



Electrical Earthing System

"Design and Requirements of Earthing System as per BS 7430"

نظام التأريض
"التصميم والمتطلبات طبقاً للكود BS 7430"

جَمْع وترتيب: م. محمد سعد حامد
الطبعة الأولى : رمضان 1438 الموافق يونيو 2017

الْحَمْدُ لِلَّهِ نَحْمَدُهُ وَنُسْتَعِينُهُ وَنَسْتَغْفِرُهُ وَنَعُوذُ بِاللَّهِ مِنْ شُرُورِ أَنْفُسِنَا وَمِنْ سَيِّئَاتِ أَعْمَالِنَا مَنْ يَهْدِهِ اللَّهُ فَلَا مُضِلَّ لَهُ وَمَنْ يَضِلَّ فَلَا هَادِيَ لَهُ وَأَشْهَدُ أَنْ لَا إِلَهَ إِلَّا اللَّهُ وَحْدَهُ لَا شَرِيكَ لَهُ وَأَنَّ مُحَمَّدًا عَبْدُهُ وَرَسُولُهُ، أَمَّا بَعْدُ:

- أود التأكيد علي أن هذه الورقات هدفها هو حث المهندسين علي البحث في الأكواد وزيادة المعلومات من المصادر الأصلية.
- راعينا أن يكون هذا التقرير بسيط وبنينا علي الكود BS الذي يُعد مرجعاً أساسياً للتصميم.
- وقد فضلت أن تكون اللغة العربية حاضرة في الشرح وذلك لتسهيل الأمر علي المبتدئين وكذلك لتجنب التعقيد, ومع ذلك أوردت الشرح باللغة الإنجليزية كما هو لتسهيل الوصول للمراجع.
- هذا العمل ليس فية أي إضافة علمية وإنما هو تجميع وترتيب للمعلومات.
- في حال وجود أي مقترحات/تعديلات نرجو مراسلتنا علي البريد الإلكتروني:
Eng.Mohamad.Saad@Gmail.Com

نسأل الله أن يجعل في هذا العمل ما ينفع الناس

محمد سعد حامد

مقدمة:

نظرا لأهمية الطاقة الكهربائية باعتبارها أحد العناصر الرئيسية للتطور الاقتصادي والاجتماعي.. فقد قامت الكثير من الدول بدعم قطاع الكهرباء والمتمثل في إنجاز مشروعات الكهرباء الضخمة المنتجة للطاقة الكهربائية.. بما نتج عنه التوسع الكبير في استعمال الوسائل العصرية في المعيشة والعمل. وعلى الجانب الآخر.. فهناك ما قد تسببه الكهرباء من أخطار كالحرائق أو الصعق بالكهرباء. لذا.. كان من المهم الإشارة إلى ضرورة وجود منظومة تأريض للمعدات والأجهزة الكهربائية لما في ذلك من أهمية في منع حدوث تسرب التيار الكهربائي. إن تحقيق أكبر قدر من السلامة يرتبط بتنفيذ كل ما من شأنه حماية المعدات من تيار التسرب الأرضي والحرص على ذلك سواء من قبل المختصين أو المستخدمين.

المصدر: د. ناهد أبو حجي , مجلة الكهرباء العربية - العدد 124 أبريل/يونيو 2016

تنشاء أهمية التأريض الكهربائي عن أنه عامل أساسي للحفاظ علي سلامة الأفراد والمعدات والمنشآت .

إن الهدف الأساسي لاستخدام نظام التأريض هو توفير القدرة على فصل كل من المعدات والنظام عن المصدر الكهربائي لتجنب التأثيرات المدمرة للتيار الكهربائي لحظة حدوث تيار خطأ أرضي. ويطلق على الأجهزة التي تقوم بالفصل نبائط الوقاية.

التأريض الكهربائي ينقسم إلي قسمين أساسيين:

1- تأريض النظام أو تأريض القوي "Function Grounding or Service Grounding".

2- التأريض الوقائي " Protective/Equipment Grounding ".

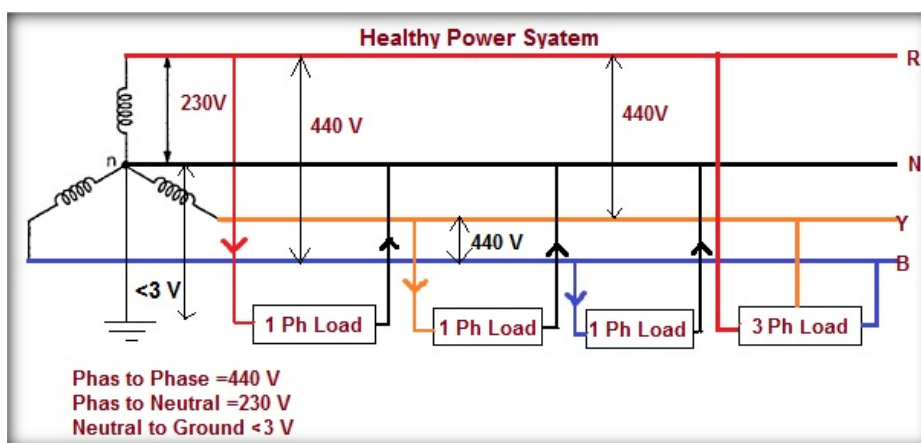
والتعريف الأشمل للنوعين هو ما جاء في الـ "IEEE 142: grounding of power systems" :

تأريض النظام: هو الربط الكهربائي **المتعمد** لموصلات الحياد أو الفازات مع الأرض وذلك لضمان ثبات جهد الفازات عند القيمة المحددة. كما أنه يمثل مساراً لتيار الخطأ الذي قد يحدث منيعة تلامس موصل حامل للتيار "فاز" مع الأرض -سواءً كان تلامس مباشر أو من خلال معدة أو شخص- مما يدفع وسيلة الحماية - Circuit breaker or fuse - إلي العمل علي فصل مصدر الكهرباء عن دائرة الخطأ.

1.3 Purposes of System Grounding

System grounding, or the intentional connection of a phase or neutral conductor to earth, is for the purpose of controlling the voltage to earth, or ground, within predictable limits. It also provides for a flow of current that will allow detection of an unwanted connection between system conductors and ground and which may instigate operation of automatic devices to remove the source of voltage from conductors with such undesired connections to ground. The NEC [1], prescribes certain system grounding connections that must be made to be in compliance with the code. The control of voltage to ground limits the voltage stress on the insulation of conductors so that insulation performance can more readily be predicted. The control of voltage also allows reduction of shock hazard to persons who might come in contact with live conductors.

كما بالشكل التالي: عند المصدر الكهربائي - وليكن عند أطراف المحول - في شكل توصيلة "ستار أو نجمة" "Star" Connection فإننا نحتاج لتوصيل نقطة التعادل بالأرضي وذلك لضمان ثبات جهد الفازات عند القيمة المحددة (230 فولت)



التأريض الوقائي: هو الربط الكهربائي **المتعمد** للأجزاء المعدنية - الغير حاملة للتيار - مع الأرض.

الغير حاملة للتيار مثل : الهياكل والأجزاء المعدنية من التجهيزات والإنشاءات الكهربائية التي يجب أن تكون في حالة العمل الطبيعية غير واقعة تحت تأثير التوتر الكهربائي "وذلك لضمان عدم نشوء جهد عليها وبالتالي عدم تعرض الشخص الملامس لها لخطر الصدمة الكهربائية , وكذلك لضمان تسريب الشحنات التي تتكون على أجسام تلك المعدات ووجود مسار لتيار الخطأ في حالة تلامس موصل حامل للتيار مع جسم المعدة أو المبنى.

أهمية تأريض الوقائي:

- 1- الحماية من خطر الصعق الكهربائي للأفراد والعمال.
- 2- توفير مسار لتيار الخطأ والتحكم في مقداره -من خلال مقدار قيمة مقاومة مسار الأرضي - حتي لا تزيد قيمة تيار الخطأ عن الحد الذي تتحملة المعدة أو المبنى وكذلك النظام الكهربائي نفسه.
- 3- توفير مسار لتيار الخطأ يتيح عمل وسيلة الحماية لقطع الدائرة الكهربائية.

The term **equipment grounding** refers to the interconnection and grounding of the nonelectrical metallic elements of a system. Examples of components of the equipment-grounding system are metallic conduit, motor frames, equipment enclosures, and a grounding conductor. Note that a *grounding conductor* is a part of the equipment grounding system, as distinguished from a *grounded conductor*, which is a part of the power distribution system. The basic objectives of an equipment-grounding system are the following:

- 1) To reduce electric shock hazard to personnel.
- 2) To provide adequate current carrying capability, both in magnitude and duration, to accept the ground-fault current permitted by the overcurrent protection system without creating a fire or explosive hazard to building or contents.
- 3) To provide a low impedance return path for ground-fault current necessary for the timely operation of the overcurrent protection system.

٣-٣ تأريض المعدات الكهربائية

يهدف تأريض المعدات الكهربائية إلى إيجاد فعالية في أداء أجهزة القطع والحماية في حالة وجود تيار خطأ أرضي في هذه المعدات (انهيار العزل) كما يعمل على وقاية العاملين من الصدمات الكهربائية الناتجة من ارتفاع جهد بدن المعدة المعدني المكشوف والمعرض للمس عن جهد الأرض، ولذا فإنه يجب أن يكون اتصال البدن المعدني بنظام التأريض متوائماً مع طبيعة الدوائر الكهربائية داخل المبنى وكذلك مع المصدر الكهربائي المغذي له.

ويعتبر تأريض نقطة التعادل للنظام في غاية الأهمية كي يعمل النظام بطريقة جيدة. ويطلق على عملية تأريض النظام **(تأريض القوى)** كما يعتبر تأريض أجسام المعدات و الأجهزة المعدنية (الموصلات غير الحاملة للتيار) هاما لتأمين سلامة الأفراد والدواب ويطلق عموماً على تأريض المعدات والأجهزة **"تأريض الأمان" أو "التأريض الوقائي"**.

المصدر الكود المصري للتأريض - مبني علي BS 7430

لتصميم نظام تأريض ذو كفاءة وإعتمادية لابد من مراعاة التوصيات والإشتراطات التي نصت عليها الأكواد المختلفة، لذلك سنقوم بعمل تبسيط للموضوع في هذه الورقات.

التعريفات والمصطلحات

مقدمة:

سنعتمد في الشرح علي المراجع الدولية وخاصة الـ BS 7430 والذي يُعد بمثابة المرجع الأفضل في الموضوع.

الأكواد الخاصة بالتأريض:

الأكواد الأربعة التالية هي أهم مراجع التأريض وسنركز في هذا البحث علي الكود 2011: BS 7430 حيث أنه يتحدث عن تأريض الأنظمة المختلفة وخاصة داخل المباني.

A number of national and international standards have been published which define earthing system design parameters for structures, electrical equipment and systems, including:

- BS 7430:2011 Code of practice for protective earthing of electrical installations
- BS 7354:1990 Code of practice for design of high voltage open terminal stations
- IEEE Std 80:2000 IEEE Guide for safety in AC substation grounding
- ENA TS 41-24 Guidelines for the design, installation, testing & maintenance of main earthing systems in substations

The design, specification, inspection and periodic testing of earthing systems should follow the guidance and recommendations provided by these standards.

1- **BS 7430** : وهذا الكود يعطي الإرشادات العامة لتأريض الأنظمة الكهربائية داخل المباني "بمختلف أنواعها", كما سيأتي في الشرح التالي.

2- **BS 7354** : خاص بتأريض محطات الجهد العالي open terminal stations.

3- **IEEE Std 80** : خاص بتأريض المحطات.

4- **ENA TS 41-24** : خاص بتصميم وإختبار تأريض المحطات.

British Standard BS 7430 provides guidance on earthing of general land-based electrical installations in and around buildings in the UK, including:

- Low voltage installation earthing and equipotential bonding for general, industrial and commercial buildings, locations with increased risk, rail systems etc
- The interface between low voltage and high voltage substations
- Earthing of generators and Uninterruptible Power Supplies (UPSs) supplying low voltage installations

BS 7430 defines the elements for creating an appropriate earthing arrangement for a low voltage installation, including a main earthing terminal, protective conductors, earthing conductors and circuit protective conductors, and the use of earth electrodes to dissipate currents to the general mass of earth.

Substation earthing

BS 7354, IEEE std. 80 and ENA TS 41-24 reference the requirements for earthing of substations.

The design and specification of an appropriate earthing arrangement for substations is essential to provide a low impedance path for earth, fault, and lightning currents to earth, and to protect personnel on site from potentially fatal step and touch voltages.

These standards provide guidance on (but not limited to):

- Maximum permitted step and touch voltages
- Methods for calculating earthing system design
- High voltage earth electrode selection, including type, material & size
- Switching and busbar arrangement
- Equipotential bonding
- Insulation co-ordination

ما هو الكود BS 7430 ؟

هذا الكود يغطي العديد من القطاعات ذات التطبيقات المختلفة ومنها:
المواصلات - المطارات - المركبات/السيارات - خطوط السكك الحديدية - المباني التعليمية/الصحية/الصناعية/الزراعية
-البنوك - المستشفيات - مباني الخدمات الخاصة بـ البترول/الغاز/الطاقة.

Ref.: <http://shop.bsigroup.com/ProductDetail/?pid=000000000030322344>

Overview

The standard is relevant in the following sectors: **transport, aerospace, auto, railway, built environment**, education and training, finance, healthcare, ICT, industrial (engineering services, electrical equipment, chemical, materials, food and agriculture, mechanical equipment, R&D, testing, textiles), services, oil/gas/energy.

ما الذي يغطيه الكود BS 7430 ؟

هذا الكود يغطي تصميم التأسيس والعوامل المؤثرة عليه لتأسيس أجسام المباني والمعدات الكهربائية والأنظمة.
كما يوضح عوامل إختيار نظام أقطاب التأسيس وطريقة تركيبها وتوصيلها بما يناسب أنواع التربة المختلفة.

What does the standard cover?

BS 7430 covers earthing system **design parameters** for **structures, electrical equipment** and **systems**.

It also defines selection parameters for the earthing arrangements and makes clear the need for careful consideration of various site conditions such as soil composition and resistivity. **Earthing is generally provided for reasons of safety as it protects people from the risk of electric shock.**

How has the standard been amended?

It includes a number of editorial changes which clarify the meaning of the text and correct values and symbols. It also includes some technical changes to correct and clarify formulae and equations.

إصدارات الكود:

آخر إصدار من هذا الكود هو **BS 7430:2011+A1:2015** وهذا الإصدار تم فيه تصحيح الأخطاء التي كانت موجودة بالإصدار السابق لسنة 2011. لذا عند الإشارة إليه هي هذا البحث قد نستخدم أي من الإصداريين.

محتوي ومجال الكود Scope:

BS 7430 يُعطي إرشادات وتوصيات للوصول للمتطلبات اللازمة لتأريض التركيبات الكهربائية الواردة بالأكواد ويشمل:

1- التأريض الوقائي للأحمال الكهربائية ذات الجهد المنخفض طبقاً للكود الشهير BS 7671:2008+A1 أو الـ IEE

2- طريقة الـ Interface بين محطتي الجهد 400/11000 فولت HV/LV داخل المبني طبقاً للكود
BS EN IEC 61936-1:2011

3- التأريض ومفتاح النقل الأوتوماتيكي للمولد الذي يغذي الأحمال الكهربائية داخل المباني للجهد المنخفض.

BS 7430:2011



BSI Standards Publication

Code of practice for protective earthing of electrical installations

1 Scope

This British Standard primarily provides recommendations and guidance on meeting the requirements for the earthing of electrical installations, including:

- a) protective earthing of low voltage installations to BS 7671:2008+A1;
- b) the interface between LV and HV substations of 11 000/400 V to BS EN IEC 61936-1:2011 within buildings; and
- c) protective earthing and changeover switch arrangements for generators supplying low voltage installations.

The earthing of a system or installation is generally provided for reasons of safety.

التعريفات والمصطلحات:

نظام الأرضي:

يمكن أن نعرف نظام الأرضي علي أنه النظام المُتبع لتوصيل المنشآت/المعدات/الأنظمة بجسم الأرض , وهو عبارة عن مجموعة من التوصيلات والمكونات الضرورية المُتصلة ببعضها ثم إلي جسم الأرض.

3.5 earthing system

arrangement of connections and devices necessary to earth equipment or a system separately or jointly

[IEV 604-04-02]

Note: International Electrotechnical Vocabulary (IEV).

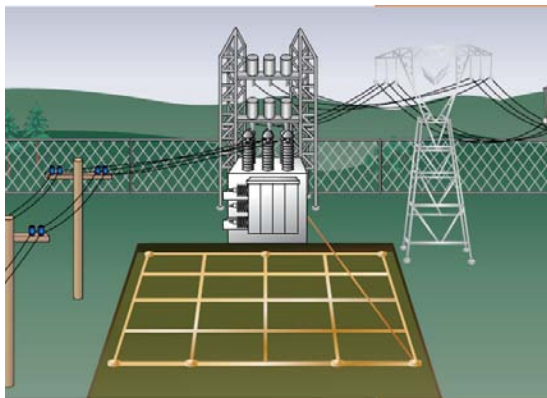
Note:

“Grounding” is a term used rather exclusively in North American to indicate a direct or indirect connection to the planet Earth or to some conducting body that serves in place of the Earth.

“Earthing” is a term developed by the United Kingdom and part of the British Electrical Code and is employed in Europe or other countries that employs International Electric Commission (IEC) standards.

So, The term “earthing” in European or IEC countries is synonymous with the term “grounding” in North America.

التأريض الشبكي:



يمكن أن نعرف التأريض الشبكي علي أنه "قطب تأريض" يتكون من مجموعتين من الأقطاب المدفونة؛ أحدهما عرضي والآخر أفقي، والتي يتم توصيلها ببعض عند نقاط التقاطع , وتُدفن علي عمق 500 مم علي الأقل.

3.1 earth grid

earth electrode in the form of two overlapping groups of buried, parallel, horizontal electrodes, usually laid approximately at right angles to each other, with the electrodes bonded at each intersection

جهد الأرضي:

الجهد بين قطب الأرضي وكتلة الأرض المجاورة له والذي بسببه يسري التيار -تيار القصر- من شبكة الأرضي عبر قطب التأريض إلى جسم الأرض.

3.2 earth potential

electric potential with respect to the general mass of earth which occurs in, or on the surface of, the ground around an earth electrode when an electric current flows from the electrode to earth

مقاومة الأرضي:

المقاومة بين شبكة الأرضي أو قطب التأريض وجسم الأرض المحيطة بالشبكة نفسها. وبناءً على قيمة تلك المقاومة ينشأ فرق الجهد وبالتالي يسري تيار القصر في ذلك المسار من شبكة الأرضي إلى جسم الأرض.

3.4 earth resistance

resistance to earth of an earth electrode or earth grid

قطب التأريض:

هو ذلك الجزء الموصل للكهرباء, والذي يُدفن في وسط موصل للكهرباء -التربة المحيطة- بحيث يكون متصل كهربياً بجسم الأرض.

3.2 earth electrode

conductive part, that may be embedded in a specific conductive medium in electric contact with the earth

[IEV 195-02-01, modified]

الخطأ الأرضي:

هو ذلك الخطأ الناتج عن توصيل جسم "حامل للتيار" بالأرض , أو ناتج عن انخفاض قيمة جهد العزل -كما في الكابلات- مما يسمح بسريان التيار من الموصل إلى الأرض.

3.3 earth fault

fault caused by a conductor being connected to earth or by the insulation resistance to earth becoming less than a specified value.

[IEV 151-03-40 (1978)]

فرق جهد الأرضي:

هو فرق الجهد بين "نظام تأريض" و "الأرض" .

3.5

earth potential rise, EPR

voltage between an earthing system and reference earth

كابل شبكة التأريض:
هو الكابل الموصل بين "النظام المراد حمايته" و "أقطاب التأريض".

3.7

earthing conductor

conductor that provides a conductive path, or part of the conductive path, between a given point in a system or in an installation or in equipment and an earth electrode

[IEV 195-02-03]

NOTE: Where the connection between part of the installation and the earth electrode is made via a disconnecting link, disconnecting switch, surge arrester counter, surge arrester control gap etc., then only that part of the connection permanently attached to the earth electrode is an earthing conductor.

3.17

(local) earth

part of the Earth that is in electric contact with an earth electrode and the electric potential of which is not necessarily equal to zero

NOTE: The conductive mass of the earth, whose electric potential at any point is conventionally taken as equal to zero.

[IEV 195-01-03, modified]

3.10 (effective) touch potential

voltage between conductive parts when touched simultaneously

NOTE The value of the effective touch voltage may be appreciably influenced by the impedance of the person in electric contact with these conductive parts.

