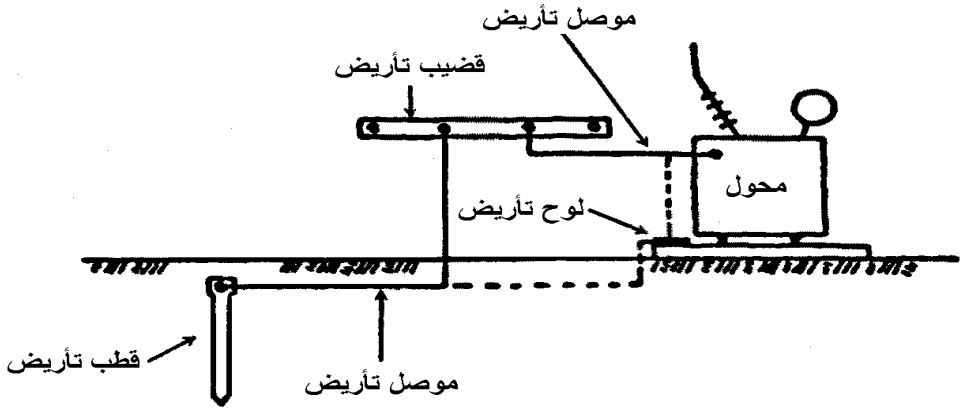
10- تصميم أعمال التأريض في المباني

عام

- التأريض هو توصيل شبكات الكهرباء المغذية للمبنى و/أو أجسام المعدات الكهربائية الموجودة في المبنى بالأرض ويتم بغرض الوقاية من الصدمة الكهربائية.
- يختص النوع الأول من التأريض بتوصيل واحد أو أكثر من الموصلات الحاملة للتيار الكهربي والخاصة بشبكات تغذية المبنى بالكهرباء بالأرض، ويسمى "تأريض النظام-" System Grounding (or System Earthing).
- يمكن أن ينفذ هذا التوصيل بالأرض في مكان واحد أو أكثر من مكان من شبكة التغذية ويتوقف ذلك على نوع نظام التغذية المعمول به. وغالبا ما تكون النقطة المستخدمة بشكل أساسي لتأريض شبكات توزيع الكهرباء على الجهد المنخفض هي نقطة التعادل الخاصة بالملفات الثانوية (ملفات الجهد المنخفض) لمحول التوزيع المغذي للشبكة.
- أما النوع الثاني من التأريض فيختص بتوصيل الأجسام الخارجية المعدنية للمعدات التي تعمل بالكهرباء بالأرض، ويسمى "التأريض الوقائي- Protective grounding". وعلى سبيل المثال لا الحصر فمن المعدات التي يجب أن تؤرض وقائيا أجسام لوحات توزيع الكهرباء خارج وداخل المباني، لوحات الإنارة الداخلية والخارجية، المواسير المعدنية المستخدمة في تمديدات أسلاك وكابلات الكهرباء، الحوامل المعدنية للكابلات، الأجسام المعدنية لأعمدة الإنارة الخارجية، الأجسام المعدنية لوحدات الإنارة الداخلية والخارجية، الأجسام المعدنية لجميع المعدات التي تعمل بالكهرباء... إلخ.
- يتكون نظام التأريض من قطب أرضي (Earth Electrode) ويسمى أيضا قطب تأريض وموصلات تأريض(Grounding Conductors) وقضبان تأريض (Ground Buses). والشكل (10- 1) يوضح مكونات نظام تأريض مبسط.



شكل رقم (10 – 1) نموذج مبسط لنظام تأريض

- يتكون قطب الأرضي من واحد أو أكثر من الأجسام المعدنية المدفونة في الأرض والمتصلة ببعضها البعض اتصالا كهربيا جيدا والمزودة بواحد أو أكثر من أطراف التوصيل لإتاحة التوصيل إليها من سطح الأرض. ويستخدم قطب التأريض الوقائي في استقبال تيار الكهرباء الأرضي من الشبكات أو المعدات المؤرضة ونشره في الأرض التي يسري خلالها إلى أن يتم تجميعه وإعادته إلى نظام التغذية مرة أخري من خلال قطب أو أقطاب تأريض النظام. والمقصود بتيار الكهرباء الأرضي هنا هو إما كل أو جزء من التيار المساوي لثلاثة أضعاف مركبة التيار الصفرية (Zero-Sequence current component) الناتجة عن عدم تماثل التيارات في الأطوار الثلاثة لمصدر التغذية ثلاثي الأطوار سواء كان عدم التماثل ناتجا عن عدم تساوى تيارات الأحمال العادية على الأطوار الثلاثة أو عن خطأٍ عبارة عن اتصالٍ طارئٍ (Accidental) بين واحد أو اثنين من أطوار مصدر التغذية والأرض.
- موصلات وقضبان التأريض هي الموصلات والقضبان المستخدمة في توصيل الشبكات أو المعدات المؤرضة بأقطاب التأريض المخصصة لتوصيلها بالأرض.
- يجب أن تصمم نظم التأريض بحيث توفر الحماية للأشخاص من أي احتمال لتعرضهم لصدمة كهربائية عند ملامستهم لأجسام المعدات الكهربائية المؤرضة وبحيث تمنع تعرض المعدات المستهلكة للكهرباء في المباني أو معدات شبكات

الكهرباء المغذية لها لتيارات أو جهود تفوق قدرتها على التحمل. ويقتضي ذلك تصميم أقطاب وموصلات وقضبان التأريض بحيث تكون قادرة على القيام بهذه المهمة في جميع الأحوال، أي تحت ظروف التشغيل العادية للمعدات والشبكات وعند تعرضها لظروف غير عادية متمثلة في الأخطاء الأرضية وغيرها.

- المقصود بالتصميم هنا هو اختيار المواد والأبعاد الخاصة بمكونات نظام التأريض المناسب لنظام التوزيع المستخدم والمناسبة أيضا لطبيعة التربة التي ستنفذ فيها أقطاب التأريض, ويدخل ضمن أعمال التصميم أيضا تحديد كيفية توصيل مكونات نظام التأريض ببعضها البعض وبالشبكات والمعدات المؤرضة.

10-1 التأريض في نظم توزيع الكهرباء على الجهد المنخفض

توضح الرسومات التالية كيفية تأريض نظم توزيع الكهرباء على الجهد المنخفض وتأريض المعدات المغذاة منها.

