الصندوق الذي أبعاده 50x37.5 مم يناسب تماماً لان حد هذا الصندوق يساوي 767والرقم الاخير أكبر كثيراً من 250 .

جدول (38)

حد صندوق الكوابل المستخدم مع CSA

المرجع	أبعاد صندوق الكوابل											
A	الارتفاع	50	50	75	75	75	75	100	100	100	100	100
B	العمق	37.5	25	50	37.5	25	50	75	100	100	75	50
C	الحد 1,2	767	738	1037	1146	1555	2371	2091	3189	4252	3189	2091

ملاحظات على جدول -38

(1) تُستخدم هذه الحدود مع csa cable terms من جدول -37 للسطر A .

(2) الحدود تسمح بعامل فراغ يساوي 45% وكذلك تأخذ بعين الاعتبار سماكة الصندوق .

Runs with three bend								
K3	R ≤ 1.0	158	256	463	818	1145	2126	3435
L3	1.0 < R ≤ 1.5	143	233	422	750	1050	1950	3150
M3	1.5< R ≤ 2.0	130	213	388	692	968	1799	2906
N3	2.0 < R ≤ 2.5	120	196	358	643	900	1671	2700
O3	2.5< R ≤ 3.0	111	182	333	600	840	1560	2520
P3	3.0 < R ≤ 3.5	103	169	311	563	788	1463	2364
Q3	3.5 < R ≤ 4.0	97	159	292	529	740	1375	2221
R3	4.0 < R ≤ 4.5	91	149	275	500	700	1300	2100
S3	4.5 < R ≤ 5.0	86	141	260	474	663	1232	1990
Runs with four bend								
K4	R ≤ 1.0	130	213	388	692	968	1799	2906
L4	1.0 < R ≤ 1.5	111	182	333	600	840	1560	2520
M4	1.5< R ≤ 2.0	97	159	292	529	740	1375	2221
N4	2.0 < R ≤ 2.5	86	141	260	474	663	1232	1990

أما بالنسبة لاختيار حجوم صناديق الكوابل فلا بد أن نأخذ بعين الاعتبار عامل الفراغ المناسب Space Factor وكذلك التوسعات المستقبلية . ويمكن تعريف عامل الفراغ بانه النسبة بين مجموع مساحات مقاطع الكوابل المنفذة داخل الصندوف الى مساحة مقطع الصندوق الداخلية الفعلية . وكما حسبنا الحد الكلي للكوابل المنفذة داخل الماسورة لتمديد مقطع الماسورة ، كذلك لا بد من حساب الحد الكلي للكوابل المنفذة داخل الصندوق وذلك باستخدام جدول- 37 .

جدول (37)

حدود الكوابل عند تنفيذها داخل صناديق الكوابل

حد الكوابل																الكوابل مع حرف S هي مصمتة	المرجع
240	150	120	95	70	50	35	25	16	10	6	4	2.5S	2.5	1.5S	1.5		
							-	-	36.3	22.9	15.2	10.2	11.4	7.1	8.1	CSA term[1]	A
								8.0	6.8	5.4	4.4	3.6	3.8	3.0	3.2	BESA[2] قطر	B
552	346	284	227	76.7	132.7	95.0	75.4	50.3	36.3	22.9	18.1	11.9	13.9	8.6	9.6	BESA[3] term	C

جدول -39

حدود صناديق الكوابل المستخدمة مع BESA terms

الرمز		أبعاد الصناديق وحدود terms																	
A	الارتفاع	50	50	75	75	75	100	100	100	100	100	150	150	150	150	150	200	200	
B	العمق	38	50	25	38	50	75	100	38	50	75	100	38	75	100	150	38	50	
C	Gauge	1	1	1.2	1.2	1.2	1.2	1.4	1.6	1.6	1.2	1.2	1.6	1.6	1.2	1.6	1.6	1.6	
D	BESA term	767	1037	738	1146	1555	2371	993	1542	2091	3184	4252	2999	3091	4743	6394	9697	3082	4145

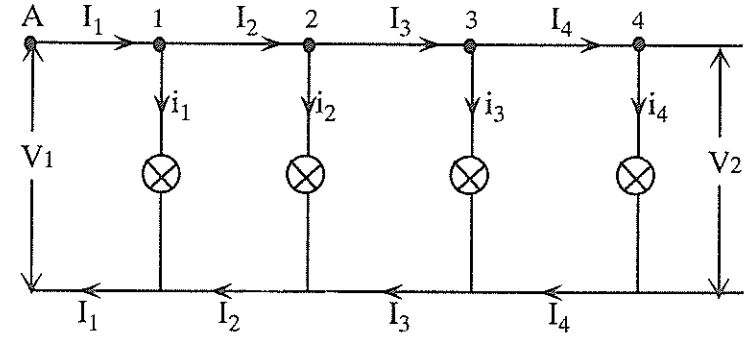
أبعاد الصناديق وحدود BESA terms لصناديق 75 x 200 ولغاية 300x 300

F	الارتفاع	200	200	200	200	225	225	225	225	225	225	225	300	300	300	300	300	300	300
E	العمق	75	100	150	200	38	50	75	100	150	200	225	38	50	75	100	150	200	225
G	Gauge	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	2.0
H	BESA term	6359	8572	13001	17429	3474	4671	7167	9662	14652	19643	22138	4648	6251	9590	12929	19607	26285	29624	39428

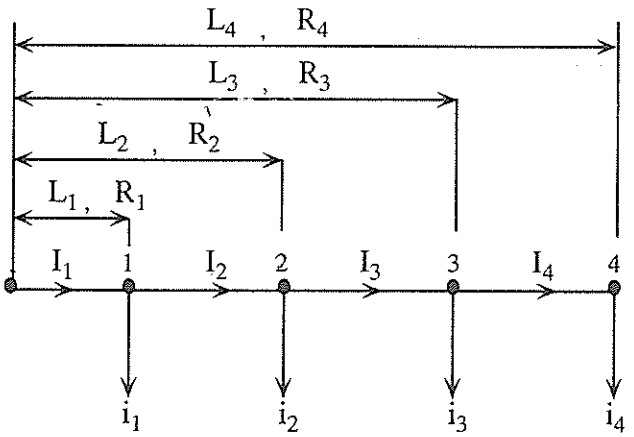
الفصل الثالث
حسابات فقد وهبوط الفولطية

1.3 حسابات فقد الفولطية في الدارة أحادية الطور

نفترض أن لدينا دارة كهربائية أحادية الطور تُغذي مجموعة أحمال فعّالة Active loads ، ونفترض أيضاً أن المقاومة المراكسة للدارة صغيرة بحيث يمكن إهمالها ، وأن الفولطية في بداية الخط هي V_1 ، وأن الفولطية في نهاية الخط هي V_2 ، كما يبين ذلك شكل – 1– أ.



(أ)



(ب)

شكل –1

ولغايات الحساب يمكننا رسم شكل 1-أ كما هو مبين في شكل أ- ب .

إن فقد الفولطية Voltage loss في الخطين (الخط المغذي للحمل والخط الراجع) يساوي :

$$\Delta V = V_1 - V_2 = 2 (I_1 r_1 + I_2 r_2 + I_3 r_3 + I_4 r_4) \qquad (1)$$

حيث أن :

V_1 – قيمة الفولطمية في بداية الخط ، فولط .

V_2 – قيمة الفولطية في نهاية الخط ، فولط .

I_1, I_2, I_3, I_4 – التيارات ، أمبير .

r_1, r_2, r_3, r_4 – المقاومات الفعّالة ، أوم .

بالرجوع إلي شكل 1-أ وشكل 1- ب يمكننا كتابة العلاقات التالية :

$$\begin{aligned}
I_1 &= i_1 + i_2 + i_3 + i_4, \\
I_2 &= i_2 + i_3 + i_4, \\
I_3 &= i_3 + i_4, \\
I_4 &= i_4, \\
R_1 &= r_1 , \qquad (2) \\
R_2 &= r_1 + r_2 , \\
R_3 &= r_1 + r_2 + r_3, \\
R_4 &= r_1 + r_2 + r_3 + r_4, \\
L_1 &= l_1 , \\
L_2 &= l_1 + l_2 , \\
L_3 &= l_1 + l_2 + l_3, \\
L_4 &= l_1 + l_2 + l_3 + l_4,
\end{aligned}$$

وبوضع العلاقات الواردة في (2) في المعادلة (1) نحصل على ما يلي :

$$\Delta V = 2 (i_1 R_1 + i_2 R_2 + i_3 R_3 + i_4 R_4) \qquad (3)$$

وبشكل عام فإن فقد الڤولطية يساوي :

$$\Delta V = V_1 - V_2 = 2\sum_{j=1}^{n} i_j R_j \qquad (4)$$

ويمكننا إيجاد المقاومة الفعّالة للخط (الكابل) إذا عرفنا طوله ومساحة مقطعه والمادة المصنوع منها (أي مقاوميته أو موصليته)، وبإهمال الظاهرة القشريه Skin effect والظاهرة التقاربية proximity effect فإن المقاومة الفعّالة تساوي :

$$r = \frac{\ell}{\gamma S} = \frac{\rho \ell}{S} \qquad (5)$$

$$R = \frac{L}{\gamma S} = \frac{\rho L}{S} \qquad (6)$$

حيث أن :

ρ– مقاومية المادة، أوم مم^2/ م.

γ – موصلية المادة، م/ أوم . مم^2.

S– مساحة مقطع الموصل، مم^2.

من هنا، فإن فقد الڤولطية في خط أحادي الطور يُغذي مجموعة أحمال يصبح كما يلي :

$$\Delta V = \frac{2}{\gamma S} \sum_{j=1}^{j=n} I_j \ell_j \qquad (7)$$

$$\Delta V = \frac{2}{\gamma S} \sum_{j=1}^{j=n} i_j L_j \qquad (8)$$

وعادة، يتحدد فقد الڤولطية بقيمة معنية يجب أن لا نتجاوزها (فقد الڤولطية المسموح به Permissible voltage drop)، وهذه القيمة هي التي تُحدد مساحة مقطع السلك أو الكابل المطلوب كما يلي :

$$S = \frac{2}{\gamma \Delta V_{per}} \sum_{j=1}^{j=n} I_j \ell_j \qquad (9)$$

$$S = \frac{2}{\gamma \Delta V_{per}} \sum_{j=1}^{j=n} i_j L_j \qquad (10)$$

حيث أن :

V_{per} – قيمة فقد الفولطية المسموح به ،فولط .

V_r – الفولطية المقررة، فولط .

$V_{per\%}$ – فقد الفولطية المسموح به، نسبة مئوية .

وعادة، تُعطى الأحمال بالفولط . أمبير (كيلو فولط . أمبير)، لذلك، فإذا إفترضنا أن P هو الحمل الكهربائي بالفولط . أمبير في أجزاء الخط و P´ الحمل بالفولط . أمبير في نقاط إتصال الحمل، فيصبح فقد الفولطية بالفولط كما يلي :

$$\Delta V = \frac{2}{\gamma S V r} \sum_{j=1}^{j=n} P_j \ell_j \qquad (14)$$

$$\Delta V = \frac{2}{\gamma S V r} \sum_{j=1}^{j=n} P'_j L_j \qquad (15)$$

وتصبح فقد الفولطية كنسبة مئوية كما يلي :

$$\Delta V\% = \frac{2x100}{\gamma S V_r^2} \sum_{j=1}^{j=n} P_j \ell_j \qquad (16)$$

$$\Delta V\% = \frac{2x100}{\gamma S V r^2} \sum_{j=1}^{j=n} P'_j L_j \qquad (17)$$

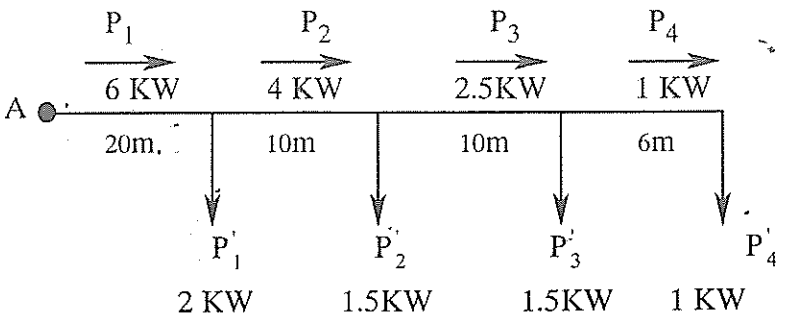
بالتالي يمكننا تحديد مساحة مقطع السلك أو الكابل كما يلي :

$$S = \frac{2x100}{\gamma \Delta V_{per} V_r^2} \sum_{j=1}^{j=n} P_j \ell_j \qquad (18)$$

$$S = \frac{2x100}{\Delta V_{per\%} V_r^2} \sum_{j=1}^{j=n} P'_j L_j \qquad (19)$$

مثال محلول :

إحسب فقد الفولطية في دارة أحادية الطور، كما في شكل – 2 ، إذا كانت الفولطية المقررة هي 220 فولطاً، وكان الخط مصنوعا من مادة النحاس ومساحة مقطعه 6مم^2.



شكل -2

الحل :

$$\Delta V\% = \frac{2x10^5}{\gamma S\, V_r^2} \sum P\ell$$

$$= \frac{2x10^5}{56x6x220^2} (6x20 + 4x10 + 2.5 \times 10 + 1.0 \times 6)$$

$$= 2.35\%$$

ونفس الجواب نحصل عليه إذا استخدمنا المعادلة التالية :

$$\Delta V\% = \frac{2 \times 10^5}{\gamma S\, V_r^2} \sum P_j' L_j =$$

$$= \frac{2 \times 10^5}{56 \times 6 \times 220^2} (2 \times 20 + 1.5 \times 30 + 1.5 \times 40 + 1.0 \times 46 + = 2.35\%$$

مثال محلول :

في المثال السابق ، إحسب مساحة مقطع السلك المغذي للأحمال إذا كانت قيمة فقد الفولطية المسموح بها تساوي 1.5% .

الحل :

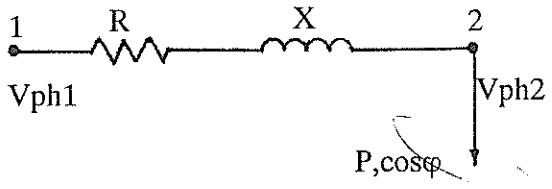
$$S = \frac{2 \times 10^5}{\gamma \Delta V_{per\%}\, V_r^2} = \sum_{j=1}^{j=n} P_j\, \ell_j$$

$$S = \frac{2 \times 10^5}{56 \times 1.5 \times 220^2} (6x20 + 4 \times 10 + 2.5 \times 10 + 1.0 \times 6) = 9.4\ mm^2$$

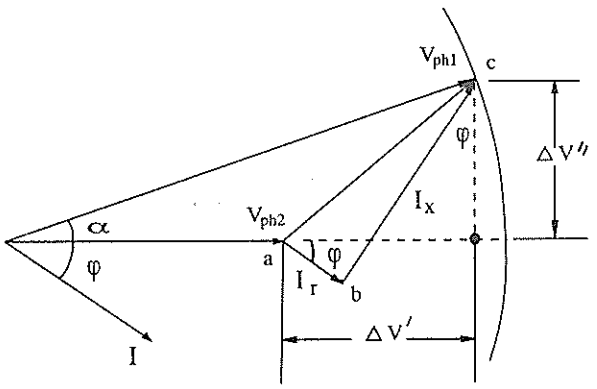
لذلك نختار سلكاً مقطعه 10مم^2 ، وبذلك قيمة فقد الفولطية في الخط أقل من قيمة فقد الفولطية المسموح بها .

2.3 مفهوم هبوط الفولطية وفقدها

لنفترض أن لدينا خطاً كهربائياً يصل بين النقطة 1والنقطة 2 (شكل – 3) وأن كمية من القدرة P ومعامل قدرة Cos φ يتم استهلاكها في النقطة 2 . لنفترض أيضاً أن المقاومة الفعالة للخط R والمراكسة الحثية X . تُسمى النقطة 1بنقطة البداية Sending end والنقطة 2 بنقطة الاستقبال Receiving end .



شكل -3



شكل -4

ولنفترض أن الفولطية الطورية في النقطة 1 هي Vph_1 والفولطية الطورية في النقطة 2 هي Vph_2 ، أما التيار الذي يسري في الخط فيساوي I . ونفترض أيضاً أن التيار يتأخر عن الفولطية بزاوية مقدارها φ (انظر شكل – 4) .

من المعروف أن الفولطية في نهاية الخط أقل من الفولطية في بداية الخط بقيمة الفقد في الخط .

يُعرف هبوط الفولطية Voltage drop بأنه حاصل طرح متجه الفولطية في بداية الخط V_{ph1} ومتجه الفولطية في نهاية الخط V_{ph2} ، أي أن

$$\dot{a}\,\dot{c} = \dot{I}\,\dot{Z} = \dot{V}_{ph1} - \dot{V}_{ph2} \qquad (20)$$

حيث أن النقطة فوق الكمية تعني أن الكمية هي كمية متجهة .

من المثلث abc نجد أن :

$$\dot{I}\,\dot{Z} = \Delta\dot{V} = \dot{I}(R+jX) = \dot{I}R = j\dot{I}X \qquad (21)$$

حيث أن :

ΔV – هبوط الفولطية .

أما القيمة العددية لهبوط الفولطية فتساوي :

$$\Delta V = IZ = \sqrt{(IR)^2 + (IX)^2} \qquad (22)$$

كذلك نلاحظ أن متجه الفولطية في بداية الخط يتقدم على متجه الفولطية في نهاية الخط بزاوية مقدارها α .

ويُعّرف فقد الفولطية Voltage loss بأنه الفرق العددي بين القيم العددية للفوبطية في بداية الخط ونهاية الخط ، فإذا وضعنا فولطميترا في بداية الخط ليقيس القيمة العددية للفولطية في تلك النقطة ووضعنا فولطميترا في نهاية الخط ليقيس القيمة العددية للفولطية في تلك النقطة ، فإن فقد الفولطية هو الفرق بين قرائتي الفولطميترين ، أي أن :

$$\Delta V = V_{ph1} - V_{ph2} \qquad (23)$$

حيث أن :

ΔV – فقد الفولطية .

V_{ph1} ، V_{ph2} – قيمة الفولطية الطورية في بداية ونهاية الخط وهي قيم عددية .

بالنظر إلى مخطط المتجهات المبين في شكل – 4 ، يمكننا تحليل المتجه a c والذي هو متجه هبوط الفولطية إلى مركبتين : الأولى ، المركبة الأفقية $\Delta V'$ ، والثانية ، المركبة العمودية $\Delta V''$ ، أي أن :

$$\Delta \dot{V} = \Delta V' + j\, \Delta\, V'' \qquad (24)$$

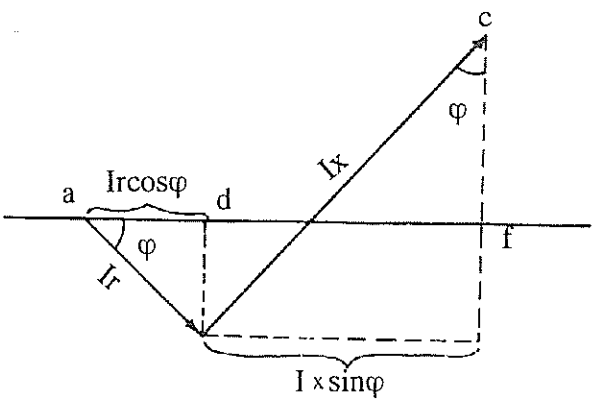
وفي الشبكات الكهربائية التي فولطيتها أقل من 10ك . ف . (وفولطية شبكات التمديدات الكهربائية أقل من ذلك) ، فإن الزاوية α صغيرة ، وبالتالي فإن $\Delta V'$ تكون قليلة مقارنة مع $\Delta V''$ ، وبالتالي يمكن إهمالها . في هذه الحالة يمكننا إعتبار أن فقد الفولطية يساوي المركبة الأفقية لهبوط الفولطية أي أن :

$$\Delta V = \Delta V' \qquad (25)$$

ومن مخطط المتجهات في شكل – 4 نجد أن المركبة الأفقية $\Delta V'$ تساوي :

$$\Delta V' = ad + df \qquad (26)$$

ولايجاد قيم ad و df ندرس جزءاً من المخطط التمثيلي كما في شكل – 5 .



شكل (5)

حيث أن :

$$ad = I\,r\,\cos\varphi$$
$$df = Ix \sin\varphi \qquad (27)$$

أي أن فقد الفولطية يساوي :

$$\Delta V' = Ir\cos\varphi + jIx\sin\varphi \qquad (28)$$

وإعتماداً على طبيعة الشبكة الكهربائية ، يمكن أن نهمل هذا الجزء أو ذاك في الحسابات .

وما يهمنا هو الشبكات الكهربائية للتمديدات في المباني ، ففي هذه الشبكات فإن المقاومة الفعالة للكوابل والأسلاك المستخدمة هي أكبر بكثير من المراكسة الحثية ، ولذلك يمكننا أن نهمل قيمة المراكسة الحثية ونعتبرها مساوية للصفر . وفي هذه الحالة ، فإننا نعتبر أن التيار يسري في مقاومة فعالة r ، أي أن التيار والفولطية يتطابقان . وفي هذه الحالة فإن الزاوية φ تساوي صفراً ، أي أن $\cos\varphi$ يساوي 1 ، لذلك تصبح المعادلة (28) على الشكل التالي :

$$\Delta V' = Ir \qquad (29)$$

وإختصاراً تُكتب كما يلي :

$$\Delta V = Ir \qquad (30)$$

وهذا هو فقد الفولطية في الكابل أو السلك المستخدم في تمديدات المباني . لذلك فإن الفولطية في بداية الكابل تساوي :

$$V_1 = V_2 + Ir = V_2 + \Delta V \qquad (31)$$

من الاستعراض السابق نستطيع أن نبين العوامل التي يعتمد عليها هبوط الفولطية وهي:

1- معامل القدرة للحمل Cos φ .

2- قيمة المراكسة الحثية للكابل .

3- سعة الدارة الكهربائية (الكابل) أي قدرتها .

4- زيادة قيمة المقاومة الفعالة للكابل نتيجة للظاهرة القشرية Skin effect .

وعادة، تُعطى قيمة المقاومة الفعالة للكابل لكل وحدة طول أي أوم/ م . في هذه الحالة فإن فقد الفولطية يساوي:

$$\Delta V = Ir_0 L \qquad (32)$$

حيث أن:

L – طول الكابل بالمتر .

r_o – المقاومة الفعالة للكابل لكل وحدة طول، أوم / م .

أما إذا عرفنا المادة المصنوع منها الكابل (نحاس، ألومنيوم) ومساحة مقطع الكابل وطوله فيمكننا حساب المقاومة بالأوم كما يلي:

$$R = \frac{\rho L}{S} = \frac{L}{\gamma S} \qquad (33)$$

حيث أن:

ρ – المقاومة النوعية لمادة الكابل أوم . م أو $\left(\frac{\text{أوم . مم}^2}{\text{م}}\right)$.

L– طول الكابل بالمتر .

S – مساحة مقطع الكابل بالمتر المربع (ملليمتر مربع) .

γ – الموصلية النوعية، م/ أوم . مم^2 .

وتُستخدم جميع المعادلات السابقة في حساب فقد الفولطية في الدارات أحادية الطور.

مثال محلول :

إستخُدِم كابل من النحاس مساحة مقطعه 35مم^2 لتمرير تيار قيمته 50 أمبيراً لمسافة 100 متر، إحسب فقد الفولطية في نهاية الخط.

الحل :

نجد أولا المقاومة الفعالة r للكابل، علما بأن موصلية النحاس تساوي 56م/ أوم. مم^2.

$$R = \frac{L}{\gamma S} = \frac{100}{56x35} = 0.051\ \Omega$$

$$\Delta V = IR = 50 \times 0.051 = 2.55\ V$$

فإذا كانت القيمة المقررة للفولطية Rated voltage تساوي 220 فولطاً، فإن النسبة المئوية لفقد الفولطية تساوي :

$$\Delta V\% = \frac{\Delta V}{V_r} \times 100\% = \frac{2.55}{220} \times 100\% = 1.16\%$$

من هذا المثال يتضح أنه إذا كانت قيمة الفولطية في بداية الكابل هي 220 فولطاً، فإن الفولطية في نهاية الكابل تساوي :

$$V_2 = V_1 - \Delta V = 220 - 2.55 = 217.45\ V$$

أي أن قيمتها أقل وذلك بسبب فقد الفولطية في المقاومة الفعالة للكابل.

3.3 فقد الفولطية في الدارات ثلاثية الأطوار

من العرض السابق عرفنا أن المعادلة (28) تستخدم لحساب فقد الفولطية في الدارات أحادية الطور، فإذا كان لدينا دارة ثلاثية الأطوار محملة أطوارها بالتساوي فإن فقد الفولطية في الدارة ثلاثية الأطوار يساوي:

$$\Delta V = \sqrt{3}\, I \left(R \cos \varphi + jX \sin \varphi\right) \qquad (34)$$

فإذا كانت r_0 المقاومة الفعالة للكيبل بالأوم لكل متر طول، و x_0 المراكسة الحثية للكيبل لكل متر طول، أي أن:

$$R = r_0 L \qquad (35)$$
$$X = x_0 L$$

حيث أن:

L- طول الكابل بالمتر.

فإن فقد الفولطية يمكن حسابه كما يلي:

$$\Delta V = \sqrt{3}\, IL \left(r_0 \cos \varphi + jx_0 \sin \varphi\right) \qquad (36)$$

وكنسبة مئوية فإن فقد الفولطية يساوي:

$$\Delta V\% \frac{\sqrt{3}\ 100\ IL}{V_r} \left(r_0 \cos \varphi + jx_0 \sin \varphi\right) \qquad (37)$$

أما إذا كان الحمل معطى لنا بالكيلو واط وليس الأمبير، فإن:

$$I = \frac{P \times 10^3}{\sqrt{3}\ V_r \cos \varphi} \qquad (38)$$

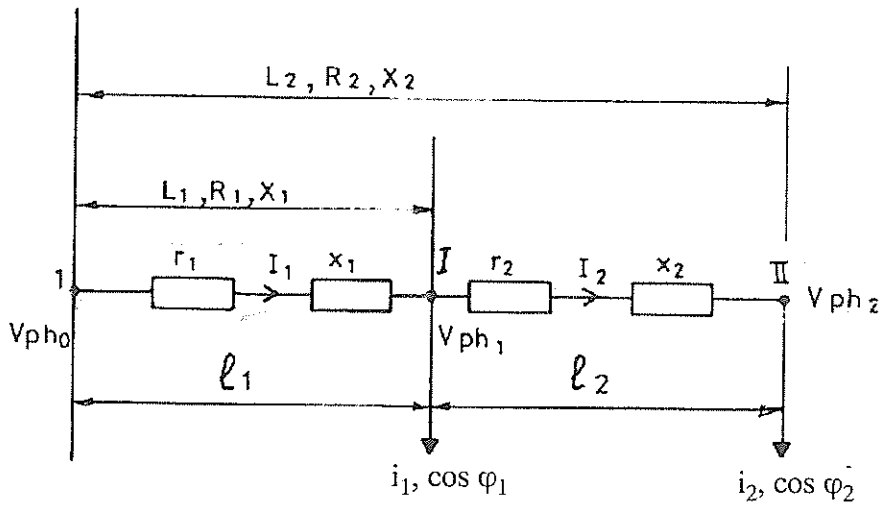
وبالتالي يصبح فقد الفولطية مساويا :

$$\Delta V\% = \frac{10^5\ PL}{V_r^2 \cos\varphi}\left(\hat{r}_0 \cos\varphi + j\, x_0 \sin\varphi\right) = \frac{10^5 PL}{V_r^2}\left(r_0 + jx_0\, tg\,\varphi\right) \qquad (39)$$

وبإهمال المراكسة الحثية للكابل، فإن فقد الفولطية يمكن حسابه كما يلي :

$$\Delta V\% = \frac{10^5\ PL}{V_r^2}\ .\ r_0 \qquad (40)$$

4.3 حساب فقد الفولطية في الدارات ثلاثية الأطوار التي تُغذي عدداً من الأحمال.

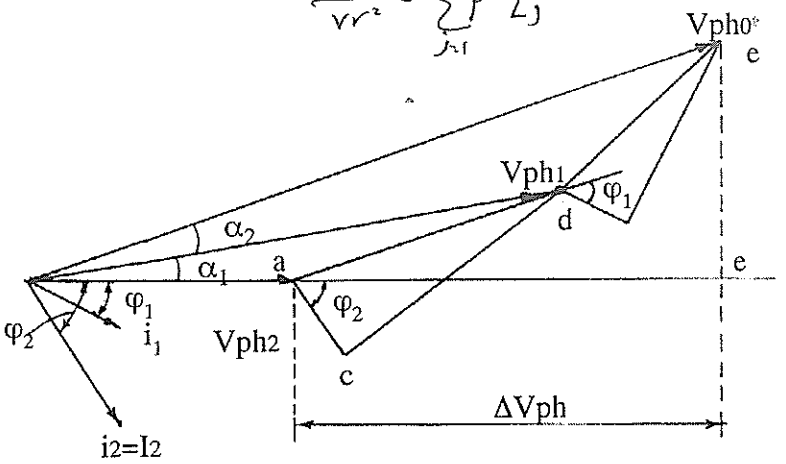


شكل (6)

يبين شكل – 6 دارة ثلاثية الأطوار تغذي حملين في النقطة I والنقطة II . جميع الكميات المستخدمة في الحساب مبينة على الشكل المذكور، ويبين شكل – 7 مخطط المتجهات للدارة الكهربائية في شكل – 6 .

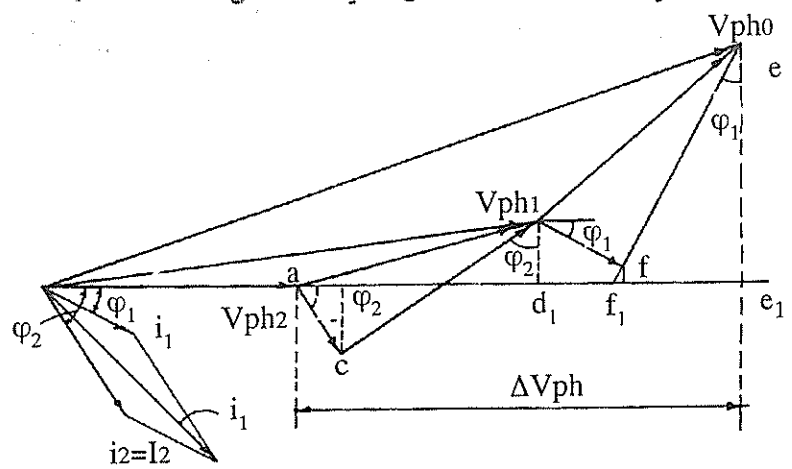
$$\Delta V = \frac{10^3}{V_r} r_0 \sum_{j=1}^{N} P L_j$$ حيث عدد الأحمال في الفرع

$$\Delta V\% = \frac{10^5}{V_r^2} r_0 \sum_{j=1}^{N} P L_j$$



شكل (7)

إن تحديد قيمة فقد الفولطية إعتماداً على مخطط المتجهات الوارد في شكل – 7 يشكل صعوبة في إشتقاق المعادلات الحسابية اللازمة، لذلك لا بد من استخدام فرضيات تبسط استنباط المعادلات اللازمة، وهذه الفرضية هي للشبكات التي فولطيتها أقل من 10 ك . ف . (شبكات التمديدات الكهربائية). ففي هذه الشبكات فإن الزوايا α_1، α_2 هي صغيرة جداً، ولذلك يمكننا رسم مخطط المتجهات بحيث تكون الزوايا بين التيارات محسوبة بالنسبة لمتجه فولطية واحدة، وبأخذ ذلك بعين الاعتبار فإن مخطط المتجهات في شكل – 7 يأخذ الشكل الذي يبينه شكل – 8.



شكل (8)

بالرجوع إلى شكل – 8 فإن فقد الفولطية يساوي :

$$\Delta Vph = ac_1+c_1d_1+d_1f_1+f_1e_1 = I_2\hat{r}_2\cos\varphi_2+jI_2x_2\sin\varphi_2+I_1r_1\cos\varphi_1\, x_1\sin\varphi_1 \quad (41)$$

تبين معادلة (41) فقد الفولطية في الطور، أما فقد الفولطية الخطية فيساوي :

$$\Delta V=\sqrt{3}\,\Delta V_{ph}=\sqrt{3}\left(I_2.r_2\cos\varphi_2+jI_2x_2\sin\varphi_2+I_1r_1\cos\varphi_1+jI_1x_1\sin\varphi\right. \quad (42)$$

وبشكل عام، لأي عدد من الأفرع التي تغذي أحمالا كهربائية، فإن فقد الفولطية يساوي :

$$\Delta V = \sqrt{3}\sum(Ir_0\cos\varphi + jIx_0\sin\varphi) \quad (43)$$

فإذا كانت :

$$r = r_0L$$
$$x = x_0L$$

فإن المعادلة (43) تصبح كما يلي :

$$\Delta V= \sqrt{3}\sum(Ir_0\cos\varphi + jIx_0\sin\varphi).\,L \quad (44)$$

أما فقد الفولطية كنسبة مئوية فيساوي :

$$\Delta V\%= \frac{\sqrt{3}\;100}{V_r}\sum(Ir_0\cos\varphi + jIx_0\sin\varphi)\,.\,L \quad (45)$$

وبالرجوع إلى شكل – 6 فيمكننا استخدام المعادلات التالية لحساب فقد الفولطية :

$$\Delta V = \sqrt{3}\sum(ir\cos\varphi + jx\sin\varphi) \quad (46)$$

$$\Delta V\% = \frac{\sqrt{3}\ 100}{V_r} \sum \left(i r_0 \cos \varphi + j x_0 \sin \varphi \right) L \qquad (47)$$

أما إذا كانت الأحمال بالكيلو واط ، فإن معادلات فقد الفولطية تصبح كما يلي :

$$\Delta V\% = \frac{10^5}{V_r^2} \sum (P'\ r_0 + Q'\ x_0)\ L \qquad (48)$$

$$\Delta V\% = \frac{10^5}{V_r^2} \sum (P r_0 + Q\ x_0) \qquad (49)$$

حيث أن :

$$i \cos \varphi = \frac{P' \cdot 10^3}{\sqrt{3}\ V_r}$$

$$i \sin \varphi = \frac{Q' \cdot 10^3}{\sqrt{3}\ V_r}$$

ويمكن تبسيط المعادلة (48) في الحالات الخاصة التالية :

أ- الأسلاك أو الكوابل مصنوعة من نفس المادة ، أي أن r_0 و x_0 كميات ثابتة .

$$\Delta V\% = \frac{10^5}{V_r^2} \left(r_0 \sum P'L + x_0 \sum Q'\ L \right) \qquad (50)$$

ب- الأسلاك والكوابل مصنوعة من نفس المادة ، ولكن $x_0=0$

$$\Delta V\% = \frac{10^5}{V_r^2}\ r_0 \sum P'L \qquad (51)$$

ج- الأسلاك والكوابل مصنوعة من نفس المادة ، ولكن جميع الأحمال هي أحمال فعّالة أي أن :

$$\Delta V\% = \frac{10^5}{V_r^2}\ r_0 \sum P'L \qquad (52)$$

5.3 حساب فقد الفولطية باستخدام جداول المواصفات البريطانية.

ما يلزم في هذه الحالة لحساب فقد الفولطية باستخدام الجداول الواردة في الملحق 4 من المواصفات البريطانية 7671 المعلومات التالية :

- نوع الكابل .
- مساحة مقطع الكابل .
- طريقة التمديد (لدارات التيار المتردد فقط) .
- طول الكابل .
- نوع الدارة (تيار ثابت ، طور واحد ، ثلاثة أطوار) .
- الحمل الكهربائي للدارة .

لدارات التيار الثابت بأي مقطع ودارات التيار المتردد التي مساحة مقطع كابلها 16مم^2 أو أقل ، فإن فقد الفولطية يساوي :

$$\Delta V = \frac{\text{tabulated mV/A/ m x } I_b \text{ x L}}{1000} \text{ [Volt}$$

لدارات التيار المتردد بمساحة مقطع 25مم^2 أو أكبر فإن فقد الفولطية يساوي :

$$\Delta V = \frac{\text{tabulated mV/A/ m x } I_b \text{ x L}}{1000} \text{ [Volt}$$

ويمكن إستخدام قيم فقد الفولطية الواردة في الجداول لتحديد مقاومة الكابل لكل متر طول (ميللي أوم/ متر) . ولتحديد المقاومة لكوابل دارات التيار الثابت أو الطور الواحد فإن فقد الفولطية الوارد في الجدول يتم قسمته على 2 فنحصل على المقاومة ، وللدارات ثلاثية الاطوار فإن فقد الفولطية الوارد في الجدول يتم قسمته على $\sqrt{3}$ لنحصل على المقاومة .

مثال محلول :

دارة أحادية الطور بكابل مساحة مقطعه 16مم^2 وبعازليه PVC مع قراب منفذ داخل قناة في جدار معزول ، فإذا كان التيار 50 أمبيراً وطول الكابل 30متراً ، إحسب فقد الفولطية .

في حالة الدارات المفردة وغير المطمورة كلياً في مادة معزولة حرارياً، فإن درجة حرارة الكابل التشغيلية الفعلية يمكن حسابها كما يلي:

$$t_1 = t_a + \frac{I_b^2}{I_{ta}^2}\left(t_p - t_r\right) ^\circ c$$

$$\text{and} \quad \frac{\text{design mV / A / m}}{\text{tabul ated mV / A/ m}} = \frac{230 + t_1}{230 + t_p}$$

حيث أن :

t_r- درجة الحرارة الخارجية كما في الجداول.

t_p- درجة حرارة الكابل التشغيلية كما في الجداول.

I_{ta}- السعة الامبيرية للكابل بدرجة t_p كما في الجداول.

مثال محلول :

دارة أحادية الطور منفذه بكابل مسلح بعازلية PVC، 70درجة مئوية، مساحة المقطع 16مم^2، والكابل منفذ بتثبيت مباشر على الجدار وليس هناك كوابل منفذه قريبة منه. فإذا كان التيار يساوي 70 أمبيراً، t_a تساوي 35درجة مئوية وطول الكابل 30 متراً، إحسب فقد الڤولطية.

الحل :

الجدول المناسب هو جدول 4D4A عامود رقم 2، حيث أن :

$$t_p = 70\ ^\circ C\ ;\ I_{ta} = 89\ A\ ,\ t_r = 30\ ^\circ C$$

من هنا فإن درجة تشغيل الكابل الفعلية تساوي :

$$t_1 = 35 + \frac{70^2}{89^2}\ (70 - 30) = 59.7\ ^\circ C$$

من جدول 4D4A عامود 3 نجد أن فقد الڤولطية يساوي 2.8 ميللي ڤولط/ أمبير/ متر

$$\Delta V = \frac{2.8 \times 70 \times 30}{1000}\left(\frac{230 + 59.7}{230 + 70}\right) = 5.7\ V.$$

الحل :

الجدول المناسب لايجاد فقد القلوطية هو جدول 4DIB في المواصفات البريطانية .
من الجدول نجد أن فقد الفولطية يساوي 2.8 ميللي ڤولط / امبير/ متر .

$$\Delta V = \frac{2.8 \times 50 \times 30}{1000} = 4.2 \text{ V}$$

فإذا كانت ڤولطية الدارة تساوي 230 ڤولطاً، فإن فقد الڤولطية كنسبة مئوية تساوي :

$$\Delta V\% = \frac{4.2}{230} \times 100 = 1.83\%$$

مثال محلول :

دارة ثلاثية الاطوار منفذه بكابل معزول بـ XLPE ومساحة مقطعه 95مم^2 ومنفذ على صينية كوابل ، فإذا كان التيار يساوي 200 أمبير وطول الكابل 40متراً ، إحسب فقد الڤولطية :

الحل :

الجدول المناسب لايجاد فقد الڤولطية هو جدول 4E2B في المواصفات البريطانية .
من الجدول نجد أن فقد الڤولطية يساوي 0.52 ميللي ڤولط/ أمبير/ متر .

$$\Delta V = \frac{0.52 \times 200 \times 40}{1000} \quad 4.16 \text{ V}$$

1.5.3 حساب فقد الڤولطية باعتبار درجة حرارة الموصل التشغيلية

إن كميات فقد الڤولطية الواردة في جداول المواصفات البريطانية مبنية على إفتراض أن درجة حرارة الموصل التشغيلية مساوية الى درجة الحرارة القصوى المسموح بها للموصل ، ولكن عملياً فإن درجة حرارة الموصل التشغيلية تكون عادة أقل من درجة الحرارة القصوى ، وبالتالي فإن فقد الفولطية الحقيقي هو أقل مما ورد في الجداول .

مثال محلول :

دارة ثلاثية الاطوار منفذه بكابل 70م^2 بعازليه PVC وغير مسلح ، طريقة تنفيذ الكابل بالتثبيت المباشر Clipped direct ، فإذا كان التيار يساوي 160 أمبيراً وطول الكابل 50 متراً ، إحسب فقد الفولطية إذا كان معامل القدرة يساوي 0.8 .

الحل :

من جدول 4D2B نجد ما يلي :

$$\text{tabulated (mV/A/m)}_r = 0.55 \quad \text{mV/ A/ m}$$

$$\text{tabulated (mV/A/m)}_r = 0.14 \quad \text{mV/ A/ m}$$

$$\sin\varphi = \sqrt{1 - \cos^2\varphi} = \sqrt{1 - 0.8^2} = 0.6$$

$$\Delta V = \frac{(0.55 \times 0.8 + 0.14 \times 0.6)\ 160 \times 50}{1000} = 4.192 \text{ V}$$

في حالة إهمال معامل القدرة فإن :

$$\text{tabulated (mV/A/m)}_z = 0.57 \quad \text{mV /A/ m}$$

$$\Delta V = \frac{0.57 \times 160 \times 50}{1000} = 4.56 \text{ V}$$

أي أن أخذ عامل القدرة بعين الاعتبار أدى الى تقليل فقد الفولطية بحوالي 8% .

مثال محلول :

هذا المثال هو تطبيق عملي على حساب فقد الفولطية مع الأخذ بعين الاعتبار درجة حرارة الكابل التشغيلية الفعلية ومعامل القدرة .

دارة ثلاثية الاطوار منفذة بكابل 50م^2 بعازلية PVC ومنفذه على صينية كوابل ، معامل القدرة للدارة 0.7 ، تيار الحمل يساوي 100أمبير ، الكابل غير مسلح ، فإذا كان طول الكابل 20 متراً ودرجة الحرارة t_a=40 .

الحل :

من جدول 4D2A من المواصفات البريطانية عامود 9 ونجد أن :

$$I_{ta} = 153\ A\ ,\ t_p = 70\ ^\circ C\ ,\ t_r = 30\ ^\circ C$$

$$t_1 = 40 + \frac{100^2}{153^2}\ (70 - 30) = 57.1\ ^\circ C$$

من هنا فإن عامل التخفيض Reduction Factor المستخدم لحساب فقد الڤولطية يساوي :

$$R.F = \frac{230 + 57.1}{230 + 70} = 0.957$$

من جدول 4D2B نجد ما يلي :

$$(mV/A/m)_r = 0.8\ \ mV/A/m$$

$$(mV/A/m)_x = 0.14\ \ mV/A/m$$

يتم استخدام عامل التخفيض على مركبة فقد الڤولطية في المقاومة الفعّالة ، بينما لا يتأثر فقد الڤولطية في المراكسة ، من هنا فإن :

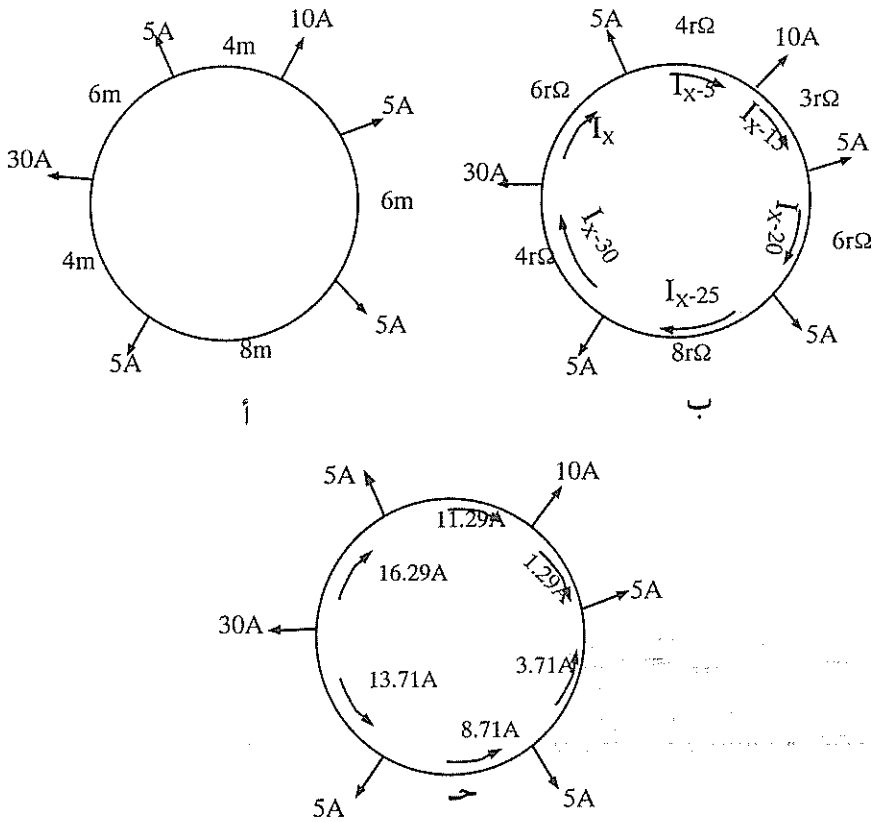
$$(mV/A/m)_r \times R.F = 0.8 \times 0.957 = 0.7565\ \ mV/A/m$$

$$\sin \varphi = \sqrt{1 - 0.7^2} = 0.714$$

$$\Delta V = \frac{(0.7656 \times 0.714 + 0.14 \times 0.7)\ 100 \times 20}{1000} = 1.29\ V$$

3.5.3 حساب فقد الڤولطية في الدارات الحلقية.

كثيراً ما يحتوي المشروع على دارات حلقية Ring circuits ، لذلك من الضروري معرفة حساب فقد الڤولطية في مثل هذه الدارات .



شكل (9)

حساب فقد الڤولطية في الدارة الحلقية .

يبين شكل – 9– أ الدارة الحلقية ونقاط التوصيل وعليها قيمة الأمبير المستهلك وكذلك المسافة بين النقاط . لنفترض أن مقطع السلك لهذه الدارة هو 2.5مم^2، وهي دارة أحادية الطور وعازلية السلك PVC .

إن أول ما يجب حسابه هو توزيع التيار بين نقاط الاستهلاك، ولنفترض أن تياراً مقداره I_X يسير في الجزء الأول (انظر شكل – 9–ب)، وتياراً مقداره (I_X-5) أمبير يسير في الجزء الثاني وهكذا.

ولنفترض أيضاً أن مقاومة السلك لكل متر طولي تساوي r، عندئذٍ :

$$I_x\ 6r + (I_x - 5)\ 4r + (I_x - 15)3r + (I_x - 20)6r +$$

$$+ (I_x - 25)8r + (I_x - 30)4r = 0$$

ومن حل المعادلة السابقة نجد قيمة I_X :

$$I_X = 16.29\ A$$

وبناءً على ذلك، فإن شكل –9 – جـ يبين توزيع التيار في الأجزاء المختلفة، أما فقد الفولطية فيمكن حسابه كالآتي :

$$\Delta V = \left[(16.29x6)+ (11.29x4) + (1.29x3)\right] \frac{mV/A/m}{1000} = \frac{146.8 \times mV/A/m}{1000}$$

من جدول 4D2B من المواصفات البريطانية نجد أن فقد الفولطية يساوي 18 ميللي فولط لكل متر لكل أمبير

$$\Delta V = \frac{146.8 \times 18}{1000} = 2.64\ V$$

ويمكن حساب فقد الفولطية في الاتجاه المعاكس Anticlockwise بنفس الطريقة.

6.3 الطريقة العامة في حساب فقد الفولطية

لتبسيط حسابات فقد الفولطية في دارات التيار المتردد للمهندس المصمم بحيث لا يستخدم عدداً كبيراً من الجداول فسنشرح تالياً طريقة عامة لحساب فقد الفولطية باستخدام جدول واحد فقط.

تستخدم المعادلة التالية لحساب فقد الفولطية في دارات التيار المتردد :

$$\Delta V = K\ (R\cos\varphi + X\sin\varphi)\ I \qquad V/Km$$

حيث أن :

ΔV- فقد الفولطية ، فولط/ كم .

K- معامل يساوي 1.73 للدارات ثلاثية الاطوار ، 2 للدارات أحادية الطور .

R- المقاومة لكل طور (أوم/ كم) عند درجة حرارة التشغيل .

وتساوي المقاومة الفّعالة R ما يلي :

$$R = \frac{22.5 \quad \Omega.\ mm^2/\ Km}{S\ (c.s.a.\ in\ mm^2)} \quad For \quad copper$$

$$R = \frac{36 \quad \Omega.\ mm^2/\ Km}{S\ (c.s.a.\ in\ mm^2)} \quad For \quad aluminium$$

وللكوابل التي يزيد مساحة مقطعها على 50م^2 فيمكن إهمال قيمة R لأنها تكون صغيرة جداً .

X- المراكسة الحثية للموصل بالأوم / كم . وتكون قيمة X صغيرة جداً للكوابل التي يقل مقطعها على 50م^2 ، ويمكن إعتبار قيمة X تساوي 0.08 أوم/ كم في حالة عدم توفر المعلومات .

φ - زاوية الطور بين الفولطية والتيار ، وعادة فإن معامل القدرة لدارات الإنارة يساوي 1.0 ولدارات المحركات عند الاقلاع فإن معامل القدرة يساوي 0.35 ، ويساوي أثناء التشغيل العادي 0.8 وبناء عليه يمكن إستخدام الجدول التالي :

جدول (1)

معادلات حساب هبوط الفولطية

نوع الدارة	هبوط الفولطية (ΔV) بالفولط	بالنسبة المئوية
أحادية ، طور/ طور	$\Delta V = 2\ I\ (R\cos\varphi + X\sin\varphi)$	$\frac{\Delta V}{Vn} \times 100$
أحادية ، طور / حيادي	$\Delta V = 2\ I\ (R\cos\varphi + X\sin\varphi)$	$\frac{\Delta V}{Vn\sqrt{3}} \times 100$
ثلاثية الاطوار متوازنة	$\Delta V = \sqrt{3}\ I\ (R\cos\varphi + X\sin\varphi)$	$\frac{\Delta V}{Vn} \times 100$

حيث أن V_n الفولطية الخطية المقررة

I- تيار الطور، أمبير

$$\sin \varphi = \sqrt{1-\cos^2 \varphi}$$

ويبين جدول - 2 فقد الڤولطية لقيم مختلفة من معامل القدرة للدارات أحادية وثلاثية الأطوار ولكوابل أحادية وثنائية وثلاثية القلوب. ولحساب فقد الڤولطية بالفولط يتم ضرب القيم من الجدول بقيمة التيار وطول الدارة وتقسيم الناتج على1000.

$$\Delta V = \frac{(\text{tabulated} \quad \Delta V /A/m)\, I \times L}{1000}$$

مثال محلول :

دارة ثلاثية تغذي محركاً منفذه بكابل ثلاثي القلوب وبعازلته XLPE منفذاً على صينية كوابل مثقبة، تيار الحمل يساوي 150 أمبيراً، مقطع الكابل 35مم^2 وطول الدارة 30 متراً. إحسب فقد الڤولطية باستخدام جداول المواصفات البريطانية وباستخدام الجدول في الطريقة العامة. (معامل القدرة = 0.8).

الحل :

من جدول 4E1B من المواصفات البريطانية نجد ما يلي :

$$\text{tabulated (mV/A/m)r} = 1.35 \quad \text{mV/A/m}$$
$$\text{tabulated (mV/A/m)r} = 1.18 \quad \text{mV/A/m}$$
$$\sin \varphi = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi} = 0.6$$
$$\Delta V = \frac{(1.35 \times 0.8 + 0.18 \times 0.6)\ 150 \times 30}{1000} = 5.346 \ \text{V}$$

من جدول -2 نجد ما يلي :

$$\text{tabulated (V/A/m)} = 0.988$$

$$\Delta V = \frac{1.0 \times 150 \times 30}{1000} = 4.5 \ \text{V}$$

نجد أن الفرق بين استخدام الطريقتين هو بحدود 16%.

جدول (2)

فقد الفولطية بين طورين ΔV في الدارة ، بالفولط لكل أمبير ولكل كيلو متر .

مقطع الكابل ،مم2		دارة أحادية الطور			دارة ثلاثية الطوار		
		دارة محركات		دارة إنارة	دارة محركات		دارة إنارة
Cu	AI	Cos φ=0.8	Cos φ=0.35	Cos φ=1.0	Cos φ=0.8	Cos φ=0.35	Cos φ =1.0
1.5		24	10.6	30	9.4	20	25
2.5		14.4	6.4	18	5.4	12	15
4		9.1	4.1	11.2	3.6	8	9.5
6	10	6.1	2.9	7.5	2.5	5.3	6.2
10	16	3.7	1.7	4.5	1.5	3.2	3.6
16	25	2.36	1.15	2.8	1	2.05	2.4
25	35	1.5	0.75	1.8	0.65	1.3	1.5
35	50	1.15	0.6	1.29	0.52	1	1.1
50	70	0.86	0.47	0.95	0.41	0.75	0.77
71	120	0.64	0.37	0.64	0.32	0.56	0.55
95	150	0.48	0.30	0.47	0.26	0.42	0.40
120	185	0.39	0.26	0.37	0.23	0.34	0.31
150	240	0.33	0.24	0.30	0.21	0.29	0.27
185	300	0.29	0.22	0.24	0.19	0.25	0.20
240	400	0.24	0.20	0.19	0.17	0.21	0.16
300	500	0.21	0.19	0.15	0.16	0.18	0.13

7.3 قيم فقد الفولطية المسموح بها.

تختلف قيم فقد الفولطية المسموح بها من دولة إلى أخرى . فتشير المواصفات البريطانية إلى أن فقد الفولطية المسموح به من نقطة الأصل للتمديدات Origin of in-stallation الى نقطة الاستهلاك Current using equipment يجب أن لا تزيد على 4% من القيمة المقررة لفولطية التزويد . ولا بد أن نشير إلى أن شركات تزويد الكهرباء لها مدى لفولطية التزويد يمكن أن تتحرك ضمنه وهذا المدى هو :

القيمة الصغرى= 94% من القيمة المقررة .

القيمة القصوى= 110% من القيمة المقررة .

ولذلك عند حساب فقد الڤولطية فلا بد أن نضيف 6% على القيمة التي تم حسابها ، ثم إيجاد قيمة الڤولطية بالڤولط عند نقطة الاستهلاك ومقارنة هذا الڤولطية بقيمة الڤولطية المسموح للجهاز الكهربائي أن يشتغل عندها .

لنفترض أن لدينا جهازاً كهربائياً أحادي الطور وحسب تعليمات الجهاز فإن أدنى ڤولطية يمكن أن يعمل الجهاز عندها تساوي 210 ڤولطاً ، فإذا كانت نسبة فقد الڤولطية المسموح بها من نقطة التزويد الى نقطة شبك الجهاز بالكهرباء تساوي 4% ، فهل يمكن لهذا الجهاز أن يعمل إذا كانت ڤولطية التزويد في أدنى قيمة لها . إن أدنى قيمة لڤولطية التزويد المسموح بها لشركة الكهرباء هي 94% من الڤولطية المقررة (230x94%)وتساوي 216.2 ڤولطاً ، وبأخذ قيمة فقد الڤولطية المسموح به وهو 4% فإن أدنى قيمة للڤولطية في نقطة شبك الجهاز تساوي :

$$V = 230 \times 94\% - 230 \times 0.04\% = 207\ V$$

وبما أن أدنى قيمة للڤولطية التي يعمل عندها الجهاز هي 210 ڤولطاً ، فإن هذا الجهاز لا يعمل في مثل هذه الظروف رغم إننا التزمنا بقيمة فقد الڤولطية المسموح بها حسب المواصفات .

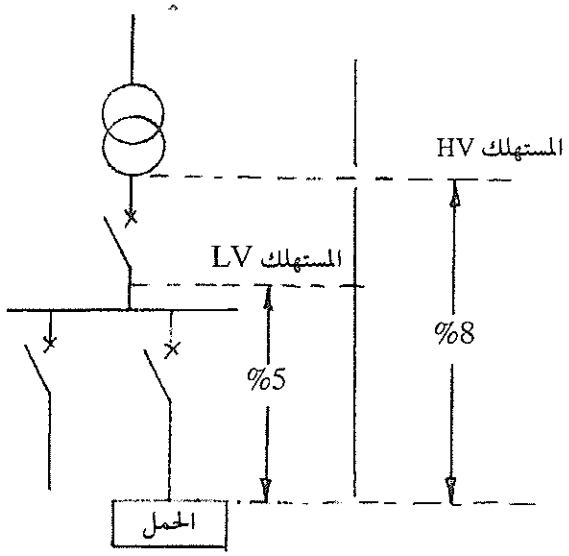
ويمكن الاسترشاد بجدول -3 والذي يحدد فقد الڤولطية الأقصى بين نقطة توصيل لخدمة الكهربائية Service connection point ونقطة الاستهلاك (نقطة وصل الجهاز الكهربائي) Point of utilizaion .

جدول (3)

قيمة فقد الڤولطية الأقصى بين نقطة التزويد الكهربائي ونقطعة الاستخدام٪ .

	الانارة	استخدامات أخرى (قدرة وتسخين)
توصيل خدمة ڤولطية منخفضة من شبكة توزيع الڤولطية المنخفضة العامة	3	5
المستهلك محطة تحويل HV/LV متصل بشبكة توزيع الڤولطية العالية العامة .	6	8

ويبين شكل – 15 رسماً تخطيطياً لفقد الفولطية .



شكل (10)

فقد الفولطية الأقصى المسموح به .

ولا بد من الحذر عند إستخدام القيمة 8% المسموح بها ، حيث يمكن أن يؤدي ذلك إلى مشاكل وخاصة فيما يتعلق بالمحركات . وعادة ، فإن الفولطية على أطراف المحرك يمكن أن تزيد أو تقل بنسبة 5% عن الفولطية المقررة للمحرك في حالة التشغيل المتواصل ، وعند بدء إقلاع المحرك فإن تيار بدء التشغيل يمكن أن يساوي خمس إلى سبع مرات تيار التشغيل العادي للمحرك ، فإذا تم تبني 8% كفقد فولطية مسموح به عند التشغيل الكامل للمحرك ، فإن هبوط فولطية مقداره 40% يمكن أن يحدث عند بدء إقلاع المحرك . وهذه النسبة العالية قد تؤدي الى عدم إقلاع المحرك عند التشغيل مع زيادة حرارته أو قد تؤدي الى قيم فولطية منخفضة عند نقاط الاستهلاك الأخرى والتي يمكن أن تؤدي الى مشاكل في الأجهزة الكهربائية الأخرى .

وعادة ، عند بدء إقلاع المحرك فإن معامل القدرة يساوي 0.35 ، وفي حالة التشغيل العادية فإن معامل القدرة يساوي 0.8 ، لذلك فإن جدول – 4 يبين فقد الفولطية

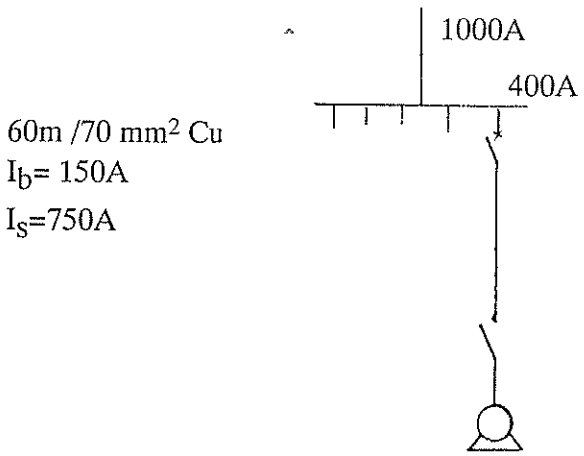
بالفولط لكل أمبير من الحمل وكل كيلو مترطول عند حساب فقد الفولطية للمحركات.

جدول (4)

فقد الفولطية بين الأطوار بالفولط أمبير/ كم للمحركات

مقطع الكابل ،م2		دارة أحادية الطور		دارة محركات ثلاثية الاطوار	
نحاس	ألومنيوم	تشغيل عادي Cos φ = 0.8	بدء الاقلاع Cos φ= 0.35	تشغيل عادي Cos φ = 0.8	بدء الاقلاع Cos φ= 0.35
1.5		24	10.6	20	9.4
2.5		14.4	6.4	12	5.7
4		9.1	4.1	8	3.6
6	10	6.1	2.9	5.3	2.5
10	16	3.7	1.7	3.2	1.5
16	25	2.36	1.15	2.05	1
25	35	1.5	0.75	1.3	0.65
35	50	1.15	0.6	1	0.52
50	70	0.86	0.47	0.75	0.41
70	120	0.64	0.37	0.56	0.32
95	150	0.48	0.30	0.42	0.26
120	185	0.39	0.26	0.34	0.23
150	240	0.33	0.24	0.29	0.21
185	300	0.29	0.22	0.25	0.19
240	400	0.24	0.2	0.21	0.17
300	500	0.21	0.19	0.18	0.16

مثال محلول :



شكل (11)

كابل ثلاثي الأطوار نحاسي بطول 60 متراً يُغذي محركاً ثلاثي الأطوار 400 ڤولط ، فإذا كان تيار التشغيل العادي يساوي 150 أمبيراً بمعامل قدرة 0.8 وتيار بدء الإقلاع يساوي 750 أمبيراً بمعامل قدرة 0.35 ، فقد الفولطية في الكابل الرئيسي المغذي للوحة التي تُغذي المحرك يساوي 11 ڤولطاً ، إحسب فقد الڤولطية على أطراف المحرك .

الحل :

فقد الڤولطية على أطراف المحرك في حالة التشغيل العادية .

من جدول – 4 ، نجد أن :

$$\Delta V = 0.56 \quad V/A/Km$$

$$\Delta V = 0.56 \times \frac{60}{1000} \times 150 = 4.2 \ V$$

فقد الڤولطية في الكابل الرئيسي والكابل المغذي للمحرك يساوي :

$$\Delta V = 11 + 4.2 = 15.2 \ V$$

$$\Delta V = \frac{15.2}{400} \times 100 \ \% = 3.8 \ \%$$

نحسب الآن فقد الفولطية على أطراف المحرك عند بدء الاقلاع .

من جـدول – 4 نجـد أن فـقـد الفـولطيـة لكابل 70مم^2 عند بدء إقـلاع المحـرك (Cosφ=0.35) تساوي 0.32 فولط/ أمبير/ كم .

$$\Delta V = 0.32 \times \frac{60}{1000} \times 750 = 14.4 \ V$$

عند بدء إقلاع المحرك فإن فقد الفولطية في الكابل الرئيسي المغذي للوحة التي يتغذى منها المحرك سيزيد على11 فولطاً ، لأن التيار في هذا الكابل سيزيد بسبب زيادة تيار بدء تشغيل المحرك ، وسيصبح هذا التيار مساوياً إلى :

$$(1000 - 150) + 750 = 1650 \ A$$

فقد الفولطية في هذه الحالة يصبح :

$$\frac{11 \times 1650}{1000} = 18.15 \ V$$

مجموع فقد الفولطية عند بدء إقلاع المحرك يساوي :

$$\Delta V = 14.4 + 18.15 = 32.55 \ V$$

فقد الفولطية كنسبة مئوية يساوي :

$$\Delta V\% = \frac{32.55}{400} \times 100\% = 8.13\%$$

وهذه القيمة أعلى من 8% التي يُنصح بها .

الفصل الرابع
التأريض

1.4 مقدمة

مع بداية القرن الواحد والعشرون يكون قد مرّ على استخدام الكهرباء قرن (مائة عام) رغم أن بدايات الكهرباء الساكنة Static Electricity قد عُرفت في القرن الثامن عشر. وفي عام 1880 إستُخدِمَ التيار الثابت بفولطية 100 فولط (رُفعت هذه الفولطية الى 1300 فولط في عام 1882) لنقل الكهرباء لعدة كيلومترات. وفي عام 1889 إستقرت الحرب بين قطبي الكهرباء في امريكا، بين اديسون الذي دعا الى استخدام التيار الثابت، بينما كان وستنجهاوس Westinghouse من أنصار التيار المتردد، الذي أنتصر في النهاية.

لقد شهدت الفترة من عام 1880 وحتى عام 1920 نقل وتوزيع الكهرباء باستخدام الحيادي غير المؤرض Unearthed neutral، كانت الخطوط في هذه الفترة غير معزولة، وموجودة بعيداً عن التلامس المباشر. وفي نهاية القرن التاسع عشر ابتدأ استخدام الانارة القوسية Arc lighting في المنازل في بريطانيا، وتزايد خطر الحرائق نتيجة لاختيار مقاطع اسلاك وكوابل أقل من المطلوب، ولضعف التمديدات والتوصيلات، مما دفع بشركات التأمين الى وضع ضوابط وقواعد خاصة بها. وفي عام 1882 عين مجلس جمعية مهندسي التلغراف Council of theTelegraph Engineers Society (والذي أصبح لاحقاً معهد المهندسين الكهربائيين والالكترونيينIEE) لجنة لوضع قواعد وضوابط لمنع خطر الحرائق الناتجة عن الكهرباء. وشنت شركات التأمين حرباً ضروساً ضد هذه الجمعية ولم تعترف بالضوابط التي أقرتها، وظل الأمر كذلك حتى عام 1916 حيث تم القبول والاعتراف بالقواعد التي وضعتها IEE والتي أخذت في التطور لتعرف لاحقاً بالمواصفات البريطانية المتعلقة بالتمديدات Wiring Regulations .

إن أهم أهداف التأريض في التمديدات الكهربائية هو حماية الانسان والممتلكات

- من خطر الصدمة الكهربائية التي قد تكون قاتلة . لذلك فان الموصلات والاجزاء الحية يتم عزلها عن هياكل المعدات والاجهزة والتي تكون متصلة بالأرض . ويتم العزل باستخدام الطرق التالية :

1- استخدام مواد معزولة .

2- الإبعاد Distancing ويتم عن طريق إيجاد مسافات Clearances في الهواء كما في خطوط نقل القدرة الكهربائية أو إيجاد مسافات زحف Creepage distances كما في معدات إبدال القدرة الكهربائية Switchgear .

3-الفولطية العازلة (أعلى فولطية للشبكة) .

4-فولطية الصمود النبضية البرقية Lightning impulse withstand voltage (1.2/50 ms) .

5- فولطية الصمود لذبذبة القدرة الاساسية Power frequency withstand voltage (2V+1000 V/1 min) .

وكمثال فقد يطلب تصميم لوحة توزيع بفولطية عازلة تساوي 1000 فولط وفولطية نبضية تساوي 12 ك . ف .

إن تدمير العازلية ، وبغض النظر عن الاسباب ، تؤدي الى النتائج التالية :

1-تشكل خطورة على حياة الانسان .

2-تدمر الممتلكات نتيجة الحرائق أو توقف العمليات الانتاجية .

3- توقف متاحية Availability الطاقة الكهربائية .

إن تعرض الانسان الى الصدمة الكهربائية يعتمد على عدد من العوامل وقد تؤدي هذه الصدمة الى الموت . إن خطورة الصدمة الكهربائية تعتمد على قيمة التيار المار في جسم الانسان وعلى فترة مروره . وفي شبكات الفولطية المنخفضة فان مقاومة جلد الانسان تعتمد الى حد كبير على الظروف الخارجية ، ونعني وجود رطوبة أو عدمها . وتحدد IEC 60479 حد الفولطية المألوف V_L Conventional Limit Voltage ، وهذه

هي الفولطية الآمنة وتساوي أقصى فولطية تلامس معتمدة لمدة خمس ثواني V_c . من هنا فاذا كانت فولطية التلامس Contact voltage أكبر من حد الفولطية المألوف ، عندها ولتلافي الخطر فلا بد من تقليل الزمن الأقصى لقصر الدارة بواسطة القواطع والمصهرات .

ويبين جدول -1 العلاقة بين مناطق تأثير التيار / الزمن للتيار المتردد بذبذبة تتراوح بين 15 هيرتز الى 100 هيرتز للمناطق والاماكن الجافة والرطبة ، حيث أن قيمة حد الفولطية المألوف أقل من 50 فولط ، بينما يبين جدول -2 نفس العلاقة ولكن للاماكن المبلولة Wet places ، حيث أن قيمة حد الفولطية المألوف أقل من 25 فولط .

جدول (1)

العلاقة بين مناطق تأثير التيار/الزمن للمناطق الجافة والرطبة $V_L \leq 50$ V

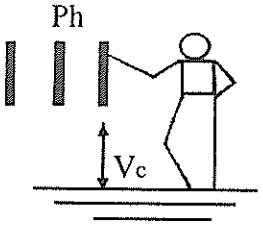
فولطية التلامس المفترضة (V) Vc		أقل من 50	50	75	90	120	150	220	280	350	500
زمن المزق الأقصى لنبيطة الحماية (ثانية)	تيار متردد	5	5	0.6	0.45	0.34	0.27	0.17	0.12	0.08	0.04
	تيار ثابت	5	5	5	5	5	1	0.40	0.30	0.20	0.10

جدول (2)

العلاقة بين مناطق تأثير التيار /الزمن للمناطق المبلولة $V_L<25V$

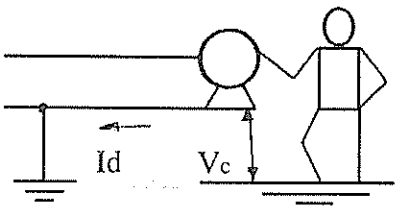
فولطية التلامس المفترضة (V) Vc		25	50	75	90	110	150	220	280
زمن المزق الأقصى لنبيطة الحماية (ثانية)	تيار متردد	5	0.48	0.30	0.25	0.18	0.10	0.05	0.02
	تيار ثابت	5	5	2	0.8	0.5	0.25	0.06	0.02

في الجداول السابقة ذكرنا فولطية التلامس. تنتج فولطية التلامس بواسطة التلامس المباشر Direct contact والتلامس غير المباشر Indirect contact . ينتج التلامس المباشر عن طريق لمس الاجزاء الحية او الموصلات الناقلة للتيار الكهربائي (الاطوار أو الحيادي)، ونتيجة لذلك يصبح الانسان معرضاً الى فولطية تلامس مقدارها V_c . إن طرق الحماية والوقاية من التلامس المباشر تقضي باتخاذ وسائل إبعاد الاجزاء الحاملة للتيار ووضعها في أماكن مقفلة وبعيدة عن التلامس العرضي المباشر، أو وضعها داخل شبك بحيث إذا تم فتح باب الشبك تفصل الكهرباء بشكل تلقائي. كذلك يفضل استخدام الفولطية المنخفضة بدلاً من فولطية 220 فولطاً كما في حالة حمامات السباحة حيث تستخدم الفولطية الآمنة 12 فولطاً، وكوسيلة متممة لما سبق يمكن استخدام نبيطة تيار متخلف حساسة High sensitivity residual current device ، بحساسية أقل من 30 ميللي أمبير.



التلامس المباشر

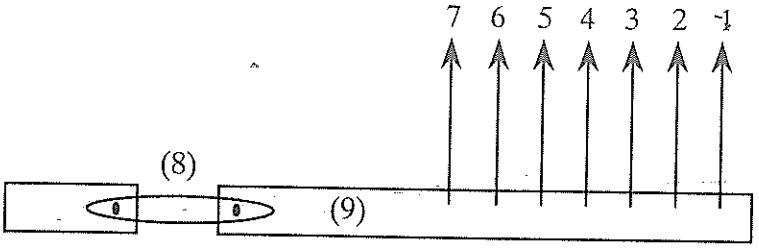
أما التلامس غير المباشر فهو عندما يلامس الانسان جسماً يكون في الحالة العادية غير ناقل للتيار الكهربائي، ولكن إذاحدث عطل فإنه يتعرض لفولطية تلامس مقدارها V_c وتتم الحماية في هذه الحالة عن طريق:



تلامس غير مباشر

-تأريض هياكل وأجسام المعدات والاجهزة الكهربائية والتي لا تكون مكهربة في حالة التشغيل العادية.

-أن تكون الهياكل الممكن الوصول اليها في آن واحد ذات جهد متساوي. ويتم تساوي جهد هذه الهياكل باستخدام موصلات الحماية Protective conductors والتي تصل كل هياكل المعدات الكهربائية وكل الاجزاء المعدنية في المبنى الى قضيب التأريض الرئيسي الطرفي Main earthing terminal rod ويتصل هذا القضيب بقضبان أو شبكة التأريض للمبنى. ويبين شكل -1 توصيلات الربط الرئيسية النمطية في المباني Typical main bonding connection.



1-الى الموصل الهابط لنظام الحماية من البرق . 2- الى حديد التسليح في المبنى . 3-الى تمديدات التدفئة . 4-الى ساعة الغاز . 5- الى تمديدات المياه 6- موصل التأريض الرئيسي 7- الى لوحة التوزيع الرئيسية (طرف التأريض في اللوحة 8- وصلة فصل Disconnecting link . 9- قضيب التأريض الرئيسي الطرفي .

شكل -1

توصيلات الربط الرئيسية النمطية في المباني

مما سبق نستنتج أن التأريض هو التوصيل بين الأجزاء المعدنية غير الحاملة للتيار الكهربائي في حالة التشغيل العادية Normal operating condition وبين الأرض . والأرض كتلة ضخمة تساوي فولطيتها صفراً .

2.4 أنواع انظمة التأريض

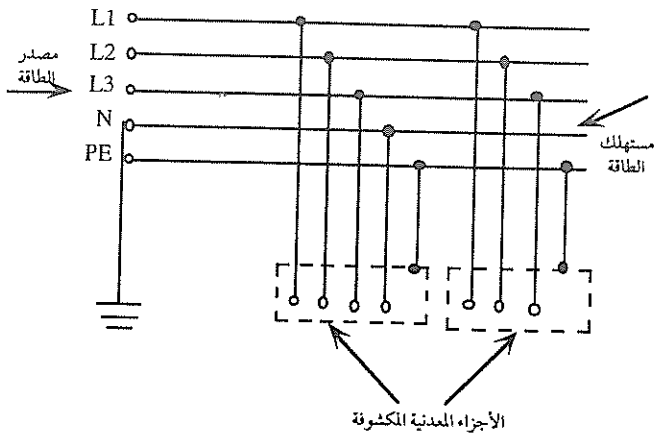
في الوقت الحاضر هناك ثلاثة أنظمة تأريض رئيسية كما تم تعريفها في IEC 60364 وهي :

1-نظام TN حيث تكون الأجزاء الحية Conductive parts متصلة مع الحيادي .

2- نظام TT حيث يكون الحيادي مؤرضاً .

3-نظام IT حيث يكون الحيادي غير مؤرض .

من هنا نلاحظ استخدام حرفين للدلالة على ترتيبات التأريض عند مصدر الطاقة الكهربائية وعند مستهلك هذه الطاقة . وترمز هذه الحروف الى مايلي :

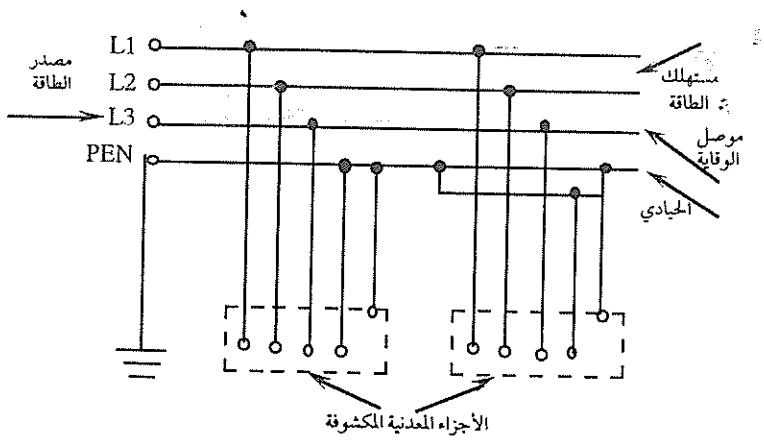


شكل -2A

نظام TN-S

يبين شكل -2A ترتيبات التأريض في هذا النظام، فمصدر الطاقة يتصل مباشرة بالأرض (T) وجميع الأجزاء المعدنية المكشوفة عند المستهلك تتصل بنظام التأريض عند المصدر (N) والحيادي وموصل الوقاية هماموصلان مختلفان (S).

ب-نظام TN-C-S



شكل -2B
نظام TN-C-S

- يرمز الحرف الأول إلى ترتيبات التأريض لمصدر الطاقة الكهربائية ويستخدم لهذا الغرض حرفان، وهما:

T ويشير هذا الحرف الى أن نقطة او أكثر متصلة اتصالاً مباشراً بالأرض.

I ويشير هذا الحرف الى ان مصدر الطاقة الكهربائية ، إما غير متصل بالأرض أو يتصل بالأرض من خلال ممانعة تحديد العطل Fault Limiting Impedance. اما ترتيبات التأريض عند مستهلك الطاقة الكهربائية فيشير الى حرفان وهما:

T ويشير هذا الحرف الى أن جميع الأجزاء المعدنية المكشوفة تتصل بالأرض إتصالاً مباشراً.

N ويشير هذا الحرف إلى أن جميع الأجزاء المعدنية المكشوفة تتصل مباشرة بنظام التأريض عند مصدر الطاقة.

ولا بد ان نشير الى ان نظام التأريض TN له ثلاثة أشكال يستخدم حرفان للدلالة عليهم، ويشير هذا الحرفان الى ما يلي:

S ويشير هذا الحرف إذا أضيف الى نظام TN الى أن الحيادي والأرض هما موصلان منفصلان.

C ويشير هذا الحرف إذا أضيف الى نظام TN الى أن الحيادي والأرضي يشكلان موصلاً واحداً.

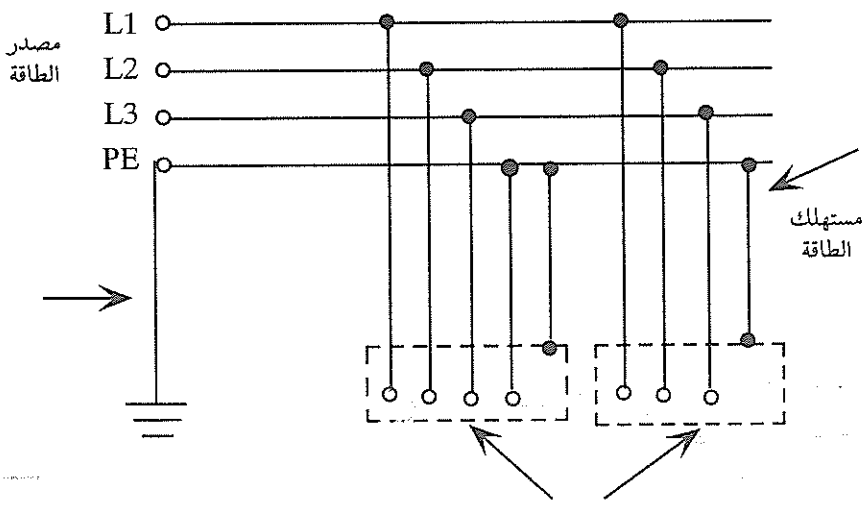
وتبين الاشكال 2A,B,C نظام TNحيث ان مصدر الطاقة (نقطة الحيادي في الملف الثانوي لمحول التوزيع) يتصل مباشرة بالارض، بينما تتصل الأجزاء المعدنية المكشوفة عند المستهلك بنظام التأريض عند مصدر الطاقة. وهناك ثلاثة أنواع لهذا النظام وفقاً لترتيبات الحيادي وموصل الوقاية Protective conductor ، وهي كما يلي:

أ) نظام TN-S

يبين شكل -2B ترتيبات التأريض في هذا النظام . فمصدر الطاقة يتصل مباشرة بالأرض (T) وجميع الاجزاء المعدنية المكشوفة عند المستهلك تتصل بنظام التأريض عند المصدر (N) والحيادي وموصل الوقاية عند مصدر الطاقة هما موصل واحد (C) . أما عند المستهلك . فالحيادي وموصل الوقاية هما موصلان منفصلان .

جـ-نظام TN-C

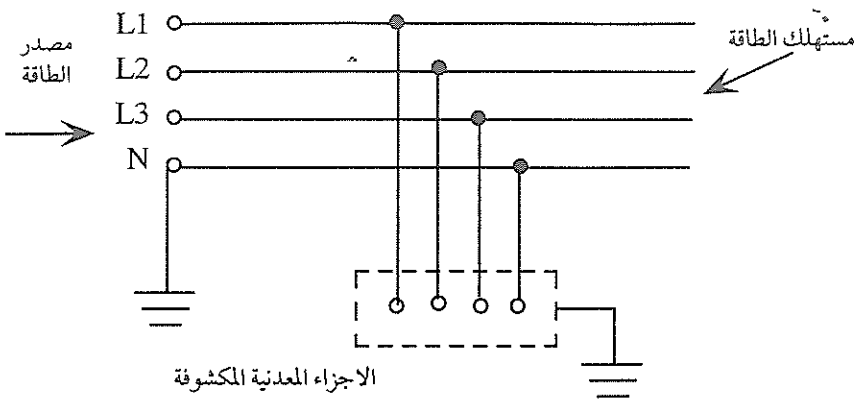
يبين شكل-2C ترتيبات التأريض في هذا النظام ، فمصدر الطاقة يتصل مباشرة بالارض (T) وجميع الاجزاء المعدنية المكشوفة عند المستهلك تتصل بنظام التأريض عند المصدر (N) ، ويشكل الحيادي وموصل الوقاية موصلا واحدا (C) .



شكل -2C

نظام TN-C

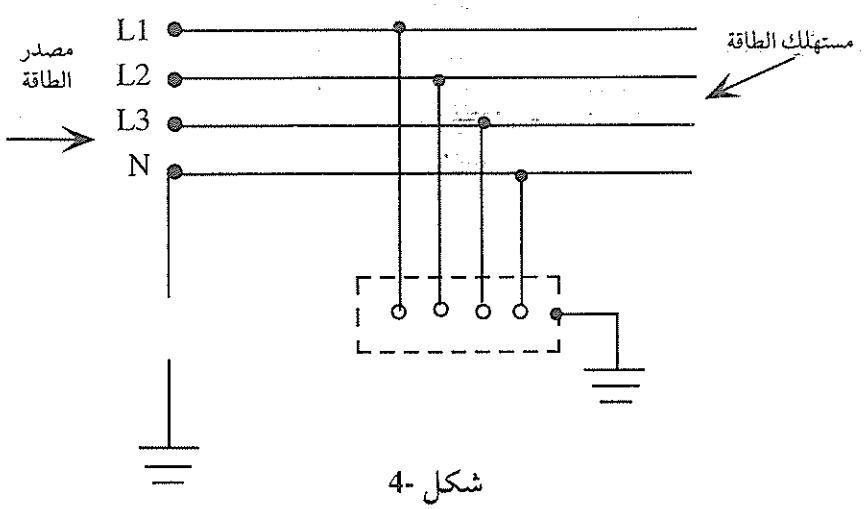
ويبين شكل -3 نظام TT ، حيث أن مصدر الطاقة يتصل مباشرة بالارض (T) ، وكذلك تتصل الأجزاء المعدنية المكشوفة عند المستهلك مباشرة بالأرض (T) .



شكل -3

نظام TT

ويبين شكل -4 نظام IT حيث لا يتصل مصدر الطاقة مباشرة بالأرض(I) أو يتصل بالارض عن طريق ممانعة، أما الاجزاء المعدنية المكشوفة عند المستهلك فتتصل مباشرة بالارض (T).

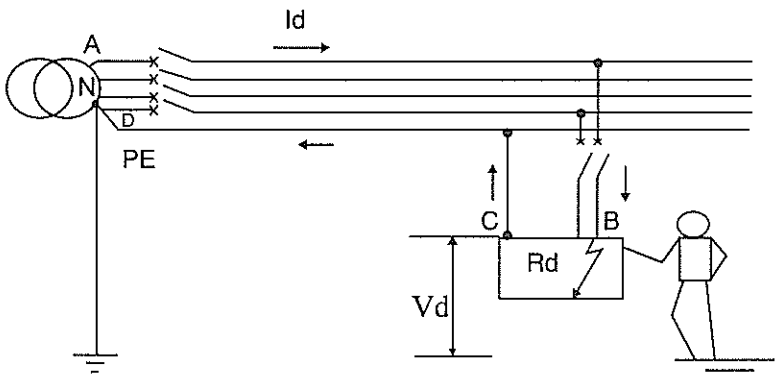


شكل -4

نظام IT

ذكرنا سابقاً ان الاعطال بسبب فشل العازلية تشكل خطورة على حياة الانسان وتدمر الممتلكات وتؤثر على متاحية الطاقة الكهربائية . وسنستعرض أنظمة التأريض المختلفة من زاوية الاخطار السابقة .

3.4 نظام التأريض TN



شكل -5

مسار تيار العطل Fault في نظام TN

عند حدوث فشل في عازلية شبكة تأريضها منفذ حسب نظام TN فان تيار العطل يسير كما في شكل -5. ان مايحدقيمة هذا التيار هوممانعة انشوطة العطل Fault loop impedance ، ويمكن حساب قيمة هذا التيار كما يلي :

$$I_d = \frac{V_o}{R_{ph1} + R_d + R_{pE}}$$

حيث ان :

V_o –فولطية الطور

R_{ph1} –مقاومة الطور

R_d –مقاومة العطل Fault resistance

R_{pE} =مقاومة موصل الحماية .

وعندما يحدث قصر دارة، فمن المقبول إعتبار أنّ المانعة الصاعدة Upstream للمغذي المعني تسبب فقد فولطية يعادل 20% من فولطية الطور- الحيادي V_o والتي تساوي الفولطية بين الطور والأرضي . في هذه الحالة وبافتراض أن R_d تساوي صفراً، فان :

$$I_d = \frac{0.8\ V_o}{R_{ph1} + R_{pE}}$$

وبسبب هذا التيار تنتج فولطية عطل Fault voltage بالنسبة الى الارض تساوي :

$$V_d = 0.8V_o\ \frac{R_{pE}}{R_{ph1} + R_{pE}}$$

ففي الشبكات التي فولطتها 230/400 فولط وعند تساوي المقاومتين ($R_{ph1}=R_{pE}$) فان قيمة هذه الفولطية التي تظهر على هيكل الجهاز تساوي تقريبا نصف فولطية الطور $\frac{V_o}{2}$ ، وهذه فولطية خطرة على الانسان، لذلك لا بد من فصل التيار الكهربائي بسرعة . ويبين جدول -3 زمن الفصل Breaking time بالثواني إعتماداً على قيمة فولطية الطور/ الحيادي حسب IEC 60364.

جدول (3)

زمن الفصل للشبكات المؤرضة حساب نظام TN

فولطية الطور / الحيادي	زمن الفصل V_L= 50 V	زمن الفصل V_L=25 V
فولط	ثانية	ثانية
127	0.8	0.35
230	0.4	0.20
400	0.2	0.05
أكبر من 400	0.1	0.02

ويتم إبراء مثل هذا العطل باستخدام نبائط حماية قصر الدارة Short circuit protection device والتي تفصل الدارة ضمن زمن الفصل المقرر. وحتى يتم هذا الفصل لا بد أن يكون تيار العطل I_d أكبر من عتبة تيار التشغيل للنبيطة I_a، اي أن $I_d > I_a$، ويجب التأكد من هذا الشرط لجميع الدارات في مرحلة التصميم. وتُسمي المواصفات البريطانية اسلوب فصل الدارة والتأريض من أجل الحماية بمصطلح الحماية باستخدام الربط الأرضي متساوي الجهد والفصل الآلي لمصدر التغذية EEBADS Earthed Equipotential Bonding and Automatic Disconnection of Supply. اي أن فصل الدارة الآلي يجب أن يتم تنسيقه مع نظام التأريض المستُخدم. كما بيّنا سابقاً عند حساب تيار العطل I_d فإن ما يحد من قيمة هذا التيار هو مقاومة دارة العطل المكونة من مقاومة الطور ومقاومة موصل الوقاية، اي مقاومة إنشوطة العطل الارضي Earth loop fault impedance (resistance) اي أن:

$$Id = \frac{V_o}{Z_S}$$

ويمكن التحقق من فصل الدارة عند حدوث عطل بطرق مختلفة وهي:

1- طريقة الممانعة.

يتم في هذه الطريقة حساب الممانعة القصوى لانشوطه العطل ومقارنتها مع ممانعات أنشوطة العطل الواردة في المواصفات البريطانية رقم Bs 7671.

2- طريقة حساب أقصى طول مسموح به للدارة.

3- الطريقة التقليدية، حيث يتم حساب تيار العطل والذي يجب أن يكون أكبر من عتبة تيار التشغيل لنبيطة الحماية.

1- طريقة الممانعة

تساوي ممانعة أنشوطة العطل Z_s ما يلي:

$$Z_s = Z_E + Z_1 + Z_2$$

حيث أن:

Z_E- ممانعة أنشوطة العطل خارج التمديدات المعنية External to the Installation.

Z_1-ممانعة الطور .

Z_2-ممانعة موصل الوقاية .

فإذا كانت مساحة مقطع الكيبل أقل من 35مم2 ، عندها يمكن إهمال المراكسة الحثية Xc للكيبل ، ونأخذ بالاعتبار المقاومة فقط . في هذه الحالة فإن ممانعة أنشوطة العطل الأرضي تساوي :

$$Z_s=Z_E+R_1+R_2$$

إن المعادلة السابقة تستخدم عندما تكون الدارة المعنية شعاعية ، اما إذا كانت الدارة المعنية حلقية Ring ، فان Z_s تساوي :

$$Z_s =Z_E+0.25\ (R_{T1}+R_{T2})$$

حيث ان :

R_{T1}-مقاومة موصل الطور قبل توصيل النهايات لتشكيل الدارة الحلقية .

R_{T2}-مقاومة موصل الوقاية قبل توصيل النهايات لتشكيل الدارة الحلقية .

وتبين الجداول قيم المقاومات ، وبما أن اطوال الدارات معروفة لدينا في مرحلة التصميم فانه يمكن حساب Z_s ومقارنتها مع القيم الواردة في المواصفات .

ا قيمة مقاومة أنشوطة العطل خارج التمديدات المعنية Z_E فتساوي كما يلي :

في نظام التأريض TN-S فان : $Z_E= 0.8$

في نظام التأريض TN-C-S فان : $Z_E=0.35$

ذكرنا سابقاً أن تيار العطل يجب أن يكون أكبر من تيار تشغيل نبيطة الحماية حتى يتم فصل الدارة ، أي أن ممانعة أنشوطة العطل الأرضي يجب أن تكون كما يلي :

$$Z_s \le \frac{V_o}{I_a}$$

وتبين الجداول التالية ممانعة أنشوطة العطل الأرضي العظمى والمستخدمة لمقارنة

ممانعة أنشوطة العطل الارضي للدارة المعنية لبيان مدى مطابقة الدارة للمواصفات وتحقيق السلامة والامان للانسان في حالة حدوث عطل في الدارة .

جدول (4)

ممانعة أنشوطة العطل الأرضي القصوى للمصهرات بزمن فصل مقداره 0.4 ثانية ولفولطية V_0=240V

أ) مصهرات الاستخدام العام (gG) حسب BS88 الجزء الثاني والسادس

مقرر المصهر (أمبير)	6	10	16	20	25	32	40	50
Z_s (أوم)	8.89	5.33	2.82	1.85	1.50	1.09	0.86	0.63

ب) المصهرات حسب BS 1361

مقرر المصهر (أمبير)	5	15	20	30	45
Z_s (أوم)	10.9	3.43	1.78	1.20	0.60

جـ) المصهرات حسب BS 3036

مقرر المصهر (أمبير)	5	15	20	30	45
Z_s (أوم)	10.0	3.67	1.85	1.14	0.62

د) المصهرات حسب BS 1362

مقرر المصهر (أمبير)	13
Z_s (أوم)	2.53

جدول (5)

ممانعة أنشوطة العطل الأرضي (Z_s) لقواطع الدارة الصغرانية ، لزمن فصل مقداره 0.4 ثانية وفولطية Vo =240V

أ) فئة 1 قواطع دارة صغرانية حسب BS 3871

In	63	50	45	40	32	30	20	16	15	10	6	5	مقرر القاطع (أمبير)
$\frac{240}{4In}$	0.95	1.2	1.33	1.5	1.88	2	3	3.75	4	6	10	12	Z_s (أوم)

ب) فئة 2 قواطع دارة صغرانية حسب BS 3871

In	63	50	45	40	32	30	20	16	15	10	6	5	مقرر القاطع (أمبير)
$\frac{240}{7In}$	0.54	0.69	0.76	0.86	1.07	1.14	1.71	2.14	2.29	3.43	5.71	6.86	Z_s (أوم)

جـ) فئة B قواطع دارة صغرانية حسب BS 3871

In	63	50	45	40	32	20	16.	10	6	مقرر القاطع (أمبير)
$\frac{240}{4In}$	0.76	0.96	1.07	1.2	1.5	2.4	3	4.8	8	Z_s (أوم)

د) فئة 3 وفئة C قواطع دارة صغرانية حسب BS 3871

In	63	50	45	40	32	30	20	16	15	10	6	5	مقرر القاطع (أمبير)
$\frac{240}{10In}$	0.38	0.48	0.53	0.6	0.75	0.8	1.2	1.5	1.6	24	4.0	4.8	Z_s (أوم)

ويبين جدول -6 مساحة المقاطع الدنيا لموصلات التأريض المدفونة في الأرض .

