

الدكتور هاني عبيد

تخطيط وتصميم

التمديدات الكهربائية

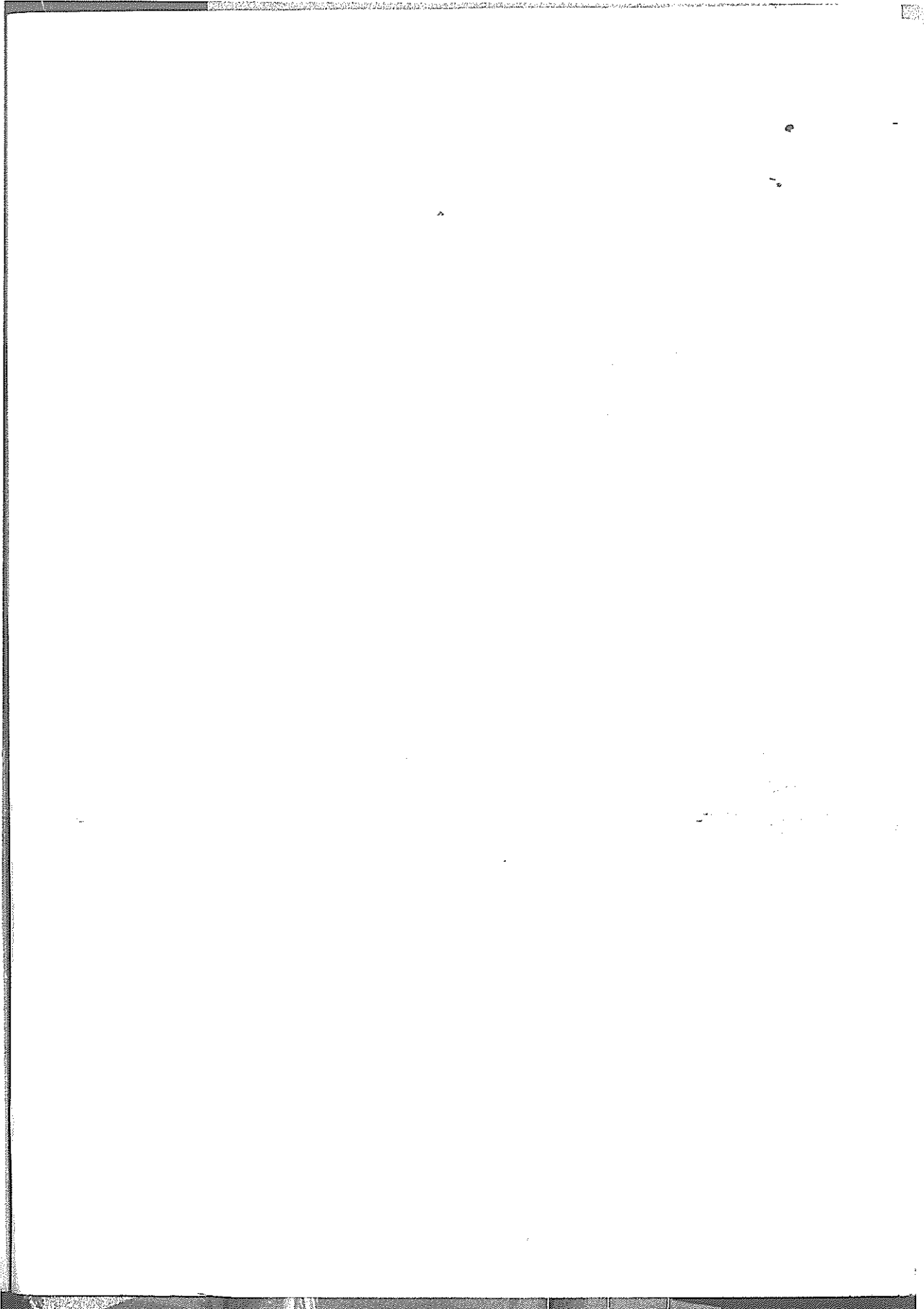
في المشاريع الكبرى



فرار زيد
24/2/2004

لأنهم على غير الزمان لظلمة رقصت مع جهنم
لاستود كلاب...
عابا لها تملوا على أسبادهما... تبقى الأسود
أسود و الكلاب كلاب...
تبقى الأسود خفيفة في أسرها...
حتى مزه نجت عليها كلاب...

تخطيط وتصميم
التمديدات الكهربائية في المشاريع الكبرى



مركز البحوث

تخطيط وتصميم التمديدات الكهربائية في المشاريع الكبرى

تأليف

الدكتور هاني عبید

عضو متقدم في المعهد الأمريكي للمهندسين الكهربائيين والإلكترونيين

عضو أكاديمية نيويورك للعلوم

مهندس رأي مسجل في نقابة المهندسين الأردنيين

واتحاد 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: 2000/ 7 / 1357

بيانات النشر : عمان: دار الشروق

○ تم إعداد بيانات الفهرسة الأولية من قبل المكتبة الوطنية

ردمك 8- 155 - 00 - ISBN 9957

- 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 - الأردن

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 خطي 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.

□ التنفيذ والإخراج الداخلي وتصميم الغلاف وفرز الألوان والأنلام :

الشروق للطباعة والإعلان والتنسيق / 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

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

الفصل الثاني

إختيار مقاطع الموصلات الكهربائية

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

الفصل الثالث

فقد وهبوط الفولطية

- 141 1.3 حسابات فقد الفولطية في الدارة أحادية الطور
- 146 2.3 مفهوم هبوط الفولطية وفقدتها
- 152 3.3 فقد الفولطية في الدارات ثلاثية الأطوار
- 153 4.3 حساب فقد الفولطية في الدارات ثلاثية الأطوار التي تُغذي عدداً من الأحمال
- 157 5.3 حساب فقد الفولطية باستخدام جداول المواصفات البريطانية
- 158 1.5.3 حساب فقد الفولطية باعتبار درجة حرارة الموصل التشغيلية
- 160 2.5.3 حساب فقد الفولطية باعتبار معامل القدرة للحمل
- 163 3.5.3 حساب فقد الفولطية في الدارات الحلقية
- 164 6.3 الطريقة العامة في حساب فقد الفولطية
- 167 7.3 قيم فقد الفولطية المسموح بها

الفصل الرابع

التأريض

- 173 1.4 مقدمة
- 177 2.4 أنواع أنظمة التأريض
- 182 3.4 نظام التأريض TN
- 198 4.4 نظام التأريض TT
- 201 5.4 نظام التأريض IT
- 203 1.5.4 حساب التيار وفولطية التلامس عند حدوث العطل الأول
- 206 2.5.4 حساب التيار وفولطية التلامس عند حدوث العطل المزدوج
- 214 6.4 نظام التأريض
- 215 7.4 الأرض

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

الفصل الخامس

قواطع الدارة

267	1.5 مقدمة
270	2.5 أنواع قواطع الدارة
270	1.2.5 قواطع الدارة الصغرائية
273	2.2.5 قواطع الدارة المقولبة
279	3.2.5 القواطع الحرارية المغناطيسية
281	4.2.5 القواطع الهيدرومغناطيسية
282	5.2.5 القواطع الالكترونية
283	3.5 تأثير الظروف الخارجية على تعبير القاطع
285	1.3.5 تأثير الرطوبة
285	2.3.5 تأثير الإرتفاع على القاطع
286	4.5 منحنيات المزق لقواطع الدارة
289	5.5 كيفية إختيار قاطع الدارة
291	1.5.5 حماية الكوابل من الحمل المفرط
293	2.5.5 حماية الكوابل من قصر الدارة
294	3.5.5 تحديد تيار قصر الدارة الأدنى على إمتداد الكابل
295	4.5.5 تحديد طول الكابل الأقصى والمحمي من قصر الدارة
309	6.5 قواطع تحديد التيار
312	7.5 الحماية الاحتياطية
315	8.5 الحماية الانتقائية
316	1.8.5 الانتقائية التيارية
316	2.8.5 الانتقائية الزمنية
319	3.8.5 الانتقائية باستخدام المناطق
320	9.5 مقررات قصر الدارة للكوابل

الفصل السادس

عامل القدرة وطرق تحسينه

- 327 1.6 مفهوم القدرة المراكسة
- 331 2.6 عامل القدرة
- 334 3.6 مبدأ تحسين عامل القدرة
- 338 4.6 تحديد مقررات المكثفات لتحسين عامل القدرة
- 339 5.6 المكثفات
- 345 6.6 عناصر الشبكة التي تستهلك قدرة المراكسة
- 345 1.6.6 محولات القدرة
- 348 2.6.6 المحركات الحثية
- 352 7.6 معادلة القدرة المراكسة
- 352 1.7.6 طريقة الجداول
- 354 2.7.6 الطريقة البيانية
- 355 3.7.6 الطريقة الحسابية
- 355 8.6 أنواع المعادلة
- 356 1.8.6 المعادلة الفردية
- 358 2.8.6 المعادلة الجماعية
- 360 3.8.6 المعادلة شبه الجماعية
- 361 4.8.6 المعادلة المركزية باستخدام نظام تحكم آلي
- 364 1.4.8.6 المنظم الآلي لعامل القدرة
- 374 9.6 حساب المغذيات وحماية المكثفات

الفصل السابع حسابات الاستنارة

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

الفصل الثامن

حماية المنشآت من العواصف البرقية

441	1.8 مقدمة
442	2.8 فرانكلين والبرق
444	3.8 العواصف الرعدية
448	4.8 كيف يتكون البرق
452	5.8 التفريغ الكهربائي بين السحابة البرقية والأرض
453	6.8 كثافة الوميض الأرضي
457	7.8 النموذج الكهرومغناطيسي
458	8.8 تحديد منطقة الحماية
462	9.8 مكونات نظام الحماية من البرق
464	10.8 وسيلة الاعتراض
464	1.10.8 شبكة من الموصلات الأفقية
470	2.10.8 وسيلة اعتراض مكونة من موصل
471	3.10.8 وسيلة اعتراض على شكل قضيب أو قضبان على سطح المبنى
475	4.10.8 قضبان حماية عامودية منفردة
481	5.10.8 موصلات اعتراض منفردة
484	6.10.8 شبكة اعتراض منفردة
485	7.10.8 مانعات الصواعق الإشعاعية
489	11.8 الموصلات الهابطة
492	1.11.8 ترتيبات تنفيذ الموصلات الهابطة
497	12.8 تأريض نظام الحماية من البرق
499	13.8 إعتبرات تصميمية
504	14.8 دراسة بعض الحالات العملية
507	15.8 الحاجة إلى الوقاية من الصواعق
519	المراجع الأجنبية
524	المراجع العربية
527	المصطلحات الفنية

المقدمة

تفخر الأمم بلغاتها القومية، فتكتب الأدب والشعر والعلم بتلك اللغة. أما نحن العرب فنضع سدا أمام اللغة العربية وخاصة في مجال العلم والهندسة ونقيها خارج أسوار الجامعات، وبذلك ابتعدت هذه الجامعات عن كونها منارات ومشاعل للغتنا القومية، وأصبح من يكتب العلم والهندسة باللغة العربية 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 يرفعه شيء ولا يضع

فبينما الآخرون يجيدون تسلق الظلال ويحرمون من متعة الصعود، نجد القلة القليلة المؤمنة بأمتها ولغتها تتسلق الصخور ليفي في ظلها الشامخ الأقرام 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 دليلاً فنياً للمهندسين العاملين في مجال الاستشارات والمقاولات الكهربائية، ومرجعاً هندسياً لطلاب كليات الهندسة والمعاهد التطبيقية، وفق أحدث الكودات والمواصفات الصادرة في هذا المجال. إن المكتبة العربية تفتقر إلى مثل هذا النوع من المراجع باللغة العربية، وقد لمست ذلك من خلال نفاذ الطبعة الأولى من كتاب «التمديدات الكهربائية وحمايتها» والصادر في عام 1996 (المؤلفان: د. هاني عبيد، د. محمد عالية). لقد احتل الكتاب السابق مكاناً مرموقاً كمرجع للمهندسين وكان عوناً 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 الأول الأحمال الكهربائية، طبيعتها وكيفية تقديرها. لقد حاولنا، قدر المستطاع، تصنيف هذه الأحمال حسب نوعها واستخداماتها ليسهل تقديرها وحسابها، مع إدراكنا مسبقاً 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، وأخيراً، تقدير الأحمال حسب تعليمات الشركة السعودية الموحدة للكهرباء، والتي في نظرنا تصلح أساساً لتقدير الأحمال الكهربائية في دول الخليج العربية والدول المشابهة لها في المناخ، ولذلك نصح باستخدامها. ولا بد في هذا المقام من نصيحة نسديها إلى 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 وأخيراً الجداول الخاصة باللجنة الكهروتقنية الدولية. ويتتهي هذا الفصل باستعراض الاختيار الاقتصادي للكوابل والذي قد يجده المهندس غريباً نوعاً 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 وبيننا الفرق بينهما، ثم استعرضنا حساب فقد الفولطية في الدارات الحلقية.

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

لّه 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 انشودة 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 «الإنارة الاصطناعية - تخطيط وتصميم» والصادر في 1986 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 تتعرض الى الحماية الداخلية، والمقصود فيها حماية الأجهزة الالكترونية من قيم الفولطية العالية والناجمة عن ضربات البرق وعمليات الفتح والقفل في الأنظمة الكهربائية . وعملية الحماية هذه يطلق عليها حماية التمرور Surge protection.

حاولنا قدر المستطاع أن يشمل هذا الكتاب أمثلة محلولة تساعد المهندسين على فهم المادة الهندسية التي نستعرضها، حيث نعتبر أن الأرقام تشرح ما عجزت الكلمة توضحه، وكان ممكنا أن نتوسع اكثر في الأمثلة المحلولة لولا أن حجم الكتاب وضع قيادا 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 الأولى ، 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 :

لأنه من أهمها

أ- الأحمال الصناعية Industrial Loads

تعتمد هذه الأحمال على العملية التكنولوجية المستخدمة في الصناعة ، وأنواع الماكينات 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 الأولى ، لذلك تستخدم المعطيات الكهربائية عن الأحمال المطلوبة من الشركة الصانعة بشكل مباشر . ويمكن استخدام الأحمال الكهربائية النوعية للصناعات المختلفة والواردة في الجداول القياسية لأغراض تقدير الأحمال المستقبلية وقدرات التوليد اللازمة على المستوى الوطني .

ب- الأحمال غير الصناعية Nonindustrial Loads

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

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 الإنارة كل ما يتعلق بالإنارة العادية والطارئة .
- 2- أحمال الأجهزة الكهربائية Appliances وتغطي ماكنات التصوير والأجهزة المستخدمة في المكاتب ومقاييس ماكنات البيع ومقاييس 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 تبريد 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 والاستوديوهات 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 الأولى هي طريقة الأحمال النوعية (القياسية) للمتر المربع $\text{Specific (Standard) Loads per m}^2$. وتعتمد هذه الطريقة على تراكم الخبرة السابقة في التصميم وعلى دراسة الأحمال الكهربائية للمشاريع القائمة. ولا تأخذ هذه الطريقة بعين الاعتبار تغيير 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 الأولى تختلف عن الأحمال الكهربائية للمشروع عند إنجاز التصميم النهائي، فالأولى تقديرية والثانية دقيقة يتم بناءً عليها تصنيع المعدات واللوحات الرئيسية للمشروع.

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

1- المرحلة الابتدائية

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 لأغراض المعدات الكهربائية.

2- مرحلة التصميم الأولي

ويتم في هذه المرحلة تحديد الخدمات الكهربائية المطلوبة وتحديد مخطط القدرة الاحادي للنظام المقترح $\text{Single line diagram}$ واختيار 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

بناءً 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 اعتماد نظام التأسيس الذي سيتم استخدامه في المشروع .

4 - مرحلة استخدام 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 ، ميغا فولط . أمبير ، ميغا واط) .

ولا بد أن نُحدد بدقة المصطلحات المستخدمة بالنسبة للأحمال الكهربائية . [#] **فالحمل**

الكلّي 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 . ويُعرف **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

تتطلب 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 سابقاً 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 .

عوامل لطلب الحمل الأقصى
للجهاز
التي تؤثر على الحمل
المتوسط

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

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

الطلب الأقصى
سعة الحمل

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

خطا زمني
الحمل
على طول مدة

* ويُعرف عامل التشتت (التباين) Diversity factor بأنه العلاقة بين مجموع الطلب الأقصى الافرادي لأحمال مختلفة في النظام إلى الطلب الأقصى للنظام ككل .

فإذا كان النظام يتكون من عدد من الاحمال المختلفة ، وكل حمل له طلب أقصى خلال فترة زمنية ، فإننا نجتمع الطلب الأقصى 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 . (2 → 1)

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

حاصل 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 :

$$F_D = \frac{D_1 + D_2 + \dots + D_n}{D_{1+2+\dots+n}} = \frac{\sum_{S=1}^n D_S}{D_{1+2+\dots+n}} = \frac{1}{F_C} \quad \text{عامل التشتت } F_D$$

$$F_C = \frac{D_{1+2+\dots+n}}{D_1 + D_2 + \dots + D_n} = \frac{D_{1+2+\dots+n}}{\sum_{S=1}^n D_S} = \frac{1}{F_D} \quad \text{عامل التطابق } F_C$$

تشتت الحمل L_D

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

حيث أن

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

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

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

جدول (1)

الأحمال القياسية (النوعية) لأنظمة الإنارة للمرافق المختلفة

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

* 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

عامل الطلب نسبة مئوية	جزء حمل الإنارة الذي يتم استخدام عامل الطلب عليه (فولط . أمبير)	نوع الحيز (المرفق)
100 35 25	أول 3000 فولط . أمبير أو أقل من 3001 ولغاية 120000 ما تبقى -	الشقق السكنية
40 20	أول 50000 فولط . أمبير أو أقل ما تبقى	المستشفيات ❖
50 40 30	أول 20000 فولط . أمبير أو أقل من 20001 ولغاية 160000 فولط . أمبير ما تبقى	الفنادق والموتيلات والشقق المفروشة والتي لا تحتوي على أماكن طهو الطعام ❖
100 50	أول 12000 فولط . أمبير أو أقل ما تبقى	مناطق التخزين
100	مجموع الفولط . أمبير	كل المرافق الأخرى

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

2.2.1 الأحمال الكهربائية لمقاييس الاستخدام العام

يتم توزيع مقاييس 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 بمقابس وأجهزة التدفئة)

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

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

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

جدول (4)

الأحمال النمطية للشقق السكنية

الحمل النمطي	النوع
32.28 فولت . أمبير / 2م	الإنارة والمقابس العادية (عدا الاجهزة المنزلية)
1.5 كيلو فولت . أمبير لكل دارة	دارات المطبخ والطعام
12.8 كيلو واط	الفرن الكهربائي
1.5 كيلو واط	فرن الميكرويف
0.6-0.3 كيلو واط	الثلاجة
0.6-0.3 كيلو واط	المجمدة
2.0-1.0 كيلو واط	جلابية الصحون
0.5-0.33 حصان ميكانيكي	جهاز التخلص من الفضلات
0.5-0.33 حصان ميكانيكي	غسالة الملابس
6.0-1.5 كيلو واط	نشافة الملابس
9-1.5 كيلو واط	سخان الماء
1.6-0.8 كيلو واط	مكيف الهواء 0.5 حصان ميكانيكي للغرفة

3.2.1 أحمال التكييف والأجهزة المساعدة

يستخدم المهندسون حالياً مفهوم التحكم في البيئة للفراغات المعمارية عن طريق استخدام 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 أعمال 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 1 ك. 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 استخدام المعاملات الواردة في جدول - 5 لأجهزة التكييف المختلفة .

جدول (5)

المعاملات المستخدمة لتقدير الاحمال الكهربائية لأجهزة التكييف المختلفة

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

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

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

جدول (7)

التقديرات الوسطية لأحمال التبريد

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

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 زيادة 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 لازالة 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 والمضخات 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 الرياح ومساحة السطوح الخارجية ونوعية 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

الفقد الحراري لاغراض التصميم لكل متر مربع من المساحة		درجة أيام Degree Days
واط	و.ح.ب. / ساعة	
11.7	40 ^{٢٤}	أكثر من 8000
11.3	38	8000-7001
10.3	35	7000-6001
9.4	32	6000-5001
8.8	30	5000-3001
8.2	28	أقل من 3001

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، و جدول - 10 أحمال أنظمة تسخين المياه باستخدام الكهرباء.

جدول (9)

الأحمال الكهربائية النمطية لأنظمة رفع المياه بالضغط
في المباني العالية (كيلو واط)

عدد أدوار البناء	وحدة الكمية				نوع المبنى
	50	25	10	5	
350	90	15	-	10 شقق / الدور	مبنى شقق سكنية
-	250	45	10	30 مريض / الدور	مستشفيات
450	175	35	7	40 غرفة / الدور	فنادق / موتيلات
750	75	15	-	مساحة الدور 100م ²	مبنى مكاتب

جدول (10)

الأحمال الكهربائية النمطية لأنظمة تسخين المياه
باستخدام الكهرباء (كيلو واط)

الحمل الكهربائي	وحدة كمية	نوع المبنى
30 كيلو واط	20 شقة	مبنى شقق سكنية
75	100 شخص	سكن الطلاب
6	100 تلميذ	المدارس الابتدائية
12	100 طالب	المدارس الثانوية
30	100 شخص / الساعة	المطاعم (خدمة كاملة)
15	100 شخص / الساعة	مطاعم الوجبات السريعة
60	100 شخص	سكن المرضات
200	100 سرير	المستشفيات
5	100م ²	مكاتب

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)*

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

* أعتبر 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:

$$H_p = \frac{C.V.K}{33000.e^{6\%}}$$

$$\frac{23000 \times 0.6}{33000 \times 0.678}$$

حيث أن:

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

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

$$1 \text{ HP} = 746 \text{ Watt}$$

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

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

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

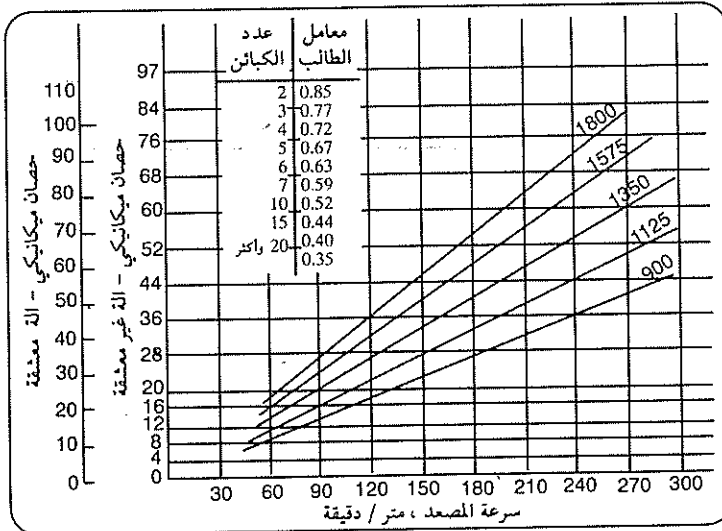
أ- نوع الآلة المستخدمة (هل هي آلة مشققة Geared Machine أو آلة غير مشققة Gearless Machine) .

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 المشققة تزيد بـ 40% عن تلك المطلوبة للآلة غير المشققة .



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 .

عدد الطوابق التي يخدمها المصعد	سرعة المصعد المقترحة ، متر / دقيقة
30 طابقاً	300
25 طابقاً	240
20 طابقاً	180
15 طابقاً	150
10 طوابق	105
5 طوابق	60

شكل (2)

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

جدول (12)
الحمل الكهربائي للأدراج المتحركة

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

I_{max} - التيار الأقصى بالأمبير والذي يساوي مجموع التيارات الأفراذية 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 100 أمبير ، 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 للمساعد لتحديد مقاطع المغذيات*

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

* 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

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

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

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

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 . وتقدير قيمة الأحمال لهذا البند في المباني التجارية متعددة الأدوار بحوالي من 10 إلى 20 فولط . 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 فولط . أمبير/ الغرفة ، متوسط الحمل القياسي للفنادق المكيفة يساوي 4500 فولط . أمبير/ الغرفة .

2.3.1 المستشفيات

عند تقدير الأحمال الكهربائية للمستشفيات يمكن استخدام الأحمال القياسية التالية:

الانارة	20 واط / م ²
القوى power	30 واط / م ²
الخدمات الميكانيكية	80 واط / م ²
توسعات مستقبلية	25 واط / م ²

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

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

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 إلى 10 واط/م² في حالة كون مستوى الاستنارة يساوي 300 لوكس . 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 100 واط/م² . وبين 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

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

وبين الدليل الإرشادي 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 . وبين جدول - 17

طلب التيار المفترض لنقاط الاستخدام، بينما 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 مقاييس باستثناء مخارج المقاييس ذات التيار المقرر (2) أمبير	التيار المقرر
2	مخارج ومقاييس ذات تيار مقرر (2) أمبير	(0.5) أمبير على الأقل
3	مخرج إنارة	تيار مكافئ للحمل الموصول به بحد أدنى (100) واط لكل ماسك مصباح.
4	مخرج إنارة تفرغية	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 مبني على افتراض 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 Factor)

الرقم	الغرض من الدارة النهائية المغذاة من موصلات أو مظم ميدلات	نوع المرفق
1	الإضاءة	مناجر صغيرة ومخازن ومكاتب ومرافق تجارية. فنادق صغيرة وبيوت سكن وضيافة . . الخ
2	التدفئة والقدرة مع الأخذ بعين الاعتبار ما هو وارد في الفقرات (3) الى (7) في هذا الجدول.	تركيبات منزلية منفردة بما في ذلك السكن الخاص ضمن المجمعات السكنية.
3	أجهزة المطبخ	مناجر صغيرة ومخازن ومكاتب ومرافق تجارية. فنادق صغيرة وبيوت سكن وضيافة . . الخ
4	المحركات باستثناء محركات الرفع التي تخضع لاعتبارات خاصة.	مناجر صغيرة ومخازن ومكاتب ومرافق تجارية. فنادق صغيرة وبيوت سكن وضيافة . . الخ
5	سخانات ماء نظيفة ويقصد بها السخانات التي تسخن الماء فقط عندما يفتح الصنبور وبذلك تستخدم الكهرباء بشكل متقطع.	مناجر صغيرة ومخازن ومكاتب ومرافق تجارية. فنادق صغيرة وبيوت سكن وضيافة . . الخ
6	سخانات الماء التي تتحكم بها منظمات حرارية.	مناجر صغيرة ومخازن ومكاتب ومرافق تجارية. فنادق صغيرة وبيوت سكن وضيافة . . الخ
7	تركيبات تدفئة بالتسخين الحراري تركيبات تدفئة أرضيات	مناجر صغيرة ومخازن ومكاتب ومرافق تجارية. فنادق صغيرة وبيوت سكن وضيافة . . الخ
8	التريتيبات القياسية للدارات الكهربائية كما يلي: ♦ دارات كهربائية نهائية تستخدم سخارج مقاس مطابقة للمواصفات القياسية الأردنية أو مايعادلها. ♦ دارات كهربائية نهائية للطباخات في المرافق السكنية.	مناجر صغيرة ومخازن ومكاتب ومرافق تجارية. فنادق صغيرة وبيوت سكن وضيافة . . الخ
9	مخارج مقاييس ومعدات كهربائية ثابتة باستثناء تلك الواردة في الفقرة رقم 8 من هذا الجدول.	مناجر صغيرة ومخازن ومكاتب ومرافق تجارية. فنادق صغيرة وبيوت سكن وضيافة . . الخ

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

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

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

جدول (21)

عوامل الطلب لأنواع الأحمال المختلفة

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

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

جدول (22)

عوامل الطلب للأحمال الكهربائية المختلفة

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

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

جدول (23)

عوامل التشتت (التباين) النمطية

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

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 الموجودين 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 بناءً عليها يتم حساب مقطع المغذي الرئيسي للعمارة.

الحل :

$$\text{القدرة المركبة الكلية للعمارة} = 8 \times 42 = 336 \text{ ك. ف. أ.}$$

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

عامل التطابق %	عدد الدارات
	اللوحه مختبره كلياً
90	3 , 2
80	5 , 4
70	9-6
60	10 و أكثر
100	اللوحه جزئياً مفحوصه
	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

عامل التطابق %	نوع الحمل في الدارة
100	الإثارة
100	التدفئة والتكييف
10-20*	المقابس
100	لمساعد الركاب والخدمة ♦♦
75	- الأكبر محرك
60	- للمحرك الثاني في القدرة
	- 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

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

DF = ^{الطلب الأقصى} ^{الحمل المترابط}

من هنا يمكن حساب الطلب الأقصى للحمل الكهربائي كما يلي :

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

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 1.0 و 1.8 .

الطلب الأقصى للمستهلك الإفرادي - Individual Customer Maximum Demand

ICMD وهو الطلب الأقصى لمستهلك إفرادي والذي تحدث عادة خلال فترة ذروة التحميل .

✓ الحمل التعاقدى 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 اعتماد عامل طلب يساوي 50% .

ويبين جدول -28 الأحمال الكهربائية التقليدية للمستهلكين التجاريين ، حيث تم اعتماد 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 اعتماد الحمل القياسي التالي لأغراض التكييف المركزي .

المستهلك المنزلي 100 فولط . أمبير / متر مربع .

المستهلك التجاري 120 فولط . أمبير / متر مربع .

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

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

حيث أن :

F : المساحة المغطاة للمستهلك .

F₁ : المساحة المغطاة في الجدول والتي تأتي مباشرة أسفل F .

F₂ : المساحة المغطاة في الجدول والتي تأتي مباشرة أعلى F .

C₁ : الحمل المترابط المناظر للمساحة F₁ .

C₂ : الحمل المترابط المناظر للمساحة F₂ .

أما بالنسبة لعامل القدرة Power Factor فقد تم اعتماد عامل قدرة لوحدة التكييف يساوي 0.9 ، بينما يساوي هذا العامل 0.75 للأجهزة والمعدات الأخرى . وسنستعرض فيما يلي كيفية حساب الأحمال باستخدام جداول 27 أو 28 .

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 أكبر من 8 كيلو واط فتعامل معامل التكييف المركزي .

الطلب المقدر = الحمل المترابط $\times 50\%$

عمل التكتين = $\frac{\text{الحمل المترابط}}{100 \text{ VAX}}$

جدول (27)

الأحمال الكهربائية التقديرية للمستهلكين المنزليين

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

التابع جدول (27)
 100%
 50%
 25%
 10%
 5%
 2.5%

			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	82.5	118.9	165	1189
		أنظر	83	120	166	1200
		ملاحظة رقم	90	130	180	1300
		1	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 المقرر = الحمل المتزايد * 60%
 الحمل المتزايد = الحمل المتزايد * 120 VA

جدول (28)

الأحمال الكهربائية التقديرية للمستهلكين التجاريين

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

تابع جدول (28)

محول تيار	197.4	300 أنظر ملاحظة رقم 1	99	92.8	165	773
			99.6	93	166	775
			102.6	96	171	800
			105.6	99	176	825
			109.2	102	182	850
			112.2	105	187	875
			115.2	108	192	900
			118.8	111	198	925
			121.8	114	203	950
			124.8	117	208	975
			128.4	120	214	1000
			131.4	123	219	1025
			134.4	126	224	1050
			138	129	230	1075
محول تيار	263.2	400	138.6	129.1	231	1076
			141	132	235	1100
			144	135	240	1125
			147.6	138	246	1150
			150	141	250	1175
			153.6	144	256	1200
			157.8	148	263	1233
محول تيار	329	500	158.4	148.1	264	1234
			166.8	156	278	1300
			179.4	163	299	1400
			192	180	320	1500
			205.2	192	342	1600
			217.8	204	363	1700
			230.4	216	384	1800
			237	222.2	395	1852
محول تيار	526.4	800	198	291.7	396	2917
			237.6	222.4	396	1853
			243	228	405	1900
			256.2	240	427	2000
			268.8	252	448	2100
			281.4	264	469	2200
			294.6	276	491	2300
			307.2	288	512	2400
			315.6	295.8	526	2465

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 ، أو حسابه 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 :

$$\text{Demand Load} = (\text{Non AC Connected Load} \times \text{DF}) + \text{Central AC Load}$$

3.4.1 حساب الحمل في المشاريع المنزلية والتجارية المشتركة

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

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

(ج) حساب الطلب الكلي على الحمل كما يلي :

$$\text{Total Combined Demand Load} = \text{Single Largest Demand} +$$

Sum of Remaining Demands

Diversity Factor (of Remaining Demand)

4.4.1 حساب الحمل في المشاريع التي تحتوي على تكييف مركزي

ومكيفات الشبكات

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

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 ارتفاع 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 :

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

$$\text{Unit AC Load of Covered Area} \times 0.7$$

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 والمستخدم 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).

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

حيث أن: أكبر حجم (الطلب الموحد) + (الطلب الأقصى للمستهلك الإفرادي) ÷ عامل التشتت (التباين).

ICMD - الطلب الأقصى للمستهلك الإفرادي.

DvF - عامل التشتت (التباين).

ويمكن حساب عامل التشتت كما يلي:

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

عدد المستهلكين
عدد الأعمال

جدول (29)

عامل الطلب لبعض المعدات الإفرادية

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

- أو يمكن إستخدام جدول -30 لايجاد عامل التشتت .

جدول (30)

عامل التشتت

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

6.1 مساحات غرف محطات التحويل وغرف الكهرباء

إن الهدف الرئيسي من حساب الأحمال الكهربائية في مرحلة التصميم الأولي هو معرفة 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 بالإضاءة والتهوية والمخارج .

إن توزيع وترتيب اللوحات والمعدات في غرف الكهرباء يخضع لعملية ضمان أمن وسلامة الأشخاص والممتلكات ، لذلك لا بد 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 .

وبين 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 لا بد 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 فولتية المستهلك 220/127 فولط:

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 فولطية المستهلك 380/220 فولط ، فإن الأرقام الإرشادية تكون كما يلي :

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

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

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

وإتماداً 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 ميغا فولط . أمبير .

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

ولابد أن نولي عناية إلى نوع المحول المستخدم هل هو من النوع الجاف Dry type أم من النوع المغمور بالزيت Oil immersed ، والأخير يُستخدم في المناطق التي يوجد فيها إحتياجات كافة ضد الحرائق . ويُصح 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 و قدرة 1600 .

جدول (32)

أبعاد المحولات

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

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

كذلك لا بد 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 .

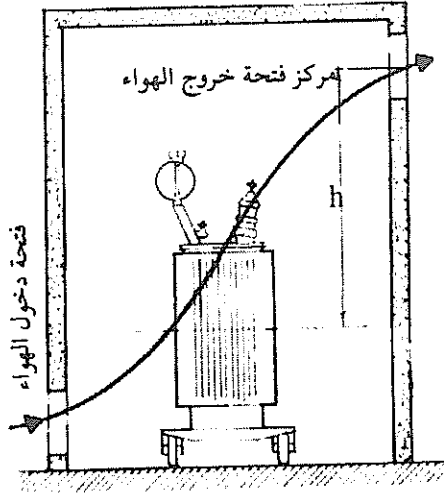
وعادة تُصنع أرضية غرفة المحول إما من الإسمنت المسلح بميلان (1-2) درجة باتجاه حفرة التجميع ، أو توضع عوارض حديدية مرتفعة عن الأرض ليتم وضع المحول عليها ، ويجب أن لا تقل حفرة التجميع عن 0.6م 3 ، وذلك لاستيعاب زيت المحول . أما إذا كانت الأرضية مرفوعة على عوارض حديدية فيجب وضع خزان حديدي بسعة لا تقل عن 3م 0.7 تحت كل محول .

ولا بد 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 .

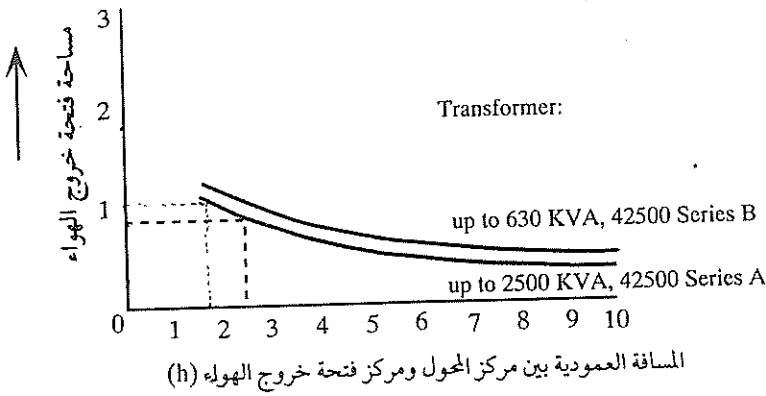
ولتحديد مساحة فتحة خروج الهواء، لا بد أن نحدد المسافة h بين منتصف المحول ومركز فتحة خروج الهواء كما يبين شكل 3.



شكل - 3

تحديد المسافة بين منتصف المحول ومركز فتحة خروج الهواء

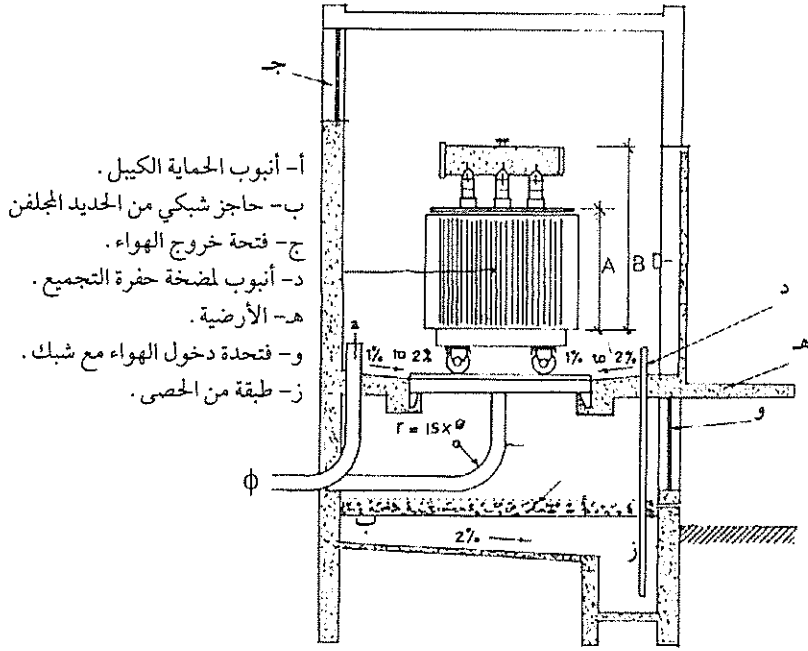
وبمعرفة h يمكننا استخدام المنحنيات الواردة في شكل 4 ونحدد منها مساحة فتحة خروج الهواء. أما فتحة دخول الهواء فتكون عادة أقل من مساحة فتحة خروج الهواء بـ 10% إضافة إلى الزيادات المقررة حسب نوع الشبك الموجود على الفتحة.



شكل - 4

مثال محللول :

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 حديدية 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 = 1640 مم، أي أن:

$$A = 1640 \text{ mm}$$

$$B = 2900 \text{ mm}$$

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 للممر = 0.75 م .

نفترض أن عرض الممر هو 1 م .

$$\text{مساحة الغرفة} = (1 + 1.92) \times (1 + 2.32) = 10 \text{ أمتار تقريباً .}$$

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

نحسب الآن المسافة h كما يلي :

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

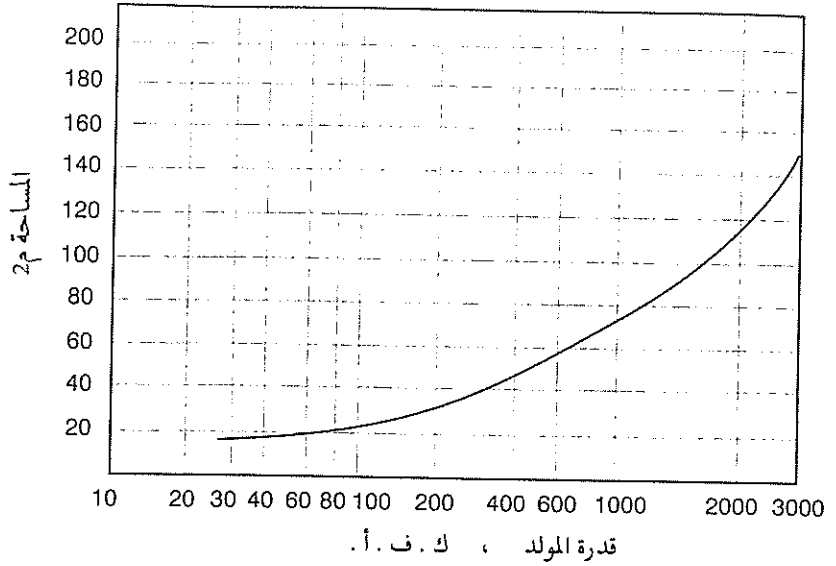
من شكل 4- ، نجد أن مساحة فتحة خروج الهواء تساوي 0.8م² .

$$\text{مساحة فتحة دخول الهواء تساوي} = 0.8 \times 1.1 = 0.88 \text{ م}^2 .$$

وبما أن الفتحة مزودة بشبك فيجب زيادة فتحة دخول الهواء بنسبة 10% . أي أن

$$\text{مساحة فتحة دخول الهواء تصبح} = 0.85 \times 1.1 = 0.968 \text{ م}^2 .$$

وفي كثير من المشاريع يتطلب الأمر وجود مولد كهربائي احتياطي 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 الكهربائي الاحتياطي ومساحة الغرفة كما يبين ذلك شكل 6- .



شكل - 6

العلاقة بين قدرة المولد 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 لا يجب أن يقل ارتفاع الغرفة عن 5.5 م.

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

جدول (33)

مساحة غرفة المولدات وعلاقتها بقدرتها 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	12x30 12x31 12x32 12x33 12x34 18x31 18x32 18x34 24x34 25000	12x31 12x32 12x33 12x34 18x31 18x32 18x34 24x34 17500	12x31 12x32 12x33 12x34 18x31 18x32 18x34 24x34 17500	12x31 12x32 12x33 12x34 18x31 18x32 18x34 24x34 17500	12x31 12x32 12x33 12x34 18x31 18x32 18x34 24x34 17500	12x31 12x32 12x33 12x34 18x31 18x32 18x34 24x34 17500

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:

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

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 بالكيلو فولط . أمبير تساوي:

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

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 احتياطي 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 للألة 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 فيجب اختيار

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

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

وكدليل إرشادي فيجب تخفيض Derate قدرة المولد بنسبة 1% لكل ارتفاع في درجة الحرارة مقداره درجتان أعلى من درجة 27 درجة مئوية . كذلك ، يُجهد تخفيض قدرة المولد بنسبة 1% لكل زيادة في الارتفاع مقدارها 100 متر زيادة على الارتفاع الأساسي وهو 150 متراً . أما زيادة نسبة الرطوبة النسبية فوق 60% فيجب 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 يجب الاسترشاد بالقواعد التالية :

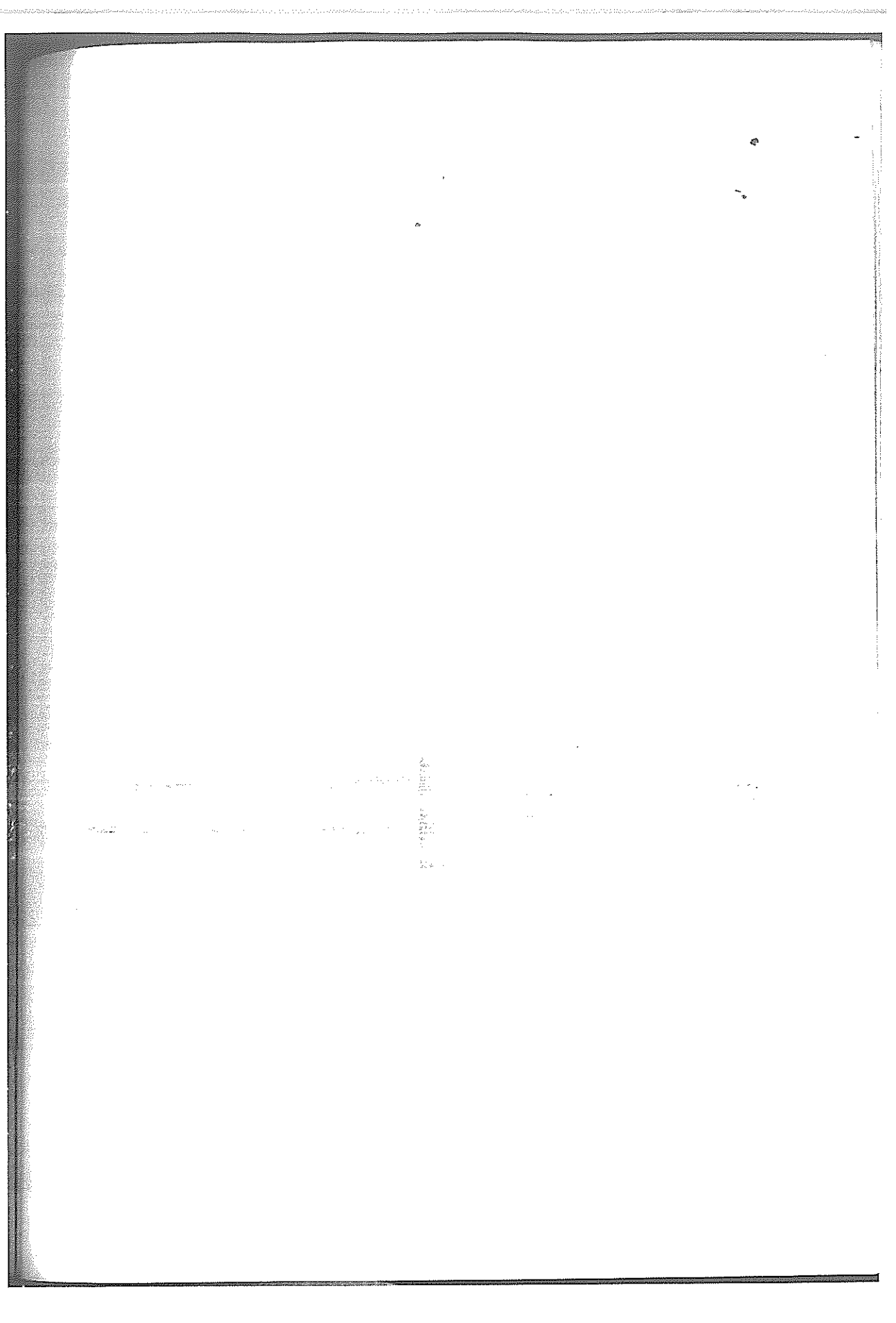
1- تسبب المحركات الكبيرة عند بدء تشغيلها في هبوط الفولطية والتردد أثناء عملية تشغيلها ، وهذا قد يؤثر على المنوال التشغيلي للأجهزة المربوطة على المولد . لذلك يُفضل في حالة تشغيل هذه المحركات أن يتم تشغيلها على التوالي حتى لا تُسبب هبوط فولطية Voltage dips كبير .

2- في حالة كون هذه المحركات هي محركات مصاعد وروافع ، فلا بد 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 تعادل 20-25% من مقررها دون أن يؤدي ذلك إلى زيادة سرعتها عن الحد المقرر .

3- لا بد أن نولي عناية خاصة إذا كانت الأحمال هي عبارة عن أحمال تيار مستمر نأخذ 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 موجة 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

اختيار مقاطع الموصلات الكه

الموصلات

1.2 الموصلات الكهربائية والعازلية

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

ويعود الاستخدام الواسع للنحاس كمادة موصلة في الأسلاك 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 اختصار إلى Interntional Annealed Copper Standard - هيأسية النحاس الممدّن الدولية.

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

المقاومة (المقاومة النوعية) ρ المقاومة الموصلة لكل المقادير $\rho = \frac{1}{\sigma}$

جدول (1)

خصائص المواد التي تُصنع منها الأسلاك والكوابل الكهربائية

الصلب المجلفن	سبيكة الومنيوم	الومنيوم مسحب قاسي	نحاس مسحب قاسي	نحاس ممدّن	الخاصية
-	53.5	61	97	100	الموصلية % *
-	32.2	28.264	17.71	17.241	المقاومة . أوم . مم ² / كم
7.78	2.7	2.703	8.89	8.89	الكثافة في درجة 20 م ³ /غم / سم ³
-	0.0036	0.00403	0.00381	0.00393	المعامل الحراري للمقاومة
11.5x10 ⁻⁶	23x10 ⁻⁶	23x10 ⁻⁶	17x10 ⁻⁶	17x10 ⁻⁶	معامل التمدد الحراري في درجة 20 م

* وحدة قياس الموصلية نسبة مئوية من IACS وهي قياسية النحاس الممدّن 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 للأسلاك 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 (PVC) Polyvinyl chloride 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.

الب- المطاط المصلد

وتسمى 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 جزئيات الايزوبرين Isoprene، وتتحد هذه الجزئيات فيما بينها مكونة
سلاسل جزئية 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 ارتفاع 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 و مواد 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 تقيية، وذلك لانخفاض متانته عند الشد ومرونته عند
درجات الحرارة المنخفضة وارتفاع مقدرته على إمتصاص الرطوبة. وبكسب المطاط
على الساخن نحصل على مادة عازلة مصممة تغطي الاسلاك والكوابل. ولاكساب
المطاط مرونة ومتانة ميكانيكية وصموداً ضد الصقيع وخصائص أخرى يُعرض لعملية

طبخ (فلكنة)، أي تُعامل الطبقة المطاطية الموجودة على الاسلاك والكوابل حرارياً عند درجة حرارة تتراوح من 140 إلى 160 م. وفي سياق عملية الطبخ يدخل الكبريت في تفاعل كيميائي 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 كيميائي مع المعدن المتاخم للمطاط، ويؤدي هذا التفاعل عند استعمال المطاط لعزل أسلاك النحاس إلى تكوين كبريتيد النحاس الذي يؤثر تأثيراً سيئاً، لهذا فإن المطاط يُصَب على أسلاك النحاس بعد قصدرتها أي تبيضها Tinned وذلك لعزل النحاس عن الكبريت.

من أهم مميزات المطاط أن خصائصه تتغير مع الزمن ⁽¹⁾ 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 إلى 30 سنة.

إحـ اللدائن (البلاستيك) العازلة للكهرباء

تُسمى اللدائن أو البلاستيك بالمواد القادرة في حالتها الساخنة على إكتساب لدونة مرتفعة، أي القدرة 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 ملدنة) Plasticizers ومواد أخرى (ملونات ومثبتات).

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

١٤- 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 الميكانيكية 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 للسليولوز ، وبسحب خيوط مستمرة منها ، كذلك يمكن إجراء عملية سحب ماثلة 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 تُظلى بالماء ، الأمر الذي يجعل خصائص عزلها الكهربائي أكثر رداءة .

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

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

- على مواد راتنجية تُكسب الورق قسافة (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 للصفير 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 الأساسية للبرافين 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 الحثية Inductive reactance. والممانعة عبارة عن كمية مركبة Complex Quantity، أي لها مقدار وإتجاه، ويمكن كتابتها على الصورة التالية:

$$Z=R+jX \quad (1)$$

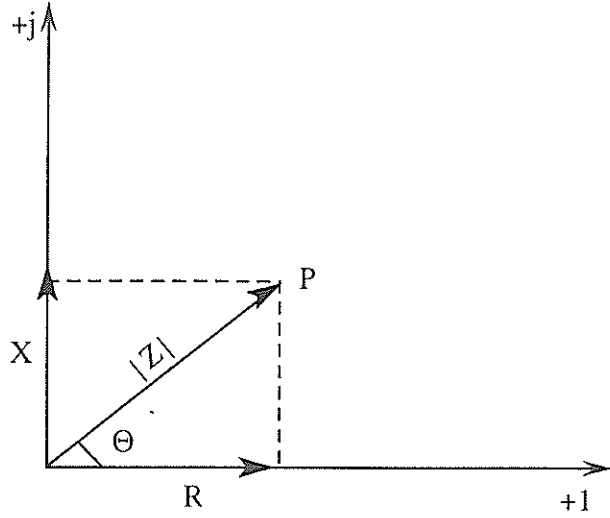
$$\frac{Z}{\rho}$$

حيث ان:

Z-الممانعة

R-المقاومة الفعّالة

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 ، فإن الممانعة يمكن

كتابتها على شكل شعاعي Polar form كما يلي :

$$Z = |Z| e^{j\theta} \quad (2)$$

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

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

حيث أن :

ρ - المقاومة .

γ - الموصلية Conductivity .

وتعد المقاومة 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 المقاومة بدرجة الحرارة وفق المعادلة التالية :

$$\rho_{T_2} = \rho_{T_1} [1 + \beta_{TIT_2} (T_2 - T_1)] \quad (4)$$

حيث أن :

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

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

β_{TIT_2} - المعامل الحراري للمقاومة - Temperature coefficient of Resistivity في المدى الحراري من T_1 إلى 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 200م فتساوي :

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

حيث ان T^2 هي درجة الحرارة بالدرجة المتو
 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 ارتفاع نسبة التشكيل اللدن للمعدن، فان موصليته تنخفض، لذلك فان اسلاك النحاس المشكلة على البارد تتسم بمقاومة نوعية أكبر بالمقارنة مع النحاس الطري.

ويمكن حساب مقاومة الموصل بالمعادلة التالية:

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

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 :

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

حيث ان :

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 :

الدرجة الاسمية

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

تعتمد درجة حرارة تشغيل الموصل على عاملين و

- درجة حرارة الوسط المحيط بالموصل.

ودرجة حرارة الوسط المحيط بالموصل هي درجة

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 والناجمة 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:

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

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

حيث أن:

R_1 - المقاومة عند درجة الحرارة المنخفضة، أوم.

R_2 - المقاومة عند درجة الحرارة العالية، أوم.

T_1 - درجة الحرارة المنخفضة.

السطح المصنوع الكافي

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

حيث ان :

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 .

حالة مقطع دائري

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

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

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

حيث أن :

d - قطر القضيب النحاسي ، مم .

f - التردد ، هيرتز .

ρ - المقاومة النوعية ، ميكرو أوم ، سم ($\mu \Omega \text{ cm}$) .

μ - نفاذية Permeability النحاس وتساوي 1 .

وفي حالة النحاس عالي التوصيلية في درجة 20 درجة مئوية، فإن :

$$\rho = 1.724 \mu \Omega \cdot \text{cm} \quad \text{لذلك، فإن}$$

$$A = \pi R^2$$

$$A = \pi \left(\frac{D}{2}\right)^2$$

عند درجة حرارة (20)

$A =$ مساحة قطر الموصل

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

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

حيث ان :

A- مساحة مقطع قضيب النحاس ، مم².

وتؤدي الظاهرة القشرية الى زيادة الفقد في الموصل.

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

$$R_f = R_oSK \quad (14)$$

حيث ان :

K- نسبة التقاربية Proximity Ratio.

أما المراكسة الحثية للموصل فتساوي :

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

وتساوي المواسعة الحثية للموصل :

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

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 ، 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 والناجمة 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 .

البيانات الخاصة

ذكرنا سابقاً أن النحاس يستخدم على نطاق واسع كموصل كهربائية، حيث أن موصليته أكبر بـ 65% من موصلية الألماس. مساحة مقطع النحاس أقل مما يؤدي إلى توفير في المادة العازلة. ويبين جدول 4- مقارنة بين كابل نحاس والومنيوم لنفس السعة.

جدول (4)

مقارنة بين كابل نحاس والومنيوم

مادة الموصل		الخاصية
الومنيوم	نحاس	
500	300	مساحة المقطع ، 2م
83.9	66.5	القطر الكلي ، مم
700	550	نصف قطر الانحناء الأدنى ، مم
0.0617 أوم	0.0601 أوم	المقاومة العظمى عند 20 درجة مئوية
0.188	0.19	فقد الفولطية ، ميللى فولط/متر / أمبير
<u>501</u>	<u>496</u>	السعة الترميرية ، أمبير

البيانات الخاصة
البيانات الخاصة

3.2 السعة الترميرية (الامبيرية) للاسلاك والكوابل.

تعرف السعة الامبيرية Ampacity للاسلاك والكوابل بأنها مقدرة السلك أو الكابل على تمرير تيار الحمل في ظروف التشغيل العادية وعلى مقدرتهما على تحمل التيارات الناتجة عن 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. فإذا زادت درجة الحرارة عن ذلك الحد، ابتدأت العازلية بفقدان خواصها الفيزيائية والكيميائية.

العدة الاحصائية لكابيل المنيم - 062 السعة الاحصائية لكابيل فاسس له نفس 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 اختيار الكابل

① - درجة الحرارة .
 ② - نوع مادة الموصل
 ③ - عدد الأجزاء داخل الكابل أو عدد الموصلات داخل الكابل

④ - الرطوبة .

⑤ - الظروف الميكانيكية ومن ضمنها الاهتزاز .

⑥ - الظروف الكيماوية ومن ضمنها تواجد المواد الهيدروكربونية .

⑦ - الأحمال الزائدة وقصر الدارة .

⑧ - السرقة والتخريب Vandalism .

⑨ - الخطورة ونتائج الحريق والانفجارات .

⑩ - الاشعاع الشمسي والحراري .

⑪ - الأغبرة والمواد المخزنة .

ويبين جدول 5- درجة الحرارة القصوى لأنواع العازلية المختلفة :

جدول (5)

درجة الحرارة القصوى لأنواع العازلية المختلفة

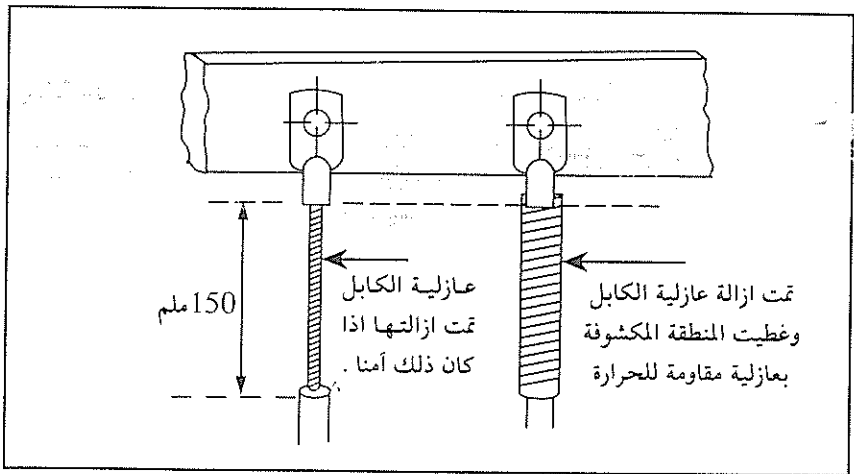
درجة الحرارة القصوى درجة مئوية	نوع العازلية
70 للموصل	بولي فينيل كلورايد PVC
90 للموصل	EPR و XLPE
70 للغلاف	العازلية المعدنية (المغطاة بمادة PVC أو المكشوفة والصالبة للتلامس
150 للغلاف	العازلية المعدنية (المكشوفة وغير الصالبة للتلامس)

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 الأنبوب، فإن كلاً منها يؤثر على الآخر وبالتالي تصبح عملية تهوية الكابل أكثر صعوبة.

من ذلك نستنتج إن ما يحد من السعة الامبيرية للموصل (نحاس أو الألمنيوم) هو العازلية، لذلك نجد أن القضبان العمومية المكشوفة تستطيع تحمل أو تمرير تيار كهربائي أكبر من الكابل المصنوع من نفس المادة، لذلك فإن 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. وبين 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 Re- requirements for Electrical Installations.IEE Wiring Regulations 16th Edition. 1992.

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

أما الخطوات المتبعة في تحديد مقطع الكابل المناسب فيمكن تلخيصها فيما يلي :

(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 .

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

(د) يتم تحديد التيار 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 التصحيح K ، 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 :

$$I_d < I_n < I_z$$

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

1.3.2 جداول شركة ABB

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

جدول (6)
طرق تمديد الكابيل حسب شركة ABB

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

(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 300م².
- (4) أقصى عدد للكوابل الممدودة هو 20 بمساحة مقطع بحد أقصى 120م².
- (5) أقصى عدد للكوابل الممدودة هو 6 بمساحة مقطع بحد أقصى 300م².
- (6) أقصى عدد للكوابل الممدودة هو 27 بمساحة مقطع بحد أقصى 300م².

أما عوامل التصحيح K فتبينها الجداول التالية :

جدول (7)

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

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

يُعد K على طريقتين
معدتة طريقتين

جدول (8)

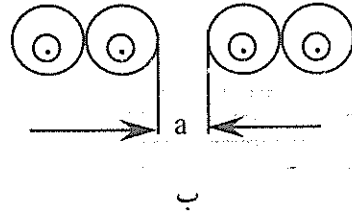
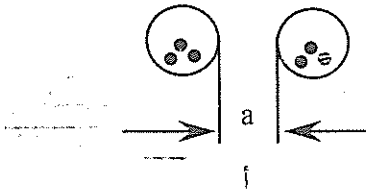
عوامل التصحيح للتمديدات المتجاورة (أكثر من كابل أو دائرة) في الارض K2

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

جدول (9)

عوامل التصحيح للتمديدات المتجاورة في مجاري أرضية K3

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



جدول (10)

عوامل التصحيح لدرجة الحرارة الخارجية للتمديدات في الهواء الطلق K4

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

جدول (11)

عوامل التصحيح لدرجة الحرارة للتمديدات في الأرض K5

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

جدول (12)
السعة الامبيرية (أمبير) لكوابل النحاس

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

الكمية
المتبقية

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

أمثلة تطبيقية:

مثال-1:

جد تيار تحميل كابل بمقطع 120 مم²، 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 120 مم² عازلية XLPE وبطريقة تمديد C يساوي 322 أمبيراً.

نجد الآن عوامل التصحيح:

من جدول 10 نجد أن عامل التصحيح للحرارة الخارجية K₄ يساوي 0.82.

من جدول 7 نجد أن عامل التصحيح للتمديدات المتجاورة K₁ 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 ألومنيوم إذا كان تيار تحميل الكابل الأقصى المسموح به للدائرة 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 K₄ يساوي 0.71.

من جدول 7 نجد أن عامل التصحيح للتمديدات المتجاورة K₁ يساوي 0.75.

عامل التصحيح لموصلات الألومنيوم 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 185م² بعازلية PVC وبطريقة تمديد E تساوي 362 أمبيراً. لذلك فمساحة أدنى مقطع لكابل الالومنيوم يجب أن يكون 185م².

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 النبيطة، 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

الحرف الكودي	طريقة التمديد	نوع الموصل
B	<ul style="list-style-type: none"> ❖ اسفل القوالب الديكورية بغطاء متحرك أو ثابت، تمديد سطحي أو غاطس او تحت القسارة. ❖ تحت الارضيات المجوفة أو فوق السقف المستعار . ❖ في خندق 	<p>كوابل بقلب أو متعددة القلوب</p> 
C	<ul style="list-style-type: none"> ❖ تمديدات سطحية بتلامس مع الجدار أو السقف . ❖ فوق الصواني غير المثقبة . 	
E	<ul style="list-style-type: none"> ❖ سلم كوابل ، صواني مثقبة مثبتة على أذرع داعمة ❖ تمديد على السطح بوجود مسافة عن السطح باستخدام مرابط ❖ كوابل مثبتة من الأطراف 	<p>كوابل متعددة القلوب</p> 
F		<p>كوابل أحادية القلب</p> 

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


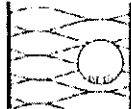


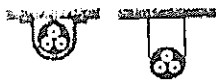

$$K=K_1K_2K_3$$

حيث ان :

- K₁ - عامل تصحيح يأخذ بالاعتبار طريقة التمديد (جدول -14).
- K₂ - عامل تصحيح يأخذ بالاعتبار التمديدات المتجاورة (جدول -15).
- K₃ - عامل تصحيح يأخذ بالاعتبار تأثير درجة الحرارة الخارجية (جدول -16).

جدول (14)

قيم عامل التصحيح K1 - طريقة التمديدات

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

جدول (15)

قيم عامل التصحيح K2-التمديدات المتجاورة

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

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

ملاحظة:

عندما يتم تمديد الكوابل في أكثر من طبقة فإن عامل التصحيح K2 يجب أن يضرب

بما يلي:

لطبقتين: 0.8.

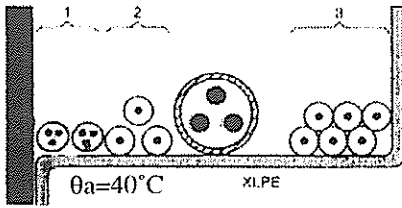
ثلاث طبقات: 0.73.

أربع أو خمس طبقات: 0.70.

جدول (16)

قيم عامل التصحيح K3-تأثير درجة حرارة الوسط المحيط

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



مثال محللول : كابل ثلاثي القلوب

منفذ على صينية كوابل مثقبة متجاور

مع دارات أخرى تتكون مما يلي :

١- كابلان ثلاثيا القلوب (الدارة الأولى).

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

3- الدارة الثالثة ثلاثية الاطوار تتكون من سنة 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 .

K1 من جدول 14- يساوي 1 .

K2 من جدول 15- يساوي 0.73 .

K3 من جدول 16- يساوي 0.91 .

إذن عامل التصحيح الكلي K يساوي :

$$K=K_1 K_2 K_3 = 1 \times 0.73 \times 0.91 = 0.6643$$

جدول (17)

السعة الامبيرية للكوابل

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

مثال محلول :

في المثال السابق ، إذا فرضنا ان كابلاً XLPE سيمر 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 :

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

من جدول 17 ولطريقة التمديد E والكابل ثلاثي الاطوار بعازلية XLPE، نجد أن الكابل الذي مساحة مقطعة تساوي 35مم² 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

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

جدول (19)

قيم عامل التصحيح K5 ، تأثير التمديدات المتقاربة

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

ملاحظة :

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

التالية :

0.8 إذا كانت الكوابل ممددة في طبقتين

0.73 ثلاث طبقات

0.70 أربع أو خمس طبقات

جدول (20)

قيم عامل التصحيح K6 ، تأثير طبيعة وظروف التربة

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

جدول (21)

قيم عامل التصحيح K7 ، تأثير درجة حرارة التربة

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

جدول (22)

السعة الامبيرية للكوابل المدفونة في الأرض

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

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

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

الداخلة الصلبة
في المرحل
في المرحل
في المرحل

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

تابع جلیول - 24

				ألومنیوم
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 الألمنيوم، درجة حرارة الموصل: 90 درجة مئوية، ودرجة حرارة الوسط المحيط، 30 درجة مئوية في الهواء، 20 درجة مئوية في الأرض.

طرق تمديد الكوابل حسب جدول 23-				مساحة مقطع الموصل 2م
د	ج	ب	أ	
نحاس				
21	19	18	15	1.0
26	24	23	19	1.5
34	33	31	26	2.5
44	45	42	35	4
56	58	54	45	6
73	80	74	61	10
95	107	100	81	16
121	138	133	106	25
146	171	164	131	35
173	210	198	158	50
213	269	254	200	70
252	328	306	241	95
287	382	354	278	120
324	441	-	318	150
363	506	-	362	185
419	599	-	424	240
474	693	-	486	300
الألمنيوم				
16	15	14	11.5	1.0
20	19	18	15	1.5
26	26	25	20	2.5
34	35	33	27	4
42	45	43	35	6
56	62	58	48	10
73	84	79	64	16
93	101	105	84	25
112	126	131	103	35
132	154	158	125	50
163	198	200	158	70
193	241	242	191	95
220	280	281	220	120
249	324	-	253	150
279	371	-	288	185
321	439	-	338	240
364	507	-	387	300

جدول (25)

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

طرق تمديد الكوابل حسب جدول 23-				مساحة مقطع الموصل 2م
د	ج	ب	أ	
				نحاس
21	19	18	15	1.0
26	24	23	19	1.5
34	33	31	26	2.5
44	45	42	35	4
56	58	54	45	6
73	80	74	61	10
95	107	100	81	16
121	138	133	106	25
146	171	164	131	35
173	210	198	158	50
213	269	254	200	70
252	328	306	241	95
287	382	354	278	120
324	441	-	318	150
363	506	-	362	185
419	599	-	424	240
474	693	-	486	300
				ألومنيوم
16	15	14	11.5	1.0
20	19	18	15	1.5
26	26	25	20	2.5
34	35	33	27	4
42	45	43	35	6
56	62	58	48	10
73	84	79	64	16
93	101	105	84	25
112	126	131	103	35
132	154	158	125	50
163	198	200	158	70
193	241	242	191	95
220	280	281	220	120
249	324	-	253	150
279	371	-	288	185
321	439	-	338	240
364	507	-	387	300

جدول (26)

السعة الأمبيرية بالأمبير للكوابل المنفذة بالطرق الواردة في جدول 23- العازلية PVC ،
ثلاثة موصلات محملة ، نحاس أو الألمنيوم ، درجة حرارة الموصل: 70 درجة مئوية ،
ودرجة حرارة الوسط المحيط 30 درجة مئوية في الهواء ، 20 درجة مئوية في الأرض .