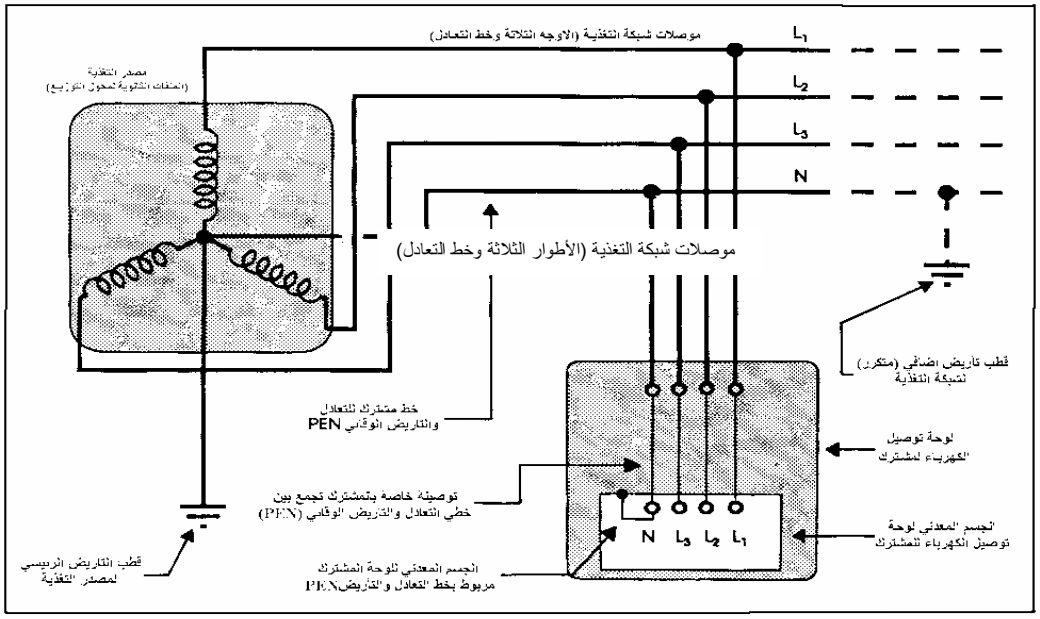
(أ) التأريض في نظام التوزيع رباعي الأسلاك من النوع "أت- ش – TNC"

يقدم الشكل (10-2) مخططا لهذا النظام ومنه يتضح أن تأريض النظام يستخدم في نفس الوقت كتأريض وقائي للمعدات وأن تأريض النظام يتم من خلال قطب تأريض رئيسي توصل إليه نقطة التعادل الخاصة بالملفات الثانوية لمحول التوزيع المغذي للشبكة ومن خلال أقطاب تأريض إضافية يتم اختيار الأماكن المناسبة لها في شبكة التوزيع. وفي هذا النظام يستخدم الموصل الرابع كخط للتعادل وكموصل للتأريض الوقائي في نفس الوقت (PEN).

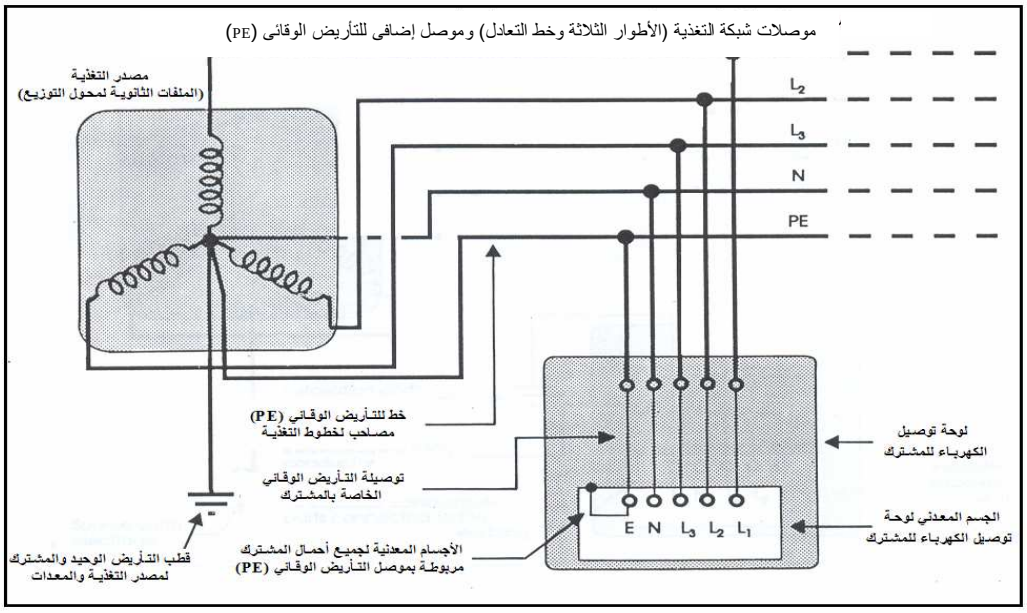
(ب) التأريض في نظام التوزيع خماسي الأسلاك من النوع "أت- ص – TNS"

يقدم الشكل (10-3) مخططا لهذا النظام, ومنه يتضح أنه يوجد قطب تأريض واحد يستخدم لتأريض النظام وللتأريض الوقائي للمعدات في نفس الوقت. ويوصل هذا القطب إلى نقطة التعادل الخاصة بالملفات الثانوية لمحول التوزيع ومنها يمدد خطان مستقلان مع موصلات الأطوار الثلاثة في كل تفرعات شبكة التوزيع. ويستخدم الخط الأول كموصل تعادل (N)

لشبكة التغذية أما الثاني فيمدد كموصل تأريض وقائي (PE) توصـــل إليـــه الأجسام المعدنية لجميع مكونات الشبكة ولجميع الأحمال المغذاة منها.



شكل رقم (10–2): التأريض في نظام التوزيع من النوع "أت– ش – TNC"



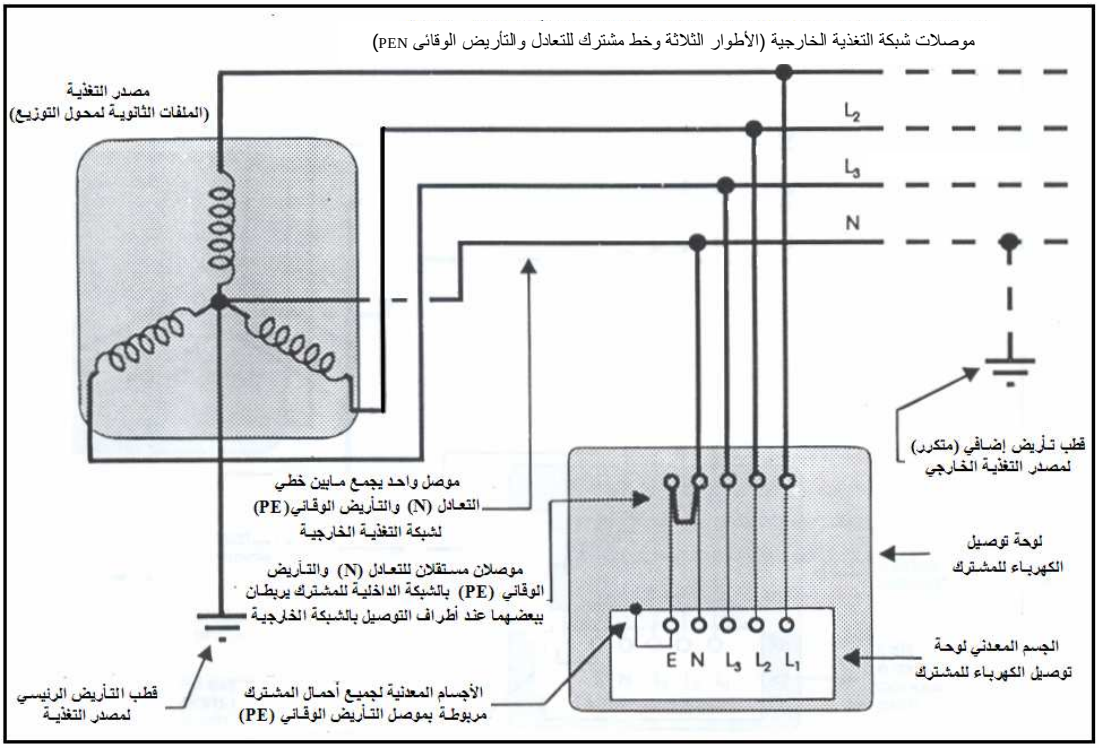
شكل رقم (10–3): التأريض في نظام التوزيع من النوع "أت– ص – TNS"