جدول (6)

مساحة المقاطع الدنيا لموصلات التأريض المدفونة في الأرض

	محمية ضد التلف الميكانيكي	غير محمية ضد التلف الميكانيكي
محمية ضد الصدأ بغلاف (درع) Sheath	كما ينص عليه بند 01-543 من المواصفات البريطانية 7671*	16م2 نحاس 16 م2 نحاس مغطى بالفولاذ
غير محمية ضد الصدأ	25 م2 نحاس 50 م2 فولاذ	25 م2 نحاس 50 م2 فولاذ

❖ يتعلق البند 01-543 بمقاطع موصلات الوقاية عدا موصلات الربط المتساوي الجهد . ويتم إختيار هذه المقاطع إما بالحساب أو باستخدام جدول -7 .

جدول (7)

مساحة مقاطع موصلات الوقاية الدنيا بالنسبة لمقاطع موصلات الطور .

مساحة مقطع موصل الطور (S)	مساحة مقطع موصل الوقاية الادنى (Sp)	
	إذا كانت مادة موصل الوقاية من نفس مادة موصل الطور	إذا كانت مادة موصل الوقاية تختلف عن مادة موصل الطور
م2	م2	م2
S≤ 16	S	K_1S/K_2
16< S ≤ 35	16	K_116 /K_2
S > 35	S/2	K_1S/K_22

حيث أن :

K1 تساوي قيمة المعامل K لموصلات الطور والتي يتم إختيارها من جدول -8 .

K2 تساوي قيمة المعامل K لموصلات الحماية حسب الجداول 13,12, 11,10,9 .

جدول (8)

قيمK للمواد العامة والمستخدمة لحساب تأثير تيار العطل

تستخدم هذه المعطيات لزمن مزق أقصاه 5 ثواني

إذا كان زمن المزق أكبر من 5 ثواني يجب الرجوع الى صانع الكوابل .

مادة الموصل	مادة العازل	الحرارة الابتدائية المفترضة C°	حد الحرارة النهاية، C°	K
نحاس	70 درجة بي . في . سي استخدام عام	70	160/140	115/103
	85 درجة بي . في . سي	85	160/140	104/109
	60 درجة مطاط	60	200	141
	85 درجة مطاط	85	220	134
	90 درجة مقاوم للحرارة	90	250	143
	ورق مشبع بالزيت	80	160	108
نحاس	معدني			
	- بلاستيكي مغطى أو معرض للتلامس	70 درجة للغلاف	160	115
	معرى ومعرض للتلامس أو في تلامس مع مواد قابلة للاشتعال	105 درجات للغلاف	250	135
الومنيوم	70درجة بي . في . سي استخدام عام	70	160/140*	76/68*
	85 درجة	85	160/140*	69/60*
	60 درجة مطاط	60	200	93
	85 درجة مطاط	85	220	89
	90 درجة مقاوم للحرارة	90	250	94
	ورق مشبع بالزيت	80	160	71

*عندما يعطى رقمان لحد الحرارة النهاية وK فإن الرقم الأقل يستخدم للكوابل التي مساحة مقطعها أكبر من 300 مم2 .

جدول (9)

قيم K لموصلات الوقاية المعزولة وغير المدموجة بالكابل والتي لا تشكل حزمة مع الكيبل أو لموصلات الوقاية المعراة والمنفصلة ولكنها في تلامس مع غطاء الكابل ولا تشكل حزمة معه ،حيث أن درجة الحرارة الابتدائية المفترضة تساوي 30 درجة مئوية .

مادة الموصل	عازلية موصل الوقاية أو غطاء (غلاف) الكيبل			
	70° بي . في . سي	85° بي . في . سي	85° مطاط	90° درجة مقاومة للحرارة
نحاس	143/133*	143/133*	166	176
الومنيوم	95/88*	95/88*	110	116
فولاذ	52	52	60	64
درجة الحرارة الابتدائية المفترضة	30	30	30	30
درجة الحرارة النهائية	160/140*	160/140*	220	250

* للمقاطع أكبر من 300 مم2

جدول (10)

قيم K لموصلات الوقاية المدمجة بالكيبل أو التي تشكل حزمة معه بافتراض درجة الحرارة الابتدائية 70 درجة مئوية أو أكبر .

مادة الموصل	مادة العازلية			
	70° بي . في . سي	85° بي . في . سي	85° مطاط	90° درجة مقاومة للحرارة
نحاس	115/103*	104/90*	134	143
الومنيوم	76/68*	69/60*	89	94
درجة الحرارة الابتدائية المفترضة	70	85	85	90
درجة الحرارة النهائية	160/140*	160/140*	220	250

* للمقاطع اكبر من 300مم2 .

جدول (11)

قيم K لموصلات الحماية التي هي غلاف أو تسليح Armour الكابل .

مادة الموصل	مادة العازلية			
	70° بي . في . سي	85° بي . في . سي	85° مطاط	90° درجة مقاومة للحرارة
الومنيوم	93	87	93	85
فولاذ	51	48	51	46
رصاص	26	24	26	23
درجة الحرارة الابتدائية المفترضة	60	75	75	80
درجة الحرارة النهائية	200	200	220	200

جدول (12)

قيم K لقنوات الكوابل الفولاذية ، والمجاري والصناديق التي تستخدم كموصلات وقاية

مادة الموصل	مادة العازلية			
	70° بي . في . سي	85° بي . في . سي	85° مطاط	90° درجة مقاومة للحرارة
قناة فولازية ، مجرى أو صندوق	47	45	54	58
درجة الحرارة الابتدائية المفترضة	50	58	58	60
درجة الحرارة النهائية	160	160	220	250

جدول (13)

قيمK للموصلات المعراة حيث لا يوجد خطر من تلف المواد المجاورة بسبب حرارة الموصل .

درجات الحرارة الواردة مسموح بها في حالة عدم تأثيرها على نوعية وجودة الوصلات .

مادة الموصل	الظروف		
	منطقة مرئية وغير محددة	ظروف عادية	وجود حظر حريق
نحاس	228	159	138
الومنيوم	125	105	91
فولاذ	28	58	50
درجة الحرارة الابتدائية المفترضة	30	30	30
درجة الحرارة النهائية			
موصلات نحاس	500	200	150
موصلات الومنيوم	300	200	150
موصلات فولاذية	500	200	150

جدول (14)

قيم (R_1+R_2) /m, R_1/m محسوبة بالميللي أوم للمتر لموصلات النحاس عند درجة حرارة التشغيل العادية .

مساحة مقطع الموصل ،م2		عازلة 70° بي . في . سي		عازلة 85° بي . في . سي		عازلة 90° بي . في . سي أو XLPE	
موصل الطور	موصل الحماية						
1	2	3	4	5	6	7	8
1	-	21.7	21.7	22.8	22.8	23.2	23.2
1	1	40.5	43.4	41.6	45.6	42.0	46.3
1.5	-	14.5	14.5	15.2	15.2	15.5	15.5
1.5	1	33.5	36.2	34.1	38.1	34.3	38.7
1.5	1.5	27.1	29.0	27.8	30.5	28.1	31.0
2.5	-	8.89	8.89	9.34	9.34	9.48	9.48
2.5	1	27.7	30.6	28.2	32.1	28.3	21.7
2.5	1.5	21.5	23.4	21.9	24.6	22.1	25.0
2.5	2.5	16.6	17.8	17.0	18.7	17.2	19.0
4.0	-	5.53	5.53	5.81	5.81	5.9	5.9
4.0	1.5	18.1	20.1	18.4	21.1	18.5	21.4
4.0	2.5	13.2	14.4	13.5	15.1	13.6	15.4
4.0	4.0	10.3	11.1	10.6	11.6	10.7	11.8
6.0	-	3.70	3.70	3.88	3.88	3.94	3.94
6.0	2.5	11.4	12.6	11.6	13.2	11.6	13.4
6.0	4.0	8.49	9.23	8.68	9.69	8.74	9.84
6.0	6.0	6.90	7.39	7.08	7.76	7.15	7.88
10.0	-	2.20	2.20	2.31	2.31	2.34	2.34
10.0	4.0	6.99	7.73	7.10	8.11	7.14	8.24
10.0	6.0	5.40	5.89	5.51	6.19	5.55	6.28
10.0	10.0	4.10	4.39	4.21	4.61	4.25	4.68
10.0	-	1.38	1.38	1.45	1.45	1.47	1.47
16.0	6.0	4.58	5.08	4.65	5.33	4.68	5.41
16.0	10.0	3.28	3.58	3.35	3.75	3.38	3.81
16.0	16.0	2.58	2.76	2.65	2.95	2.67	2.94
25.0	-	0.872	0.872	0.916	0.916	0.931	0.931
25.0	10.0	2.78	3.07	2.82	3.22	2.83	3.27
25.0	16.0	2.07	2.25	2.11	2.37	2.13	2.40
25.0	25.0	1.63	1.74	1.67	1.83	1.69	1.86
35.0	-	0.629	0.629	0.660	0.660	0.671	0.671
35.0	16	1.82	2.01	1.86	2.11	1.87	2.14
35.0	25	1.38	1.50	1.42	1.58	1.43	1.60
35.0	35.0	1.17	1.26	1.21	1.32	1.22	1.43

- ملاحظات على استخدام الجدول :

عند استخدام جدول -9 فان القيم الواردة في الأعمدة 7,5,3 من هذا الجدول تستخدم لمجموعة موصل الطور وموصلات الوقاية المذكورة في الأعمدة 2,1 عندما تكون هذه الموصلات نحاسية . عندما تكون هذه المجموعة غير معطاة فيمكن استخدام معطيات جداول 18,17,16 .

تستخدم القيم الواردة في الأعمدة ، 8,6,4 عند استخدام جدول -10 .

جدول (15)

قيم $(R_1+R_2)/m$,R_1/m محسوبة بالميللي أوم للمتر لموصلات الالومنيوم عند درجة حرارة التشغيل العادية

مساحة مقطع الموصل، مم2		70° بي . في . سي العازلية		90° بي . في . سي أوXLPE العازلية	
موصل الطور	موصل الحماية	عند استخدام جدول -8	عند استخدام جدول -9	عند استخدام جدول -8	عند استخدام جدول -9
16	-	2.29	2.29	2.44	2.44
16	6	-	-	-	-
16	10	-	-	-	-
16	16	4.28	4.58	4.43	4.89
25	-	1.44	1.44	1.54	1.54
25	10	-	-	-	-
25	16	3.43	3.73	3.52	3.98
25	25	2.69	2.88	2.78	3.07
35	-	1.04	1.04	1.11	1.11
35	16	3.03	3.33	3.10	3.56
35	25	2.29	2.48	2.36	2.65
35	35	1.94	2.08	2.01	2.22

جدول (16)

مقاومة الموصل عند درجة 20° مئوية (ميللي اوم /متر) .

مساحة مقطع الموصل، م2	نحاس	الومنيوم
1	18.1	-
1.5	12.1	-
2.5	7.41	-
4.0	4.61	-
6.0	3.08	-
10.0	1.83	-
16.0	1.15	1.91
25.0	0.727	1.20
35.0	0.524	0.868

جدول (17)

المضاعفات التي تستخدم لقيم المقاومة الواردة في جدول-16 للحصول على R_1 /m و (R_1+R_2) /m بالميللي أوم / متر لاغراض حسابات الممانعة .

		عازلية PVC 70 درجة مؤية	عازلية مطاطية 85 درجة مؤية	عازلية XLPE
نبيطة الحماية كما هي مذكورة في ملحق 3 من BS7671				
عند استخدام جدول 9	موصل وقاية	0.92+0.004ta	0.92+0.004ta	0.92+0.004ta
	موصل الطور	0.92+0.004t1	0.92+0.004t1	0.92+0.004t1
عند استخدام جدول 10	لكلا الموصلين	0.92+0.004t1	0.92+0.004t1	0.92+0.004t1
نبيطة الحماية كما هي مذكورة في ملحق 3 من BS7671				
عند استخدام جدول 9	موصل وقاية	1.24+0.002ta (1.3)	1.36+0.002ta (1.42)	1.42+0.002ta (1.48)
	موصل الطور	1.24+0.002t1 (1.38)	1.36+0.002t1 (1.53)	1.42+0.002t1 (1.60)
عند استخدام جدول 10	لكلا الموصلين	1.24+0.002t1 (1.38)	1.36+0.002t1 (1.53)	1.42+0.002t1 (1.53)

ملاحظة : القيم الواردة بين قوسين مبنية على درجة حرارة 30 درجة مؤية ودرجة حرارة ابتدائية تساوي أقصى درجة حرارة مسموح بها في ظروف التشغيل العادية .

جدول (18)

المضاعفات التي تتناسب مع ta=30 وقيم مختلفة لدرجة حرارة t1 والتي تستخدم لقيم المقاومة الواردة في جدول (16)

درجة الحرارة t1	عازلية PVC 70 درجة مؤية	عازلية مطاطية 85 درجة مؤية	عازلية XLPE
40	1.08	1.08	1.08
50	1.12	1.12	1.12
60	1.16	1.16	1.16
70	-	1.20	1.20
80	-	-	1.24

2-طريقة حساب أقصى طول Lmax مسموح به للدارة .

ذكرنا سابقاً أن تيار العطل يساوي :

$$I_d = \frac{V_o}{Z_S} = \frac{0.8\ V_o}{R_{ph} + R_{pE}}$$

من ناحية أخرى فان مقاومة الموصل تساوي :

$$R = \frac{\rho L}{S}$$

لذلك ، فان تيار العطل يساوي :

$$I_d = \frac{0.8\ V_o}{\frac{\rho L}{S_{ph}} + \frac{\rho L}{S_{pE}}} = \frac{0.8\ V_o\ S_{ph}}{\rho\ (1+m)\ L}$$

وحتى تقوم نبيطة الحماية بفصل الدارة عند حدوث عطل فان تيار التشغيل I_a يجب أن يكون أكبر من تيار العطل I_d ، في هذه الحالة فان أقصى طول للدارة مسموح به هو :

$$L_{max} = \frac{0.8\ V_o}{\rho\ (1+m)\ I_a}$$

حيث ان :

L_{max}-أقصى طول مسموح به للدارة بالمتر .

V_o-فولطية الطور- الحيادي وتساوي 230 فولطاً للدارات الأحادية ، وتساوي 400 فولطاً للدارات ثلاثية الاطوار .

ρ-مقاومية الموصل في درجة حرارة التشغيل العادية .

I_a-تيار مزق الدارة .

عند استخدام قواطع الدارة فان تيار مزق الدارة I_a يساوي تيار تشغيل نبيطة المزق المغناطيسية ($I_a=I_m$) .

عند استخدام المصهرات فان التيار يكون بحيث أن زمن المزق الكلي للمصهر (زمن ما قبل حدوث القوس Pre-arcing time بالاضافة الى زمن القوس Arcing time) يجب أن يتوافق مع الزمن القياسي (جدول -3) .

المعامل m يساوي العلاقة بين مساحة مقطع موصل الطور الى مساحة مقطع موصل الحماية ، اي ان :

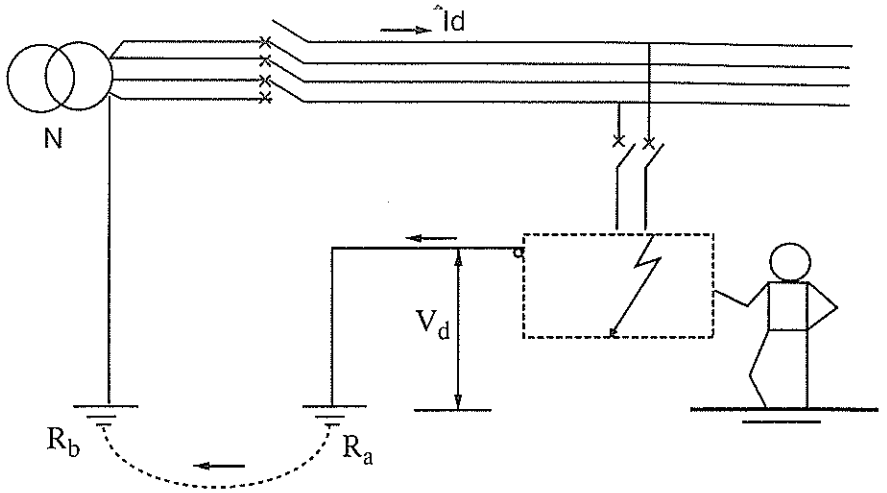
$$m= \frac{S_{ph}}{S_{pE}}$$

3- الطريقة التقليدية

حيث يتم في هذه الطريقة حساب تيار العطل بمعرفة ممانعة أنشوطة العطل الأرضي ومقارنة هذا التيار مع تيار تشغيل نبيطة الحماية ، اي أن :

$$I_d= \frac{V_o}{Z_S} > Ia$$

4.4 نظام التأريض TT



شكل -6

مسار تيار العطل في نظامTT

يبين شكل -6 مسار تيار العطل في نظام TT، وبالرغم من عدم وجود إتصال مباشر بين نقطة تأريض المستهلك وتأريض نقطة الحيادي في المحول، الا أن تيار العطل يسير عبر كتلة الأرض كما هو مبين في الشكل السابق. في هذه الحالة فإن تيار العطل I_d يساوي:

$$I_d = \frac{V_o}{R_a + R_b}$$

وينتج عن هذا التيار فولطية عطل Fault voltage في مقاومة الارضي كما يلي:

$$V_d = R_a . I_d = \frac{V_o R_a}{R_a + R_b}$$

فإذا إفترضنا أن $R_a = R_b$ وكل منهما تساوي 10اوم، فان:

$$I_d = \frac{V_o R_a}{R_a + R_b} = \frac{V_o}{2}$$

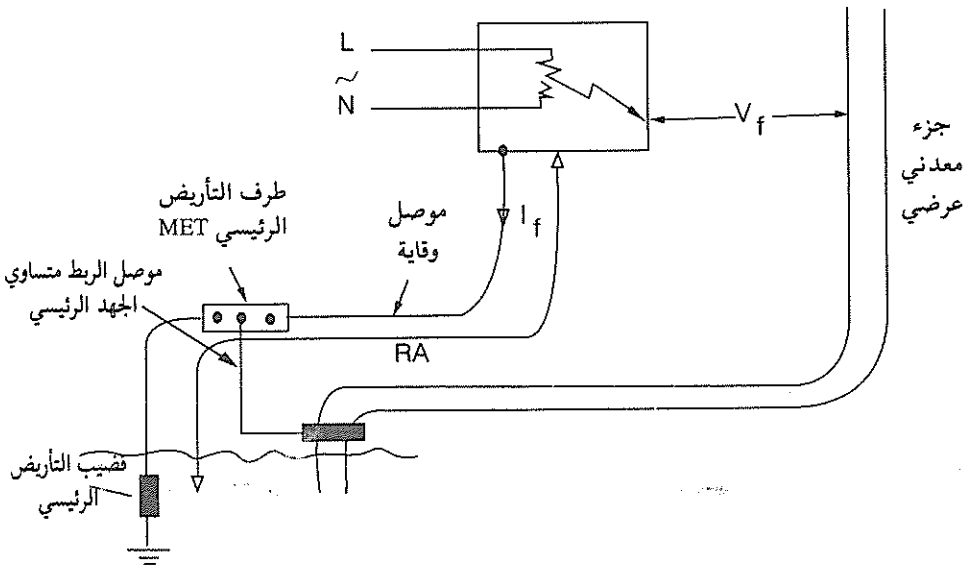
فإذا كانت Vo تساوي 230 فولطاً فان الفولطية التي تظهر على جسم المعدات الكهربائية في حالة العطل تساوي 115فولطاً، وهذه فولطية قاتلة، لذلك فلا بد من أن تكون هذه الفولطية أقل من فولطية التلامس.

من هنا، فإن شرط السلامة في هذا النظام هو تحقيق مايلي:

$$R_a I_a \leq 50\ V$$

حيث أن:

I_a-تيار تشغيل نبيطة الحماية.



شكل -7

في شكل -7 فإن:

$$R_a = R_{electrode} + R_{cpc}$$

حيث أن:

$R_{electrode}$- مقاومة قضيب التأريض.

R_{cpc}-مقاومة موصل الوقاية.

في هذه الحالة فإن تيار تشغيل النبيطة يساوي :

$$I_d = \frac{50}{R_a}$$

فإذا كانت مقاومة قضيب التأريض تساوي 5 أوم ومقاومة موصل الوقاية تساوي 0.2 أوم ، فإن تيار تشغيل النبيطة يساوي :

$$I_d = \frac{50}{5.2} = 9.6 \text{ A}$$

وهذا التيار لا يستطيع حتى صهر مصهر بمقرر6 أمبيرات(حسب BS88) ، أما إذا كانت مقاومة قضيب التأريض1 أوم ، فان التيار يساوي :

$$I_a = \frac{50}{1.2} = 41.7 \text{ A}$$

وهذا التيار يستطيع صهر مصهر بمقرر 16 أمبيراً ، كذلك فإن قواطع الدارة الصغرانية بمقررات صغرى يمكن أن تفي بالغرض .

من العرض السابق نستطيع أن نجمل شرط الحماية ضد التلامس غير المباشر في هذا النظام ، وهما :

أ)الحماية باستخدام حماية من التيار المفرط Overcurrent protection ، وفي هذه الحالة فان تيار العطل يجب أن يكون أكبر من تيار تشغيل النبيطة ، وهذا لا يتحقق دوماً . ولتحقيق ذلك لا بد أن تكون مقاومة نظام الأرضي صغيرة جداً .

ب) باستخدام نبائط التيار المتخلف Residuel current devices . في هذه الحالة فان عتبة التيار العادي Nominal current threshold $I_{\Delta n}$ تساوي :

$$I_{\Delta n} \leq \frac{V_L}{R_a} = \frac{50}{R_a}$$

ويبين جدول -19 المقاومة العظمى لنظام الأرضي إعتماداً على حساسية نبيطة التيار المتخلف (قاطع دارة تسرب أرضي Earth leakage circuit breaker ELCB) .

جدول (19)

المقاومة العظمى لنظام الأرضي

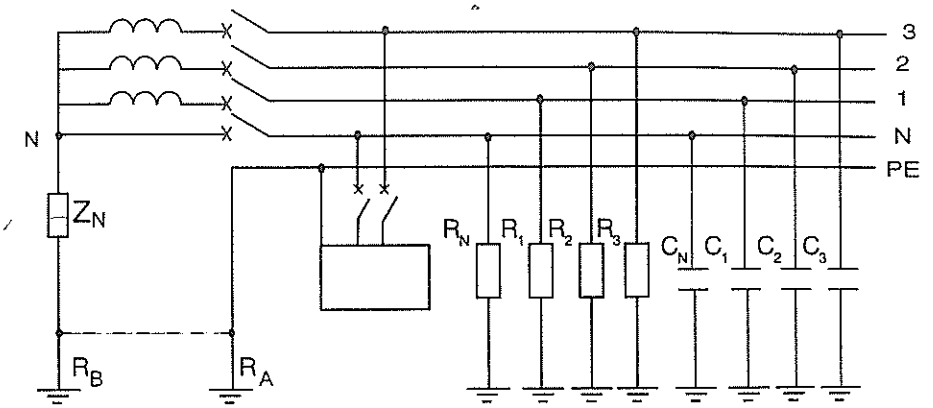
$I_{\Delta n}$	V_L= 50V	V_L= 25V
3 أمبير	16 أوم	8 أوم
1 أمبير	50 أوم	25 أوم
500 ميللي أمبير	100 أوم	50 أوم
300 ميللي أمبير	166 أوم	83 أوم
30 ميللي أمبير	1660 أوم	833 أوم

وهكذا نلاحظ أن الحماية باستخدام قواطع دارة التسرب الأرضي لا تعتمد على طول الكابل، وكذلك فمهما كانت مقاومة نظام الأرضي كبيرة فإن ذلك لا يؤثر على عمل الحماية، كذلك يمكننا إستخدام أكثر من قضيب تأريض في أكثر من مكان.

5.4 نظام IT

في هذا النظام فإن حيادي الملف الثانوي لمحول التوزيع غير مؤرض (لا يتصل بالأرض أو يتصل بها عبر ممانعة كبيرة). كل الاجزاء المعدنية (الهياكل) للمعدات الكهربائية عند المستهلك مؤرضة. قد تكون نقاط التأريض عند المستهلك ومصدر التغذية متصلة أو منفصلة. تعتبر أي نقطتين مؤرضتين منفصلتين إذا كانت المسافة بينهما أكثر من 8 أمتار.

ويبين شكل -8 نظام IT، حيث أن نقطة الحيادي مؤرضة عبر ممانعة كبيرة(قيمة Z_N تتراوح من 1كيلوأوم إلى 2 كيلو أوم).



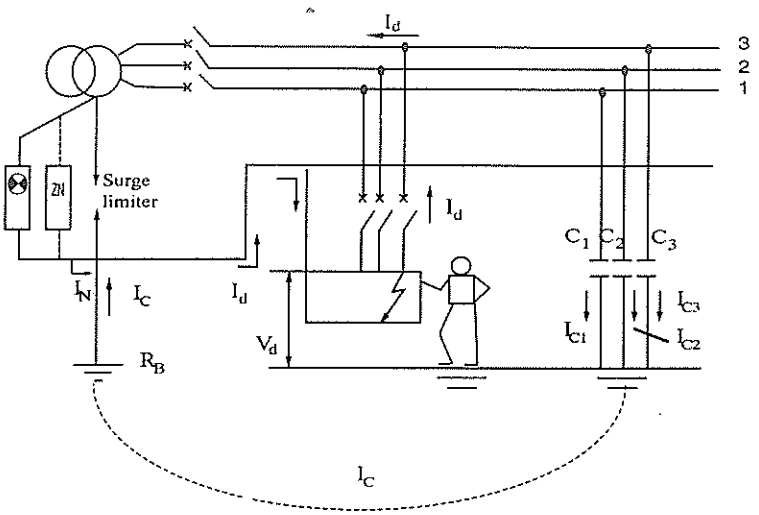
شكل-8

نظام IT

في حالة التشغيل العادية فان الشبكة تكون مؤرضة من خلال ممانعات التسرب Leakage impedance للشبكة (R_N, R_1,R_2,R_3, C_N, C_1, C_2, C_3).

وعند حدوث عطل ما (إنهيار العازلية) فإن هذا التيار يكون صغيراً وفولطية التلامس تكون صغيرة ايضاً بحيث لا يؤثر ذلك على تشغيل الشبكة وتستمر في العمل، بمعنى آخر لا يحدث اي إنقطاع في التيار الكهربائي، وهذا الأمر مهم جداً وخاصة في غرف العمليات في المستشفيات وفي بعض العمليات الانتاجية التي لا يسمح بإنقطاع التيار الكهربائي. لذلك، ففي مثل هذه الحالات لا بد من استخدام نظام التأريض IT. وسنبحث التيار وفولطية التلامس عند حدوث العطل الأول.

1.5.4 حساب التيار وفولطية التلامس عند حدوث العطل الأول



شكل -9

حدوث عطل منفرد في نظامIT

يبين شكل -9 حدوث عطل منفرد Single fault في نظام IT وذلك بين الطور-3والأرض، مقاومة العطل هي مقاومة فعّالة تساوي R_d، وعلى إفتراض أن جميع المواسعات C_1,C_2,C_3 متساوية، فان قيمة تيار العطل I_d تساوي:

$$I_d = V_o \frac{1+ 3\ j\ C\omega\ Z_N}{R_d + Z_N + 3\ j\ C\omega Z_N\ R_d}$$

اما قيمة التيار السعوي I_c Capacitive current فتساوي:

$$I_c = V_o \frac{3\ j\ C\omega\ Z_N}{R_d + Z_N + 3\ j\ C\omega Z_N\ R_d}$$

وقيمةالتيار المار في الممانعة Z_n يساوي:

$$I_N = \frac{V_o}{R_d + Z_N + 3\ j\ C\omega Z_N\ R_d}$$

ويتم حساب فولطية التلامس (فولطية التلامس بين هيكل الجهاز الذي حدث فيه العطل وبين هيكل جهاز آخر أو الأرض) من معرفة تيار العطل ومقاومة الأرضي R_A إذا كانت هياكل الأجهزة غير متصلة، أو إذا كانت متصلة نستخدم المقاومة R_B.

$$V_c = R_A . I_d$$

فإذا كانت $R_d=0$ وتأريض الجهاز منفصلين عن الممانعة Z_n، فان

$$I_d = \frac{Vo}{Z_N + 3jC\omega}$$

$$V_C = R_A \frac{Vo}{Z_N + 3jC\omega}$$

$$I_c = 3\ j\ C\omega Vo$$

$$I_N = \frac{Vo}{Z_N}$$

وسنحسب قيم تيار العطل وفولطية التلامس لاربع قيم لمقاومة العطل R_d، أي ان R_d تساوي 0,0.5,1,10 أوم وكل حالة سنحسبها لقيمة Z_N تساوي ما لا نهاية، وZ_N تساوي 1كيلو أوم. وسيتم الحساب للحالات الثلاثة التالية:

الفولطية بين الطور والأرض تساوي 230 فولطاً.

الحالة الاولى: شبكة منخفضة السعة (مثل غرف العمليات)، في هذه الحالة فان:

$$C_1 = C_2 = C_3 = 0.3\ \mu F \text{ Per phase}$$

الحالة الثانية: شبكة مواسعاتها تساوي:

$$C_1 = C_2 = C_3 = 0.6\ \mu F \text{ Per phase}$$

الحالةالثالثة: شبكة قدرة طويلة تساوي مواسعاتها ما يلي:

$$C_1 = C_2 = C_3 = C = 10\ \mu F \text{ Per phase}$$

وهذه حالة نمطية لشبكة طول كوابلها 40 كيلو متراً.

يبين جدول -20 نتائج الحساب للحالات السابقة. من الجدول يتبين لنا أن تيار العطل صغير جداً وإن قيمة فولطية التلامس قليلة وبالتالي ليس هناك خطورة تذكر من إستمرار تشغيل الشبكة بوجود هذا العطل.

جدول (20)

مقارنة بين قيم تيار العطل وفولطية التلامس

عند حدوث العطل الاول في شبكةIT

10	1	0.5	0	المقاومة R_d (كيلو أوم)		
0.22	0.69	0.71	0.72	فولط V_c	$Z_N = \infty$	الحالة الأولى
0.02	0.07	0.07	0.07	أمبير I_d		$C = 1\mu F$
0.21	1.19	1.6	2.41	فولط V_c	$Z_N = 1K\Omega$	
0.02	0.12	0.16	0.24	أمبير I_d		
0.23	1.94	2.84	3.61	فولط V_c	$Z_N = \infty$	الحالة الثانية
0.02	0.19	0.28	0.36	أمبير I_d		$C = 5\mu F$
0.22	1.68	2.53	4.28	فولط V_c	$Z_N = 1K\Omega$	
0.02	0.17	0.25	0.43	أمبير I_d		
0.23	2.29	4.5	21.7	فولط V_c	$Z_N = \infty$	الحالة الثالثة
0.02	0.23	0.45	2.17	أمبير I_d		$C = 30\mu F$
0.23	2.26	4.41	21.8	فولط V_c	$Z_N = 1K\Omega$	
0.02	0.23	0.44	2.18	أمبير I_d		

ونود أن نذكر هنا أن ممانعة التسرب الأرضي الطبيعية Natural earth leakage impedance للدارة ثلاثية الاطوار ولطول كابل يساوي 1كيلومتر تساوي:

- المواسعة (C)=1 ميكروفارادي / كم.

المقاومة (R)=1 ميجا أوم / كم.

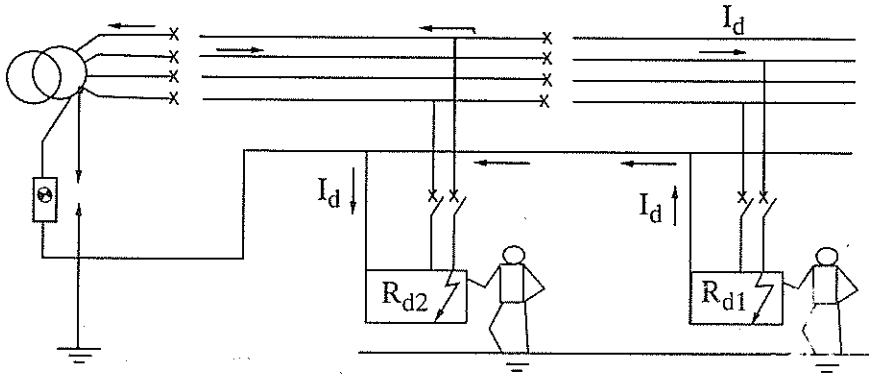
ولتردد مقداره 50 هيرتزاً فإن هذه الممانعة تساوي:

$$Xc= \frac{1}{j\omega C} =3200\ \Omega$$

$$R= 1M\ \Omega$$

ويجب أن تكون قيمة الممانعة بين نقطة حيادي المحول والارض (Z_N) تساوي 1500 أوم.

2.5.4 حساب التيار وفولطية التلامس عند حدوث العطل المزدوج



شكل -10

عطل مزدوج في نظام IT

يبين شكل -10 نظام IT عند حدوث عطل مزدوج Double insulation fault.
سنقوم بحساب تيار العطل وفولطية التلامس عند حدوث إنهيار (عطل) في العازلية على موصلين مختلفين (على موصل الطور والحيادي إذا كان الحيادي موزعاً Distributed بمعنى ممدوداً مع موصل الطور، وعلى طورين مختلفين إذا كان الحيادي غير موزع (not distributed) لدارتين لهما نفس مقطع الكابل والطول.

وسنبحث في حالتين : الأولى أن تكون الهياكل (للاجهزة الكهربائية) متصلة فيما بينها، والحالة الثانية أن تكون هياكل الأجهزة الكهربائية غير متصلة فيما بينها.

الحالة الأولى : هياكل الأجهزة الكهربائية متصلة فيما بينها.

سنفترض أن الفولطية عند نقطة بداية المغذي تساوي 80% من قيمة الفولطية المقررة، وهذا يعني أن ممانعة المغذي تساوي 80 % من الممانعة الكلية لانشوطه العطل وأن ممانعة الجزء الصاعد تساوي 20% . والآن سنفترض ما يلي :

V'- الفولطية بين الطور والحيادي (تساوي Vo إذا كان العطلان على حيادي موزع).

أو V' - الفولطية بين الطورين (تساوي $\sqrt{3}$ Vo إذا كان الحيادي غير موزع).

Ra-مقاومة موصل الطور وتساوي :

$$Ra = \rho \frac{L}{Sa}$$

$$m = \frac{Sa}{Spe}$$

حيث أن :

ρ-مقاومية مادة موصل الطور.

Sa-مساحة مقطع موصل الطور.

Spe-مساحة مقطع موصل الحماية.

m-العلاقة بين مساحة مقطع موصل الطور الى موصل الحماية.

فإذا أهملنا المراكسة الحثية وافترضنا أن مساحة مقطع موصل الطور وموصل الحماية متساويين ولهما نفس الطول فإن :

يساوي تيار العطل I_d ما يلي إذا كان أحد العطلين على الحيادي :

$$I_d = \frac{0.8\ Vo}{2\ (R_a + R_{pe})} = 0.8\ Vo\ \frac{Sa}{2\rho\ (1+ m)L}$$

يساوي تيار العطل I_d إذاحدث العطلان على موصلي الطور ما يلي :

$$I_d = 0.8\sqrt{3}\, V_o \quad \frac{S_a}{2\rho\,(1+m)L}$$

تساوي فولطية التلامس بشكل عام ما يلي :

$$V_c = R_{pe}.\, I_d$$

في حالة حدوث أحد العطلين على الحيادي ، فان :

$$V_c = 0.8\, V_o \quad \frac{m}{2(1+m)}$$

في حالة حدوث العطلين على موصلي الطور ، فان :

$$V_c = 0.8\sqrt{3}\; V_o \frac{m}{2(1+m)}$$

وحتى نتبين خطورة العطل الثاني بوجود الأول فلا بد من حساب فولطية التلامس ، عندما يحدث العطلان على مغذيين متشابهين وكذلك عندما يحدث العطلان على القضيب العمومي Busbar ومغذي ، ويبين جدول -21 نتائج الحساب . من الجدول السابق يتبين أن فولطية التلامس (Vc=46) تكون أقل من الحد المسموح به في حالة واحدة فقط وهي عندما يحدث العطلان على مغذيين متشابهين بين الطور والأرضي . وفي جميع الحالات الأخرى فان فولطية التلامس تكون خطرة على حياة الانسان .

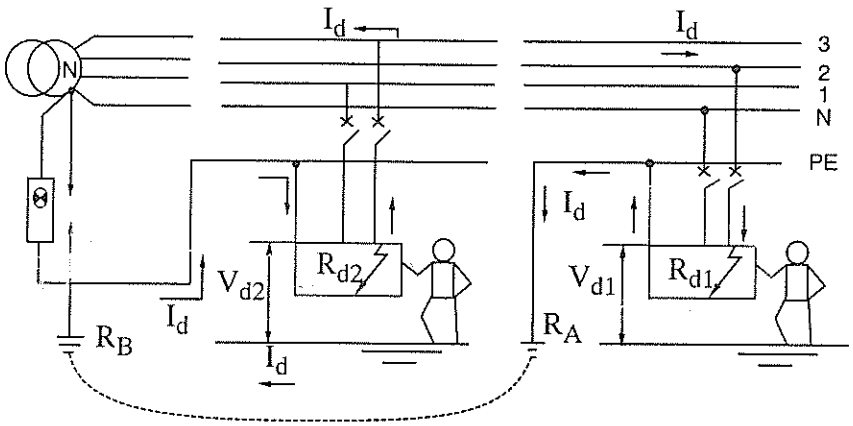
جدول (21)

فولطية التلامس عند حدوث عطلين لشبكة 230/400

والمؤرضة حسب نظام IT

العطلان على قضيب عمومي ومغذي m=4	العطلان على مغذيين متشابهين m=1	العطلان Double Faults
V_c= 73.6 V V_c = 127.5 V	V_c= 46V V_c = 79.7 V	الطور- الحيادي الطور - الطور

الحالة الثانية : عندما تكون هياكل الأجهزة الكهربائية غير متصلة فيما بينها .



شكل-11

حدوث عطلين في شبكة تأريضها IT عندما تكون هياكل

الأجهزة الكهربائية غير متصلة فيما بينها

إذا حدث العطلان على جهازين كهربائيين كل منهمامتصل بأرضي منفصل(شكل -11)، فإن تيار العطل I_d يغلق بالأرض وتحدد قيمته بالمقاومتين R_A, R_B . وتبين

الحسابات (جدول 22) بأن قيمة فولطية التلامس في هذه الحالة أكبر من الحد المسموح به وتشكل خطورة على الانسان. ولذلك لا بد من فصل الدارة الكهربائية بوسائل الحماية، ولكن تيار العطل يكون أقل من تيار المزق لنبيطة الحماية ولذلك يستحسن استخدام قواطع دارة تيار التسرب الأرضي. وتحدد IEC 60364 زمن المزق الأدنى حسب فولطية تشغيل الشبكة (جدول -23).

جدول (22)

تيار العطل وفولطية التلامس عند حدوث عطلين على هياكل الأجهزة الكهربائية التي لها تأريض منفصل

عطل مزدوج على:	Vc	I_d
طور- حيادي	115 فولط	11 أمبير
طور - طور	220 فولط	20 أمبير

جدول (23)

زمن المزق الأدنى (ثانية)

فولطية الشبكة Vo (فولط)	الحيادي غير موزع	الحيادي موزع*
127	0.4	1
230	0.2	0.5
400	0.06	0.2
أكبر من 400	0.02	0.08

* للشبكات أحادية الطور

جدول (24)

تيار العطل وفولطية التلامس والطول الأقصى لانظمة التأريض المختلفة .

نظام التأريض	تيار العطل I_d	فولطية التلامس V_c	الطول الاقصى L_{max}
TN	$\frac{0.8\ Vo\ Sph}{\rho\ (1+m)\ L}$	$\frac{0.8\ Vo}{1+m}$	$\frac{0.8\ Vo\ Sph}{\rho\ (1+m)\ Ia}$
TT	$\frac{Vo}{R_a+R_b}$	$\frac{Vo\ R_a}{R_a+R_b}$	غير محدد
IT العطل الأول	اقل من 1 أمبير	اقل بكثير من V_L	
العطل المزدوج مع الحيادي	$\leq \frac{1}{2}\ \frac{0.8\ Vo\ Sph}{\rho\ (1+m)\ L}$	$\leq \frac{m}{2}\ \frac{0.8\ Vo}{1+m}$	$\frac{1}{2}\ \frac{0.8\ Vo\ Sph}{\rho\ (1+m)\ I_a}$
العطل المزدوج بين الأطوار	$\leq \frac{\sqrt{3}}{2}\ \frac{0.8\ Vo\ Sph}{\rho\ (1+m)\ L}$	$\leq \frac{m\sqrt{3}}{2}\ \frac{0.8\ Vo}{1+m}$	$\frac{\sqrt{3}}{2}\ \frac{0.8\ Vo\ Sph}{\rho\ (1+m)\ I_a}$

ملاحظات على الجدول :

تساوي المقاومية للنحاس ما يلي :

$\rho = 22.5 \times 10^{-6}\ \Omega/mm^2/m$

وتساوي ρ للالومنيوم ما يلي :

$$\rho = 36*10^{-6}\ \Omega.mm^2/m$$

اما المعامل m فيساوي :

$$m = \frac{S_{ph}}{S_{pE}}$$

ويبين جدول -25 إيجابيات وسلبيات أنظمة التأريض المختلفة .

جدول (25)

إيجابيات وسلبيات أنظمة التأريض المختلفة

	TT	TN-C	TN-S	IT
سلامة الاشخاص	■■■	■■■	■■■	■■■
سلامة الأجهزة والمعدات ضد خطر الحريق	■■■	□	□□	■■■
لحماية الأجهزة عند حدوث عطل عازلية	■■■	□	□	■■■
متاحية الطاقة الكهربائية	□□	□□	□□	■■■■
التوافقية الكهرومغناطيسية	□□	□□	□□	□□
لاغراض التركيب والصيانة عمالة ماهرة	■■	■■■■	■■■■	■■■
عمالة متاحة	□□	□□	□□	■■■

ممتاز ■■■■

جيد ■■■

متوسط □□

ضعيف □

أما أنظمة التأريض في شبكات الفولطية المنخفضة في الدول المختلفة فيبينها جدول -26

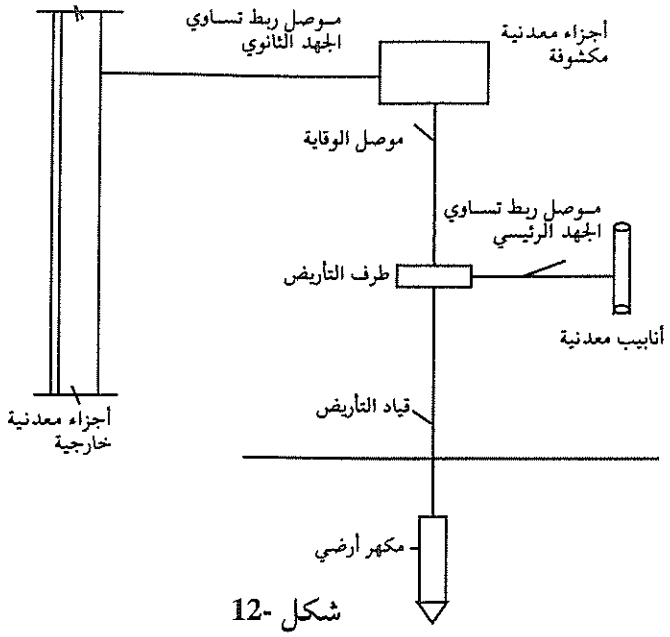
جدول (26)

أنظمة التأريض في شبكات الفولطية المنخفضة في الدول المختلفة

الدول	نظام التأريض المستخدم	ملاحظات
المانيا 230/400	TT, TN-C	نظام TN هو الشائع الاستخدام . R_T يجب أن تكون أقل من 2 أوم . يجب توصيل المستهلك بالارض حتى في نظام TN .
بلجيكا 230/400V	TT	$R_u < 100\ \Omega$ يجب استخدام نبيطة التيار المتخلف RCD بحساسية 30 ميللي أمبير
اسبانيا 230/400V	TT	$R_u < 800\ \Omega$ يجب استخدام RCD بحساسية 30 ميللي أمبير في نهاية نقطة التغذية للتمديدات
فرنسا 230/400V	TT	$R_u < 50\ \Omega$ (100 Ω shortly) مع استخدام RCD بحاسية 30 ميللي أمبير للمقابس
بريطانيا 240/415V	TT,TN-C	مناطق المدن : TN- S and TN-C المناطق الريفية : TT توصيلة أرضية (أقل من 10 أوم) من الحيادي يتم تزويدها من قبل موزع القدرة
ايطاليا 230/400V	TT	حساسية RCD تكون كدالة للمقاومة R_u ($I\Delta n < 50/R_u$) للمستهلكين بدون توصيلات أرضية تكون الحساسية 30 ميللي أمبير
اليابان 100/200V	TT	$R_u < 100\Omega$ يستخدم على نطاق واسع RCD بحساسية تساوي 30 ميللي أمبير .
النرويج 230/400V	IT	الأجهزة مصنوعة بمواد عازلة وتوصيلات أرضي ضعيفة . المنازل بها RCD بحساسية 30 ميللي أمبير لاعطاء إشارة فقط ويتم الفصل بحدوث عطل مزدوج
البرتغال	TT	$R_u < 50\ \Omega$ (100 Ω as from1995)
الولايات المتدة الأمريكية	TN-C	تأريض الحيادي عند مستهلك الفولطية المنخفضة (كل توصيلات الأرضي تتصل بمحطات التحويل) .

6.4 نظام التأريض

يبين شكل -12 الأجزاء الرئيسية لنظام التأريض Earthing system.



شكل -12

عناصر نظام التأريض

ويتكون نظام التأريض من العناصر الرئيسية التالية :

أ-مكهر أرضي أو مجموعة مكاهر مدفونة في الأرض.

ب-موصل التأريض Earthing conductor ، وهو الموصل الذي يربط المكاهر الأرضية بطرف التأريض الرئيسي Main earthing terminal MET.

جـ- موصلات الوقاية Protective conductorsوهي التي تصل طرف التأريض الرئيسي بأطراف التأريض في اللوحات الفرعية.

د-موصلات الوقاية للدارة Circuit protective conductor cpc ، وهي التي تربط طرف التأريض بالاجزاء (الهياكل) المعدنية المكشوفة للاجهزة والمعدات.

هـ-موصلات ربط تساوي الجهد الرئيسية Main equipotential bonding

conductors ، وهي التي تربط الانانبيب المعدنية والخدمات الاخرى بطرف التأريض الرئيسي .

و-موصلات ربط تساوي الجهد الأضافية Supplementary equipotential bonding conductors ، وهي الموصلات التي تربط بين الاجزاء المعدنية المكشوفة فيما بينها .

ونلاحظ أن أي نظام تأريض لا بد أن يحتوي على العناصر التالية :

أ-الأرض .

ب-المكاهر .

جـ-الموصلات .

7.4- الارض

الأرض -كماذكرنا سابقاً- هي كتلة ضخمة تساوي فولطيتها صفراً . ولا بد أن ننوه هنا الى أن المواصفات البريطانية والاوروبية تستخدم كلمة Earthing للدلالة على التأريض ، بينما تستخدم المواصفات الامريكية كلمة Grounding للدلالة على التأريض .

وحسب IEEE فان تعريف الأرضي أو نظام الأرضي (ground system) Ground هو ربط توصيلي سواء كان متعمداً أو عرضياً بحيث يوصل الجهاز أو المعدات الكهربائية بالأرض أو اي جسم موصل آخر بامتداد كبير نسبياً بحيث يخدم هذا الجسم كالأرض . ونلاحظ أن هذا التعريف شامل بحيث ينطبق على أنظمة تأريض الأجهزة الكهربائية في الطائرات والصواريخ والسفن الفضائية والسفن البحرية حيث لا يوجد اي إتصال بين طرف التأريض الرئيسي وكتلة الأرض .

إن أهم خاصية للأرض هي المقاومة النوعية للتربة .

تتحدد الصفات الكهروفيزيائية للتربة بمقاومتها النوعية Resisitivity وهي عبارة عن مقاومة مكعب من التربة طول ضلعه يساوي مترا واحدا ، وتساوي :

$$\rho = \frac{r.F}{1} \text{ , [ohm. mm}^2 / \text{m] or [ohm.m]} \qquad (1)$$

حيث ان :

r – المقاومة بالأوم لحجم معين من التربة ، مساحته F (بالمتر المربع) ، وطول ضعله 1 (بالمتر) .

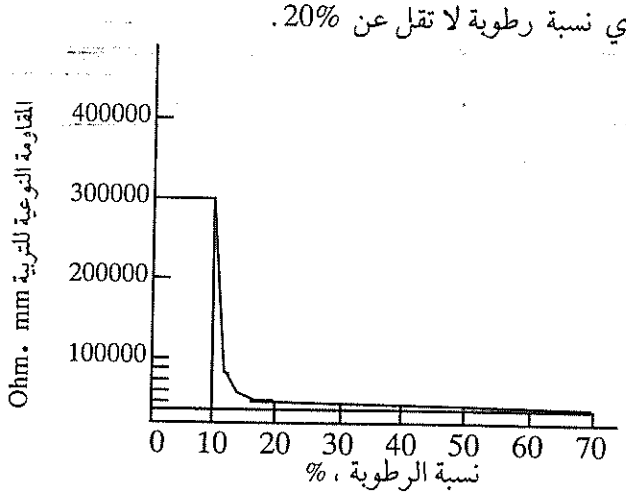
والموصلية Conductivity الكهربائية للتربة هي عكس المقاومة النوعية ، وتساوي : –

$$\gamma = \frac{1}{\rho} \text{ [1/ ohm.m]} \qquad (2)$$

تعتمد المقاومة النوعية والموصلية للتربة على العوامل التالية :

أ–نسبة الرطوبة في التربة

وتقل المقاومة النوعية للتربة بشكل كبير إذا زادت الرطوبة في الأرض ، ويبين شكل-13 كيف تتغير المقاومة بالنسبة لتغير نسبة الرطوبة في التربة الطينية الحمراء ، حيث يبين أن المقاومة النوعية تزيد بشكل كبيرعندما تقل نسبة الرطوبة عن 20% ، ولهذا السبب يُحبذ أن يدفن قضيب التأريض على عمق كاف حتى يصل إلى طبقة التربة التي تحتوي نسبة رطوبة لا تقل عن 20% .



شكل–13
نسبة الرطوبة في التربة

ب-التركيب الفيزيائي للتربة

يؤدي إختلاف التركيب الفيزيائي للتربة الى إختلاف قيم المقاومة النوعية التي نحصل عليها. فمثلاً، فإن المقاومة النوعية للتربة الطينية أقل من المقاومة النوعية للصخر، لذلك يجب تجنب الصخر والرمل الجاف، ويستحسن عدم دفن قضبان التأريض في مثل تلك التربة.

ويبين جدول-27 المقاومة النوعية لأنواع مختلفة من التربة والماء.

جدول (27)

المقاومة النوعية لأنواع مختلفة من التربة والماء

نوع التربة	المقاومة النوعية (أوم . متر)
مياه البحر	1-0.1
المياه النهرية	80-10
مياه الشرب	60-5
تربة الحدائق	50-5
الطين و الحصى والرمل	250-40
التربة الطباشيرية الحبيبية	100-30
الصخر	10000-1000
الخرسانة الجافة	10000-2000
الخرسانة الرطبة	100-30
الجليد	100000-10000
التربة الطفالية	150-40
التربة الجيرية	400-60
الرمل الجاف	8000-90
الخث Peat	200 وأكثر
الرمل الحبيبي	500-300

وتورد الكودة البريطانية CP-1013 في جدول -1 قيم المقاومة النوعية للتربة إعتماداً على الظروف المناخية، حيث قُسمت المناطق الى منطقة A وتتميز بمعدل سقوط أمطار يساوي 510مم في السنة وأكثر، أما المنطقةB فتتميز بمعدل سقوط أمطار يساوي 250مم وأقل، والمنطقة C فهي منطقة المياه السطحية المالحة. لذلك فيجب استخدام الجدول المذكور بكثير من الحذر.

جـ-التركيب الكيماوي للتربة

ونقصد بالتركيب الكيماوي إحتواء التربة على معادن وأملاح، والعامل الرئيسي الذي يؤثر على مقاومة التربة هو مقدار ما تحتويه من أملاح. ولا بد أن نولي عناية خاصة للمناطق التي تتميز بسقوط أمطار غزيرة وحدوث سيول سطحية. لأن ذلك يؤدي الى غسيل التربة وتقليل كمية الأملاح المذابة فيها.

ويبين جدول (28) مدى تأثير الاملاح وكميتها على قيمة المقاومة النوعية للتربة الطينية.

جدول (28)

تأثير الأملاح على المقاومة النوعية للتربة

(نوعية التربة-أرض طينية تحتوي على رطوبة قيمتها 15%)

قيمة الأملاح المضافة كنسبة من وزن الرطوبة	المقاومة النوعية أوم . متر
0	107
0.1	18
1.0	4.6
5	1.9
10	1.3
20	1

نلاحظ من الجدول السابق مدى التأثير الكبير لإضافة الأملاح للتربة على تقليل المقاومة النوعية للتربة، وهذا يفسر لجوء البعض الى إضافة الأملاح بكثرة الى الحفرة التي يتم دفن قضيب التأريض فيها.

د-الحرارة

تتأثر طبقة التربة العليا بتذبذب درجات الحرارة، فعند هبوط درجات الحرارة فإن الطبقة العليا تتجمد، ولذلك يحبذ دفن قضيب التأريض الى أعماق كبيرة حتى نتجنب تجمد التربة. أما إذا كان قضيب التأريض مدفوناً في الطبقة المتجمدة فإن نظام التأريض يعتبر غير فعّال. ويستحسن أن يُدفن قضيب التأريض على عمق يتراوح بين 3 الى 5 أمتار حتى نتجنب تأثير الحرارة على طبقة التربة العليا.

كذلك فان إرتفاع درجات الحرارة يؤدي ايضا الى إرتفاع قيمة المقاومة النوعية للتربة، حيث تؤدي هذه الحرارة الى تبخر الرطوبة في طبقة التربة العليا وتصبح جافة.

ويبين جدول -29 تأثير الحرارة على المقاومة النوعية للتربة. وتم الحصول على هذه القيم للتربة الطينية التي تحتوي على رطوبة نسبية مقدارها 15.2%.

ونلاحظ من الجدول السابق أن تذبذب درجة الحرارة من 20° مئوية الى-5 درجات مئوية يؤدي الى زيادة المقاومة النوعية بأكثر من عشر مرات.

جدول (29)

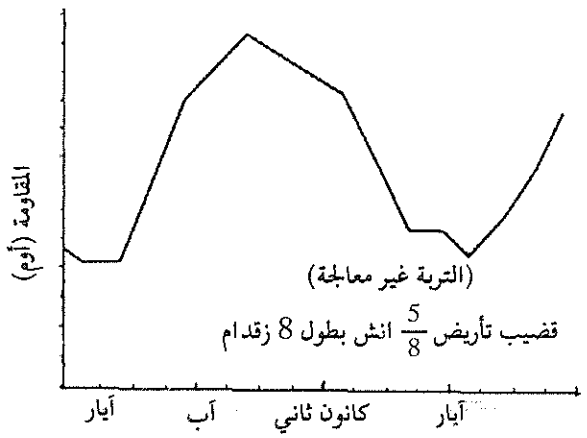
تأثير درجات الحرارة على المقاومة النوعية للتربة

درجة الحرارة درجة مؤية	المقاومة النوعية أوم. متر
20	72
10	99
0 (ماء)	138
0 (جليد)	300
5-	790
15-	3300

هـ-التغيرات المناخية

كما ذكرنا سابقاً فان التربة تتعرض الى تغيرات مناخية حسب فصول السنة ، اي أنها تتأثر بتذبذب درجات الحرارة وتغيير نسبة الرطوبة في التربة .

ويبين شكل-14 تأثير دمج العاملين السابقين (الحرارة والرطوبة) على تغير قيم المقاومة النوعية للتربة . ونلاحظ من الشكل أن أعلى قيم للمقاومة هي قيم المقاومة النوعية خلال أشهر الشتاء (تشرين ثاني -كانون أول) حيث يحدث تجمد لسطح التربة العلوي . وهذا المنحنى هو منحنى نمطي للدول التي يحدث فيها إنخفاض شديد لدرجة الحرارة (تحت الصفر) .



شكل - 14

دورة أنموذجية للمقاومة

ويجب أن تتميز التربة بالمميزات التالية حتى تكون نظاماً ارضياً جيداً :

1-مقاومة كهربائية منخفضة .

2-مقاومة جيدة للصدأ .

3-قابلية تحمل تيارات كهربائية كبيرة وبشكل متكرر .

4-قابلية الاحتفاظ بالخصائص السابقة لمدة ثلاثين سنة على الأقل.

وحتى نحصل على تأريض جيد، لا بد أن تتوفر العوامل التالية:

أ-مقاومة نوعية قليلة للتربة.

ب-إحتواء التربة على رطوبة.

جـ-أن تكون درجة حرارة التربة فوق درجة التجمد.

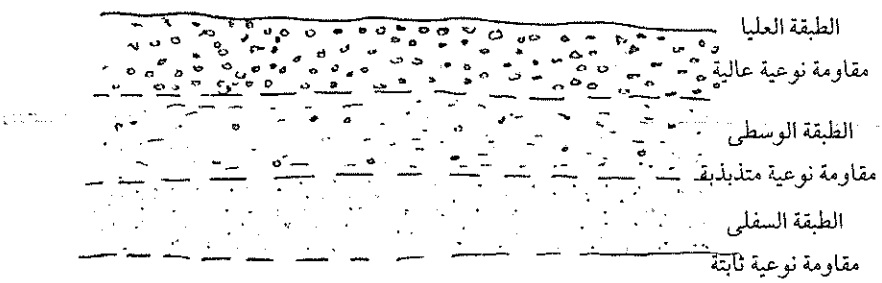
وكماذكرنا سابقا، فإن التربة تتكون من عدد من الطبقات Layers تختلف في مقاومتها النوعية. وعادة، فيمكننا تقسيم التربة الى ثلاث طبقات هي:

1-الطبقة العليا، حيث تكون مقاومتها النوعية عالية.

2-الطبقة الوسطى، حيث تتذبذب المقاومة النوعية لهذه الطبقة.

3-الطبقة السفلى، حيث تكون المقاومة النوعية ثابتة.

ويبين شكل -15 رسما لهذه الطبقات.



شكل -15
رسماً تخطيطياً يوضح طبقات التربة

8.4 قضبان التأريض

هي قضبان معدنية يتم دفنها في الأرض، وتستخدم في التمديدات الكهربائية من أجل توصيل الأجزاء المعدنية (غير الحاملة للتيار في الظروف العادية) للمعدات الكهربائية بالأرض.

وتصنع هذه القضبان إما من النحاس او الصلب المجفلن، وتختلف في طولها وقطرها وشكلها، ويجب أن تتمتع هذه القضبان بالخصائص التالية:

أ-أن يكون شكلها مخروطيا وذلك ليسهل غرزها في التربة.

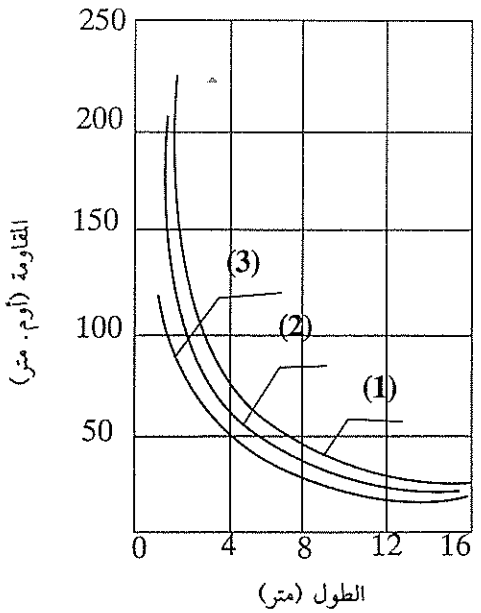
ب-أن تتمتع بمقاومة عالية للصدأ.

حـ- أن تتمتع بمتانة ميكانيكية عالية.

د-أن تتحمل هذه القضبان مرور تيار عال أثناء حدوث أعطال ولمدة طويلة من الزمن.

ولكل قضيب بالاضافة الى المعدن المصنوع منه طول معين وسماكة معينة، أي قطر القضيب إذا كان شكله دائرياً. ولا تؤدي زيادة سماكة القضيب الى تقليل مقاومته بشكل كبير، فمثلاً، فإن زيادة سماكة قضيب طوله 3 أمتار من 20مم الى 30مم في تربة مقاومتها النوعية 100 اوم متر تؤدي الى تقليل المقاومة بنسبة 15%، ولذلك لا يمكن أن تستخدم زيادة سماكة القضيب لتقليل مقاومته، أما زيادة طول قضيب التأريض فتؤثر بشكل كبير على مقاومته، فمثلا، إن زيادة طول قضيب تأريض بسماكة 50مم من متر الى ثلاثة أمتار تؤدي الى نقصان المقاومة بمرتين ونصف.

ويبين شكل -16 تغير مقاومة قضيب التأريض بتغير طوله وسماكته لتربة معينة، وتقع الاطوال المثلى لقضبان التأريض بين 2.5 و5 أمتار. وفي السنوات الأخيرة تستخدم قضبان تأريض بطول خمسة أمتار وبسماكة تتراوح بين 12و14مم.



(1) قطر 1/2 بوصة

(2) قطر 1 بوصة

(3) قطر 4 بوصات

شكل -16

تغير مقاومة قضيب التأريض كدالة لطوله وسماكته في تربة معنية

اما أهم المواد التي تُستخدم في صناعة قضبان التأريض فهي :

-الفولاذ المغلف بالنحاس Copperclad steel .

-النحاس المصمت Solid copper .

-الفولاذ المجلفن Galvanized steel .

-الفولاذ الذي لا يصدأ Stainless steel .

9.4 حساب مقاومة قضبان التأريض العامودية

كما ذكرنا سابقاً فإن التربة تتكون عادة من عدد من الطبقات التي تختلف في خواصها الكهروفيزيائية وتركيبها الكيماوي، وكل ذلك يؤثر بشكل أو بآخر على قيمة مقاومة قضيب التأريض. لذلك، سيقتصر استعراضنا على التربة التي تتكون من طبقة واحدة، والتربة التي تتكون من طبقتين.

1.9.4. التربة التي تتكون من طبقة واحدة

يمكن حساب مقاومة قضيب التأريض المدفون عامودياً في تربة تتكون من طبقة واحدة كما يلي :

$$r = \frac{0.366}{\ell}\,\rho\,(\log\frac{2\ell}{d} + \frac{1}{2}\log\frac{4t+\ell}{4t-\ell} \qquad (1)$$

حيث ان :

ρ–المقاومة النوعية للتربة (أوم . متر) .

ℓ–طول قضيب التأريض (متر) .

d– القطر الخارجي لقضيب التأريض (متر) .

t–عمق الدفن ، وهي المسافة من سطح التربة الى منتصف قضيب التأريض .

ولا بد أن نشير الى أن المعادلات المقترحة لحساب مقاومة قضبان التأريض هي معادلات تقريبية ، ولذلك فإننا نجد عدداً من المعادلات المستخدمة لحساب تلك المقاومة .

كذلك يمكن استخدام المعادلة التالية في حساب المقاومة :

$$r = \frac{\rho}{2\pi L}\left[(\ln\frac{8L}{d}) - 1\right] \qquad (2)$$

دعونا نحسب باستخدام المعادلتين (1)و(2) مقاومة قضيب تأريض طوله (5) أمتار ، وقطره (12)مم . في تربة مقاومتها ρ ، إذا كان عمق الدفن يساوي :

$$t = 0.7+2.5=3.2\ m$$

نستخدم اولاً المعادلة (1) ، ونجد المقاومة كما يلي :

$$r=\frac{0.366\ \rho}{5}\left(\log\frac{2x5}{12X10^{-3}}+\frac{1}{2}\log\frac{4x3.2+5}{4X3.2-5}\right)=$$

$$=\frac{0.366\ \rho}{5}\left(2.92+\frac{1}{2}\ x0.358\right)=0.227\ \rho\ \text{ohm}$$

ونجد المقاومة باستخدام المعادلة (2):

$$r=\frac{\rho}{2\pi x5}\left[\left(\ell n\ \frac{4x8}{12x10^{-3}}\right)-1\right]=0.226\rho\ \text{ohm}$$

وفي الحالات التي يطلب فيها معرفة مقاومة قضيب التأريض بشكل سريع، يمكننا أن نستخدم المعادلة التقريبية التالية:

$$r=\frac{\rho}{\ell} \qquad (4)$$

أي أن مقاومة قضيب التأريض تتناسب طردياً مع المقاومة النوعية للتربة وعكسياً مع طول قضيب التأريض. وفي المثال السابق فان مقاومة قضيب التأريض الذي طوله يساوي خمسة أمتار تساوي:

$$r=\frac{\rho}{5}=0.2\ \rho$$

وهذا يبين بوضوح ما أشرنا إليه سابقاً من أن قطر القضيب (اوسماكته) لا يؤثر تأثيراً كبيراً على مقاومته.

2.9.4 التربة التي تتكون من طبقتين

ونستخدم في هذه الحالة المعادلة التالية:

$$r=\frac{0.366\left(\log\frac{2\ell}{d}+\frac{1}{2}\log\frac{4t+\ell}{4t-\ell}\right)}{\frac{\Delta\ell_1}{\rho 1}+\frac{\Delta\ell_2}{\rho 2}} \qquad (5)$$

حيث ان:

ρ1–المقاومة النوعية للتربة في الطبقة العليا، أوم. متر.

ρ2–المقاومة النوعية للتربة في الطبقة السفلى، أوم. متر.

$\Delta \ell_1$–طول جزء قضيب التأريض في الطبقة العليا، متر.

$\Delta \ell_2$–طول جزء قضيب التأريض في الطبقة السفلى. متر.

d – قطر قضيب التأريض، متر.

t–عمق الدفن، متر.

ويمكن استخدام المعادلة (5) لحساب تأثير جفاف أوتجمد الطبقة العليا إذا كانت التربة متجانسة وتتكون بشكل عام من طبقة واحدة.

وتُستخدم المعادلات السابقة إذا كان مقطع قضيب التأريض دائرياً، وفي بعض الحالات تستخدم قضبان تأريض ذات مقطع مربع، وخاصة إذا كانت مادة القضيب هي الصلب.

وفي هذه الحالة يمكن استخدام المعادلات السابقة بعد حساب القطر المكافئ للقضيب كما يلي:

$$d_{eq} = 0.95\ b \qquad (6)$$

حيث أن:

b–طول ضلع مربع مقطع قضيب التأريض، متر.

ونستخدم في حالات معينة تأريضاً مؤقتاً، بمعنى أن قضيب التأريض لا يدفن كاملاً في التربة، ويمكن حساب مقاومة هذا القضيب في هذه الحالة، باستخدام المعادلة التالية:

$$r = \frac{0.366\rho}{\ell} \log \frac{4\ell}{d}, \text{ ohm} \qquad (7)$$

حيث ان:

ℓ–طول جزء قضيب التأريض المدفون في الأرض، متر.

d– قطر قضيب التأريض، متر.

3.9.4 شرائط التأريض الأفقية.

وتكون هذه الشرائط اما على شكل شرائط رقيقة أوموصلات دائرية، وتستخدم للربط بين قضبان التأريض العامودية، أو تكون على شكل مؤرضات مستقلة، ولا تتأثر مقاومة هذه الشرائط أو الموصلات كثيراً بسماكة الشريط أو قطر الموصل، وإنما تعتمد المقاومة على طول الشريط أو الموصل وعلى عمق دفنه في التربة. وعادة، فإن المؤرضات الأفقية تُدفن على عمق مابين 0.6 الى 0.7 متراً.

وتُحسب مقاومة شريط التأريض باستخدام المعادلة التالية:

$$r = \frac{\rho}{\rho\pi \times L}\left[\ln\left(\frac{2L^2}{Wh}\right)+Q\right] \qquad (8)$$

حيث أن:

L-طول الشريط أو الموصل، متر.

h-عمق الدفن، متر.

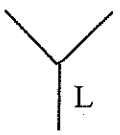
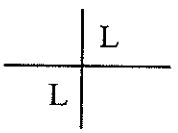
W-عرض الشريط أو قطر الموصل، متر.

ρ-مقاومية التربة، أوم. متر.

P, Q-معاملات يتم اختيارهم من جدول-30.

جدول (30)

المعاملات للمكاهر الأرضية المكونة من شرائط أو موصلات دائرية

شكل المكهر	المعاملات		
	P	Q	
		للشريط	للموصل
شريط أو موصل (1) L	2	-1	-1.3
شريطان أو موصلان بزاوية 90 درجة L	4	0.5	0.9
ثلاثة أشرطة أو قضبان بزاوية 120 درجة 	6	1.8	2.2
أربعة أشرطة أو موصلات بزاوية 90 درجة 	8	3.6	-4.1

(1) إذا استخدم شريطان بطول L لكل منهما ودفنا بشكل متوازي وبتباعد يساوي S وتم توصيلهما مع بعض فان المقاومة تحسب كما يلي :

$$R_n = FR_1$$

حيث ان :

R_n – المقاومة الكلية لشرائط عدد n متوازية ، أوم .

R_1 – مقاومة الشريط أو الموصل المفرد وتحسب باستخدام المعادلة (8) ، أوم .

F– معامل يتخذ القيم التالية :

لشريطين أو موصلين : $F = 0.5+0.078 \left(\frac{S}{L}\right)^{-0.307}$

لثلاثة أشرطة أو موصلات : $F=0.33+0.071 \left(\frac{S}{L}\right)^{-0.408}$

لأربعة اشرطة أو موصلات : $F=0.25+0.067 \left(\frac{S}{L}\right)^{-0.451}$

حيث أن : $0.2 \le \frac{S}{L} \le 0.3$

تستخدم الشرائط الافقية او الموصلات ذات الشكل الدائري في حالة وجود طبقة من تربة عالية المقاومية تحت طبقة رقيقة من تربة منخفضة المقاومية . وعادة ، يستخدم شريط من نحاس غير مقصدر بمقطع أبعاده 25x3 مم . إن الحجوم الدنيا لهذه الشرائط أو الموصلات يجب ان تتوافق مع جدول –31 .

جدول (31)

الحجوم الدنيا لمكونات المكاهر الارضية

نوع المكهر	مساحة المقطع ، مم	القطر أو السماكةمم
شريط نحاسي	50	3
قضبان نحاسية ملونة أو صلدة أو سلاك مصمتة	50	8
قضبان فولاذية مجلفنة أو مغلفة بالنحاس للتربة الصلدة	153	14
نحاس مجدول	50	3 مم لكل جديلة

4.9.4 مقاومة المكاهر الأرضية الدائرية

قد تكون المكاهر الأرضية على شكل حلقة دائرية ، ويمكن حساب مقاومة هذا المكهر إعتماداً على عمق الدفن لحالتين :

أ-إذا كان عمق الدفن أقل من نصف قطر الحلقة ($t<\frac{D}{2}$) . وتساوي المقاومة في هذه الحالة ما يلي :

$$r=\frac{\rho}{2\pi^2 D}\,2.3\log\frac{8D^2}{2dt}\ ,\ \text{ohm} \qquad (9)$$

ب-إذا كان عمق الدفن أكبر من نصف قطر الحلقة ($t > D/2$) . تساوي المقاومة في هذه الحالة ما يلي :

$$r=\frac{\rho}{2\pi^2 D}\left(2.3\log\frac{8D}{d}+\frac{\pi D^2}{2t}\right)\ \Omega \qquad (10)$$

حيث ان :

ρ-المقاومة النوعية للتربة ، أوم . متر .

D-قطر الحلقة الدائرية ، متر .

d-سماكة الحلقة أو قطر الموصل المصنوعة منه ، متر .

t-عمق الدفن ، متر .

اما إذا كانت الحلقة مصنوعة من شريط ، فبدل سماكة الحلقة نستخدم عرضها ، حيث أن :

$$d=b/2$$

وفي بعض الاحيان ، تُصنع الحلقة على شكل مستطيل بدل الشكل الدائري . في هذه الحالة فان :

$$D=\frac{2(L+W)}{\pi} \qquad (11)$$

حيث ان :

L–طول المستطيل، متر

W–عرض المستطيل، متر

5.9.4 الصفائح المعدنية

تُستخدم الصفائح المعدنية كمؤرضات في حالات نادرة، ويعود ذلك الى كبر الاعمال المدنية التي يتطلبها تنفيذ هذه الصفائح كمؤرضات، إضافة الى وزنها الكبير. ففي حالة تساوي المقاومة، فان وزن الصفيحة التي مساحتها 1x1م^2 وسماكتها 3مم يكون أكبر بثلاث مرات من وزن شريط بمساحة 30 x 4مم^2 وطول ثمانية أمتار .

ويتم وضع الصفيحة المعدنية بشكل عامودي، حتى نضمن ملامسة جيدة للتربة مع الصفيحة، اما اذا وضعت بشكل أفقي فهناك إحتمال أن تكون ملامسة التربة غير كافية، وخاصة إذا جفت التربة في فصل الصيف.

يمكن حساب مقاومة صفيحة معدنية مطمورة في التربة بشكل عامودي، وذلك باستخدام المعادلة التقريبية التالية :

$$r=\frac{\rho}{4}\sqrt{\frac{\pi}{2A}} \qquad (12)$$

حيث ان :

ρ– مقاومية التربة، أوم. متر.

A– مساحة وجه الصفيحة الواحد، متر مربع.

أما مقاومة الصفيحة التي أبعادها تساوي 1.2mx1.2m فتساوي تقريباً ما يلي :

$$r = \frac{\rho}{4} \qquad (13)$$

6.9.4 المكاهر الأرضية الأخرى

كان استخدام أنابيب المياه المعدنية كمكاهر أرضية شائع الاستعمال في الماضي، وخاصة في المناطق التي تتوفر فيها شبكة أنابيب معدنية لنقل المياه. وتقدر المقاومة

الأرضية لانابيب المياه بقيمة تتراوح ما بين 0.2 الى 1 أوم لتربة مقاومتها النوعية تساوي (10) أوم. متر.

وفي الوقت الحاضر لا يُسمح باستخدام انابيب المياه كمكهر أرضي وحيد، ويعود السبب الى استخدام انابيب بلاستيكية للمياه. وكذلك الى كثرة الوصلات البلاستيكية غير المعدنية في شبكات انابيب المياه المعدنية، ولكن يُحبذ وصل الانابيب المعدنية بنظام ربط متساوي الجهد.

7.9.4 ملخص لمعادلات حساب مقاومة المكاهر الأرضية.

نورد في جدول (32) ملخصاً لمعادلات حساب مقاومة المكاهر الأرضية المختلفة كما وردت في الكودة الامريكية IEEE Recommended Practice for Industrial and Commercial Power Systems IEEE std 142-1991.

جدول (32)

معادلات حساب مقاومة المكاهر الأرضية المختلفة

الرمز	شكل المكهر	المعادلة
	نصف كرة بنصف قطر يساوي a	$R=\frac{\rho}{2\pi a}$
●	قضيب أرضي واحد بطول L ونصف قطر a	$R=\frac{\rho}{2\pi L}\left(\ln\frac{4L}{a}-1\right)$
● ●	قضيبان S< L S- المسافة بينهما	$R=\frac{\rho}{4\pi L}\left(\ln\frac{4L}{a}+\ln\frac{4L}{S}-2+\frac{S}{2L}-\frac{S^2}{16L^2}+\frac{S^4}{512L^4}+\cdots\right)$
● ●	قضيبان S > L	$R=\frac{\rho}{4\pi L}\left(\ln\frac{4L}{a}-1\right)+\frac{\rho}{4\pi S}\left(1-\frac{L^2}{3S^2}+\frac{2L^4}{5S^4}-\cdots\right)$

الرمز	شكل المكهر	المعادلة
	سلك مدفون بشكل أفقي بطول $2L$ وعمق الدفن $\frac{S}{2}$	$R=\frac{\rho}{4\pi L}\left(\ln\frac{4L}{a}+\ln\frac{4L}{S}-2+\frac{S}{2L}-\frac{S^2}{16L^2}+\frac{S^4}{512L^4}+\dots\right)$
	سلك على شكل زاوية قائمة من اليمين ، طول الضلع L وعمق الدفن $\frac{S}{2}$	$R=\frac{\rho}{4\pi L}\left(\ln\frac{2L}{a}+\ln\frac{2L}{s}-0.2373+0.2146\frac{S}{L}+\right.$ $\left.+0.1035\frac{S^2}{L^2}-0.0424\frac{S^4}{L^4}\dots\right)$
	نجمة بثلاث نقاط طول الضلع L وعمق الدفن $\frac{S}{2}$	$R=\frac{\rho}{4\pi L}\left(\ln\frac{2L}{a}+\ln\frac{2L}{s}-0.2373+0.2146\frac{S}{L}+\right.$ $\left.+0.1035\frac{S^2}{L^2}-0.0424\frac{S^4}{L^4}\dots\right)$
	نجمة باربع نقاط طول الضلع L وعمق الدفن $\frac{S}{2}$	$R=\frac{\rho}{8\pi L}\left(\ln\frac{2L}{a}+\ln\frac{2L}{s}+2.912-1.071\frac{S}{L}\right.$ $\left.+0.645\frac{S^2}{L^2}-0.145\frac{S^4}{L^4}\dots\right)$
	نجمة بثماني نقاط طول الضلع L وعمق الدفن $\frac{S}{2}$	$R=\frac{\rho}{16\pi L}\left(\ln\frac{2L}{a}+\ln\frac{2L}{s}+10.98-5.51\frac{S}{L}\right.$ $\left.+3.26\frac{S^2}{L^2}-1.17\frac{S^4}{L^4}\dots\right)$
	سلك على شكل حلقة قطر D ، قطر السلك d عمق الدفن $\frac{S}{2}$	$R=\frac{\rho}{2\pi^2 D}\left(\ln\frac{8D}{d}+\ln\frac{4D}{s}\right)$

الرمز	شكل المكهر	المعادلة
———	شريط مدفون أفقياً طول 2L ، المقطع axb ، عمق الدفن $\frac{S}{2}$ $b < a/8$	$R=\frac{\rho}{4\pi L}\left(\ln\frac{4L}{a}+\frac{a^2-\pi ab}{2(a+b)^2}+\ln\frac{4L}{S}-1+\frac{S}{2L}-\frac{S^2}{16L^2}-\frac{S^4}{512L^4}\cdots\right)$
	صفيحة دائرية مدفونة أفقياً بنصف قطر a ، وعمق الدفن $\frac{S}{2}$	$R=\frac{\rho}{8a}+\frac{\rho}{4\pi S}\left(1-\frac{7}{12}\frac{a^2}{S^2}+\frac{33a^4}{40S^4}\cdots\right)$
	صفيحة دائرية مدفونة عاموديا بنصف قطر a ، وعمق الدفن $\frac{S}{2}$	$R=\frac{\rho}{8a}+\frac{\rho}{4\pi S}\left(1-\frac{7}{24}\frac{a^2}{S^2}+\frac{99a^4}{320S^4}\cdots\right)$

في الجدول السابق فان (ρ) هي مقاومية التربة بالاوم . سينتمتر .

10.4 معامل الاستفادة من المكاهر

في أحيان كثيرة نضطر الى إضافة وتركيب أكثر من مكهر واحد للحصول على مقاومة أرضي منخفضة وخاصة في الشبكات التي قدرتها كبيرة ، إن إضافة مكاهر أرضية لا يعني الحصول على مقاومة أرضي مساوية الى مقاومة الأرضي لمكهر واحد ومقسومة على عدد المكاهر ، لان للمكاهر الاضافية خاصية الحجب ، حيث تؤثر على المقاومة ، لذلك لا بد من استخدام مفهوم معامل الاستفادة ، والذي يشير الى أن الاستفادة من المكاهر الأرضية تقل مقارنة مع الاستفادة من المكهر الواحد المدفون في الأرض . فالمكاهر المدفونة في الأرض بجانب بعضها البعض تؤثر على المقاومة الكلية ، فإذا كانت المسافة بين المكهر والآخر بحيث ينعدم تأثير المكاهر بعضها على بعض فإن المقاومة الكلية تساوي :

$$R_e = \frac{R_o}{n} \qquad (14)$$

حيث ان :

R_e-المقاومة الأرضية الكلية ، أوم .

R_o-مقاومة المكهر الواحد ، أوم

n-عدد المكاهر المدفونة .

ومن ناحية عملية لا نستطيع جعل المسافات بين المكاهر كبيرة ، لأن ذلك يتطلب مساحة كبيرة ، لذلك لا بد أن نأخذ بعين الاعتبار ما يُسمى بمعامل الاستفادة Utilization coefficient ، الذي هو عبارة عن قيمة عددية لتأثير المكاهر بعضها على بعض . من هنا فان معامل الاستفادة يساوي :

$$\zeta = \frac{R_o}{n.R_e} \qquad (15)$$

اي ان المقاومة الأرضية الكلية تساوي :

$$R_e = \frac{R_o}{n.\zeta} \qquad (16)$$

وباستخدام معامل الاستفادة يمكننا إيجاد المقاومة الأرضية لانواع مختلفة من المكاهر كما يلي :

المقاومة الأرضية لمجموعة مكاهر أفقية تساوي :

$$R_e = \frac{R_h}{n.\zeta_h} \qquad (17)$$

المقاومة الأرضية لمجموعة مكاهر عامودية تساوي :

$$R_e = \frac{R_v}{n.\zeta_v} \qquad (18)$$

٢٠المقاومة الأرضية لمجموعة مكاهر عامودية مرتبة في صف تساوي :

$$R_e = \frac{R_h}{n.\zeta_{h.L}} \qquad (19)$$

المقاومة الأرضية لمجموعة مكاهر عامودية مرتبة في منحنى مقفل Contour تساوي :

$$R_e = \frac{R_h}{n.\zeta_{h.c}} \qquad (20)$$

حيث ان :

R_h-مقاومة شريط الأرضي بالأوم .

R_v-مقاومة المكهر العامودي ، أوم .

n-عدد المكاهر .

ζ_h ،ζ_v ،$\zeta_{h.L}$ ،$\zeta_{h.c}$-معاملات الاستفادة .

وتبين الجداول التالية معاملات الاستفادة في الحالات المختلفة .

جدول (33)

معامل الاستفادة (ζ_h) للشرائط الأرضية الأفقية المتوازيةعرض الشريط=20-40م

عمق الطمر = 0.3-0.8 متر

طول شريط التأريض، متر	عدد الأشرطة المتوازية	المسافة بين الأشرطة المتوازية (متر)				
		1	2.5	5	10	15
15	2	0.55	0.65	0.75	0.80	0.85
	5	0.37	0.49	0.60	0.73	0.79
	10	0.25	0.37	0.49	0.64	0.72
25	2	0.50	0.60	0.70	0.75	0.80
	5	0.35	0.45	0.55	0.60	0.73
	10	0.23	0.31	0.43	0.57	0.66
50	2	0.45	0.55	0.65	0.70	0.75
	5	0.33	0.40	0.48	0.58	0.65
	10	0.20	0.27	0035	0.46	0.53

جدول (34)

معامل الاستفادة ($\xi_{h.L}$) للشرائط الأفقية التي تصل بين المكاهر العامودية المرتبة في صف

المسافة بين المكاهر العامودية الى طول المكهر $\frac{a}{\ell}$	عدد المكاهر العامودية						
	4	6	8	10	20	30	50
1	0.45	0.40	0.36	0.34	0.27	0.24	0.21
2	0.55	0.48	0.43	0.40	0.32	0.30	0.28
3	0.70	0.64	0.6	0.56	0.45	0.41	0.37

جدول (35)

معامل الاستفادة لمجموعة مكاهر عامودية ($\xi_{v.L}$) مطمورة في الأرض مرتبة في صف بدون تأثير شرائط الربط

العلاقة بين المسافة بين المكاهر العمودية وطول المكهر $\frac{a}{\ell}$	عدد المكاهر n	$\xi_{v.L}$
1	2	0.87-0.84
	3	0.80-0.76
	5	0.72-0.67
	10	0.62-0.56
	15	0.56-0.51
	20	0.50-0.47
2	2	0.92-0.90
	3	0.88-0.85
	5	0.83-0.79
	10	0.77-0.72
	15	0.73-0.66
	20	0.70-0.65
3	2	0.95-0.93
	3	0.92-0.90
	5	0.88-0.85
	10	0.83-0.79
	15	0.80-0.76
	20	0.79-0.74

جدول (36)

معامل الاستفادة ($\zeta_{h.c}$) للشرائط الأفقية التي تصل بين المكاهر العامودية المرتبة في منحنى مقفل

العلاقة بين تباعد المكاهر وطول المكهر $\frac{a}{\ell}$	عدد المكاهر العامودية						
	4	5	8	10	20	30	50
1	0.77	0.74	0.67	0.62	0.42	0.31	0.21
2	0.89	0.86	0.79	0.75	0.56	0.46	0.31
3	0.92	0.90	0.85	0.82	0.68	0.58	0.49

جدول (37)

معامل الاستفادة لمجموعة مكاهر عامودية مطمورة ومرتبة في منحنى ($\zeta_{v.c}$) تأثير شرائط الربط

العلاقة بين المسافة بين المكاهر العمودية وطول المكهر $\frac{a}{\ell}$	عدد المكاهر n	$\zeta_{v.L}$
1	4	0.72-0.66
	6	0.65-0.58
	10	0.58-0.52
	20	0.50-0.44
	40	0.44-0.38
	60	0.42-0.36
2	4	0.80-0.76
	6	0.75-0.71
	10	0.71-0.66
	20	0.66-0.61
	40	0.61-0.55
	60	0.58-0.52
3	4	0.86-0.84
	6	0.82-0.78
	10	0.78-0.74
	20	0.72-0.68
	40	0.69-0.64
	60	0.67-0.62

11.4 المقاومة الأرضية على شكل شعاع

تُستخدم المقاومة الأرضية على شكل شعاع في تأريض خطوط نقل الطاقة الكهربائية وتأريض بعض المنشآت والمباني، وتتكون من شريط فولاذي مدفون في الأرض على عمق يتراوح بين 0.3-0.8 متراً ويتخذ في الأرض شكل شعاع.

ويمكن حساب المقاومة الأرضية من المعادلة التالية:

$$R_e = \frac{R_1}{n.\xi}$$

R_1-مقاومة شريط أحد الاشعة بالأوم.

n-عدد الأشعة المتفرعة في الأرض.

ξ-معامل الاستفادة.

ويبين جدول -38 معامل الاستفادة للمكاهر الأرضية على شكل شعاع.

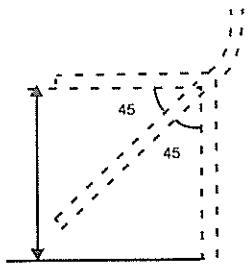
جدول (38)

عامل الاستفادة للمكاهر الأرضية على شكل شعاع

طول الشعاع متر	عدد الأشعة المتفرعة			
	3		4	
	قطر الموصل، سم			
	1	2	3	4
2.5	0.76	0.74	0.63	0.61
5	0.78	0.76	0.67	0.65
10	0.81	0.79	0.70	0.69
15	0.82	0.80	0.72	0.70
30	0.84	0.82	0.75	0.73

وقد لاقى هذا الشكل من التأريض، وخاصة بثلاثة أشعة، استخداما واسعا في تأريض نظم الحماية من الصواعق، ويسمى بـGrow's Foot. ويتكون كل شعاع

من20 مترا من شريط نحاس مقسم الى ثلاثة أقسام كما يبين شكل -17 ، حيث يتم دفن هذه الشرائط في الأرض على عمق 50 سم . أما إذا كانت التربة غير ملائمة لذلك فيمكن إستبدال طريقة الطمر باستخدام ثلاثة أوتاد Stake تُغرز عامودياً في الأرض بمسافة لا تقل عن 1.5 متر بينها ولا تقل ايضا عن 50سم من قواعد المنشأ . ثم يتم وصلها ببعض باستخدام شريط نحاسي بابعاد تساوي 3x20مم .



شكل 17

ومن أجل الحسابات العملية وعندما يلزم الأمر تركيب أكثر من مكهر عامودي بينهما تباعد لا يقل عن طول المكهر ومرتبات في خط أو على شكل مثلث أو دائرة أو مربع . فيمكن حساب مقاومة الأرضي كمكهر عامودي واحد باستخدام المعادلة التالية :

$$R_e\ (rod) = \frac{\rho\ (\Omega\ .cm)}{302}\ \Omega \qquad (21)$$

ثم يتم ضرب المقاومة الأرضية بعامل مضاعفة Multiplying Factor من جدول (39).

جدول (39)

عامل المضاعفة لقضبان التأريض المتعددة

عدد قضبان التأريض	عامل المضاعفة F
2	1.16
3	1.29
4	1.36
8	1.68
12	1.80
16	1.92
20	2.00
24	2.16

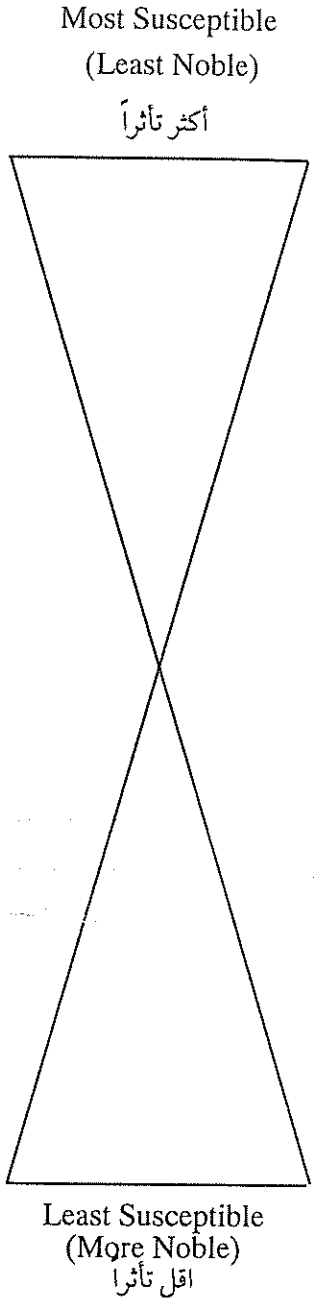
12.4 إختيار المواد المعدنية لصناعة المكاهر

لا تتأثر مقاومة المكهر الأرضي بنوع المادة التي يُصنعُ منها هذا المكهر (أنظر المعادلات الخاصة بحساب مقاومة المكاهر المختلفة)، ولكن يجب أن تكون المادة عالية المقاومة للصدأ، وهناك مصدران للصدأ، وهما: صدأ ثنائي المعدن Bimetallic corrosion والصدأ الكيماوي Chemical corrosion.

1.12.4 صدأ ثنائي المعدن

عندما يتصل معدنان في وسط مائي موصل كهربائيا مثل الوسط الموجود تحت التربة فان الشروط الملائمة لحدوث صدأ ثنائي المعدن تتحقق، وأكثر معدن سريع التأثر يصدأ. وأكثر المعادن قابلية للصدأ هي تلك المعادن التي تكون أقل تأثراً بالصدأ ويطلق عليها اسم المعادن الكريمة Noble metal (شكل -18). وبوجود محلول الكتروليتي فان أكثر المعادن مقاومة للصدأ يكون لها جهداً كاثودياً كبيراً بالنسبة للهيدروجين وتصبح كاثودية Cathodic بالنسبة للمعادن الأقل مقاومة والتي تصبح أنودية Anodic. وفي مثل هذه الحالة فان المعدن الانودي يصدأ. إن أحد أهم الطرق في تحديد خطورة الصدأ الجلفاني Galvanoic corrosion هو استخدام قاعدة المساحة. وتنص هذه القاعدة على قسمة المساحة الانودية (مثل الفولاذ). على المساحة الكاثودية (مثل النحاس). وكلما قلت هذه النسبة فان معدل الصدأ يزيد بشكل كبير. فمثلاً. إذا تم توصيل انبوب فولاذي مع انبوب نحاسي كبير فان علاقة المساحة الانودية الى المساحة الكاثودية صغيرة، وبالتالي يحدث الصدأ في ظروف مناسبة.