[IEV 195-05-11, modified]

3.12 step voltage step potential

voltage between two points on the earth's surface that are 1 m distant from each other, which is considered to be the stride length of a person

[IEV 195-05-12]

3.20

PEN (Protective Earth Neutral) conductor

conductor combining the functions of both protective earth conductor and neutral conductor

[IEV 826-04-06, modified]

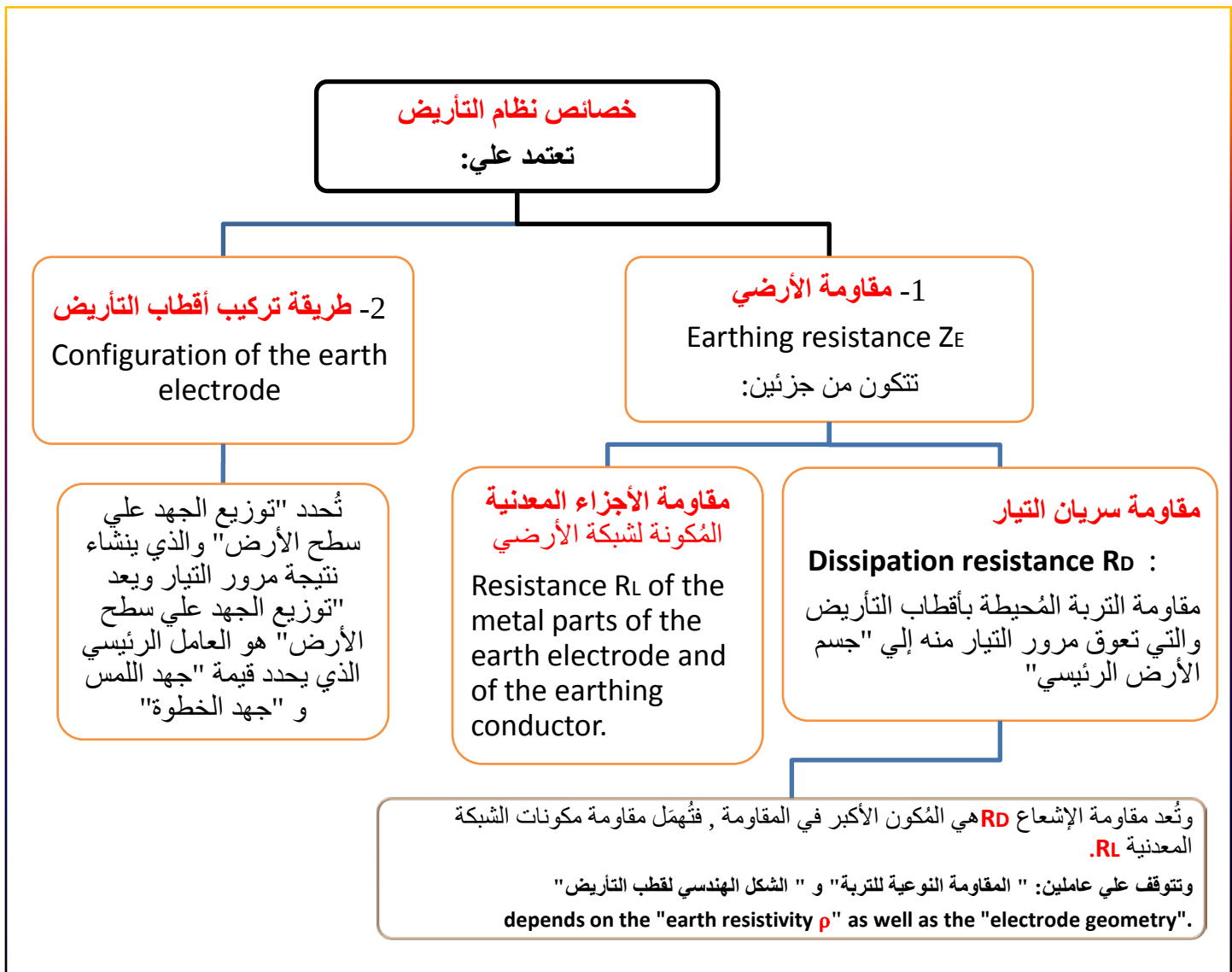
NOTE: In a MEN system, this is the conductor connected to the star point of the transformer which combines the functions of both protective earth conductor and neutral conductor.

Protective multiple earthing (PME). An earthing arrangement, found in TN-C-S systems, in which the supply neutral conductor is used to connect the earthing conductor of an installation with Earth, in accordance with the Electricity Safety, Quality and Continuity Regulations 2002 (see also Figure 3.9).

This Page Deliberately Left Blank

هذا الشرح ليس ضمن الكود BS 7430

النظرية الأساسية للتأريض:



The electrical properties of earthing depend essentially on two parameters:

- ☐ Earthing resistance
- ☐ Configuration of the earth electrode

Earthing resistance determines the relation between earth voltage V_E and the earth current value. The configuration of the earth electrode determines the potential distribution on the earth surface, which occurs as a result of current flow in the earth. The potential distribution on the earth surface is an important consideration in assessing the degree of protection against electric shock because it determines the touch and step potentials. These questions are discussed briefly below.

The earthing resistance has two components:

- Dissipation resistance R_D , which is the resistance of the earth between the earth electrode and the reference earth.
- Resistance R_L of the metal parts of the earth electrode and of the earthing conductor.

The resistance R_L is usually much smaller than the dissipation resistance R_D . Thus, usually the earthing resistance is estimated to be equal to the dissipation resistance R_D . In the literature, 'earthing resistance' usually refers to the dissipation resistance.

ملحوظة: تعتبر قيمة ال Reactance مهملة في الترددات المنخفضة , ولذلك فإن قيمة المقاومة لشبكة الأرضي تعتبر:

$$Z_E \approx R_D \approx R$$

it is assumed that the earthing impedance Z_E is equal the dissipation resistance R_D , which is in turn assumed to be approximately equal to the earthing resistance, R

ما هي فكرة سريان التيار من قطب التأريض إلى جسم الأرض؟

- أن الفكرة الرئيسية للتأريض هي "حمل تيار الخطاء" ونقله بعيداً إلى جسم الأرض عبر قطب التأريض مروراً بالتربة المحيطة به.
- سريان التيار يتوقف على قيمة مقاومة "مسار التيار" والتي كما ذكرنا تتوقف على مقاومة التربة المحيطة بقطب التأريض.
- مقاومة التربة المحيطة بقطب التأريض يمكن تمثيلها بما يسمى **"كرة التأثير Sphere of Influence"** كما بالشكل التالي.

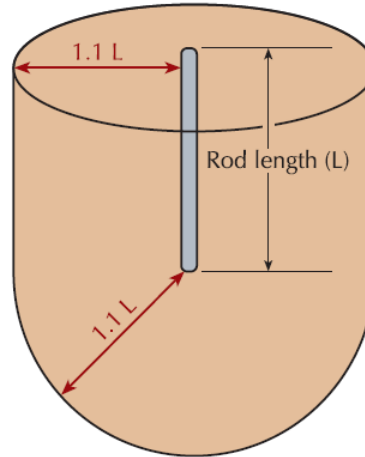
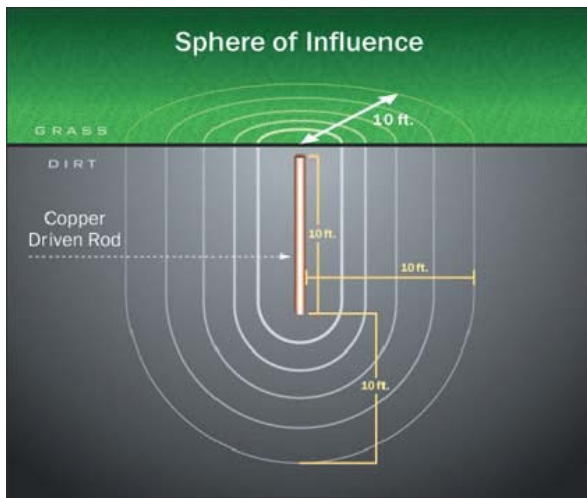


Fig. 8. The ground rod injects current into the surrounding volume of soil.

كرة التأثير Sphere of Influence:

تمثل ذلك الحجم من التربة المحيطة بقطب التأريض -في الأبعاد الثلاثة- والتي من خلالها يسري التيار إلى الأرض الرئيسية وذلك لوجود فرق جهد بسيط بين تلك التربة وقطب التأريض وهو ما يسمى Earth potential .

3.2 earth potential

electric potential with respect to the general mass of earth which occurs in, or on the surface of, the ground around an earth electrode when an electric current flows from the electrode to earth

وهناك نقطة مهمة وهي أن مساحة سطح قطب التأريض ليست العامل المحدد لقيمة مقاومته -وبالتالي قيمة التيار المار- وإنما العامل الأساسي هو دائرة التأثير sphere of influence . نعم لمساحة مقطع قطب التأريض تأثير ولكنه محدود. وهناك خطأ شائع أن زيادة قطر قطب التأريض سيزيد من كفاءته ويقلل مقاومته بنسبة عالية، وهو تصور غير صحيح . وكما بالشكل التالي فإن مضاعفة القطر لا تقلل المقاومة إلا بنسبة 9.5% وتزيد التكلفة بنسبة 400% بناءً على ما ذكرته شركة Furse واحدة من أكبر مصنعي مكونات نظم التأريض.

An important concept as to how efficiently grounding electrodes discharge electrons into the earth is called "the zone of influence", which is sometimes referred to as the "sphere of

influence". The zone of influence is the volume of soil throughout which the electrical potential rises to more than a small percentage of the potential rise of the ground electrode, when that electrode discharges current into the soil.

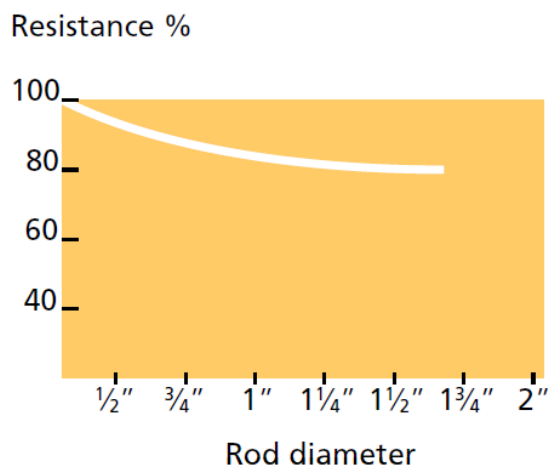
The greater the volume, compared with the volume of the electrode, the more efficient the electrode. Elongated electrodes, such as ground rods, are the most efficient. The surface area of the electrode determines the ampacity of the device, but does not affect "the zone of influence". The greater the surface area, the greater the contact with the soil and the more electrical energy that can be discharged per unit of time.

Ref# Furse company

Diameter of rod

One common misconception is that the diameter of the rod has a drastic effect on lowering earth resistance. This is not true! As the graph shows, you only lower the resistance value by 9.5 per cent by doubling the diameter of the rod (which means increasing the weight and the cost of the rod by approximately 400 percent!)

Thus the rationale is: Use the most economical rod that soil conditions will allow you to drive. This is one of the ways to ensure that you don't waste money on over-dimensioned rods.



Effect of electrode diameter on resistance

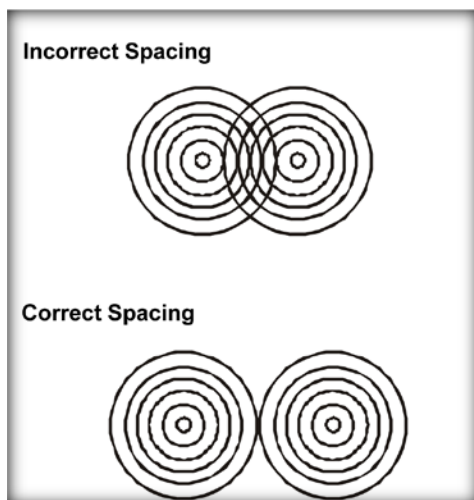
عند إستخدام مجموعة من الأقطاب المزروعة بجوار بعضها البعض هل هناك أي توصيات بخصوص المسافات بينها؟

يُوصي بأن تكون مسافة بين الأقطاب المزروعة بجوار بعضها علي الأقل 2.2 مرة طول قطب التأريض (أي أكبر من ضعف طول قطب التأريض). وذلك لتفادي حدوث حالة الـ Ground Saturation .

"Use multiple electrodes in parallel and spaced apart a minimum of 2.2 times the rod length"

Ground Saturation

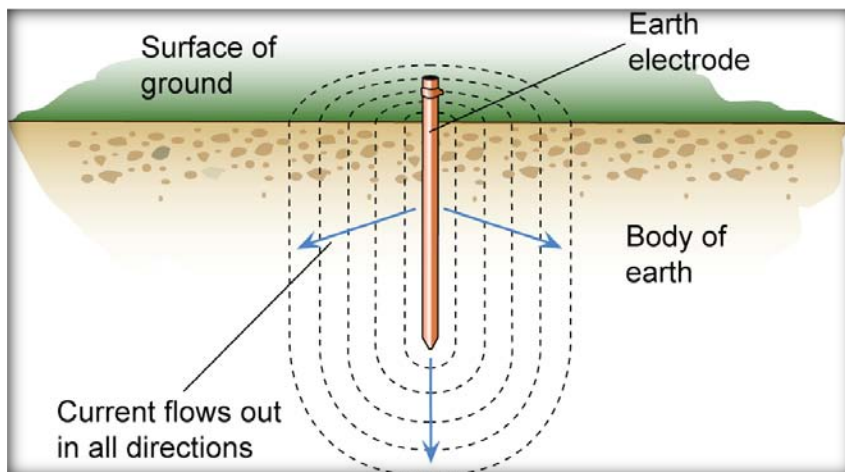
The statement that rods should have a separation, "greater than the sum of their lengths apart," originates from theory, and the fact almost all ground rods will saturate the soil to which they connect. A ground rod connects to localized, irregularly sized, three-dimensional electrical clumps. Depending on the soil make-up (layering, etc.), the volume of earth a ground rod can dump charge into can be generalized as the radius of a circle equal to the length of the rod at the circle's center. This is known as the sphere of influence of the rod. The sum of the driven depths of two rods should be, theoretically, the closest that ground rods can be placed. Anything closer will cause the soil (clumps) connected in common to saturate even faster.



ما هي الوسيلة لتحقيق قيمة منخفضة لمقاومة الأرضي؟

العلاقة بين قطب التأريض و"الأرض نفسها" هي عبارة عن " دائرة كهربية في الثلاث أبعاد" بمعنى أن الأرض حول قطب التأريض تعتبر مقاومة كهربية في الإتجاهات الثلاثة المحيطة به.

The interaction between the grounding electrode and the earth, which is a three-dimensional electrical circuit



Broadly speaking, 'earth resistance' is the resistance of soil to the passage of electric current. Actually, the earth is a relatively poor conductor of electricity compared to normal conductors like copper wire. But, if the area of a path for current is large enough, resistance can be quite low and the earth can be a good conductor. It is the earth's abundance and availability that make it an indispensable component of a properly functioning electrical system.

لتحقيق قيمة منخفضة لمقاومة الأرضي يجب أن تكون "كثافة التيار" المار من "قضيب التأريض" إلى جسم الأرض قليلة بمعنى "أن يكون حجم الأرض التي يتسرب من خلالها التيار كبيرة بقدر المستطاع".

ويمكن تحقيق ذلك بزيادة طول "قطب التأريض" داخل الأرض لزيادة حجم الأرض الملامسة له , بما يُسمى " **Sphere of Influence** ".

تأثير شكل "قطب التأريض" على مقاومة يتوقف على طريقة توزيع التيار -أثناء تفريغ تيار الخطاء- في التربة المحيطة به, ولذلك فإن الأقطاب الرأسية لها مقاومة أقل مقارنة بالأنواع الأخرى وذلك لسولة توزيع التيار.

The effect of shape on an electrode resistance is related to the current density around the particular electrode considered. To obtain a low overall resistance the current density should be as low as possible in the medium surrounding the electrode. This may be achieved by making the dimensions in one direction large by comparison to the other two; thus a pipe rod or strip has a much lower resistance than a plate of equal surface area.

The earthing resistance R of an earth electrode depends on the earth resistivity ρ as well as the electrode geometry.

In order to achieve **low values of R** the current density flowing from the electrode metal to the earth should be low, i.e. the volume of earth through which the current flows should be as large as possible. Once the current flows from metal to earth it spreads out, reducing current density. If the electrode is physically small, e.g., a point, this effect is large, but is very much reduced for a plate where spreading is only effective at the edges. This means that rod, pipe, or wire electrodes have a much lower dissipation resistance than, for example, a plate electrode with the same surface area. Moreover, it is well documented in the literature that dc- and ac-induced corrosion increases with current density. Low current density extends electrode life.

كيفية حساب قيمة مقاومة قطب التأريض ؟

وكما بالشكل فإن النموذج الأشهر لتبسيط نظرية حساب مقاومة الأنواع المختلفة لأقطاب التأريض هو نموذج إستخدام قطب تأريض علي شكل نصف كرة "Hemisphere Electrode"

Surface Area of a Sphere = $4\pi r^2$

Surface Area of a Hemisphere/ Electrode = $2\pi r^2$

A basic model of the earth electrode configuration, used for illustrating the fundamental electrical properties, is a hemisphere embedded in the ground surface (Figure 3).

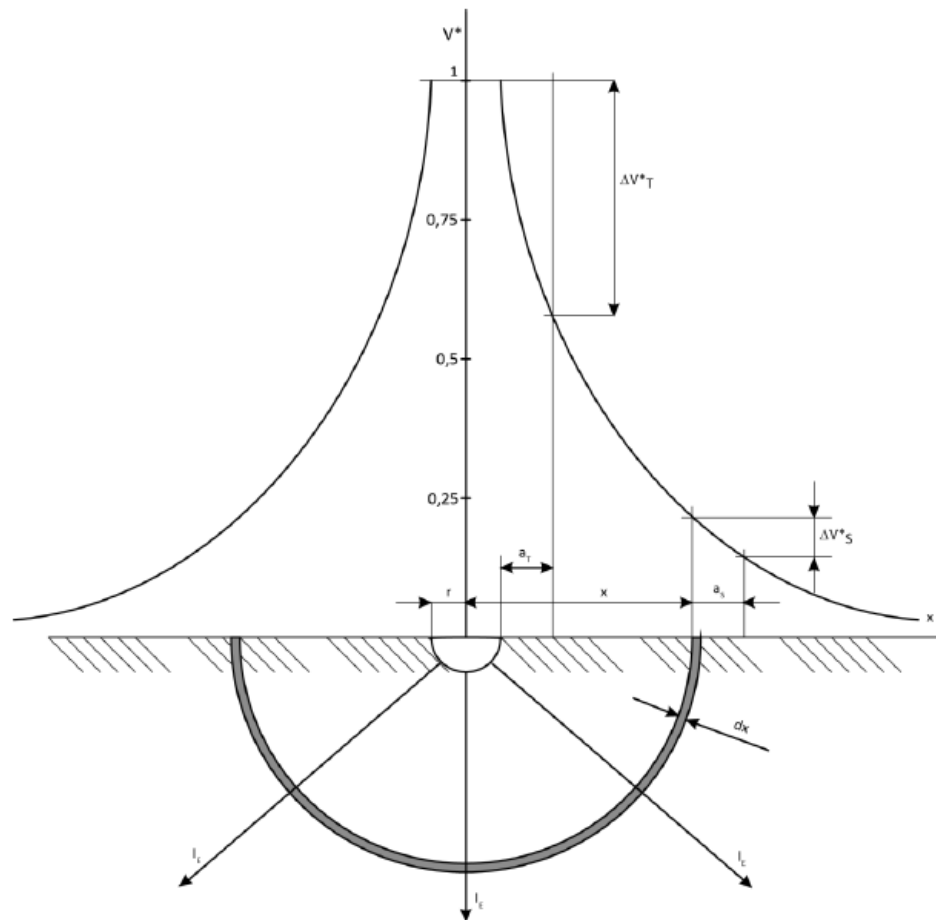


Figure 3 – Illustration of a notional hemispherical earth electrode, showing parameters required to calculate the earthing resistance and potential distribution on the ground surface (with $\rho = \text{const}$):

r – electrode radius

x – destination from the centre of the electrode

a_T, a_S – touch and step distances respectively

V^* – relative value of the potential distribution

$\Delta V^*_T, \Delta V^*_S$ – touch and step voltages respectively.

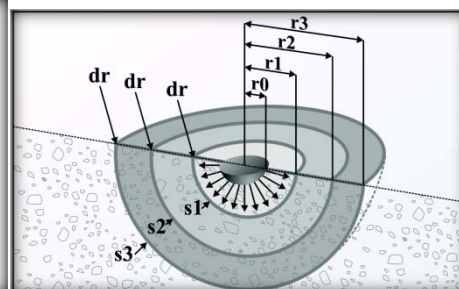
r – electrode radius

x – destination from the centre of the electrode

a_T, a_S – touch and step distances respectively

V^* – relative value of the potential distribution

$\Delta V^*_T, \Delta V^*_S$ – touch and step voltages respectively.



وحيث أن معادلة المقاومة العادية هي:

$$R = \rho l / a$$

وبالتالي فإن مقاومة التربة المُحيطة بقطب التأريض:

$$dR = \frac{\rho}{2\pi x^2} dx \quad (2)$$

The resistance of the hemisphere-earth electrode is given by:

$$R = \frac{\rho}{2\pi} \int_r^\infty \frac{dx}{x^2} = \frac{\rho}{2\pi r} \quad (3)$$

حيث ρ هي المقاومة النوعية للتربة وبالتالي فإن معادلة حساب مقاومة قطب تأريض علي شكل نصف كرة هي:

$$R = \rho / (2 \pi r) \quad \text{"Resistance of Hemisphere Rod"}$$

Differences between Grounded and Grounding systems

- **Grounded system** refers to a system where a conductor is grounded and is intended to or may carry current in the normal operation. The neutral on a wye system is a prime example of a grounded conductor.
- **The grounding conductor** system is not intended to carry operational current in its design. This path is intended to carry unwanted and fault currents for protection.

What is “Effectively Grounded”?

The 2005/2008/2011 National Electrical Code defines effectively grounded as:

“Intentionally connected to earth through a ground connection or connections of sufficiently low impedance and having sufficient current-carrying capacity to prevent the buildup of voltage that may result in undue hazards to connected equipment of persons.”

This Page Deliberately Left Blank

التأريض باستخدام أقطاب تأريض:

The following is based on BS 7430

مقدمة عامة:

لتأريض معدة/نظام فإنه يلزم وجود "وسيلة توصيل" بين المعدة/النظام وجسم الأرض , بحيث تكون "وسيلة التوصيل" ذات مقاومة مناسبة وليست أكبر من المقاومة المطلوبة لتمرير تيار القصر بحيث تعمل وسيلة الحماية علي قطع الدائرة وكذلك أن تكون "وسيلة التوصيل" ذات قدرة علي حمل تيار القصر. "وسيلة التوصيل" تلك هي شبكة الأرضي.

لذلك فإن أهم العوامل التي تحدد طبيعة واختيار أقطاب التأريض هي "مقاومة شبكة الأرضي" , "قدرتها علي حمل التيار المتوقع" , كذلك "مقاس وشكل أقطاب التأريض" و "المقاومة النوعية للتربة".

9 Earth electrode systems

9.1 General

Earthing of either a system or equipment involves the provision of a connection to the general mass of earth; this connection should have a resistance not greater than that required to operate safety mechanisms to isolate the electricity supply from a fault situation, and be capable of carrying the maximum expected fault current. The value of resistance required might not always be amenable to an automatically set value.