طرق تمديد الكوابل حسب جدول 23-				مساحة مقطع الموصل مم ²
د	ج	ب	أ	
				نحاس
14.5	13.5	12	10.5	1.0
18	17.5	15.5	13	1.5
24	24	21	18	2.5
31	32	28	24	4
39	41	36	31	6
52	57	50	42	10
67	76	68	56	16
86	96	89	73	25
103	119	111	89	35
122	144	134	108	50
151	184	171	136	70
179	223	207	164	95
203	259	239	188	120
230	294	-	216	150
257	341	-	248	185
297	403	-	286	240
336	464	-	328	300
				الألمنيوم
11.5	10.5	9.5	8	1.0
14	13.5	12	10	1.5
19	19	16.5	14	2.5
24	25	22	19	4
30	32	28	24	6
40	44	39	32	10
52	59	53	43	16
66	73	69	57	25
80	91	86	70	35
94	110	105	84	50
117	140	133	107	70
138	170	161	129	95
157	197	186	149	120
178	227	-	170	150
200	259	-	194	185
230	305	-	227	240
260	351	-	261	300

جدول (27)

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

طرق تمديد الكوابل حسب جدول 5-				مساحة مقطع الموصل 2م
د	ج	ب	أ	
				نحاس
17.5	17	16	13.5	1.0
22	22	20	17	1.5
29	30	27	23	2.5
37	40	37	31	4
46	52	48	40	6
61	71	66	54	10
79	96	89	73	16
101	119	117	95	25
122	147	144	117	35
144	179	175	141	50
178	229	222	179	70
211	278	269	216	95
240	322	312	249	120
271	371	-	285	150
304	424	-	324	185
351	500	-	380	240
396	576	-	435	300
				الألمنيوم
13.5	13.5	12.5	11	1.0
16.5	17.5	16	14	1.5
22	24	22	19	2.5
29	32	29	25	4
36	41	38	32	6
47	57	52	43	10
61	76	71	58	16
78	90	93	76	25
94	112	116	94	35
112	136	140	113	50
138	174	179	142	70
164	211	216	171	95
186	245	250	197	120
210	283	-	226	150
236	323	-	256	185
272	382	-	300	240
308	440	-	345	300

جدول (28)

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

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

جدول (29)

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

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

جدول (30)

عوامل التصحيح لمجموعة كوابل أكثر من دائرة واحدة أو أكثر من كابل متعدد القلوب
تستخدم للكوابل الممدودة في أنابيب أو صناديق ومربوطة على السطح.

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

ملاحظات :

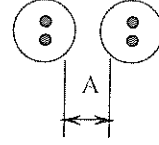
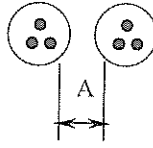
- 1- تستخدم هذه العوامل للكوابل المتماثلة والمحملة بشكل متساو .
- 2- إذا كانت مسافة التباعد للكوابل المتجاورة أكبر من ضعف القطر الكلي ، فلا تستخدم عوامل تصحيح .
- 3- يعني التباعد المسافة بين السطوح المتجاورة لقطر كابل واحد .
- 4- تستخدم هذه العوامل :
 - A- لمجموعة من كابلين أو ثلاثة كوابل أحادية القلب .
 - B- لكوابل متعددة القلوب .
- 5- إذا احتوى النظام مجموعة كوابل من قبلين وثلاثة قلوب ، فيؤخذ العدد الكلي كعدد الدارات ، حيث يستخدم معامل 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)

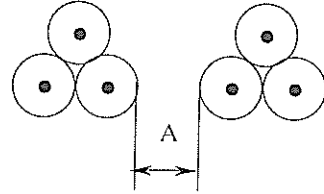
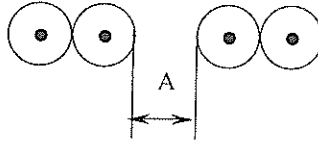
عوامل التصحيح لأكثر من دارة ، الكوابل متساوية ومباشرة في الأرض
(كوابل أحادية القلب أو متعددة القلوب) .

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

❖ للكوابل متعددة القلوب



للكوابل أحادية القلب



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

جدول (32)

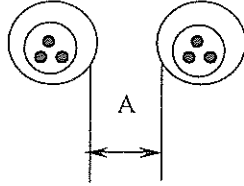
عوامل التصحيح لأكثر من دائرة ، الكوابل ممدودة داخل مجرى duct في الأرض .
أ) كوابل متعددة القلوب في مجرى أحادي الطريق Single-way duct .

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

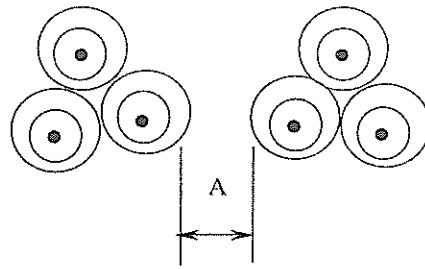
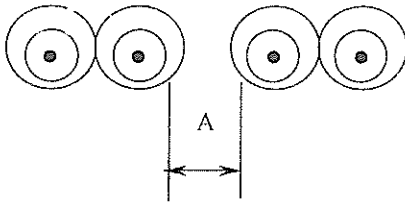
ب) كوابل أحادية القلب في مجرى أحادي الطريق Single -way duct .

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

❖ 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 :

$$I = A.S^m - B.S^n \quad \text{حيث أن :}$$

I-السعة الأمبيرية للكابل ، أمبير .

S-مساحة مقطع الكابل ، مم² .

A,B-معاملات .

m, n-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

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

4.2 الأختيار الاقتصادي للكوابل

كما ذكرنا سابقاً فإن الهدف الرئيسي من تمديد الكوابل هو لتوزيع القدرة الكهربائية من المصدر الى المستهلك بفعالية كل ما أمكن ذلك . وبسبب المقاومة الفعالة 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 إلى زيادة كلفة تمديد الكابل .

ويمكن حل هذه المشكلة عن طريق إيجاد مساحة مقطع الموصل الأدنى (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 :

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

حيث أن التيار I يساوي :

لاحمال الطور الواحد :

$$I= \frac{P}{V \cdot \cos\phi} \quad (2)$$

حيث ان :

P- القدرة ، واط

V- فولتية الطور ، فولط .

للاحمال ثلاثية الاطوار :

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} V \cdot \cos\phi} \quad (3)$$

حيث ان :

V - الفولطية بين الطور والطور، فولط .

$\cos\phi$ - معامل القدرة .

إذا كان طول الكابل L فان فقد القدرة يساوي :

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

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

$$W = \frac{I^2 R \cdot L \cdot T}{1000} \quad [\text{kW.h}] \quad (5)$$

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

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

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

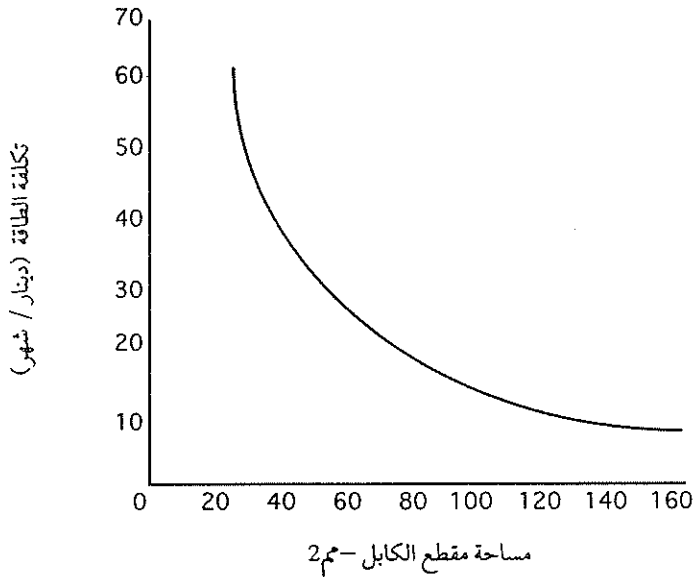
$$C_d = \frac{I^2 R \cdot L}{1000} \cdot D \quad \text{Dinar/month} \quad (7)$$

مما يتبع فان تكلفة الفقد الحراري في الكابل شهرياً تساوي :

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

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

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 إلى زيادة ثمن الكابل نفسه وإلى زيادة تكلفة تمديد الكابل . فإذا فرضنا ما يلي :

P_c - سعر متر الكابل إضافة إلى تكلفة تمديده ومن ضمنها العمالة والمصاريف .

P_t - تكلفة كل طرف Termination من أطراف الكابل .

من هنا يمكننا كتابة ما يلي :

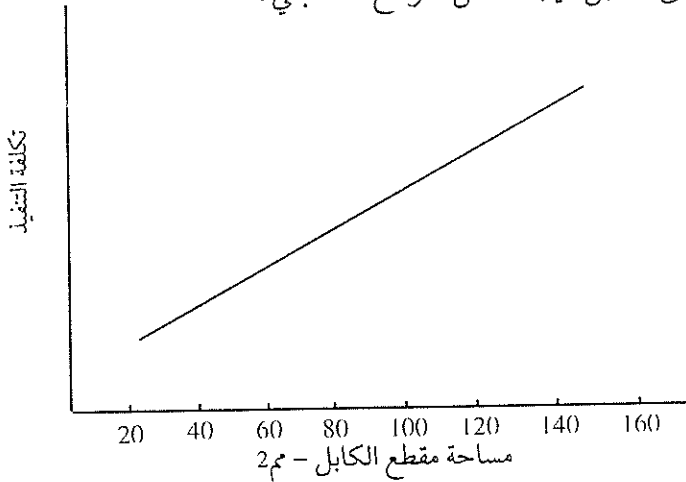
$$C_i = LP_c + mP_t \quad (9)$$

حيث أن :

m - عدد الكوابل وتساوي 2 للدائرة الاحادية و3 للدائرة ثلاثية الأطوار .

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

ولا بد ان نشير إلى أن كلفة تنفيذ الكابل تدفع مرة واحدة وذلك عند تنفيذ المشروع ، بينما تكلفة فقد الحرارة تدفع شهرياً وعلى مدى العمر التشغيلي للمشروع ، ويمكن لهذه التكلفة أن تتغير مع الزمن نتيجة لتغيير تعرفه 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 N سنة، 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 .

-Ia كمية مساعدة تعتمد على الدفعات السنوية Annual Payment .

-Im 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 .

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

$$Im = (Ia)^{1/12} \quad (11)$$

سنرمز الى العامل الذي يجمع تأثير زيادة الحمل الكهربائي وتكلفة الطاقة بالرمز Q .

$$Q = Im \frac{(1 - Ia^N)}{1 - Im} \quad (12)$$

$PV=Q$ (first month's electricity payment)

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

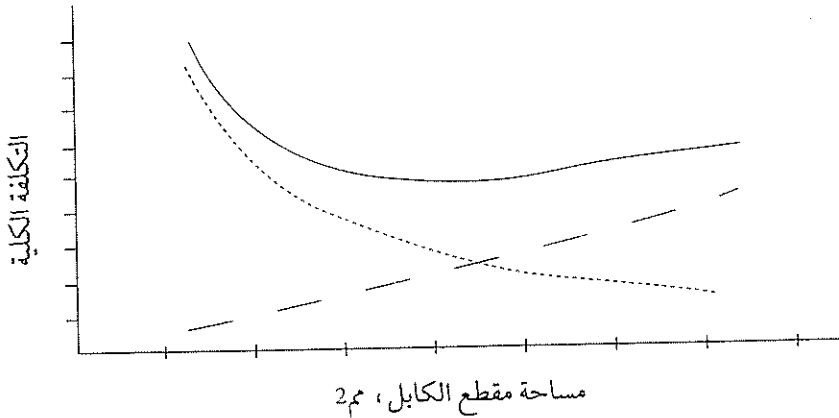
إن قيمة PV هي التي يجب إضافتها إلى تكلفة تنفيذ الكابل لنحصل على التكلفة الكلية في نفس الوقت وهو وقت تنفيذ المشروع، حيث أن جميع التكاليف المادية لها نفس الأساس المالي، من هنا فالتكلفة الكلية CT تساوي:

$$CT= PV+C_i$$

$$CT= Q (C_j + C_d)+C_i \quad (14)$$

ولو دمجنا المنحنيين الواردين في شكل-3 وشكل-4 لتتج منحني التكلفة الكلية، ونلاحظ أن المنحنى الناتج له قيمة دنيا وهي القيمة الأفضل أو الأمثل لمساحة مقطع الكابل الذي يقابله أدنى 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 مهلول .

لدينا تنور Kiln كهربائي قدرته 100 كيلو 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 الأدنى من الناحية الحرارية وكذلك مساحة المقطع الاقتصادي بتوفر المعلومات التالية:

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

تكلفة الكيلو واط قدرة = صفرأ .

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 K₂, K₃.

تتم حماية دارة التنور باستخدام قاطع دارة بمقرر امبيري يساوي :

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

من هنا فان السعة الامبيرية للكابل تساوي :

$$I_z = I_n = 150 \text{ A}$$

من جدول -17 نجد أن الكابل الذي مساحة مقطعه 35 مم² تساوي سعته الامبيرية 158 أمبيراً، وهذا أدنى مقطع للكابل من الناحية الحرارية .

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

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

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

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

$$W = \frac{144.5^2 \times 0.026 \times 350}{1000} = 190 \text{ Kwh}$$

تكلفة الطاقة التي يفقدها الكابل شهرياً تساوي:

$$C_j = W \cdot \frac{P}{1000} = 190 \cdot \frac{150}{1000} = 9.5 \text{ Dinar /month}$$

بما ان تكلفة الكيلوواط = صفرأ، فان $C_d = 0$

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

$$C_i = 8 \times 50 = 400 \text{ Dinar}$$

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 r_a (معادلة 10)

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

نحسب r_m (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:

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

التكلفة الكلية للكابل C_T (معادلة 14) تساوي:

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

والآن سنجري نفس الحسابات السابقة ولكن لموصل مساحة مقطعة 70 مم²، أي أخذنا موصلًا يقع في الجدول بمقاسين أعلى من 35 مم² (50 مم²، 70 مم²).

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

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

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

نفترض أن تكلفة تنفيذ المتر الطولي الواحد من كابل 70 مم² (ومن ضمنها ثمن الكابل نفسه) يساوي 14 ديناراً/المتر.

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

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

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

التوفير الحاصل من استخدام كابل بمقاس 70 مم² 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 ومسلاً بأسلاك فولاذية ومنفذاً في وسط به تهوية .

جدول (34)

مساحة مقطع الكابل الاقتصادي

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

5.2 تحديد ساعات 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 مصمماً Solid أو مجدولاً .
- سماكة العازلية .
- نوع مادة الموصل (نحاس أو ألومنيوم) .
- 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 اعتماداً على كون الكابل مصمماً أو مجدولاً وطول الماسورة وعدد الانحناءات . يبين جدول -35 الحدود لكوابل النحاس المعزولة بمادة PVC .

جدول (35)

الحدود لكوابل النحاس المعزولة بمادة PVC

مساحة مقطع الكابل (مم ²)								نوع الموصل	طول الماسورة	المرجع
25	16	10	6	4	2.5	1.5	1			
-	-	-	-	-	39	27	22	مصمت	ماسورة مستقيمة بطول	A
385	202	146	88	58	43	31	-	مجدول	3 أمتار وأقل	B
					30	22	16	مصمت	ماسورة مستقيمة أكبر من 3	C
217	145	105	58	43	30	22	-	مجدول	أمتار مع أو بدون انحناءات	D

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 :

$$T_t = (t_1 \times n_1) + (t_2 \times n_2) + (t_3 \times n_3) + \dots + (t_n \times n_n)$$

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 مم² والموصل مصمت ، وإثنا عشر كابلاً بمساحة مقطع 1.5 مم² والموصل مجدول ، وأربعة كوابل بمساحة مقطع 6 مم² ، فإذا كان طول الماسورة يساوي 2.3 م وبها ثلاثة إنحناءات ، ففي هذه الحالة فإن 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 50 مم وحدها يساوي 1671 وهو 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 32 مم بدل ماسورة واحدة بقطر 50 مم ، وفي الحالة الأولى فإن 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	$R \leq 3.0$	290	460	800	1400	1900	3500	5600
B	$3.0 < R \leq 3.5$	179	290	521	911	1275	2368	3826
C	$3.5 < R \leq 4.0$	177	286	514	900	1260	2340	3780
D	$4.0 < R \leq 4.5$	174	282	507	889	1244	2311	3733
E	$4.5 < R \leq 5.0$	171	278	500	878	1229	2282	3687
F	$5.0 < R \leq 6.0$	167	270	487	857	1199	2228	3599
G	$6.0 < R \leq 7.0$	162	263	475	837	1171	2176	3515
H	$7.0 < R \leq 8.0$	158	256	463	818	1145	2126	3435
I	$8.0 < R \leq 9.0$	154	250	452	800	1120	2080	3360
J	$9.0 < R \leq 10.0$	150	244	442	783	1096	2035	3288
Runs with one bend								
K1	$R \leq 1.0$	188	303	543	947	1325	2462	3977
L1	$1.0 < R \leq 1.5$	182	294	528	923	1292	2399	3876
M1	$1.5 < R \leq 2.0$	177	286	514	900	1264	2340	3780
N1	$2.0 < R \leq 2.5$	171	278	500	878	1229	2282	3687
O1	$2.5 < R \leq 3.0$	167	270	487	857	1199	2228	3599
P1	$3.0 < R \leq 3.5$	162	263	475	837	1171	2176	3515
Q1	$3.5 < R \leq 4.0$	158	256	463	818	1145	2126	3435
R1	$4.0 < R \leq 4.5$	154	250	452	800	1120	2080	3360
S1	$4.5 < R \leq 5.0$	150	244	442	783	1096	2035	3288
T1	$5.0 < R \leq 6.0$	143	233	422	750	1050	1950	3150
U1	$6.0 < R \leq 7.0$	136	222	404	720	1008	1872	3024
V1	$7.0 < R \leq 8.0$	130	213	388	692	968	1799	2906
W1	$8.0 < R \leq 9.0$	125	204	373	667	933	1734	2801
X1	$9.0 < R \leq 10.0$	120	196	358	643	900	1671	2700
Runs with two bends								
K2	$R \leq 1.0$	177	286	514	900	1260	2340	3780
L2	$1.0 < R \leq 1.5$	167	270	487	857	1199	2228	3599
M2	$1.5 < R \leq 2.0$	158	256	463	818	1145	2126	3435
N2	$2.0 < R \leq 2.5$	150	244	442	783	1096	2035	3288
O2	$2.5 < R \leq 3.0$	143	233	422	750	1050	1950	3150
P2	$3.0 < R \leq 3.5$	136	222	404	720	1008	1872	3024
Q2	$3.5 < R \leq 4.0$	130	213	388	692	968	1799	2906
R2	$4.0 < R \leq 4.5$	125	204	373	667	933	1734	2801
S2	$4.5 < R \leq 5.0$	120	196	358	643	900	1671	2700
T2	$5.0 < R \leq 6.0$	111	182	333	600	840	1560	2520
U2	$6.0 < R \leq 7.0$	103	169	311	563	788	1463	2364
V2	$7.0 < R \leq 8.0$	97	159	292	529	740	1375	2221
W2	$8.0 < R \leq 9.0$	91	149	275	500	700	1300	2100
X2	$9.0 < R \leq 10.0$	86	141	260	474	663	1232	1990

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

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

(3) BESA term يُستخدم مع جدول 39 فقط .

وكمثال ، يمكن حساب حجم الصندوق المطلوب لتمديد ستة كوابل بمقطع 2.5م² (الموصل مُصمت) . واثنا عشر كابلاً بمقطع 1.5م² (الموصل مجدول) وأربعة كوابل بمقطع 6م² ، 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 50x37.5م يناسب تماماً لان حد هذا الصندوق يساوي 767 والرقم الاخير أكبر كثيراً من 250 .

جدول (38)

حد صندوق الكوابل المستخدم مع CSA

أبعاد صندوق الكوابل											المرجع	
100	100	100	100	100	75	75	75	75	50	50	الارتفاع	A
100	75	50	37.5	25	75	50	37.5	25	50	37.5	العمق	B
4252	3189	2091	1542	993	2371	1555	1146	738	1037	767	الحد 1,2	C

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	$R \leq 1.0$	158	256	463	818	1145	2126	3435
L3	$1.0 < R \leq 1.5$	143	233	422	750	1050	1950	3150
M3	$1.5 < R \leq 2.0$	130	213	388	692	968	1799	2906
N3	$2.0 < R \leq 2.5$	120	196	358	643	900	1671	2700
O3	$2.5 < R \leq 3.0$	111	182	333	600	840	1560	2520
P3	$3.0 < R \leq 3.5$	103	169	311	563	788	1463	2364
Q3	$3.5 < R \leq 4.0$	97	159	292	529	740	1375	2221
R3	$4.0 < R \leq 4.5$	91	149	275	500	700	1300	2100
S3	$4.5 < R \leq 5.0$	86	141	260	474	663	1232	1990
Runs with four bend								
K4	$R \leq 1.0$	130	213	388	692	968	1799	2906
L4	$1.0 < R \leq 1.5$	111	182	333	600	840	1560	2520
M4	$1.5 < R \leq 2.0$	97	159	292	529	740	1375	2221
N4	$2.0 < R \leq 2.5$	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 بأنه النسبة بين مجموع مساحات مقاطع الكوابل المنفذة داخل الصندوق 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 مصنفة	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 نظر	B
552	346	284	227	76.7	32.7	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

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

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

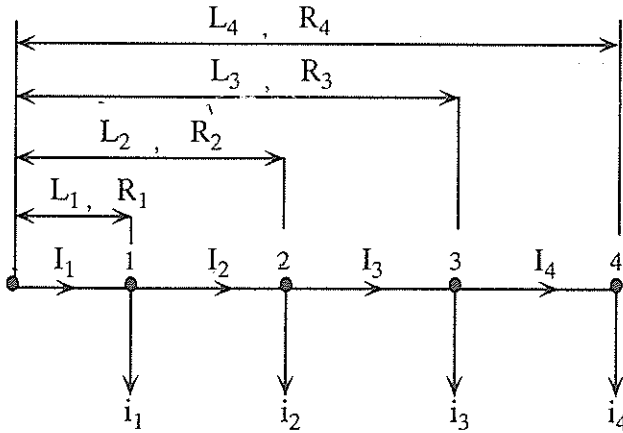
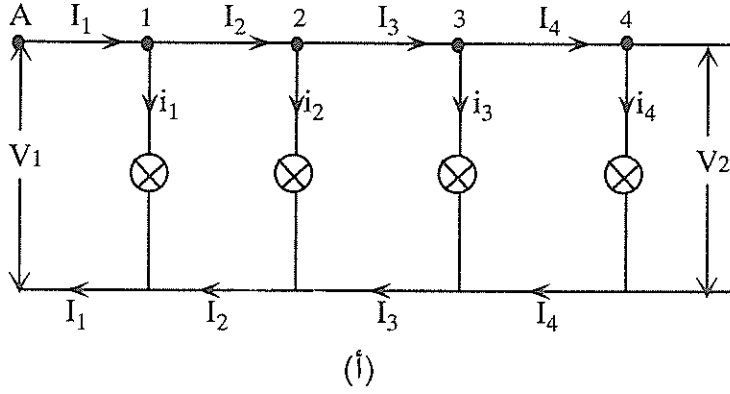
أبعاد الصناديق وحدود BESA terms لصناديق 200 x 75 ولغاية 300 x 300																		الترج		
300	300	300	300	300	300	300	300	225	225	225	225	225	225	225	200	200	200	200	الارتفاع	F
300	225	200	150	100	75	50	38	225	200	150	100	75	50	38	200	150	100	75	العمق	F
2.0	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6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

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 فعالة 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.



شكل - 1-

ولغايات الحساب يمكننا رسم شكل 1-أ كما هو مبين في شكل 1-ب .
 إن فقد الفولطية Voltage loss في الخطين (الخط المغذى للحمل والخط الراجع)

يساوي :

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

حيث أن :

V_1 - قيمة الفولطية 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 الفعالة ، أوم .

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

$$I_1 = i_1 + i_2 + i_3 + i_4,$$

$$I_2 = i_2 + i_3 + i_4,$$

$$I_3 = i_3 + i_4,$$

$$I_4 = i_4,$$

$$R_1 = r_1,$$

$$R_2 = r_1 + r_2,$$

$$R_3 = r_1 + r_2 + r_3,$$

$$R_4 = r_1 + r_2 + r_3 + r_4,$$

$$L_1 = l_1,$$

$$L_2 = l_1 + l_2,$$

$$L_3 = l_1 + l_2 + l_3,$$

$$L_4 = l_1 + l_2 + l_3 + l_4,$$

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

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

وبشكل عام فإن فقد الفولطية يساوي :

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

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

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

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

حيث أن :

ρ - مقاومة المادة، أوم مم²/م.

γ - موصلية المادة، م/أوم. مم².

S - مساحة مقطع الموصل، مم².

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

$$\Delta V = \frac{2}{\gamma S} \sum_{j=1}^{j=n} I_j \ell_j \quad (7) \quad \Delta V \% = \frac{2 \times 100}{\gamma S \nu r} \sum_{j=1}^{j=n} I_j \ell_j$$

$$\Delta V = \frac{2}{\gamma S} \sum_{j=1}^{j=n} I_j L_j \quad (8) \quad \Delta V \% = \frac{2 \times 100}{\gamma S \nu r} \sum_{j=1}^{j=n} I_j L_j$$

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

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

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

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 افترضنا 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 :

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

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

وتصبح فقد الفولطية كنسبة مئوية كما يلي :

$$\Delta V\% = \frac{2 \times 100}{\gamma S V_r^2} \sum_{j=1}^{j=n} P_j \ell_j \quad (16)$$

$$\Delta V\% = \frac{2 \times 100}{\gamma S V_r^2} \sum_{j=1}^{j=n} P'_j L_j \quad (17)$$

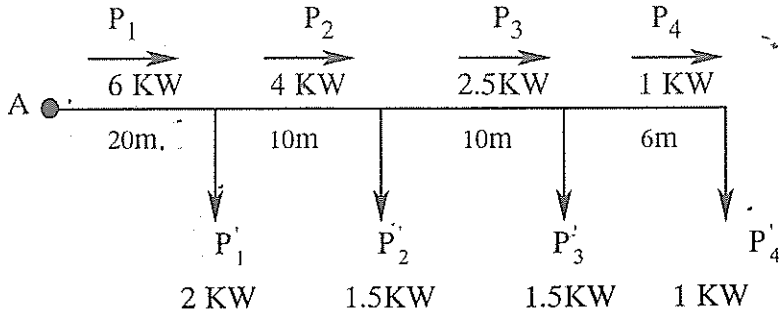
بالتالي يمكننا تحديد مساحة مقطع السلك أو الكابل كما يلي :

$$S = \frac{2 \times 100}{\gamma \Delta V_{per} V_r^2} \sum_{j=1}^{j=n} P_j \ell_j \quad (18)$$

$$S = \frac{2 \times 100}{\Delta V_{per\%} V_r^2} \sum_{j=1}^{j=n} P'_j L_j \quad (19)$$

مثال محلول :

إحسب فقد الفولطية في دائرة أحادية الطور ، كما في شكل - 2 ، إذا كانت الفولطية المقررة هي 220 فولطاً ، وكان الخط مصنوعاً من مادة النحاس ومساحة مقطعه 6م².



شكل 2-

الحل :

$$\begin{aligned} \Delta V\% &= \frac{2 \times 10^5}{\gamma S V_r^2} \sum P \ell \\ &= \frac{2 \times 10^5}{56 \times 6 \times 220^2} (6 \times 20 + 4 \times 10 + 2.5 \times 10 + 1.0 \times 6) \\ &= 2.35\% \end{aligned}$$

ونفس الجواب نحصل عليه إذا استخدمنا المعادلة التالية :

$$\begin{aligned} \Delta V\% &= \frac{2 \times 10^5}{\gamma S V_r^2} \sum P'_j L_j = \\ &= \frac{2 \times 10^5}{56 \times 6 \times 220^2} (2 \times 20 + 1.5 \times 30 + 1.5 \times 40 + 1.0 \times 46) = 2.35\% \end{aligned}$$

مثال محلول :

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

الحل :

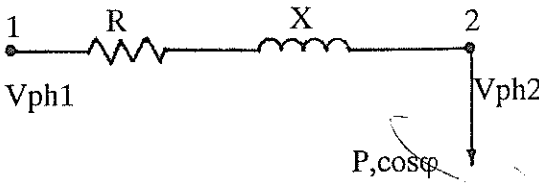
$$S = \frac{2 \times 10^5}{\gamma \Delta V_{\text{per}\%} V_r^2} = \sum_{j=1}^{j=n} P_j \ell_j$$

$$S = \frac{2 \times 10^5}{56 \times 1.5 \times 220^2} (6 \times 20 + 4 \times 10 + 2.5 \times 10 + 1.0 \times 6) = 9.4 \text{ mm}^2$$

لذلك نختار سلكاً مقطعه 10 مم²، وبذلك قيمة فقد الفولطية في الخط أقل من قيمة فقد الفولطية المسموح بها.

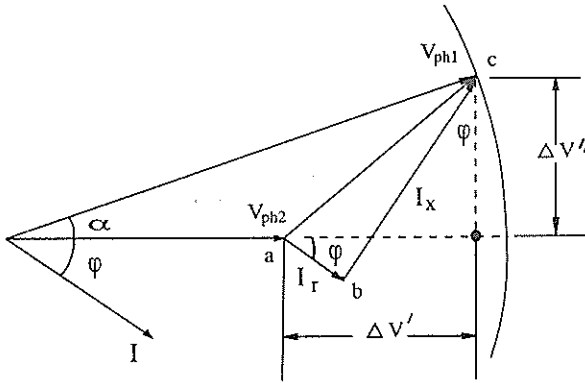
2.3 مفهوم هبوط الفولطية وفقداتها

لنفترض أن لدينا خطاً كهربائياً يصل بين النقطة 1 والنقطة 2 (شكل - 3) وأن كمية من القدرة P ومعامل قدرة $\cos \varphi$ يتم استهلاكها في النقطة 2. لنفترض أيضاً أن المقاومة الفعالة للخط R والمراكسة الحثية X . تُسمى النقطة



شكل - 3

1 بنقطة البداية Sending end والنقطة 2 بنقطة الاستقبال Receiving end.



شكل - 4

ولنفترض أن الفولطية الطورية في النقطة 1 هي V_{ph1} والفولطية الطورية في النقطة 2 هي V_{ph2} ، 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

$$\vec{a} \vec{c} = \vec{I} \vec{Z} = \vec{V}_{ph1} - \vec{V}_{ph2} \quad (20)$$

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

من المثلث abc نجد أن :

$$\vec{I} \vec{Z} = \Delta \vec{V} = \vec{I}(R+jX) = \vec{I}R = j \vec{I}X \quad (21)$$

حيث أن :

ΔV - هبوط الفولطية .

أما القيمة العددية لهبوط الفولطية فتساوي :

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

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

ويُعرف فقد الفولطية Voltage loss بأنه الفرق العددي بين القيم العددية للفولطية في بداية الخط ونهاية الخط ، فإذا وضعنا فولطيترا في بداية الخط لقيس القيمة العددية للفولطية في تلك النقطة ووضعنا فولطيترا في نهاية الخط لقيس القيمة العددية للفولطية في تلك النقطة ، فإن فقد الفولطية هو الفرق بين قرائتي الفولطيتين ، أي أن :

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

حيث أن :

ΔV - فقد الفولطية .

- V_{ph1} , V_{ph2} - قيمة الفولطية الطورية في بداية ونهاية الخط وهي قيم عديدة .

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:

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

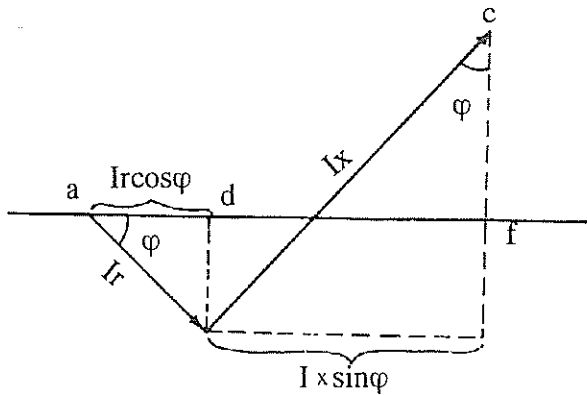
وفي الشبكات الكهربائية التي فولطيتها أقل من 10 ك. ف. (وفولطية شبكات التمديدات الكهربائية أقل من ذلك)، فإن الزاوية α صغيرة، وبالتالي فإن $\Delta V'$ تكون قليلة مقارنة مع $\Delta V''$ ، وبالتالي يمكن إهمالها. في هذه الحالة يمكننا اعتبار أن فقد الفولطية يساوي المركبة الأفقية لهبوط الفولطية أي أن:

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

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

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

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



شكل (5)

حيث أن:

$$\begin{aligned} ad &= I r \cos \varphi \\ df &= I x \sin \varphi \end{aligned} \quad (27)$$

أي أن فقد الفولطية يساوي:

$$\Delta V' = I r \cos \varphi + j I x \sin \varphi \quad (28)$$

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:

$$\Delta V' = I r \quad (29)$$

وإختصاراً تُكتب كما يلي:

$$\Delta V = I r \quad (30)$$

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

$$V_1 = V_2 + I r = V_2 + \Delta V \quad (31)$$

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

وهي:

- 1- معامل القدرة للحمل $\cos \varphi$.
 - 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:

$$\Delta V = I r_0 L \quad (32)$$

حيث أن:

L - طول الكابل بالمتري.

r_0 - 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:

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

حيث أن:

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

L - طول الكابل بالمتري.

S - مساحة مقطع الكابل بالمتري المربع (ملليمتر مربع).

γ - الموصلية النوعية، م/ أوم. مم².

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

مثال محلول :

إستخدَم كابل من النحاس مساحة مقطعه 35 مم² لتمرير تيار قيمته 50 أمبيراً لمسافة 100 متر، إحسب فقد الفولطية في نهاية الخط .

الحل :

نجد أولاً المقاومة الفعالة r للكابل ، علماً بأن موصلية النحاس تساوي 56 م/أوم.م².

$$R = \frac{L}{\gamma S} = \frac{100}{56 \times 35} = 0.051 \Omega$$

$$\Delta V = IR = 50 \times 0.051 = 2.55 \text{ V}$$

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 :

$$V_2 = V_1 - \Delta V = 220 - 2.55 = 217.45 \text{ V}$$

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

$$\frac{\Delta V}{V_r} = L \frac{P}{V_r^2} \cdot r_0 \quad \text{لتفريج واحد}$$

$$\Delta V\% = \frac{PL(100)}{V_r^2} \cdot r_0 \quad \text{لتفريج واحد}$$

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 دائرة ثلاثية الأطوار محملة أطوارها بالتساوي فإن فقد الفولطية في الدارة ثلاثية الأطوار يساوي:

$$\Delta V = \sqrt{3} I (R \cos \varphi + jX \sin \varphi) \quad (34)$$

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

$$\begin{aligned} R &= r_0 L \\ X &= x_0 L \end{aligned} \quad (35)$$

حيث أن:

L - طول الكابل بالمتر.

فإن فقد الفولطية يمكن حسابه كما يلي:

$$\Delta V = \sqrt{3} IL (r_0 \cos \varphi + jx_0 \sin \varphi) \quad (36)$$

وكنسبة مئوية فإن فقد الفولطية يساوي:

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

أما إذا كان الحمل معطى لنا بالكيلوواط وليس الأمبير، فإن:

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

$$\Delta V = \frac{10^3}{V_r} \sum_{j=1}^n P_j \frac{l_j}{V_r} \quad \text{بالكيلووات}$$

$$\Delta V\% = \frac{10^5}{V_r^2} \sum_{j=1}^n P_j \frac{l_j}{V_r} \quad \text{بالكيلووات}$$

لعدة أمثلة

وبالتالي يصبح فقد الفولطية مساويا:

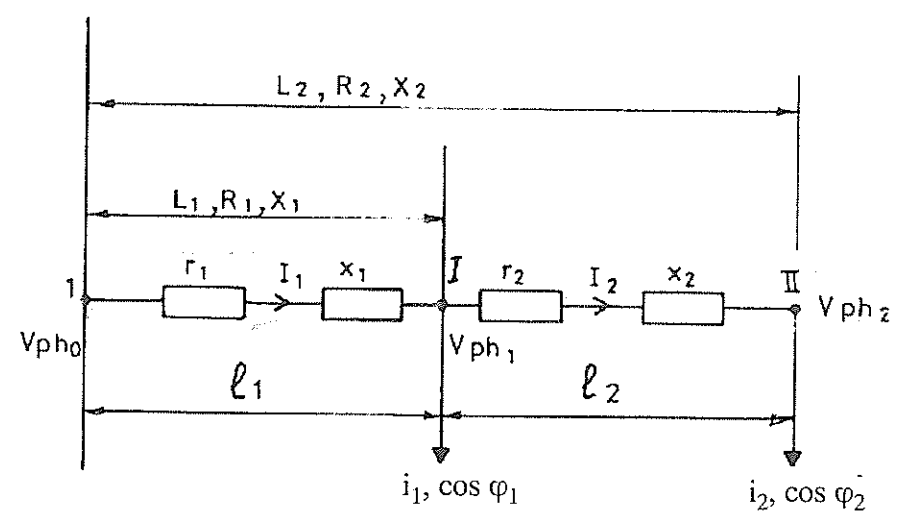
$$\Delta V\% = \frac{10^5 PL}{V_r^2 \cos \varphi} \left(r_0 \cos \varphi + j x_0 \sin \varphi \right) \quad (39)$$

$$= \frac{10^5 PL}{V_r^2} \left(r_0 + j x_0 \tan \varphi \right)$$

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

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

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

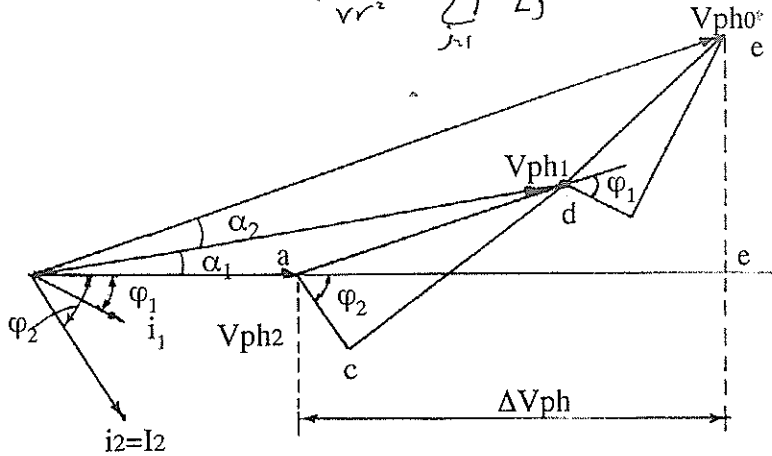


شكل (6)

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

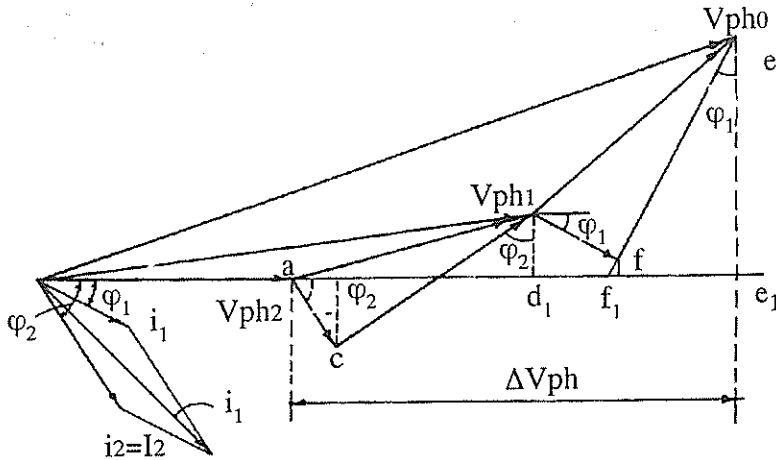
$$\Delta V = \frac{10^3}{V_r} r_0 \sum_{j=1}^N P L_j \quad \text{مقدوراً على مجال الختروج}$$

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



شكل (7)

إن تحديد قيمة فقد الفولطية اعتماداً على مخطط المتجهات الوارد في شكل - 7 يشكل صعوبة في اشتقاق 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_2 ، α_1 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 :

$$\Delta V_{ph} = a c_1 + c_1 d_1 + d_1 f_1 + f_1 e_1 = I_2 \hat{r}_2 \cos \varphi_2 + j I_2 x_2 \sin \varphi_2 + I_1 r_1 \cos \varphi_1 + j I_1 x_1 \sin \varphi_1 \quad (41)$$

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

$$\Delta V = \sqrt{3} \Delta V_{ph} = \sqrt{3} \left(I_2 \cdot r_2 \cos \varphi_2 + j I_2 x_2 \sin \varphi_2 + I_1 r_1 \cos \varphi_1 + j I_1 x_1 \sin \varphi \right) \quad (42)$$

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

$$\Delta V = \sqrt{3} \sum (I r_0 \cos \varphi + j I x_0 \sin \varphi) \quad (43)$$

$$\begin{aligned} r &= r_0 L \\ x &= x_0 L \end{aligned}$$

فإذا كانت :

فإن المعادلة (43) تصبح كما يلي :

$$\Delta V = \sqrt{3} \sum (I r_0 \cos \varphi + j I x_0 \sin \varphi) \cdot L \quad (44)$$

أما فقد الفولطية كنسبة مئوية فيساوي :

$$\Delta V \% = \frac{\sqrt{3} \cdot 100}{V_r} \sum (I r_0 \cos \varphi + j I x_0 \sin \varphi) \cdot L \quad (45)$$

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

$$\Delta V = \sqrt{3} \sum (i r \cos \varphi + j x \sin \varphi) \quad (46)$$

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

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

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

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

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 .

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

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

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

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

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

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 16م² أو أقل ، فإن فقد الفولطية يساوي :

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

لدارات التيار المتردد بمساحة مقطع 25م² أو أكبر فإن فقد الفولطية يساوي :

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

ويمكن استخدام 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 16م² وبعاذليه 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 الكابيل التشغيلية الفعلية يمكن حسابها كما يلي:

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

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

حيث أن :

t_r - درجة الحرارة الخارجية كما في الجداول .

t_p - درجة حرارة الكابيل التشغيلية كما في الجداول .

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

مثال محلول :

دارة أحادية الطور منفذه بكابيل مسلح بعازلية PVC، 70 درجة مئوية، مساحة المقطع 16 مم²، والكابيل منفذ بتثبيت مباشر على الجدار وليس هناك كوابل منفذه قريبة منه . فإذا كان التيار يساوي 70 أمبيراً، t_a تساوي 35 درجة مئوية وطول الكابيل 30 متراً، إحسب فقد الفولطية .

الحل :

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

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

من هنا فإن درجة تشغيل الكابيل الفعلية تساوي :

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

من جدول 4D4A عامود 3 نجد أن فقد الفولطية يساوي 2.8 ميلي فولط /

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

الحل :

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

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

فإذا كانت فولطية الدارة تساوي 230 فولطاً ، فإن فقد الفولطية 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 95مم² ومنفذ
على صينية كوابل ، فإذا كان التيار يساوي 200 أمبير وطول الكابل 40متراً ، إحسب
فقد الفولطية :

الحل :

الجدول المناسب لايجاد فقد الفولطية هو جدول 4E2B في المواصفات البريطانية .
من الجدول نجد أن فقد الفولطية يساوي 0.52 ميللي فولط / امبير / متر .

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

1.5.3 حساب فقد الفولطية باعتبار درجة حرارة الموصل التشغيلية

إن كميات فقد الفولطية 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 70مم² بعازليه PVC وغير مسلح ، طريقة تنفيذ الكابل بالثبيت 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 :

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

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

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

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

في حالة إهمال معامل القدرة فإن :

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

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

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 50مم² بعازلية PVC ومنفذه على صينية كوابل ، معامل القدرة للدارة 0.7 ، تيار الحمل يساوي 100 أمبير ، 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 :

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

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

من هنا فإن عامل التخفيض Reduction Factor المستخدم لحساب فقد الفولطية

يساوي :

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

من جدول 4D2B نجد ما يلي :

$$(mV/A/m)_r = 0.8 \text{ mV/A/m}$$

$$(mV/A/m)_x = 0.14 \text{ mV/A/m}$$

يتم استخدام عامل التخفيض على مركبة فقد الفولطية في المقاومة الفعالة ، بينما لا

يتأثر فقد الفولطية في المراكسة ، من هنا فإن :

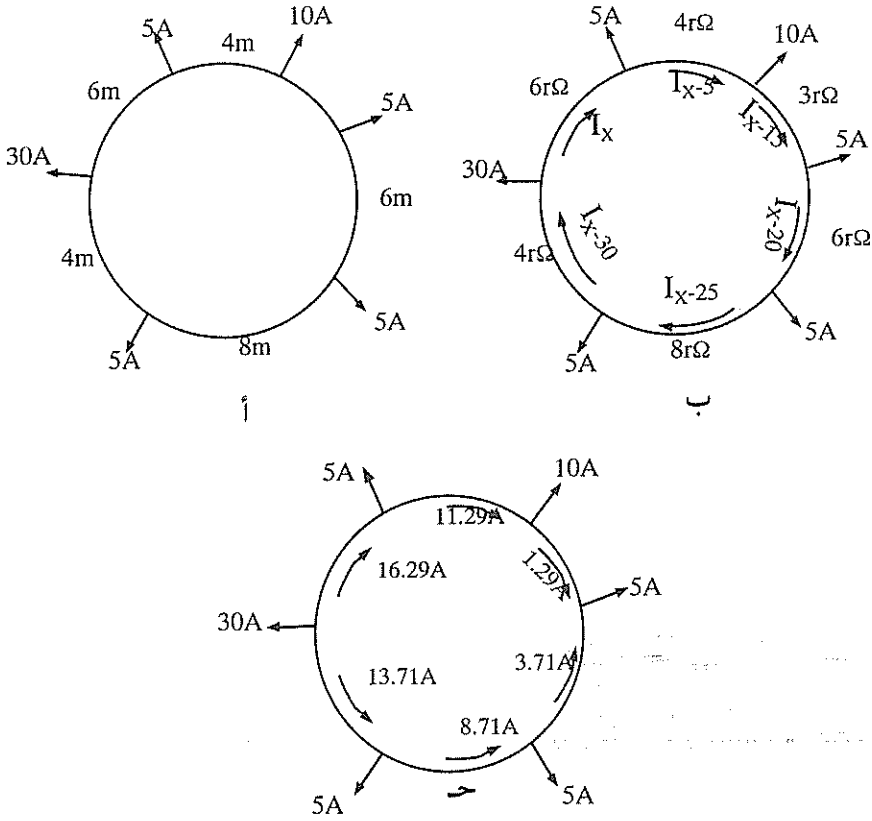
$$(mV/A/m)_r \times R.F = 0.8 \times 0.957 = 0.7565 \text{ mV/A/m}$$

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

$$\Delta V = \frac{(0.7565 \times 0.714 + 0.14 \times 0.7) 100 \times 20}{1000} = 1.29 \text{ V}$$

3.5.3 حساب فقد الفولطية في الدارات الحلقية.

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



شكل (9)

حساب فقد الفولطية في الدارة الحلقية .

يبين شكل - 9 - الدارة الحلقية ونقاط التوصيل وعليها قيمة الأمبير المستهلك وكذلك المسافة بين النقاط . لنفترض أن مقطع السلك لهذه الدارة هو 2.5 مم^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 :

$$I_x \cdot 6r + (I_x - 5) \cdot 4r + (I_x - 15) \cdot 3r + (I_x - 20) \cdot 6r + \\ + (I_x - 25) \cdot 8r + (I_x - 30) \cdot 4r = 0$$

ومن حل المعادلة السابقة نجد قيمة I_x :

$$I_x = 16.29 \text{ A}$$

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

$$\Delta V = [(16.29 \times 6) + (11.29 \times 4) + (1.29 \times 3)] \frac{\text{mV/A/m}}{1000} = \frac{146.8 \times \text{mV/A/m}}{1000}$$

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

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

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 فنشرح تالياً طريقة عامة لحساب فقد الفولطية باستخدام جدول واحد فقط .

تستخدم المعادلة التالية لحساب فقد الفولطية في دارات التيار المتردد :

$$\Delta V = K (R \cos \varphi + X \sin \varphi) I \quad \text{V/Km}$$

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 الفعالة R ما يلي :

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

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

وللكوابل التي يزيد مساحة مقطعها على 50مم² فيمكن إهمال قيمة R لأنها تكون صغيرة جداً .

X - المراكسة الحثية للموصل بالأوم / كم . وتكون قيمة X صغيرة جداً للكوابل التي يقل مقطعها على 50مم²، 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	$\Delta V = 2 I (R \cos \varphi + X \sin \varphi)$	$\frac{\Delta V}{V_n} \times 100$
أحادية، طور / حيادي	$\Delta V = 2 I (R \cos \varphi + X \sin \varphi)$	$\frac{\Delta V}{V_n \sqrt{3}} \times 100$
ثلاثية الاطوار متوازنة	$\Delta V = \sqrt{3} I (R \cos \varphi + X \sin \varphi)$	$\frac{\Delta V}{V_n} \times 100$

حيث أن V_n الفولطية الخطية المقررة

I- تيار الطور، أمبير

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

ويبين جدول - 2 فقد الفولطية لقيم مختلفة من معامل القدرة للدارات أحادية وثلاثية الأطوار ولكوابل أحادية وثنائية وثلاثية القلوب . ولحساب فقد الفولطية بالفولط يتم ضرب القيم من الجدول بقيمة التيار وطول الدارة وتقسيم الناتج على 1000 .

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

مثال محلول :

دارة ثلاثية تغذي محركاً منفذه بكابل ثلاثي القلوب ويعازلته XLPE منفذاً على صينية كوابل مثقبة، تيار الحمل يساوي 150 أمبيراً، مقطع الكابل 35 مم² وطول الدارة 30 متراً. إحسب فقد الفولطية باستخدام جداول المواصفات البريطانية وباستخدام الجدول في الطريقة العامة . (معامل القدرة = 0.8).

الحل :

من جدول 4E1B من المواصفات البريطانية نجد ما يلي :

$$\text{tabulated } (mV/A/m) r = 1.35 \quad mV/A/m$$

$$\text{tabulated } (mV/A/m) r = 1.18 \quad mV/A/m$$

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

$$\Delta V = \frac{(1.35 \times 0.8 + 0.18 \times 0.6) 150 \times 30}{1000} = 5.346 \text{ V}$$

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 .

دارة ثلاثية الطوار			دارة أحادية الطور			مقطع الكابل ، 2م	
دارة إنارة	دارة محركات		دارة إنارة	دارة محركات		AI	Cu
Cos $\varphi = 1.0$	Cos $\varphi = 0.8$	Cos $\varphi = 0.35$	Cos $\varphi = 1.0$	Cos $\varphi = 0.35$	Cos $\varphi = 0.8$		
25	9.4	20	30	10.6	24		1.5
15	5.4	12	18	6.4	14.4		2.5
9.5	3.6	8	11.2	4.1	9.1		4
6.2	2.5	5.3	7.5	2.9	6.1	10	6
3.6	1.5	3.2	4.5	1.7	3.7	16	10
2.4	1	2.05	2.8	1.15	2.36	25	16
1.5	0.65	1.3	1.8	0.75	1.5	35	25
1.1	0.52	1	1.29	0.6	1.15	50	35
0.77	0.41	0.75	0.95	0.47	0.86	70	50
0.55	0.32	0.56	0.64	0.37	0.64	120	71
0.40	0.26	0.42	0.47	0.30	0.48	150	95
0.31	0.23	0.34	0.37	0.26	0.39	185	120
0.27	0.21	0.29	0.30	0.24	0.33	240	150
0.20	0.19	0.25	0.24	0.22	0.29	300	185
0.16	0.17	0.21	0.19	0.20	0.24	400	240
0.13	0.16	0.18	0.15	0.19	0.21	500	300

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-stalltion الى نقطة الاستهلاك Current using equipment يجب أن لا تزيد على 4% من القيمة المقررة لفولطية التزويد . ولا بد أن تشير 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 الفولطية فلا بد أن نضيف 6% على القيمة التي تم حسابها، ثم إيجاد قيمة الفولطية بالفولط عند نقطة الاستهلاك ومقارنة هذا الفولطية بقيمة الفولطية المسموح للجهاز الكهربائي أن يشتغل عندها .

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

$$V = 230 \times 94\% - 230 \times 0.04\% = 207 \text{ V}$$

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

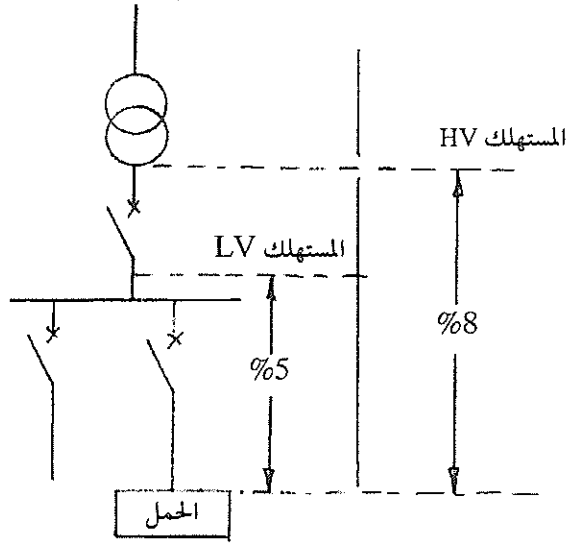
ويمكن الاسترشاد بجدول 3- والذي يحدد فقد الفولطية الأقصى بين نقطة توصيل الخدمة الكهربائية Service connection point ونقطة الاستهلاك (نقطة وصل الجهاز الكهربائي) Point of utilization .

جدول (3)

قيمة فقد الفولطية الأقصى بين نقطة التزويد الكهربائي ونقطة الاستخدام. %

الانارة	استخدامات أخرى (قدرة وتسخين)
3	5
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 متر طول عند حساب فقد الفولطية للمحركات .

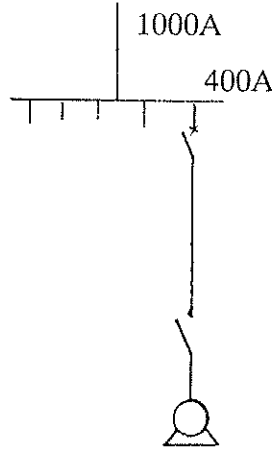
جدول (4)

فقد الفولطية بين الأطوار بالفولط أمبير/ كم للمحركات

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

مثال محلول :

60m /70 mm² Cu
I_b= 150A
I_s=750A



شكل (11)

كابل ثلاثي الأطوار نحاسي بطول 60 متراً يُغذي محركاً ثلاثي الأطوار 400 فولط ، 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 فولطاً ، إحصب فقد الفولطية على أطراف المحرك .

الحل :

فقد الفولطية على أطراف المحرك في حالة التشغيل العادية .

من جدول - 4 ، نجد أن :

$$\Delta V = 0.56 \text{ V/A/Km}$$

$$\Delta V = 0.56 \times \frac{60}{1000} \times 150 = 4.2 \text{ V}$$

فقد الفولطية في الكابل الرئيسي والكابل المغذي للمحرك يساوي :

$$\Delta V = 11 + 4.2 = 15.2 \text{ V}$$

$$\Delta V = \frac{15.2}{400} \times 100 \% = 3.8 \%$$

نحسب الآن فقد الفولطية على أطراف المحرك عند بدء الإقلاع .
 من جدول - 4 نجد أن فقد الفولطية لكابل 70م² عند بدء إقلاع المحرك
 (Cosφ=0.35) تساوي 0.32 فولط / أمبير / كم .

$$\Delta V = 0.32 \times \frac{60}{1000} \times 750 = 14.4 \text{ V}$$

عند بدء إقلاع المحرك فإن فقد الفولطية في الكابل الرئيسي المغذي للوحة التي يتغذى
 منها المحرك سيزيد على 11 فولطاً ، لأن التيار في هذا الكابل سيزيد بسبب زيادة تيار بدء
 تشغيل المحرك ، وسيصبح هذا التيار مساوياً إلى :

$$(1000 - 150) + 750 = 1650 \text{ A}$$

فقد الفولطية في هذه الحالة يصبح :

$$\frac{11 \times 1650}{1000} = 18.15 \text{ V}$$

مجموع فقد الفولطية عند بدء إقلاع المحرك يساوي :

$$\Delta V = 14.4 + 18.15 = 32.55 \text{ V}$$

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 عُرِفَت في القرن الثامن عشر. وفي عام 1880 إستُخدِمَ التيار الثابت بفولطية 100 فولط (رُفِعَت 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 وستنجهوس 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 Uearthed 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 the Telegraph Engineers Society (والذي أصبح لاحقاً معهد المهندسين الكهربائيين والالكترونيين IEE) 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 للذبذبة 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 متاحة 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 فإذا كانت فولطية التلامس Contact voltage أكبر من حد الفولطية المألوف ، عندها ولتلافي الخطر فلا بد من تقليل الزمن الأقصى لقصر الدارة بواسطة القواطع والمصهرات .

وبين 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 $V_L \leq 50 V$

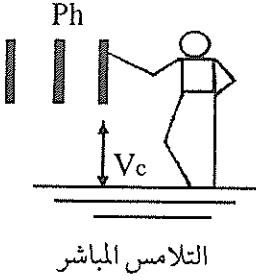
فولطية التلامس المفترضة (V)										أقل من 50	فولطية التلامس المفترضة (V)	
500	350	280	220	150	120	90	75	50	50		V_c	
0.04	0.08	0.12	0.17	0.27	0.34	0.45	0.6	5	5	تيار متردد	زمن المزق الأقصى لنبيطة الحماية (ثانية)	
0.10	0.20	0.30	0.40	1	5	5	5	5	5	تيار ثابت		

جدول (2)

العلاقة بين مناطق تأثير التيار / الزمن للمناطق المبلولة $V_L < 25V$

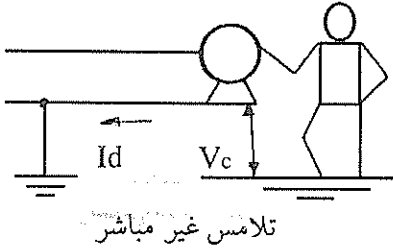
فولطية التلامس المفترضة (V)									أقل من 25	فولطية التلامس المفترضة (V)	
280	220	150	110	90	75	50	25	25		V_c	
0.02	0.05	0.10	0.18	0.25	0.30	0.48	5	5	تيار متردد	زمن المزق الأقصى لنبيطة الحماية (ثانية)	
0.02	0.06	0.25	0.5	0.8	2	5	5	5	تيار ثابت		

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 مغلقة وبعيدة عن التلامس العرضي المباشر ، أو وضعها داخل شبك بحيث إذا تم فتح باب الشبك تفصل الكهرباء بشكل تلقائي . كذلك

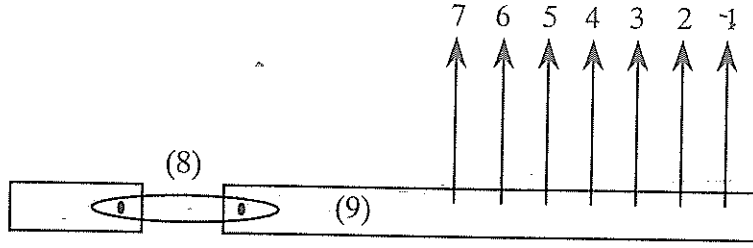
يفضل استخدام الفولطية المنخفضة بدلاً من فولطية 220 فولطاً كما في حالة حمامات السباحة حيث تستخدم الفولطية الآمنة 12 فولطاً ، وكوسيلة متممة لما سبق يمكن استخدام نبيطة تيار متخلف حساسة High sensitivity residual current device ، بحساسية أقل من 30 ميلي أمبير .



أما التلامس غير المباشر فهو عندما يلامس الانسان جسماً يكون في الحالة العادية غير ناقل للتيار الكهربائي ، ولكن إذا حدث عطل فإنه يتعرض لفولطية تلامس مقدارها V_c . ويتم الحماية في هذه الحالة عن طريق :

-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 تتصل 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 . وبين 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. أنواع أنظمة التأريض

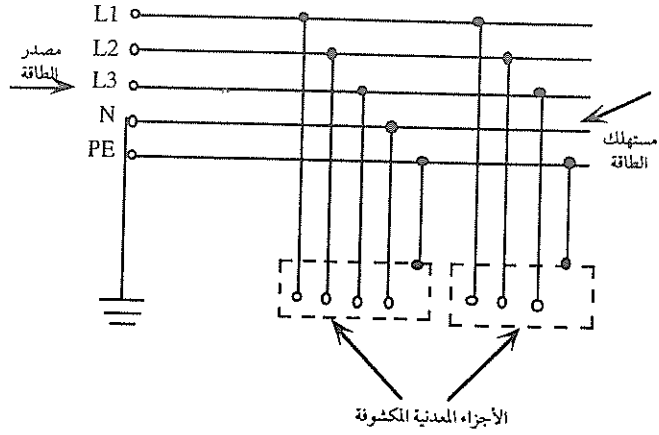
في الوقت الحاضر هناك ثلاثة أنظمة تأريض رئيسية كما تم تعريفها في IEC 60364 وهي :

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 :

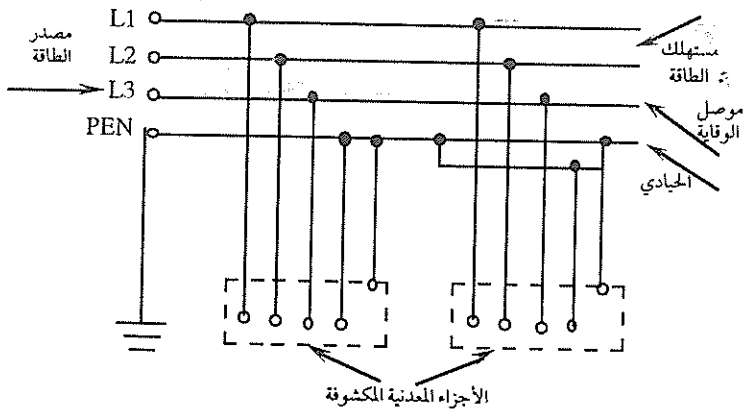


شكل 2A-

نظام TN-S

يبين شكل 2A- ترتيبات التأسيس في هذا النظام، فمصدر الطاقة يتصل مباشرة بالأرض (T) وجميع الأجزاء المعدنية المكشوفة عند المستهلك تتصل بنظام التأسيس عند المصدر (N) والحيايدي وموصل الوقاية هما موصلان مختلفان (S).

ب- نظام TN-C-S



شكل 2B-

نظام TN-C-S

يرمز الحرف الأول إلى ترتيبات التأسيس لمصدر الطاقة الكهربائية ويستخدم لهذا الغرض حرفان، وهما:

T ويشير هذا الحرف إلى أن نقطة أو أكثر متصلة اتصالاً مباشراً بالأرض.

I ويشير هذا الحرف إلى أن مصدر الطاقة الكهربائية، إما غير متصل بالأرض أو يتصل بالأرض من خلال ممانعة تحديد العطل Fault Limiting Impedance. أما ترتيبات التأسيس عند استهلاك الطاقة الكهربائية فيشير إلى حرفان وهما:

T ويشير هذا الحرف إلى أن جميع الأجزاء المعدنية المكشوفة تتصل بالأرض اتصالاً مباشراً.

N ويشير هذا الحرف إلى أن جميع الأجزاء المعدنية المكشوفة تتصل مباشرة بنظام التأسيس عند مصدر الطاقة.

ولا بد أن تشير إلى أن نظام التأسيس TN له ثلاثة أشكال يستخدم حرفان للدلالة عليهم، ويشير هذا الحرفان إلى ما يلي:

S ويشير هذا الحرف إذا أضيف إلى نظام TN إلى أن الحيادي والأرض هما موصلان منفصلان.

C ويشير هذا الحرف إذا أضيف إلى نظام TN إلى أن الحيادي والأرضي يشكلان موصلًا واحدًا.

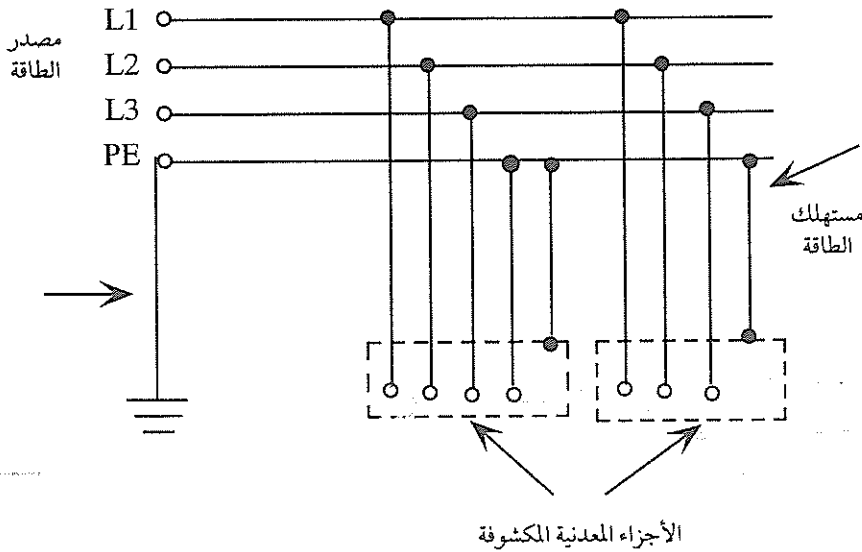
وتبين الأشكال 2A, B, C نظام TN حيث أن مصدر الطاقة (نقطة الحيادي في الملف الثانوي لمحول التوزيع) يتصل مباشرة بالأرض، بينما تتصل الأجزاء المعدنية المكشوفة عند المستهلك بنظام التأسيس عند مصدر الطاقة. وهناك ثلاثة أنواع لهذا النظام وفقاً لترتيبات الحيادي وموصل الوقاية Protective conductor، وهي كما يلي:

(أ) نظام TN-S

يبين شكل 2B ترتيبات التأسيس في هذا النظام . فمصدر الطاقة يتصل مباشرة بالأرض (T) وجميع الاجزاء المعدنية المكشوفة عند المستهلك تتصل بنظام التأسيس عند المصدر (N) والحيادي وموصل الوقاية عند مصدر الطاقة هما موصل واحد (C) . أما عند المستهلك . فالحيادي وموصل الوقاية هما موصلان منفصلان .

ج- نظام TN-C

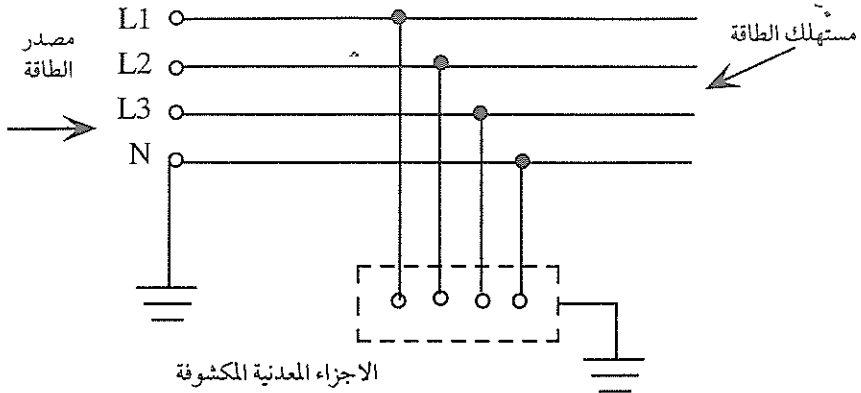
يبين شكل 2C ترتيبات التأسيس في هذا النظام ، فمصدر الطاقة يتصل مباشرة بالأرض (T) وجميع الاجزاء المعدنية المكشوفة عند المستهلك تتصل بنظام التأسيس عند المصدر (N) ، ويشكل الحيادي وموصل الوقاية موصلا واحدا (C) .



شكل 2C-

نظام TN-C

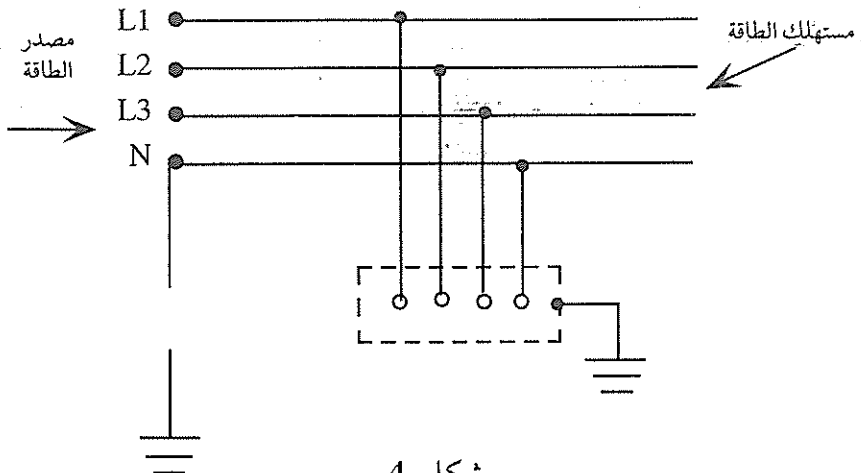
ويبين شكل 3- نظام TT ، حيث أن مصدر الطاقة يتصل مباشرة بالأرض (T) ، وكذلك تتصل الأجزاء المعدنية المكشوفة عند المستهلك مباشرة بالأرض (T) .



شكل 3-

نظام TT

ويبين شكل 4- نظام IT حيث لا يتصل مصدر الطاقة مباشرة بالأرض (I) أو يتصل بالأرض عن طريق ممانعة، أما الاجزاء المعدنية المكشوفة عند المستهلك فتتصل مباشرة بالأرض (T).