(ت) التأريض في نظام التوزيع رباعي/خماسي الأسلاك من النـــوع "أت–ش–ص– TNCS"

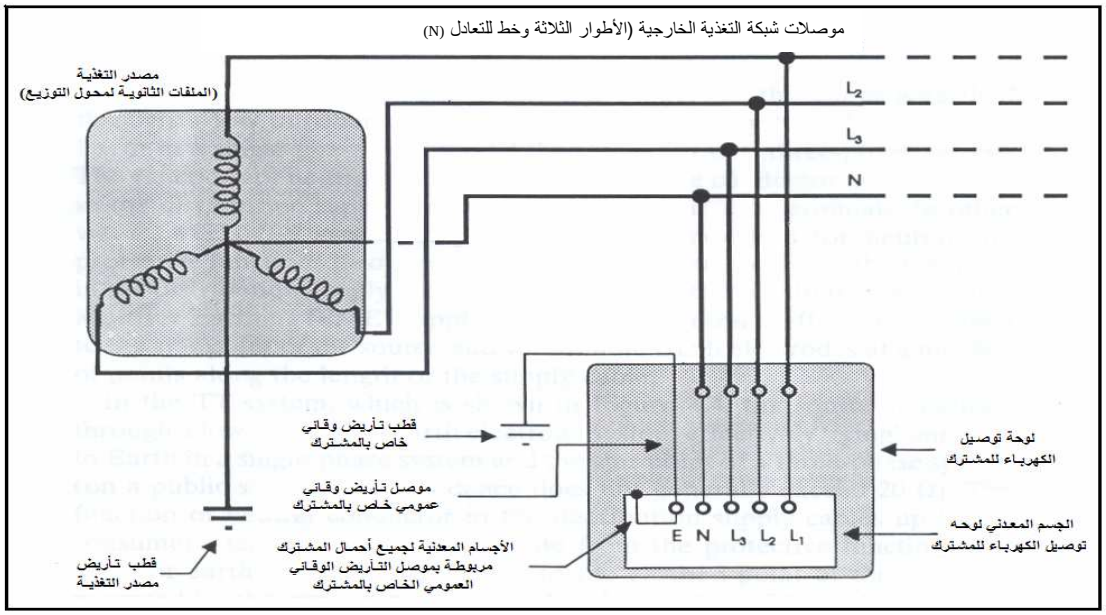
يقدم الشكل (10–4) مخططا لهذا النظام ومنه يتضح أن هذا النظام يجمـــع بين النظامين السابقين من حيث أن شبكات التغذية الخارجية تؤرض بـــنفس الكيفية المستخدمة في النظـــام "أت– ص – TNS" وأن شـــبكات التوزيـــع الداخلية الخاصة بالمشترك تؤرض بنفس الكيفية المستخدمة في النظام "أت– ش– ص – TNCS". يوجد قطب تأريض واحد يستخدم لتـــأريض النظـــام وللتأريض الوقائي للمعدات في نفس الوقت. ويوصل هذا القطب إلى نقطـــة التعادل الخاصة بالملفات الثانوية لمحول التوزيع ومنها يمدد خطان مستقلان مع موصلات الأطوار الثلاثة في كل تفرعات شبكة التوزيع. ويستخدم الخط الأول كموصل تعادل (N) لشبكة التغذية أما الثاني فيمدد كموصل تـــأريض وقائي (PE) توصل إليه الأجسام المعدنية لجميع مكونات الـــشبكة ولجميـــع الأحمال المغذاة منها.

(ث) التأريض في نظام التوزيع رباعي الأسلاك من النوع "أأ – TT"

يقدم الشكل (10– 5) مخططا لهذا النظام ومنه يتضح أن هذا النظام يختلف عن النظم الثلاثة السابقة من حيث أنه يستخدم قطب تـــأريض واحـــد لـــشبكة التغذية الخارجية وأقطاب تأريض مستقلة للتأريض الوقائي بواقع قطب واحـــد لكل مشترك. وتمدد موصلات التأريض الوقائي لدي المشتركين فقـــط لـــربط الأجسام المعدنية لأحمالهم بأقطاب التأريض الوقائية الخاصة بهم.



شكل رقم (10–4) التأريض في نظام التوزيع من النوع "أت–ش– ص – TNCS"



شكل رقم (10– 5) التأريض في نظام التوزيع من النوع "أأ – TT"

10-2 تصميم أقطاب التأريض

- أقطاب التأريض، كما ذكر سابقا، هى أجسام معدنية تدفن في الأرض للاستفادة بجهد الأرض كجهد مرجعي (Reference Voltage) للشبكات والمعدات المؤرضة ولنقل التيار الكهربي القادم من الأجسام المؤرضة عبر موصلات التأريض إلى الأرض (أو العكس). إلا أن هذه الأجسام المعدنية يجب أن تكون متناسبة من حيث أحجامها ومساحة أسطحها مع قيمة التيار المار من خلالها إلى الأرض
- يجب أن تكون الأقطاب متصلة اتصالا جيدا بالتربة المحيطة بها كي تكون قادرة على نقل التيار المار بها إلى الأرض (أو العكس) دون أن يؤدي ذلك إلى ارتفاع في درجة حرارة التربة إلى الحد الذي يؤدي إلى جفافها أو إلى ظهور توزيعات خطرة للجهد على سطح الأرض في المنطقة المحيطة بها.
- يمكن ،بصفة عامة، الاستفادة من الأجسام المعدنية المدفونة في الأرض والمستخدمة لأغراض أخرى (كمواسير المياه أو الغاز أو حديد تسليح المنشآت أو قضبان الأوناش... إلخ) واستخدامها كأقطاب تأريض طالما كانت هذه الأجسام على اتصال جيد بالأرض. وإذا ما استخدمت تلك الأجسام كقطب تأريض فإنه يسمى قطب تأريض طبيعي (Natural Earth Electrode). وعند وجود عدد من هذه الأجسام المعدنية في المكان المطلوب لقطب التأريض فلابد من ربطها ببعضها البعض ربطا كهربائيا جيدا لتقليل المقاومة الكلية لقطب التأريض الذي تكونه. وإذا ما كانت المقاومة الأرضية الكلية لتلك الأجسام أكبر مما يجب لقطب التأريض المطلوب تنفيذه فإنه يمكن إضافة قطب جديد يوصل معها على التوازي لتحقيق المقاومة المطلوبة ويسمى القطب الإضافي المنفذ خصيصا لأغراض التأريض القطب الاصطناعي (Artificial Earth Electrode).
- تختلف قيمة المقاومة المطلوبة لأقطاب التأريض من قطب لآخر ومن مواصفة قياسية لأخرى وذلك حسب استخدام كل من هذه الأقطاب. ولهذا الغرض لابد من الرجوع للمواصفات القياسية المعمول بها لمعرفة قيمة المقاومة الأرضية المطلوبة من قطب الأرضي الجاري تصميمه أن يحققها. وإذا ما كانت هناك منشآت معدنية مدفونة في باطن الأرض ومسموح باستخدامها كأقطاب تأريض طبيعية فيجب

(قبل الشروع في تنفيذ أقطاب تأريض اصطناعية) قياس المقاومة الأرضية لهذه الأقطاب الطبيعية لتحديد ما إذا كانت هناك حاجة لأقطاب اصطناعية إضافية.