Therefore, the various factors which affect the resistance to earth and fault current capacity of the buried conductor, designated the earth electrode, should be considered. This should include the size and shape of the earth conductor, the resistivity of the soil in which it is buried and the connection of the system to it. It is also essential to consider the current density at the surface of the earth electrode and the ground potentials in its vicinity.

٣-١-٢ النظم الحاكمة للتأريض في المباني

يعتبر النظام مؤرضاً عندما تكون نبيلة الوقاية الكهربائية قادرة على فصل الدائرة عند حدوث خلل في إحدى المعدات الكهربائية المتصلة من أحد أجزائها المعدنية عن طريق مسار معدني بنقطة تعادل المصدر الكهربائي.

However, the NFPA and IEEE have recommended a ground resistance value of 5.0 ohms or less.

The NEC has stated to "Make sure that system impedance to ground is less than 25 ohms specified in NEC 250.56. In facilities with sensitive equipment it should be 5.0 ohms or less."

طبيعة الموقع/التربة:

حيث أن طبيعة تربة الموقع تعد العامل الأساسي المؤثر علي مواصفات شبكة الأرضي فإنه يجب معرفة طبيعة التربة في الموقع قبل بدء التصميم.
طبيعة التربة لا يمكن تغييرها بسهولة, ولكن تحقيق ذلك يستلزم تكلفة عالية ودراسة شاملة للطبيعة الجيولوجية للتربة.

وأنواع التربة من حيث الأفضلية لتحقيق نظام تأريض جيد هي كما يلي:

1	تربة رطبة -متشبعة بالماء- تشبة المستنقع	wet marshy ground;
2	التربة الطينية المختلطة بقليل من الرمال- مثل الأراضي الزراعية	clay, loamy soil, arable land, clayey soil, clayey soil or loam mixed with small quantities of sand
3	التربة الطينية المختلطة بقليل من الرمال والصخور	clay and loam mixed with varying proportions of sand, gravel, and stones;
4	التربة الرملية الرطبة	d) damp and wet sand, peat.
5	التربة الرملية الجافة أو الحجرية أو الصخرية	Dry sand, gravel, chalk, limestone, whinstone, granite, any very stony ground, and all locations where virgin rock is very close to the surface

المعالجة الكيميائية للتربة:

حيث أن طبيعة تربة الموقع تعد العامل الأساسي المؤثر علي مواصفات شبكة الأرضي فإنه يجب معرفة طبيعة التربة في الموقع قبل بدء التصميم.
وهناك طريقتان لعمل تحسين لطبيعة التربة:

- 1- إضافة مواد كيميائية للخرسانة المحيطة بأقطاب التأريض مع مراعاة أن تظل الخرسانة ملائمة لأقطاب التأريض بعد أن تجف.
- 2- إضافة الفحم وتلك المواد الكيميائية التي تقلل من مقاومة التربة , ولكن تلك الطريقة لها آثار سلبية علي البيئة وكذلك قد تؤدي لتآكل أقطاب التأريض.

9.2.2 Soil treatment

In high resistivity locations or on rocky ground where long term performance is required, it may be considered necessary to utilize a conductive concrete to improve earth contact resistance around an earth rod or strip (tape) where applicable. There are commercially available materials to achieve this effectively, but care should be taken to understand how they work during installation to ensure that they remain in contact with the rod or strip and do not shrink or swell away after drying out.

Chemical treatment of soil has environmental implications and should not be considered as a long term solution in order to meet a specified level of resistance, apart from the risk of corrosion to the earthing system. Coke breeze should also not be used due to its highly corrosive nature.

USE A GROUND ENHANCEMENT MATERIAL

Several materials are available to lower the resistance of the installed rod electrode. They are placed around the rod which has been installed in an augured hole. Although they have a resistivity higher than the metal rod, their resistivity is lower than the surrounding soil. This, in effect, increases the diameter of the rod. Following are some of the materials commonly used as ground enhancement materials along with their resistivities;

concrete :	3000 to 9000 ohm-cm (30 -90 ohm-m)
bentonite (clay) :	250 ohm-cm. (2.5 ohm-m) (Shrinks and looses contact with both rod and earth when it dries)
GEM™ :	12 ohm-cm (0.12 ohm-m) or less. (Permanent, sets up like concrete and does not shrink or leach into soil)

المقاومة النوعية للتربة:

أنظر الملحق رقم 1 الذي يوضح الطرق المختلفة لقياس المقاومة النوعية للتربة

مقاومة الموصل - سوء الأرض

The Resistance of a conductor depends on the atomic structure of the material or its Resistivity (measured in Ohm-m or $\Omega\cdot m$), which is that property of a material that measures its ability to conduct electricity

$$R = \frac{\rho \times L}{A}$$

where ρ Resistivity ($\Omega\cdot m$) of the conductor material
 L Length of the conductor (m)
 A Cross sectional Area (m^2)

المقاومة النوعية للتربة هي العامل الأساسي الذي يحدد قيمة المقاومة بين قطب الأرضي والأرض نفسها. ويجب أن نتذكر أن المعادلات التي تُستخدم في حساب تلك المقاومة النوعية للتربة هي في الأصل تفترض أن التربة متجانسة بصورة كاملة حول قطب الأرضي , وهو أمر غير واقعي بصورة كاملة. والمقاومة النوعية للتربة تتأثر بنسبة الأملاح والرطوبة الموجودة بالتربة وأحياناً درجة حرارة التربة.

9.3 Soil resistivity

NOTE 1 The resistance to earth of a given electrode depends upon the electrical resistivity of the soil. Most first approximation formulae are related to homogenous soil, which is rarely the case in practice, where the different layers of strata will affect the distribution of current passing through the electrode.

Table 1 gives examples of resistivity only; these figures are very general and should not be used to replace actual measurements made at the proposed site. They may be used to give an indication of the difficulties that one might face in preparing an adequate design at the chosen location. The effective resistivity is also controlled by the mineral salts in the ground and the level of moisture content, which is why it should be remembered that readings taken long after installation can vary considerably from the original test results.

Soil temperature has some effect on the upper layers of strata, but is only important under frosty conditions; therefore any part of an electrode system which is less than 0.5 m below ground level should not be considered to be effective.

NOTE 2 Table 1 is only to be taken as a general guide. Earth resistivity is essentially electrolytic and affected by the moisture content and the soil's ability to retain moisture plus the chemical composition and concentration of beneficial salts dissolved in the water. Columns 2 and 3 relate to most of the British Isles, but column 5 is more specific to marshy flats around river estuaries

والجدول التالي لقيم المقاومة النوعية لأنواع التربة المختلفة هو إسترشادي فقط, ولعمل تصميم جيد لنظام التأريض يجب أن يتم قياس قيمة المقاومة النوعية للتربة بواسطة شركة متخصصة قبل بدء التصميم والتنفيذ:

BS 7430:2011

BRITISH STANDARD

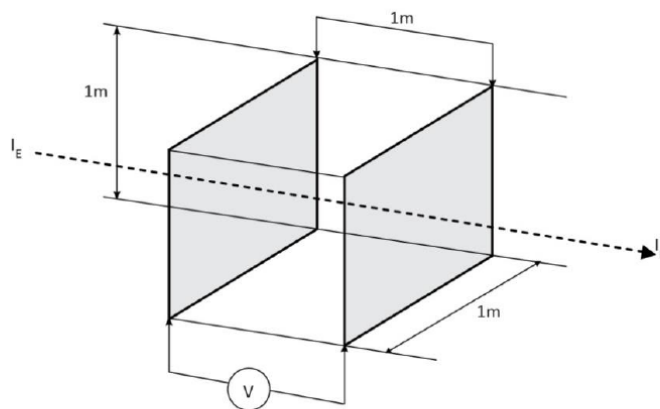
Table 1 Examples of soil resistivity in Ωm

Type of soil	Climatic condition			
	Normal and high rainfall, i.e. > 500 mm/year		Low rainfall and desert conditions, i.e. < 250 mm/year	Underground waters (saline)
	Probable value	Range of values encountered	Range of values encountered	Range of values encountered
1	2	3	3	5
Alluvium and lighter clays	5	A)	A)	1–5
Clays (except alluvium)	10	5–20	10–100	1–5
Marls (e.g. Keuper marl)	20	10–30	50–300	—
Porous limestone (e.g. chalk)	50	30–100	—	—
Porous sandstone (e.g. Keuper sandstone and clay shales)	100	30–300	—	—
Quartzite, compact and crystalline limestone (e.g. carboniferous sediments, marble, etc.)	300	100–1 000	—	—
Clay slates and slatey shales	1 000	300–3 000	1 000 upward	30–100
Granite	1 000	—	—	—
Fissile shales, schists, gneiss and igneous rocks	2 000	1 000 upward	—	—

A) Depends on water level of locality.

المقاومة النوعية للتربة هي مقاومة مكعب من الأرض طول ضلعه 1 متر.

Earth resistivity ρ (specific earth resistance) is the resistance, measured between two opposite faces, of a one-metre cube of earth (See Figure 1). The earth resistivity is expressed in Ωm .

Figure 1 – Diagram illustrating the physical sense of earth resistivity ρ .

Earth surface potential, V_x , is the voltage between a point x on the earth's surface and reference earth.

جدول رقم (١): أمثلة لقيم المقاومة النوعية لأنواع مختلفة من التربة (أوم . متر)

الظروف المناخية				نوع التربة
أمطار قليلة ومناطق صحراوية (أقل من ٢٥٠ مم/سنة)	أمطار عادية وعالية أكبر من ٥٠٠ مم/سنة			
المدى أوم. متر	المدى أوم. متر	المدى أوم. متر	قيم محتملة أوم. متر	
١ - ٥	يعتمد على مستوى الرطوبة		٥	طيني رسوبي وطين خفيف
١ - ٥	١٠ - ١٠٠	٥ - ٢٠	١٠	طين بدون طفلة
	٥٠ - ٣٠٠	١٠ - ٣٠	٢٠	طين يابس
		٣٠ - ١٠٠	٥٠	حجر جيري (طباشير)
		٣٠ - ٣٠٠	١٠٠	حجر رملي مسامي
		١٠٠ - ١٠٠٠	٣٠٠	كوارتز ، حجر جيري مبلور ومدكوك
٣٠ - ١٠٠	< ١٠٠٠	٣٠٠ - ٣٠٠٠	١٠٠٠	طين إردوازي
			١٠٠٠	جرانيت
		< ١٠٠٠	٢٠٠٠	صخور

Table 22.2 Range of soil resistivity

Type of soil	Average resistivity Ωm
Wet organic soil	10
Moist soil	10^2
Dry soil	10^3
Bedrock	10^4

Based on IEEE-80

أنواع أقطاب التأريض وحساب مقاومتها: Types of earth electrodes and their resistance calculation

يجب أن يكون نظام التأريض مكون من مكونات متجانسة مع بعضها ولها عمر افتراضي طويل وقدرة تحمل للظروف المحيطة بها وذلك لضمان إستمرارية قيام النظام بمهمته المطلوبة وهي الحفاظ علي سلامة الأفراد والبيئة المحيطة.

An earthing system should be of the highest integrity and of robust construction to ensure that it remains safe and will not endanger the health and safety of persons or their surroundings.

هذا الكود BS7430 والمعادلات المذكورة فيه هي فقط للأنظمة ذات التردد المنخفض

The majority of the formulae presented in this subclause relate to low frequency currents and high frequency examples are not included; it is therefore important to recognize this issue if a long horizontal tape or bare cable is being considered for producing a low earth resistance, even though the impedance will ultimately be limited to a final value (see Figure 14).

أقطاب التأريض تكون مُصنعة من النحاس غالباً لتوصيليته العالية وقدرته علي تفريغ الطاقة التي تمر عبر نظام التأريض الذي هو جزء منه. وأشكال أقطاب التأريض متعددة منها "القطب الإسطوانى الرأسى" و "ألواح عرضية" و "الشبكة"

Earthing systems should consist of copper conductors, copper clad or austenitic steel rods of appropriate dimensions (see 9.8 for more detail), cast iron plates, or steel piles used individually or connected together in combination to form a single local earth electrode system.

المعادلات التالية المستخدمة لحساب مقاومة قطب التأريض هي في الأصل مبنية علي أساس أن التربة متجانسة - وهو أمر نظري - ولذلك فإن النتيجة التي تحصل عليها قد تكون بها 15% عدم دقة نتيجة عدم تجانس طبقات التربة ووجود قيم مختلفة للمقاومة النوعية للتربة.

ملحوظة : بناءً علي هذا النص يمكن للمصمم أن يأخذ في إعتباره 15% عامل أمان safety factor في تصميم النظام

The formulae which follow are all based on homogeneous soil conditions, so in most practical situations only give a reasonable idea of the problems (within 15% accuracy) that might exist if the strata is such that the resistivity changes at different levels.

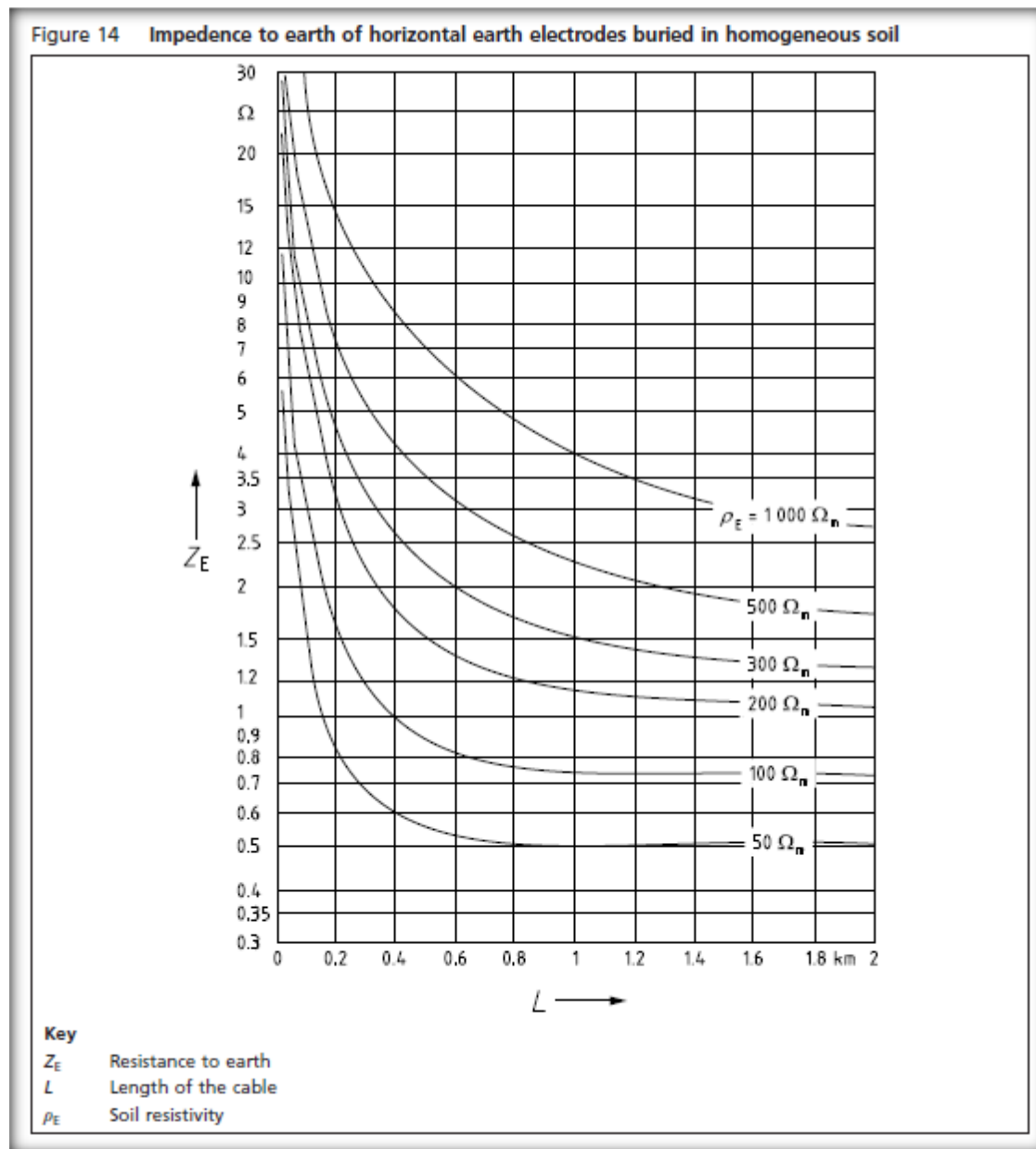
It may be considered necessary to apply numerical methods which are more complex than the formulae given below and software is available to carry out the more detailed calculations.

The results from the formulae below are within 10% to 15% accuracy and may be assumed to be sufficient for guidance on what might be the outcome of a given design. However, onsite resistivity testing should always be carried out prior to carrying out an earth system design and installation.

تأثير شكل "قطب التأريض" على مقاومة يتوقف على طريقة توزيع التيار - أثناء تفريغ تيار الخطاء - في التربة المحيطة به, ولذلك فإن الأقطاب الرأسية لها مقاومة أقل مقارنة بالأنواع الأخرى وذلك لسولة توزيع التيار. يمكن أن يتم ربط أكثر من قضيب عن طريق جلبه وصل من نفس المعدن للحصول على الطول المناسب ورغم أن الطول الموصى باستخدامه في (NEC) هو 240 سم للتربة العادية إلا أنه يمكن زيادة هذا الطول إلى 15 متر لأنواع التربة الرديئة.

The effect of shape on an electrode resistance is related to the current density around the particular electrode considered. To obtain a low overall resistance the current density should be as low as possible in the medium surrounding the electrode. This may be achieved by making the dimensions in one direction large by comparison to the other two; thus a pipe rod or strip has a much lower resistance than a plate of equal surface area.

والشكل التالي لقطب تأريض موضوع بصورة أفقية داخل تربة متجانسة , ويبين أثر المقاومة النوعية للتربة على قيمة مقاومة القطب إلى الأرض والواضح أنها علاقة طردية, وأيضاً تأثير زيادة طول قطب التأريض على قيمة المقاومة.



What is “Grounding Electrode”?

The grounding electrode is any one of the building or structural elements that is in actual physical contact with the earth, such as: see the following figure (Fig.5)

1. Metal Underground Water Pipe.
2. Metal Frame of the Building or Structure.
3. Concrete-Encased Electrode.
4. Ground Ring.
5. Rod and Pipe Electrodes.
6. Plate Electrodes.
7. Other Local Metal Underground Systems or Structures (such as piping systems and underground tanks).

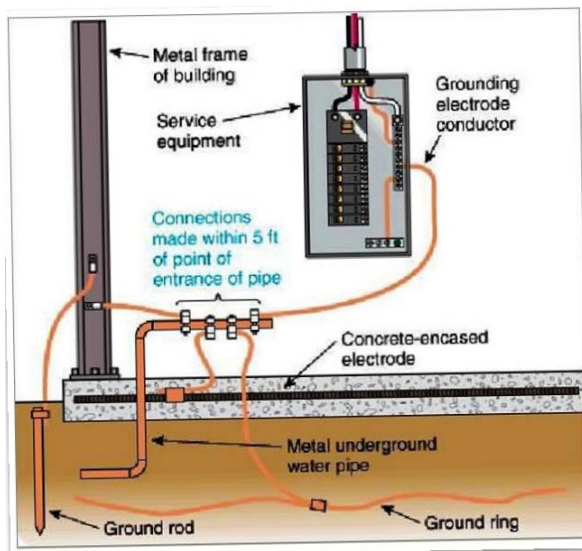


fig (5): grounding electrode Types

This Page Deliberately Left Blank

The following is based on BS 7430

حساب مقاومة أقطاب التأريض المختلفة:

المعادلات التالية المستخدمة لحساب مقاومة قطب التأريض هي أمر نظري - ولذلك فإن النتيجة التي تحصل عليها قد تكون بها 15% عدم دقة نتيجة عدم تجانس طبقات التربة ووجود قيم مختلفة للمقاومة النوعية للتربة.

ملحوظة: بناءً على هذا النص يمكن للمصمم أن يأخذ في إعتباره 15% عامل أمان safety factor في تصميم النظام

The formulae which follow are all based on homogeneous soil conditions, so in most practical situations only give a reasonable idea of the problems (within 15% accuracy) that might exist if the strata is such that the resistivity changes at different levels.

9.3 Soil resistivity

NOTE 1 The resistance to earth of a given electrode depends upon the electrical resistivity of the soil. Most first approximation formulae are related to homogenous soil, which is rarely the case in practice, where the different layers of strata will affect the distribution of current passing through the electrode.

9.5 Types of earth electrodes and their resistance calculation

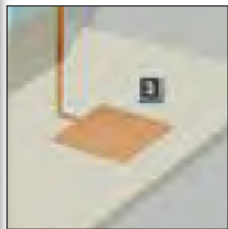
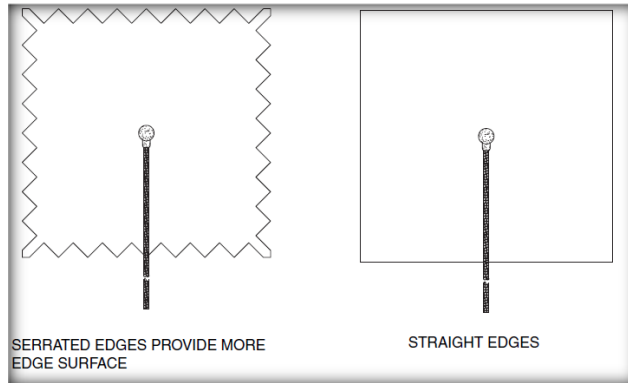
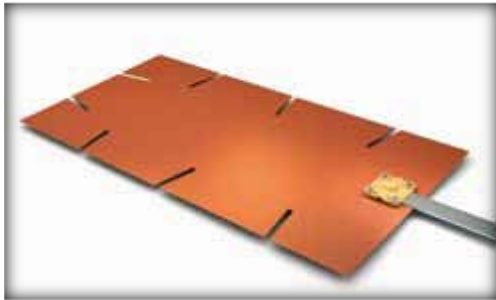
9.5.1 General

An earthing system should be of the highest integrity and of robust construction to ensure that it remains safe and will not endanger the health and safety of persons or their surroundings. The majority of the formulae presented in this subclause relate to low frequency currents and high frequency examples are not included; it is therefore important to recognize this issue if a long horizontal tape or bare cable is being considered for producing a low earth resistance, even though the impedance will ultimately be limited to a final value (see Figure 14).