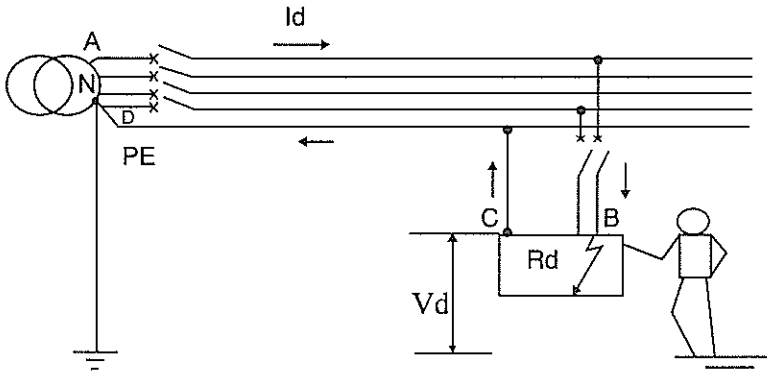


شكل 4-

نظام IT

ذكرنا سابقاً أن الاعطال بسبب فشل العازلية تشكل خطورة على حياة الانسان وتدمر الممتلكات وتؤثر على متاحية الطاقة الكهربائية. وسنستعرض أنظمة التأسيس المختلفة من زاوية الاخطار السابقة.

3.4 نظام التأسيس TN



شكل-5

مسار تيار العطل Fault في نظام TN

عند حدوث فشل في عازلية شبكة تاريضها منفذ حسب نظام TN فان تيار العطل يسير كما في شكل-5. ان ما يحدد قيمة هذا التيار هو ممانعة انشودة 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 دائرة، فمن المقبول إعتبار أن الممانعة الصاعدة Upstream للمغذي المعني تسبب فقد فولتية يعادل 20% من فولتية الطور- الحيادي V_0 والتي تساوي الفولتية بين الطور والأرضي . في هذه الحالة وبافتراض أن R_{pE} تساوي صفراً،

فان :

$$I_d = \frac{0.8 V_0}{R_{ph1} + R_{pE}}$$

ويسبب هذا التيار تنتج فولتية عطل Fault voltage بالنسبة الى الارض تساوي :

$$V_d = 0.8V_0 \frac{R_{pE}}{R_{ph1} + R_{pE}}$$

ففي الشبكات التي فولتتها 230/400 فولط وعند تساوي المقاومتين ($R_{ph1} = R_{pE}$) فان قيمة هذه الفولتية التي تظهر على هيكل الجهاز تساوي تقريبا نصف فولتية الطور $\frac{V_0}{2}$ ، وهذه فولتية خطيرة على الانسان، لذلك لا بد من فصل التيار الكهربائي بسرعة . ويبين جدول 3- زمن الفصل Breaking time بالثواني اعتماداً على قيمة فولتية الطور/ الحيادي حسب IEC 60364.

جدول (3)

زمن الفصل للشبكات المؤرضة حساب نظام TN

زمن الفصل $V_L = 25 V$	زمن الفصل $V_L = 50 V$	فولتية الطور / الحيادي
ثانية	ثانية	فولط
0.35	0.8	127
0.20	0.4	230
0.05	0.2	400
0.02	0.1	أكبر من 400

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 للنبیطة I_a ، أي أن $I_d > I_a$ ، ويجب التأكد من هذا الشرط لجميع الدارات في مرحلة التصميم. وتسمى 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. أي أن فصل الدارة الآلي يجب أن يتم تنسيقه مع نظام التأريض المستخدم. كما يتبين 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، أي مقاومة إنشودة العطل الأرضي (Earth loop fault impedance (resistance) أي أن:

$$I_d = \frac{V_o}{Z_s}$$

ويمكن التحقق من فصل الدارة عند حدوث عطل بطرق مختلفة وهي:

1- طريقة الممانعة.

يتم في هذه الطريقة حساب الممانعة القصوى لانشوده العطل ومقارنتها مع ممانعات أنشودة 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 للنبیطة الحماية.

1- طريقة الممانعة

تساوي ممانعة أنشودة العطل Z_s ما يلي:

$$Z_s = Z_E + Z_1 + Z_2$$

حيث أن:

Z_E - ممانعة أنشودة العطل خارج التمديدات المعنية External to the Installation.

Z_1 - ممانعة الطور .

Z_2 - ممانعة موصل الوقاية .

فإذا كانت مساحة مقطع الكيبل أقل من 35 مم² ، عندها يمكن إهمال المراكسة الحثية X_c 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 ، أما إذا كانت الدارة المعنية حلقة Ring ، فإن Z_s تساوي :

$$Z_s = Z_E + 0.25 (R_{T1} + R_{T2})$$

حيث أن :

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 أطوال الدارات معروفة لدينا في مرحلة التصميم فإنه يمكن حساب Z_s ومقارنتها مع القيم الواردة في المواصفات .

المقايمة مقاومة أنشوطة العطل خارج التمديدات المعنية Z_E فتساوي كما يلي :

في نظام التريض TN-S فإن : $Z_E = 0.8$

في نظام التريض TN-C-S فإن : $Z_E = 0.35$

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 :

$$Z_s \leq \frac{V_o}{I_a}$$

وتبين الجداول التالية ممانعة أنشوطة العطل الأرضي العظمى والمستخدم لمقارنة

ممانعة أنشودة العطل الارضى للدارة المعنية لبيان مدى مطابقة الدارة للمواصفات وتحقيق السلامة والامان للانسان في حالة حدوث عطل في الدارة.

جدول (4)

ممانعة أنشودة العطل الأرضي القصوى للمصهرات بزمن فصل

مقداره 0.4 ثانية ولفولطية $V_0 = 240V$

أ) مصهرات الاستخدام العام (gG) حسب BS88 الجزء الثاني والسادس

50	40	32	25	20	16	10	6	مقرر المصهر (أمبير)
0.63	0.86	1.09	1.50	1.85	2.82	5.33	8.89	Z_s (أوم)

ب) المصهرات حسب BS 1361

45	30	20	15	5	مقرر المصهر (أمبير)
0.60	1.20	1.78	3.43	10.9	Z_s (أوم)

ج) المصهرات حسب BS 3036

45	30	20	15	5	مقرر المصهر (أمبير)
0.62	1.14	1.85	3.67	10.0	Z_s (أوم)

د) المصهرات حسب BS 1362

13	مقرر المصهر (أمبير)
2.53	Z_s (أوم)

جدول (5)

ممانعة أنشودة العطل الأرضي (Z_s) لقواطع الدارة الصغرافية ، لزمن فصل مقداره
0.4 ثانية وفولطية $V_0 = 240V$

أ) فئة 1 قواطع دارة صغرافية حسب BS 3871

I_n	63	50	45	40	32	30	20	16	15	10	6	5	مقرر القاطع (أمبير)
$\frac{240}{4I_n}$	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 صغرافية حسب BS 3871

I_n	63	50	45	40	32	30	20	16	15	10	6	5	مقرر القاطع (أمبير)
$\frac{240}{7I_n}$	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)

ج) فئة B قواطع دارة صغرافية حسب BS 3871

I_n	63	50	45	40	32	20	16	10	6	مقرر القاطع (أمبير)
$\frac{240}{4I_n}$	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 صغرافية حسب BS 3871

I_n	63	50	45	40	32	30	20	16	15	10	6	5	مقرر القاطع (أمبير)
$\frac{240}{10I_n}$	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)

وبين جدول 6- مساحة المقاطع الدنيا لموصلات التاربيض المدفونة في الأرض .

جدول (6)

مساحة المقاطع الدنيا لموصلات التأسيس المدفونة في الأرض

محمية ضد التلف الميكانيكي	غير محمية ضد التلف الميكانيكي	
محمية ضد الصدأ بغلاف (درع) Sheath	كما ينص عليه بند 543-01 من المواصفات البريطانية *7671	16 مم نحاس 16 مم نحاس مغطى بالفولاذ
غير محمية ضد الصدأ	25 مم نحاس 50 مم فولاذ	25 مم نحاس 50 مم فولاذ

❖ يتعلق البند 543-01 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 الوقاية الأدنى (Sp)		مساحة مقطع موصل الطور (S)
إذا كانت مادة موصل الوقاية تختلف عن مادة موصل الطور	إذا كانت مادة موصل الوقاية من نفس مادة موصل الطور	
2مم	2مم	2مم
$K_1 S / K_2$	S	$S \leq 16$
$K_1 16 / K_2$	16	$16 < S \leq 35$
$K_1 S / K_2 2$	S/2	$S > 35$

حيث أن :

- K1 تساوي قيمة المعامل K لموصلات الطور والتي يتم إختيارها من جدول 8- .
K2 تساوي قيمة المعامل K لموصلات الحماية حسب الجداول 9,10,11,12,13 .

جدول (8)

قيم K للمواد العامة والمستخدمه 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 .

K	حد الحرارة النهاية، °C	الحرارة الابتدائية المفترضة °C	مادة العازل	مادة الموصل
115/103	160/140	70	70 درجة بي . في . سي استخدام عام	نحاس
104/109	160/140	85	85 درجة بي . في . سي	
141	200	60	60 درجة مطاط	
134	220	85	85 درجة مطاط	
143	250	90	90 درجة مقاوم للحرارة	
108	160	80	ورق مشبع بالزيت	
			معديني	
115	160	70 درجة للغلاف	- بلاستيكي مغطى أو معرض للتلامس	نحاس
135	250	105 درجات للغلاف	معري ومعرض للتلامس أو في تلامس مع مواد قابلة للاشتعال	
76/68*	160/140*	70	70 درجة بي . في . سي استخدام عام	الومنيوم
69/60*	160/140*	85	85 درجة	
93	200	60	60 درجة مطاط	
89	220	85	85 درجة مطاط	
94	250	90	90 درجة مقاوم للحرارة	
71	160	80	ورق مشبع بالزيت	

*عندما يعطى رقمان لحد الحرارة النهائية 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 .

عازلية موصل الوقاية أو غطاء (غلاف) الكيبل				مادة الموصل
90 درجة مقاومة للحرارة	85 مطاط	85 بي . في سي .	70 بي . في سي .	
176	166	143/133*	143/133*	نحاس
116	110	95/88*	95/88*	الومنيوم
64	60	52	52	فولاذ
30	30	30	30	درجة الحرارة الابتدائية المفترضة
250	220	160/140*	160/140*	درجة الحرارة النهائية

* 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 العازلية				مادة الموصل
90 درجة مقاومة للحرارة	85 مطاط	85 بي . في سي .	70 بي . في سي .	
143	134	104/90*	115/103*	نحاس
94	89	69/60*	76/68*	الومنيوم
90	85	85	70	درجة الحرارة الابتدائية المفترضة
250	220	160/140*	160/140*	درجة الحرارة النهائية

* للمقاطع أكبر من 300 مم²

جدول (11)

قيم K لموصلات الحماية التي هي غلاف أو تسليح Armour الكابل .

مادة العازلية				مادة الموصل
90 درجة مقاومة للحرارة	85 مطاط	85 بي . في سي .	70 بي . في سي .	
85	93	87	93	الومنيوم
46	51	48	51	فولاذ
23	26	24	26	رصاص
80	75	75	60	درجة الحرارة الابتدائية المفترضة
200	220	200	200	درجة الحرارة النهائية

جدول (12)

قيم K لقنوات الكوابل الفولاذية ، والمجاري والصناديق التي تستخدم كموصلات وقاية

مادة العازلية				مادة الموصل
90 درجة مقاومة للحرارة	85 مطاط	85 بي . في سي .	70 بي . في سي .	
58	54	45	47	قناة فولاذية ، مجرى أو صندوق
60	58	58	50	درجة الحرارة الابتدائية المفترضة
250	220	160	160	درجة الحرارة النهائية

جدول (13)

قيم K للموصلات المعرأة حيث لا يوجد خطر من تلف المواد المجاورة بسبب حرارة الموصل .
درجات الحرارة الواردة مسموح بها في حالة عدم تأثيرها على نوعية وجودة الوصلات .

الظروف			مادة الموصل
وجود خطر حريق	ظروف عادية	منطقة مرئية وغير محددة	
138	159	228	نحاس
91	105	125	الومنيوم
50	58	28	فولاذ
30	30	30	درجة الحرارة الابتدائية المفترضة
150	200	500	درجة الحرارة النهائية موصلات نحاس
150	200	300	موصلات الومنيوم
150	200	500	موصلات فولاذية

جدول (14)

قيم R_1/m , $(R_1+R_2)/m$ محسوبة بالميللي أوم للتر لموصلات النحاس عند درجة حرارة التشغيل العادية .

عازلية 90 بي . في . سي XLPE أو		عازلية 85 بي . في . سي		عازلية 70 بي . في . سي		مساحة مقطع الموصل، م ²	
						موصل الطور	موصل الحماية
8	7	6	5	4	3	2	1
23.2	23.2	22.8	22.8	21.7	21.7	-	1
46.3	42.0	45.6	41.6	43.4	40.5	1	1
15.5	15.5	15.2	15.2	14.5	14.5	-	1.5
38.7	34.3	38.1	34.1	36.2	33.5	1	1.5
31.0	28.1	30.5	27.8	29.0	27.1	1.5	1.5
9.48	9.48	9.34	9.34	8.89	8.89	-	2.5
21.7	28.3	32.1	28.2	30.6	27.7	1	2.5
25.0	22.1	24.6	21.9	23.4	21.5	1.5	2.5
19.0	17.2	18.7	17.0	17.8	16.6	2.5	2.5
5.9	5.9	5.81	5.81	5.53	5.53	-	4.0
21.4	18.5	21.1	18.4	20.1	18.1	1.5	4.0
15.4	13.6	15.1	13.5	14.4	13.2	2.5	4.0
11.8	10.7	11.6	10.6	11.1	10.3	4.0	4.0
3.94	3.94	3.88	3.88	3.70	3.70	-	6.0
13.4	11.6	13.2	11.6	12.6	11.4	2.5	6.0
9.84	8.74	9.69	8.68	9.23	8.49	4.0	6.0
7.88	7.15	7.76	7.08	7.39	6.90	6.0	6.0
2.34	2.34	2.31	2.31	2.20	2.20	-	10.0
8.24	7.14	8.11	7.10	7.73	6.99	4.0	10.0
6.28	5.55	6.19	5.51	5.89	5.40	6.0	10.0
4.68	4.25	4.61	4.21	4.39	4.10	10.0	10.0
1.47	1.47	1.45	1.45	1.38	1.38	-	10.0
5.41	4.68	5.33	4.65	5.08	4.58	6.0	16.0
3.81	3.38	3.75	3.35	3.58	3.28	10.0	16.0
2.94	2.67	2.95	2.65	2.76	2.58	16.0	16.0
0.931	0.931	0.916	0.916	0.872	0.872	-	25.0
3.27	2.83	3.22	2.82	3.07	2.78	10.0	25.0
2.40	2.13	2.37	2.11	2.25	2.07	16.0	25.0
1.86	1.69	1.83	1.67	1.74	1.63	25.0	25.0
0.671	0.671	0.660	0.660	0.629	0.629	-	35.0
2.14	1.87	2.11	1.86	2.01	1.82	16	35.0
1.60	1.43	1.58	1.42	1.50	1.38	25	35.0
1.43	1.22	1.32	1.21	1.26	1.17	35.0	35.0

- ملاحظات على استخدام الجدول:

عند استخدام جدول 9- فان القيم الواردة في الأعمدة 3,5,7 من هذا الجدول تستخدم لمجموعة موصل الطور وموصلات الوقاية المذكورة في الأعمدة 1,2 عندما تكون هذه الموصلات نحاسية . عندما تكون هذه المجموعة غير معطاة فيمكن استخدام معطيات جداول 16,17,18.

تستخدم القيم الواردة في الأعمدة ، 4,6,8 عند استخدام جدول 10-.

جدول (15)

قيم $(R_1+R_2)/m, R_1/m$ محسوبة بالميللي أوم للمتر لموصلات الألومنيوم عند درجة حرارة التشغيل العادية

90° بي . في . سي أو XLPE العازلية		70° بي . في . سي العازلية		مساحة مقطع الموصل ، م ²	
عند استخدام جدول 9-	عند استخدام جدول 8-	عند استخدام جدول 9-	عند استخدام جدول 8-	موصل الحماية	موصل الطور
2.44	2.44	2.29	2.29	-	16
-	-	-	-	6	16
-	-	-	-	10	16
4.89	4.43	4.58	4.28	16	16
1.54	1.54	1.44	1.44	-	25
-	-	-	-	10	25
3.98	3.52	3.73	3.43	16	25
3.07	2.78	2.88	2.69	25	25
1.11	1.11	1.04	1.04	-	35
3.56	3.10	3.33	3.03	16	35
2.65	2.36	2.48	2.29	25	35
2.22	2.01	2.08	1.94	35	35

جدول (16)

مقاومة الموصل عند درجة 20 مئوية (ميلي أم / متر) .

الومنيوم	نحاس	مساحة مقطع الموصل، مم ²
-	18.1	1
-	12.1	1.5
-	7.41	2.5
-	4.61	4.0
-	3.08	6.0
-	1.83	10.0
1.91	1.15	16.0
1.20	0.727	25.0
0.868	0.524	35.0

جدول (17)

المضاعفات التي تستخدم لتقييم المقاومة الواردة في جدول-16 للحصول على R_1/m و $(R_1+R_2)/m$ بالميلي أم / متر لأغراض حسابات الممانعة .

عازلية XLPE	عازلية مطاطية 85 درجة مئوية	عازلية PVC 70 درجة مئوية		
نبيطة الحماية كما هي مذكورة في ملحق 3 من BS7671				
0.92+0.004ta 0.92+0.004ti	0.92+0.004ta 0.92+0.004ti	0.92+0.004ta 0.92+0.004ti	موصل وقاية موصل الطور	عند استخدام جدول 9
0.92+0.004ti	0.92+0.004ti	0.92+0.004ti	لكلا الموصلين	عند استخدام جدول 10
نبيطة الحماية كما هي مذكورة في ملحق 3 من BS7671				
1.42+0.002ta (1.48)	1.36+0.002ta (1.42)	1.24+0.002ta (1.3)	موصل وقاية	عند استخدام جدول 9
1.42+0.002ti (1.60)	1.36+0.002ti (1.53)	1.24+0.002ti (1.38)	موصل الطور	
1.42+0.002ti (1.53)	1.36+0.002ti (1.53)	1.24+0.002ti (1.38)	لكلا الموصلين	عند استخدام جدول 10

ملاحظة : القيم الواردة بين قوسين مبنية على درجة حرارة 30 درجة مئوية ودرجة حرارة ابتدائية تساوي أقصى درجة حرارة مسموح بها في ظروف التشغيل العادية .

جدول (18)

المضاعفات التي تتناسب مع $t_a=30$ وقيم مختلفة لدرجة حرارة t_i والتي تستخدم لقيم المقاومة الواردة في جدول (16)

عازلية XLPE	عازلية مطاطية 85 درجة مئوية	عازلية PVC 70 درجة مئوية	درجة الحرارة t_i
1.08	1.08	1.08	40
1.12	1.12	1.12	50
1.16	1.16	1.16	60
1.20	1.20	-	70
1.24	-	-	80

2- طريقة حساب أقصى طول L_{max} 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 نبیطة 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 - الحيايدي وتساوي 230 فولطاً للدارات الأحادية، وتساوي 400 فولطاً للدارات ثلاثية الاطوار.

ρ - مقاومة الموصل في درجة حرارة التشغيل العادية.

I_a - تيار مزق الدارة.

عند استخدام قواطع الدارة فان تيار مزق الدارة I_a يساوي تيار تشغيل نبیطة 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 بالإضافة 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:

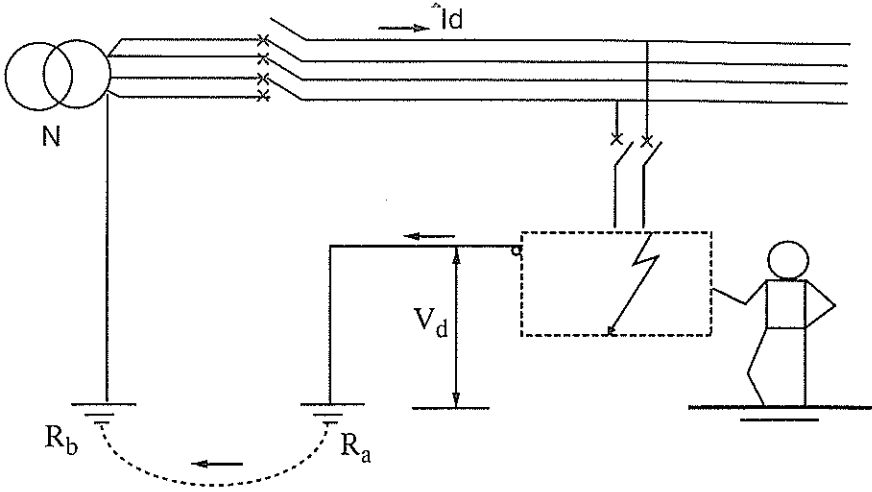
$$m = \frac{S_{ph}}{S_{pE}}$$

3- الطريقة التقليدية

حيث يتم في هذه الطريقة حساب تيار العطل بمعرفة ممانعة أنشودة العطل الأرضي ومقارنة هذا التيار مع تيار تشغيل نبیطة الحماية، اي أن:

$$I_d = \frac{V_o}{Z_s} > I_a$$

4.4 نظام التأريض TT



شكل 6-

مسار تيار العطل في نظام TT

يبين شكل 6- مسار تيار العطل في نظام TT، وبالرغم من عدم وجود إتصال مباشر بين نقطة تأريض المستهلك وتأريض نقطة الحيادي في المحول، إلا 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 فولتية عطل Fault voltage في مقاومة الارضي كما يلي:

$$V_d = R_a \cdot I_d = \frac{V_o R_a}{R_a + R_b}$$

فإذا افترضنا أن $R_a = R_b$ وكل منهما تساوي 10 اوم، فإن:

$$I_d = \frac{V_o R_a}{R_a + R_b} = \frac{V_o}{2}$$

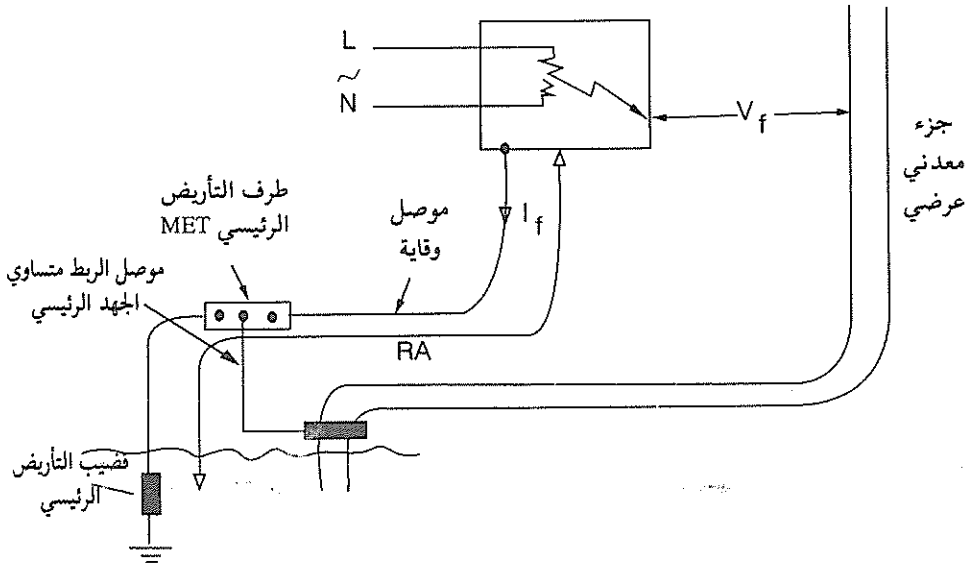
فإذا كانت V_0 تساوي 230 فولطاً فإن الفولطية التي تظهر على جسم المعدات الكهربائية في حالة العطل تساوي 115 فولطاً، وهذه فولطية قاتلة، لذلك فلا بد من أن تكون هذه الفولطية أقل من فولطية التلامس.

من هنا، فإن شرط السلامة في هذا النظام هو تحقيق مايلي:

$$R_a I_a \leq 50 \text{ V}$$

حيث أن:

I_a - تيار تشغيل نبيطة الحماية.



شكل 7-

في شكل 7- فإن:

$$R_a = R_{\text{electrode}} + R_{\text{cpc}}$$

حيث أن:

$R_{\text{electrode}}$ - مقاومة قضيب التأريض.

R_{cpc} - مقاومة موصل الوقاية.

في هذه الحالة فإن تيار تشغيل النبيطة يساوي:

$$I_d = \frac{50}{R_a}$$

إذا كانت مقاومة قضيب التأسيس 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 بمقرر 6 أمبيرات (حسب BS88)، أما إذا كانت مقاومة قضيب التأسيس 1 أوم، فإن التيار يساوي:

$$I_d = \frac{50}{1.2} = 41.7 \text{ A}$$

وهذا التيار يستطيع صهر مصهر بمقرر 16 أمبيراً، كذلك فإن قواطع الدارة الصفراوية 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 فإن 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 Residual current devices. في هذه الحالة فإن 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 اعتماداً على حساسية نبيطة التيار المتخلف (قاطع دارة تسرب أرضي Earth leakage circuit breaker ELCB).

جدول (19)

المقاومة العظمى لنظام الأرضي

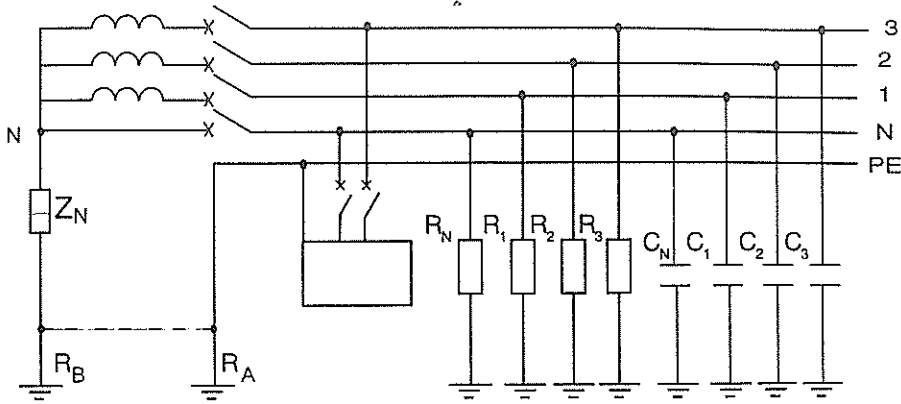
$V_L = 25V$	$V_L = 50V$	$I_{\Delta n}$
8 أوم	16 أوم	3 أمبير
25 أوم	50 أوم	1 أمبير
50 أوم	100 أوم	500 ميلي أمبير
83 أوم	166 أوم	300 ميلي أمبير
833 أوم	1660 أوم	30 ميلي أمبير

وهكذا نلاحظ أن الحماية باستخدام قواطع دائرة 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 (الهايكل) للمعدات الكهربائية عند المستهلك مؤرضة . قد تكون نقاط التأريض عند المستهلك ومصير 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 1 كيلو أوم إلى 2 كيلو أوم) .

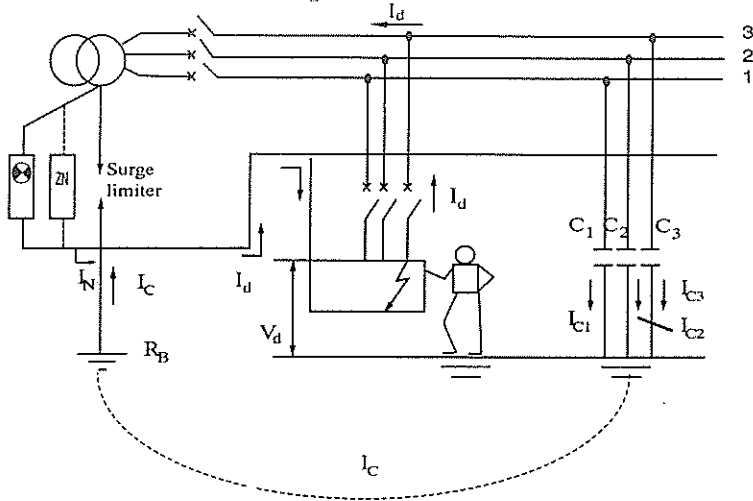


شكل-8
نظام IT

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 التأسيس IT. وسنبحث التيار وفولطية التلامس عند حدوث العطل الأول.

1.5.4 حساب التيار وفولتية التلامس عند حدوث العطل الأول



شكل 9-

حدوث عطل منفرد في نظام IT

يبين شكل 9- حدوث عطل منفرد Single fault في نظام IT وذلك بين الطور-3 والأرض، مقاومة العطل هي مقاومة فعالة تساوي R_d ، وعلى إفتراض أن جميع المواسعات C_1, C_2, C_3 متساوية، فإن قيمة تيار العطل I_d تساوي:

$$I_d = V_o \frac{1 + 3 j C \omega Z_N}{R_d + Z_N + 3 j C \omega Z_N R_d}$$

أما قيمة التيار السعوي I_c Capacitive current فتساوي:

$$I_c = V_o \frac{3 j C \omega Z_N}{R_d + Z_N + 3 j C \omega Z_N R_d}$$

وقيمة التيار 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 .

$$V_c = R_A \cdot I_d$$

فإذا كانت $R_d=0$ وتأريض الجهاز منفصلين عن الممانعة Z_n ، فإن

$$I_d = \frac{V_o}{Z_N + 3jC\omega}$$

$$V_C = R_A \frac{V_o}{Z_N + 3jC\omega}$$

$$I_c = 3 j C \omega V_o$$

$$I_N = \frac{V_o}{Z_N}$$

وسنحسب قيم تيار العطل وفولطية التلامس لاربع قيم لمقاومة العطل R_d ، أي R_d تساوي 0, 0.5, 1, 10 أوم وكل حالة سنحسبها لقيمة Z_N تساوي ما لا نهاية، و Z_N تساوي 1 كيلو أوم. وسيتم الحساب للحالات الثلاثة التالية:

الفولطية بين الطور والأرض تساوي 230 فولطاً.

الحالة الأولى: شبكة منخفضة السعة (مثل غرف العمليات)، في هذه الحالة فإن:

$$C_1 = C_2 = C_3 = 0.3 \mu F \text{ Per phase}$$

الحالة الثانية: شبكة مواسعاتها تساوي:

$$C_1 = C_2 = C_3 = 0.6 \mu F \text{ Per phase}$$

الحالة الثالثة: 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 استمرار تشغيل الشبكة بوجود هذا العطل.

جدول (20)

مقارنة بين قيم تيار العطل وفولطية التلامس

عند حدوث العطل الاول في شبكة IT

				المقاومة R_d (كيلو أوم)		
10	1	0.5	0			
0.22	0.69	0.71	0.72	V_c فولط	$Z_N = \infty$	الحالة الأولى $C = 1 \mu F$
0.02	0.07	0.07	0.07	I_d أمبير		
0.21	1.19	1.6	2.41	V_c فولط	$Z_N = 1 K\Omega$	
0.02	0.12	0.16	0.24	I_d أمبير		
0.23	1.94	2.84	3.61	V_c فولط	$Z_N = \infty$	الحالة الثانية $C = 5 \mu F$
0.02	0.19	0.28	0.36	I_d أمبير		
0.22	1.68	2.53	4.28	V_c فولط	$Z_N = 1 K\Omega$	
0.02	0.17	0.25	0.43	I_d أمبير		
0.23	2.29	4.5	21.7	V_c فولط	$Z_N = \infty$	الحالة الثالثة $C = 30 \mu F$
0.02	0.23	0.45	2.17	I_d أمبير		
0.23	2.26	4.41	21.8	V_c فولط	$Z_N = 1 K\Omega$	
0.02	0.23	0.44	2.18	I_d أمبير		

ونود أن نذكر هنا أن ممانعة التسرب الأرضي الطبيعية Natural earth leakage impedance للدائرة ثلاثية الاطوار ولطول كابل يساوي 1 كيلومتر تساوي:

المواسعة (C) = 1 ميكروفارادي / كم .

المقاومة (R) = 1 ميغا أوم / كم .

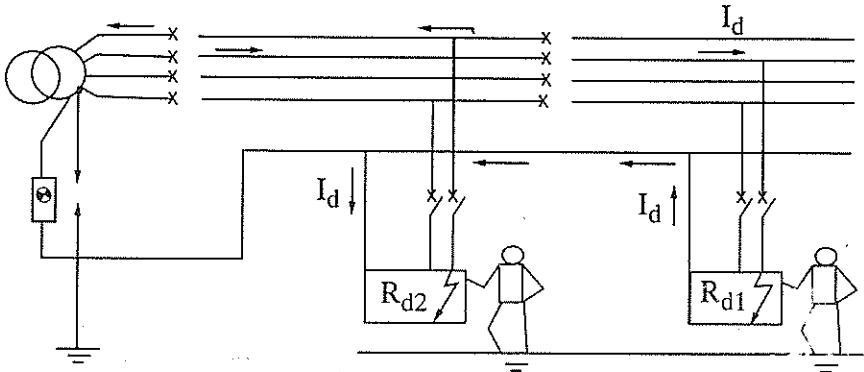
ولتردد مقداره 50 هيرتزاً فإن هذه الممانعة تساوي :

$$X_c = \frac{1}{j\omega C} = 3200 \Omega$$

$$R = 1M \Omega$$

ويجب أن تكون قيمة الممانعة بين نقطة حيادي المحول والارض (Z_N) تساوي 1500 أوم .

2.5.4 حساب التيار وفولتية 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 وفولتية 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 .

وسينبحث 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 V_0 إذا كان العطلان على حيادي موزع).

أو V' - الفولطية بين الطورين (تساوي $V_0 \sqrt{3}$ إذا كان الحيادي غير موزع).

R_a - مقاومة موصل الطور وتساوي :

$$R_a = \rho \frac{L}{S_a}$$

$$m = \frac{S_a}{S_{pe}}$$

حيث أن :

ρ - مقاومة مادة موصل الطور.

S_a - مساحة مقطع موصل الطور.

S_{pe} - 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 :

$$I_d = \frac{0.8 V_0}{2 (R_a + R_{pe})} = 0.8 V_0 \frac{S_a}{2\rho (1+m)L}$$

يساوي تيار العطل I_d إذا حدث العطلان على موصلتي الطور ما يلي:

$$I_d = 0.8 \sqrt{3} V_o \frac{S_a}{2\rho (1+m)L}$$

تساوي فولتية التلامس بشكل عام ما يلي:

$$V_c = R_{pe} \cdot I_d$$

في حالة حدوث أحد العطلين على الحيادي، فإن:

$$V_c = 0.8 V_o \frac{m}{2(1+m)}$$

في حالة حدوث العطلين على موصلتي الطور، فإن:

$$V_c = 0.8 \sqrt{3} V_o \frac{m}{2(1+m)}$$

وحتى تبين خطورة العطل الثاني بوجود الأول فلا بد من حساب فولتية 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 فولتية التلامس ($V_c=46$) تكون أقل من الحد المسموح به في حالة واحدة فقط وهي عندما يحدث العطلان على مغذيين متشابهين بين الطور والأرضي. وفي جميع الحالات الأخرى فإن فولتية التلامس تكون خطيرة على حياة الإنسان.

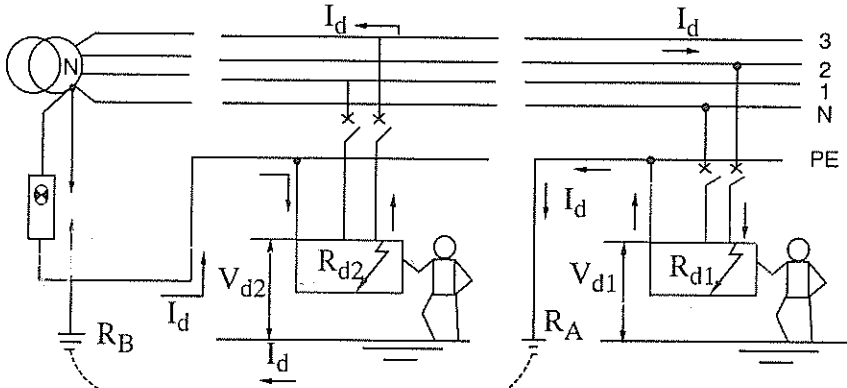
جدول (21)

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
$V_c = 73.6 \text{ V}$ $V_c = 127.5 \text{ V}$	$V_c = 46 \text{ V}$ $V_c = 79.7 \text{ V}$	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 منهما متصل بأرضي منفصل (شكل 11-11)، 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 المرقق لنبيطة الحماية ولذلك يستحسن استخدام قواطع دارة تيار التسرب الأرضي. وتحدد IEC 60364 زمن المرقق الأدنى حسب فولطية تشغيل الشبكة (جدول 23).

جدول (22)

تيار العطل وفولطية التلامس عند حدوث عطلين على هياكل الأجهزة الكهربائية التي لها تأريض منفصل

I_d	V_c	عطل مزدوج على:
11 أمبير	115 فولط	طور- حيادي
20 أمبير	220 فولط	طور - طور

جدول (23)

زمن المرقق الأدنى (ثانية)

الحيايدي موزع*	الحيايدي غير موزع	فولطية الشبكة V_o (فولط)
1	0.4	127
0.5	0.2	230
0.2	0.06	400
0.08	0.02	أكبر من 400

* للشبكات أحادية الطور

جدول (24)

تيار العطل وفولطية التلامس والطول الأقصى لانظمة التأسيس المختلفة .

الطور الاقصى L_{max}	فولطية التلامس V_c	تيار العطل I_d	نظام التأسيس
$\frac{0.8 V_o Sph}{\rho (1+m) I_a}$	$\frac{0.8 V_o}{1+m}$	$\frac{0.8 V_o Sph}{\rho (1+m) L}$	TN
غير محدد	$\frac{V_o R_a}{R_a + R_b}$	$\frac{V_o}{R_a + R_b}$	TT
	اقل بكثير من V_L	اقل من 1 أمبير	IT العطل الأول
$\frac{1}{2} \frac{0.8 V_o Sph}{\rho (1+m) I_a}$	$\leq \frac{m}{2} \frac{0.8 V_o}{1+m}$	$\leq \frac{1}{2} \frac{0.8 V_o Sph}{\rho (1+m) L}$	العطل المزدوج مع الحيادي
$\frac{\sqrt{3}}{2} \frac{0.8 V_o Sph}{\rho (1+m) I_a}$	$\leq \frac{m\sqrt{3}}{2} \frac{0.8 V_o}{1+m}$	$\leq \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{0.8 V_o Sph}{\rho (1+m) L}$	العطل المزدوج بين الأطوار

ملاحظات على الجدول:

تساوي المقاومة للنحاس ما يلي:

$$\rho = 22.5 \times 10^{-6} \Omega/\text{mm}^2/\text{m}$$

وتساوي ρ للالومنيوم ما يلي:

$$\rho = 36 \cdot 10^{-6} \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$$

اما المعامل m فيساوي :

$$m = \frac{S_{ph}}{S_{pE}}$$

وبين جدول 25- إيجابيات وسلبيات أنظمة التأسيس المختلفة .

جدول (25)

إيجابيات وسلبيات أنظمة التأسيس المختلفة

IT	TN-S	TN-C	TT	
■■■■	■■■■	■■■■	■■■■	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 التأسيس في شبكات الفولطية المنخفضة في الدول المختلفة فيبينها جدول 26-

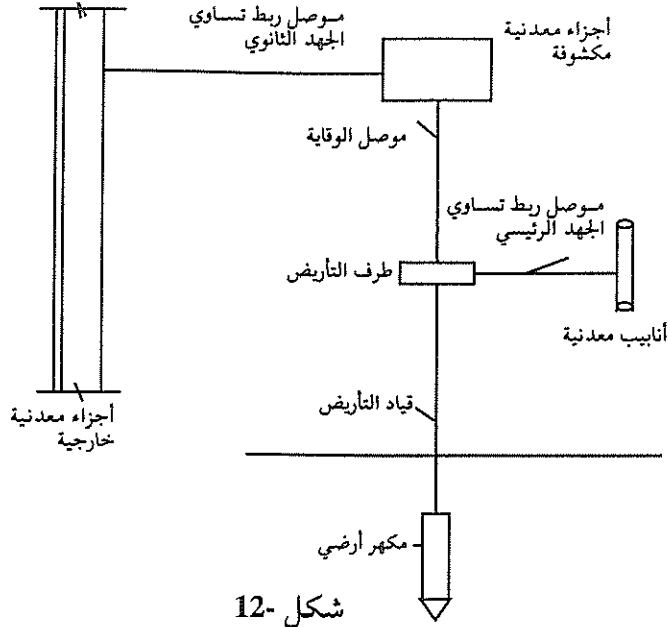
جدول (26)

أنظمة التأسيس في شبكات الفولطية المنخفضة في الدول المختلفة

ملاحظات	نظام التأسيس المستخدم	الدول
	TT, TN-C	المانيا 230/400
نظام TN هو الشائع الاستخدام. R_T يجب أن تكون أقل من 2 أوم. يجب توصيل المستهلك بالأرض حتى في نظام TN.		
$R_{ii} < 100 \Omega$ يجب استخدام نبيلة التيار المتخلف RCD بحساسية 30 ميللي أمبير	TT	بلجيكا 230/400V
$R_{ii} < 800 \Omega$ يجب استخدام RCD بحساسية 30 ميللي أمبير في نهاية نقطة التغذية للتمديدات	TT	اسبانيا 230/400V
$R_{ii} < 50 \Omega$ (100 Ω shortly) مع استخدام RCD بحساسية 30 ميللي أمبير للمقابس	TT	فرنسا 230/400V
مناطق المدن: TN-S and TN-C المناطق الريفية: TT توصيلة أرضية (أقل من 10 أوم) من الحيادي يتم تزويدها من قبل موزع القدرة	TT, TN-C	بريطانيا 240/415V
حساسية RCD تكون كدالة للمقاومة R_{ii} ($I_{\Delta n} < 50/R_{ii}$) للمستهلكين بدون توصيلات أرضية تكون الحساسية 30 ميللي أمبير	TT	ايطاليا 230/400V
$R_{ii} < 100 \Omega$ يستخدم على نطاق واسع RCD بحساسية تساوي 30 ميللي أمبير.	TT	اليابان 100/200V
الأجهزة مصنوعة بمواد عازلة وتوصيلات أرضية ضعيفة. المنزل بها RCD بحساسية 30 ميللي أمبير لاعطاء إشارة فقط ويتم الفصل بحدوث عطل مزدوج	IT	النرويج 230/400V
$R_{ii} < 50 \Omega$ (100 Ω as from 1995)	TT	البرتغال
تأسيس الحيادي عند مستهلك الفولطية المنخفضة (كل توصيلات الأرضي تتصل بمحطات التحويل).	TN-C	الولايات المتحدة الأمريكية

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.
- ج- موصلات الوقاية Protective conductors وهي التي تصل طرف التأريض الرئيسي بأطراف التأريض في اللوحات الفرعية.
- د- موصلات الوقاية للدارة للدارة cpc Circuit protective conductor، وهي التي تربط طرف التأريض بالأجزاء (الهيكل) المعدنية المكشوفة للأجهزة والمعدات.
- هـ- موصلات ربط تساوي الجهد الرئيسية Main equipotential bonding

conductors، وهي التي تربط الانابيب المعدنية والخدمات الاخرى بطرف التأريض الرئيسي .

و-موصلات ربط تساوي الجهد الإضافية 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 .

ج-الموصلات .

7.4- الارض

الأرض - كما ذكرنا سابقاً- هي كتلة ضخمة تساوي فولطيتها صفراً . ولا بد أن ننوه هنا الى أن الموصفات البريطانية والاوروبية تستخدم كلمة Earthing للدلالة على التأريض ، بينما تستخدم الموصفات 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 .

تحدد الصفات الكهروفيزيائية للتربة بمقاومتها النوعية Resitivity وهي عبارة عن مقاومة مكعب من التربة طول ضلعه يساوي متراً واحداً، وتساوي :

$$\rho = \frac{r \cdot F}{l}, [\text{ohm} \cdot \text{mm}^2 / \text{m}] \text{ or } [\text{ohm} \cdot \text{m}] \quad (1)$$

حيث ان:

r - المقاومة بالأوم لحجم معين من التربة، مساحته F (بالمتر المربع)، وطول ضلعه l (بالمتر).

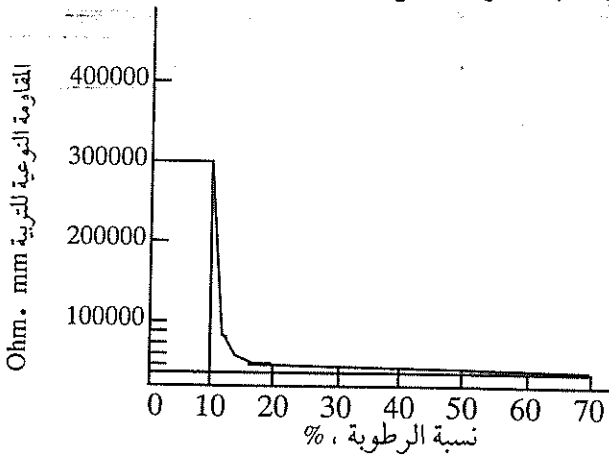
والموصلية Conductivity الكهربائية للتربة هي عكس المقاومة النوعية، وتساوي:-

$$\gamma = \frac{1}{\rho} [1 / \text{ohm} \cdot \text{m}] \quad (2)$$

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 كبير عندما تقل نسبة الرطوبة عن 20%، ولهذا السبب يُجهد 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 اعتماداً على الظروف المناخية، حيث قُسمت المناطق الى منطقة A وتميز بمعدل سقوط أمطار يساوي 510 مم في السنة وأكثر، أما المنطقة B فتميز بمعدل سقوط أمطار يساوي 250 مم وأقل، والمنطقة C فهي منطقة المياه السطحية المألحة. لذلك فيجب استخدام الجدول المذكور بكثير من الحذر.

ج- 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%)

المقاومة النوعية أوم . متر	قيمة الأملاح المضافة كنسبة من وزن الرطوبة
107	0
18	0.1
4.6	1.0
1.9	5
1.3	10
1	20

نلاحظ من الجدول السابق مدى التأثير الكبير لإضافة الأملاح للتربة على تقليل المقاومة النوعية للتربة، وهذا يفسر لجوء البعض إلى إضافة الأملاح بكثرة إلى 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 يجب دفن قضيب التأريض إلى أعماق كبيرة حتى نتجنب تجمد التربة. أما إذا كان قضيب التأريض مدفوناً في الطبقة المتجمدة فإن نظام التأريض يعتبر غير فعال. ويستحسن أن يُدفن قضيب التأريض على عمق يتراوح بين 3 إلى 5 أمتار حتى نتجنب تأثير الحرارة على طبقة التربة العليا.

كذلك فإن ارتفاع درجات الحرارة يؤدي أيضاً إلى ارتفاع قيمة المقاومة النوعية للتربة، حيث تؤدي هذه الحرارة إلى 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 إلى -5 درجات مئوية يؤدي إلى زيادة المقاومة النوعية بأكثر من عشر مرات.

جدول (29)

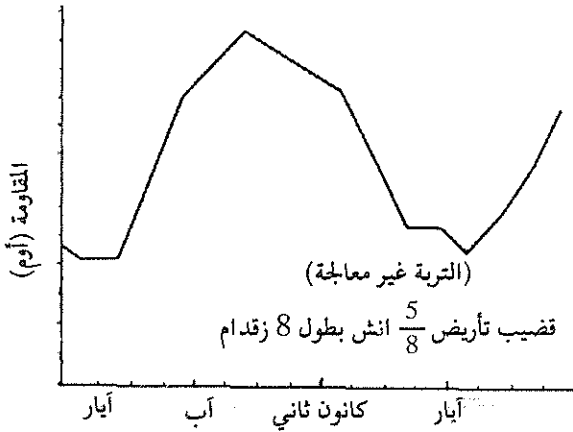
تأثير درجات الحرارة على المقاومة النوعية للتربة

المقاومة النوعية أوم. متر	درجة الحرارة درجة مئوية
72	20
99	10
138	0 (ماء)
300	0 (جليد)
790	-5
3300	-15

هـ-التغيرات المناخية

كما ذكرنا سابقاً فإن 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 تغيير 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 أمودجية للمقاومة

ويجب أن تتميز التربة بالمميزات التالية حتى تكون نظاماً ارضياً جيداً:

- 1-مقاومة كهربائية منخفضة.
- 2-مقاومة جيدة للصدا.
- 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 .

ج-أن تكون درجة حرارة التربة فوق درجة التجمد .

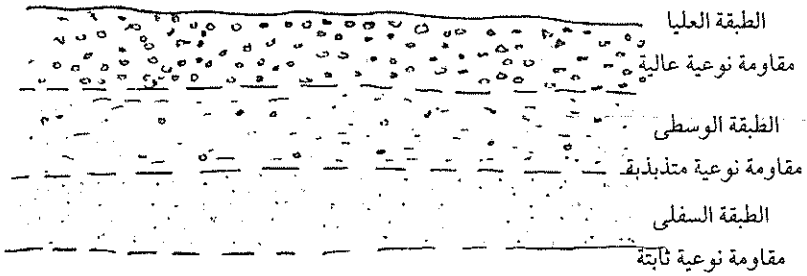
وكما ذكرنا سابقا، فإن التربة تتكون من عدد من الطبقات Layers تختلف في مقاومتها النوعية . وعادة ، فيمكننا تقسيم التربة الى ثلاث طبقات هي :

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 التآريض

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 أو الصلب المجلفن، وتختلف في طولها وقطرها وشكلها، ويجب أن تتمتع هذه القضبان بالخصائص التالية:

أ- أن يكون شكلها مخروطياً وذلك ليسهل غرزها في التربة.

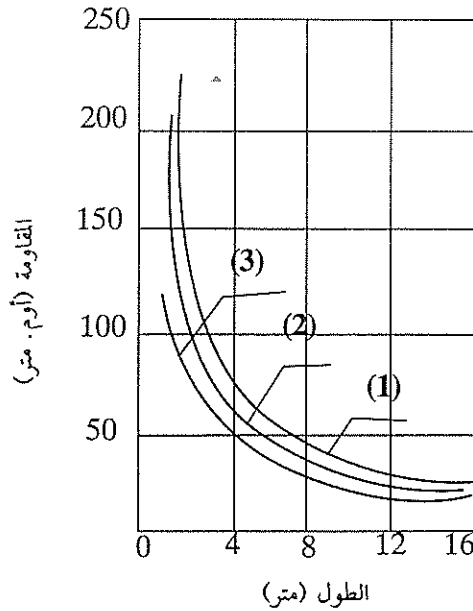
ب- أن تتمتع بمقاومة عالية للصدأ.

ج- أن تتمتع بمتانة ميكانيكية عالية.

د- أن تتحمل هذه القضبان مرور تيار عال أثناء حدوث أعطال ولمدة طويلة من الزمن.

ولكل قضيب بالإضافة إلى المعدن المصنوع منه طول معين وسماكة معينة، أي قطر القضيب إذا كان شكله دائرياً. ولا تؤدي زيادة سماكة القضيب إلى تقليل مقاومته بشكل كبير، فمثلاً، فإن زيادة سماكة قضيب طوله 3 أمتار من 20 مم إلى 30 مم في تربة مقاومتها النوعية 100 أوم متر تؤدي إلى تقليل المقاومة بنسبة 15%، ولذلك لا يمكن أن تستخدم زيادة سماكة القضيب لتقليل مقاومته، أما زيادة طول قضيب التآريض فتؤثر بشكل كبير على مقاومته، فمثلاً، إن زيادة طول قضيب تآريض بسماكة 50 مم من متر إلى ثلاثة أمتار تؤدي إلى نقصان المقاومة بمرتين ونصف.

ويبين شكل 16- تغير مقاومة قضيب التآريض بتغير طوله وسماكته لتربة معينة، وتقع الأطوال المثلى لقضبان التآريض بين 2.5 و5 أمتار. وفي السنوات الأخيرة تستخدم قضبان تآريض بطول خمسة أمتار وبسماكة تتراوح بين 12 و14 مم.



- (1) قطر 1 بوصة
(2) قطر 1.5 بوصة
(3) قطر 4 بوصة

شكل 16-

تغير مقاومة قضيب التأريض كدالة لطوله وسماكته في تربة معينة

أما 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، سيقصر 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 التأسيس المدفون عمودياً في تربة تتكون من طبقة واحدة كما يلي :

$$r = \frac{0.366}{\ell} \rho \left(\log \frac{2\ell}{d} + \frac{1}{2} \log \frac{4t + \ell}{4t - \ell} \right) \quad (1)$$

حيث ان :

ρ - المقاومة النوعية للتربة (أوم . متر) .

ℓ - طول قضيب التأسيس (متر) .

d - القطر الخارجي لقضيب التأسيس (متر) .

t - عمق الدفن ، وهي المسافة من سطح التربة الى منتصف قضيب التأسيس .

ولا بد أن نشير الى أن المعادلات المقترحة لحساب مقاومة قضبان التأسيس هي معادلات تقريبية ، ولذلك فإننا نجد عدداً من المعادلات المستخدمة لحساب تلك المقاومة .

كذلك يمكن استخدام المعادلة التالية في حساب المقاومة :

$$r = \frac{\rho}{2\pi L} \left[\left(\ln \frac{8L}{d} \right) - 1 \right] \quad (2)$$

دعونا نحسب باستخدام المعادلتين (1) و(2) مقاومة قضيب تأسيس طوله (5) أمتار ، وقطره (12) مم . في تربة مقاومتها ρ ، إذا كان عمق الدفن يساوي :

$$t = 0.7 + 2.5 = 3.2 \text{ m}$$

نستخدم اولاً المعادلة (1) ، ونجد المقاومة كما يلي :

$$r = \frac{0.366 \rho}{5} \left(\log \frac{2 \times 5}{12 \times 10^{-3}} + \frac{1}{2} \log \frac{4 \times 3.2 + 5}{4 \times 3.2 - 5} \right) =$$

$$= \frac{0.366 \rho}{5} \left(2.92 + \frac{1}{2} \times 0.358 \right) = 0.227 \rho \text{ ohm}$$

ونجد المقاومة باستخدام المعادلة (2):

$$r = \frac{\rho}{2\pi \times 5} \left[\left(\ln \frac{4 \times 8}{12 \times 10^{-3}} \right) - 1 \right] = 0.226 \rho \text{ ohm}$$

وفي الحالات التي يطلب فيها معرفة مقاومة قضيب التأسيس بشكل سريع، يمكننا أن نستخدم المعادلة التقريبية التالية:

$$r = \frac{\rho}{\ell} \quad (4)$$

أي أن مقاومة قضيب التأسيس تتناسب طردياً مع المقاومة النوعية للتربة وعكسياً مع طول قضيب التأسيس. وفي المثال السابق فإن مقاومة قضيب التأسيس الذي طوله يساوي خمسة أمتار تساوي:

$$r = \frac{\rho}{5} = 0.2 \rho$$

وهذا يبين بوضوح ما أشرنا إليه سابقاً من أن قطر القضيب (أو سماكته) لا يؤثر تأثيراً كبيراً على مقاومته.

2.9.4 التربة التي تتكون من طبقتين

ونستخدم في هذه الحالة المعادلة التالية:

$$r = \frac{0.366 \left(\log \frac{2\ell}{d} + \frac{1}{2} \log \frac{4t + \ell}{4t - \ell} \right)}{\frac{\Delta \ell_1}{\rho_1} + \frac{\Delta \ell_2}{\rho_2}} \quad (5)$$

حيث أن:

- ρ_1 - المقاومة النوعية للتربة في الطبقة العليا، أوم . متر .
- ρ_2 - المقاومة النوعية للتربة في الطبقة السفلى، أوم . متر .
- ℓ_1 - طول جزء قضيب التأسيس في الطبقة العليا، متر .
- ℓ_2 - طول جزء قضيب التأسيس في الطبقة السفلى . متر .
- d - قطر قضيب التأسيس، متر .
- t - عمق الدفن، متر .

ويمكن استخدام المعادلة (5) لحساب تأثير جفاف أو تجمد الطبقة العليا إذا كانت التربة متجانسة وتتكون بشكل عام من طبقة واحدة .

وتستخدم المعادلات السابقة إذا كان مقطع قضيب التأسيس 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 :

$$d_{eq} = 0.95 b \quad (6)$$

حيث أن :

b - طول ضلع مربع مقطع قضيب التأسيس، متر .

ونستخدم في حالات معينة تأريضاً مؤقتاً، بمعنى أن قضيب التأسيس لا يدفن كاملاً في التربة، ويمكن حساب مقاومة هذا القضيب في هذه الحالة، باستخدام المعادلة التالية :

$$r = \frac{0.366\rho}{\ell} \log \frac{4\ell}{d}, \text{ ohm} \quad (7)$$

حيث ان :

ℓ - طول جزء قضيب التأسيس المدفون في الأرض، متر .

d - قطر قضيب التأسيس، متر .

3.9.4 شرائط التأسيس الأفقية.

وتكون هذه الشرائط اما على شكل شرائط رقيقة أو موصلات دائرية، وتستخدم للربط بين قضبان التأسيس 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 ما بين 0.6 الى 0.7 متراً. وتُحسب مقاومة شريط التأسيس باستخدام المعادلة التالية:

$$r = \frac{\rho}{\rho\pi \times L} \left[\ln \left(\frac{2L^2}{Wh} \right) + Q \right] \quad (8)$$

حيث أن:

L- طول الشريط أو الموصل ، متر.

h- عمق الدفن، متر.

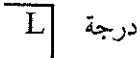
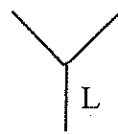
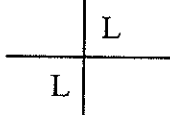
W- عرض الشريط أو قطر الموصل، متر.

ρ - مقاومة التربة، أوم . متر.

P, Q- معاملات يتم اختيارهم من جدول -30.

جدول (30)

المعاملات للمكاهر الأرضية المكونة من شرائط أو موصلات دائرية

المعاملات			شكل المكهر
Q		P	
للموصل	للشريط		
-1.3	-1	2	شريط أو موصل $L(1)$
0.9	0.5	4	شريطان أو موصلان بزاوية 90 درجة 
2.2	1.8	6	ثلاثة أشرطة أو قضبان بزاوية 120 درجة 
-4.1	3.6	8	أربعة أشرطة أو موصلات بزاوية 90 درجة 

(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 أن:

R_n - المقاومة الكلية لسرايط عدد n متوازية ، أوم .

R_1 - مقاومة الشريط أو الموصل المفرد وتحسب باستخدام المعادلة (8) ، أوم .

F - معامل يتخذ القيم التالية :

$$F = 0.5 + 0.078 \left(\frac{S}{L} \right)^{-0.307} \quad \text{لشريطين أو موصلين :}$$

$$F = 0.33 + 0.071 \left(\frac{S}{L} \right)^{-0.408} \quad \text{لثلاثة أسرطة أو موصلات :}$$

$$F = 0.25 + 0.067 \left(\frac{S}{L} \right)^{-0.451} \quad \text{لأربعة اسرطة أو موصلات :}$$

$$0.2 \leq \frac{S}{L} \leq 0.3 \quad \text{حيث أن :}$$

تستخدم السرايط الافقية او الموصلات ذات الشكل الدائري في حالة وجود طبقة من تربة عالية المقاومة تحت طبقة رقيقة من تربة منخفضة المقاومة . وعادة ، يستخدم شريط من نحاس غير مقصود بمقطع أبعاده 25×3 مم . إن الحجم الدنيا لهذه السرايط أو الموصلات يجب ان تتوافق مع جدول -31 .

جدول (31)

الحجوم الدنيا لمكونات المكاهر الارضية

نوع المكهر	مساحة المقطع ، مم	القطر أو السماكة مم
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 جديدة

4.9.4- مقاومة المكاهر الأرضية الدائرية

قد تكون المكاهر الأرضية على شكل حلقة دائرية، ويمكن حساب مقاومة هذا المكهر اعتماداً على عمق الدفن للحالتين:

أ- إذا كان عمق الدفن أقل من نصف قطر الحلقة ($t < \frac{D}{2}$). وتساوي المقاومة في هذه الحالة ما يلي:

$$r = \frac{\rho}{2\pi^2 D} 2.3 \log \frac{8 D^2}{2dt}, \text{ ohm} \quad (9)$$

ب- إذا كان عمق الدفن أكبر من نصف قطر الحلقة ($t > D/2$). تساوي المقاومة في هذه الحالة ما يلي:

$$r = \frac{\rho}{2\pi^2 D} \left(2.3 \log \frac{8 D}{d} + \frac{\pi D^2}{2t} \right) \Omega \quad (10)$$

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.

أما 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:

$$D = \frac{2(L+W)}{\pi} \quad (11)$$

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 $1 \times 1 \text{ م}^2$ وسماكتها 3مم يكون أكبر بثلاث مرات من وزن شريط بمساحة $30 \times 4 \text{ م}^2$ وطول ثمانية أمتار .

ويتم وضع الصفيحة المعدنية بشكل عامودي، حتى نضمن ملامسة جيدة للتربة مع الصفيحة، اما اذا وضعت بشكل أفقي فهناك احتمال 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:

$$r = \frac{\rho}{4} \sqrt{\frac{\pi}{2A}} \quad (12)$$

حيث ان:

ρ - مقاومة التربة، أوم . متر.

A - مساحة وجه الصفيحة الواحد، متر مربع.

أما مقاومة الصفيحة التي أبعادها تساوي $1.2 \text{ m} \times 1.2 \text{ m}$ فتساوي تقريباً ما يلي:

$$r = \frac{\rho}{4} \quad (13)$$

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 لانايب المياه بقيمة تتراوح ما بين 0.2 الى 1 أوم لتربة مقاومتها النوعية تساوي (10) أوم . متر .


وفي الوقت الحاضر لا يُسمح باستخدام انايب المياه كمكهر أرضي وحيد، ويعود السبب الى استخدام انايب بلاستيكية للمياه . وكذلك الى كثرة الوصلات البلاستيكية غير المعدنية في شبكات انايب المياه المعدنية، ولكن يُحذ وصل الانايب 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

المعادلة	شكل المكهر	الرمز
$R = \frac{\rho}{2\pi a}$	نصف كرة بنصف قطر يساوي a	
$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} - 1 \right)$	قضيب أرضي واحد بطول L ونصف قطر a	•
$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} + \ln \frac{4L}{S} - 2 + \frac{S}{2L} - \frac{S^2}{16L^2} + \frac{S^4}{512L^4} + \dots \right)$	قضيبان S < L - المسافة بينهما	• •
$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} - 1 \right) + \frac{\rho}{4\pi S} \left(1 - \frac{L^2}{3S^2} + \frac{2L^4}{5S^4} - \dots \right)$	قضيبان S > L	• •

المعادلة	شكل المكهر	الرمز
$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} + \ln \frac{4L}{S} - 2 + \frac{S}{2L} \frac{S^2}{16L^2} + \frac{S^4}{512L^4} + \dots \right)$	سلك مدفون بشكل أفقي بطول 2L وعمق الدفن $\frac{S}{2}$	—
$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left(\ln \frac{2L}{a} + \ln \frac{2L}{s} - 0.2373 + 0.2146 \frac{S}{L} + 0.1035 \frac{S^2}{L^2} - 0.0424 \frac{S^4}{L^4} \dots \right)$	سلك على شكل زاوية قائمة من اليمين ، طول الضلع L وعمق الدفن $\frac{S}{2}$	L
$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left(\ln \frac{2L}{a} + \ln \frac{2L}{s} - 0.2373 + 0.2146 \frac{S}{L} + 0.1035 \frac{S^2}{L^2} - 0.0424 \frac{S^4}{L^4} \dots \right)$	نجمة بثلاث نقاط طول الضلع L وعمق الدفن $\frac{S}{2}$	
$R = \frac{\rho}{8\pi L} \left(\ln \frac{2L}{a} + \ln \frac{2L}{s} + 2.912 - 1.071 \frac{S}{L} + 0.645 \frac{S^2}{L^2} - 0.145 \frac{S^4}{L^4} \dots \right)$	نجمة بأربع نقاط طول الضلع L وعمق الدفن $\frac{S}{2}$	+
$R = \frac{\rho}{16\pi L} \left(\ln \frac{2L}{a} + \ln \frac{2L}{s} + 10.98 - 5.51 \frac{S}{L} + 3.26 \frac{S^2}{L^2} - 1.17 \frac{S^4}{L^4} \dots \right)$	نجمة بثماني نقاط طول الضلع L وعمق الدفن $\frac{S}{2}$	
$R = \frac{\rho}{2\pi^2 D} \left(\ln \frac{8D}{d} + \ln \frac{4D}{s} \right)$	سلك على شكل حلقة قطر D ، قطر السلك d وعمق الدفن $\frac{S}{2}$	

الرمز	شكل المكهر	المعادلة
—	شريط مدفون أفقياً طول $2L$ ، المقطع $\frac{S}{2}$ ، عمق الدفن axb $b < a/8$	$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} + \frac{a^2 - \pi ab}{2(a+b)^2} + \ln \frac{4L}{S} - 1 + \frac{S}{2L} - \frac{S^2}{16L^2} - \frac{S^4}{512L^4} \dots \right)$
	صفحة دائرية مدفونة أفقياً بنصف قطر a ، وعمق الدفن $\frac{S}{2}$	$R = \frac{\rho}{8a} + \frac{\rho}{4\pi S} \left(1 - \frac{7}{12} \frac{a^2}{S^2} + \frac{33a^4}{40S^4} \dots \right)$
	صفحة دائرية مدفونة عامودياً بنصف قطر a ، وعمق الدفن $\frac{S}{2}$	$R = \frac{\rho}{8a} + \frac{\rho}{4\pi S} \left(1 - \frac{7}{24} \frac{a^2}{S^2} + \frac{99a^4}{320S^4} \dots \right)$

في الجدول السابق فان (ρ) هي مقاومة التربة بالاووم . سينتتمتر .

10.4 مأملة الاستزادة من المكاهر

في أحيان كثيرة نضطر الى إضافة وتركيب أكثر من مكهر واخذ 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 :

$$R_e = \frac{R_o}{n} \quad (14)$$

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:

$$\zeta = \frac{R_o}{n.R_e} \quad (15)$$

اي ان المقاومة الأرضية الكلية تساوي:

$$R_e = \frac{R_o}{n.\zeta} \quad (16)$$

وباستخدام معامل الاستفادة يمكننا إيجاد المقاومة الأرضية لانواع مختلفة من المكاهر كما يلي:

المقاومة الأرضية لمجموعة مكاهر أفقية تساوي:

$$R_e = \frac{R_h}{n.\zeta_h} \quad (17)$$

المقاومة الأرضية لمجموعة مكاهر عاموية تساوي:

$$R_e = \frac{R_v}{n.\zeta_v} \quad (18)$$

المقاومة الأرضية لمجموعة مكاهر عامودية مرتبة في صف تساوي :

$$R_e = \frac{R_h}{n \cdot \zeta_{h,L}} \quad (19)$$

المقاومة الأرضية لمجموعة مكاهر عامودية مرتبة في منحني مقفل Contour تساوي :

$$R_e = \frac{R_h}{n \cdot \zeta_{h,c}} \quad (20)$$

حيث ان :

R_h - مقاومة شريط الأرضي بالأوم .

R_v - مقاومة المكهر العامودي ، أوم .

n - عدد المكاهر .

$\zeta_{h,c}$, $\zeta_{h,L}$, ζ_v , ζ_h - معاملات الاستفادة .

وتبين الجداول التالية معاملات الاستفادة في الحالات المختلفة .

جدول (33)

معامل الاستفادة (ζ_h) للشرائط الأرضية الأفقية المتوازية عرض الشريط = 20-40م

عمق الطمر = 0.3-0.8 متر

المسافة بين الأشرطة المتوازية (متر)					عدد الأشرطة المتوازية	طول شريط التأريض ، متر
15	10	5	2.5	1		
0.85	0.80	0.75	0.65	0.55	2	15
0.79	0.73	0.60	0.49	0.37	5	
0.72	0.64	0.49	0.37	0.25	10	
0.80	0.75	0.70	0.60	0.50	2	25
0.73	0.60	0.55	0.45	0.35	5	
0.66	0.57	0.43	0.31	0.23	10	
0.75	0.70	0.65	0.55	0.45	2	50
0.65	0.58	0.48	0.40	0.33	5	
0.53	0.46	0.35	0.27	0.20	10	

جدول (34)

معامل الاستفادة ($\zeta_{h.L}$) للشرائط الأفقية التي تصل بين
المكاهر العامودية المرتبة في صف

عدد المكاهر العامودية							المسافة بين المكاهر العامودية الى طول المكهر $\frac{a}{l}$
50	30	20	10	8	6	4	
0.21	0.24	0.27	0.34	0.36	0.40	0.45	1
0.28	0.30	0.32	0.40	0.43	0.48	0.55	2
0.37	0.41	0.45	0.56	0.6	0.64	0.70	3

جدول (35)

معامل الاستفادة لمجموعة مكاهر عامودية ($\zeta_{v.L}$) مطمورة في الأرض مرتبة في
صف بدون تأثير شرائط الربط

$\zeta_{v.L}$	عدد المكاهر n	العلاقة بين المسافة بين المكاهر العمودية وطول المكهر $\frac{a}{l}$
0.87-0.84 0.80-0.76 0.72-0.67 0.62-0.56 0.56-0.51 0.50-0.47	2 3 5 10 15 20	1
0.92-0.90 0.88-0.85 0.83-0.79 0.77-0.72 0.73-0.66 0.70-0.65	2 3 5 10 15 20	2
0.95-0.93 0.92-0.90 0.88-0.85 0.83-0.79 0.80-0.76 0.79-0.74	2 3 5 10 15 20	3

جدول (36)

معامل الاستفادة ($\bar{S}_{h,c}$) للشرائط الأفقية التي تصل بين المكاهر العامودية المرتبة في منحنى مقفل

عدد المكاهر العامودية							العلاقة بين تباعد المكاهر وطول المكهر $\frac{a}{l}$
50	30	20	10	8	5	4	
0.21	0.31	0.42	0.62	0.67	0.74	0.77	1
0.31	0.46	0.56	0.75	0.79	0.86	0.89	2
0.49	0.58	0.68	0.82	0.85	0.90	0.92	3

جدول (37)

معامل الاستفادة لمجموعة مكاهر عامودية مظمورة ومرتبة في منحنى ($\bar{S}_{v,c}$) تأثير شرائط الربط

$\bar{S}_{v,L}$	عدد المكاهر n	العلاقة بين المسافة بين المكاهر العمودية وطول المكهر $\frac{a}{l}$
0.72-0.66 0.65-0.58 0.58-0.52 0.50-0.44 0.44-0.38 0.42-0.36	4 6 10 20 40 60	1
0.80-0.76 0.75-0.71 0.71-0.66 0.66-0.61 0.61-0.55 0.58-0.52	4 6 10 20 40 60	2
0.86-0.84 0.82-0.78 0.78-0.74 0.72-0.68 0.69-0.64 0.67-0.62	4 6 10 20 40 60	3

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 :

$$R_e = \frac{R_1}{n \cdot \xi}$$

R_1 - مقاومة شريط أحد الأشعة بالأوم .

n - عدد الأشعة المتفرعة في الأرض .