إن أحد أهم المشاكل الإضافية التي يمكن أن تواجهنا هي مشكلة الصدأ الشديد Severe corrosion في الوصلة بين معدنين مختلفين، مثل النحاس والالومنيوم أو النحاس والفولاذ. فإذا كانت منطقة التوصيل مكشوفة وغير محمية من الرطوبة فان مقاومة التلامس الكهربائية تزيد بشكل كبير. ولذلك في مثل هذه الحالات لا بد من مراعاة توافقية Compatibility المواد المختلفة والمقصود بالتوافقية هو الجهد الكهربائي Electrical Potential الذي يجب المحافظة عليه في حده الادنى لمنع التأثير الجلفاني.

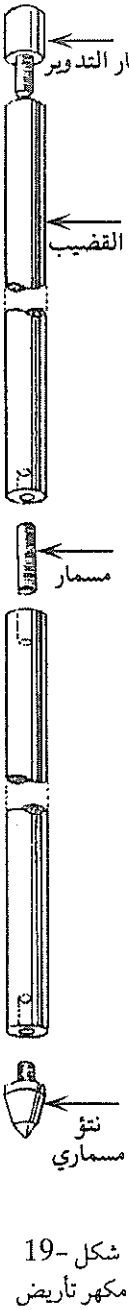


الماغنيسيوم وسبائكه
الخارصين وسبائكه
الالومنيوم وسبائكه
الكادميوم
الفولاذ الذي لا يصدأ ، 13% كروم (نشيط)
لحام الرصاص والقصدير 50/50
الفولاذ الذي لا يصدأ 18/8 نوع 304 (نشيط)
الفولاذ الذي لا يصدأ 18/8 نوع 316 (نشيط)
الرصاص
القصدير
النحاس الأصفر
برونز المدافع
الالومنيوم البرونزي
النحاس
سبائك اساسها النيكل Monel
التيتانيوم وسبائكه
الفولاذ الذي لا يصدأ (Passive)
الفضة
الذهب
البلاتينيوم

شكل -18

المعادن حسب ترتيبها بالنسبة لتأثرها بالصدأ .

2.12.4 الصدأ الكيماوي



شكل -19
مكهر تأريض

قد تكون التربة التي يتم دفن مكاهر التأريض فيها متعادلة أو حامضية أو قلوية ، ويشار الى حالة التربة بالرقم الهيدروجيني (وهو اللوغاريتم العشري لمعكوس درجة تركيز ايون الهيدروجين في المحلول) . والرقم الهيدروجيني يتخذ القيم التالية :

pH number 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14

ويحدث التفاعل الكيماوي بين المعدن وبين اي حامض أو قلوي مذاباً في التربة . إن معدل الصدأ يتأثر بقدرة المعدن على التأثر بالصدأ Nobility ، فكلما كان الجهد الكاثودي للمعدن قليلاً فان معدل الصدأ يزيد .

ويعتبر الصدأ من المشاكل التي نواجهها في أنظمة التأريض المدفونة في التربة . لذلك يجب أن تكون المادة المصنوعة منها المكاهر الأرضية ذات مقاومة كبيرة للصدأ .

وقد بينت نتائج الإختبار والقياس أن معدن النحاس يخسر من وزنه 0.2% سنوياً نتيجة للصدأ إذا كانت أبعاد هذا المكهر تساوي $\frac{1}{8}$x1x6 بوصة ودفن لمدة 12 سنة في الأرض . اما المكاهر المصنوعة من الحديد فانها تخسر من وزنها سنوياً 2.2% ، ولذلك يُحبذ أن يُجلفن Galvanizing الحديد . وفي هذه الحالة فانه يفقد من وزنه 0.5% سنوياً . وتتعرض الكوابل (أغلفتها وتسليحها) وكذلك الانابيب المعدنية الى عملية الكتروليتية تؤثر عليها . مما سبق نستنتج أن للنحاس خاصية جيدة مقاومة للصدأ ، وقد وجدت مواد نحاسية عديدة كانت قد دفنت في الارض قبل 4000 سنة بسبب الفيضانات وكانت في حالة جيدة ، كذلك فقد استخدم المصريون القدماء انابيب النحاس منذ حوالي 5000 سنة ووجدت ايضاً في حالة جيدة . ولمقاومة الصدأ يمكن استخدام عملية الحماية الكاثودية Cathodic protection . فمثلا ، فقد تم

إستخدام حماية خاصة لمكاهر التأريض في مصنع فايرليس في أمريكا وذلك برش مادة المغنيسيوم، حيث قللت من تأثير الصدأ على المكاهر بخمس مرات.

أما المواد الشائعة الاستعمال في صناعة المكاهر الأرضية فهي:

1-صلب مغطى بالنحاس Copperclad steel .

2-نحاس مصمت Solid copper.

3-صلب مجلفن Galvanized steel.

4- فولاذ لا يصدأ Stainless steel.

ويبين شكل -19 منظراً عاماً لمكهر التأريض الذي يتكون من الأقسام التالية:

-مسمار التدوير Driving stud.

-القارنة Coupling.

-القضيب Rod.

وتبين الجداول التالية خصائص مكاهر التأريض المختلفة.

جدول (40)

مكاهر التأريض المصنوعة من Copperbond rods

أبعاد المكهر (مم)	قطر المكهر الفعلي (مم)
1200x9.5	8.9
1200x12.5	12.7
1500x12.5	12.7
1800x12.5	12.7
1200x16	14.2
1500x16	14.2
1800x16	14.2
2400x16	14.2
3000x16	14.2
1200x20	17.2
1500x20	17.2
1800x20	17.2
2400x20	17.2
3000x20	17.2
3000x25	23.1

جدول (41)

مكاهر التأريض المصنوعة من النحاس المصمت

Solid copper rods

القطر (مم)	الطول (مم)
15	1200
20	1200

جدول (42)

قضبان التأريض المصنوعة من الصلب الذي لا يصدأ

القطر (مم)	الطول (مم)
16	1200

جدل (43)

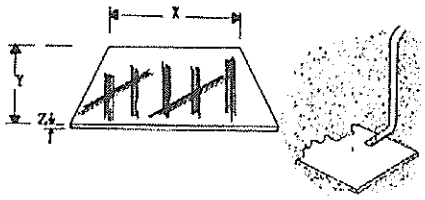
مكاهر التأريض المصنوعة من الصلب المجلفن

القطر (مم)	الطول (مم)
16	1200

جدول (44)

صفائح التأريض المصنوعة من النحاس المصمت

الأبعاد (مم)	المساحة الكلية م2
1.5x600x600	0.7236
1.5x900x900	1.625
3x600x600	0.7272
3x900x900	1.631

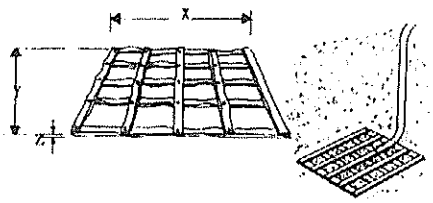


شكل -20

جدول (45)

صفائح التأريض المعدنية من النحاس الشبكي

الأبعاد (مم)	المساحة الكلية م2
3x600x600	0.3063
3x900x900	0.6465

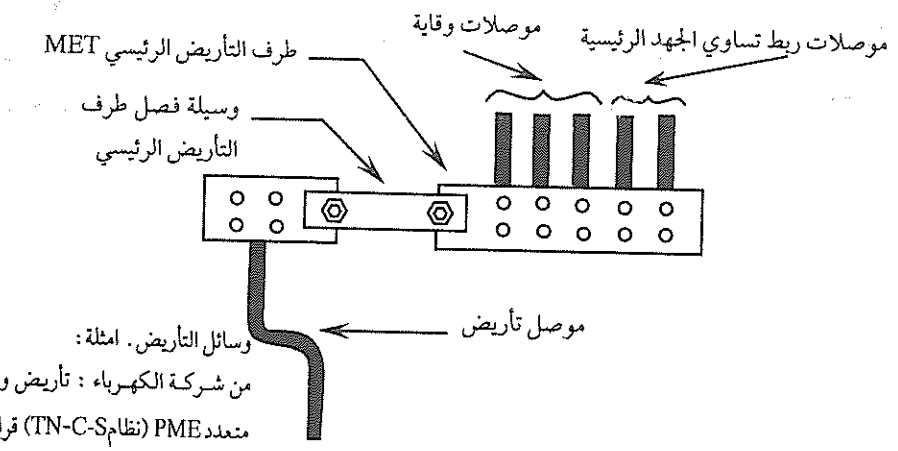


شكل -21

13.4 موصلات التأريض

موصلات التأريض Earthing conductors هي تلك الموصلات التي تربط بين وسائل التأريض Means of earthing وطرف التأريض الرئيسي MET، وكانت سابقاً تُسمى قياد التأريض Earthing lead (الطبعة 15 وما قبلها من المواصفات البريطانية). وقد تكون وسائل التأريض تسهيلات Facilities التأريض المقدمة من شركة توزيع الكهرباء في شكل قراب Sheath أو تسليح الكابل (نظام TN-S) أو طرف حيادي / أرضي في تأريض الحماية المتعدد لنظام TN-C-S. كذلك يمكن أن تكون وسائل التأريض نظام أرضي يتكون من مجموعة مكاهر مدفونة في الأرض (نظام IT,TT). في كثير من المنشآت التي تحتوي على نظام تأريض TT فان موصل التأريض تتم حمايته ميكانيكياً باستخدام قناة Conduit مما يسمح باستخدام موصل بمقطع أصغر.

تعتبر موصلات التأريض نوعاً من أنواع موصلات الحماية Protective conductors ولذلك يجب أن تحقق كل المتطلبات المفروضة على موصلات الوقاية والتي سنستعرضها لاحقاً. إضافة الى ذلك، فإذا كانت هذه الموصلات مدفونة في الارض فيجب أن تحقق الشروط الواردة في جدول -6 . ويبين شكل -22 موصلات التأريض والوقاية.



شكل -22
موصلات التأريض والوقاية

- ولا بد أن نعطي أهمية خاصة لربط موصل التأريض بمكاهر التأريض المدفونة بالأرض، بحيث تكون قوية ميكانيكاً ومتماسكة كهربائيا. إن السبب يعود الى أن درجة الحرارة والرطوبة في المنطقة المحيطة مباشرة بالمكهر لهما تأثير كبير على مقاومة الأرضي. ويؤثر التيار المار في المكهر على هذين العاملين (الحرارة والرطوبة). إن قيمة التيار الصغيرة حتى وإن كانت فترة سريانه كبيرة سوف تؤدي الى كميةحرارة مقبوله، ويلعب نقل الحرارة Conduction وحركة الرطوبة نتيجة الفعل الشعري Capillary effect دوراً في المحافظة على قيمة مقاومية التربة حول المكهر الارضي قريبة من قيمتها الاصلية.

عند مرور تيار كبير ولو لفترة قصيرة لا تستطيع التربة تبديد كمية الحرارة الكبيرة بالطرق الطبيعية وينتج عن ذلك إرتفاع درجة الحرارة. وتتناسب كثافة التيار المسموح به لاي إرتفاع في درجة الحرارة تناسباً عكسياً مع جذر مربع مقاومية التربة. وبما ان 25% من مقاومة المكهر تقع ضمن نصف قطر يساوي 0.03 متراً حول المكهر، فان تبخر الرطوبة وإرتفاع درجة الحرارة حول المكهر تحدث عند تيارات الاعطال الكبيرة، فعندما تتبخر الرطوبة فان فاعلية المكهر تقل ويحدث إشتعال قوسي تحت سطح الارض، وكلما زاد تبخر ماء التربة فان ظهور بخار أو «دخنة Smoking» حول المكهر تصبح ظاهرة للعيان. وحتى نمنع حدوث مثل هذه الظاهرة فان التيار الأقصى لكل قدم من طول المكهر يجب أن لا يزيد عن قيمة التيار حسب المعادلة التالية:

$$I = \frac{34800\ d.L}{\sqrt{\rho t}} \qquad (22)$$

حيث أن:

d-قطر القضيب.

L-طول القضيب

ρ-مقاومية التربة، اوم. متر

t-الزمن بالثواني (فقط لفترات قصيرة جداً).

وخلاصة الاستعراض السابق، أن موصل التأريض يمكن حسابه باستخدام المعادلة

الأدياباتية Adiabatic equation أو يتم إختياره باستخدام جدول -7 وذلك حسب مساحة مقطع الموصل، وإذا كان هذا الموصل مدفوناً في الارض فيجب تطبيق شروط جدول-6 عليه.

14.4 موصلات الوقاية

موصلات الوقاية Protective conductors وهي الموصلات التي تصل بين طرف التأريض الرئيسيMET وأطراف التأريض في اللوحات الفرعية أو بين طرف التأريض في اللوحة وهيكل الجهاز الكهربائي. وتنص المواصفات أن هذه الموصلات يجب أن تحقق المتطلبات الحرارية الواردة في BS7671. وايضا تنص هذه المواصفات على ضرورة إختيار موصلات الوقاية (عدا موصلات الربط متساوي الجهد) إماباالحساب بواسطة المعادلة الأدياباتية Adiabatic equation أو باختيارها وفقاً لمتطلبات جدول 7.

وفي حالة كون نبيطة حماية التيار المفرط Overcurrent protection تقوم بحماية الدارة من القصر وليس بحمايتها من زيادة الاحمال (طبعاً اضافة الى الحماية ضد التلامس غير المباشر)، فلا بد من استخدام المعادلة الاديابانية لحساب مقطع موصل الحماية إذا كان تيار العطل الارضي المتوقع أقل من تيار قصر الدارة.

ويجب تحقيق هذا المتطلب حتى لو تم إختيار مقطع موصل الحماية باستخدام جدول 7-.

ويُستخدم جدول -7 إذا كانت المادة المصنوع منها موصل الوقاية هي نفس المادة المصنوع منها موصل الطور، اي أن الاثنين مصنوعان من نفس المادة. اما إذا كان موصل الوقاية مصنوعاً من مادة تختلف عن مادة موصل الطور. فيجب أن يكون مقطع موصل الوقاية بحيث يعطي نفس الموصلية الناتجة من استخدام المقطع كما هو وارد في جدول -7. في مثل هذه الحالة نستخدم المعادلة التالية:

$$Sp=S\ \frac{K_1}{K_2} \qquad (23)$$

حيث أن:

S-مساحة مقطع موصل الطور، مم^2.

Sp-مساحة مقطع موصل الوقاية ، مم^2.

K_1-عامل له علاقة بموصل الطور، ويتم إختياره من جدول -8.

K_2-عامل له علاقة بموصل الوقاية ويتم إختياره من جداول 13,12,11,10,9.

وكمثال، فلو كانت مساحة مقطع موصل الطور 16مم^2 واستخدمنا كموصل وقايةتسليح كابل له عازلية 90 مئوية مقاومة للحرارة. من جدول -8 فان قيمة K1 تساوي 143و من جدول -11 فان قيمة K2 تساوي 46.

باستخدام معادلة (31) نجد مساحة مقطع موصل الحماية المطلوب كما يلي:

$$Sp=16 \times \frac{143}{46} = 50 \text{ mm}^2$$

ان المعادلة الأدياباتية Adiabatic equation والمستخدمة في الحساب فهي:

$$S= \frac{\sqrt{I^2.t}}{K} \qquad (24)$$

حيث ان :

S-مساحة مقطع موصل الوقاية، مم2.

I-تيار العطل (ج.م.م) للتيار المتناوب (ممانعة مهملة Negligible) والذي يمكن أن ينساب من خلال نبيطة الوقاية، أمبير.

t- زمن تشغيل بنيطة المزق، ثانية.

K- عامل يعتمد على مادة الموصل الوقائي والعازلية والاجزاء الأخرى، إضافة الى درجات الحرارة الابتدائية.

ولا بد أن نشير الى أن استخدام المعادلة السابقة يكون صحيحاً فقط إذا كان زمن الفصل (المزق) لا يزيد على خمس ثوان. ويتم إختيار قيمة العامل K من الجداول ذوات الارقام 13,12,11,10,9.

ولا بد أن نشير الى متطلب هام يتعلق بمقدرة موصل الوقاية على تحمل الاثار

الحرارية Thermal effects لتيار العطل ، اي أن طاقة الصمود Withstand Energy لموصل الوقاية يجب أن لا تقل عن الطاقة التي تمررها Energy let through نبيطة الحماية ، اي أن

$$S^2K^2 \geq I^2t \qquad (25)$$

او بعبارة أخرى .

$$S_pK \geq I_F\sqrt{t} \qquad (26)$$

إن ما سبق لا يعني مطلقاً انه بزيادة تيار العطل لا بد أن نزيد مساحة مقطع موصل الوقاية ، لان لزمن المزق علاقة ايضاً ، فيمكن أن نستخدم مساحة مقطع موصل وقاية لتيار كبير أقل من مساحة مقطع موصل وقاية لتيار أقل قيمة إذا قللنا زمن مزق الدارة .

ويبين جدول -46 هذا الأمر بوضوح باستخدام مصهر 100 حسب المواصفة BS 88 Part2 HBC وباعتبار زمن مزق يساوي 5,0.4.0.2.01 ثواني .

جدول (46)

مساحة مقطع موصل الوقاية لقيم مختلفة من تيار العطل وزمن المزق

تيار العطل	زمن المزق	الطاقة التي تمررها نبيطة الحماية	مساحة مقطع موصل الوقاية (K=143)
أمبير	ثانية	I^2t	$مم^2$
1400	0.2	196000	3.1
1150	0.2	264500	3.6
980	0.4	384160	4.3
550	5.0	1512500	8.6

ولا بد أن نشير أيضاً الى أن العامل k في المعادلة (34) يمكن حسابه باستخدام المعادلة التالية :

$$k=\sqrt{\frac{Q_c(B+20)}{\rho_{20}}\ln\left(1+\frac{Q_f - Q_i}{B+ Q_i}\right)} \qquad (27)$$

تسود . ويمكن استخدام موصلات الحيادي والحماية المدمجة Combined Protective and Neutral conductor, PEN للهدفين السابقين في إحدى الحالات التالية :

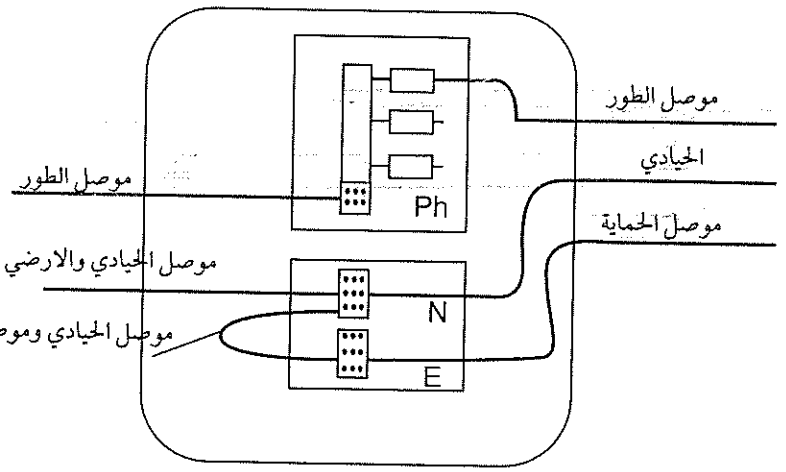
أ) إذا كانت التغذية الكهربائية من وحدة توليد خاصة .

ب) إذا كانت التغذية تتم من محول خاص بحيث لا يوجد اي إتصال معدني بين المنشأة المعنية وشركة الكهرباء عدا التوصيلات الأرضية .

جـ) إذا كانت التغذية تتم من مُغيّر Convertor مملوك للمستهلك بحيث لا يوجد اية وصلات معدنية بين المنشأة وشركة الكهرباء عدا التوصيلات الأرضية .

د) إذا كانت التغذية تتم من مزود لكهرباء بإتفاق خاص لتشغيل المنشأة باستخدام موصلات PEN .

كذلك لا بد من الاشارة الى انه لا يجوز إعادة توصيل الحيادي وموصل الوقاية في نظام التمديدات إذا تم فصلهم عند بداية نقطة التغذية (أنظر شكل -23) .



شكل-23

فصل الحيادي وموصل الوقاية

- ومن الامور المهمة عند إختيار موصل الوقاية هو تأمين الاستمرارية الكهربائية Electrical continuity وذلك لحماية هذا الموصل من التأثيرات الميكانيكية الخارجية مثل الاهتزاز Vibration والتفاعلات الكيماوية Chemical reactions بين المعادن غير المتشابهة ، وكذلك إتخاذ الاجراءات المناسبة لحماية موصل الوقاية من تأثيرات القوى الكهروديناميةوالتي تظهر عند سريان تيار عطل أرضي كبير.

يجب أن يكون غطاء Covering كل موصلات الحماية بمساحة مقطع 6مم^2 أو أقل مشابهاً لعازلية الكوابل دون قراب ويستثنى من ذلك موصلات الحماية التي تكون على شكل قنوات فولاذية Steel conduit أو مجاري Trunking أو ضمن كابل متعدد القلوب.

2.14.4 القنوات المعدنية والمجاري كموصلات حماية

سواء تم استخدام القنوات المعدنية كموصل حماية ام لا فإن الوصلات في هذه القنوات لا بد أن تكون محكمة ميكانيكياً ومتواصلة كهربائياً ويتحقق هذا الأمر باستخدام مقابس لولبية محكمة. اما بالنسبة لمجاري الكوابل Trunking فلا يمكن إعتبارها موصلات حماية فعالة للدارات التي تيارها أكبر من 100 امبير الا إذا تم التأكد من انها تقدم مسرى مضمون لتيار العطل.

وعادة، يتم طلاء وحدات الابدال واللوحات الكهربائية بطلاء أو مادة غير موصلة، لذلك يجب إزالة الطلاء من المناطق التي يمكن أن تؤثر على موصلات الحماية أو إستمرارية التأريض.

عند استخدام القنوات والمجاري المعدنية كموصلات حماية فلا بد من تزويد الاجهزة والملحقات بموصل حماية «ذيلي» Protective conductor tail لتوصيل طرف التأريض لهذه الملحقة مع نظام القنوات والمجاري المعدنية.

3.14.4 استخدام تسليح الكوابل كموصل وقاية

عند استخدام تسليح الكوابل كموصل وقاية لا بد أن نأخذ بالاعتبار ما يلي:

-مساهمة تسليح الكابل في زيادة ممانعة أنشوطة الطور -الأرض.

-مدى حماية تسليح الكابل حرارياً.

من المعروف أن مقاومية الالومنيوم تزيد 1.6مرة عن مقاومية النحاس، بينما مقاومية الفولاذ تزيد بحوالي ثماني مرات عن مقاومية النحاس، لذلك فإن أدى استخدام تسليح الكوابل كموصل حماية الى زيادة ممانعة الانشوطة، فلا بد من استخدام موصل حماية منفصل يُمدد بشكل متوازي مع الكابل ولكن بدون أن يكون قريباً جداً منه، وهذا الحل مستخدم إذا كان تسليح الكابل غير محمي حرارياً. وكحل بديل يمكن استخدام مقطع كابل أكبر من المطلوب من ناحية السعة التمريرية للكابل.

وتقوم الشركات المصنعة للكوابل عادة بنشر المعلومات المتعلقة بالكوابل التي تنتجها. وتبين الجداول مساحة المقطع العرضي لتسليح الكوابل المختلفة.

جدول (48)

مساحة المقطع العرضي لتسليح (اسلاك دائرية) كوابل PVC حسب BS6346
(الكوابل عبارة عن موصلات مجدولة)

مساحة مقطع الموصل الحي الأسمي مم^2	عدد القلوب	موصلات نحاس حيه Live			موصلات نحاس حيه Live		
		كوابل قدرة			كوابل قدرة		
		2	3	4	2	3	4
		مساحة مقطع التسليم مم2					
1.5		15	16	17			
2.5		17	19	20			
4.0		21	23	35			
6.0		24	36	40			
10		41	44	49			
16		46	50	72	42	46	66
25		60	66	76	54	62	70
35		66	74	84	58	68	78
50		74	84	122	66	78	113
70		84	119	138	74	113	128
95		122	138	160	109	128	147
120		131	150	220	-	138	201
150		144	211	240	-	191	220
185		201	230	265	-	215	245
240		225	260	299	-	240	274
300		250	289	333	-	265	304
400		279	319	467	-	-	-

جدول (49)

مساحة مقطع التسليح (أسلاك دائرية) لكوابل XLPE

حسب BS5467 و BS6724

مساحة مقطع الموصل الحي الأسمي $م^2$		كوابل قدرة بموصلات مجدولة					
		موصلات نحاس حية Live			موصلات الومنيوم حية Live		
	عدد القلوب	2	3	4	2	3	4
1.5		16	17	18	-	-	-
2.5		17	19	20	-	-	-
4.0		19	21	23	-	-	-
6.0		22	23	36	-	-	-
10.0		26	39	43	-	-	-
16.0		41	44	49	40	42	46
25.0		42	62	70	38	58	66
35.0		62	70	80	54	64	72
50.0		68	78	90	60	72	82
70.0		80	90	131	70	84	122
95.0		113	128	147	100	119	135
120.0		125	141	206	-	131	191
150.0		138	201	230	-	181	211
185.0		191	220	255	-	206	235
240.0		215	250	289	-	230	265
300.0		235	269	319	-	250	289

جدول (50)

مساحة مقطع القنوات والمجاري الفولاذية

القنوات الفولاذية			مجاري الفولاذية	
القطر الخارجي الأسمي (م)	مساحة المقطع م2		الحجم (م)	مساحة المقطع م2
	عيار خفيف	عيار ثقيل		
16	47	72	36.5x50	125
20	59	92	50x50	150
25	89	131	50x75	225
32	116	170	75x75	285
			50x100	260
لمزيد من المعلومات حول القنوات الفولاذية أنظر BS5468 وللمجاري الفولاذية أنظر BS4678			75x100	320
			100x100	440
			50x150	380
			75x150	450
			100x150	520
			150x150	750

جدول (51)

مساحة مقطع النحاس المكافئ للكوابل حسب BS6346

مساحة مقطع الموصل الحي الاسمي (م2)	مساحة مقطع النحاس المكافئ للكوابل حسب BS6346		
	قلبان	ثلاثة قلوب	أربعة قلوب
1.5	1.5	1.5	1.5
2.5	1.5	1.5	1.5
4	2.5	2.5	4.0
6	2.5	4.0	4.0
10	4	4.0	4.0
16	4	4.0	6
25	6	6	6
35	6	6	6
50	6	6	10
70	6	10	10
95	10	10	16
120	10	16	16(cu),10(Al)
150	16	16	25
185	16	25(cu),16(Al)	25
240	25	25	35(cu),25(Al)
300	25	25	35
400	25	35	50

جدول (52)

قراب أو تسليح الكابل المستخدم كموصلٍ حماية -مساحة المقطع الادنى (م^2)

مساحة مقطع موصل الطور	التسليم Armour			
	نحاس	فولاذ	الومنيوم	رصاص
S (mm^2)	Sp (mm^2)			
S≤16	S	2.26S	1.24S	4.45
16<S≤35	16	36	20	71
S>35	0.5S	1.13S	0.62S	2.2S

وإعتماداً على ما سبق فان جدول -53 يلخص الأسس التي يمكن إعتمادها في إختيار مقطع موصل الوقاية وموصل التأريض.

جدول (53)

مساحة مقطع موصل الحماية وموصل التأريض

مساحة مقطع موصل الوقاية Sph (mm^2)			مساحة مقطع موصل PE الوقاية	مساحة مقطع موصل الوقاية والتأريض PEN	مساحة مقطع موصل التأريض بين المكهر الارضي وطرف التأريض الرئيسي
الطريقة المبسطة	Cu	Al			
	أقل أو يساوي 16	أقل أو يساوي 16	$S_{PEN} = Sph(1)$	$S_{PEN} = Sph$ بحد أدنى 10 م2 نحاس أو 16 م2 المنيوم	● إذا كان محمياً ضد التلف الميكانيكي $S = \frac{I\sqrt{t}}{2}$ (2)
	–	25	$S_{PE} = 16$	$S_{PEN} = Sph/2$ Sph(3) بحد أدني 16 م2 نحاس أو 25م2 الومنيوم	■ غير محمي ميكانيكيا ولكنه محمي ضد الصدأ بواسطة قراب الكابل. أدنى مساحة 16 م2 للنحاس أو الفولاذ المجلفن.
	25.35	35			
	أكبر من 35	أكبر من 35	$S_{PE} = Sph/2$		■ إذا لم يكن محمياً على الاطلاق 25م2 كحد أدنى للنحاس المعرّى، 50 م2 للفولاذ المجلفن المعرّى.
باستخدام المعادلة الأدياباتية	أي حجم		$S = \frac{I\sqrt{t}}{2}$ (1)(2)		

ملاحظات :

(1) عندما يكون موصل الحماية منفصلاً عن موصل الطور، فالحد الادنى التالي يجب تطبيقه :

- 2.5مم^2 إذا كان موصل الوقاية محمياً ميكانيكياً .
- 4مم^2 إذا كان موصل الوقاية غير محمي ميكانيكياً .

(2) أنظر الفصول السابقة في كيفية استخدام المعادلة الادياباتية .

(3) لا يمكن استخدام الحيادي كموصل PEN الا إذا كانت مساحة مقطعة أكبر من 10مم^2 (نحاس)أو 16مم^2 (الومنيوم) . كذلك لا يسمح كموصل PEN في الكابل المرن . وبما أن مهمة موصل PEN هي كموصل حيادي ، لذلك يجب أن لاتقل مساحته عن مساحة موصل الحيادي . كذلك فإن مساحة مقطع موصل PEN لا يمكن أن تكون أقل من مساحة موصل الطور ما عدا الحالات التالية :

-إذا كان مقرر الكيلوفولط . أمبير للحمل أحادي الطور أقل من 10% من المجموع الكلي للكيلوفولط . أمبير .

-إذا كان التيار الأقصى Imax والذي يمر في الحيادي في ظروف التشغيل العادية أقل من السعة التمريرية لمقطع الكابل الذي تم إختياره ، إضافة إلى أن حماية الحيادي يجب أن تتم بنفس وسائل حماية موصل الطور .

15.4 إختيار مقاطع موصلات تساوي الجهد

يُستخدم الربط متساوي الجهدEquipotential Bonding في الحالات التي تتم فيها الحماية ضد الصدمة الكهربائية (التلامس غير المباشر) باستخدام الربط الأرضي متساوي الجهد والفصل الآلي لمصدر التغذية EEBADS . وهناك ثلاثة أنواع من الربط وهي :

-الربط متساوي الجهد الرئيسي Main Equipotential Bonding ويُستخدم هذا الربط في كل المنشآت التي تستخدم الربط الارضي متساوي الجهد والفصل الآلي لمصدر التغذية EEBADS .

-الربط متساوي الجهد التكاملي Supplementary Equipotential Bonding ويُستخدم في بعض المواقع والمنشآت الاستثنائية التي تستخدم الربط الأرضي متساوي الجهد والفصل الآلي لمصدر التغذية EEBADS.

-الربط متساوي الجهد الاضافي Additional Equipotential Bonding يُستخدم هذا الربط عند استخدام الربط الارضي متساوي الجهد والفصل الآلي لمصدر التغذية EEBADS وعندما لا يتم تحقيق زمن المزق المطلوب للدارة وكذلك عندما تكون الدارات بأزمان مزق مختلفة تتغذى من نفس اللوحة.

ولا بد أن نشير الى أن هدف ربطBonding كل الاجزاء المكشوفة والموصلة للتيار مع أية اجزاء معدنية عرضية Extraneous هو لتقليل فروق الجهد الكهربائي التي يمكن أن توجد بين هذه الاجزاء خلال العطل الأرضي.

ففي شكل-7 فان ربط الجزء المعدني العرضي باستخدام ربط متساوي الجهد الرئيسي هو لتقليل الفولطية Vf التي يمكن أن تظهر على الجزء العرضي، وباهمال مراكسة موصل وقاية الدارة، فان هذه الفولطية تساوي:

$$V_f = I_f . R_{cpc}$$

حيث ان:

I_f - تيار العطل بالأمبير.

R_{cpc} -مقاومة موصل وقاية الدارة.

1.15.4 الربط متساوي الجهد الرئيسي

إن الهدف الرئيسي للربط متساوي الجهد الرئيسي هو للحماية من المخاطر الناتجة من الاعطال الارضية في شبكة التغذية بحيث أن اي فولطية عطل Fault voltage تظهر على طرف التأريض الرئيسيMET وكل الاجزاء المعدنية المكشوفة والمتصلة به تكون في نفس المستوى بالنسبة للاجزاء المعدنية العرضية مثل مواسير المياه. . . الخ.

لذلك يتم ربط كل الاجزاء المعدنية العرضية مثل مواسير المياه، مواسير الغاز، حديد التسليح، اية أجزاء معدنية عرضية أخرى مع طرف التأريض الرئيسي باستخدام

ربط متساوي الجهد الرئيسي. كذلك نشير الى ضرورة ربط كل الموصلات الهابطة لنظام الحماية من البرق مع طرف التأريض الرئيسي، في نقطة تقع أعلى وصلة الفحص للموصل الهابط Down conductor test joint.

أما مساحة مقطع هذا الموصل فيجب أن تساوي على الأقل نصف مساحة أكبر موصل وقاية بحيث لا يزيد على 25مم^2 للنحاس و25مم^2 للالومنيوم، بينما يكون الحد الأدنى مساوياً الى 6مم^2 نحاس أو 10مم^2 الومنيوم.

وفي حالة استخدام تأريض الوقاية المضاعف Protective multiple earthing PME (نظام التأريض TN-C) فان مساحة مقطع موصل ربط تساوي الجهد الرئيسي يجب أن يتم إختياره متوافقاً مع مساحة مقطع الحيادي ووفقاً لجدول -54.

يجب أن تكون توصيلات ربط تساوي الجهد لانابيب الغاز والمياه والخدمات الأخرى أقرب ما يمكن الى نقطة دخول هذه الخدمات الى المبنى (أي نقطة التوصيل الرئيسية).

وإذا وجدت مواد عازلة عند نقطة الدخول أوكان هناك عدادٌ، فيجب أن تتم

جدول (54)

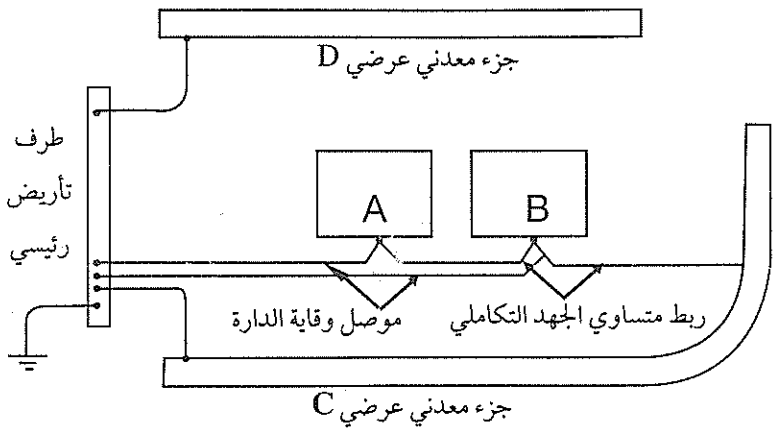
مساحة مقطع موصل ربط تساوي الجهد الرئيسي الأدنى
بالنسبة الى مساحة مقطع حيادي التغذية الرئيسية

مساحة مقطع حيادي التغذية الرئيسية من النحاس ، مم2	مساحة مقطع موصل ربط تساوي الجهد الرئيسي الأدنى ،مم2
35 مم2 وأقل	10
أكبر من 35 ولغاية 50	16
أكبر من 50 ولغاية 95	25
أكبر من 95 ولغاية 150	35
أكبر من 150	50

- التوصيلات في جهة المستهلك وقبل أية تفريعات أو توصيلات فرعية ، ويُحبذ أن تتم توصيلات ربط تساوي الجهد الرئيسية ضمن 600مم من مكان تركيب عداد الخدمات .

2.15.4 الربط متساوي الجهد التكاملي

يُستخدم الربط متساوي الجهد التكاملي في المواقع والظروف الاستثنائية لاغراض تقوية منطقة تساوي الجهد ، مثلاً ، غرف الحمامات Bathrooms وهذا يقلل من إحتمال ظهور أي فرق جهد بين الأجزاء المعدنية في الحمام أثناء العطل الأرضي . لنفترض أن لدينا جهازين كهربائيين A,B كما هو مبين في شكل-24 ، وهناك ايضاً اجزاء معدنية عرضية مثل C,D . حسب متطلبات الكودة فان موصل وقاية الدارة والاجزاء المعدنية العرضية يجب توصيلها مع طرف التأريض الرئيسي .

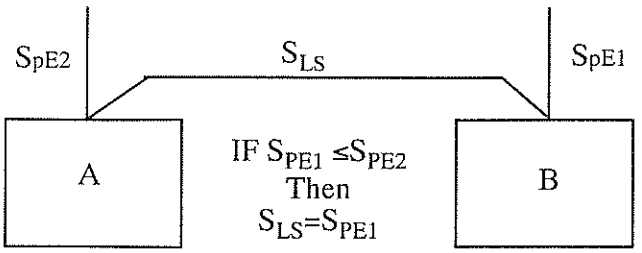


شكل -24

الربط متساوي الجهد المتكامل

وحسب متطلبات الكودة فإن مساحة مقطع موصل ربط تساوي الجهد التكاملي الذي يربط بين جزئيين معدنيين يجب أن يساوي مساحة مقطع موصل حماية الدارة

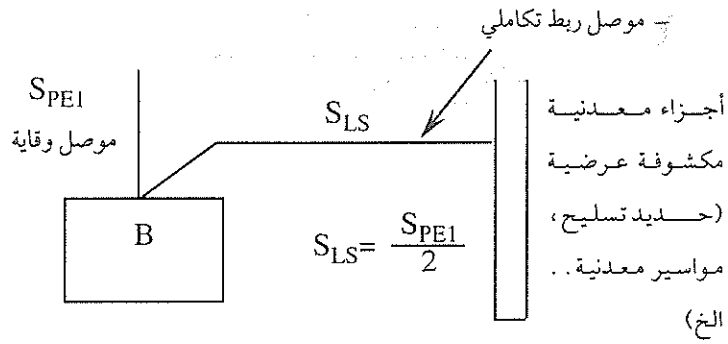
الأصغر إذاوجدت حماية ميكانيكية له ، وفي حالةعدم وجود حماية ميكانيكية فان أقل مقطع مسموح به يساوي 4مم2 . ويبين شكل-25 الربط بثين جزئيين معدنيين .



شكل -25

إختيار مقطع الربط التكاملي بين جزئيين معدنيين

كذلك يُستخدم ربط تساوي الجهد التكاملي لربط (توصيل) اية أجزاء معدنية مكشوفة مع موصل الوقاية المحلي إذا كان طرف التأريض الرئيسي بعيداً عن ذلك الجزء المعدني المكشوف (شكل -26) . في هذه الحالة يتم إختيار مساحة مقطع موصل الربط بحيث يساوي نصف مساحة مقطع موصل وقاية الدارة ، بحيث لا يقل هذا المقطع عن 2.5مم2 في حالة وجود حماية ميكانيكية ، وأن لا يقل عن 4مم2 في حالة وجود حماية ميكانيكية .



شكل -26

إختيار مقطع موصل ربط تساوي الجهد التكاملي بين جزء معدني عرضي وموصل وقاية جهاز كهربائي

وفي كل الاحوال وإذا كان موصل الربط غير مدموج مع الكابل فلا بد من تمديده داخل قناه أو مجرى كوابل .

3.15.4 الربط متساوي الجهد الإضافي

يشبه الربط متساوي الجهد الإضافي الربط متساوي الجهد الرئيسي من حيث مقاسات الموصل ، حيث يتم إختيار مساحة مقطع الموصل كما في حالة الربط الرئيسي .

16.4 تأريض المشروع المكون من عدة مباني

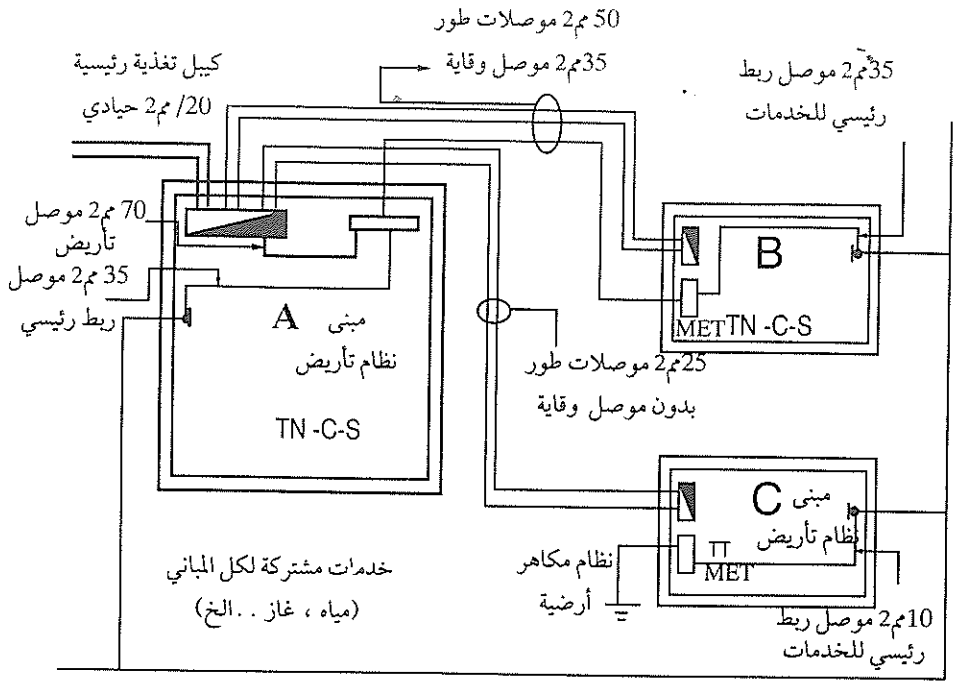
إذا كان المشروع يتكون من عدة مباني ، بحيث تتم التغذية الكهربائية لهذا المشروع من نقطة واحدة فلا بد من مراعاة ما يلي عند تنفيذ ترتيبات التأريض للمشروع (شكل 27-) :

- يجب أن يحتوي كل مبنى على طرف تأريض رئيسيMET .

-يجب تحديد نوع نظام التأريض المستخدم في كل مبنى .

- أي مبنى يُستخدم فيه نظام تأريض TT يجب أن يحتوي على نظام مكاهر أرضية Electrode يتم توصيلها مع طرف التأريض لهذا المبنى .

-يجب توصيل كل المباني بموصلات ربط تساوي الجهد الرئيسية بحيث تكون كل الخدمات (مياه، غاز . . . الخ) مربوطة فيما بينها ، وبينها وبين أطراف التأريض الرئيسية في المباني .



شكل -27

ترتيبات التأريض في مشروع مكون من عدة مباني .

ولا بد أن نشير هنا الى أهمية حماية كيبل التغذية الرئيسي من ضربات البرق المباشرة عليه وخاصة في المشاريع المهمة والتي لا يسمح بإنقطاع الطاقة الكهربائية فيها ، ويكون كيبل التغذية الرئيسي مسلحاً Armoured ومدفوناً في الأرض ، ولذلك ولحماية هذا الكيبل يتم تمديد شريط نحاسي بمساحة مقطع لا تقل عن 35م2 فوق الكيبل ويتم ربط هذا الشريط بمكاهر أرضية بطول 3 أمتار مدفونة في الأرض وبتباعد فيما بينها لا يقل عن 25 متراً ويجب أن يكون الربط محكماً ميكانيكاً ومتواصلاً كهربائياً . وفي هذه الحالة فان اية ضربة برق مباشرة يتم إعتراضها من قبل شريط التأريض والذي بدوره يُفرّغ شحنة البرق الكهربائية الى الأرض عبر المكاهر الأرضية .

الفصل الخامس
قواطع الدارة

1.5مقدمة

تعتبر قواطع الدارة Circuit breakers والمصهرات Fuses من العناصر الرئيسية في أية شبكة كهربائية مهما كانت قولطيتها أو كمية الطاقة التي تُمررها . إن المهمة الرئيسية للقواطع هي فصل أو وصل الدارات الكهربائية في ظروف التشغيل العادية ، وكذلك حماية الدارة عند حدوث أعطال كهربائية وذلك بفصل الجزء الذي حدث فيه العطل Fault . ففي الظروف الاعتيادية يعمل قاطع الدارة وضمن مقرراته كنبيطة إبدالSwitching device ، أما في الظروف غير العادية وعندما يكون التيار أعلى من المقرر الامبيري للقاطع بسبب الحمل المفرط Overload أو بسبب قصر الدارة فان القاطع يعمل كنبيطة حماية آلية لفصل الدارة المعطوبة . من هنا نستنتج أن المهمة الرئيسية لقواطع الدارة هي فصل أو وصل الدارات الكهربائية في ظروف التشغيل العادية ، وكذلك حماية الدارة عند حدوث أعطال كهربائية وذلك بفصل الجزء الذي حدث فيه العطل Fault .

إن المواصفات الامريكية (ANS 1-C37.100-1981) تُعّرف قاطع الدارة بانه نبيطة إبدال ميكانيكية قادرة على وصل وتحمل وفصل التيارات في ظروف التشغيل العادية ، وكذلك على الوصل والتحمل لزمن محدود لتيارات المزق في ظروف التشغيل غير العادية ، مثل حدوث قصر دارة .

من التعريف السابق فان مهمات قاطع الدارة تتلخص فيما يلي :

1 . يجب أن يكون قاطع الدارة قادرا على غلق الدارة الكهربائية وتحمل تيار الحمل الكلي لفترة طويلة زمنياً .

2 . يجب أن يكون قاطع الدارة قادراً على فصل الأحمال آلياً أو فصل الحمل المفُرط Overload الصغير .

3. يجب أن يفصل بسرعة وبنجاح تام التيارات الكبيرة الناتجة عن الاعطال الكهربائية.

4. يجب أن تتحمل الثغرة بين الملامسات ڤولطية الدارة عندما تفتح الملامسات.

5. يجب أن يكون القاطع قادراً على غلق الدارة في ظروف العطل وأن يكون قادراً على إعادة فتح الملامسات لحظياً لابراء العطل الموجود في الدارة الكهربائية.

6. يجب أن يتحمل القاطع وجود قوس عند ملامساته وكذلك تحمل القوى الكهرومغناطيسية والظروف الحرارية الناتجة عن الاعطال الكهربائية.

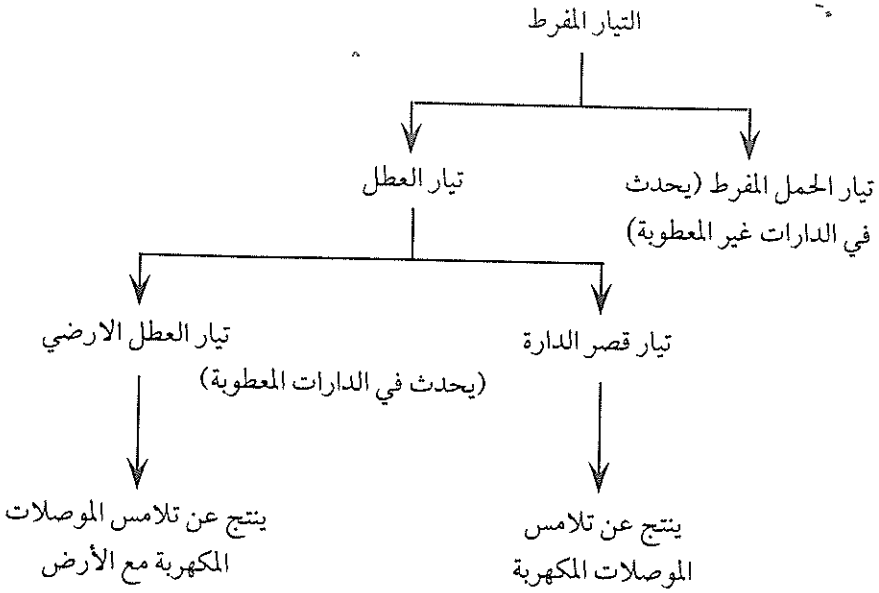
وعادة، فان الهدف من قاطع الدارة هو حماية الدارة الكهربائية من قيم التيارات المفرطة Overcurrents والتي تحدث في الدارة. وهنا لابد من تحديد مفهوم التيار المفرط والذي يعني أي تيار تكون قيمته أكبر من قيمة تيار الحمل في ظروف التشغيل العادية. ويضم مصطلح التيار المفرط ما يلي:

أ) تيار الحمل المفرط Overload current.

ب) تيار العطل Fault current ، والذي بدوره يشمل ما يلي:

- تيار قصر الدارة Short circuit current.
- تيار العطل الأرضي Earth Fault current.

ويبين شكل -1 تقسيم التيار المفرط.



شكل- 1

ينتج تيار الحمل المفرط بسبب ظروف تشغيلية معينة ويحدث في الدارات غير المعطوبة وتكون قيمته أكبر من قيمة تيار الحمل في ظروف التشغيل العادية ، وتكون هذه القيمة في مدى من مرتين وحتى خمس مرات من قيمة تيار الحمل العادي .

اما قصر الدارة فيؤدي إلى إختلاف ظروف التشغيل بحيث تتلامس الموصلات مع بعضها والتي يفترض فيها أن تكون معزولة عن بعضها البعض في ظروف التشغيل العادية ، والعطل الأرضي هو عبارة عن إتصال الموصلات (والتي تكون في ظروف التشغيل العادية تحت فولطية معينة) بالأرض . وفي كلتا الحالتين فان التيار الذي يسير في الدارة الكهربائية يكون كبيراً جداً بحيث تنتج عنه تأثيرات حرارية وقوى كهرومغناطيسية تودي إلى دمار التركيبات الكهربائية وإلى حزائق ولذلك لابد من فصل الدارة المعطوبة وإبراء العطل بسرعة كبيرة ، وهذا ما يقوم به قاطع الدارة .

سنستعرض في هذا الفصل قواطع الدارة في شبكات التمديدات الكهربائية، والتي يُطلق عليها اسم شبكات القولطية المنخفضة Low voltage networks. ونعني بشبكات القولطية المنخفضة هي تلك الشبكات التي قولطيتها للتيار المتناوب لا تزيد على 1000 قولط، وقولطيتها للتيار الثابت لا تزيد على 1200 قولط. وعادة، فان شبكات التمديدات الكهربائية في المباني السكنية والتجارية تكون بقولطية 400 قولط، وفي المشاريع الصناعية قد تصل هذه القولطية إلى 600 قولط.

ولابد لقواطع الدارة الكهربائية في شبكات التمديدات أن تتوافق والمواصفات العالمية المعتمدة في هذا المجال. والمواصفات المعتمدة هي مواصفات اللجنة الكهروتقنية الدولية International Electrotechnical Commission IEC. وهنا لابد من الرجوع إلى الوثيقة الأولى والمعنونة باسم «القواعد العامة» تحت رقم IEC-947-1 والتي تُعنى بالتعاريف والارشادات والفحوصات العامة لكل معدات القولطيات المنخفضة الصناعية. أما الوثيقة الثانية فهي بعنوان «المنتجات» تحت رقم IEC 947-2-to7 والتي تُعنى بالارشارات والفحوصات المحددة والمطبقة على المنتج المعني. وما يخص قواطع الدارة المنفخضة القولطية موجود في IEC947-1,2.

2.5 أنواع قواطع الدارة

يمكن تصنيف قواطع الدارة بشكل عام، إلى الفئات التالية:

أ) قواطع الدارة الصغرانية Miniature circuit breakers MCB.

ب) قواطع الدارة المقولبة .Moulded case circuit breakers MCCB.

ج) قواطع الدارة الهوائية Air cirauit breakers ACB.

1.2.5 قواطع الدارة الصغرانية

تُستخدم قواطع الدارة الصغرانية لحماية الدارات الفرعية في المشاريع السكنية والتجارية والصناعية. تيار الحمل لهذه القواطع لايزيد على 100 أمبير، وتتحمل تيار قصر دارة لا يزيد على 10 كيلو أمبير.

وحسب المواصفات البريطانية BS3871 والمواصفات الأوروبية BSEN 60 898 فهناك سبعة أنواع من قواطع الدارة الصغرانية . وهذه الانواع هي :

1 . قاطع صغراني نوع 1 .

يُستخدم هذا القاطع في الدارة الفرعية العامة التي لا يوجد بها تيارات دفقية Inrush currents ، وكذلك لحماية دارات الانارة الفرعية التي تحتوي على مصابيح إنارة توهجية . يعمل القاطع بشكل لحظي في مدى من $2.7I_n$ وحتى $4.0I_n$ ، حيث ان I_n هو التشغيل العادي .

2 . قاطع صغراني نوع B .

يعمل هذا القاطع بشكل لحظي في مدى من $3I_n$ وحتى $5I_n$.

3 . قاطع صغراني نوع 2 .

يُستخدم هذا القاطع لحماية الدارات الفرعية التي تحتوي على تيارات دفقية معتدلة ، مثل الدارات التي تحتوي على مصابيح توهجية كبيرة ومصابيح فلورية . يعمل هذا القاطع بشكل لحظي في مدى من $4I_n$ وحتى $7I_n$.

4 . قاطع صغراني نوع C .

يُستخدم هذا القاطع لحماية الدارات الفرعية التي تحتوي على تيارات دفقية معتدله إلى كبيرة مثل دارات المحركات ووحدات التكييف . يعمل هذا القاطع بشكل لحظي في مدى من $5I_n$ وحتى $10I_n$.

5 . قاطع صغراني نوع 3 .

يعمل هذا القاطع بشكل لحظي في مدى من $7I_n$ وحتى $10I_n$.

6 . قاطع صغراني نوع D .

يُستخدم هذا القاطع لحماية الدارات الفرعية التي تحتوي على تيارات دفقية كبيرة ، مثل الدارات المغذية لاجهزة أشعة (إكس) وأجهزة اللحام الكهربائي ، والدارات التي

تحتوي على محولات . يعمل هذا القاطع بشكل لحظي في مدى من $10I_n$ وحتى $20I_n$.

7 . قاطع صغراني نوع 4 .

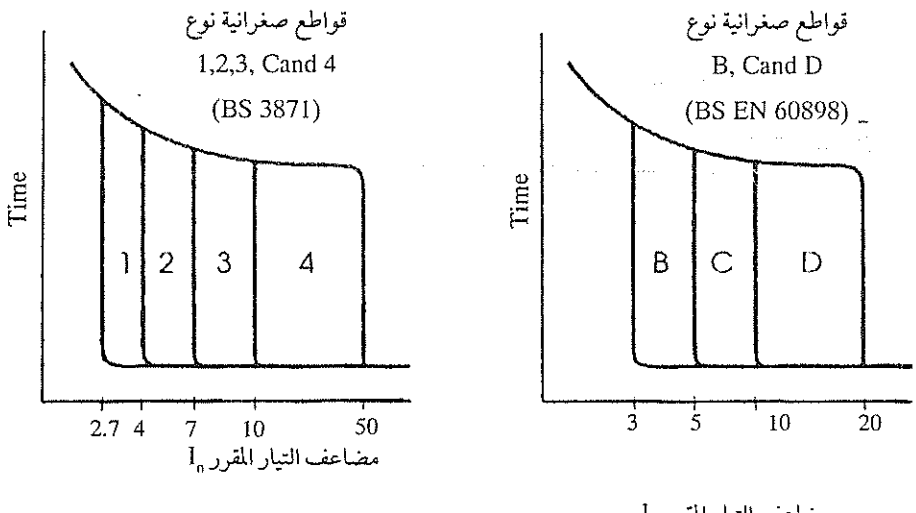
يعمل هذا القاطع بشكل لحظي في مدى من $10I_n$ وحتى $50I_n$.

ولابد أن نشير إلى أن الزمن اللازم للقاطع لفصل التيار المفرط هو ساعة للقواطع الصغرانية من نوع 1,2,3,4,B,C,D ولتيار مقرر لغاية 63 امبيراً ، ويساوي هذا الزمن ساعتين للقواطع B,C,D بتيار مقرر أكبر من 63 أمبيراً .

أما المقررات التيارية Rated currents المفضلة لهذه القواطع فهي :

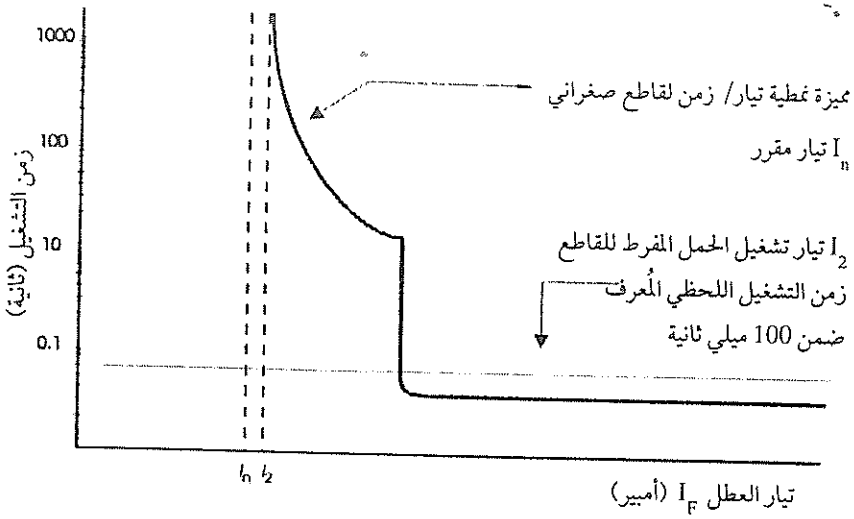
5,6,10,15,16,20,25,30,32,40,50,80,100,A.

ويبين شكل -3 مميزات Characteristics قواطع الدارة الصغرانية ، اما شكل -4 فيبين المميزات النمطية لهذه القواطع .



شكل -3

مميزات قواطع الدارة الصغرانية



شكل -4

المميزات النمطية للقواطع الصغرانية

2.2.5 قواطع الدارة المقولبة

تُستخدم القواطع المقولبة MCCB كبديل للمصهرات لحماية الدارات الكهربائية التي مقررها الامبيري أكبر من 100 أمبير وتتميز هذه القواطع عن المصهرات بما يلي :

1. لها حماية حمل مفرط قريبة Close oveload protection مقارنة مع المصهرات.

2. لها مميزات مزق ثابتة.

3. إستبعاد تشغيل المحركات بطور واحد لانها تفصل الاطوار الثلاثة في حالة الأعطال.

4. يتم بواسطتها قفل الدارة لحظيا بعد إبراء العطل.

5. القواطع أكثر أمانا من المصهرات.

6. تكاليف صيانتها قليلة مقارنة مع تكاليف تغيير المصهر.

7. سهولة تركيبها مع إمكانية إضافة مبدل إضافي Auxiliary switch وملف فصل على التوازي Shunt trip.

يتم تركيب هذه القواطع في لوحات المفاتيح Switch boards وفي لوحات التوزيع Panel boards ومراكز التحكم في المحركات Motor control centers وبادئات التشغيل المجمعة.

تستخدم القواطع المقولبة- كما ذكرنا سابقا- في شبكات التمديدات الكهربائية ذات القولطية المنخفضة، ولها مقررات أمبيرية تتغير في مدى واسع إبتداء من 10 أمبيرات ولغاية 6000 أمبير. وتتراوح قدرة المزق من 10 كليوأمبير ولغاية 130 كيلو أمبيراً.

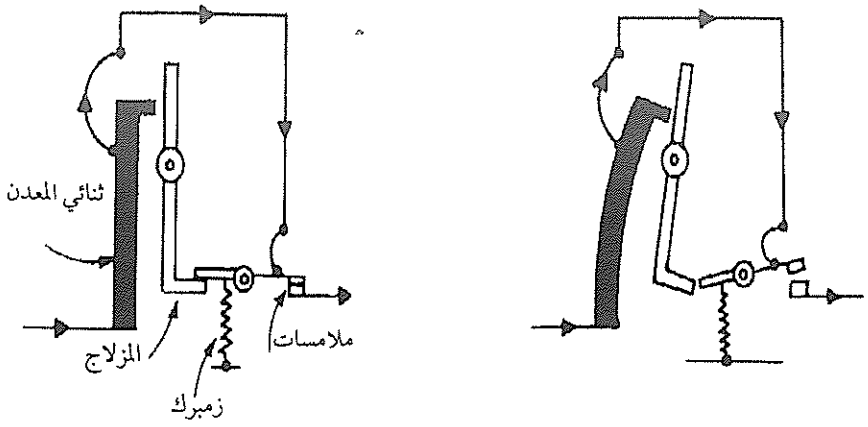
وبشكل عام، يتم تجهيز القاطع بحيث يفصل الحمل الزائد وكذلك تيار قصر الدارة ويُسمى القاطع المجهز بهذه الامكانيات بقاطع دارة حراري مغناطيسي. ويمكن استخدام التكنولوجيات التالية في تصنيع القواطع، وهي:

أ) تكنولوجيات تحسس حراري مغناطيسي Thermal-magnetic sensing.

ب) تكنولوجيات تحسس هيدروليكي مغناطيسي Hydraulic- magnetic sensing.

ج) تكنولوجيات تحسس باستخدام الكترونيات الحالة الصلبة Solid state electronic.

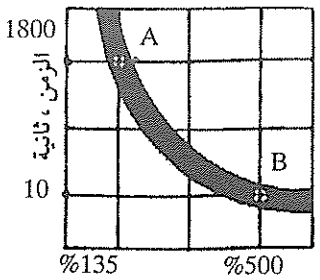
يُستخدم مبدأ تمدد المعادن بسبب إرتفاع درجة الحرارة للحماية من الحمل الزائد، حيث يتم تجهيز القاطع بسبيكة ثنائية المعدن. يبقى الملامسان في الحالة العادية في وضع الاغلاق بسبب المزلاج Latch كما في شكل -5.



شكل -5

آلية الاعتاق الحراري في قاطع الدارة

تتناسب درجة حرارة ثنائي المعدن طرديا مع مربع التيار. فعند زيادة التيار المار خلال ثنائي المعدن زيادة غير اعتيادية ولمدة زمنية طويلة يسخن ثنائي المعدن بسبب ذلك، ثم يتقوس بسبب إختلاف معاملات التمدد الطولي لكلا المعدنين، وعندما يبلغ تقوس ثنائي المعدن حداً معينا يعتق السقاطة ويتباعد الملامسان ويتم فتح الدارة الكهربائية. ويبين تشكل -6 منحنى الانحراف لعنصر حراري يستخدم ثنائي المعدن في قاطع دارة آلي، وهذا يعني أنه يمكن إعتاق قاطع ذي مقرر يساوي 100 أمبير خلال 1800 ثانية عندما يكون التيار مساويا إلى 135% من مقررة (نقطةA)، وانه يمكن إعتاقة بعد إنقضاء 10 ثوان فقط عندما يكون مقدار التيار500% من مقررة (نقطة B)، وبالتالي فان ثنائي المعدن يؤمن تأخيرا زمنيا كبيرا عندما يكون الحمل الكهربائي خفيفا وتكون استجابة القاطع سريعة عندما يكون فرط التيار عاليا.



شكل -6

منحنى الانحراف للقاطع الحراري

وتتم معايرة العناصر الحرارية في المصانع وليس في الميدان، و يتم تجهيز عنصر حراري خاص لكل مقرر تياري للقواطع الآلية .

وحسب النظام الامريكي تُصنف قواطع دارات الفولطية المنخفضة إلى نوعين رئيسيين وهما :

قواطع الدارة المقولبة MCCB

قواطع قدرة دارة منخفضة الفولطية Low voltage power circuit breaker LVPCB .

وضمن قواطع الدارة المقولبة هناك نوع يُطلق عليه اسم قواطع الدارة ذات الغلاف المعزول Isolated case circuit breakers ICCB .

في قواطع الدارة المقولبة تكون الاجزاء الحاملة للتيار ونبائط المزق موجودة ضمن غلاف من مادة عازلة، وعادة تُصمم القاعدة والغلاف للقاطع بحيث لا يمكن فتحهما لاغراض الصيانة . تُزود القواطع ذات الاحجام الامبيرية الصغيرة بوحدات مزق حرارية- مغناطيسية، اما الاحجام الامبيرية الكبيرة فيمكن أن تكون بوحدات مزق حرارية - مغناطيسية أو وحدات مزق الكترونية Electronic trip unit .

أما قواطع الدارة ذات الغلاف المعزول فتكون جميع مكوناتها ضمن غلاف من مادة عازلة، ولكنها مصممة بحيث يمكن فتحها لاغراض فحص الملامسات أو قناة القوس

Ãrc chute تتميز القواطع السابقة بانها ذات قفل وفصل سريع Quick- make- quick break، وهذا يعني أن سرعة قفل وفصل ملامسات القاطع لا تعتمد على السرعة التي يتم بها تحريك يد Handle القاطع . كذلك تتسم هذه القواطع بان الآلية المفصلية Toggle Mechanism لها ذات مزق حر بمعنى انه لا يمكن منع فصل القاطع من مزق الدارة وذلك بتثبيت يد القاطع بالقوة في وضعية القفل ON .

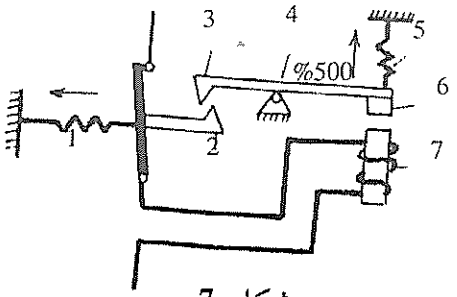
اما قواطع القدرة فتتميز بانها ذات تركيب مفتوح بحيث يسمح ذلك باجراء عمليات الصيانة وتغيير المكونات فيها . و عادة يتم تغيير وضعية الملامسات من وضع الفصل Open إلى وضع القفل ON باستخدام نابض ميكانيكي ، حيث يتم شحن النابض بسحبه إلى الاسفل وتحرير يد شحن النابض . ويتم بيان وضعية شحن النابض على القاطع . و يتم قفل النابض بضغط كبسة حيث يتم بيان وضعية القاطع على الجزء الأمامي .

فإذا كان القاطع من النوع الذي يتم سحبه Draw out فيكون له ثلاثة وضعيات منفصلة وهي وضعية الوصل Connected ووضعية الاختبار Testووضعية الفصل Disconnected .

أما المقررات الأمبيرية المفضلة لقواطع الدارة المقولبة فهي :

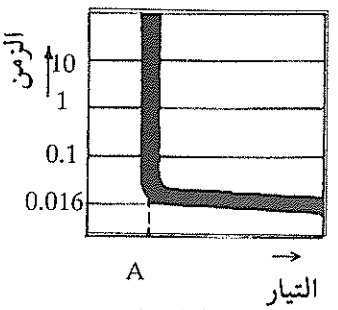
50,100,125,150,200,225,400,600,800,1000,1200,1600,2000,2500, 3000,4000,5000,6000A.

اما الاعتاق المغناطيسي فيستخدم عندما يتطلب الامر فعلا لحظيا (فوريا) لفتح دارة كهربائية تتضمن عطلا معينا . ويبين شكل -7 مخططا مبسطا لتوضيح مبدأ الاعتاق المغناطيسي الذي يعمل على فصل الدارة الكهربائية إذا بلغ التيار الكهربائي قيمة أعلى مما هو مقرر لهذا الاعتاق ، حيث يتغلب الكهرومغناطيس (7) على قوة شدة الزمبرك (5) فيجذب الرافعة (6-4-3) التي تتحرر من الربطة (3-2) فيفتح القاطع ملامساته بتأثير فعل الزمبرك . ويكون التأخير الزمني الوحيد هنا هو الزمن اللازم لفتح الملامسين ولإخماد القوس الكهربائي . ويبين شكل -8 المنحنى النموذجي لفعل مغناطيسي ثابت حيث لا يتم إعتاق القاطع الا بعد بلوغ تيار العطل النقطة A .



شكل -7

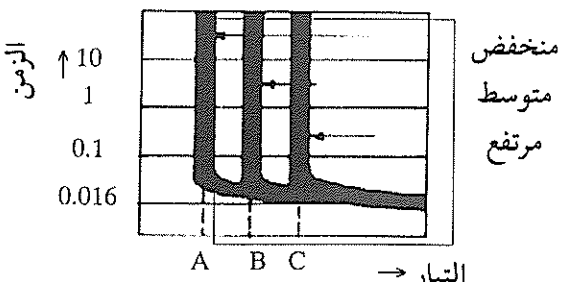
مبدأ عمل الاعتاق المغناطيسي .



شكل -8

منحنى نموذجي لمغناطيسي ثابت

ويمكن لعنصر الاعتاق المغناطيسي أن يكون ثابتا Fixed أو انضباطيا Adjustable ، ويتوقف ذلك على نوع القاطع وحجمه الاطاري Frame size وغالبا تكون القواطع الحرارية- المغناطيسية التي يزيد حجمها الاطاري على 250 أمبيراً مزودة باعتاق مغناطيسي انضباطي ، وتتضمن الأخيرة ازرار ضبط موجودة في مقدمة وحدة الاعتاق ويتم بواسطتها تغيير حجم الفجوة الهوائية التي بدورها تغير مقرر تيار الاعتاق



شكل -9

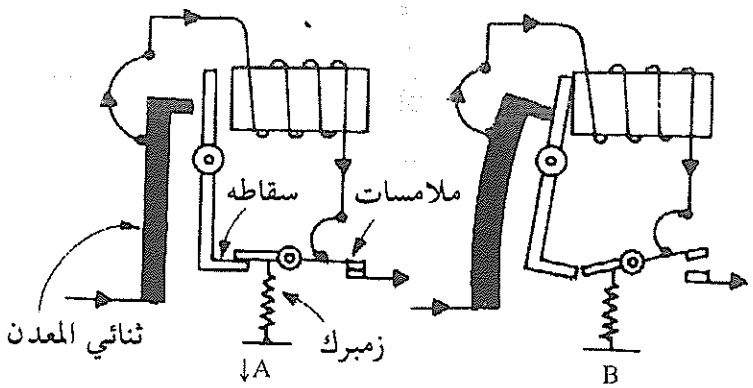
المغناطيسي للقاطع . ويبين شكل -9 منحنيات نموذجية . للاعتاق المغناطيسي وكيف تُحرك أزرار الضبط للمنحنيات من اليسار إلى اليمين كلما زاد تيار الاعتاق .

وتتضمن القواطع الآلية التقليدية وحدة إعتاق ثابتة أو وحدة إعتاق كهروميكانيكية قابلة للتبديل ، ويجب تبديل القاطع الآلي ذي الاعتاق الثابت كاملا عندما يتطلب الأمر وجود وحدة إعتاق جديدة . أما عندما يكون القاطع ذو إعتاق قابل للتبديل فيمكن تبديل وحدة الاعتاق فقط بحيث لا يزيد مقرر وحدة الاعتاق على الحجم الاطاري للقاطع .

3.2.5 القواطع الحرارية المغناطيسية

تتضمن هذه القواطع شريطا حراريا وملفا كهرومغناطيسيا . ويؤمن الشريط الحراري تأخيراً زمنيا للاحمال الخاطفة المفرطة كما يؤمن الملف الكهرومغناطيسي إعتاقا فوريا للقاطع عندما يحدث قصر في الدارة الكهربائية . إضافة إلى ذلك يعمل الاعتاق المغناطيسي على حماية الشريط الحراري ثنائي المعدن من التيارات العالية التي قد تسبب تدميره .

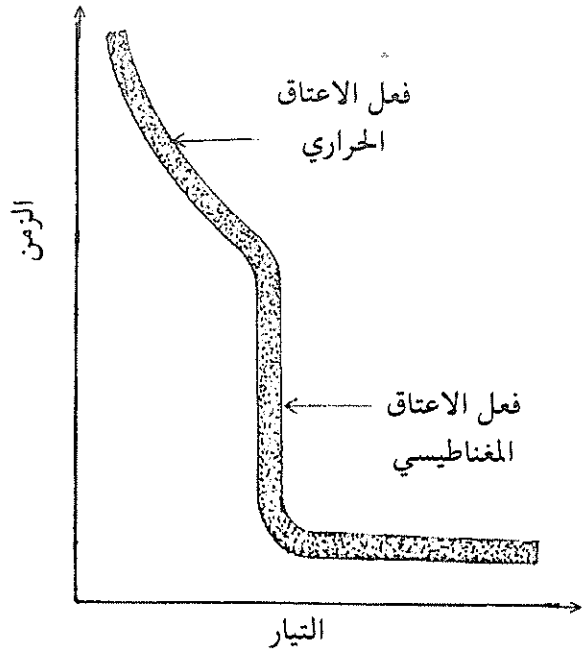
ويوضح شكل -10 مخططا لقاطع حراري مغناطيسي أثناء عمله الطبيعي(A) وبعد إعتاقه (B) وفصل ملامساته .



شكل -10

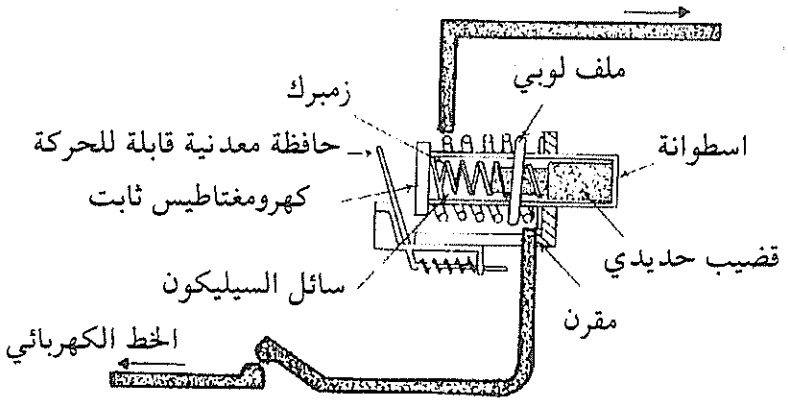
مخطط لقاطع حراري مغناطيسي

اما شكل -11 فيبين منحنى الإعتاق للقواطع الحرارية المغناطيسية .



شكل -11

منحنى مميزات الاعتاق الحراري والاعتاق المغناطيسي .

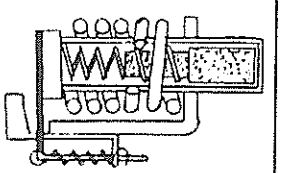
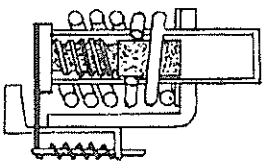
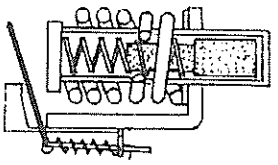


شكل -12

مخطط القاطع الهيدرومغناطيسي .

4.2.5 القواطع الهيدرومغناطيسية Hydro-Magnetic breakers.

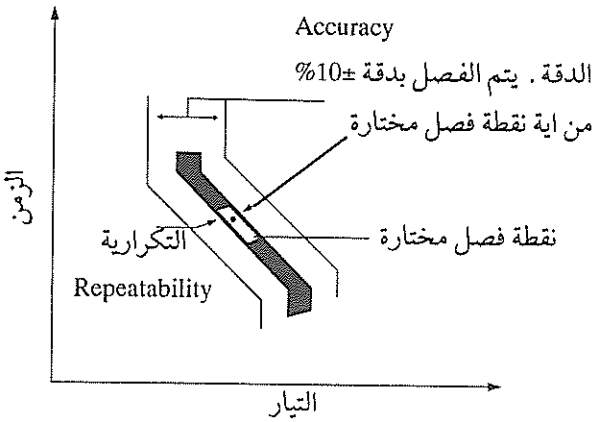
يبين شكل -11 مخطط هذا القاطع ، ويتضمن ملفاً لولبيا ملفوفا حول اسطوانة معزولة ومن مادة غير مغناطيسية . وتتضمن الاسطوانة قلبا حديدياً يؤثر عليه زمبرك وسائل السيلكون . فعندما تسرى تيارات أقل من القيمة المقررة لاتحدث أية حركة للحافظة أو للقلب الحديدي ، ولكن عند حدوث تيار مفرط ، يسبب ذلك حركة القلب الحديدي داخل الاسطوانة ، وعندما يصل القلب الحديدي إلى طرف الاسطوانة تنجذب الحافظة إلية مسببةإعتاق القاطع الآلي كما في شكل -13 .

قصر الدارة	تيار حمل زائد	تيار حمل عادي
التيار التشغيلي اللحظي	التيار التشغيلي الأدنى	التيار المقرر
تشغيل لحظي	تشغيل بتأخير زمني	لا يعمل
		
عندما يسري تيار عال يعمل النبض المغناطيسي الموجود في الملف اللولبي على إعتاق القاطع مباشرة قبل وصول الغاطس لنهاية الشوط .	عندما يزيد تيار الحمل على التيار المقرر تتغلب قوة شد الغاطس على قوة الزمبرك فيتحرك الغاطس إلى اليسار وتكون خاصية هذه الحركة عكسية مع الزمن بالنسبة إلى مقدار التيار .	عندما يكون التيار أقل من التيار المقرر لا يتحرك الغاطس لأن قوة الشد أقل من قوة الزمبرك .

شكل -13

5.2.5. القواطع الالكترونية

القواطع الالكترونية هي قواطع دارة مقولبة مزودة بوحدة إعتاق الكترونية Electronic trip unit . تم تصنيع أول قاطع مزود بوحدة إعتاق الكترونية في عام 1973 من شركة وستنجهاوس تحت اسم سلترونيك Seltronic ، وبعدها توالت الشركات في تصنيع مثل هذه القواطع . لقد حدث تطور كبير في هذا المجال بسبب التطور السريع والشامل في مجال المكونات الالكترونية وإنعكس هذا على مميزات هذا القاطع واداءه . يتميز هذا القاطع بان منحنى الاعتاق له يمكن ضبطه وتعديله في مجال واسع في المحورين الافقي والعامودي ويبين شكل -14 منحنى الاعتاق النمطي لهذا



شكل -14
منحنى الإعتاق النمطي للقاطع الالكتروني .

القاطع . ولابد أن نشير إلى أن وحدة الاعتاق الالكترونية تتضمن محولات تيار بداخلها والتي بواسطتها يتم استشعار تيارات الحمل في الاطوار الثلاثة ، حيث يستخدم محول واحد في كل طور لخفض التيار إلى قيمة ملائمة للدخول على لوحة مطبوعة تتضمن العناصر الالكترونية حيث تقاس الاشارة الخارجة منها بالميلي أمبير ، ويغذي التيار الخارج وحدة استشعار مقدار تيار الحمل الاقصى ، حيث يتم تقويم هذه التيارات وتنعيمها وتشغيل دارات تأخير الزمن فيها .

وعند سريان تيارات مفرطة تزيد قيمتها على تيار الحمل تتم تغذية ملف الاعتاق بواسطة دارة قدح تتضمن ثايرستورا حتى تتمكن آلية الوصل/ الفصل من العمل وقطع التيار .

3.5 تأثير الظروف الخارجية على تعبير القاطع

تتأثر القواطع الآلية بالظروف الخارجية مثل درجة الحرارة والرطوبة ، حيث لابد من أخذ هذين العاملين بعين الاعتبار عند تعيير القاطع .

عادة ، يتم تعيير قواطع الدارات منخفضة القولطية لتعمل في درجة حرارة معيارية ، فإذا إختلفت درجة الحرارة فلابد من إعادة التعيير أو استخدام ما يسمى باعادة حساب التيار المقرر Derating .

ففي درجات الحرارة المنخفضة جدا فان عمليات الفصل والوصل في القاطع تتأثر كثيرا بسبب تجمد التكثيف Condensation داخل القاطع وكذلك بسبب تداخل ميكانيكيات عمل القاطع نتيجة لتغير الابعاد الفيزيائية لمكوناته ، إضافة إلى إمكانية تغير خصائص المواد المصنع منها . ففي درجة حرارة منخفضة جداً فان بعض المواد تصبح متقسفه britteness ما في درجات الحرارة العالية فان المقاومة الكهربائية للمواد تتغير ويمكن لبعضها أن ينصهر .

إن مدى درجات الحرارة الخارجية التشغيلية المعيارية Standard operating ambient temperature range لقواطع الدارة المقولبة والقواطع ذات الغلاف المعزول هو من - 5إلى +40 درجة مؤية ، ونفس المدى ينطبق على قواطع القدرة LVPCB الا أن المواصفة IEEE std C37.201-1993 تسمح بان يكون الهواء المحيط بمكعبات الابدال Switchgear بحرارة تتراوح من -30 إلى +40 درجة مؤية .

إذا تم تركيب قاطع الدارة في وسط درجة حرارته تختلف عن درجات الحرارة ضمن مدى التشغيل المعياري فلابد من تخفيض Derating المقررات الامبيرية للقاطع . ويمكن استخدام المعادلة التالية لحساب تخفيض التيار المقرر لقواطع القدرة LVPCB وللقواطع ذات الغلاف المعزول ICCB :

$$I_a = I_r \frac{\left(Q_{max} - Q_a\right)^{1/1.8}}{Q_a}$$

حيث ان :

I_a- تيار القاطع بعد التخفيض (لا يجب أن يزيد باي حال عن ضعف التيار I_r) .

I_r- التيار المقرر للقاطع .

Q_{max}- أقص درجة حرارة مسموح بها وتساوي Hottest Spot Temperature Q_r+40 .

Q_a- درجة الحرارة الخارجية الفعلية المتوقعة .

Q_r- أقص درجة حرارة مسموح بها للتيار المقرر للقاطع .

وبالنسبة لقواطع الدارة المقولبة فيحبذ الرجوع إلى الجداول الخاصة بالتخفيض والصادرة عن الجهة الصانعة بسبب اختلاف تصنيع ثنائي المعدن لاغراض الحماية من الحمل المفرط . ويكمن استخدام المعادلة التالية لحساب قيمة التيار التقريبي الذي يناسب درجة الحرارة المعنية :

$$I_2 = I_1 \sqrt{(T_2 - A_2) / (T_1 - A_1)}$$

حيث أن :

T_1- درجة حرار عنصر ثنائي المعدن ، أو درجة حرارة الطرف الكلية لقواطع الدارة الالكترونية والتي تناظر التيار المقرر I_1 بالامبير للقاطع عند درجة خارجية مقررة مقدارها A_1 درجة مؤية .

T_2- درجة الحرار التي يُفترض أنها تساوي تقريبا درجة الحرارة T_1 والتي لا تتأثر كثيرا بالفرق في درجات الحرارة الخارجية (درجة حرارة الوسط المحيط) .

A_2 - درجة حرارة الوسط المحيط المطلوب حساب تيار القاطع عندها .

I_2 - تيار القاطع عند درجة حرارة الوسط المحيط والتي تساوي A_2 درجة مؤية .

ولابد أن نشير إلى أن المواد التي يُصنع منها قاطع الدارة هي التي تُحدد بشكل رئيسي الحد الأقص لدرجة الحرارة المسموح بها وبالتالي مدى تخفيض المقرر الأمبيري للقاطع .

1.3.5 تأثير الرطوبة

يعتمد تأثير الرطوبة على أي قاطع على درجة الحرارة . وتحدد نشرة NEMA AB 1-1993 حد التشغيل للرطوبة النسبية في الهواء النظيف بحيث لا تزيد هذه الرطوبة على 50% تحت درجة حرارة عظمى تساوي 40 درجة مؤية . ويمكن للرطوبة ان ترتفع إلى حوالي 90% إذا انخفضت درجة الحرارة إلي حوالي 20 درجة مؤية . ويزداد تأثير الرطوبة على القاطع إذا وجدت ملوثات مذابة في هذه الرطوبة داخل القاطع . وعند تركيب القاطع في مكان يحتمل أن يحدث تكثيف للرطوبة داخل القاطع فلابد من تركيب عنصر تسخين كهربائي Heater داخل القاطع .

2.3.5 تأثير الارتفاع على القاطع

عندما يزداد الارتفاع فان الضغط الجوي وكثافة الهواء تقل . إن تخفيض العازلية وخصائص إنتقال الحرارة في الهواء قليل الكثافة تتطلب تخفيض المقرر الامبيري للقاطع حيث أن الفولطية المقاومة Withstand voltage والقدرة التمريرية للقاطع تعتمد على الارتفاع بافتراض ثبات درجة الحرارة . ويحبذ الاسترشاد بتوصيات الصانع عند تركيب القاطع على إرتفاعات كبيرة ، وفي غياب المعلومات المتوفرة يمكن استخدام جدول -1 .

جدول(1)

عوامل التصحيح للارتفاعات المختلفة

الارتفاع ، متر	عامل التصحيح للتيار	عامل التصحيح للفولطية
2000 متر وأقل	1.00	1.00
2600	0.99	0.95
3900	0.96	0.80

4.5 منحنيات المزق لقواطع الدارة.

يبين شكل -15 المنحنى الحراري المغناطيسي Thermal magnetic curve لقاطع الدارة المقولب. في الشكل السابق فان المحور الافقي يشير إلى التيار بالامبير، بينما يشير المحور العمودي إلى الزمن بالثانية، ولذلك يطلق على هذا المنحنى منحنى التيار- الزمن أو منحنى المزق Interrupting curve وعند استخدام مثل هذه القواطع فلا بد أن نأخذ الاعتبارات التالية على المنحنى:

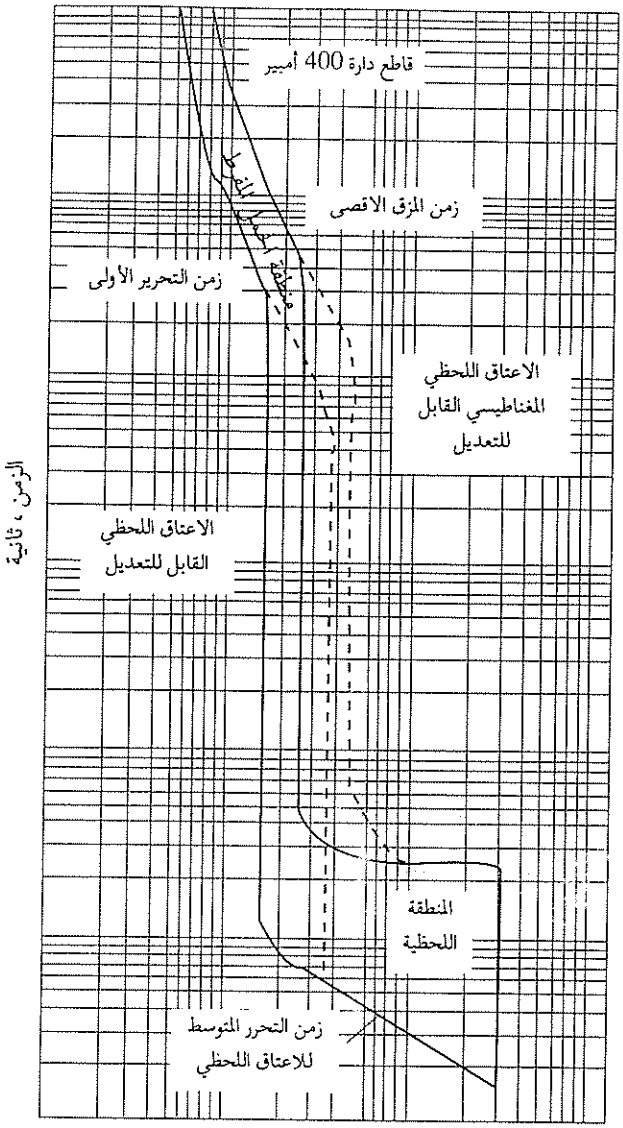
أ) منطقة الحمل المفرط Overload region.

ب) المنطقة اللحظية Instantaneous region.

ج) زمن الاعتاق Unlatching time.

د) مقرر المزق Interrupting rating.

وسنستعرض المميزات السابقة بالتفصيل.



شكل -15

منحنى التيار- الزمن لقاطع الدارة

أ) منطقة الحمل المفرط Overload region : يتم فتح ملامسات قاطع الدارة في منطقة الحمل المفرط باستخدام عنصر حراري ، بينما يستخدم ملف مغناطيسي في قواطع دارة القدرة Power breaker ، أما في القواطع التي لها وحدة فصل الكترونية فيتم استخدام محول تيار Current transformer . وكما نلاحظ من الشكل فان منطقة الحمل المفرط لها نطاق سماح Tolerance band واسع بحيث تفتح ملامسات القاطع للحمل المفرط المطلوب ضمن هذه المنطقة .

ب) المنطقة اللحظية Instantaneous region : تبين هذه المنطقة مَضاعف Multiple مقرر الحمل الكلي التي تفتح عندها ملامسات القاطع بأقصى سرعة ممكنة . ويبين الشكل السابق المنطقة اللحظية التي يمكن تعديلها من 5 إلى 10 أضعاف مقرر القاطع . وعندما يشعر القاطع بالتيار المفرط في المنطقة اللحظية فانه يحرر المزلاج latch الذي يُبقي الملامسات مغلقة .

أما زمن الاعتاق فيبينه المنحنى باسم «زمن الاعتاق المتوسط في المنطقة اللحظية» وبعد الاعتاق ، فان التيار المفرط يتلاشى فقط عندما تتباعد ملامسات القاطع وينطفئ القوس .

ج) زمن الاعتاق Unlatching time : يبين زمن الاعتاق النقطة التي يشعر فيها القاطع بالتيار المفرط في المنطقة اللحظية والتي عندها يُحرر القاطع المزلاج الذي يتحكم بالملامسات ، ومع ذلك فان تيار العطل سوف يستمر في السريان في الدارة والقاطع إلى نقطة العطل حتى تتباعد ملامسات القاطع وبالتالي ينطفئ القوس .

إن التأخير الزمني الطويل نسبيا بين الاعتاق وفرق تيار الحمل المفرط الفعلي في المنطقة اللحظية يعتبر أحد الاسباب الرئيسية في صعوبة التنسيق بين قواطع الدارة المقولبة .

د) مقرر المزق Interrupting rating : يُعّرف مقرر المزق لقاطع الدارة بانه تيار العطل الاقصى الذي تم فحص وإختبار القاطع لمزقه بالتوافق مع قياسيات مختبر

الفحص. إن تيارات العطل التي تفوق مقرر المزق للقاطع تؤدي إلى تدمير القاطع، أي يفقد القاطع ميزته الرئيسية كعنصر حماية. وعادة، يتم معرفة مقرر المزق للقاطع من الجهة الصانعة ويُرسم على منحنى التيار- الزمن للقاطع كخط عامودي من نقطة على المحور الافقي تساوي مقرر المزق للقاطع.

5.5 كيفية اختيار قاطع الدارة

يتم إختيار قاطع الدارة لاغراض الحماية باستخدم ما يلي:

أ) ڤولطية الدارة.

ب) التيار المقرر للحمل.

ج) قدرة المزق للقاطع.

وقبل أن نشرح كيفية إختيار قاطع الدارة سنستعرض بعض التعاريف المهمة.

تيار الحمل الأقصى I_b Maximum load current.

ويُحسب هذا التيار للدارة الفرعية باستخدام الحمل المقرر الذي تغذية هذه الدارة، ويساوي للدارة أحادية الطور ما يلي:

$$I_b = \frac{KVA \times 1000}{V_{ph}}$$

وللدراة ثلاثية الطور فانه يساوي ما يلي:

$$I_b = \frac{KVA \times 1000}{\sqrt{3}\, V_{L\text{-}L}}$$

حيث ان.

V_{ph} – ڤولطية الطور للدارة بالڤولط.

$V_{L\text{-}L}$ – الڤولطية بين الاطوار بالڤولط.

أما إذا كان الحمل الذي تغذيه الدارة محركا فلابد أن نأخذ بعين الاعتبار تيار الاقلاع Starting current للمحرك .

ويتناسب تيار الحمل الاقصى للدارة التي تُغذي مجموعة دارات فرعية أو مجموعة أحمال مع الاحمال بالكيلوڤولط . أمبير والتي يتم تغذيتها مع الأخذ بعين الاعتبار عامل الطلب Demand factor وعامل التشتت Diversity factor فمثلا ، إذا كان لدينا دارات فرعية تيار الحمل الأقصى لكل منها يساوي على التوالي : 80 ,120 ,100 وحاصل ضرب عامل الطلب وعامل التشتت يساوي 0.70 ، فان تيار الحمل الاقصى للمغذي الذي يُغذي لوحة التوزيع لهذه الدارات يساوي :

$$I_b = (100+120+80) \times 0.70 = 210 \text{ A}$$

التيار الاقصى المسموح به I_Z Maximum permissible current .

وهو قيمة التيار القصوى التي يستطيع الكابل تمريرها لفترة طويلة دون أن تؤثر على تقليل العمر التشغيلي للكابل . وتعتمد قيمة هذا التيار لمقطع كابل محدد على مجموعة عوامل منها : المادة الموصلة المصنوع منها الكابل ، نوع العازلية ، طريقة تمديد الكابل ، درجة الحرارة الخارجية ، تأثير وجود كوابل مجاورة .

وبمعرفة تيار الحمل الاقصى والتيار الأقصى المسموح به يمكننا إختيار وحساب الدارة المعنية .