Earthing systems should consist of copper conductors, copper clad or austenitic steel rods of appropriate dimensions (see 9.8 for more detail), cast iron plates, or steel piles used individually or connected together in combination to form a single local earth electrode system.

The formulae which follow are all based on homogeneous soil conditions, so in most practical situations only give a reasonable idea of the problems (within 15% accuracy) that might exist if the strata is such that the resistivity changes at different levels. It may be considered necessary to apply numerical methods which are more complex than the formulae given below and software is available to carry out the more detailed calculations. The results from the formulae below are within 10% to 15% accuracy and may be assumed to be sufficient for guidance on what might be the outcome of a given design. However, onsite resistivity testing should always be carried out prior to carrying out an earth system design and installation.

1- لوح التأسيس Plates :



Earth plates are used to attain an effective earth in shallow soils with underlying rocks or in locations with large amounts of buried services. They can also provide protection at potentially dangerous places e.g. HV switching positions.

وعند إستخدام ألواح التأسيس يجب مراعاة ألا تزيد ابعادها عن 1.2*1.2 متر كما في المثال التالي لأحدي الشركات المصنعة.

Plates, if used, should be installed as small units of not greater than 1.2 m × 1.2 m connected in parallel vertically and at least 2 m apart. The minimum ground cover should not be less than 600 mm and ideally the surrounding soil should be damp. Connections to the plate should be by copper conductor, welded, riveted or otherwise attached with material that will not cause corrosion at the joint. The finished joint should be covered with a heavy coat of bitumen. The connecting strip to the above ground disconnection point should be fully insulated to avoid electrolytic action

Note: Serrated edges provide more edge surface

Reference	Nominal size (mm)	Included	Material	Weight (kg)
AT-050J	500 x 500 x 2	AT-020F	Copper	4
AT-116H	1000 x 500 x 2	AT-020F	Copper	8
AT-117H	600 x 600 x 1,5	-	Copper	5
AT-118H	600 x 600 x 3	-	Copper	10
AT-119H	900 x 900 x 1,5	-	Copper	11
AT-120H	900 x 900 x 3	-	Copper	22
AT-121H	500 x 500 x 3	-	Galvanized steel	4
AT-122H	1000 x 500 x 3	-	Galvanized steel	8

The approximate resistance to earth of a plate R in ohms (Ω) may be calculated from:

Plates

The approximate resistance to earth of a plate R in ohms (Ω) may be calculated from:

$$R = \frac{\rho}{4} \sqrt{\frac{\pi}{A}}$$

where:

- ρ is the resistivity of the soil (assumed uniform), in ohm metres (Ωm);
 A is the area of one face of the plate, in square metres (m^2).

BS_7430_2011+A1_2015

ويجب أن تكون الأرض المُحيطة بـ "لوح التأريض" تُغطي علي الأقل 60 سم حوله وأن تكون رطبة , وكذلك أن تكون الوصلات لربطه مع نظام الاريز من النوع النحاسي

The minimum ground cover should not be less than 600 mm and ideally the surrounding soil should be damp.

Connections to the plate should be by copper conductor, welded, riveted or otherwise attached with material that will not cause corrosion at the joint. The finished joint should be covered with a heavy coat of bitumen.

The connecting strip to the above ground disconnection point should be fully insulated to avoid electrolytic action Where the plate is placed in a cut out slot, e.g. in a chalk bed near the surface, the slot should be big enough to allow at least 300 mm thickness of soil or other conducting low resistivity medium cover around the whole plate. This requires careful assembly during installation to ensure that the bottom of the plate is resting in the medium used and not on the chalk or high resistivity substrata.

NOTE For conventional sizes, the resistance is approximately inversely proportional to the linear dimensions, not to the surface area, i.e. a 0.9 m × 0.9 m plate has a resistance approximately 25% higher than a 1.2 m × 1.2 m plate.

Note:

The use of earth plates as electrodes reduces the resistance of earthing in stony grounds, as it increases the area of contact between the electrode and the ground.

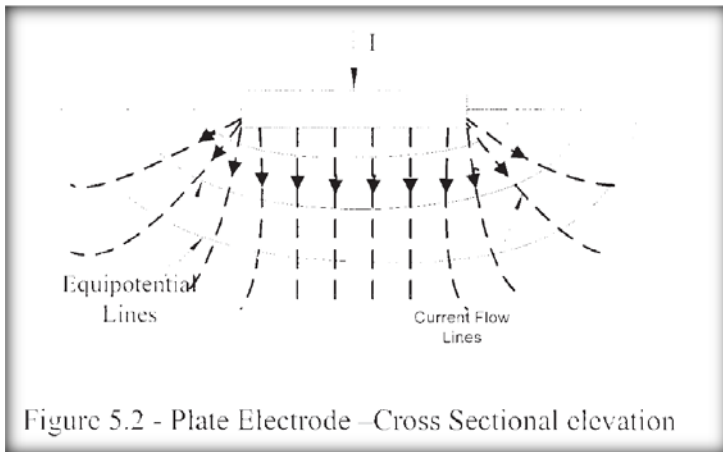


Figure 5.2 - Plate Electrode –Cross Sectional elevation

Consider a circular plate electrode of radius r , lying on the surface of the earth of homogeneous resistivity ρ . Making the assumptions that all currents coming out from below the plate are vertical and all current coming out from the edges go out radially from the edge, the resistance of an elemental area of thickness dx at distance x is given by,

$$dR = \frac{\rho \cdot dx}{\pi(\pi r x + 2x^2 + r^2)} \quad (5.4)$$

Thus to obtain the total Electrode Resistance,

$$\begin{aligned} R &= \int_0^{\infty} \frac{\rho}{2\pi r} \left[\frac{1.4628}{x + 0.4436r} - \frac{1.4628}{x + 1.1272r} \right] dx \\ &= \left[\frac{\rho}{4.295r} \ln \frac{x + 0.4436r}{x + 1.1272r} \right]_0^{\infty} = \frac{\rho}{4.295r} \ln \frac{1.1272}{0.4436} \\ &= \frac{\rho}{4.6r} \end{aligned} \quad (5.5)$$

Let's consider the area of the plate to be A . Now $A = \pi r^2$,

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} \quad (5.6)$$

Therefore substituting (5.6) in (5.5),

$$R = \frac{\rho}{4.6} \sqrt{\frac{\pi}{A}} \quad (5.7)$$

Since approximations are used in the calculation, it would have yielded a higher value than the answer from equation (5.7). So, the following equation is conveniently used as the Electrode Resistance of a circular plate.

$$R = \frac{\rho}{4} \sqrt{\frac{\pi}{A}} \quad (5.8)$$

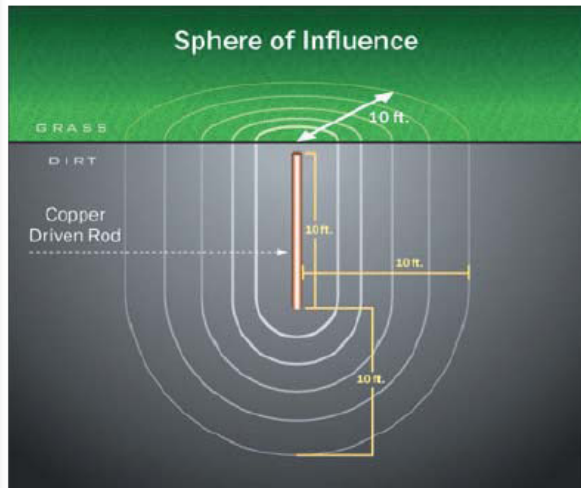
2- القطب الإسطوانى الرأسى Rod Electrode :

القطب الإسطوانى الرأسى Rod Electrode وهو يعد الأكثر إنتشاراً حيث أنه يسمح بالتوغل إلى عمق التربة والوصول للمنطقة ذات المقاومة النوعية المنخفضة.

"وعليك أن تتذكر أن العلاقة بين قطب التأريض و"الأرض نفسها" هي عبارة عن " دائرة كهربية في الثلاث أبعاد"

The interaction between the grounding electrode and the earth, which is a three-dimensional electrical circuit

Zone (or Sphere) of Influence



An important concept as to how efficiently grounding electrodes discharge electrons into the earth is called "the zone of influence", which is sometimes referred to as the "sphere of influence". The zone of influence is the volume of soil throughout which the electrical potential rises to more than a small percentage of the potential rise of the ground electrode, when that electrode discharges current into the soil. The greater the volume, compared with the volume of the electrode, the more efficient the electrode. Elongated electrodes, such as ground rods, are the most efficient. The surface area of the electrode determines the ampacity of the device, but does not affect "the zone of influence". The greater the surface area, the greater the contact with the soil and the more electrical energy that can be discharged per unit of time.

Volume Formula

$$V = \frac{5\pi L^3}{3}$$

WHERE:

V = volume of soil in the sphere of influence

L = the length or depth of electrode

The formula for calculating the volume of soil is shown.

A simpler version is used when the above formula is modified by rounding π (pi) down to 3 and cross canceling to get the formula:

$$V = 5 L^3$$

Thus, a single 10-foot driven rod will utilize 5,000 cubic feet of soil, where as a single 8 foot rod will utilize about half the soil at 2,560 cubic feet.

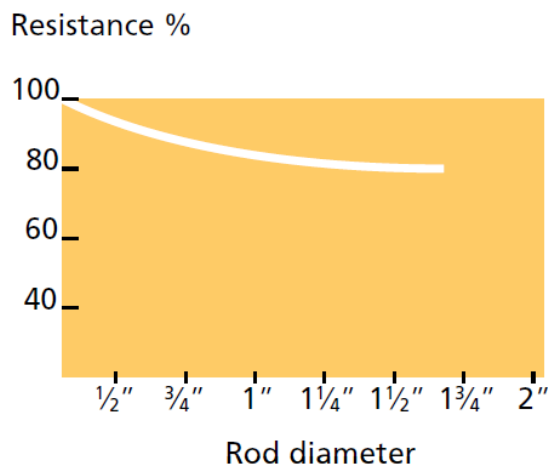
وهناك خطأ شائع أن زيادة قطر قطب التأسيس سيزيد من كفاءته ويقلل مقاومته بنسبة عالية, وهو تصور غير صحيح .
وكما بالشكل التالي فإن مضاعفة القطر لا تقلل المقاومة إلا بنسبة 9.5% وتزيد التكلفة بنسبة 400% بناءً على ما ذكرته
شركة Furse واحدة من أكبر مُصنعي مكونات نظم التأسيس.

Ref# Furse company

Diameter of rod

One common misconception is that the diameter of the rod has a drastic effect on lowering earth resistance. This is not true! As the graph shows, you only lower the resistance value by 9.5 per cent by doubling the diameter of the rod (which means increasing the weight and the cost of the rod by approximately 400 percent!)

Thus the rationale is: Use the most economical rod that soil conditions will allow you to drive. This is one of the ways to ensure that you don't waste money on over-dimensioned rods.



Effect of electrode diameter on resistance

9.5.3 Rod electrode

The resistance of a rod R_r in ohms (Ω) may be calculated from:

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

where:

- ρ is the resistivity of soil, in ohm metres (Ωm);
- L is the length of the electrode, in metres (m);
- d is the diameter of the rod, in metres (m).

NOTE Change of diameter has little effect on the overall value of resistance, and the size is more governed by the mechanical strength of the rod to withstand being mechanically driven when deep earth rods are required e.g. to depths of 20 m or more.

Resistance of one vertical electrode is given by:

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

where:

- R is the resistance of single rod or pipe, in ohms (Ω);
- L is the length of rod, in metres (m);
- d is the diameter of rod or pipe, in metres (m);
- ρ is the soil resistivity in ohm metres (Ωm).

If:

$$L = 2.4 \text{ m};$$

$$d = 0.016 \text{ m};$$

$$\rho = 100 \text{ } \Omega\text{m};$$

should be 400

$$R = 400 / 2\pi \times 2.4 [\log_e (8 \times 2.4 / 0.016) - 1] \text{ } \Omega = 162 \text{ } \Omega$$

5.3.2.3 Rod/pipe type electrode

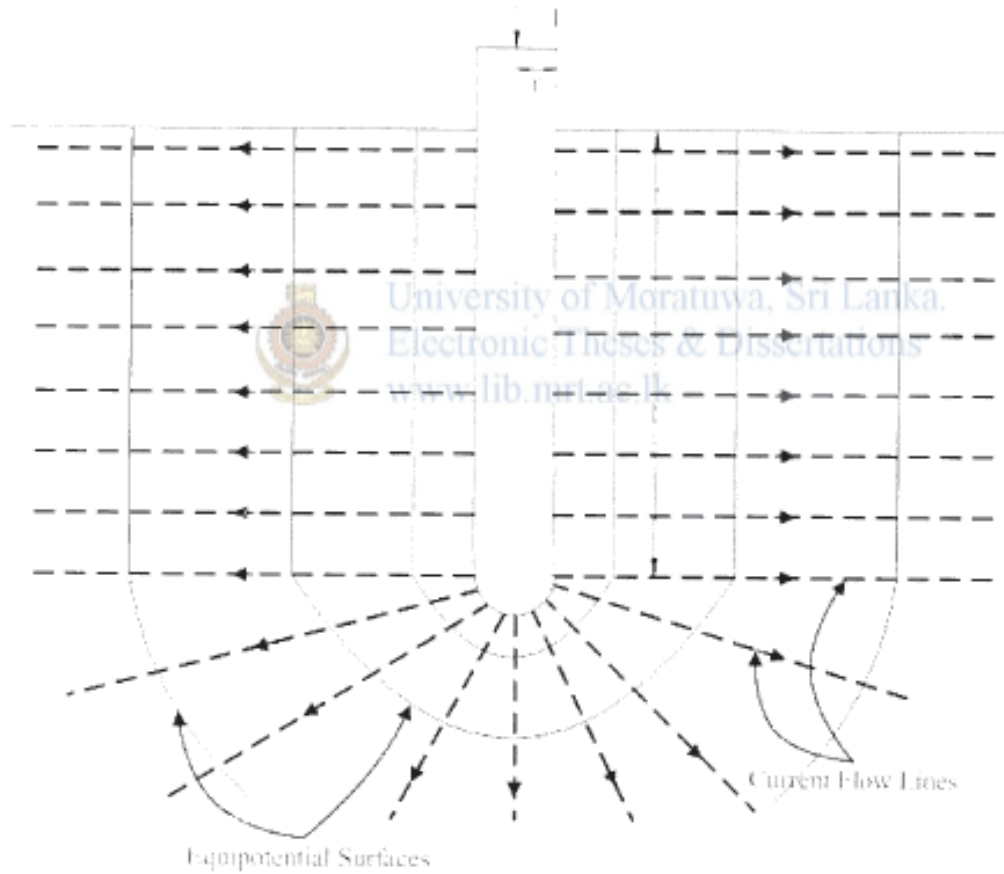


Figure 5.3 - Rod Electrode –Cross Sectional elevation

Let's consider a rod electrode of radius r and length l . Let's assume that the current flow outwards from the vertical section is horizontal and from the lower hemispherical end is radial outwards. Consider an elemental area at distance x , now the resistance of the elemental area is,

$$R = \int_r^l \frac{\rho}{2\pi l} \left(\frac{1}{x(x+l)} \right) dx$$

$$= \left[\frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{x}{x+l} \right]_r^l$$

$$R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{r+l}{r} \quad (5.10)$$

Generally $l \gg r$ so,

$$R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{l}{r} \quad (5.11)$$

The above equation (5.11) for the Resistance of a Rod Electrode is given in BS7430 as follows,

$$R = \frac{\rho}{2\pi l} \left[\ln \left(\frac{8L}{d} \right) - 1 \right] \quad (5.12)$$

Where,

L - Buried Length of the Electrode in m

d - Diameter of the Electrode in m

Earth rod

The earth electrode resistance R_A of a earth rod is calculated using:

$$R_A = \frac{\rho_E}{2\pi \cdot l} \cdot \ln \frac{l}{r}$$

R_A earth electrode resistance in Ω

ρ_E Specific earth resistance in Ωm

l Length of the earth rod in m

r Radius of the earth rod in m

Note:

هذه المعادلة المبسطة ممكن إستخدامها
لتعطي قيمة تقريبية

$$R_A = \frac{\rho_E}{l}$$

2- حساب مقاومة مجموعة من القطبان الرأسية الموصلة علي التوازي:

Parallel connection of aligned rods:

يتم توصيل مجموعة من الأقطاب سوياً علي التوازي وذلك لتقليل المقاومة الكلية للشبكة ، وتناسب المقاومة الكلية عكسياً مع عدد الأقطاب الموصلة علي التوازي.

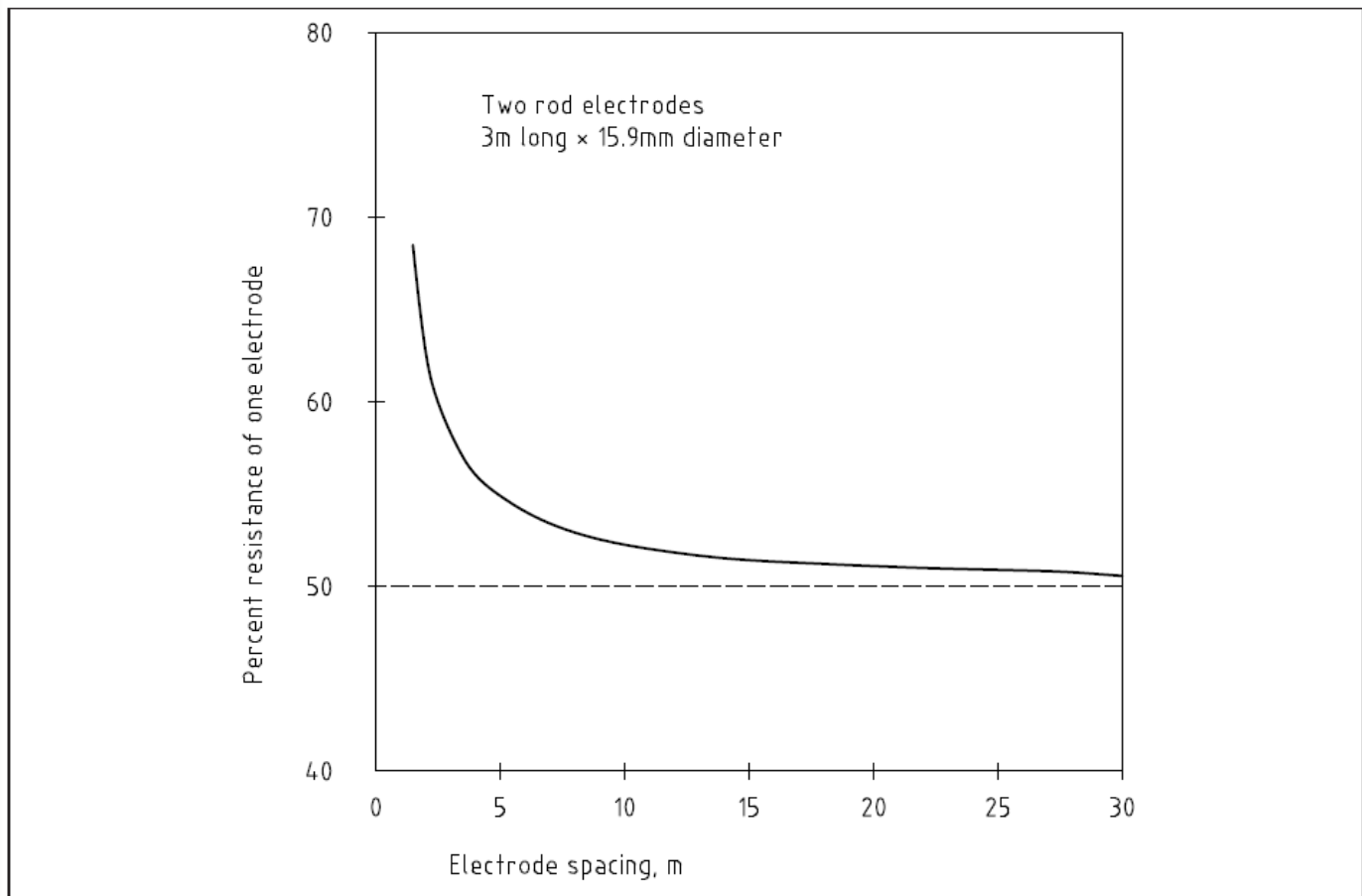
A number of rods may be connected in parallel and the resistance is approximately reciprocal to the number of rods employed, so long as the separation is outside of the resistance area of each rod.

والشكل التالي يوضح تأثير قيمة المقاومة الكلية بعدد الأقطاب الموصلة سوياً - طول القطب الواحد 3 متر - ونلاحظ أنه عند زيادة عدد الأقطاب عن 10 فإن تأثير قيمة المقاومة الكلية يصبح أقل.

BRITISH STANDARD

BS 7430:2011+A1:2015

Figure 14a Effect of inter electrode spacing on combined resistance



NOTE 2 Using a 15.9 mm diameter rod of 3 m depth, there is little gain in overall resistance beyond 10 m spacing (see 9.5.4 for parallel connection of aligned rods).