ξ - معامل الاستفادة .

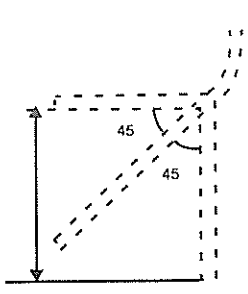
ويبين جدول 38 معامل الاستفادة للمكاهر الأرضية على شكل شعاع .

جدول (38)

عامل الاستفادة للمكاهر الأرضية على شكل شعاع

عدد الأشعة المتفرعة				طول الشعاع متر
4		3		
قطر الموصل ، سم				
4	3	2	1	
0.61	0.63	0.74	0.76	2.5
0.65	0.67	0.76	0.78	5
0.69	0.70	0.79	0.81	10
0.70	0.72	0.80	0.82	15
0.73	0.75	0.82	0.84	30

وقد لاقى هذا الشكل من التأريض ، وخاصة بثلاثة أشعة ، استخداماً واسعاً في تأريض نظم الحماية من الصواعق ، ويسمى بـ Grow's Foot . ويتكون كل شعاع



شكل 17

من 20 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 تُغرّز عامودياً في الأرض بمسافة لا تقل عن 1.5 متر بينها ولا تقل أيضاً عن 50 سم من قواعد المنشأ . ثم يتم وصلها ببعض باستخدام شريط نحاسي بأبعاد تساوي 3x20 م .

ومن أجل الحسابات العملية وعندما يلزم الأمر تركيب أكثر من مكهر عامودي بينهما تباعد لا يقل عن طول المكهر ومرتببات في خط أو على شكل مثلث أو دائرة أو مربع . فيمكن حساب مقاومة الأرضي كمكهر عامودي واحد باستخدام المعادلة التالية :

$$R_e (\text{rod}) = \frac{\rho (\Omega \cdot \text{cm})}{302} \Omega \quad (21)$$

ثم يتم ضرب المقاومة الأرضية بعامل مضاعفة Multiplying Factor من جدول (39) .

جدول (39)

عامل المضاعفة لقضبان التأسيس المتعددة

عدد قضبان التأسيس	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 يُصنع 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 .

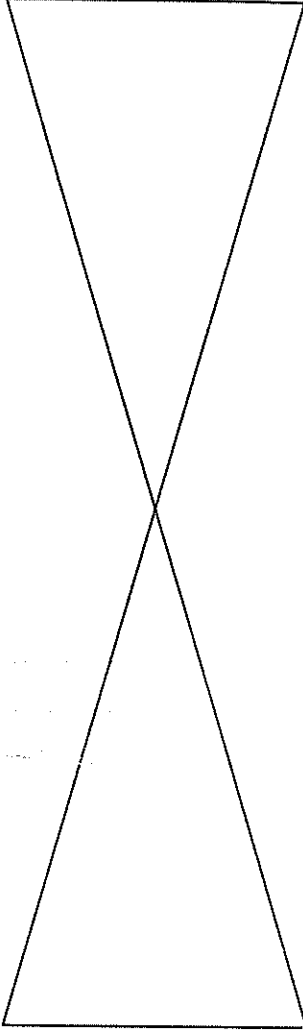
1.12.4 صدأ ثنائي المعدن

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 للمعدن الأقل مقاومة والتي تصبح أنودية Anodic. وفي مثل هذه الحالة فان المعدن الانودي يصدأ. إن أحد أهم الطرق في تحديد خطورة الصدأ الجلفاني Galvanic 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 Se-ver 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 الأدنى لمنع التأثير الجلفاني.

Most Susceptible
(Least Noble)

أكثر تأثراً



Least Susceptible
(More Noble)
أقل تأثراً

الماغنيسيوم وسبائكها

الخارصين وسبائكها

الالومنيوم وسبائكها

الكاديوم

الفولاذ الذي لا يصدأ ، 13% كروم (نشط)

لحام الرصاص والقصدير 50/50

الفولاذ الذي لا يصدأ 18/8 نوع 304 (نشط)

الفولاذ الذي لا يصدأ 18/8 نوع 316 (نشط)

الرصاص

القصدير

النحاس الأصفر

برونز المدافع

الالومنيوم البرونزي

النحاس

سبائك أساسها النيكل Monel

التيتانيوم وسبائكها

الفولاذ الذي لا يصدأ (Passive)

الفضة

الذهب

البلاتينيوم

شكل-18

المعادن حسب ترتيبها بالنسبة لتأثرها بالصدأ .

2.12.4 الصدأ الكيماوي

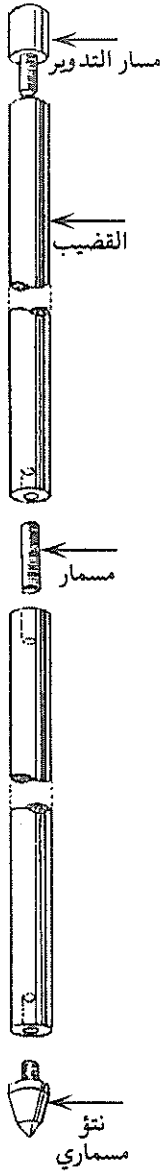
قد تكون التربة التي يتم دفن مكاهر التآريض فيها متعادلة أو حامضية أو قلوية، ويشار الى حالة التربة بالرقم الهيدروجيني (وهو اللوغاريتم العشري لمعكوس درجة تركيز ايون الهيدروجين في المحلول). والرقم الهيدروجيني يتخذ القيم التالية:

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 بقدررة المعدن على التأثر بالصدأ Nobility، فكلما كان الجهد الكاثودي للمعدن قليلاً فإن معدل الصدأ يزيد.

ويعتبر الصدأ من المشاكل التي نواجهها في أنظمة التآريض 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 $1 \times 1 \times 6$ بوصة ودفن لمدة 12 سنة في الأرض. أما المكاهر المصنوعة من الحديد فانها تخسر من وزنها سنوياً 2.2%، ولذلك يُحذ أن يُجلفن Galvanizing الحديد. وفي هذه الحالة فانه يفقد من وزنه 0.5% سنوياً. وتعرض الكوابل (أغلفتها وتسلحها) 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. فمثلاً، فقد تم



شكل-19
مكهر تآريض

إستخدام حماية خاصة لمكاهر التآريض 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 منظرًا عاماً لمكهر التآريض الذي يتكون من الأقسام التالية :

- مسمار التدوير Driving stud .

- القارنة Coupling .

- القضيب Rod .

وتبين الجداول التالية خصائص مكاهر التآريض المختلفة .

جدول (40)

مكاهر التآريض المصنوعة من Copperbond rods

قطر المكهر الفعلي (مم)	أبعاد المكهر (مم)
8.9	1200x9.5
12.7	1200x12.5
12.7	1500x12.5
12.7	1800x12.5
14.2	1200x16
14.2	1500x16
14.2	1800x16
14.2	2400x16
14.2	3000x16
17.2	1200x20
17.2	1500x20
17.2	1800x20
17.2	2400x20
17.2	3000x20
23.1	3000x25

جدول (41)

مكاهر التآريض المصنوعة من النحاس المصمت

Solid copper rods

الطول (مم)	القطر (مم)
1200	15
1200	20

جدول (42)

قضبان التآريض المصنوعة من الصلب الذي لا يصدأ

الطول (مم)	القطر (مم)
1200	16

جدول (43)

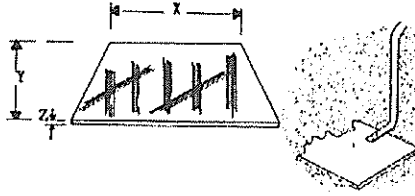
مكاهر التآريض المصنوعة من الصلب المجلفن

الطول (مم)	القطر (مم)
1200	16

جدول (44)

صفائح التآريض المصنوعة من النحاس المصمت

المساحة الكلية م ²	الأبعاد (مم)
0.7236	1.5x600x600
1.625	1.5x900x900
0.7272	3x600x600
1.631	3x900x900

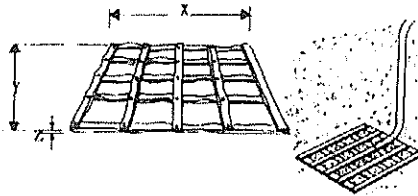


شكل -20

جدول (45)

صفائح التآريض المعدنية من النحاس الشبكي

المساحة الكلية م ²	الأبعاد (مم)
0.3063	3x600x600
0.6465	3x900x900

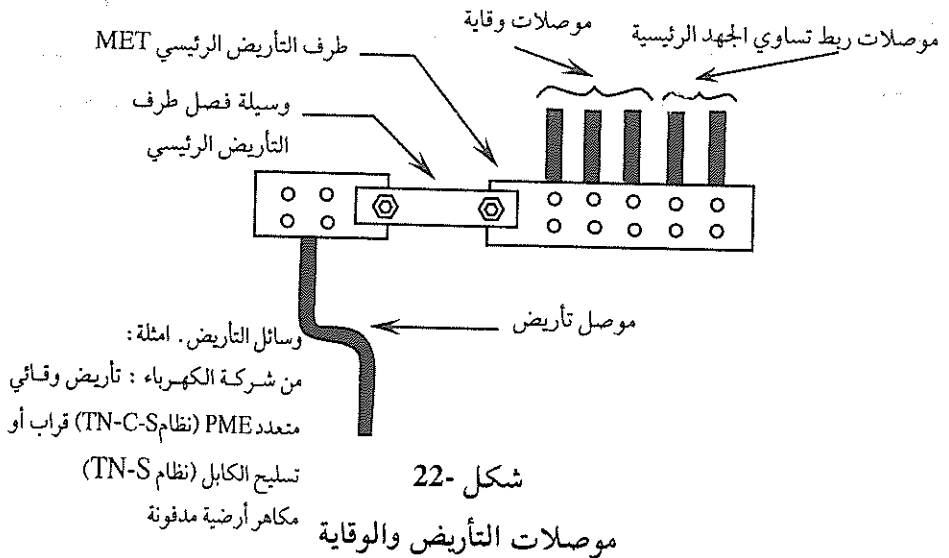


شكل -21

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 الأرض 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 التآريض بمكاهر التآريض المدفونة بالأرض ، بحيث تكون قوية ميكانيكاً ومتماشكة كهربائياً . 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 كمية حرارة مقبولة ، ويلعب نقل الحرارة Conduction وحركة الرطوبة نتيجة الفعل الشعري Capillary effect دوراً في المحافظة على قيمة مقاومة التربة حول المكهر الأرضي 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 مقاومة 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 الأرض ، 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 :

$$I = \frac{34800 d.L}{\sqrt{pt}} \quad (22)$$

حيث أن :

d- قطر القضيب .

L- طول القضيب

p- مقاومة التربة ، اوم . متر

t- الزمن بالثواني (فقط لفترات قصيرة جداً) .

وخلاصة الاستعراض السابق ، أن موصل التآريض 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 الرئيسي MET 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) إما بالحساب بواسطة المعادلة الأدياباتية Adiabatic equation أو باختيارها وفقاً لمتطلبات جدول 7 .

وفي حالة كون نبيلة حماية التيار المفرط Overcurrent protection تقوم بحماية الدارة من القصر وليس بحمايتها من زيادة الاحمال (طبعاً إضافة الى الحماية ضد التلامس غير المباشر) ، فلا بد من استخدام المعادلة الأدياباتية 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-

ويستخدم 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 :

$$S_p = S \frac{K_1}{K_2} \quad (23)$$

حيث أن :

S-مساحة مقطع موصل الطور، مم².

Sp-مساحة مقطع موصل الوقاية، مم².

K₁-عامل له علاقة بموصل الطور، ويتم إختياره من جدول 8-

K₂-عامل له علاقة بموصل الوقاية ويتم إختياره من جداول 9,10,11,12,13.

وكمثال، فلو كانت مساحة مقطع موصل الطور 16 مم² واستخدمنا كموصل وقاية تسليح كابل له عازلية 90 مئوية مقاومة للحرارة. من جدول 8- فان قيمة K₁ تساوي 143 و 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 والمستخدمه في الحساب فهي :

$$S = \frac{\sqrt{I^2.t}}{K} \quad (24)$$

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 نبيطة 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 9,10,11,12,13.

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 بسيطة الحماية ، اي أن

$$S^2K^2 \geq I^2t \quad (25)$$

او بعبارة أخرى .

$$S_p K \geq I_F \sqrt{t} \quad (26)$$

إن ما سبق لا يعني مطلقاً أنه بزيادة تيار العطل لا بد أن نزيد مساحة مقطع موصل الوقاية ، لان الزمن 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 و باعتبار 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 ببساطة 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

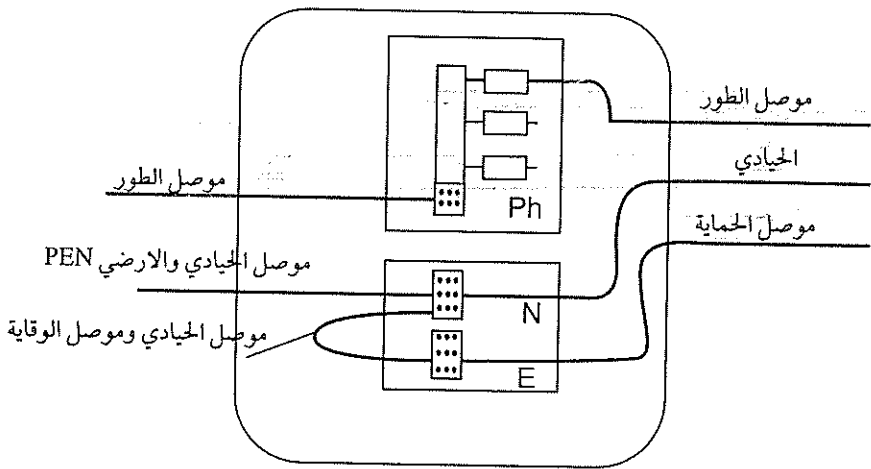
ولا بد أن نشير أيضاً الى أن العامل k في المعادلة (34) يمكن حسابه باستخدام

المعادلة التالية :

$$k = \sqrt{\frac{Q_c(B+20)}{\rho_{20}} \ln \left(1 + \frac{Q_f - Q_i}{B + Q_i} \right)} \quad (27)$$

- تسود . ويمكن استخدام موصلات الحيادي والحماية المدمجة Combined Protective and Neutral conductor, PEN and 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 .
- (ج) إذا كانت التغذية تتم من مُغَيّر 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 الإشارة 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 الكهرودينامية والتي تظهر عند سريان تيار عطل أرضي كبير .

يجب أن يكون غطاء Covering كل موصلات الحماية بمساحة مقطع 6م² 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 مقاس 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 أنشودة الطور -الأرض .
- مدى حماية تسليح الكابل حرارياً .

من المعروف أن مقاومة الالومنيوم تزيد 1.6 مرة عن مقاومة النحاس ، بينما مقاومة الفولاذ تزيد بحوالي ثماني مرات عن مقاومة النحاس ، لذلك فإن أدى استخدام تسليح الكوابل كموصل حماية الى زيادة ممانعة الانشوطه ، 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)

موصلات نحاس حيه Live			موصلات نحاس حيه Live			عدد القلوب	مساحة مقطع الموصل الحيه الاسمي م ²
كوابل قدرة			كوابل قدرة				
4	3	2	4	3	2		
مساحة مقطع التسليم م ²							
			17	16	15		1.5
			20	19	17		2.5
			35	23	21		4.0
			40	36	24		6.0
			49	44	41		10
66	46	42	72	50	46		16
70	62	54	76	66	60		25
78	68	58	84	74	66		35
113	78	66	122	84	74		50
128	113	74	138	119	84		70
147	128	109	160	138	122		95
201	138	-	220	150	131		120
220	191	-	240	211	144		150
245	215	-	265	230	201		185
274	240	-	299	260	225		240
304	265	-	333	289	250		300
-	-	-	467	319	279		400

جدول (49)

مساحة مقطع التسليح (أسلاك دائرية) لكوابل XLPE

حسب BS6724 و BS5467

كوابل قدرة بموصلات مجدولة						عدد القلوب	مساحة مقطع الموصل الحي الأسمي مم ²
موصلات ألومنيوم حية Live			موصلات نحاس حية Live				
4	3	2	4	3	2		
-	-	-	18	17	16		1.5
-	-	-	20	19	17		2.5
-	-	-	23	21	19		4.0
-	-	-	36	23	22		6.0
-	-	-	43	39	26		10.0
46	42	40	49	44	41		16.0
66	58	38	70	62	42		25.0
72	64	54	80	70	62		35.0
82	72	60	90	78	68		50.0
122	84	70	131	90	80		70.0
135	119	100	147	128	113		95.0
191	131	-	206	141	125		120.0
211	181	-	230	201	138		150.0
235	206	-	255	220	191		185.0
265	230	-	289	250	215		240.0
289	250	-	319	269	235		300.0

جدول (50)

مساحة مقطع القنوات والمجاري الفولاذية

مجاري الفولاذية		القنوات الفولاذية		
مساحة المقطع م ²	الحجم (م)	مساحة المقطع م ²		الفطر الخارجي الاسمي (م)
		عيار ثقيل	عيار خفيف	
125	36.5x50	72	47	16
150	50x50	92	59	20
225	50x75	131	89	25
285	75x75	170	116	32
260	50x100			
320	75x100	لمزيد من المعلومات حول القنوات الفولاذية أنظر BS5468 وللمجاري الفولاذية أنظر BS4678		
440	100x100			
380	50x150			
450	75x150			
520	100x150			
750	150x150			

جدول (51)

مساحة مقطع النحاس المكافئ للكوابل حسب BS6346

مساحة مقطع النحاس المكافئ للكوابل حسب BS6346			مساحة مقطع الموصل الحثري الاتممي (م ²)
أربعة قلوب	ثلاثة قلوب	قلبان	
1.5	1.5	1.5	1.5
1.5	1.5	1.5	2.5
4.0	2.5	2.5	4
4.0	4.0	2.5	6
4.0	4.0	4	10
6	4.0	4	16
6	6	6	25
6	6	6	35
10	6	6	50
10	10	6	70
16	10	10	95
25(cu),16(Al)	16(cu),10(Al)	10	120
25	16	16	150
25	25(cu),16(Al)	16	185
35(cu),25(Al)	25	25	240
35	25	25	300
50	35	25	400

جدول (52)

قرب أو تسليح الكابيل المستخدم كموصل حماية - مساحة المقطع الأدنى (مم²)

التسليم Armour				مساحة مقطع موصل الطور
رصاص	الومنيوم	فولاذ	نحاس	
Sp (mm ²)				S (mm ²)
4.45	1.24S	2.26S	S	S ≤ 16
71	20	36	16	16 < S ≤ 35
2.2S	0.62S	1.13S	0.5S	S > 35

وإتماداً على ما سبق فإن جدول 53 يلخص الأسس التي يمكن إتمادها في اختيار مقطع موصل الوقاية و موصل التأريض .

جدول (53)

مساحة مقطع موصل الحماية و موصل التأريض

مساحة مقطع موصل التأريض بين المكهر الارضي وطرف التأريض الرئيسي	مساحة مقطع موصل الوقاية والتأريض PEN	مساحة مقطع موصل الوقاية PE	مساحة مقطع موصل الوقاية Sph (mm ²)		الطريقة المبسطة
			Al	Cu	
<p>● إذا كان محمياً ضد التلف الميكانيكي</p> $S = \frac{I\sqrt{t}}{2}$ <p>(2)</p>	<p>SPEN = Sph بحد أدنى 10 مم² نحاس أو 16 مم² المنيوم</p>	SPEN = Sph(1)	أقل أو يساوي 16	أقل أو يساوي 16	
		SPE = 16	25 35	- 25.35	
<p>■ غير محمي ميكانيكياً ولكنه محمي ضد الصدا بواسطة قرب الكابيل . أدنى مساحة 16 مم² للنحاس أو الفولاذ المجلفن .</p>	<p>SPEN = Sph/2 Sph(3) بحد أدنى 16 مم² نحاس أو 25 مم² الومنيوم</p>	SPE = Sph/2	أكبر من 35	أكبر من 35	
<p>■ إذا لم يكن محمياً على الإطلاق</p> <p>25 مم² كحد أدنى للنحاس المعرّي ، 50 مم² للفولاذ المجلفن المعرّي .</p>		$S = \frac{I\sqrt{t}}{2}$ <p>(1)(2)</p>	أي حجم		باستخدام المعادلة الأديباتية

ملاحظات :

(1) عندما يكون موصل الحماية منفصلاً عن موصل الطور، فالحد الأدنى التالي يجب تطبيقه :

■ 2.5م² إذا كان موصل الوقاية محمياً ميكانيكياً.

■ 4م² 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 10م² (نحاس) أو 16م² (الومنيوم). كذلك لا يسمح كموصل PEN في الكابل المرن. وبما أن مهمة موصل PEN هي كموصل حيادي، لذلك يجب أن لا تقل 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 I_{max} 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 بنسب وسائل حماية موصل الطور.

15.4 إختيار مقاطع موصلات تساوي الجهد

يُستخدم الربط متساوي الجهد Equipotential 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 الامثنائية 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 للدائرة وكذلك عندما تكون الدارات بأزمان مزق مختلفة تتغذى من نفس اللوحة .

ولا بد أن نشير الى أن هدف ربط Bonding 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 V_f التي يمكن أن تظهر على الجزء العرضي ، وباهمال مراكسة موصل وقاية الدارة ، فان هذه الفولطية تساوي :

$$V_f = I_f \cdot R_{cpc}$$

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 الرئيسي MET 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 25مم² للنحاس و25مم² للالومنيوم ، بينما يكون الحد الأدنى مساوياً الى 6مم² نحاس أو 10مم² 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 لانايبب 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 أو كان هناك عدادٌ ، فيجب أن تتم

جدول (54)

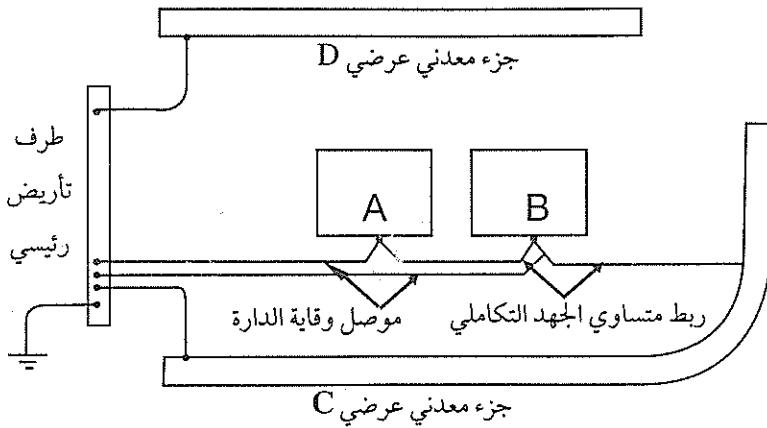
مساحة مقطع موصل ربط تساوي الجهد الرئيسي الأدنى
بالنسبة الى مساحة مقطع حيادي التغذية الرئيسية

مساحة مقطع موصل ربط تساوي الجهد الرئيسي الأدنى ، 2مم ²	مساحة مقطع حيادي التغذية الرئيسية من النحاس ، 2مم ²
10	35 مم ² وأقل
16	أكبر من 35 ولغاية 50
25	أكبر من 50 ولغاية 95
35	أكبر من 95 ولغاية 150
50	أكبر من 150

- التوصيلات في جهة المستهلك وقبل أية تفرعات أو توصيلات فرعية، ويُحذ أن تتم توصيلات ربط متساوي الجهد الرئيسية ضمن 600م 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 احتمال 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 أيضاً أجزاء معدنية عرضية مثل C,D. حسب متطلبات الكودة فان موصل وقاية الدارة والاجزاء المعدنية العرضية يجب توصيلها مع طرف التأريض الرئيسي.

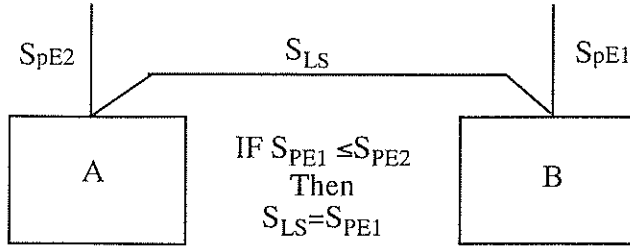


شكل-24

الربط متساوي الجهد المتكامل

وحسب متطلبات الكودة فإن مساحة مقطع موصل ربط متساوي الجهد التكاملي الذي يربط بين جزئيين معدنيين يجب أن يساوي مساحة مقطع موصل حماية الدارة

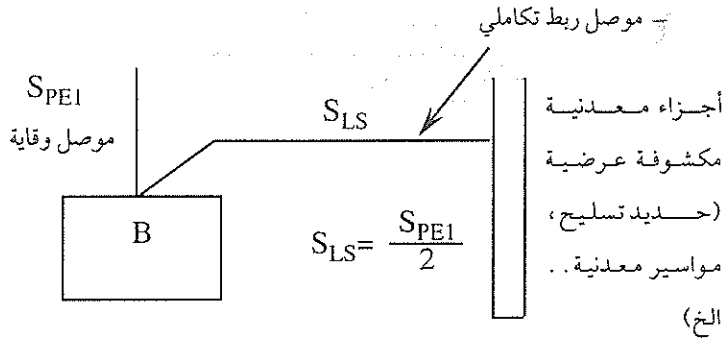
الأصغر إذا وجدت حماية ميكانيكية له، وفي حالة عدم وجود حماية ميكانيكية فإن أقل مقطع مسموح به يساوي 2م4. ويبين شكل-25 الربط بين جزئين معدنيين.



شكل-25

إختيار مقطع الربط التكاملي بين جزئين 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 2.5م2 في حالة وجود حماية ميكانيكية، وأن لا يقل عن 4م2 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 .

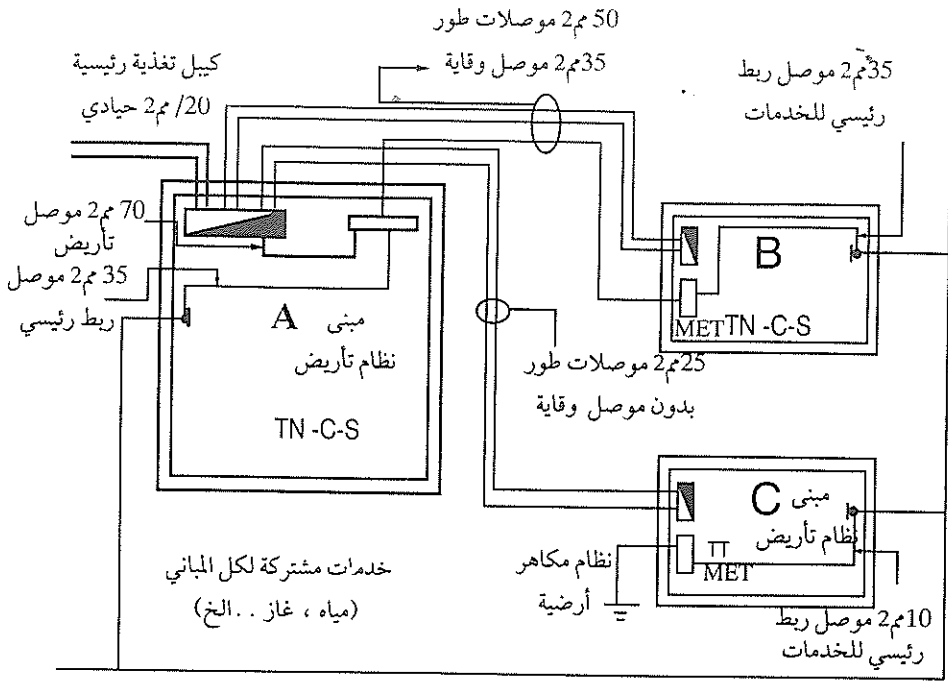
3.15.4 الربط متساوي الجهد الإضافي

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 رئيسي MET .
- 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 إلى أهمية حماية كيبيل التغذية الرئيسي من ضربات البرق المباشرة عليه وخاصة في المشاريع المهمة والتي لا يسمح بانقطاع الطاقة الكهربائية فيها، ويكون كيبيل التغذية الرئيسي مسلحاً Armoured ومدفوناً في الأرض، ولذلك ولحماية هذا الكيبيل يتم تمديد شريط نحاسي بمساحة مقطع لا تقل عن 35 مم² فوق الكيبيل ويتم ربط هذا الشريط بمكاهر أرضية بطول 3 أمتار مدفونة في الأرض ويتباعد فيما بينها لا يقل عن 25 متراً ويجب أن يكون الربط محكماً ميكانيكياً ومتواصلًا كهربائياً. وفي هذه الحالة فإن اية ضربة برق مباشرة يتم إعتراضها من قبل شريط التأريض والذي بدوره يُفرغ شحنة البرق الكهربائية إلى الأرض عبر المكاهر الأرضية.

الفصل الخامس قواطع الدارة

1.5 مقدمة

تعتبر قواطع الدارة Circuit breakers والمصهرات Fuses من العناصر الرئيسية في أية شبكة كهربائية مهما كانت فولطيتها 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 كنبیطة إبدال Switching device، أما في الظروف غير العادية وعندما يكون التيار أعلى من المقرر الامبييري للقواطع بسبب الحمل المفرط Overload أو بسبب قصر الدارة فان القاطع يعمل كنبیطة 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 (ANSI C37.100-1981) تُعرف قاطع الدارة بأنه نبیطة 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 قادراً 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 المفرط Overload الصغير.

3. يجب أن يفصل بسرعة وبنجاح تام التيارات الكبيرة الناتجة عن الاعطال الكهربائية .

4. يجب أن تتحمل الثغرة بين الملامسات فولطية الدارة عندما تفتح الملامسات .

5. يجب أن يكون القاطع قادراً على غلق الدارة في ظروف العطل وأن يكون قادراً على إعادة فتح الملامسات لحظياً لإبراء 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 ، فإن 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 :

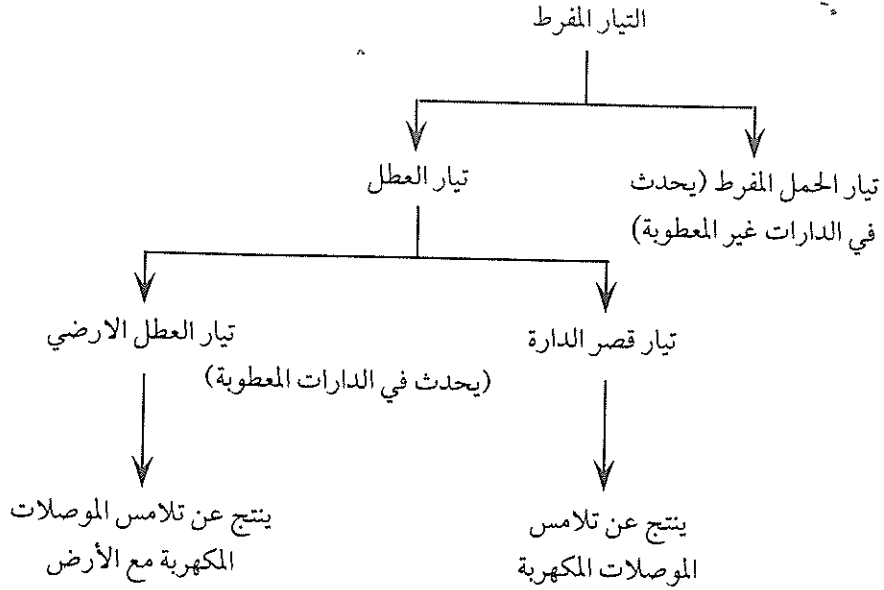
(أ) تيار الحمل المفرط Overload current .

(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.

أما قصر الدارة فيؤدي إلى اختلاف 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 فولتية معينة) بالأرض. وفي كلتا الحالتين فإن التيار الذي يسير في الدارة الكهربائية يكون كبيراً جداً بحيث تنتج عنه تأثيرات حرارية وقوى كهرومغناطيسية تؤدي إلى دمار التركيبات الكهربائية وإلى حرائق 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 الفولطية المنخفضة Low voltage networks. ونعني بشبكات الفولطية المنخفضة هي تلك الشبكات التي فولطيتها للتيار المتناوب لا تزيد على 1000 فولط، وفولطيتها للتيار الثابت لا تزيد على 1200 فولط. وعادة، فإن شبكات التمديدات الكهربائية في المباني السكنية والتجارية تكون بفولطية 400 فولط، وفي المشاريع الصناعية قد تصل هذه الفولطية إلى 600 فولط.

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 والأرشادات والفحوصات العامة لكل معدات الفولطيات المنخفضة الصناعية. أما الوثيقة الثانية فهي بعنوان «المنتجات» تحت رقم IEC 947-2-to7 والتي تُعنى بالأرشادات والفحوصات المحددة والمطبقة على المنتج المعني. وما يخص قواطع الدارة المنخفضة الفولطية موجود في IEC947-1,2.

2.5 أنواع قواطع الدارة

يمكن تصنيف قواطع الدارة بشكل عام، إلى الفئات التالية:

(أ) قواطع الدارة الصغرائية Miniature circuit breakers MCB.

(ب) قواطع الدارة المقولبة. Moulded case circuit breakers MCCB.

(ج) قواطع الدارة الهوائية Air circuit breakers ACB.

1.2.5 قواطع الدارة الصغرائية

تُستخدم قواطع الدارة الصغرائية لحماية الدارات الفرعية في المشاريع السكنية والتجارية والصناعية. تيار الحمل لهذه القواطع لا يزيد على 100 أمبير، وتحمل تيار قصر دارة لا يزيد على 10 كيلو أمبير.

وحسب المواصفات البريطانية BS3871 والمواصفات الأوروبية BSEN 60 898 فهناك سبعة أنواع من قواطع الدارة الصغرائية . وهذه الأنواع هي :

1. قاطع صغرائي 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 صغرائي نوع B .

يعمل هذا القاطع بشكل لحظي في مدى من $3I_n$ وحتى $5I_n$.

3. قاطع صغرائي 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 صغرائي نوع C .

يُستخدم هذا القاطع لحماية الدارات الفرعية التي تحتوي على تيارات دفقية معتدلة إلى كبيرة مثل دارات المحركات ووحدات التكييف . يعمل هذا القاطع بشكل لحظي في مدى من $5I_n$ وحتى $10I_n$.

5. قاطع صغرائي نوع 3 .

يعمل هذا القاطع بشكل لحظي في مدى من $7I_n$ وحتى $10I_n$.

6. قاطع صغرائي 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 صغرائي نوع 4.

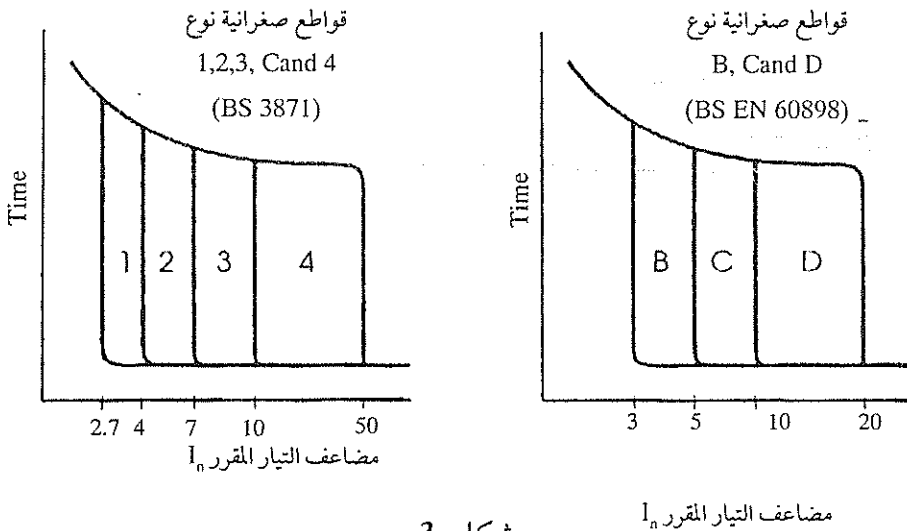
يعمل هذا القاطع بشكل لحظي في مدى من $10I_n$ وحتى $50I_n$.

ولابد أن نشير إلى أن الزمن اللازم للقاطع لفصل التيار المفرط هو ساعة للقواطع الصغرائية من نوع 1,2,3,4,B,C,D ولتيار مقرر لغاية 63 أمبيراً، ويساوي هذا الزمن ساعتين للقواطع B,C,D بتيار مقرر أكبر من 63 أمبيراً.

أما المقررات التيارية Rated currents المفضلة لهذه القواطع فهي :

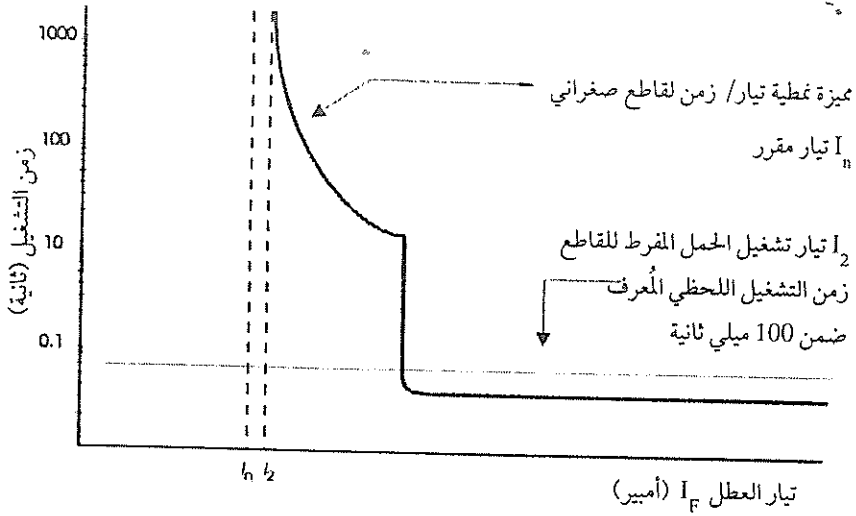
5,6,10,15,16,20,25,30,32,40,50,80,100,A.

ويبين شكل 3- مميزات Characteristics قواطع الدارة الصغرائية، اما شكل 4- فيبين المميزات النمطية لهذه القواطع .



شكل 3-

مميزات قواطع الدارة الصغرائية



شكل-4

المميزات النمطية للقواطع الصغرائية

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 overload 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 المجمعمة .

تستخدم القواطع المقولبة- كما ذكرنا سابقا- في شبكات التمديدات الكهربائية ذات الفولطية المنخفضة ، ولها مقررات أمبيرية تتغير في مدى واسع إبتداء من 10 أمبيرات ولغاية 6000 أمبير . وتتراوح قدرة المزق من 10 كيلوأمبير ولغاية 130 كيلو أمبيراً .

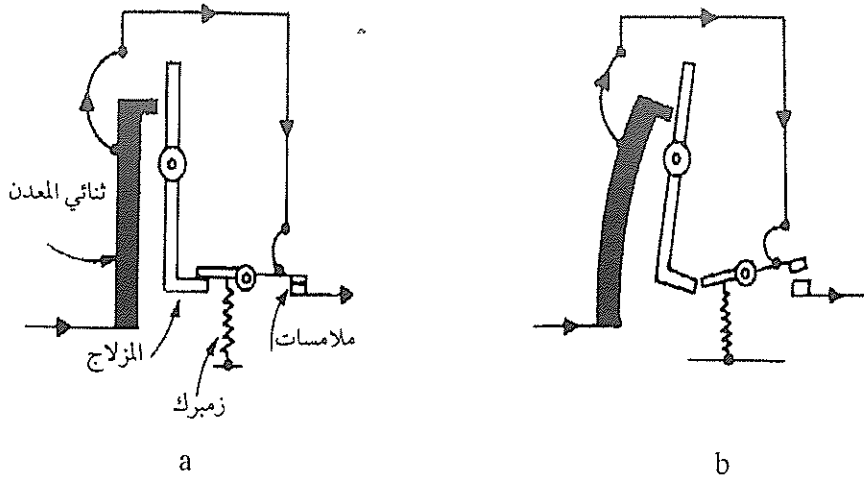
وبشكل عام ، يتم تجهيز القاطع بحيث يفصل الحمل الزائد وكذلك تيار قصر الدارة ويُسمى القاطع المجهز بهذه الامكانيات بقاطع دارة حراري مغناطيسي . ويمكن استخدام التكنولوجيات التالية في تصنيع القواطع ، وهي :

(أ) تكنولوجيات تحسس حراري مغناطيسي Thermal-magnetic sensing .

(ب) تكنولوجيات تحسس هيدروليكي مغناطيسي Hydraulic- magnetic sensing .

(ج) تكنولوجيات تحسس باستخدام الكترولونيات الحالة الصلبة Solid state electronic .

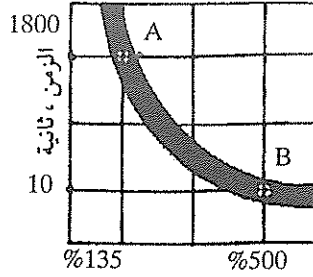
يُستخدم مبدأ تمدد المعادن بسبب إرتفاع درجة الحرارة للحماية من الحمل الزائد ، حيث يتم تجهيز القاطع بسبيكة ثنائية المعدن . يبقى الملامسان في الحالة العادية في وضع الاغلاق بسبب المزلاج Latch كما في شكل -5 .



شكل 5-

آلية الاعتاق الحراري في قاطع الدارة

تناسب 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 معيناً يعتق السقطة ويتباعد الملامسان ويتم فتح الدارة الكهربائية. ويبين تشكّل 6- منحني 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 (نقطة A)، وانه يمكن إعتاقه بعد إنقضاء 10 ثوان فقط عندما يكون مقدار التيار 500% 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 للقواطع الحرارية

وتتم معايرة العناصر الحرارية في المصانع وليس في الميدان، ويتم تجهيز عنصر حراري خاص لكل مقرر تيارى للقواطع الآلية.
وحسب النظام الامريكى 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 للقواطع 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

Quick- make- Arc chute تتميز القواطع السابقة بانها ذات قفل وفصل سريع 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 بثبيت يد القاطع بالقوة في وضعية القفل ON .

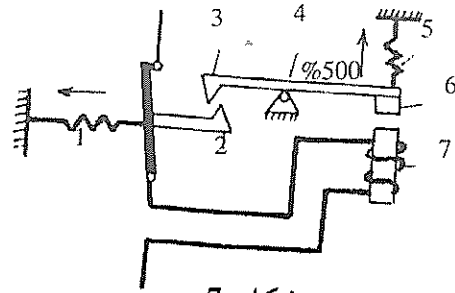
اما قواطع القدرة فتتميز بانها ذات تركيب مفتوح بحيث يسمح ذلك باجراء عمليات الصيانة وتغيير المكونات فيها . و عادة يتم تغيير وضعية الملامسات من وضع الفصل Open إلى وضع القفل ON باستخدام نابض ميكانيكي ، حيث يتم شحن النابض بسحبه إلى الاسفل وتحرير يد شحن النابض . ويتم بيان وضعية شحن النابض على القاطع . ويتم 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 Test ووضعية الفصل Disconnected .

أما المقررات الأمبيرية المفضلة لقواطع الدارة المقولبة فهي :

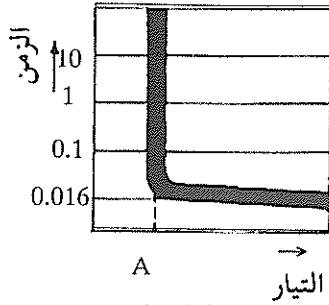
50,100,125,150,200,225,400,600,800,1000,1200,1600,2000,2500,
3000,4000,5000,6000A.

اما الاعتاق المغناطيسي فيستخدم عندما يتطلب الامر فعلا لحظيا (فوريا) لفتح دارة كهربائية تتضمن عطلا معيناً . ويبين شكل 7- مخططاً مبسطاً 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 وإلخاماد القوس الكهربائي . ويبين شكل 8- المنحنى النموذجي لفعل مغناطيسي ثابت حيث لا يتم إعتاق القاطع الا بعد بلوغ تيار العطل النقطة A .



شكل 7-

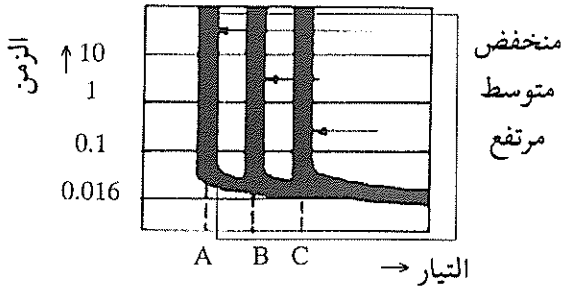
مبدأ عمل الاعتاق المغناطيسي .



شكل 8-

منحنى نموذجي لمغناطيسي ثابت

ويمكن لعنصر الاعتاق المغناطيسي أن يكون ثابتاً Fixed أو انضباطياً Adjustable ، ويتوقف ذلك على نوع القاطع وحجمه الاطاري Frame size وغالباً 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-

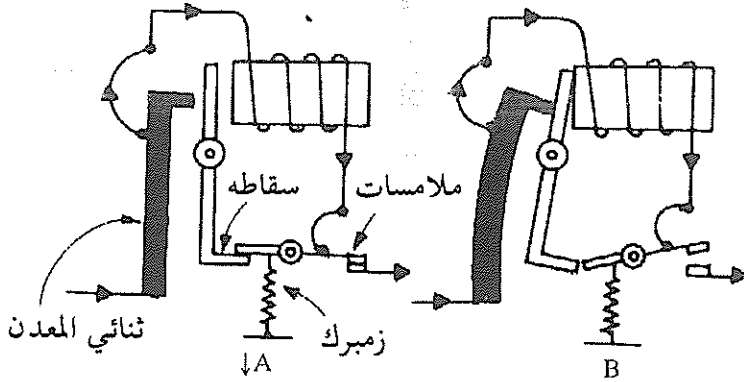
المغناطيسي للقاطع . ويبين شكل 9- منحنيات نموذجية . للاعتاق المغناطيسي وكيف تُحرك أزرار الضبط للمنحنيات من اليسار إلى اليمين كلما زاد تيار الاعتاق .

وتتضمن القواطع الآلية التقليدية وحدة إعتاق ثابتة أو وحدة إعتاق كهروميكانيكية قابلة للتبديل ، ويجب تبديل القاطع الآلي ذي الاعتاق الثابت كاملاً 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 شريطاً حرارياً وملفاً كهرومغناطيسياً . ويؤمن الشريط الحراري تأخيراً زمنياً للاحمال الخاطفة المفرطة كما يؤمن الملف الكهرومغناطيسي إعتاقاً فورياً 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 .

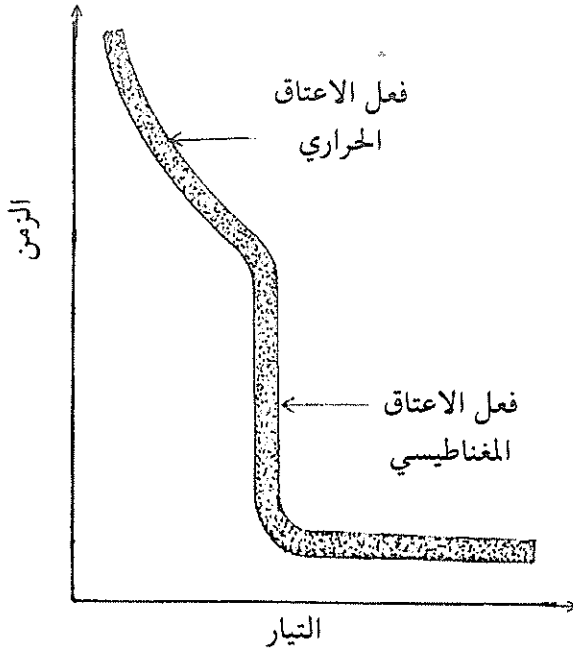
ويوضح شكل 10- مخططاً لقاطع حراري مغناطيسي أثناء عمله الطبيعي (A) وبعد إعتاقه (B) وفصل ملامساته .



شكل 10-

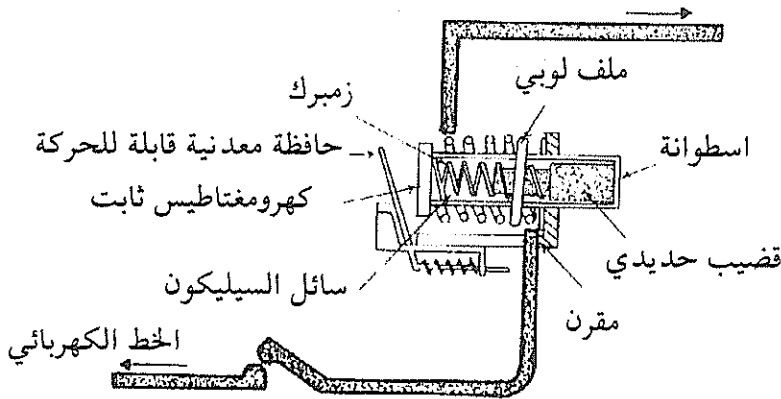
مخطط لقاطع حراري مغناطيسي

أما شكل 11- فيبين منحنى الاعتاق للقواطع الحرارية المغناطيسية .



شكل 11-

منحنى مميزات الاعتاق الحراري والاعتاق المغناطيسي .

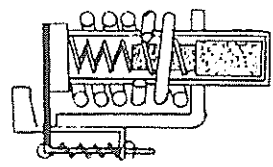
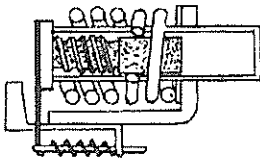
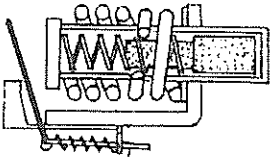


شكل 12-

مخطط القاطع الهيدرومغناطيسي .

4.2.5 القواطع الهيدرومغناطيسية Hydro-Magnetic breakers

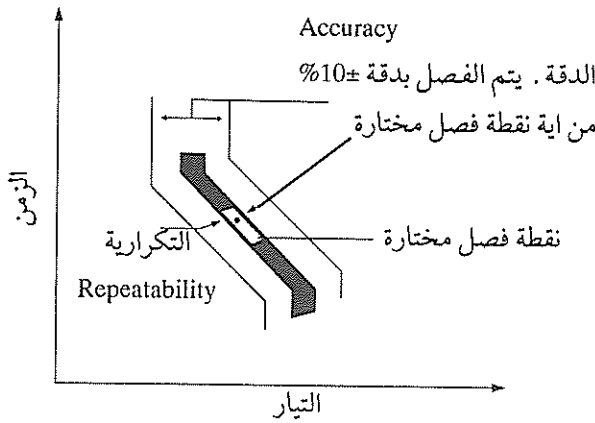
يبين شكل 11 مخطط هذا القاطع ، ويتضمن ملفاً لولبياً ملفوفاً حول اسطوانة معزولة ومن مادة غير مغناطيسية . وتتضمن الاسطوانة قلباً حديدياً يؤثر عليه زمبرك وسائل السيلكون . فعندما تسرى تيارات أقل من القيمة المقررة لا تحدث أية حركة للحفاظ أو للقلب الحديدي ، ولكن عند حدوث تيار مفرط ، يسبب ذلك حركة القلب الحديدي داخل الاسطوانة ، وعندما يصل القلب الحديدي إلى طرف الاسطوانة تنجذب الحافظة إلى مسببة إعتاق 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 النفض 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 دائرة مقبولة مزودة بوحدة إعتاق الكترونية Electronic trip unit . تم تصنيع أول قاطع مزود بوحدة بوحدة إعتاق الكترونية في عام 1973 من شركة وستنجهوس 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 وادائه . يتميز هذا القاطع بان منحنى الاعتاق له يمكن ضبطه وتعديله في مجال واسع في المحورين الافقي والعامودي وبين شكل 14- منحنى الاعتاق النمطي لهذا



شكل 14-

منحنى الإعتاق النمطي للقواطع الالكترونية .

القاطع . ولا بد 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 الأقصى، 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 دائرة قرح 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 لا بد من أخذ هذين العاملين بعين الاعتبار عند تعبير القاطع .

عادة، يتم تعبير قواطع الدارات منخفضة الفولتية لتعمل في درجة حرارة معيارية، فإذا اختلفت درجة الحرارة فلا بد من إعادة التعيير أو استخدام ما يسمى بإعادة 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 الأبعاد الفيزيائية لمكوناته، إضافة إلى إمكانية تغير خصائص المواد المصنوع منها . ففي درجة حرارة منخفضة جداً فان بعض المواد تصبح متقسفة brittleness 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 -5 إلى +40 درجة مئوية، ونفس المدى ينطبق على قواطع القدرة LVPCB إلا أن المواصفة IEEE std C37.201-1993 تسمح بأن يكون الهواء المحيط بمكعبات الابدال Switchgear بدرجة تتراوح من -30 إلى +40 درجة مئوية .

إذا تم تركيب قاطع الدارة في وسط درجة حرارته تختلف عن درجات الحرارة ضمن مدى التشغيل المعيارى فلا بد من تخفيض Derating المقررات الامبيرية للقاطع . ويمكن استخدام المعادلة التالية لحساب تخفيض التيار المقرر لقواطع القدرة LVPCB وللقواطع ذات الغلاف المعزول ICCB :

$$I_a = I_r \frac{(Q_{max} - Q_a)^{1/1.8}}{Q_a}$$

حيث ان :

\bar{I}_a - تيار القاطع بعد التخفيض (لا يجب أن يزيد باي حال عن ضعف التيار I_r).

I_r - التيار المقرر للقاطع .

Q_{max} - أقصى درجة حرارة مسموح بها وتساوي Hottest Spot Temperature $Q_r + 40$.

Q_a - درجة الحرارة الخارجية الفعلية المتوقعة .

Q_r - أقصى درجة حرارة مسموح بها للتيار المقرر للقاطع .

وبالنسبة لقواطع الدارة المقولبة فيجب الرجوع إلى الجداول الخاصة بالتخفيض والصادرة عن الجهة الصانعة بسبب اختلاف تصنيع ثنائي المعدن لاغراض الحماية من الحمل المفرط . ويمكن 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 الإلكترونية والتي تناظر التيار المقرر I_1 بالأمبير للقاطع عند درجة خارجية مقررة مقدارها A_1 درجة مئوية .

T_2 - درجة الحرارة 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 مئوية .
ولابد أن نشير إلى أن المواد التي يُصنع منها قاطع الدارة هي التي تُحدد بشكل رئيسي الحد الأقصى 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 مئوية . ويمكن للرطوبة ان ترتفع إلى حوالي 90% إذا انخفضت درجة الحرارة إلي حوالي 20 درجة مئوية . 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 فلا بد 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 . ويحدد 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 المزلق 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 منحني التيار- الزمن أو منحني المزلق Interrupting curve وعند استخدام مثل هذه القواطع فلا بد أن نأخذ الاعتبارات التالية على المنحنى :

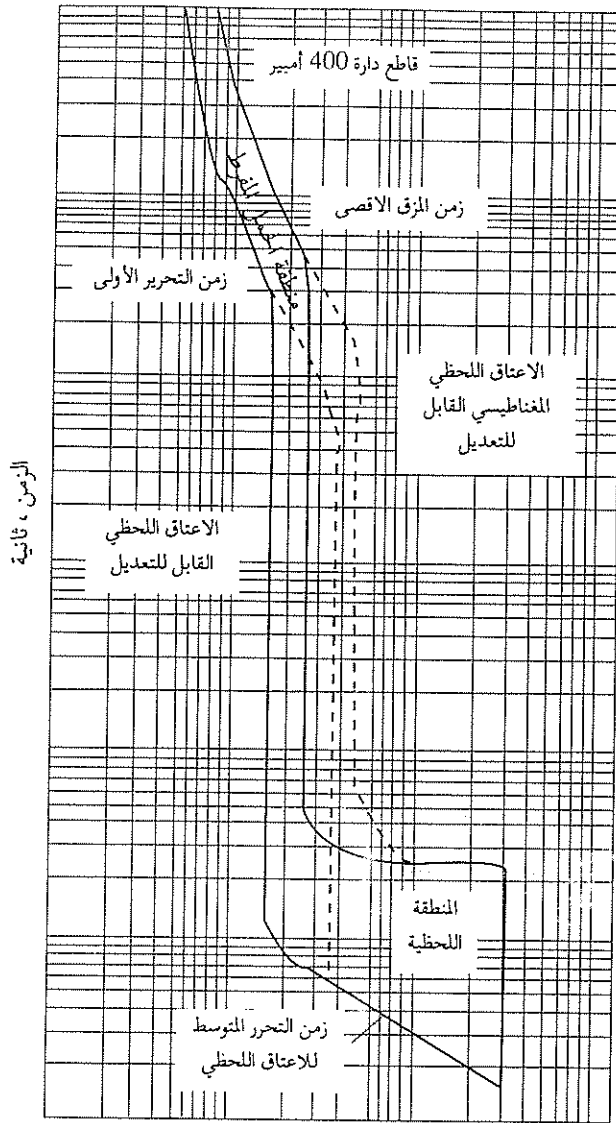
(أ) منطقة الحمل المفرط Overload region .

(ب) المنطقة اللحظية Instantaneous region .

(ج) زمن الاعتاق Unlatching time .

(د) مقرر المزلق Interrupting rating .

وسنستعرض المميزات السابقة بالتفصيل .



التيار ، أمبير

شكل -15

منحنى التيار- الزمن لقاطع الدائرة

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 فإن 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 مضعاف Multiple مقرر الحمل الكلي التي تفتح عندها ملامسات القاطع بأقصى سرعة ممكنة. ويبين الشكل السابق المنطقة اللحظية التي يمكن تعديدها من 5 إلى 10 أضعاف مقرر القاطع. وعندما يشعر القاطع بالتيار المفرط في المنطقة اللحظية فإنه يحرر المزلاج latch الذي يُبقي الملامسات مغلقة.

أما زمن الاعتاق فيبينه المنحنى باسم «زمن الاعتاق المتوسط في المنطقة اللحظية» وبعد الاعتاق، فإن 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 المزلاج الذي يتحكم باللامسات، ومع ذلك فإن تيار العطل سوف يستمر في السريان في الدارة والقاطع إلى نقطة العطل حتى تتباعد ملامسات القاطع وبالتالي ينطفئ القوس.

إن التأخير الزمني الطويل نسبياً بين الاعتاق وفرق تيار الحمل المفرط الفعلي في المنطقة اللحظية يعتبر أحد الأسباب الرئيسية في صعوبة التنسيق بين قواطع الدارة المقولية.

د) مقرر المزق Interrupting rating: يُعرف مقرر المزق لقاطع الدارة بأنه تيار العطل الأقصى الذي تم فحص واختبار القاطع لمزقه بالتوافق مع قياسات 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 منحني 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 باستخدام ما يلي :

(أ) فولطية 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 :

$$I_b = \frac{KVA \times 1000}{V_{ph}}$$

وللدارة ثلاثية الطور فانه يساوي ما يلي :

$$I_b = \frac{KVA \times 1000}{\sqrt{3} V_{L-L}}$$

حيث ان .

V_{ph} - فولطية الطور للدارة بالفولط .

V_{L-L} - الفولطية بين الاطوار بالفولط .

أما إذا كان الحمل الذي تغذيه الدارة محركا فلا بد أن نأخذ بعين الاعتبار تيار الاقلاع Starting current للمحرك .

ويتناسب تيار الحمل الأقصى للدارة التي تُغذي مجموعة دارات فرعية أو مجموعة أحمال مع الاحمال بالكيلوفولط . 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 : 100, 120, 80 وحاصل ضرب عامل الطلب وعامل التشتت يساوي 0.70 ، فان تيار الحمل الأقصى للمغذي الذي يُغذي لوحة التوزيع لهذه الدارات يساوي :

$$I_b = (100+120+80) \times 0.70 = 210 \text{ A}$$

التيار الأقصى 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 الأقصى 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 current أو تيار المعاييرة Setting current (I_n) أكبر من تيار الحمل الأقصى I_B ولكن أقل من التيار الأقصى المسموح به I_z .
أي أن :

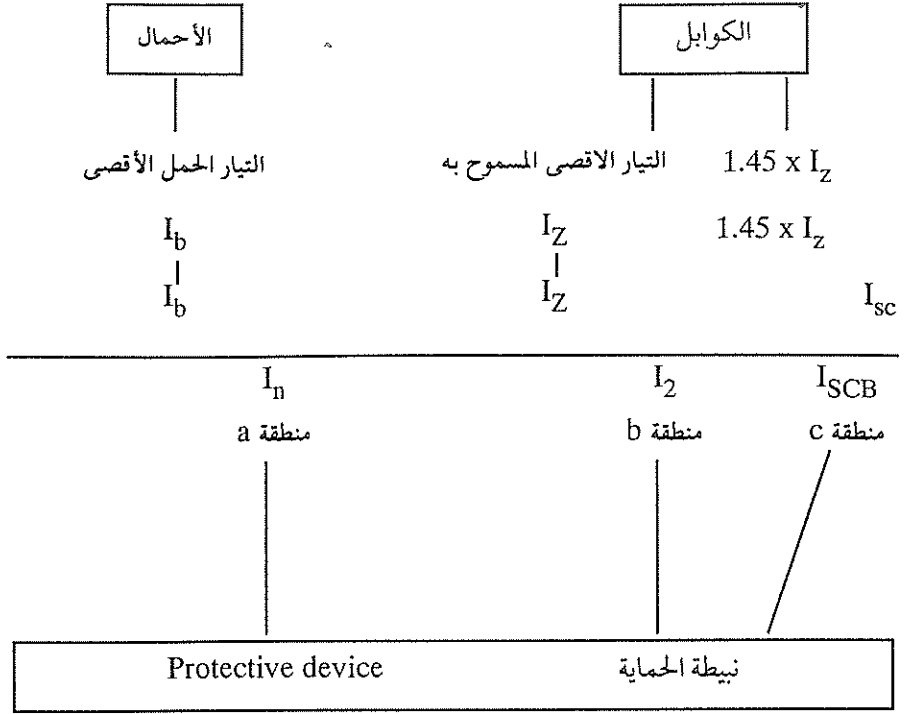
$$I_b \leq I_n \leq I_z$$

ب) أن يكون تيار الفصل للمعايرة التقليدية I_2 Tripping current conventional setting أقل من $1.45 I_z$ ، أي أن :

$$I_2 \leq I_n \leq 1.45 I_z$$

يتراوح زمن الفصل للمعايرة الاصيلة من ساعة واحدة إلى ساعتين حسب المواصفات المحلية والقيم الحقيقية المختارة للتيار I_2 .

ويبين شكل 16 رسماً تخطيطياً لكيفية إختيار نبائط الحماية .



شكل 16-

كما ذكرنا سابقاً، فإن قاطع الدارة هو نبائط 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 :

$$I_b \leq I_n \leq I_z$$

$$I_2 \leq I_n \leq 1.45 I_z$$

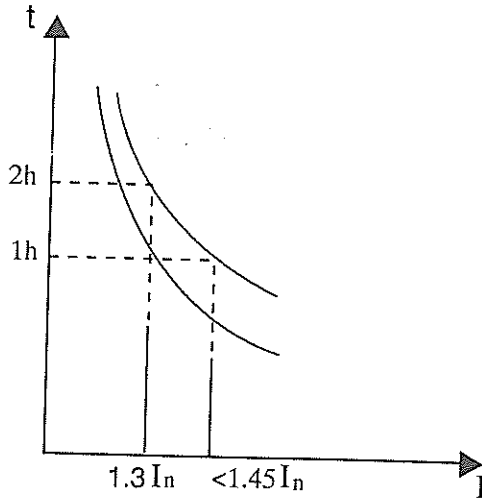
إن ذلك يعني :

- أن يكون التيار المقرر I_n لنبائط الحماية أكبر أو مساوياً لتيار الحمل I_b المار في

الكابَل وذلك لتلافي عملية فصل القاطع أثناء الخدمة العادية (ظروف التشغيل الطبيعية (Normal Conditions).

- أن يكون التيار المقرر I_n لنبطة الحماية أقل أو مساويا للسعة الامبيرية للكابل .
 - عندما يحدث حمل مفرط للكابل مساويا إلى 45% من السعة الامبيرية للكابل ($1.45I_n$) فيجب أن تقوم نبطة الحماية بفصل التغذية الكهربائية لتلافي تدمير التركيبات الكهربائية بسبب الحرارة الزائدة الناتجة عن ذلك الحمل المفرط .
 إن عملية إختيار نبطة 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 $1.45 I_n$. وفي الحقيقة ، فإن 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:

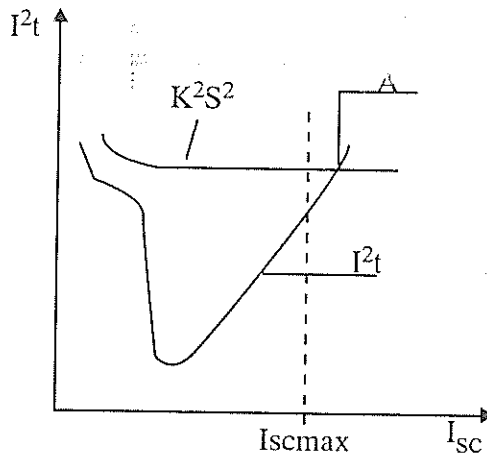
$I^2 t$ - الطاقة النوعية المنطلقة أثناء فترة حدوث قصر الدارة، أمبير تربيع ثانية.

t - فترة قصر الدارة ولغاية 5 ثواني.

S - مساحة مقطع الكابل، مم².

K - عامل يتم تحديده حسب نوع الموصل والعازلية. (انظر قيم K في الجداول الواردة في الفصل الرابع).

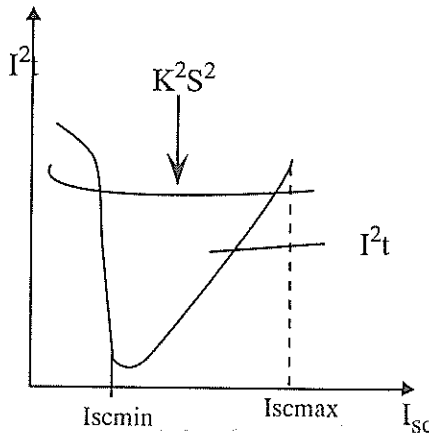
إن ذلك يعني أن الطاقة النوعية المنطلقة خلال نبضة الحماية يجب أن لا تزيد على القيمة العظمى المسموح بها للكابل الذي تحميه هذه البنية.



شكل 18-

ويبين شكل 18- منحنى $K^2 S^2$ للكابل وكذلك منحنى $I^2 t$ للقاطع (الطاقة النوعية المنطلقة) وبما أن الكابل محمي بقاطع مزود ببنية 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 ببنية 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 محمياً كما في شكل 19-.



شكل 19-

3.5.5 تحديد تيار قصر الدارة الأدنى على إمتداد الكابل.

عند حماية الكابل بقاطع مزود ببنية حماية من قصر الدارة فلا بد من حساب قيمة تيار قصر الدارة الأدنى على إمتداد الكابل وذلك للتحقق من صحة توقيت عمل بنية 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 :

$$I_{sc} = \frac{15 \times V \times S}{L}$$

حيث أن :

I_{sc} - تيار قصر الدارة في الأمبير .

V - فولطية الكابل بالفولط .

S - مساحة مقطع الكابل بالميللي متر .

L - طول الكابل بالمتر .

وللدارات ثلاثية الاطوار وحساب تيار قصر الدارة الأدنى فسنعتبر ايضا أن نوع قصر الدارة هو قصر دائرة طور واحد ، وفي هذه الحالة فان الفولطية هي :

- إعتبار الفولطية مساوية للفولطية الخطية عند عدم وجود حيادي .

- إعتبار الفولطية مساوية لفولطية 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 قيمة 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 المعايير الدنيا Minimum setting للقاطع وبالتالي فان القاطع لا يقدم الحماية اللازمة في هذه الحالة .

4.5.5 تحديد طول الكابل الأقصى والمحامي من قصر الدارة

إن تحديد قيمة تيار قصر الدارة الأدنى ومقارنتها مع قيمة المعايير 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 :

$$L_{\max} = \frac{15 \times V \times S}{1.2 I_{\text{smin}}}$$

حيث أن :

L_{\max} - الطول الأقصى للكابل المحمي بالمتري .

I_{smin} - القيمة الدنيا للتيار المفرط بالامبير أو ببساطة قيمة الاعتاق المغناطيسي
Magnetic trip value للقاطع .

S - مساحة مقطع الكابل بالميللي متر .

V - فولتية 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 95مم² . إن المعادلة السابقة لا تأخذ بعين الاعتبار مراكسة Reactance الكوابل التي يزيد مقطعها على 95مم² وبالتالي ينتج عن ذلك خطأ في الحساب .