أما القاعدة العامة المتبعة في إختيار قاطع الدارة أو المصهر فهي :

أ)أن يكون التيار الاسمي Nominal curent أو تيار المعايرة Setting current (I_n) أكبر من تيار الحمل الاقصى I_B ولكن أقل من التيار الاقصى المسموح به I_z .

أي أن :

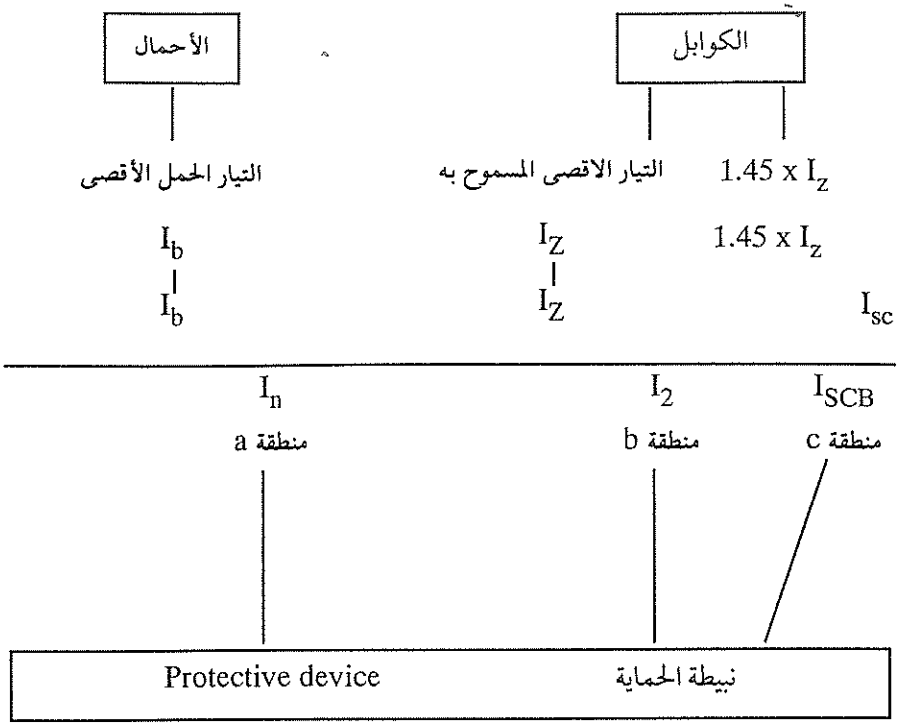
$$I_b \leq I_n \leq I_z .$$

ب) أن يكون تيار الفصل للمعايرة التقليدية I_2 Tripping current conventional setting أقل من $1.45\ I_z$ ، أي أن :

$$I_2 \leq I_n\ 1.45\ I_z .$$

يتراوح زمن الفصل للمعايرة الاصيلة من ساعة واحدة إلى ساعتين حسب المواصفات المحلية والقيم الحقيقية المختارة للتيار I_2 .

ويبين شكل -16 رسما تخطيطيا لكيفية إختيار نبائط الحماية .



شكل -16

كما ذكرنا سابقا ، فان قاطع الدارة هو نبيطة حماية من الحمل المفرط Overload ومن تيار قصر الدارة ، لذلك سنستعرض كيفية إختيار قواطع الدارات لتحقيق الحماية المطلوبة .

1.5.5 حماية الكوابل من الحمل المفرط

تتطلب القياسية IEC 364-4-43 التحقق من الشرطين التاليين :

$$I_b \leq I_n \leq I_z$$

$$I_2 \leq I_n \; 1.45 \; I_z$$

إن ذلك يعني :

– أن يكون التيار المقرر I_n لنبيطة الحماية أكبر أو مساويا لتيار الحمل I_b المار في

الكابل وذلك لتلافي عملية فصل القاطع أثناء الخدمة العادية (ظروف التشغيل الطبيعية Normal Conditions).

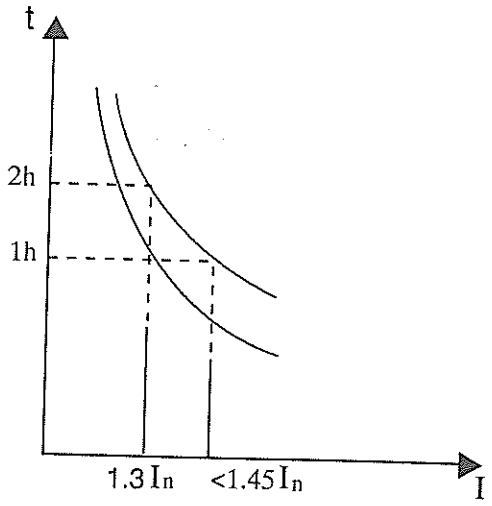
- أن يكون التيار المقرر I_n لنبيطة الحماية أقل أو مساويا للسعة الامبيرية للكابل.

- عندما يحدث حمل مفرط للكابل مساويا إلى45% من السعة الامبيرية للكابل ($1.45I_z$) فيجب أن تقوم نبيطة الحماية بفصل التغذية الكهربائية لتلافي تدمير التركيبات الكهربائية بسبب الحرارة الزائدة الناتجة عن ذلك الحمل المفرط.

إن عملية إختيار نبيطة الحماية وتنسيقها مع الكابل تتم كما يلي:

أ) يتم حساب السعة التمريرية للكابل مع الأخذ بعين الاعتبار طريقة تمديد الكابل وعوامل التصحيح المختلفة.

ب) بعد ذلك يتم إختيار قاطع الدارة حسب مواصفات IEC 947-2 حيث يتم تثبيت تيار الفصل للقاطع I_2 على قيمة تكون دائما أقل من $1.45\ I_z$. و في الحقيقة، فان المواصفات تنص على أن زمن الفصل يجب ان لا يتعدى ساعتين عند حدوث حمل زائد يساوي $1.3\ I_n$ كما يبين ذلك شكل -17.



شكل -16

2.5.5 حماية الكوابل من قصر الدارة

إن المتطلبات المتعلقة بان القاطع يجب أن يفصل تيار قصر الدارة المتوقع في النقطة التي يتم تركيبه فيها غير كافية لضمان حماية الكابل من درجات الحرارة العالية غير المقبولة. لذلك، لابد من تحقيق الشرط التالي الذي تنص عليه مواصفات اللجنة الكهروتقنية الدولية IEC 364-4-43 وهو:

$$I^2 t \leq K^2 S^2 .$$

حيث ان:

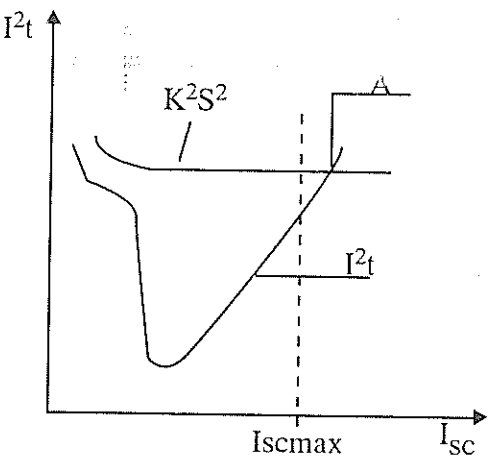
I^2t- الطاقة النوعية المنطلقة أثناء فترة حدوث قصر الدارة، أمبير تربيع ثانية.

t- فترة قصر الدارة ولغاية 5 ثواني.

S- مساحة مقطع الكابل، مم^2.

K- عامل يتم تحديده حسب نوع الموصل والعازلية. (انظر قيم K في الجداول الواردة في الفصل الرابع).

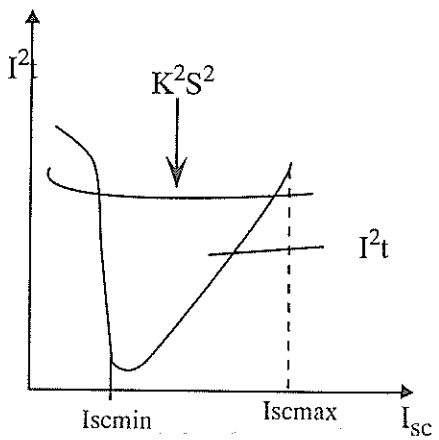
إن ذلك يعني أن الطاقة النوعية المنطلقة خلال نبيطة الحماية يجب أن لا تزيد على القيمة العظمى المسموح بها للكابل الذي تحميه هذه البنيطة.



شكل -18

ويبين شكل -18 منحنى $K^2 S^2$ للكابل وكذلك منحنى I^2t للقاطع (الطاقة النوعية المنطلقة) وبما أن الكابل محمي بقاطع دارة مزود بنبيطة واحدة للحماية من الحمل الزائد وكذلك للحماية من قصر الدارة، وكما يبين شكل -18 يكفي لتحقيق الحماية أن لا تقع النقطة A إلى يسار الخط العمودي الذي يمثل تيار قصر الدارة الاقصى.

أما إذا كان القاطع مزوداً بنبيطة واحدة للحماية من قصر الدارة فقط فلا بد أن نتحقق من المنطقة الواقعة بين قيم تيار قصر الدارة القصوى والدنيا، حيث أن الكابل خارج هذه المنطقة يكون غير محميا كما في شكل -19.



شكل -19

3.5.5 تحديد تيار قصر الدارة الأدنى على إمتداد الكابل.

عند حماية الكابل بقاطع مزود بنبيطة حماية من قصر الدارة فلابد من حساب قيمة تيار قصر الدارة الأدنى على إمتداد الكابل وذلك للتحقق من صحة توقيت عمل نبيطة الاعتاق في جهاز الحماية. وعند إجراء هذا الحساب نعتبر أن مقاومة العطل صغيرة يمكن إهمالها وإن ممانعة الكابل هي السائدة بين جميع ممانعات عناصر الدارة.

ويمكن استخدام المعادلة التقريبية التالية لمغذي أحادي الطور منفذ بكابل نحاسي:

$$I_{sc} = \frac{15x\ V\ x\ S}{L}$$

حيث أن :

I_{sc}- تيار قصر الدارة في الأمبير.

V- ڤولطية الكابل بالڤولط.

S- مساحة مقطع الكابل بالميللي متر.

L- طول الكابل بالمتر.

وللدارات ثلاثية الاطوار ولحساب تيار قصر الدارة الأدنى فسنعتبر ايضا أن نوع قصر الدارة هو قصر دارة طور واحد، وفي هذه الحالة فان الڤولطية هي :

- إعتبار الڤولطية مساوية للڤولطية الخطية عند عدم وجود حيادي.
- إعتبار الڤولطية مساوية لڤولطية الطور عند عدم وجود حيادي.

فإذا كانت مساحة مقطع الحيادي تساوي نصف مساحة مقطع الطور $\frac{S}{2}$ فان القيمة التي نحصل عليها من المعادلة السابقة يجب ضربها بمعامل يساوي (0.67) حتى نحصل على قمية تيار قصر الدارة الأدنى.

إن الهدف من هذا الحساب هو لتقليل الأثر الحراري لتيار قصر الدارة الذي يتعرض له الكابل، حيث يتحقق هذا الهدف بتحديد طول الكابل. فكلما زاد طول الكابل فان ممانعته تزيد وبالتالي يمكن أن تكون القيمة الدنيا لتيار قصر الدارة أقل من قيمة المعايرة الدنيا Minimum setting للقاطع وبالتالي فان القاطع لا يقدم الحماية اللازمة في هذه الحالة.

4.5.5 تحديد طول الكابل الأقصى والمحمي من قصر الدارة

إن تحديد قيمة تيار قصر الدارة الأدنى ومقارنتها مع قيمة المعايرة الدنيا للقاطع تعطينا الامكانية لحساب طول الكابل الأقصى والذي يكون محميا بنبيطة الحماية، وبالتالي فان زيادة طول الكابل عن هذا الحد الأقصى تشكل خطورة حيث أن نبيطة الحماية لا تعمل على فصل التغذية الكهربائية عند حدوث قصر الدارة.

يمكن حساب الطول الأقصى للكابل كما يلي :

$$L_{max} = \frac{15x\ V\ x\ S}{1.2\ I_{scmin}}$$

حيث أن :

L_{max} – الطول الأقصى للكابل المحمي بالمتر.

I_{scmin} – القيمة الدنيا للتيار المفرط بالامبير أو ببساطة قيمة الاعتاق المغناطيسي Magnetic trip value للقاطع.

S– مساحة مقطع الكابل بالميللي متر.

V– فولطية النظام بالفولط.

1.2– وتساوي 20% وهي قيمة التفاوت المسموح به Tolerance حسب المواصفات بالنسبة للاعتاق المغناطيسي.

والمعادلة السابقة صحيحة للكوابل أحادية الطور المصنوعة من النحاس والتي لا يزيد مقطعها على 95مم^2 . إن المعادلة السابقة لا تأخذ بعين الاعتبار مراكسة Reactance الكوابل التي يزيد مقطعها على 95مم^2 وبالتالي ينتج عن ذلك خطأ في الحساب.

ولأخذ المراكسة بعين الاعتبار فيحبذ أخذ معاملات التخفيض Reduction Factors التالية :

–0.9 للكوابل التي مقطعها يساوي 120مم^2.

–0.85 للكوابل التي مقطعها يساوي 150مم^2.

–0.80 للكوابل التي مقطعها يساوي 185مم2.

–0.75 للكوابل التي مقطعها يساوي 240مم^2.

ولحساب الكوابل ثلاثية الاطوار فسنعتبر نوع قصر الدارة هو قصر دارة أحادية مع الاخذ بعين الاعتبار القيم التالية للفولطية :

– الفولطية الخطية في حالة عدم وجود حيادي.

– فولطية الطور في حالة وجود حيادي.

وفي حالة كون مقطع الحيادي يساوي نصف مقطع الطور فان الطول الناتج من المعادلة السابقة يجب تقليلة بنسبة 0.67 .

أما إذا كانت الفولطية الخطية بين الاطوار تختلف عن 380 فولط ، فان طول الكابل الناتج عن استخدام المعادلة السابقة يجب أن يضرب بقيمة المعامل K_1 كما في الجدول التالي :

جدول (2)

قيم المعامل K_1

V	220	400	415	440	480	500	660
K_1	0.58	1.05	1.11	1.16	1.26	1.31	1.73

وفي حالة وجود عدد n من الكوابل متساوية المقطع والمتصلة على التوازي فيجب ضرب ناتج الحساب بمعامل K_2 من الجدول التالي :

جدول (3)

قيم المعامل K_2

عدد الكوابل	2	3	4	5	6
K_2	2	2.65	3	3.2	3.33

وبالنسبة لكوابل الالومنيوم فيجب استخدام معامل K_3 والذي يساوي 0.62 . ولابد أن نؤكد ثانية أن اسلوب الحساب السابق والتحقق من طول الكابل يلزم في حالة كون الكابل محميا بنبيطة حماية مزودة باعتاق مغناطيسي فقط . أما إذا كانت نبيطة الحماية مزودة بإعتاق حراري وإعتاق مغناطيسي ، بمعني أن نبيطة الحماية تحمي الكابل في حالة الحمل المفرط وحالة قصر الدارة فلا داعي لمثل هذه الحسابات لان النبيطة تقدم الحماية للكابل في كل الحالات ولا يلزم بالتالي تدقيق طول الكابل والتحقق من أن الكابل محمي .

مثال :

إحسب طول الكابل الأقصى المحمي باستخدام نبيطة حماية مزودة بإعتاق مغناطيسي إذا كانت المعلومات المتعلقة بالكابل كما يلي :

- يوجد حيادي .

-ڤولطية الكابل الخطية تساوي 400 ڤولط .

- مساحة مقطع الكابل 50 مم^2 .

- مساحة مقطع الحيادي تساوي مساحة مقطع الكابل ، قيمة الاعتاق المغناطيسي 1000 أمبير .

الحل :

نحسب الطول الأقصى باستخدام المعادلة التالية :

$$L = \frac{15 \times V \times S}{1.2 \times I_{scmin}}$$

في هذه الحالة فان القيمة الدنيا لتيار قصر الدارة يساوي الاعتاق المغناطيسي .

$$L = \frac{15 \times \frac{400}{\sqrt{3}} \times 50}{1.2 \times 1000} = 144 \text{ m}$$

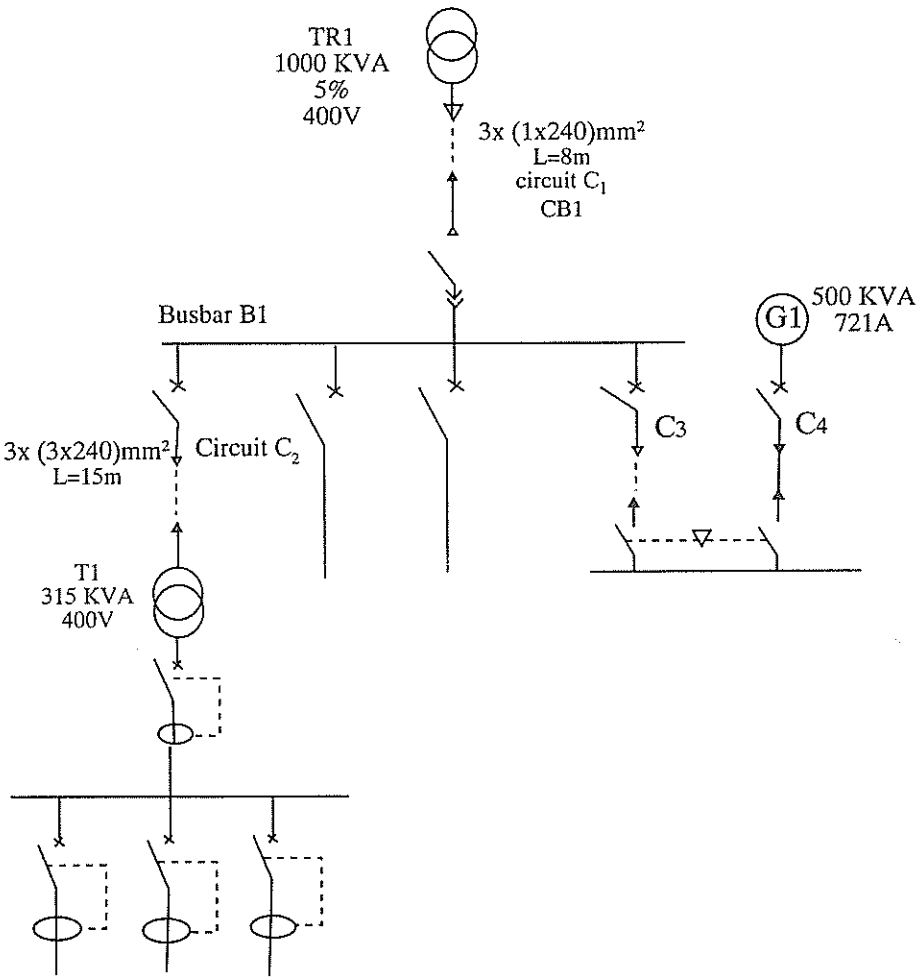
وبما أن الڤولطية الخطية تساوي 400 ڤولط ، فلابد من استخدام المعامل K_1 من جدول -2 ويساوي 1.05 .

$$L_{max} = 144 \times 1.52 = 151 \text{ m.}$$

مثال عملي محلول :

مصنع يتم تزويده بالطاقة الكهربائية من الشبكة من خلال محول بقدرة 1000 ك ، ف . أ. هناك جزءان في المصنع ، الجزء الأول يتكون من العمليات الانتاجية التي تتطلب إستمرارية في الطاقة الكهربائية ولذلك فهناك مولد إحتياطي بقدرة 500 ك .

ف . أ. وفولطية 400 فولت ، و شبكة هذا الجزء عبارة عن ثلاثة اطوار ونظام التأريض فيها هو نظام IT ، اما الجزء الثاني فمفصول عن الجزء الأول باستخدام محول بقدرة 315 ك . ف . أ. وبفولطية 400/400 ونظام التأريض فيه TT والشبكة الكهربائية عبارة عن ثلاثة أطوار وحيادي . ويبين شكل -20 رسما تخطيطيا لهذه الشبكة .



شكل -20

الحل:

حساب الدارة رقم C1 والتي تحتوي على المحول الرئيسي.

البيانات المعطاة: قدرة المحول S_T= 1000 KVA.

فولطية قصر الدارة للمحول Z% = 5%.

فولطية اللاحمل للملف الثانوي V_{2NL} = 420V.

طول الكابل L= 8m والكابل XLPE ومنفذ على صينية كوابل Tray.

تيار الملف الثانوي المقرر I_{2T} للمحول يساوي:

$$I_{2T} = \frac{S_T}{\sqrt{3}\ V_{2NL}} = \frac{1000}{\sqrt{3}\ x\ 0.42} = 1374\ A$$

وهذا التيار يساوي تيار الحمل الأقصى I_b للدارة، أي أن:

$$I_b = I_{sT}$$

والآن سنحسب مساحة مقطع الكابل المطلوب. سنستخدم كوابل أحادية القلب منفذة على صينية كوابل مثقبة. سنستخدم جداول شركة GS الواردة في الفصل الثاني. نجد من جدول -13 الحرف الكودي المرجعي لطريقة التمديد السابقة وهو حرف F. يساوي عامل التصحيح الكلي للكوابل غير المدفونة في الأرض ما يلي:

$$K = K_1\ K_2\ K_3$$

حيث أن:

K_1- عامل تصحيح يأخذ بالاعتبار طريقة التمديد. من جدول -14 نجد ان:

$$K_1 = 1.0$$

K_2- عامل تصحيح يأخذ بالاعتبار التمديدات المتجاورة. من جدول -15 فان:

$$K_2 = 0.82$$

على فرض اننا استخدمنا ثلاثة كوابل أحادية القلب متجاورة.

K_3 - عامل تصحيح يأخذ بعين الاعتبار تأثير درجة الحرارة الخارجية. من جدول -16 فان:

$K_3 = 1.0$

على فرض أن درجة الحرارة الخارجية تساوي 30 درجة مؤية .

$K = 1.0 \times 0.82 \times 1.0 = 0.82$

من هنا ، فان التيار الذي يجب أن يتحمله الكابل يساوي :

$$I_Z = \frac{I_b}{n} \cdot \frac{1}{K}$$

حيث ان :

n– عدد الكوابل على التوازي .

$$I_Z = \frac{1374}{3} \cdot \frac{1}{0.82} = 559 \text{ A.}$$

من جدول -17 نجد أن السعة التمريرية لكابل أحادي القلب منفذ بطريقة التمديد F تساوي 599 أمبيرا لمساحة مقطع 240 مم^2 .

نختار قاطع دارة من النوع المسحوب Draw aut ، أما مقرر هذا القاطع فيجب أن يحقق ما يلي :

$$I_b < I_n < I_z$$

أي أن :

$$1374 < I_n < 559 \times 3 = 1677$$

من هنا فان مقرر القاطع للحماية هو 1600 أمبيرا ، والحجم الاطاري هو 1600 أمبيرا . نحسب الآن المقاومة الفعالة لمجموع الكوابل على التوازي :

$$R = \frac{22.5 \times L}{240} \cdot \frac{1}{n} = \frac{22.5 \times 8}{240} \frac{1}{3} = 0.25 \text{ m}\Omega \text{ /phase}$$

من الجداول الخاصة بصانع الكوابل نجد أن مراكسة هذا الكابل تساوي 0.12 ميللي. اوم للمتر الطولي . المراكسة المكافئة لمجموع الكوابل على التوازي :

$$X = \frac{0.12 \times 8}{3} . = 0.32 \text{ m}\Omega \text{ /phase}$$

نحسب الآن الدارة C2 .

$$I_{2T} = \frac{315}{\sqrt{3} \times 0.42} = 433 \text{ A}$$

$$I_B = 433 \text{ A}$$

سنستخدم كابل متعدد القلوبXLPE منفذ على صينية كوابل ومتجاور مع كابلين آخرين على نفس الصينية ودرجة الحرارة الخارجية 30 درجة مؤية .

طريقة التنفيذ لها حرف كودي مرجعي هو E ، أما معاملات التصحيح فهي :

$$K_1 = 1.0$$

$$K_2 = 0.82$$

$$K_3 = 1.0$$

$$K = K_1 K_2 K_3 = 1.0 \times 0.82 \times 1.0 = 0.82$$

$$I_Z = \frac{433}{1} \frac{1}{0.82} = 528 \text{ A.}$$

من هنا فان مساحة مقطع الكابل هو 240 مم^2

مقرر القاطع =500 أمبير (الحجم الاطاري 630 أمبيراً)

$$433 < I_n < 528$$

$$R = \frac{22.5 \times 15}{240} = 1.4 \text{ m}\Omega \text{ /phase}$$

$$X = \frac{0.08 \times 15}{240} = 1.2 \text{ m}\Omega \text{ /phase}$$

حساب تيارات قصر الدارة .

مستوى قصر الدارة Short circuit level لشبكة الفولطية المتوسطة التي يتصل بها المحول TR1 =500 ميجا فولط أمبير.

نحسب الآن ممانعة شبكة الفولطية المتوسطة.

$$Z_s = \frac{V_0^2}{S_{sc}}$$

حيث ان

V_o – فولطية اللاحمل الخطية لملف الفولطية المنخفضة للمحول بالفولط.

S_{sc} – مستوى قصر الدارة بالكليوفولط أمبير.

$$Z_s = \frac{(420)^2}{500 \times 10^3} = 0.353\ m\Omega$$

$$X_s = Z_s = 0.353\ m\Omega$$

$$R_s = 0.15\ X_s = 0.15\ X\ 0.353 = 0.053\ m\Omega$$

بالنسبة للمحول فان ممانعة قصر الدارة له Short circuit impedanee تساوي Z% = 5%.

اما الفقد في هذا المحول فيساوي:

P_{cu} =12500 Watts

$$Z_{Tr} = \frac{V_{2NL}^2}{S_T} \cdot \frac{Z\%}{100} = \frac{(420)^2}{1000} \times \frac{5}{100} = 8.82\ m\Omega$$

$$R_{Tr} = \frac{Pcu \times 10^3}{3\ I_{TR}^2}$$

$$I_{Tr} = \frac{S_T}{\sqrt{3}\ V_{2NL}} = \frac{1000}{\sqrt{3}\ X\ 420} = 1375\ A$$

$$R_{Tr} = \frac{12500\ X\ 10^3}{3\ X\ (1375)^2}\ \ 2.2\ m\Omega$$

$$X_{Tr} = \sqrt{Z_{Tr}^2 - R_{Tr}^2}\ \ \sqrt{8.8\ ^2_2 - 2.2\ ^2} = 8.54\ m\Omega$$

سنفرض أن طول القضيب العمومي B_1 يساوي 5 أمتار، فإذا إعتبرنا ان مراكسة المتر الطولي تساوي 0.15 ميللي أوم/ م، فان مراكسة القضيب العمومي تساوي :

$$X_{B1}= 5x0.15 = 0.75\ m\Omega$$

والآن سنلخص نتائج الحساب في جدول -4 .

جدول (4)

نتائج حساب ممانعات عناصر الشبكة للمثال المحلول .

Z	X	R	عنصر الشبكة
0.357	2.353	0.053	شبكة الڤولطية المتوسطة
8.82	8.54	2.2	المحول T_{R1}
0.41	0.32	0.25	الكابل C_2
	9.213	2.503	مجموع فرعي -1
	0.75	-	القضيب العمومي B1
	1.2	1.4	الكابل C_2
	11.163	3.903	مجموع فرعي -2

لاختيار سعة المزق لقاطع الدارة CB1 فلابد من حساب تيار قصر الدارة في نهاية هذا الكابل كما يلي :

$$I_{sc} = \frac{420}{\sqrt{3}\ \sqrt{2.503^2 + 9.213^2}} = 25.4\ KA$$

من هنا فان سعة المزق لقاطع الدارة CB1 يجب أن تكون أكبر من تيار قصر الدارة (25.4كيلو أمبير) .

ونحسب بنفس الطريقة تيار قصر الدارة لاختيار سعة المزق للقاطع CB2 .

$$I_{sc2} = \frac{420}{\sqrt{3}\ \sqrt{3.903^2 + 11.163^2}} = 20.5 \text{ KA.}$$

لذلك ، فان سعة المزق لقاطع الدارة CB2 يجب أن تكون أكبر من تيار قصر الدارة (20.5 كيلو أمبير) .

بالرجوع إلى الجداول الواردة في المواصفات البريطانية BS 7671 نجد أن :

$$\Delta \text{ V For 240 mm2} = 0.28 \text{ mV/A/m}\Omega$$

فقد الفولطية في الكابل C1 يساوي :

$$\Delta V = \frac{0.28 \text{ x } 1375 \text{ x } 8}{3} = 1027 \text{ mV} = 1.027 \text{ V}$$

$$\Delta V\% = \frac{1.027}{400} = \text{ X } 100\% = 0.26 \%$$

فقد الفولطية في الكابل C2 يساوي :

$$\Delta V = 0.28 \text{ x } 433 \text{ x } 15 = 1818.6 \text{ mV} = 1.8186 \text{ V}$$

$$\Delta V\% = \frac{1.8186}{400} = \text{ X } 100\% = 0.45 \%$$

حساب مقطع موصل الوقاية Protective Conductor

باستخدام جدول -7 الوارد في فصل التأريض نجد أن مساحة مقطع موصل الوقاية يساوي نصف مساحة موصل الطور ، بما أن مساحة مقطع موصل الطور يساوي 3x240مم2 ، فسنعتبر أن مساحة مقطع موصل الوقاية يساوي240مم2 . ومن الناحية الحرارية فاننا سنتستخدم المعادلة الادياباتية ، وهي :

$$S = \frac{I_{sc}\sqrt{t}}{K}$$

I_{sc} = 25.4 kA ; t = 0.1 sec ; K = 176 for Copper

$$S = \frac{25400\sqrt{0.1}}{176} = 45.6\ mm^2$$

لذلك فموصل الوقاية الذي مساحة مقطعة تساوي240مم^2 يستطيع أن يتحمل التأثيرات الحرارية الناتجة عن تيار قصر الدارة .

بالنسبة لموصل الوقاية في الدارةC2 ، فمساحة المقطع الأدنى تساوي :

$$S = \frac{20500\ X\sqrt{0.1}}{176} = 36.8\ mm^2$$

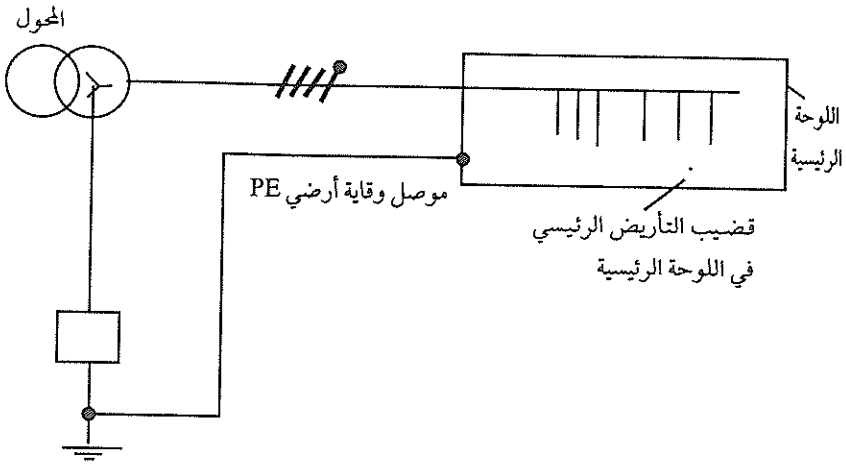
من هنا نجد أن مساحة مقطع موصل الوقاية لهذه الدارة يمكن أن يكون 70مم2 إذا تحققت شروط الحماية ضد التلامس غير المباشر .

والآن سندرس كيفية تحقيق الحماية ضد التلامس غير المباشر Indirect Contact .

ونُذكّر أن نظام التأريض المستخدم هو نظام IT ، بمعنى أن نقطة الحيادي للملف الفولطية المنخفضة للمحول TR1 إما لا تتصل بالأرض أو تتصل بالأرض من خلال ممانعة كبيرة (1-2kΩ) ، ولذلك فان خطر التلامس غير المباشر يحدث فقط في حالة حدوث قصرين للدارة مع الأرض على طورين مختلفين أو قصر طور مع الأرض وفي نفس الوقت قصر الحيادي مع الأرض . ففي هذه الحالة فان نبائط الحماية من التيار المفرط تقوم بفصل الدارات المعطوبة ، وفي بعض الحالات الخاصة عندما تكون مقاومة موصل الوقاية كبيرة فلابد من استخدام قواطع التسرب الأرضي Earth leakage Circuit breakers ELCB .

سنفترض أن فئة العازلية للدارة C1 هي الفئة الثانية Class2 insulation بمعنى أن عازليتها مضاعفة وليس هناك أجزاء حية غير مؤرضة مكشوفه . والمتطلب الوحيد

بالنسبة للتلامس غير المباشر يتعلق بخزان المحول . ويُستخدم موصل الوقاية 240م2 ليصل بين خزان المحول ومكهر التأريض مع قضيب التأريض الرئيسي الموجود في لوحة التوزيع الرئيسية كما يبين ذلك شكل -21.



شكل -21

وعادة ، يتم حماية كل موصلات الاطوار والحيادي الصاعدة Upstream بواسطة قاطع الدارة الرئيسي الذي يحمي اللوحة الرئيسية بواسطة حماية المحول الموجود في جهة الفولطية العالية . اما موصلات الوقاية التي تصل بين المحول وقضيب التأريض الرئيسي في اللوحة الرئيسية فتعتمد على الأمور التالية :

- قدرة المحول المقررة بالكيلوفوط . أمبير .
- زمن إبراء تيار العطل من قبل نبائط الحماية الموجودة في جهة الفولطية العالية من المحول .
- نوعية عازلية ومادة الموصل .

وفي حالة كون المحول محميا بواسطة مصهرات في جهة الفولطية العالية فيتم إختيار زمن ابراء تيار العطل مساويا إلى 0.2 ثانية .

ويبين جدول -5 مساحة مقطع موصل الوقاية الأرضي الواصل بين محول القولطية العالية/ المنخفضة ولوحة التوزيع الرئيسية Main general distribution board MGDB إعتماداً على قدرة المحول وزمن إبراء العطل.

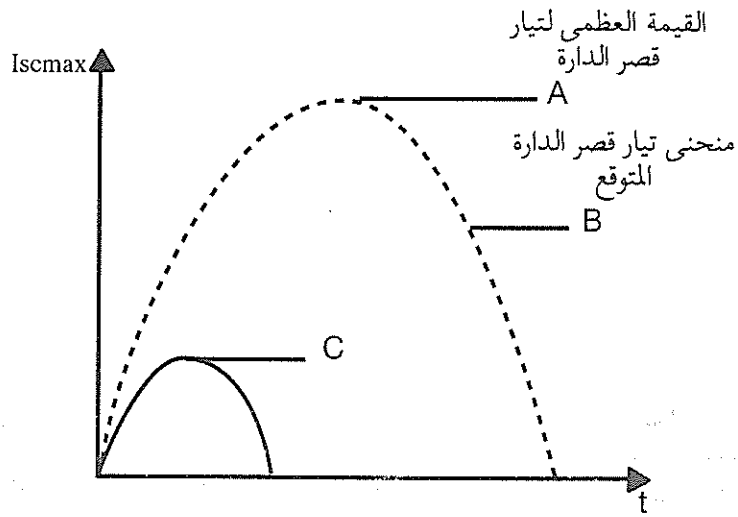
جدول (5)

مساحة مقطع موصل الوقاية الأرضي بين المحول واللوحة الرئيسية .

قدرة المحول ك.ف.أ		مادة الموصل	موصل مكشوف			موصل بعازلية PVC			موصل بعازلية XLPE		
قولطية الملف الثانوي			0.2	0.5	-	0.2	0.5	-	0.2	0.5	-
127/220	230/400	الومنيوم(زمن الإبراء)	-	0.2	0.5	-	0.2	0.5	-	0.2	0.5
أقل من 63	أقل من 100	مقطع موصل الوقاية الأرضي PE	25	25	25	25	25	25	25	25	25
100	160	موصلات SPE(م2)	25	25	35	25	25	50	25	25	35
125	200		25	35	50	25	35	50	25	25	50
160	250		25	35	70	35	50	70	25	35	50
200	315		35	50	70	35	50	95	35	50	70
250	400		50	70	95	50	70	95	35	50	95
315	500		50	95	120	70	95	120	50	70	95
400	630		70	95	120	70	95	150	70	95	120
500	800		70	120	120	95	120	185	70	95	150
630	1000		95	120	185	95	120	185	70	120	150
800	1250		95	120		120	150			120	185

6.5 قواطع تحديد التيار

كما ذكرنا سابقا فان قاطع الدارة يجب أن يتحمل مرور تيار قصر الدارة من خلاله (يتحمل التأثير الحراري والميكانيكي لتيار قصر الدارة) عند حدوث قصر في نقطة تقع بعد نقطة تركيب القاطع . ويُسمى هذا التيار بتيار قصر الدارة المتوقع أو المحتمل Prospective short circuit current . فاذا افترضنا أن قصر الدارة يحدث في اللحظة التي تكون فيها الفولطية مساوية للصفر، فان تيار قصر الدارة يكون متماثلا (وبعكس ذلك يكون التيار غير متماثل)، وهذا ما يبينه شكل -22.



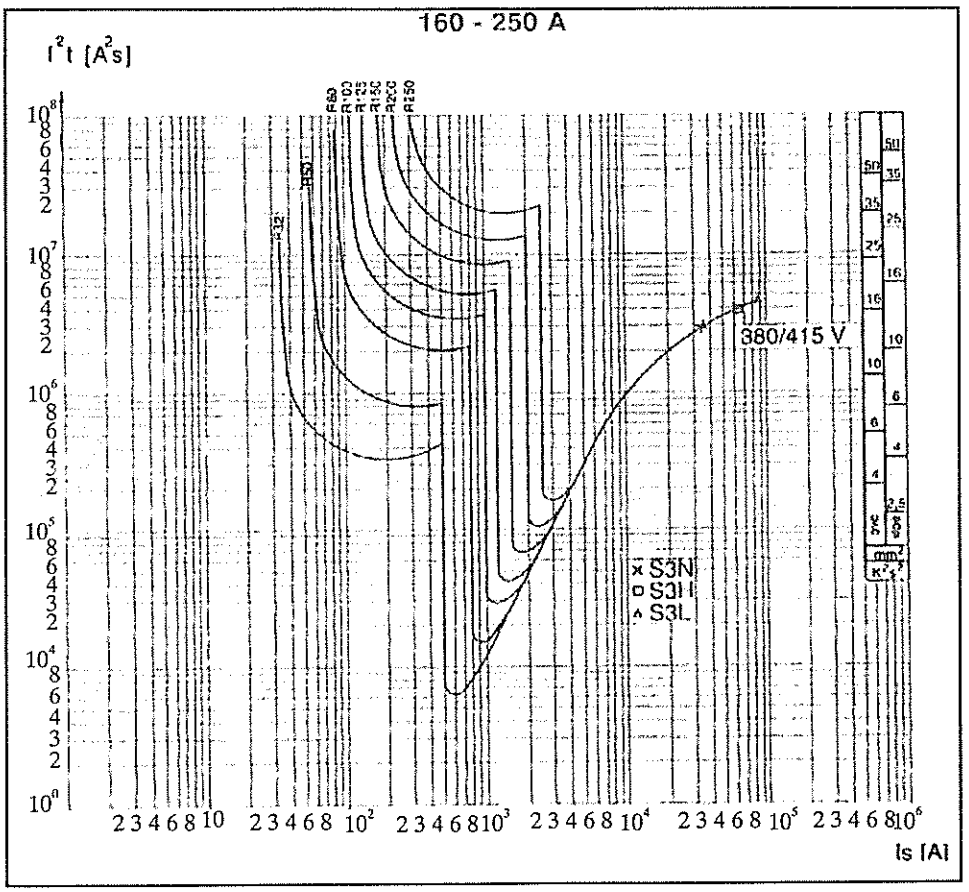
شكل -22

في الشكل السابق فان A هي القيمة العظمى Peak value لتيار القصر، والنقطة B هي القيمة الفعالة rms لتيار قصر الدارة المتماثل Symmetrical، والنقطة C تمثل قيمة تيار القصر العظمى التي تمت تحديدها باستخدام قاطع تحديد التيار Current limiting CB . أي أن هذا القاطع يمتاز بسرعة فتح ملامساته، حيث تتباعد هذه الملامسات في وقت قصير بحيث تفصل تيار قصر الدارة قبل أن يصل إلى قيمته العظمى A . وتُعرف السعة الحدية (النهائية) limiting capacity بانها قابلية القاطع لتمرير تيار أقل من تيار

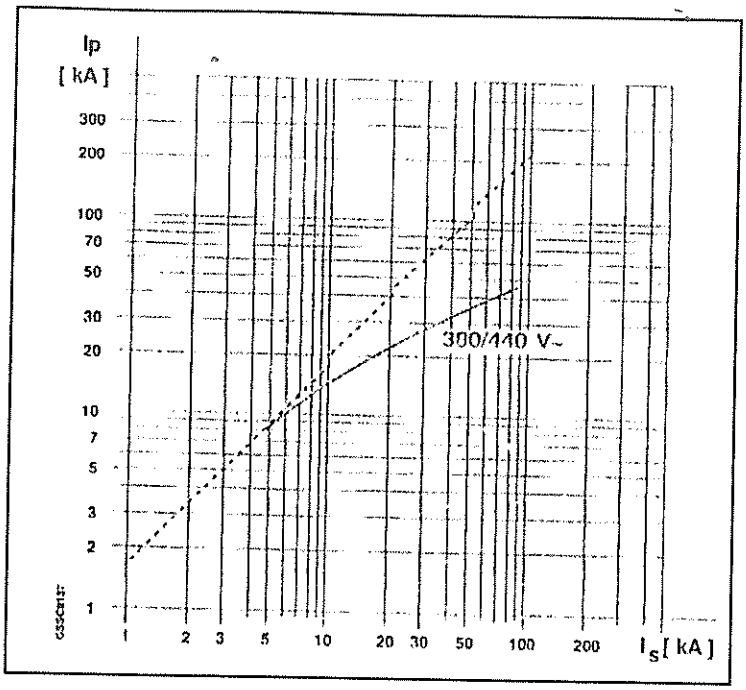
قِصر الدارة المتوقع في ظروف قصر الدارة. وعادة فان مميزات هذا القاطع تُعطى من خلال منحنيين، وهما:

– مقدار الطاقة النوعية Specific energy Value ($I^2t = A^2S$) المنطلقة عبر القاطع كدالة لتيار قصر الدارة المتماثل.

– القيمة العظمى بالكيلو أمبير للتيار المُحدد I_p كدالة لتيار قصر الدارة المتماثل I_s المطلوب مزقه. ويبين شكل -23 منحنيات الطاقة النوعية المنطلقة عبر القاطع (منحنيات نمطية لنوع معين من قواطع تحديد التيار)، بينما يبين شكل -24 العلاقة بين تيار قصر الدارة الاقصى وتيار قصر الدارة المتماثل (القيمة الفعّالة).



شكل -23
منحنيات الطاقة النوعية المنطلقة عبر قاطع تحديد التيار.



شكل -24

العلاقة بين تيار قصر الدارة الأقصى وتيار قصر الدارة المتماثل .

كما ذكرنا سابقا ، فان الهدف الرئيسي من تركيب قواطع الدارات هو لحماية هذه الدارات من التيار المفرط ، مع مراعاة أن يفصل القاطع الجزء المعطوب من التركيبات وليس فصل جميع التركيبات ، وهذا يعني أن القاطع الاقرب إلى مكان العطل هو الذي يفصل أولاً ، فإذا فشل هذا القاطع يقوم القاطع الذي يليه في الترتيب التصاعدي بفتح ملامساته ، وهكذا . لذلك ، لابد أن ندرس مميزات هذه القواطع وتنسيق عملية الفصل بينهم ، وتُسمى هذه العملية بعلمية التنسيق الوقائي Protection coordination .

وسنستعرض تاليا بعض المفاهيم المتعلقة بانواع الحماية باستخدام قواطع الدارات في نُظم التمديدات الكهربائية .

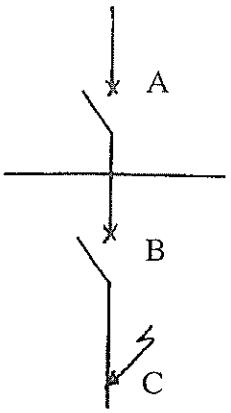
7.5 الحماية الاحتياطية

تُغطي مواصفات اللجنة الكهروتقنية الدولية IEC-364-4-477 والمواصفات الأوروبية CE1-64-8 الحماية الاحتياطية ومتى يتم استخدامها. وتستخدم الحماية الاحتياطية Backup protection في التركيبات الكهربائية عندما تكون استمرارية الخدمة الكهربائية للجزء غير المتأثر بالعطل ذات أهمية مطلقة، كذلك تستخدم للمحافظة على أبعاد صغيرة للتركيبات الكهربائية (لوحات التبديل الكهربائية Electrical switchgear)، كذلك في التركيبات القائمة عندما تتم إضافات على نظام التمديدات تؤدي إلى زيادة تيار قصر الدارة.

تعني الحماية الاحتياطية إمكانية استخدام نبيطة حماية بسعة قطع أصغر من تيار قصر الدارة المتوقع في النقطة التي يتم فيها تركيب هذه النبيطة بشرط تركيب نبيطة حماية من جهة تزويد الطاقة Supply side (تصاعدية بالنسبة إلى النبيطة الأولى) بسعة قطع مناسبة. و لابد من تنسيق مميزات هاتين النبيطتين بحيث تكون الطاقة النوعية I^2t المنطلقة والتي تمررها النبيطة التصاعدية أقل من تلك التي تُسبب دمارا للنبيطة السفلية وكذلك للموصلات التي تحميها.

يبين شكل -25 قاطعين للدارة هما B,A بحيث أن سعة القطع للقاطع B أقل من قيمة تيار قصر الدارة المتوقع في حالة حدوث قصر دارة في نقطة C. في هذه الحالة لابد من تحقيق الشرطين التاليين بالنسبة للقاطع A:

أ) أن تكون له سعة قطع مناسبة تكون أكبر من تيار قصر الدارة المتوقع في النقطة المركب فيها هذا القاطع، وبالتالي فان سعة قطع هذا القاطع تكون أكبر من تيار قصر الدارة المتوقع عند حدوث قصر دارة في نقطةC.

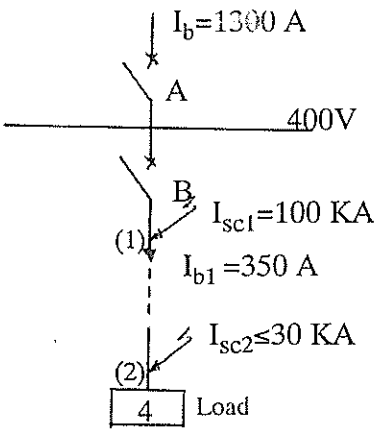


شكل -25

ب) عند حدوث قصر دارة في النقطة C وسريان تيار قصر دارة أكبر من سعة القطع للقاطعB، فان القاطع A يقوم بمهمة تحديد الطاقة المارة إلى القاطع B إلى قيمة يمكن للقاطع B أن يتحملها دون دمار.

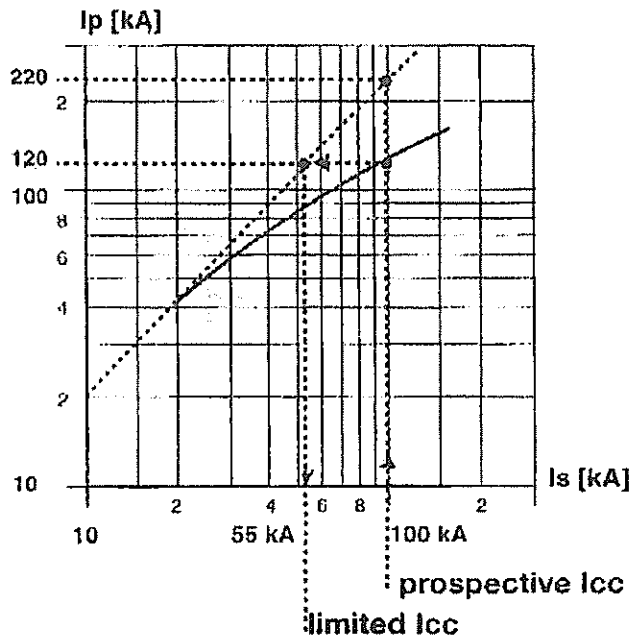
إن قصر الدارة في نقطة C يمكن ان يتسبب في فصل مزدوج (القاطع B والقاطع A) ولكن الحماية الاحتياطية تحسب بشكل بحيث تودي إلى فصل القاطع B في حدود مدى سعة القطع له.

وكمثال على استخدام الحماية الاحتياطية سندرس المثال الذي يبينه شكل -26.



شكل -26

لنفترض أن سعة القطع للقاطع B تساوي 65 ك . أمبير، أي أصغر من تيار قصر الدارة المتوقع في نقطة 1 والذي يساوي 100 ك .أمبير، بينما سعة القطع هذه أكبر من قيمة تيار قصر الدارة في نقطة 2 . وهذه حالة حقيقية لان تيار قصر الدارة يتناقص كلما ابتعدنا عن مصدر التغذية . في هذه الحالة نستخدم الحماية الاحتياطية بتركيب قاطع تحديد التيار وهو قاطع A . و يبين شكل -27 العلاقة بين قيم تيار قصر الدارة العظمى وقيم تيار قصر الدارة المتماثل rms value . من هذا الشكل نجد أن هذا القاطع يحد من قيمة تيار قصر الدارة الأقصى 220 ك . أمبير (وهذا يتناسب مع قيمة تيار قصر دارة فعلي يساوي 100 ك . أمبير) إلى قيمة تيار قصر دارة أقصى يساوي 120ك . أمبير والذي يتناسب مع تيار قصر دارة متماثل يساوي 55 ك . أمبير، والرقم الاخير أقل من سعة القطع للقاطع B .



شكل -27

8.5 الحماية الانتقائية

المقصود بالحماية الانتقائية هو أن تقوم نبيطة الحماية الأقرب إلى مكان العطل بفصل الجزء المعطوب فقط دون أن يؤثر ذلك على استمرارية التغذية الكهربائية للمعدات والتركيبات السليمة وبذلك نتجنب التعتيم الكامل. لذلك تتطلب الحماية الانتقائية Selective protection التنسيق السليم والصحيح بين منحنيات الاعتاق للقواطع الالية ابتداء من القواطع التصاعدية (الاقرب إلى مصدر التغذية) ونزولا إلى القواطع التنازلية باتجاه الاحمال الكهربائية.

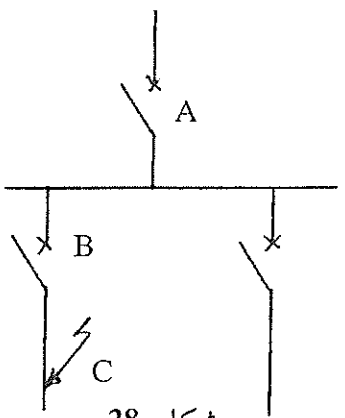
والحماية الانتقائية نوعان، وهما:

أ) الانتقائية الكلية Total selectivity.

ب) الانتقائية الجزئية Partial selectivity.

ففي حالة الانتقائية الكلية فان القاطع B (شكل -25) يفصل الدارة الكهربائية لكل قيم التيار التي تكون أقل أو تساوي تيار قصر الدارة الأقصى في النقطة C.

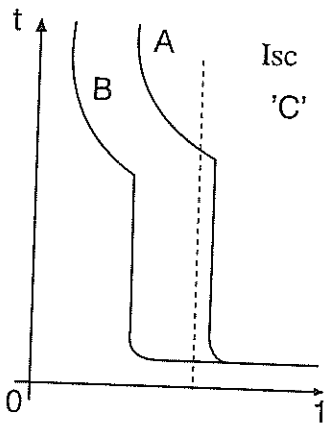
اما في حالة الانتقائية الجزئية فان القاطع B يفصل الدارة الكهربائية لتيارات العطل التي قيمتها أقل من قيمة معطاه، بينما يفصل القاطع A والقاطع B الدارات الكهربائية لكل القيم التي تساوي أو تكون أكبر من القيمة المعطاة ويمكن تحقيق الانتقائية باستخدام الطرق التالية:



شكل -28
الانتقائية التيارية.

1.8.5- الانتقائية التيارية

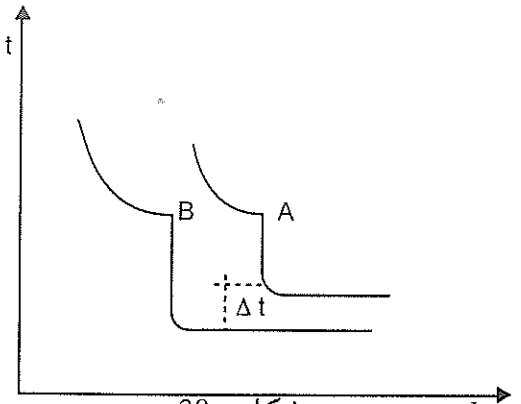
يتم تحقيق الانتقائية التيارية Current type selectivity عن طريق تعيير تيارات الاعتاق اللحظية لسلسلة القواطع الآلية بحيث يكون التعيير باستخدام قيم مختلفة للتيار (تناقص قيم التعيير ابتداء من القاطع الاقرب إلى مصدر التغذية ونزولا باتجاه الأحمال الكهربائية) . تستخدم الانتقائية التيارية للقواطع التي لا تحد من التيار عن طريق تعيير عتبة الاعتاق لوحدة الفصل المغناطيسية للقاطع عند قيم مختلفة . ويبين شكل -29 لحماية الانتقالية التيارية لقاطعين B, A كما في شكل -28 .



شكل -29
الانتقائية الزمنية

2.8.5 الانتقائية الزمنية

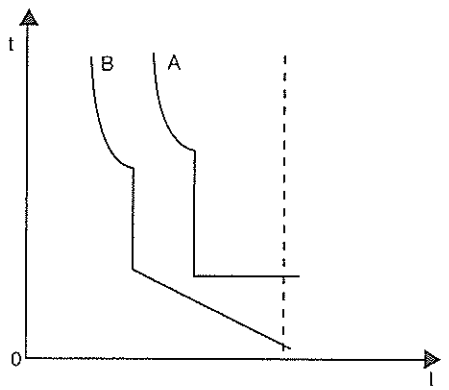
يتم الحصول على الانتقائية الزمنية Time type descrimination باستخدام نبائط تأخير زمني ، وتزيد قيم التأخير الزمني كلما إتجهنا إلى مصدر التغذية وذلك حتى يكون القاطع الأقرب إلى مكان العطل هو القاطع الاسرع ، ولابد أن نشير إلى أن القاطع الذي له تأخير زمني لابد أن يكون قادرا على تحمل الاثار الحرارية والميكانيكية الناتجة عن تيار القصر طيلة فترة التأخير الزمني المزود بها القاطع . ويبين شكل 30 منحنيات الاعتاق للقاطع A القريب من مصدر التغذية والقاطع B الابعد عن مصدر التغذية والاقرب إلى الحمل ، بحيث يتمتع القاطع A بتأخير زمني مقدارة 100 ميلي ثانية على أقل تقدير .



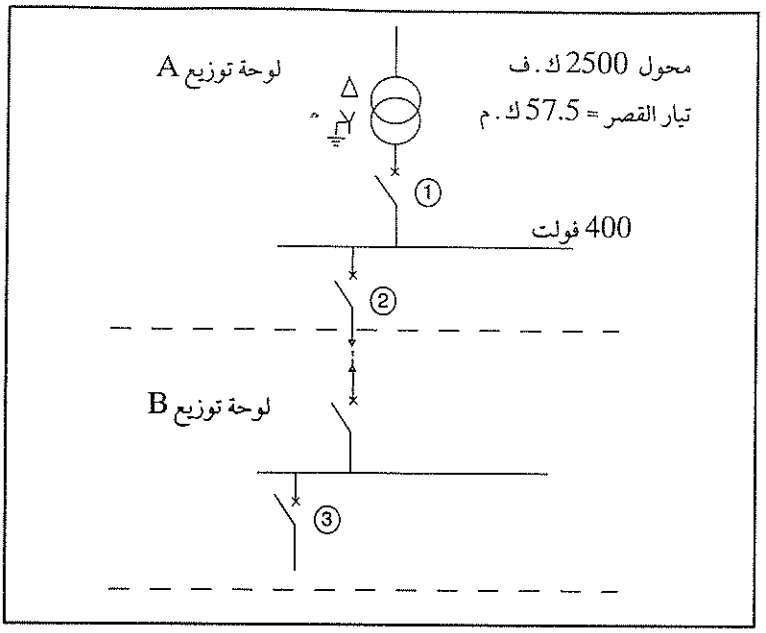
شكل -30

وتصبح الانتقائية الزمنية فعالة أكثر إذا استخدمنا قاطعا يحد من التيار مكان القاطع B، حيث أن هذا القاطع يمتاز بسرعة كبيرة في إبراء العطل لا تتعدى عدة ميللي ثانية. ويبين شكل-31 منحنيات الاعتاق للقاطعين، حيث أن القاطع A هو الاقرب إلى مصدر التغذية والقاطع B (قاطع يحد من التيار) هو الاقرب إلى الحمل.

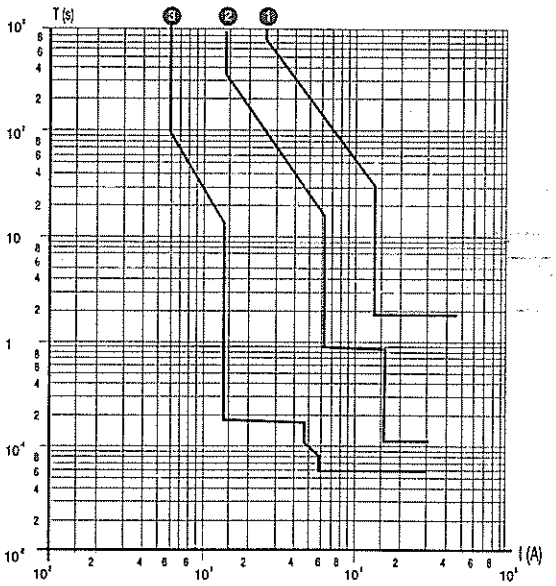
وكمثال على استخدام الانتقائية الزمنية سندرس شبكة التوزيع كما في شكل -32 سنستخدم التأخير الزمني، بحيث ستزيد قيمة هذا التأخير كلما اتجهنا صعوداً من الحمل الكهربائي إلى مصدر التغذية. سيكون أكبر تأخير زمني للقاطع (1) يلية القاطع (2) اما القاطع (3) فسيكون بدون تأخير زمني. يبين شكل -33 منحنيات الاعتاق لهذه القواطع الثلاثة.



شكل -31



شكل -32



شكل -33

منحنيات الاعتاق للقواطع الثلاثة .

3.8.5 الانتقائية باستخدام المناطق.

إن استخدام تنسيق الحماية الانتقائية يعني ضمنيا زيادة زمن ابراء العطل كلما إقتربنا من مصدر التغذية الكهربائية حيث يكون تيار قصر الدارة كبيرا . ففي نظم التمديدات الكبيرة وبوجود مستويات لتوزيع التغذية عديدة يُصبح هذا الزمن الكبير (التأخير الزمني) غير مقبول بسبب كبر الطاقة النوعية المنطلقة عبر القاطع (I^2t)، لذلك في مثل هذه الحالات يُستخدم مفهوم المناطق أي الانتقائية باستخدام المناطق Zone discrimination . يعتمد التنسيق الوقائي على العمليات التالية :

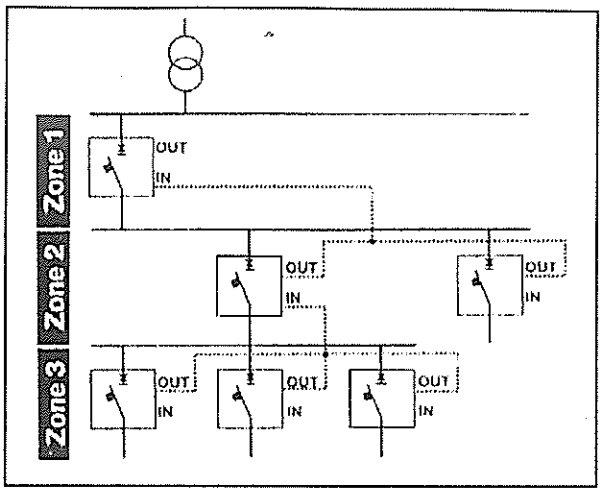
أ) التمييز الفوري للقاطع المسؤول عن ابراء العطل .

ب) تقليل زمن المزق للقاطع الذي يتم اختياره لابراء العطل .

ج) حفظ التنسيق الانتقائي لقواطع الدارة في جهة مصدر التغذية .

إن المبدأ المستخدم في تحديد قاطع الدارة الذي سيقوم بفصل الجزء المعطوب يعتمد على استخدام قيمة تيار قصر الدارة كعامل مرجعي وحيد بين قواطع الدارات وبناء على ذلك يتم تبادل المعلومات بين قواطع الدارة .

إن مفهوم المنطقة Zone يعني ذلك الجزء من التمديدات الكهربائية الواقع بين قاطعي دارة . وتتلخص عملية تبادل المعلومات بان كل قاطع دارة يكتشف عطلاً معنيا يمرر هذه المعلومة إلى القاطع الذي يليه تصاعديا باستخدام توصيلات سلكية . وتُحدد منطقة العطل Fault Zone بانها المنطقة التي تقع مباشرة بعد القاطع الذي اكتشف العطل ، حيث أن هذا القاطع يُمرر هذه المعلومة إلى القواطع التي تليه ولكن القاطع لا يستلم اية معلومات ، لذلك فان هذا القاطع سيقوم بفصل الجزء المعطوب بسرعة . ويبين شكل -34 رسما تخطيطياً لشبكة تمديدات وعليها المناطق .



شكل -34

الانتقائية باستخدام المناطق .

9.5 مقررات قصر الدارة للكوابل

عادة، يتم حساب كثافة التيار الاقصى Maximum current density لمقطع من النحاس أو الالومنيوم مساحته 1م2 وذلك لزمن فصل مقدارة ثانية واحدة. ويجب ضرب هذه القيمة بمعامل Ko عند إختلاف زمن الفصل عن ثانية واحدة لاغراض الحصول على مقرر قصر الدارة للكوابل. إن المقررات تعتمد على الارتفاع في درجة الحرارة كما يلي :

- لمقاطع كوابل ولغاية 300م2، الارتفاع في درجة الحرارة من 70 إلى 160 درجة مؤية :

تكون كثافة التيار d لكوابل النحاس =115 أمبيراً / م^2.

تكون كثافة التيار d لكوابل الالومنيوم =76 أمبيراً / م^2.

اما مقاطع الكوابل 300مم^2 وأكبر ولارتفاع في درجة الحرارة من 70 إلى 140 درجة مؤية :

تكون كثافة التيار d لكوابل النحاس =103 أمبيراً / مم^2 .

تكون كثافة التيار d لكوابل الالومنيوم =68 أمبيراً / مم^2 .

ويبين جدول -6 قيم المعامل K_o وذلك لازمان فصل مختلفة للدارة .

جدول (6) .

قيم المعامل K_o

K_o	زمن فصل الدارة ثانية	K_o	زمن فصل الدارة ثانية
0.79	1.6	3.15	0.1
0.77	1.7	2.23	0.2
0.75	1.8	1.83	0.3
0.73	1.9	1.58	0.4
0.71	2.0	1.41	0.5
0.67	2.2	1.29	0.6
0.64	2.4	1.20	0.7
0.62	2.6	1.12	0.8
0.60	2.8	1.05	0.9
0.58	3.0	1.00	1.0
0.55	3.3	0.95	1.1
0.53	3.6	0.91	1.2
0.51	3.9	0.88	1.3
0.50	4.0	0.85	1.4
0.47	4.5	0.82	1.5
0.45	5.0		

وبناءً على ما سبق فان مقرر تيار قصر الدارة للكابل يُحسب كما يلي :

$$I_{sc} = d. K_o. A$$

حيث ان :

I_{sc}– مقرر قصر الدارة للكابل بالأمبير .

d– كثافة التيار للكابل ، أمبير/ مم^2 .

K_o– معامل يتم إختياره من جدول -6 حسب زمن فصل الدارة .

A– مساحة مقطع الكابل .

وبعد حساب مقرر قصر الدارة للكابل ، يمكن حساب الطاقة المنطلقة خلال الكابل Let- Through energy ويتم مقارنتها مع منحنى تحمل الكابل لهذه الطاقة والذي يساوي K^2A^2 .

مثال:

إحسب مقرر تيار قصر الدارة لكابل نحاسي مساحة مقطعة 95مم^2 عند زمن فصل للدارة يساوي 0.2 ثانية .

الحل :

من جدول -6 فان قيمة المعامل K_o تساوي 2.23 .

$$I_{sc} = d. K_o. A$$

$$I_{sc} = 115x\ 2.23\ x\ 95 = 24363\ A = 24.363\ KA.$$

وتساوي الطاقة المنطلقة عبر الكابل خلال قصر الدارة ما يلي :

$$I^2_{sc}.t = (24.363)^2\ x\ 0.2 = 118.71\ KA^2.5$$

أما مدى إحتمالية الكابل لهذه الطاقة فتتحدد كما يلي :

$$K^2S^2 = 115^2\ x\ 95^2 = 119.34\ kA^2.\ 5.$$

أي أن :

$$I^2_{sc} \cdot t < K^2 S^2.$$

وبذلك فإن الكابل يستطيع تحمل الحرارة الناتجة عن قصر الدارة دون أن تنهار عازليته .

وحسب جمعية مهندسي الكوابل المعزولة Insulated Cable Engineers Association ICEA الاميريكية فيمكن إعتبار أن درجة الحرارة التي تبدأ عندها عازلية الكابل بالانهيار كمايلي :

- إذا كانت العازلية ورق أو مطاط أو قماش مشبع بالورنيش- 200 درجة مؤية .

- العازلية الحراريةThermoplastic -150 درجة مؤية .

- العازلية Crosslinked Polyethylene وكذلك عازلية Ethylene 250 propylene Rubber EPR -250درجة مؤية .

أما المعادلة المقترحة لحساب تحمل الكابل فهي :

$$\left[\frac{I_{sc}}{A}\right]^2 t = 0.0297 \log\left[\frac{T_2 + 234}{T_1 + 234}\right]$$

حيث ان :

I_{sc}- تيار قصر الدارة بالامبير .

A- مساحة مقطع الكابل بالمل الدائري (CM) Circular mils .

t - زمن استمرار قصر الدارة .

T_1- درجة حرارة تشغيل الكابل القصوى .

T_2- درجة حرارة القصوى أثناء قصر الدارة .

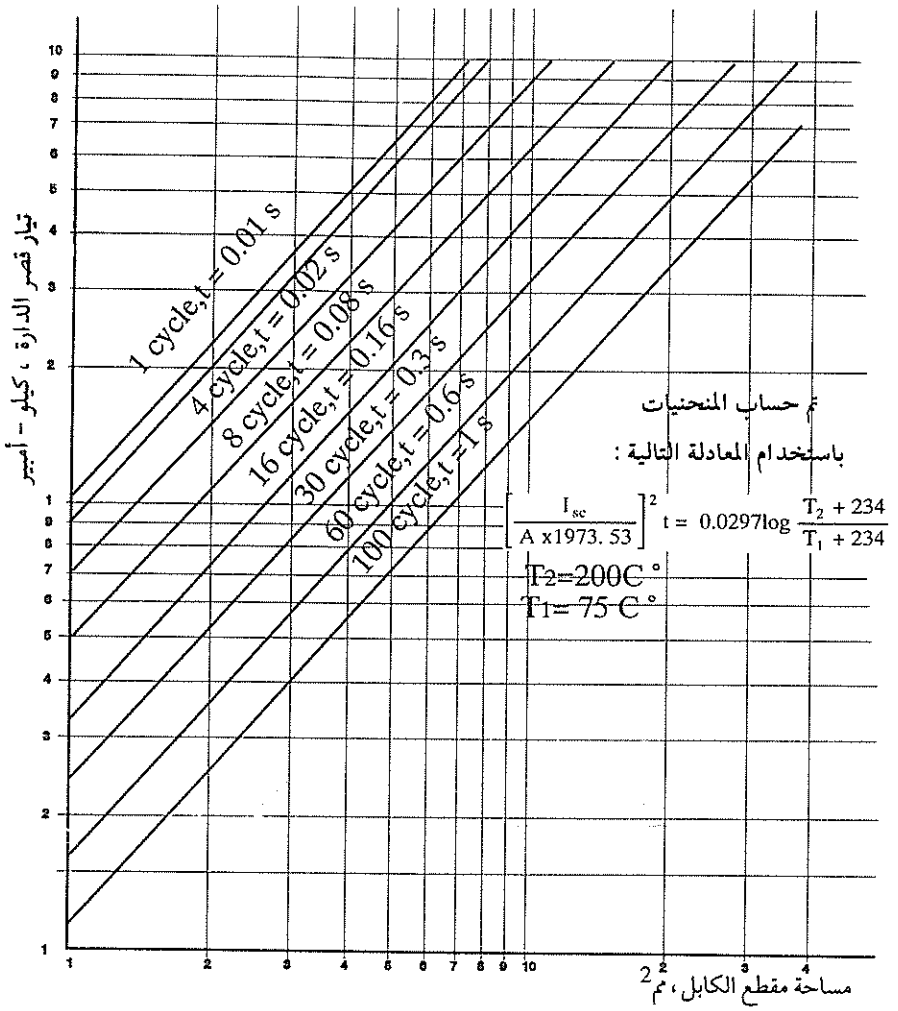
وتساوي درجة حرارة تشغيل الكابل القصوى 75 درجة مؤية للكوابل المعزولة بالورق أو المطاط أو القماش المشبع بالورنيش وتساوي للكوابل المعزولة بـ XLPE أو EPR 90 درجة مؤية .

وباستخدام المعادلة السابقة فان جمعية مهندسي الكوابل المعزولة تصدر منحنيات لأنواع مختلفة من الكوابل تبين العلاقة بين تيار قصر الدارة ومساحة مقطع الكابل لزمن فصل يتراوح بين دورة واحدة إلى 100 دورة.

وإذا كان مقطع الكابل معبراً عنه بالميللي متر المربع فان المعادلة السابقة تصبح كما يلي:

$$\left[\frac{I_{sc}}{A \times 1973.53}\right]^2 t = 0.0297 \log \frac{T_2 + 234}{T_1 + 234}$$

ويبين شكل -35 منحنيات تحمل الكوابل النحاسية المعزولة بالورق أو المطاط أو القماش المشبع بالورنيش لتيار قصر الدارة لازمان مختلفة لفترة قصر الدارة وتم حسابها حسب المعادلة الاخيرة.



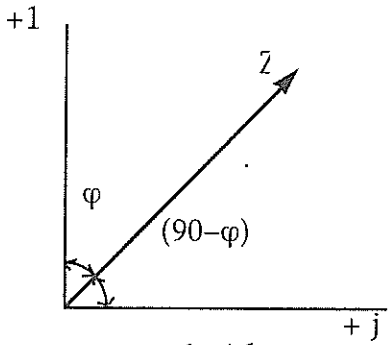
الشكل 35

منحنيات تحمل الكوابل النحاسية المعزولة بالورق أو المطاط او القماش الورنيشي لتيار قصر الدارة .

الفصل السادس
عامل القدرة وطرق تحسينه

1.6 مفهوم القدرة المراكسة

نعرف من نظرية الدارات الكهربائية أن كميات مثل التيار I والفولطية V والقدرة هي كميات متجهة، بمعنى أنها تتحدد بمقدار وإتجاه. ويمكن تمثيلها على إحداثيات السطح المركب Complex plane بمتجه، وأية كمية على السطح المركب يمكن تمثيلها كما في شكل -1.



شكل -1
تمثيل الكميات المتجهة

فالمتجه Z على ذلك السطح يتحدد بطوله |Z| والزاوية التي يشكلها مع المحور الحقيقي α أو الزاوية التي يشكلها مع المحور التخيلي (90- φ).

بالتعريف فإن القدرة المركبة في الدارة ثلاثية الأطوار تساوي:

$$\dot{S} = \sqrt{3}\ V_L\ I_L \angle\varphi \qquad (1)$$

حيث أن:

النقطة فوق الكمية تشير إلى أنها كمية مركبة.

$\dot{S}$- القدرة المركبة Complex power.

V- الفولطية.

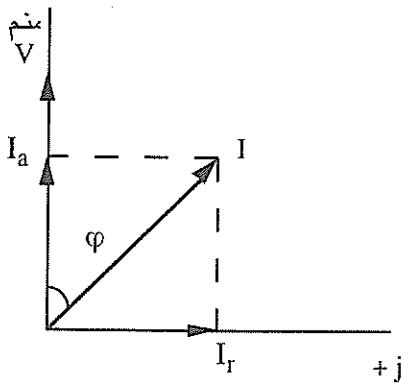
I- التيار.

φ – الزاوية بين الفولطية والتيار.

يمكن كتابة القدرة المركبة كما يلي:

$$\dot{S} = \sqrt{3}\ V_L\ I_L(\cos\varphi + j\ \sin\varphi) = \sqrt{3}\ V_L(\ I_L\cos\varphi + jI_L\ \sin\varphi) \qquad (2)$$

لنحاول تمثيل هذه الكميات على السطح المركب، مفترضين أن متجه الفولطية يتطابق مع المحور الحقيقي، ونفترض أن الدارة الكهربائية تحتوي على مقاومة فعّالة r ومراكسة حثية Inductive reactance X. في هذه الحالة فإن متجه التيار يتأخر عن متجه الفولطية بزاوية مقدارها φ كما في شكل-2.



شكل -2

تمثيل التيار والفولطية على السطح المركب في دارة حثية

يتضح من الشكل السابق أنه يمكن تحليل التيار إلى مركبتين: الأولى المركبة الفعّالة Active component وتتطابق مع متجه الفولطية، والمركبة الثانية المراكسة Reactive Component وتتأخر عن متجه الفولطية بزاوية مقدارها 90، أي أن:

$$\dot{I} = I_a + j\ I_r \qquad (3)$$

$$I_a = I_L\ \cos\varphi \qquad (4)$$

$$I_r = I_L\ \sin\varphi \qquad (5)$$

بوضع قيمة التيار من المعادلتين (5,4) في المعادلة (2) نحصل على ما يلي :

$$\dot{S} = \sqrt{3}\ V_L\ (I_a + jI_r) \qquad (5)$$

يمكن كتابة معادلة (2) كما يلي :

$$\dot{S} = \sqrt{3}\ V_L I_L \cos\varphi + \sqrt{3}\ V_L I_L \sin\varphi = P + j\ Q \qquad (6)$$

أي أن القدرة المركبة تتكون من مركبتين : المركبة الفعّالة P والمركبة التخيلية Q ، وتسمى الأولى القدرة الفعّالة P ، وهي القدرة التي تذهب إلى العمل الفعّال ، وتتبدد كحرارة في عناصر الدارات الكهربائية أو تتحول إلى شكل آخر من أشكال الطاقة المفيدة .

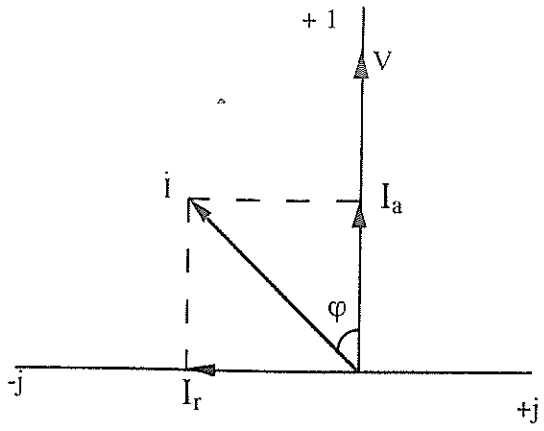
أما المركبة الثانية فتسمى القدرة المراكسة Reactive power Q فإننا لا نحصل منها على عمل مفيد ، وإنما تكمن ضرورتها في تكوين مجال مغناطيسي ، والذي هو ضروري لعمل كثير من الآلات الكهربائية (المحولات ، المحركات ، الأفران الحثية وغيرها) .

$$P = \sqrt{3}\ VI \cos\varphi \qquad (7)$$

$$Q = \sqrt{3}\ VI \sin\varphi \qquad (8)$$

$$S = P + j\ Q \qquad (9)$$

أما إذا كانت الدارة الكهربائية تحتوي على مقاومة فعّالة r ومراكسة سعوية C Capacitive reactance ، فإن التيار في هذه الحالة يتقدم على الفولطية بزاوية مقدارها φ كما في شكل –3 .



شكل -3

تمثيل التيار والفولطية في دارة سعوية

في هذه الحالة فإن مركبة التيار المراكسة I_r تكون بإشارة (-)، ليدل ذلك على أن التيار يتقدم على الفولطية وأن خاصية الدارة هي سعوية.

$$\dot{I} = I_a + j\, I_r \qquad (10)$$

$$I_a = \dot{I} \cos \varphi \qquad (11)$$

$$I_r = -\dot{I} \sin \varphi \qquad (12)$$

وتساوي القدرة في هذه الحالة:

$$\dot{S} = \sqrt{3}\, V (\dot{I} \cos \varphi - j \dot{I} \sin \varphi) = \\ = P - j\, Q_c \qquad (13)$$

والقدرة المراكسة في هذه الحالة أيضاً لا نستفيد منها في أية أعمال مفيدة ولا تتحول إلى شكل آخر من أشكال الطاقة، وإنما تُخزن في مواسعة العنصر، ثم تتبدد راجعة إلى المولد.

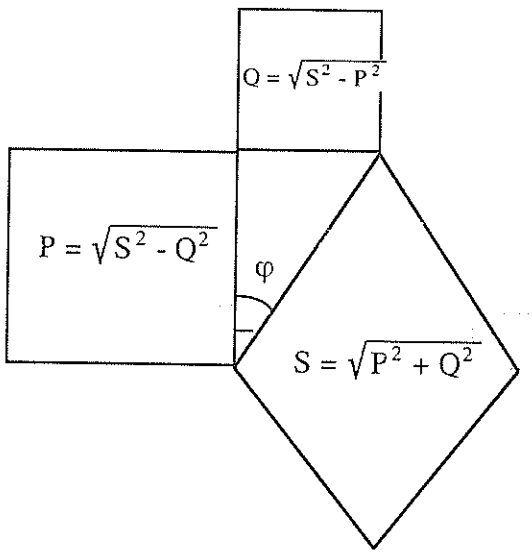
من العرض السابق نستنتج أن القدرة الفعّالة هي مركبة القدرة الظاهرية التي نستفيد منها ونحولها من شكل إلى آخر من أشكال الطاقة. أما القدرة المراكسة فلا نستفيد منها

وتلزم فقط لإنتاج مجال مغناطيسي ، وبالتالي يتم دورياً تبادل هذه القدرة بين المولد والعنصر المراكس في الدارة الكهربائية . كذلك نستنتج أن القدرة الظاهرية للمولد يجب أن تكون أكبر من القدرة الفعّالة وذلك لتغطية القدرة المراكسة ، فكلما زادت القدرة المراكسة مع ثبات قيمة القدرة الفعالة فإننا يجب أن نزيد طاقة التوليد ، ويترتب على هذا صرف إستثمارات جديدة رغم أن ما نستفيد منه من قدرة يظل ثابتاً .

2.6 عامل القدرة

يُعرّف عامل القدرة Power factor بأنه جتا الزاوية المحصورة بين الفولطية والتيار ، أي Cos φ ، ويبين شكل -4 العلاقة بين القدرة الظاهرية والفعالة والمراكسة .

وتقاس القدرة الظاهرية بالفولط . أمبير أو مضاعفاته ، وتقاس القدرة الفعّالة بالواط ومضاعفاته ، وتقاس القدرة المراكسة بالفولط . أمبير مراكس ومضاعفاته .



شكل -4
العلاقة بين القدرة الظاهرية والفعّالة والمراكسة

من الشكل السابق نستنتج العلاقات التالية :

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} \qquad (14)$$

$$\sin \varphi = \frac{Q}{S} \qquad (15)$$

$$tg \varphi = \frac{Q}{P} \qquad (16)$$

ويبين جدول -1 متوسط عامل القدرة لبعض الأجهزة والماكنات الكهربائية المستخدمة على نطابق واسع .

وحتى نتبين أهمية عامل القدرة سندرس العلاقة التالية :

$$P = \sqrt{3}\ VI \cos \varphi \qquad (17)$$

والتي تبين أن هناك علاقة معنية تربط بين القدرة الفعّالة وعامل القدرة بثبات الڤولطية . فكلما زاد عامل القدرة زادت القدرة الفعّالة ، وكلما قلّ عامل القدرة قلت القدرة الفعّالة . وللحفاظ على نفس قيمة القدرة الفعّالة عند تقليل عامل القدرة فعلينا زيادة قيمة التيار . وتعني زيادة التيار زيادة حجوم وحدات التوليد والتي تعني زيادة الاستثمار الرأسمالي في محطات التوليد وزيادة المصاريف المتكررة الناتجة عن زيادة استهلاك الوقود وزيادة تكاليف التشغيل والصيانة .

جدول (1)

متوسط عامل القدرة لبعض الأجهزة الكهربائية

		Cos φ	tan φ
المحركات الحثية العامة			
عامل التحميل	%5	0.17	5.80
عامل التحميل	%25	0.55	1.52
عامل التحميل	%50	0.73	0.94
عامل التحميل	%75	0.80	0.75
عامل التحميل	%100	0.85	0.62
المصابيح التوهجية		1.0	0
المصابيح الفلورية (غير المعدلة)		0.5	1.73
المصابيح الفلورية (المعدّلة)		0.93	0.39
المصابيح التفريغية		0.6-0.4	1.33-2.29
الأفران التي تستخدم عناصر مقاومة فعّالة		1.0	0
أفران التسخين الحثية (المعدّلة)		0.93	0.39
ماكنات لحام تستخدم مقاومة فعّالة		0.9-0.8	0.48-0.75
طقم لحام بالقوس طور واحد		0.5	1.73
طقم لحام بالقوس محرك-مولد		0.9-0.7	0.48-1.02
طقم لحام بالقوس مكون من محول -مقوّم		0.8-0.7	0.75-1.02
افران قوسية Arc Furnacne		0.8	0.75

وعادة، تقوم شركات التوزيع الكهربائية بتزويد المستهلك بقيمة معينة من القدرة المراكسة بدون تعرفة، وما زاد عن ذلك فهناك تعرفة (غرامة Penalty factor) يدفعها المستهلك لشركة الكهرباء لتعويضها عن خسائرها الناتجة عن زيادة إستهلاك القدرة المراكسة. وفي كثير من الدول يتم بناء هذا النظام وفقاً إلى tan φ والتي تساوي:

$$\tan \varphi = \frac{Q\ (Kvarh)}{P\ (Kwh)}$$

فمثلاً، في الدول الأوروبية يتم تزويد المستهلك بقدرة مراكسة عند نقطة الشبك بحيث لاتزيد على 40% لمدة 16 ساعة في اليوم (من السادسة صباحاً حتى العاشرة ليلاً)، وخلال هذه الفترة إذا زاد إستهلاك القدرة المراكسة على 40% فيقوم المستهلك بدفع غرامة إستهلاك وفق نظام محدد.

كما ذكرنا، فإن عامل القدرة المنخفض يؤدي إلى زيادة التيار، وهذا يعني زيادة مقاطع الأسلاك والكوابل، وكذلك زيادة الفقد الحراري في الدارات الكهربائية، حيث يساوي الفقد مايلي:

$$\Delta P = I^2 . R \qquad (18)$$

كذلك، ونتيجة لزيادة التيار يحدث فقد إضافي للفولطية حسب المعادلة التالية:

$$\Delta V = IR \qquad (19)$$

لذلك، فهناك فوائد إقتصادية لتحسين عامل القدرة. ويبين جدول -2 نسبة تقليل مساحة مقطع الكابل نتيجة لتحسين عامل القدرة.

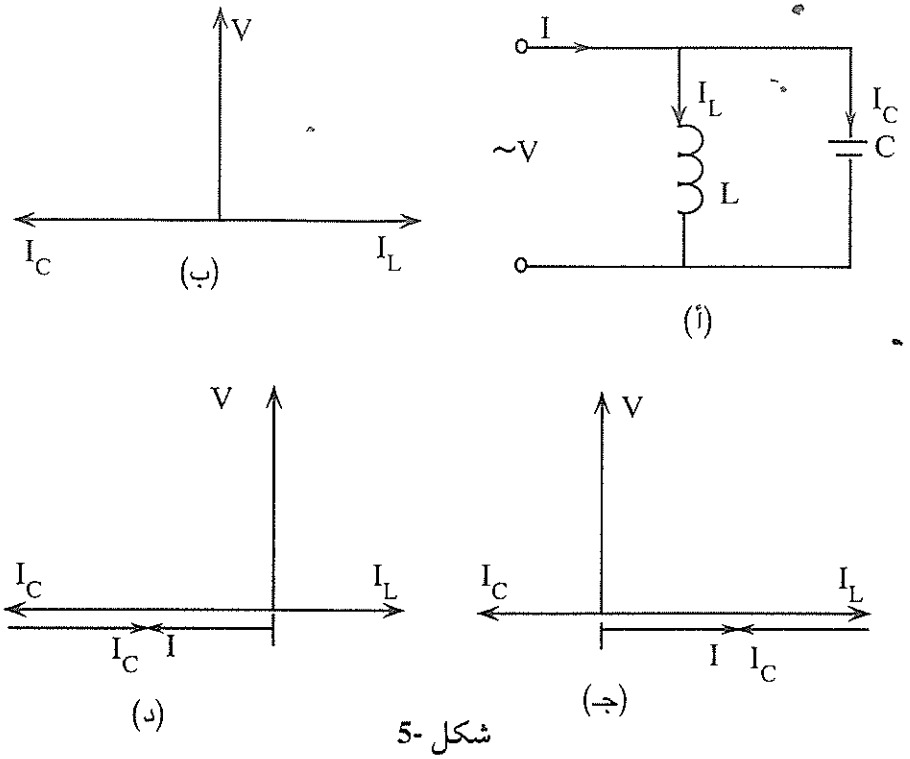
جدول (2)

نسبة تقليل مساحة مقاطع الكوابل نتيجة لتحسين عامل القدرة

عامل المضاعفة Multiplying Factor الذي يجب ضرب مساحة مقطع الكابل به.	2.5	1.67	1.25	1
عامل القدرة Cos φ	0.4	0.6	0.8	1

3.6 مبدأ تحسين عامل القدرة

إن تحسين عامل القدرة يعني رفع قيمة Cos φ عن طريق معادلة Compensation جزء من القدرة المراكسة عند المستهلك أو عند أية نقطة في الشبكة الكهربائية. ولشرح مبدأ تحيسن عامل القدرة عن طريق المعادلة، دعونا ندرس شكل -5.



شكل -5

دارة كهربائية تحتوي على مواسعة ومحاثة على التوازي

يبين شكل -5 أ مواسعة C ومحاثة L تتصلان على التوازي، في هذه الحالة فإن التيار الكلي I يساوي مجموع التيار في المواسعة والمراكسة، أي أن:

$$I = I_L + I_C \qquad (20)$$

$$I_L = \frac{V}{X_L} \qquad (21)$$

$$I_C = \frac{V}{X_C} \qquad (22)$$

من هنا، فإن التيار الكلي يساوي:

$$I = \frac{V}{X_L} - \frac{V}{X_C} = V \ \frac{X_C - X_L}{X_L - X_C} \qquad (23)$$

يتبين لنا من معادلة (23) أن هناك ثلاث حالات للتيار (I) إعتماداً على قيم المواسعة والمحاثة وهذه الحالات هي :

أ- عندما تكون $X_L = X_C$ ، في هذه الحالة فإن التيار الكلي يساوي صفراً وتسمى هذه الحالة بحالة الرنين للتيارات (أنظر شكل -5-ب) .

ب- $X_L < X_C$ ، في هذه الحالة فإن تيار المراكسة السعوية يُعادل جزءاً من تيار المراكسة الحثية ويكون التيار الكلي ذا طبيعة حثية ، أي أنه يتأخر عن متجه الفولطية بزاوية مقدارها 90° (حيث أننا إفترضنا أن r=0) (أنظر شكل-5-جـ) .

جـ- $X_L > X_C$ ، في هذه الحالة فإن جزءاً من تيار المراكسة السعوية يُعادل كامل تيار المراكسة الحثية ويكون التيار الكلي ذا طبيعة سعوية ، أي أنه يتقدم على الفولطية بزاوية مقدارها 90° (حيث أننا إفترضنا أن r=0) (أنظر شكل -5- د) .

تساوي القدرة المراكسة في الدارة المبينة في شكل -5 مايلي :

$$Q = VI \qquad (24)$$

حيث أن التيار الكلي يساوي الفرق بين التيار في المواسعة والمحاثة ، أي أن :

$$I = I_L - I_C \qquad (25)$$

من هنا فإن القدرة المراكسة تساوي :

$$Q = V (I_L - I_C) = V \left(\frac{V}{X_L} - \frac{V}{X_C} \right) \qquad (26)$$

$$= \frac{V^2}{X_L} - \frac{V^2}{X_C} = Q_L - Q_C$$

حيث أن :

Q : القدرة المراكسة الكلية للدارة .

Q_L : القدرة المراكسة في المحاثة .

Q_C : القدرة المراكسة في المواسعة ، وهذه هي القدرة المراكسة التي نستخدمها لمعادلة جزء من القدرة المراكسة من أجل رفع أو تحسين عامل القدرة .

بالرجوع إلى شكل -4 ، نجد أن :

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \qquad (27)$$

ويساوي عامل القدرة

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} \qquad (28)$$

والعلاقة بين القدرة الفعّالة والقدرة المراكسة تحكمها المعادلة التالية :

$$Q = P \tan \varphi$$

فإذا عادلنا جزءاً من القدرةالمراكسة Q بمقدار Q_C فإن القدرة المراكسة الكلية تساوي :

$$Q_1 = Q - Q_C$$

$$Q_C = Q - Q_1 = P \tan \varphi - P \tan \varphi_1$$

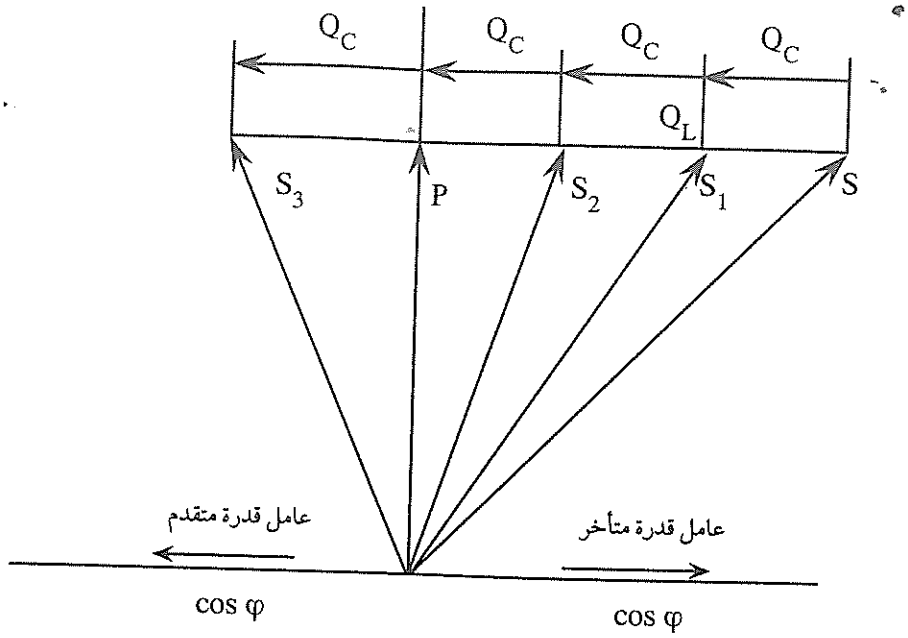
$$Q_C = P (\tan \varphi - \tan \varphi_1) \qquad (29)$$

$$S_1 = \sqrt{P^2 + Q_1^2} = \sqrt{P^2 + (Q-Q_C)^2} \qquad (30)$$

وعامل القدرة الجديد يساوي :

$$\cos \varphi_1 = \frac{P}{S_1}$$

ويبين شكل -6 مخطط المتجهات الشعاعية Vector diagram للقدرة ، ويبين أيضاً معادلة جزء من القدرة المراكسة .



شكل -6

المتجهات الشعاعية للقدرة

4.6 تحديد مقررات المكثفات لتحسين عامل القدرة

يمكن تحديد مقررات المكثفات Capacitors rating أثناء مرحلة التصميم وذلك بتحديد الأحمال الفعّالة والأحمال المراكسة لكل الأجهزة والمعدات في المشروع مع تحديد عامل التطابق لهما .

ولإغراض الحساب السريع وتحديد المقررات ، يمكننا إستخدام المعادلة التقريبية التالية :

$$Q_c = 0.3\ a\ S \qquad (31)$$

حيث أن :

Q_C – مقرر المكثف بالكيلو ڤولط . أمبير مراكس .

a : عامل التطابق Coinciedence factor .