Parallel connection of aligned rods:

والمعادلة التالية هي آخر تحديث طبقاً لإصدار BS 7430 2011+A1 2015 وهي تختلف عن تلك المذكورة في الأكواد السابقة كما يلي:

9.5.4 Parallel connection of aligned rods

A1 The resistance R_t in ohms (Ω) of n vertically driven rods set s metres (m) apart may be calculated from:

$$R_t = \frac{1}{n} \cdot \frac{\rho}{2\pi L} \left[\log_e \left(\frac{8L}{d} \right) - 1 + \frac{\lambda L}{s} \right]$$

where:

- ρ is the resistivity of soil, in ohm metres (Ωm);
- L is the length of the electrode, in metres (m);
- n is the number of rods;
- s is the spacing between rods, in metres (m);
- λ is a group factor where:

$$\lambda = 2 \sum \left(\frac{1}{2} + \dots + \frac{1}{n} \right)$$

For larger values of n , λ can be approximated by:

$$\lambda \approx 2 \log_e \frac{1.781n}{2.718} \quad \text{A1}$$

والمعادلات التالية هي التي تم تعديلها ونوردها فقط لتجنب إستخدامها

9.5.4 Parallel connection of aligned rods

The resistance R_t in ohms (Ω) of n vertically driven rods set s metres apart may be calculated from:

$$R_t = \frac{1}{n} \cdot \frac{\rho}{2\pi L} \left[\log_e \left(\frac{8L}{d} \right) - 1 + \frac{L}{s} \log_e \left(\frac{1.78n}{2.718} \right) \right]$$

where:

- is the resistivity of soil, in ohm metres (Ωm);
- is the length of the electrode, in metres (m);



The combined resistance of rod electrodes in parallel R_n , expressed in ohms (Ω), can be obtained from the following equation:

~~$$R_n = R \left(\frac{1 + \lambda a}{n} \right)$$~~

~~in which $a = \frac{\rho}{2\pi R s}$~~

where

R is the resistance of one rod in isolation, in Ω ;

s is the distance between adjacent rods, in m;

ρ is the resistivity of soil, $\Omega \text{ m}$;

λ is a factor given in Table 2 or Table 3;

Table 3 — Factors for electrodes arranged in a hollow square

Number of electrodes (n) along each side of the square	Factor λ
2	2.71
3	4.51
4	5.48
5	6.14
6	6.63
7	7.03
8	7.36
9	7.65

3- حساب مقاومة الكابل أو الموصل:

Strip or round conductor electrodes

والمعادلات التالية تستخدم في حالة حساب مقاومة الكابل (ذي المقطع الدائري) أو الموصل (ذي السطح المستطيلي) الموضوع علي هيئة خط مستقيم فقط ، أما باقي الأشكال (كالمربع ، المستطيل ، ...) فيسيأتي شرحها منفصلة.

9.5.5 Strip or round conductor electrodes

NOTE [A1] This subclause deals only with a straight run of strip or round conductor. For other layouts see 9.5.6 to 9.5.8. [A1]

© The British Standards Institution 2015 • 39

المعادلة التالية هي آخر تحديث طبقاً لإصدار BS 7430 2011+A1 2015 وهي تختلف عن تلك المذكورة في الأكواد السابقة .

BS 7430:2011+A1:2015

BRITISH STANDARD

The resistance R_{ta} in ohms (Ω) of a strip or round conductor may be calculated from:

$$[A1] R_{ta} = \frac{\rho}{2\pi L} \log_e \left(\frac{L^2}{\kappa h d} \right) [A1]$$

where:

ρ is the resistivity of soil, in ohm metres (Ωm);

L is the length of the strip or conductor, in metres (m);

h is the depth of the electrode, in metres (m);

[A1] d is the width of the strip or the diameter of the round conductor, in metres (m);

κ has the value 1.36 for strip or 1.83 for round conductor.

When two or more straight lengths, each of length L in metres (m) and a separation distance s metres (m) are laid [A1] parallel to each other and connected together at one end only the combined resistance may be calculated from the following equation:

$$R_n = FR_1$$

where:

R_n is the resistance of n conductors in parallel, in ohms (Ω)

R_1 is the resistance of a single strip of length L , calculated from the preceding R_{ta} equation, in ohms (Ω).

F has the following value:

[A1] For two lengths, $F = 0.5 + 0.078(s/L)^{-0.307}$

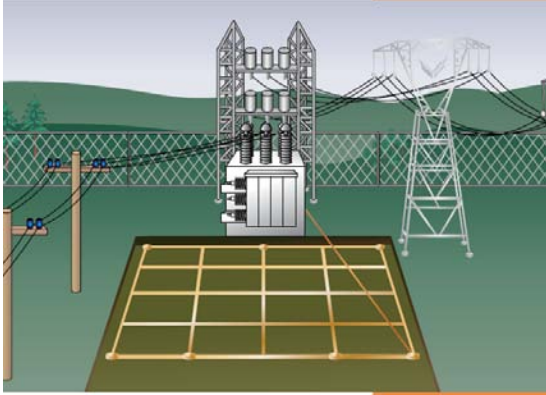
For three lengths, $F = 0.33 + 0.071(s/L)^{-0.408}$

For four lengths, $F = 0.25 + 0.067(s/L)^{-0.451}$ [A1]

Provided that $0.02 < (s/L) < 0.3$.

4- حساب مقاومة الشبكة:

Grounding Mesh (Earth Grid)



تعريف شبكة الأرضي:

يمكن أن نعرف التأسيس الشبكي علي أنه "قطب تأريض" يتكون من مجموعتين من الأقطاب المدفونة؛ أحدهما عرضي والآخر أفقي، والتي يتم توصيلها ببعض عند نقاط التقاطع، وتُدفن علي عمق 500 مم علي الأقل.

3.1 earth grid

earth electrode in the form of two overlapping groups of buried, parallel, horizontal electrodes, usually laid approximately at right angles to each other, with the electrodes bonded at each intersection

- ♦ **meshed electrodes**, usually constructed as a grid placed horizontally at a shallow depth under the ground surface

الإستخدام:

غالباً ما يستخدم هذا النوع من التأسيس في تأسيس محطات النقل أو التوزيع لما له من كفاءة عالية.

مُتطلبات قيمة المقاومة:

طبقاً للـ IEEE-std80 فإن مقاومة الشبكة غالباً ما تكون في حدود 1 أوم أو أقل للمحطات الكبيرة ، وقد تصل إلي 5 أوم في المحطات الصغيرة.

14.1 Usual requirements

IEEE std80

A good grounding system provides a low resistance to remote earth in order to minimize the GPR. For most transmission and other large substations, the ground resistance is usually about 1 Ω or less. In smaller distribution substations, the usually acceptable range is from 1 Ω to 5 Ω , depending on the local conditions.

طرق ومعادلة حساب قيمة المقاومة:

لحساب مقاومة شبكة الأرضي هناك عدة معادلات مذكورة بالكودين التاليين:

BS 7430 2011+A1 2015 -1

IEEE-std80 -2

والفرق بينهما أن الكود BS 7430 2011+A1 2015 يعطي فكرة مُبسطة عن الموضوع ويعطي المعادلة الأساسية للحساب والتي تُعطي قيمة تقريبية - في حالة إهمال عمق تأثير دفن الشبكة .

بينما الكود IEEE-std80 هو في الأصل يشرح تأسيس المحطات ، لذلك سنجد أنه شرح الموضوع شرحاً واسعاً.

9.5.6 Mesh

The resistance of a mesh (grid) R_m ohms (Ω) may be calculated from:

$$R_m = 0.443 \frac{\rho}{\sqrt{A}} + \frac{\rho}{L}$$

BS 7430 2011+A1 2015

where:

$$0.443 = (\sqrt{\pi})/4$$

- ρ is the resistivity of soil, in ohm metres (Ωm);
- A is the actual area covered by the mesh, in square metres (m^2);
- L is the total length of strip used in the mesh, in metres (m).

$$R_g = \frac{\rho}{4} \sqrt{\frac{\pi}{A}} + \frac{\rho}{L_T}$$

IEEE std80

(51)

where

L_T is the total buried length of conductors in m

In the case of a grid rod combination in uniform soil, a combined length of horizontal conductors and ground rods will yield a slightly conservative estimate of L_T , because ground rods usually are more effective on a per unit length basis.

$$R_g = \frac{\rho}{4} \cdot \sqrt{\frac{\pi}{A}} + \frac{\rho}{L}$$

(22.12)

where

$$\frac{\rho}{4} \sqrt{\frac{\pi}{A}} = \text{ground resistance at the surface of the soil}$$

and

$$\frac{\rho}{L} = \text{ground resistance of the total buried length (L) of the conductors}$$

R_g = station ground resistance in Ω

ρ = average resistivity of soil in Ωm

This will depend upon the condition of the soil and its moisture content. This is why it is usually high where the moisture content is less than 15% of the weight of soil. The variation in soil resistivity is, however, low when the moisture content exceeds 22%.

A = area of the grounding grid

$$R = \frac{\rho}{4r_e} + \frac{\rho}{l_\Sigma}$$

where r_e is equivalent radius.

$$r_e = \sqrt{\frac{S}{\pi}}$$

, $S = \text{Area}$

Meshed electrodes are used mainly in earthing systems of large areas, for example electrical power substations. The grid of the whole electrode is usually constructed so that it corresponds to dimensions of the installation and ensures a favourable, approximately uniform, surface earth potential distribution. The earthing resistance of meshed electrodes can be calculated using the following simplified equation:

$$R = \frac{\rho}{4r_e} + \frac{\rho}{l_\Sigma}$$

(11)

where r_e is equivalent radius.

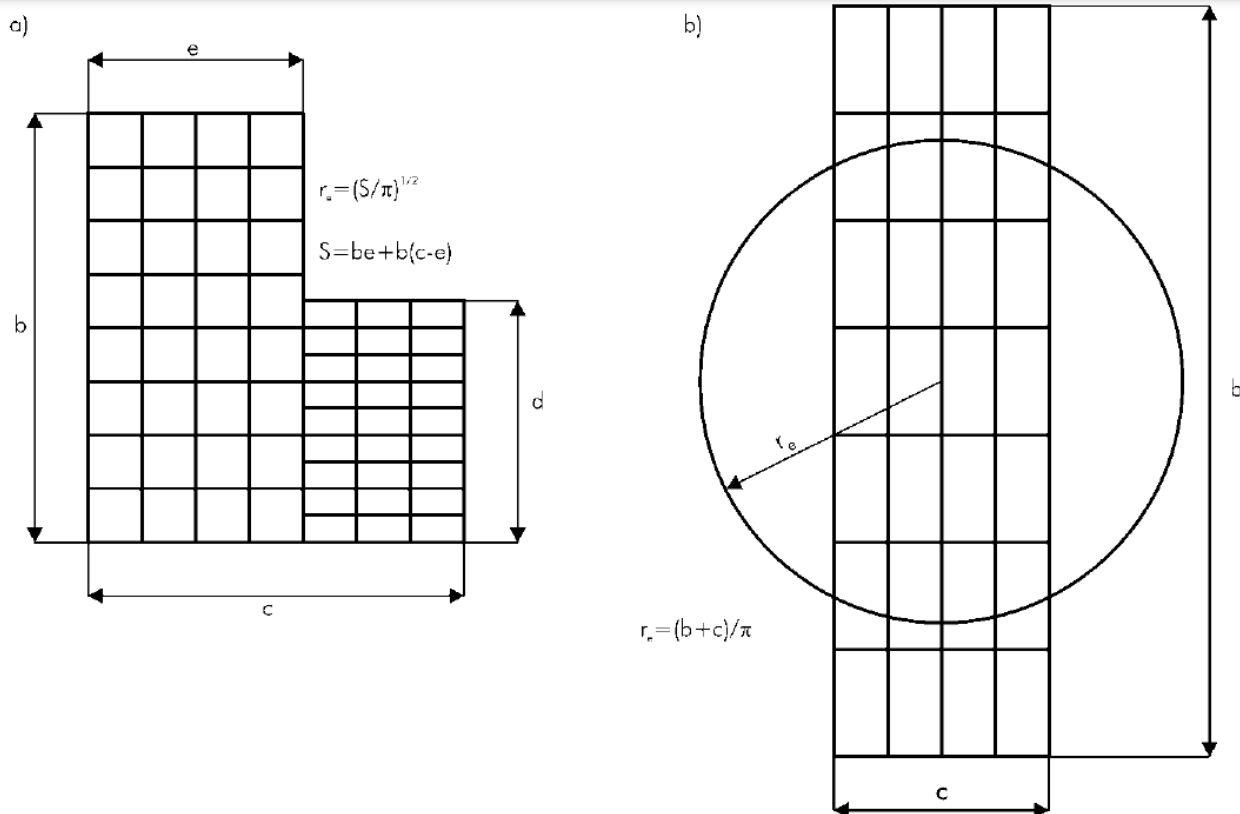


Figure 7 - Examples of meshed earth electrodes explaining the method of calculation of the equivalent radius r_e in equation (11), for two forms of the earth electrode: nearly similar to a square (a) and a long rectangle (b)

وعلي الرغم من أن هذه المعادلة تهمل عامل عمق دفن شبكة الأرضي ، إلا أنها تُعطي فيماً دقيقة للمقاومة كما بالجدول التالي الموجود بالكود IEEE-std80

Table 9— Typical grid resistances

Parameter soil texture	Sub 1 sand and gravel	Sub 2 sandy loam	Sub 3 sand and clay	Sub 4 sand and gravel	Sub 5 soil and clay
Resistivity ($\Omega \cdot m$)	2000	800	200	1300	28.0
Grid area (ft ²)	15 159	60 939	18 849	15 759	61 479
Buried length (ft)	3120	9500	1775	3820	3000
R_g (calculated Ω)	25.7	4.97	2.55	16.15	0.19
R_g (measured Ω)	39.0	4.10	3.65	18.20	0.21

ولنأخذ مثال للحالة رقم 2 بالجدول:

$$R_g = \frac{\rho}{4} \cdot \sqrt{\frac{\pi}{A}} + \frac{\rho}{L}$$

$\rho = 800$ & $A = 5661.42 \text{ m}^2$ & $L = 2895.6 \text{ metres}$

$$R = \frac{800}{4} \sqrt{\frac{\pi}{5661.4}} + \frac{800}{2895.6} = 4.98761...$$

$$\frac{800}{4} \sqrt{\frac{\pi}{5661.4}} + \frac{800}{2895.6} = 4.98761...$$

Steps

$$\frac{800}{4} \sqrt{\frac{\pi}{5661.4}} + \frac{800}{2895.6}$$

Divide the numbers: $\frac{800}{4} = 200$

$$= 200 \sqrt{\frac{\pi}{5661.4}} + \frac{800}{2895.6}$$

$$200 \sqrt{\frac{\pi}{5661.4}} = 4.71132...$$

$$\frac{800}{2895.6} = 0.27628...$$

$$= 4.71132... + 0.27628...$$

Add the numbers: $4.71132... + 0.27628... = 4.98761...$

$$= 4.98761...$$

وكما ذكرنا فإن المعادلة السابقة تهمل عامل عمق دفن شبكة الأرضي ، ولذلك عند زيادة العمق عن 250 مم تُستخدم المعادلة التالية الموجودة بالكود IEEE-std80:

Sverak [B132] expanded Equation (51) to take into account the effect of grid depth

$$R_g = \rho \left[\frac{1}{L_T} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left(1 + \frac{1}{1 + h\sqrt{20/A}} \right) \right] \quad \text{IEEE std80} \quad (52)$$

where

h is the depth of the grid in m

For grids without ground rods, this formula has been tested to yield results that are practically identical to those obtained with Equation (56) of Schwarz [B128], described in 14.3.

وهذه المعادلة تُعطي قيمة دقيقة للشبكات التي لا تحتوي على أقطاب تأريض رأسية والقيم الناتجة تتطابق مع القيم الناتجة من معادلة Schwarz التي سيأتي ذكرها.

14.3 Schwarz's equations

Schwarz [B128] developed the following set of equations to determine the total resistance of a grounding system in a homogeneous soil consisting of horizontal (grid) and vertical (rods) electrodes. Schwarz's equations extended accepted equations for a straight horizontal wire to represent the ground resistance, R_1 , of a grid consisting of crisscrossing conductors, and a sphere embedded in the earth to represent ground rods, R_2 . He also introduced an equation for the mutual ground resistance R_m between the grid and rod bed.

IEEE
Std 80-2000

IEEE GUIDE FOR SAFETY

Schwarz used the following equation introduced by Sunde [B130] and R  denberg [B127] to combine the resistance of the grid, rods, and mutual ground resistance to calculate the total system resistance, R_g .

$$R_g = \frac{R_1 R_2 - R_m^2}{R_1 + R_2 - 2R_m} \quad (53)$$

where

- R_1 ground resistance of grid conductors in Ω
- R_2 ground resistance of all ground rods in Ω
- R_m mutual ground resistance between the group of grid conductors, R_1 , and group of ground rods, R_2 in Ω .

Ground resistance of the grid

$$R_1 = \frac{\rho}{\pi L_c} \left[\ln \left(\frac{2L_c}{a'} \right) + \frac{k_1 \cdot L_c}{\sqrt{A}} - k_2 \right] \quad (54)$$

where

- ρ is the soil resistivity in $\Omega \cdot m$
- L_c is the total length of all connected grid conductors in m
- a' is $\sqrt{a \cdot 2h}$ for conductors buried at depth h in m, or
- a' is a for conductor on earth surface in m
- $2a$ is the diameter of conductor in m
- A is the area covered by conductors in m^2
- k_1, k_2 are the coefficients [see Figure 25(a) and (b)]

Ground resistance of the rod bed

$$R_2 = \frac{\rho}{2\pi n_R L_R} \left[\ln \left(\frac{4L_R}{b} \right) - 1 + \frac{2k_1 \cdot L_r}{\sqrt{A}} (\sqrt{n_R} - 1)^2 \right] \quad (55)$$

where

- L_r is the length of each rod in m
- $2b$ is the diameter of rod in m
- n_R number of rods placed in area A

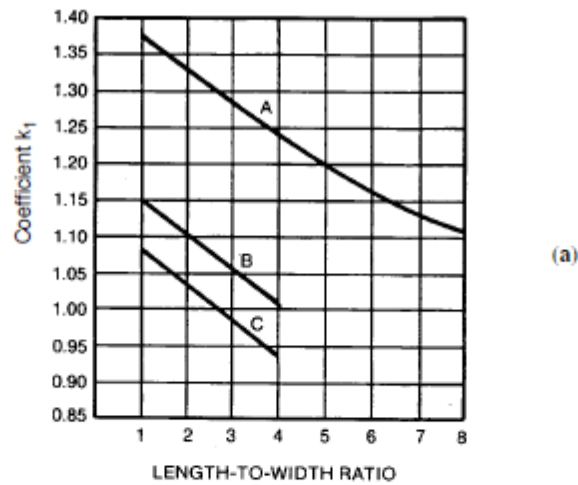
Mutual ground resistance between the grid and the rod bed

$$R_m = \frac{\rho}{\pi L_c} \left[\ln \left(\frac{2L_c}{L_r} \right) + \frac{k_1 \cdot L_c}{\sqrt{A}} - k_2 + 1 \right] \quad (56)$$

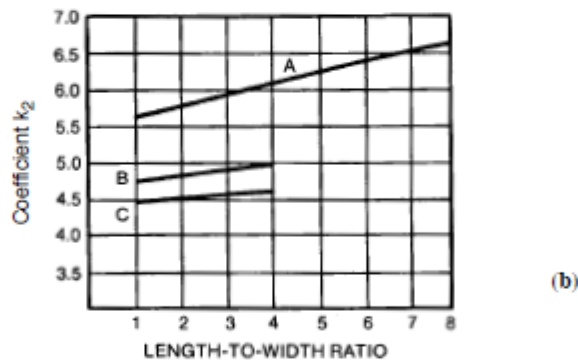
The combined ground resistance of the grid and the rod bed will be lower than the ground resistance of either component alone, but still higher than that of a parallel combination.

Schwarz compared the results of his equations to previously published theoretical work and to model tests to verify the accuracy of his equations. Since they were published in 1954, Schwarz's equations have been

modified by Kerrel [B92] to provide equations for constants k_1 and k_2 and further expanded to include the use of equations in two-layer soil (Naham and Salamon [B113][B114]).