ولأخذ المراكسة بعين الاعتبار فيحبد أخذ معاملات التخفيض Reduction Factors التالية :

-0.9 للكوابل التي مقطعها يساوي 120مم² .

-0.85 للكوابل التي مقطعها يساوي 150مم² .

-0.80 للكوابل التي مقطعها يساوي 185مم² .

-0.75 للكوابل التي مقطعها يساوي 240مم² .

وحساب الكوابل ثلاثية الاطوار فسنعتبر نوع قصر الدارة هو قصر دارة أحادية مع الاخذ بعين الاعتبار القيم التالية للفولتية :

- الفولتية الخطية في حالة عدم وجود حيادي .

- فولتية الطور في حالة وجود حيادي .

وفي حالة كون مقطع الحيايدي يساوي نصف مقطع الطور فان الطول الناتج من المعادلة السابقة يجب تقليده 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

660	500	480	440	415	400	220	V
1.73	1.31	1.26	1.16	1.11	1.05	0.58	K_1

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

6	5	4	3	2	عدد الكوابل
3.33	3.2	3	2.65	2	K_2

وبالنسبة لكوابل الالومنيوم فيجب استخدام معامل K_3 والذي يساوي 0.62 . ولا بد 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 باعتاق حراري وإعتاق مغناطيسي ، بمعنى 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 نبيلة حماية مزودة بإعتاق مغناطيسي إذا كانت المعلومات المتعلقة بالكابل كما يلي :

- يوجد حيادي .

- فولتية الكابل الخطية تساوي 400 فولط .

- مساحة مقطع الكابل 50 م² .

- 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 .

$$L = \frac{15 \times \frac{400}{\sqrt{3}} \times 50}{1.2 \times 1000} = 144 \text{ m}$$

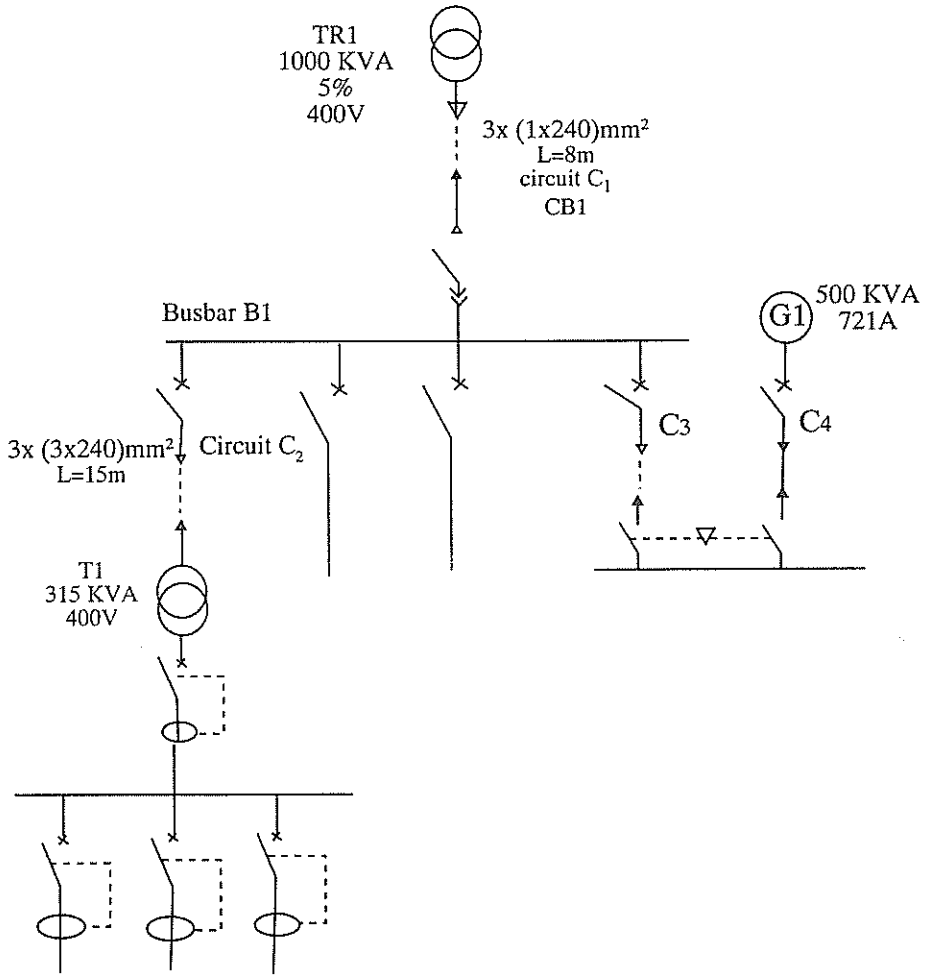
وبما أن الفولتية الخطية تساوي 400 فولط ، فلا بد من استخدام المعامل K_1 من جدول 2- ويساوي 1.05 .

$$L_{max} = 144 \times 1.52 = 151 \text{ m}.$$

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 ، وشبكة هذا الجزء عبارة عن ثلاثة اطوار ونظام التأسيس فيها هو نظام IT ، اما الجزء الثاني فمفصول عن الجزء الأول باستخدام محول بقدرة 315 ك . ف . أ. وفولطية 400/400 ونظام التأسيس 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 $S_T = 1000 \text{ KVA}$.

فولطية قصر الدارة للمحول $Z\% = 5\%$.

فولطية اللاحمل للملف الثانوي $V_{2NL} = 420\text{V}$.

طول الكابل $L = 8\text{m}$ والكابل XLPE ومنفذ على صينية كوابل Tray .

تيار الملف الثانوي المقرر I_{2T} للمحول يساوي :

$$I_{2T} = \frac{S_T}{\sqrt{3} V_{2NL}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \times 0.42} = 1374 \text{ A}$$

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 أن :

$$K_1 = 1.0$$

K_2 - عامل تصحيح يأخذ بالاعتبار التمديدات المتجاورة . من جدول 15 فإن :

$$K_2 = 0.82$$

على فرض اننا استخدمنا ثلاثة كوابل أحادية القلب متجاورة .

K_3 - عامل تصحيح يأخذ بعين الاعتبار تأثير درجة الحرارة الخارجية . من جدول

16- فإن :

$$K_3 = 1.0$$

على فرض أن درجة الحرارة الخارجية تساوي 30 درجة مئوية.

$$K = 1.0 \times 0.82 \times 1.0 = 0.82$$

من هنا، فإن التيار الذي يجب أن يتحمله الكابل يساوي:

$$I_z = \frac{I_b}{n} \cdot \frac{1}{K}$$

حيث أن:

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 أمبيراً لمساحة مقطع 240 مم².

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 فإن مقرر القاطع للحماية هو 1600 أمبيراً، والحجم الاطاري هو 1600 أمبيراً. نحسب الآن المقاومة الفعالة لمجموع الكوابل على التوازي:

$$R = \frac{22.5 \times L}{240} \cdot \frac{1}{n} = \frac{22.5 \times 8}{240} \cdot \frac{1}{3} = 0.25 \text{ m}\Omega / \text{phase}$$

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 القلوب XLPE منفذ على صينية كوابل ومتجاور مع كابلين آخرين على نفس الصينية ودرجة الحرارة الخارجية 30 درجة مئوية .

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 مم²

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 ميغا فولط أمبير .

نحسب الآن ممانعة شبكة الفولطية المتوسطة .

$$Z_s = \frac{V_0^2}{S_{sc}} \quad \text{حيث ان}$$

V_0 - فولطية اللاحمل الخطية للمف الفولطية المنخفضة للمحول بالفولط .

S_{sc} - مستوى قصر الدارة بالكيلوفولط أمبير .

$$Z_s = \frac{(420)^2}{500 \times 10^3} = 0.353 \text{ m}\Omega$$

$$X_s = Z_s = 0.353 \text{ m}\Omega$$

$$R_s = 0.15 X_s = 0.15 \times 0.353 = 0.053 \text{ m}\Omega$$

بالنسبة للمحول فان ممانعة قصر الدارة له Short circuit impedanee تساوي $Z\% = 5\%$.
اما الفقد في هذا المحول فيساوي :

$$P_{cu} = 12500 \text{ Watts}$$

$$Z_{Tr} = \frac{V_{2NL}^2}{S_T} \cdot \frac{Z\%}{100} = \frac{(420)^2}{1000} \times \frac{5}{100} = 8.82 \text{ m}\Omega$$

$$R_{Tr} = \frac{P_{cu} \times 10^3}{3 I_{Tr}^2}$$

$$I_{Tr} = \frac{S_T}{\sqrt{3} V_{2NL}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \times 420} = 1375 \text{ A}$$

$$R_{Tr} = \frac{12500 \times 10^3}{3 \times (1375)^2} = 2.2 \text{ m}\Omega$$

$$X_{Tr} = \sqrt{Z_{Tr}^2 - R_{Tr}^2} = \sqrt{8.8^2 - 2.2^2} = 8.54 \text{ m}\Omega$$

سنفرض أن طول القضيب العمومي B₁ يساوي 5 أمتار، فإذا إعتبرنا ان مراكسة المتر الطولي تساوي 0.15 ميللي أوم/ م، فإن مراكسة القضيب العمومي تساوي:
 $X_{B1} = 5 \times 0.15 = 0.75 \text{ m}\Omega$

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 الفولطية 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 فلا بد من حساب تيار قصر الدارة في نهاية هذا الكابل كما يلي:

$$I_{sc} = \frac{420}{\sqrt{3} \sqrt{2.503^2 + 9.213^2}} = 25.4 \text{ KA}$$

من هنا فان سعة المزق لقاطع الدارة CB1 يجب أن تكون أكبر من تيار قصر الدارة (25.4 كيلو أمبير).

ونحسب بنفس الطريقة تيار قصر الدارة لاختيار سعة المزق للقواطع CB2 .

$$I_{sc2} = \frac{420}{\sqrt{3} \sqrt{3.903^2 + 11.163^2}} = 20.5 \text{ KA.}$$

لذلك ، فان سعة المزق لقواطع الدارة CB2 يجب أن تكون أكبر من تيار قصر الدارة (20.5 كيلو أمبير).

بالرجع إلى الجداول الواردة في المواصفات البريطانية BS 7671 نجد أن:

$$\Delta V \text{ For } 240 \text{ mm}^2 = 0.28 \text{ mV/A/m}\Omega$$

فقد الفولطية في الكابل C1 يساوي :

$$\Delta V = \frac{0.28 \times 1375 \times 8}{3} = 1027 \text{ mV} = 1.027 \text{ V}$$

$$\Delta V\% = \frac{1.027}{400} \times 100\% = 0.26 \%$$

فقد الفولطية في الكابل C2 يساوي :

$$\Delta V = 0.28 \times 433 \times 15 = 1818.6 \text{ mV} = 1.8186 \text{ V}$$

$$\Delta V\% = \frac{1.8186}{400} \times 100\% = 0.45 \%$$

حساب مقطع موصل الوقاية Protective Conductor

باستخدام جدول 7-الوارد في فصل التأسيس نجد أن مساحة مقطع موصل الوقاية يساوي نصف مساحة موصل الطور، بما أن مساحة مقطع موصل الطور يساوي $240 \times 3 \text{ mm}^2$ ، فنعتبر أن مساحة مقطع موصل الوقاية يساوي 240 mm^2 . ومن الناحية الحرارية فاننا سنتستخدم المعادلة الادياباتية ، وهي :

$$S = \frac{I_{sc} \sqrt{t}}{K}$$

$$I_{sc} = 25.4 \text{ kA} ; t = 0.1 \text{ sec} ; K = 176 \text{ for Copper}$$

$$S = \frac{25400 \sqrt{0.1}}{176} = 45.6 \text{ mm}^2$$

لذلك فموصل الوقاية الذي مساحة مقطعة تساوي 240 مم² يستطيع أن يتحمل التأثيرات الحرارية الناتجة عن تيار قصر الدارة .

بالنسبة لموصل الوقاية في الدارة C2 ، فمساحة المقطع الأدنى تساوي :

$$S = \frac{20500 \times \sqrt{0.1}}{176} = 36.8 \text{ mm}^2$$

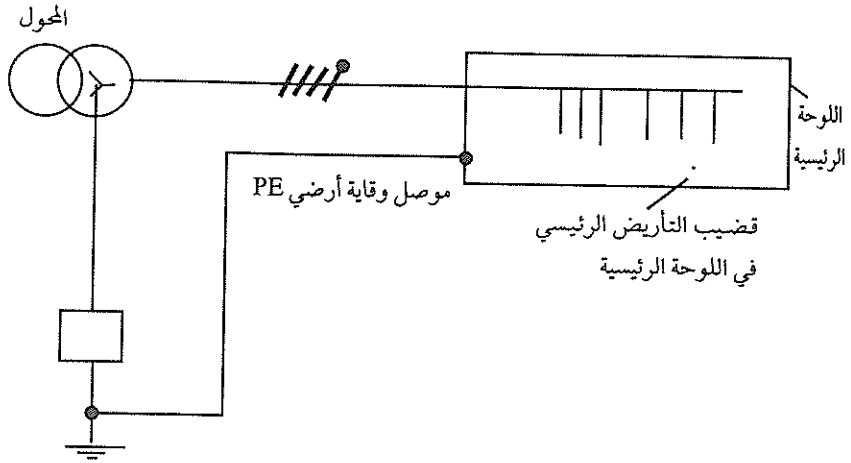
من هنا نجد أن مساحة مقطع موصل الوقاية لهذه الدارة يمكن أن يكون 70 مم² إذا تحققت شروط الحماية ضد التلامس غير المباشر .

والآن سندرس كيفية تحقيق الحماية ضد التلامس غير المباشر Indirect Contact .

ونذكر أن نظام التأريض المستخدم هو نظام IT ، بمعنى أن نقطة الحيادي ملف الفولطية المنخفضة للمحول TR1 إما لا تتصل بالأرض أو تتصل بالأرض من خلال ممانعة كبيرة (1-2kΩ) ، ولذلك فإن 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 فإن نبائط الحماية من التيار المفرط تقوم بفصل الدارات المعطوبة ، وفي بعض الحالات الخاصة عندما تكون مقاومة موصل الوقاية كبيرة فلا بد 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 مكشوفة . والمتطلب الوحيد

بالنسبة للتلامس غير المباشر يتعلق بخزان المحول . ويُستخدم موصل الوقاية 240مم² ليصل بين خزان المحول ومكهر التأسيس مع قضيب التأسيس الرئيسي الموجود في لوحة التوزيع الرئيسية كما يبين ذلك شكل -21.



شكل -21

وعادة، يتم حماية كل موصلات الاطوار والحياضي 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 التأسيس الرئيسي في اللوحة الرئيسية فتعتمد على الأمور التالية:

- قدرة المحول المقررة بالكيلو فوط . 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 القوطية العالية/ المنخفضة ولوحة التوزيع الرئيسية Main general distribution board MGDB اعتماداً على قدرة المحول وزمن إبراء العطل .

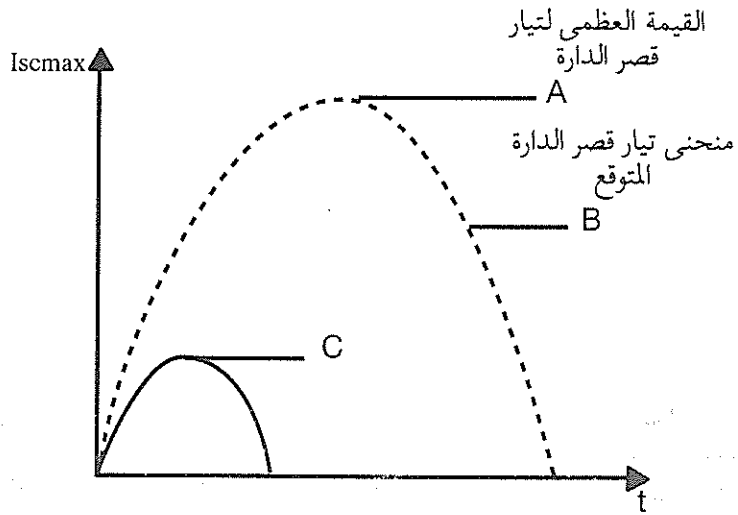
جدول (5)

مساحة مقطع موصل الوقاية الأرضي بين المحول واللوحه الرئيسية .

موصل بعازلية XLPE			موصل بعازلية PVC			موصل مكشوف			مادة الموصل	قدرة المحول ك. ف. أ	
-	0.5	0.2	-	0.5	0.2	-	0.5	0.2	نحاس (زمن الإبراء)	فولطية الملف الثانوي	
0.5	0.2	-	0.5	0.2	-	0.5	0.2	-	الومنيوم (زمن الإبراء)	230/400	127/220
									مقطع موصل الوقاية الأرضي PE	أقل من	أقل من
25	25	25	25	25	25	25	25	25	موصلات SPE (2م)	100	63
35	25	25	50	25	25	35	25	25		160	100
50	25	25	50	35	25	50	35	25		200	125
50	35	25	70	50	35	70	35	25		250	160
70	30	35	95	50	35	70	50	35		315	200
95	50	35	95	70	50	95	70	50		400	250
95	70	50	120	95	70	120	70	50		500	315
120	95	70	150	95	70	120	95	70		630	400
150	95	70	185	120	95	120	120	70		800	500
150	120	70	185	120	95	185	120	95		1000	630
185	120		150	120		120	95			1250	800

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 الثولطية مساوية للصففر، فان تيار قصر الدارة يكون متماثلا (وبعكس ذلك يكون التيار غير متماثل)، وهذا ما يبينه شكل -22.



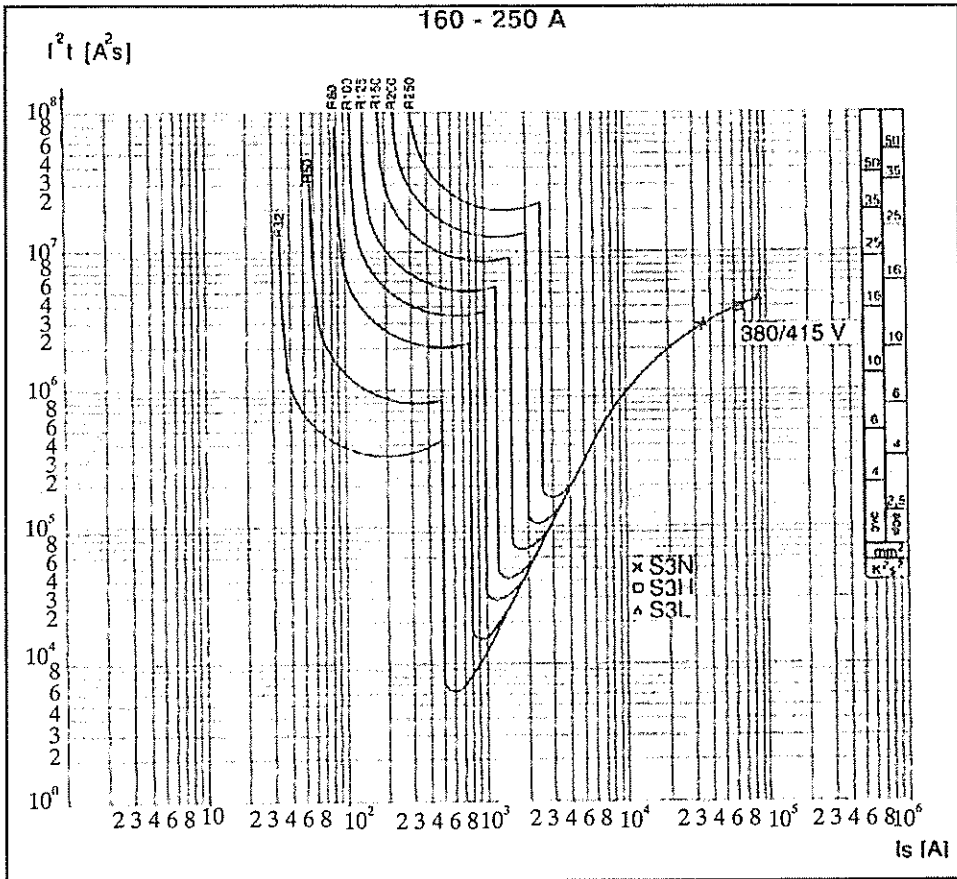
شكل -22

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 تباعد 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

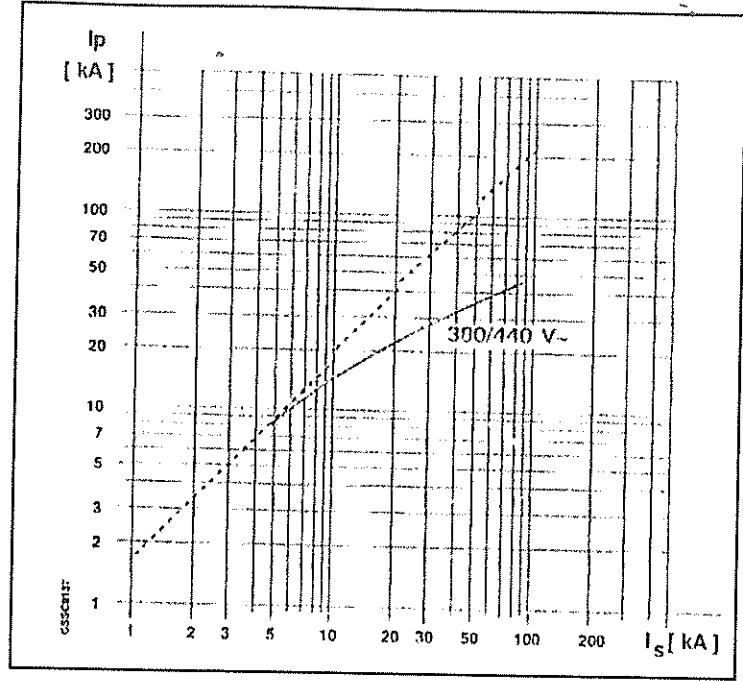
يُصغر الدارة المتوقع في ظروف قصر الدارة. وعادة فان مميزات هذا القاطع تُعطى من خلال منحنين، وهما:

- 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 الفعالة).



شكل 23- منحنيات الطاقة النوعية المنطلقة عبر قاطع تحديد التيار.



شكل 24-

العلاقة بين تيار قصر الدارة الأقصى وتيار قصر الدارة المتماثل .

كما ذكرنا سابقاً، فإن 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، لا بد أن ندرس مميزات هذه القواطع وتنسيق عملية الفصل بينهم، وتسمى هذه العملية بعلمية التنسيق الوقائي Protection coordination .

وسنستعرض تالياً بعض المفاهيم المتعلقة بانواع الحماية باستخدام قواطع الدارات في نظم التمديدات الكهربائية .

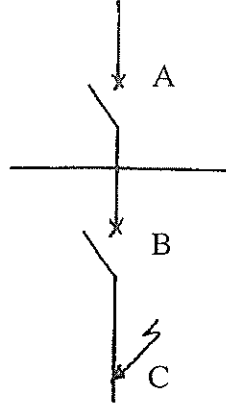
7.5 الحماية الاحتياطية

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 نبیطة حماية بسعة قطع أصغر من تيار قصر الدارة المتوقع في النقطة التي يتم فيها تركيب هذه النبیطة بشرط تركيب نبیطة حماية من جهة تزويد الطاقة Supply side (تصاعدية بالنسبة إلى النبیطة الأولى) بسعة قطع مناسبة. و لا بد من تنسيق مميزات هاتين النبیطتين بحيث تكون الطاقة النوعية I^2t المنطلقة والتي تمررها النبیطة التصاعدية أقل من تلك التي تُسبب دمارا للنبیطة 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 لا بد 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 فإن سعة قطع هذا القاطع تكون أكبر من تيار قصر الدارة المتوقع عند حدوث قصر دارة في نقطة C.

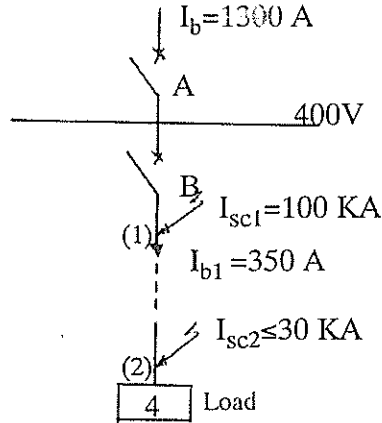


شكل-25

ب) عند حدوث قصر دائرة في النقطة C وسريان تيار قصر دائرة أكبر من سعة القطع للقاطع B، فإن القاطع A يقوم بمهمة تحديد الطاقة المارة إلى القاطع B إلى قيمة يمكن للقاطع B أن يتحملها دون دمار.

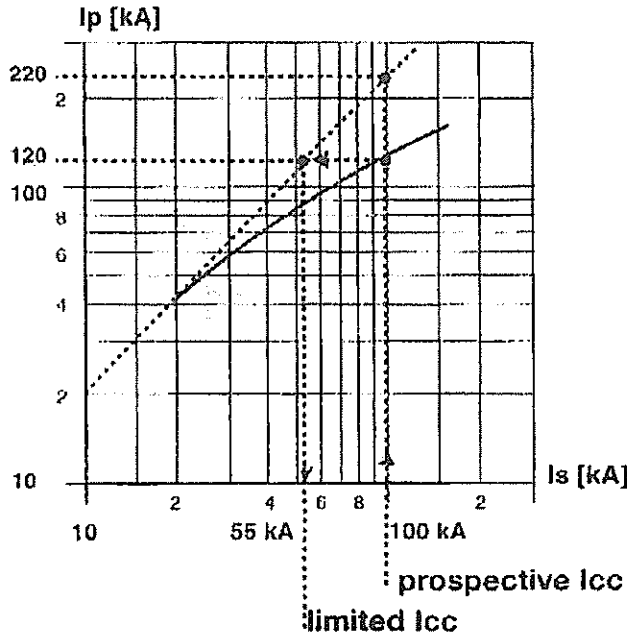
إن قصر الدارة في نقطة C يمكن ان يتسبب في فصل مزدوج (القاطع B والقاطع A) ولكن الحماية الاحتياطية تحسب بشكل بحيث تؤدي إلى فصل القاطع B في حدود مدى سعة القطع له.

وكمثال على استخدام الحماية الاحتياطية سندرس المثال الذي يبينه شكل-26.



شكل-26

لنفترض أن سعة القطع للقواطع 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. ويبين 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 120 ك. أمبير والذي يتناسب مع تيار قصر دارة متماثل يساوي 55 ك. أمبير، والرقم الاخير أقل من سعة القطع للقواطع B.



شكل 27-

8.5 الحماية الانتقائية

المقصود بالحماية الانتقائية هو أن تقوم نيطة 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 (الأقرب إلى مصدر التغذية) ونزولا إلى القواطع التنازلية باتجاه الاحمال الكهربائية .

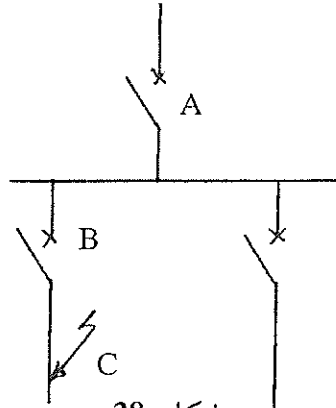
والحماية الانتقائية نوعان ، وهما :

(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 :

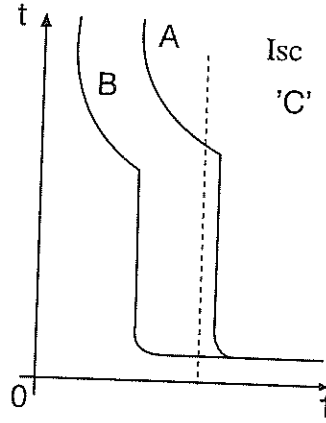


شكل -28

الانتقائية التيارية .

1.8.5- الانتقائية التيارية

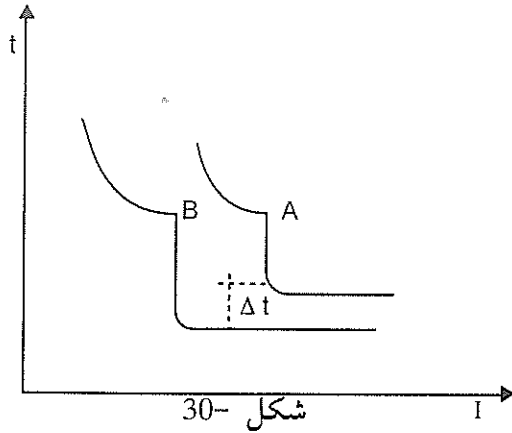
يتم تحقيق الانتقائية التيارية Current type selectivity عن طريق تعيين تيارات الاعتاق اللحظية لسلسلة القواطع الآلية بحيث يكون التعيير باستخدام قيم مختلفة للتيار (تناقص قيم التعيير ابتداء من القاطع الاقرب إلى مصدر التغذية ونزولا باتجاه الأحمال الكهربائية). تستخدم الانتقائية التيارية للقواطع التي لا تحد من التيار عن طريق تعيين عتبة الاعتاق لوحدة الفصل المغناطيسية للقواطع عند قيم مختلفة. ويبين شكل 29- لحماية الانتقالية التيارية لقاطعين A, B, كما في شكل 28-.



شكل 29-
الانتقائية الزمنية

2.8.5 الانتقائية الزمنية

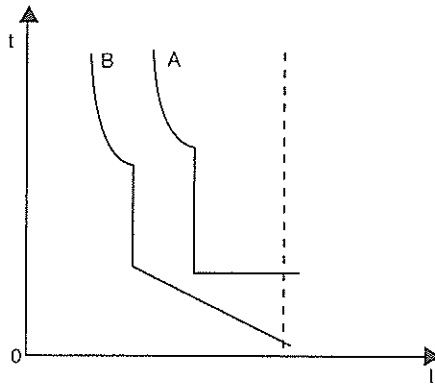
يتم الحصول على الانتقائية الزمنية Time type discrimination باستخدام نبائط تأخير زمني، وتزيد قيم التأخير الزمني كلما إتجهنا إلى مصدر التغذية وذلك حتى يكون القاطع الأقرب إلى مكان العطل هو القاطع الاسرع، ولا بد أن نشير إلى أن القاطع الذي له تأخير زمني لا بد أن يكون قادرا على تحمل الاثار الحرارية والميكانيكية الناتجة عن تيار القصر طيلة فترة التأخير الزمني المزود بها القاطع. ويبين شكل 30 منحنيات الاعتاق للقواطع A القريب من مصدر التغذية والقاطع B الابعد عن مصدر التغذية والاقرب إلى الحمل، بحيث يتمتع القاطع A بتأخير زمني مقداره 100 ميلي ثانية على أقل تقدير.



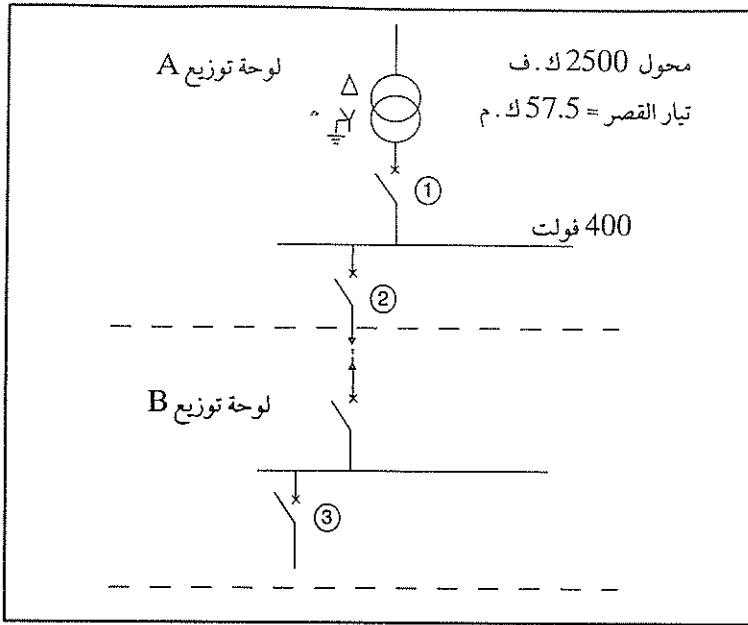
شكل -30

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 ميلي ثانية. وبين شكل-31 منحنيات الاعتاق للقاطعين، حيث أن القاطع A هو الاقرب إلى مصدر التغذية والقاطع B (قاطع يحد من التيار) هو الاقرب إلى الحمل.

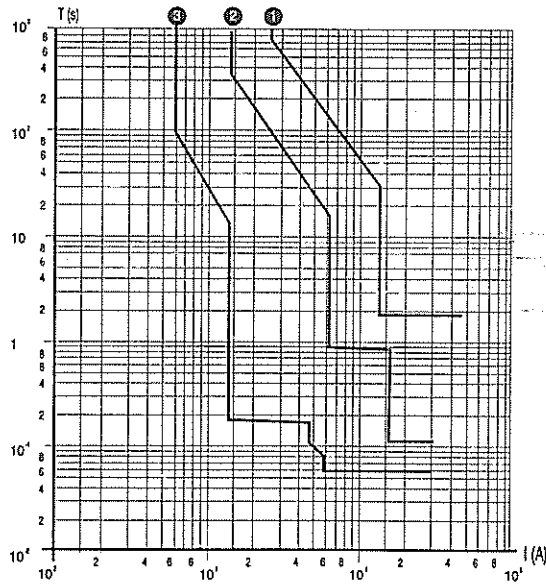
وكمثال على استخدام الانتقائية الزمنية سندرس شبكة التوزيع كما في شكل-32 سنستخدم التأخير الزمني، بحيث ستزيد قيمة هذا التأخير كلما اتجهنا صعوداً من الحمل الكهربائي إلى مصدر التغذية. سيكون أكبر تأخير زمني للقاطع (1) يليه القاطع (2) اما القاطع (3) فسيكون بدون تأخير زمني. وبين شكل-33 منحنيات الاعتاق لهذه القواطع الثلاثة.



شكل -31



شكل-32



شكل-33

منحنيات الاعتاق للقواطع الثلاثة .

3.8.5 الانتقائية باستخدام المناطق.

إن استخدام تنسيق الحماية الانتقائية يعني ضمناً زيادة زمن ابراء العطل كلما إقترنا من مصدر التغذية الكهربائية حيث يكون تيار قصر الدارة كبيراً. 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:

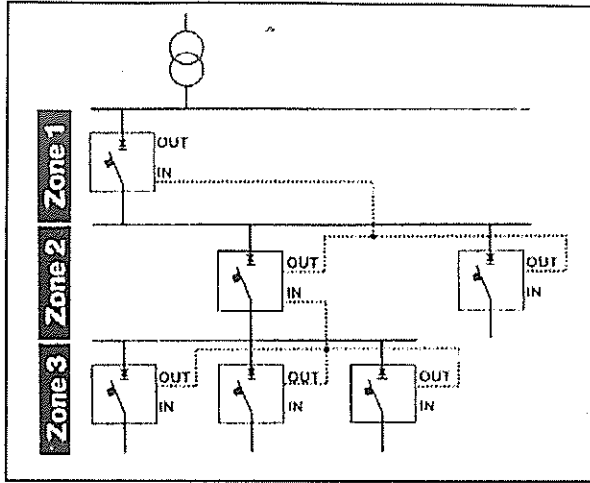
أ) التمييز الفوري للقاطع المسؤول عن ابراء العطل.

ب) تقليل زمن المزق للقاطع الذي يتم اختياره لبراء 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 بأن كل قاطع دارة يكتشف عطلاً معنياً يمرر هذه المعلومة إلى القاطع الذي يليه تصاعدياً باستخدام توصيلات سلكية. وتحدد منطقة العطل Fault Zone بأنها المنطقة التي تقع مباشرة بعد القاطع الذي اكتشف العطل، حيث أن هذا القاطع يُمرر هذه المعلومة إلى القواطع التي تليه ولكن القاطع لا يستلم أية معلومات، لذلك فإن هذا القاطع سيقوم بفصل الجزء المعطوب بسرعة. ويبين شكل 34 رسماً 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 لزمان فصل مقداره ثانية واحدة. ويجب ضرب هذه القيمة بمعامل K_0 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 مئوية:

تكون كثافة التيار d لكوابل النحاس = 115 أمبيراً / م².

تكون كثافة التيار d لكوابل الالومنيوم = 76 أمبيراً / م².

اما مقاطع الكوابل 300م² وأكبر ولا ارتفاع في درجة الحرارة من 70 إلى 140 درجة

مئوية :

تكون كثافة التيار d لكوابل النحاس = 103 أمبيراً / مم².

تكون كثافة التيار d لكوابل الالومنيوم = 68 أمبيراً / مم².

ويبين جدول 6- قيم المعامل K_0 وذلك لازمان فصل مختلفة للدارة .

جدول (6) .

قيم المعامل K_0

K_0	زمن فصل الدارة ثانية	K_0	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 فإن مقرر تيار قصر الدارة للكابل يُحسب كما يلي :

$$I_{sc} = d \cdot K_0 \cdot A$$

حيث ان :

I_{sc} - مقرر قصر الدارة للكابل بالأمبير .

d - كثافة التيار للكابل ، أمبير / مم² .

K_0 - 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 $K^2 A^2$.

مثال :

إحسب مقرر تيار قصر الدارة لكابل نحاسي مساحة مقطعة 95 مم² عند زمن فصل للدارة يساوي 0.2 ثانية .

الحل :

من جدول 6- فإن قيمة المعامل K_0 تساوي 2.23 .

$$I_{sc} = d \cdot K_0 \cdot A$$

$$I_{sc} = 115 \times 2.23 \times 95 = 24363 \text{ A} = 24.363 \text{ KA}.$$

وتساوي الطاقة المنطلقة عبر الكابل خلال قصر الدارة ما يلي :

$$I_{sc}^2 \cdot t = (24.363)^2 \times 0.2 = 118.71 \text{ KA}^2 \cdot \text{s}$$

أما مدى احتمالية الكابل لهذه الطاقة فتحدد كما يلي :

$$K^2 S^2 = 115^2 \times 95^2 = 119.34 \text{ kA}^2 \cdot \text{s}.$$

أي أن :

$$I_{sc}^2 \cdot t < K^2 S^2.$$

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 مئوية .

- العازلية الحرارية Thermoplastic - 150 درجة مئوية .

- العازلية Crosslinked Polyethylene وكذلك عازلية Ethylene 250

propylene Rubber EPR - 250 درجة مئوية .

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 مئوية للكوابل المعزولة

بالورق أو المطاط أو القماش المشبع بالورنيش وتساوي للكوابل المعزولة بـ XLPE أو

EPR 90 درجة مئوية .

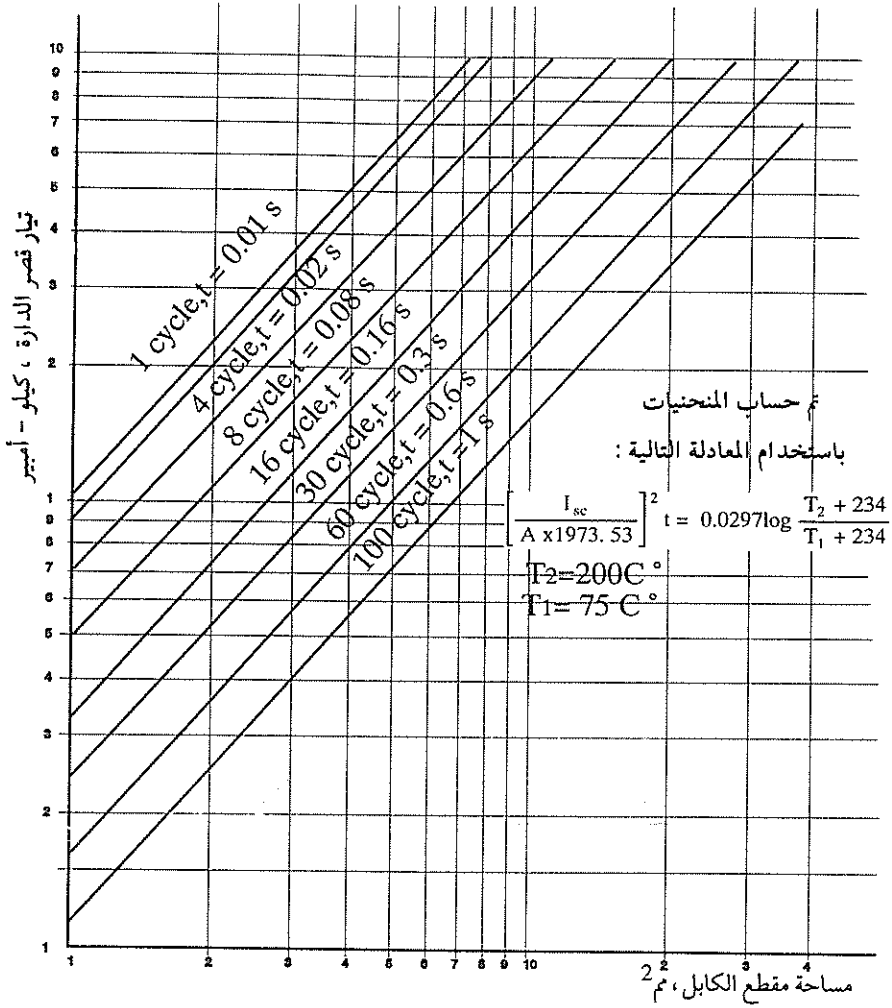
وباستخدام المعادلة السابقة فان جمعية مهندسي الكوابل المعزولة تصدر منحنيات لأنواع مختلفة من الكوابل تبين العلاقة بين تيار قصر الدارة ومساحة مقطع الكابل لزمن فصل يتراوح بين دورة واحدة إلى 100 دورة .

وإذا كان مقطع الكابل معبراً عنه بالميللي متر المربع فان المعادلة السابقة تصبح كما

يلي :

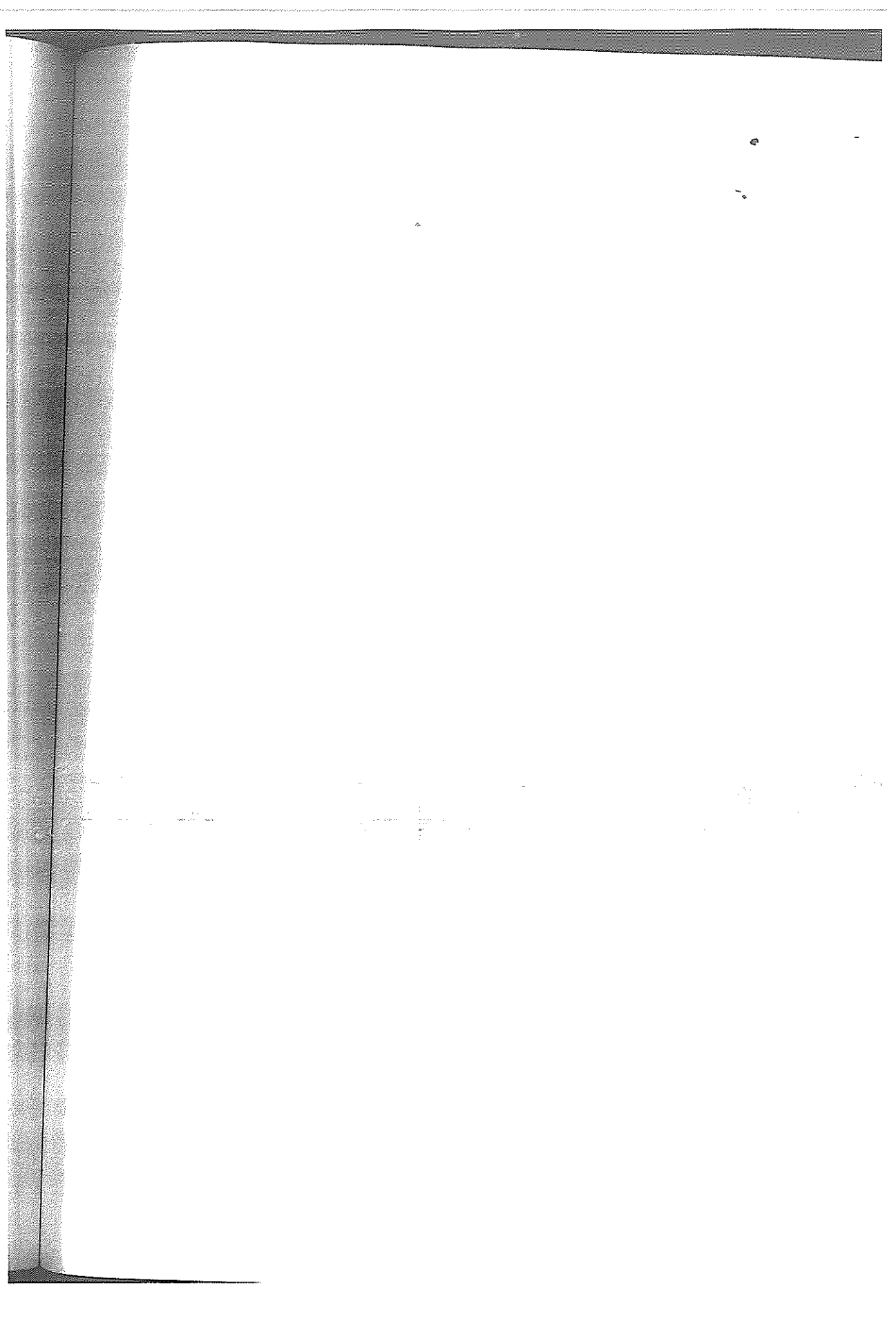
$$\left[\frac{I_{sc}}{A \times 1973.53} \right]^2 t = 0.0297 \log \frac{T_2 + 234}{T_1 + 234}$$

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 أو القماش الورنيشي لتيار قصر الدارة .

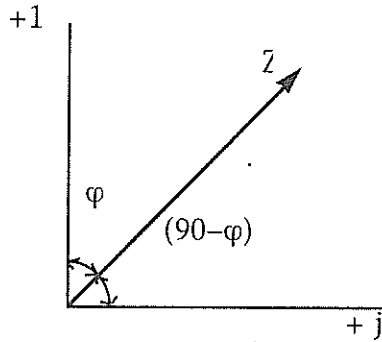


الفصل السادس

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 1-1.



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 $(90-\varphi)$.

بالتعريف فإن القدرة المركبة في الدارة ثلاثية الأطوار تساوي:

$$\dot{S} = \sqrt{3} V_L I_L < \varphi \quad (1)$$

حيث أن:

النقطة فوق الكمية تشير إلى أنها كمية مركبة.

\dot{S} - القدرة المركبة Complex power.

V - الفولطية.

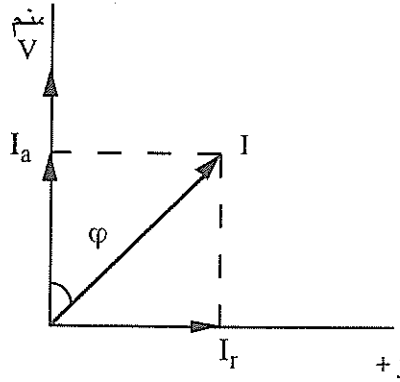
I - التيار.

φ - الزاوية بين الفولطية والتيار .

يمكن كتابة القدرة المركبة كما يلي :

$$\begin{aligned} \dot{S} &= \sqrt{3} V_L I_L (\cos\varphi + j \sin\varphi) = \\ &= \sqrt{3} V_L (I_L \cos\varphi + j I_L \sin\varphi) \end{aligned} \quad (2)$$

لنحاول تمثيل هذه الكميات على السطح المركب ، مفترضين أن متجه الفولطية يتطابق مع المحور الحقيقي ، ونفترض أن الدارة الكهربائية تحتوي على مقاومة فعالة 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 دائرة حثية

يتضح من الشكل السابق أنه يمكن تحليل التيار إلى مركبتين : الأولى المركبة الفعالة Active component وتتطابق مع متجه الفولطية ، والمركبة الثانية المراكسة Reactive Component وتأخر عن متجه الفولطية بزاوية مقدارها 90° ، أي أن :

$$\dot{I} = I_a + j I_r \quad (3)$$

$$I_a = I_L \cos \varphi \quad (4)$$

$$I_r = I_L \sin \varphi \quad (5)$$

بوضع قيمة التيار من المعادلتين (5,4) في المعادلة (2) نحصل على ما يلي :

$$\dot{S} = \sqrt{3} V_L (I_a + jI_r) \quad (5)$$

يمكن كتابة معادلة (2) كما يلي :

$$\dot{S} = \sqrt{3} V_L I_L \cos\varphi + \sqrt{3} V_L I_L \sin\varphi = P + jQ \quad (6)$$

أي أن القدرة المركبة تتكون من مركبتين : المركبة الفعالة P والمركبة التخيلية Q ، وتسمى الأولى القدرة الفعالة P ، وهي القدرة التي تذهب إلى العمل الفعال ، وتبتدد كحرارة في عناصر الدارات الكهربائية أو تتحول إلى شكل آخر من أشكال الطاقة المفيدة .

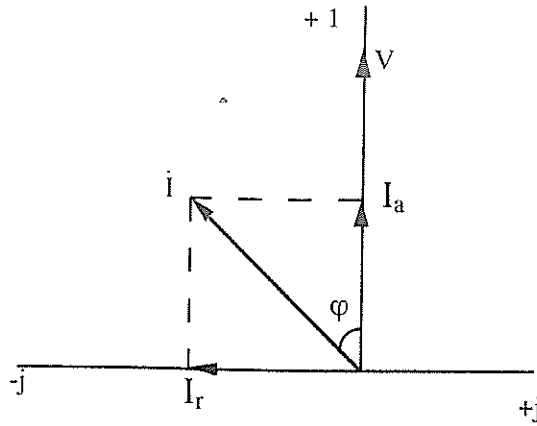
أما المركبة الثانية فتسمى القدرة المراكسة Q Reactive power فإننا لا نحصل منها على عمل مفيد ، وإنما تكمن ضرورتها في تكوين مجال مغناطيسي ، والذي هو ضروري لعمل كثير من الآلات الكهربائية (المحولات ، المحركات ، الأفران الحثية وغيرها) .

$$P = \sqrt{3} VI \cos \varphi \quad (7)$$

$$Q = \sqrt{3} VI \sin \varphi \quad (8)$$

$$S = P + jQ \quad (9)$$

أما إذا كانت الدارة الكهربائية تحتوي على مقاومة فعالة 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.

$$\dot{I} = I_a + j I_r \quad (10)$$

$$I_a = \dot{I} \cos \varphi \quad (11)$$

$$I_r = -\dot{I} \sin \varphi \quad (12)$$

وتساوي القدرة في هذه الحالة:

$$\begin{aligned} \dot{S} &= \sqrt{3} V (\dot{I} \cos \varphi - j \dot{I} \sin \varphi) = \\ &= P - j Q_c \end{aligned} \quad (13)$$

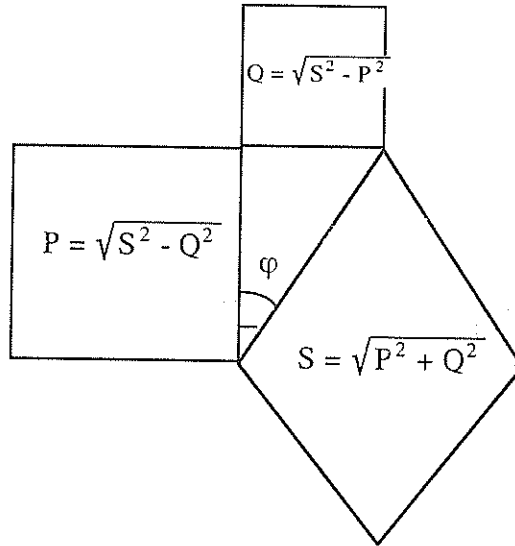
والقدرة المراكسة في هذه الحالة أيضاً لا نستفيد منها في أية أعمال مفيدة ولا تتحول إلى شكل آخر من أشكال الطاقة، وإنما تُخزن في مواسعة العنصر، ثم تتبدد راجعة إلى المولد.

من العرض السابق نستنتج أن القدرة الفعالة 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 المراكز في الدارة الكهربائية. كذلك نستنتج أن القدرة الظاهرية للمولد يجب أن تكون أكبر من القدرة الفعالة 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

يُعرف عامل القدرة Power factor بأنه جتا الزاوية المحصورة بين الفولطية والتيار، أي $\cos \varphi$ ، ويبين شكل 4- العلاقة بين القدرة الظاهرية والفعالة والمراكسة. وتقاس القدرة الظاهرية بالفولط. أمبير أو مضاعفاته، وتقاس القدرة الفعالة بالواط ومضاعفاته، وتقاس القدرة المراكسة بالفولط. أمبير مراكس ومضاعفاته.



شكل 4-

العلاقة بين القدرة الظاهرية والفعالة والمراكسة

من الشكل السابق نستنتج العلاقات التالية :

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} \quad (14)$$

$$\sin \varphi = \frac{Q}{S} \quad (15)$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{Q}{P} \quad (16)$$

ويبين جدول 1- متوسط عامل القدرة لبعض الأجهزة والماكنات الكهربائية المستخدمة على نطاق واسع .

وحتى نتبين أهمية عامل القدرة سندرس العلاقة التالية :

$$P = \sqrt{3} VI \cos \varphi \quad (17)$$

والتي تبين أن هناك علاقة معنية تربط بين القدرة الفعالة وعامل القدرة بثبات الشولطية . فكلما زاد عامل القدرة زادت القدرة الفعالة ، وكلما قلّ عامل القدرة قلت القدرة الفعالة . وللحفاظ على نفس قيمة القدرة الفعالة 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 (I)

متوسط عامل القدرة لبعض الأجهزة الكهربائية

$\tan \varphi$	$\cos \varphi$	
5.80	0.17	المحركات الحثية العامة
1.52	0.55	عامل التحميل 5%
0.94	0.73	عامل التحميل 25%
0.75	0.80	عامل التحميل 50%
0.62	0.85	عامل التحميل 75%
0	1.0	عامل التحميل 100%
0	1.0	المصابيح التوهجية
1.73	0.5	المصابيح الفلورية (غير المعدلة)
0.39	0.93	المصابيح الفلورية (المعدلة)
1.33-2.29	0.6-0.4	المصابيح التفرغية
0	1.0	الأفران التي تستخدم عناصر مقاومة فعالة
0.39	0.93	أفران التسخين الحثية (المعدلة)
0.48-0.75	0.9-0.8	ماكينات لحام تستخدم مقاومة فعالة
1.73	0.5	طقم لحام بالقوس طور واحد
0.48-1.02	0.9-0.7	طقم لحام بالقوس محرك-مولد
0.75-1.02	0.8-0.7	طقم لحام بالقوس مكون من محول-مقوم
0.75	0.8	افران قوسية Arc Furnace

وعادة، تقوم شركات التوزيع الكهربائية بتزويد المستهلك بقيمة معينة من القدرة المراكسة بدون تعرفه، وما زاد عن ذلك فهناك تعرفه (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 $\tan \varphi$ والتي تساوي:

$$\tan \varphi = \frac{Q \text{ (Kvarh)}}{P \text{ (Kwh)}}$$

فمثلاً، في الدول الأوروبية يتم تزويد المستهلك بقدرة مراكسة عند نقطة الشبكة 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:

$$\Delta P = I^2 \cdot R \quad (18)$$

كذلك، ونتيجة لزيادة التيار يحدث فقد إضافي للفولطية حسب المعادلة التالية:

$$\Delta V = IR \quad (19)$$

لذلك، فهناك فوائد إقتصادية لتحسين عامل القدرة. ويبين جدول 2- نسبة تقليل مساحة مقطع الكابل نتيجة لتحسين عامل القدرة.

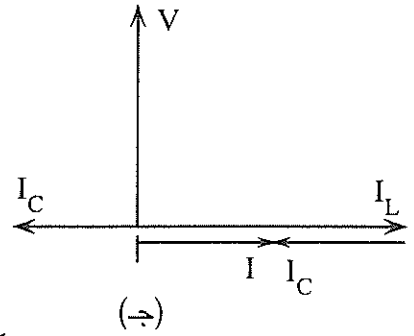
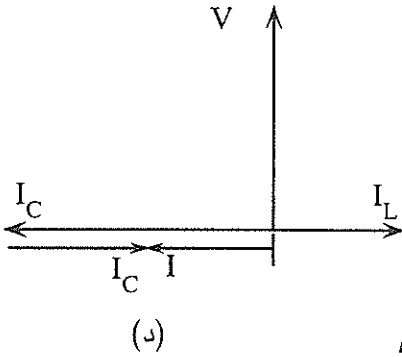
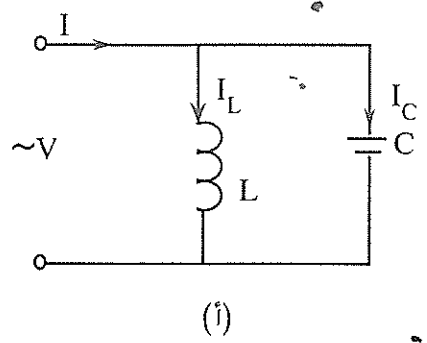
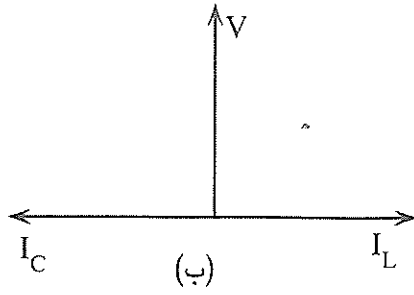
جدول (2)

نسبة تقليل مساحة مقاطع الكوابل نتيجة لتحسين عامل القدرة

1	1.25	1.67	2.5	عامل المضاعفة Multiplying Factor الذي يجب ضرب مساحة مقطع الكابل به.
1	0.8	0.6	0.4	عامل القدرة Cos φ

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 تحسين عامل القدرة عن طريق المعادلة، دعونا ندرس شكل 5-.



شكل 5-

دائرة كهربائية تحتوي على مواسعة ومحاثة على التوازي

يبين شكل 5- أ مواسعة C ومحاثة L متصلان على التوازي، في هذه الحالة فإن التيار الكلي I يساوي مجموع التيار في المواسعة والمراكسة، أي أن:

$$I = I_L + I_C \quad (20)$$

$$I_L = \frac{V}{X_L} \quad (21)$$

$$I_C = \frac{V}{X_C} \quad (22)$$

من هنا، فإن التيار الكلي يساوي:

$$I = \frac{V}{X_L} - \frac{V}{X_C} = V \frac{X_C - X_L}{X_L - X_C} \quad (23)$$

يتبين لنا من معادلة (23) أن هناك ثلاث حالات للتيار (I) إعتياداً 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-ج).

ج- $X_L > X_C$ ، 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:

$$Q = VI \quad (24)$$

حيث أن التيار الكلي يساوي الفرق بين التيار في المواسعة والمحاثة، أي أن:

$$I = I_L - I_C \quad (25)$$

من هنا فإن القدرة المراكسة تساوي:

$$\begin{aligned} Q &= V(I_L - I_C) = V \left(\frac{V}{X_L} - \frac{V}{X_C} \right) \quad (26) \\ &= \frac{V^2}{X_L} - \frac{V^2}{X_C} = Q_L - Q_C \end{aligned}$$

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:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (27)$$

ويساوي عامل القدرة

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} \quad (28)$$

والعلاقة بين القدرة الفعالة والقدرة المراكسة تحكمها المعادلة التالية:

$$Q = P \tan \varphi$$

فإذا عاد لنا جزءاً من القدرة المراكسة Q بمقدار Q_C فإن القدرة المراكسة الكلية تساوي:

$$Q_1 = Q - Q_C$$

$$Q_C = Q - Q_1 = P \tan \varphi - P \tan \varphi_1$$

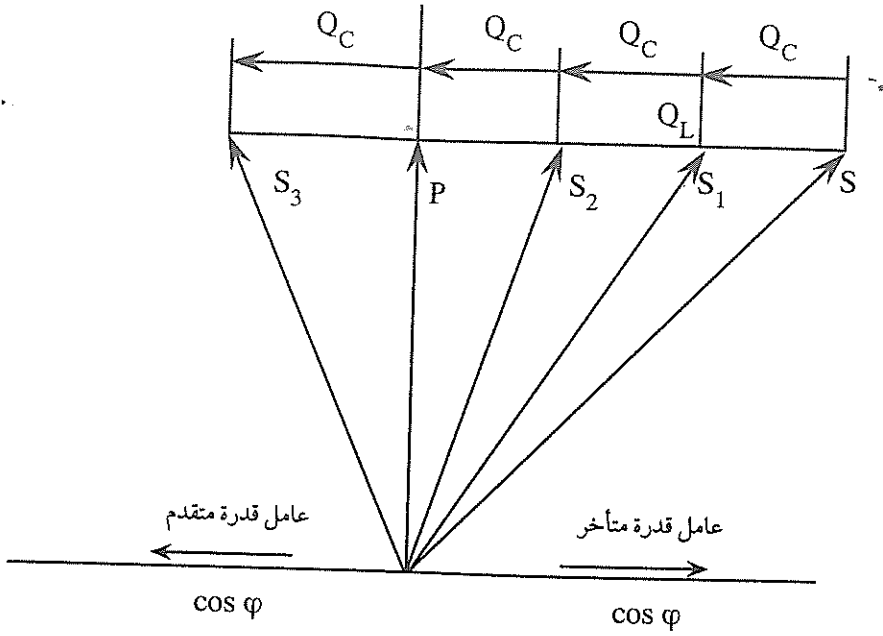
$$Q_C = P (\tan \varphi - \tan \varphi_1) \quad (29)$$

$$S_1 = \sqrt{P^2 + Q_1^2} = \sqrt{P^2 + (Q - Q_C)^2} \quad (30)$$

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 للقوة

4.6 تحديد مقررات المكثفات لتحسين عامل القدرة

يمكن تحديد مقررات المكثفات Capacitors rating أثناء مرحلة التصميم وذلك بتحديد الأحمال الفعالة والأحمال المراكسة لكل الأجهزة والمعدات في المشروع مع تحديد عامل التطابق لهما .

ولإغراض الحساب السريع وتحديد المقررات ، يمكننا استخدام المعادلة التقريبية التالية :

$$Q_c = 0.3 a S \quad (31)$$

حيث أن :

Q_c - مقرر المكثف بالكيلو فولط . أمبير مراكس .

a : عامل التطابق Coincidence 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 الفعالة 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 الفعالة بالكيلو واط . ساعة .

t - زمن التشغيل بالساعة .

5.6 المكثفات

تعتبر المكثفات من أكثر الأجهزة المستخدمة في تحسين عامل القدرة شيوعاً ، وهي أجهزة اقتصادية . وفي أبسط الحالات ، فإن المكثف هو جهاز لتخزين الطاقة ، ويتكون في أبسط صورة من صفيحتين متوازيتين بينهما عازل . فإذا سلطت 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 :

$$C = \frac{A \times \epsilon}{d} \quad (32)$$

حيث أن:

C-المواسعة ، Faraday .

A-مساحة الصفيحة ، متر² .

d-المسافة بين الصفيحتين ، متر .

ε- سماحية العازل permittivity والتي تساوي :

$$\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r \quad (33)$$

حيث أن:

ε₀-السماحية المطلقة للفراغ وتساوي 8.85 x 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 :

$$Q_c = V^2 \cdot \omega \cdot C \cdot 10^{-3} \quad (33)$$

$$I_c = \frac{Q_c}{V} \quad (34)$$

$$X_c = \frac{V \cdot 10^3}{I_c} \quad (35)$$

وتساوي القدرة المراكسة في الدارة ثلاثية الأطوار على شكل ستار ما يلي :

$$Q_c = V^2 \cdot \omega \cdot C_Y \cdot 10^{-3} \quad (36)$$

$$I_c = \frac{Q_c}{V} \quad (37)$$

$$X_c = \frac{V \cdot 10^3}{I_c} \quad (38)$$

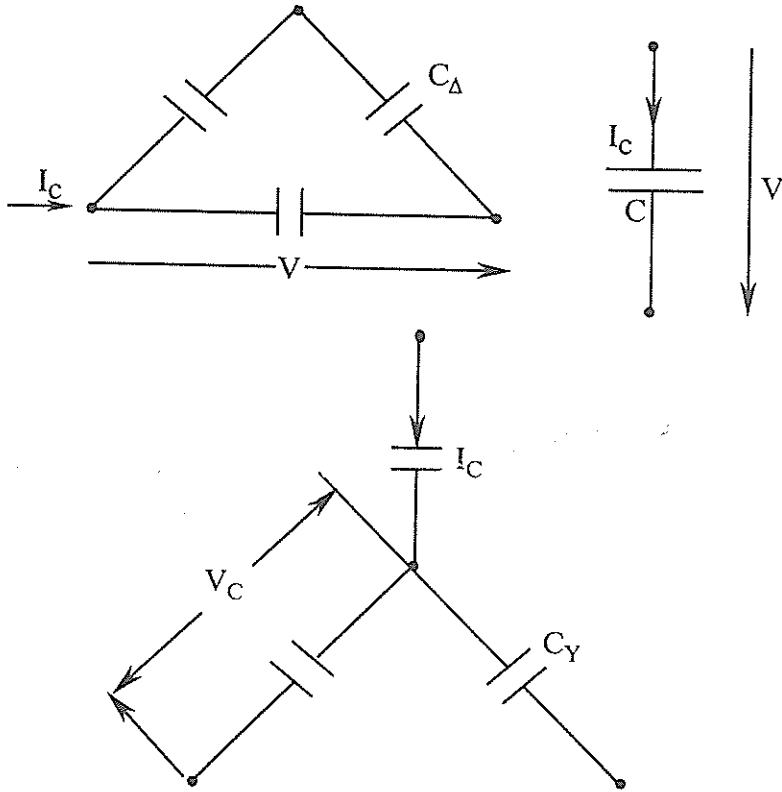
وفي الدائرة ثلاثية الأطوار على شكل دلتا، فإن القدرة المراكمة تساوي:

$$Q_c = 3V^2 \cdot \omega \cdot C_{\Delta} \cdot 10^3 \quad (39)$$

$$I_c = \frac{Q_c}{\sqrt{3} V} \quad (40)$$

$$X_c = \frac{\sqrt{3} V \cdot 10^3}{I_c} \quad (41)$$

ويبين شكل 7- رسماً 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 الفقد 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 اعتماداً على عامل القدرة . وهناك نوع آخر يتصل بفتح على الشبكة ليتم بواسطته وصل أو فصل مجموعة مكثفات القدرة اعتماداً على قيمة عامل القدرة .

وهناك مكثفات قدرة أحادية الطور ومكثفات قدرة ثلاثية الأطوار ، ويمكن أن توجد معلقة على عمود Pole-Mounted أو أرضية التركيب Floor-Mounted . كذلك هناك مكثفات قدرة خارجية الاستعمال Outdoor ، حيث تكون مقاومة للعوامل الجوية ، أما مكثفات القدرة الداخلية 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 القدرة الخارجية 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 .

ج- 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 تمورّ Surge Arresters لحماية العازلية من ضربات البرق والفولطية المفرطة الناتجة عن عملية الإبدال Switching .

ويبين جدول 3- فولطية وقدرة مكثفات القدرة .

أما الفوائد التي نجنحها 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

عدد الأطوار	القدرة	الفولطية
-	كيلوفولط . أمبير مراكس	فولط
1 و 3	135, 7.5, 5	216
1	3	240
1 و 3	15, 10, 7.5, 5	240
1 و 3	50, 35, 25, 20, 15, 10	480
1 و 3	50, 35, 25, 20, 15, 10	600
1	150	2400
1	150, 100, 50	2400
1	150, 100, 50	2770
1	150, 100, 50	4160
1	150, 100, 50	4800
1	150, 100, 50	6640
1	150, 100, 50	7200
1	150, 100, 50	7060
1	150, 100, 50	7960
1	150, 100, 50	8320
1	150, 100, 50	9960
1	150, 100, 50	12410
1	150, 100, 50	13280
1	150, 100, 50	13600
1	150, 100, 50	14400

6.6 عناصر الشببة التي تستهلك قدرة مراكسة

إن استخدام كلمة تستهلك هنا مجازي ، حيث أن القدرة المراكسة كما ذكرنا سابقاً يتم تبادلها بين العنصر الكهربائي 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 الابتدائي إلى الملف الثانوي ، وكذلك تلزم هذه القدرة لإنتاج دفق التبديد .

في حالة اللاحمل No-Load فإن القدرة المراكسة في المحول تساوي :

$$Q_0 = \frac{I_0 \% \cdot S_r}{100} \quad (41)$$

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 ، كيلو فولط . أمبير .

أما إذا كان المحول محملاً بالحمل المقرر له ، فإن القدرة المراكسة في هذه الحالة

تساوي :

$$Q_r = \frac{Z_K \% \cdot S_r}{100} \quad (42)$$

حيث أن :

Q_r - القدرة المراكسة ، كيلو فولط . أمبير مراكس .

$Z_K\%$ - نسبة الممانعة للمحول ، % .

S_r : القدرة المقررة للمحول، كيلو فولط . أمبير .

أما إذا كان المحول محملاً بقدرة تقل 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 :

$$Q_r = \frac{Z_K \% \cdot S_r}{100} \beta^2 \quad (43)$$

من العرض السابق فإن القدرة المراكسة الكلية للمحول بشكل عام تساوي :

$$Q = Q_0 + Q_r = \frac{I_0 \% \cdot S_r}{100} + \frac{Z_K \% \cdot S_r}{100} \cdot \beta^2 \quad (44)$$

$$= \frac{S_r}{100} (I_0 \% + Z_K \% \beta^2)$$

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

10000	1000	100	قدرة المحول، كيلو فولط . أمبير
120-3.5	35-10	35-6.3	الفولطية المقررة الابتدائية، كيلو فولط
3.5-3	5.5-5	8-6	تيار اللاحمل %
10.5-7.5	6.5-5.5	6.5-5.5	نسبة الممانعة %

ويبين جدول 5- قدرة المكثف بالكيلو فولط . أمبير المراكس اللازمة لمعادلة المحولات من قدرة 100 إلى قدرة 2000 ك . ف . م .