S : القدرة الظاهرية المركبة .

إن المعادلة السابقة مبنية على رفع عامل القدرة إلى 0.9 من متوسط عامل قدرة يساوي 0.75 .

أما في المنشآت القائمة فيمكن تحديد مقرر المكثف اللازم لرفع عامل القدرة باستخدام أجهزة لقياس الأحمال الكهربائية . وإذا كانت المنشأة تحتوي على عدادات لقياس الطاقة الفعّالة والمراكسة فيمكن حساب مقرر المكثف من الفاتورة الشهرية كما يلي :

$$Q_C = \frac{W_b - W_w \cdot \tan \varphi_2}{t}$$

حيث أن :

W_b – الطاقة المراكسة المجمعة Intergrated reactive power Kvarh مقاسة بالكيلو فولط . أمبير مراكس ساعة .

W_w – الطاقة الفعّالة بالكيلو واط . ساعة .

t – زمن التشغيل بالساعة .

5.6 المكثفات

تعتبر المكثفات من أكثر الأجهزة المستخدمة في تحسين عامل القدرة شيوعاً ، وهي أجهزة أقتصادية . وفي أبسط الحالات ، فإن المكثف هوجهاز لتخزين الطاقة ، ويتكون في أبسط صورة من صفيحتين متوازيتين بينهما عازل . فإذا سُلطت فولطية على طرفي الصفيحتين فإن كمية من الشحنات الكهروستاتيكية يتم تخزينها بين الصفيحتين ، وتتناسب كمية الشحنات مع الأبعاد الهندسية للمكثف وسماحية العازل . وتساوي المواسعة مايلي :

$$C = \frac{A \times \varepsilon}{d} \qquad (32)$$

حيث أن :

C- المواسعة ، Faraday.

A- مساحة الصفيحة ، متر^2.

d- المسافة بين الصفيحتين ، متر.

ε- سماحية العازل permittivity والتي تساوي :

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \, \varepsilon_r \qquad (33)$$

حيث أن :

ε_0- السماحية المطلقة للفراغ وتساوي 8.85×10^{-12} فاراد/ متر.

ε_r- السماحية النسبية للعازل ، ويساوي ذلك 1 للهواء.

وتقاس مواسعة المكثفات المستخدمة في الأجهزة الإلكترونية بالميكروفاراد Micro-farad ، أما في أنظمة الطاقة فإن المكثفات تكون موسومة عادة بالكيلوفولط. أمبير مراكس Kvar.

تساوي القدرة المراكسة لمكثف الطور الواحد ما يلي :

$$Q_c = V^2 \,.\omega.\, C.\, 10^{-3} \qquad (33)$$

$$I_c = \frac{Q_c}{V} \qquad (34)$$

$$X_c = \frac{V.10^3}{I_c} \qquad (35)$$

وتساوي القدرة المراكسة في الدارة ثلاثية الأطوار على شكل ستار ما يلي :

$$Q_c = V^2 \,.\omega.\, C_Y.\, 10^{-3} \qquad (36)$$

$$I_c = \frac{Q_c}{V} \qquad (37)$$

$$X_c = \frac{V.10^3}{I_c} \qquad (38)$$

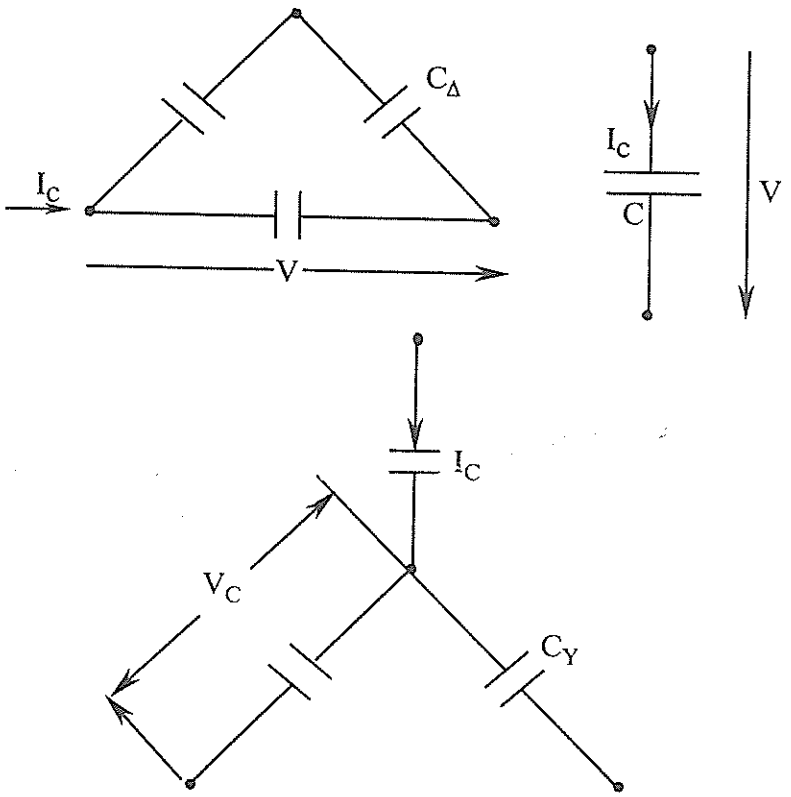
وفي الدارة ثلاثية الأطوار على شكل دلتا ، فإن القدرة المراكسة تساوي :

$$Q_c = 3V^2 .\omega. C_\Delta . 10^{3-} \quad (39)$$

$$I_c = \frac{Q_c}{\sqrt{3}\,V} \quad (40)$$

$$X_c = \frac{\sqrt{3}\,V.10^3}{I_c} \quad (41)$$

ويبين شكل -7رسماً تخطيطياً لمكثف قدرة أحادي الطور ومكثفات قدرة ثلاثية الأطوار على شكل ستار و دلتا .



شكل -7

رسم تخطيطي لمكثفات القدرة أحادية الطور وثلاثية الأطوار على شكل ستار ودلتا

وتُصنع مكثفات القدرة حالياً بأشكال وأحجام مختلفة، وأهم المتطلبات التي يجب توافرها في مكثفات القدرة هي: تخفيض الفقدْ فيها، درجة حرارة تشغيل منخفضة، عمر تشغيلي طويل، أحجام وأوزان صغيرة إضافة إلى السعر المناسب.

وتصنع مكثفات القدرة حالياً من رقائق صغيرة نقية من صفائح الألومنيوم الملدن.

أما العازل فهو عبارة عن رقائق من ورق لدن Kraft مشبع بزيت Askarel، وهو نفس الزيت المستخدم في المحولات. وتصنع مكثفات القدرة على شكل مجموعات أو صفوف Banks.

قد تكون مجموعات مكثفات القدرة متصلة بشكل دائم بالشبكة وتسمى مجموعات غير قابلة للفصل Unswitched Banks أو المجموعات الثابتة، حيث لا يتم فصلها وإعادة توصيلها على الشبكة إعتماداً على عامل القدرة. وهناك نوع آخر يتصل بمفتاح على الشبكة ليتم بواسطته وصل أو فصل مجموعة مكثفات القدرة إعتمادً على قيمة عامل القدرة.

وهناك مكثفات قدرة أحادية الطور ومكثفات قدرة ثلاثية الأطوار، ويمكن أن توجد معلقة على عامود Pole-Mounted أو أرضية التركيب Floor-Mounted. كذلك هناك مكثفات قدرة خارجية الاستعمال Outdoor، حيث تكون مقاومة للعوامل الجوية، أما مكثفات القدرةالداخلية Indoor فيجب تركيبها داخل مبنى خاص بها.

ولابد من وجود أجهزة حماية على مكثفات القدرة، وتتناسب أجهزة الحماية من حيث تعقيدها وتشغيلها مع التكلفة الاقتصادية لمكثفات القدرة. وتزود مكثفات القدرة من النوع الثابت وكذلك النوع الذي يتم وصله وفصله بالشبكة بحماية من التيار المفرط التي تتكون عادة من مصهرات مع قاطع Fuses with cutout، حيث يتم وضع مصهر في كل طور. كذلك يتم تزويد مكثفات القدرةالخارجية بحماية ضد البرق بواسطة كامح Arrester. وتتكون حماية مجموعات مكثفات القدرة في محطات التحويل من الأجهزة التالية:

أ- يتم تزويد كل طور بمصهر خاص لحماية المكثف من الأعطال الداخلية .

ب- مرحلات فوق التيار المفرط وقواطع آلية لحماية الشبكة من الأعطال التي تحدث في مكثف القدرة .

جـ- حماية من الفولطية المفرطة Overvoltage لحماية مكثفات القدرة المتصلة على التوالي أو التوازي من قيم الفولطية المفرطة التي تظهر عندما يحترق أحد المصهرات .

د- كامحات تموّر Surge Arresters لحماية العازلية من ضربات البرق والفولطية المفرطة الناتجة عن عملية الإبدال Switching .

ويبين جدول -3 فولطية وقدرات مكثفات القدرة .

أما الفوائد التي نجنيها من استخدام مكثفات القدرة على الشبكات الكهربائية ، فيمكن إجمالها بما يلي :

1- تقلل من قدرة التوليد لتغطية القدرات المراكسة .

2- تقلل من قيمة التيار .

3- تزيد مستوى الفولطية في نقاط الاحمال .

4- تصبح عملية التحكم بالفولطية أكثر سهولة .

5- تقلل من الأحمال على الأجهزة والآلات .

6- تقلل الفقد في الشبكة .

جدول (3)
فولطية وقدرة مكثفات القدرة

الفولطية	القدرة	عدد الأطوار
فولط	كيلوفولط . أمبير مراكس	-
216	135, 7.5, 5	1 و 3
240	3	1
240	15, 10, 7.5, 5	1 و 3
480	50, 35, 25, 20, 15, 10	1 و 3
600	50, 35, 25, 20, 15, 10	1 و 3
2400	150	1
2400	150, 100, 50	1
2770	150, 100, 50	1
4160	150, 100, 50	1
4800	150, 100, 50	1
6640	150, 100, 50	1
7200	150, 100, 50	1
7060	150, 100, 50	1
7960	150, 100, 50	1
8320	150, 100, 50	1
9960	150, 100, 50	1
12410	150, 100, 50	1
13280	150, 100, 50	1
13600	150, 100, 50	1
14400	150, 100, 50	1

6.6 عناصر الشبة التي تستهلك قدرة مراكسة

إن استخدام كلمة تستهلك هنا مجازي، حيث أن القدرة المراكسة كما ذكرنا سابقاً يتم تبادلها بين العنصر الكهربائى وأجهزة التوليد لخلق مجال مغناطيسي والذي يعتبر عنصراً رئيسياً في عمل بعض الأجهزة مثل المحولات والمحركات وغيرها.

1.6.6 محولات القدرة

تلزم القدرة المراكسة في المحولات لإنتاج دفق مغناطيسي متغير والذي يتم بواسطته تمرير الطاقة الكهربائية من الملف الإبتدائي إلى الملف الثانوي، وكذلك تلزم هذه القدرة لإنتاج دفق التبديد.

في حالة اللاحمل No-Load فإن القدرة المراكسة في المحول تساوي:

$$Q_0 = \frac{I_0\% \cdot S_r}{100} \qquad (41)$$

حيث أن:

Q_0 – القدرة المراكسة للمحول في حالة اللاحمل، كيلو فولط. أمبير مراكس.

$I_0\%$– تيار اللاحمل كنسبة من التيار المقرر للمحول.

S_r– القدرة الكلية المقررة للمحول، كيلوفولط أمبير.

أما إذا كان المحول محملاً بالحمل المقرر له، فإن القدرة المراكسة في هذه الحالة تساوي:

$$Q_r = \frac{Z_K\% \cdot S_r}{100} \qquad (42)$$

حيث أن:

Q_r– القدرة المراكسة، كيلوفولط. أمبيرمراكس.

$Z_K\%$– نسبة الممانعة للمحول، %.

S_r: القدرة المقررة للمحول، كيلوڤولط . أمبير.

أما إذا كان المحول محملاً بقدرة تقلّ عن قدرته المقررة، أي أن تيار المحول I يختلف عن التيار المقرر I_r فإن معامل التحميل يساوي:

$$\beta = \frac{I}{I_r}$$

وتكون القدرة المراكسة في هذه الحالة تساوي:

$$Q_r = \frac{Z_K\%.\ S_r}{100}\ \beta^2 \qquad (43)$$

من العرض السابق فإن القدرة المراكسة الكلية للمحول بشكل عام تساوي:

$$Q = Q_0 + Q_r = \frac{I_0\ \%\ .\ S_r}{100} + \frac{Z_K\%.\ S_r}{100}\ .\beta^2 \qquad (44)$$

$$= \frac{S_r}{100}\ (I_0\% + Z_K\%\ \beta^2)$$

وعادة تُعطى قيم تيار المحول ونسبة الممانعة في الكاتالوجات الخاصة بالمحولات، ويبين جدول -4 هذه القيم لبعض المحولات.

جدول (4)

قيم تيار اللاحمل ونسبة الممانعة

قدرة المحول، كيلوفولط . أمبير	100	1000	10000
الفولطية المقررة الإبتدائية، كيلو فولط	35-6.3	35-10	120-3.5
تيار اللاحمل%	8-6	5.5-5	3.5-3
نسبة الممانعة %	6.5-5.5	6.5-5.5	10.5-7.5

ويبين جدول -5 قدرة المكثف بالكيلوڤولط . أمبير المراكس اللازمة لمعادلة المحولات من قدرة 100 إلى قدرة 2000 ك . ف . م .

جدول (5)

قدرة المكثف اللازمة لمعادلة المحولات

القدرة المقررة للمحول ك . ف . أ	نسبة الممانعة %	القدرة المراكسة للمحول (ك . ف . أ مراكس)		قدرة المكثف ك . ف . أ مراكس
		اللاحمل	الحمل الكلي	
100	4	3.5	7.5	7.5
160	4	5.0	11.4	12.5
250	4	7.0	17.0	15.0
400	4	10.0	26.0	25.0
500	4	12.0	32.0	30.0
630	4	14.5	40.0	40.0
800	6	17.0	49.0	50.0
1000	6	20.0	80.0	75.0
1250	6	24.0	99.9	100.0
1600	6	28.0	124.0	125.0
2000	6	33.0	153.0	150

مثال :

أحسب القدرة المراكسة لمحول قدرته 560 كيلوڤولط . أمبير ، والڤولطيه/6KV 0.4KV ، إذا كان تيار الحمل يساوي 6% ونسبة الممانعة 5.5% .

الحل :

القدرة المراكسة للمحول في حالة اللاحمل تساوي :

$$Q_0 = \frac{I_0\%.\ S_r}{100} = \frac{6}{100} \times 560 = 33.6\ KVAR$$

القدرة المراكسة للمحول في حالة الحمل تساوي :

$$Q_r = \frac{Z_K\%.\ S_r}{100} = \frac{5.5}{100} \times 560 = 30.8\ KVAR$$

القدرة المراكسة الكلية تساوي :

$$Q = Q_0 + Q_r = 33.6 + 30.8 = 64.4\ KVAR$$

وبشكل تقريبي وللمحولات ذات القدرة المتوسطة (التي تتراوح قدرتها بين 630 كيلوفولط . أمبير إلى 2500 كيلوفولط . أمبير) يمكن إعتبار أن تياراللاحمل يساوي نسبة الممانعة . في هذه الحالة فإن القدرة المراكسة للمحول تساوي :

$$Q = \frac{2\ I_0\%\ .\ S_r}{100} = \frac{2\ Z_K\%.\ S_r}{100} \qquad (45)$$

2.6.6 المحركات الحثية

تتطلب المحركات الحثية Induction motors قدرة مراكسة لعملها ، وكما في المحولات فإن القدرة المراكسة للمحركات الحثية تتغير من القدرة المراكسة في حالة اللاحمل إلى القدرة المراكسة التي يتطلبها المحرك في حالة الحمل .

في حالة اللاحمل فإن عامل القدرة للمحرك يساوي $\cos \varphi_{n.1} = 0.1 - 0.2$ ، وهذا يُناظر $\sin \varphi_{n.1} = 0.99 - 0.97$ ، لذلك يمكننا إهمال المركبة الفعّالة في تيار اللاحمل والتي تُسبب الفقد في الصلب والفقد الميكانيكي ، لذلك فإن القدرة المراكسة في حالة اللاحمل تساوي :

$$Q_0 = \sqrt{3}\ I_{n.L}\ V_r = \sqrt{3}\ I_r V_r \cos\varphi_r . \frac{I_0}{I_r . \cos\varphi_r} =$$

$$= \frac{P_r}{\eta_r} \frac{I_0}{I_r \cos\varphi_r} \qquad (46)$$

وتساوي القدرة المراكسة المقررة للمحرك مايلي :

$$Q_r = \frac{P_r}{\eta_r} tg\varphi_r \qquad (47)$$

حيث أن:

P_r- القدرة الفعّالة المقررة للمحرك، كيلو واط.

η_r- فاعلية المحرك المقررة.

ويمكننا تحديد القدرة المراكسة لدفق التبديد للمحرك والتي تعتمد على حمل المحرك كما يلي:

$$Q_r = (Q_r - Q_0)\,ß^2 = ß^2 .\ \frac{P_r}{\eta_r}\left(tg\varphi_r - \frac{I_0}{I_r .\ Cos\varphi_r}\right) \qquad (48)$$

أما القدرة المراكسة الكلية للمحرك فتساوي:

$$Q = Q_0 + ß^2\, I^2\, X = Q_0 + ß^2 .\ Q_r \qquad (49)$$

وبوضع قيم Q_0 , Q_r من المعادلتين (36, 48) في معادلة (49)، ينتج أن:

$$Q = \frac{P_r}{\eta_r}\left[\frac{I_0}{I_r .\ cos\varphi_r} + ß^2\left(tg\varphi_r - \frac{I_0}{I_r .\ cos\varphi_r}\right)\right] \qquad (50)$$

ولابد أن نشير هنا إلى أن قدرة المكثف اللازم لمعادلة القدرة المراكسة في المحرك يجب أن لا تزيد عن 90% من القدرة المراكسة المستهلكة للمحرك في حالة اللاحمل حتى نتجنب ظاهرة التهيج الذاتي Self excitation. وجوهر هذه الظاهرة يكمن في الآتي:

إذا كان المحرك له حمل كهربائي بقصور عالي High inertia فعند توقيفه بفصل الكهرباء عنه يستمر في الدوران لفترة قصيرة، ويعود السبب إلى أن القصور المغناطيسي Magnetic inertia لدارة العضو الدوار Rotor ستولد قوة دافعة كهربائية في ملفات العضو الثابت Stator لفترة قصيرة، وهذه ستضمحل إلى الصفر

أما العناصر الأخرى في الشبكة والتي تتطلب قدرة مراكسة فهي إضافة إلى المحولات والمحركات خطوط النقل الكهربائي والأفران الكهربائية ومحولات اللحام الكهربائي والمصابيح الفلورية ومصابيح التفريغ .

7.6 معادلة القدرة المراكسة

نلجأ إلى معادلة Compensating القدرة المراكسة لرفع أو تحسين معامل القدرة ، وتعني المعادلة إضافة مكثفات قدرة في نقطة الشبكة التي يلزمنا رفع عامل القدرة فيها . وتعتمد قدرة مكثفات القدرة اللازم إضافتها على قيمة عامل القدرة الجديد الذي يكون هدفاً Traget نريد الوصول إليه . فمثلاً ، إذا أردنا رفع عامل القدرة من 0.65 إلى 0.9 ، فإن الأخير يُعتبر الهدف الذي نسعى لتحقيقه . وتلجأ الشركات الصانعة عادة إلى تزويد المهندس بجداول وطرق بيانية لتسهيل حساب قدرة المكثفات المطلوبة ، وسنستعرض هنا بعضها .

1.7.6 طريقة الجداول

هذه طريقة عامة حيث تبين الجداول عامل القدرة الحالي ثم عامل القدرة الهدف وما يناظره من قدرة المكثفات المطلوبة لكل كيلوواط . ويبين جدول -7 القدرة المراكسة لكل كيلو واط فعّال ولعوامل قدرة مختلفة .

مثال :

إذا كان لدينا مغذ Feeder قدر ، الفعّالة 1000 كيلو واط وعامل القدرة له 0.8 ، احسب القدرة المراكسة للمكثفات اللازم إضافتها لتحسين عامل القدرة ورفعه إلى 0.9 .

الحل :

من جدول -7 نجد أنه لرفع عامل القدرة من 0.8 إلى 0.9 يلزمنا 0.27 كيلوفولط . أمبير مراكس لكل كيلوواط قدرة فعّالة .

قدرة المكثفات المطلوبة = 0.27 x 1000 =270 كيلوفولط . أمبير مراكس يجب إضافتها لتحسين عامل القدرة إلى القيمة المطلوبة .

مثال :

عند أحد المستهلكين تم قياس القدرة الفعالة ووجد أنها تساوي 700 كيلوواط ، وتم قياس القدرة المراكسة ووجد أنها 1000 كيلوفلوط أمبير ، إحسب قدرة المكثفات اللازم إضافتها لرفع عامل القدرة إلى 0.96 .

الحل :

$$\text{عامل القدرة الحالي} = \frac{\text{كيلوواط}}{\text{كيلوفولط أمبير}} = \frac{700}{1000} = 0.70$$

من جدول -7 يلزمنا 0.73 كيلوفولط . أمبير مراكس لكل كيلو واط .

قدرة المكثفات المطلوبة = 1000 x 0.73 = 730 كيلوفولط . أمبير مراكس .

جدول -7

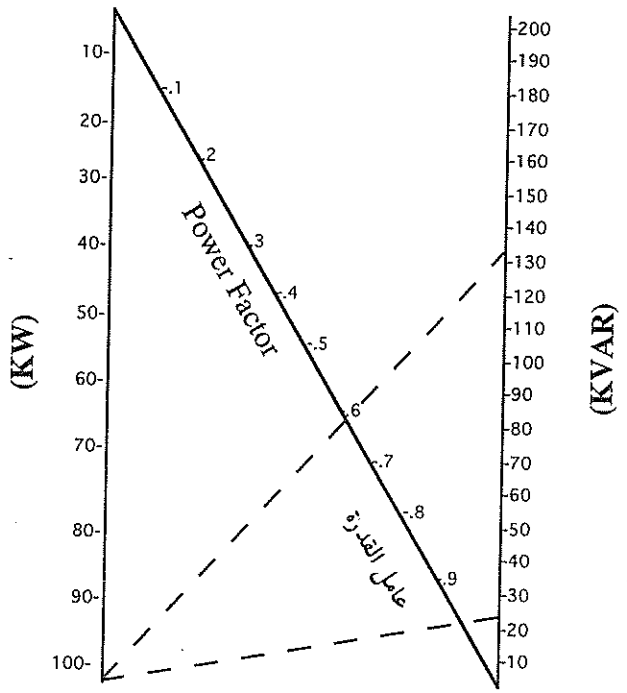
حساب القدرة المراكسة لتحسين عامل القدرة

Existing $\cos\varphi_1$	Desired power factor $\cos\varphi_2$												
	0.7	0.75	0.80	0.82	0.84	0.86	0.88	0.90	0.92	0.94	0.96	0.98	1.00
	Factor F فعّال كيلو واط . أمبير مراكس لكل كيلو فولط												
0.40	1.27	1.41	1.54	1.60	1.65	1.70	1.76	1.81	1.87	1.93	2.00	2.08	2.29
0.45	0.97	1.11	1.24	1.29	1.34	1.40	1.45	1.50	1.56	1.62	1.69	1.78	1.99
0.50	0.71	0.85	0.98	1.04	1.09	1.14	1.20	1.25	1.31	1.37	1.44	1.53	1.73
0.52	0.62	1.76	0.89	0.95	1.00	1.05	1.11	1.16	1.22	1.28	1.35	1.44	1.64
0.54	0.54	0.68	0.81	0.86	0.92	0.97	1.02	1.08	1.14	1.20	1.27	1.35	1.56
0.56	0.46	0.60	0.73	0.78	0.84	0.89	0.94	1.00	1.05	1.12	1.19	1.27	1.48
0.58	0.39	0.52	0.66	0.71	0.76	0.81	0.87	0.92	0.98	1.04	1.11	1.20	1.41
0.60	0.31	0.45	0.58	0.64	0.69	0.74	0.80	0.85	0.91	0.97	1.04	1.13	1.33
0.62	0.25	0.39	0.52	0.57	0.62	0.67	0.73	0.78	0.84	0.90	0.97	1.06	1.27
0.64	0.18	0.32	0.45	0.51	0.56	0.61	0.67	0.72	0.78	0.84	0.91	1.00	1.20
0.66	0.12	0.26	0.39	0.45	0.49	0.55	0.60	0.66	0.71	0.78	0.85	0.93	1.14
0.68	0.06	0.20	0.33	0.38	0.43	0.49	0.54	0.60	0.65	0.72	0.79	0.88	1.08
0.70		0.14	0.27	0.33	0.38	0.43	0.49	0.54	0.60	0.66	0.73	0.82	1.02
0.72		0.08	0.22	0.27	0.32	0.37	0.43	0.48	0.54	0.60	0.67	0.76	0.96
0.74		0.03	0.16	0.21	0.26	0.32	0.37	0.43	0.48	0.55	0.62	0.71	0.91
0.76			0.11	0.16	0.21	0.26	0.32	0.37	0.43	0.50	0.56	0.65	0.86
0.78			0.15	0.11	0.16	0.21	0.27	0.32	0.38	0.44	0.51	0.60	0.80
0.80				0.05	0.10	0.16	0.21	0.27	0.33	0.39	0.46	0.55	0.75
0.82					0.05	0.10	0.16	0.22	0.27	0.33	0.40	0.49	0.70
0.84						0.05	0.11	0.16	0.22	0.28	0.35	0.44	0.65
0.86							0.06	0.11	0.17	0.23	0.30	0.39	0.59
0.88								0.06	0.11	0.17	0.25	0.34	0.59
0.90									0.06	0.12	0.19	0.28	0.48
0.92										0.06	0.13	0.22	0.42
0.94											0.07	0.16	0.36

2.7.6. الطريقة البيانية

وهذه طريقة سهلة لتقدير قدرة المكثفات المطلوبة لرفع معامل القدرة . ففي البداية نُحدد القدرة المراكسة التي تُناظر عامل القدرة الحالي ، ثم نُحدد القدرة التي تُناظر عامل القدرة الهدف ، وبطرح الأخيرة من القدرة المراكسة التي تُناظر عامل القدرة الحالي نَحصلُ على قدرة المكثفات المطلوبة .

ويبين شكل -8 الطريقة البيانية الآنفة الذكر.



شكل -8

مثال :

إحسب قدرة المكثفات لرفع عامل القدرة من 0.6 إلى 0.95 لحمل قدرته 100 كيلواط .

الحل :-

نصل ما بين نقطة 100كيلو واط على مقياس الكيلوواط مع نقطة 0.6 على مقياس عامل القدرة ونمد الخط بين النقطتين ليتقاطع مع قياس الكيلوفولط . أمبير مراكس في نقطة هي 133 كيلوفولط . أمبير مراكس ، ثم نمد خطاً ثانياً لتحديد القدرة المراكسة التي تُناظر عامل القدرة الجديد ، وتساوي تلك القدرة 25 كيلفولط . أمبير مراكس ، من هنا :

فإن قدرة المكثفات المطلوبة هي :

$$133 - 25 = 108 \text{ KVAR}$$

وللأحمال التي تزيد عن 100 كيلواط ، نضرب الأرقام في الشكل السابق بعشرة أو مائة لنحصل على المطلوب .

3.7.6 الطريقة الحسابية

يمكننا حساب قدرة المكثف اللازمة للمعادلة بمعرفة القدرة الفعّالة للجهاز المطلوب معادلته ومعرفة عامل القدرة الحالي $\text{Cos}\varphi_1$ وعامل القدرة الهدف $\cos\varphi_2$ المطلوب الوصول إليه ، عندها يمكن حساب قدرة المكثف المطلوبة باستخدام المعادلة التالية :

$$Q_c = P\,(\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2)$$

فمثلاً: إذا كانت قدرة الجهاز الكهربائي الفعّالة تساوي 100كيلو واط وعامل القدرة الحالي يساوي $\text{Cos}\varphi_1 = 0.8$ وعامل القدرة المطلوب تحقيقه يساوي $\text{Cos}\varphi_2 = 0.9$ ، فإن قدرة المكثف المطلوبة تساوي :

$\tan \varphi_1 = .75$

$\tan \varphi_2 = 0.484$

$Q_c = 100\,(.75 - 0.484) - 26.6 \text{ KVAR}$

8.6 أنواع المعادلة

تعتمد معادلة Compensating القدرة المراكسة على ظروف تشغيل الأحمال ، لذلك توجد الأنواع التالية لمعادلة القدرة المراكسة :

أ- المعادلة الفردية Individual compensation .

ب- المعادلة الجماعية Grôup compensation .

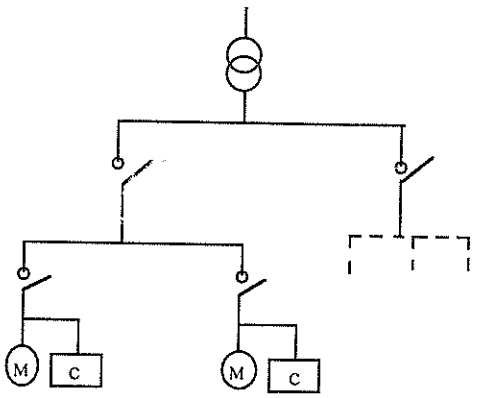
جـ- المعادلة عن طريق التحكم المركزي Centralized control .

وسنستعرض بالتفصيل هذه الأنواع .

1.8.6 المعادلة الفردية

تعتبر المعادلة الفردية إقتصادية للمحولات والمحركات الكبيرة التي تعمل بشكل متواصل ، ويتم وصل مكثفات القدرة في هذه الحالة بشكل مباشر مع الحمل دون الحاجة إلى وسائل حماية خاصة بهذه المكثفات ، وإنما تتم حمايتها عن طريق الحماية المخصصة للأحمال . ويبين شكل -9 طريقة توصيل مكثفات القدرة في هذه الحالة .

ويُحبذ استخدام المعادلة الفردية للمحركات في حالة كون حمل المحرك يشكل نسبة كبيرة من حمل التمديدات ككل ، وتكون قدرة مكثف القدرة في هذه الحالة تساوي 25٪ من القدرة الفعّالة للمحرك ، وقد يتطلب الأمر معادلة القدرة المراكسة عند مصدر التغذية الكهرابئية (المحول) .



شكل -9
المعادلة الفردية

عند إستخدام المعادلة الفردية فإن التيار الذي يمر في المغذي للمحرك والمكثف تقل قيمته عن قيمته قبل المعادلة وهذا يستدعي إعادة النظر في مقرر الحماية الموجودة في

بداية المغذي ، لذلك لابد من إعادة معايرة مرحل التيار المفرط Overcurrent relay بحيث يتم تقليل المعايرة بنسبة تساوي :

$$\frac{\text{Cos}\varphi \text{ before compensation}}{\text{Cos}\varphi \text{ after compensation}}$$

ويمكن أيضاً استخدام جدول -8 لإيجاد معامل التخفيض Reduction factor .

جدول (8)

معامل التخفيض لمعايرة مرحلات فوق التيار

سرعة المحرك ، دورة / دقيقة	معامل التخفيض
750	0.88
1000	0.90
1500	0.91
3000	0.93

وبالنسبة للمحولات ، غالباً ما يُحبذ زيادة قدرة المكثفات لغايات معادلة جزء من الحمل المتصل بالمحول .

وعند زيادة قدرة المكثفات لابد أن تكون قدرة المكثف في حدود لا تسبب ظهور التيارات التوافقية من الدرجة الخامسة والسابعة ، والتي تسبب زيادة الحمل على المكثف . ولهذه الغاية فإن قدرة المكثف يجب أن لا تزيد عن تلك التي يُحددها المنحنى الوارد في شكل -10 .

ويسبب فرط المعادلة Overcompensating إرتفاعاً في الفولطية ، وهذا الإرتفاع يمكن حسابه بشكل تقريبي كما يلي :

$$V = \frac{Z_K \% \, Q_c}{S_r} \qquad (51)$$

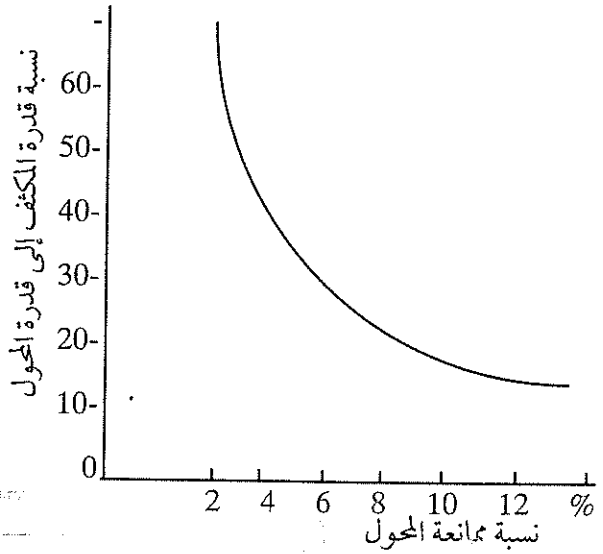
حيث أن :

V- إرتفاع الفولطية كنسبة من الفولطية المقررة للمحول .

Z_K- نسبة ممانعة المحول، % .

Q_c- قدرة المكثف . ك . ف . أ مراكس .

S_r- القدرة المقررة للمحول، ك . ف . أ .

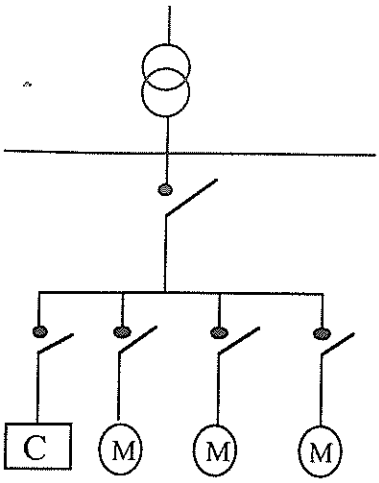


شكل -10

يُستخدم هذا المنحنى فقط للمكثفات غير المنضبطة Nonadjustable، وكذلك فإن المكثف يتصل باستمرار بجهة الفولطية المنخفضة للمحول .

2.8.6 المعادلة الجماعية

تُستخدم المعادلة الجماعية Group compensation لمعادلة القدرة المراكسة لمجموعة أحمال يتم وصلها مع مصدر التغذية في آن واحد . وعادة، توجد حماية منفصلة لمكثف القدرة المستخدم عن طريق قاطع آلي . ويبين شكل -11 طريقة وصل مكثف القدرة مع مجموعة أحمال .



شكل -11

ومن الأمثلة على طريقة المعادلة الجماعية معادلة القدرة المراكسة لمجموعة مصابيح فلورية حيث يتم وصل المكثف في نفس لوحة التوزيع التي تغذي المصابيح . ويبين جدول -9 قدرة المكثف المطلوبة لمعادلة المصابيح الفلورية .

جدول (9)

قدرة المكثفات لمعادلة القدرة المراكسة للمصابيح الفلورية

المصابيح الفلورية		قدرة المكثف
الفولطية المقررة (فولط)	القدرة (واط)	فولط . أمبير مراكس
110	20	30
220	10	30
	15 x2	55
	16	40
	20	80
	25	55
	40	70
	20 x2	70
	65	110

مثال :

احسب قدرة المكثف اللازمة لمعادلة مجموعة من المصابيح الفلورية التالية :

5 – مصابيح قدرة 20 واط لكل منها .

20– مصباحاً قدرة 40 واط لكل منها .

20 – مصباحاً قدرة 65 واط لكل منها .

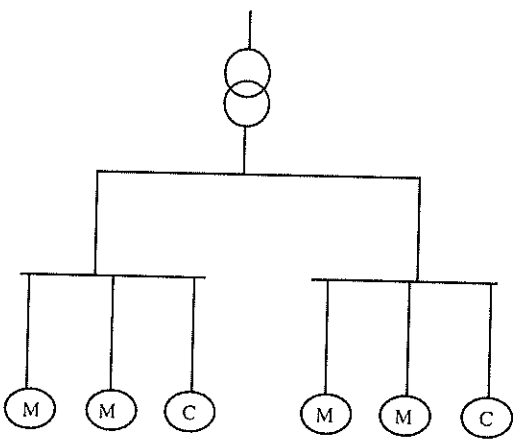
الحل :

باستخدام جدول –9 نجد أن قدرة المكثف اللازمة هي :

$$5 \times 80 + 20 \times 70 + 20 \times 110 = 4000 \text{ VAR}$$

3.8.6 المعادلة شبه الجماعية

تستخدم المعادلة شبه الجماعية في حالة كون نظام التمديدات كبيراً ويمتد على مساحة كبيرة ، وفي هذه الحالة يحبذ تركيب المكثفات عند كل لوحة توزيع رئيسية في المنطقة المعنية ، ويبين شكل -12 رسماً تخطيطياً للمعادلة شبه الجماعية أو التي يُطلق عليها أحياناً المعادلة حسب القطاع Compensation by sector .



شكل -12

المعادلة شبه الجماعية

4.8.6 المعادلة المركزية باستخدام نظام تحكم آلي

إستعرضنا سابقاً معادلة القدرةالمراكسة عن طريق وصل مكثفات القدرة، حيث أن قدرة هذه المكثفات ثابتة لا تتغير Fixed capacitors، وتستخدم مثل هذه المكثفات إذا كانت قدرة المكثفات تساوي 15% أو أقل من قدرة محول التوزيع المُغذي للتمديدات، أما إذا كانت قدرة المكثفات أكبر من 15% فُيحبذ استخدام مبدأ المعادلة المنضبطة الآلية Automatically regulated capacitors والتي تتم عن طريق إستخدام المعادلة المركزية باستخدام نظام تحكم آلي Centralized Compensation with automatic control system وذلك لمعادلة القدرة المراكسة لأحمال متنوعة وعديدة، حيث يختلف عامل القدرة لكل حمل عن الآخر وفي أوقات مختلفة. في هذه الحالة يتم التحكم بعامل القدرة بحيث يظل ثابتاً بغض النظر عن فصل ووصل الأحمال الكهربائية، وذلك عن طريق التحكم بوصل وفصل مكثفات القدرة بإعطاء إشارة لعملية إبدالها Switching.

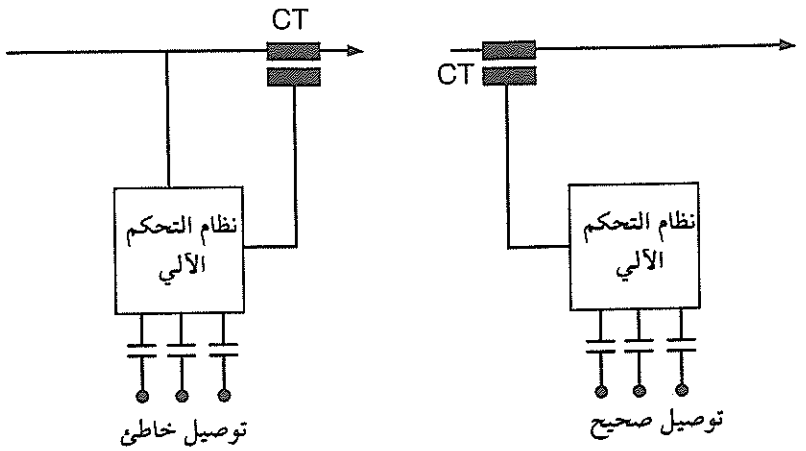
أما المكونات الرئيسية لهذا النظام فهي:

- مرحل تحكم آلي بعامل القدرة والذي يقيس الطلب على القدرة المراكسة من نقطة التزويد الكهربائية Power supply. ويُستخدم في عملية القياس محول أو ثلاثة محولات تيار يتم بوساطتها تمرير الإشارة إلى المفاتيح التلامسية Con-tactors التي تتحكم بمكثفات القدرة.
- مفاتيح تلامسية تتم بوساطتها عمليات الإبدال في مكثفات القدرة.
- مصهرات أو قواطع آلية لحماية مكثفات القدرة.
- نبيطة Device لتفريغ شحنات مكثفات القدرة.

تكون مهمة المرحل فصل ووصل المكثفات آلياً، فإذا كانت الأحمال الكهربائية متماثلة في جميع الأطوار فيمكننا استخدام محول تيار واحد، ولكن إذا كانت الأحمال غيرمتماثلة في الأطوار فلابد لنا من استخدام محول تيار في كل طور. ومن الأهمية بمكان وضع محول التيار في المكان الصحيح. ويتحدد مكان محول التيار بأننا

إذا نظرنا إلى إتجاه سريان التيار الكهربائى فإن محول التيار يجب أن يكون أمام نظام التحكم بالمكثفات .

ويبين شكل -13 التوصيل الصحيح لمحول التيار.

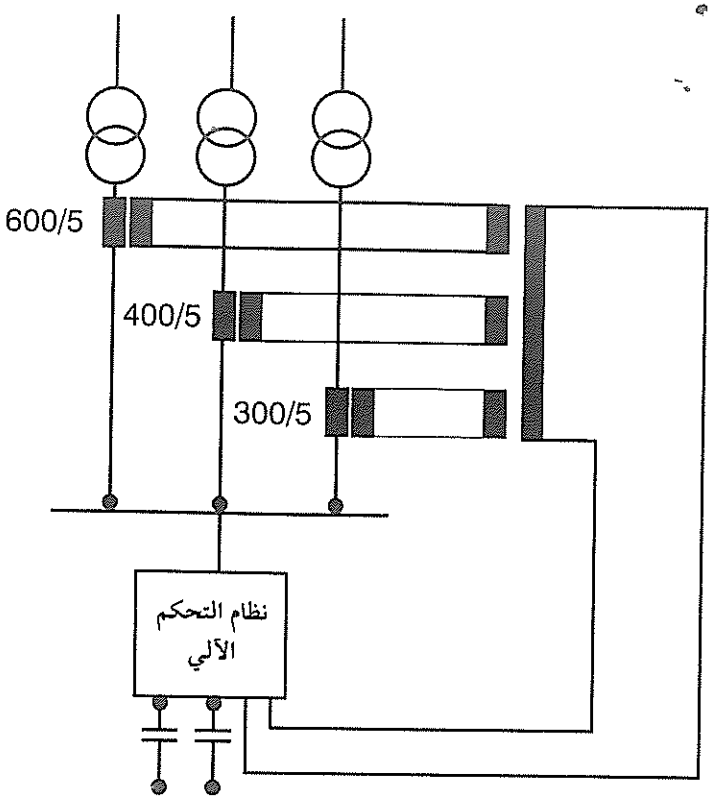


شكل -13
طريقة توصيل محول التيار

أما إذا كان لدينا عدة مغذيات Feeders ، فإن القدرة المراكسة لكل مغذ يجب أخذها بعين الاعتبار ، لذلك يُستخدم محول تيار تجميعي Summation current transformer والذي يقوم بجمع القدرة المراكسة وتمريرها إلى نظام التحكم . ويبين شكل -14 هذا التوصيل .

في هذه الحالة فإن نسبة تحويل المحولات هي :

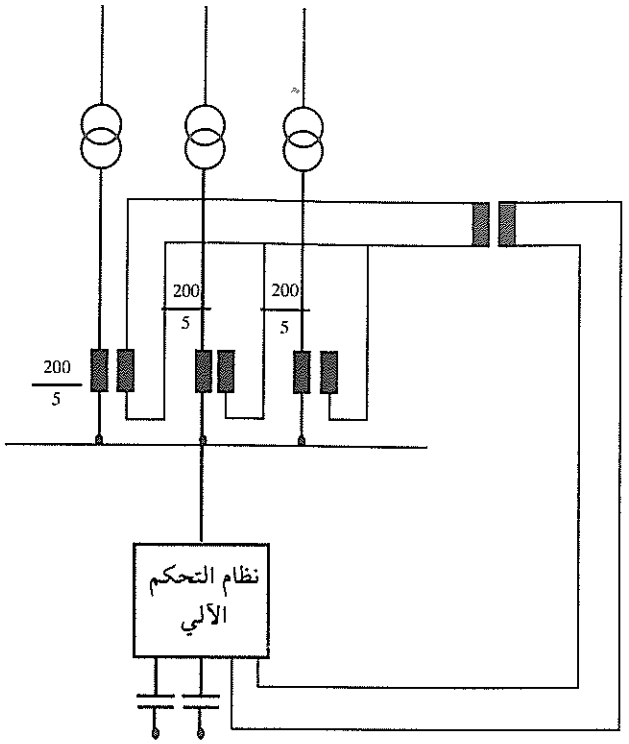
$$\frac{600}{5}+\frac{400}{5}+\frac{300}{5}=260$$



شكل -14

أما إذا كانت نسبة تحويل محولات التيار متساوية فيمكننا استخدام محول تيار وسطي Intermediate current transformer، كما يبين شكل -15 . في هذه الحالة فإن نسبة التحويل لمحولات التيار تساوي :

$$\frac{200}{5}+\frac{200}{5}+\frac{200}{5}=120$$

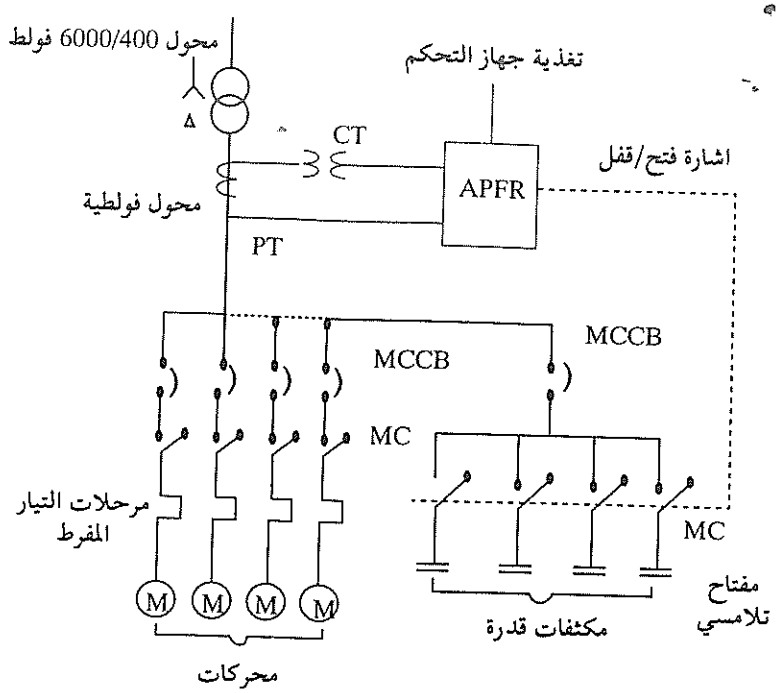


شكل -15

1.4.8.6 المنظم الآلي لعامل القدرة

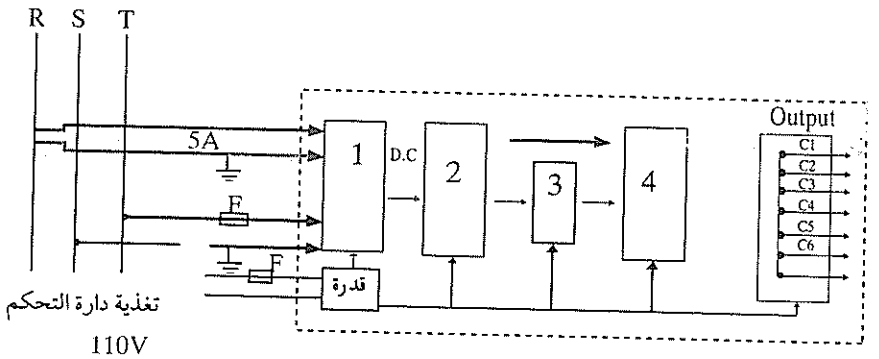
يُستخدم المنظم الآلي لعامل القدرة Automatic Power Factor Regulation (APFR) كجهاز للاستدلال على القدرة المراكسة وإعطاء الأوامر لفصل أو وصل مكثفات القدرة للحفاظ على عامل القدرة عند مستوى معين محدد سلفاً. ويتم وصل المنظم الآلي على جهة الفولطية المنخفضة لمحولات القدرة عن طريق محول تيار (CT) ومحول فولطية (جهد) PT ، ويتصل بمفاتيح تلامسية مغناطيسية تتحكم بفصل أو وصل عدد من مكثفات القدرة متصلة بشكل مركزي بالحمل الكهربائي.

ويبين شكل -16 مخططاً تمثيلياً لطريقة وصل المنظم الآلي مع مكثفات القدرة والحمل الكهربائي.



شكل -16

مخطط تمثيلي لتوصيل المنظم الآلي لعامل القدرة (APFR)



شكل -17

مخطط صندوقي للمنظم الآلي لعامل القدرة

1- كشف القدرة المراكسة .

2- ضبط التقدم والتأخر.

3- بادئ النبضة .

4- دارة التحكم بالتبديل التتابعي.

ويوجد في المنظم الآلي عدة أقراص مدرجة Dials للدلالة ، وهذه هي :

أ- قرص نطاق الضبط Band adjustable dial .

ويُستخدم هذا القرص لتغيير نطاق القدرة المراكسة في كلا الطرفين، التقدم Lead والتأخير Lag، بحيث إذا إختلفت القدرة المراكسة عن نطاق الضبط يتم فصل ووصل مكثفات القدرة.

ب- قرص إزاحة قيمة الوسط Center Value Shifting Dial .

ويُستخدم هذا القرص لإزاحة القيمة كوحدة واحدة أما إلى جهة التقدم أو التأخر، ولا يؤثر ذلك على قيمة نطاق الضبط التي تبقى ثابتة، وإنما تتغير قيمة الوسط لهذا النطاق.

جـ- التعيير الزمني Time Setting .

ويحدد هذا التعيير الفترة الزمنية التي يجب مرورها قبل إعطاء إشارة الوصل والفتح لمكثفات القدرة تبعاً لتغيير قيمة القدرة المراكسة.

وسنستعرض هنا طرق الحساب المستخدمة في هذه الطريقة.

في البداية لابد من تحديد القدرة المراكسة الهدف Target reactive power.

$$Q_T = P_{max} \sqrt{\frac{1}{(\cos\varphi_T)^2} - 1} \qquad (52)$$

حيث أن :

Q_T- القدرة المراكسة الهدف، ك.ف.أ مراكس.

P_{max}- القدرة الفعالة العظمى، ك . واط.

$Cos_{\varphi T}$-عامل القدرة الهدف .

من ناحية أخرى ، فإن القدرة الظاهرية تساوي :

$$S = \frac{P}{Cos_{\varphi T}} \qquad (53)$$

بوضع قيمة P من المعادلة (53) في المعادلة (52) نحصل على مايلي :

$$Q_T = S\sqrt{1-(Cos\varphi_T)^2} \qquad (54)$$

فإذا فرضنا أن القدرة المراكسة في الشبكة قبل المعادلة تساوي Q_{max} فإن قدرة المكثفات المطلوبة تساوي :

$$C_m = Q_{max} - Q_T \qquad (55)$$

حيث أن :

C_m- قدرة المكثفات المطلوبة ، ك . ف . أ مراكس .

Q_{max} - القدرة المراكسة في الشبكة قبل المعادلة ، ك . ف . أ مراكس .

Q_T - القدرة المراكسة الهدف ، ك . ف . أ مراكس .

وعادة تكون مكثفات القدرة مكونة من مجموعات Banks ، لذلك فإن قدرة المكثف الواحد تساوي :

$$C_R = \frac{C_m}{n} \qquad (56)$$

حيث أن :

C_R- قدرة المكثف الواحد ، ك . ف . أ مراكس .

n- عدد المكثفات في المجموعة .

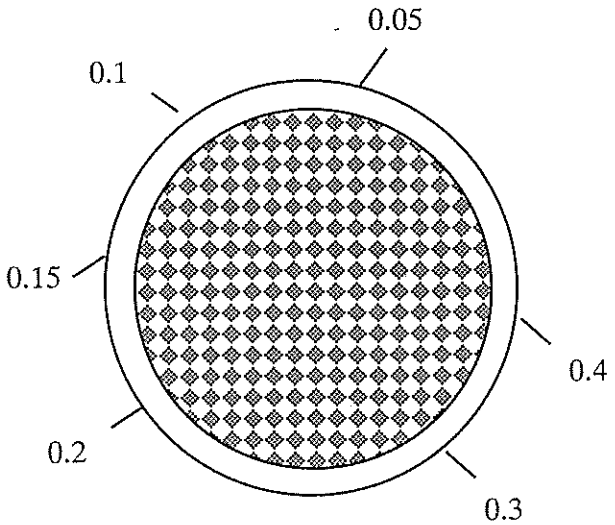
من هنا فإن القدرة المراكسة في الشبكة بعد المعادلة تساوي :

$$Q_E = Q_{max} - n.C_R \qquad (57)$$

بعد ذلك يلزمنا تحديد نطاق الضبط Adjustable band حتى نتمكن من تعيير

المنظم الآلي . كما ذكرنا سابقاً يوجد في كل منظم قرص يسمى قرص التعيير Setting dial ، ويبين شكل -18 شكل هذا القرص ، حيث يوجد علي هذا القرص أرقام لتحديد نقطة التعيير Set point ، والتي يتم حسابها كما يلي :

$$\text{Set point} = \frac{\text{Max Individual capacitor (KVAR)}}{\text{CT Raio x PT Ratio}} = \frac{C}{K} \qquad (58)$$



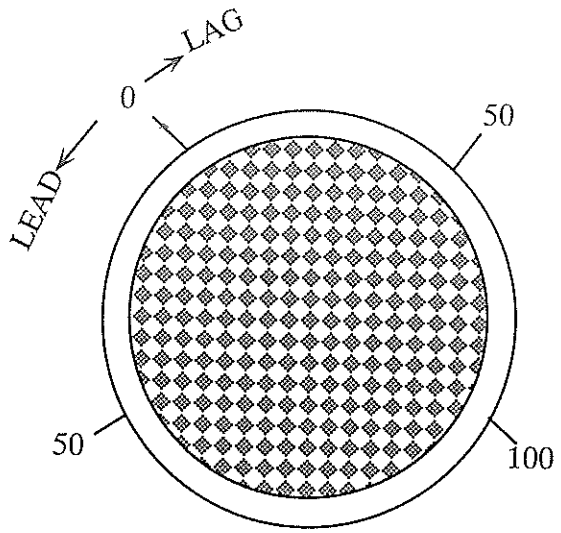
شكل -18

ويعتمد التعيير على ضبط هذا القرص على رقم أكبر من قيمة $\frac{C}{K}$ ، وبعد ذلك نحدد نطاق الضبط كما يلي :

$$\text{Adjustable band} = 1.2 \times \text{set point} \times \text{CT ratio} \times \text{PT ratio} \qquad (59)$$

وبهذه الطريقة يمكننا تجنب التأرجح Hunting في مكثفات القدرة . وبما أن القيم على قرص التعيير هي أكبر من القيمة المحسوبة بـ $\sqrt{3}$ مرة ، فإن ما نحصل عليه هو تعيير قيمة الوسط Center Value .

ويبين شكل -19 هذا القرص .



شكل -19

ويُستخدم هذا القرص لإزاحة قيمة الوسط بإتجاه التأخير Lagging أو التقدم Leading عن طريق تحريك قيمة الوسط (مركز الوسط) لنطاق الضبط. ويبين المقياس الموجود على القرص قيمة الوسط كنسبة مئوية من نقطة التعيير، ويمكن حساب قيمة (ك. ف. أ مراكس) لنطاق الضبط باستخدام المعادلة التالية:

$$Q_3 = \frac{\text{Center Value \% x R}}{100 \text{ x } 1.2} \qquad (60)$$

حيث أن:

Q_3- قيمة الوسط ك. ف. أ مراكس.

R- نطاق الضبط ك. ف. أ مراكس.

مع ملاحظة أن وجود إشارة الناقص يعني التأخير، وإشارة الموجب تعني التقديم. إن القيمة التي نحصل عليها لقيمة الوسط هي أيضاً قيمة القدرة المراكسة للدارة ثلاثية الأطوار.

ومن معادلة (60) يمكننا إيجاد قيمة الوسط كنسبة مئوية كما يلي:

$$\text{Center Value Dial} = \frac{Q_3 \text{ x } 1.2 \text{ x } 100}{R} \ \% \qquad (61)$$

وتتغيّر هذه القيمة في مدى من + 50% إلى صفر في حالة التقدم، ومن صفر إلى - 100% في حالة التأخير.

كذلك ولتعيير قدرة المكثفات يمكننا استخدام جدول -10 بدلاً عن المعادلات التي يمكن بوساطتها حساب تلك القدرة.

جدول (10)

اختيار قدرة المكثفات لتحسين عامل القدرة

Power factor before being improved - $\cos\theta_0$	Power factor after being improved - $\cos\theta_1$																													
	1.0	0.99	0.98	0.97	0.96	0.95	0.94	0.93	0.92	0.91	0.9	0.875	0.85	0.825	0.8	0.775	0.75	0.725	0.7	0.657	0.65	0.625	0.6	0.575	0.55	0.525	0.5	0.475	0.45	0.425
0.4	2.30	2.16	2.10	2.05	2.01	1.97	1.94	1.90	1.87	1.84	1.82	1.75	1.68	1.61	1.55	1.49	1.42	1.35	1.28	1.21	1.13	1.05	0.96	0.88	0.78	0.68	0.57	0.45	0.32	0.17
0.425	2.13	1.98	1.92	1.88	1.84	1.80	0.76	1.73	1.70	0.67	1.64	1.57	1.51	1.44	1.38	1.31	1.24	1.18	1.11	1.04	0.96	0.88	0.79	0.71	0.61	0.51	0.40	0.27	0.15	
0.45	1.98	1.83	1.77	1.73	1.68	1.65	0.161	1.58	1.55	1.52	1.49	1.42	1.36	1.29	1.23	1.16	1.10	1.03	0.96	0.89	0.81	0.73	0.54	0.56	0.46	0.36	0.24	0.12		
0.475	1.85	1.71	1.65	1.61	1.56	1.53	1.49	1.46	1.43	1.40	1.37	1.30	1.23	1.16	1.10	1.04	0.98	0.91	0.84	0.76	0.58	0.60	0.52	0.44	0.33	0.23	0.12			
0.5	1.73	1.59	1.53	1.48	1.44	1.40	1.37	1.35	1.30	1.28	1.25	1.18	1.11	1.04	0.98	0.92	0.85	0.78	0.71	0.64	0.56	0.48	0.40	0.31	0.21	0.11				
0.525	1.62	1.48	1.42	1.37	1.33	1.29	1.26	1.22	1.19	1.17	1.14	1.07	1.00	0.93	0.87	0.81	0.74	0.67	0.60	0.53	0.45	0.37	0.29	0.20	0.10					
0.55	1.52	1.38	1.32	1.27	1.23	1.19	1.16	1.12	1.09	1.06	1.04	0.97	0.90	0.83	0.77	0.71	0.64	0.57	0.50	0.43	0.35	0.27	0.19	0.10						
0.575	1.42	1.28	1.22	1.17	1.14	1.10	1.06	1.03	0.99	0.96	0.94	0.87	0.80	0.74	0.67	0.60	0.54	0.47	0.40	0.33	0.23	0.17	0.08							
0.6	1.33	1.19	1.13	1.08	1.04	1.01	0.97	0.94	0.91	0.88	0.85	0.78	0.71	0.65	0.58	0.52	0.46	0.39	0.32	0.24	0.16	0.085								
0.625	1.25	1.11	1.05	1	0.96	0.92	0.89	0.85	0.82	0.79	0.77	0.70	0.63	0.56	0.50	0.44	0.37	0.30	0.23	0.16	0.08									
0.65	1.17	1.03	0.97	0.92	0.88	0.84	0.81	0.77	0.74	0.71	0.69	0.62	0.55	0.48	0.42	0.36	0.29	0.22	0.15	0.08										
0.675	1.09	0.95	0.89	0.84	0.80	0.76	0.73	0.70	0.66	0.64	0.61	0.54	0.47	0.40	0.34	0.28	0.21	0.14	0.07											
0.7	1.02	0.88	0.81	0.77	0.73	0.69	0.66	0.62	0.59	0.56	0.54	0.46	0.40	0.33	0.27	0.20	0.14	0.07												
0.725	0.95	0.81	0.75	0.70	0.66	0.62	0.59	0.55	0.52	0.49	0.46	0.39	0.33	0.260	0.20	0.13	0.07													
0.75	0.88	0.74	0.67	0.63	0.58	0.55	0.52	0.49	0.45	0.43	0.40	0.33	0.26	0.19	0.13	0.065														
0.775	0.81	0.67	0.61	0.57	0.52	0.49	0.45	0.42	0.39	0.36	0.33	0.26	0.19	0.12	0.065															
0.8	0.75	0.61	0.54	0.50	0.46	0.42	0.39	0.35	0.32	0.29	0.27	0.19	0.13	0.06																
0.825	0.69	0.54	0.48	0.44	0.40	0.36	0.33	0.29	0.26	0.23	0.21	0.14	0.07																	
0.85	0.62	0.48	0.42	0.37	0.33	0.29	0.26	0.22	0.19	0.16	0.14	0.07																		
0.875	0.55	0.41	0.35	0.30	0.26	0.23	0.19	0.16	0.13	0.10	0.07																			
0.9	0.48	0.34	0.28	0.23	0.19	0.16	0.12	0.09	0.06	0.028																				
0.91	0.45	0.31	0.25	0.21	0.16	0.13	0.09	0.06	0.028																					
0.92	0.43	0.28	0.22	0.18	0.13	0.10	0.06																							
0.93	0.40	0.75	0.19	0.15	0.10	0.07	0.03																							
0.94	0.36	0.22	0.16	0.11	0.07	0.036																								
0.95	0.33	0.18	0.12	0.08	0.035																									
0.96	0.29	0.15	0.09	0.04																										
0.97	0.25	0.11	0.05																											
0.98	0.20	0.06																												
0.99	0.14																													

وباستخدام هذا الجدول فإن قدرة المكثف تساوي :

$$C_m = K.P$$

حيث أن :

K- المعامل الذي نحصل عليه من الجدول.

P- القدرة الفعّالة، ك. واط.

والآن سنحسب القدرة المراكسة التي يتم عندها إعطاء الإشارة لوصل وفصل المكثفات .

ويمكن حساب قيمة القدرة المراكسة التي يتم عندها وصل مكثفات القدرة كما يلي :

$$Q_1 = \frac{R}{2} + Q_3 = \qquad (62)$$

$$\frac{-60 + \text{Center value dial \%}}{100} \text{ x set point x CT ratio x PT ratio}$$

في هذه الحالة فإن عامل القدرة يمكن حسابه كما يلي :

$$\text{Cos}\varphi_1 = \text{Cos}\left(\text{arctg}\,\frac{Q_1}{P}\right)$$

أما القدرة المراكسة التي يتم عندها إعطاء اشارة فصل مكثفات القدرة فتساوي :

$$Q_2 = \frac{R}{2} + Q_3 = \qquad (63)$$

$$\frac{60 + \text{Center value dial \%}}{100} \text{ x set point x PT ratio x CT ratio}$$

وإذا كانت اشارة Q سالبة فإن فصل المكثفات يحدث دوماً في جهة التأخير .

بعد إجراء الحسابات نكون قد أعددنا وعرفنا جميع الكميات اللازمة لتعيير المرحل الآلي لعامل القدرة .

مثال :

القدرة الفعالة P تساوي 1000 ك . واط ، والقدرة المراكسة Q تساوي 1022ك . ف . أ مراكس أي أن عامل القدرة يساوي 0.7 المطلوب رفع عامل القدرة إلى 0.99 باستخدام المنظم الآلي لعامل القدرة ، علماً بأن نسبة التحويل لمحول التيار تساوي $\frac{150}{5}$ ونسبة التحويل لمحول الجهد $\frac{6600}{110}$.

الحل :

نحسب في البداية القدرة المراكسة الهدف Q_T باستخدام معادلة (45) :

$$Q_T = P_{max} \sqrt{\frac{1}{(\cos\varphi_T)^2} - 1}$$

$$= 1000 \sqrt{\frac{1}{(0.99)^2} - 1} = 142 \text{ KVAR}$$

$$C_m = Q_{max} - Q_T = 1022 - 142 = 880 \text{ KVAR}$$

ويمكننا أن نستخدم جدول -10 للحصول على نفس النتيجة . من جدول -10 فإن $k = 0.88$.

$$C_m = K.P = 0.88 \times 1000 = 880 \text{ KVAR}$$

فإذا استخدمنا مجموعة مكثفات قدرة عددها 6، فإن قدرة المكثف الواحد تساوي :

$$C_R = \frac{C_m}{n} = \frac{880}{6} = 147 \text{ KVAR}$$

لذلك نستخدم مكثف قدرة 150 ك . ف . أ مراكس ، من هنا فإن :

$$Q_E = Q_{max} - n.C_R = 1022 - 6 \times 150 = 122 \text{ KVAR}$$

نحسب الآن نقطة التعيير Set point باستخدام معادلة رقم (58) .

$$\text{Set Point} = \frac{150}{\frac{150}{5} \times \frac{6600}{110}} = 0.083$$

لذلك سنضع التعيير على رقم 0.1 على قرص التعيير .

نحسب نطاق الضبط باستخدام معادلة (59) .

$$\text{Adjustable band} = 1.2 \times \text{set point} \times \text{CT ratio} \times \text{PT ratio}$$

$$= 1.2 \times 0.1 \times \frac{150}{5} \times \frac{6600}{110} = 216 \text{ KVAR}$$

نحسب الآن قيمة الوسط باستخدام معادلة (60) كما يلي :

$$Q_3 = \frac{\text{Center Value \% x R}}{100 \text{ x } 1.2}$$

ولنفترض أن قيمة الوسط معيرة على نقطة الصفر متقدم، أي أن :

$$\text{Center value} = + 0 \text{ (KVAR)}$$

$$Q_3 = 0$$

أما إذا كانت قيمة الوسط معيّرة على نقطة 50% متقدم، فإن :

$$Q_3 = \frac{50 \text{ x}216}{100 \text{ x } 1.2} = 90 \text{ KVAR Leading}$$

أما إذا كانت قيمة الوسط معيّرة على نقطة 100% متأخر، فإن :

$$Q_3 = - \frac{100 \text{ x } 216}{100 \text{ x } 1.2} = 180 \text{ KVAR Lagging}$$

وسنحسب الآن قيم القدرة المراكسة التي يتم وصل وفصل مكثفات القدرة عندها .

Set Point = 0.1

Center value = 0%

$$Q_1 = \frac{(-60 + 0) \text{ x } 0.1}{100} \text{ x } \frac{6600}{110} \text{ x } \frac{150}{5} = -108 \text{ KVAR}$$

$$\text{Cos}\varphi_1 = \text{Cos}\left(\text{arctg } \frac{108}{1000}\right) = 0.994$$

$$Q_2 = \frac{(60 + 0) \text{ x } 0.1}{100} \text{ x } \frac{6600}{110} \text{ x } \frac{150}{5} = +108 \text{ KVAR}$$

أما إذا كانت :

Set point = 0.1

Center value = 50% Leading

فإن قيم O_1 و O_2 تساوي على التوالي :

$$Q_1 = \frac{(-60 + 50) \times 0.1}{100} \times \frac{6600}{110} \times \frac{150}{5} = -18 \text{ KVAR}$$

$$Q_2 = \frac{(60 + 50) \times 0.1}{100} \times \frac{6600}{110} \times \frac{150}{5} = +198 \text{ KVAR}$$

$$\text{Cos}\varphi_1 = \text{Cos}\left(\text{arctg}\ \frac{18}{1000}\right) = 1.0$$

أما إذا كانت :

Set Point = 0.1

Center value = 100% Lagging

فإن قيم O_1 و O_2 تساوي على التوالي :

$$Q_1 = \frac{(-60 - 100) \times 0.1}{100} \times \frac{6600}{110} \times \frac{150}{5} = -288 \text{ KVAR}$$

$$\text{Cos}\varphi_1 = \text{Cos}\left(\text{arctg}\ \frac{288}{1000}\right) = 0.96$$

$$Q_2 = \frac{(60 - 100) \times 0.1}{100} \times \frac{6600}{110} \times \frac{150}{5} = -72 \text{ KVAR}$$

9.6 حساب المغذيات وحماية المكثفات

يتم حساب مغذيات مكثفات القدرة بمعرفة التيار، وهذا التيار يمكن حسابه بمعرفة قدرة المكثف بالكيلوفولط . أمبير مراكس باستخدام المعادلات ذوات الأرقام (34) ، (37) و (40) إعتماداً على كون المكثف أحادي الطور أو ثلاثي الأطوار وكيفية توصيل الأطوار (دلتا أو ستار) .

إن السعة الأمبيرية لمغذي مكثف القدرة يجب أن لا تقل عن 135% من التيار المقرر للمكثف . ويعود ذلك إلى أن مصنعي المكثفات وعند تحديد قدرة المكثف فإنهم يتحركوا في مدى من صفر إلى 15% زيادة على قدرة المكثف المعلنة في اللوحة

الأسمية الموجودة على مكثف القدرة. إضافة إلى ذلك فإن التيار المقرر للمكثف يعتمد على ڤولطية الشبكة بشكل مباشر، وأية تغييرات في ڤولطية الشبكة أو شكل موجتها الجيبية تؤدي إلى زيادة تيار المكثف. وبأخذ هذين العاملين بعين الاعتبار فإن السعة الأمبيرية لمغذي المكثف يجب أن لا تقل عن 135% من التيار المقرر للمكثف. فمثلاً، إذا كان لدينا مكثف بقدرة 1000 ك. ف. أ مراكس متصل بشبكة ڤولطيتها المقررة تساوي 400 ڤولط، فإن التيار المقرر للمكثف يساوي:

$$I_C = \frac{KVAR \times 1000}{\sqrt{3} \times Vr} = \frac{1000 \times 1000}{\sqrt{3} \times 400} = 1445 \text{ A}$$

وتساوي السعة الأمبيرية للمغذي ما يلي:

$$I_Z = 1.35 \times 1445 = 1951 \text{ A.}$$

أما بالنسبة لحماية مكثف القدرة، فإن قواطع الدارة (المستخدمة لعمليات الإبدال وللحماية) لابد أن تحقق الشروط التالية:

أ) يجب أن تتحمل التيارات العابرة التي تحدث بسبب عمليات الإبدال (الوصل والفتح)، وهذا يتعلق بالإعتاق المغناطيسي Magnetic release.

ب) يجب أن تتحمل التيارات المفرطة الدورية Periodic overcurrent والتيارات المستمرة والناتجة عن الڤولطيات التوافقية Voltage harmonics بحيث لا يقل هذا التحمل عن 15 % من مقرر المكثف.

جـ) يجب أن تتحمل قواطع الدارة عدداً كبيراً من عمليات الفتح والقفل.

وتشير المواصفات IEC- 70 إلى أن مكثف القدرة يجب أن يعمل في ظروف تشغيلية عادية بتيار تساوي قيمته 130% من التيار المقرر للمكثف، فإذا أضفنا ما قيمته 10% كزيادة مسموح بها من مقرر المكثف، نستنتج أن المقرر الأمبيري الأقصى للقاطع يجب أن لا يقل عن:

$$I_{max} = 1.3 \times 1.1 = 1.43 \ I_C$$

والحقيقة هذا الرقم والذي هو 1.43 يختلف عن الرقم الذي ذكرناه سابقاً بالنسبة للسعة الأمبيرية للمغذي 1.35 (الأخير حسب NEC)، وبالتالي، فإذا إعتمدنا مواصفات IEC- 70 فإن السعة الأمبيرية للمغذي يجب أن لا تقل عن 143% من التيار المقرر للمكثف.

إعتماداً على ما سبق يمكننا كتابة المعادلات التالية:

يساوي التيار المقرر للمكثف مايلي:

$$I_C = \frac{Q_C}{\sqrt{3}\ Vr}$$

المقرر الأمبيري للقاطع (قيمة معايرة الاعتاق الحراري) يساوي:

$$I_{ci} = 1.43\ I_C$$

قيمة معايرة الاعتاق المغناطيسي تساوي:

$$I_m \geq 9\ I_{ci}$$

مما سبق نستنتج أن قاطع الدارة يستطيع وصل أو فتح مكثف قدرة بتيار مقرر لا يتجاوز مايلي:

$$\frac{I\,ci}{1.43} = 0.7\ I_{ci}$$

أي أن قاطع الدارة يستطيع القيام بعمليات إبدال لمكثف قدرة بمقرر لا يتجاوز 70% من المقرر الأمبيري للقاطع.

الفصل السابع
حسابات الاستنارة

1.7 مقدمة

تعتبر المصابيح Lamps الكهربائية أهم عنصر من عناصر نظام الاستنارة الاصطناعية، فاستطاع الإنسان بواسطتها أن يطيل يوم العمل، ويخلق ظروفاً مريحة وأجواء ملائمة في المناطق التي يقل فيها ضوء النهار، وبذلك أختفى الفرق بين الليل والنهار في الحياة المعاصرة.

وحالياً، هناك نوعان من المصابيح الكهربائية، وهما:

① المصابيح التوهجية:

والمصباح التوهجي Incandescent Lamp هو عبارة عن فتيلة معدنية داخل حيز زجاجي مفرغ من الهواء، فعندما يمر التيار الكهربائي داخل الفتيلة، ترتفع درجة حرارتها وتسخن، وتبدأ بإشعاع طاقة تحتوي على موجات من كل الأطوال (الطيف الكامل). فعند درجات الحرارة المنخفضة يشع الجسم الأشعة دون الحمراء Infrared غير المرئية، ومع إرتفاع درجة حرارة الجسم تزداد كمية الأشعاعات المنطلقة منه، ويتغير تبعاً لذلك تركيب الطيف الضوئي. وتزداد بذلك نسبة الأشعة المرئية التي يشعها الجسم، وكلما كانت نسبة الأشعة المرئية المنطلقة من الفتيلة أكبر زادت فاعلية المصباح.

وتصنع فتيلة المصابيح التوهجية الحديثة من مادة التنجستون Tungsten، حيث يتميز هذا المعدن بإرتفاع درجة إنصهاره وقلة تبخره في درجات الحرارة العالية.

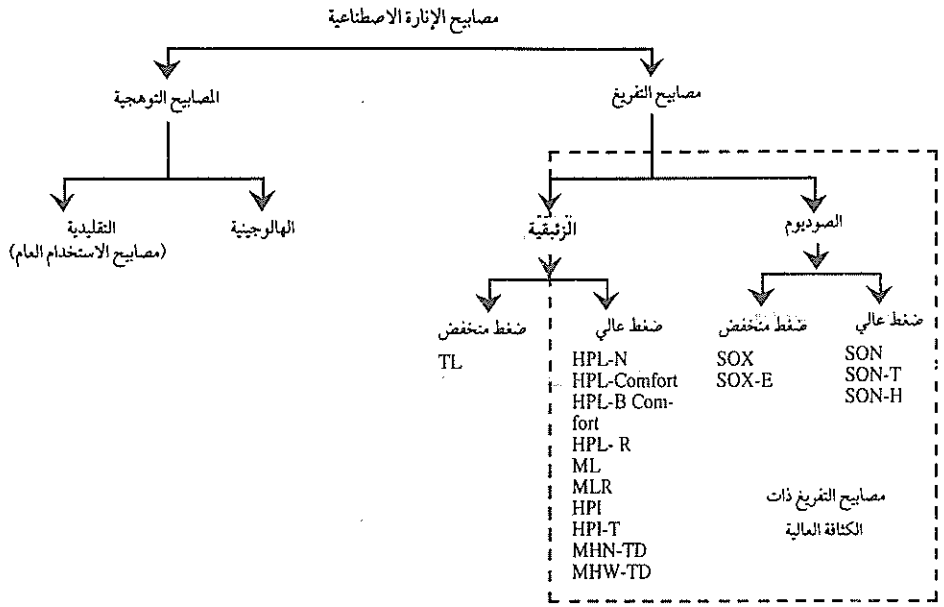
تتميز المصابيح التوهجية بأن فاعليتها المنيرية قليلة، حيث أن 7% فقط من الطاقة التي تستهلكها تتحول إلى أشعة مرئية، وترتفع هذه النسبة إلى 10% في المصابيح ذات القدرات العالية (بقدرة أكبر من 100 واط)، وتتحول النسبة الباقية إلى حرارة في الحيز المحيط بالمصباح.

(ب) مصابيح التفريغ:

يعتمد مبدأ عمل مصابيح التفريغ Discharge Lamps على ظاهرة تفريغ الغاز، حيث أن جزءاً من الطاقة المتحررة أثناء عملية تفريغ الغازات تستخدم لتوليد الضوء. ولذلك، فإن أنبوب التفريغ Discharge Tube يعتبر أهم جزء في هذا المصباح.

وهو يتكون من أنبوب صغير مثبت على طرفيه قطبان Electrodes ومملؤ بمعدن وغاز، فعند وجود فولطية على القطبين تتحرر الإلكترونات في الأنبوب وتتجه إلى القطب الموجب، وأثناء حركة الإلكترونات تصطدم بالذرات وتهيجها وتنطلق نتيجة ذلك طاقة، ويتم تحويل الأشعة المنطلقة إلى إشعاعات بصرية باستخدام مادة خاصة يتم طلاء جدار المصباح الداخلي بها.

ويبين شكل -1 تصنيف مصابيح الإنارة الاصطناعية.



شكل -1

تصنيف مصابيح الإنارة الاصطناعية

ونلاحظ من الشكل -1 أن المصابيح التوهجية تقسم إلى نوعين وهما:

أ- المصابيح التقليدية Conventional (مصابيح الاستخدام العام) (General (GSL) Service Lamps).

ب- المصابيح الهالوجينية.

أما مصابيح التفريغ فتقسم إلى:

أ- المصابيح الزئبقية.

ب- مصابيح الصوديوم

وبدورها فإن المصابيح الزئبقية تُقسم إلى مصابيح الضغط المنخفض (المصابيح الفلورية)، ومصابيح الضغط العالي. وكذلك تقسم مصابيح الصوديوم إلى مصابيح الضغط المنخفض ومصابيح الضغط العالي.

ونلاحظ من الشكل السابق أن جزءاً من مصابيح التفريغ يطلق عليها اسم مصابيح التفريغ ذات الكثافة العالية High Intensity Discharge Lamps، وهي مصابيح الصوديوم وجزء من المصابيح الزئبقية وهي ذات الضغط العالي، حيث لا تعتبر المصابيح الفلورية من مصابيح التفريغ ذات الضغط العالي.

ويبين جدول -1 الصفات العامة لمصابيح التفريغ ذات الكثافة العالية.

جدول (1)

الصفات العامة لمصابيح التفريغ ذات الكثافة العالية

الفئة	نوع المصباح	مدى القدرة	الدفق المنير	الفاعلية المنيرة العظمى	حرارة اللون	دليل مظهر اللون
		واط	لومن	لومن /واط	كلفن	-
المصابيح الزئبقية ذات الضغط العالي	HPL-N	2000-50	125000-1800	63	4000	50
	HPL Comfort	400-50	24000-2000	60	3500-3300	60-55
	HPL- B Comfort	80-50	3900-2050	49	3300	60-55
	HPL-R	1000-125	54000-5700	54	3500	50
مصابيح الضوء المتألف ذات الكابح الذاتي	ML	500-100	14000-1100	28	3500	60
	MLR	160	3100	19	3600	60
المصابيح المعدنية الهاليدية	HPI	400-250	30600-17500	76	4000	68
	HPI-T	2000-250	189000-17000	94	4700-4000	65
	MHN-TD	250-150	20000-11250	80	4300	85
	MHW-TD	70	5000	67	3000	75
مصابيح الصوديوم ذات الضغط المنخفض	SOX	180-35	33000-1400	180	-	-
	SOX-E	131-18	26000-1800	200	-	-
مصابيح الصوديوم ذات الضغط العالي	SON	1000-50	120000-3300	120	2000	20
	SON-T	1000-70	12000-6500	125	2000	20
	SON-H	350-210	34500-18000	98	2000	20

2.7 المصابيح التوهجية

تعتبر المصابيح التوهجية من أقدم أنواع المصابيح الكهربائية ، ويعتمد مبدأ عملها على تسخين فتيلة المصباح المصنوعة من التنجستون إلى درجة حرارة عالية حيث تبدأ الفتيلة بالتوهج . يتكون المصباح التوهجي التقليدي من قاعدة المصباح والبصيلة Bulb والفتيلة Filament . ولابد أن نشير هنا إلى أن كمية الطاقة التي تتحول إلى ضوء (كمية الطاقة التي تقع في منطقة الرؤية البصرية في الطيف الكهرومغناطيسي) تزداد بزيادة درجة حرارة الفتيلة ، وبالتالي تزداد فاعلية المصباح . كذلك يمكن زيادة فاعلية المصباح بتصنيع الفتيلة على شكل ملف Coil .

إن من أهم سلبيات المصابيح التوهجية هو تبخر فتيلة المصباح عند درجات الحرارة العالية حيث يتكثف هذا البخار على السطح الداخلي للبصيلة مؤدياً إلى إحتراق

المصابيح بسبب إسوداده . وللتخص من هذه الظاهرة يتم ملئ البصيلة بغاز خامل . أهم الغازات المستخدمة هي غازات الارغون أو النيتروجين . وكلما زاد ضغط الغاز داخل البصيلة كلما قلت عملية تبخر الفتيلة .

أما قاعدة المصباح فتصنع إما على شكل لولبي Screw type أو على شكل مسماريBayonet type .

ويبين شكل -2 ميزان الطاقة Energy balance لمصباح توهجي قدرته 100 واط . حيث تشير الأرقام في الشكل المذكور إلى ما يلي :

1- الاشعاع المرئي -5 واطات .

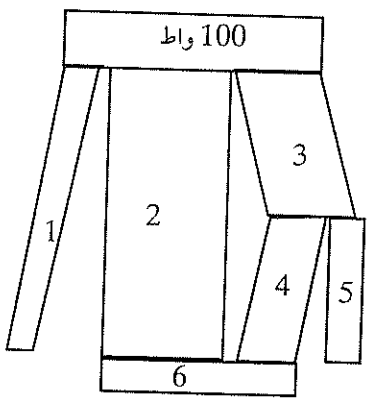
2- الأشعة تحت الحمراء من الفتيلة تساوي 61 واطاً .

3- الفقد الحاصل من الفتيلة إلى جدار البصيلة يساوي 34 واطاً .

4- الأشعة تحت الحمراء من البصيلة تساوي 22 واطاً .

5- مجموع الفقد يساوي 12 واطاً .

6- مجموع الأشعة تحت الحمراء يساوي 83 واطاً .



شكل -2

ميزان الطاقة لمصباح توهجي

أما فاعلية المصباح التوهجي فتتراوح بين 8 إلى 21.5 لومن/ واط لمصباح توهجي يساوي عمره التشغيلي 1000 ساعة .

تتأثر المصابيح التوهجية بقولطية التشغيل ، حيث أن تذبذب القولطية يؤدي إلى تغير في خصائص هذه المصابيح التشغيلية .

تساوي حرارية اللون Colour Temperature لهذه المصابيح 2800 كلفن ، ولذلك فلها مظهر لون جيد .

أما الأنواع المختلفة لهذه المصابيح فهي :

أ) مصابيح الإنارة ذات الاستخدام العام General Lighting Service (GLS) .

ب) المصابيح العاكسة Reflector Lamps .

جـ) المصابيح الأنبوبية Tubular Lamps .

د) المصابيح التجميلية Decorative Lamps .

هـ) مصابيح الإنارة الغامرة Flood light Lamps .

و) المصابيح المستخدمة في المسارح والاستديوهات الإذاعية والتلفزيونية .

كما ذكرنا سابقاً فإن درجة الحرارة العالية لفتيلة التنجستون في المصباح التوهجي العادي تسبب تبخر جزيئات التنجستون والتي تتكثف على السطح الداخلي للبصيلة مما يؤدي إلى إسوداد المصباح Blackening . وللتخلص من هذه الظاهرة تم إضافة الهالوجين (اليود والكلورين والبروفين) إلى الغاز الذي يملئ البصيلة ، حيث يعمل على إعادة ترسيب الجزيئات على الفتيلة نفسها . وتُسمى المصابيح التي تستخدم هذا المبدأ بمصابيح التنجستون الهالوجينية Tungsten Halogen Lamps . أما الميزة الأخرى لهذه المصابيح فتتعلق بشكل البصيلة . وبما أن درجة حرارة البصيلة عالية فإن حجم هذه المصابيح أصغر من المصابيح التوهجية ، حيث تُصنع البصيلة من زجاج كوارتزي خاص .

فاعلية المصابيح الهالوجينية أكبر من فاعلية المصابيح التوهجية بحوالي 15% ، أما حرارية اللون فتتراوح بين 2800 إلى 3200 كلفن .

3.7 مصابيح التفريغ الزئبقية

مصابيح التفريغ الزئبقية Mercury discharge Lamps هي مصابيح تفريغ تستخدم بخار الزئبق في أنبوبة التفريغ . وهناك نوعان من هذه المصابيح وهي :

مصابيح التفريغ ذات الضغط المنخفض (المصابيح الفلورية) ، ومصابيح التفريغ ذات الضغط العالي (المصابيح الزئبقية ذات الضغط العالي) ، وكذلك فإن مصابيح الضوء المتآلف Blended- Light Lamps والمصابيح المعدنية الهاليدية Metal halide Lamps تندرج تحت هذا النوع من المصابيح .

1.3.7 المصابيح الفلورية

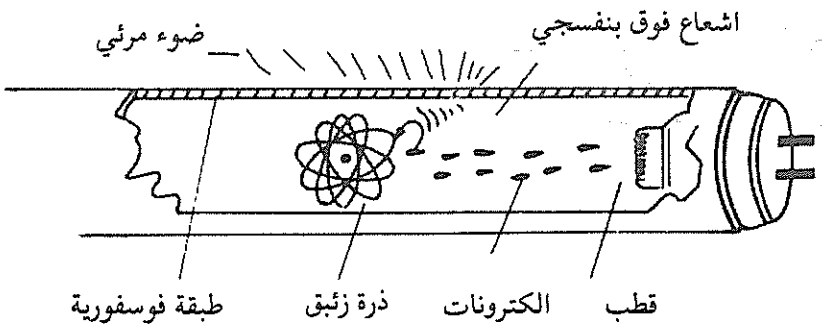
يعتمد مبدأ عمل المصابيح الفلورية على ظاهرة حدوث تفريغ كهربائي بين قطبين بينهما جهد كهربائي . ويُعرّف التفريغ الكهربائي بأنه مرور تيار كهربائي في خلال غاز خامل (أو بخار معدن) نتيجة تأيّن ذرات الغاز ، بحيث تصبح موصلة للتيار الكهربائي . ويحدث التفريغ الكهربائي في المصابيح الفلورية في بخار الزئبق .

وللحصول على إنارة من المصابيح الفلورية لابد من حدوث عمليتين في آن واحد وهما :

أ) حدوث تفريغ كهربائي .

ب) تحويل الأشعة المنبعثة إلى أشعة بصرية (مرئية) باستخدام مادة الفلورسنت .

ويحدث التفريغ داخل أنبوبة المصباح حيث تكون مفرغة من الهواء وبها غاز الأرغون مع وجود نقطة من الزئبق . ويبين شكل -3 . مصباحاً فلورياً أنبوبي الشكل .



شكل -3

مصباح فلوري

ويعتبر الغاز الخامل الموجود داخل أنبوبة المصباح الفلوري عازلاً للكهرباء، حيث تكون ذراته وجزيئاته في حالة تعادل كهربائي. وحتى يصبح هذا الغاز موصلاً للكهرباء لابد من تأيّن ذرات هذا الغاز الخامل. ويتم تسخين القطبين Electrodes بوسيلة ما حتى تتحرر الإلكترونات. وتُسمى هذه الظاهرة بظاهرة الانبعاث الإلكتروني - الحراري Thermoelectronic emission. وتحت تأثير الفولطية المُسلطة على قطبي المصباح فإن الإلكترونات تتحرك إلى القطب الموجب (الأنود-Anode)، وأثناء حركتها تكتسب طاقة حركية، وتصطدم بذرات الزئبق، فتتأين الأخيرة نتيجة لاصطدامها بها وتتحرر بعض الإلكترونات، والتي بدورها تتحرك وتصطدم بذرات أخرى. وهكذا تتحرك الإلكترونات نحو القطب الموجب بينما تتجه الأيونات الموجبة نحو القطب السالب (الكاثود- Cathode) ويسري تيار كهربائي.

وتمر عملية التفريغ الكهربائي داخل أنبوبة المصباح في ثلاث مراحل، وهي:

أ) إنهيار الفراغ الغازي بين أحد القطبين وجدار الأنبوبة.

ب) تتحرك مقدمة البلازما (الغاز المتأين حيث تكون كثافة الجزئيات المشحونة عالية) بمحاذاة محور الأنبوبة، فتتجه الإلكترونات إلى القطب الموجب، والأيونات الموجبة نحو القطب السالب.

جـ) يحدث إنهيار للعازلية بين القطبين ويحدث التفريغ الكهربائي.

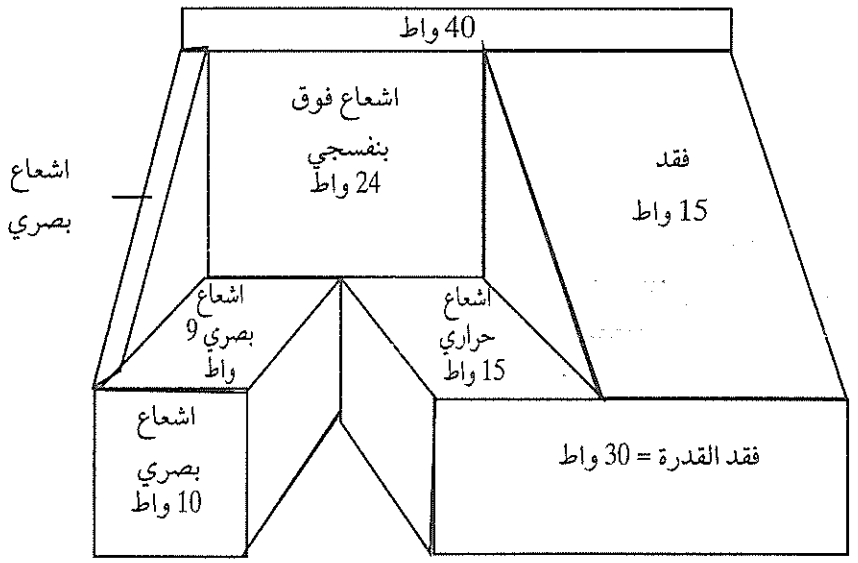
ويُصاحب تكوين سيل الإلكترونات وحدوث التفريغ الكهربائي نقص كبير في مقاومة الثغرة الغازية في المصباح الفلوري، مما يؤدي إلى زيادة كبيرة في قيمة التيار الكهربائي، وبالتالي يحترق المصباح، ولذلك تُستخدم وسائل لتحديد قيمة التيار الكهربائي، وتُسمى هذه الوسائل بالكوابح Ballasts.

وحتى يتم إشعال المصباح الفلوري فلابد من تأين ذرات الزئبق. وتكون طاقة الإلكترون أثناء تلك العملية أقل من طاقة التأين اللازمة لذرات الزئبق، ولذلك فلا تكفي هذه الطاقة لتحرير الإلكترون من ذرة الزئبق عند إصطدامه بها، ولكنها تكون

كافية لتهييج تلك الذرة. وتكون ذرة الزئبق في حالة تهيج لفترة زمنية قصيرة، تعود بعدها إلى حالتها الطبيعية، وأثناء ذلك تشع منها أمواج يعتمد طولها على نوع الغاز الموجود داخل أنبوبة المصباح، وكذلك على مقدار الطاقة التي أكتسبتها ذرة الزئبق للوصول إلى حالة التهيج. ويُسمى الاشعاع الذي يحدث عند عودة الذرة المهيجة إلى حالة قريبة من حالتها الطبيعية (أي عدم التهيج) بالاشعاع الرنيني.

يصل الاشعاع الرنيني فوق البنفسجي لذرة الزئبق إلى السطح الداخلي لأنبوبة المصباح المطلية بمادة الفلورسنت فتهيجها وتسبب في تحويل الأشعة فوق البنفسجية غير المرئية إلى أشعة بصرية مرئية.

تتراوح فاعلية المصابيح الفلورية ما بين 33 إلى 78 لومن/ واط لعمر تشغيلي يساوي 12000 ساعة. ويبين شكل -4 مخطط القدرة للمصباح الفلوري.