- توضح الفقرة رقم 4-11-2-2 بالمجلد الرابع من الكود المصري لأسس تصميم وشروط تنفيذ التوصيلات والتركيبات الكهربائية في المباني، وهو المجلد الخاص بالتأريض، كيفية قياس مقاومة قطب التأريض. وإذا اتضح من القياس أن المقاومة الأرضية للأقطاب الطبيعية المتاحة أكبر من القيمة التي تحددها المواصفات لقطب التأريض المطلوب تنفيذه فإن الأمر يستدعي تصميم وتنفيذ قطب تأريض اصطناعي وربطه كهربيا بالأقطاب الطبيعية المتاحة للوصول بالمقاومة الأرضية الكلية إلى القيمة المطلوبة. ويجب الانتباه هنا إلى أن قيم المقاومة الأرضية التي ينص عليها في المواصفات القياسية هي الحد الأقصى المسموح به لمقاومة القطب في أشد أوقات العام جفافا, وإذا ما أجريت القياسات في ظروف مختلفة فيجب إعادة حساب قيمة المقاومة المقاسة بضربها في معامل يسمى "معامل الجفاف" ويساوي النسبة بين المقاومة النوعية للتربة في أشد أوقات العام جفافا وقيمتها وقت قياس المقاومة عند توافر بعض الرطوبة فى التربة.

- تتباين أقطاب التأريض الاصطناعية في أحجامها وأشكالها ويتوقف ذلك على قيمة المقاومة المطلوب تحقيقها وطبيعة التربة التي سينفذ فيها قطب التأريض. ويعتبر قضيب التأريض الرأسي الموضح في الشكل (10-6) هو أبسط أشكال أقطاب التأريض. ويستخدم هذا النوع عادة في الأماكن التي تتميز بتربة ذات مقاومة نوعية منخفضة مثل التربة الطينية أو الملحية الرطبة. ويمكن أن يقتضي الأمر استخدام شبكة تأريض مترامية الأطراف تغطى مساحة تزيد على مئات الأمتار المربعة كما هو موضح في الشكل (10-7) وذلك عندما تكون المقاومة النوعية للتربة عالية جدا كما هو الحال بالنسبة للتربة الرملية الجافة أو التربة الصخرية. ويستخدم القطب البسيط الأول في الأماكن التي لا تحتاج إلى مقاومة أرضي صغيرة أما النوع الثاني فيستخدم غالبا لتأريض محطات توليد الكهرباء ومحطات المحولات الكبيرة.

- يتوقف حجم وشكل ومادة الأجسام المعدنية المكونة لقطب تأريض اصطناعي على عاملين أساسين هما:

* قيمة المقاومة الأرضية المطلوب أن يحققها القطب.

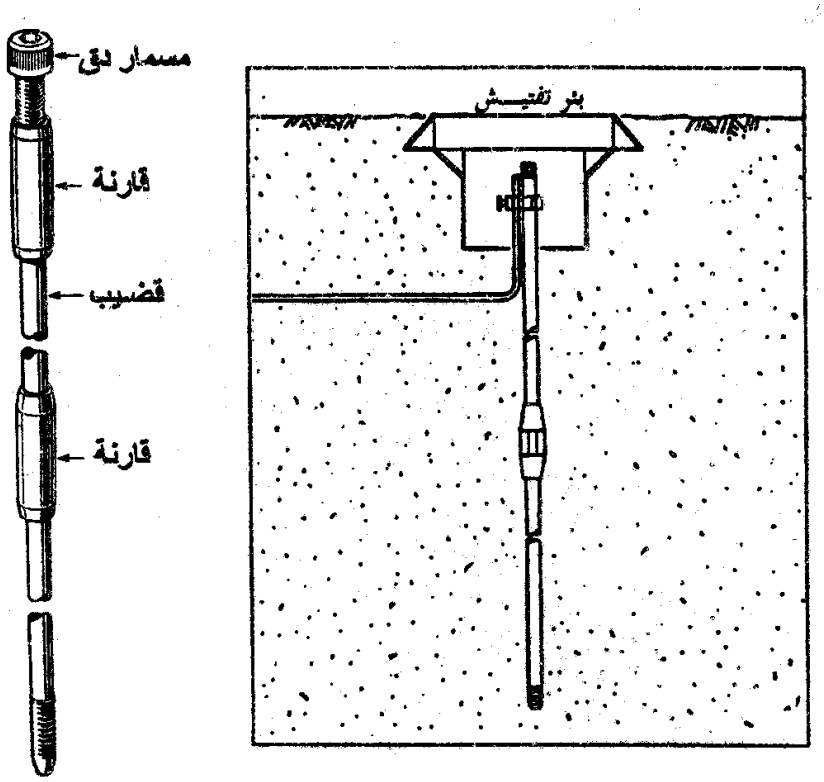
* المقاومة النوعية والتركيب الكيماوي للتربة التي ستدفن فيها الأجسام المعدنية المكونة للقطب.

- فيما يتعلق بأسس تصميم أقطاب التأريض فإن التصميم عادة ما يتم على ضوء أي من المطلبين الآتيين أو على ضوئهما معا:

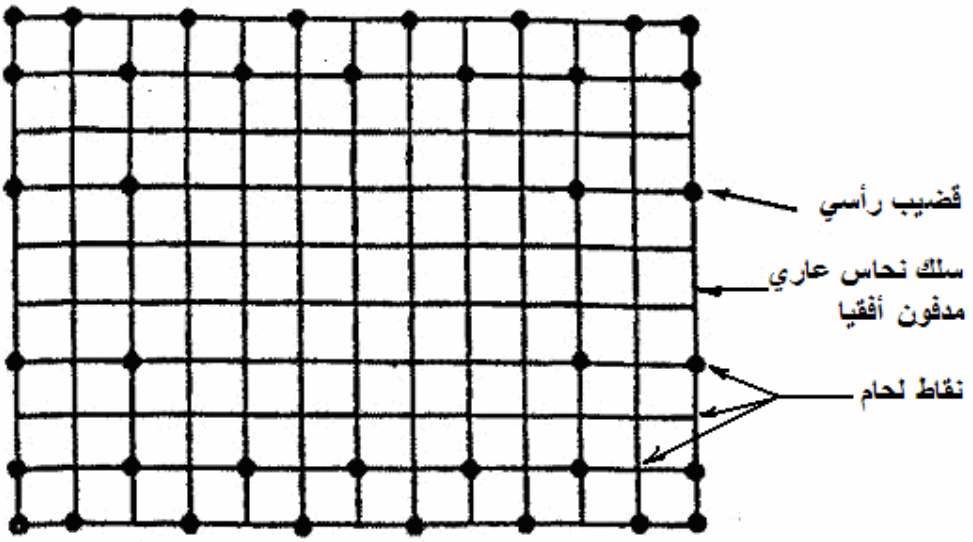
(أ) ألا تزيد المقاومة الأرضية للقطب عن القيمة التي تحددها المواصفات.