جدول (5)

قدرة المكثف اللازمة لمعادلة المحولات

قدرة المكثف ك.ف. أمراكس	القدرة المراكسة للمحول (ك.ف. أمراكس)		نسبة الممانعة %	القدرة المقررة للمحول ك.ف. أ.
	الحمل الكلي	اللاحمل		
7.5	7.5	3.5	4	100
12.5	11.4	5.0	4	160
15.0	17.0	7.0	4	250
25.0	26.0	10.0	4	400
30.0	32.0	12.0	4	500
40.0	40.0	14.5	4	630
50.0	49.0	17.0	6	800
75.0	80.0	20.0	6	1000
100.0	99.9	24.0	6	1250
125.0	124.0	28.0	6	1600
150	153.0	33.0	6	2000

مثال :

أحسب القدرة المراكسة لمحول قدرته 560 كيلوفولط . أمبير، والفولطيه/6KV
0.4KV ، إذا كان تيار الحمل يساوي 6% ونسبة الممانعة 5.5%.

الحل :

القدرة المراكسة للمحول في حالة اللاحمل تساوي :

$$Q_0 = \frac{I_0 \% \cdot S_r}{100} = \frac{6}{100} \times 560 = 33.6 \text{ KVAR}$$

القدرة المراكسة للمحول في حالة الحمل تساوي:

$$Q_r = \frac{Z_K \% \cdot S_r}{100} = \frac{5.5}{100} \times 560 = 30.8 \text{ KVAR}$$

القدرة المراكسة الكلية تساوي:

$$Q = Q_0 + Q_r = 33.6 + 30.8 = 64.4 \text{ KVAR}$$

وبشكل تقريبي وللمحولات ذات القدرة المتوسطة (التي تتراوح قدرتها بين 630 كيلو فولط . أمبير إلى 2500 كيلو فولط . أمبير) يمكن إعتبار أن تيار اللاحمل يساوي نسبة الممانعة . في هذه الحالة فإن القدرة المراكسة للمحول تساوي:

$$Q = \frac{2 I_0 \% \cdot S_r}{100} = \frac{2 Z_K \% \cdot S_r}{100} \quad (45)$$

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 الفعالة في تيار اللاحمل والتي تُسبب الفقد في الضلْب والفقد الميكانيكي ، لذلك فإن القدرة المراكسة في حالة اللاحمل تساوي:

$$Q_0 = \sqrt{3} I_{n.L} V_r = \sqrt{3} I_r V_r \cos \varphi_r \cdot \frac{I_0}{I_r \cdot \cos \varphi_r} = \frac{P_r}{\eta_r} \frac{I_0}{I_r \cos \varphi_r} \quad (46)$$

وتساوي القدرة المراكسة المقررة للمحرك مايلي:

$$Q_r = \frac{P_r}{\eta_r} \operatorname{tg} \varphi_r \quad (47)$$

حيث أن:

P_r - القدرة الفعالة المقررة للمحرك ، كيلو واط .

η_r - فاعلية المحرك المقررة .

ويمكننا تحديد القدرة المراكسة لدفق التبديد للمحرك والتي تعتمد على حمل المحرك

كما يلي :

$$Q_r = (Q_r - Q_0) \beta^2 = \beta^2 \cdot \frac{P_r}{\eta_r} \left(\operatorname{tg} \varphi_r - \frac{I_0}{I_r \cdot \cos \varphi_r} \right) \quad (48)$$

أما القدرة المراكسة الكلية للمحرك فتساوي :

$$Q = Q_0 + \beta^2 I^2 X = Q_0 + \beta^2 \cdot Q_r \quad (49)$$

وبوضع قيم Q_r , Q_0 من المعادلتين (36, 48) في معادلة (49) ، ينتج أن :

$$Q = \frac{P_r}{\eta_r} \left[\frac{I_0}{I_r \cdot \cos \varphi_r} + \beta^2 \left(\operatorname{tg} \varphi_r - \frac{I_0}{I_r \cdot \cos \varphi_r} \right) \right] \quad (50)$$

ولا بد 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 تتجنب ظاهرة التهيج الذاتي Self excitation . وجوهر هذه الظاهرة يكمن في الآتي :

إذا كان المحرك له حمل كهربائي بقصور عالي High inertia فعند توقيفه يفصل 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 كيلواط. ويبين جدول 7- القدرة المراكسة لكل كيلو واط فعال ولعوامل قدرة مختلفة.

مثال:

إذا كان لدينا مغذٍ Feeder قدرة الفعالة 1000 كيلو واط وعامل القدرة له 0.8، احسب القدرة المراكسة للمكثفات اللازم إضافتها لتحسين عامل القدرة ورفعها 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 كيلواط قدرة فعالة.

قدرة المكثفات المطلوبة = $1000 \times 0.27 = 270$ كيلوفولط. أمبير مراكس يجب إضافتها لتحسين عامل القدرة إلى القيمة المطلوبة.

مثال :

عند أخذ المستهلكين تم قياس القدرة الفعالة ووجد أنها تساوي 700 كيلوواط ، وتم قياس القدرة المراكسة ووجد أنها 1000 كيلوفولط أمبير ، إحسب قدرة المكثفات اللازم إضافتها لرفع عامل القدرة إلى 0.96 .

الحل :

$$0.70 = \frac{700}{1000} = \frac{\text{كيلوواط}}{\text{كيلوفولط أمبير}} = \text{عامل القدرة الحالي}$$

من جدول 7- يلزمنا 0.73 كيلوفولط . أمبير مراكس لكل كيلو واط .

قدرة المكثفات المطلوبة = $0.73 \times 1000 = 730$ كيلوفولط . أمبير مراكس .

جدول 7-

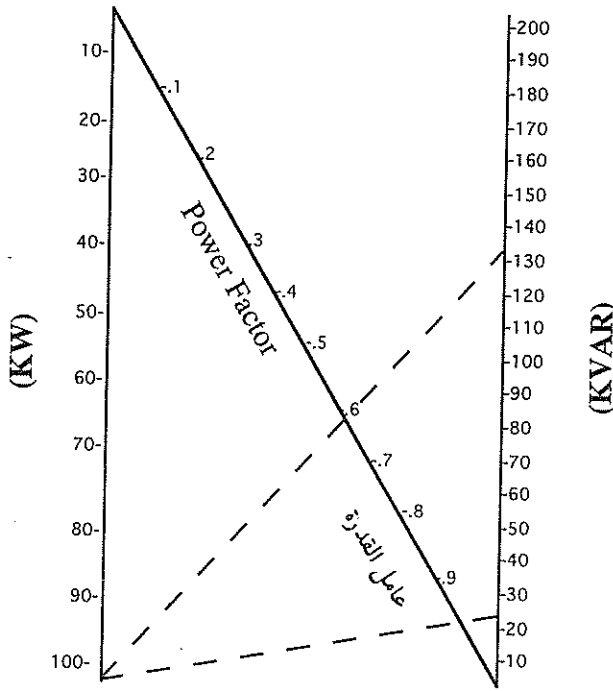
حساب القدرة المراكسة لتحسين عامل القدرة

Existing Cosφ ₁	Desired power factor cosφ 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
كيلوفولط . أمبير مراكس لكل كيلو واط فعال Factor F													
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 الآتفة 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 100 كيلو واط على مقياس الكيلو واط مع نقطة 0.6 على مقياس عامل القدرة ونمد الخط بين النقطتين ليتقاطع مع مقياس الكيلو فولط . أمبير مراكس في نقطة هي 133 كيلو فولط . أمبير مراكس ، ثم نمد خطاً ثانياً لتحديد القدرة المراكسة التي تُناظر عامل القدرة الجديد ، وتساوي تلك القدرة 25 كيلوفولط . 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 $\cos\varphi_1$ 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 100 كيلو واط وعامل القدرة الحالي يساوي $\cos\varphi_1 = 0.8$ وعامل القدرة المطلوب تحقيقه يساوي $\cos\varphi_2 = 0.9$ ، 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

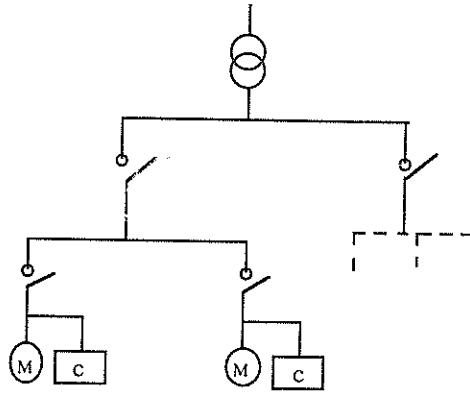
تعتمد معادلة Compensating القدرة المراكسة على ظروف تشغيل الأحمال ، لذلك توجد الأنواع التالية لمعادلة القدرة المراكسة :

- أ- المعادلة الفردية Individual compensation .
 - ب- المعادلة الجماعية Group compensation .
 - ج- 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 .

ويُحذ 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 الفعالة للمحرك ، وقد يتطلب الأمر معادلة القدرة المراكسة عند مصدر التغذية الكهربائية (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 المغنزي ، لذلك لابد من إعادة معايرة مرحل التيار المفرط Overcurrent relay بحيث يتم تقليل المعايرة بنسبة تساوي :

$$\frac{\text{Cos}\phi \text{ before compensation}}{\text{Cos}\phi \text{ after compensation}}$$

ويمكن أيضاً استخدام جدول 8- لإيجاد معامل التخفيض Reduction factor .

جدول (8)

معامل التخفيض لمعايرة مرحلات فوق التيار

معامل التخفيض	سرعة المحرك ، دورة / دقيقة
0.88	750
0.90	1000
0.91	1500
0.93	3000

وبالنسبة للمحولات ، غالباً ما يُحدد 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 :

$$V = \frac{Z_K \% Q_c}{S_r} \quad (51)$$

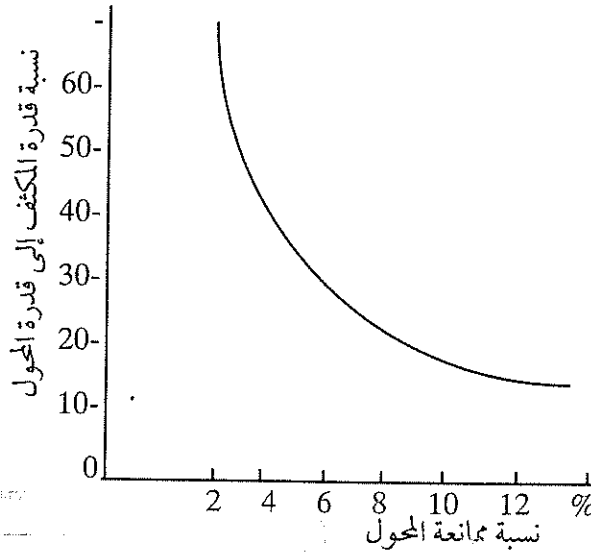
يحيث أن:

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.

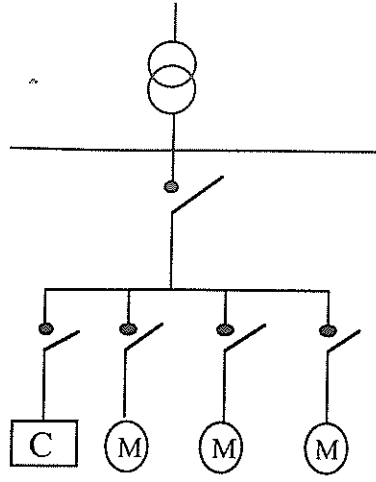


شكل -10

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 . وبيّن جدول 9- قدرة المكثف المطلوبة لمعادلة المصابيح الفلورية .

جدول (9)

قدرة المكثفات لمعادلة القدرة المراكسة للمصابيح الفلورية

قدرة المكثف	المصابيح الفلورية	
	القدرة (واط)	الفولطية المقررة (فولط)
30	20	110
30	10	220
55	15 x2	
40	16	
80	20	
55	25	
70	40	
70	20 x2	
110	65	

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 .

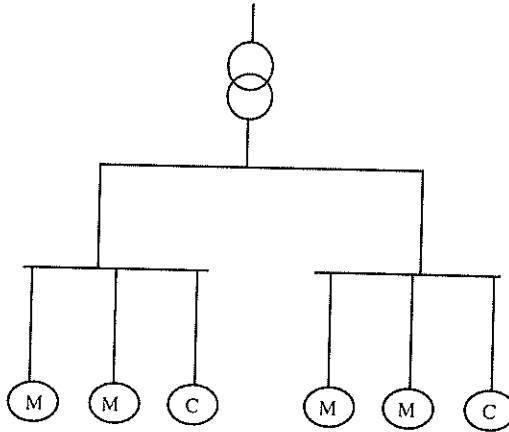
الحل :

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 يجب تركيب المكثفات عند كل لوحة توزيع رئيسية في المنطقة المعنية، وبين 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 القدرة المراكسة 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 المغذي للتمديدات، أما إذا كانت قدرة المكثفات أكبر من 15% فيُحذَر 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.

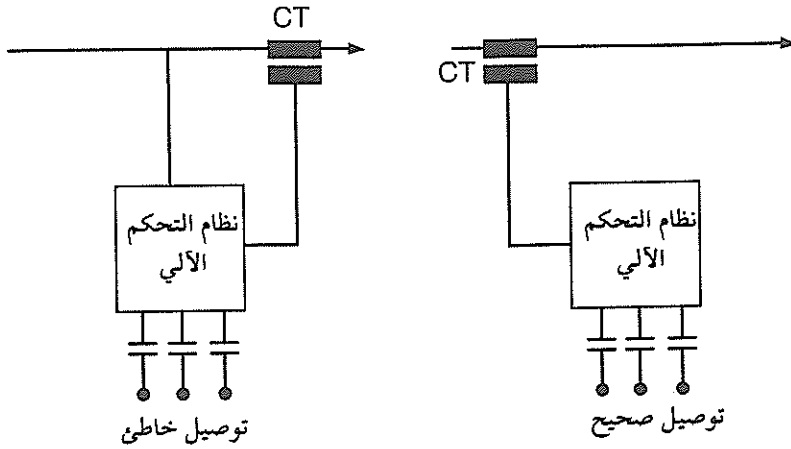
- مصهرات أو قواطع آلية لحماية مكثفات القدرة.

- 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 غير متماثلة في الأطوار فلا بد 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 الكهربائي فإن محول التيار يجب أن يكون أمام نظام التحكم بالمكثفات .

ويبين شكل 13- التوصيل الصحيح لمحول التيار.

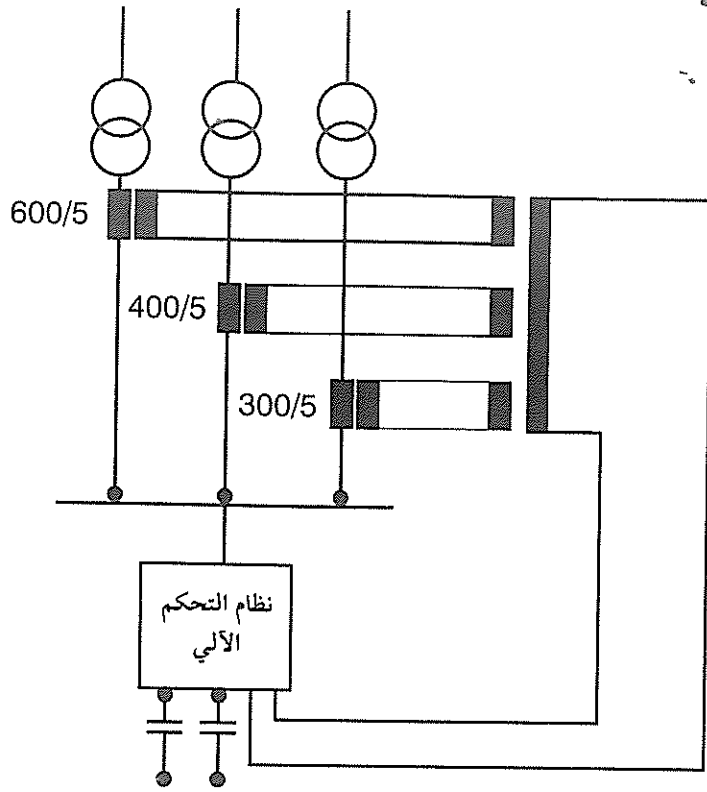


شكل 13-
طريقة توصيل محول التيار

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 وتميرها إلى نظام التحكم . ويبين شكل 14- هذا التوصيل .

في هذه الحالة فإن نسبة تحويل المحولات هي :

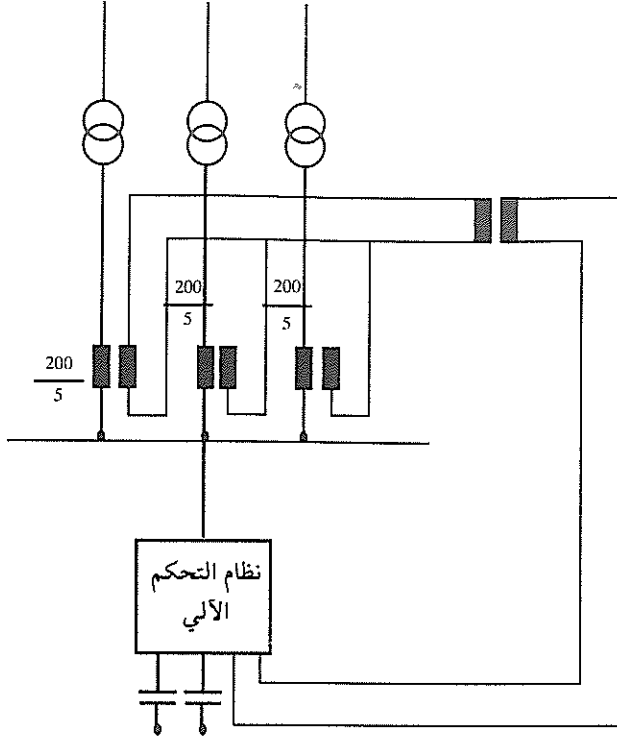
$$\frac{600}{5} + \frac{400}{5} + \frac{300}{5} = 260$$



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:

$$\frac{200}{5} + \frac{200}{5} + \frac{200}{5} = 120$$

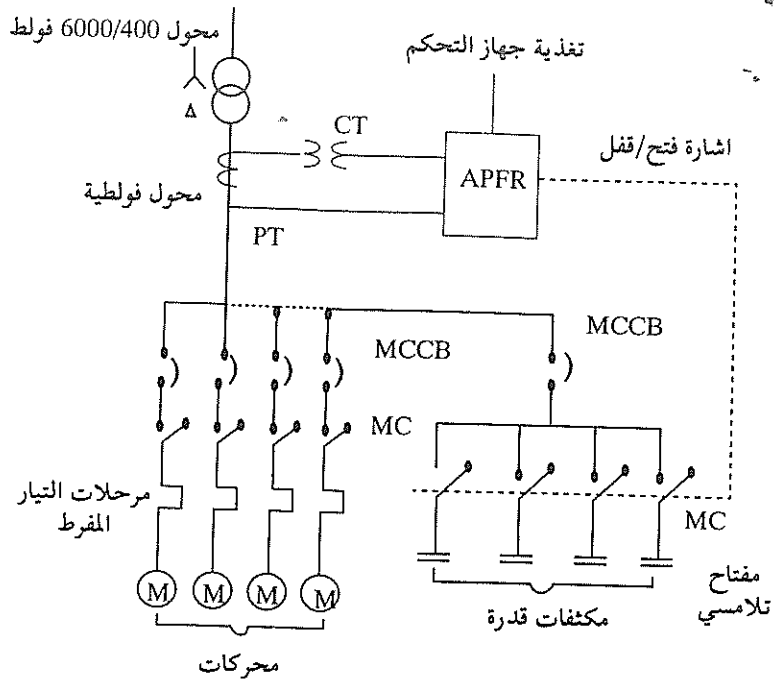


شكل 15-

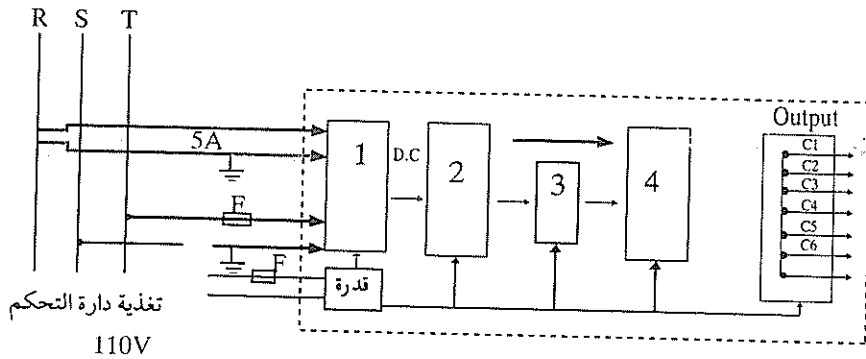
1.4.8.6 المنظم الآلي لعامل القدرة

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 تمثيلاً 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 المتتابعي .

ويوجد في المنظم الآلي عدة أقراص مدرجة Dials للدلالة ، وهذه هي :

أ- قرص نطاق الضبط Band adjustable dial .

ويستخدم هذا القرص لتغيير نطاق القدرة المراكسة في كلا الطرفين ، التقدم Lead والتأخير Lag ، بحيث إذا اختلفت القدرة المراكسة عن نطاق الضبط يتم فصل ووصل مكثفات القدرة .

ب- قرص إزاحة قيمة الوسط Center Value Shifting Dial .

ويستخدم 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 .

ج- 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 هاهنا الطريقة .

في البداية لابد من تحديد القدرة المراكسة الهدف Target reactive power .

$$Q_T = P_{\max} \sqrt{\frac{1}{(\cos\phi_T)^2} - 1} \quad (52)$$

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 :

$$S = \frac{P}{\cos \varphi_T} \quad (53)$$

بوضع قيمة P من المعادلة (53) في المعادلة (52) نحصل على مايلي :

$$Q_T = S \sqrt{1 - (\cos \varphi_T)^2} \quad (54)$$

فإذا فرضنا أن القدرة المراكسة في الشبكة قبل المعادلة تساوي Q_{\max} فإن قدرة المكثفات المطلوبة تساوي :

$$C_m = Q_{\max} - Q_T \quad (55)$$

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 :

$$C_R = \frac{C_m}{n} \quad (56)$$

حيث أن :

C_R - قدرة المكثف الواحد ، ك . ف . أ مراكس .

n - عدد المكثفات في المجموعة .

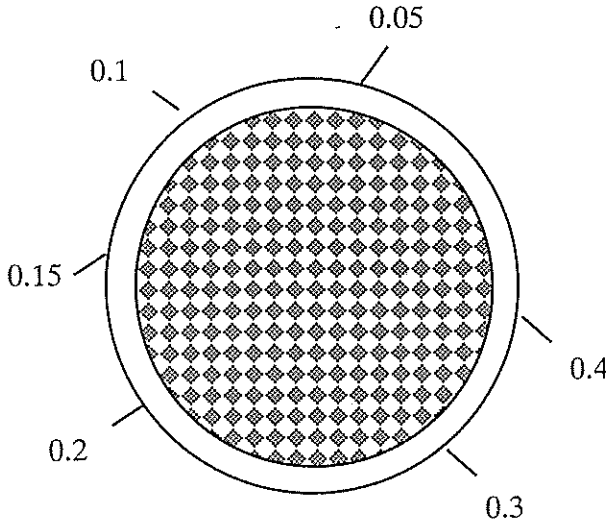
من هنا فإن القدرة المراكسة في الشبكة بعد المعادلة تساوي :

$$Q_E = Q_{\max} - n \cdot C_R \quad (57)$$

بعد ذلك يلزمنا تحديد نطاق الضبط Adjustable band حتى تتمكن من تعبير

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 :

$$\text{Set point} = \frac{\text{Max Individual capacitor (KVAR)}}{\text{CT Raio x PT Ratio}} = \frac{C}{K} \quad (58)$$



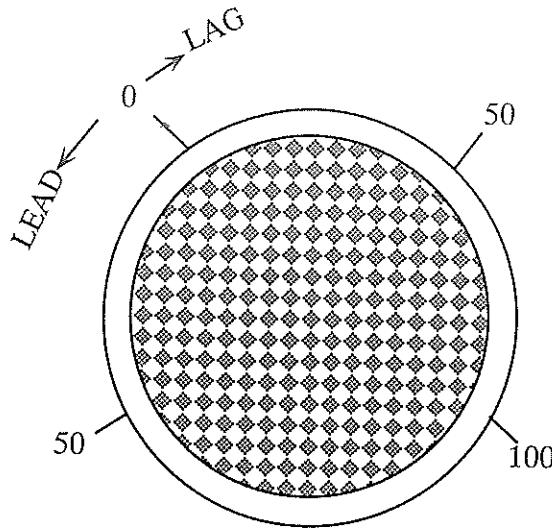
شكل 18-

ويعتمد التعيير على ضبط هذا القرص على رقم أكبر من قيمة $\frac{C}{K}$ ، وبعد ذلك نحدد نطاق الضبط كما يلي :

$$\text{Adjustable band} = 1.2 \times \text{set point} \times \text{CT ratio} \times \text{PT ratio} \quad (59)$$

وبهذه الطريقة يمكننا تجنب التآرجح 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-

ويستخدم هذا القرص لإزاحة قيمة الوسط باتجاه 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:

$$Q_3 = \frac{\text{Center Value \%} \times R}{100 \times 1.2} \quad (60)$$

حيث أن :

Q_3 - قيمة الوسط ك. ف. أ. مراكس .

R - نطاق الضبط ك. ف. أ. مراكس .

مع ملاحظة أن وجود إشارة ناقص يعني التأخير، وإشارة الموجب تعني التقديم. إن القيمة التي نحصل عليها لقيمة الوسط هي أيضاً قيمة القدرة المراكسة للدائرة ثلاثية الأطوار.

ومن معادلة (60) يمكننا إيجاد قيمة الوسط كنسبة مئوية كما يلي :

$$\text{Center Value Dial} = \frac{Q_3 \times 1.2 \times 100}{R} \% \quad (61)$$

وتتغير هذه القيمة في مدى من + 50% إلى صفر في حالة التقدم، ومن صفر إلى - 100% في حالة التأخير.

كذلك ولتعبير قدرة المكثفات يمكننا استخدام جدول -10 بدلاً عن المعادلات التي يمكن بواسطتها حساب تلك القدرة.

جدول (10)

اختيار قدرة المكثفات لتحسين عامل القدرة

		Power factor after being improved - $\cos\theta$																													
		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
Power factor before being improved - $\cos\theta_0$	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	1.76	1.73	1.70	1.67	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	1.61	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	0.08								
	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	0.26	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	0.06														
	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																
	0.8	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	0.028																							
0.93	0.40	0.25	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																														

ويستخدم هذا الجدول فإن قدرة المكثف تساوي :

$$C_m = K.P$$

حيث أن :

K- المعامل الذي نحصل عليه من الجدول .

P- القدرة الفعالة ، 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 :

$$Q_1 = \frac{R}{2} + Q_3 = \quad (62)$$

$$\frac{-60 + \text{Center value dial \%} \times \text{set point} \times \text{CT ratio} \times \text{PT ratio}}{100}$$

في هذه الحالة فإن عامل القدرة يمكن حسابه كما يلي :

$$\text{Cos}\phi_1 = \text{Cos} \left(\text{arctg} \frac{Q_1}{P} \right)$$

أما القدرة المراكسة التي يتم عندها إعطاء إشارة فصل مكثفات القدرة فتساوي :

$$Q_2 = \frac{R}{2} + Q_3 = \quad (63)$$

$$\frac{60 + \text{Center value dial \%} \times \text{set point} \times \text{PT ratio} \times \text{CT ratio}}{100}$$

وإذا كانت إشارة 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

1022 ك. 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

$$\frac{150}{5} \text{ ونسبة التحويل لمحول الجهد } \frac{6600}{110} .$$

الحل :

نحسب في البداية القدرة المراكسة الهدف Q_T باستخدام معادلة (45) :

$$Q_T = P_{\max} \sqrt{\frac{1}{(\cos\phi_T)^2} - 1}$$
$$= 1000 \sqrt{\frac{1}{(0.99)^2} - 1} = 142 \text{ KVAR}$$

$$C_m = Q_{\max} - Q_T = 1022 - 142 = 880 \text{ KVAR}$$

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

$$C_R = \frac{C_m}{n} = \frac{880}{6} = 147 \text{ KVAR} \quad \text{تساوي:}$$

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 :

$$Q_3 = \frac{\text{Center Value \%} \times R}{100 \times 1.2}$$

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 معيرة على نقطة 50% متقدم، فإن :

$$Q_3 = \frac{50 \times 216}{100 \times 1.2} = 90 \text{ KVAR Leading}$$

أما إذا كانت قيمة الوسط معيرة على نقطة 100% متأخر، فإن :

$$Q_3 = - \frac{100 \times 216}{100 \times 1.2} = 180 \text{ KVAR Lagging}$$

وسنحسب الآن قيم القدرة المراكسة التي يتم وصل وفصل مكثفات القدرة عندها .

$$\text{Set Point} = 0.1$$

$$\text{Center value} = 0\%$$

$$Q_1 = \frac{(-60 + 0) \times 0.1}{100} \times \frac{6600}{110} \times \frac{150}{5} = -108 \text{ KVAR}$$

$$\text{Cos}\phi_1 = \text{Cos} \left(\text{arctg} \frac{108}{1000} \right) = 0.994$$

$$Q_2 = \frac{(60 + 0) \times 0.1}{100} \times \frac{6600}{110} \times \frac{150}{5} = +108 \text{ KVAR}$$

أما إذا كانت :

$$\text{Set point} = 0.1$$

$$\text{Center value} = 50\% \text{ Leading}$$

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) اعتماداً 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 فولتية الشبكة بشكل مباشر، وأية تغييرات في فولتية الشبكة أو شكل موجتها الجيبية تؤدي إلى زيادة تيار المكثف . وبأخذ هذين العاملين بعين الاعتبار فإن السعة الأمبيرية للمغذي المكثف يجب أن لا تقل عن 135% من التيار المقرر للمكثف . فمثلاً ، إذا كان لدينا مكثف بقدرة 1000 ك . ف . أ مراكس متصل بشبكة فولتيتها المقررة تساوي 400 فولت ، 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) لا بد 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 والناجمة عن الفولطيات التوافقية Voltage harmonics بحيث لا يقل هذا التحمل عن 15% من مقرر المكثف .

(ج) 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 إتمدنا 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 :

$$I_c = \frac{Q_c}{\sqrt{3} V_r}$$

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.

والياً، 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 ارتفاع 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 بارتفاع درجة إنصهاره وقلة تبخره في درجات الحرارة العالية.

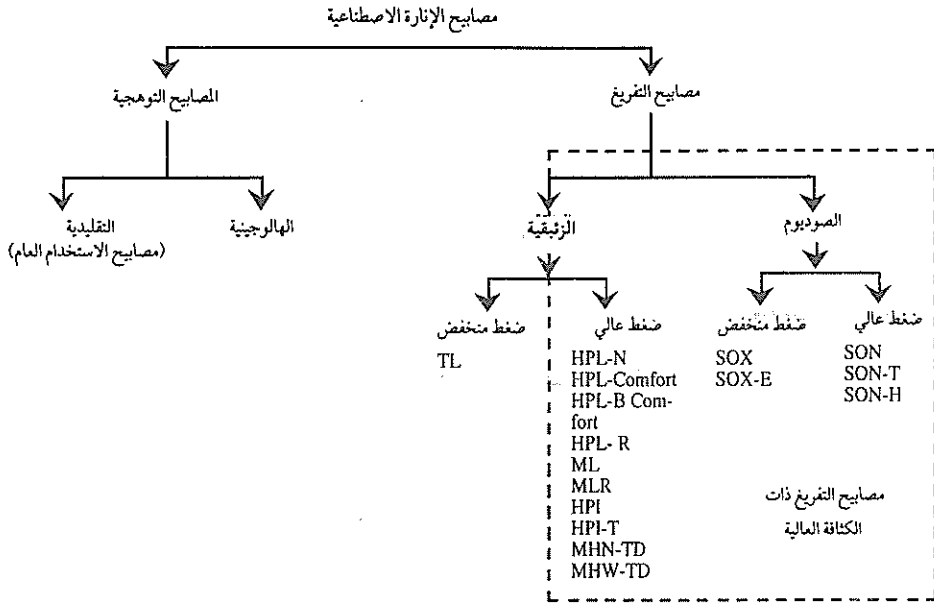
تتميز المصابيح التوهجية بأن فاعليتها المنيرة قليلة، حيث أن 7% فقط من الطاقة التي تستهلكها تتحول إلى أشعة مرئية، وترتفع هذه النسبة إلى 10% في المصابيح ذات القدرات العالية (بقدرتها أكبر من 100 واط)، وتتحول النسبة الباقية إلى حرارة في الحيز المحيط بالمصباح.

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 فولتية 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 (مصايح الاستخدام العام) (GSL) (General Service Lamps).

ب- المصابيح الهالوجينية.

أما مصايح التفريغ فتقسم إلى :

أ- المصابيح الزئبقية.

ب- مصايح الصوديوم

ويدورها فإن المصابيح الزئبقية تُقسم إلى مصايح الضغط المنخفض (المصابيح الفلورية) ، ومصايح الضغط العالي . وكذلك تقسم مصايح الصوديوم إلى مصايح الضغط المنخفض ومصايح الضغط العالي .

ونلاحظ من الشكل السابق أن جزءاً من مصايح التفريغ يطلق عليها اسم مصايح التفريغ ذات الكثافة العالية High Intensity Discharge Lamps ، وهي مصايح الصوديوم وجزء من المصابيح الزئبقية وهي ذات الضغط العالي ، حيث لا تعتبر المصابيح الفلورية من مصايح 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 الرقيقة 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. ولا بد 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.

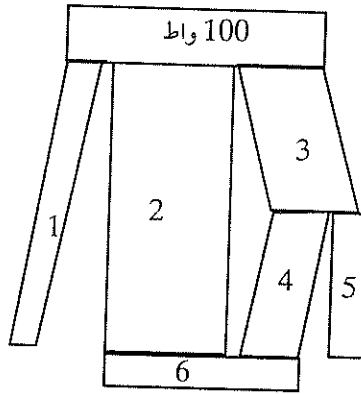
إن من أهم سلبيات المصابيح التوهجية هو تبخر فتيلة المصباح عند درجات الحرارة العالية حيث يتكثف هذا البخار على السطح الداخلي للبصيلة مؤدياً إلى إحتراق

المصابيح بسبب إسوداده . وللتخصص 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 مسماري Bayonet 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 تساوي 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 بفولطية التشغيل ، حيث أن تذبذب الفولطية يؤدي إلى تغير في خصائص هذه المصابيح التشغيلية .

تساوي حرارة اللون Colour Temperature لهذه المصابيح 2800 كلفن ، ولذلك فلها مظهر لون جيد .

أما الأنواع المختلفة لهذه المصابيح فهي :

- أ) مصابيح الإنارة ذات الاستخدام العام (GLS) General Lighting Service .
- ب) المصابيح العاكسة Reflector Lamps .
- ج) 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 . وتسمى 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 حرارة 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 المتألف Blended- Light Lamps والمصابيح المعدنية الهاليدية Metal halide Lamps تندرج تحت هذا النوع من المصابيح .

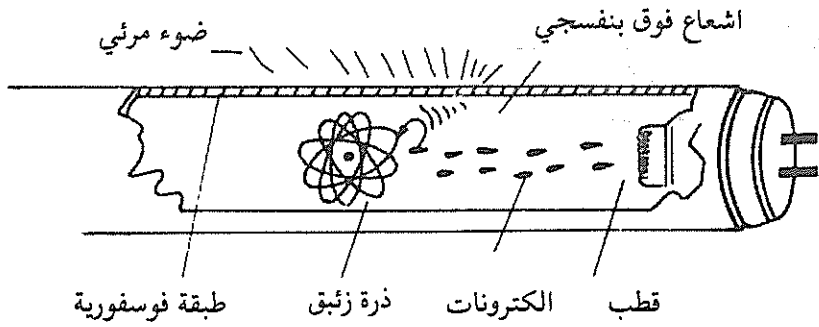
1.3.7 المصابيح الفلورية

يعتمد مبدأ عمل المصابيح الفلورية على ظاهرة حدوث تفريغ كهربائي بين قطبين بينهما جهد كهربائي . ويُعرف التفريغ الكهربائي بأنه مرور تيار كهربائي في خلال غاز خامل (أو بخار معدن) نتيجة تأين ذرات الغاز ، بحيث تصبح موصلة للتيار الكهربائي . ويحدث التفريغ الكهربائي في المصابيح الفلورية في بخار الزئبق .

وللحصول على إنارة من المصابيح الفلورية لا بد 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 الحامل الموجود داخل أنبوبة المصباح الفلوري عازلاً للكهرباء، حيث تكون ذراته وجزيئاته في حالة تعادل كهربائي. وحتى يصبح هذا الغاز موصلاً للكهرباء لابد من تأين ذرات هذا الغاز الحامل. ويتم تسخين القطبين Electrodes بوسيلة ما حتى تتحرر الإلكترونات. وتسمى هذه الظاهرة بظاهرة الانبعاث الإلكتروني - الحراري Thermoelectronic emission. وتحت تأثير الفولطية المسلطة على قطبي المصباح فإن الإلكترونات تتحرك إلى القطب الموجب (الأنود - Anode)، وأثناء حركتها تكتسب طاقة حركية، وتصطدم بذرات الزئبق، فتتأين الأخيرة نتيجة الاصطدام بها وتحرر 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) إنهاء الفراغ الغازي بين أحد القطبين وجدار الأنبوبة.

ب) تحريك مقدمة البلازما (الغاز المتأين حيث تكون كثافة الجزيئات المشحونة عالية) بمحاذاة محور الأنبوبة، فتتجه الإلكترونات إلى القطب الموجب، والأيونات الموجبة نحو القطب السالب.

ج) يحدث إنهاء للعازلية بين القطبين ويحدث التفريغ الكهربائي.

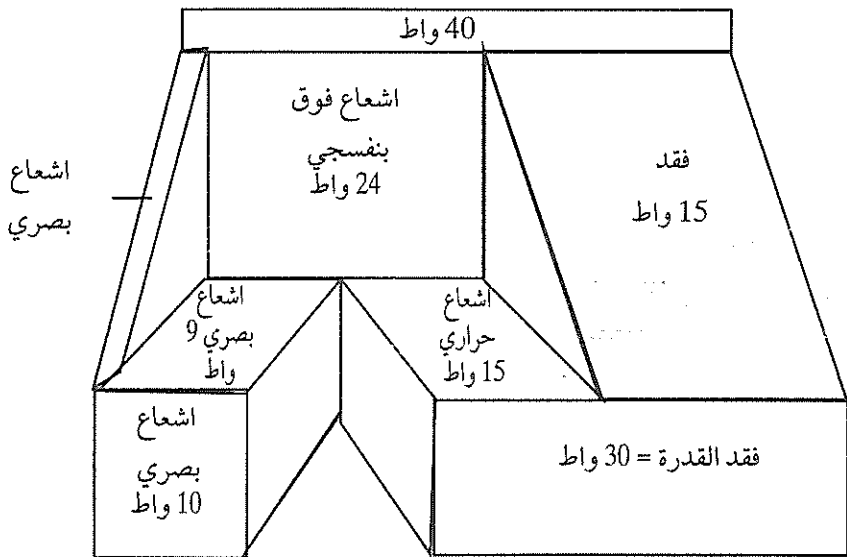
ويصاحب تكوين سبيل الإلكترونات وحدث التفريغ الكهربائي نقص كبير في مقاومة الثغرة الغازية في المصباح الفلوري، مما يؤدي إلى زيادة كبيرة في قيمة التيار الكهربائي، وبالتالي يحترق المصباح، ولذلك تُستخدم وسائل لتحديد قيمة التيار الكهربائي، وتسمى هذه الوسائل بالكوابح Ballasts.

وحتى يتم إشعال المصباح الفلوري فلا بد من تأين ذرات الزئبق. وتكون طاقة الإلكترونات أثناء تلك العملية أقل من طاقة التأين اللازمة لذرات الزئبق، ولذلك فلا تكفي هذه الطاقة لتحرير الإلكترونات من ذرة الزئبق عند اصطدامه 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 فتتهيجها 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 .

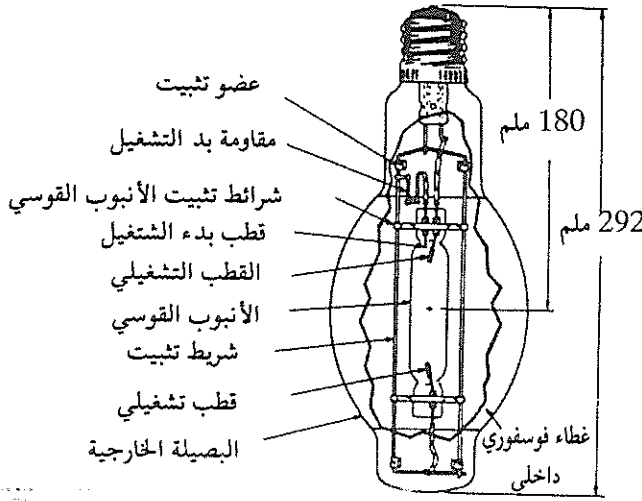


شكل 4-

مخطط القدرة للمصباح الفلوري

2.3.7 المصابيح الزئبقية ذات الضغط العالي

يكون الزئبق في المصباح الزئبقي ذي الضغط العالي High- 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 ميغا باسكال (MPa) . وتضاف كمية صغيرة من غاز الأرغون (غاز خامل) لتسهيل عملية الأشتعال (بدء التفريغ) ، وإطالة العمر التشغيلي للأقطاب . يتكون المصباح الزئبقي (شكل-5) من بصيلتين :

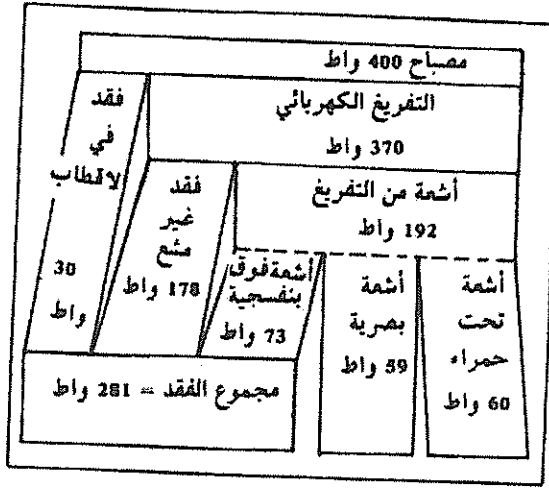


شكل-5

الشكل العام لمصباح زئبقي 400 واط

البصيلة الداخلية ، والبصيلة الخارجية . تُصنع البصيلة الداخلية من مادة الكوارتز Quartz لتحمل درجات الحرارة العالية ، وفيها يتكون القوس الكهربائي 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 . وتملأ المنطقة ما بين البصيلتين 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 تمثيلاً 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 يُجسد 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 كبح

خارجي لتوازن تيار المصباح ، بينما في مصابيح الضوء المتألف 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 يتألفان ليشكلان طيفاً واحداً يُعطي هذا المصباح خصائصه التشغيلية ، ومن هنا جاءت تسمية الضوء المتألف .

تراوح فاعلية هذه المصابيح بين 11 إلى 26 لومن/ واط اعتماداً 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 .

تراوح الفاعلية المنيرة لهذه المصابيح واعتماداً على قدرة المصباح من 65 إلى 90 لومن/ واط ، ومتوسط حرارة اللون لها يساوي 4000 كلفن .

4.7 مصابيح الصوديوم

مصابيح الصوديوم هي مصابيح تفريغ ، وحسب ضغط الغاز الموجود بداخلها تنقسم إلى نوعين وهما :

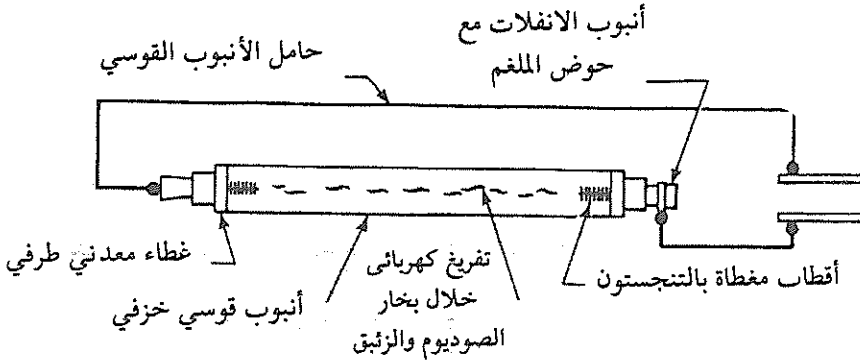
- مصابيح الصوديوم ذات الضغط المنخفض Low pressure sodium lamps .
 - مصابيح الصوديوم ذات الضغط العالي High pressure sodium lamps .
- وسنستعرض باختصار هذين النوعين .

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

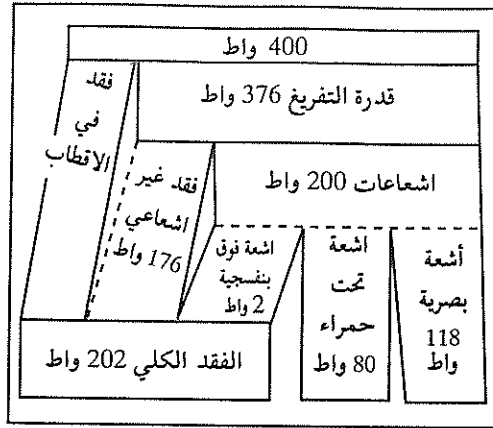
تعتبر مصابيح الصوديوم ذات الضغط العالي High pressure sodium lamps (SOX) من أحدث أنواع المصابيح التي تم تطويرها للحصول على فاعلية منيرة تُعادل ضعف الفاعلية المنيرة التي نحصل عليها باستخدام مصابيح الزئبق. ويبين شكل 8- الشكل العام لهذه المصابيح. لقد تم استخدام الصوديوم في هذه المصابيح لأن من خصائصه أنه 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 الصوديوم. وقد وُجد أن أنسب مادة هي مادة Transluscent Sintered Alumina. وتساوي الفاعلية المنيرة لهذه المصابيح في المتوسط 120 لومن/ واط.



شكل 8-

الشكل العام لمصباح الصوديوم ذي الضغط العالي .

يبين شكل 9- مخططاً تمثيلاً 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 صنع 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.

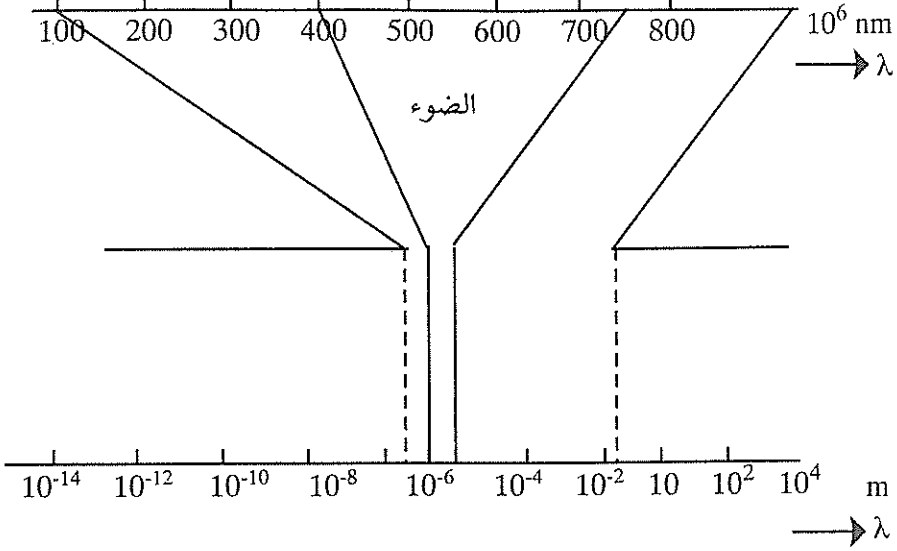
5.7 مصطلحات الإنارة

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 الإشعاع Radiation، والذي هو عبارة عن إنتقال الطاقة في شكل أمواج أو جزيئات كهرومغناطيسية.

ويمكن تفسير الإشعاع باستخدام النظرية الكهرومغناطيسية أو نظرية الكم-Quan

Electromagnetic spectrum . ويحتوي الطيف الكهرومغناطيسي tum theory
 على إشعاعات بأطوال وترددات مختلفة . وبين شكل 10- الطيف الكهرومغناطيسي ،
 وما يهمننا من هذا الطيف هو الطيف 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 .

$$v = \frac{c}{\lambda} \quad (1)$$

حيث أن :

v : 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 استخدام 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 .

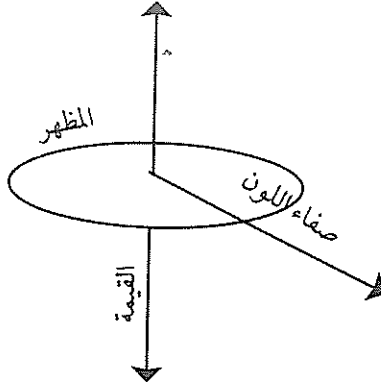
✓ (ب) القيمة Value .

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 .

✓ (ج) صفاء أو كثافة اللون Chroma .

وتشير إلى صفاء اللون .

ويبين شكل -11 ترتيبات هذه الأبعاد في الفراغ .



شكل- 11

ترتيبات المظهر والقيمة وشفاء اللون .

وباستخدام هذه الأبعاد يمكن توصيف اللون . فمثلاً، فإذا تم وصف اللون بـ G 6/4 فإن ذلك يعني أن مظهر اللون أخضر وقيمه 6 وشفاء 4 .

إن معرفة قيمة اللون مهمة لحساب معاكسة السطوح، فمعاكسة السطح تساوي :

$$\rho = \frac{V(V-1)}{100} \quad (2)$$

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 سخّن 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 . ولا بد أن نؤكد أن طريقة حرارية اللون تستخدم فقط لمصادر الإنارة التي تشع إشعاعات متصلة فقط . وفيما يلي حرارية اللون لبعض مصادر الإنارة :

2000 كلفن	الشمعة
2500 كلفن	المصباح التوهجي المُفرغ
2900 كلفن	المصباح التوهجي المملوء بغاز خامل
5000 كلفن	ضوء الشمس عند الظهر
6500 كلفن	السماء الملبدة بالسحاب
10000 كلفن	السماء الزرقاء الصافية

فمثلاً، فإن حرارة 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 الإشعاعي Radiant flux أحياناً بالدفق الإشعاعي الطاقى Radiant energy flux أو القدرة الإشعاعية. والدفق الإشعاعي هو المعدل الزمني لسريان الطاقة الإشعاعية في اتجاه معين. وحدة قياس الدفق الإشعاعي هو الواط. والطاقة الإشعاعية 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 الإشعاعي لهذا المصدر تساوي:

$$Q_{\lambda} = \frac{dQ}{dt}$$

وتُستخدم بكثرة القيمة المتوسطة للدفق الإشعاعي في زمن مقداره t . وتساوي القيمة المتوسطة للدفق الإشعاعي مايلي:

$$Q_{\lambda,av} = \frac{Q}{t} \quad (3)$$

حيث $Q_{\lambda,av}$ - القيمة المتوسطة للدفق الإشعاعي.

ويتصف الدفق الإشعاعي 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 متمائل 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 :

$$I = \frac{dF}{dW} \quad (4)$$

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 :

$$I = \frac{F}{W} \quad (5)$$

وتُعرف الشدة المنيرية لمصدر ضوء نقطي في إتجاه معلوم بأنها الدفق المنير الذي يشعه مصدر الضوء النقطي في وحدة الزاوية المجسمة في ذلك الإتجاه .

من هنا فإن الشدة المنيرية هي ذلك الدفق المنير الوارد إلى سطح صغير ومركّز 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 .

وتُعرف الزاوية المجسمة Solid angle (W) بأنها النسبة بين المساحة الكروية A_s إلى مربع نصف قطر الكرة R .

$$W = \frac{A_s}{R^2} \quad (6)$$

إن وحدة قياس الزاوية المجسمة هي ستيريديان Steradian ، وهي عبارة عن تلك

الزاوية المحسمة والمحصورة بين سطح كروي مساحته مساوية لمربع نصف قطر تلك الكرة، أي :-

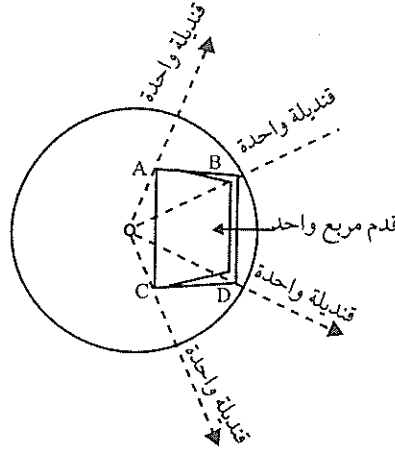
$$W = \frac{A_s}{R^2} = \frac{R^2}{R^2} = 1 \text{Sr} \quad (7)$$

كما ذكرنا سابقاً فإن وحدة قياس الشدة المنيرة هي القنديلة . وقد جاء مفهوم القنديلة من الشمعة (القنديل) الذي كان يستخدم سابقاً كمصدر إنارة . وحتى تصور مفهوم القنديلة دعونا نتخيل شمعة أو قنديلاً يشع في غرفة معتمة ، ففي جميع الاتجاهات فإن الشدة المنيرة لهذا المصدر تساوي قنديلة . وأحياناً يُستخدم مفهوم قدرة الشمعة Candle power ، إلا أن القنديلة هي الوحدة الرسمية المستخدمة .

وتستخدم القنديلة لمقارنة الشدة المنيرة 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 ، وقيمه تساوي لومن واحد ، إلى الزاوية المحسمة التي تضم هذا الدفق وتساوي ستيرديان واحد ، أي أن :

$$\text{Cd} = \frac{1 \text{Lm}}{1 \text{Sr}} \quad (8)$$

وبين شكل 12- العلاقة بين المساحة الكروية ونصف القطر والزاوية المحسمة والقنديلة .



شكل 12-

العلاقة بين المساحة الكروية ، ونصف القطر والزاوية المحسمة

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

تُعرف 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:

$$E = \frac{dF}{dA} \quad (9)$$

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:

$$E = \frac{F}{A} \quad (10)$$

حيث أن :

F - الدفق المنير الوارد إلى ذلك السطح باللومن .

A - مساحة ذلك السطح بالتر 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 بالتر المربع، فإن وحدة قياس الاستنارة هي اللوكس Lux . من هنا
فإن :

$$f_c = \frac{1 \text{ lm}}{1 \text{ ft}^2}$$

$$\text{lux} = \frac{1 \text{ lm}}{1 \text{ m}^2}$$

أما العلاقة بين اللوكس والقدم قنديلة فتساوي :

$$1 \text{ fc} = \frac{1 \text{ lm}}{1 \text{ ft}^2} = \frac{1 \text{ lm}}{(0.3048)^2 \text{ m}^2} = 10.76 \text{ Lux}$$

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 فلا بد من الرجوع إلى الجداول الخاصة المعدة لهذا الغرض. ولا بد 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 الاستنارة العملية في الظروف القياسية.

5.5.7 الانارية

تتميز الأجسام المختلفة بخصائص 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 الإتجاه على مساحة ذلك السطح. فإذا كانت الأشعة الصادرة عن سطح مضيء والمتجهة إلى العين عمودية على ذلك السطح فإن الإنارية تساوي :

$$L = \frac{I}{A} \quad (11)$$

حيث أن:

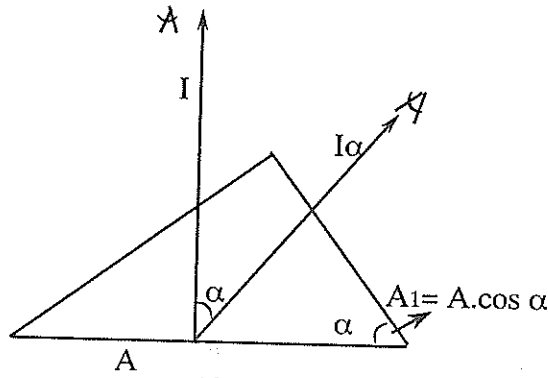
L - الإنارية (قنديلة / المتر المربع).

I - الشدة المنيرة (قنديلة).

A - مساحة السطح (متر مربع).

وحدة قياس الانارية هي قنديلة/ المتر المربع (Cd / m^2).

أما إذا كان خط النظر (من عين المشاهد) يشكل زاوية مقدارها α مع لخط العمودي على ذلك السطح (شكل 13) فإن الانارية تساوي:



شكل 13-

$$L = \frac{I\alpha}{A_1} \quad (12)$$

حيث أن:

$$A_1 = A.\cos \alpha \quad (13)$$

من هنا فإن الانارية تساوي:

$$L = \frac{I\alpha}{A.\cos \alpha} \quad (14)$$

وتستخدم المعادلات السابقة اذا كان توزيع الانارية منتظماً .
 أما إذا كان توزيع الانارية غير منتظم ، فإن الانارية تساوي :

$$L = \frac{dI\alpha}{dA \cdot \cos \alpha} \quad (15)$$

وفي حالة كون مصدر الضوء على شكل جسم كروي بقطر يساوي D وينشر دفقاً
 منيراً متساوياً في كافة الاتجاهات ، وكانت الشدة الميزية تساوي I ، فإن الانارية في هذه
 الحالة تساوي :

$$L = \frac{I}{Asp} \quad (16)$$

وبما أن مسقط الكرة في اي إتجاه يساوي مساحة الكرة $\frac{\pi D^2}{4}$ ، فإن متوسط
 الإنارية في هذه الحالة يساوي :

$$L = \frac{4 I}{\pi D^2} \quad (17)$$

وتساوي الإنارية المتوسطة لمصدر ضوء اسطواني مائلي :

$$L = \frac{I}{DL_4} \quad (18)$$

حيث أن :

D- قطر الأسطوانة (متر) .

L- طول الاسطوانة (متر) .

ولو عوضنا في معادلة رقم (15) قيمة الشدة المنيرة من معادلة رقم (4) فإن الإنارية
 تساوي :

$$L = \frac{dF}{dWdA \cos \alpha} \quad (19)$$

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 المُعين ، على حاصل ضرب زاوية المخروط المُجسّمة في مساحة المسقط العمودي لعنصر السطح على مستوى عمودي على الاتجاه المُعين ، ويكون الدفق المنير إما خارجاً من السطح أو ماراً به أو أصلاً 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 نيت . وتتراوح إنارية المصباح الفلوري بين 5250 إلى 8400 نيت . وتتراوح للمصباح التوهجي بين 525000 إلى 1050000 نيت ، وللمصباح الزئبقي ذي الضغط العالي من بين 2100000 إلى 6300000 نيت .

وإذا كان الدفق المنير مقاساً باللومن والمساحة بالقدم المربعة فإن وحدة قياس الإنارية هي قدم / لامبرت (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 :

$$1 \text{ cd / in}^2 = 144 \text{ fL} = 452 \text{ FL}$$

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 :

$$E = \frac{dF}{dA} \quad (20)$$

فإذا اخذنا بعين الاعتبار تعريف الزاوية المجسمة والتي تساوي :

$$dW = \frac{dA}{R^2} \quad (21)$$

أي أن :

$$dA = R^2 dW \quad (22)$$

وبعد تعويض قيمة dA من المعادلة السابقة في معادلة (20) ، فإن الاستتارة تساوي :

$$E = \frac{dF}{R^2 dW} \quad (24)$$

كذلك فإن الشدة المنيرة تساوي :

$$I = \frac{dF}{dW} \quad (25)$$

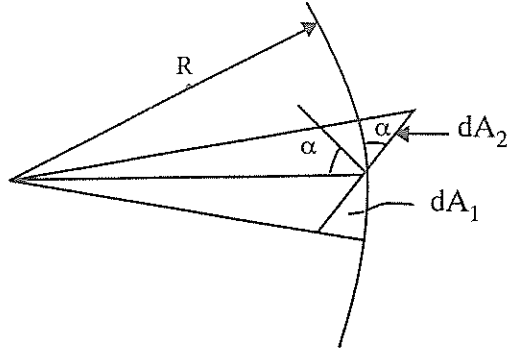
وبتعويض قيمة الشدة المنيرة من معادلة (25) في معادلة (24) ، فإننا نحصل

على :

$$E = \frac{I}{R^2} \quad (26)$$

ونستنتج من المعادلة السابقة أن إستتارة نقطة على سطح عامودي على إتجاه الدفق المنير الوارد إليه تتناسب طردياً مع الشدة المنيرة لذلك الدفق المنير في إتجاه السطح ، وتتناسب عكسياً مع مربع المسافة ما بين تلك النقطة وموقع مصدر الضوء .

أما إذا كان السطح المراد حساب إستتارته غير عمودي على مستوى الدفق المنير الوارد إليه ، بل يشكل معه زاوية مقدارها α كما في شكل 14- فيمكننا أن نحسب الاستتارة بمعرفة الشدة المنيرة كما في معادلة (25) بعد معرفة العلاقات التالية :



شكل 13-

$$dA_2 = \frac{dA_1}{\cos \alpha} \quad (27)$$

وتساوي إستنارة السطح dA_2 ما يلي :

$$E = \frac{dF}{dA_2} = \frac{dF \cdot \cos \alpha}{dA_1} \quad (28)$$

وبما أن :

$$\begin{aligned} dA_1 &= dA_2 \cos \alpha \\ dA_1 &= dW \cdot R^2 \end{aligned}$$

فإن الإستنارة تساوي :

$$I = \frac{dF}{dW} \quad (29)$$

$$I = \frac{dF \cdot \cos \alpha}{dW \cdot R^2} = \frac{I}{R^2} \cdot \cos \alpha \quad (30)$$

7.7 جداول الاستنارة 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 لا بد من الرجوع إلى النشرات الفنية الصادرة عن الشركات الصانعة.

ويجب زيادة الاستنارة القياسية العملية درجة واحدة في الحالات التالية:

1- إذا حدثت نتائج جديدة غير متوقعة بمعنى التكاليف أو الخطر 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 الاستشارة المحبذ للمناطق الداخلية

نوع المهمة	الاستشارة (لو كس)	الاستخدام
المناطق العامة المحاطة بأجواء مظلمة .	20	(أ)
المناطق العامة لبيان الاتجاه ولفترات وجيزة .	30	الانارة العامة لمناطق الاستخدام القليل أو التي تحتوي على مهمات بسيطة .
	50	
	75	
الغرف التي لا تستخدم بشكل متواصل مثل مناطق التخزين .	100	(ب)
	150	
	200	
مهمات بمتطلبات رؤية محدودة مثل قاعات المحاضرات .	300	المناطق العامة التي يتم فيها العمل بالداخل
	500	
	750	
مهمات بمتطلبات رؤية عادية ، مثل المكاتب .	1000	(ج)
	1500	
	2000	
مهمات بمتطلبات خاصة مثل عمل الحفر اليدوي .	3000	إنارة إضافية لتنفيذ مهمات دقيقة جداً .
	5000	
	7500	
مهمات تتطلب دقة عالية مثل تجميع الالكترونيات الصغيرة .	10000	
	15000	
	20000	
مهمات خاصة جداً مثل غرف الجراحة .	15000	
	20000	

جدول (3)

الاستشارة القياسية العملية للمرافق المختلفة

مظهر اللون	مستوى قياس الاستشارة	الاستشارة العملية القياسية (لوكس)	المرفق
			البيوت السكنية :
			غرف المعيشة :
متوسط ، دافئ	مستوى العمل	50	عام
متوسط ، دافئ	المهمة	100	قراءة عرضية
متوسط ، دافئ	المهمة	300	الخياطة والرتق
			غرف الدراسة :
متوسط ، دافئ	المهمة	300	المكتب والقراءة المطولة
			غرف النوم :
متوسط ، دافئ	الأرضية	50	عام
متوسط ، دافئ	السريـر	150	رأس السريـر
			المطابخ :
متوسط ، دافئ	سطح العمل	300	أماكن العمل
متوسط ، دافئ	الأرضية	100	الحمامات
متوسط ، دافئ	الأرضية	150	القاعات واستراحات الدرج
متوسط ، دافئ	الدرجة	100	الدرج والسلالم
متوسط ، دافئ	المنضدة	300	المشاغل البيتية
متوسط ، دافئ	الأرضية	50	المرائب
			الفنادق
			قاعات الدخول :
متوسط ، دافئ	1.2م فوق الأرضية	70	عام
			الاستقبال والمحاسبة
متوسط ، دافئ	المنضدة	300	والغرف العامة

مظهر اللون	مستوى قياس الاستنارة	الاستنارة العملية القياسية (لوكس)	المرفق
متوسط ، دافئ	الطاولة	150	الغرف العامة : أماكن شرب القهوة والبار
متوسط ، دافئ	الطاولة	100	غرف الأكل والمطعم :
متوسط ، دافئ	المنضدة	300	عام طاولة المحاسبة
متوسط ، دافئ	1.2م فوق الأرضية	100	الردهات وقاعات الانتظار
متوسط ، دافئ	المنضدة	150	غرف الكتابة
متوسط ، دافئ	الأرضية	150	غرف ايداع الملابس
متوسط ، دافئ	مستوى العمل	300	المصبغة
دافئ	أرضية القبو	150	القبو والمخزن الأرضي
			المكاتب :
			مكاتب ذات طابع كتابي
متوسط ، دافئ	المنضدة	750	مكاتب ذات طابع كتابي وطباعة
متوسط ، دافئ	النسخة	300	غرف الأضاير
متوسط ، دافئ	الطاولات	750	غرف المؤتمرات
متوسط ، دافئ	المنضدة	500	مكاتب المديرين
			قاعات العمليات المصرفية :
متوسط ، دافئ	المكتب	500	أماكن العمل
متوسط ، دافئ	الأرضية	300	الأماكن العامة
متوسط ، دافئ	مستوى العمل	500	غرف الحاسبات الإلكترونية
متوسط ، دافئ	مستوى العمل	500	غرف إدخال المعلومات
بارد ، دافئ ، متوسط	اللوحه	750	مكاتب الرسم
بارد ، دافئ ، متوسط	الطاولة	300	غرف طباعة المخططات
			المتاجر :
بارد ، متوسط ، دافئ	المنضدة	500	المتاجر التقليدية
متوسط ، دافئ	رأسى على البضاعة المعروضة	500	متجر الخدمة الذاتية

الموقف	الاستنارة العملية القياسية (لوكس)	مستوى قياس الاستنارة	مظهر اللون
الأسواق المركزية	500	البضاعة	متوسط ، دافئ
معارض السيارات	500	رأسى 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
السيبورات	500	المستوى العمودي	متوسط ، دافئ
طاولوات العرض	500	الطاولة	متوسط ، دافئ
قاعة الامتحانات والناقشات	500	المكتب	متوسط ، دافئ
المكتبات :			
رفوف وأكدااس الكتب	150	رأسى على مستوى الأرض	متوسط ، دافئ
طاولوات 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
السيبورة	500	المستوى الرأسى	متوسط ، دافئ
مباني محطات النقل * :			

* المطارات ، الموانئ ، البرية ومحطات السكك الحديدية .

مظهر اللون	مستوى قياس الاستنارة	الاستنارة العملية القياسية (لوكس)	المرفق
متوسط ، دافئ	المقعد أو الطاولة	500	أماكن الاستقبال : الجمارك ، دائرة الهجرة مكاتب شراء التذاكر
متوسط ، دافئ	المنضدة	500	عام
متوسط ، دافئ	الأرضية	150	أماكن الانتظار
متوسط ، دافئ	مستوى المقعد	200	المطاعم ، البارات ، المطابخ المستشفيات :
		كما في الفنادق	غرف التخدير :
متوسط	المقعد أو النقالة	300	عام
دافئ	رأس النقالة	1000	موضعي غرف الاستشارة الطبية :
متوسط ، دافئ	مستوى العمل	300	عام
دافئ	الكتبة	1000	فحص
دافئ ، متوسط	الأرضية	150	الممرات العامة غرف المعالجة المكثفة :
متوسط	مستوى العمل	50-30	السري
متوسط	مستوى العمل	100	الممرات بين الأسرة
متوسط	السري	400	المراقبة
دافئ	السري	1000	المراقبة الموضعية المختبرات :
متوسط ، دافئ	المقعد	300	عام
متوسط ، دافئ	المقعد	500	فحص
متوسط ، دافئ	المكتب	300	مكان المرضات
دافئ	المكتب	30	المكاتب ليلاً
			قاعة العمليات :
متوسط	مستوى العمل	500-400	عام
دافئ	الطاولة	50000-10000	موضعي

ملاحظة: في المنازل المخصصة للعجزة وكبار السن يجب زيادة مستويات الاستنارة بنسبة 50% إلى 100% مع مراعاة تجنب الإبهار، وكذلك يجب 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 fac- tor، على فرض أن الاستنارة المباشرة موزعة بشكل منتظم في جميع الاتجاهات. إن المعادلة الرئيسية المستخدمة في الحساب هي كما يلي:

$$N = \frac{E_m \cdot A}{n F_L \cdot UF \cdot MF} \quad (31)$$

حيث أن:

N - عدد وحدات الإنارة اللازمة للحصول على إستنارة معينة.

E_m - الإستنارة القياسية العملية، لوكس.

A - مساحة الحيز أو المرفق، متر مربع.

n - عدد 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، لا بد لنا من حساب دليل الغرفة - Room In-dex كما يلي:

$$K_r = \frac{L \cdot W}{H_m (L + W)} \quad (32)$$

حيث أن:

K_r - دليل الغرفة .