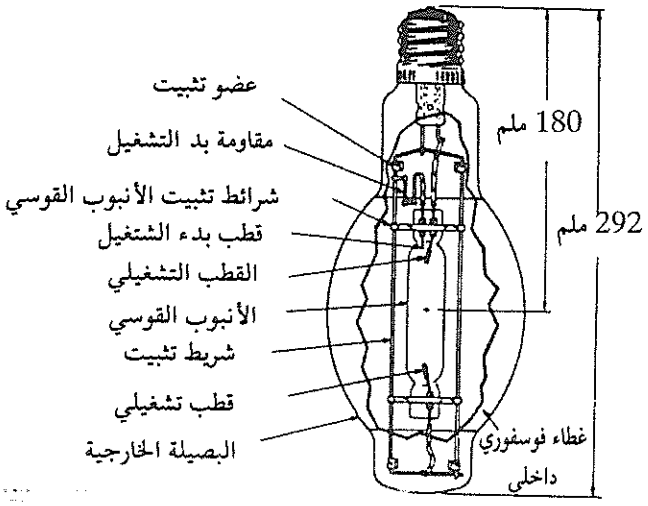


شكل -4

مخطط القدرة للمصباح الفلوري

2.3.7 المصابيح الزئبقية ذات الضغط العالي

يكون الزئبق في المصباح الزئبقي ذي الضغط العالي Hight- pressure mercury vapour lamp في درجات الحرارة العادية بشكل سائل ، ويمكن رؤية قطرات الزئبق داخل الأنبوب . يكون هذا الزئبق تحت ضغط يتراوح ما بين 0.2 إلى 1.0 ميجا باسكال (MPa) . وتضاف كمية صغيرة من غاز الأرغون (غاز خامل) لتسهيل عملية الأشتعال (بدء التفريغ) ، ولإطالة العمر التشغيلي للأقطاب . يتكون المصباح الزئبقي (شكل -5) من بصيلتين :

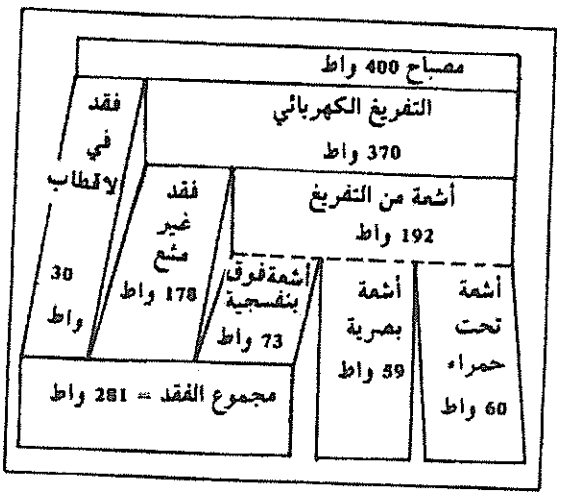


شكل -5

الشكل العام لمصباح زئبقي 400 واط

البصيلة الداخلية ، والبصيلة الخارجية . تُصنع البصيلة الداخلية من مادة الكوارتز Quartz لتحمل درجات الحرارة العالية ، وفيها يتكون القوس الكهربائى نتيجة لعملية التفريغ ، وتُسمى أحياناً بأنبوبة القوس Arc tube . وأما البصيلة الخارجية والتي تضم بداخلها البصيلة الداخلية ، فمهمتها حماية الأخيرة من التغيير في درجات الحرارة ، وكذلك تعمل كفلتر لأطوال بعض الموجات المنبعثة . وتملئ المنطقة ما بين البصيليتن بغاز التنجستون ، ويكون كل قطب على شكل ملف ويحتوي على مادة تُسهل إنبعاث الإلكترونات .

تُصنع المصابيح الزئبقية الحديثة بحيث تعمل في درجات حرارة مختلفة تتراوح ما بين 30 إلى 40 درجة مئوية ولغاية 60 درجة مئوية . ويتراوح فقد القدرة في هذه المصابيح ما بين 10 إلى 12٪ ، ويساوي معامل القدرة لها 0.5 . ويبين شكل -6 مخططاً تمثيلياً لتحويل القدرة الكهربائية إلى ضوء في المصباح الزئبقي .



شكل -6

مخطط القدرة التمثيلي للمصباح الزئبقي

تتميز المصابيح الزئبقية بعمر تشغيلي طويل يُقدر في المتوسط بحوالي 20000 ساعة ، أما فاعليتها المنيرة فتساوي في المتوسط حوالي 50 لومن/ واط . أما زمن الاشتعال Ignition time لهذه المصابيح فكبير ويتراوح بين 6 إلى 7 دقائق . فإذا ما أطفئ المصباح فمن المتعذر إعادة اشتعاله فوراً ، ويتطلب إعادة الاشتعال زمناً كافياً حتى يعود الزئبق إلى حالته الطبيعية . من هذا المنطلق يُحبذ وضع مصابيح توهجية عادية في المناطق المغلقة التي تتم إنارتها بالمصابيح الزئبقية وذلك للحصول على إنارة أمان Safety Lighting في حالة اطفاء المصابيح والرغبة بإعادة تشغيلها .

3.3.7 مصابيح الضوء المتآلف

مصابيح الضوء المتآلف Blended light lamps هي نوع من أنواع مصابيح الزئبق ذات الضغط العالي . والاختلاف الوحيد بينهما أن مصابيح الزئبق تعتمد على كابح

خارجي لتوازن تيار المصباح ، بينما في مصابيح الضوء المتآلف فإن الكابح يكون مركباً في المصباح ويشكل جزءاً منه ويكون على شكل فتيلة تنجستون تتصل على التوالي مع أنبوبة التفريغ . ومن هنا فإن خرج الضوء من تفريغ الزئبق ومن تسخين الفتيلة يتآلفان ليشكلان طيفاً واحدا يُعطي هذا المصباح خصائصه التشغيلية ، ومن هنا جاءت تسمية الضوء المتآلف .

تتراوح فاعلية هذه المصابيح بين 11 إلى 26 لومن/ واط إعتماداً على قدرة المصباح .

4.3.7 المصابيح الهاليدية المعدنية

يتشابه تركيب المصابيح الهاليدية المعدنية Metal halide lamps مع مصابيح الزئبق ، والاختلاف الوحيد بينهما أن أنبوبة التفريغ للمصابيح الهاليدية تحتوي إضافة إلى الزئبق عدداً من المعادن الهاليدية . وعادة تتبخر هذه الهاليدات عندما يصل المصباح إلى درجة التشغيل العادية ، يتحلل هذا البخار الهاليدي في المنطقة الوسطى الساخنة إلى هالوجين ومعدن ، حيث يشع المعدن المتبخر طيفاً ضوئياً .

تتراوح الفاعلية المنيرية لهذه المصابيح واعتماداً على قدرة المصباح من 65 إلى 90 لومن/ واط ، ومتوسط حرارية اللون لها يساوي 4000 كلفن .

4.7 مصابيح الصوديوم

مصابيح الصوديوم هي مصابيح تفريغ ، وحسب ضغط الغاز الموجود بداخلها تنقسم إلى نوعين وهما :

- مصابيح الصوديوم ذات الضغط المنخفض Low pressure sodium lamps .
- مصابيح الصوديوم ذات الضغط العالي High pressure sodium lamps .

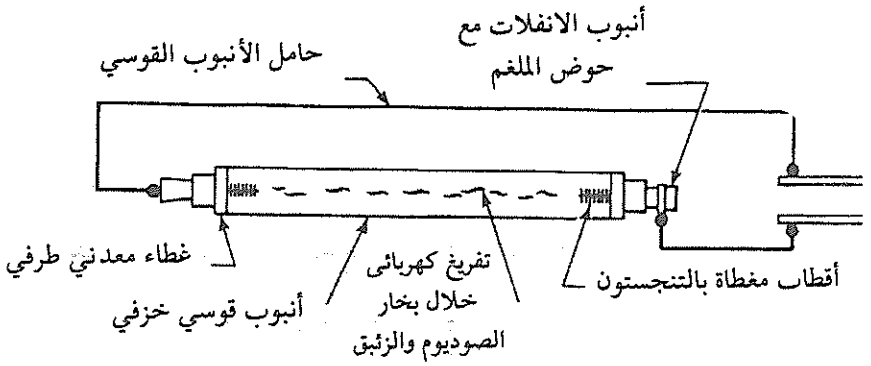
وسنستعرض بإختصار هذين النوعين .

1.4.7 مصابيح الصوديوم ذات الضغط المنخفض

هناك تشابه كبير بين مصابيح الصوديوم ذات الضغط المنخفض والمصابيح الفلورية ، ففي الأخيرة يتم تحويل الاشعاع فوق البنفسجي الناتج عن عملية تفريغ الزئبق إلى

2.4.7 مصابيح الصوديوم ذات الضغط العالي

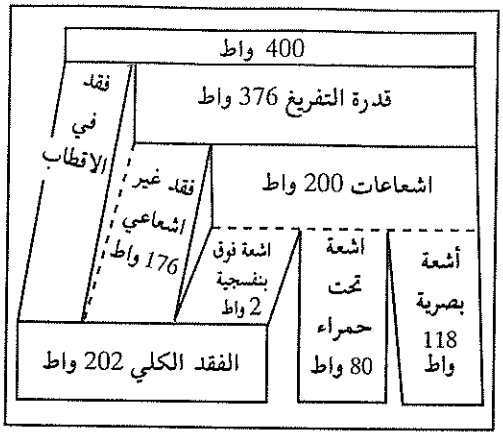
تعتبر مصابيح الصوديوم ذات الضغط العالي High pressure sodium lamps (SOX) من أحدث أنواع المصابيح التي تم تطويرها للحصول على فاعلية منيرة تُعادل ضعف الفاعلية المنيرية التي نحصل عليها باستخدام مصابيح الزئبق. ويبين شكل -8 الشكل العام لهذه المصابيح . لقد تم استخدام الصوديوم في هذه المصابيح لأن من خصائصه أنه يشع طاقة بصرية أكثر من الزئبق. ويجب أن تُصنع بصيلة هذه المصابيح من مادة لا تتفاعل مع الصوديوم تحت الضغط العالي، ولذلك فإن الكوارتز المستخدم في مصابيح الزئبق لا يستخدم في مصابيح الصوديم. وقد وُجد أن أنسب مادة هي مادة Translucent Sintered Alumina . وتساوي الفاعلية المنيرية لهذه المصابيح في المتوسط 120 لومن/ واط.



شكل -8

الشكل العام لمصباح الصوديوم ذي الضغط العالي .

يبين شكل -9 مخططاً تمثيلياً للقدرة لمصباح الصوديوم بقدرة 400 واط، حيث يبين أن القدرة التي تتحول إلى طاقة بصرية تساوي 80 واط.



شكل -9

مخطط قدرة تمثيلي لمصباح الصوديوم

وقد تم صُنع مصابيح صوديوم خاصة لتحل محل مصابيح الزئبق المستخدمة حالياً دون الحاجة إلى تغيير الكابح، أو إضافة مفتاح بدء التشغيل. إن هذه المصابيح، والتي يُرمز لها بالرمز SON/H تستهلك طاقة أقل بـ 15% من تلك الطاقة التي تستهلكها مصابيح الزئبق المماثلة لها في القدرة، كما أنها تُعطي دفقاً منيراً أكثر بـ 25% من الدفق المنير لمصابيح الزئبق.

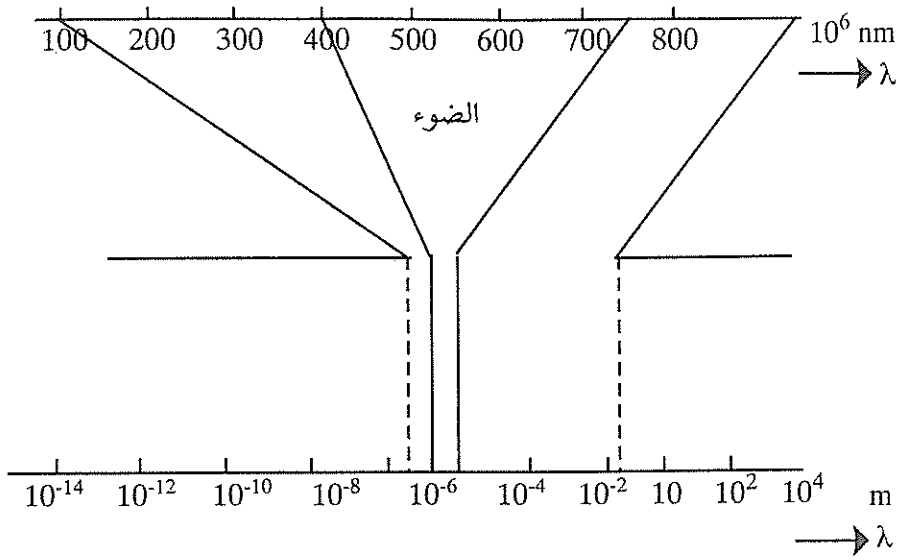
5.7 مصطلحات الإنارة

ككل العلوم الهندسية، فإن هندسة الإنارة لها مصطلحاتها الخاصة بها، والتي يتم التعامل معها في مجال الإنارة. وسنستعرض بشكل وجيز هذه المصطلحات.

إن أهم مفهوم في هندسة الإنارة هو مفهوم الاشعاع Radiation، والذي هو عبارة عن إنتقال الطاقة في شكل أمواج أو جزئيات كهرومغناطيسية.

ويمكن تفسير الاشعاع باستخدام النظرية الكهرومغناطيسية أو نظرية الكم Quan-

tum theory . ويحتوي الطيف الكهرومغناطيسي Electromagnetic spectrum على إشعاعات بأطوال وترددات مختلفة . ويبين شكل -10 الطيف الكهرومغناطيسي ، ومايهمنا من هذا الطيف هوالطيف المرئي Visible radiation .



شكل -10

الطيف الكهرومغناطيسي

ويمكن تقسيم الطيف المرئي (الضوء) إلى مجموعة من الألوان التي تقع ضمن مدى معين من أطوال الموجات كما يلي :

اللون البنفسجي	380 -435 نانومتر
اللون الأزرق	435-500 نانومتر
اللون الأخضر	500-566 نانومتر
اللون الأصفر	566-600 نانومتر
اللون البرتقالي	600-630 نانومتر
اللون الأحمر	630-780 نانومتر

وهناك علاقة ثابتة بين طول الموجة وترددها والتي تتحدد بسرعة الضوء .

$$\upsilon = \frac{c}{\lambda} \qquad (1)$$

حيث أن :

υ : تردد الموجة (عدد الموجات في الثانية) .

λ : طول الموجة .

c : سرعة الضوء .

1.5.7 اللون

يرتبط اللون بانعكاس الضوء عن السطوح التي يقع عليها ، ولذلك فإن ما نراه من ألوان مختلفة للسطوح ماهو في الحقيقة إلا الانعكاسات المختلفة لهذه السطوح . إن أحد أهم الطرق في توصيف الألوان هي إستخدام أطلس مانسول للألوان Munsell colour system ، أستخدم مانسول ثلاثة أبعاد لتوصيف اللون وهي :

أ) المظهر Hue .

ويصف هذا البعد اللون الفعلي مثل أحمر وأخضر وأصفر .

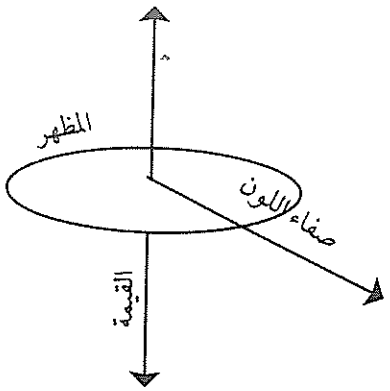
ب) القيمة Value .

وهي مقياس بياض Whiteness اللون . ويمكن أن تأخذ القيمة رقماً من صفر إلى عشرة ، حيث يشير الصفر إلى اللون الأسود النقي ، والرقم 10 إلى اللون الأبيض النقي .

جـ) صفاء أو كثافة اللون Chroma.

وتشير إلى صفاء اللون .

ويبين شكل -11 ترتيبات هذه الأبعاد في الفراغ .



شكل -11

ترتيبات المظهر والقيمة وصفاء اللون .

وباستخدام هذه الأبعاد يمكن توصيف اللون . فمثلاً ، فإذا تم وصف اللون بـ G 6/4 فإن ذلك يعني أن مظهر اللون أخضر وقيمته 6 وصفاءه 4 .

إن معرفة قيمة اللون مهمة لحساب معاكسة السطوح ، فمعاكسة السطح تساوي :

$$\rho = \frac{V(V-1)}{100} \qquad (2)$$

حيث أن :

V : قيمة اللون .

فإذا كان اللون هو G 6/4 ، فإن معاكسة السطح تساوي 30٪ .

كذلك يُستخدم بكثرة مفهوم حرارية اللون Colour temperature وذلك لمصادر الإنارة . فمن المعروف أن الجسم الأسود إذا سُخّن فإنه يشع في البداية إشعاعات غير مرئية و كلما زادت حرارته كلما تغير لونه ، وأي مصدر إنارة لونه يشابه لون الجسم الأسود عند درجة حرارة معينة يمكن وصفه بقيمة درجة الحرارة هذه . ولابد أن نؤكد أن طريقة حرارية اللون تستخدم فقط لمصادر الإنارة التي تشع إشعاعات متصلة فقط . وفيما يلي حرارية اللون لبعض مصار الإنارة :

الشمعة	2000 كلفن
المصباح التوهجي المُفرغ	2500 كلفن
المصباح التوهجي المملوء بغاز خامل	2900 كلفن
ضوء الشمس عند الظهر	5000 كلفن
السماء الملبدة بالسحاب	6500 كلفن
السماء الزرقاء الصافية	10000 كلفن

فمثلاً، فإن حرارية اللون للمصباح التوهجي المفرغ هي 2500 كلفن وهذا يعني أن لون الإنارة للمصباح التوهجي هو نفس لون الجسم الأسود إذا تم تسخينه لدرجة حرارة 2500 كلفن.

2.5.7 الدفق الإشعاعي

يُسمى الدفق الاشعاعي Radiant flux أحياناً بالدفق الاشعاعي الطاقي Radiant energy flux أو القدرة الاشعاعية. والدفق الاشعاعي هو المعدل الزمني لسريان الطاقة الاشعاعية في إتجاه معين. وحدة قياس الدفق الاشعاعي هو الواط. والطاقة الاشعاعية هي تلك الطاقة المرتحلة بشكل أمواج كهرومغناطيسية، ووحدة قياسها واط. ساعة. فإذا كان مصدر الطاقة الإشعاعية يشع طاقة مقدارها dQ في زمن مقداره dt، فإن القيمة اللحظية للدفق الاشعاعي لهذا المصدر تساوي:

$$Q_{\lambda}=\frac{dQ}{dt}$$

وتُستخدم بكثرة القيمة المتوسطة للدفق الاشعاعي في زمن مقداره t. وتساوي القيمة المتوسطة للدفق الاشعاعي مايلي:

$$Q_{\lambda,av}=\frac{Q}{t} \qquad (3)$$

حيث $Q_{\lambda,av}$ - القيمة المتوسطة للدفق الاشعاعي.

ويتصف الدفق الاشعاعي بالتوزيع الزمني، التوزيع الطيفي، والتوزيع الفراغي.

3.5.7 الشدة المنيرية

من المعروف أن النقطة المضيئة تشع دفقاً منيراً في كافة الاتجاهات بالتساوي. وترسل معظم مصادر الإنارة الاصطناعية في الوقت الحاضر دفقاً منيراً غير متماثل في الاتجاهات المختلفة. إن الشدة المنيرية Luminous intensity للدفق المنير في الفراغ هي عبارة عن تفاضل هذا الدفق المنير محسوباً بالنسبة للزاوية المجسمة التي تضم هذا الدفق، ورياضياً فإن الشدة المنيرة I وتساوي:

$$I = \frac{dF}{dW} \qquad (4)$$

حيث أن:

F– الدفق المنير (لومن).

W– الزاوية المجسمة (ستيراديان Steradian).

وإذا كان الدفق المنير المحصور ضمن الزاوية المجسمة معلوماً ويشع بالتساوي في كافة الاتجاهات، فإن الشدة المنيرية تساوي:

$$I = \frac{F}{W} \qquad (5)$$

وتُعرف الشدة المنيرية لمصدر ضوء نقطي في إتجاه معلوم بأنها الدفق المنير الذي يشعه مصدر الضوء النقطي في وحدة الزاوية المجسمة في ذلك الاتجاه.

من هنا فإن الشدة المنيرية هي ذلك الدفق المنير الوارد إلى سطح صغير ومُركّز في إتجاه معلوم وعمودي عليه مقسوماً على الزاوية المجسمة التي يقابلها ذلك السطح الصغير ورأسها في مصدر الضوء النقطي. إن وحدة قياس الشدة المنيرية هي القنديلة Candela، ويرمز لها بالرمز Cd.

وتُعرّف الزاوية المجسمة Solid angle (W) بأنها النسبة بين المساحة الكروية A_s إلى مربع نصف قطر الكرة R.

$$W=\frac{A_s}{R^2} \qquad (6)$$

إن وحدة قياس الزاوية المجسمة هي ستيريديان Steradian، وهي عبارة عن تلك

الزاوية المجسمة والمحصورة بين سطح كروي مساحته مساوية لمربع نصف قطر تلك الكرة، أي :-

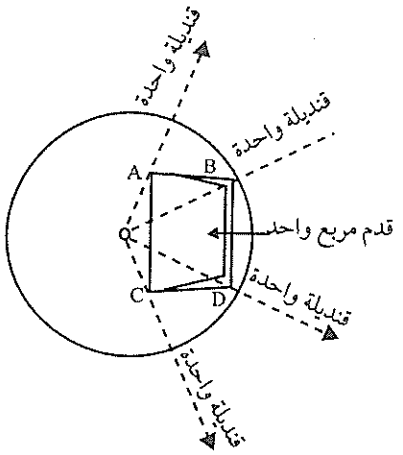
$$W=\frac{A_s}{R^2}=\frac{R^2}{R^2}=1\,Sr \qquad (7)$$

كما ذكرنا سابقاً فإن وحدة قياس الشدة المنيرية هي القنديلة. وقد جاء مفهوم القنديلة من الشمعة (القنديل) الذي كان يستخدم سابقاً كمصدر إنارة. وحتى نتصور مفهوم القنديلة دعونا نتخيل شمعة أو قنديلاً يشع في غرفة معتمة ، ففي جميع الاتجاهات فإن الشدة المنيرية لهذا المصدر تساوي قنديلة. وأحياناً يُستخدم مفهوم قدرة الشمعة Candle power ، إلا أن القنديلة هي الوحدة الرسمية المستخدمة.

وتستخدم القنديلة لمقارنة الشدة المنيرية لمصادر ضوء متجهة مختلفة مثل مصادر الضوء النقطية أو الغامرة. كذلك فإن القنديلة تُستخدم للدلالة على العلاقة التي تربط بين الدفق المنير الذي تكون إشعاعاته متساوية في كافة الاتجاهات من مصدر ضوء نقطي، وقيمته تساوي لومن واحد، إلى الزاوية المجسمة التي تضم هذا الدفق وتساوي ستيرديان واحد، أي أن :

$$Cd=\frac{1\,Lm}{1\,Sr} \qquad (8)$$

ويبين شكل -12 العلاقة بين المساحة الكروية ونصف القطر والزاوية المجسمة والقنديلة.



شكل -12
العلاقة بين المساحة الكروية ، ونصف القطر والزاوية المجسمة

الزاوية المحصورة بين النقاط A, B, C, D تساوي ستيريديان واحدة . (الزاوية المجسمة = المساحة الكروية)، من هنا فإن هناك 4 ط في الكرة، مربع نصف القطر .

حيث أن ط = 3.12159= النسبة التقريبية .

4.5.7 الاستنارة

تُعرّف الاستنارة Illuminance بأنها كثافة الدفق المنير الواصل إلى نقطة على سطح ما . فإذا كان توزيع الدفق المنير الوارد إلى تلك النقطة غير منتظم ، فإن الاستنارة تساوي :

$$E = \frac{dF}{dA} \qquad (9)$$

حيث أن :

dF- هي كمية لا متناهية من الدفق المنير موزعة بانتظام على سطح لا متناهي تساوي مساحته dA .

أما إذا كان توزيع الدفق المنير منتظماً على السطح المعني ، فيمكننا استخدام القيمة المتوسطة للاستنارة ، والتي تساوي :

$$E = \frac{F}{A} \qquad (10)$$

حيث أن :

F- الدفق المنير الوارد إلى ذلك السطح باللومن .

A- مساحة ذلك السطح بالمتر المربع .

أما إذا كان الدفق المنير مقدراً باللومن والمساحة بالقدم المربعة ، فإن وحدة قياس الاستنارة هي القدم . قنديلة (fc) Foot- Candle . أما إذا كان الدفق المنير مقاساً باللومن والمساحة بالمتر المربع ، فإن وحدة قياس الاستنارة هي اللوكس Lux . من هنا فإن :

$$fc = \frac{1\ell m}{1\ ft^2}$$

$$lux = \frac{1\ell m}{1m^2}$$

أما العلاقة بين اللوكس والقدم قنديلة فتساوي :

$$1\ fc = \frac{1\ell m}{1\ ft^2} = \frac{1\ell m}{(0.3048)^2\ m^2} = 10.76\ Lux$$

ولازالت القدم/ شمعة كوحدة قياس الاستنارة مُستخدمة بكثرة وخاصة في الولايات المتحدة الأميركية ، أما في نظام القياس العالمي SI فإن وحدة قياس الاستنارة هي اللوكس . ولسهولة التحويل من وحدة إلى أخرى علينا أن نتذكر أن القدم/ قنديلة أكبر من اللوكس بعشر مرات ، وفي هذه الحالة فإن نسبة الخطأ تساوي 8% .

ولتحديد قيم الاستنارة اللازمة لأي حيز داخلي ، أو مهمة إبصارية فلابد من الرجوع إلى الجداول الخاصة المعدة لهذا الغرض . ولابد أن نميز في هذه الحالة بين الاستنارة العملية Service illuminance والاستنارة العملية القياسية Standard service illuminance . وتعني الأولى متوسط الاستنارة على مساحة معينة خلال دورة الصيانة لتمديدات الإنارة ، وأما الثانية فتعني الأستنارة العملية في الظروف القياسية .

5.5.7 الانارية

تتميز الأجسام المختلفة بخاصيات انعكاس مختلفة تبعاً لألوانها ، وبالتالي فإن جزءاً من الدفق المنير الوارد إلى سطوح تلك الأجسام ينعكس عن تلك السطوح ، لذلك فإن عين المشاهد ترى الأجسام مختلفة بالرغم من أن الاستنارة على سطوحها تكون متساوية .

تُعرّف الإنارية Luminance في إتجاه معين وعلى سطح ما بأنها خارج قسمة الشدة المنيرية في ذلك الاتجاه على مساحة ذلك السطح . فإذا كانت الأشعة الصادرة عن سطح مضيء والمتجهة إلى العين عمودية على ذلك السطح فإن الإنارية تساوي :

$$L = \frac{I}{A} \qquad (11)$$

حيث أن :

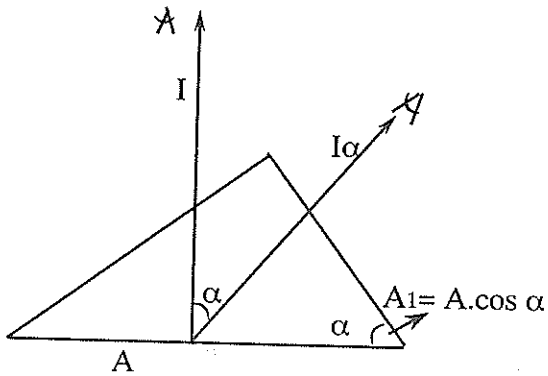
L – الإنارية (قنديلة / المتر المربع) .

I – الشدة المنيرية (قنديلة) .

A – مساحة السطح (متر مربع) .

وحدة قياس الانارية هي قنديلة/ المتر المربع (Cd / m^2) .

أما اذا كان خط النظر (من عين المشاهد) يشكل زاوية مقدارها α مع لخط العمودي على ذلك السطح (شكل –13) فان الانارية تساوي :



شكل -13

$$L = \frac{I\alpha}{A_1} \qquad (12)$$

حيث أن :

$$A_1 = A.\cos\alpha \qquad (13)$$

من هنافإن الانارية تساوي :

$$L = \frac{I\alpha}{A.\cos\alpha} \qquad (14)$$

وتستخدم المعادلات السابقة اذا كان توزيع الانارية منتظماً.

أما إذا كان توزيع الانارية غير منتظم، فإن الانارية تساوي:

$$L = \frac{dI\alpha}{dA.\cos\alpha} \qquad (15)$$

وفي حالة كون مصدر الضوء على شكل جسم كروي بقطر يساوي D وينشر دفقاً منيراً متساوياً في كافة الاتجاهات، وكانت الشدة الميزية تساوي I، فان الانارية في هذه الحالة تساوي:

$$L = \frac{I}{Asp} \qquad (16)$$

وبما أن مسقط الكرة في اي إتجاه يساوي مساحة الكرة $\frac{\pi D^2}{4}$، فإن متوسط الإنارية في هذه الحالة يساوي:

$$L = \frac{4\,I}{\pi\,D^2} \qquad (17)$$

وتساوي الإنارية المتوسطة لمصدر ضوء اسطواني مايلي:

$$L = \frac{I}{DL_4} \qquad (18)$$

حيث أن:

D- قطر الأسطوانة (متر).

L- طول الاسطوانة (متر).

ولو عوضنا في معادلة رقم (15) قيمة الشدة المنيرية من معادلة رقم (4) فإن الإنارية تساوي:

$$L = \frac{dF}{dWdA\cos\alpha} \qquad (19)$$

من هنا نستنتج أن قيمة الإنارية في اتجاه معين وعلى نقطة من سطح ما تساوي خارج قسمة الدفق المنير الواقع على عنصر من السطح الذي يشتمل على تلك النقطة وينتشر باتجاهات تنحصر ضمن مخروط يحتوي الاتجاه المُعيّن، على حاصل ضرب زاوية المخروط المجسّمة في مساحة المسقط العمودي لعنصر السطح على مستوى عمودي على الاتجاه المُعيّن، ويكون الدفق المنير إما خارجاً من السطح أو ماراً به أوواصلاً إليه.

ذكرنا سابقاً أن وحدة قياس الإنارية هي القنديلة / المتر المربع. وسابقاً استخدمت وحدة تسمى النيت Nit لقياس الإنارية، وهي تساوي:

$$1\ \text{Nit} = \frac{1\ \text{cd}}{1\ \text{m}^2}$$

كذلك استخدمت وحدة قياس أخرى للإنارية حتى عام 1956 تُدعى استولب وتساوي 1000 نِت. وتتراوح إنارية المصباح الفلوري بين 5250 إلى 8400 نِت. وتتراوح للمصباح التوهجي بين 525000 إلى 1050000 نِت، وللمصباح الزئبقي ذي الضغط العالي من بين 2100000 إلى 6300000 نِت.

وإذا كان الدفق المنير مقاساً باللومن والمساحة بالقدم المربعة فإن وحدة قياس الإنارية هي قدم / لامبرت Footlamert (FL)، وإذا كان الدفق المنير مقاساً بالقنديلة والمساحة بالبوصة المربعة فإن وحدة قياس الإنارية هي قنديلة/ بوصة مربعة.

وتساوي العلاقة بين قدم لامبرت وقنديلة/ بوصة مربعة كالآتي:

$$1\ \text{cd}/\text{in}^2 = 144 \quad \text{fL} = 452\ \text{fL}$$

6.7 العلاقة بين الشدة المنيرية والاستنارة

يمكن حساب إستنارة نقطة على سطح ما باستخدام الشدة المنيرية لمصدر الضوء. وسنجد العلاقة بين الاستنارة والشدة المنيرية بافتراض أن السطح عامودي على الدفق المنير. فإذا افترضنا أن عنصراً صغيراً من السطح dA تتم إنارته بمصدر ضوء يبعد عن ذلك السطح مسافة R، في هذه الحالة فإن الاستنارة تساوي:

$$E = \frac{dF}{dA} \qquad (20)$$

فإذا اخذنا بعين الاعتبار تعريف الزاوية المجسمة والتي تساوي :

$$dW = \frac{dA}{R^2} \qquad (21)$$

أي أن :

$$dA = R^2\, dW \qquad (22)$$

وبعد تعويض قيمة dA من المعادلة السابقة في معادلة (20)، فإن الاستنارة تساوي :

$$E = \frac{dF}{R^2\, dW} \qquad (24)$$

كذلك فإن الشدة المنيرية تساوي :

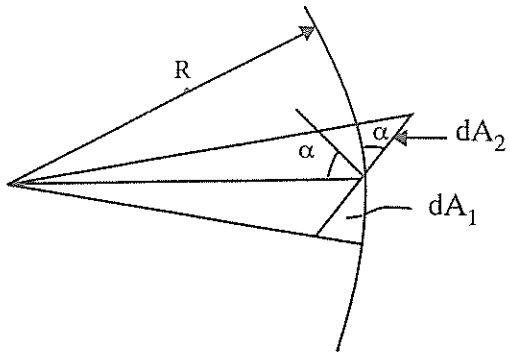
$$I = \frac{dF}{dW} \qquad (25)$$

وبتعويض قيمة الشدة المنيرية من معادلة (25) في معادلة (24)، فإننا نحصل على :

$$E = \frac{I}{R^2} \qquad (26)$$

ونستنتج من المعادلة السابقة أن إستنارة نقطة على سطح عامودي على إتجاه الدفق المنير الوارد إليه تتناسب طردياً مع الشدة المنيرية لذلك الدفق المنير في إتجاه السطح، وتتناسب عكسياً مع مربع المسافة ما بين تلك النقطة وموقع مصدر الضوء.

أما إذا كان السطح المراد حساب إستنارته غير عمودي على مستوى الدفق المنير الوارد إليه، بل يشكل معه زاوية مقدارها α كما في شكل -14 فيمكننا أن نحسب الاستنارة بمعرفة الشدة المنيرية كما في معادلة (25) بعد معرفة العلاقات التالية :



شكل -13

$$dA_2 = \frac{dA_1}{\cos\alpha} \qquad (27)$$

وتساوي إستنارة السطح dA2 ما يلي :

$$E = \frac{dF}{dA_2} = \frac{dF \cdot \cos\alpha}{dA_1} \qquad (28)$$

وبما أن :

$$dA_1 = dA_2 \cos\alpha$$
$$dA_1 = dW \cdot R^2$$

فإن الإستنارة تساوي :

$$I = \frac{dF}{dW} \qquad (29)$$

$$I = \frac{dF \cdot \cos\alpha}{dW \cdot R^2} = \frac{I}{R^2} \cdot \cos\alpha \qquad (30)$$

7.7 جداول الإستنارة للمرافق المختلفة

تُبين الجداول الواردة أدناه قيم الاستنارة القياسية العملية Standard service illumination للمرافق المختلفة، والتي تم تبنيها في جمعية مهندسي الإنارة. وتتناسب قيم هذه الاستنارة القياسية العملية مع النظام الدرجي Scale System، والذي ينطبق مع الدليل العالمي CIE لإنارة المرافق الداخلية، وهذا النظام الدرجي كما يلي- باللوكس:

2, 5, 10, 20, 30, 50, 75, 100, 150, 200, 300, 500, 750, 1000, 1500, 2000, 3000 .

تختلف الفاعلية المنيرية إختلافاً كبيراً بحسب نوع المصباح، حيث أنها تساوي للمصابيح التوهجية من 10 إلى 15 لومن لكل واط، وتبلغ أقصاها لبعض مصابيح الصوديوم فتبلغ 100 لومن لكل واط، كذلك تختلف الفاعلية المنيرية لنفس النوع من المصابيح حسب قدرتها بالواط وتصميمها. وللحصول على قيمة دقيقة للفاعلية المنيرية للمصابيح لابد من الرجوع إلى النشرات الفنية الصادرة عن الشركات الصانعة.

ويجب زيادة الاستنارة القياسية العملية درجة واحدة في الحالات التالية:

1- إذا حدثت نتائج جدية غير متوقعة بمعنى التكاليف أوالخطر الناتج عن أخطاء في الإدراك الحسي.

2-إذا كانت المهمة Task محاطة بمعاكسات منخفضة جداً أو تباين قليل جداً.

3- إذا كانت الاستنارة العملية للمهمة أقل من 500 لوكس، وكانت المهمة في مرفق بلا نوافذ.

جدول (2)

مستوى الاستنارة المحبذ للمناطق الداخلية

الاستخدام	الاستنارة (لوكس)	نوع المهمة
(أ) الانارة العامة لمناطق الاستخدام القليل أو التي تحتوي على مهمات بسيطة.	20	المناطق العامة المحاطة بأجواء مظلمة.
	30 50 75	المناطق العامة لبيان الاتجاه ولفترات وجيزة.
	100 150 200	الغرف التي لا تستخدم بشكل متواصل مثل مناطق التخزين.
(ب) المناطق العامة التي يتم فيها العمل بالداخل	300	مهمات بمتطلبات رؤية محدودة مثل قاعات المحاضرات.
	500 750 1000	مهمات بمتطلبات رؤية عادية، مثل المكاتب.
	1500 2000	مهمات بمتطلبات خاصة مثل عمل الحفر اليدوي.
(جـ) إنارة إضافية لتنفيذ مهمات دقيقة جداً.	3000 5000	مهمات تتطلب دقة لفترة طويلة، مثل الالكترونيات وتجميع الساعات.
	7500 10000	مهمات تتطلب دقة عالية مثل تجميع الالكترونيات الصغيرة.
	15000 20000	مهمات خاصة جداً مثل غرف الجراحة.

جدول (3)

الاستنارة القياسية العملية للمرافق المختلفة

المرفق	الاستنارة العملية القياسية (لوكس)	مستوى قياس الاستنارة	مظهر اللون
البيوت السكنية :			
غرف المعيشة :			
عام	50	مستوى العمل	متوسط ، دافئ
قراءة عرضية	100	المهمة	متوسط ، دافئ
الخياطة والرتق	300	المهمة	متوسط ، دافئ
غرف الدراسة :			
المكتب والقراءة المطولة	300	المهمة	متوسط ، دافئ
غرف النوم :			
عام	50	الأرضية	متوسط ، دافئ
رأس السرير	150	السرير	متوسط ، دافئ
المطابخ :			
أماكن العمل	300	سطح العمل	متوسط ، دافئ
الحمامات	100	الأرضية	متوسط ، دافئ
القاعات واستراحات الدرج	150	الأرضية	متوسط ، دافئ
الدرج والسلالم	100	الدرجة	متوسط ، دافئ
المشاغل البيتية	300	المنضدة	متوسط ، دافئ
المرائب	50	الأرضية	متوسط ، دافئ
الفنادق			
قاعات الدخول :			
عام	70	1.2م فوق الأرضية	متوسط ، دافئ
الاستقبال والمحاسبة والغرف العامة	300	المنضدة	متوسط ، دافئ

المرفق	الاستنارة العملية القياسية (لوكس)	مستوى قياس الاستنارة	مظهر اللون
الغرف العامة :			
أماكن شرب القهوة والبار	150	الطاولة	متوسط ، دافئ
غرف الأكل والمطعم :			
عام	100	الطاولة	متوسط ، دافئ
طاولة المحاسبة	300	المنضدة	متوسط ، دافئ
الردهات وقاعات الانتظار	100	1.2م فوق الأرضية	متوسط ، دافئ
غرف الكتابة	150	المنضدة	متوسط ، دافئ
غرف ايداع الملابس	150	الأرضية	متوسط ، دافئ
المصبغة	300	مستوى العمل	متوسط ، دافئ
القبو والمخزن الأرضي	150	أرضية القبو	دافئ
المكاتب :			
مكاتب ذات طابع كتابي			
مكاتب ذات طابع كتابي وطباعة	750	المنضدة	متوسط ، دافئ
غرف الأضابير	300	النسخة	متوسط ، دافئ
غرف المؤتمرات	750	الطاولات	متوسط ، دافئ
مكاتب المديرين	500	المنضدة	متوسط ، دافئ
قاعات العمليات المصرفية :			
أماكن العمل	500	المكتب	متوسط ، دافئ
الأماكن العامة	300	الأرضية	متوسط ، دافئ
غرف الحاسبات الإلكترونية	500	مستوى العمل	متوسط ، دافئ
غرف إدخال المعلومات	500	مستوى العمل	متوسط ، دافئ
مكاتب الرسم	750	اللوحة	بارد ، دافئ ، متوسط
غرف طباعة المخططات	300	الطاولة	بارد ، دافئ ، متوسط
المتاجر :			
المتاجر التقليدية	500	المنضدة	بارد ، متوسط ، دافئ
متجر الخدمة الذاتية	500	رأسي على البضاعة المعروضة	متوسط ، دافئ

الموقف	الاستنارة العملية القياسية (لوكس)	مستوى قياس الاستنارة	مظهر اللون
الأسواق المركزية	500	البضاعة	متوسط ، دافئ
معارض السيارات	500	رأسي على السيارة	بارد ، متوسط ، دافئ
عام	500	البضاعة	بارد ، متوسط ، دافئ
فناء الأسواق والممرات	150	الأرض	متوسط ، دافئ
المؤسسات التعليمية :			
قاعة المحاضرات			
عام	300	المكتب	متوسط ، دافئ
السبورات	500	المستوى العمودي	متوسط ، دافئ
طاولات العرض	500	الطاولة	متوسط ، دافئ
قاعة الامتحانات والمناقشات	500	المكتب	متوسط ، دافئ
المكتبات :			
رفوف وأكداس الكتب	150	رأسي على مستوى الأرض	متوسط ، دافئ
طاولات القراءة	300	المنضدة	متوسط ، دافئ
فهارس المكتبة	500	المنضدة	متوسط ، دافئ
التجليد	500	المنضدة	متوسط ، دافئ
مخازن الكتب المغلقة	100	المنضدة	متوسط ، دافئ
المدارس :			
قاعات الاجتماعات			
عام	300	مستوى العمل	متوسط ، دافئ
المنصة وخشبة المسرح	إنارة خاصة		
أماكن التدريس :			
عام	300	مستوى العمل	متوسط ، دافئ
السبورة	500	المستوى الرأسي	متوسط ، دافئ
مباني محطات النقل* :			

* المطارات ، الموانئ ، البرية ومحطات السكك الحديدية .

المرفق	الاستنارة العملية القياسية (لوكس)	مستوى قياس الاستنارة	مظهر اللون
أماكن الاستقبال :			
الجمارك ، دائرة الهجرة	500	المقعد أو الطاولة	متوسط ، دافئ
مكاتب شراء التذاكر	500	المنضدة	متوسط ، دافئ
عام	150	الأرضية	متوسط ، دافئ
أماكن الانتظار	200	مستوى المقعد	متوسط ، دافئ
المطاعم، البارات، المطابخ	كما في الفنادق		
المستشفيات :			
غرف التخدير :			
عام	300	المقعد أو النقالة	متوسط
موضعي	1000	رأس النقالة	دافئ
غرف الاستشارة الطبية :			
عام	300	مستوى العمل	متوسط ، دافئ
فحص	1000	الكنبة	دافئ
الممرات العامة	150	الأرضية	دافئ ، متوسط
غرف المعالجة المكثفة :			
السرير	50-30	مستوى العمل	متوسط
الممرات بين الأسرة	100	مستوى العمل	متوسط
المراقبة	400	السرير	متوسط
المراقبة الموضعية	1000	السرير	دافئ
المختبرات :			
عام	300	المقعد	متوسط ، دافئ
فحص	500	المقعد	متوسط ، دافئ
مكان الممرضات	300	المكتب	متوسط ، دافئ
المكاتب ليلاً	30	المكتب	دافئ
قاعة العمليات :			
عام	500-400	مستوى العمل	متوسط
موضعي	50000-10000	الطاولة	دافئ

ملاحظة: في المنازل المخصصة للعجزة وكبار السن يجب زيادة مستويات الاستنارة بنسبة 50٪ إلى 100٪ مع مراعاة تجنب الإبهار، وكذلك يحبذ استخدام مفاتيح مزدوجة في كل الممرات والأدراج.

8.7 حسابات الاستنارة باستخدام طريقة اللومن

تعتبر طريقة اللومن Lumen method من أكثر الطرق شيوعاً في حساب الاستنارة الناتجة عن عدد من المصابيح في حيز ما، وتعتمد على عامل الإفادة Utilization factor، على فرض أن الاستنارة المباشرة موزعة بشكل منتظم في جميع الاتجاهات.

إن المعادلة الرئيسية المستخدمة في الحساب هي كما يلي:

$$N = \frac{E_m \cdot A}{n F_L \cdot UF \cdot MF} \qquad (31)$$

حيث أن:

N- عدد وحدات الإنارة اللازمة للحصول على إستنارة معينة.

E_m- الاستنارة القياسية العملية، لوكس.

A- مساحة الحيز أو المرفق، متر مربع.

n- عد المصابيح في وحدة الإنارة.

F_L- الدفق المنير للمصباح، لومن.

UF- عامل الإفادة.

MF- عامل الصيانة.

ويتم إختيار الاستنارة القياسية العملية من جدول -3 حسب طبيعة المرفق ونوع إشغاله.

ويعتمد معامل الإفادة على أبعاد المرفق، ويتم إختياره تبعاً لنوع وحدة الإنارة التي تم إختيارها للحصول على إستنارة معينة، وذلك بالرجوع إلى النشرات الفنية الصادرة عن الشركات الصانعة لوحدات الإنارة. وفي حالة عدم توفر تلك النشرات يمكن استخدام جدول -4 لتعيين عامل الإفادة.

وحتى نستطيع إختيار عامل الإفادة، لابد لنا من حساب دليل الغرفة Room Index كما يلي:

$$K_r = \frac{L \cdot W}{H_m (L + W)} \qquad (32)$$

حيث أن :

K_r- دليل الغرفة .

L-طول الغرفة ، متر.

W-عرض الغرفة ، متر.

H_m- إرتفاع التعليق لوحدات الإنارة ، متر.

جدول (4)

معامل الإفادة للتوزيعات المختلفة للكثافة المنيرية

توزيع الكثافة المنيرية	التوزيع التقريبي للضوء الصادر من وحدة الإنارة		عامل الإفادة
	نسبة الضوء الأعلى	نسبة الضوء الأسفل	
مباشرة Direct	10-0	90-100	0.6-0.45
شبه مباشر Semi- direct	40-10	60-90	0.55-0.45
إنتشار عام General- Diffuse	60-40	40-60	0.5-0.35
شبه غير مباشر Semi- Indirect	90-60	10-40	0.45-0.35
غير مباشر	100-90	0-10	0.35-0.25
إنارة الزوايا غير مباشرة	-		0.20-0.15

وإرتفاع التعليق هو المسافة العمودية H_m بين المستوى الأفقي لوحدة الإنارة ومستوى سطح العمل. فإذا كان إرتفاع الغرفة H، وإرتفاع سطح العمل عن أرضية الغرفة H_p، وكانت وحدة الإنارة معلقة من السقف مسافة H_L، فإن إرتفاع التعليق لوحدات الإنارة يساوي:

$$H_m = H - H_L - H_p \qquad (33)$$

وعادة، يعتبر إرتفاع سطح العمل عن أرضية الغرفة مساويا 75 سم، إلا إذا كانت معطيات استخدام الغرفة تحدد إرتفاع سطح العمل بقيمة أخرى تختلف عن ذلك. من هنا فإن إرتفاع التعليق يساوي:

$$H_m = H - H_L - 0.75 \qquad (34)$$

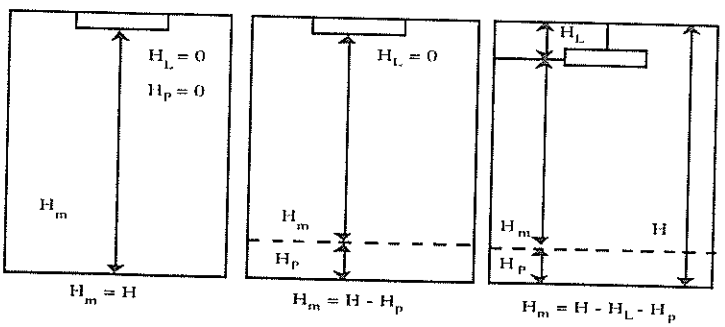
أما إذا كانت وحدة الإنارة مركبة على سقف الغرفة مباشرة، أو من النوع المختفي بالسقف Recessed، فإن $H_L = 0$، ويساوي إرتفاع التعليق في هذه الحالة:

$$H_m = H - 0.75 \qquad (35)$$

ويساوي إرتفاع التعليق إرتفاع الغرفة في حالة كون وحدات الإنارة معلقة على نفس مستوى سقف الغرفة وكان مستوى سطح العمل هو أرضية الغرفة، ففي هذه الحالة فإن:

$$H_m = H \qquad (36)$$

ويبين شكل -15 الحالات المختلفة لارتفاع التعليق.



شكل -15

الحالات المختلفة لحساب إرتفاع التعليق.

- أما إذا كانت الغرفة طويلة جداً، أي طولها أكبر بكثير من عرضها (L > W) ، فإن المعادلة (32) تصبح كما يلي:

$$K_r = \frac{W}{H_m} \qquad (37)$$

وعادة، فإن الجداول تبين عامل الإفادة لدليل غرفة أقصاه 5. فإذا نتج عندنا بالحساب دليل غرفة أكبر من 5، فإننا نلجأ إلى أخذ قسم من مساحة الحيز ونحسب له دليل الغرفة بحيث لا يتجاوز رقم 5، أو نعتبر أن دليل الغرفة يساوي 5 ونختار عامل الإفادة تبعاً لذلك.

أما عامل الصيانة، فهو يحدد العلاقة بين الاستنارة الإبتدائية Initial illumination والاستنارة الأكيدة Maintained illumination، أي أن:

$$\text{عامل الصيانة} = \frac{\text{الاستنارة الأكيدة}}{\text{الاستنارة الإبتدائية}}$$

وهو دوماً أقل من 1.

وبشكل عام، فإن عامل الصيانة يعتمد على حالة المرفق من حيث الأوساخ والأتربة والغبار. ويمكن استخدام جدول -5 لاختيار عامل الصيانة المناسب.

جدول (5)

عامل الصيانة للمرافق المختلفة

حالة المرفق	عامل الصيانة	عامل التخطيط $P = \frac{1}{M_f}$
عادية	0.8	1.25
قذرة	0.7	1.43
شديدة القذارة	0.6	1.67

إن عامل الصيانة في جدول -5 قد أخذ بعين الاعتبار نقصان الاستنارة الإبتدائية بسبب التلوث والغبار وتقادم عمر وحدات الإنارة والغرف.

ونشير في هذا المقام إلى أن معامل الإنارة يعتمد أيضاً على معاكسات Reflectances الحيز، والمقصود هومعاكسات السطح والجدران والأرضية، وهذه تعتمد بشكل رئيسي على ألوان السطوح الداخلية للمرافق المختلفة. وفي حسابات التصميم، عادة يتم إعتماد القيم التالية 0.8, 0.5, 0.3 كمعاكسات السقف والجدران والأرضية على التوالي.

في كثير من المشاريع (فنادق، قصور، فلل، قاعات، . . . الخ) فإن إختيار نوع وموقع وحدات الإنارة تكون ضمن مسؤولية التصميم الداخلي Interior design والتي غالباً ما تنجز لاحقاً، وبالتالي فعلى المهندس الكهربائي المصمم أن يأخذ ذلك في الاعتبار عند تصميم أحمال الإنارة. إن المدخل لذلك هو في تحديد الحمل الكهربائي لنقاط الإنارة إعتماداً على إستخدام مفهوم الحمل النوعي وذلك لأغراض حساب مقاطع الأسلاك وعدد المفاتيح اللازمة. ويمكننا استخدام جدول -6 لهذا الغرض.

جدول (6)

أحمال الإنارة لأغراض التصميم الداخلي . واط/م2

المرفق	الحمل الكهربائي النوعي	القيمة المتوسطة
غرف النوم	50 - 30	40
الصالونات	80 - 50	65
غرف الاستقبال	70 - 50	60
غرف الجلوس	70 - 50	60
غرف الطعام	60 - 40	50
المكاتب	80 - 50	65
المداخل والقاعات	50 - 30	40
الممرات	40 - 20	30
بقية المناطق	30 - 20	25
الحمامات	40 واط + 60 واط لكل مرآة	

-فمثلاً، إذا أردنا تحديد الحمل الكهربائي للإنارة في صالون مساحته 80 متراً مربعاً، فمن الجدول نجد أن الحمل النوعي المتوسط يساوي 65 واطاً/ للمتر المربع. الحمل الكهربائي المطلوب يساوي 80 x 65 = 5200 واط، وبالتالي يمكننا وضع أربع نقاط إنارة في الصالون وتكون قدرة كل نقطة مساوية 1040 واط، ويمكن تغذية هذه النقاط باستخدام دارتي إنارة، ويمكن تشغيل كل دارة باستخدام مفتاحين -Lighting switch-es.

عند إجراء حسابات الاستنارة للمرافق المختلفة بطريقة يدوية فُيحبذ استخدام لوحات مصممة بشكل معين تضم كل المعلومات والحسابات المطلوبة. وكمثال على ذلك يمكن استخدام لوحة الحسابات الواردة في شكل -16 كنموذج على ذلك.

ونورد فيما يلي مثالاً على كيفية استخدام طريقة اللومن في حساب عدد وحدات الإنارة المطلوبة لمرفق.

مثال :

إحسب عدد وحدات الإنارة اللازمة لإنارة مكتب طوله 8 أمتار وعرضه 5 أمتار وإرتفاعه 3 أمتار.

اسم المشروع :			
الغـرفـــة :			

معطيات الغرفة			
طول الغرفة	L	متر	
عرض الغرفة	W	متر	
إرتفاع الغرفة	H	متر	
إرتفاع سطح العمل	H_P	متر	
مسافة التعليق من السطح	H_L	متر	
ارتفاع التعليق	$H_m = H - H_L - H_p$	متر	
دليل الغرفة	$R_1 = \frac{L \cdot W}{H_m (L + W)}$		
معاكسات السقف/ الجدران/ الأرضية			

طبيعة الغرفة/ المرفق		
الاستنارة القياسية	لوكس	
لون الضوء		
عامل الصيانة	MF	

معطيات المصباح المستخدم		
قدرة المصباح بدون كابح	واط	
قدرة المصباح والكابح	واط	
لون الضوء		
الدفق المنير F_L	لومن	

معطيات وحدة الإنارة		
نوع وحدة الإنارة		
عدد المصابيح في الوحدة	n	
كيفية تعليق الوحدة		
عامل الإفادة	UF	

الحسابات	
عدد وحدات الإنارة $N = \frac{E.A}{n.F_L.\ UF.\ MF}$	
عدد الوحدات المختارة	N
الاستنارة الأكيدة $E = \frac{N.n.F_L.\ UF.MF}{A}$	

القدرة الكهربائية $P_T = N.n.P_L$	واط	

ملاحظات :					
المصمم		المدقق		التاريخ	

شكل -16

لوحة حسابات الاستنارة للمرافق الداخلية

الحل :

سنستخدم وحدات إنارة سقفية، تحتوي كل وحدة على مصباحين فلوريين من نوع Triphosphor، حيث يساوي الدفق المنير للمصباح الواحد 3450 لومن.

من جدول -3 نجد أن الاستنارة القياسية العملية للمكاتب تساوي 500 لوكس، ويساوي عامل الصيانة من جدول 5 للمرافق في حالتها عادية 0.8 .

لإيجاد عامل الإفادة نحسب دليل الغرفة كما يلي :

$$K_r = \frac{L \times W}{H_m (L + W)}$$

نجد إرتفاع التعليق ، ويساوي :

$$H_m = H - H_L - H_p$$

إرتفاع مستوى العمل يساوي 0.75 متراً ، وبما أن الوحدات سقفية فإن $H_L = 0$ من هنا فإن إرتفاع التعليق يساوي :

$$H_m = 3\text{-}0\text{-}0.75 = 2.25 \text{ m}$$

ويبين شكل -17 جدول عامل الإفادة لهذا النوع من وحدات الإنارة إعتماداً على قيم مختلفة لدليل الغرفة ومعاكسات السقف والجدران والأرضية .

Utilization factor in %										
Q	ceiling	0.8				0.7	0.5		0.3	0
	walls	0.5		0.3		0.5	0.3	0.3	0.3	0
	floor	0.3	0.1	0.3	0.1	0.2	0.3	0.1	0.1	0
K	0.6	35	33	28	27	33	26	25	24	18
	0.8	44	42	37	35	41	34	32	31	24
	1.0	51	48	44	41	48	40	38	36	30
	1.25	58	53	50	47	54	46	44	42	35
	1.5	64	58	56	52	58	51	48	46	39
	2.0	72	64	65	59	65	58	55	52	45
	2.5	77	68	70	64	70	63	59	56	49
	3.0	81	71	76	68	73	67	62	59	52
	4.0	85	74	81	71	76	71	65	62	55
		89	76	84	74	79	74	68	64	57

شكل -17
جدول عامل الإفادة

من الجدول السابق نجد أن :

K_r	UF
1.25	0.58
1.50	0.64

وذلك للمعاكسات 0.8 ,0.5, 0.3 .

ولإيجاد عامل الإفادة لدليل الغرفة 1.37 نستخدم عامل الإفادة لدليل الغرفة 1.25 وعامل الإفادة لدليل الغرفة 1.5 كما يلي :

$$UF = 0.58 + \frac{0.64 - 0.58}{1.50 - 1.25}(1.37 - 1.25) = 0.6088$$

عدد المصابيح اللازمة لإنارة المكتب تساوي :

$$N = \frac{E \times A}{n F_L . UF \times MF}$$

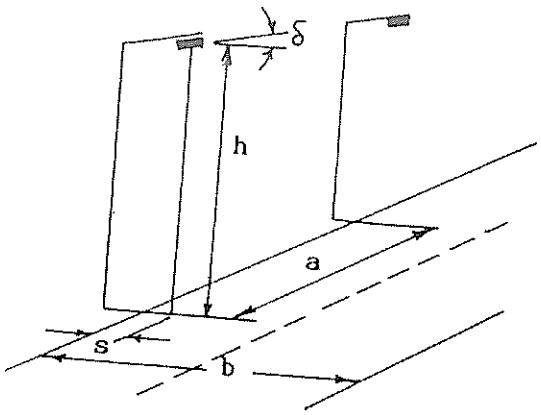
$$N = \frac{500 \times 8 \times 5}{2 \times 3450 \times 0.6088 \times 0.8} = 5.95 \approx 6$$

أي يلزمنا ست وحدات إنارة للحصول على إستنارة تساوي 500 لوكس .

9.7 حسابات الاستنارة للطرق

تعتبر إنارة الطرق بكافة أنواعها من أهم العوامل في تقليل حوادث الطرق ، لذلك تولي الدول أهمية كبرة لعملية إنارة الطرق بحيث تحقق الهدف الذي من أجله تم إنشاء هذه الإنارة . وتُستخدم لهذا الغرض أعمدة الإنارة المختلفة ذوات الارتفاعات التي تناسب نوع الطريق ويتم تزويد هذه الأعمدة بوحدات الإنارة المناسبة لتحقيق مستوى إستنارة على الطريق حسب متطلبات الكودة Code والمواصفات العالمية المعتمدة في هذا المجال .

ويبين شكل -18 الشكل الهندسي لعمود إنارة لطريق وأبعاده الهندسية المستخدمة .



شكل -18

في الشكل السابق، فإن h تسمى إرتفاع التعليق، وهي تساوي المسافة العمودية من مركز وحدة الإنارة Lantern إلى سطح الطريق. أما المسافة بين العمودين (a) Spac-ing فهي تساوي المسافة الأفقية بين عامودين في جهة واحدة، وأما بروز (Overhang) وحدة الإنارة s فهي المسافة بين مسقط مركز وحدة الإنارة على سطح الطريق وحافة الرصيف Kerb. وتعرّف زاوية الميل Angle of inclination بأنها ميل وحدة الإنارة بالنسبة للمستوى الأفقي. في حسابات الاستنارة للطرق نلجأ إلي مفهوم عرض الطريق الفعلي EffectiveWidth وهو يساوي:

$$W_{eff} = b - s$$

وإذا كانت وحدة الإنارة خلف الطريق فان (s) هي كمية سالبة، ويجب أن نضع قيمة (s) مع إشارتها إذا كانت سالبة أم موجبة.

وهناك عدة طرق لترتيب أعمدة الإنارة على جوانب الطرق، وهذه الترتيبات كما يلي:

أ- الأعمدة على جانب واحد Single - Sided.

يرتبط هذا الترتيب مع إرتفاع التعليق، حيث يُحبذ استخدام هذا الترتيب إذا كان إرتفاع التعليق أكبر أو يساوي عرض الطريق الفعلي، أي أن:

$$H \geq W_{eff}$$

ب- الترتيب المتمايل Staggered .

يُحبذ استخدام هذا الترتيب إذا كان إرتفاع التعليق مساوياً على الأقل ثلثي عرض الطريق الفعلي ، أي أن :

$$H = \frac{2}{3} W_{eff}$$

جـ- الترتيب المتعاكس (Opposite)

يُستخدم هذا الترتيب إذا كان إرتفاع التعليق أقل من ثلثي عرض الطريق الفعلي ، أي أن :

$$H < \frac{2}{3} W_{eff}$$

د- التعليق على أسلاك Spanwire .

إذا كان عرض الطريق صغيراً لا يسمح بنصب أعمدة ، فيحبذ مد سلك فوق الطريق وتعليق وحدة الإنارة على هذا السلك . ويُستخدم هذا الترتيب في الأماكن الضيقة ومراكز المدن حيث تنتصب العمارات على جانبي الطريق ، ولا توجد إمكانية لوضع أعمدة إنارة .

هـ- وحدة إنارة مزدوجة في منتصف الطريق Twin Central .

يُستخدم هذا الترتيب في الطرق التي تحتوي على جزيرة وسطية ، وفي هذه الحالة فإن إرتفاع التعليق يجب أن يكون أكبر من عرض الطريق الفعلي ، أي أن :

$$H \geq W_{eff}$$

ويعتمد إرتفاع التعليق على ترتيبات الأعمدة وعرض الطريق الفعلي ، فكلما قل إرتفاع التعليق قلت تكاليف إنارة الطرق ، بينما يزيد إبهار وحدات الإنارة كلما قل إرتفاع التعليق .

وبالنسبة للمسافة بين الأعمدة فتعتمد على إرتفاع التعليق ، فكلما زاد إرتفاع التعليق استطعنا زيادة المسافة بين الأعمدة ، وبالتالي معدل تغيير وحدات الإنارة التي يتعرض لها السائق عند سرعة معينة على الطريق المعني .

ويُستخدمُ مفهوم بروز وحدة الإنارة لتحديد عرض الطريق الفعلي، وبالتالي فإن إزدياد البروز يُمكننا من تقليل إرتفاع التعليق.

ويستخدم ميل وحدة الإنارة عن المستوى الأفقي لزيادة عرض الطريق الفعلي المرتبط بارتفاع التعليق. ولكن هذا الأسلوب غير فعال دوماً، لذلك يحبذ أن تحدد زاوية الميل بـ 10 درجات.

ولحساب شدة الاستنارة على الطرق تُستخدمُ المعادلة الرئيسية التالية:

$$E_{av} = \frac{n.F_L \times \eta_B \times LLF}{a \times W_{eff}}$$

حيث أن:

E_{av}- الاستنارة المتوسطة على الطريق، لوكس.

F_L- الدفق المنير للمصباح، لومن.

n- عدد المصابيح في وحدة الإنارة.

η_B- عامل الإفادة.

LLF- عامل فقد الضوء Light Loss Factor.

a- المسافة Spacing بين الأعمدة، متر.

Weff- عرض الطريق الفعلي.

ويبين جدول -7 متوسط الاستنارة (الاستنارة الأكيدة) على السطح الأفقي للطرق المختلفة.

أما جدول -8 فيبين متوسط الاستنارة لممرات المشاة.

جدول (7)

متوسط الاستنارة على السطح الأفقي للطرق

تصنيف الطريق	منطقة تجارية	منطقة متوسطة	منطقة سكنية
	لوكس	لوكس	لوكس
طريق حرة	6	6	6
طريق النقل السريع	15	13	11
طريق رئيسي	22	15	11
طريق جامع (Collector)	-	0	6
طريق محلي	10	6	4
الزقاق (Alley)	6	4	4

جدول (8)

متوسط الاستنارة لممرات المشاة المختلفة

تصنيف ممرات المشاة	متوسط الإنارة	المتوسط لأجل سلامة المشاة	
		الارتفاع 3-5 أمتار	الارتفاع 5-10 أمتار
	لوكس	لوكس	لوكس
ممرات المشاة بجانب الطرق وممرات الدراجات الهوائية نوع أ:			
منطقة تجارية	10	22	43
منطقة متوسطة	6	11	22
منطقة سكنية	2	4	9
ممرات المشاة الصغيرة بجانب الطرق وممرات الدراجات الهوائية نوع ب:			
الممرات في الحدائق	5	6	11
أنفاق المشاة	43	54	-
جسور المشاة	3	4	-
أدراج المشاة	6	9	-

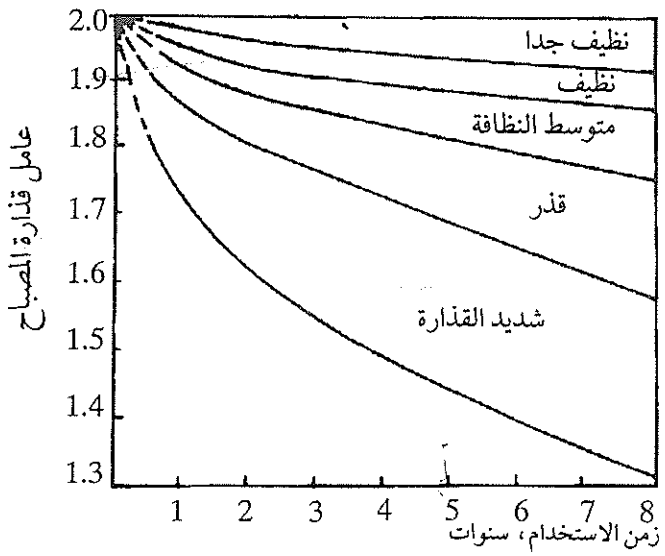
- أما عامل فقد الضوء Ligh loss factor LLF فيعتمد على عدة عوامل، ويمكننا لغايات الحساب إعتبار عامل فقد الضوء مساوياً:

$$LLF = LDD \times LLD$$

حيث أن :

LDD- عامل قذارة المصباح Luminaire dirt depreciation، ويمكن تحديد قيمته باستخدام شكل -19 .

LLD- عامل إستهلاك لومنات المصباح Lamp Lumen depreciation . وكمعدل وسطي يمكن إعتبار أن عامل إستهلاك لومنات المصباح مساوياً 0.85 وذلك لغايات الحساب .



شكل -19

تحديد عامل قذارة المصباح

ملاحظات حول استخدام شكل -19 :

أ- وسط نظيف جداً : لا يوجد مصادر للدخان والغبار ، وحركة السيارات قليلة ، مثال على المناطق النظيفة جداً : الأماكن السكنية والمناطق الريفية ، معدل التلوث =150 ميكروغرام/ م3 .

ب- منطقة نظيفة : لا يوجد مصادر للدخان والغبار ، حركة السيارات متوسطة ، معدل التلوث300 ميكروغرام/ م3 .

جـ- منطقة متوسطة القذارة : مصادر للدخان والغبار متوسط النشاط ، حركة السيارات متوسطة أو كثيفة ، معدل التلوث 600 ميكروغرام/ م3 .

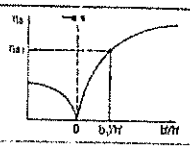
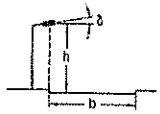
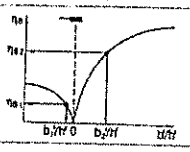
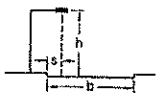
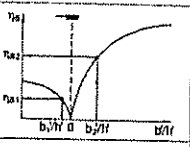
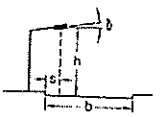
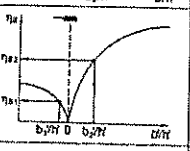
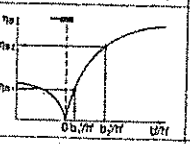
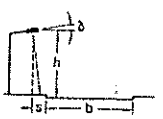
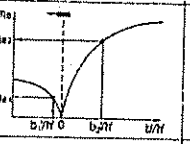
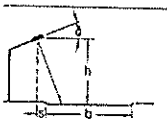
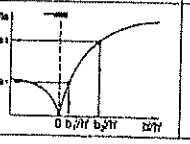
د- منطقة قذرة : توجد مصادر للدخان والغبار قريبة ويمكنها الالتصاق بوحدة الإنارة وتغليفها .

هـ- منطقة شديدة القذارة : كالمنطقة القذرة ولكن وحدة الإنارة مغلفة بطبقة من الدخان والغبار .

أما عامل الإفادة فهو يتكون من عامل الإفادة لجانب الشارع Street side ولجانب وحدة الإنارة House side ، ويعتمد على ترتيب وحدة الإنارة بجانب الشارع . ولتسهيل حساب عامل الإفادة ، يمكن استخدام جدول -9 .

جدول (9)

عامل الإفادة حسب ترتيب أعمدة الإنارة الخارجية

Overhang of lantern s	Angle of inclination δ	Arrangement of lanterns	$\frac{b'}{h'}$	$\eta_a = \eta_a(b'/h')$	Utilization factor η_a
$s = 0$	$\delta = 0$		$\frac{b_1'}{h'} = \frac{b}{h}$		η_{a1}
$s = 0$	$\delta > 0$		$\frac{b_1'}{h'} = \tan\delta$ $\frac{b_2'}{h'} = \frac{\frac{b}{h} - \tan\delta}{1 + \frac{b}{h}\cdot\tan\delta}$		$\eta_{a1} + \eta_{a2}$
$s > 0$	$\delta = 0$		$\frac{b_1'}{h'} = \frac{s}{h}$ $\frac{b_2'}{h'} = \frac{b - s}{h}$		$\eta_{a1} + \eta_{a2}$
$s > 0$	$\delta > 0$		$\frac{b_1'}{h'} = \frac{\frac{s}{h} + \tan\delta}{1 - \frac{s}{h}\cdot\tan\delta}$ $\frac{b_2'}{h'} = \frac{\frac{b-s}{h} - \tan\delta}{1 + \frac{b-s}{h}\cdot\tan\delta}$		$\eta_{a1} + \eta_{a2}$
$s < 0$	$\delta = 0$		$\frac{b_1'}{h'} = \frac{s'}{h}$ $\frac{b_2'}{h'} = \frac{b + s'}{h}$		$\eta_{a2} - \eta_{a1}$
$s < 0$ $\tan\delta \geq \frac{s'}{h}$	$\delta > 0$		$\frac{b_1'}{h'} = \frac{\tan\delta - \frac{s'}{h}}{1 + \frac{s'}{h}\cdot\tan\delta}$ $\frac{b_2'}{h'} = \frac{\frac{b+s'}{h} - \tan\delta}{1 + \frac{b+s'}{h}\cdot\tan\delta}$		η_{a2}
$s < 0$ $\tan\delta \geq \frac{s'}{h}$	$\delta > 0$		$\frac{b_1'}{h'} = \frac{\frac{s'}{h} - \tan\delta}{1 + \frac{s'}{h}\cdot\tan\delta}$ $\frac{b_2'}{h'} = \frac{\frac{b+s'}{h} - \tan\delta}{1 + \frac{b+s'}{h}\cdot\tan\delta}$		$\eta_{a2} - \eta_{a1}$

يتضح من الجدول السابق أن عامل الإفادة لجانب الشارع Z_{B_1} يعتمد على $\frac{b_1'}{h'}$، وعامل الإفادة لجانب وحدة الإنارة Z_{B_2} يعتمد على $\frac{b_2'}{h'}$. وبحساب العلاقات السابقة يمكننا إيجاد عامل الإفادة بالرجوع إلى المنحنيات الخاصة بوحدات الإنارة المستخدمة.

مثال :

طريق طوله 10 كيلو مترات، ونوع الطريق- محلي، عرض الطريق من الرصيف إلى الرصيف يساوي 15 متراً، إرتفاع عامود الإنارة المستخدمة يساوي 9 أمتار، بروز وحدة الإنارة يساوي 1.5 متراً، عامل إستهلاك لومنات وحدة الإنارة يساوي 0.85، والطريق موجودة في منطقة ريفية، ومدة استخدام وحدة الإنارة خمس سنوات، والمطلوب حساب عدد وحدات الإنارة اللازمة ونوعها والمسافة بين الأعمدة.

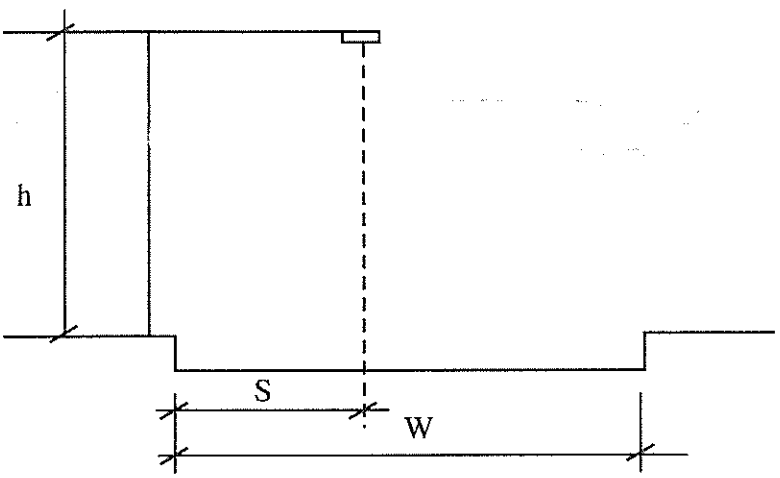
الحل :

يبين شكل -20 ترتيب عامود الإنارة بجانب الشارع وزاوية ميل (δ) وحدة الإنارة تساوي صفراً، أي أن $\delta = 0$.

باستخدام جدول -9، عندما تكون $\delta = 0, S > 0$ نجد أن :

$$\frac{b_1'}{h'} = \frac{s}{h} = \frac{1.5}{9} = 0.16$$

$$\frac{b_2'}{h'} = \frac{b-s}{h} = \frac{15-1.5}{9} = 1.5$$



شكل -20

سنستخدم وحدة إنارة زئبقية، بقدرة 400 واط، فاعليتها المنيرية تساوي 50 لومن/ واط. من جدول -7 نجد أن متوسط الإنارة على السطح الأفقي للطريق (طريق محلي في منطقة متوسطة) يساوي 6 لوكس. من شكل -19 نجد أن عامل قذارة المصباح يساوي 0.95 منها، لذلك فإن عامل فقد الضوء يساوي:

$$LLF = LDD \times LLD = 0.95 \times 0.85 = 0.81$$

من شكل -20 الخاص بمنحنيات عامل الإفادة لوحدة الإنارة المستخدمة، نجد أن:

$$\eta_{b1} = 0.02$$

$$\eta_{b2} = 0.385$$

$$\eta_b = \eta_{b1} + \eta_{b2} = 0.02 + 0.385 = 0.405$$

$$E_{av} = \frac{F_L \times \eta_b \times LLF}{Spacing \times W_{eff}}$$

من هنا نجد المسافة بين الأعمدة:

$$Spacing = \frac{F_L \times \eta_b \times LLF}{E_{av} \times W_{eff}} = \frac{400 \times 50 \times 0.405 \times 0.81}{6 \times 15} = 72.9 \text{ m}$$

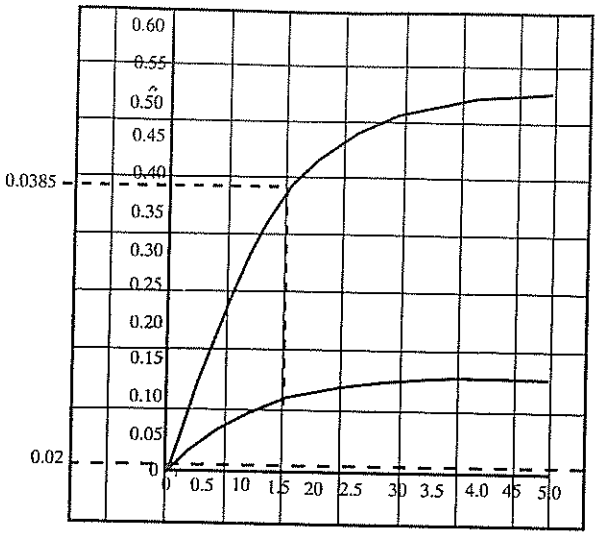
عدد الأعمدة المطلوبة، بعد أن نعتمد المسافة بين الأعمدة مساوية 70 متراً، يساوي:

$$\text{Total Number of Poles} = \frac{10000}{70} = 142.85 \approx 143$$

من هنا تصبح المسافة بين الأعمدة كما يلي:

$$Spacing = \frac{10000}{143} = 69.93 \text{ m}$$

القدرة الكهربائية المطلوبة = 400 x 143 = 57200 واط.



شكل -20

10.7 حسابات الإنارة الغامرة

إن مصطلح الإنارة الغامرة Flood lighting iIllumination ينطبق على استخدام الكشافات Projectors لإنارة السطوح والمساحات بالنسبة إلى الوسط المحيط بها.

وتستخدم الإنارة الغامرة كإنارة تجميلية Decorative أو كإنارة نقطية Utilitar-ion، تهدف إلى إنارة سطح معين. وأهم استخدامات الإنارة الغامرة هي كما يلي:

أ- إنارة مساحات العمل الكبيرة (مناطق التخزين، المطارات، الموانئ، . . . الخ).

ب- إنارة المباني والنصب التذكارية.

جـ- إنارة الحدائق والمتنزهات.

د- إنارة الملاعب الرياضية المكشوفة.

ولإنارة المناطق السابقة تستخدم وحدات إنارة (أو مجموعة وحدات إنارة) معلقة على أبراج Masts عالية، ويعتبر إرتفاع البرج عاملا مهما في تقدير اقتصاديات

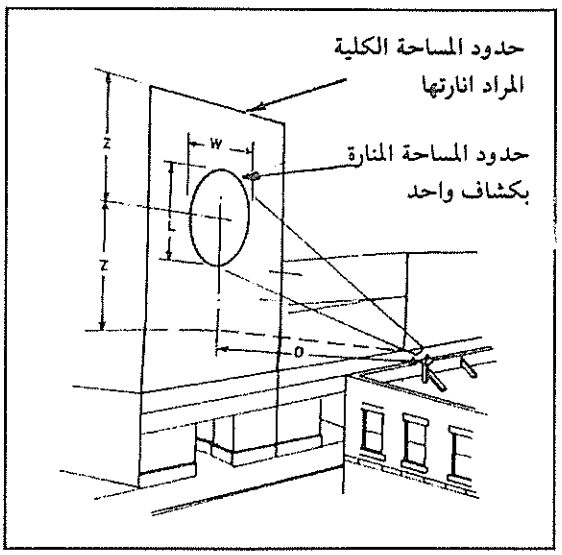
الإنارة. ومن ناحية إقتصادية تعتبر الأبراج التي أطوالها تتراوح بين 20 و 30 متراً الأكثر إقتصادية. وفي بعض الحالات، وعندما نريد توفيراً في المساحات، أو إذا كانت المساحات المنارة لا تسمح بتركيب عدد من الأبراج، فيحبذ استخدام أبراج بطول أكبر من 30 متراً.

1.10.7 ترتيب الكشافات

بشكل عام ولإنارة سطح عمودي ما فلابد أن يتم تركيب الكشافات في منطقة مقابلة له، أما لإنارة سطح أفقي فيمكن تركيب الكشافات على عامود أو برج في طرف المساحة المراد إنارتها.

ويمكننا أن نجمل ترتيبات تركيب الكشافات في الحالات التالية:

أ- تركيب الكشاف في منطقة مقابلة للمنطقة العامودية المراد إنارتها، ولكن على إرتفاع أقل. ويستخدم هذا الترتيب عندما تكون لدينا مبان متقابلة بينها مسافة ما وتختلف بارتفاعها. ويبين شكل -21 هذا الترتيب.



شكل -21
إنارة منطقة عامودية من منطقة مقابلة لها

D- المسافة الأفقية بين موقع الكشاف والمنطقة المراد إنارتها .

Z- نصف المسافة من نقطة تقع مباشرة مقابل الكشاف إلى أبعد طرف في السطح المراد إنارته .

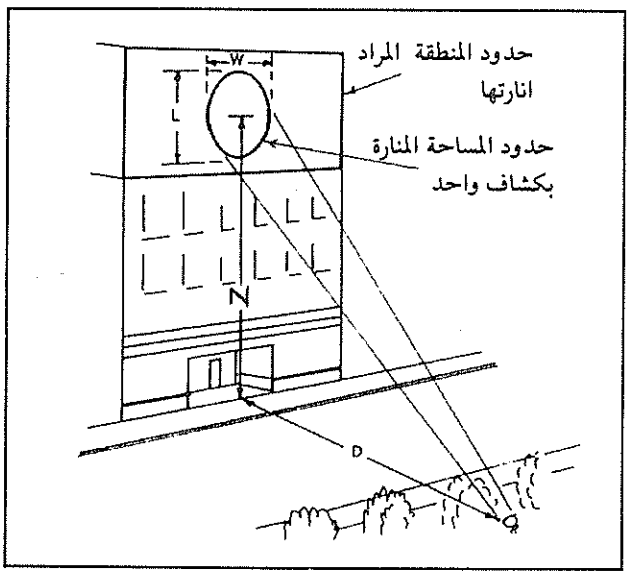
W, L- طول وعرض الشكل البيضوي الناتج عن كشاف واحد .

ب : وضع الكشاف على الأرض في المنطقة المقابلة للمنطقة المراد إنارتها . ويبين شكل -22 هذا الترتيب ، في هذا الشكل فإن :

D- المسافة الأفقية بين الكشاف والمنطقة المراد إنارتها .

Z- المسافة من النقطة التي تقع مباشرة مقابل الكشاف إلى نقطة منتصف المساحة المراد إنارتها .

W, L- طول وعرض الشكل البيضوي الناتج عن كشاف واحد .



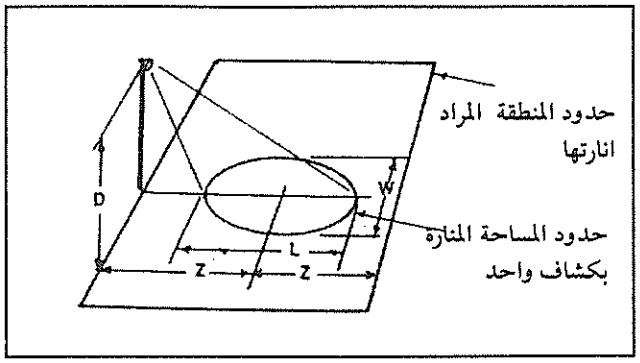
شكل -22

جـ- استخدام عامود على طرف المساحة الأفقية المراد إنارتها . يبين شكل -23 هذا الترتيب . في هذا الشكل فإن :

D- ارتفاع الكشاف فوق المنطقة المراد إنارتها .

Z- نصف المسافة من نقطة تقع مباشرة أسفل الكشاف إلى أبعد طرف في المساحة المراد إنارتها .

W.L- طول وعرض الشكل البيضوي الناتج عن كشاف واحد .



شكل -23

إنارة مساحة أفقية باستخدام كشاف على عامود على طرف المساحة مباشرة

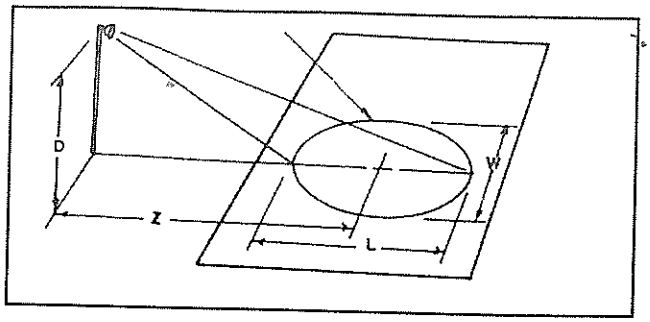
د- استخدام عامود يقع على مسافة أفقية من المنطقة المراد إنارتها .

ويبين شكل -24 هذا الترتيب . في هذا الشكل فإن :

D- ارتفاع الكشاف فوق المنطقة المراد إنارتها .

Z- المسافة من النقطة التي تقع مباشرة أسفل الكشاف إلى نقطة منتصف المساحة المراد إنارتها .

W.L- طول وعرض الشكل البيضوي الناتج عن كشاف واحد .



شكل -24

. إنارة مساحة أفقية باستخدام كشاف على عامود يقع على مسافة أفقية من المنطقة المراد إنارتها .

2.10.7 مستويات الإستنارة

ذكرنا سابقاً ان الانارة الغامرة تستخدم لإنارة الساحات والمناطق المكشوفة وإنارة واجهات المباني والنصب التذكارية وغيرها . ويبين جدول – 10 مستويات الاستنارة للمساحات العامة المكشوفة وذلك باستخدام الإنارة الغامرة .

جدول (10)

مستويات الاستنارة للمساحات العامة المنارة باستخدام إنارة غامرة

تصنيف المنطقة	متوسط الاستنارة الأكيدة الأفقية لوكس	أمثلة على المناطق
1- مناطقة الأمان والإشراف		
أ- مناطق قليلة الخطورة	5	مناطق وساحات التخزين الصناعية.
ب- مناطق خطورة متزايدة	20	مناطق تخزين المركبات والحاويات ذات الحركة المستمرة.
جـ- مناطق الخطورة العالية	50	مصافي البترول، مصانع الكيماويات، أعمال الكهرباء والغاز.
2- مناطق الحركة:		
أ- مناطق المشاة	5	مناطق حركة الأشخاص فقط.
ب- حركة سيارات عادية	20	الطرق في مناطق الحاويات وساحات التدريب.
3- أعمال عامة:		
أ- أعمال خشنة جداً	20	أعمال الحفريات وتسويات الموقع.
ب- أعمال خشنة	50	أعمال المناولة.
جـ- أعمال عادية	100	أعمال البناء والنجارة.
د- أعمال دقيقة	200	أعمال الدهان والكهرباء

أما إنارة واجهات المباني والنصب التذكارية فتعتمد على إنارة خلفيات المبنى والوسط المحيط به، وتعتمد على لون تلك الخلفيات وذلك لإبراز واجهة المبنى الذي نريد،

بحيث يكون هناك تفاضل في إنارة الأجسام حتى تستطيع العين أن تميزها وحتى تعطينا كذلك المنظر الجمالي الذي نبتغيه .

ويبين جدول -11 مستويات الاستنارة للمباني إعتماداً على مادة ولون المواد المستخدمة في المبنى وكذلك على إنارية الوسط المحيط هل هو منار بشكل ضعيف أم بشكل ساطع .

جدول (11)

مستويات الاستنارة للمباني إعتماداً على إنارة الوسط المحيط

المادة	الوسط المحيط (لوكس)	
	إنارة ضعيفة	إنارة ساطعة
القصارة :		
لون فاتح	30	120
لون غامق	100	400
الحجر :		
لون فاتح	40	160
لون غامق	80	320
الخرسانة :		
لون فاتح	50	200
لون غامق	50	320
الغرانيت :		
لون فاتح	50	200
لون غامق	150	500
الطوب :		
لون فاتح	30	120
لون غامق	150	500
الرخام :		
لون فاتح	30	120
لون غامق	300	900

3.10.7 حساب عدد الكشافات

يمكن حساب عددالكشافات اللازمة للحصول على متوسط الاستنارة المطلوبة على سطح ما باستخدام طريقة اللومن، والمعادلة الرئيسية المستخدمة هي:

$$N = \frac{E.A}{F_P \cdot \eta}$$

حيث أن:

N –عدد الكشافات اللازمة.

E – متوسط مستوى الاستنارة المطلوبة، لوكس.

A – المساحة المراد إنارتها، متر مربع.

F_P – الدفق المنير للمصباح المستخدم في الكشاف، لومن.

η –عامل الإفادة، ويساوي هذا العامل في حسابات الإنارة الغامرة 25% إلى 30%.

ونستخدم في حسابات الإنارة الغامرة مصطلح لومنات الشعاع Beam lumen وهي الدفق المنير المحصور بين زاوية الشعاع Beam angle. وبشكل عام فإن:

$$F_b = F_P \cdot \eta$$

حيث أن:

F_b– لومنات الشعاع، لومن.

مثال:

إحسب عدد الكشافات اللازمة لإنارة سطح مساحته 30 x 15 متراً، إذا كان متوسط مستوى الاستنارة يساوي 50 لوكس.

الحل :

نستخدم لإنارة هذا السطح كشافاً يحتوي على مصباح توهجي بقدرة 1500 واط ، الدفق المنير لهذا المصباح يساوي 33000 لومن .

$$F_b = F_P \cdot \eta = 33000 \times 0.3 = 9900 \text{ Lm.}$$

$$N = \frac{E. A}{F_P \cdot \eta} = \frac{50 \times 30 \times 15}{9900} = 2.3$$

لذلك نستخدم ثلاثة كشافات . من هنا ، فإن الاستنارة الأكيدة تساوي :

$$E_m = \frac{F_b . N}{A} = \frac{9900 \times 3}{30 \times 15} = 66 \text{ Lux}$$

وهذه هي أبسط الطرق في حساب عدد الكشافات .

تعتمد الإنارة الغامرة على الزاوية التي تنحصر فيها الأشعة المنطلقة من الكشاف ، هل هي ضيقة ، متوسطة ، أو عريضة . وكذلك تعتمد على ما يراد إنارته (مباني ، ملاعب ، . . . الخ) و على بعد الكشاف عن المنطقة المراد إنارتها . ولتسهيل ذلك ، نستخدم جدول -12 الذي هو عبارة عن دليل لإختيار حزمة الأشعة للكشافات المختلفة .

ويبين جدول -13 لومنات حزمة الأشعة للكشافات التي تحتوي على مصابيح توهجية ، ونلاحظ أن هذه اللومنات تختلف باختلاف الزاوية .

جدول (12)

دليل لاختيار زاوية حزمة الأشعة للكشافات

استخدام الكشافات لإنارة ما يلي :	بعد الكشافات عن المنطقة المنارة (متر)	شكل حزمة الأشعة من الكشاف
مبنى من طابقين أو ثلاثة منار بكشاف عبر الشارع على عامود.	9-3	عريض
مبنى منار بكشاف عبر الشارع على مسافة ما :		
المساحة أقل من 280م2	30-15	وسط
المساحة أكثر من 280م2	30-15	عريض
المساحة أقل من 280م2	45-30	ضيق
المساحة أكثر من 280م2	45-30	وسط
المساحة أقل من 930م2	90-45	ضيق
المساحة أكثر من 930م2	90-45	وسط
المباني المحاطة بجدران عالية :		
إرتفاع الجدار طابقان	على المبنى	عريض/ وسط
إرتفاع الجدار ثلاثة طوابق أو أكثر	على المبنى	وسط/ ضيق
إنارة الأعمدة والزخارف	30-0.6	ضيق
ساحات الإنشاء والمرافق	على الطرف	عريض
ملاعب الرياضة	38 من أقرب خط	ضيق

تعتبر حزمة الأشعة الصادرة من الكشاف ضيقة إذا كانت الحزمة ضمن زاوية 19° وأقل، متوسطة من 20° إلى 35°، وعريضة إذا كانت أكثر من 36°.

جدول (13)

لومنات حزمة الأشعة للكشافات التي تحتوي على مصابيح توهجية

قدرة المصباح (واط) الدفق المنير (لومن)	التغطية	مدى حزمة الشعاع					
		شعاع مركز		شعاع متوسط		شعاع عريض	
		الزاوية/ درجة	اللومن	الزاوية/ درجة	اللومن	الزاوية/ درجة	اللومن
200 واط مصباح استخدام عام 3640	واضحة Plain مرقطة Stippled مضلعة	30 39 50x30	1275 1355 1312	39 55	1356 1475	47 70 60x47	1439 1600 1540
250 واط غامر 3700	واضحة مرقطة مضلعة	13 23 33x17	1354 1600 1422	18 45	1565 1650	21 70 49x35	1694 1708 1779
300 واط مصباح استخدام عام 5700	واضحة مرقطة مضلعة	23 32 49x25	2050 2240 2150	32 45	2221 2418	39 60 57x39	2358 2625 2479
500 واط مصباح استخدام عام 10000	واضحة مرقطة مضلعة	23 33 50x25	3740 4030 3930	32 50	3958 4304	40 65 55x34	4150 4533 4356
500 واط غامر 8650	واضحة مرقطة مضلعة	13 23 34x15	2829 3040 2970	20 40	3170 3265	26 65 64x24	3492 3595 3635
750 واط مصباح استخدام عام 14500	واضحة مرقطة مضلعة	19 31 60x23	5012 5915 5263	24 62	5327 6262	35 70 63x33	6018 6560 6320

تابع جدول -13

8580 9365 9015	35 70 63x33	7610 8945	24 52	7162 8440 7515	19 31 60x23	واضحة مرقطة مضلعة	1000 واط مصباح استخدام عام 20700
7675 8385 8060	25 65 62x29	6950 7630	20 45	5945 6795 6245	13 23 53x17	واضحة مرقطة مضلعة	1000 واط غامر 19000
13695 14950 14380	35 65 62x33	12190 14380	24 52	11560 13460 12150	19.5 31 61x23	واضحة مرقطة مضلعة	1500 واط مصباح استخدام عام 33000
10980 11910 11450	25 65 62x29	98854 10834	20 45	8451 9650 8875	13 23 53x17	واضحة مرقطة مضلعة	1500 واط غامر 27000

الفصل الثامن
حماية المنشآت من العواصف الرعدية

1.8 مقدمة

البرق Lightning من الظواهر الطبيعية المدمرة التي عرفها الإنسان على سطح هذا الكوكب منذ القدم. كانت ضربات البرق في أماكن مختلفة سبباً في إشعال الحرائق، وتدمير الممتلكات وهلاك عدد غير قليل من البشر. كان الإنسان في العصور الغابرة يقف عاجزاً أمام ظاهرة البرق لأنها القوة الخفية المدمرة التي لا يستطيع تفسيرها. وبالتالي كان يهرع إلى الكهوف والأخاديد ليحمي نفسه فيها. وأدى هذا الجهل إلى رسوخ عدد من العادات والتقاليد الخاطئة، فقد سادت في أوروبا ولعدة قرون ظاهرة قرع أجراس الكنائس أثناء حدوث العواصف البرقية لاعتقادهم أن البرق ينتج عن الأرواح الشريرة. وبالتالي فإن صوت الجرس كفيل بابعاد هذه الأرواح.