CURVE A — FOR DEPTH $h = 0$
 $\gamma_A = -0.04x + 1.41$
 CURVE B — FOR DEPTH $h = 1/10 \sqrt{\text{AREA}}$
 $\gamma_B = -0.05x + 1.20$
 CURVE C — FOR DEPTH $h = 1/6 \sqrt{\text{AREA}}$
 $\gamma_C = -0.05x + 1.13$



CURVE A — FOR DEPTH $h = 0$
 $\gamma_A = 0.15x + 5.50$
 CURVE B — FOR DEPTH $h = 1/10 \sqrt{\text{AREA}}$
 $\gamma_B = 0.10x + 4.68$
 CURVE C — FOR DEPTH $h = 1/6 \sqrt{\text{AREA}}$
 $\gamma_C = -0.05x + 4.40$

Figure 25—Coefficients k_1 and k_2 of Schwarz's formula:
 (a) coefficient k_1 , (b) coefficient k_2

9.5.7 Resistance of an electrode encased in low resistivity material, e.g. conducting concrete

The resistance of a backfilled electrode R_b in ohms (Ω) may be calculated from:

$$R_b = \frac{1}{2\pi L} \left\{ (\rho - \rho_c) \left[\log_e \left(\frac{8L}{D} \right) - 1 \right] + \rho_c \left[\log_e \left(\frac{8L}{d} \right) - 1 \right] \right\} \quad (A_1)$$

where:

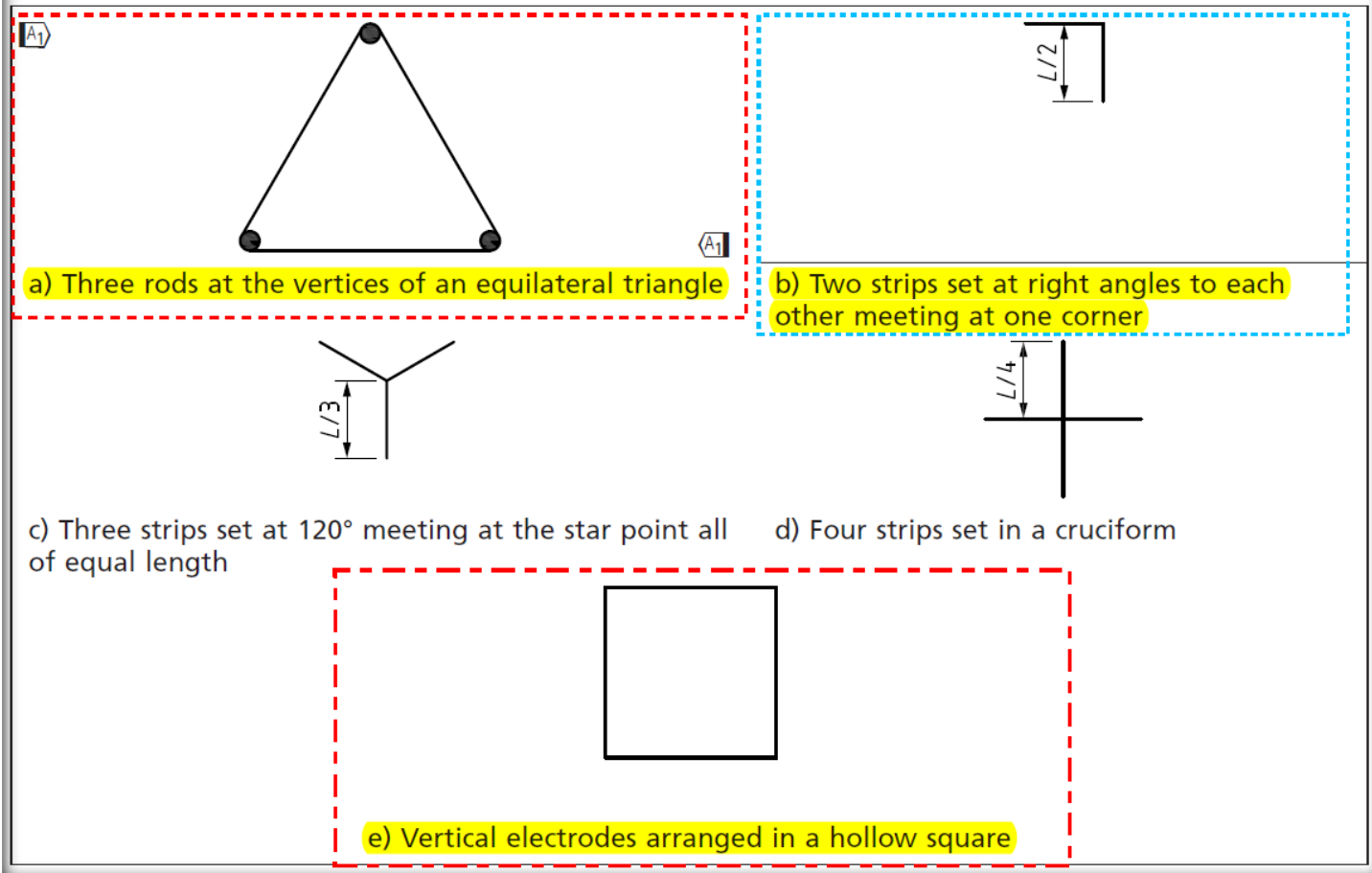
BS 7430:2011+A1:2015

- ρ is the resistivity of soil, in ohm metres (Ωm);
- ρ_c is the resistivity of the conducting material used for the backfill, in ohm metres (Ωm);
- L is the length of rod, in metres (m);
- d is the diameter of the rod, in metres (m)
- $(A_1) D$ is the diameter of the in-fill, in metres (m). (A_1)

9.5.8 Miscellaneous electrodes

NOTE There are many configurations that can be set out under this heading, but a few of those which one is most likely to try first in order to achieve the required value are included especially when dealing with deep reinforced piles, etc.

Figure 15 Miscellaneous electrode configurations



9.5.8.1 Three rods at the vertices of an equilateral triangle

The resistance R_e in ohms (Ω) of three interconnected rods set out at the vertices of an equilateral triangle [see Figure 15a)] of side s metres length may be calculated from:

$$R_e = \frac{1}{3} \cdot \frac{\rho}{2\pi L} \left[\log_e \left(\frac{8L}{d} \right) - 1 + \frac{2L}{s} \right]$$

where:

- ρ is the resistivity of soil, in ohm metres (Ωm);
- L is the length of rod, in metres (m);
- d is the diameter of rod, in metres (m);
- s is the length of one side of the equilateral triangle, in metres (m).

9.5.8.2 Two equal length conductors set at right angles to each other, meeting at one corner

The resistance R_L in ohms (Ω) of two strips or round conductors of equal length set at 90° with one corner touching [see Figure 15b)] may be calculated from:

$$R_L = \frac{\rho}{2\pi L} \log_e \left(\frac{L^2}{\kappa h d} \right)$$

where:

- ρ is the resistivity of soil, in ohm metres (Ωm);
- L is the total length of strip or round conductor in metres (m);
- h is the depth of burial in metres (m);
- d is the width of the strip or the diameter of the round conductor in metres (m);
- κ has the value 1.21 for strip or 0.813 for round conductor.

9.5.8.3 Three equal length conductors set at 120° , meeting at the star point

The resistance R_s in ohms (Ω) of three star arranged strips or round conductors of equal length [see Figure 15c)] may be calculated from:

$$R_s = \frac{\rho}{2\pi L} \log_e \left(\frac{L^2}{\kappa h d} \right)$$

where:

- ρ is the resistivity of soil, in ohm metres (Ωm);
- L is the total length of strip or round conductor in metres (m);
- h is the depth of burial in metres (m);
- d is the width of the strip or the diameter of the round conductor in metres (m);
- κ has the value 0.734 for strip or 0.499 for round conductor.

9.5.8.4 **A1** Four equal length conductors set in a cruciform

The resistance R_{cr} in ohms (Ω) of four strips or round conductors of equal length set out in a cruciform [see Figure 15d] may be calculated from:

$$R_{cr} = \frac{\rho}{2\pi L} \log_e \left(\frac{L^2}{\kappa h d} \right)$$

where:

- ρ is the resistivity of soil, in ohm metres (Ωm);
- L is the total length of strip or round conductor in metres (m);
- h is the depth of burial in metres (m);
- d is the width of the strip or the diameter of the round conductor in metres (m);
- κ has the value 0.219 for strip or 0.133 for round conductor. **A1**

9.5.8.5 Vertical rods in a hollow square

Ⓐ The resistance R_{TOT} of rods set out in a hollow square [see Figure 15e] may be calculated from:

$$R_{TOT} = R_r \left(\frac{1 + \lambda \alpha}{N} \right)$$

where:

$$\alpha = \frac{\rho}{2\pi R_r s} \quad \text{Ⓐ}$$

R_r is the resistance of one rod, in oms (Ω);

λ is the factor in Table 2;

ρ is the resistivity of soil, in ohm metres (Ωm);

s is the spacing of rods, in metres (m);

Ⓐ N is the number of rods used as electrodes (see the note to Table 2). Ⓐ

Table 2 Factors for vertical electrodes arranged in a hollow square

Number of electrodes (n) along the side of the square	Factor λ	Number of electrodes (n) along the side of the square	Factor λ
2	2.71	9	7.65
3	4.51	10	7.90
4	5.46	12	8.22
5	6.14	14	8.67
6	6.63	16	8.95
7	7.03	18	9.22
8	7.30	20	9.40

NOTE Ⓐ The number of electrodes N around the square is $4(n - 1)$. Ⓐ

Ⓐ **NOTE** Table 2 may also be used for electrodes arranged in a rectangle, where n is given by $n = \frac{N}{4} + 1$, where N is the total number of electrodes. Provided that the length to width ratio of the rectangle does not exceed 2, the error will be smaller than 6%. Ⓐ

والمعادلة **9.5.8.5** تُستخدم لحساب مقاومة شبكة الأرضي حول المبني (ذو الشكل المستطيل) بشرط أن يكون نسبة الأبعاد (الطول إلى العرض) لا تتعدى 2 ، مثلاً لو كان الطول 100 متر والعرض لا يتعدى 50 متر فيمكن استخدام هذه المعادلة.

9.5.8.8 Mains water supplies and water pipe work generally

The use of water mains for earthing purposes is not recommended. In older systems where a still existing metallic pipe was used for an earth connection, an alternative means of earthing should be installed. In many cases discussion with the electricity supplier should help to deal with this issue.

9.5.8.9 Service pipes

In general, metallic pipes, e.g. for gas, oil, compressed air, or drainage, should only be bonded to the protective conductors but not used for the sole means of earthing. Where, in an existing installation, a service pipe has been used as the sole earth electrode, an alternative means of earthing should be provided.

Function Grounding Or Service Grounding

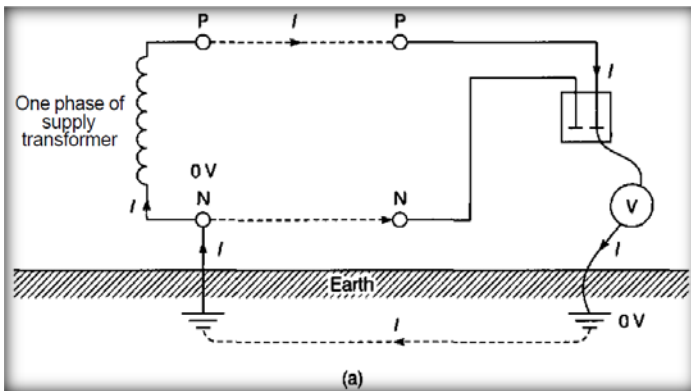
نظم تأريض المصدر الكهربائي:
مقدمة:

Functional earthing Connection to earth necessary for proper functioning of electrical equipment.

- من المعلوم أن وجود "فرق الجهد" بين جسمين يتبعه مرور تيار من الجسم ذي الجهد العالي إلي الجسم ذو الجهد المنخفض.

- المرجع في قياس الجهد هو نقطة الصفر وهي "الأرض", مثلاً عندما نقول أن جهد الفاز لموصل = 230 Volt نعني أننا إذا وضعنا Voltmeter بين هذا الموصل والأرض فإنه سيقس 230 Volt (نظرياً).

Hence, if we connect a voltmeter between a live part (e.g. the phase conductor of, say, a socket outlet) and earth, we may read 230V; the conductor is at 230V, the earth at zero. The earth provides a path to complete the circuit.



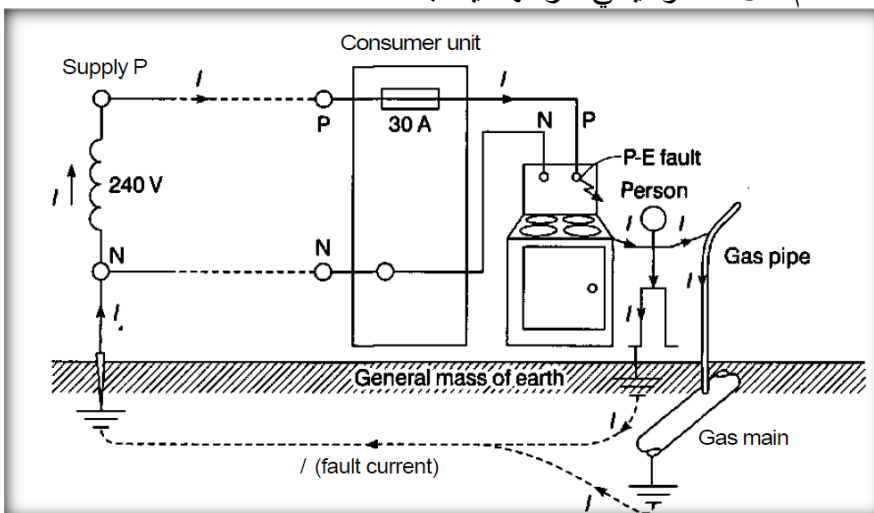
Remember:

that the accepted lethal level of shock current passing through a person is only 50 mA or 1/20 A

ماذا لو وضعنا شخصاً مكان ال Voltmeter ؟

طبعاً سيتعرض هذا الشخص لصدمة كهربية حيث أنه سيكوّن مساراً للتيار ليمر من خلاله إلي الأرض ولنتذكر أن مرور تيار أكبر من 50 مللي أمبير يُعرض الإنسان لخطر الموت.

في المثال السابق يكون التيار المار هو تيار خطأ ذو قيمة كبيرة مما يعمل علي تشغيل وسيلة الحماية - Circuit Breaker - وقطع الدائرة. ولكن ماذا لو لمس شخص "جهاز به خلل نتج عنه وجود تلامس بين جسم الجهاز وموصل حامل للتيار وكانت قيمة مقاومة الدائرة كبيرة إلي حد ما بما لايسمح لل Circuit Breaker بالعمل؟
كما بالشكل التالي يسري التيار في مسارات مختلفة تحددتها قيم المقاومات ونظراً لصغر قيمة التيار فإنه يسمى residual current أو Earth Leakage ويتم فصله باستخدام ELCB وسيأتي شرحها فيما بعد.



the following explanation based on BS 7430 & IEE

6.2 Earthing of installations

Most installations are part of either a TN system or a TT system, and in both types of installation the exposed-conductive-parts of all the electrical equipment of an installation should be connected by means of circuit protective conductors to the main earthing terminal. The earth fault loop impedance should be sufficiently low for the protective device (fuse, circuit breaker, RCD) to operate in the required time in the event of a fault to earth.

٣-٣ تأريض المعدات الكهربائية

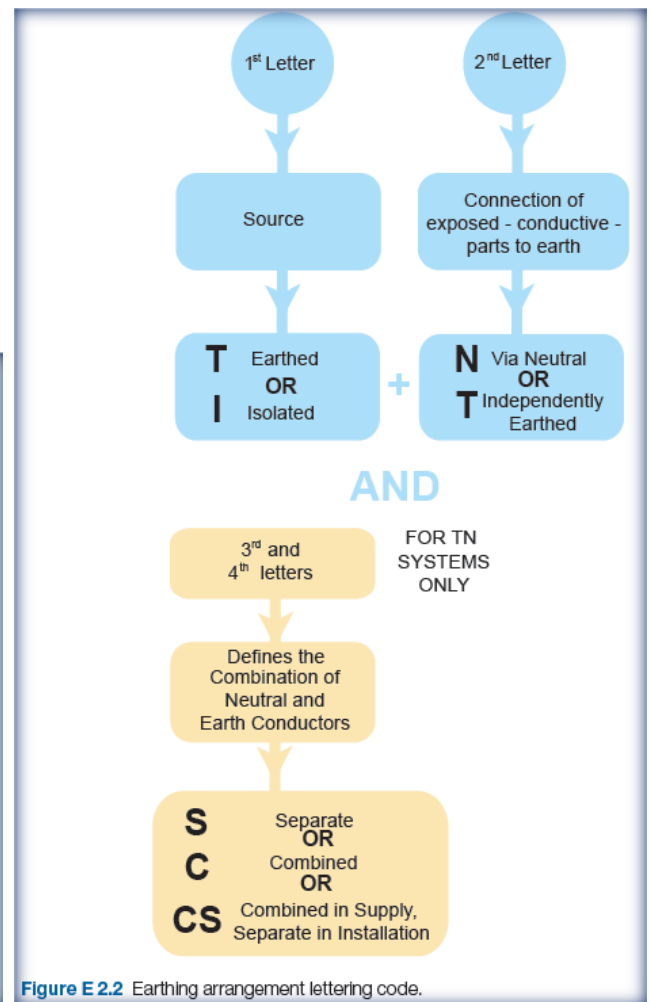
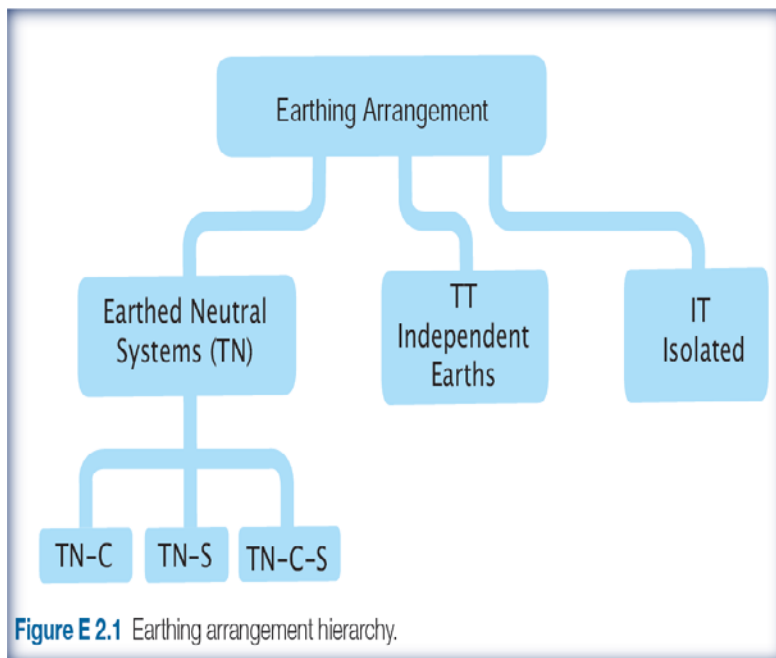
يهدف تأريض المعدات الكهربائية إلى إيجاد فعالية في أداء أجهزة القطع والحماية في حالة وجود تيار خطأ أرضي في هذه المعدات (انهييار العزل) كما يعمل على وقاية العاملين من الصدمات الكهربائية الناتجة من ارتفاع جهد بدن المعدة المعدني المكشوف والمعرض للمس عن جهد الأرض، ولذا فإنه يجب أن يكون اتصال البدن المعدني بنظام التأريض متوائماً مع طبيعة الدوائر الكهربائية داخل المبنى وكذلك مع المصدر الكهربائي المغذى له.

إن الهدف الأساسي لاستخدام نظام التأريض هو توفير القدرة على فصل كل من المعدات والنظام عن المصدر الكهربائي لتجنب التأثيرات المدمرة للتيار الكهربائي لحظة حدوث تيار خطأ أرضي. ويطلق على الأجهزة التي تقوم بالفصل نبائط الوقاية.

نتحدث هنا عن "موصل التعادل" "Neutral Point" و"موصل الأرضي" "Protective Earth PE" وعلاقتهما ببعض في النظام الكهربائي وذلك يشمل "التغذية من المصدر" و "الشبكة من المأخذ إلى الحمل النهائي" كما بالأشكال التالية

يتم ربط النظام بنظام تأريض عن طريق نقطة واحدة على الأقل وتعمل على حماية النظام بضبط جهد كل موصل بحيث لا يزيد جهده عن قيمة محددة سلفاً وطبقاً لمستوى العزل المستخدم.

Earthing Arrangement Hierarchy:



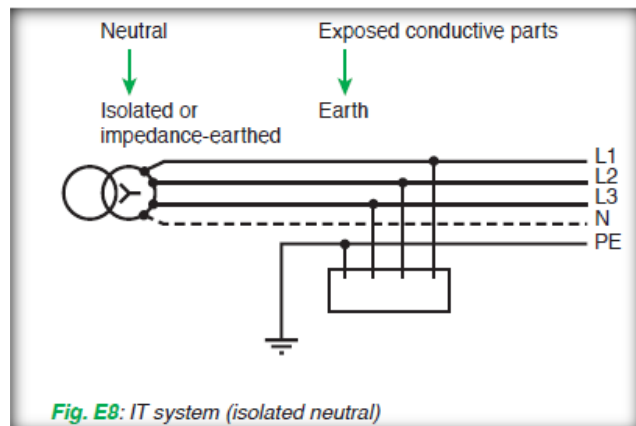
T Terre (French for earth) and meaning a direct connection to earth
N neutral
C combined
S separate

When these letters are grouped they form the classification of a type of system. The first letter in such a classification denotes how the supply source is earthed. The second denotes how the metalwork of an installation is earthed (exposed-conductive-parts). The third and fourth indicate the functions of neutral and protective conductors.

وفيما يلي شرح لنظامي TT & IT ونادراً ما تستخدم هذه الطرق في مجال المقاولات.

IT system (isolated neutral)

- I** : No intentional connection is made between the neutral point of the supply source and earth.
- T** : Exposed- and extraneous-conductive-parts of the installation are connected to an earth electrode.

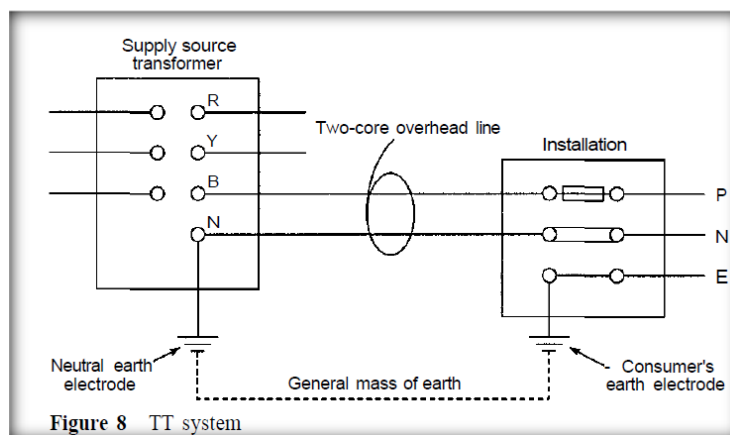
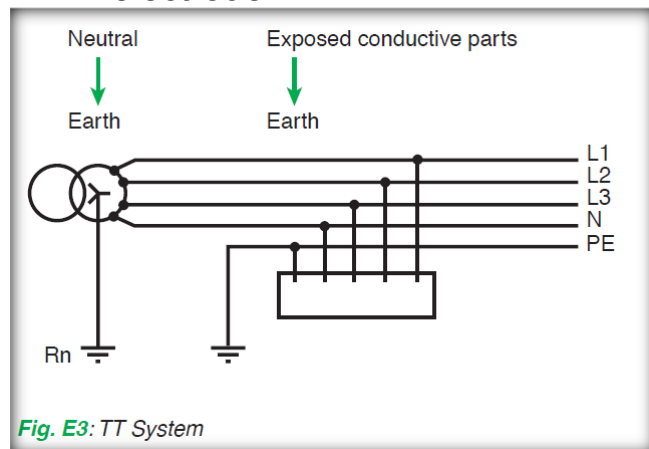


ملحوظة :
يجب مراعاة أن نظام توزيع الطاقة الكهربائية في مصر لا يسمح بنظام IT في الشبكات العامة.

Generally an **IT system** would be chosen in locations such as **medical centres** and **mines** where the supply has to be maintained even in the event of a fault, and where the connection with earth is difficult (for example a mobile generator).