L - طول الغرفة ، متر .

W - عرض الغرفة ، متر .

H_m - إرتفاع التعليق لوحدة الإنارة ، متر .

جدول (4)

معامل الإفادة للتوزيعات المختلفة للكثافة المنيرة

عامل الإفادة	التوزيع التقريبي للضوء الصادر من وحدة الإنارة		توزيع الكثافة المنيرة
	نسبة الضوء الأعلى	نسبة الضوء الأسفل	
0.6-0.45	10-0	90-100	مباشرة Direct
0.55-0.45	40-10	60-90	شبه مباشر Semi-direct
0.5-0.35	60-40	40-60	إنتشار عام General-Diffuse
0.45-0.35	90-60	10-40	شبه غير مباشر Semi-Indirect
0.35-0.25	100-90	0-10	غير مباشر
0.20-0.15	-	-	إنارة الزوايا غير مباشرة

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 لوحدة الإنارة يساوي:

$$H_m = H - H_L - H_p \quad (33)$$

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:

$$H_m = H - H_L - 0.75 \quad (34)$$

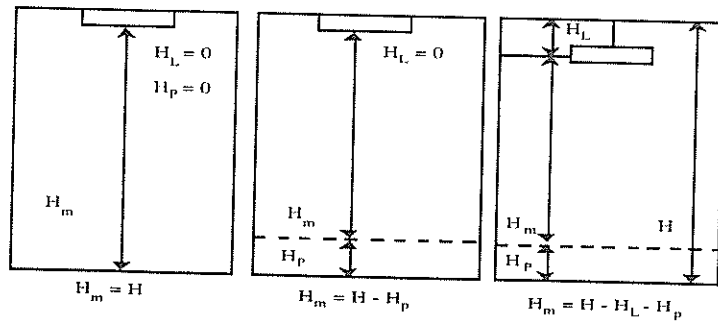
أما إذا كانت وحدة الإنارة مركبة على سقف الغرفة مباشرة، أو من النوع الختفي بالسقف Recessed، فإن $H_L = 0$ ، ويساوي إرتفاع التعليق في هذه الحالة:

$$H_m = H - 0.75 \quad (35)$$

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:

$$H_m = H \quad (36)$$

ويبين شكل 15- الحالات المختلفة لإرتفاع 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:

$$K_r = \frac{W}{H_m} \quad (37)$$

وعادة، فإن الجداول تبين عامل الإفادة للدليل 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 الابتدائية - Initial illumination والاستنارة الأكيدة Maintained illumination، أي أن:

$$\text{عامل الصيانة} = \frac{\text{الاستنارة الأكيدة}}{\text{الاستنارة الابتدائية}}$$

وهو دوماً أقل من 1.

وبشكل عام، فإن عامل الصيانة يعتمد على حالة المرفق من حيث الأوساخ والأثرية 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 الابتدائية بسبب التلوث والغبار وتقادم عمر وحدات الإنارة والغرف.

ونشير في هذا المقام إلى أن معامل الإنارة يعتمد أيضاً على معاكسات Reflectances الحيز، والمقصود هو معاكسات السطح والجدران والأرضية، وهذه تعتمد بشكل رئيسي على ألوان السطوح الداخلية للمرافق المختلفة. وفي حسابات التصميم، عادة يتم اعتماد القيم التالية 0.3, 0.5, 0.8 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 اعتماداً 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 $65 \times 80 = 5200$ 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 دائرة باستخدام مفتاحين -Lighting switch . es

عند إجراء حسابات الاستنارة للمرافق المختلفة بطريقة يدوية فيجب 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 مثلاً على كيفية استخدام طريقة اللومن في حساب عدد وحدات الإنارة المطلوبة لرفق .

مثال :

إحسب عدد وحدات الإنارة اللازمة لإنارة مكتب طوله 8 أمتار وعرضه 5 أمتار وإرتفاعه 3 أمتار .

اسم المشروع :	
الغرفة :	

طبيعة الغرفة/ المرفق	
الاستنارة القياسية	لو كس
لون الضوء	
عامل الصيانة	MF

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	

معطيات المصباح المستخدم	
قدرة المصباح بدون كايح	واط
قدرة المصباح والكايح	واط
لون الضوء	
الدفق المنير F _L	لومن

الحسابات	
عدد وحدات الإنارة	N = $\frac{E \cdot A}{n \cdot F_L \cdot UF \cdot MF}$
عدد الوحدات المختارة	N
الاستنارة الأكيدة	E = $\frac{N \cdot n \cdot F_L \cdot UF \cdot MF}{A}$

معطيات وحدة الإنارة	
نوع وحدة الإنارة	
عدد المصابيح في الوحدة	n
كثافة تعليق الوحدة	
عامل الإفادة	UF

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 :

$$H_m = 3 - 0 - 0.75 = 2.25 \text{ m}$$

ويبين شكل 17- جدول عامل الإفادة لهذا النوع من وحدات الإنارة اعتماداً 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 0.3, 0.5, 0.8.

ولإيجاد عامل الإضاءة للدليل الغرفة 1.37 نستخدم عامل الإضاءة للدليل الغرفة 1.25 وعامل الإضاءة للدليل 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:

$$N = \frac{E \times A}{n F_L \cdot UF \times MF}$$

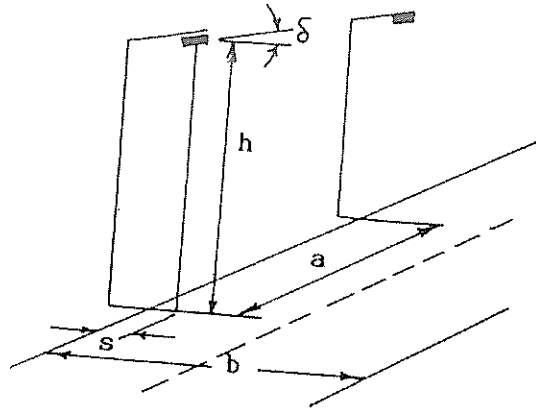
$$N = \frac{500 \times 8 \times 5}{2 \times 3450 \times 0.6088 \times 0.8} = 5.95 \approx 6$$

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 كبيرة لعملية إنارة الطرق بحيث تحقق الهدف الذي من أجله تم إنشاء هذه الإنارة. وتستخدم 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) Spacing فهي تساوي المسافة الأفقية بين عمودين في جهة واحدة، وأما بروز (Overhang) وحدة الإنارة s فهي المسافة بين مسقط مركز وحدة الإنارة على سطح الطريق وحافة الرصيف Kerb. وتعرف زاوية الميل Angle of inclination بأنها ميل وحدة الإنارة بالنسبة للمستوى الأفقي. في حسابات الاستئارة للطرق نلجأ إلي مفهوم عرض الطريق الفعلي Effective Width وهو يساوي:

$$W_{\text{eff}} = b - s$$

وإذا كانت وحدة الإنارة خلف الطريق فإن (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 يُحيد استخدام هذا الترتيب إذا كان إرتفاع التعليق أكبر أو يساوي عرض الطريق الفعلي، أي أن:

$$H \geq W_{\text{eff}}$$

ب- الترتيب المتمايل Staggered .

يُحبد استخدام هذا الترتيب إذا كان إرتفاع التعليق مساوياً على الأقل ثلثي عرض الطريق الفعلي ، أي أن :

$$H = \frac{2}{3} W_{\text{eff}}$$

ج- الترتيب المتعكس (Opposite)

يُستخدم هذا الترتيب إذا كان إرتفاع التعليق أقل من ثلثي عرض الطريق الفعلي ، أي أن :

$$H < \frac{2}{3} W_{\text{eff}}$$

د- التعليق على أسلاك Spanwire .

إذا كان عرض الطريق صغيراً لا يسمح بنصب أعمدة ، فيحبد 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 :

$$H \geq W_{\text{eff}}$$

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 .

ويُستخدم مفهوم بروز وحدة الإنارة لتحديد عرض الطريق الفعلي ، وبالتالي فإن إزديتاد 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 يجب أن تحدد زاوية الميل بـ 10 درجات .

ولحساب شدة الاستنارة على الطرق تُستخدمُ المعادلة الرئيسية التالية :

$$E_{av} = \frac{n \cdot F_L \times \eta_B \times LLF}{a \times W_{eff}}$$

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 .

W_{eff} - عرض الطريق الفعلي .

ويبين جدول 7- متوسط الاستنارة (الاستنارة الأكيدة) على السطح الأفقي للطرق المختلفة .

أما جدول 8- فيبين متوسط الاستنارة لمرات المشاة .

جدول (7)

متوسط الاستنارة على السطح الأفقي للطرق

منطقة سكنية	منطقة متوسطة	منطقة تجارية	تصنيف الطريق
لوكس	لوكس	لوكس	
6	6	6	طريق حرة
11	13	15	طريق النقل السريع
11	15	22	طريق رئيسي
6	0	-	طريق جامع (Collector)
4	6	10	طريق محلي
4	4	6	الزقاق (Alley)

جدول (8)

متوسط الاستنارة لممرات المشاة المختلفة

المتوسط لأجل سلامة المشاة		متوسط	تصنيف ممرات المشاة
الارتفاع 5-10 أمتار	الارتفاع 3-5 أمتار	الإضاءة	
لوكس	لوكس	لوكس	
43	22	10	ممرات المشاة بجانب الطرق وممرات الدراجات الهوائية نوع أ:
22	11	6	منطقة تجارية
9	4	2	منطقة متوسطة
			منطقة سكنية
11	6	5	ممرات المشاة الصغيرة بجانب الطرق وممرات الدراجات الهوائية نوع ب:
-	54	43	الممرات في الحدائق
-	4	3	أنفاق المشاة
-	9	6	جسور المشاة
-			أدراج المشاة

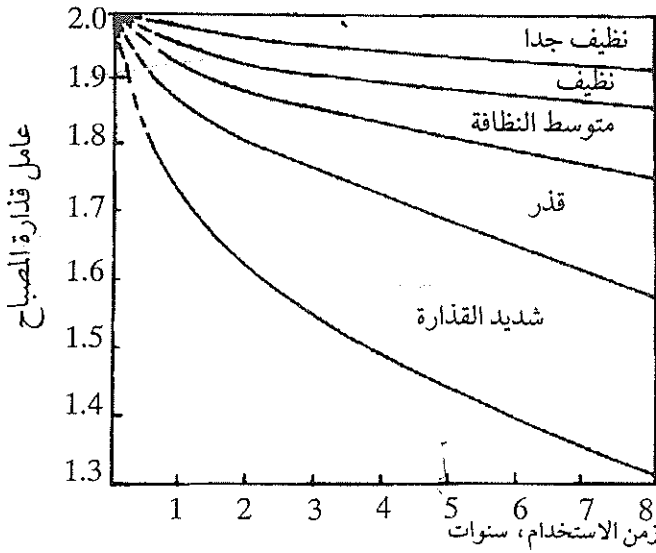
- أما عامل فقد الضوء LLF Light loss factor فيعتمد على عدة عوامل ، ويمكننا لغايات الحساب إعتبار عامل فقد الضوء مساوياً:

$$LLF = LDD \times LLD$$

حيث أن :

LDD- عامل قذارة المصباح Luminaire dirt depreciation ، ويمكن تحديد قيمته باستخدام شكل -19 .

LLD- عامل إستهلاك لومينات المصباح Lamp Lumen depreciation .
وكمعدل وسطي يمكن إعتبار أن عامل إستهلاك لومينات 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 التلوث 300 ميكروغرام/م³.

ج- 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 مغلقة 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	$\frac{b'}{h}$	$\eta_e = \eta_e(U/H)$	Utilization factor η_e
$s = 0$	$\delta = 0$		$\frac{b'}{h} = \frac{b}{h}$		η_{e1}
$s = 0$	$\delta > 0$		$\frac{b'}{h} = \tan \delta$ $\frac{b_2'}{h} = \frac{b - \tan \delta}{1 + \frac{b}{h} \tan \delta}$		$\eta_{e1} + \eta_{e2}$
$s > 0$	$\delta = 0$		$\frac{b_1'}{h} = \frac{s}{h}$ $\frac{b_2'}{h} = \frac{b-s}{h}$		$\eta_{e1} + \eta_{e2}$
$s > 0$	$\delta > 0$		$\frac{b_1'}{h} = \frac{s}{h} + \tan \delta$ $\frac{b_2'}{h} = \frac{b-s}{h} - \tan \delta$ $\frac{b_3'}{h} = 1 + \frac{b-s}{h} \tan \delta$		$\eta_{e1} + \eta_{e2}$
$s < 0$	$\delta < 0$		$\frac{b_1'}{h} = \frac{s'}{h}$ $\frac{b_2'}{h} = \frac{b+s'}{h}$		$\eta_{e2} - \eta_{e1}$
$s < 0$	$\delta > 0$		$\frac{b_1'}{h} = \frac{\tan \delta - \frac{s'}{h}}{1 + \frac{s'}{h} \tan \delta}$ $\frac{b_2'}{h} = \frac{b+s'}{h} - \tan \delta$ $\frac{b_3'}{h} = \frac{b+s'}{h} + \tan \delta$		$\eta_{e2} - \eta_{e1}$
$s < 0$	$\delta > 0$		$\frac{b_1'}{h} = \frac{s'}{h} - \tan \delta$ $\frac{b_2'}{h} = \frac{b+s'}{h} - \tan \delta$ $\frac{b_3'}{h} = \frac{b+s'}{h} + \tan \delta$		$\eta_{e2} - \eta_{e1}$

يتضح من الجدول السابق أن عامل الإفادة بجانب الشارع Z_{B1} يعتمد على $\frac{b_1'}{h}$ وعامل الإفادة بجانب وحدة الإنارة Z_{B2} يعتمد على $\frac{b_2'}{h}$. وبحساب العلاقات السابقة يمكننا إيجاد عامل الإفادة بالرجوع إلى المنحنيات الخاصة بوحدات الإنارة المستخدمة.

مثال :

طريق طوله 10 كيلومترات، 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 لومنتات 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.

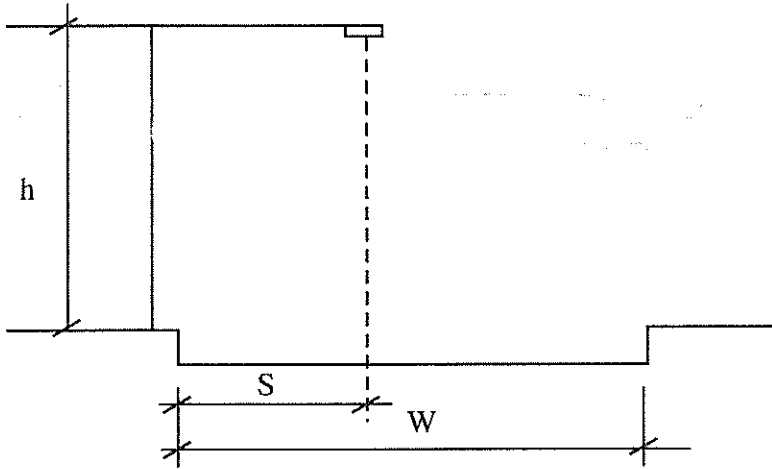
الحل :

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-

F_L

يستخدم 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 قنارة 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:

$$\eta_{b1} = 0.02$$

$$\eta_{b2} = 0.385$$

$$\eta_b = \eta_{b1} + \eta_{b2} = 0.02 + 0.385 = 0.405$$

$$E_{av} = \frac{F_L \times \eta_b \times LLF}{\text{Spacing} \times W_{eff}}$$

من هنا نجد المسافة بين الأعمدة:

$$\text{Spacing} = \frac{F_L \times \eta_b \times LLF}{E_{av} \times W_{eff}} = \frac{400 \times 50 \times 0.405 \times 0.81}{6 \times 15} = 72.9 \text{ m}$$

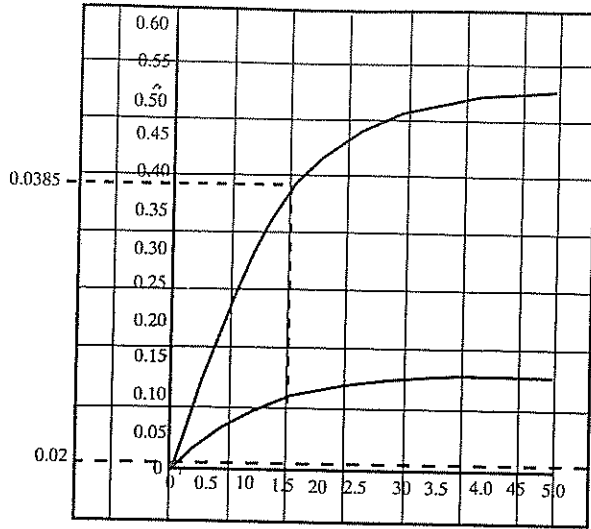
عدد الأعمدة المطلوبة، بعد أن نعتد المسافة بين الأعمدة مساوية 70 متراً، يساوي:

$$\text{Total Number of Poles} = \frac{10000}{70} = 142.85 \approx 143$$

من هنا تصبح المسافة بين الأعمدة كما يلي:

$$\text{Spacing} = \frac{10000}{143} = 69.93 \text{ m}$$

القدرة الكهربائية المطلوبة = $400 \times 143 = 57200$ واط.



شكل 20-

10.7 حسابات الإنارة الغامرة

إن مصطلح الإنارة الغامرة Flood lighting illumination 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.

ج- إنارة الحدائق والمتنزهات.

د- إنارة الملاعب الرياضية المكشوفة.

ولإنارة المناطق السابقة تستخدم وحدات إنارة (أو مجموعة وحدات إنارة) معلقة على أبراج Masts عالية، ويعتبر ارتفاع البرج عاملاً مهماً في تقدير اقتصاديات

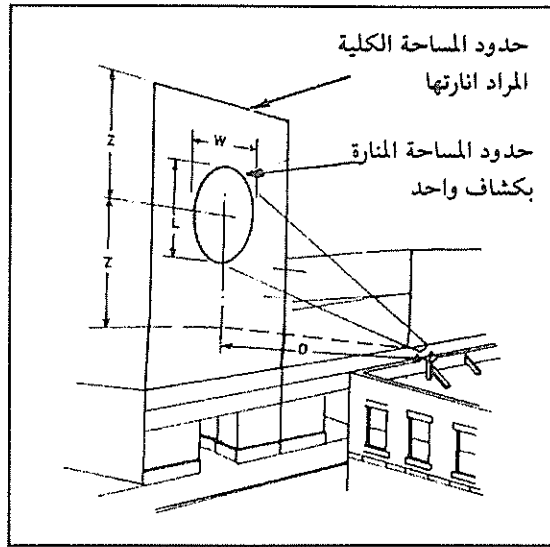
الإضاءة . ومن ناحية إقتصادية تعتبر الأبراج التي أطوالها تتراوح بين 20 و 30 متراً الأكثر إقتصادية . وفي بعض الحالات ، وعندما نريد توفيراً في المساحات ، أو إذا كانت المساحات المتارة لا تسمح بتركيب عدد من الأبراج ، فيجذب استخدام أبراج بطول أكبر من 30 متراً .

1.10.7 ترتيب الكشافات

بشكل عام ولإضاءة سطح عمودي ما فلا بد أن يتم تركيب الكشافات في منطقة مقابلة له ، أما لإضاءة سطح أفقي فيمكن تركيب الكشافات على عامود أو برج في طرف المساحة المراد إضاءتها .

ويمكننا أن نجمل ترتيبات تركيب الكشافات في الحالات التالية :

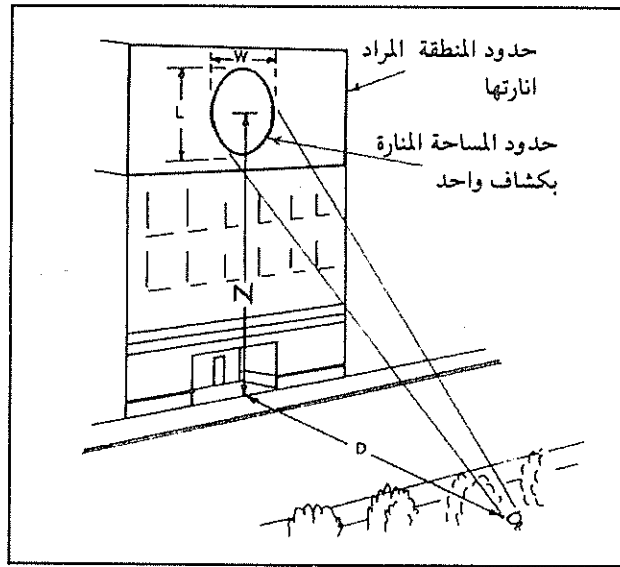
أ- تركيب الكشاف في منطقة مقابلة للمنطقة العمودية المراد إضاءتها ، ولكن على إرتفاع أقل . ويستخدم هذا الترتيب عندما تكون لدينا مبان متقابلة بينها مسافة ما وتختلف بارتفاعها . ويبين شكل -21 هذا الترتيب .



شكل -21

إضاءة منطقة عمودية من منطقة مقابلة لها

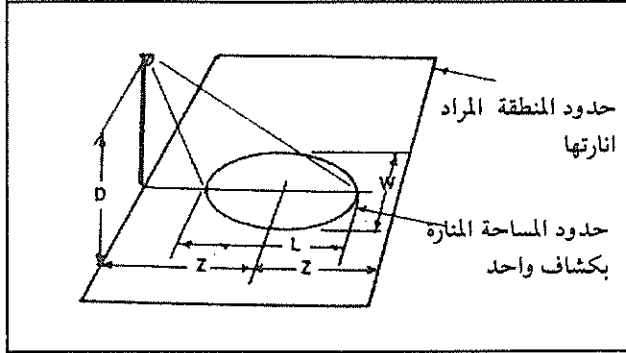
- D- المسافة الأفقية بين موقع الكشاف والمنطقة المراد إنارتها .
- \bar{Z} - نصف المسافة من نقطة تقع مباشرة مقابل الكشاف إلى أبعد طرف في السطح المراد إنارته .
- W, L- طول وعرض الشكل البيضوي الناتج عن كشاف واحد .
- ب : وضع الكشاف على الأرض في المنطقة المقابلة للمنطقة المراد إنارتها . وبيّن شكل -22 هذا الترتيب ، 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

- ج- استخدام عامود على طرف المساحة الأفقية المراد إنارتها . بيّن شكل -23 هذا الترتيب . في هذا الشكل فإن :

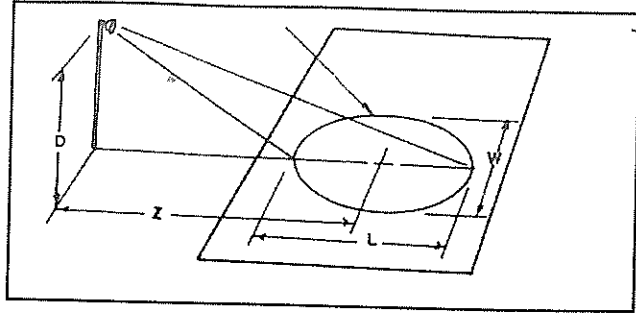
- D ارتفاع الكشاف فوق المنطقة المراد إنارتها.
- Z نصف المسافة من نقطة تقع مباشرة أسفل الكشاف إلى أبعد طرف في المساحة المراد إنارتها.
- W.L طول وعرض الشكل البيضوي الناتج عن كشاف واحد.



شكل -23

إنارة مساحة أفقية باستخدام كشاف على عمود على طرف المساحة مباشرة

- د- استخدام عمود 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 عمود يقع على مسافة أفقية من المنطقة المراد إنارتها .

2.10.7 مستويات الإستارة

ذكرنا سابقاً أن الانارة الغامرة تستخدم لإنارة الساحات والمناطق المكشوفة وإنارة واجهات المباني والنصب التذكارية وغيرها . ويبين جدول - 10 مستويات الاستارة للمساحات العامة المكشوفة وذلك باستخدام الإنارة الغامرة .

جدول (10)

مستويات الاستنارة للمساحات العامة المنارة باستخدام إنارة غامرة

أمثلة على المناطق	متوسط الاستنارة	تصنيف المنطقة
	الأكيدة الأفقية لوكس	
مناطق وساحات التخزين الصناعية . مناطق تخزين المركبات والحاويات ذات الحركة المستمرة . مصافي البترول ، مصانع الكيماويات ، أعمال الكهرباء والغاز .	5	1- مناطق الأمان والإشراف أ- مناطق قليلة الخطورة
	20	ب- مناطق خطورة متزايدة
	50	ج- مناطق الخطورة العالية
مناطق حركة الأشخاص فقط . الطرق في مناطق الحاويات وساحات التدريب . أعمال الحفريات وتسويات الموقع . أعمال المناولة . أعمال البناء والنجارة . أعمال الدهان والكهرباء	5	2- مناطق الحركة : أ- مناطق المشاة
	20	ب- حركة سيارات عادية
	20	3- أعمال عامة : أ- أعمال خشنة جداً ب- أعمال خشنة ج- أعمال عادية د- أعمال دقيقة
	50	
	100	
	200	

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 اعتماداً على مادة ولون المواد المستخدمة في المبنى وكذلك على إنارة الوسط المحيط هل هو منار بشكل ضعيف أم بشكل ساطع .

جدول (11)

مستويات الاستنارة للمباني اعتماداً على إنارة الوسط المحيط

الوسط المحيط (لوكس)		المادة
إنارة ساطعة	إنارة ضعيفة	
		القصارة:
120	30	لون فاتح
400	100	لون غامق
		الحجر:
160	40	لون فاتح
320	80	لون غامق
		الخرسانة:
200	50	لون فاتح
320	50	لون غامق
		الغرانيت:
200	50	لون فاتح
500	150	لون غامق
		الطوب:
120	30	لون فاتح
500	150	لون غامق
		الرخام:
120	30	لون فاتح
900	300	لون غامق

3.10.7 حساب عدد الكشافات

يمكن حساب عدد الكشافات اللازمة للحصول على متوسط الاستنارة المطلوبة على سطح ما باستخدام طريقة اللومن، والمعادلة الرئيسية المستخدمة هي:

$$N = \frac{E \cdot A}{F_p \cdot \eta}$$

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 لومنت 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 - لومنت الشعاع، لومن .

مثال :

إحسب عدد الكشافات اللازمة لإنارة سطح مساحته 30 x 15 متراً، إذا كان متوسط مستوى الاستنارة يساوي 50 لوكس .

الـحل :

نستخدم لإنارة هذا السطح كشافاً يحتوي على مصباح توهجي بقدره 1500 واط ،
الدفق المنير لهذا المصباح يساوي 33000 لومن .

$$F_b = F_p \cdot \eta = 33000 \times 0.3 = 9900 \text{ Lm.}$$

$$N = \frac{E \cdot A}{F_p \cdot \eta} = \frac{50 \times 30 \times 15}{9900} = 2.3$$

لذلك نستخدم ثلاثة كشافات . من هنا ، فإن الاستتارة الأكيدة تساوي :

$$E_m = \frac{F_b \cdot N}{A} = \frac{9900 \times 3}{30 \times 15} = 66 \text{ Lux}$$

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 لومينات حزمة الأشعة للكشافات التي تحتوي على مصابيح
توهجية ، ونلاحظ أن هذه اللومينات تختلف باختلاف الزاوية .

جدول (12)

دليل لاختيار زاوية حزمة الأشعة للكشافات

شكل حزمة الأشعة من الكشاف	بعد الكشافات عن المنطقة المنارة (متر)	استخدام الكشافات لإنارة ما يلي :
عريض	9-3	مبنى من طابقين أو ثلاثة منار بكشاف عبر الشارع على عامود . مبنى منار بكشاف عبر الشارع على مسافة ما :
وسط	30-15	المساحة أقل من 280م ²
عريض	30-15	المساحة أكثر من 280م ²
ضيق	45-30	المساحة أقل من 280م ²
وسط	45-30	المساحة أكثر من 280م ²
ضيق	90-45	المساحة أقل من 930م ²
وسط	90-45	المساحة أكثر من 930م ²
عريض / وسط	على المبنى	إرتفاع الجدار طابقان
وسط / ضيق	على المبنى	إرتفاع الجدار ثلاثة طوابق أو أكثر
ضيق	30-0.6	إنارة الأعمدة والزخارف
عريض	على الطرف	ساحات الإنشاء والمرافق
ضيق	38 من أقرب خط	ملاعب الرياضة

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)

لوحنتات حزمة الأشعة للكشافات التي تحتوي على مصابيح توهجية

مدى حزمة الشعاع						التغطية	قدرة المصباح (واط) الدفق المنير (لومن)
شعاع عريض		شعاع متوسط		شعاع مركز			
اللومن	الزاوية/ درجة	اللومن	الزاوية/ درجة	اللومن	الزاوية/ درجة		
1439	47	1356	39	1275	30	واضحة Plain	200 واط
1600	70	1475	55	1355	39	مرقطة Stippled	مصباح استخدام عام
1540	60x47			1312	50x30	مضلعة	3640
1694	21	1565	18	1354	13	واضحة	250 واط
1708	70	1650	45	1600	23	مرقطة	غامر
1779	49x35			1422	33x17	مضلعة	3700
2358	39	2221	32	2050	23	واضحة	300 واط
2625	60	2418	45	2240	32	مرقطة	مصباح استخدام عام
2479	57x39			2150	49x25	مضلعة	5700
4150	40	3958	32	3740	23	واضحة	500 واط
4533	65	4304	50	4030	33	مرقطة	مصباح استخدام عام
4356	55x34			3930	50x25	مضلعة	10000
3492	26	3170	20	2829	13	واضحة	500 واط
3595	65	3265	40	3040	23	مرقطة	غامر
3635	64x24			2970	34x15	مضلعة	8650
6018	35	5327	24	5012	19	واضحة	750 واط
6560	70	6262	62	5915	31	مرقطة	مصباح استخدام عام
6320	63x33			5263	60x23	مضلعة	14500

- تابع جدول -13

8580	35	7610	24	7162	19	واضحة	1000 واط
9365	70	8945	52	8440	31	مرقطة	مصباح استخدام عام
9015	63x33			7515	60x23	مضلعة	20700
7675	25	6950	20	5945	13	واضحة	1000 واط
8385	65	7630	45	6795	23	مرقطة	غامر
8060	62x29			6245	53x17	مضلعة	19000
13695	35	12190	24	11560	19.5	واضحة	1500 واط
14950	65	14380	52	13460	31	مرقطة	مصباح استخدام عام
14380	62x33			12150	61x23	مضلعة	33000
10980	25	98854	20	8451	13	واضحة	1500 واط
11910	65	10834	45	9650	23	مرقطة	غامر
11450	62x29			8875	53x17	مضلعة	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 ليحتمي 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 بإبعاد هذه الأرواح.

ويحدث يومياً 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 سنوياً نحو (150) وفاة وأضراراً في الممتلكات بقيمة 20 مليون دولار وتضرر (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 بين جدول 1-1.

جدول (1)
أسباب الحرائق في المباني

النسبة المئوية %	سبب الحريق
18.2	البرق
13.1	تلف الأسلاك والأجهزة الكهربائية
12.9	بسبب أجهزة التدفئة
12.5	سوء استخدام النار
12.3	بسبب عبث الأطفال
11.2	أعقاب السجائر والكبريت
9.7	الشرر المتطاير والمدخن
10.1	أسباب أخرى
100	المجموع

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

يعتبر الأمريكيون بنيامين فرانكلين (1707-1790) أول مهندس كهربائي أمريكي، فقد استخدم معرفته العلمية في إختراع مانعة الصواعق Lightning Rod. إبتدأ فرانكلين بدراسة الكهرباء واجراء تطبيقاته العملية مستخدماً مآجرة 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 موصلية 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 الإشارة 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 اخترعها 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 الحمایات ضد العواصف الرعدية.

وباخترع 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 إختراعها 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 .

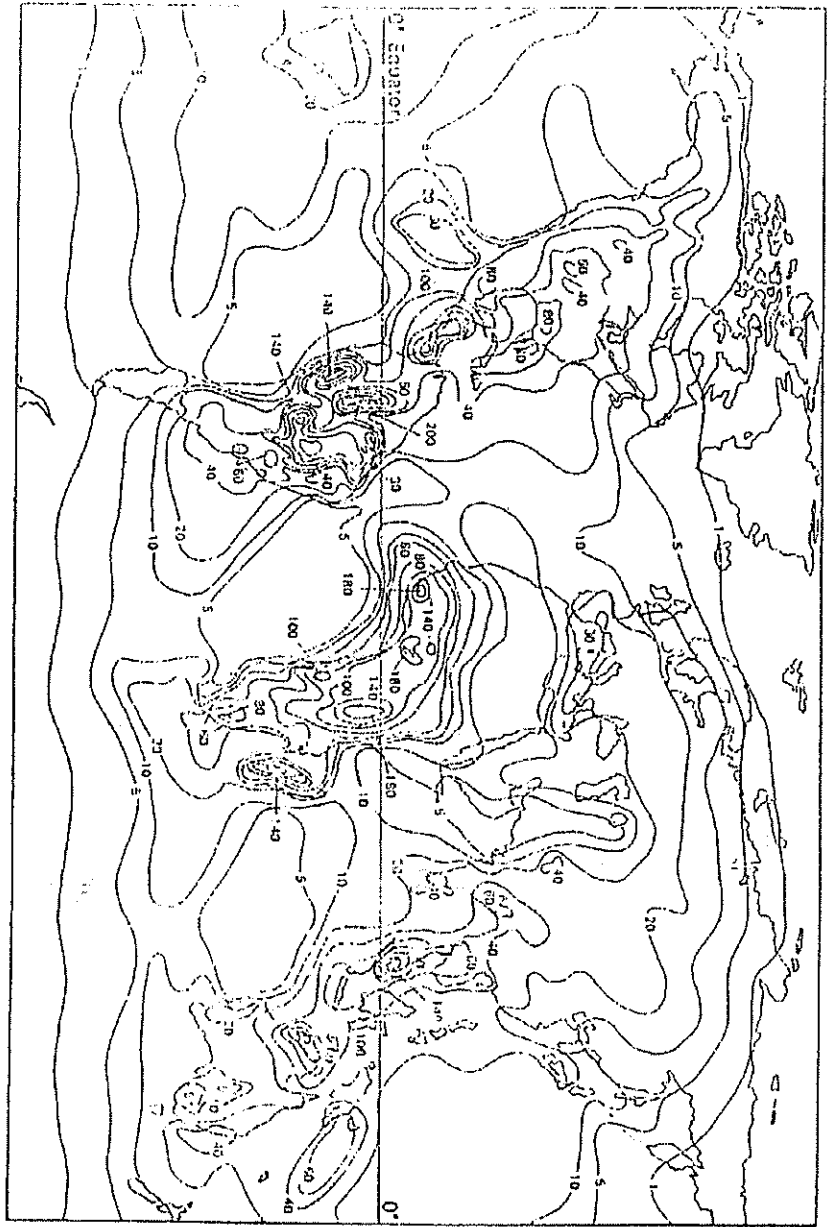
3.8 العواصف الرعدية

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 فإن 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 للكورة الأرضية

جدول (2)

المعدل السنوي لعدد الأيام التي حدثت فيها عواصف رعدية

اسم المنطقة	المعدل السنوي	فترة المراقبة
غور الأردن	12.3	1987-1967
الباقورة	9.0	1987-1965
الشونة الشمالية	8.8	1987-1961
وادي اليابس	7.0	1987-1974
دير علا	3.0	1987-1059
غور الصافي	1.3	1987-1966
مطار العقبة		
ميناء العقبة		
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		
الروشد	5.5	1987-1961
المفرق	4.0	1987-1960
الصفاري	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

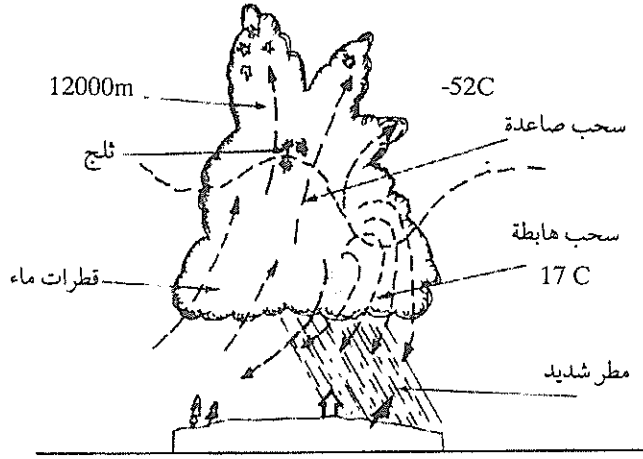
ويبين جدول 3- عدد الأيام الرعدية Number of storm day وكثافة الوميض الأرضي Ground flash density للمدن والمناطق الرئيسية في المملكة العربية السعودية .

جدول (3)
عدد الايام الرعدية وكثافة الوميض في مدن ومناطق المملكة العربية السعودية

كثافة الوميض وميض / كم ² / السنة	عدد الايام الرعدية يوم	المدينة
1.1	19.2	الرياض
0.332	7.2	الوجه
0.5	10.6	ينبع
5.525	67.55	الابهاء
3.0	42	بيشه
9.2	107.3	أبها
1.53	25.4	القيسومة
2.8	40.2	جيزان
1.1	19.3	حفر الباطن
6.9	80.6	خميس مشيط
1.27	22.1	الرياض القديمة
1.1	20.3	الظهران
1.68	27.3	المدينة المنورة
9.2	100.0	الطائف
0.5	11.7	جده
0.76	14.4	مكة المكرمة
1.1	20.5	تبوك
0.8	15.2	نجران
0.64	12.3	طريف
0.5	9.2	وادي الدواسر
0.5	9.4	سارورة
1.1	18.6	الجوف
2.15	32.8	حائل
1.01	18.5	رمحه
0.73	13.8	القريات
1.32	22.8	الاحساء
0.71	13.5	عرعر
1.53	25.4	القسيم

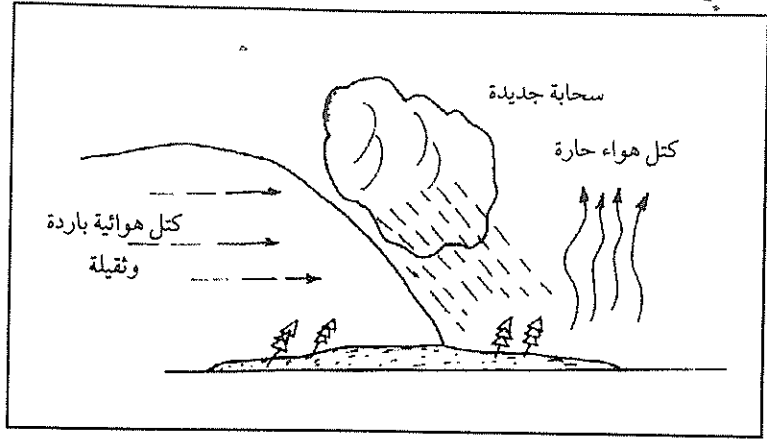
4.8 كيف يتكون البرق

يمكن تقسيم العواصف الرعدية إلى نوعين رئيسيين هما: العواصف الحرارية Heat storms 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 يبدأ بالارتفاع إلى أعلى. أما العواصف الجبهوية فتتكون نتيجة لتأثير جبهة هوائية باردة على كتلة هوائية رطبة حيث ترتفع الأخيرة إلى الأعلى. وتشكل العواصف الجبهوية في المناطق المعتدلة، (أنظر شكل 2- وشكل 3-). ترتفع هذه الجبهات الهوائية الساخنة إلى طبقات الجو العليا، حيث يقل الضغط الجوي وبالتالي يتمدد الهواء ويبدأ بالبرودة.

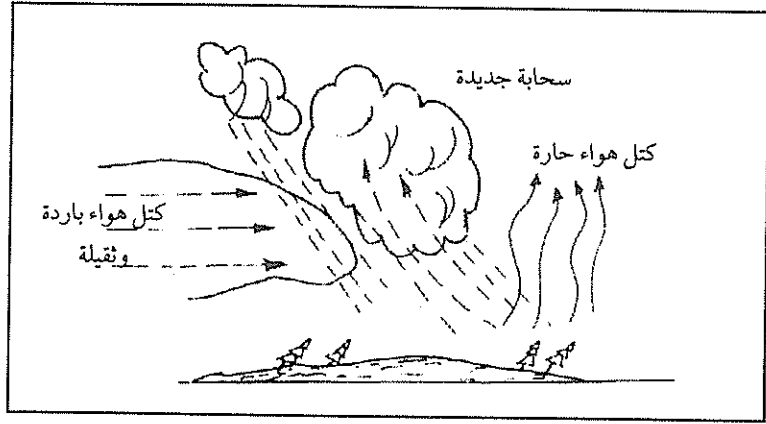


شكل-2

سحابة حرارية



أ) تقدم كتلة هوائية باردة لتحتك بهواء ساخن وتكون سحابة صاعدة .



ب) سريان كتلة هوائية باردة لتكوين عواصف في منطقة واسعة .

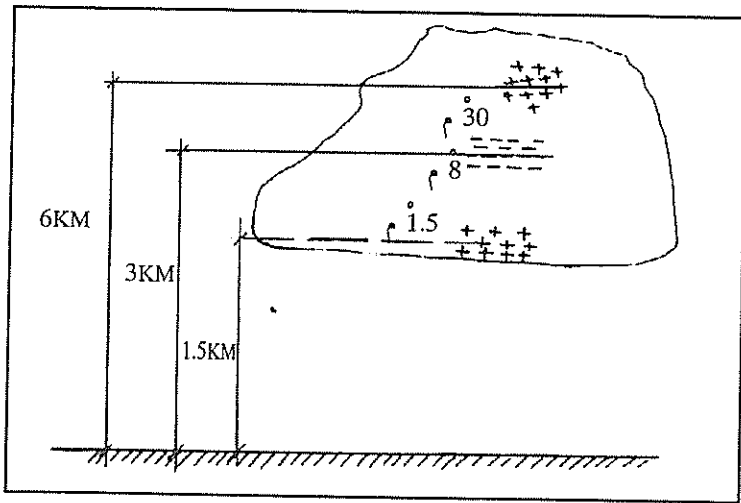
شكل -3

سحابة جبهوية

ف كايتل F.Geitel عام 1885. أما الفرضية الثانية، وهي فرضية الحمل، فقد صاغها كل مستنقل عن الآخر كرونيه Gaston Gronet من 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 5-5 سحابة مشحونة بشحنات كهربائية.



شكل 5-

تركيب السحابة البرقية فوق سطح الكرة الأرضية

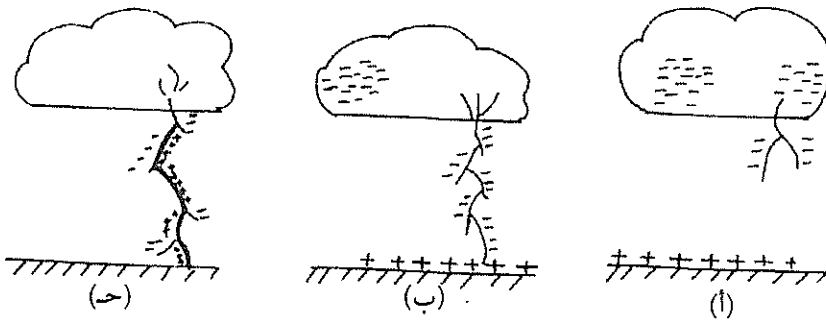
ويمكن أن تصل درجة حرارة السحابة الرعدية الى 30 درجة مئوية، وسرعتها قد تصل إلى 160 كم في الساعة، وتتراوح إرتفاعها عن سطح الأرض بين 1.5 كم و5 كم.

5.8 التفريغ الكهربائي بين السحابة البرقية والأرض

كلما ازداد 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 للكهرباء). 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 بإرسال الشحنات السالبة نحو الأرض، وتُسمى هذه العملية بدليل رئيسي مدرج Stepped leader، حيث تتحرك هذه الشحنات بطريقة غير منتظمة بسرعة متوسطة مقدارها 10×2^5 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 موصلًا جيدًا للكهرباء.
 ج- الضربة المعادة من الأرض حيث تتجه الأيونات الموجبة نحو السحابة البرقية.

إن سرعة الضربة المعادة تتراوح من 0.1 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 فهرنهايت. 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 إلى 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 قويا.

6.8 كثافة الوميض الأرضي.

ذكرنا سابقاً 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 إلى 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

كثافة الوميض الأرضي وميض / كم ² / سنة	عدد الأيام الرعدية في السنة	عدد الساعات الرعدية في السنة
2.0	15-10	20-15
2.5	20-15	40-20
3.8	30-20	60-40
5.0	40-30	80-60
6.3	50-40	100-80
7.5	50<	100<

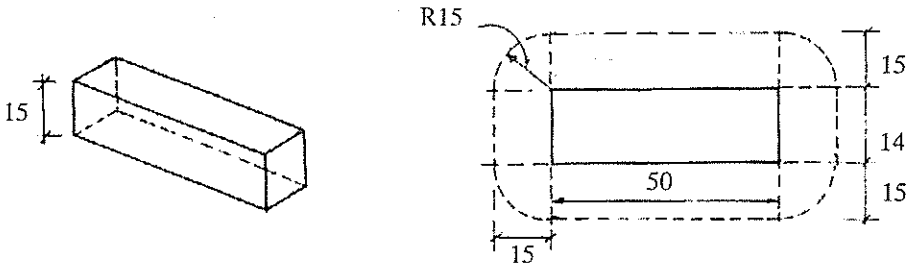
ووحدة قياس كثافة الوميض الأرضي هي وميض / كم² / سنة (flash / Km² / Yr) وهناك جدول أكثر دقة من جدول 4- ومأخوذ من الدراسة التي قدمها اندرسون واركسون Anderson and Eriksson إلى مؤتمر CIGRE في فرنسا عام 1980 . وفيما يلي هذا الجدول .

جدول (5)

العلاقة بين عدد الأيام الرعدية في السنة وكثافة الوميض الأرضي لكل كيلومتر مربع في السنة

كثافة الوميض الأرضي لكل كيلومتر مربع في السنة		عدد الأيام الرعدية في السنة
المدى	المتوسط	
0.5-0.1	0.2	5
1.0-0.15	0.5	10
3.0-0.3	1.1	20
5.0-0.6	1.9	30
8.0-0.8	2.8	40
10.0-1.2	3.7	50
12.0-1.8	4.7	60
17.0-3.0	6.9	80
20.0-4	9.2	100

ويمكن حساب احتمال 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.



$$A_c = 14 \times 50 + 2(15 \times 50) + 2(15 \times 14) + \pi \times 15^2 = 3327 \text{ m}^2$$

شكل 7-

تحديد مساحة مسقط المبنى

ان المبنى عبارة عن بناء بشكل متوازي مستطيلات فإن مساحة التجميع (Collection) تُحسب كما يلي :

$$Ac = LW + 2LH + 2WH + \pi H^2$$

أن :

ل البناء ، متر .

عرض البناء ، متر .

تفاح البناء متر .

تمتال 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 من حسابه كما يلي :

$$p = 3Ng.h.10^{-3}$$

، فإن إحتمال تعرض مبنى طوله 20 مترا وعرضه 15 متراً وإرتفاعه 30 متراً منطقة رعديّة عدد أيامها الرعديّة في السنة يساوي (30) يوماً ، يساوي :

جدول 5- نجد أن كثافة الوميض الأرضي N_g لهذه المنطقة تساوي (1.9) كم²/سنة .

$$Ac = LW + 2LH + 2WH + \pi H^2 =$$

$$= 20 \times 15 + 2 \times 20 \times 30 + 2 \times 15 \times 30 + \pi \times 30^2 = 5227.4 \text{ m}^2$$

$$P = 5227.4 \times 1.9 \times 10^{-6} = 0.0099$$

أي أن هذا المبنى يتعرض إلى ضربة برق واحدة كل مائة سنة.
 أما إذا كان لدينا برج إرتفاعه 70 متراً ويقع في منطقة رعديّة عدد أيامها الرعديّة
 في السنة يساوي 30 يوماً، فإن احتمال تعرض هذا المبنى لضربات البرق يساوي:

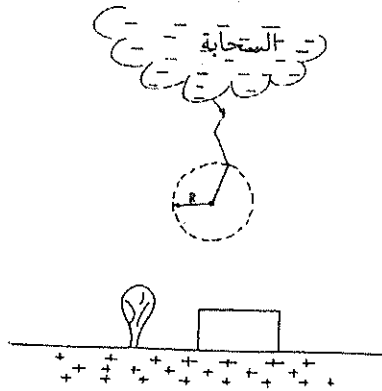
$$p = 3Ng \cdot h \cdot 10^{-3} = 3 \times 1.9 \times 70 \times 10^{-3} = 0.4$$

أي أن هذا البرج يتعرض إلى ضربة برق واحدة كل سنتين ونصف.
 ولا بد أن 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 الآتفة الذكر.

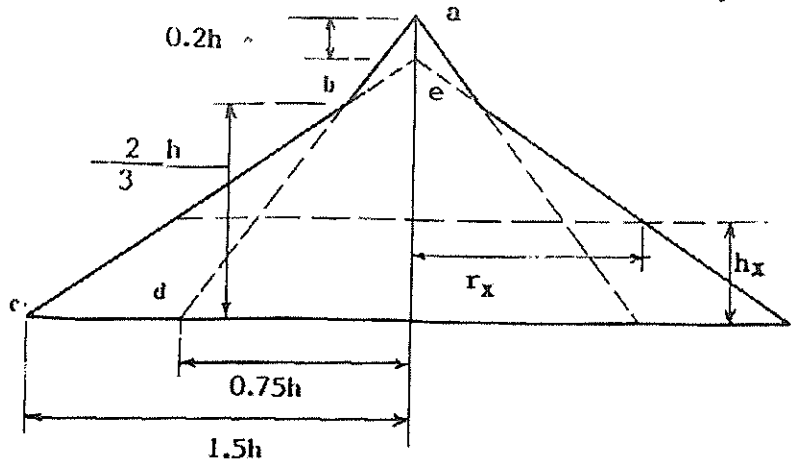
7.8 النموذج الكهروهندسي

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

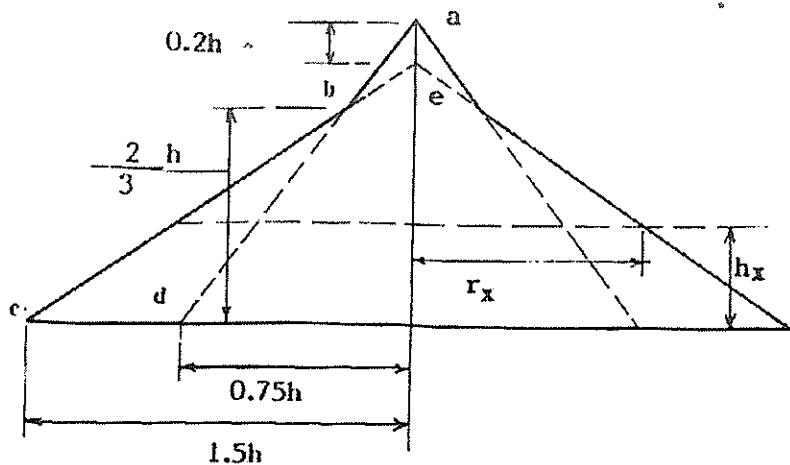
منطقة الحماية للقضيب المعدني

ويمكن تحديد النقطتين b و c 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 و ce 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 b و c 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 ce و ad في النقطة b . ومن الرسم نلاحظ أن النقطة b تقع على ارتفاع يساوي $\frac{2}{3}$. ويمكن تحديد الحماية كما يلي:

نصف قطر منطقة الحماية على ارتفاع $(h_x < \frac{2}{3}h)$ يساوي:

$$r_x = 1.5h \left(1 - \frac{h_x}{0.8h} \right)$$

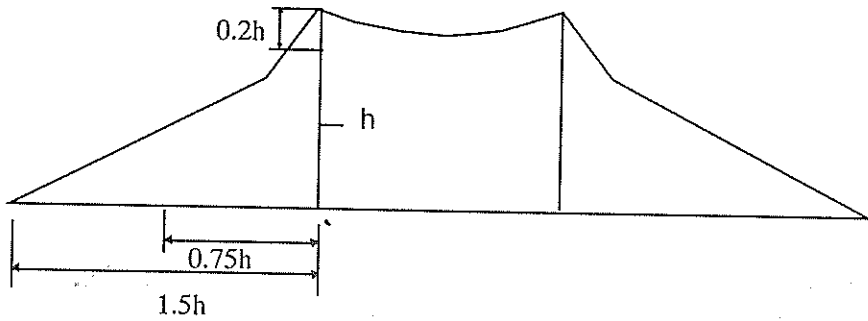
ونصف قطر منطقة الحماية على ارتفاع $(h_x > \frac{2}{3}h)$ يساوي:

$$r_x = 0.75h \left(1 - \frac{h_x}{h}\right)$$

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 باختلاف 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-

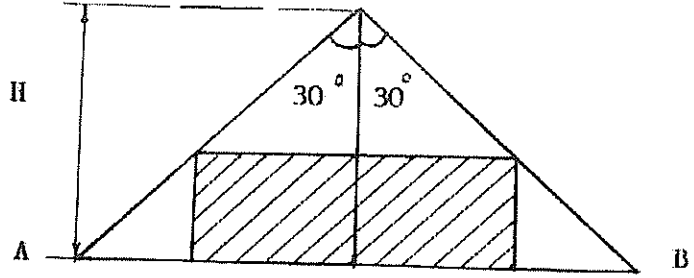
منطقة الحماية باستخدام قضيبين معدنيين

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:

$$AB = 2H \operatorname{tg}30 = 2H \times 0.577$$

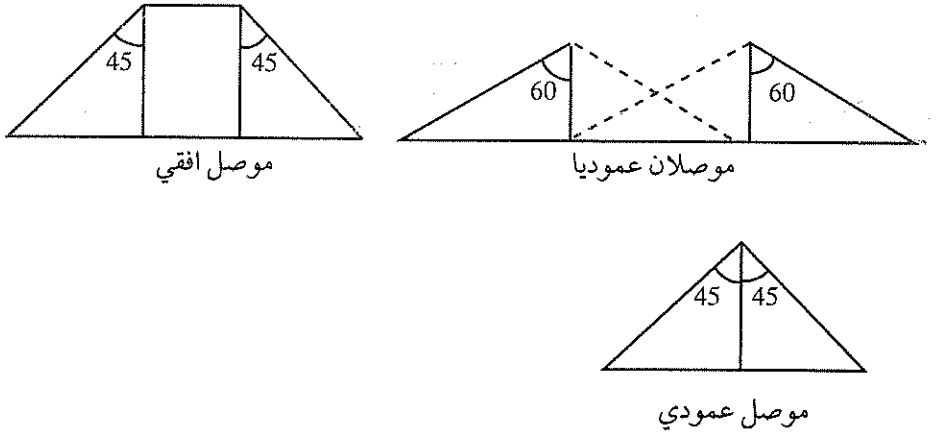
$$= 1.15H$$



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.



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 العواصف البرقية وتفريغ Discharge تيار البرق عبر نظام التأسيس لهذا النظام .

يتكون نظام الحماية من البرق من المكونات التالية :

(أ) وسيلة الاعتراض Interception device (نظام الاطراف الهوائية - Air termination system) .

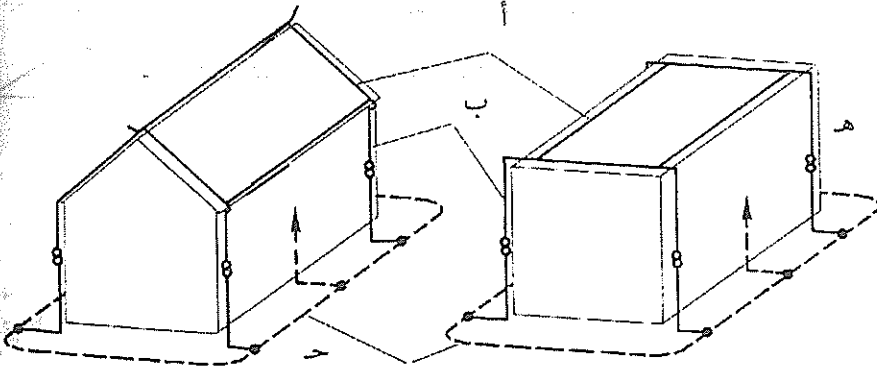
(ب) الموصلات الهابطة Down Conductors .

(ج) نظام التأسيس Earthing system والذي يتكون من الاطراف الأرضية Earth termination والمكاهر الأرضية Earth electrodes .

(د) الوصلات والمرايب 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 مَطْموراً 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 ابتداءً 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/م² للموصلات التي قطرها يساوي (8) مم²، وأن لا تقل عن 450 غم/م² للموصلات التي قطرها يساوي 10 مم.

وفي معظم المواصفات العالمية يعامل الفولاذ المجلفن كبديل للنحاس والألومنيوم وخاصة في الحالات التي يسبب فيها استخدام النحاس أو الألومنيوم 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 يجذب استخدام الألومنيوم كمادة مَطْمورة في الأرض بسبب قابليته الشديدة للتآكل، ولذلك فإن معظم التنظيمات تستثنيه، وقد دلت التجارب أن النحاس يفقد من وزنه 0.2% سنوياً 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 ، والتسبب يعود إلى شيوع استخدام مادة الفولاذ في المباني ، فإذا وجدت هذه المادة بقرب النحاس حدث الصدأ والتآكل الذي يعتمد على درجة ملوحة التربة .

ولا بد أن نشير إلى أن مكونات نظام الحماية تتعرض باستمرار إلى مؤثرات خارجية تؤدي إلى مشكلة الصدأ والتآكل Corrosion . وخاصة عند وجود مركبات الكبريت . لذلك تُعتبر المناطق التي تحرق فيها كميات كبيرة من النفط من المناطق الخطرة ، إضافة إلى ذلك فعندما يتصل معدنان مختلفان في وسط الكتروليتي ، فإن الصدأ والتآكل يبدأ في المعدن الذي يكون سالبا كهربائياً Electro-Negative بالنسبة للمعدن الآخر .

أن أكثر المعادن سالبية كهربائية هو القصدير يليه 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 إلى نظام تأريض الحماية من البرق .

تتخذ وسائل الاعتراض الأشكال التالية :

(أ) شبكة من الموصلات الأفقية .

(ب) قضبان عمودية .

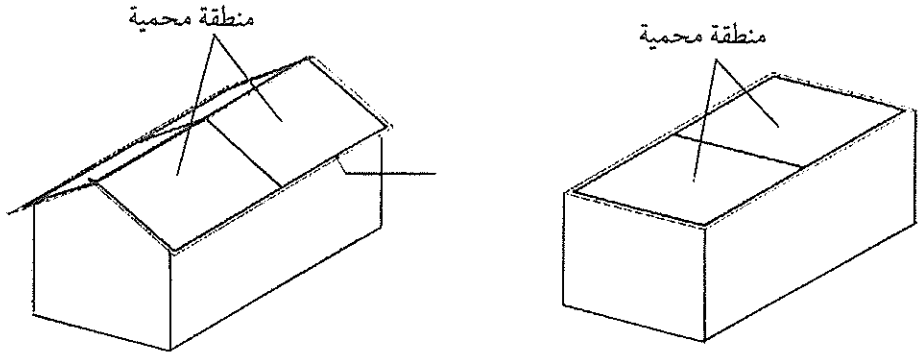
(ج) موصلات أفقية .

وستعرض 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

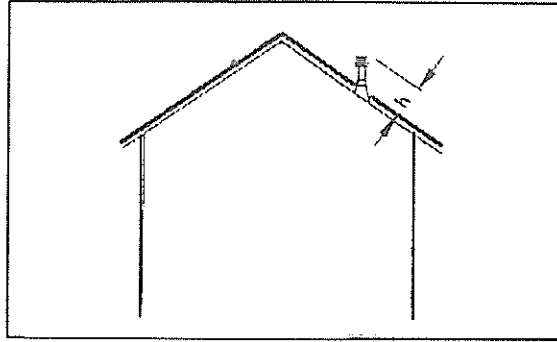
ويتم حماية المنشآت الموجودة على السطح Roof Structure من البرق تبعاً للمواد المستخدمة فيها. وهنا نميز بين نوعين من هذه المنشآت:

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 متصل بالارض).

في هذه الحالة فإن 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 ($h < 0.3m$).

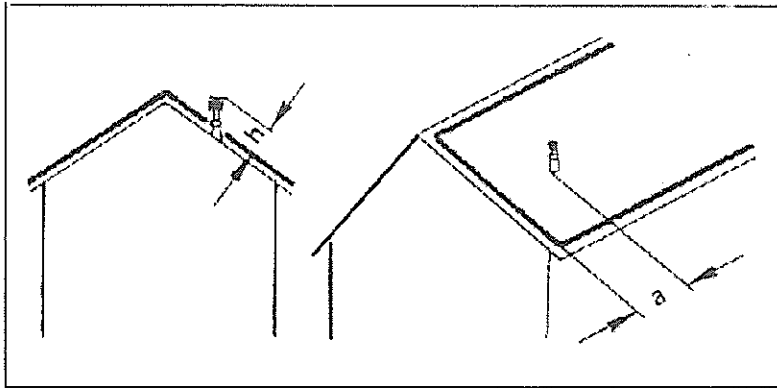


شكل 16-

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-

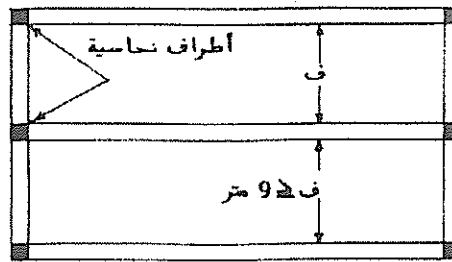
وتختلف المسافة بين الموصلات المتوازية في الشبكة الأفقية حسب التنظيمات المستخدمة. ويبين جدول 6- المسافة القصوى بين الموصلات الأفقية المتوازية في دول مختارة.

جدول (6)

المسافة القصوى بين الموصلات الأفقية المتوازية

المسافة بالمتر	البلد
18	استراليا
20	النمسا
18	بريطانيا
20	هولندا
30x20	المجر
15	سويسرا
16	أمريكا

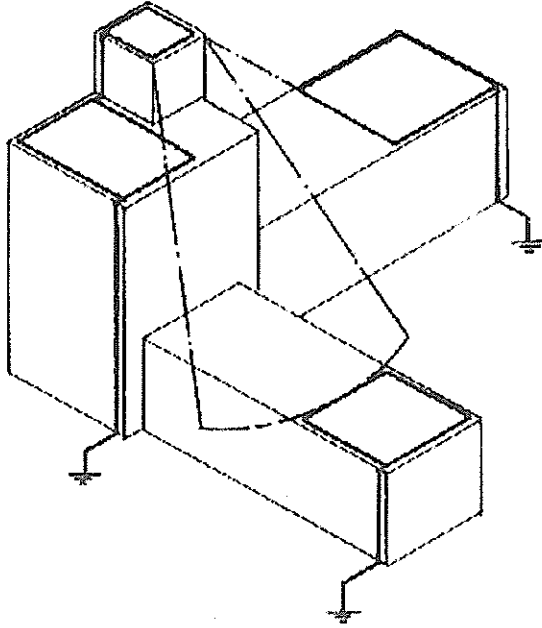
أما في الأردن فتشير التنظيمات العامة للتركيبات الكهربائية (1981) إلى وجوب ترتيب شرائط موصل الطرف النحاسي طوليا على سطح البناء بمسافات لا تزيد على تسعة أمتار. بحيث يتم تقسيم السطح إلى مستطيلات كما في الشكل - 18.



شكل - 18

ترتيب شرائط موصل الطرف النحاسي للواقيات من الصواعق

١٩- 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 إرتفاعات 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 الملمدن Annealed بمساحة مقطع لا تقل عن $20 \times 3 \text{ مم}^2$. 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 مصممة اسطوانية .

ويبين جدول 7- الأبعاد الدنيا للموصلات المستخدمة فوق الأرض في عدد من الدول .

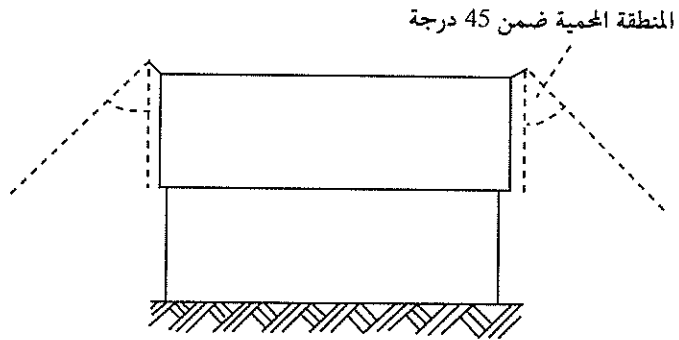
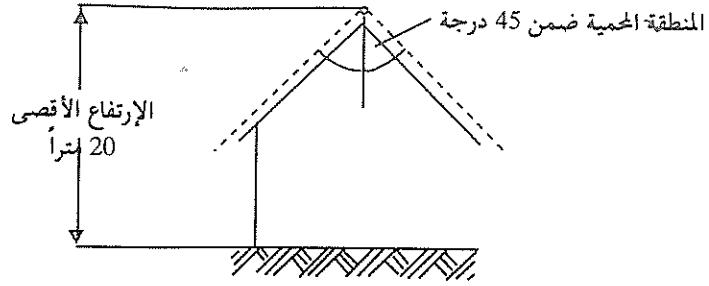
جدول (7)
الأبعاد الدنيا للموصلات المستخدمة فوق الأرض في نظام الحماية

معدنة			Φ. أنابيب				شروط			مساحة المقطع 2 ²			
Fe	Al	Cu	Fe	Al	Cu	Fe	Al	Cu	Fe	Al	Cu		
1.8/19	3.1/7	1.8/19	10	10	10	3x20	3x20	3x20				استراليا	
			8	10	8							النمسا	
	1.6/8	1.15/8				1.63x38	1.15x38					كندا	
									25		16	فنلندا	
NA	NA	3/7	8	10	8	2.5x20	4x20	2.5x20				الديا	
1.8/19	3.1/7	1.8/19	10	10	10	3x20	3x20	3x20				بريطانيا	
									25		25	هولندا	
									25		25	البحر	
			6	6	6	3x10	3x10	3x20				جنوب افريقيا	
			6	9	6	2.5x25	3x25	3x20				سويسرا	
	NA		6	9	6								
		2.5/7			6.5			1.3x20		45		أمريكا	

Cu - نحاس Fe - حديد
 NA - غير متوافق Al - الألمنيوم

2.10.8 وسيلة إعتراض مكونة من موصل

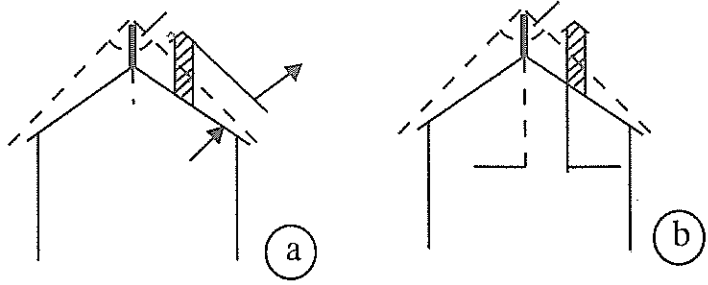
تستخدم هذه الوسيلة للمباني التي لا يزيد ارتفاعها على 20 متراً، وهي عبارة عن موصل يثبت فوق سطح المبنى ليشكل منطقة حماية بزاوية 45° ، وتستخدم هذه الوسيلة لحماية المباني التي سطوحها شديد الانحدار (شكل-20)، أما الموصلات الأفقية المثبتة على أطراف المبنى فتشكل موصلات هابطة. ويتم التعامل مع المنشآت الموجودة 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

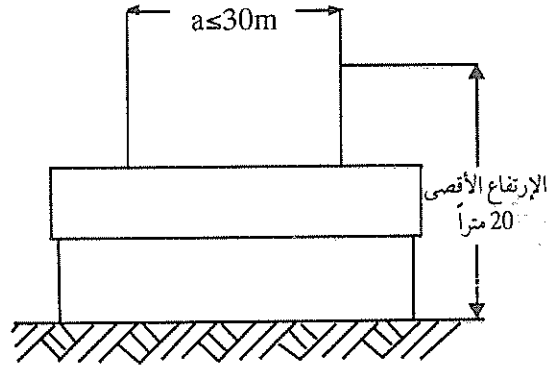
3. 10.8 وسيلة إعتراض على شكل قضيب أو قضبان على سطح المبنى تُستخدم هذه القضبان لحماية المنازل التي لا يزيد ارتفاعها على 20 متراً (والارتفاع الكلي هو عبارة عن المسافة بين أعلى نقطة في القضيب والأرض). ويشكل هذا القضيب منطقة حماية عبارة عن شكل مخروطي قاعدته دائرة نصف قطرها يمكن تحديده كما ورد سابقاً في هذا 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



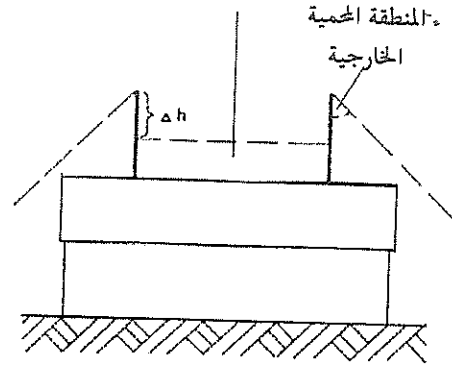
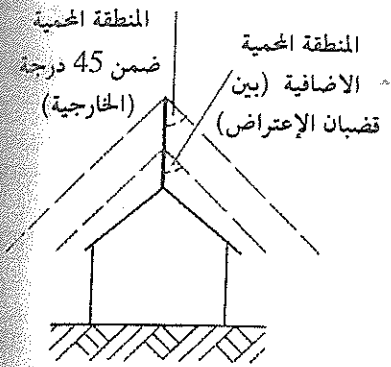
شكل-22

عند إستخدام قضيبين معدنيين فلا بد من دراسة الحالتين التاليتين :
 (أ) مسافة التباعد القصوى بين القضيبين تساوي 30 متراً، أي أن $a < 30m$ ، حيث أن a هي مسافة التباعد بين القضيبين كما في شكل -23.