ويحدث يوميا في مختلف أرجاء العالم زهاء (44000) عاصفة رعدية Thunder storm وثمانية ملايين وميض برقي Lightning flashes أي بمعدل (100) وميض برقي في الثانية. وكثيراً ما تؤدي هذه العواصف البرقية إلى حدوث حرائق تلحق الضرر بالأشخاص والممتلكات. ففي الاتحاد السوفياتي سابقاً، مثلاً، فإن 7% من الحرائق التي تحدث يكون سببها البرق، وخاصة في الأماكن المكشوفة كالمناطق الزراعية. وفي الولايات المتحدة تسبب الصواعق سنويا نحو (150) وفاة وأضراراً في الممتلكات بقيمة 20 مليون دولار وتضرم (10000) حريق في الغابات فتدمر أخشاباً صالحة للتسويق قيمتها (30) مليون دولار.

وتشير الإحصائيات إلى أن أكبر نسبة حرائق تحدث بسبب العواصف الرعدية، وتساوي هذه النسبة 18.2% كما يبين جدول -1.

جدول (1)
أسباب الحرائق في المباني

سبب الحريق	النسبة المئوية %
البرق	18.2
تلف الأسلاك والأجهزة الكهربائية	13.1
بسب أجهزة التدفئة	12.9
سوء استخدام النار	12.5
بسبب عبث الأطفال	12.3
أعقاب السجائر والكبريت	11.2
الشرر المتطاير والمداخن	9.7
أسباب أخرى	10.1
المجموع	100

وهنا تكمن أهمية حماية المباني والمنشآت من العواصف الرعدية، وخاصة ان المباني الحديثة أصبحت شاهقة الارتفاع وتمتد أفقياً لتشغل مساحة واسعة.

2.8 فرانكلين والبرق

يعتبرُ الأمريكيون بنيامين فرانكلين (1790-1707) أول مهندس كهربائي أمريكي، فقد استخدم معرفته العلمية في إختراع مانعة الصواعق Lightning Rod. إبتدأ فرانكلين بدراسة الكهرباء واجراء تطبيقاته العملية مستخدماً جرة ليدن، وتوصل من خلال تجاربه إلى الحقيقة الأولى وهي التشابه الكبير بين البرق والكهرباء. وبرغم توصل عدد من العلماء إلى هذه الحقيقة، إلا أن فرانكلين إمتاز عنهم باستخدام التجربة العملية لاثبات ذلك. ففي عام (1750) كتب فرانكلين إلى بيتر كولنسون Peter Collinson في لندن يصف تجربته الشهيرة التي أسماها كشك الخفير Sentry Box، وكان كولنسون يمثل فرانكلين ويقدم رسائله العلمية ليتم نشرها في المجموعة الفلسفية للجمعية الملكية Philosophical Transaction of the Royal Society.

وتتلخص التجربة بوضع قضيب حديدي طوله بين 20 و30 قدماً فوق كشك صغير، ويتصل الجزء الأسفل منه بقاعدة من مادة موصلة ومعزولة. ويلمس بيده القضيب المعدني بينما تكون يده الأخرى ممدودة ليحدد وجود شرر بين أصابعه، وإستطاع فرانكلين أن يتوصل إلى الحقيقة الثانية وهي ضرورة وصل القضيب المعدني بالأرض من أجل سلامة الإنسان الذي يقف على القاعدة. لقد أجرى بعض العلماء قبل فرانكلين مثل هذه التجربة، فقد أجرى دي اليبارد D'Alibard في فرنسا التجربة وذلك في شهر ايار من عام (1752) وتوصل إلى أن السحب البرقية تحتوي على شحنات كهربائية، ولا بد من الاشارة هنا إلى أن السويدي ج. ريتشمان G.W.Richman قد قتل عام (1753) أثناء أجرائه مثل تلك التجربة بسبب ضربة برق مباشرة للقضيب الحديدي.

أما تجربة فرانكلين الشهيرة فهي تجربة الطائرة الورقية، فقد صنع طائرة ورقية ربطها بشريط موصل ينتهي بمفتاح وحلقة معزولة ليمسك بها الطائرة الورقية. ثم اطلق تلك الطائرة في الجو أثناء وجود سحب برقية. وعندما كان يقرب المفتاح المعدني من خاتم يده كان ينطلق شرر كهربائي، وهذا إثبات عملي على وجود شحنات كهربائية في الغيوم. لم يكن فرانكلين متأكداً من هذه الحقيقة. ولذلك فإن الشاهد الوحيد الذي حضر معه هذه التجربة كان ابنه، ونتيجة لذلك فقد تأخر تدوين هذه التجربة حتى عام (1788).

إن أهم اكتشاف لفرانكلين كان مانعة الصواعق، حيث إخترعها عام (1750) أي قبل اجراء تجاربه الشهيرة. ففي رسالة علمية له نشرت عام (1755) ذكر فرانكلين أن وجود مانعة الصواعق على سطوح المنازل والمباني يؤدي الى تفريغ الشحنة الكهربائية من السحب الرعدية. كما استنتج أن وجود مانعة الصواعق يشكل نقطة توجه البرق إليها. ومنذ ذلك الوقت فإن مانعة الصواعق تشكل إحدى أهم الحمايات ضد العواصف الرعدية.

وباختراع مانعة الصواعق فإن الأبحاث المتعلقة بالبرق قد توقفت تقريباً، ولم تلق هذه الظاهرة الدراسة المتعمقة إلا في الثلاثين سنة الأخيرة. ويعود ذلك إلى أسباب أهمها:

1-أن مانعة الصواعق التي إخترعها بنيامين فرانكلين قد أدت وظيفتها كاملة في حماية المنازل والمباني، وكان إنتشار بناء الخطوط الكهربائية دافعا لفتح ملف البرق من جديد والتوسع في دراسته.

2-عدم وجود الأجهزة المناسبة التي يمكن بوساطتها تسجيل التفريغ الكهربائي وقياس التيار والفولطية في فترة قصيرة لا تتعدى أجزاء الثانية.

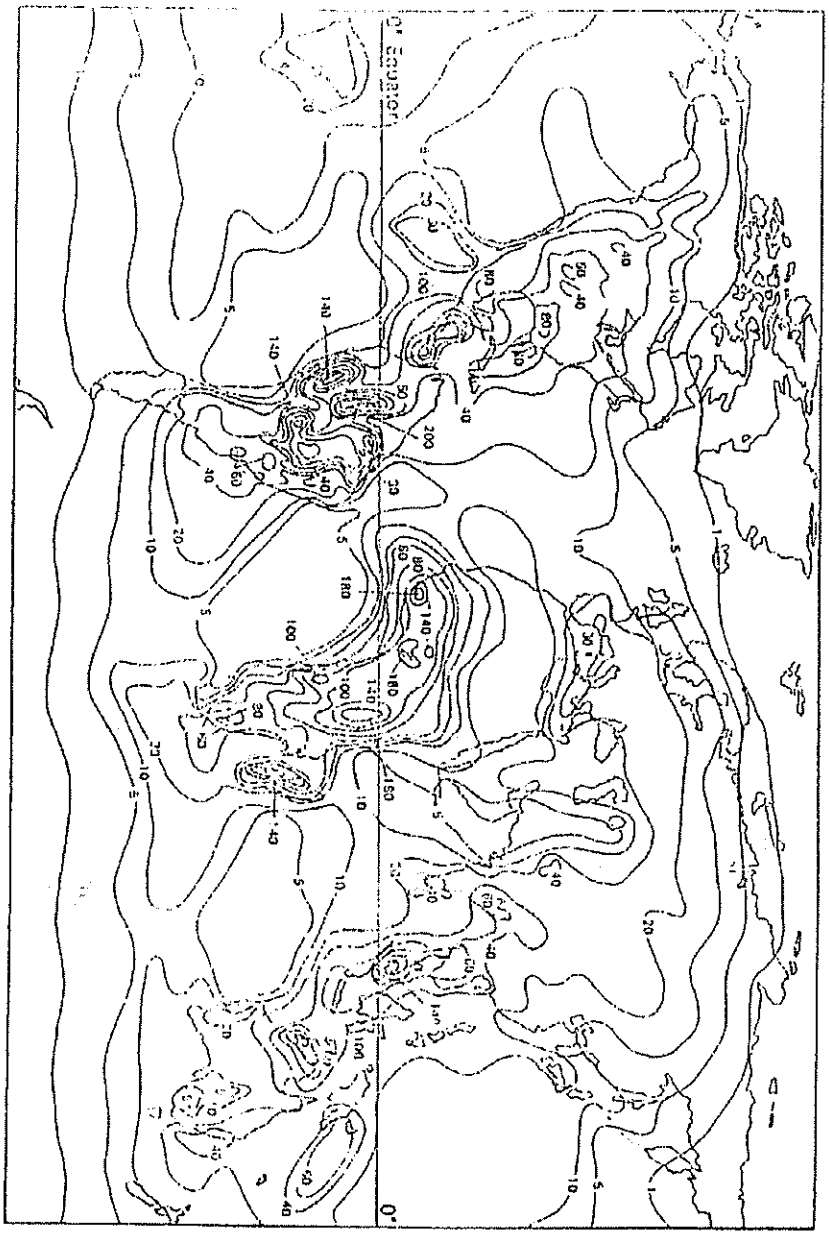
3.8 العواصف الرعدية

تسجل دوائر الأرصاد الجوية عادة عدد الأيام التي يسمع فيها الرعد، وتجمع هذه المعلومات لتستخدم في رسم خرائط تبين النشاط الرعدي في منطقة ما، وتسمى الخطوط التي تصل الأماكن التي تتساوى فيها الأيام الرعدية بالخطوط الايزوكيرينية Isokerauric lines.

أما المعدل السنوي لعدد الأيام الرعدية في مكان ما فيسمى المستوى الايزوكيريني Isokeraunic level.

ويبين شكل -1 خارطة النشاط الرعدي للكرة الأرضية. ونلاحظ من الشكل السابق أن النشاط الرعدي أكبر ما يمكن قرب خط الاستواء (يبلغ عدد الأيام الرعدية في جاوا Java 223 يوما في السنة) ويقل هذا الرقم كلما إبتعدنا نحو القطب الشمالي والجنوبي، كذلك فأن النشاط الرعدي فوق اليابسة أكبر منه فوق المحيطات.

ويقع الأردن على خط نشاط رعدي يساوي 15 يوماً رعدياً في السنة. وهذا هو الرقم المتوسط. ويبين جدول -2 المعدل السنوي لعدد الأيام التي حدثت فيها عواصف رعدية لعدد من أماكن الرصد في المملكة.



شكل -1

خارطة النشاط الرعدي للكرة الأرضية

جدول (2)

المعدل السنوي لعدد الأيام التي حدثت فيها عواصف رعدية

اسم المنطقة	المعدل السنوي	فترة المراقبة
غور الأردن		
الباقورة	12.3	1987-1967
الشونة الشمالية		
وادي اليابس	9.0	1987-1965
دير علا	8.8	1987-1961
غور الصافي	7.0	1987-1974
مطار العقبة	3.0	1987-1059
ميناء العقبة	1.3	1987-1966
المرتفعات		
الرمثا		
مستنبت اربد/ الطيبة	10.1	1987-1961
رأس منيف/ عجلون	12.5	1987-1976
الجامعة الأردنية	12.5	
مطار عمان	6.3	1987-1923
المدرج الروماني	7.1	1987-1974
مادبا	2.6	1987-1970
الربة	3.2	1987-1973
الحسن/ الطفيلة	2.1	1987-1973
الشوبك	3.7	1987-1966
البادية		
الرويشد	5.5	1987-1961
المفرق	4.0	1987-1960
الصفاوي	4.6	1987-1963
وادي الضليل	3.2	1987-1968
الأزرق الشمالي	2.3	1987-1967
الأزرق الجنوبي	2.3	1987-1981
مطار الملكة علياء الدولي	1.6	1987-1971
الجفر	1.6	1987-1965
مطار معان	3.8	1987-1960

ويبين جدول -3 عدد الأيام الرعدية Number of storm day وكثافة الوميض الأرضي Ground flash density للمدن والمناطق الرئيسية في المملكة العربية السعودية .

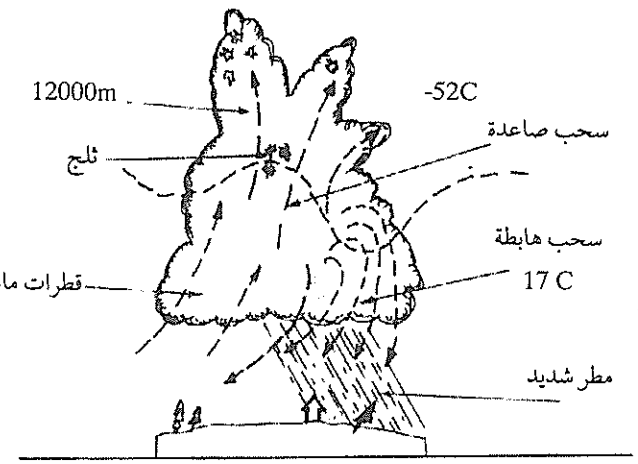
جدول (3)

عدد الايام الرعدية وكثافة الوميض في مدن ومناطق المملكة العربية السعودية

المدينة	عدد الايام الرعدية يوم	كثافة الوميض وميض/ كم2/ السنة
الرياض	19.2	1.1
الوجه	7.2	0.332
ينبع	10.6	0.5
الأبهاء	67.55	5.525
بيشه	42	3.0
أبها	107.3	9.2
القيسومة	25.4	1.53
جيزان	40.2	2.8
حفر الباطن	19.3	1.1
خميس مشيط	80.6	6.9
الرياض القديمة	22.1	1.27
الظهران	20.3	1.1
المدينة المنورة	27.3	1.68
الطائف	100.0	9.2
جده	11.7	0.5
مكة المكرمة	14.4	0.76
تبوك	20.5	1.1
نجران	15.2	0.8
طريف	12.3	0.64
وادي الدواسر	9.2	0.5
ساروره	9.4	0.5
الجوف	18.6	1.1
حائل	32.8	2.15
رمخه	18.5	1.01
القريات	13.8	0.73
الاحساء	22.8	1.32
عرعر	13.5	0.71
القسيم	25.4	1.53

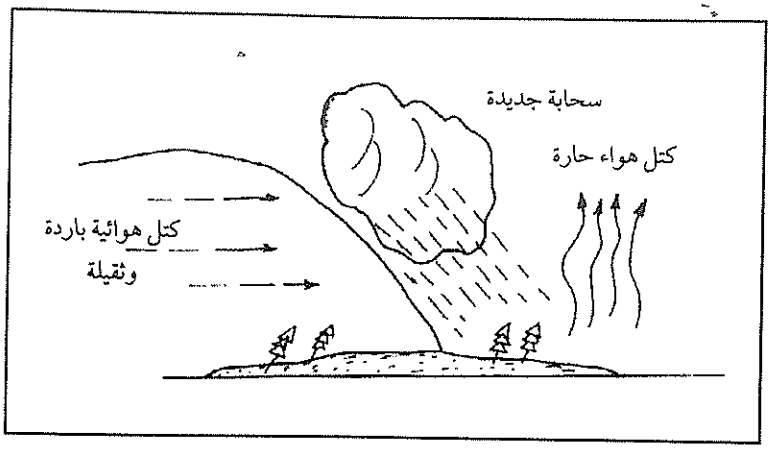
4.8 كيف يتكون البرق

يمكن تقسيم العواصف الرعدية إلى نوعين رئيسيين هما : العواصف الحرارية Heat stroms والعواصف الجبهوية Frontal storms . وتكون العواصف الحرارية هي الغالبة في المناطق الاستوائية ، ويمكن أن تتكون في المناطق الجبلية . وتتكون العواصف الحرارية نتيجة لتسخين الهواء الملامس لسطح الأرض بفعل حرارة الشمس ، حيث يبتدأ بالارتفاع إلى أعلى . أما العواصف الجبهوية فتتكون نتيجة لتأثير جبهة هوائية باردة على كتلة هوائية رطبة حيث ترتفع الأخيرة الى الاعلى . وتتشكل العواصف الجبهوية في المناطق المعتدلة ، (أنظر شكل -2 وشكل -3) . ترتفع هذه الجبهات الهوائية الساحنة إلى طبقات الجو العليا ، حيث يقل الضغط الجوي وبالتالي يتمدد الهواء ويبدأ بالبرودة .

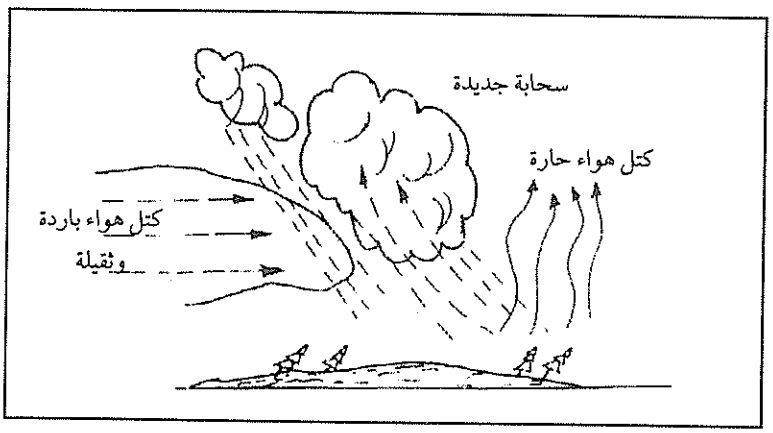


شكل-2

سحابة حرارية



أ) تقدم كتلة هوائية باردة لتحتك بهواء ساخن وتكون سحابة صاعدة .



ب) سريان كتل هواء باردة لتكوين عواصف في منطقة واسعة .

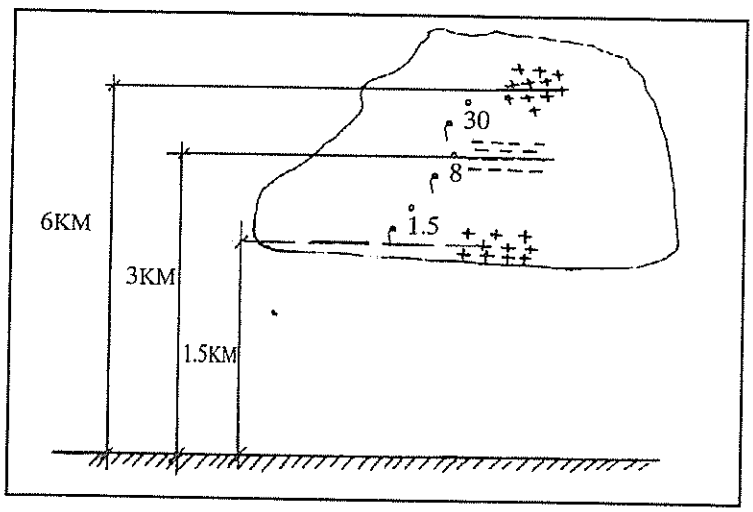
شكل -3

سحابة جبهوية

ف كايتل F.Geitelعام 1885 . أما الفرضية الثانية ، وهي فرضية الحمل ، فقد صاغها كل مستقل عن الآخر كرونيه Gaston Gronetمن جامعة باريس عام 1947 وفونيكت Bernard Vonnegut من جامعة ولاية نيويورك في عام 1953 . ويمكن قراءة المزيد حول هاتين الفرضيتين في المرجع (14) من قائمة المراجع العربية .

عندما تنظر إلى السماء في الأيام المبرقة فإن السحب تبدو داكنة اللون ، ويعود السبب إلى أننا نرى الجزء السفلي في السحابة التي تحتوي على كمية كبيرة من قطرات الماء لا تمرر الضوء بشكل جيد . وعادة ، يحتوي الجزء السفلي من السحابة على جيوب صغيرة مشحونة بشحنة موجبة وتتساقط غالبا هذه الشحنات مع المطر .

إن حدوث العملية السابقة يؤدي الى تكوين السحب الرعدية التي تحتوي على شحنات كهربائية ، ويبين الشكل -5سحابة مشحونة بشحنات كهربائية .



شكل -5

تركيب السحابة البرقية فوق سطح الكرة الأرضية

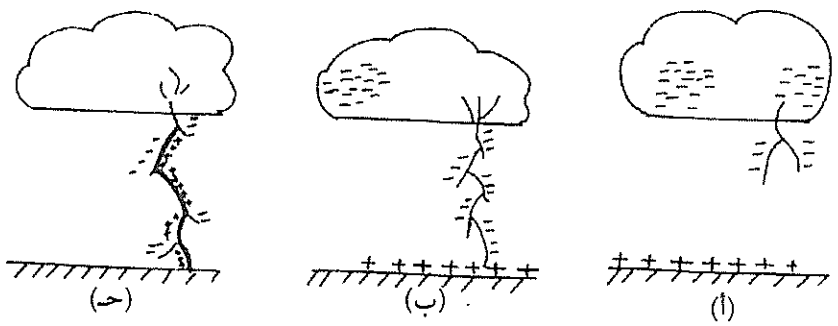
ويمكن أن تصل درجة حرارة السحابة الرعدية الى -30 درجة مئوية ، وسرعتها قد تصل إلى 160 كم في الساعة ، ويتراوح إرتفاعها عن سطح الأرض بين 1.5كم و5 كم .

5.8 التفريغ الكهربائي بين السحابة البرقية والأرض

كلما إزداد تركيز الشحنات الكهربائية في السحابة البرقية زاد جهد المجال الكهربائي للسحابة، وعندما يصل هذا الجهد إلى حوالي 20-25 كيلوفولط/ سم (وهذا يعتمد على إرتفاع السحابة الرعدية) يبدأ الهواء بالتأين (والتأين هو عملية تكوين الشحنات الكهربائية، حيث يصبح الهواء موصلاً جيداً لكهرباء). وعندما تبدأ عملية التأين فإن السحابة الرعدية تكون قد حددت النقطة التي سيتم بينها وبين الأرض التفريغ الكهربائي، أي أن السحابة الرعدية تُحدد هدفها على سطح الأرض قبل أن تبدأ عملية التفريغ.

وتبدأ عملية التفريغ الكهربائي بأن تبدأ السحابة بارسال الشحنات السالبة نحو الأرض، وتُسمى هذه العملية بدليل رئيسي مدرجStepped leader ، حيث تتحرك هذه الشحنات بطريقة غير منتظمة بسرعة متوسطة مقدارها $10x2^5$ متر/ ثانية. وبعد أن تقطع هذه الشحنات مسافة 45 متراً تتوقف، ثم تعود فتحدد مسارها من جديد. إن الزمن اللازم لهذه الخطوة يتراوح من 30 إلى 50 ميكروثانية، وكلما إقتربت هذه الشحنات من الأرض قل هذا الزمن. إن سرعة المرحلة الأولى قليلة نسبياً بالنسبة لسرعة الضوء، إذ تساوي في المتوسط 100% من سرعة الضوء، ولا يمكن رؤية هذه المرحلة بالعين المجردة، حيث أن قيمة التيار الكهربائي تساوي (50 إلى 200) أمبير.

وكلما إقتربت الشحنات من الأرض. إبتدأت الأرض بتكوين ما يسمى بالضربة المعادة (Return Stroke) كما هو مبين في شكل -6.



شكل -6

مراحل عملية التفريغ الكهربائي بين السحابة البرقية والأرض :

أ-تبدأ الشحنات السالبة بالاتجاه نحو الأرض بدليل رئيسي مدرج (Stepped leader).

ب-تصل الشحنات السالبة الأرض عبر ممر مضيء حيث يصبح الهواء موصلاً جيداً للكهرباء.

جـ-الضربة المعادة من الأرض حيث تتجه الأيونات الموجبة نحو السحابة البرقية.

إن سرعة الضربة المعادة تتراوح من0.1 إلى 0.3 سرعة الضوء. وهذا القنال المنير الناتج عن الضربة المعادة هو الذي تراه العين المجردة أثناء عملية البرق. وقد تصل قيمة التيار الكهربائي في هذا القنال إلى 200 كيلو أمبير. ولكنها في المتوسط تساوي من 20 إلى 40 كيلو أمبير. أما درجة حرارة هذا القنال المنير فيمكن أن تزيد على 50000 درجة فهرنايت. وهذه القيمة هي خمسة أضعاف درجة الحرارة على سطح الشمس.

إن الميكانيكية التي شرحناها سابقا هي عبارة عن ميكانيكية الضربة الأولى First stroke للوميض البرقي، حيث أن هذا الوميض يتكون من عدة ضربات برقية قد تصل الى 54 ضربة، ولكن الوميض في العادة يحتوي على ثلاث ضربات، ويمكن رؤية هذه الضربات المتلاحقة بواسطة العين المجردة. وعادة، يصاحب البرق عواصف رعدية، حيث يستطيع الإنسان أن يسمع صوت الرعد بعد كل ضربة برق، ويعود ذلك إلى أن قنال التفريغ يسخن وترتفع حرارته بسرعة فيتمدد، وهذا يؤدي إلى خلخلة الهواء المحيط به محدثا صوتا قوياً.

6.8 كثافة الوميض الأرضي.

ذكرنا سابقا أن أيام العواصف الرعدية Thunderstorm days في السنة في المكان المعين يتم تحديدها بعدد الأيام التي يسمع فيها صوت الرعد، ولغايات الحساب لا بد من اللجوء الى عامل آخر يعرف باسم كثافة الوميض الأرضي Ground flash density.

وهناك علاقة بين كثافة الوميض الأرضي وعدد الأيام الرعدية. ورغم وجود عدد من العلاقات بينهما. إلا أنها جميعها تتميز بأنها علاقات أمبيريقية، لذلك فإن المشاهدات وطرق التسجيل الحديثة قد أعطت تناسقا حسنا بينها.

فإذا علمنا أن متوسط العاصفة الرعدية هو بين ساعة ونصف وساعتين، وبمعرفة

عدد الساعات الرعدية في السنة يمكننا معرفة عدد أيام العواصف الرعدية . ويبين جدول -4 خصائص النشاط البرقي .

جدول (4)

خصائص النشاط البرقي

عدد الساعات الرعدية في السنة	عدد الأيام الرعدية في السنة	كثافة الوميض الأرضي وميض/ كم2 / سنة
20-15	15-10	2.0
40-20	20-15	2.5
60-40	30-20	3.8
80-60	40-30	5.0
100-80	50-40	6.3
100<	50<	7.5

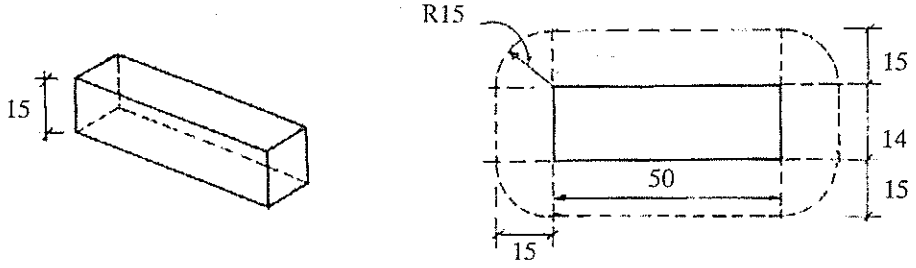
ووحدة قياس كثافة الوميض الأرضي هي وميض / كم^2/ سنة (flash /Km^2/Yr) وهناك جدول أكثر دقة من جدول -4 ومأخوذ من الدراسة التي قدمها اندرسون واركسون Anderson and Eriksson إلى مؤتمر CIGRE في فرنسا عام 1980 . وفيما يلي هذا الجدول .

جدول (5)

العلاقة بين عدد الأيام الرعدية في السنة وكثافة الوميض الأرضي لكل كيلومتر مربع في السنة

عدد الأيام الرعدية في السنة	كثافة الوميض الأرضي لكل كيلومتر مربع في السنة	
	المتوسط	المدى
5	0.2	0.5-0.1
10	0.5	1.0-0.15
20	1.1	3.0-0.3
30	1.9	5.0-0.6
40	2.8	8.0-0.8
50	3.7	10.0-1.2
60	4.7	12.0-1.8
80	6.9	17.0-3.0
100	9.2	20.0-4

ويمكن حساب إحتمال تعرض المبنى لضربات البرق بمعرفة كثافة الوميض الأرضي ومساحة مسقط المبنى في جميع الاتجاهات مع الأخذ بعين الاعتبار إرتفاع المبنى. ويبين شكل -7 كيفية تحديد مساحة مسقط المبنى.



$$Ac= 14x50+2(15x50)+2(15x14)+\pi\ x15^2=3327\ m^2$$

شكل-7

تحديد مساحة مسقط المبنى

ان المبنى عبارة عن بناء بشكل متوازي مستطيلات فإن مساحة التجميع
Collection A) تُحسب كما يلي :

$$Ac = LW + 2LH + 2WH + \pi H^2$$

أن :

ل البناء ، متر.

رض البناء ، متر.

رتفاع البناء متر.

تمال تعرض المبنى لضربات البرق Probable number of strikes فيمكن
ما يلي :

$$p = Ac.Ng.10^{-6}$$

ان :

كثافة الوميض البرقي لكل كيلومتر مربع في السنة .

مباني الأبراج التي إرتفاعها يساوي h فإن إحتمال تعرض البرج لضربات
ن حسابه كما يلي :

$$p = 3Ng.h.10^{-3}$$

، فإن إحتمال تعرض مبنى طوله 20 مترا وعرضه 15 متراً وإرتفاعه 30متراً
منطقة رعدية عدد أيامها الرعدية في السنة يساوي (30) يوماً ، يساوي :

جدول -5 نجد أن كثافة الوميض الأرضي N_g لهذه المنطقة تساوي (1.9)
كم^2/ سنة .

$$Ac = LW+2LH+2WH+ \pi H^{2=}$$

$$=20x15+2x20x30+2x15x30+\pi\ x30^2=5227.4m^2$$

$$P=5227.4x1.9x10^{-6}=0.0099$$

أي أن هذا المبنى يتعرض إلى ضربة برق واحدة كل مائة سنة.

أما إذا كان لدينا برج إرتفاعه 70 متراً ويقع في منطقة رعدية عدد أيامها الرعدية في السنة يساوي 30 يوماً، فإن احتمال تعرض هذا المبنى لضربات البرق يساوي:

$$p= 3Ng.\ h.10^{-3} = 3 \times 1.9 \times 70 \times 10^{-3} = 0.4$$

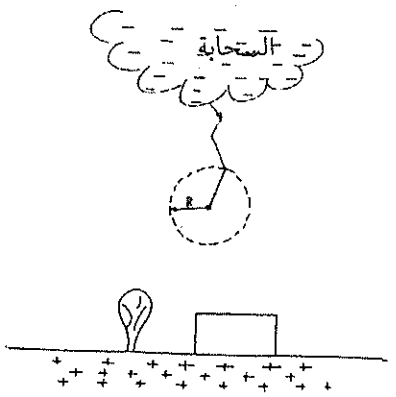
أي أن هذا البرج يتعرض إلى ضربة برق واحدة كل سنتين ونصف.

ولا بد ان نلاحظ أن المعادلة الخاصة بحساب إحتمال تعرض الأبراج لضربات البرق لا تستخدم لحساب إحتمال تعرض المباني التي إرتفاعها عدة مئات من الأمتار لضربات البرق، لأن تلك المباني الشاهقة الارتفاع تتعرض لضربات برق أكثر بكثير من تلك التي نحصل عليها باستخدام المعادلة الآنفة الذكر.

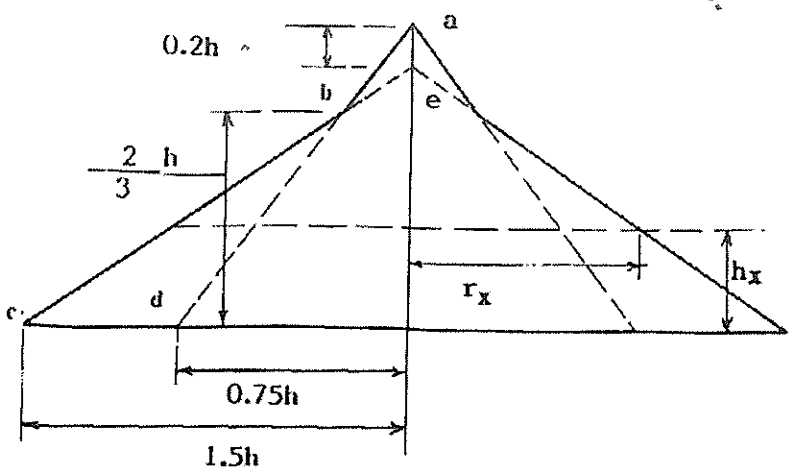
7.8 النموذج الكهروهندسي

يعتبر النموذج الكهروهندسي Electrogeometric model أحد الطرق المهمة في تحديد قواعد الحماية من البرق. وتسمى المسافة التي يحدث عندها دليل صاعد Up Leader من الأرض إلى الدليل الهابط Down Leader بمسافة الاشعال (R) Striking distance. وحسب هذا النموذج تتحدد نقطة الاشعال من أي جسم يكون ضمن هذه المسافة من الدليل الهابط، بغض النظر عن أبعاد وشكل هذا الجسم.

ويبين شكل -8 رسماً تبسيطياً لهذا النموذج.



شكل -8
النموذج الكهروهندسي



شكل -10

منطقة الحماية للقضيب المعدني

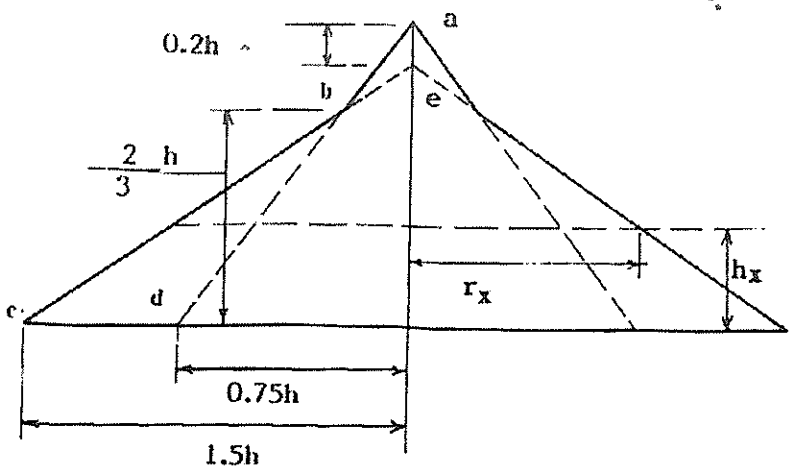
ويمكن تحديد النقطتين bوc كما يلي : تقع النقطة b على المستقيم الواصل بين النقطة a والنقطة الأفقية d التي تبعد عن القضيب مسافة 0.75 من الارتفاع (0.75h)، أما النقطة c فتقع على مسافة مقدارها (1.5h) من القضيب، وتتصل النقطة c مع النقطة e التي تبعد عن رأس القضيب مسافة 0.2h ويتقاطع المستقيمان ad وce في النقطة b.

ومن الرسم نلاحظ أن النقطة b تقع على إرتفاع يساوي $\frac{2}{3}$. ويمكن تحديد الحماية كما يلي :

نصف قطر منطقة الحماية على إرتفاع $\left(h_x<\frac{2}{3}h\right)$ يساوي :

$$r_x=1.5h\left(1-\frac{h_x}{0.8h}\right)$$

ونصف قطر منطقة الحماية على إرتفاع $\left(h_x>\frac{2}{3}h\right)$ يساوي :



شكل -10

منطقة الحماية للقضيب المعدني

ويمكن تحديد النقطتين bوc كما يلي : تقع النقطة b على المستقيم الواصل بين النقطة a والنقطة الأفقية d التي تبعد عن القضيب مسافة 0.75 من الارتفاع (0.75h)، أما النقطة c فتقع على مسافة مقدارها (1.5h) من القضيب، وتتصل النقطة c مع النقطة e التي تبعد عن رأس القضيب مسافة 0.2h ويتقاطع المستقيمان ad وce في النقطة b

ومن الرسم نلاحظ أن النقطة b تقع على إرتفاع يساوي $\frac{2}{3}$. ويمكن تحديد الحماية كما يلي :

نصف قطر منطقة الحماية على إرتفاع $\left(h_x<\frac{2}{3}h\right)$ يساوي :

$$r_x=1.5h\left(1-\frac{h_x}{0.8h}\right)$$

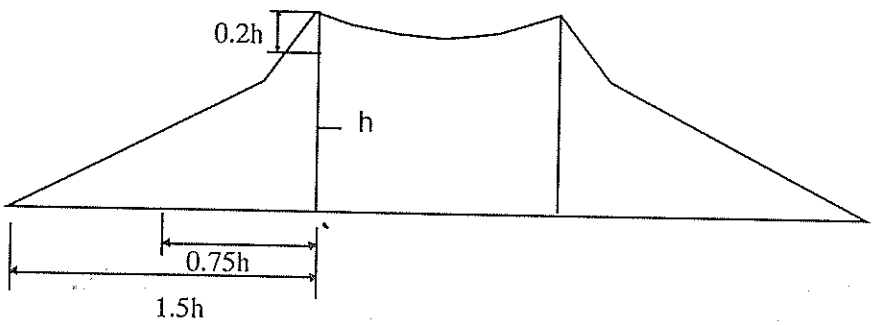
ونصف قطر منطقة الحماية على إرتفاع $\left(h_x>\frac{2}{3}h\right)$ يساوي :

$$r_x = 0.75h\left(1-\frac{h_x}{h}\right)$$

أما إذا كان إرتفاع القضيب المعدني أكبر من 30 متراً وأقل من مائة متر، فيجب ضرب النتائج التي نحصل عليها باستخدام المعادلتين السابقتين بمعامل يساوي $5.5\sqrt{h}$.

وهكذا نلاحظ أن منطقة الحماية التي نحصل عليها من القضيب المعدني هي عبارة عن شكل مخروطي، ويختلف نصف قطر المنطقة المحمية بإختلاف الإرتفاع، ويكون نصف القطر هذا أكبر ما يمكن عند قاعدة القضيب.

وبنفس الطريقة يمكن رسم منطقة الحماية باستخدام قضيبين معدنيين كما في شكل -11.



شكل -11

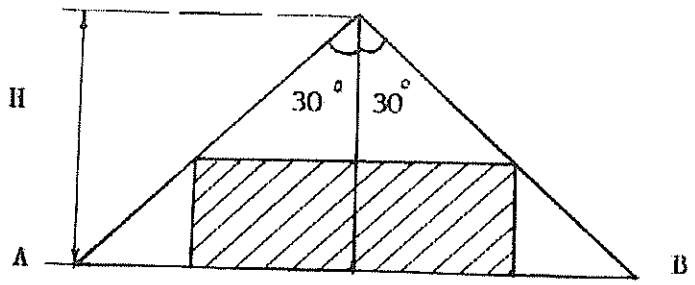
منطقة الحماية باستخدام قضيبين معدنيين

ولتبسيط رسم منطقة الحماية لقضيب معدني، فإن المواصفات العالمية تفترض زاوية معينة يشكلها المخروط (أو المثلث) مع رأس القضيب، فالمواصفات الفرنسية (NFC 17-100) تفترض أن هذه الزاوية 60° كما في شكل -12.

من الشكل -12 يتبين لنا أن الضلع AB يساوي:

$$AB = 2H\ tg30 = 2Hx0.577$$

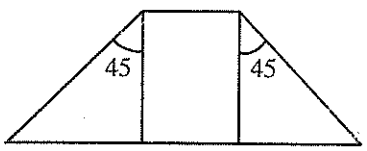
$$=1.15H$$



شكل -12

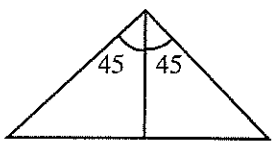
منطقة الحماية حسب المواصفات الفرنسية

وحتى تكون الحماية كاملة، لا بد أن يقع المنشأ بالكامل داخل هذا المثلث، أما المواصفات البريطانية (CP 326:1965) فتفترض أن زاوية الحماية لأي موصل عامودي أو أفقي تساوي 45°. أما زاوية الحماية لموصلين عاموديين أو أكثر المسافة بينهما لا تزيد عن ضعف طول الموصل فتساوي 60° كما يبين شكل -13.



موصل افقي

موصلان عموديا



موصل عمودي

شكل 13

9.8 مكونات نظام الحماية من البرق

قبل أن نستعرض مكونات نظام الحماية من البرق لا بد أن نشير الى أن هذا النظام يُسمى نظام الحماية من البرق الخارجي External lightning protection ، والمقصود به كامل الوسائل والادوات المركبة خارج المبنى المراد حمايته لاغراض إعتراض العواصفIntercepting البرقية وتفريغ Discharge تيار البرق عبر نظام التأريض لهذا النظام .

يتكون نظام الحماية من البرق من المكونات التالية :

أ) وسيلة الاعتراضInterception device (نظام الاطراف الهوائية Air ter-mination system) .

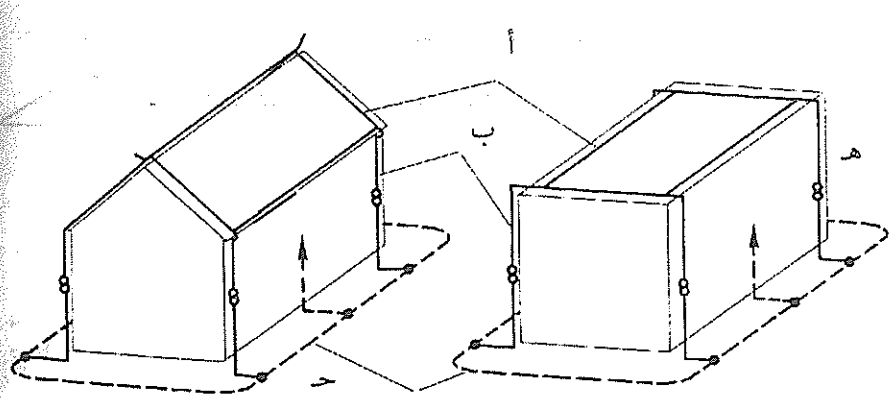
ب) الموصلات الهابطة Down Conductors .

جـ) نظام التأريض Earthing system والذي يتكون من الاطراف الأرضية Earth termination والمكاهر الأرضية Earth electrodes .

د) الوصلات والمرابط Joints and bonds .

هـ)وصلات الفحص Testing Joints .

ويبين شكل -14 هذه المكونات .



شكل -14
مكونات نظام الحماية من البرق

ونلاحظ من مكونات نظام الحماية أن قسماً منها يستخدم فوق الأرض وقسماً يستخدم مطموراً في الأرض. لذلك لا بد من التعرض إلى المواد التي تصنع منها هذه المكونات.

من المواد الشائعة الاستخدام في صنع مكونات نظام الحماية التي تستخدم فوق الأرض النحاس والألومنيوم والفولاذ المجلفن. ويجب أن يكون النحاس من النوع الذي يستخدم في الصناعة الكهربائية وأن لا تقل موصليته عن 98% عندما يلدن، ويمكن استخدامه على شكل شرائط أو قضبان أو أنابيب. ويؤثر النحاس على بعض المعادن بالتآكل وخاصة في وسط رطب مثل القصدير والرصاص التي تدخل في البناء في كثير من الحالات. وبسبب ذلك وبسبب قلة تكلفة الفولاذ المجلفن مقارنة بالنحاس ابتدأ باستخدام الفولاذ المجلفن لصناعة بعض مكونات نظام الحماية. ولا بد أن يكون الفولاذ المجلفن من النوع المستخدم في الصناعات الكهربائية. ويجب أن لا تقل طبقة القصدير عن (350) غم/ م^2 للموصلات التي قطرها يساوي (8) مم^2، وأن لا تقل عن 450 غم/ م^2 للموصلات التي قطرها يساوي 10مم.

وفي معظم المواصفات العالمية يعامل الفولاذ المجلفن كبديل للنحاس والألمنيوم وخاصة في الحالات التي يسبب فيها استخدام النحاس أو الألمنيوم صعوبات معينة.

ويجب أن تكون المواد المستخدمة كعناصر ثانوية في نظام الحماية مثل المرابط وغيرها مصنوعة من نفس المادة المصنوعة منها مكونات نظام الحماية.

وتتحكم التربة ونوعيتها في المواد التي تصنع منها مكونات نظام الحماية في الأرض، وأهم عاملين في هذا المجال هما: تأثير التآكل على المادة، وصلابة التربة.

ولا يحبذ استخدام الألومنيوم كمادة مطمورة في الأرض بسبب قابليته الشديدة للتآكل، ولذلك فإن معظم التنظيمات تستثنيه، وقد دلت التجارب أن النحاس يفقد من وزنه 0.2% سنويا مقارنة مع 0.5% سنوياً للفولاذ، أي أن النحاس يقاوم التآكل أكثر من الفولاذ.

ويستخدم الفولاذ المجلفن أو الفولاذ المغلف بالنحاس في صناعة المكاهر الأرضية.

ويميل الكثيرون الآن إلى استخدام الفولاذ المجلفن في صناعة المكاهر الكهربائية، والسّبب يعود إلى شيوع استخدام مادة الفولاذ في المباني، فاذا وجدت هذه المادة بقرب النحاس حدث الصدأ والتآكل الذي يعتمد على ذرجة ملوحة التربة.

ولا بد أن نشير الى أن مكونات نظام الحماية تتعرض باستمرار الى مؤثرات خارجية تؤدي الى مشكلة الصدأ والتآكل Corrosion. وخاصة عند وجود مركبات الكبريت.

لذلك تُعتبر المناطق التي تحرق فيها كميات كبيرة من النفط من المناطق الخطرة، إضافة الى ذلك فعندما يتصل معدنان مختلفان في وسط الكتروليتي، فإن الصدأ والتآكل يبدآن في المعدن الذي يكون سالبا كهربائياً Electro-Negative بالنسبة للمعدن الآخر.

أن أكثر المعادن سالبية كهربائية هو القصدير ويليه الألومنيوم والحديد فالصلب والرصاص والنحاس لذلك يجب تجنب استخدام معادن مختلفة كمكونات لنظام الحماية.

10.8 وسيلة الاعتراض

إن المهمة الرئيسية لوسيلة الاعتراض Interception هي إعتراض ضربات البرق ومن ثم تفريغها عبر الموصلات الهابطة Down conductors الى نظام تأريض الحماية من البرق.

تتخذ وسائل الاعتراض الاشكال التالية:

أ)شبكة من الموصلات الأفقية.

ب)قضبان عامودية.

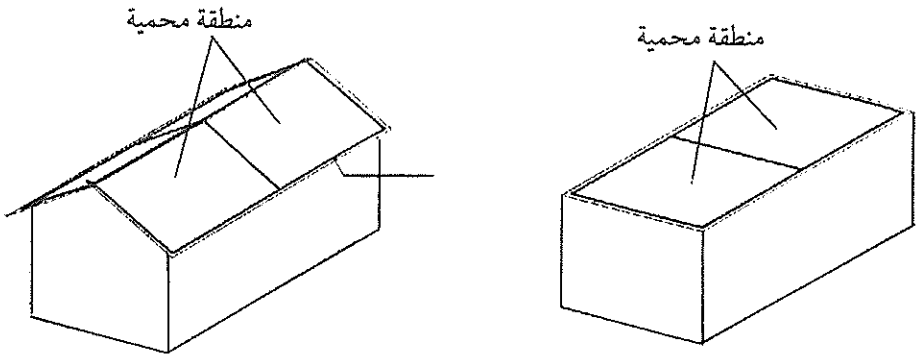
جـ)موصلات أفقية.

وسنستعرض هذه الوسائل بالتفصيل.

1.10.8 شبكة من الموصلات الأفقية

تُستخدم شبكة من الموصلات الأفقية لحماية المباني من البرق بغض النظر عن

إرتفاع المبنى، وعادة يكون حجم الشبكة 10x20 متراً، ويفضل تركيب الموصلات بحيث تقع على حافة المبنى. ويبين شكل -15 مثل هذه الشبكة.



شكل -15

الحماية باستخدام شبكة من الموصلات الأفقية

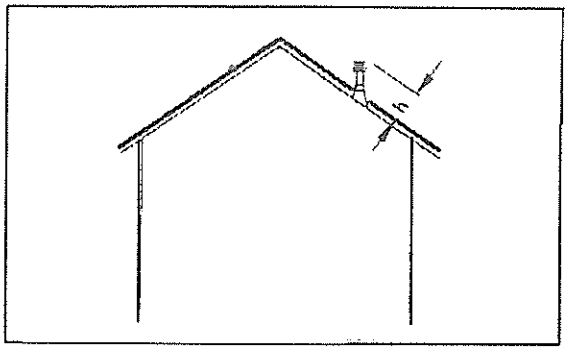
ويتم حماية المنشآت الموجودة على السطح Roof Structure من البرق تبعاً للمواد المستخدمة فيها. وهنا نميز بين نوعين من هذه المنشآت:

الأولى: إذا كانت هذه المنشآت مكونة من مواد غير موصلة كهربائياً، . تعتبر هذه المنشآت محمية بالشبكة الأفقية إذا كان بروزها لا يتجاوز 0.3 متراً (h < 0.3m)، أما إذا كان البروز أكبر من 0.3 متراً فلا بد من استخدام شريط موصل عليها وتوصيله مع الشبكة الأفقية (أنظر شكل 16).

الثانية: إذا كانت هذه المنشآت مكونة من مادة معدنية (وغير متصلة بالأرض).

في هذه الحالة فان الشبكة الأفقية تقدم الحماية اللازمة لهذه المنشآت إذا تحققت الشروط التالية:

1-أن لا تبرز أية منشآت على السطح من مستوى الشبكة الأفقية بأكثر من 0.3 متراً (h<0.3m).

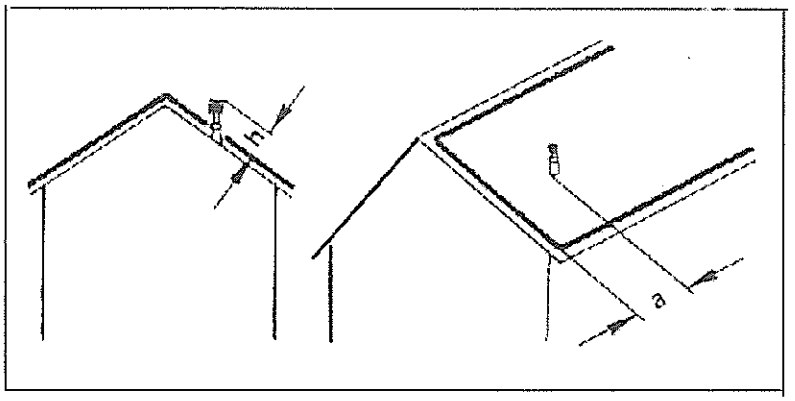


شكل -16

2-أن تكون المسافة بين هذا المنشأ واي موصل في الشبكة الأفقية أكبر من 0.5 متراً (a >0.5m).

3-أن لا تزيد المساحة القصوى المحصورة لهذا المنشأ على متر واحد، أو أن لا يزيد طوله الأقصى على مترين.

أما إذا لم يتحقق ولو شرط واحد مما سبق فلا بد من حماية هذا المنشأ بشريط موصل ويتم توصيله باحكام مع الشبكة الافقية. (شكل 17).



شكل -17

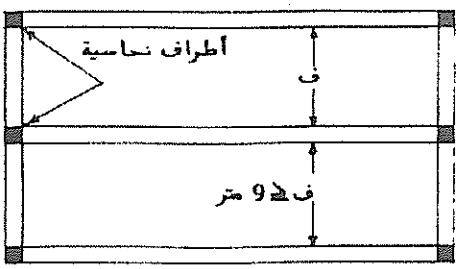
وتختلف المسافة بين الموصلات المتوازية في الشبكة الأفقية حسب التنظيمات المستخدمة . ويبين جدول -6 المسافة القصوى بين الموصلات الأفقية المتوازية في دول مختارة .

جدول (6)

المسافة القصوى بين الموصلات الأفقية المتوازية

البلد	المسافة بالمتر
استراليا	18
النمسا	20
بريطانيا	18
هولندا	20
المجر	30x20
سويسرا	15
أمريكا	16

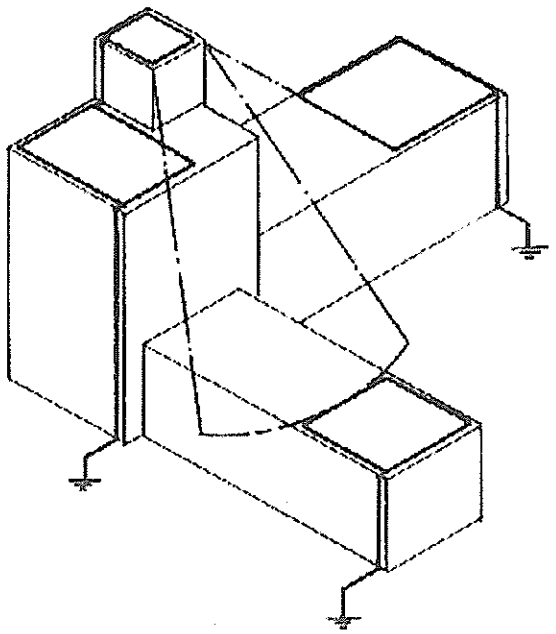
أما في الأردن فتشير التنظيمات العامة للتركيبات الكهربائية (1981) إلى وجوب ترتيب شرائط موصل الطرف النحاسي طوليا على سطح البناء بمسافات لا تزيد على تسعة أمتار. بحيث يتم تقسيم السطح إلى مستطيلات كما في الشكل- 18.



شكل -18

ترتيب شرائط موصل الطرف النحاسي للواقيات من الصواعق

أما إذا كان سطح البناء يحتوي على إرتفاعات مختلفة، فإن الكود البريطاني يقترح زيادة المسافة بين الموصلات الطولية الأفقية متر واحد لكل تغير في الارتفاع يساوي مترا واحدا، وذلك للسطوح المنخفضة عن شبكة الشرائط العليا. ويبين شكل -19 طريقة الحماية لمبنى ذي ارتفاعات مختلفة.



شكل -19

حماية مبنى متعدد الارتفاعات من البرق

أما بالنسبة لأبعاد هذه الموصلات الأفقية فإن الكود البريطاني والأردني أوصيا بأن تكون هذه الموصلات من شرائط النحاس الملدن Annealedبمساحة مقطع لا تقل عن 3x20مم^2. وتختلف هذه الأبعاد في دولة عن أخرى، وتختلف المواد المصنوعة منها، كذلك يمكن أن تكون هذه الموصلات على شكل شرائط Strips أو أنابيب أو موصلات مجدولة Stranded أو مصمتة اسطوانية.

ويبين جدول -7 الأبعاد الدنيا للموصلات المستخدمة فوق الأرض في عدد من الدول.

جدول (7)

الأبعاد الدنيا للموصلات المستخدمة فوق الارض في نظام الحماية

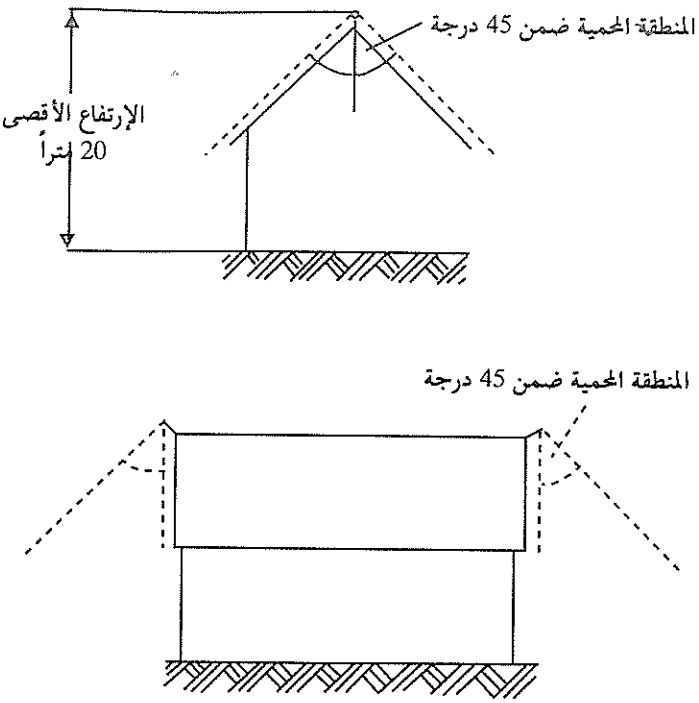
	مساحة المقطع مم2			شرائط			أنابيب . Φ			مجدولة		
	Cu	Al	Fe	Cu	Al	Fe	Cu	Al	Fe	Cu	Al	Fe
استراليا				3x20	3x20	3x20	10	10	10	1.8/19	3.1/7	1.8/19
النمسا							8	10	8			
كندا				1.15x38	1.63x38					1.15/8	1.6/8	
فنلندا	16		25									
ألمانيا				2.5x20	4x20	2.5x20	8	10	8	3/7	NA	NA
بريطانيا				3x20	3x20	3x20	10	10	10	1.8/19	3.1/7	1.8/19
هولندا	25	25	25									
المجر		25	25		3x10	3x10						
جنوب افريقيا					3x20	3x20	6	6	6			
سويسرا				3x20	3x25	2.5x25	6	9	6		NA	
أمريكا		45		1.3x20			6.5			2.5/7		

Cu - نحاس Fe - صلب مجلفن

Al - المنيوم NA - غير متوافر

2.10.8 وسيلة إعتراض مكونة من موصل

تستخدم هذه الوسيلةللمباني التي لا يزيد إرتفاعها على 20متراً، وهي عبارة عن موصل يثبت فوق سطح المبنى ليشكل منطقة حماية بزاوية °45، وتستخدم هذه الوسيلة لحماية المباني التي سطوحها شديد الانحدار (شكل-20)، أما الموصلات الأفقية المثبتة على أطراف المبنى فتشكل موصلات هابطة. ويتم التعامل مع المنشآت الموجودة على سطوح مثل هذه المباني تماماً كما شرح سابقاً بالنسبة للمنشآت المكونة من مواد غير موصلة للتيار الكهربائي والمنشآت المكونة من مواد معدنية ولكنها غير متصلة بالأرض.

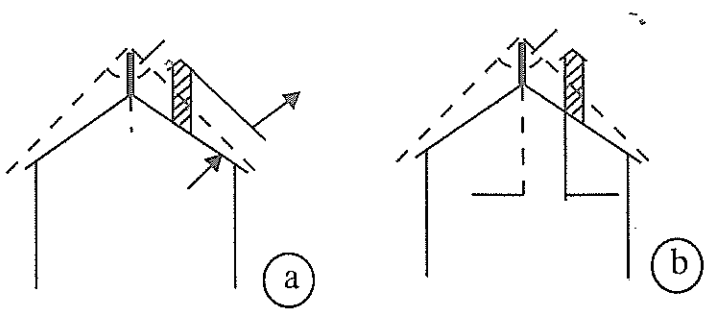


شكل -20

10.8 .3 وسيلة إعتراض على شكل قضيب أو قضبان على سطح المبنى

تُستخدم هذه القضبان لحماية المنازل التي لا يزيد ارتفاعها على 20 متراً (والارتفاع الكلي هو عبارة عن المسافة بين أعلى نقطة في القضيب والأرض). ويشكل هذا القضيب منطقة حماية عبارة عن شكل مخروطي قاعدته دائرة نصف قطرها يمكن تحديده كما ورد سابقاً في هذا الفصل، ويجب أن يقع المنزل المراد حمايته بالكامل ضمن منطقة الحماية لهذا القضيب. ويبين شكل -21 الحماية باستخدام قضيب عامودي على سطح البناء.

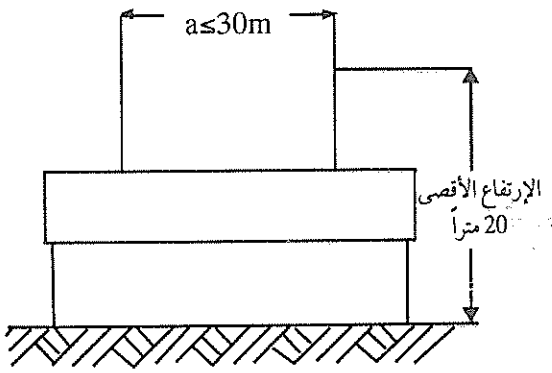
أما المنشآت الموجودة على السطح والمكونة من مواد موصلة كهربائية فيعتبر قضيب



شكل-22

عند إستخدام قضيبين معدنيين فلا بد من دراسة الحالتين التاليتين :

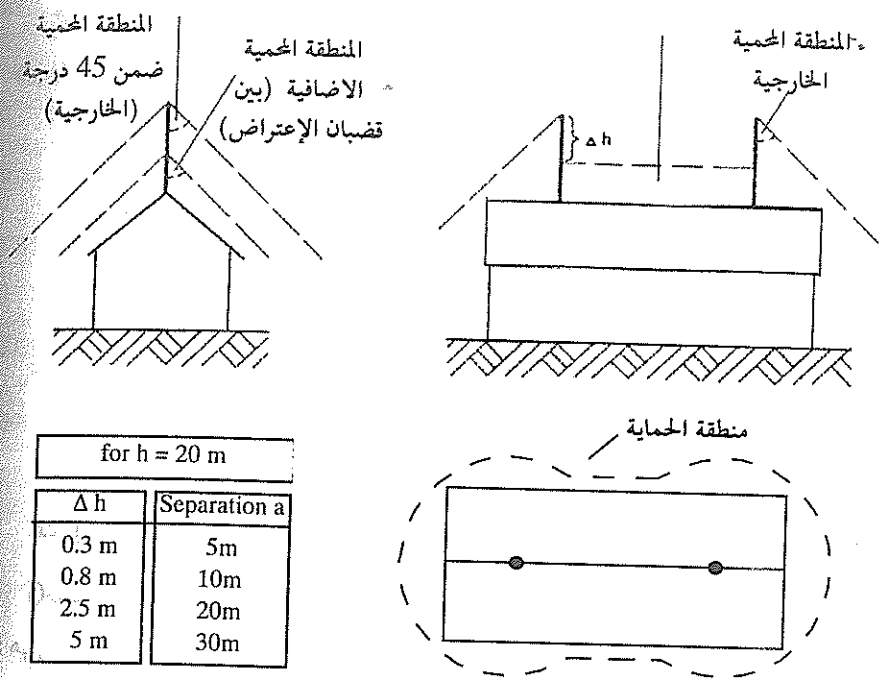
أ)مسافة التباعد القصوى بين القضيبين تساوي 30متراً، أي أن a<30m، حيث أن a هي مسافة التباعد بين القضيبين كما في شكل -23 .



شكل -23

إستخدام قضيبين على سطح المبنى بينهما تباعد لا يزيد على 30 متراً .

في هذه الحالة فان منطقة الحماية تتحدد بمنطقة الحماية لكل قضيب بالاضافة الى منطقة حماية ناتجة عن تخيل موصل بينهما Imaginary conductor . ويمثل شكل -24 كيفية حساب منطقة الحماية إعتماداً على المسافة بين القضيبين .



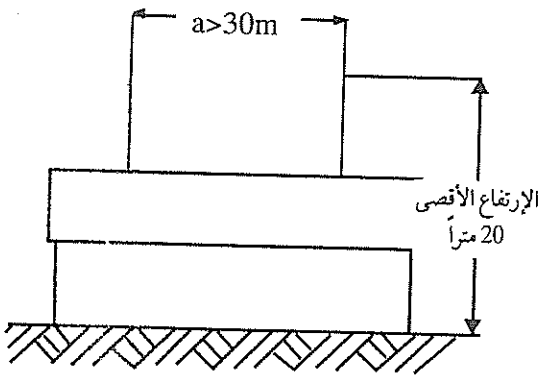
for h = 20 m	
Δ h	Separation a
0.3 m	5m
0.8 m	10m
2.5 m	20m
5 m	30m

شكل -24

تحديد منطقة الحماية لقضيبين بينهما تباعد لا يزيد على 30 متراً

ب) مسافة التباعد بين القضيبين أكبر من 30متراً .

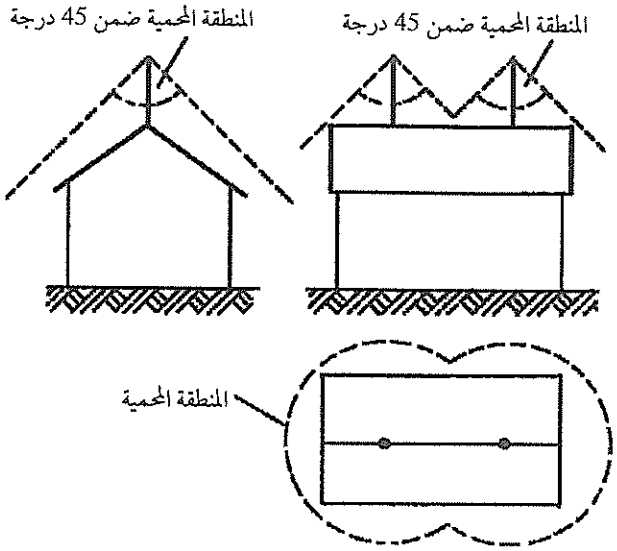
يبين شكل -25 مبنى وعلى سطحه قضيبان مسافة التباعد بينهما أكبر من 30 متراً .



شكل -25

إستخدام قضيبين على سطح مبنى بينهما تباعد يزيد على 30 متراً .

في هذه الحالة فان منطقة الحماية تتحدد كمجموع منطقتي الحماية للقضيبين، أي لا توجد منطقة حماية إضافية بسبب كبر مسافة التباعد بينهما. ويبين شكل -26 منطقة الحماية في هذه الحالة.



شكل-26

تحديد منطقة الحماية لقضيبين بينهما تباعد يزيد على30 متراً.

4.10.8 قضبان حماية عامودية منفردة

هذه قضبان حماية عامودية يتم تركيبها مباشرة بالارض ويتم تأريضها، وتقدم هذه القضبان منطقة حماية هي عبارة عن شكل مخروطي بزاوية 45 درجة في رأس القضيب. الطول الأقصى لهذا القضيب يجب أن لا يزيد على 20متراً.

في حالة إستخدام هذا القضيب لحماية مبنى فان مسافة التباعد d بين القضيب والمبنى يجب أن لا تقل على مترين. وإذا كان تأريض القضيب غير متصل مع نظام الربط متساوي الجهد للمبنى فيجب زيادة المسافة d حسب المعادلة التالية:

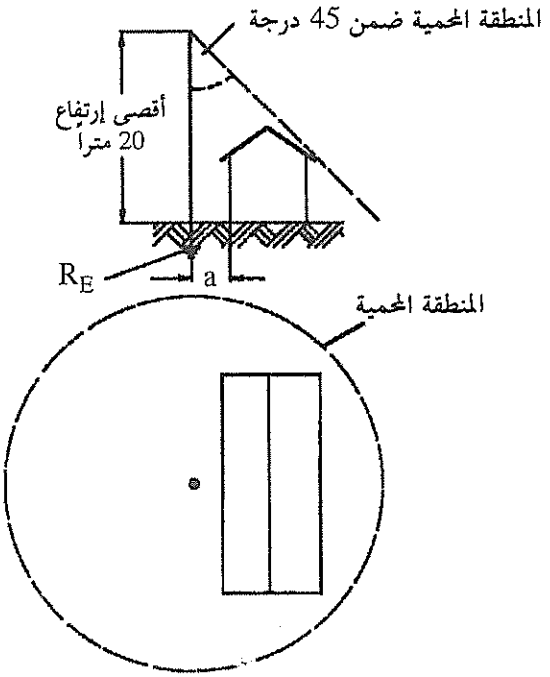
$$d=2+\frac{R_E}{5}$$

حيث ان :

d-مسافة التباعد بالمتر.

R_E-قيمة مقاومة تأريض القضيب بالأوم.

ويبين شكل -27 منطقة الحماية لهذا القضيب.



شكل -27

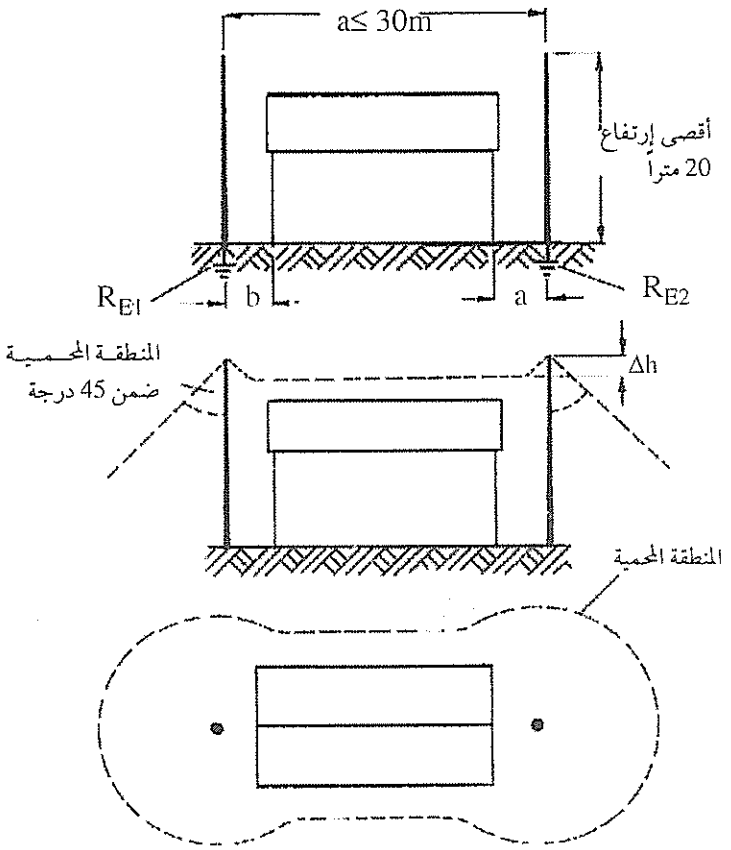
منطقة الحماية لقضيب عامودي منفرد مثبت بالأرض

أما في حالة استخدام قضيبين (طول كل منها يجب أن لا يزيد على 20 متراً) فلا بد من دراسة حالتين. الحالة الأولى: مسافة التباعد بينهما لا تزيد على 30 متراً والحالة الثانية: مسافة التباعد تزيد على 30متراً.

في الحالة الأولى فإن المنطقة الحماية تُحدد كمجموع منطقتي الحماية لكل من القضيبين إضافة الى منطقة حماية ناتجة عن موصل وهمي بينهما كما في شكل -28.

أما قيمة Δh والتي يجب إضافتها الى طول قضيب الحماية فتعتمد على طول قضيب الحماية وعلى مسافة التباعد بينهما كما هو وارد في جدول -8.

وفي هذه الحالة فان المسافة d بين القضيب والمبنى يجب أن لا تقل على مترين. وفي حالة كون أرضي القضيب غير متصل مع نظام الربط متساوي الجهد للمبنى فإن مسافة d تحسب كما يلي:



شكل -28

منطقة الحماية لقضيبين منفردين في الأرض

جدول (8)

تحديد ارتفاع Δh

مسافة التباعد a	قيمة Δh حسب ارتفاع القضيب		
	10أمتار	15متراً	20 متراً
5	0.1	0.2	0.3
10	0.4	0.5	0.8
20	1.6	2.0	2.5
30	3.6	4.2	5.0

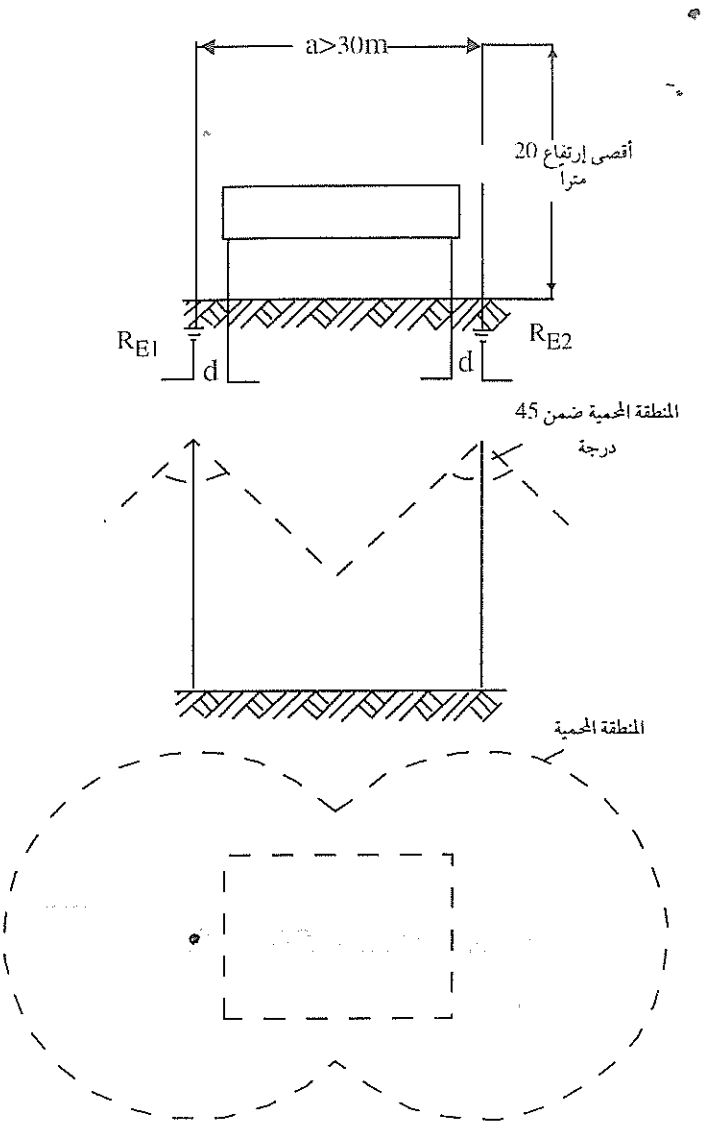
$$d=2+\frac{R_{E1}}{5} \quad \text{and} \quad d=`2+\frac{R_{E2}}{5}$$

حيث ان :

d–مسافة التباعد بالمتر،

R_{E1}, R_{E2}–مقاومة تأريض العامودين بالأوم.

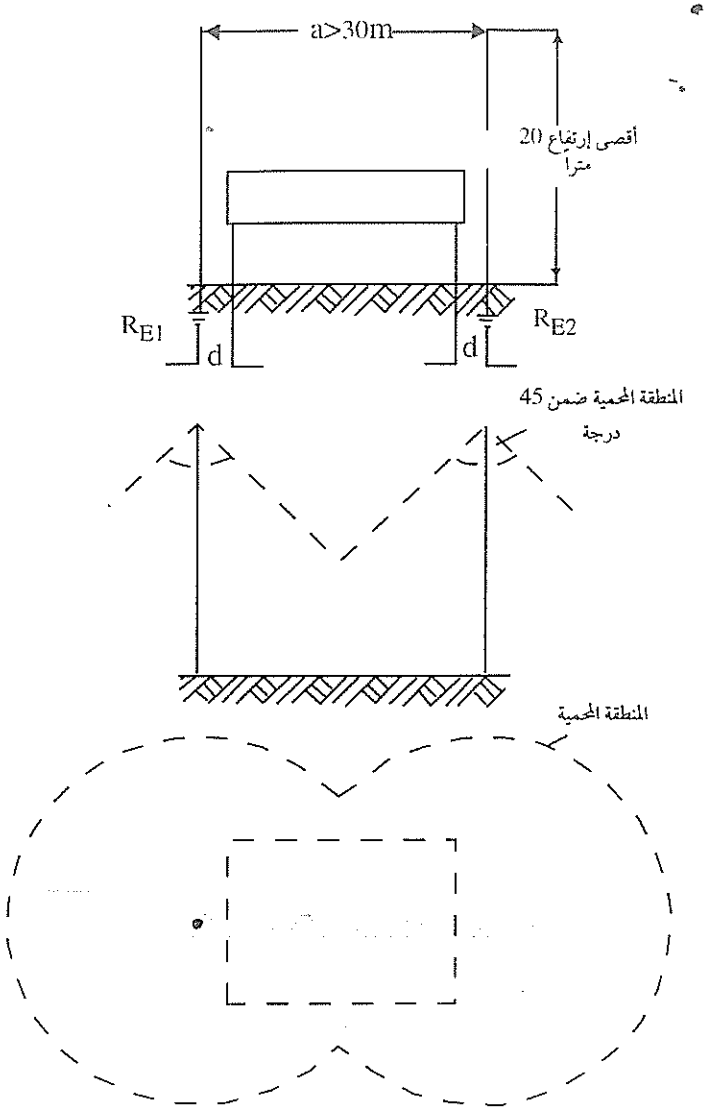
في الحالة الثانية وعندما تكون مسافة التباعد بين القضيبين أكبر من 30مترا، فإن منطقة الحماية تتحدد كمجموع منطقتي الحماية لكل قضيب كما في شكل -29.



شكل -29

منطقة الحماية لقضيبين مسافة التباعد بينهما أكبر من 30 متراً

وفي بعض الحالات يمكننا إستخدام أربعة قضبان، وفي هذه الحالة لا بد من مراعاة المتطلبات التالية :



شكل -29

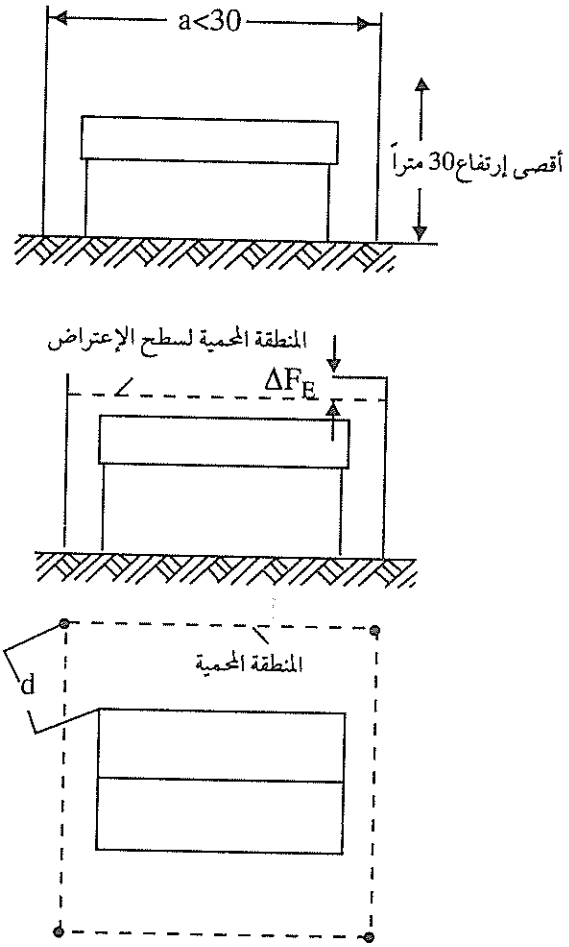
منطقة الحماية لقضيبين مسافة التباعد بينهما أكبر من 30 متراً

وفي بعض الحالات يمكننا إستخدام أربعة قضبان، وفي هذه الحالة لا بد من مراعاة المتطلبات التالية :

-أن لا يزيد إرتفاع قضيب الإعتراض على 30 متراً .

-يجب ان لا تزيد المسافة بينهم على 30متراً .

-يجب ان تكون المسافة بين قضيب الاعتراض والمبنى الذي يحميه على الأقل مساوية إلى 3 أمتار (أو على الأقل 4.5 متراً مقاسة بشكل قطري Diagonally من زاوية المبنى) . ويبين شكل -30 منطقة الحماية لأربعة قضبان عامودية منفردة .



شكل -30

منطقة الحماية لاربعة قضبان عامودية

وتعتمد المسافة ΔF_E على مسافة التباعد a بالمتر، وتحدد كما يلي:

a	5m	10m	20m	30m
ΔF_E	0.3m	0.7m	2.7m	6.0m

أما إذا كان تأريض القضبان لا يتصل مع نظام الربط متساوي الجهد للمبنى، فيجب زيادة المسافة d وفق المعادلة التالية:

$$d = 4.5 + \frac{R_E}{5}$$

حيث ان d بالمتر وR_E بالأوم.

5.10.8 موصلات إعتراض منفردة

يتم تثبيت هذا الموصل المنفرد على عوارض تثبيت بحيث لا يزيد إرتفاعها على20 متراً. أما المسافة a بين عوارض التثبيت فليس لها حدود، بينما المسافةd بين المبنى ونقطة تثبيت العارضة فيجب أن تساوي مترين على الاقل، وفي حالة عدم توصيل تأريض العارضة مع نظام الربط متساوي الجهد، فيجب زيادة d وفق المعادلة التالية:

$$d = 2 + \frac{R_{E\,(total)}}{5}$$

حيث ان:

d- المسافة بين المبنى ونقطة تثبيت العارضة بالمتر.

$R_{E(total)}$-مقاومة التأريض الكلية بالأوم وتحسب من R_{E1}, R_{E2} . . . الخ.

أما المسافة بين ادنى نقطة في الموصل (منطقة التهدل) والمبنى فيجب أن تحقق المعادلة التالية:

$$D \geq \frac{L/2 + h}{14}$$

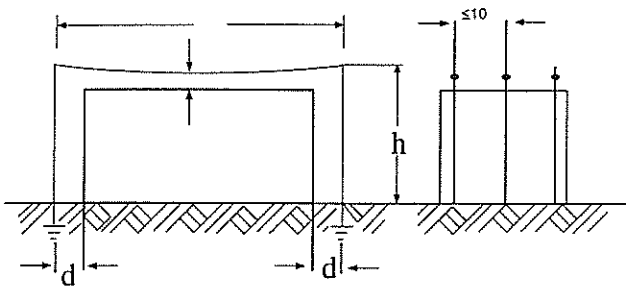
حيث ان h, L, D بالمتر.

كذلك، يجب أن لا تقل المسافة بين عارضة التثبيت والمبنى على مترين، وفي حالة عدم توصيل تأريض العارضة مع نظام الربط متساوي الجهد فيجب زيادة المسافة d كما في المعادلة التالية :

$$d=2+\frac{R_{E\,(total)}}{5}$$

ويبين شكل -32 حالة استخدام موصلات إعتراض متوازية .

وفي الحالة التي يكون فيها الإرتفاع الأقصى لموصل الأعتراض يساوي 20 متراً فان منطقة الحماية تتكون من :

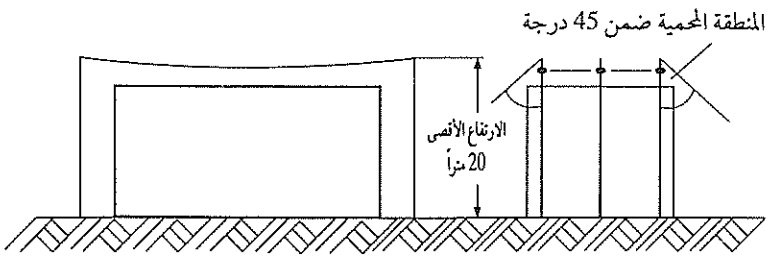


شكل 32

-المنطقة التي تقع ضمن زاوية 45° مقاسة من موصل الاعتراض الخارجي .

-إضافة الى المنطقة المحيطة بالاطراف بزاوية 45° .

ويبين شكل -33 هذه الحالة .



شكل -33

وتعتمد المسافة ΔF_E على مسافة التباعد a بالمتر، وتحدد كما يلي:

a	5m	10m	20m	30m
ΔF_E	0.3m	0.7m	2.7m	6.0m

أما إذا كان تأريض القضبان لا يتصل مع نظام الربط متساوي الجهد للمبنى، فيجب زيادة المسافة d وفق المعادلة التالية:

$$d = 4.5 + \frac{R_E}{5}$$

حيث ان d بالمتر وR_E بالأوم.

5.10.8 موصلات إعتراض منفردة

يتم تثبيت هذا الموصل المنفرد على عوارض تثبيت بحيث لا يزيد إرتفاعها على20 متراً. أما المسافة a بين عوارض التثبيت فليس لها حدود، بينما المسافةd بين المبنى ونقطة تثبيت العارضة فيجب أن تساوي مترين على الاقل، وفي حالة عدم توصيل تأريض العارضة مع نظام الربط متساوي الجهد، فيجب زيادة d وفق المعادلة التالية:

$$d = 2 + \frac{R_{E\,(total)}}{5}$$

حيث ان:

d– المسافة بين المبنى ونقطة تثبيت العارضة بالمتر.

$R_{E(total)}$–مقاومة التأريض الكلية بالأوم وتحسب من R_{E1}, R_{E2} . . . الخ.

أما المسافة بين ادنى نقطة في الموصل (منطقة التهدل) والمبنى فيجب أن تحقق المعادلة التالية:

$$D \geq \frac{L/2 + h}{14}$$

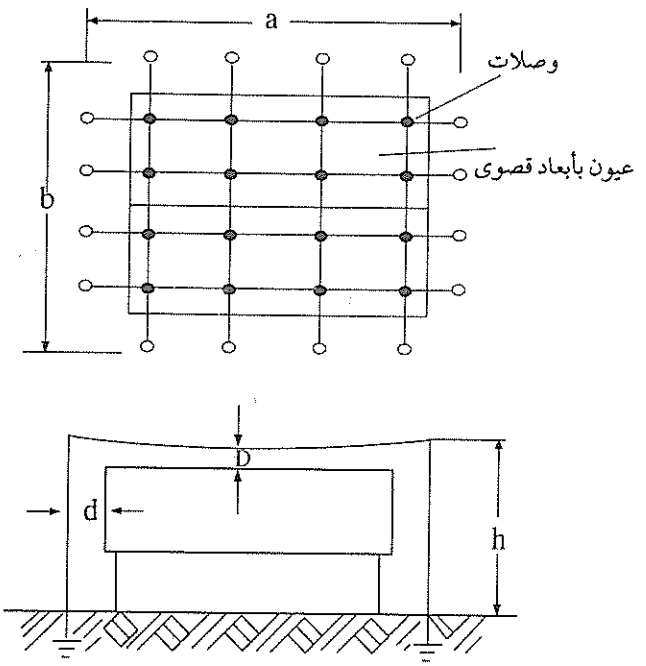
حيث ان h, L, D بالمتر.

-أما إذا كان إرتفاع الموصل أكثر من 20متراً وأقل من 40 متراً فيجب أن يتم تركيب الموصل فوق الحواف الخارجية للمبنى بحيث تكوّن قيمة b أكبر من صفر (b > 0).

أما إذا كان إرتفاع الموصل أكثر من 40 متراً، فيجب تركيب الموصل حول حواف المبنى بترك مسافة كافية كما في شكل -34. وتعتمد قيمة b على إرتفاع تركيب الموصل. فمثلاً، فان b=1m إذا كان إرتفاع الموصل يساوي 50 متراً، وتساوي b-3m إذا كان الارتفاع يساوي 60 متراً.

6.10.8 شبكة إعتراض منفردة

يمكن تركيب شبكة إعتراض Interception net منفردة فوق المبنى المراد حمايته كما في شكل -34.



شكل -34
شبكة إعتراض منفردة

في هذه الحالة فلا بد من تحقيق الشروط التالية :

-لا توجد حدود لارتفاع تركيب الشبكة أو لأبعادها b,a .

-المساحة القصوى لكل عين Mesh في الشبكة تساوي 10x20m متراً .

-يجب تركيب كل موصل على عارضتي تثبيت مؤرختين .

-يجب توصيل الموصلات عند نقاط الالتقاء Crossover points .

-يجب أن تغطي عيون الشبكة بالكامل المبني المراد حمايته .

-يجب أن تساوي المسافة D (بين أدنى نقطة في الشبكة والمبنى) 1.5 على الأقل ، أما مسافة التباعد d فيجب أن تساوي مترين على الأقل . أما إذا كان تأريض دعائم التثبيت غير متصل مع نظام الربط متساوي الجهد للمبنى ، فان مسافات التباعد d يجب زيادتها بنسبة $\frac{R_{E\,(total)}}{5}$.

وتحدد منطقة الحماية للارتفاعات التي تقل على عشرين متراً (المقصود إرتفاع شبكة الاعتراض) بالمساحة الواقعة تحت شبكة الاعتراض إضافة إلى المساحة الخارجية المحصورة ضمن زاوية 45°

أما إذا كان إرتفاع تعليق الشبكة أكبر من 20 متراً فان مساحة الحماية تتحدد بالمساحة الواقعة تحت الشبكة فقط .

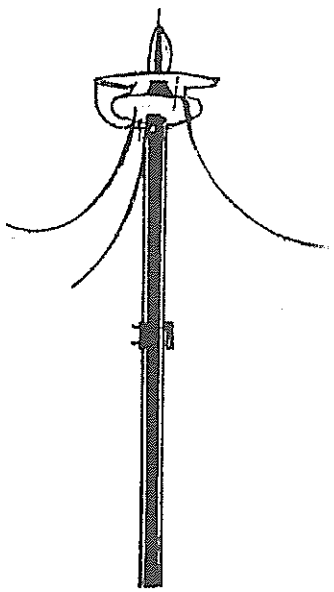
7.10.8 مانعات الصواعق الاشعاعية

جرت محاولات عديدة لزيادة فاعلية وسائل الاعتراض المختلفة ، وذلك بوضع مادة اشعاعية في طرف القضيب العلوي ، وقد بين بيريو Berio في عام 1970 أن قضيباً طوله متران ومزودا بمادة اشعاعية يستطيع حماية سطح بمساحة دائرية قطرها يساوي 250 مترا .

وإعتماداً على تلك البحوث إستطاعت بعض الشركات في هذا المجال تصنيع مانعات صواعق إشعاعية Radio-active lightning conductors .

فمثلا فإن شركة هيليتا Helita الفرنسية تصنع مانعة صواعق إشعاعية منذ عام 1932 ، حيث تستطيع هذه المانعة أن تمنع الشحنات الكهربائية من التجمع في السحابة ، وبذلك تقلل من عدد ضربات البرق . وكذلك تقوم هذه المانعة بتكوين ممر بمقاومة صغيرة بين السحابة والأرض وبذلك تستطيع حماية المبنى الموجودة على سطحه . ويبين شكل- 35 صورة لمانعة الصواعق الإشعاعية من إنتاج شركة هيليتا .

وتتكون هذه المانعة من قضيب من النحاس الأحمر ينتهي بمخروط من النحاس الأصفر Brass مزود بمصدر إشعاعي محكم الاغلاق ، ويتم عزل هذا المخروط بعازل صيني من البورسلان Porclain . ويوجد على المخروط النحاسي ثلاثة هوائيات نحاسية تتصل بالقضيب الرئيسي بواسطة حلقة نحاسية . ويتم قذف الأيونات التي ينتجها المصدر الاشعاعي نحو السحابة بتأثير الفولطية الجوية ويتم تسارعها بواسطة الحلقة النحاسية .



شكل -35

مانعة الصواعق الاشعاعية

وتستخدم مانعات الصواعق الاشعاعية في حماية المنشآت المختلفة مثل: المباني العالية، الكنائس، المستشفيات، المدارس، الفنادق وغيرها. وتعتمد زاوية الحماية على نوع مانعة الصواعق المستخدمة. وتقدم هذه المانعة حماية أفضل من استخدام مانعة الصواعق العادية، حيث أن نصف قطر الحماية في حالة استخدام مانعة الصواعق الاشعاعية يكون أكبر. ويبين جدول -9 زاوية الحماية لأنواع من مانعات الصواعق الاشعاعية.

جدول (9)

زاوية الحماية لأنواع مختلفة من مانعات الصواعق الاشعاعية

النوع	زاوية الحماية α	إرتفاع المبنى H المطلوب حمايته	نصف القطر الأقصى للحماية، متر
AMH1	60°	≥ 10	15
AMH2	63°	≥ 20	30
AMH3	68°	≥ 30	50
AMH4	73°	≥ 40	90
AMH5	78°	≥ 50	190

ويعتمد نصف قطر الحماية على قيمة تيار البرق.