(ب) أن يتم التحكم في توزيع الجهد الكهربي الذي يظهر على سطح الأرض عند مرور التيار الأرضي بقطب التأريض بحيث لا يمثل ذلك التوزيع خطورة على حياة الإنسان.

وعادة فإن تحقيق المطلبين معا، وبصفة خاصة المطلب الثاني، يكون أساسيا بالنسبة لنظم التأريض الخاصة بمحطات توليد الكهرباء ومحطات المحولات الكبيرة التي تكون تيارات القصر الأرضية المارة بها كبيرة جدا وهو ما يعتبر خارجا عن نطاق اهتمامنا هنا. وبناءً عليه سيقتصر الحديث هنا على تحقيق المطلب الأول فقط إذ أنه كافٍ لتصميم أقطاب التأريض الخاصة بشبكات التوزيع على الجهدين المتوسط والمنخفض وهما الجهدان الخاصان بمحولات التوزيع (Distribution Transformers) التي لا تحتاج الأحمال الكهربائية الخاصة بالمباني السكنية والتجارية والتعليمية ومنشآت الصناعات الصغيرة لأكثر منها.



شكل رقم (10 –6) قطب تأريض على شكل قضيب رأسي



شكل رقم (10– 7) قطب تأريض على شكل شبكة موصلات أفقية وعدد من القضبان الرأسية

- قبل البدء في أعمال تصميم أي من أقطاب التأريض الخاصة بهذه الأغراض لابد من قياس المقاومة النوعية للتربة في المكان الذي سينفذ فيه القطب. وتجري هذه القياسات بالكيفية الموضحة في الفقرة رقم 4-11-2-3 بالمجلد الرابع من الكود المصري لأسس تصميم وشروط تنفيذ التوصيلات والتركيبات الكهربائية في المباني، وهو المجلد الخاص بالتأريض. ولا تستخدم القيمة المقاسة للمقاومة النوعية بشكل مباشر ولكن يجب تصحيحها بضربها في معامل الجفاف الذي سبق الإشارة إليه في الصفحات السابقة. ويمكن أن يكون قطب التأريض الاصطناعي مكونا من قطعة معدنية واحدة أو عدة قطع متصلة ببعضها كهربيا. ويوضح الجدول (10 – 1) عددا من الأشكال للقطع المعدنية الشائعة الاستخدام كأقطاب تأريض.

- يشتمل الجدول (10 – 1) أيضا على الصيغ الرياضية التي تعطى قيمة المقاومة الأرضية لأي من تلك الأقطاب إذا ما تم دفنها في الأرض حسبما هو موضح في الجدول, وحسبما هو واضح من تلك المعادلات فإن المقاومة الأرضية لأي من تلك الأقطاب تتوقف بصفة أساسية على المقاومة النوعية للتربة المدفون فيها القطب وعلى أبعاده، ولكنها لا تتوقف على مادة القطب بشكل مباشر بأي حال من الأحوال, ويجدر بنا هنا التنبيه إلى أن هذه المعادلات تفترض أن الأقطاب مدفونة في تربة متجانسة لانهائية الأبعاد. وهو ما قد يستدعي استخدامها بحذر إذا ما كانت التربة الفعلية التي سيدفن فيها ٱلقطب ليست متجانسة.

- يمكن من الناحية النظرية البحتة استخدام أي من الأقطاب الواردة في الجدول السابق، إلا أنه من الناحية العملية فإن كل منها يعتبر أكثر مناسبة لمكان بعينه وتربة بعينها, وعلى سبيل المثال فإن القضبان التي تدق رأسيا في الأرض تعتبر الأكثر مناسبة من الناحية الاقتصادية والفنية للأماكن التي تتوفر فيها تربة رطبة متوسطة التماسك ، كما أنه يعتبر أيضا أنسب الأنواع للاستخدام في الأماكن التي تتميز بوجود مياه جوفية قليلة العمق, أما القضبان التي تدفن أفقيا فيلجأ لاستخدامها في الأماكن التي يصعب دق القضبان الرأسية فيها بسبب صلابة التربة. وتستخدم الأقطاب التي على شكل ألواح مربعة أو مستديرة في الأماكن التي توجد بها تربة ذات مقاومة نوعية مرتفعة ولكنها سهلة الحفر

نسبيا وقابلة للمعالجة الكيمائية لتخفيض المقاومة النوعية للطبقات الملاصقة للقطب مباشرة والمجاورة له.

- يجب في جميع الأحوال اختيار شكل القطب وتحديد أبعاده الممكنة التنفيذ عمليا والمجدية اقتصاديا وبعدها يتم حساب المقاومة الأرضية للقطب ومقارنتها بالقيمة المطلوبة. وإذا ما اتضح أن المقاومة المحسوبة أكبر من القيمة المطلوبة فيجب اتخاذ واحد أو أكثر من الإجراءات التالية:

(أ) زيادة أبعاد قطب التأريض، وبصفة أساسية طول القضيب الرأسى.

(ب) زيادة عدد الأقطاب المستخدمة على التوازي، الشكل (10- 8)

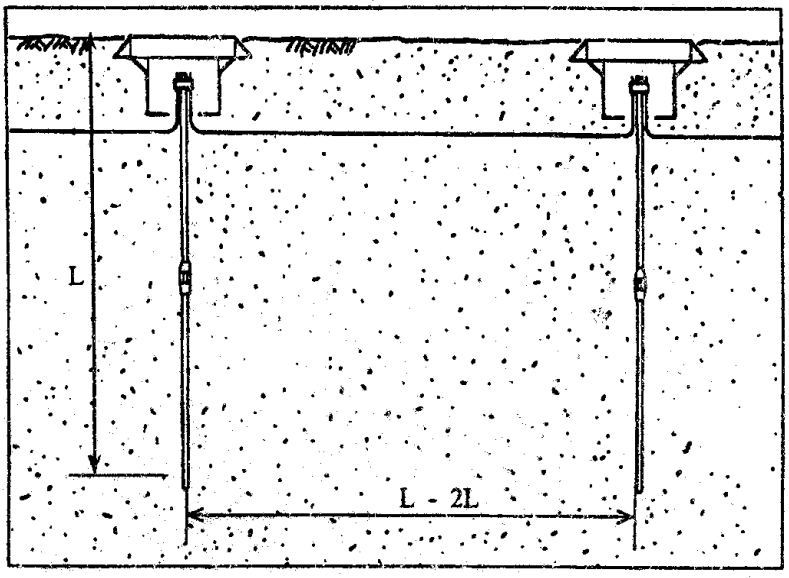
(ت) العمل على تقليل المقاومة النوعية للتربة ويكون ذلك إما بعمل استبدال جزئي لطبقات التربة المجاورة للقطب مباشرة وبسمك معقول بتربة ذات مقاومة نوعية أقل أو بتخفيض المقاومة النوعية للتربة الموجودة بمعالجتها كيماويا أو بتوفير مصدر دائم لترطيبها، الشكلين (10-9)، (10-10). وعادة لا يفضل اللجوء للحل الثالث لصعوبة استمراريته وخاصة في الأماكن البعيدة عن العمران وعن مصادر المياه.