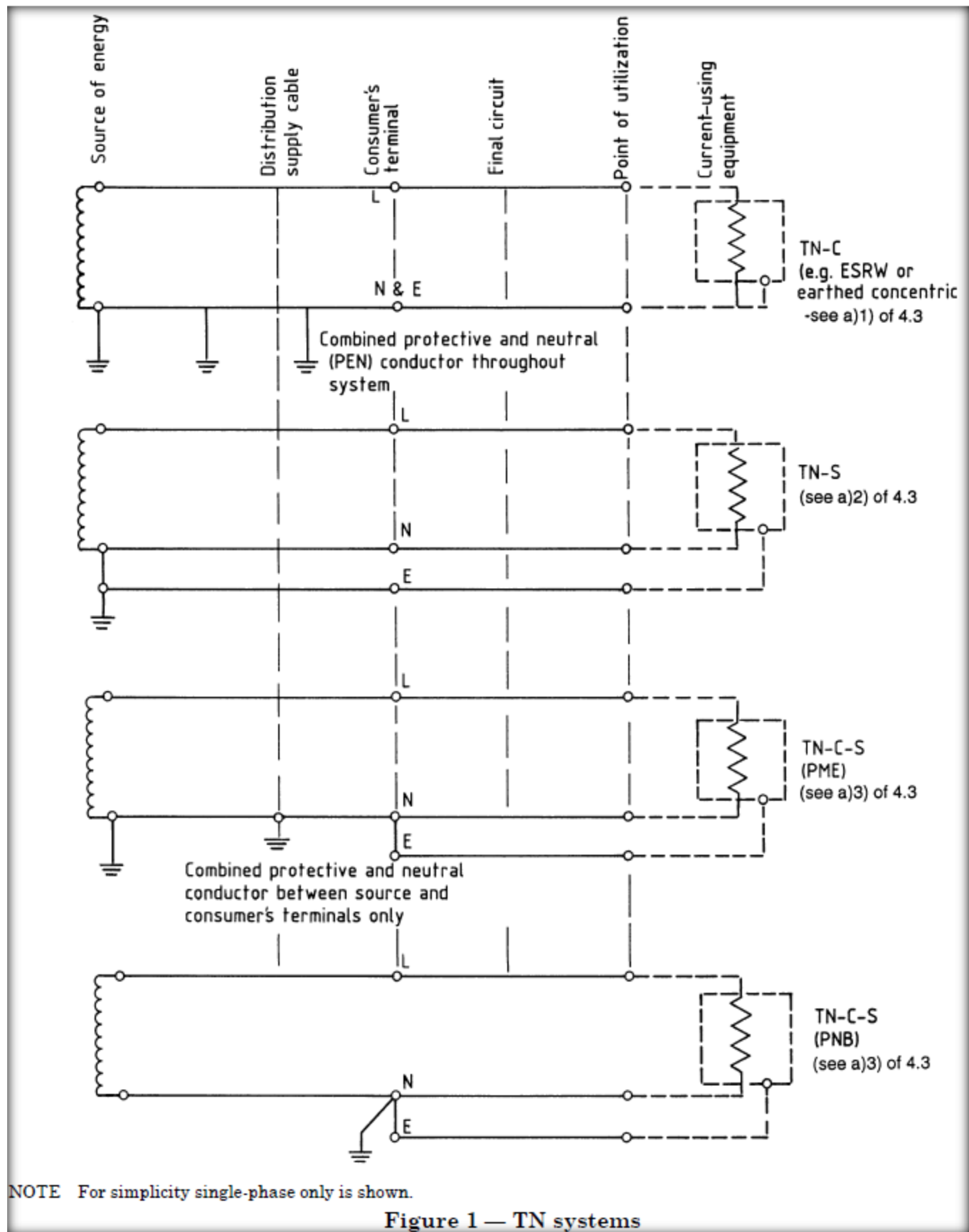
TT system (earthed neutral)

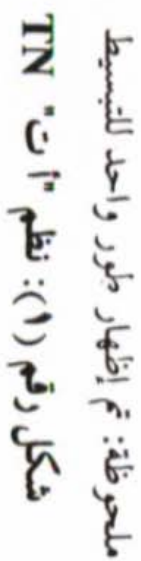
- T** : System has a direct connection of the supply source (Neutral) to earth.
- T** : Exposed- and extraneous-conductive-parts of the installation are connected to an earth electrode.



In the **TT system** the earth fault **loop impedance is generally high** as the fault path includes the earth electrode resistance of the supply and the earth electrode resistance of the consumer's installation.

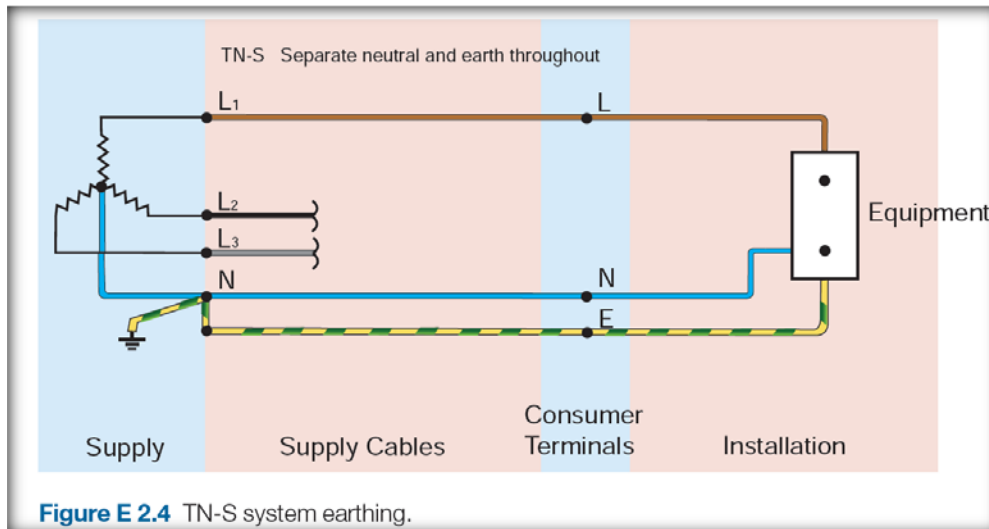
وفيما يلي شرح لنظام TN بأنواعه المختلفة وهو الأكثر استخداماً في مجال المقاولات وبخاصة **TN-S & TN-C-S**.





4.2.3.2 TN-S system

In a TN-S (Figure 1) the **Neutral** and **Protective** conductors should be kept **separate throughout the system** and the **source is solidly earthed**.



A TN-S system has a particular disadvantage that in the event that the protective conductor becomes open circuit, there is no indication that a fault has occurred and installations can unknowingly be left without an earth. In the event of an earth fault all of the exposed-conductive-parts within a consumer installation may be raised to a hazardous potential. Earth fault protection devices will not operate as there will be no flow of current to earth.

وفيما يلي مثال من مواصفات مشروع توضيح استخدام النظام TN-S كنظام تأريض

1.2 SUMMARY

A. This Section includes complete installations to earth every source of energy and to provide protective earthing and equipotential bonding, based on the **TN-S system** arrangement, including:

1. Transformer neutral earthing.
2. Main earthing terminals or bars.
3. Exposed conductive parts of electrical equipment.
4. Extraneous conductive parts.
5. Generator neutral earthing.

➤ European standards (see EN 50174-2 § 6.4 and EN 50310 § 6.3) recommend the **TN-S** system which causes the fewest EMC problems for installations comprising information-technology equipment (including telecom equipment).

4.2.3.3 TN-C system

In a TN-C system (Figure 2) the neutral and protective functions should be combined in a single conductor (PEN) throughout the entire system. Multiple connections to earth are recommended along the PEN conductor and the source is solidly earthed.

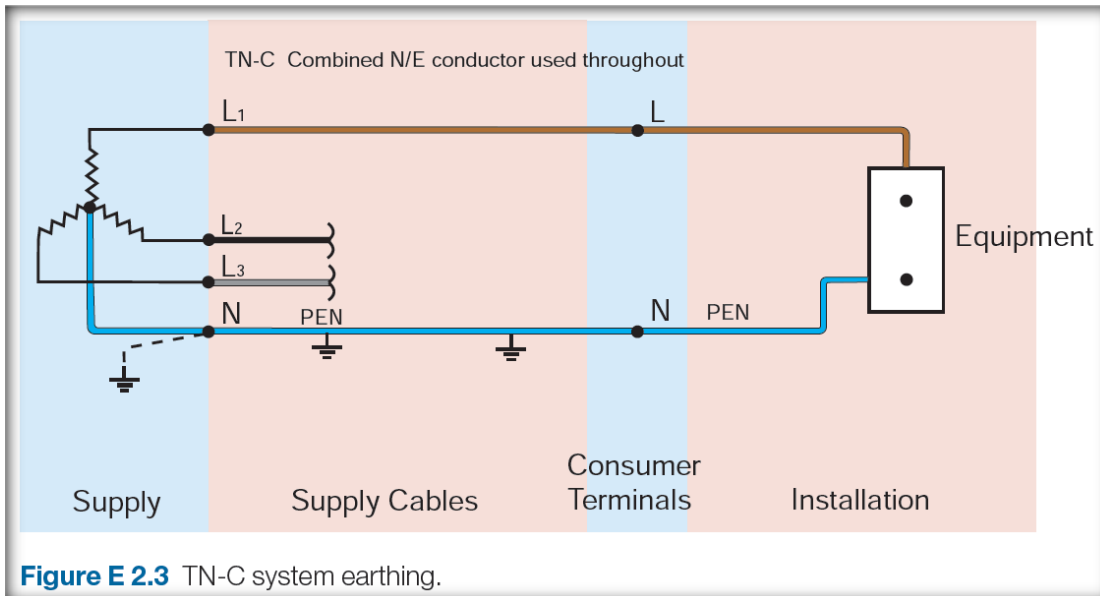
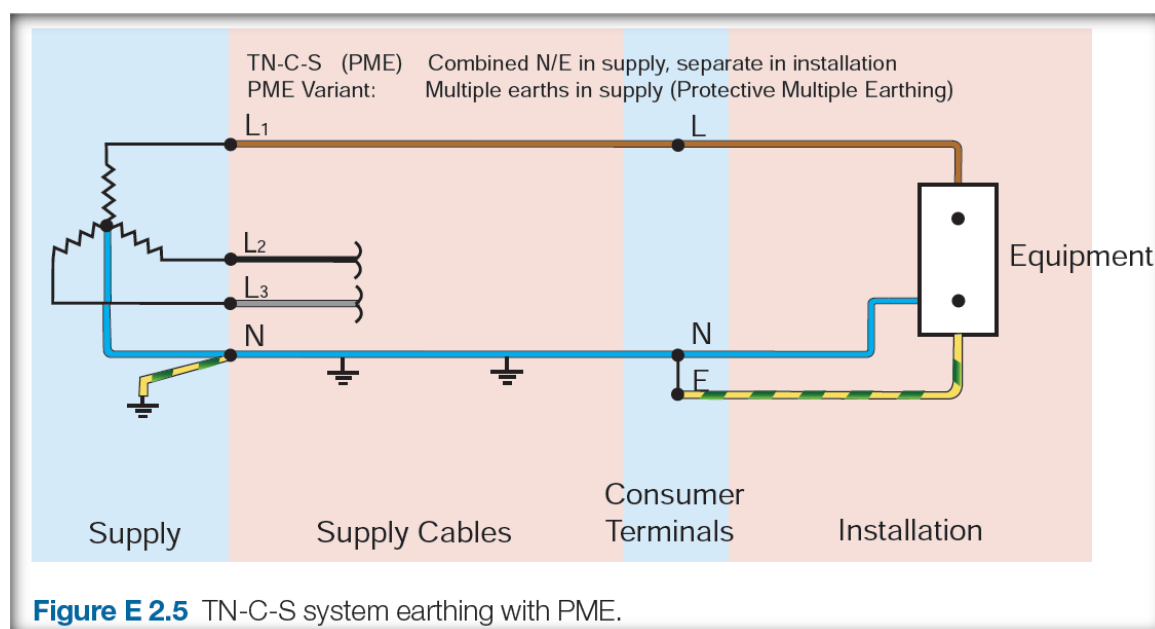


Figure E 2.3 TN-C system earthing.

The need for multiple earth connections is because if the neutral becomes open-circuit for any reason, the exposed-conductive-parts will rise to line to earth voltage in the case of single-phase connections and a value up to line to earth voltage in the case of three-phase connections, depending on the degree to which the load is unbalanced.

4.2.3.4 TN-C-S system

In a TN-C-S system, (Figure 3) the neutral and protective functions should be combined in a single conductor (PEN) from the source (solidly earthed) up to the consumers intake. Multiple connections to earth are recommended along the PEN conductor. Within the consumer's installation the neutral and protective conductors should be kept separate.



The TN-C-S system is also known as a "protective multiple earthed" (PME) system. The PEN conductor, which is referred to as a combined neutral and earth (CNE) conductor, is earthed at the source and extremities of the distribution mains and points in-between; hence the reference to multiple earthing. Multiple earthing of the CNE conductor ensures that if the conductor becomes open-circuit for any reason, exposed-conductive-parts remain connected to earth; under such conditions the supply voltage between the installation line and neutral conductors is substantially reduced and consumers will experience unacceptable voltage variations.

This Page Deliberately Left Blank

كابلات الحماية أو التأريض Protective Conductors :

في هذا الجزء سنشرح مواصفات وطرق إختيار كابل التأريض وكما يلي فإن الكود BS 7430 يشير إلي الشرح الموجود في الكود "IEE / BS 7671" بخصوص هذا الكابل وطرق إختياره.

مقدمة:

يستلزم التأريض الوقائي توصيل الأجزاء المعدنية -الغير حاملة للتيار والتي تصبح حاملة للتيار في حالة وجود خطأ أو تلامس مع الموصلات الحاملة للتيار- بشبكة الأرضي وذلك عن طريق ربطها بـ'كابل الحماية'.

في حالة حدوث الخطأ -القصر- فإن التيار يمر في دائرة الخطأ مسبباً عمل مفاتيح الحماية لتقوم بفصل الجزء الذي حدث به الخلل في الدائرة.

Protective earthing requires exposed-conductive-parts (of electrical equipment, likely to become live in the event of a fault) to be connected (by protective conductors) to the main earthing terminal of the electrical installation.

In the event of a fault, sufficient current will flow around the earth fault loop to cause the operation of the fault protective device (fuse, circuit breaker or RCD) and disconnect the fault.

مادة كابل الحماية:

Aluminium or copper-clad aluminium conductors should not be used in contact with soil or in damp situations and in any case should not be used to make the final connection to an earth electrode.

The cross-sectional area of an earthing conductor and the type of support should be chosen so as to carry without danger the greatest earth fault currents and leakage currents likely to occur having regard to thermal and electromechanical stresses. It should be sufficiently robust to withstand mechanical damage and corrosion.

[as per BS 7430 clause 9.7]

أنواع كابل الحماية:

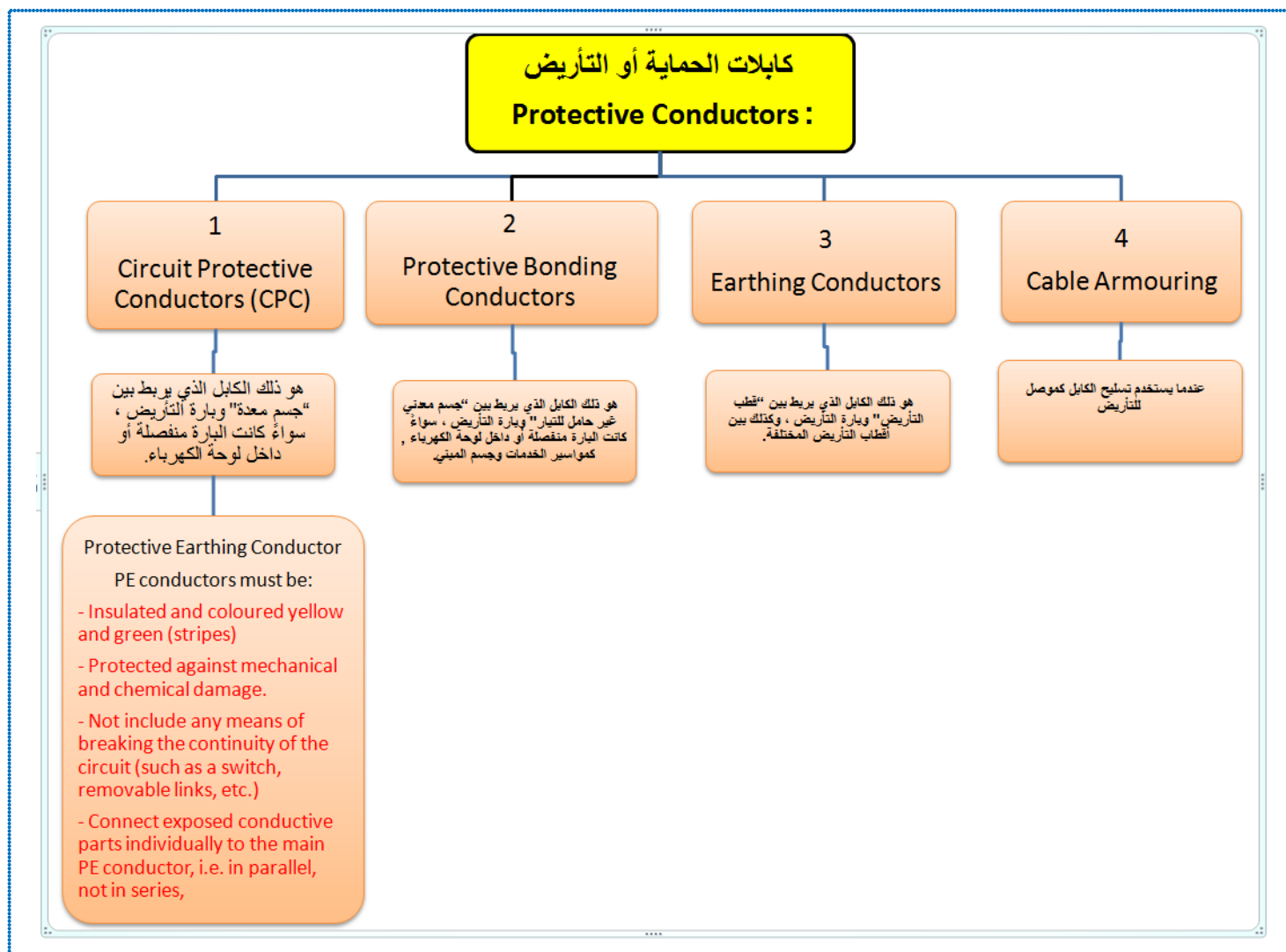
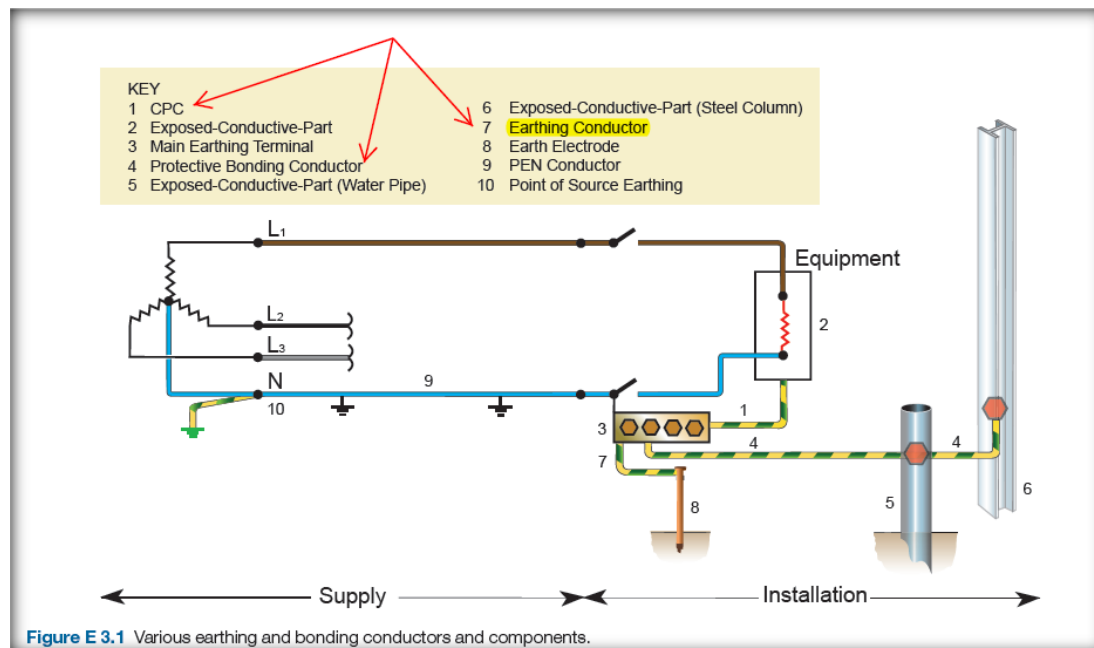
كابل الحماية أو كابل حماية الدائرة ينقسم إلي ثلاث أنواع وكل منها له دلالة خاصة ويجب عدم الخلط بين هذه الأنواع:

It should be remembered that the following are all types of protective conductor:

- Circuit Protective Conductors (CPC);
- Protective Bonding Conductors;
- Earthing Conductors.

It is important to establish and use the correct terminology; earthing conductors are often confused with CPCs.

Ref.: Guide to the Wiring Regulations 17th Edition IEE Wiring Regulations (BS 7671: 2008), Electrical Contractors' Association



طريقة حساب مساحة مقطع كابل الحماية طبقاً لتحمله تيار الخطاء :

ملحوظة:

- الطرق التالية هي لحساب مساحة مقطع كابل الحماية الرابط بين الأرضي والمعدات التي تعمل بالكهرباء أو موصلة بالكهرباء في الحالة العادية (مثل اللوحات والمواتير) ، بمعنى أنه لا ينطبق علي الكابل الواصل بين بارة التأريض ومواسير الخدمات وخلافه.
- يمكن إستخدام نفس الطريقة لحساب تحمل كابلات القوي لتيارات القصر.