.. وهناك نوع آخر من مانعات الصواعق مزود بمحرض كهربائي إجهادي من صنع شركة سانت ايلمو Saint -Elmo lightning Conductor with piezoelectric Exciter . ومن مميزات هذا النوع أن نصف قطر الحماية كبير مقارنة مع مانعة الصواعق التقليدية، حيث أن نصف القطر يساوي:

$$R = h_1 . \tan \alpha$$

حيث ان :

h_1-هو إرتفاع مانعة الصواعق مضروباً بمعامل هو K_r والذي يُسمى مُعامل الرفع Raising coefficient.

ويبّن جدول -10 قيمة المعامل K_r ونصف قطر الحماية لأنواع مختلفة من مانعات الصواعق.

جدول (10)

قيمة المعامل K_r ونصف قطر الحماية

نوع مانعة الصواعق	قضيب فرانكلين فوق برج	قضيب فرانكلين فوق مبنى	Saint-ElmoPZ	
			SE6	SE9
المعامل Kr	1	1	3.4	5.2
نصف قطر الحماية	h	hx 1.75	hx6	hx9

ويبين جدول -11نصف قطر الحماية بالأمتار لمانعات صواعق مختلفة.

جدول (11)

نصف قطر الحماية بالأمتار لمانعات صواعق مختلفة

إرتفاع مانعة الصواعق (بالمتر) ومن ضمنها القاعدة	نصف قطر الحماية بالمتر			
	قضيب فرانكلين فوق برج	قضيب فرانكلين فوق مبنى	Saint Elmo PZ SE6	Saint Elmo PZ SE9
2	2	3.5	12	18
4	4	7	24	36
6	6	10.5	36	54
8	8	14	48	72
10	10	17.5	60	90
15	15	26	90	135

11.8 الموصلات الهابطة

تعتبر الموصلات الهابطة Down conductors حلقة التوصيل الكهربائية بين وسائل الاعتراض التي إستعرضناها سابقاً ونظام تأريض الحماية من البرق.

إن وظيفة الموصلات الهابطة Down conductors أن تشكل ممرا إلى الأرض لتيار البرق الذي تم إعتراضه بواسطة الأطراف الهوائية. ويجب أن يكون هذا الممر أقصر ما يمكن وذلك لتجنب ظاهرة الوميض الجانبي Side flash التي سنستعرضها لاحقا، حيث تعتمد تلك الظاهرة على قيمة محاثة الموصلات الهابطة. ويمكن تقليل هذه المحاثة، إما بزيادة عدد الموصلات الهابطة المتوازية أو بتقليل طول الموصل الهابط بتجنب تشكيل ما يسمى بالأنشوطة Loop. فإذا كان لدينا عدد nمن الموصلات الهابطة ومحاثة كل منها تساوي L فإن المحاثة الكلية هي $\frac{L}{n}$، أي كلما زاد عدد الموصلات الهابطة قلت قيمة المحاثة. أما إذا شكل الموصل الهابط أنشوطة كما في شكل-36 فإن محاثة هذا الموصل تعتمد على عرض الأنشوطة D وطولها L. وحتى لا يحدث وميض جانبي بين أجزاء المبنى، فإن التنظيمات المختلفة تحدد قيما للعلاقة L إلى D. وتحدد التنظيمات الألمانية بأن لا تزيد هذه العلاقة عن 20، أي أن:

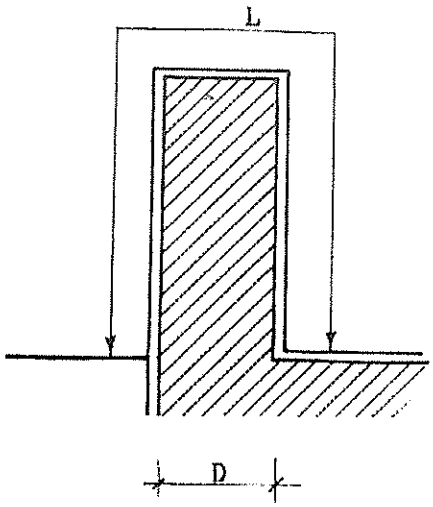
$$\frac{L}{D} \leq 20$$

أما التنظيمات البريطانية فتحدد هذه العلاقة كمايلي:

$$\frac{L}{D} \leq 8$$

أما عدد الموصلات الهابطة فيعتمد على مساحة البناء أو على محيطه، وتحبذ معظم التنظيمات أن يكون أقل عدد للموصلات الهابطة هو 2.

وهناك إستثناء في التنظيمات البريطانية والاسترالية والمجرية والجنوب افريقية بأن أقل عدد هو موصل هابط واحد، وذلك للمنازل التي لا تزيد مساحتها على 100م2 أو لا يزيد محيطها على ثلاثين متراً بينما تنص المواصفات الالمانية على وجوب تركيب موصل هابط واحد إذا كان محيط البناء لا يزيد على 20 متراً.



شكل -36

وتنص المواصفات البريطانية على استخدام القاعدة التالية في تحديد عدد الموصلات الهابطة :

-موصل هابط واحد إذا كانت مساحة قاعدة البناء لا تزيد على 100م2 .

-أما إذا كانت مساحة قاعدة البناء تزيد على 100م2 فإن عدد الموصلات الهابطة يساوي أقل عدد نحصل عليه من استخدام القاعدتين التاليتين :

أ-موصل واحد لأول 100م2 بالاضافة إلى موصل لكل 300م2 أو جزء منها زيادة على المائة متر الأولى .

ب-موصل واحد لكل 30م من محيط البناء .

ويمكن استخدام جدول-12 في تحديد عدد الموصلات الهابطة .

جدول (12)

عدد الموصلات الهابطة اعتمادا على مساحة البناء .

المساحة (متر مربع)	عدد الموصلات الهابطة
400-100	2
700-400	3
1000-700	4
1300-1000	5
1600-1300	6
1900-1600	7

أما المواصفات الالمانية فتنص على وجوب استخدام موصل هابط واحد لكل 20متراً من محيط المبنى ، أي أن عدد الموصلات الهابطة يمكن حسابه كما يلي :

$$\text{عدد الموصلات الهابطة} = \frac{\text{محيط السطح الخارجي بالمتر}}{20}$$

والعدد الذي نحصل عليه يجب تقريبه الى أقرب عدد صحيح إذا كان كسراً ، فمثلاً ، إذا كان عدد الموصلات الهابطة بالحساب يساوي 4.4 فان العدد الذي يمكن تبنيه هو أربعة موصلات هابطة ، إما إذا كانت نتيجة الحساب4.6 فان العدد هو خمسة موصلات هابطة . إضافة إلى ذلك ففي المباني المتماثلة ، فإذا كان العدد بعد التقريب هو عدد مزدوج فلا يتغير هذا العدد ، أما إذا كان العدد عدداً فردياً ، فيجب زيادة عدد الموصلات الهابطة واحداً حتى نحصل على عدد زوجي .

وعادة تصنع الموصلات الهابطة من الشرائط النحاسية الملدنة ، ولا تقل مساحة مقطعها عن 20x3م^2 .

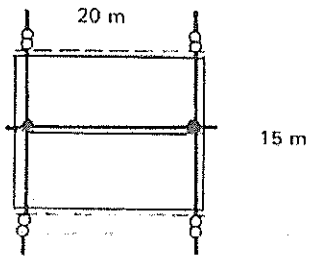
كذلك ، نشير الى أن المسافة بين الموصلات الهابطة يجب أن لا تقل على عشرة أمتار .

1.11.8 ترتيبات تنفيذ الموصلات الهابطة

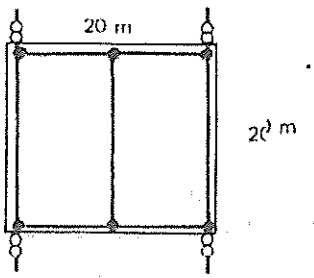
إذا كانت وسيلة الاعتراض هي عبارة عن شبكة فيحبذ ترتيب تنفيذ الموصلات الهابطة في زوايا أو وصلات الشبكة . ويبين شكل -37 بعض الترتيبات المحبذة عند تنفيذ الموصلات الهابطة .

ويبين شكل -38 ترتيبات الموصلات الهابطة للسطوح المائلة من الطرفين Ridge roofs ، ويجب توصيل كل المزاريب المعدنية مع الموصلات الهابطة . أما شكل -39 فيبين ترتيبات الموصلات الهابطة في حالة كون وسيلة الاعتراض عبارة عن قضيب عامودي .

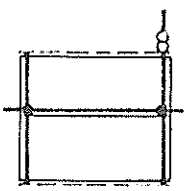
ويمكن تركيب الموصلات الهابطة تحت القصارة Under plaster أو مباشرة في الخرسانة أو القنوات العامودية ، ويجب أن تحتوي هذه الموصلات على وصلات فحص Test joints . كذلك يمكن أن تكون الموصلات الهابطة معزولة .



عدد الموصلات الهابطة = $\frac{70}{20}$ = 3.5 (العدد 4)

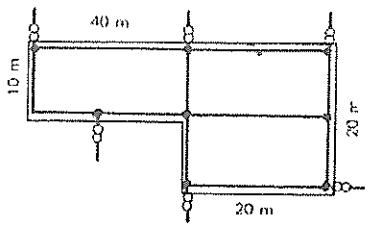


عدد الموصلات الهابطة= $\frac{80}{20}$ =4

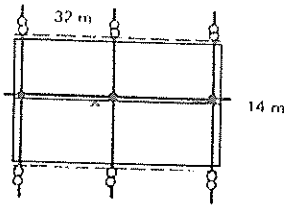


المحيط أقل من 20 متراً موصل هابط واحد

ملاحظة : تكملة الشكل على صفحة 494 .

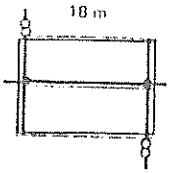


عدد الموصلات الهابطة= $\frac{120}{20}$=6



عدد الموصلات الهابطة= $\frac{92}{20}$

المبني متماثل فالعدد 6 = 4.6(العدد 5)

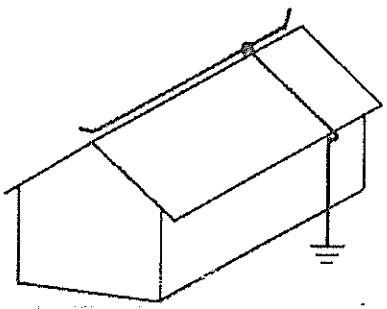


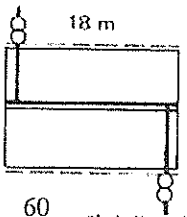
عدد الموصلات الهابطة $\frac{60}{20}$=3

وبما ان العـــرض أقل من12 مترا، فالعدد هو2

شكل -37
ترتيبات الموصلات الهابطة من وسيلة إعتراض على شكل شبكة .

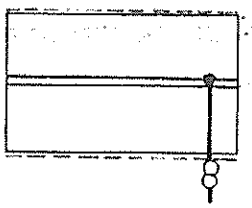
موصل إعتراض يحمي منطقة بزاوية 45 درجة



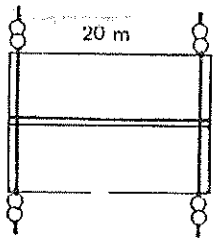


عدد الموصلات الهابطة= $\frac{60}{20}$ = 3

العرض اقل من 12م، فالعدد هو 2

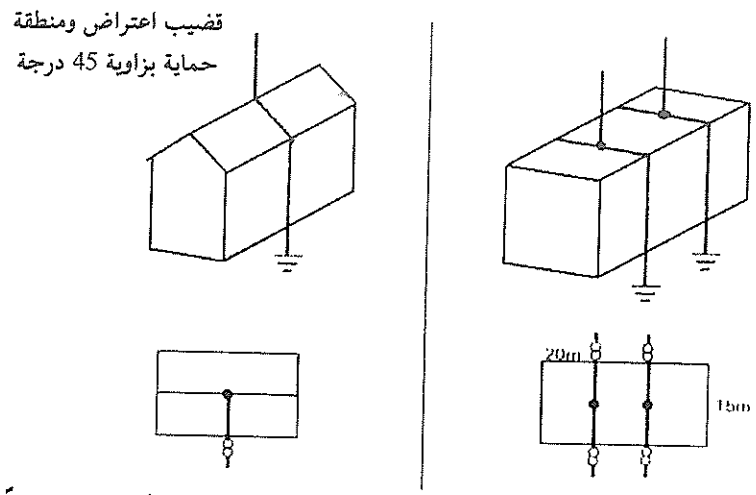


موصل هابط واحد إذا كان المحيط اقل من 20 متراً



عدد الموصلات الهابطة = $\frac{70}{20}$ = 3.5

شكل -38
ترتيبات الموصلات الهابطة من وسيلة إعتراض على شكل موصل

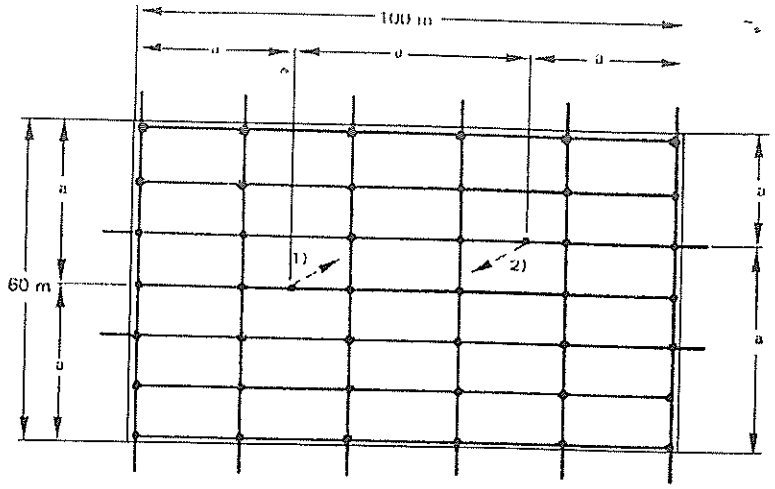


شكل -39

ترتيبات الموصلات الهابطة من قضبان عامودية .

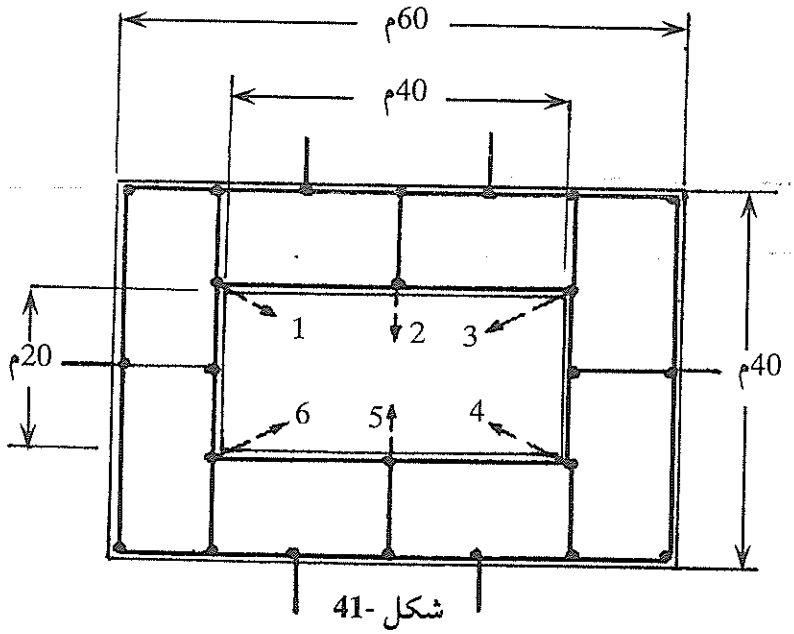
أما إذا كانت مساحة المبنى أكبر من (40x40) متراً فلا بد من تركيب موصلات هابطة داخلية إذا كان التصميم يسمح بذلك . ويجب التأكد من أن مسافة التباعد a بين الموصلات الهابطة الداخلية لا تزيد على أربعين متراً، وكذلك مسافة التباعد بين الموصلات الهابطة الخارجية أن لا تزيد على 40 متراً، ويتم حساب عدد الموصلات الهابطة الداخلية من مسافة التباعد المذكورة سابقاً . ويبين شكل -40 ترتيبات الموصلات الهابطة الداخلية Internal down conductor . أما اذا وجدت صعوبة في تنفيذ الموصلات الهابطة في المناطق الداخلية، عندها لا بد من زيادة عدد الموصلات الهابطة الخارجية بنسبة عدد الموصلات الهابطة الداخلية، مع الأخذ بعين الإعتبار أن لا تقل مسافة التباعد بين الموصلات الهابطة الخارجية على 10 أمتار .

أما اذا إحتوى المبنى على مساحة مغلقة Enclosed yards أكبر من 30 متراً، فيجب إضافة موصل هابط لكل 20 متراً من المحيط، وعادة، يتطلب الأمر موصلان هابطان كحد أدنى . ويبين شكل -41 هذه الحالة .



شكل -40

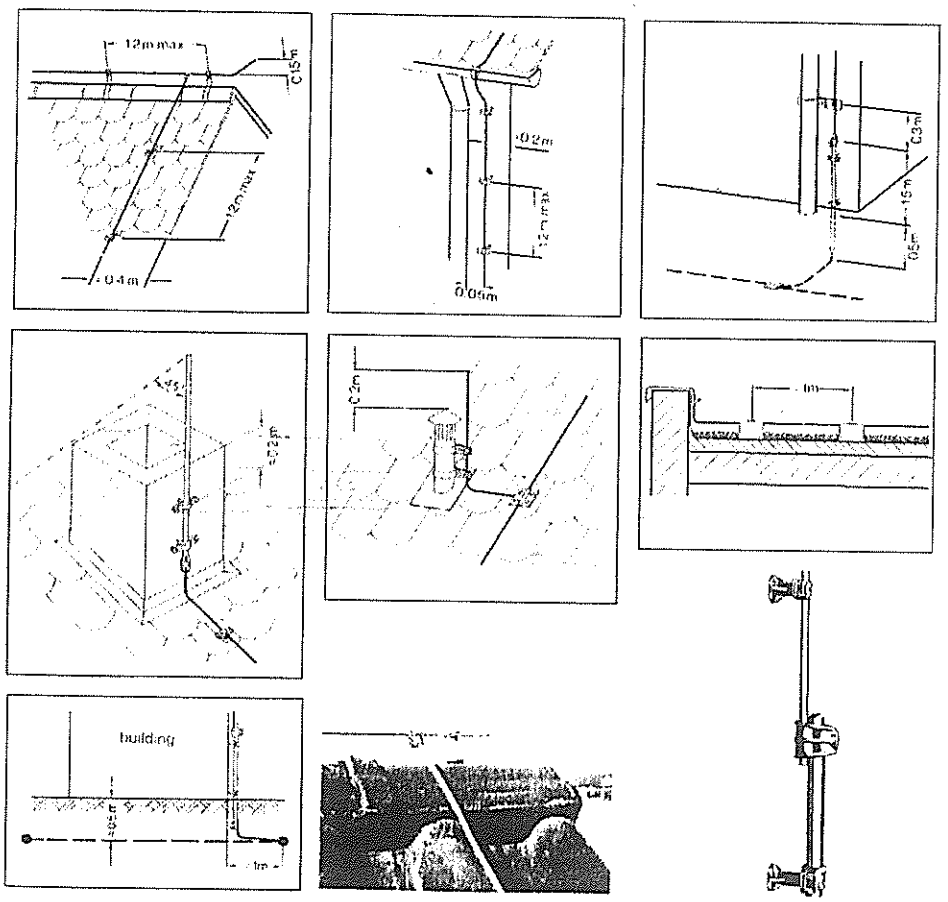
1و2 موصلات هابطة داخلية اضافية a≤40m



شكل -41

وأحياناً يمكن استخدام الأجزاء المعدنية من المبنى كموصلات هابطة ، مثل سكك المصاعد lift rails ، أدراج هروب الحريق إذا كانت معدنية ، وكذلك قضبان حديد التسليح مع التشديد على كون هذا الحديد يشكل جسماً متواصلاً ، أي أن تكون الوصلات في حديد التسليح جيدة ومتينة كهربائياً وميكانيكياً . وكل ما ذكر كبديل عن الموصلات الهابطة يجب توصيله بشكل جيد مع نظام التأريض للحماية من البرق ، والذي بدوره يجب أن يتصل مع نظام الربط متساوي الجهد للمبنى .

كذلك لا بد من الاشارة الى ضرورة مراعاة تركيب الموصلات الهابطة بحيث تكون المسافة الدنيا بينها وبين الأبواب والشبابيك لا تقل عن 0.5 متراً . ويبين شكل -42 بعض ترتيبات تركيب مكونات نظام الحماية من البرق .



شكل -42

12.8 تأريض نظام الحماية من البرق.

لا بد من تأريض نظام الحماية من البرق باستخدام طرق التأريض المعروفة وذلك للحصول على المقاومة الأرضية اللازمة، ويجب أن لا تزيد المقاومة الأرضية لنظام التأريض على 10 أوم. وعادة يتم تأريض نظام الحماية باستخدام مكاهر تأريض عامودية مطمورة في الأرض. وتحسب مقاومة الارضي كما ورد في فصل التأريض. ويكون الحساب صحيحاً للتيارات الكهربائية التي قيمتها غير كبيرة نسبياً. أما للتيارات الكبيرة وخاصة تيار البرق فيظهر نتيجة لذلك فرق جهد كهربائي حول المكهر يؤدي إلى إنهيار التربة كهربائيا وظهور شرر، وكأن ذلك يؤدي إلى كبر أبعاد المكهر الأرضي. ويتم أخذ ذلك بعين الاعتبار باستخدام معامل النبضة Impulse coefficient، في هذه الحالة فإن مقاومة الأرضي تساوي:

$$Re = \alpha_1 . R$$

حيث ان:

Re–مقاومة النبضة الأرضية Impulse Earth Resistance.

α_1–معامل النبضة.

ويعتمد معامل النبضة على نوعية التربة وقيمة التيار الذي يمر بمكهر أرضي واحد، ويبين جدول -13 قيمة هذا المعامل.

جدول (13)

قيمة معامل النبضة

نوع المكهر الأرضي	نوعية التربة			
	طينية	طفالية	شبه رملية	رمل
مكاهر عامودية العدد 2-4	0.5	0.45	0.3	
8	0.7	0.55	0.4	0.3
15	0.8	0.7	0.55	0.4
شريطان أفقيان طول كل منهما 5m ويفترقان في إتجاهين متضادين من نقطة التقاء الموصل الهابط.	0.65	0.55	0.45	0.4
ثلاثة شرائط طول كل منها 5 أمتار تفترق بالتماثل من نقطة إلتقاء الموصل الهابط.	0.7	0.6	0.5	0.45

وإذا استخدم للتأريض أكثر من مكهر أرضي ، فإن المقاومة الأرضية الكلية تساوي :

$$R_e = \frac{\alpha_i \cdot R}{\eta_i \cdot n}$$

حيث ان :

η_i -معامل الاستفادة النبضية .

ويعتمد معامل الاستفادة النبضية η_i على طول المكاهر والمسافة بينها وترتيبها الهندسي . ويمكن استخدام القيم التالية :

للمكاهر العمودية المتصلة فيما بينها بشرائط أفقية .

والمسافة بين المكاهر أكبر بمرتين من طول المكهر 0.75 .

شريطان أفقيان يفترقان في اتجاهين متضادين 1 .

ثلاثة شرائط أفقية تفترق بانتظام في اتجاهات مختلفة 0.75 .

ويبين جدول -14 العلاقة بين المقاومة الأرضيةوالمقاومة النبضية للتيار المتناوب .

جدول (14)

العلاقة بين المقاومة الأرضية والمقاومة النبضية للتيار المتناوب

المقاومة النبضية/ أوم	المقاومة الأرضية/ أوم		
	تربة زراعية سوداء	طفال رملي	رمل
5	5	7.5	10
10	10	15	20
20	20	30	40
30	30	45	60
40	40	60	80

ويمكن تنفيذ نظام الأرضي للحماية من البرق بعدة أساليب. فإذا تم استخدام شريط أرضي أفقي فيجب أن يدفن على عمق 0.5 متراً في الأرض وعلى مسافة متر واحد من المبنى، وعادة يكون أدنى طول لهذا الشريط هو 20 متراً. أما إذا تم دفن هذا الشريط على أعماق كبيرة فان الطول الأدنى يصبح 9 أمتار. أما إذا استخدم نظام تأريض شعاعي Radial earth فان الزاوية بين الشعاعين تكون 60°.

إن أفضل طريقة لتأريض نظام الحماية من البرق هو أن يتم توصيل كل موصل هابط مع مكهر أرضي تم توصيل هذه المكاهر بشريط نحاسي بحيث يشكل حلقة مغلقة حول المبنى بحيث تكون المسافة بين هذه الانشوطة المغلقة Enclosed loop والمبنى لا تقل على متر ويتم دفنها على عمق نصف متر على الأقل، ثم يتم توصيل هذه الانشوطة مع نظام الربط متساوي الجهد للمبنى. وفي حالة تنفيذ نظام تأريض للمبنى منفصلاً عن أرضي الحماية من البرق فلا بد أن نراعي المسافة بينهما، ويفضل في هذه الحالة أن يتم دفن نظام تأريض المبنى على عمق أكبر من عمق دفن انشوطة التأريض لنظام الحماية من البرق.

13.8 إعتبارات تصميمية

عند تصميم نظام الحماية من البرق فإننا نتعامل مع تيار قيمته كبيرة جدا وفترته قليلة، لذلك لا بد أن نأخذ بعين الاعتبار التأثيرات الناتجة عن مرور هذا التيار في الموصلات. فعند مرور تيار كهربائي في موصل ينتج عنه تأثيرات حرارية وتأثيرات ميكانيكية وتأثيرات كهربائية. وسندرس هذه التأثيرات وكيفية أخذها بعين الاعتبار عند تصميم نظام الحماية من البرق.

أ-التأثيرات الحرارية:

كما ذكرنا سابقا فإن البرق عبارة عن قنال من البلازما يبلغ قطره من 1 إلى 2سم. وتصل درجة حرارة هذا القنال إلى حوالي 30000 كلفن، ورغم أن مدة تأثير هذا التيار لا تزيد عن أجزاء من الثانية، إلا أنه يؤدي الى إرتفاع حرارة الموصل، وفي بعض الأحيان يحدث إختراق لمناطق المعدن الضعيفة (وقد لوحظ ذلك في أجسام الطائرات).

يتناسب إرتفاع درجة حرارة المعدن عند مرور تيار كهربائي فيه قيمته i مع $\int i^2 dt$ وأكبر قيمة تم تسجيلها تساوي 10^7 أمبير ^{2}. ثانية، وقد أجريت حسابات إرتفاع درجة حرارة موصلات نحاسية بمقاطع مختلفة، وتبين أن إرتفاع درجة حرارة الموصلات المستخدمة في نظام الحماية كان معتدلاً وكذلك الأمر بالنسبة لموصلات الألومنيوم.

وقد تبين من الحسابات أن التأثيرات الحرارية الناتجة عن البرق على الموصلات النحاسية وموصلات الألومنيوم في نظام الحماية من البرق يمكن إهمالها. وبالتالي فإن مساحة المقطع المقترحة لهذه الموصلات تعتبر جيدة من زاوية التأثيرات الحرارية.

أما بالنسبة لموصلات الفولاذ المجلفن، فقد بينت الحسابات أن الموصل الذي مساحة مقطعة 56مم^2 (الكود السويسري) قد إرتفعت درجة حرارته إلى 140م، وهذا أيضاً مقبول.

نستنتج من ذلك، أن جميع الموصلات المستخدمة في نظام الحماية من البرق والواردة في التنظيمات الوطنية للدول المختلفة تستطيع تحمل التأثيرات الحرارية الناتجة عن تيار البرق.

ب-التأثيرات الميكانيكية

يمكن النظر إلى التأثيرات الميكانيكية لتيار البرق من زاويتين، الأولى موجة الصدمة Shock wave والثانية قوى الانثناءBending forces. تنتج موجة الصدمة بتأثير درجة الحرارة العالية في قنال الوميض حيث ترتفع درجة حرارة الهواء المحيط إرتفاعاً كبيرا في زمن صغير. وهذا يؤدي إلى ضغط في المدى الصوتي Supersonic. وبسبب هذا الضغط صوت الرعد الذي نسمعه مصاحبا للعواصف البرقية إضافة الى تأثيراته على سطوح المباني وخلخلة المواد وأحيانا تطايرها والتي تؤدي الى إصابات في الأرواح.

وكما نعرف فإن مرور تيار كهربائي في موصلين متوازيين يؤدي إلى ظهور قوة بين هذين الموصلين قد تؤدي إلى إبعاد أو تقريب الموصلين إعتماداً على اتجاه التيار الكهربائي. وتعتمد هذه القوة على مربع التيار وتتناسب عكسيا مع المسافة بينهما.

وإنطلاقا من ذلك لا بد أن تكون موصلات نظام الحماية مثبتة بشكل جيد، ويجب التقليل ما أمكن من الوصلات، وأن تكون الوصلات إن وجدت متداخلة، وأن لا يقل التداخل Overlap عن 19مم. كذلك لا بد من تجنب الانحناءات الحادة عند تحديد موصلات الحماية.

جـ-الاعتبارات الكهربائية:

إن أحد أهم التأثيرات الكهربائية لتيار البرق هو ما يسمى بالوميض الجانبي Side flash، حيث كان هذا الوميض سببا في هلاك الأشخاص وتدمير المباني والمنشآت. لذلك أولت جميع التنظيمات عناية كافية لهذه الظاهرة في محاولة لتجنب آثارها الضارة.

عندما يسير تيار البرق في الموصلات الهابطة والمقاومة الأرضية فإنه يسبب هبوطا في الفولطية، ويتكون هبوط الفولطية هذا من هبوط الفولطية في المقاومة الأرضية Resistive voltage drop وهبوط الفولطية في الموصل الهابط Inductive voltage drop ويساوي هبوط الفولطية في المقاومة الأرضية :

$$V_R = I_L . R_c$$

ويساوي هبوط الفولطية في الموصل الهابط :

$$V_L = L \frac{di_L}{dt}$$

حيث ان :

I_L- تيار البرق.

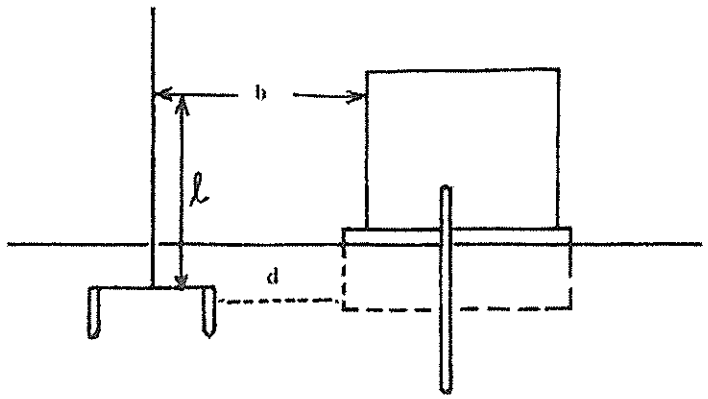
L- محاثة الموصل الهابط.

ولغايات تبسيط الحساب يتم جمع هبوط الفولطية في المقاومة وهبوط الفولطية في الموصل الهابط جمعا جبريا وليس هندسيا كما هومفروض. لذلك فالفولطية القصوى تساوي :

$$V = V_R + V_L = I_L . R_e + L \frac{di_L}{dt}$$

فمثلاً، إذا وجدت بقرب مكاهر التأريض لنظام الحماية من البرق أية خدمات أخرى أنابيب مياه، خطوط هاتف وكهرباء)فيمكن أن يحدث الوميض الجانبي إذا كانت الفولطية القصوى (V) الناتجة عن مرور تيار البرق أكبر من فولطية الانهيار Disruptive voltage للمادة الفاصلة بين الخدمات ومكهر التأريض. ويسبب هذا الوميض الجانبي دمار تلك الخدمات وقد يؤدي إلى حرائق.

وكمثال على ذلك فإن شكل -43 يبين مبنى وبجانبه قضيب الحماية من البرق.



شكل -43

لنفترض أن تيار البرق يساوي 150 كيلو أمبيراً وإن معدل تغير التيار هو 30 كيلو أمبير/ ميكروثانية، ومحاثة الموصل الهابط تساوي المحاثة النوعية مضروبة في طول الموصل. أي ان:

$$L= L_o . \ell$$

ويمكن اعتبار L_o مساوية 1.7 ميكروهنري للمتر، من هنا فإن قيمة الفولطية على إرتفاع ℓ تساوي:

$$V= 150 R_e+30 \times 1.7 \times 10$$

فإذا إعتبرنا المقاومة الأرضية تساوي 10أوم فإن:

$$V= 1500+510=2010 \text{ KV}$$

فإذا كانت فولطية الانهيار للفراغ بين قضيب الحماية والمبنى أقل من الفولطية V الناتجة عن تيار البرق فإن وميضا جانبيا يحدث بسبب إنهيار الثغرة الهوائية، وحتى لا يحدث إنهيار فإن المسافة b تحسب كما يلي :

$$b \geq \frac{V}{E}$$

حيث أن :

E-فولطية الانهيار للهواء وتساوي 500 كيلو فولط للمتر.

من ذلك نستنتج أن :

$$b = \frac{150R_e + 50\ell}{500} = 0.3\ R_e + 0.1\ell$$

وحتى لا يحدث إنهيار في التربة بين المكاهر الأرضية وأية أنابيب معدنية موجودة فإن المسافة d تحسب كما يلي :

$$d \geq \frac{I.R_e}{E_1} = \frac{150R_e}{300} = 0.5\ R_e$$

حيث ان :

E_1- هي فولطية الإنهيار للتربة وتساوي 300 كيلو فولط/ متر.

وتحدد المواصفات البريطانية مسافات الإبراء Clearances (b,d) بحيث تكون مسافة الإبراء لهبوط الفولطية في المقاومة الأرضية تساوي 0.3 متر لكل أوم من المقاومة الأرضية، ومسافة الإبراء لهبوط الفولطية في المحاثة (الموصل الهابط) تساوي 0.3 متر لكل خمسة أمتار من طول المفاصل. فإذا كانت المواصفات تشير إلى أن المقاومة الأرضية يجب أن لا تقل عن 10 أوم، فهذا يعني أن مسافة الإبراء لهبوط الفولطية في المقاومة الأرضية يجب ان لا تقل عن ثلاثة أمتار.

وتعتمد مسافة الإبراء لهبوط الفولطية في المحاثة على مميزات Parameters تيار البرق وعدد الموصلات الهابطة. فإذا كان عدد الموصلات الهابطة يساوي n فإن مسافة الابراء تتحدد كما يلي :

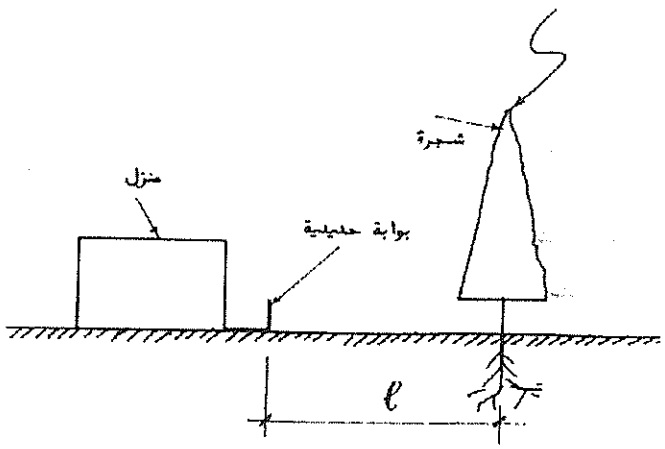
$$b \geq 0.3Re + \frac{0.1l}{n}$$

14.8 دراسة بعض الحالات العملية

أ-وجود أشجار عالية قرب المنازل

تشكل الأشجار العالية الموجودة قرب المنازل والمباني خطراً على هذه المباني إذا كان إرتفاعها أعلى من إرتفاع المبنى. ويبين شكل -44 إحدى هذه الحالات، حيث يوجد منزل له بوابة حديدية تبعد عن شجرة مسافة ℓ. نفترض أن عاصفة برقية ضربت الشجرة. هناك إحتمال أن يحدث إنهيار كهربائي للتربة على مسافة ℓ بحيث يتم تدمير التمديدات الكهربائية الموجودة في المنزل. وحتى نحسب ذلك بالأرقام، نفترض أن مقاومة جذر الشجرة يساوي 20 أوماً وإن المسافة بين الشجرة والمنزل ℓ تساوي 7 أمتار، كذلك نفرض أن قيمة تيار البرق 150 كيلو أمبيراً، ومعدل تغيره يساوي30 كيلو أمبيراً / ميكروثانية. هبوط الفولطية في مقاومة جذر الشجرة الناتج عن تيار البرق يساوي:

$$V = I.R_e = 150 \times 20 = 3000 \text{ KV}$$



شكل -44

وبما أن المسافة بين المنزل والشجرة تساوي سبعة أمتار. فإن الفولطية المقاومة With Stand voltage-تساوي:

$$300 \times 7 = 2100 \text{KV}$$

أي أن هبوط الفولطية الناتج عن تيار البرق أكبر من الفولطية المقاومة، وبالتالي تنهار التربة كهربائياويسبب الوميض الجانبي حدوث دمار للأجهزة. لذلك، تحدد المواصفات عدداً من الاجراءات في مثل هذه الحالات، فيجب تمديد موصل هابط من أعلى نقطة في الشجرة بمحاذاة الساق. وإذا كانت فروع الشجرة كبيرة فيجب تمديد موصلات هابطة فرعية على كل فرع وربطها بإحكام بالموصل الهابط الرئيسي. وتكون الموصلات الهابطة في هذه الحالة من النحاس المجدول العادي Bare Stranded بمقطع 7/3.45 أو الألومنيوم بمقطع 7/3.4 وتؤرض هذه الموصلات باستخدام مكهرين في جهتين متقابلتين مع استخدام شريط موصل يحيط الشجرة على مسافة لا تقل عن 8 أمتار من مركز الشجرة.

أما إذا وجدت شجرة منفردة قريبة من المبنى فيمكن إهمال تأثيرها إذا كان طولها أقل من إرتفاع المبنى، أما إذا كان طولها أكبر من ارتفاع المبنى فإن مسافة الابراء تكون كما يلي:

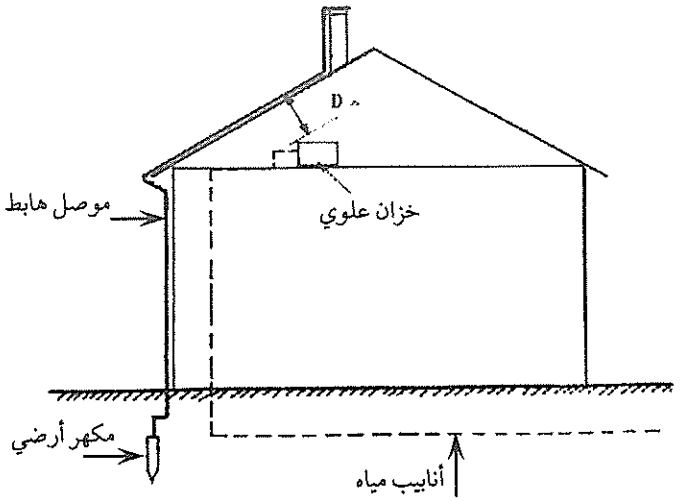
1-للمباني ذات الارتفاع العادي تكون مسافة الابراء مساوية لنصف ارتفاع المبنى.

2- وللمباني الخطرة التي تحتوي على مواد قابلة للاشتعال أو الانفجار تكون مسافة الإبراء مساوية لارتفاع المبنى.

ب-وجود خزانات مياه معدنية في مستودعات علوية

تستخدم المستودعات العلوية Lofts في كثير من المباني لتركيب خزانات مياه معدنية أو خزانات وقود فيها. وفي هذه الحالة فإذا لم تكن المسافة D كافية، يحدث وميض جانبي عندما يتعرض المبنى لضربة برق. يبين شكل -45 وجود خزان مياه معدني في المستودع العلوي لمبنى محمي بنظام حماية من ضربات البرق. لنفترض أن إرتفاع المدخنة عن سطح الأرض هوعشرة أمتار، وأن تيار البرق يساوي 150 كيلو أمبيراً، ومعدل تغير التيار هو 30 كيلو أمبيراً في ثانية. في هذه الحالة فان الفولطية في أعلى المدخنة (على فرض أن مقاومة الأرض تساوي 10 أوم). تساوي:

$$V=150 \times 10+1.7 \times 30 \times 10=2010KV$$



شكل – 45

يحدث إنهيار في الثغرة D إذا كانت فولطية الانهيار لها أقل من الفولطية التي ظهرت على المدخنة، لذلك فالمسافة D يجب ان تحقق ما يلي:

$$D \geq \frac{V}{E}$$

حيث ان E هي فولطية الانهيار للثغرة الهوائية D وتساوي 500 كيلوفولط/ متر. في حالتنا، فإن المسافة D يجب أن تحقق ما يلي:

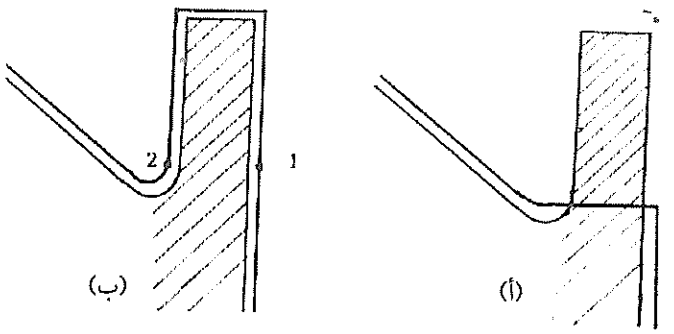
$$D \geq \frac{2010}{500} = 4m$$

أي أن المسافة D يجب أن تزيد على أربعة أمتار حتى لا يحدث وميض جانبي.

جـ-وجود بروز معماري في المبنى

يجب الحذر عند تحديد الموصلات الهابطة في حالة وجود بروز معماري في المبنى.

ويبين شكل -46 شكل بروز في مبنى، فإذا تم تحديد الموصل الهابط كما في شكل



شكل -46

(46- ب) فإن هذا الموصل يُشكل أنشوطة Loop حول ذلك البروز، وبالتالي يظهر فرق فولطية بين النقطتين أو في حالة تعرض المبنى لضربة برق وتساوي الفولطية في هذه الحالة ما يلي:

$$V = L_0 . \ell \frac{di}{dt} = 1.7 \ell \times 30 = 50\ell$$

وحتى لا يحدث انهيار كهربائي بين النقطتين 1 و 2 فإن المسافة بينهما يجب أن تحقق ما يلي:

$$b \geq \frac{50\ell}{E} = \frac{50\ell}{500} = 0.1\ell$$

أي أن المسافة بين النقطتين يجب أن لا تقل عن عشر طول الأنشوطة. وفي كثير من الحالات فإن التصميم المعماري لا يحقق ذلك. في هذه الحالة وحتى نتجنب تشكيل أنشوطة، يتم تمديد الموصل الهابط كما في شكل 46أ.

15.8 الحاجة إلى الوقاية من الصواعق

ليس هناك اسلوب موحد أو طريقة معتمدة في تقرير ما إذا كان المبنى بحاجة إلى نظام حماية من الصواعق، لأن العملية في النهاية هي مقارنة إقتصادية بين تكاليف نظام

الحماية وبين الأضرارDamge الناتجة عن ضربة الصاعقة . ويستثنى من ذلك المنشآت التالية :

1-الأماكن التي يتم فيها تخزين مواد متفجرة أو مشتعلة .

2-الأماكن التي تكون فيها مجموعة كبيرة من الأشخاص تتعرض حياتهم إلى الخطر أثناء ضربة الصاعقة .

3-المداخن العالية .

4-المباني التاريخية والأثرية .

5-الجوامع وأبراج الكنائس .

وقد تم إعتماد طريقة عملية لأول مرة في تقرير مدى الحاجة إلى الوقاية من الصواعق في الكود البريطاني عام 1965 . فقد اقترح شيبلي Shipleyعام 1943 مجموعة عوامل يمكن بواسطتها تقرير مدى الحاجة . وهذه العوامل هي :

1-إستعمالات المنشأ .

2-تكوين المنشأ وطبيعته .

3-أهمية محتويات المنشأ .

4-الآثار الناجمة عن ضربة الصاعقة .

5--موقع المنشأ وإرتفاعه .

6-تكرار حدوث العواصف الرعدية في موقع المنشأ .

وتُسمى هذه الطريقة بدليل المخاطرة Risk Index Method ، حيث تم تبويب كل عامل في جدول دليل المخاطرة ، ثم أعطي رقماً لقيمة الدليل . لذلك فلدينا 7 جداول ، فإذا كان حاصل جمع الأرقام الدليلية المأخوذة من الجداول أقل بشكل ملحوظ من 40 ، فإن الحاجة لنظام حماية من الصواعق لا تكون ضرورية . أما إذا كان المجموع مساويا40 أو أكثر فيلزم تركيب نظام حماية من الصواعق ، وتبين الجداول التالية قيم دليل المخاطرة .

جدول (15)

قيم دليل المخاطرة A (إستعمالات المبنى)

استعمال المبنى	قيمة الدليل (A)
البيوت السكنية والمباني الأخرى المشابهة لها في الأبعاد	2
البيوت السكنية والمباني الأخرى المشابهة لها في الأبعاد وذات الهوائيات الخارجية.	4
المصانع والمشاغل والمختبرات	6
أبنية المكاتب والفنادق والشقق والأبنية السكنية الأخرى غير الواردة.	7
أماكن الاجتماعات مثل المساجد والكنائس والقاعات والمسارح والمتاحف والمعارض والمجمعات التجارية والمحلات الكبيرة ومكاتب البريد ومحطات المواصلات والمطارات والملاعب الرياضية.	8
المدارس والمستشفيات ورياض الأطفال ومراكز التجمع الأخرى	10

جدول (16)

قيم دليل المخاطرة B (نوع بنية المنشأ)

نوع بنية المنشأ	قيمة الدليل (B)
هيكل فولاذي مغلق ذو سطح علوي (Roof) غير معدني ❖	1
خرسانة مسلحة وسطح علوي غير معدني	2
طوب أو خرسانة عادية أو حجر ذو سطح علوي غير معدني وغير قشي	4
هيكل فولاذي مغلق أو من الخرسانة المسلحة ذو سطح علوي معدني	5
هيكل أو تغليف خشبي ذو سطح علوي غير معدني أو غير قشي	7
طوب أو خرسانة عادية أو حجر ذو هيكل خشبي وسطح علوي معدني	8
أي مبنى ذو سطح علوي من القش	10

❖ يستثنى من هذه الجداول المنشآت المكونة من معدن مكشوف مستمر حتى الأرض.

جدول (17)

قيم دليل المخاطرة C (محتويات المبنى ونوعه)

محتويات المبنى ونوعه	قيمة الدليل (C)
مبان سكنية عادية أو مكاتب، مصانع ومشاغل لا تحتوي على محتويات ثمينة أو سريعة التأثر❖.	2
مبان صناعية أو زراعية تحتوي على مواد سريعة التأثر❖.	5
محطات كهرباء، محطات توزيع غاز، مقاسم هواتف أو محطات ارسال.	6
مصانع، نصب، مبان تاريخية، متاحف، مبان، ومعارض فنية أو مبان أخرى ذات محتويات قيمة.	8
مدارس، مستشفيات، رياض أطفال أو ملاجئ وأماكن تجمع أخرى.	10

❖مصنع مهم أو مواد قابلة للاحتراق أو التأثر بنتائج الحريق.

جدول (18)

قيم دليل المخاطرة D (درجة عزلة المبنى)

درجة عُزلة المبنى	قيمة الدليل (D)
منشأ يقع في منطقة واسعة ذات منشآت أو أشجار عالية (كالبلدان الكبيرة أو مناطق الغابات) إرتفاعها يساوي أو أكبر من إرتفاع المنشأ.	2
منشأ يقع في منطقة قليلة المنشآت أو ذات أشجار إرتفاعها يساوي إرتفاع المنشأ.	5
منشأ منعزل تماماً أو يزيد ارتفاعه عن ضعف إرتفاع المنشآت أو الأشجار المحيطة به على الأقل.	10

جدول (19)

قيم دليل المخاطرة E (طبيعة المنطقة التي يوجد فيها المنشأ)

طبيعة المنطقة	قيمة الدليل (E)
منطقة منبسطة على أي منسوب	2
منطقة تلال	6
منطقة جبلية إرتفاعها بين 300و 900 متر	8
منطقة جبلية يزيد إرتفاعها عن 900 متر	10

جدول (20)

قيم دليل المخاطرة F (إرتفاع المنشأ فوق سطح البحر)

إرتفاع المنشأ فوق سطح البحر		قيمة الدليل(F)
يزيد عن	لغاية	
	9 أمتار	2
9 أمتار	15 مترا	4
15 أمتار	18 مترا	5
18 مترا	24 مترا	8
24مترا	30 مترا	11
30مترا	38 مترا	16
38مترا	46 مترا	22
46مترا	53 مترا	30

جدول 21

قيم دليل المخاطرة G (عدد الأيام الرعدية في السنة)

قيمة الدليل (G)	عدد الأيام الرعدية في السنة*	
	لغاية	يزيد عن
2	3	–
5	6	3
11	12	6
14	15	12
17	18	15
20	21	18
21	-	21

* يتم الحصول على عدد الأيام الرعدية في السنة للمنطقة التي يوجد فيها المنشأ من الجهات المختصة(مثل الأرصاد الجوية). وفي حالة غياب المعلومات يمكن استخدام شكل -1 أو جدول 2.

ومن الجدير ملاحظته أن الطريقة السابقة التي تبناها الكود البريطاني قد إعتمدت على أن عدد الأيام الرعدية في السنة يساوي 21 يوماً. وهو رقم مناسب للظروف البريطانية، وقد إعتمد الكود الأردني (كود الوقاية من الصواعق)هذه الطريقة بحذافيرها، رغم أن عدد الأيام الرعدية في السنة يختلف عن الرقم الأسبق. كذلك تم استخدام الطريقة البريطانية في استراليا (عدد الأيام الرعدية يتراوح بين 50 و90)، والاختلاف الوحيد أن قيم دليل المخاطرة يمكن أن تكون صفرا أو رقما سالبا.

أما الكود السويسري فيصنف المنشآت إلى عدد من الفئات التيّ تحتاج إلى حماية. ويصنف الكود المجري المنشآت حسب استخدامها وإرتفاعها والمواد المستخدمة في السطوح ودرجة تلوث الهواء.

مثال محلول :

مبنى مكاتب من الخرسانة المسلحة إرتفاعه(30) مترا، وسقفه غير معدني، موجود

في مدينة عمان . إحسب باستخدام قيم دليل المخاطرة مدى حاجة المبنى لنظام حماية من البرق .

الحل :

نستخدم الجداول 15 إلى 21 لايجاد قيم دليل المخاطرة :

قيمة دليل المخاطرة A=7 (جدول -15).

قيمة دليل المخاطرة B=4 (جدول -16).

قيمة دليلC=2 (جدول -17).

قيمة دليل المخاطرة D-10 (جدول -18). نفترض أن إرتفاع المبنى يزيد عن ضعف إرتفاع المنشآت الأخرى أو الأشجار المحيطة به .

قيمة دليل المخاطرة E=8 (جدول -19).

قيمة دليل المخاطرة F-11 (جدول-20).

قيمة دليل المخاطرة G=11(جدول -21) ، حيث إعتبرنا أن عدد الأيام الرعدية في السنة للمنطقة التي يقع فيها المبنى يساوي 7 (منطقة المدرج الروماني من جدول -2).

مجموع قيم دليل المخاطرة G,F,E,D,C,B,A يساوي :

$$7+4+2+10+8+11+11=53$$

نستنتج ضرورة حماية هذا المبنى من ضربات البرق .

وتستخدم المواصفات البريطانية BS- 6651 طريقة رياضية بسيطة لحساب عامل الخطورة الكلي Overall risk factor لتقدير مدى الحاجة إلى نظام الحماية من البرق . وتقترح هذه الطريقة قيمة معينة لعامل خطورة ضربات البرق Lightning strike risk factor . والقيمة المقبولة لهذا العامل تساوي 10^{-5} في السنة (أي 1 في المئة ألف في السنة)، فإذا كانت قيمة عامل الخطورة الكلي أقل من 10^{-5} فإن الحماية غير ضرورية ، أما اذا كانت قيمة عامل الخطورة أكبر من 10^{-5} فإن الحماية من البرق للمنشأ تصبح ضرورية .

ويساوي عامل الخطورة الكلي ما يلي :

$$RF=P \times O.W.F$$

$$P = Ac \times N_g \times 10^{-6}$$

حيث ان :

RF=عامل الخطورة الكلي ،

O.W.F–عامل التثقيل الكلي Overall weighing factor .

Ac–المساحة الكلية للمبنى ومسقطه (مساحة التجميع) .

Ng–كثافة الوميض الأرضي .

P–إحتمال تعرض المبنى لضربات البرق .

ويمكن الرجوع إلى الفقرة 6 لمعرفة طريقة حساب المساحة الكلية للمبنى ومسقطه وإحتمال تعرض المبنى لضربات البرق .

أما عامل التثقيل الكلي فيساوي حاصل ضرب عوامل التثقيل المختلفة :

$$O.W.F=AxBxCxDxE$$

حيث أن عوامل التثقيل E,D,C,B,A, تبينها الجداول التالية :

جدول (22)

قيم عامل التثقيل A (استعمال المنشأ)

إستعمال المنشأ	عامل التثقيل (A)
البيوت السكنية والمباني الأخرى المشابهة لها في الأبعاد.	0.3
البيوت السكنية والمباني الأخرى المشابهة لها في الأبعاد وذات الهوائيات الخارجية.	0.7
المصانع والمشاغل والمختبرات.	1.0
أبنية المكاتب والفنادق والشقق والأبنية السكنية الأخرى غير الواردة سابقا.	1.2
أماكن الاجتماعات مثل المساجد والكنائس والقاعات والمسارح والمتاحف والمعارض والمجمعات التجارية والمحلات الكبيرة ومكاتب البريد ومحطات المواصلات والمطارات والملاعب الرياضية.	1.3
المدارس والمستشفيات ورياض الأطفال ومراكز التجمع الأخرى.	1.7

جدول (23)

قيم عامل التثقيل B (نوع بنية المنشأ)

نوع بنية المنشأ	عامل التثقيل (B)
هيكل فولاذي مغلق ذو سطح علوي (Roof) غير معدني ❖	0.2
خرسانة مسلحة وسطح علوي غير معدني	0.4
هيكل معدني أو خرسانة مسلحة وسطح علوي معدني	0.8
طوب أو خرسانة عادية أو حجر ذو سطح علوي غير معدني وغير قشي	1.0
هيكل أو تغليف خشبي ذو سطح علوي غير معدني أو غير قشي	1.4
طوب أو خرسانة عادية أو حجر ذو هيكل خشبي وسطح علوي معدني	1.7
أي مبنى ذو سطح علوي من القش	2.0

❖ يستثنى من هذه الجداول المنشآت المكونة من معدن مكشوف حتى الأرض، حيث لا يتطلب مثل هذا المبنى حماية من البرق عدا عن ترتيبات التأريض في مثل هذه الحالة.

جدول (24)

قيم عامل التثقيل C (محتويات المبنى ونوعه)

محتويات المبنى ونوعه	عامل التثقيل(C)
مبان سكنية عادية أو مكاتب، مصانع ومشاغل لا تحتوي على محتويات ثمينة أو سريعة التأثر❖.	0.3
مبان صناعية أو زراعية تحتوي على مواد سريعة التأثر❖.	0.8
محطات كهرباء، محطات توزيع غاز، مقاسم هواتف أو محطات ارسال.	1.0
مصانع، نصب مبان تاريخية، متاحف، مبان ومعارض فنية أو مبان أخرى ذات محتويات قيمة.	1.3
مدارس، مستشفيات، رياض أطفال أو ملاجيء وأماكن تجمع أخرى.	1.7

❖ يعني ذلك مصانع مهمة أو مواد قابلة للاحتراق أو التأثر بنتائج الحريق.

جدول (25)

قيم عامل التثقيل D (درجة عزلة المبنى)

درجة عُزلة المبنى	عامل التثقيل (D)
منشأ يقع في منطقة واسعة ذات منشآت أو أشجار عالية (كالبلدان الكبيرة أو مناطق الغابات) إرتفاعها يساوي أو أكبر من إرتفاع المنشأ.	0.4
منشأ يقع في منطقة قليلة المنشآت أو ذات أشجار إرتفاعها يساوي إرتفاع المنشأ.	1.0
منشأ منعزل تماما أو يزيد إرتفاعه على ضعف ارتفاع المنشآت أو الأشجار المحيطة به على الأقل.	2.0

جدول (26)

قيم عامل التثقيل E (طبيعة المنطقة التي يوجد فيها المنشأ)

طبيعة المنطقة	عامل التثقيل (E)
منطقة منبسطة على أي منسوب	0.3
منطقة تلال	1.0
منطقة جبلية ارتفاعها بين 300 و900 متر	1.3
منطقة جبلية يزيد ارتفاعها عن 900متر.	1.7

مثال محلول :

في المثال السابق نفترض ان أبعاد مبنى المكاتب كما يلي :

L= 60m

W= 50m

H=30m

الحل :

عدد الأيام الرعدية للمنطقة التي يوجد فيها هذا المبنى 7 أيام(جدول 2). كثافة الوميض الأرضي Ng (من جدول -4).

$N_g = 0.5$

نحسب مساحة التجميع

$$A_c = LW + 2LH + 2WH + \pi H^2$$

$$=60x50+2x60x30+2x50x30+\pi x30^2=12427m^2$$

نحسب احتمال تعرض المبنى لضربة برق P.

$$P = Ac \times Ng \times 10^{-6} = 12427 \times 0.5 \times 10^{-6} = 0.0062$$

نجد من الجداول 22-26 عوامل التثقيل المختلفة :

A=1.2

B=0.4

C=0.3

D=0.4

E=1.3

نجد عامل التثقيل الكلي كما يلي :

$$O.W.F = AxBxCxDxE = 1.2x0.4x0.3 \times 0.4 \times 1.3$$

$$= 0.07488$$

كذلك ، فإن عامل التثقيل الكلي كما يلي :

$$RF = P \times O.W.F = 0.0062 \times 0.07488 = 0.00046$$

وبما أن المعيار لدينا هو 10^{-5} ، وبما ان عامل الخطورة الذي حصلنا عليه هو $(10^{-4} \times 4.6)$ لذلك فإن الحماية ضرورية لهذا المبنى .

وهكذا نجد أن الطريقتين المذكورتين سابقا في الحساب تؤديان إلى نفس النتيجة وهي ضرورة حماية المبنى المذكور من ضربات البرق .

المراجع الأجنبية

1- Requirements for Electrical Installations/ IEE Wiring regulations - 16th Edition , BS 7671: 1992.

2- Protection against Overcurrent, Guidance notes # 6 to 16th Edition of Witing Regulations.

3- Protection against Electrical Shock. Guidance notes # 5 to 16th Edition of Wiring Regulations.

4- Selection and Erection. Guidance notes # 1 to 16th Edition of Wiring Regulation.

5- Inspection and Testing. Guidance notes # 1 to 16th Edition of Wiring Regulations.

6- Geoffrey Stokes.
A Practical Guide to the wiring Regulations. 2nd Edition, Black well Science Ltd. 1999.

7- Electrical Installation Guide according to IEC International Standards. Technical Series, Groupe Schnieder.

8- Standards Site Grounding and Lightning protection. Comnet Ericsson Publications.

9- Roy B. Carpenter , Jr., Mark N. Drabkin.
Lightning Strike, Protection . Publication of Lightning Eliminators & Consultants, USA.

10- Princples for Designing External Lightning protection Systems. Publications of DEHN _ SOHNE GMBH + CO. KG.

11- Guide to Selection for Low Voltage Equipment . Publications of ABB.

12- Bussmann - Electrical protection Handbook. Publication of Cooper Bussman.

13- Trevor Charlton.
Earthing Practice. Publication of Copper Development Association.

14- Roland Calvas.
Residual Current Devices in LV. Cahier technique No 114. Publication of Schnieder Electric.

15- Etienne Blanc.
Development of LV Circuit Breakers to Standard IEC 947-2. Cahier Technique No 150. Publications of Schnieder Electric.

16- Ronald Calvas, Benoit De Metz Noblat, Andre Ducluzaus, Georges Thomasset.
Calculation of Short Circuit Currents . Cahier Technique No 158, Publications of Schnieder Electric.
17- B. Lacroix, R. Calvas.
Earthing Systems in LV. Cahier Techique No 172, Publications of Schnieder Electric.
18- B. Lacroix, R. Calvas
Earthing Systems Worldwide and Evaluations . Cahier Technique No 173, Pubications of Schnieder Electtric.
19- F. Jullien, I. Heritier.
The IT Earthing System (unearthed neutral) in LV. Cahier Technique No 178, Publications of Schnieder Electric.
20- A Simple Approach to Short Circuit Calculations. Part 1, Bulletin EDP- 1, Cooper Bussmann Publications.
21- A Working Manual on Molded Case Circuit Breakers - Breaker Basics, 4th Edition , Westinghouse Publications.
22- Low Voltage Air Circuit Breakers - SACE Emax, Technical Catalogue 649253/012 en june 1997, ABB Publications.
23 - B.D. Jenkins, M. Coates.
Electrical Installation Calculations. 2 nd Edition, Blackwell Science, Electrical Contractors' Association, 1998.
24- Viv Cohen.
Application Cuide for the protection of LV Distribution Systems. Circuit Breaker Industries Ltd Publications, 1997.
25- R.H. Golde.
Lightning Protection. Edward Arnold Publications, 1973.
26- IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial power Systems . IEEE Std 242 - 1986. Published by IEEE.
27- IEEE Recommended practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants. IEEE Std 141- 1993. Published by IEEE.
28- IEEE recommended practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems. IEEE Std 142-1991. Published by IEEE.
29- IEEE Recommended Practice for Electric Power Systems in Commercial Buildings. IEEE Std 142-1991. Published by IEEE.

30- Distribution Engineering Guidelines DEG-1- (Revision 3), Estimation of Customer load. Suadi Consolidated Electric Company in the Eastern Province, 1996.
31- Electricity Regulations and Guide for Electrical Contractors and Wiremen in UAE, Ministry of Electricity and Water, 1977.
32- M.W. Earley, J. M. Caloggero, J. V. Sheehan.
National Electrical Code Handbook. 7th Edition. NEPA Publications. 1996.
33- Roy B. Carpenter Jr, Josef A. Lanzoni.
Designing for a Low Resistance Earth Surface (Grounding). An EEC Publication, 1997.
34- Understanding Ground Resistance Testing Workbook. Edition 6.0 950. WKBK- GRO. An Internet Document.
35- Lighting manual . 5 th Edition, Philips Lighting 1993.
36- W.J.M. Van Bommel, J. B. de Boer
Road lighting. Philips Technical Library, 1980.
37- Morris A. Colwell.
Project Planning and Building. A Newnes Construction Guide, 1976.
38- L.A. Dena
Units of Physical Quantities and their Dimensions. Mir publishers, Moscow, 1972.
39- Frederick S. Merrit
Mechanical and Electrical Design of Buildings for Architects and Engineers. McGraw - Hill Book company , 1966.
40- F. Porges
The Design of Electrical Services for Buildings ., London E. & F.N. SPONS, 1975.
41- Recommendations Handbook for the Protection of Structures against Lightning. Furse publication CHB/12/92, CI/SfB 68.6.
42- John E. Traister
The Electrician's Troubleshooting Pocket Guide. Mc Graw - Hill, 1996.
43- Electronic Systen Protection Handbook. A Guide to Protecting Electronic Equipment from Lightning and Transient Overvoltages. Furse publications.

44- IEC - 364, 5-523. Current Carrying Capacities, IEC, 1983.
45- Electrical Installation of Buildings, IEC- 364 publications.
46- IES Lighting Fundamentals Course, published by IES of North America, 345 East 47th Str. NY 10017.
47- Exterior Lighting - EC- 100.8, IES.
49- British Standards Institution.
50- B.P. Larionov
Lightning Protection of Buildings and Industrial Structures. Energia, Moscow, 1974.
51- IES Lighting Handbook, 1981, Reference voume, John E. Kaufman (Editor), published by Illuminating Engineering Society of north America, 345 East 47 th Str. NY 10017.
52- IES Lighting Handbook, 1981, Application Volume, John E. Kaufman (Editor), published by Illuminating Engineering Society of North America, 345 East 47 th Str. NY 10017.
53- Mark W. Early, John M. Caloggero, Joseph V. Sheehan.
National Electrical Code of Practice 1996. 7th Edition, NEPA.
54- Electrical Installation Handbook. Part 1- Power Supply and Distribution Systems. Siemens Aktiengesellschaft. John Wiley & sons, 1987.
55- Electrical Installation Handbook. part 2- Power Cables, Protective Devices, Meters, Power Factor Correction, Standby Power - Power Systems, Lightin, Space Heatin, Light Installations. Siemens Aktiengesellschaft. john Wiley & sons, 1987.
56- Electrical Installation Handbook. Part - 3 - Large Buildings and Outdoor Areas, Special Installations, Installation Specifications and Safety Measures. Siemens Aktiengesellschft. John Wiley & sons, 1987.
57- IEEE Recommended Practice for applying Low Voltage Circuit Breakers used in Industrial and Commercial Power Systems. IEEE std 1015-1997. Published by IEEE.
58- Swichgear Manual. 8 th edition, ABB Pocket Book, 1988.
59- I.K. Tulshen, G.I. Nidler
Electrical Wiring of Public Buldings. Energoatomizdat, moscow, 1983.
60- George R. Strakosch
Vertical Transportation: Elevators & Escalators. 2 th Edition. John Wiley & Sons. 1983.

61-British Standards Code of Practice for Earthing BS 7430:1991 (Formerly CP 1013:1965).
62- Discrimination with LV Power Circuit Breakers.Cahier Technique N =201. Publication of Schnieder - Elective.
63- Noel M. Morris. Essential Formulae for Electronic and Press Electrical Engineers,. 2 nd Edition - Macmillan Press 1993.
64- K.A. Stroud. Engineering Mathematics. 5 th Edition, Macmillan Press, 2001.

المراجع العربية

1. د. هاني عبيد، د. محمد عالية
التمديدات الكهربائية وحمايتها. دار التنوير العلمي للنشر والتوزيع - عمان، والمؤسسة العربية للدراسات والنشر - بيروت. 1992.

2. د. هاني عبيد
الإنارة الاصطناعية. تخطيط وتصميم. نشر بدعم من نقابة المهندسين الاردنيين، عمان، 1986.

3- د. هاني عبيد
حسابات تيار قصر الدارة للمشاريع التجارية والصناعية. دار الشروق للنشر والتوزيع، عمان، 2000.

4- د. هاني عبيد
حساب التيار المقرر للموصلات الكهربائية من الناحية الحرارية. مجلة المهندس الاردني عدد 25 تشرين أول 1981، ومجلة اتحاد المهندسين العرب عدد 30، السنة 12، يناير 1982.

5- د. محمد عبد الفتاح عبيد
أسس الإنارة المعمارية. جامعة الملك سعود، الرياض، 1993.

6- احمد شفيق الخطيب
معجم المصطلحات العلمية والفنية والهندسية. انجليزي - عربي. الطبعة الخامسة، مكتبة لبنان.

7. منير بعلبكي
المورد. قاموس انجليزي - عربي، الطبعة العاشرة، دار العلم للملايين - بيروت، 1976.

8- معجم المصطلحات الفنية. طبعة جديدة 1984. انجليزي - عربي. الوطن العربي، بيروت - القاهرة.

9- محمد أحمد حمدان
القاموس الهندسي الشامل. انجليزي - عربي. دار الراتب الجامعية. بيروت.

10- د. أسعد عبد المجيد الاوسي.
معجم مصطلحات الهندسة الكهربائية الشامل. انجليزي - عربي. الدار العربية للعلوم، بيروت 1988.
11- كود الوقاية من الصواعق. دستور البناء الوطني الاردني، المجلد الثالث والعشرون، الجزء الرابع، وزارة الاشغال العامة والإسكان، الطبعة الاولى، 1988.
12- كود التأريض. دستور البناء الوطني الأردني، المجلد الثالث والعشرون، الجزء الرابع، وزارة الأشغال العامة والإسكان، الطبعة الأولى، 1988.
13- كود الخدمات الكهربائية للمباني. دستور البناء الوطني الأردني، المجلد الثالث والعشرون، الجزء الرابع، وزارة الأشغال العامة والإسكان، الطبعة الأولى، 1988.
14- ا.د. ويليامز
تكهرب العواصف الرعدية. مجلة العلوم، المجلد السادس، العدد الخامس 1989.
15- درزدوف ونيكولين
الخصائص الكهربائية للموصلات والعوازل. دار مير للطباعة والنشر، موسكو.

المصطلحات الفنية

الفصل الأول: الأحمال الكهربائية

Industrial Loads	الأحمال الصناعية
Appliances	أجهزة كهربائية (منزلية)
Space conditioning	تكييف الفراغ
Plumbing and Sanitation	المياه والصحة العامة
Data processing	معالجة المعطيات
Uninterruptible power supply	التغذية الكهربائية غير المنقطعة
Food preparation	تحضير الطعام
Special loads	أحمال خاصة
Load curve	منحنى الحمل
Single line diagram	مخطط أحادي الخط
Connected load	حمل مترابط (متصل)
Demand	طلب
Demand period	فترة الطلب
Thermal time constant	الثابت الزمني الحراري
Maximum demand	الطلب الاقصى
Diversified load	الطلب المتباين
Demand factor	عامل الطلب
Utilization factor	عامل الاستفادة
Rated capacity	السعة المقررة
Load factor	عامل الحمل
peak Load	حمل الذروة
Diversity factor	عامل التشتت (التباين)
Coincidence factor	عامل التطابق
Lighting load feeder demand factor	عامل الطلب لمغذيات الانارة
Heavy duty	مهمة ثقيلة
Compressor	ضاغطات
Arenas	مدرجات

Recirculate	إعادة تدوير
Main frame computer	الحواسيب المركزية الرئيسية
Boiler room	غرف المراجل
Draft fan	مراوح السحب
Electrical heating	التدفئة الكهربائية
Fresh air	هواء طازج
Fire protection	الحماية من الحريق
Fire alarm system	نظام انذار الحريق
Light hazard	المخاطرة الخفيفة
Counter weight	ثقالات
Geared	معشق
Gearless	غير معشق
Duty cycle	دورة تشغيل
Escalator	أدراج كهربائية
Lifts	مصاعد
Building management system	نظام إدارة البناء
Metal halide	هاليدي معدني
Guest room	غرف الفندق
Operational areas	مناطق تشغيلية
Residential customer	مستهلك منزلي
Commercial customer	مستهلك تجاري
Industrial customer	مستهلك صناعي
Agricultural customer	مستهلك زراعي
Individual equipment demand factor	عامل الطلب للمعدة الافرادية
Individual customer maximum demand	الطلب الأقصى للمستهلك الافرادي
Contracted load	الحمل التعاقدي
Power factor	عامل القدرة
Covered area	المساحة المغطاة
Oven	فرن

Furnances	مواقد
Clearances	(مسافات)إبراء
Trench	خندق
Duct	مجرى
Dimesions	أبعاد
Inlet air opening	فتحة دخول الهواء
Outlet air opening	فتحة خروج الهواء
Shutter	غطاء
Essential load	أحمال أساسية (حرجة)
Loading factor	عامل تحميل
Apparent power	قدرة ظاهرية
Under sizing	تقليل الحجم
Over sizing	زيادة الحجم
Synchronizing panel	لوحة تزامنية (تستخدم لتشغيل المولدات على التوازي)
Derate	تخفيض
Voltage dip	هبوط الفولطية
Variable speed motor drives	قيادات المحرك ذات السرعة المتغيرة
Voltage distortion	تشويه الفولطية

Electrical conductors	موصلات كهربائية
Specific resistance	مقاومة نوعية
Corrosion	صدأ
High conductivity copper	نحاس عالي الموصلية
International annealed copper standard	قياسية النحاس المُلدن العالمية
Polyvinel chloride (PVC)	البولي فينل كلورايد
Vulcanization	الفلكنة
Vulcanized rubber insulation	عازلية المطاط المُفلكن
Tinned	قصدرة
Plasticizer	مُلدنات
Brittleness	هشاشة (قصافة)
Active resistance	مقاومة فعّالة
Inductive reactance	مراكسة حثية
Complex quantity	كمية مركبة
Complex plane	سطح مركب
Euler identity	متطابقة أويلر
Temperature coefficient of resistivity	المعامل الحراري للمقاومية
Conductivity	موصلية
Inferred temperature for zero resistance	الحرارة المستدلة للمقاومة الصفرية
Alternating magnetic flux	الدفق المغناطيسي المتردد
Back emf	قوة دافعة عكسية
Permeability	نفاذية
Proximity effect	(ظاهرة) التأثير التقاربي
Proximity ratio	نسبة التقاربية
Self inductance	المحاكة الذاتية
Mutual inductance	المحاكة التبادلية
Ampacity	السعة الأمبيرية

Vandalism	تخريب
Sheath	قراب
Conduit	قناة
Code reference letter	الحرف الكودي المرجعي
Single-way duct	مجرى أحادي الطريق
Thermal	حراري
Thermination	طرف
Disconunting rate	معدل الخصم
Annual payment	دفعة سنوية
Monthly payment	دفعة شهرية
Present value	قيمة حالية
Kiln	تنور
Term	حد
Total term	حد كلي
Space factor	عامل فراغ

Active load	أحمال فعّالة
Voltage loss	فقد فولطية
Permissible voltage drop	هبوط فولطية مسموح به
Sending end	تُطلق على نقطة البداية في الخط الكهربائي
Receiving end	تطلق على نقطة النهائية في الخط الكهربائي
Voltage drop	هبوط الفولطية
Ring circuit	دارة حلقية
Skin effect	(ظاهرة) التأثير القشري
Clipped direct	تثبيت مباشر
Reduction factor	عامل تقليل
Origin of installation	نقطة الأصل للتمديدات
Current using equipment	تطلق على نقطة الاستهلاك الكهربائي
Service connection point	نقطة توصيل الخدمة الكهربائية
Point of utilization	نقطة الاستخدام

Static electricity	كهرباء ساكنة
Unearthed neutral	حيادي غير مؤرض
Arc lighting	إنارة قو سية
Creepage distance	مسافة زحف
Switchgear	(مُعدة أو لوحة) إبدال
Lightning impulse withstand voltage	فولطية الصمود النبضية البرقية
Power frequency withstand voltage	فولطية الصمود بتردد قدرة
Availability	متاحية
Conventional limit voltage	حد الفولطية المألوف
Contact voltage	فولطية تلامس
Wet places	أماكن مبلولة
Direct contact	تلامس مباشر
Indirect contact	تلامس غير مباشر
High sensitivity residual current device	نبيطة تيار متخلف حساسة
Protective conductor	موصلات وقاية
Main earthing terminal rod	قضيب تأريض رئيسي طرفي
Typical main bonding connection	توصيلات ربط رئيسية نمطية
Disconnecting link	وصلة فصل
Normal operating condition	حالة تشغيل عادية
Conductive parts	أجزاء موصلة
Fault limiting impedance	ممانعة تحديد العطل
Fault loop impedance	ممانعة إنشوطة العطل
Fault resistance	مقاومة العطل
Upstream	صاعد
Breaking time	زمن الفصل
Short circuit protection device	نبائط حماية قصر الدارة
Earthed equipotential bonding and automatic disconnection	الربط الأرضي متساوي الجهد والفصل التلقائي
Pre-arcing time	زمن ما قبل حدوث القوس

الفصل الخامس: قواطع الدارة

Circuit breakers	قواطع دارة
Fuses	مُصهرات
Switching device	نبيطة إبدال
Overload	حمل مفرط
Overload current	تيار الحمل المُفرط
Fault current	تيار العطل
Short circuit current	تيار قصر الدارة
Earth fault current	تيار العطل الأرضي
Low voltage network	شبكة الفولطية المنخفضة
International Electrotechnical commission	اللجنة الكهرو تقنية الدولية
Miniature circuit breakers	قواطع دارة صغرانية
Moulded case circuit breakers	قواطع دارة مقولبة
Air circuit breakers	قواطع دارة هوائية
Inrush currents	تيارات دفقية
Characterstics	مميزات
Close overload protection	حماية حمل مفرط قريبة
Auxiliary switch	مبدل إضافي (مساعد)
Motors control center	مراكز تحكم بالمحركات
Thermal-magentic sensing	تحسس مغناطيسي حراري
Hydraulic- magentic sensing	تحسس مغناطيسي هيدروليكي
Solid state electronic	الكترونيات الحالة الصلة
Isolated case circuit breaker	قواطع دارة ذات غلاف معزول
Electronic trip unit	وحدة مزق الكترونية
Are chute	قناة القوس
Quick-make-quick-break	قفل وفصل سريع
Handle	يد(ممسك)
Toggle mechanism	آلية مفصلية
Draw out breaker	قاطع يمكن سحبه
Condensation	تكثيف

Interrupting curve	منحنى المزق
Overload region	منطقة الحمل المفرط
Instantaneous region	المنطقة اللحظية
Unlatching time	زمن الإعتاق
Interrupting rating	مقرر الإعتاق
Power breakers	قواطع قدرة
Current transformer	محول تيار
Tolerance band	نطاق سماح
Multiple	مُضاعف
Latch	مزلاج
Maximum load current	تيار الحمل الأقصى
Starting current	تيار الإقلاع
Maximum permissible current	التيار الأقصى المسموح به
Nominal current	تيار أسمي
Setting current	تيار المعايرة
Tripping current conventioal	تيار مزق تقليدي
Minimum setting	معايرة دنيا
Magnetic trip value	قيمة المزق المغناطيسية
Reduction factor	عامل تخفيض
Short circuit level	مستوى قصر الدارة
Short circuit impedance	ممانعة قصر الدارة
Prospective short cirucit current	تيار قصر الدارة المتوقع
Symmetrical	متماثل
Current limiting circuit breaker	قاطع دارة تحديد التيار
Specific energy value	قيمة الطاقة النوعية
Protection coordination	تنسيق وقائي
Backup protection	حماية إحتياطية
Selective protection	حماية إنتقائية
Total selectivity	إنتقائية كلية
Current type selectivily	إنتقائية تيارية
Time type discrimination	تمييز زمني
Fault zone	منطقة العطل
Maximum current density	كثافة التيار القصوى

Complex plane	السطح المركب
Apparent power	القدرة الظاهرية
Inductive reactance	مراكسة حثية
Active component	مركبة فعّالة
Reactive component	مركبة مراكسة
Capacitive reactance	مراكسة سعوية
Power factor	عامل قدرة
Penalty factor	غرامة
Arc furnance	أفران قوسية
Compensation	مُعادلة
Vector diagram	مخطط متجهات شعاعية
Capacitors rating	مقرر المكثفات
Coincidence factor	عامل تطابق
Integrated reactive power	القدرة المراكسة المجمعة
Pole-mounted	عامودي التعليق
Floor-mounted	أرضي التركيب
Fuses with cutout	مصهرات مع قاطع
Arrester	كابح
Overvoltage	فولطية مفرطة
Surge arresters	كابحات تموّر
Switching	إبدال
Induction motors	محركات حثية
Self excitation	تهيج ذاتي
Magnetic inertia	قصور مغناطيسي
Wattless	لاوطي
Capacitive currents	تيارات سعوية
Overvoltage tripping relay	مرحلات مزق الفولطية المفرطة
Reverse power checking contacts	ملامسات فحص القدرة الراجعة
Target	هدف
Feeder	مغذي
Individual compensation	مُغذي فردية

Group compensation	مُعادلة جماعية
Centralized control	تحكم مركزي
Overcurrent relay	مرحل التيار المُفرط
Reduction factor	عامل تخفيض
Overcompensating	فرط المعادلة
Nonadjustable	غير منضبط
Compensation by sector	معادلة حسب القطاع
Fixed capacitor	مكثفات ثابتة
Automatically regulated capacitor	مكثفات منضبطة تلقائياً
Switching	أبدال
Power supply	تزويد كهربائي
Contactors	ملامسات
Device	نبيطة
Summation current transformer,	محول تيار تجميعي
Intermediate current transformer	محول تيار وسطي
Automatic power factor regulation	منظم عامل قدرة تلقائي
Dial	أقراص مدرجة
Band adjustable dial	قرص نطاق الضبط
Center value shifting dial	قرص إزاحة قيمة الوسط
Time setting	تعيير زمني
Target reactive power	القدرة المراكسة الهدف (المطلوبة)
Bank	مجموعات
Setting dial	قرص التعيير
Adjustable band	نطاق الضبط
Set piont	نقطة التعيير
Center value	قيمة الوسط
Lagging	تأخير (متأخر)
Leading	تقديم(متقدم)
Mangnetic release	إعتاق مغناطيسي
Periodic overcurrent	تيار مفرط دوري
Voltage harmonic	فولطية توافقية

Lamps	مصابيح
Incandescent lamps	مصابيح توهجية
Infrared	(الاشعة) تحت الحمراء
Tungsten	تنجستون
Discharge lamps	مصابيح تفريغ
Discharge tube	أنبوب تفريغ
Conventional	تقليدي
General service lamps	مصابيح الخدمة العامة
High intensity discharge lamps	مصابيح التفريغ عالية الكثافة
Screw type	نمط لولبي
Bulb	بصيلة
Bayonet type	نمط مسماري
Energy balance	ميزان الطاقة
Colour temperature	حرارية اللون
Reflector lamp	مصابيح عاكسة
Tubular lamps	مصابيح أنبوبية
Decorative lamp	المصابيح التجميلية
Flood light lamps	مصابيح الإنارة الغامرة
Blackening	إسوداد
Tungsten halogen lamp	مصابيح التنجستون الهاليدية
Mercurg discharge lamps	مصابيح التفريغ الزئبقية
Blended- light lamps	مصابيح الضوء المتآلف
Metal halide lamps	المصابيح المعدنية الهاليدية
Electordes	أقطاب
Thermoelectronic emission	الانبعاث الحراري الالكتروني
Cathode	كاثود- القطب السالب
Ballast	كابح
High pressure mercury vapour lamp	مصباح زئبقي عالي الضغط
Arc tube	أنبوبة قوس
Ignition time	زمن الإشتعال
Ingition time	إنارة الاشتعال

Safety lighting	إنارة أمان
Low pressure sodium lamps	مصابيح الصوديوم منخفضة الضغط
High pressure sodium lamps	مصابيح الصوديوم عالية الضغط
Indium oxide	أكسيد الانديوم
Radiation	إشعاع
Quantum theory	نظرية الكم
Electromagnetic spectrum	الطيف الكهرومغناطيسي
Visible radiation	إشعاع مرئي
Munsell colour system	نظام مانسول للألوان
Value	قيمة
Whiteness	بياض
Chroma	صفاء أو كثافة اللون
Radiant Flux	دفق إشعاعي
Radiant energy flux	الدفق الإشعاعي الطاقي
Luminous intensity	الشدة المنيرية
Candela	قنديلة
Solid angle	زاوية مجسمة
Candle power	قدرة الشمعة
Illuminace	الاستنارة
Foot-candle	قدم–قنديلة
Service illuminance	إستنارة عملية
Standard service illuminance	إستنارة عملية قياسية
Luminance	إنارية
Lumen method	طريقة اللومن
Utilization factor	عامل الإفادة
Room index	دليل الغرفة
Direct	مباشر
Semi-direct	شبه مباشر
General diffuse	إنتشار عام
Semi-indirect	شبه غير مباشر
Recessed	مخفي
Initial illumination	إستنارة إبتدائية
Maintained illumination	إستنارة أكيدة

Roof structure	منشآت سطحية (على السطح)
Annealed	مُلدن
Strips	شرائط
Stranded	مجدول
Imaginary conductor	موصل تخيلي
Diagonally	قطري
Interception	موصل إعتراض
Interception net	شبكة اعتراض
Mesh	عين(في شبكة إعتراض)
Crossover points	نقاط إلتقاء
Radio-active lightning conductor	مانعات صواعق إشعاعية
Brass	نحاس أصفر
Proclain	صيني
Raising coefficient	معامل رفع
Side Flash	وميض جانبي
Under plaster	تحت القصارة
Ridge roofs	سطوح مائلة
Enclosed yard	ساحات مغلقة
Impulse coefficient	معامل النبضة
Impulse earthing resistance	مقاومة النبضة الأرضية
Radial earth	تأريض شعاعي
Enclosed	مُغلق
Bending forces	قوى الإنثناء
Shock wave	موجة صوتية
Supersonic	فوق صوتي
Overlap	تداخل
Inductive voltage drop	هبوط فولطية حثي
Disruptive voltage	فولطية الإنهيار
Clearances	(مسافات)إبراء
Bare stranded	مجدول عادي
Damage	أضرار
Risk index method	طريقة دليل المخاطرة
Lightning strike risk factor	عامل خطورة ضربات البرق
Overall wieghting factor	عامل تثقيل كلي

هـذا الكتـــاب

يتكون هذا الكتاب من ثمانية فصول تغطي مفاصل رئيسية في عملية التصميم للشبكات الكهربائية في المشاريع الكبرى حسب الكودات والمواصفات والقياسيات الدولية المعتمدة في هذا المجال، وخاصة ما صدر عن اللجنة الكهروتقنية الدولية IEC.

يستعرض الفصل الاول الأحمال الكهربائية، طبيعتها وكيفية تقديرها. لقد حاولنا، قدر المستطاع، تصنيف هذه الاحمال حسب نوعها واستخداماتها ليسهل تقديرها وحسابها، مع إدراكنا مسبقا أن الخبرة العملية تلعب دوراً كبيراً في هذا المجال. أما الفصل الثاني فقد خصص لعملية اختيار الأسلاك والكوابل الكهربائية، حيث تعتمد عملية الاختيار على طريقة تمديد هذه الكوابل. وقد استعرضنا طريقة استخدام جداول السعة الامبيرية لشركة ABB وشركة Group Schneider واخيرا الجداول الخاصة باللجنة الكهروتقنية الدولية. وقد شرحنا في الفصل الثالث كيفية حساب فقد وهبوط الفولطية وبينا الفرق بينهما، ثم استعرضنا حساب فقد الفولطية في الدارات الحلقية. وخصص الفصل الرابع لاحد المواضيع المهمة عند تصميم شبكات التمديدات الكهربائية الا وهو موضوع التأريض، والذي يجد المهندس نفسه أمام معضلات تسبب له إشكاليات عديدة. لذلك جاء هذا الفصل موسعا في محتواه وأردفناه تفصيليا ليغطي الموضوع بشمولية وبعمق. وأفردنا فصلا خاصا ليغطي موضوع الحماية في نظام التمديدات الكهربائية، الذي يتم عن طريق الاختيار الصحيح لقواطع الدارة، وكذلك شرحنا أنواع الحماية المختلفة ومميزات قواطع الدارة وطريقة اختيارها لتؤدي وظيفة حماية الأشخاص والممتلكات عند تصميم شبكة التمديدات الكهربائية.

دار الشروق للنشر والتوزيع

المركز الرئيسي - عمان/الاردن - تلفون ٤٦١٨١٩٠-فاكس: ٤٦١٠٠٦٥

E-mail: shorokjo@nol.com.jo

website:www.shorok.com

وكلاؤنا في فلسطين

دار الشروق للنشر والتوزيع - رام الله - المنارة - تلفاكس ٠٢/٢٩٦١٦١٤

دار الشروق للنشر والتوزيع - نابلس - جامعة النجاح - تلفون ٠٩/٢٣٩٨٨٦٢

دار الشروق للنشر والتوزيع - غزة - الرمال الجنوبي - تلفون: ٠٦/٢٨٤٧٠٠٣

وكيلنا في -الامارات العربية المتحدة - دبي

دار الشروق للنشر والتوزيع - دبي - هاتف: ٢٢٧٣٦٦١ ٤ ٠٠٩٧١ - فاكس: ٢٢٧٣٦٦٩ ٤ ٠٠٩٧١ - ص.ب ٢٥٣٥

E-mail: shorok@emirates.net.ae

ردمك ISBN 9957-00-155-8

Reflectances	معاكسات
Interior desing	تصّميم داخلي
Lighting switches	مفاتيح إنارة
Spacing	تباعد
Overhang	بروز
Angle of inclination	زاوية ميل
Effective width	عرض فعلي
Single-sided	جانب واحد
Staggered	(ترتيب)متمايل
Opposite	(ترتيب)متعاكس
Twin central	(ترتيب) مركزي مزدوج
Light loss factor	عامل فقد الضوء
Collector	(طريق) جامع
Alley	زقاق
Luminaire dirt depreciation	(عامل) استهلاك بسبب قذارة المصباح
Lamp lumen deprecition	(عامل) استهلاك لومنات المصباح
Beam lumen	لومن الشعاع
Beam angle	زاوية الشعاع
Lantern	مشكاة، منارة

Lightning	برق
Thunder storm	عاصفة رعدية
Lightning flashes	وميض برقي
Isokeraunic level	المستوى الايزوكيريني
Flash density	كثافة الوميض
Heat storm	عاصفة حرارية
Frontal storm	عاصفة جبهوية
Dipole	إستقطاب
Stepped leader	دليل رئيسي مدرج
Return stroke	ضربة مُعادة
First stroke	ضربة أولى
Ground flash density	كثافة الوميض الأرضي
Collection area	مساحة التجميع
Probable number of strikes	عدد الضربات المحتملة
Electrogeometric model	النموذج الكهروهندسي
Up leader	دليل صاعد
Down leader	دليل هابط
Striking distance	مسافة الإشعال
Imaginary sphere	كرة تخيلية
External lightning	برق خارجي
Protection	حماية
Intercepting	إعتراض
Discharge	تفريغ
Interception device	نبيطة (وسيلة) إعتراض
Air termination system	نظام الأطراف الهوائية
Down conductor	موصلات هابطة
Earthing system	نظام تأريض
Earth electrodes	مكاهر أرضية
Joint and bond	وصلات ومرابط
Testing joints	وصلات فحص
Corrossion	صدأ، تآكل
Electro-negative	سالب كهربائيا

هـذا الكتـــاب

يتكون هذا الكتاب من ثمانية فصول تغطي مفاصل رئيسية في عملية التصميم للشبكات الكهربائية في المشاريع الكبرى حسب الكودات والمواصفات والقياسيات الدولية المعتمدة في هذا المجال، وخاصة ما صدر عن اللجنة الكهروتقنية الدولية IEC.

يستعرض الفصل الاول الأحمال الكهربائية، طبيعتها وكيفية تقديرها. لقد حاولنا، قدر المستطاع، تصنيف هذه الاحمال حسب نوعها واستخداماتها ليسهل تقديرها وحسابها، مع إدراكنا مسبقا أن الخبرة العملية تلعب دوراً كبيراً في هذا المجال. أما الفصل الثاني فقد خصص لعملية اختيار الأسلاك والكوابل الكهربائية، حيث تعتمد عملية الاختيار على طريقة تمديد هذه الكوابل. وقد استعرضنا طريقة استخدام جداول السعة الامبيرية لشركة ABB وشركة Group Schneider واخيرا الجداول الخاصة باللجنة الكهروتقنية الدولية. وقد شرحنا في الفصل الثالث كيفية حساب فقد وهبوط الفولطية وبينا الفرق بينهما، ثم استعرضنا حساب فقد الفولطية في الدارات الحلقية. وخصص الفصل الرابع لاحد المواضيع المهمة عند تصميم شبكات التمديدات الكهربائية الا وهو موضوع التأريض، والذي يجد المهندس نفسه أمام معضلات تسبب له إشكاليات عديدة. لذلك جاء هذا الفصل موسعا في محتواه وأردناه تفصيليا ليغطي الموضوع بشمولية وبعمق. وأفردنا فصلا خاصا ليغطي موضوع الحماية في نظام التمديدات الكهربائية والذي يتم عن طريق الاختيار الصحيح لقواطع الدارة، وكذلك شرحنا أنواع الحماية المختلفة ومميزات قواطع الدارة وطريقة اختيارها لتؤدي وظيفة حماية الأشخاص والممتلكات عند تصميم شبكة التمديدات الكهربائية.

دار الشروق للنشر والتوزيع

المركز الرئيسي - عمان/الاردن - تلفون ٤٦١٨١٩٠-فاكس : ٤٦١٠٠٦٥

E-mail: shorokjo@nol.com.jo

website:www.shorok.com

وكلاؤنا في فلسطين

دار الشروق للنشر والتوزيع - رام الله - المنارة - تلفاكس ٠٢/٢٩٦١٦١٤

دار الشروق للنشر والتوزيع - نابلس - جامعة النجاح - تلفون ٠٩/٢٣٩٨٨٦٢

دار الشروق للنشر والتوزيع - غزة - الرمال الجنوبي - تلفون : ٠٦/٢٨٤٧٠٠٣

وكيلنا في -الامارات العربية المتحدة - دبي

دار الشروق للنشر والتوزيع - دبي - هاتف : ٠٠٩٧١ ٤ ٢٢٧٣٦٦١ - فاكس : ٠٠٩٧١ ٤ ٢٢٧٣٦٦٩ - ص.ب ٢٥٣٥

E-mail: shorok@emirates.net.ae

ISBN 9957-00-155-8 ردمك