جدول رقم (10-1) عدد من الأشكال السائدة لأقطاب التأريض والمعادلات الرياضية لمقاومتها الأرضية*

Formulae for the Calculation of Resistance to Ground

	Hemisphere radius a	$R = \frac{\rho}{2\pi a}$
	One ground rod length L, radius a	$R = \frac{\rho}{2\pi L}\left(\ln\frac{4L}{a} - 1\right)$
	Two ground rods $s > L$; spacing s	$R = \frac{\rho}{4\pi L}\left(\ln\frac{4L}{a} - 1\right) + \frac{\rho}{4\pi s}\left(1 - \frac{L^2}{3s^2} + \frac{2L^4}{5s^4} \cdots\right)$
	Two ground rods $s < L$; spacing s	$R = \frac{\rho}{4\pi L}\left(\ln\frac{4L}{a} + \ln\frac{4L}{s} - 2 + \frac{s}{2L} - \frac{s^2}{16L^2} + \frac{s^4}{512L^4} \cdots\right)$
	Buried horizontal wire length $2L$, depth $s/2$	$R = \frac{\rho}{4\pi L}\left(\ln\frac{4L}{a} + \ln\frac{4L}{s} - 2 + \frac{s}{2L} - \frac{s^2}{16L^2} + \frac{s^4}{512L^4} \cdots\right)$
	Right-angle turn of wire length of arm L, depth $s/2$	$R = \frac{\rho}{4\pi L}\left(\ln\frac{2L}{a} + \ln\frac{2L}{s} - 0.2373 + 0.2146\frac{s}{L} + 0.1035\frac{s^2}{L^2} - 0.0424\frac{s^4}{L^4} \cdots\right)$
	Three-point star length of arm L, depth $s/2$	$R = \frac{\rho}{6\pi L}\left(\ln\frac{2L}{a} + \ln\frac{2L}{s} + 1.071 - 0.209\frac{s}{L} + 0.238\frac{s^2}{L^2} - 0.054\frac{s^4}{L^4} \cdots\right)$
	Four-point star length of arm L, depth $s/2$	$R = \frac{\rho}{8\pi L}\left(\ln\frac{2L}{a} + \ln\frac{2L}{s} + 2.912 - 1.071\frac{s}{L} + 0.645\frac{s^2}{L^2} - 0.145\frac{s^4}{L^4} \cdots\right)$
	Six-point star length of arm L, depth $s/2$	$R = \frac{\rho}{12\pi L}\left(\ln\frac{2L}{a} + \ln\frac{2L}{s} + 6.851 - 3.128\frac{s}{L} + 1.758\frac{s^2}{L^2} - 0.490\frac{s^4}{L^4} \cdots\right)$
	Eight-point star length of arm L, depth $s/2$	$R = \frac{\rho}{16\pi L}\left(\ln\frac{2L}{a} + \ln\frac{2L}{s} + 10.98 - 5.51\frac{s}{L} + 3.26\frac{s^2}{L^2} - 1.17\frac{s^4}{L^4} \cdots\right)$
	Ring of wire diameter of ring D, diameter of wire d, depth $s/2$	$R = \frac{\rho}{2\pi^2 D}\left(\ln\frac{8D}{d} + \ln\frac{4D}{s}\right)$
	Buried horizontal strip length $2L$, section a by b, depth $s/2$, $b < a/8$	$R = \frac{\rho}{4\pi L}\left(\ln\frac{4L}{a} + \frac{a^2 - \pi ab}{2(a+b)^2} + \ln\frac{4L}{s} - 1 + \frac{s}{2L} - \frac{s^2}{16L^2} + \frac{s^4}{512L^4} \cdots\right)$
	Buried horizontal round plate radius a, depth $s/2$	$R = \frac{\rho}{8a} + \frac{\rho}{4\pi s}\left(1 - \frac{7}{12}\frac{a^2}{s^2} + \frac{33}{40}\frac{a^4}{s^4} \cdots\right)$
	Buried vertical round plate radius a, depth $s/2$	$R = \frac{\rho}{8a} + \frac{\rho}{4\pi s}\left(1 + \frac{7}{24}\frac{a^2}{s^2} + \frac{99}{320}\frac{a^4}{s^4} \cdots\right)$

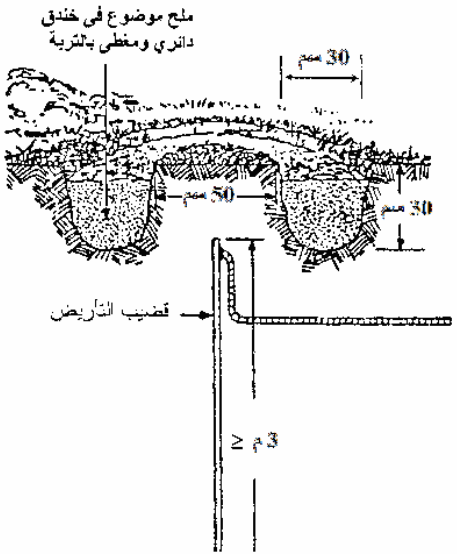
* المقاومة الأرضية للأقطاب الموضحة في الجدول تقاس بوحدة الأوم
المقاومة النوعية ρ الواردة في هذا الجدول تقاس بوحدة الأوم.سنتيمتر
أبعاد الأقطاب (L, D, a) الواردة في الجدول وعمق دفنها تحت سطح الأرض ومسافاتها البينية (s) تقاس جميعها بوحدة السنتيمتر.



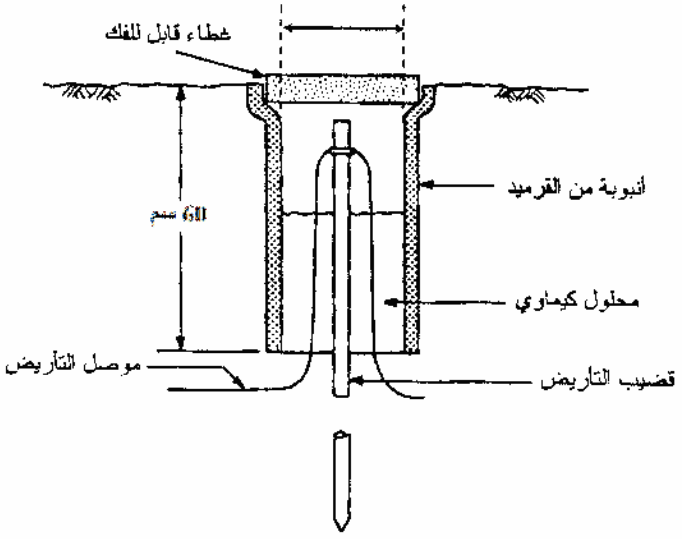
شكل رقم (10-8) قطب تأريض مكون من قضيبين رأسيين متصلين ببعضهما

وبصفة عامة فإن القرار في هذا المجال لابد وأن يبنى على دراسات كافية وقائما على اعتبارات تكون اقتصادية.