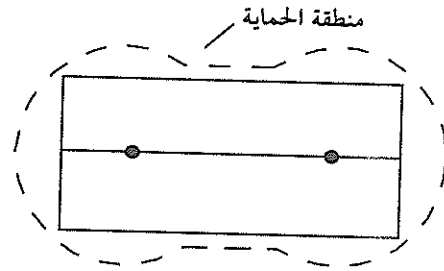


شكل-23

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 إعتياداً 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

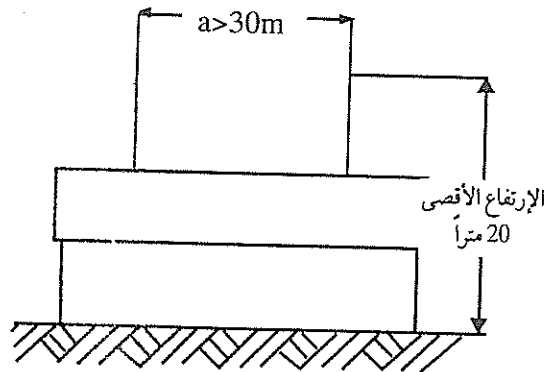


شكل-24

تحديد منطقة الحماية لقضيبين بينهما تباعد لا يزيد على 30 متراً

(ب) مسافة التباعد بين القضيبين أكبر من 30 متراً.

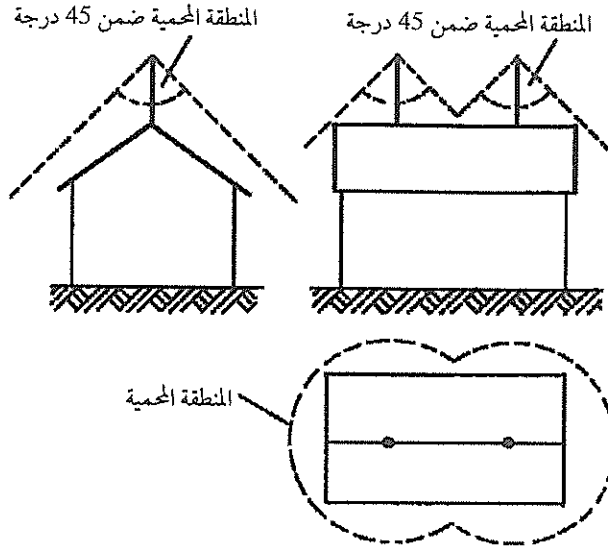
يبين شكل-25 مبنى وعلى سطحه قضيبان مسافة التباعد بينهما أكبر من 30 متراً.



شكل-25

إستخدام قضيبين على سطح مبنى بينهما تباعد يزيد على 30 متراً.

في هذه الحالة فان منطقة الحماية تتحدد كمجموع منطقتي الحماية للقضيين، أي لا توجد منطقة حماية إضافية بسبب كبر مسافة التباعد بينهما. ويبين شكل-26 منطقة الحماية في هذه الحالة.



شكل-26

تحديد منطقة الحماية للقضيين بينهما تباعد يزيد على 30 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 20 متراً.

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:

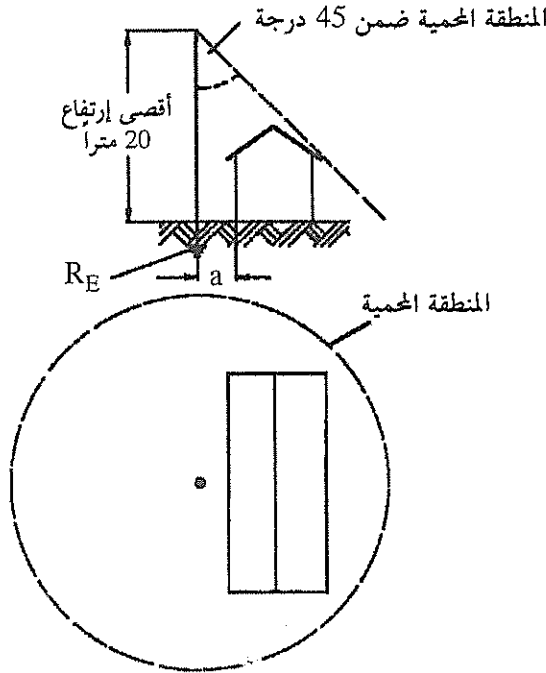
$$d=2+\frac{R_E}{5}$$

حيث ان :

d - مسافة التباعد بالمتر .

R_E - قيمة مقاومة تأريض القضيب بالأوم .

ويبين شكل -27 منطقة الحماية لهذا القضيب .



شكل -27

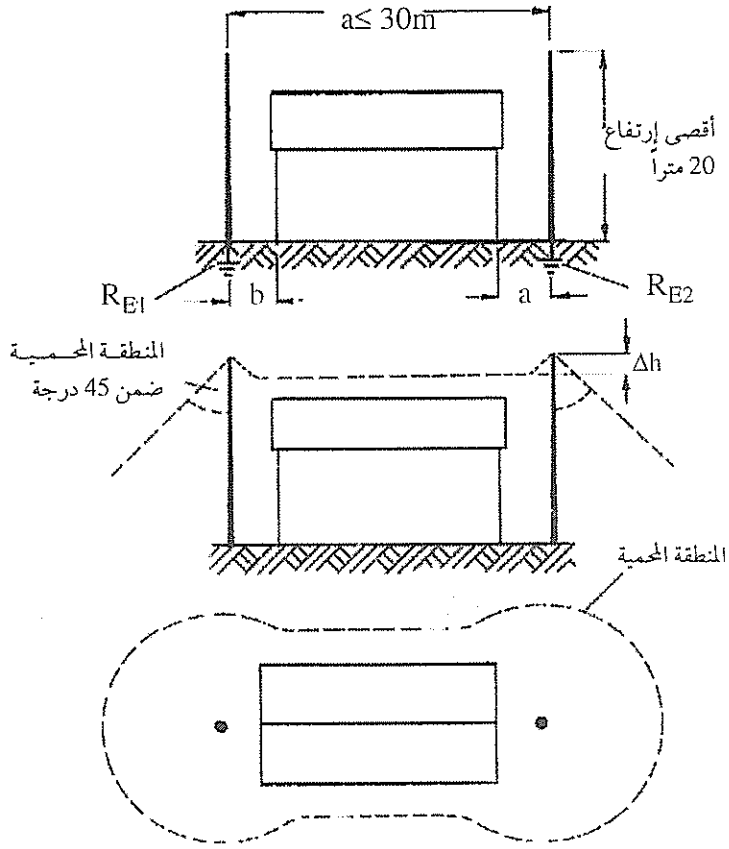
منطقة الحماية لقضيب عامودي منفرد مثبت بالأرض

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 30 متراً .

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

قيمة Δh حسب ارتفاع القضيب			مسافة التباعد a
20 متراً	15 متراً	10 أمتار	
0.3	0.2	0.1	5
0.8	0.5	0.4	10
2.5	2.0	1.6	20
5.0	4.2	3.6	30

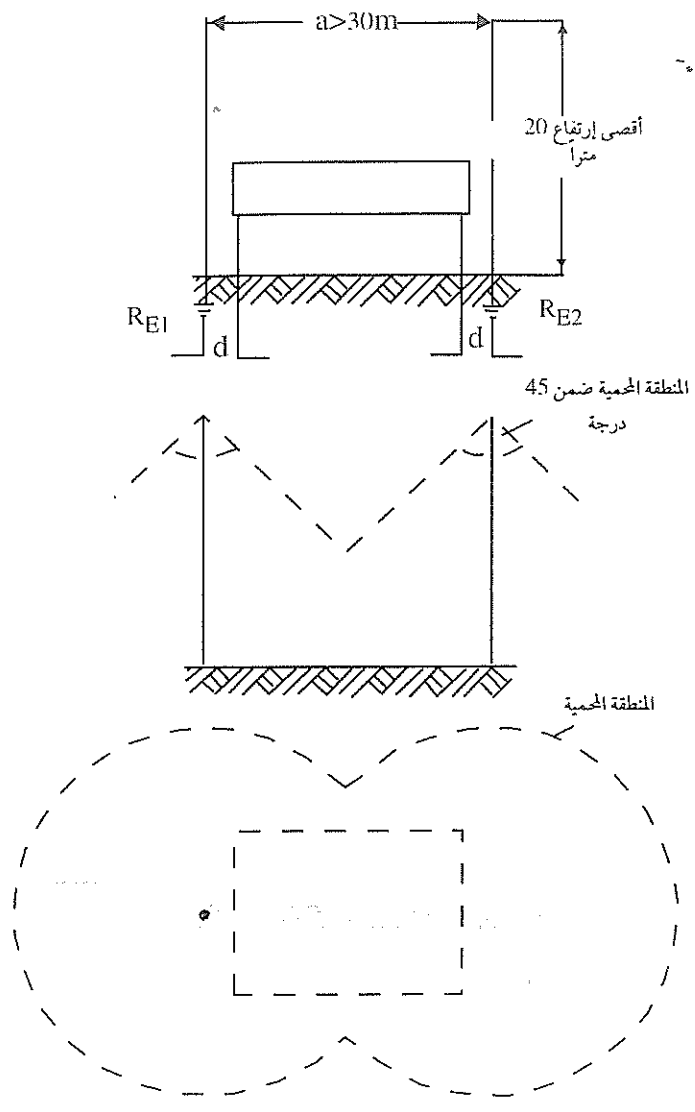
$$d = 2 + \frac{RE1}{5} \quad \text{and} \quad d = 2 + \frac{RE2}{5}$$

حيث ان :

d-مسافة التباعد بالمتر،

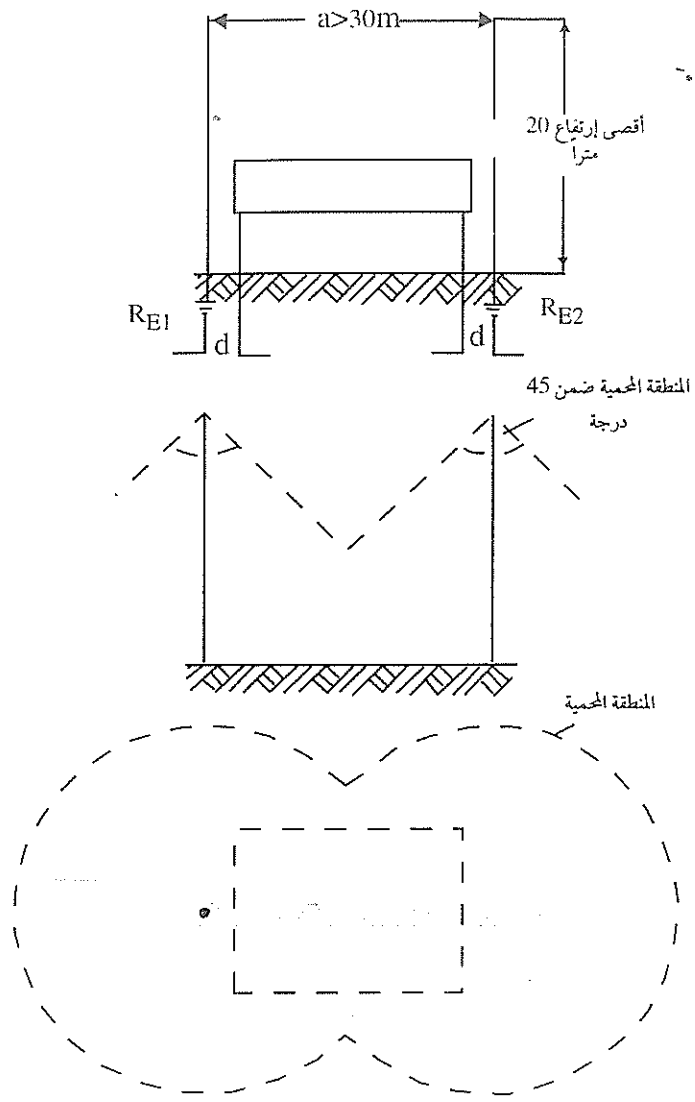
$RE1, RE2$ -مقاومة تأريض العامودين بالأوم.

في الحالة الثانية وعندما تكون مسافة التباعد بين القضيبين أكبر من 30 متراً، 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 استخدام أربعة قضبان، وفي هذه الحالة لا بد من
 مراعاة المتطلبات التالية:



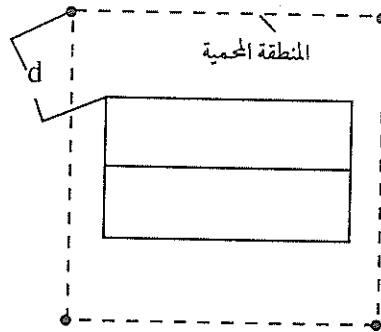
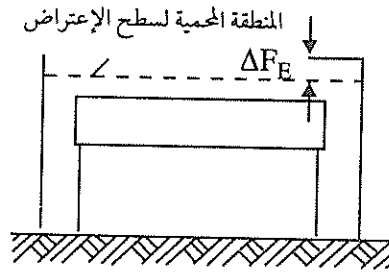
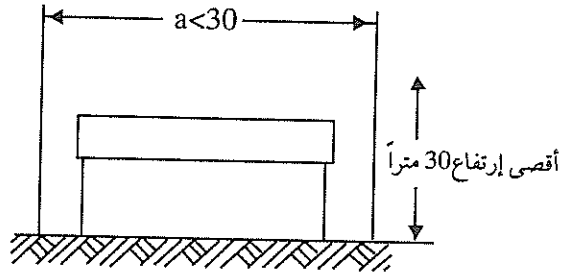
شكل-29

منطقة الحماية لقضيبين مسافة التباعد بينهما أكبر من 30 متراً
 وفي بعض الحالات يمكننا استخدام 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 30 متراً .

- 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 لأربعة 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 و R_E بالأوم.

5.10.8 موصلات إعتراض منفردة

يتم تثبيت هذا الموصل المنفرد على عوارض تثبيت بحيث لا يزيد إرتفاعها على 20 متراً. أما المسافة a بين عوارض التثبيت فليس لها حدود، بينما المسافة d بين المبنى ونقطة تثبيت العارضة فيجب أن تساوي مترين على الأقل، وفي حالة عدم توصيل تأريض العارضة مع نظام الربط متساوي الجهد، فيجب زيادة d وفق المعادلة التالية:

$$d = 2 + \frac{R_{E(\text{total})}}{5}$$

حيث ان:

d - المسافة بين المبنى ونقطة تثبيت العارضة بالمتر.

$R_{E(\text{total})}$ - مقاومة التأريض الكلية بالأوم وتحسب من $R_{E1}, R_{E2} \dots$ الخ.

أما المسافة بين ادنى نقطة في الموصل (منطقة التهدل) والمبنى فيجب أن تحقق

المعادلة التالية:

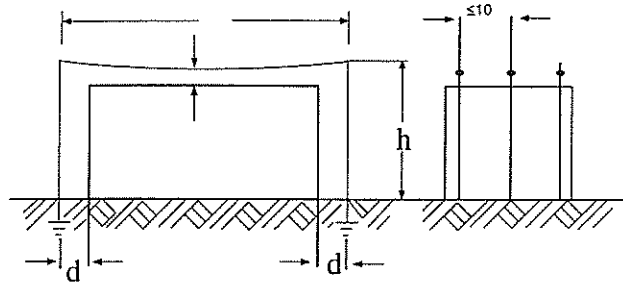
$$D \geq \frac{L/2 + h}{14}$$

حيث ان D, L, h 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:

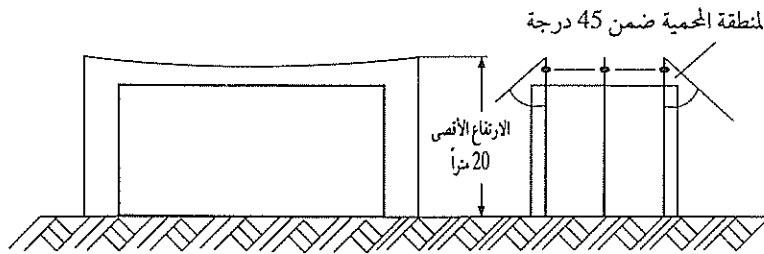
$$d = 2 + \frac{R_E(\text{total})}{5}$$

ويبين شكل 32- حالة استخدام موصلات إعتراض متوازية. وفي الحالة التي يكون فيها الإرتفاع الأقصى لموصل الأعتراض يساوي 20 متراً فإن 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 بالتر، 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 بالمترو R_E بالأوم.

5.10.8 موصلات إعتراض منفردة

يتم تثبيت هذا الموصل المنفرد على عوارض تثبيت بحيث لا يزيد إرتفاعها على 20 متراً. أما المسافة a بين عوارض التثبيت فليس لها حدود، بينما المسافة d بين المبنى ونقطة تثبيت العارضة فيجب أن تساوي مترين على الأقل، وفي حالة عدم توصيل تأريض العارضة مع نظام الربط متساوي الجهد، فيجب زيادة d وفق المعادلة التالية:

$$d = 2 + \frac{R_{E(\text{total})}}{5}$$

حيث ان:

d - المسافة بين المبنى ونقطة تثبيت العارضة بالتر.

$R_{E(\text{total})}$ - مقاومة التأريض الكلية بالأوم وتحسب من R_{E1}, R_{E2}, \dots الخ.

أما المسافة بين ادنى نقطة في الموصل (منطقة التهدل) والمبنى فيجب أن تحقق

المعادلة التالية:

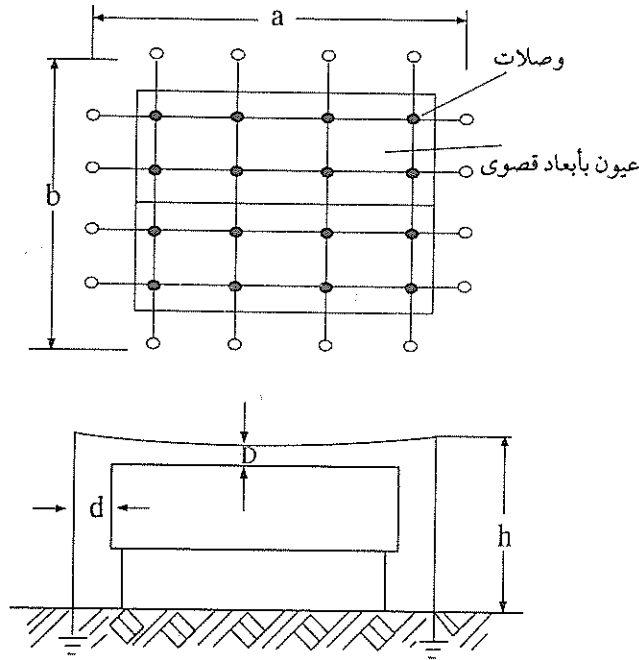
$$D \geq \frac{L/2 + h}{14}$$

حيث ان D, L, h بالتر.

• أما إذا كان إرتفاع الموصل أكثر من 20 متراً وأقل من 40 متراً فيجب أن يتم تركيب الموصل فوق الحواف الخارجية للمبنى بحيث تكون 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، فإن $b=1\text{m}$ إذا كان إرتفاع الموصل يساوي 50 متراً، وتساوي $b=3\text{m}$ 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 a, b.
 - المساحة القصوى لكل عين Mesh في الشبكة تساوي 10x20متراً.
 - يجب تركيب كل موصل على عارضتي تثبيت مؤرختين.
 - يجب توصيل الموصلات عند نقاط الالتقاء Crossover points.
 - يجب أن تغطي عيون الشبكة بالكامل المبنى 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، فإن 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 فإن مساحة الحماية تتحدد بالمساحة الواقعة تحت الشبكة فقط.

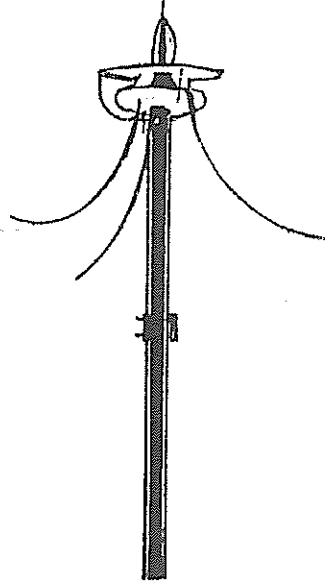
7.10.8 مانعات الصواعق الإشعاعية

جرت محاولات عديدة لزيادة فاعلية وسائل الاعتراض المختلفة، وذلك بوضع مادة اشعاعية في طرف القضيب العلوي، وقد بين بيرو Berio في عام 1970 أن قضيباً طوله متران ومزوداً بمادة اشعاعية يستطيع حماية سطح بمساحة دائرية قطرها يساوي 250 متراً.

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 ، وكذلك 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 مانعة 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 Porcelain . 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	$10 \geq$	15
AMH2	° 63	$20 \geq$	30
AMH3	° 68	$30 \geq$	50
AMH4	° 73	$40 \geq$	90
AMH5	° 78	$50 \geq$	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:

$$R = h_1 \cdot \tan \alpha$$

حيث ان :

h_1 هو إرتفاع مانعة الصواعق مضروباً بمعامل هو K_r والذي يُسمى مُعامل الرفع

. Raising coefficient

ويبين جدول -10 قيمة المعامل K_r ونصف قطر الحماية لأنواع مختلفة من مانعات الصواعق.

جدول (10)

قيمة المعامل K_r ونصف قطر الحماية

Saint-ElmoPZ		قضيب فرانكلين فوق مبنى	قضيب فرانكلين فوق برج	نوع مانعة الصواعق
SE9	SE6			
5.2	3.4	1	1	المعامل K_r
hx9	hx6	hx 1.75	h	نصف قطر الحماية

ويبين جدول -11 نصف قطر الحماية بالأمتار لمانعات صواعق مختلفة.

جدول (11)

نصف قطر الحماية بالأمتار لمانعات صواعق مختلفة

نصف قطر الحماية بالتر				ارتفاع مانعة الصواعق (بالمتر) ومن ضمنها القاعدة
Saint Elmo PZ SE9	Saint Elmo PZ SE6	قضيب فرانكلين فوق مبنى	قضيب فرانكلين فوق برج	
18	12	3.5	2	2
36	24	7	4	4
54	36	10.5	6	6
72	48	14	8	8
90	60	17.5	10	10
135	90	26	15	15

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 ممراً 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 لاحقاً، حيث تعتمد تلك الظاهرة على قيمة محاطة الموصلات الهابطة. ويمكن تقليل هذه المحاطة، إما بزيادة عدد الموصلات الهابطة المتوازية أو بتقليل طول الموصل الهابط بتجنب تشكيل ما يسمى بالأنشوفة Loop. فإذا كان لدينا عدد n من الموصلات الهابطة ومحاطة كل منها تساوي L فإن المحاطة الكلية هي $\frac{L}{n}$ ، أي كلما زاد عدد الموصلات الهابطة قلت قيمة المحاطة. أما إذا شكل الموصل الهابط أنشوفة كما في شكل-36 فإن محاطة هذا الموصل تعتمد على عرض الأنشوفة D وطولها L . وحتى لا يحدث وميض جانبي بين أجزاء المبنى، فإن التنظيمات المختلفة تحدد قيمة للعلاقة L إلى D . وتحدد التنظيمات الألمانية بأن لا تزيد هذه العلاقة عن 20، أي أن:

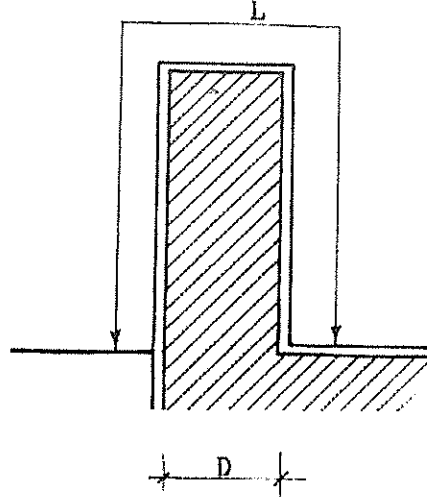
$$\frac{L}{D} \leq 20$$

أما التنظيمات البريطانية فتحدد هذه العلاقة كما يلي:

$$\frac{L}{D} \leq 8$$

أما عدد الموصلات الهابطة فيعتمد على مساحة البناء أو على محيطه، وتحدد 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 الألمانية 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 بالإضافة 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 اعتماداً على مساحة البناء .

عدد الموصلات الهابطة	المساحة (متر مربع)
2	400-100
3	700-400
4	1000-700
5	1300-1000
6	1600-1300
7	1900-1600

أما المواصفات الألمانية فتتص على وجوب استخدام موصل هابط واحد لكل 20 متراً 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 فإن العدد الذي يمكن تبنيه هو أربعة موصلات هابطة ، إما إذا كانت نتيجة الحساب 4.6 فإن 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 المدنة ، ولا تقل مساحة مقطعها عن $20 \times 3 \text{ م}^2$.

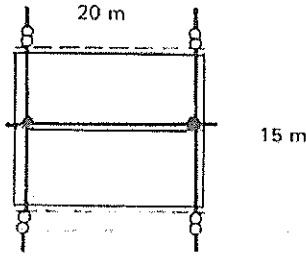
كذلك ، نشير الى أن المسافة بين الموصلات الهابطة يجب أن لا تقل على عشرة أمتار .

1.11.8 ترتيبات تنفيذ الموصلات الهابطة

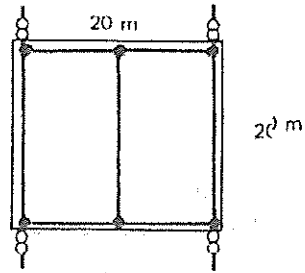
إذا كانت وسيلة الاعتراض هي عبارة عن شبكة فيجب ترتيب تنفيذ الموصلات الهابطة في زوايا أو وصلات الشبكة. ويبين شكل -37 بعض الترتيبات المحبذة عند تنفيذ الموصلات الهابطة .

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 .

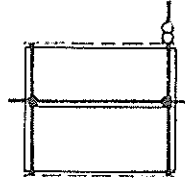
ويمكن تركيب الموصلات الهابطة تحت القصاراة Under plaster أو مباشرة في الخرسانة أو القنوات العامودية، ويجب أن تحتوي هذه الموصلات على وصلات فحص Test joints. كذلك يمكن أن تكون الموصلات الهابطة معزولة.



$$\text{عدد الموصلات الهابطة} = \frac{70}{20} = 3.5 \text{ (العدد 4)}$$

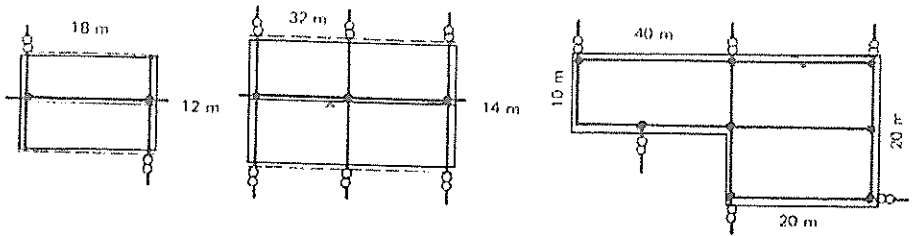


$$\text{عدد الموصلات الهابطة} = \frac{80}{20} = 4$$



المحيط أقل من 20 متراً موصل هابط واحد

ملاحظة : تكملة الشكل على صفحة 494 .



عدد الموصلات الهابطة $3 = \frac{60}{20}$ وبما ان العرض اقل من 12 متراً، فالعدد هو 2

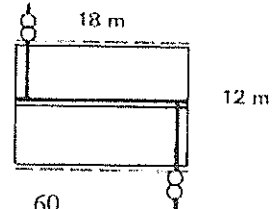
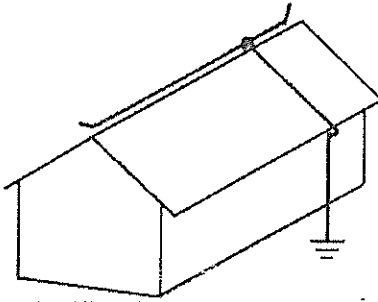
عدد الموصلات الهابطة $\frac{92}{20} = 4.6$ (العدد 5) المبني متماثل فالعدد = 6

عدد الموصلات الهابطة $6 = \frac{120}{20}$

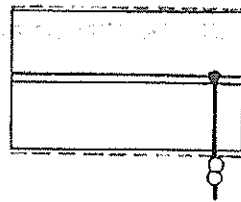
شكل-37

ترتيبات الموصلات الهابطة من وسيلة إعتراض على شكل شبكة .

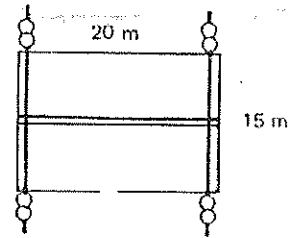
موصل إعتراض يحمي منطقة بزاوية 45 درجة



عدد الموصلات الهابطة $3 = \frac{60}{20}$ العرض اقل من 12 م ، فالعدد هو 2



موصل هابط واحد إذا كان المحيط اقل من 20 متراً

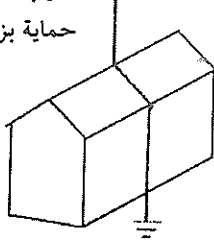


عدد الموصلات الهابطة $3.5 = \frac{70}{20}$

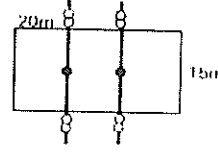
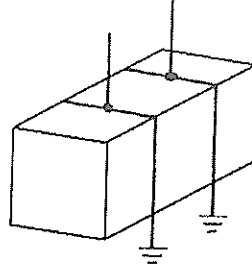
شكل-38

ترتيبات الموصلات الهابطة من وسيلة إعتراض على شكل موصل

تضيق اعتراض ومنطقة
حماية بزاوية 45 درجة



المحيط أقل من 20 متراً.
موصل هابط واحد



$$3.5 = \frac{70}{20} = \text{عدد الموصلات الهابطة}$$

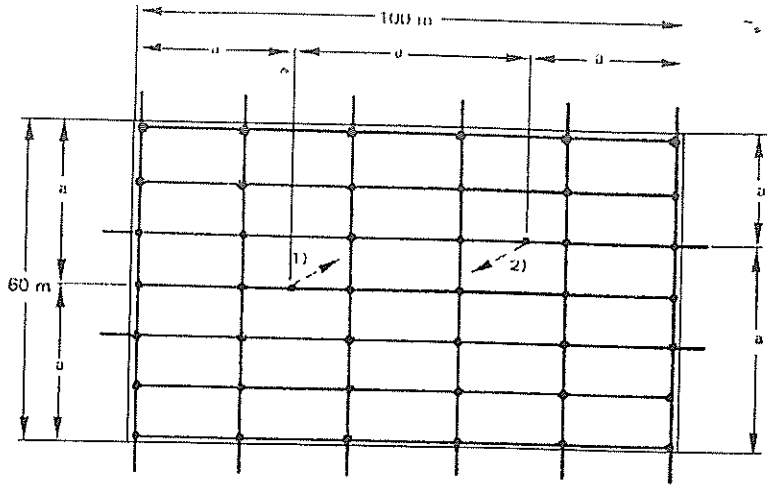
$$4 = \text{عدد الموصلات المطلوبة}$$

شكل -39

ترتيبات الموصلات الهابطة من قضبان عامودية .

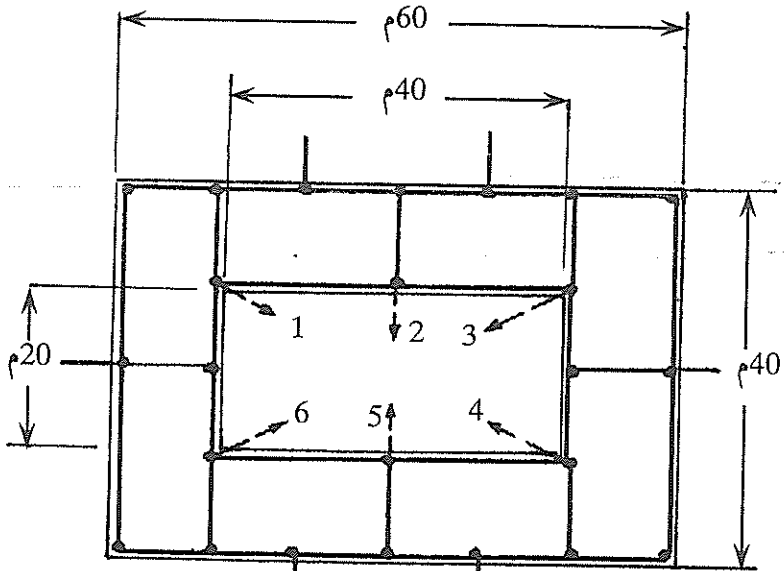
أما إذا كانت مساحة المبنى أكبر من (40x40) متراً فلا بد من تركيب موصلات هابطة داخلية إذا كان التصميم يسمح بذلك . ويجب التأكد من أن مسافة التباعد a بين الموصلات الهابطة الداخلية لا تزيد على أربعين متراً، وكذلك مسافة التباعد بين الموصلات الهابطة الخارجية أن لا تزيد على 40 متراً، ويتم حساب عدد الموصلات الهابطة الداخلية من مسافة التباعد المذكورة سابقاً . ويبين شكل -40 ترتيبات الموصلات الهابطة الداخلية Internal down conductor . أما إذا 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 الاعتبار أن لا تقل مسافة التباعد بين الموصلات الهابطة الخارجية على 10 أمتار .

أما إذا احتوى 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

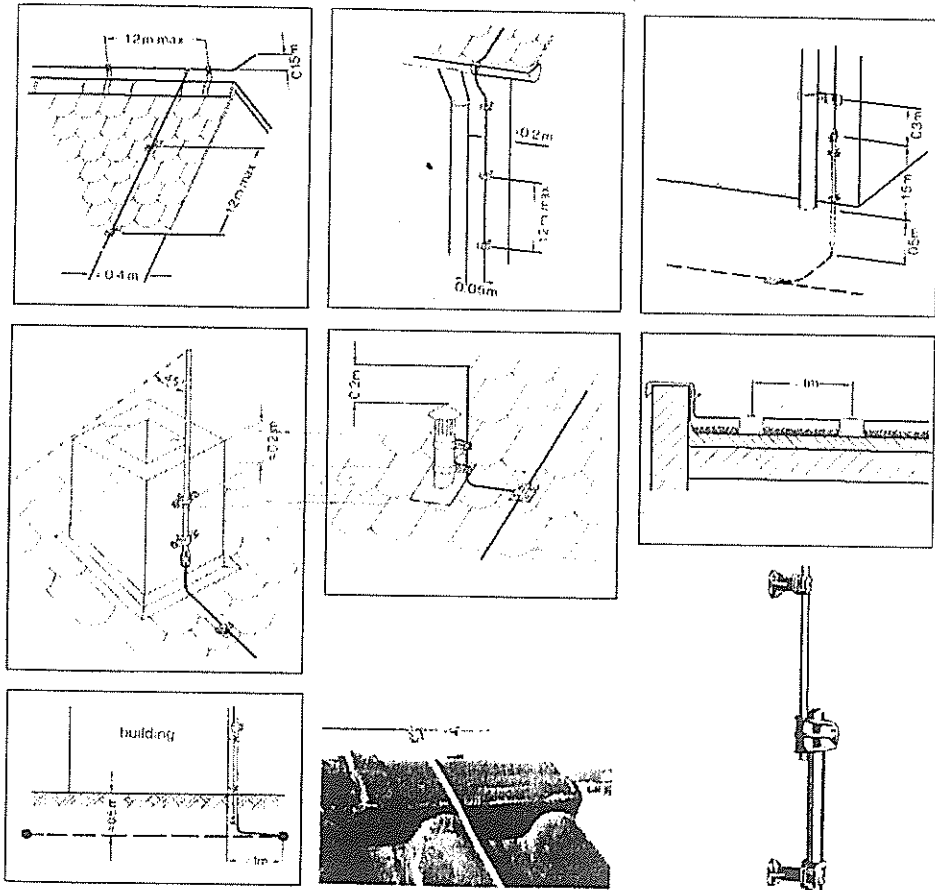
1 و 2 موصلات هابطة داخلية اضافية $a \leq 40m$



شكل-41

وأحياناً يمكن استخدام الأجزاء المعدنية من المبنى كموصلات هابطة، مثل سلك 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 الموصلات في حديد التسليح جيدة ومتينة كهربائياً وميكانيكياً. وكل ما ذكر كبديل عن الموصلات الهابطة يجب توصيله بشكل جيد مع نظام التأسيس للحماية من البرق، والذي بدوره يجب أن يتصل مع نظام الربط متساوي الجهد للمبنى.

كذلك لا بد من الإشارة 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 عمودية 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 كهربائياً 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:

$$Re = \alpha_1 \cdot R$$

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

نوعية التربة				نوع المكهر الأرضي
طينية	طفالية	شبه رملية	رمل	
0.5	0.45	0.3		مكاهر عمودية العدد 2-4
0.7	0.55	0.4	0.3	8
0.8	0.7	0.55	0.4	15
0.65	0.55	0.45	0.4	شريطان أفقيان طول كل منهما 5m ويفترقان في إتجاهين متضادين من نقطة التقاء الموصل الهابط .
0.7	0.6	0.5	0.45	ثلاثة شرائط طول كل منها 5 أمتار تفترق بالتماثل من نقطة إلتقاء الموصل الهابط .

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 الأرضية والمقاومة النبضية للتيار المتناوب .

جدول (14)

العلاقة بين المقاومة الأرضية والمقاومة النبضية للتيار المتناوب

المقاومة الأرضية/ أوم			المقاومة النبضية/ أوم
رمل	طفال رملي	تربة زراعية سوداء	
10	7.5	5	5
20	15	10	10
40	30	20	20
60	45	30	30
80	60	40	40

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 فإن الطول الأدنى يصبح 9 أمتار . أما إذا استخدم نظام تأريض شعاعي Radial earth فإن 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 جداً 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 سابقاً 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 إلى ارتفاع 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 أمبير². 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 مساحته مقطعة 56 م^2 (الكود السويسري) قد إرتفعت درجة حرارته إلى 140 م ، 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 الانثناء Bending forces. تنتج موجة الصدمة بتأثير درجة الحرارة العالية في قنال الوميض حيث ترتفع درجة حرارة الهواء المحيط إرتفاعاً كبيراً في زمن صغير. وهذا يؤدي إلى ضغط في المدى الصوتي Supersonic. ويسبب هذا الضغط صوت الرعد الذي نسمعه مصاحباً للعواصف البرقية إضافة إلى تأثيراته على سطوح المباني وخلخلة المواد وأحياناً تطايرها والتي تؤدي إلى 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 اعتماداً على اتجاه التيار الكهربائي. وتعتمد هذه القوة على مربع التيار وتناسب عكسياً مع المسافة بينهما.

وإنطلاقاً 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 19 مم. كذلك لا بد من تجنب الانحناءات الحادة عند تحديد موصلات الحماية.

ج- الاعتبارات الكهربائية:

إن أحد أهم التأثيرات الكهربائية لتيار البرق هو ما يسمى بالوميض الجانبي Side flash، حيث كان هذا الوميض سبباً 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 هبوطاً 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 :

$$V_R = I_L \cdot R_c$$

ويساوي هبوط الفولطية في الموصل الهابط :

$$V_L = L \frac{di_L}{dt}$$

حيث أن :

I_L - تيار البرق.

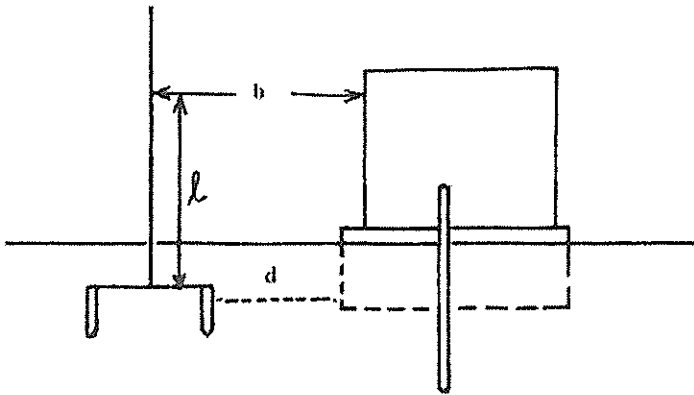
L - محاثة الموصل الهابط.

ولغايات تبسيط الحساب يتم جمع هبوط الفولطية في المقاومة وهبوط الفولطية في الموصل الهابط جمعا جبرياً وليس هندسياً كما هو مفروض. لذلك فالفولطية القصوى تساوي :

$$V = V_R + V_L = I_L \cdot R_c + L \frac{di_L}{dt}$$

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، ومحاعة الموصل الهابط تساوي المحاعة النوعية مضروبة في طول الموصل. أي ان:

$$L = L_0 \cdot l$$

ويمكن اعتبار L_0 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 10 أوم 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 وميضاً جانبياً يحدث بسبب انهيار الشفرة الهوائية، وحتى لا يحدث انهيار 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 انهيار 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 أن:

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 المحائة (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 أن لا تقل عن ثلاثة أمتار.

وتعتمد مسافة الإبراء لهبوط الفولطية في المحائة على مميزات Parameters تيار البرق وعدد الموصلات الهابطة. فإذا كان عدد الموصلات الهابطة يساوي n فإن مسافة الإبراء تتحدد كما يلي:

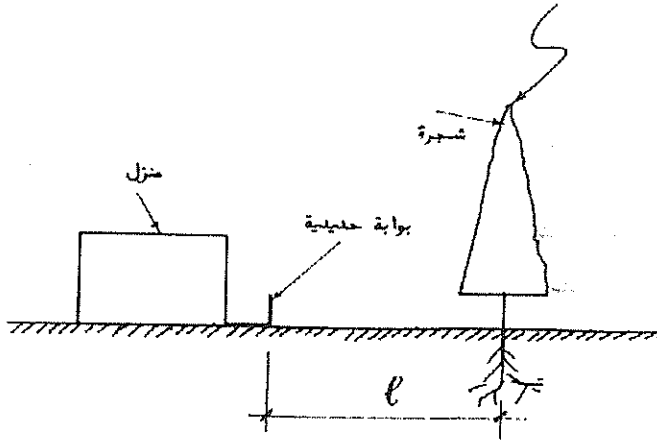
$$b \geq 0.3R_e + \frac{0.1\ell}{n}$$

14.8 دراسة بعض الحالات العملية

1- وجود أشجار عالية قرب المنازل

تشكل الأشجار العالية الموجودة قرب المنازل والمباني خطراً على هذه المباني إذا كان ارتفاعها 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 احتمال 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 يساوي 30 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 كهربائياً ويسبب 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.

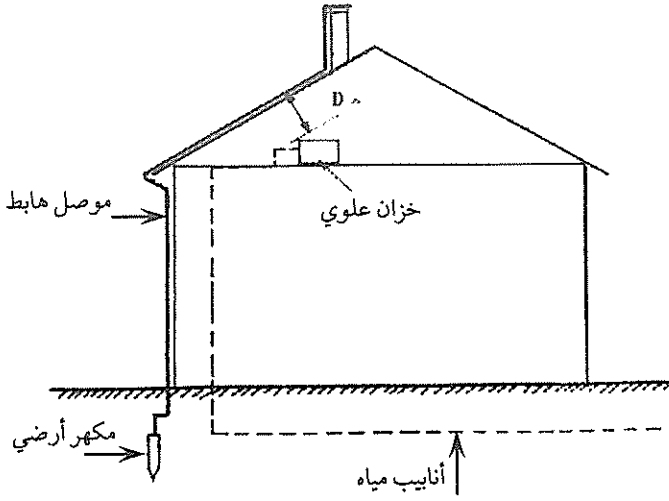
أما إذا وجدت شجرة منفردة قريبة من المبنى فيمكن إهمال تأثيرها إذا كان طولها أقل من إرتفاع المبنى، أما إذا كان طولها أكبر من إرتفاع المبنى فإن مسافة الإبراء تكون كما يلي:

- 1- للمباني ذات الارتفاع العادي تكون مسافة الإبراء مساوية لنصف إرتفاع المبنى.
- 2- وللمباني الخطرة التي تحتوي على مواد قابلة للاشتعال أو الانفجار تكون مسافة الإبراء مساوية لإرتفاع 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 هو عشرة 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 الشغرة D إذا كانت فولتية الانهيار لها أقل من الفولتية التي ظهرت على المدخنة، لذلك فالمسافة D يجب أن تحقق ما يلي:

$$D \geq \frac{V}{E}$$

حيث ان E هي فولتية الانهيار للشغرة الهوائية D وتساوي 500 كيلوفولط / متر. في حالتنا، فإن المسافة D يجب أن تحقق ما يلي:

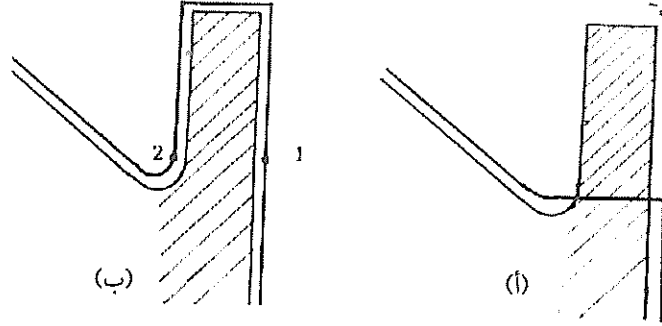
$$D \geq \frac{2010}{500} = 4m$$

أي أن المسافة D يجب أن تزيد على أربعة أمتار حتى لا يحدث وميض جانبي.

ج-وجود بروز معماري في المبنى

يجب الحذر عند تحديد الموصلات الهابطة في حالة وجود بروز معماري في المبنى.

وبين شكل -46 شكل بروز في مبنى، فإذا تم تحديد الموصل الهابط كما في شكل



شكل-46

(46-ب) فإن هذا الموصل يُشكل أنشودة Loop حول ذلك البروز، وبالتالي يظهر فرق فولتية بين النقطتين أو في حالة تعرض المبنى لضربة برق وتساوي الفولتية في هذه الحالة ما يلي:

$$V = L_0 \cdot \ell \frac{di}{dt} = 1.7 \ell \times 30 = 50 \ell$$

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 الأنشودة. وفي كثير من الحالات فإن التصميم المعماري لا يحقق ذلك. في هذه الحالة وحتى نتجنب تشكيل أنشودة، يتم تمديد الموصل الهابط كما في شكل 46.

15.8 الحاجة إلى الوقاية من الصواعق

ليس هناك أسلوب 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 الأضرار Damage 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- المداخل العالية .
- 4- المباني التاريخية والأثرية .
- 5- الجوامع وأبراج الكنائس .

وقد تم إعتقاد طريقة عملية لأول مرة في تقرير مدى الحاجة إلى الوقاية من الصواعق في الكود البريطاني عام 1965 . فقد اقترح شيبلي Shipley عام 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 مساوياً 40 أو أكثر فيلزم تركيب نظام حماية من الصواعق ، وتبين الجداول التالية قيم دليل المخاطرة .

جدول (15)
قيم دليل المخاطرة A (إستعمالات المبني)

قيمة الدليل (A)	استعمال المبني
2	البيوت السكنية والمباني الأخرى المشابهة لها في الأبعاد
4	البيوت السكنية والمباني الأخرى المشابهة لها في الأبعاد وذات الهوائيات الخارجية.
6	المصانع والمشاغل والمختبرات
7	أبنية المكاتب والفنادق والشقق والأبنية السكنية الأخرى غير الواردة.
8	أماكن الاجتماعات مثل المساجد والكنائس والقاعات والمسارح والمتاحف والمعارض والمجمعات التجارية والمحلات الكبيرة ومكاتب البريد ومحطات المواصلات والمطارات والملاعب الرياضية.
10	المدارس والمستشفيات ورياض الأطفال ومراكز التجمع الأخرى

جدول (16)
قيم دليل المخاطرة B (نوع بنية المنشأ)

قيمة الدليل (B)	نوع بنية المنشأ
1	هيكل فولاذي مغلق ذو سطح علوي (Roof) غير معدني *
2	خرسانة مسلحة وسطح علوي غير معدني
4	طوب أو خرسانة عادية أو حجر ذو سطح علوي غير معدني وغير قشبي
5	هيكل فولاذي مغلق أو من الخرسانة المسلحة ذو سطح علوي معدني
7	هيكل أو تغليف خشبي ذو سطح علوي غير معدني أو غير قشبي
8	طوب أو خرسانة عادية أو حجر ذو هيكل خشبي وسطح علوي معدني
10	أي مبنى ذو سطح علوي من القش

* يستثنى من هذه الجداول المنشآت المكونة من معدن مكشوف مستمر حتى الأرض.

جدول (17)
قيم دليل المخاطرة C (محتويات المبنى ونوعه)

قيمة الدليل (C)	محتويات المبنى ونوعه
2	مبان سكنية عادية أو مكاتب، مصانع ومشاعل لا تحتوي على محتويات ثمينة أو سريعة التأثير.*
5	مبان صناعية أو زراعية تحتوي على مواد سريعة التأثير.*
6	محطات كهرباء، محطات توزيع غاز، مقاسم هواتف أو محطات ارسال.
8	مصانع، نصب، مبان تاريخية، متاحف، مبان، ومعارض فنية أو مبان أخرى ذات محتويات قيمة.
10	مدارس، مستشفيات، رياض أطفال أو ملاجئ وأماكن تجمع أخرى.

*مصنع مهم أو مواد قابلة للاحتراق أو التأثير بنتائج الحريق.

جدول (18)
قيم دليل المخاطرة D (درجة عزلة المبنى)

قيمة الدليل (D)	درجة عزلة المبنى
2	منشأ يقع في منطقة واسعة ذات منشآت أو أشجار عالية (كالبلدان الكبيرة أو مناطق الغابات) إرتفاعها يساوي أو أكبر من إرتفاع المنشأ.
5	منشأ يقع في منطقة قليلة المنشآت أو ذات أشجار إرتفاعها يساوي إرتفاع المنشأ.
10	منشأ منعزل تماماً أو يزيد إرتفاعه عن ضعف إرتفاع المنشآت أو الأشجار المحيطة به على الأقل.

جدول (19)

قيم دليل المخاطرة E (طبيعة المنطقة التي يوجد فيها المنشأ)

قيمة الدليل (E)	طبيعة المنطقة
2	منطقة منبسطة على أي منسوب
6	منطقة تلال
8	منطقة جبلية إرتفاعها بين 300 و 900 متر
10	منطقة جبلية يزيد إرتفاعها عن 900 متر

جدول (20)

قيم دليل المخاطرة F (إرتفاع المنشأ فوق سطح البحر)

قيمة الدليل (F)	إرتفاع المنشأ فوق سطح البحر	
	لغاية	يزيد عن
2	9 أمتار	
4	15 مترا	9 أمتار
5	18 مترا	15 أمتار
8	24 مترا	18 مترا
11	30 مترا	24 مترا
16	38 مترا	30 مترا
22	46 مترا	38 مترا
30	53 مترا	46 مترا

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 اعتمدت على أن عدد الأيام الرعدية في السنة يساوي 21 يوماً. وهو رقم مناسب للظروف البريطانية، وقد اعتمد 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 صفراً أو رقماً سالباً.

أما الكود السويسري فيصنف المنشآت إلى عدد من الفئات التي 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) متراً، وسقفه غير معدني، موجود

في مدينة عمان . إ حسب 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 دليل $C=2$ (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 A,B,C,D,E,F,G 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 . وتقتراح 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 إذا كانت قيمة عامل الخطورة أكبر من 10^{-5} فإن الحماية من البرق للمنشأ تصبح ضرورية .

ويساوي عامل الخطورة الكلي ما يلي:

$$RF = P \times O.W.F$$

$$P = Ac \times Ng \times 10^{-6}$$

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:

$$O.W.F = A \times B \times C \times D \times E$$

حيث أن عوامل التثقيل A, B, C, D, E تبينها الجداول التالية:

جدول (22)
قيم عامل التثقيب A (استعمال المنشأ)

عامل التثقيب (A)	إستعمال المنشأ
0.3	البيوت السكنية والمباني الأخرى المشابهة لها في الأبعاد .
0.7	البيوت السكنية والمباني الأخرى المشابهة لها في الأبعاد وذات الهوائيات الخارجية .
1.0	المصانع والمشاغل والمختبرات .
1.2	أبنية المكاتب والفنادق والشقق والأبنية السكنية الأخرى غير الواردة سابقا .
1.3	أماكن الاجتماعات مثل المساجد والكنائس والقاعات والمسارح والمتاحف والمعارض والمجمعات التجارية والمحلات الكبيرة ومكاتب البريد ومحطات المواصلات والمطارات والملاعب الرياضية .
1.7	المدارس والمستشفيات ورياض الأطفال ومراكز التجمع الأخرى .

جدول (23)
قيم عامل التثقيب B (نوع بنية المنشأ)

عامل التثقيب (B)	نوع بنية المنشأ
0.2	هيكل فولاذي مغلق ذو سطح علوي (Roof) غير معدني ❖
0.4	خرسانة مسلحة و سطح علوي غير معدني
0.8	هيكل معدني أو خرسانة مسلحة و سطح علوي معدني
1.0	طوب أو خرسانة عادية أو حجر ذو سطح علوي غير معدني وغير قشي
1.4	هيكل أو تغليف خشبي ذو سطح علوي غير معدني أو غير قشي
1.7	طوب أو خرسانة عادية أو حجر ذو هيكل خشبي و سطح علوي معدني
2.0	أي مبنى ذو سطح علوي من القش

❖ 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 التثقيب C (محتويات المبنى ونوعه)

محتويات المبنى ونوعه	عامل التثقيب (C)
مبان سكنية عادية أو مكاتب، مصانع ومشاعل لا تحتوي على محتويات ثمينة أو سريعة التأثير*.	0.3
مبان صناعية أو زراعية تحتوي على مواد سريعة التأثير*.	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 التأثير بنتائج الحريق.

جدول (25)

قيم عامل التثقيب D (درجة عزلة المبنى)

درجة عزلة المبنى	عامل التثقيب (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 تماماً أو يزيد إرتفاعه على ضعف إرتفاع المنشآت أو الأشجار المحيطة به على الأقل.	2.0

جدول (26)

قيم عامل التثقيب E (طبيعة المنطقة التي يوجد فيها المنشأ)

طبيعة المنطقة	عامل التثقيب (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 900 متر.	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 N_g (من جدول 4).

$$N_g = 0.5$$

نحسب مساحة التجميع

$$A_c = LW + 2LH + 2WH + \pi H^2$$

$$= 60 \times 50 + 2 \times 60 \times 30 + 2 \times 50 \times 30 + \pi \times 30^2 = 12427 m^2$$

نحسب احتمال تعرض المبنى لضربة برق P.

$$P = A \times C \times N_g \times 10^{-6} = 12427 \times 0.5 \times 10^{-6} = 0.0062$$

نجد من الجداول 22-26 عوامل التثقييل المختلفة :

$$A=1.2$$

$$B=0.4$$

$$C=0.3$$

$$D=0.4$$

$$E=1.3$$

نجد عامل التثقييل الكلي كما يلي :

$$\begin{aligned} O.W.F &= A \times B \times C \times D \times E = 1.2 \times 0.4 \times 0.3 \times 0.4 \times 1.3 \\ &= 0.07488 \end{aligned}$$

كذلك ، فإن عامل التثقييل الكلي كما يلي :

$$RF = P \times O.W.F = 0.0062 \times 0.07488 = 0.00046$$

وبما أن المعيار لدينا هو 10^{-5} ، وبما أن 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 Wiring 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, Blackwell Science Ltd. 1999.
- 7- Electrical Installation Guide according to IEC International Standards. Technical Series, Groupe Schneider.
- 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- Principles 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 Schneider Electric.
- 15- Etienne Blanc.
Development of LV Circuit Breakers to Standard IEC 947-2. Cahier Technique No 150. Publications of Schneider 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. Saudi 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 System Protection Handbook. A Guide to Protecting Electronic Equipment from Lightning and Transient Overvoltages. Furse publications.

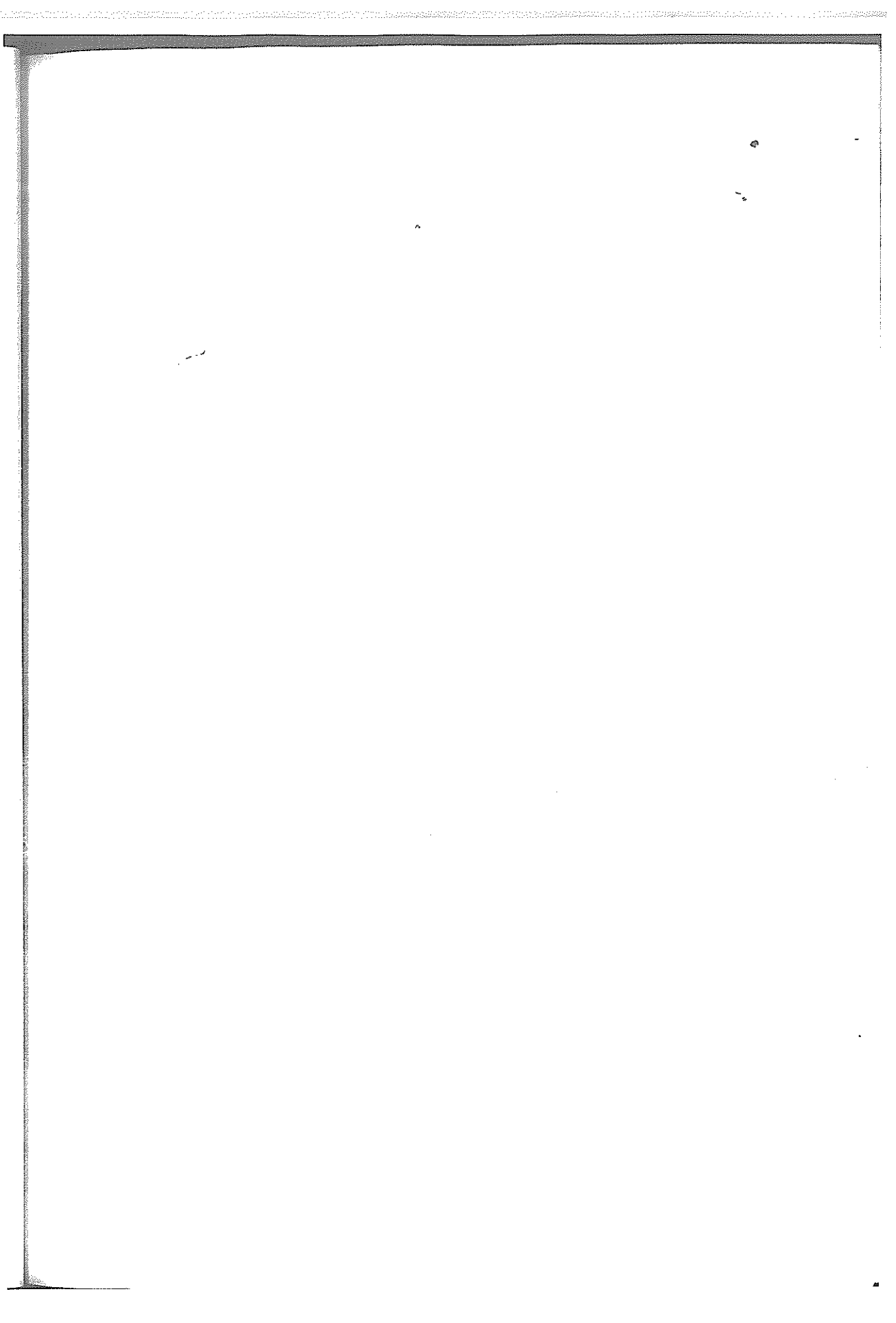
- 44- IEC - 364, 5-523. Current Carrying Capacities, IEC, 1983.
- 45- Electrical Installation of Buildings, IEC- 364 publications.
- 46- IES Lighting Fundamentals Course, published by IES of North America, 345 East 47th Str. NY 10017.
- 47- Exterior Lighting - EC- 100.8, IES.
- 49- British Standards Institution.
- 50- B.P. Larionov
Lightning Protection of Buildings and Industrial Structures. Energia, Moscow, 1974.
- 51- IES Lighting Handbook, 1981, Reference volume, 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, Lighting, Space Heating, 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 Aktiengesellschaft. 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- Switchgear Manual. 8 th edition, ABB Pocket Book, 1988.
- 59- I.K. Tulshen, G.I. Nidler
Electrical Wiring of Public Buildings. 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,. 2nd Edition - Macmillan Press 1993.
- 64- K.A. Stroud. Engineering Mathematics. 5th 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
الإدارة 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 :الانكليزي - 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 المتقطعة
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 الأقصى
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	إتعادة 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	هاليد 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 الافراية
Individual customer maximum demand	الطلب الأقصى للمستهلك الافراي
Contracted load	الحمل التعاقدى
Power factor	عامل القدرة
Covered area	المساحة المغطاة
Oven	فرن

Furnances	مواقد
Clearances	(مسافات) إبراء
Trench	خندق
Duct	معجى
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

الفصل الثاني: إختيار مقاطع الأسلاك والكوابل

Electrical conductors	موصلات كهربائية
Specific resistance	مقاومة نوعية
Corrosion	صدأ
High conductivity copper	نحاس عالي الموصلية
International annealed copper standard	قياسية النحاس المُلدن العالمية
Polyvinyl chloride (PVC)	البولي فينيل كلورايد
Vulcanization	الفلكنة
Vulcanized rubber insulation	عازلية المطاط المُفلكن
Tinned	قصدره
Plasticizer	مُلدنات
Brittleness	هشاشة (قصافة)
Active resistance	مقاومة فعالة
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	المحاكاة الذاتية
Mutual inductance	المحاكاة التبادلية
Ampacity	السعة الأمبيرية

Vandalism	تخريب
Sheath	قرااب
Conduit	قناة
Code reference letter	الحرف الكودي المرجعي
Single-way duct	مجري 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

الفصل الثالث: فقد وهبوط الفولطية

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 النهاية في الخط الكهربائي
Voltage drop	هبوط الفولطية
Ring circuit	دائرة حلقيّة
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

الفصل الرابع: التأريض

Static electricity	كهرباء ساكنة
Unearthed neutral	حيادي غير مؤرض
Arc lighting	إنارة قوسية
Creepage distance	مسافة زحف
Switchgear	(معدة أو لوحة) إبدال
Lightning impulse withstand voltage	فولطية الصمود النبضية البرقية
Power frequency withstand voltage	فولطية الصمود بتردد قدرة
Availability	متاحة
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 المفرط
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 صغرائية
Moulded case circuit breakers	قواطع دارة مقولبة
Air circuit breakers	قواطع دارة هوائية
Inrush currents	تيارات دقيقة
Characterstics	مميزات
Close overload protection	حماية حمل مفرط قريبة
Auxiliary switch	مبدل إضافي (مساعد)
Motors control center	مراكز تحكم بالمحركات
Thermal-magnetic sensing	تحسس مغناطيسي حراري
Hydraulic- magnetic sensing	تحسس مغناطيسي هيدروليكي
Solid state electronic	الالكترونيات الحالة الصلبة
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	مضاعف
Latch	مزلاج
Maximum load current	تيار الحمل الأقصى
Starting current	تيار الإقلاع
Maximum permissible current	التيار الأقصى المسموح به
Nominal current	تيار أسمى
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

الفصل السادس: عامل القدرة

Complex plane	السطح المركب
Apparent power	القدرة الظاهرية
Inductive reactance	مراكسة حثية
Active component	مركبة فعالة
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 arrester	كابحات تمور
Switching	إبدال
Induction motors	محركات حثية
Self excitation	تهيج ذاتي
Magnetic inertia	قصور مغناطيسي
Wattless	لاوطني
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	مُعَادلة جَمَاعِيَّة
Centralized control	تَحْكَم مَرَكْزِي
Overcurrent relay	مَرْحَل التِّيَار المَفْرَط
Reduction factor	عَامِل تَخْفِيز
Overcompensating	فَرَط المَعَادلة
Nonadjustable	غَيْر مَنضَبط
Compensation by sector	مَعَادلة حَسَب القَطَاع
Fixed capacitor	مَكْنَفَات ثَابِتة
Automatically regulated capacitor	مَكْنَفَات مَنضَبطَة تَلْقَائِيًّا
Switching	أَبْدَال
Power supply	تَزْوِيد كَهْرِبَائِي
Contactors	مَلَامَسَات
Device	نَيْبِطَة
Summation current transformer,	مَحْوَل تِيَار تَجْمِيعِي
Intermediate current transformer	مَحْوَل تِيَار وَسْطِي
Automatic power factor regulation	مَنْظَم عَامِل قَدْرَة تَلْقَائِي
Dial	أَقْرَاص مَدْرَجَة
Band adjustable dial	قَرَص نَطَاق الضَّبْط
Center value shifting dial	قَرَص إِزَاحَة قِيْمَة الوَسْط
Time setting	تَعْبِير زَمْنِي
Target reactive power	القَدْرَة المَرَاكْسَة الهَدَف (المَطْلُوبَة)
Bank	مَجْمُوعَات
Setting dial	قَرَص التَعْبِير
Adjustable band	نَطَاق الضَّبْط
Set point	نَقْطَة التَعْبِير
Center value	قِيْمَة الوَسْط
Lagging	تَأْخِير (مَتَأَخِر)
Leading	تَقْدِيم (مَتَقْدِم)
Magnetic release	إِعْتَاق مَغْنَاطِيْسِي
Periodic overcurrent	تِيَار مَفْرَط دَوْرِي
Voltage harmonic	فُولْطِيَّة تَوَافِقِيَّة

الفصل السابع: حسابات الإستنارة

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	أنبوبية 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 المنيرة
Candela	قنديلة
Solid angle	زاوية مجسمة
Candle power	قدرة الشمعة
Illuminance	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 ابتدائية
Maintained illumination	إستنارة أكيدة

Roof structure	منشآت سطحية (على السطح)
Annealed	مُملدن
Strips	شرائط
Stranded	مجدول
Imaginary conductor	موصل تخيلي
Diagonally	قطري
Interception	موصل اعتراض
Interception net	شبكة اعتراض
Mesh	عين (في شبكة اعتراض)
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 القسارة
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 تثقيب كلي

هذا الكتاب

يتكون هذا الكتاب من ثمانية فصول تغطي مفاصل رئيسية في عملية التصميم للشبكات الكهربائية في المشاريع الكبرى حسب الكودات والمواصفات والقياسات الدولية المعتمدة في هذا المجال، وخاصة ما صدر عن اللجنة الكهروتقنية الدولية IEC. يستعرض الفصل الأول الاحمال الكهربائية، طبيعتها وكيفية تقديرها. لقد حاولنا، قدر المستطاع، تصنيف هذه الاحمال حسب نوعها واستخداماتها ليسهل تقديرها وحسابها، مع إدراكنا مسبقاً 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 واخيراً الجداول الخاصة باللجنة الكهروتقنية الدولية. وقد شرحنا في الفصل الثالث كيفية حساب فقد وهبوط الفولطية وبيننا الفرق بينهما، ثم استعرضنا حساب فقد الفولطية في الدارات الحلقية. وخصص الفصل الرابع لاحد المواضيع المهمة عند تصميم شبكات التمديدات الكهربائية الا وهو موضوع التآريض، والذي يجد المهندس نفسه أمام معضلات تسبب له إشكاليات عديدة. لذلك جاء هذا الفصل موسعاً في محتواه وأردقاه تفصيلاً ليعطي الموضوع بشمولية وبعمق. وأفردنا فصلاً خاصاً ليعطي 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/الأردن - 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 ٠٢/٢٩٦٦٦١٤

دار الشروق للنشر والتوزيع - نابلس - جامعة النجاح - تلفون ٠٩/٢٣٩٨٨٦٢

دار الشروق للنشر والتوزيع - غزة - الزمالة 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	تصميم داخلي
Lighting switches	مفاتيح إنارة
Spacing	تباعدا
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 depreciation	(عامل) استهلاك لومنات المصباح
Beam lumen	لومن الشعاع
Beam angle	زاوية الشعاع
Lantern	مشكاة، منارة

الفصل الثامن: حماية المنشآت من العواصف الرعدية

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	سالبة كهربائيا

هذا الكتاب

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 الأول الاحمال الكهربائية، طبيعتها وكيفية تقديرها. لقد حاولنا، قدر المستطاع، تصنيف هذه الاحمال حسب نوعها واستخداماتها ليسهل تقديرها وحسابها، مع إدراكنا مسبقاً 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 واخيراً الجداول الخاصة باللجنة الكهروتقنية الدولية. وقد شرحنا في الفصل الثالث كيفية حساب فقد وهبوط الفولطية وبيننا الفرق بينهما، ثم استعرضنا حساب فقد الفولطية في الدارات الحلقية. وخصص الفصل الرابع ل أحد المواضيع المهمة عند تصميم شبكات التمديدات الكهربائية الا وهو موضوع التآريض، والذي يجد المهندس نفسه أمام معضلات تسبب له إشكاليات عديدة. لذلك جاء هذا الفصل موسعاً في محتواه وأردناه تفصيلياً ليغطي الموضوع بشمولية وبعمق. وأفردنا فصلاً خاصاً 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/الأردن - 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

ردمك ISBN 9957-00-155-8