- إذا ما وجد أن الحل الثاني مجدٍ من الناحيتين الفنية والاقتصادية فيجب الانتباه إلى تعدد الأقطاب المتصلة على التوازي لا يقلل المقاومة الكلية بالنسبة والتناسب بسبب المقاومة التبادلية (Mutual Resistance Between Electrodes) بينها والتي لا يمكن التقليل من أثرها إلا إذا أبعدت الأقطاب عن بعضها بمسافة كافية مقارنة بأبعادها (يفضل ألا تقل المسافة بين الأقطاب وبعضها البعض عن ثلاثة أضعاف أكبر أبعادها حتي تقل المقاومة التبادلية بين الأقطاب إلى أقل حد ممكن).



شكل رقم (10 – 9) معالجة التربة بإضافة ملح كيماوي

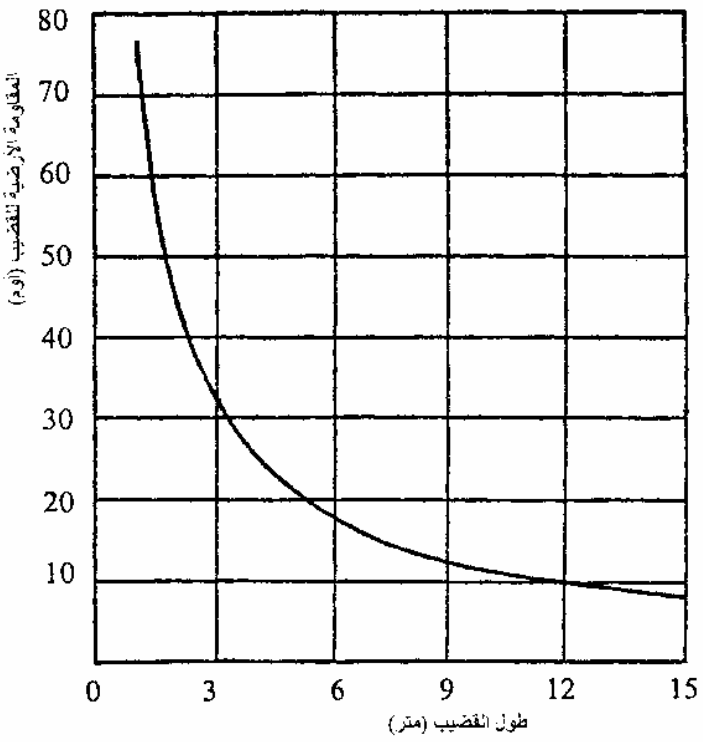


شكل رقم (10–10) معالجة التربة بإضافة محلول كيماوي

- لدراسة تأثير أبعاد قطب التأريض على المقاومة الأرضية لـــه يقـــدم الجـــدول (10– 2) مقاومة الأرض حول قطب عبارة عن قضيب اسطواني رأسي طوله المدفون في الأرض كما هو موضح في العمود الأول من الجـــدول والمقاومـــة النوعية للتربة 100 أوم.متر ويتضمن العمود الثاني من الجدول قيم المقاومـــة الأرضية للقطب عندما يكون قطره 2.5 سم بينما يتضمن العمود الثالث مقاومة نفس القضيب عند مضاعفة قطره إلى 5 سم. ومن هـــذا الجـــدول يتـــضح أن مقاومة القضيب الاسطواني الرأسي تتوقف بالدرجة الأولى على طوله المدفون في الأرض. أما قطر القضيب فتأثيره محدود للغاية. ويتضمن الجـــدول أيـــضا مقارنة بين أبعاد القضيب الرأسي ونصف قطر القطب نصف الكروي عنـــدما تكون لهما نفس المقاومة. ويبين الشكل (10– 11) العلاقة بين طول قـــضيب رأسي قطره 2.5 سم ومقاومة الأرض حوله عندما تكون المقاومـــة النوعيـــة للتربة 100 أوم. متر

جدول رقم (10 – 2) المقاومة الأرضية لقضيب تأريض رأسي

طول القضيب (L) متر	المقاومة الأرضية للقضيب (R) أوم		نصف قطر القطب نصف الكروي المكافئ للقضيب من حيث مقاومته الأرضية
	قطر القضيب 2.5 سم	قطر القضيب 5 سم	
1	76	65	0.21
2	44	38	0.36
4	25	22	0.64
8	13.7	12.3	1.16
16	7.5	7	2.12
32	4	4	3.98



شكل رقم (10 –11) المقاومة الأرضية لقضيب رأسي قطره 2.5 سم في تربة مقاومتها النوعية 100 أوم متر

10–3 مقاس موصلات وقضبان التأريض المصنوعة من النحاس العاري

- نظرا لأن نظام التأريض بصفة عامة (بما في ذلك موصلات وقضبان التأريض) لا يجب أن يحمل بتيار كهربي إلا عند حدوث قصر في الشبكات الكهربية أو داخل المعدات المؤرضة من خلاله فإن مقاس موصلات وقضبان التأريض يتوقف على العوامل الآتية:

(أ) قيمة تيار القصر المار بالموصلات والقضبان

(ب) المدة الزمنية التي تسمح خلالها أجهزة الوقاية بمرور هذا التيار في نظام التأريض

(ت) كيفية ربط أجزاء الموصلات بالقضبان وربط أجزاء القضبان ببعضها البعض.

- عادة ما تعامل أسلاك النحاس العارية المدفونة في باطن الأرض والمستخدمة لربط مكونات أقطاب التأريض ببعضها البعض أو في توصيل المعدات الكبيرة إلى نظام التأريض على أنها قضبان تأريض (Ground Busses). أما الأسلاك المعزولة التي تستخدم في توصيل أطراف تأريض المعدات بقضبان التأريض أو بأقطاب التأريض مباشرة فتسمى موصلات تأريض (Grounding Conductors). وبصفة عامة يجب أن تكون موصلات التأريض المعزولة المستخدمة في توصيل أطراف تأريض المعدات بقضبان التأريض أو أقطاب التأريض مكونة من قطعة واحدة، أي أنه لايجب توصيل عدد من قطع الأسلاك المعزولة القصيرة للحصول على سلك تأريض بالطول المطلوب.
- تعطي العلاقة التالية مساحة مقطع قضيب التأريض العاري والقادر على تحمل تيار قصر قيمته I أمبير لزمن قدره t ثانية:

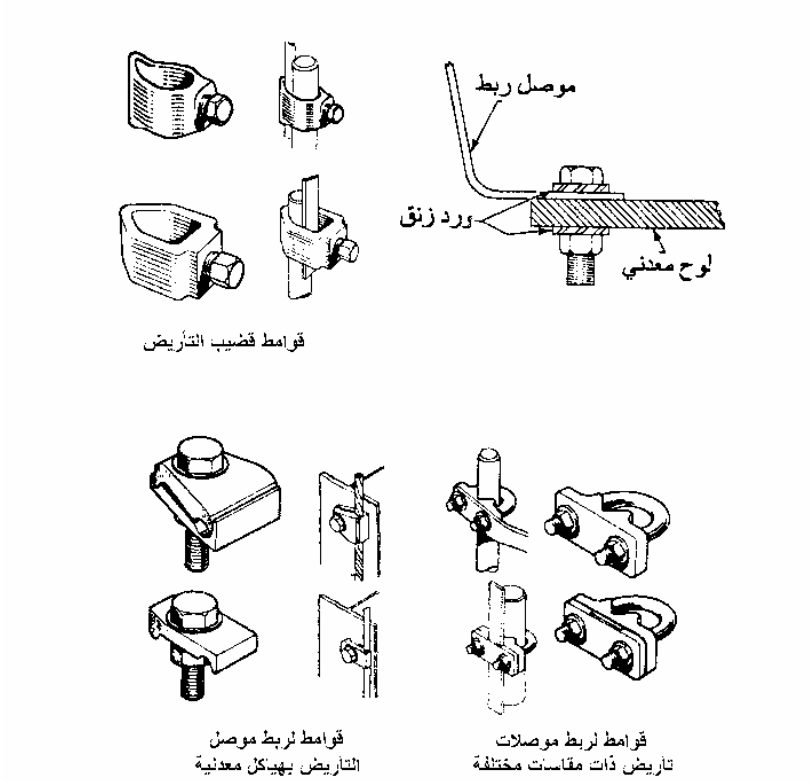
$$A = I\sqrt{t/k} \quad \text{mm}^2$$

حيث k ثابت يتوقف على المادة المصنوع منها القضيب وعلى كيفية ربط أجزائه ببعضها البعض. وتوجد ثلاثة طرق لتوصيل أجزاء القضبان النحاسية ببعضها البعض وهي:

(أ) التوصيل باستخدام القمط والمسامير المقلوظة (Clamping)، الشكل (10 - 12).

(ب) التوصيل باللحام بالنحاس الأحمر (Bracing).

(ت) التوصيل باللحام الكيماوي الحراري (Exothermic Welding)، الشكل (10 - 13).



شكل رقم (10-12) عمل وصلات أسلاك وقضبان التأريض باستخدام القوامط والمسامير المقلوظة

- يمنع منعا باتا لحام وصلات قضبان التأريض باستخدام القصدير.
- لكل من هذه الطرق الثلاثة قدرة على تحمل درجات الحرارة العالية مختلفة عن الآخريين. وتبلغ درجة الحرارة القصوى المسموح بهـا للموصـلات العاريـة المربوطة بالقوامط والمسامير المقلوظة 250 ْم. أما الوصلات المنفذة باللحـام بالطريقتين الثانية والثالثة فتتحملان حتى 1093 ْم و 1083 ْم على التوالي.
- يفترض عادة أن درجة حرارة الجو 40 ْم وأن زمن دوام تيار القصر لن يزيد عن 5 ثواني وبناءً عليه فإنه يعوض عن الثابت k في المعادلة السابقة تحـت

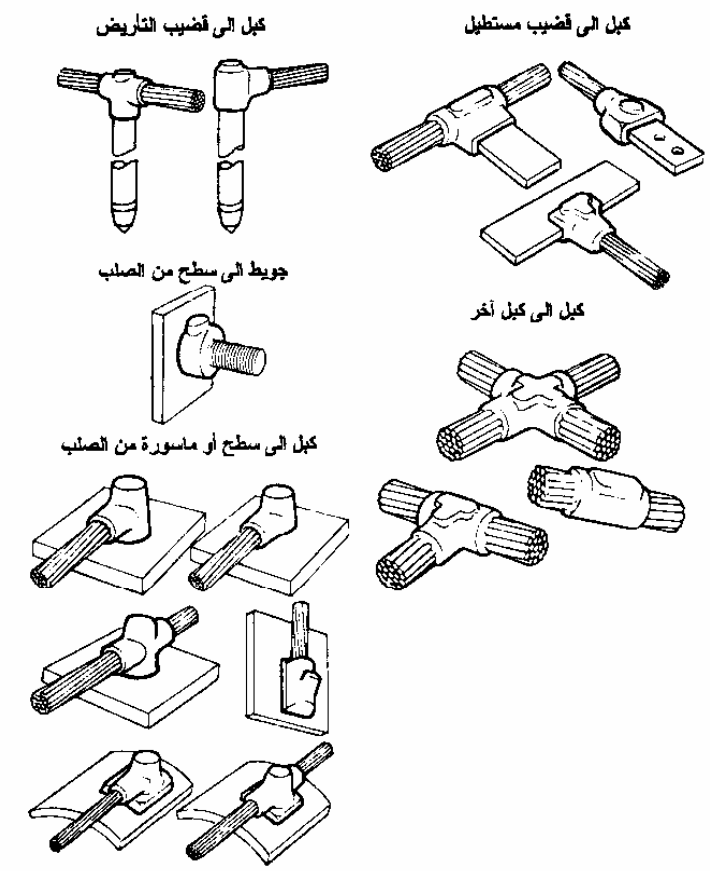
هذه الظروف بالقيم 170 ، 217 ، 284 عند استخدام طرق التوصيل الأولى والثانية والثالثة على التوالي.

10-4 مقاس موصلات التأريض المصنوعة من الأسلاك النحاسية المعزولة بمواد بوليمرية

- تستخدم الأسلاك المعزولة بكلوريد البوليفينيل (Poly Vinyl chloride- PVC) ، البولي إيثيلين المتشابك (Cross-linked polyethylene-XLPE) أو الإيثيلين بروبلين (Ethylene propylene- EP) كموصلات تأريض. وفي هذه الحالة فإن درجة الحرارة القصوي التي تستطيع تلك المواد العازلة أن تتحملها تستخدم كمحدد أساسي لتيار القصر المسموح بمروره في تلك الموصلات. ويمكن إيجاد مقاس الموصل (A, mm2) القادر على تحمل تيار قصر مقداره (I, Ampere) لزمن مقداره (t, seconds) من المعادلة (10-1):

$$A = \frac{0.017 I^2 t}{\log_{10}\left(\frac{T_m - T_a}{234 + T_a}\right)} mm^2 \qquad (10\text{-}1)$$

حيث Ta هي درجة الحرارة الابتدائية للموصل قبل بدء مرور التيار مقاسة بالدرجات المئوية (وتؤخذ مساوية لدرجة حرارة الوسط المحيط) و Tm هي درجة الحرارة القصوي التي يتحملها عازل الموصل وتساوي 250 °م لمادة البولي إيثيلين المتشابك , 150 °م لمادتي كلوريد البوليفينيل و الإيثيلين بروبلين.



شكل رقم (10-13) عمل وصلات أسلاك وقضبان التأريض باستخدام اللحام الكيميائي الحراري