Note:

It should be noted that bonding conductors should not be sized using these methods

ما هي العوامل التي تؤثر علي قدرة تحمل الكابل لتيارات الخطاء؟

- 1- قيمة درجة حرارة الوسط المحيط بالكابل في الحالة العادية - تُسمى T1- ولنتذكر أن قيمة درجة حرارة الوسط يجب أن تكون في حدود القيم المناسبة لعزل الكابل والتي ذُكرت في الكود 60502 كما بالجدول التالي:

Table 3 – Maximum conductor temperatures for different types of insulating compound

Insulating compound	Maximum conductor temperature °C	
	Normal operation	Short circuit (5 s maximum duration)
Polyvinyl chloride (PVC/A)		
Conductor cross-section $\leq 300 \text{ mm}^2$	70	160
Conductor cross-section $> 300 \text{ mm}^2$	70	140
Cross-linked polyethylene (XLPE)	90	250
Ethylene propylene rubber (EPR and HEPR)	90	250

as per [IEC60502-1]

- 2- مقدار الطاقة المُتَوَدَة نتيجة حدوث ومرور تيار الخطاء وكذلك مدة حدوث الخطاء زلتي تُحدد طبقاً لزمان الفصل , وفي الغالب تُعتبر 1 ثانية.

- 3- قيمة درجة الحرارة النهائية/القصوي - T2- التي يصل إليها الكابل نتيجة مرور تيار الخطاء ويحددها نوع مادة العزل كما بالجدول السابق , والمواد المُحيطة بالكابل والتي قد تتأثر بارتفاع درجة حرارته.

The short circuit capacity of a current carrying component of a cable is determined by the following factors:

1. The temperature prior to the short circuit, generally taken to be that corresponding with the maximum conductor operating temperature under normal conditions.
2. The energy produced by the short circuit, a function of both the **magnitude** and the **duration** of the current.
3. The limiting final temperature, generally determined by all materials in contact with the conducting component.

[Ref.: Power Cable Catalogue, Nexans company, 2012 edition]

طبقاً للكود IEE/BS 7671 يوجد طريقتان لحساب مساحة مقطع كابل التأريض وهما كما يلي:

- 1- الطريقة الأولى : طريقة المعادلة الأديباتية "adiabatic equation"
- 2- طريقة الجدول 54.7 الموجود بالكود.

وأهمية حساب مقطع كابل التأريض/الحماية هي التأكد من قدرته علي حمل تيار الخطاء في حالة short circuit دون حدوث سخونة أو تلف للكابل حيث أن قيمة التيار تكون عالية جداً. وأيضاً للتأكد من أنه أثناء حدوث الخطاء فإن درجة حرارة المكابيل لن ترتفع أكثر من اللازم ، حيث أنه إذا زادت درجة حرارة الكابل عن القيم المحددة مسبقاً قد تتسبب في سخونة وأحتراق المواد الملاصقة للكابل.

In order to prevent overheating of the protective conductor during a fault, the crosssectional area of a protective conductor(s) shall be not less than that determined by the following two methods:

6.6 Protective conductors

The generic term "protective conductor" embraces the specific types shown in Figure 6; in any particular case, the function intended should be correctly identified, because this determines which of the numerous requirements prescribed in BS 7671:2008+A1 are applicable.

COMMENTARY ON 6.6

BS 7671:2008+A1 requires that all protective conductors are suitably protected against mechanical and chemical deterioration and electrodynamic effects.

Two methods are given for determining the cross-sectional area required for a protective conductor. In the first the cross-sectional area is related empirically to that of the associated line conductor (see BS 7671:2008+A1, Table 54.7) and in the second method it is calculated using the "adiabatic equation" of BS 7671:2008+A1, Regulation 543.1.3:

All protective conductors are required either to:

- comply with the adiabatic equation of Regulation 543.1.3,

$$S = \frac{\sqrt{I^2 t}}{k}, \text{ or}$$

- meet the cross-sectional area requirements of Table 54.7.

1- الطريقة الأولى : طريقة المعادلة الأديباتية "Adiabatic Equation"

وهذه الطريقة المذكورة في أكواد متعددة ، حيث أنها تستخدم للتأكد من قدرة الكابل علي تحمل تيارات القصر / سواء كابات القوي أو كابات التأريض ، لذا ستجدها مثلاً في:

1- في الكود الخاص بحسابات تيارات القصر BS 7545 1991+A1 2008 = IEC 60949 1988+A1 2008

2- في الكود IEE/BS7675 في عدة فقرات مثل 434.5 characteristics of a fault current protective device

وأيضاً في الفقرة 543 Protective Conductor حيث توجد الجداول 54.2-54.6 والتي تُبين قيم المعامل K.

3- في الكود BS7430 الخاص بالتأريض وهو ما سنركز عليه فيما يلي.

The adiabatic formula as follows:

$$S = \frac{\sqrt{I^2 t}}{k}, \text{ or alternatively arranged as } S = \frac{I\sqrt{t}}{k}$$

$$S = \frac{I\sqrt{t}}{k}$$

where:

I is the average fault current, in A r.m.s.;

t is the fault current duration, in s.

S is the nominal cross-sectional area of conductor in mm².

(S = Round up to the nearest standard conductor size)

k is a factor taking account of the resistivity, temperature coefficient and heat capacity of the conductor material, and the appropriate initial and final temperatures.

The value of K is calculated as per the following formula:

where:

$$k = K \sqrt{\log_e \left(\frac{T_2 + \beta}{T_1 + \beta} \right)}$$

T_1 is the initial temperature, in °C;

T_2 is the final temperature, in °C;

K and β have the values given in Table 8.

Table 8 Values of K and β

Metal	K	β
	A/mm ² (r.m.s.)	°C
Copper	226	254
Aluminium	148	228
Steel	78	202

B = reciprocal of temperature coefficient of resistivity at 0 °C for the conductor °C]

Example:

$I = 20\text{KA}$ & $t = 1\text{sec}$ & Cable = copper & $T_1 = 30^\circ\text{C}$ & $T_2 = 250^\circ\text{C}$.

$$k = K \sqrt{\log_e \frac{T_2 + \beta}{T_1 + \beta}} = 226 \sqrt{\log_e \frac{250 + 254}{30 + 254}} = 171.16 \text{ A/mm}^2$$

$$S = \frac{I\sqrt{t}}{k} = \frac{(20 \times 1000)\sqrt{1}}{171.16} = 116.85 \text{ mm}^2 \cong 120 \text{ mm}^2$$

ملاحظات علي معادلة إستنتاج قيمة مساحة مقطع الموصل:

- يُوصي بعمل حساب Corrosion Tolerance 10% عند حساب مقطع الكابل -لشبكة التأريض - وذلك لضمان عمل الكابل بصورة جيدة حتي في وجود عوامل قد تتسبب في تآكله بسبب طبيعة التربة ، مثلاً لو كانت قيمة مساحة مقطع الكابل بالحسابات تساوي 105 مم مربع نقوم بضربها في 1.1 لتكون 115.5 مم مربع فنختار كابل ذو مقطع 120 مم مربع.
- العلاقة بين مساحة مقطع الموصل - S - وقيمة العامل "K" هي علاقة عكسية ، كلما زادت قيمة K قلت قيمة S ، لذا يجب حساب قيمة K بصورة صحيحة للحصول علي مساحة المقطع المناسبة لظروف تشغيل نظام التأريض .
- قيمة K تتوقف علي نوع مادة الموصل - نحاس أو ألومنيوم - ويظهر ذلك في إختيار قيمة k - يستخدم الكود نفس الرمز K, k - وكذلك علي قيمتين لدرجة الحرارة وهما T_1 & T_2 (وتلك القيم سنشرحها بعد قليل) ، وأيضاً هناك عامل يسمى $\beta = \text{Beta}$ خاص بطبيعة إنتقال الحرارة من جسم الموصل -المادة.
- قيمة $\beta = \text{Beta}$ للنحاس مذكورة بالكود BS7430 تساوي 254 وهذه القيمة تختلف قليلاً عن قيمتها المذكورة بالكود IEC 60364-5-54 والتي تساوي 234.5 -أنظر الجدول التالي- ولكن هذا الاختلاف لا يؤثر بصورة كبيرة علي قيمة K ، ولن يُفضل عمل الحسابات بالقيمتين للتأكد من النتائج.

Material	B (°C)*
Copper	234.5
Aluminium	228
Lead	230
Steel	202

[IEC 60364-5-54, APPENDIX A]

- أغلب الأخطاء في الحسابات تنتج من سوء إختيار قيمة T_1 & T_2 . لذا سنحاول توضيح طريقة إختيار قيم T_1 & T_2 في الشرح التالي.

إختيار قيمة T2:

– $T2 =$ هي درجة الحرارة القصوي التي يصل إليها الكابل نتيجة مرور تيار الخطاء به.

– في حالة إستخدام كابل غير معزول - Bare - مُعرض لأن يتم لمسه من قبل الناس فإن قيمة T2 يجب ألا تزيد عن 70°C كما بالكود BS 7430 وهذه الحالة نادرة الحدوث حيث أن كابل شبكة التأريض -الذي يكون في الغالب غير معزول - يكون غير مُعرض للمس.

if
it is bare and exposed to touch, that its temperature should not exceed 70°C .

– قيمة $T2 = 200^{\circ}\text{C}$ أو أقل في حالة ما إذا كان الكابل "غير مرئي" علي طول مساره بالكامل وكانت طرق ربط وتوصيل الكابلات بإحدي الطرق المذكورة بالجدول Table 5 بالكود BS 7430 والتي هي "welded, brazed, bolted" وأيضاً بشرط ألا تكون هناك أي مواد عضوية قريبة من الكابل مما يعرضها للإحتراق

– قيمة $T2 = 150^{\circ}\text{C}$ أو أقل في حالة ما إذا كان الكابل "داخل المبني" مع العلم أنه إذا زادت الحرارة عن 150 قد تتعرض بعض المواد للإحتراق كما هو مذكورة بالجدول Table 5 بالكود BS 7430

الخلاصة: يوصي باستخدام قيمة 200°C لكابل شبكة الأرضي الغير معزول

Table 5 Earth fault current densities for 1 s duration for earthing conductors with initial conductor temperature of 30 °C

Type of joint ^{A)}				Maximum temperature ^{B)} °C _s	U	R.M.S. current density, <i>k</i>		
Welded	Brazed	Bolted	Soft soldered			Copper 0391	Aluminium A/mm ²	Steel A/mm ²
✓				700		254	—	91
✓				600		252	—	87
✓				500	C)	228	—	82
✓	✓			450		220	—	79
✓	✓			400		211	—	76
✓	✓			350		201	—	73
✓	✓			300		190	125 ^{D)}	69
✓	✓	✓		250		176	116	64
✓	✓	✓		200	E)	159	105	58
✓	✓	✓	✓	150	F)	138	91	50
✓	✓	✓	✓	100		—	—	—

A) A tick (✓) indicates that the type of joint is suitable for use at temperatures up to and including the value indicated.

B) It should be verified that a material likely to be in the same location as the conductor will not be damaged or present a fire risk at the temperature selected.

C) At temperatures in excess of 200 °C the conductor should be visible throughout its length, have ceramic or metallic supports (or an equivalent) and there should be no risk of organic materials being in contact with or adjacent to the conductor. Temperatures higher than 500 °C are not recommended.

D) The mechanical strength of conducting quality aluminium is seriously reduced at higher temperatures.

E) For normal conditions where the conductor is not visible throughout its length.

F) Certain building materials likely to be adjacent to the conductor may present a fire risk if 150 °C is exceeded.

إختيار قيمة T2 في حالة إستخدام كابل معزول:

يجب أن تكون قيمة T2 في حدود قدرة تحمل مادة العزل طبقاً لتوصيات المصنع أو الكود ، يمكن الإعتماد علي الجدول الموجود في الكود IEC60502-1 لمعرفة أقصى درجة حرارة يمكن للكابل تحملها.

وبحسب الجدول رقم 3 فإن أقصى قيمة لدرجة حرارة الموصل يمكن أن يتحملها الـ "PVC" هي 70 مئوية في الحالة العادية و 160 مئوية في حالة القصر للكابلات الأقل كم 300 مم مربع بينما 140 مئوية للكابلات الأعلى من 300 مم مربع.

وبحسب الجدول رقم 3 فإن أقصى قيمة لدرجة حرارة الموصل يمكن أن يتحملها الـ "بولي اثيلين المتشابك XLPE" هي 90 مئوية في الحالة العادية و 250 مئوية في حالة القصر.

Table 3 – Maximum conductor temperatures for different types of insulating compound

Insulating compound	Maximum conductor temperature °C	
	Normal operation	Short circuit (5 s maximum duration)
Polyvinyl chloride (PVC/A)		
Conductor cross-section $\leq 300 \text{ mm}^2$	70	160
Conductor cross-section $> 300 \text{ mm}^2$	70	140
Cross-linked polyethylene (XLPE)	90	250
Ethylene propylene rubber (EPR and HEPR)	90	250

as per [IEC60502-1]

[مع مراعاة أن بعض المصنعين قد يكون لديه قيم متغيرة قليلاً عن ذلك]

إختيار قيمة T1:

– T1 = هي درجة حرارة الكابل قبل حدوث ومرور تيار الخفاء، وتتأثر هذه القيمة بدرجة الحرارة للوسط الذي يوضع به الكابل (كالترربة في حالة كابل شبكة الأرضي أو الهواء في حالة كابلات تأريض اللوحات والمعدات) ، ويجب ألا تزيد عن القيم المحددة من قبل المصنّع

– T1 = كما بالجدول التالي. وعند إستخدام كابلات غير معزولة - Bare conductors - يمكن إعتبار قيمة **T1=105° C** كما هو مذكور بالكود IEE/BS7675 جدول رقم Table 43.1 ولكن في هذه الحالة سيكون التصميم مبالغ فيه جداً حيث أنه من الصبح لكابل التأريض أن تكون حرارته 105 قبل مرور أي تيار!، لذا يمكن الإعتماد علي قياس درجة حرارة التربة علي العمق الي سيتم دفن الموصل فيه.

الخلاصة: لنحسب قيمة K عند درجات حرارة T1=105°C & T2=200°C للكابل شبكة الأرضي النحاس الغير معزول

$$S = \frac{I\sqrt{t}}{k}$$

حيث أن الكابل نحاسي ، طبقاً للجدول Table#8 : K=226 & β= 254

***** T1=105°C & T2=200°C & t=1 sec. & I =20 KA

$$k = K \sqrt{\log_e \left(\frac{T_2 + \beta}{T_1 + \beta} \right)} = 226 \sqrt{\ln \left(\frac{(200 + 254)}{(105 + 254)} \right)} = 109.5$$

$S = 20000/109.5 = 182.64 \text{ mm sq.}$

corrosion tolerance = 10% ; $S = 182.64 \times 1.1 = 200.9 \text{ mm sq}$

Choice = 240 mm sq. cable.

***** What if $T_1 = 60^\circ\text{C}$

$$k = K \sqrt{\log_e \left(\frac{T_2 + \beta}{T_1 + \beta} \right)} = 226 \sqrt{\ln \left(\frac{(200 + 254)}{(60 + 254)} \right)} = 137.23$$

$S = 20000/137.23 = 145.7 \text{ mm sq.}$

Corrosion Tolerance = 10% ; $S = 145.7 \times 1.1 = 160.31 \text{ mm sq}$

Choice = 185 mm sq. cable.

Now, to check β correct value 234.5 instead of 254, as per IEC 60364-5-54

***** **$T_1=105^\circ\text{C}$ & $T_2=200^\circ\text{C}$ & $t=1 \text{ sec.}$ & $I=20 \text{ KA}$**

$$K = 226 \sqrt{\ln \left(\frac{(200 + 234.5)}{(105 + 234.5)} \right)} = 112.256$$

$S = 20000/112.256 = 178.164 \text{ mm sq.}$

corrosion tolerance = 10% ; $S = 178.165 \times 1.1 = 196 \text{ mm sq}$

Choice = 240 mm sq. cable.

***** **$T_1=60^\circ\text{C}$ & $T_2=200^\circ\text{C}$ & $t=1 \text{ sec.}$ & $I=20 \text{ KA}$**

$$K = 226 \sqrt{\ln \left(\frac{(200 + 234.5)}{(60 + 234.5)} \right)} = 140.94$$

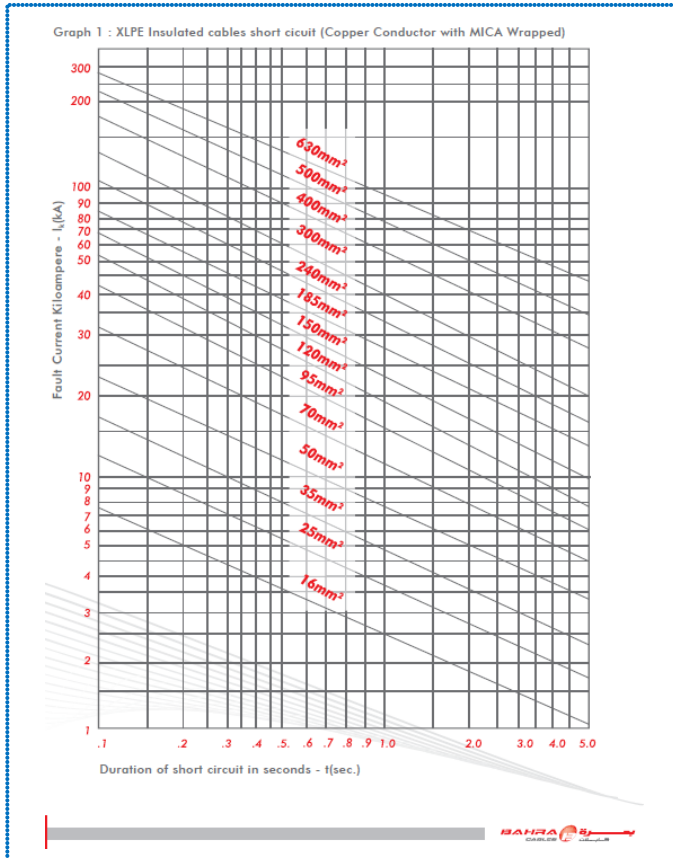
$S = 20000/140.94 = 141.9 \text{ mm sq.}$

corrosion tolerance = 10% ; $S = 178.165 \times 1.1 = 156.1 \text{ mm sq}$

Choice = 185 mm sq. cable.

– أغلب مُصنعي الكابلات يُرفقون جدولاً أو رسماً بيانياً يوضح مدى تحمل الكابل لتيارات الخطاء في مختلف أزمنة الفصل ، ويمكن الإعتماد علي هذه الطريقة في إختيار الكابل بدلاً من الطريقة السابق ذكرها وكما بالمثال التالي:

لو اخترنا كابل 120 مم مربع وزمن الفصل 1 ثانية
سنجد أن الكابل يتحمل حتي حوالي KA 21



k is a factor taking account of the resistivity, temperature coefficient and heat capacity of the conductor material, and the appropriate initial and final temperatures. For common materials, the values of k are shown in Table 43.1.

**TABLE 43.1 –
Values of k for common materials, for calculation of the effects of fault current
for disconnection times up to 5 seconds**

Conductor insulation	Thermoplastic				Thermosetting		Mineral insulated	
	90 °C		70 °C		90 °C	60 °C	Thermoplastic sheath	Bare (unsheathed)
Conductor cross-sectional area	≤ 300 mm ²	> 300 mm ²	≤ 300 mm ²	> 300 mm ²				
Initial temperature	90 °C		70 °C		90 °C	60 °C	70 °C	105 °C
Final temperature	160 °C	140 °C	160 °C	140 °C	250 °C	200 °C	160 °C	250 °C
Copper conductor	k = 100	k = 86	k = 115	k = 103	k = 143	k = 141	k = 115	k = 135/115 ^a
Aluminium conductor	k = 66	k = 57	k = 76	k = 68	k = 94	k = 93		
Tin soldered joints in copper conductors	k = 100	k = 86	k = 115	k = 103	k = 100	k = 122		

^a This value shall be used for bare cables exposed to touch.

NOTE 1: The rated current or current setting of the fault current protective device may be greater than the current-carrying capacity of the cable.

NOTE 2: Other values of k can be determined by reference to BS 7454.

ملحوظة مهمة:

ستجد أن الكود أغلب الأكواد تشير إلى الجدوال الموجودة بالكود IEE/BS7671 للحصول علي قيمة العامل K ولكن في الحقيقة إن أفضل طريقة هي طريقة حساب الـ K كما بالمعادلة السابقة ، وذلك لأن قيم K المذكورة بالكود IEE/BS7671 هي مبنية علي قيمة $T_1 = 30^{\circ} \text{C}$ وهو مالا يتحقق في حالات المشاريع لدنيا بالسعودية ومصر حيث أن درجة حرار التربة قد تصل لـ 50°C ولكن من باب نقل المعلومة فإننا سنرفق الجداول لقيم K الموجودة بالكود IEE/BS7671 هنا.

APPENDIX A

METHOD FOR DERIVING THE FACTOR k IN SUB-CLAUSE 543.1.1

The factor k is determined from the formula

$$k = \sqrt{\frac{Q_c (B + 20)}{\rho_{20}} \ln \left(1 + \frac{\theta_f - \theta_i}{B + \theta_i} \right)}$$

where:

Q_c = volumetric heat capacity of conductor material [$J/^\circ C \text{ mm}^3$]

B = reciprocal of temperature coefficient of resistivity at $0^\circ C$ for the conductor [$^\circ C$]

ρ_{20} = electrical resistivity of conductor material at $20^\circ C$ [$\Omega \text{ mm}$]

θ_i = initial temperature of conductor [$^\circ C$]

θ_f = final temperature of conductor [$^\circ C$]

Material	$B (^\circ C)^*$	$Q_c (J/^\circ C \text{ mm}^3)^{**}$	$\rho_{20} (\Omega \text{ mm})^*$	$\sqrt{\frac{Q_c (B + 20)}{\rho_{20}}}$
Copper	234.5	3.45×10^{-3}	17.241×10^{-6}	226
Aluminium	228	2.5×10^{-3}	28.264×10^{-6}	148
Lead	230	1.45×10^{-3}	214×10^{-6}	42
Steel	202	3.8×10^{-3}	138×10^{-6}	78

* Values taken from IEC Publications 28, 111 and 287 (Table III).

** Values taken from ELECTRA, 24 October 1972, p. 63.

$$k = \sqrt{\frac{\sigma_c (\beta + 20) \times 10^{-12}}{\rho_{20}} \ln \left(\frac{\theta_f + \beta}{\theta_i + \beta} \right)} \quad (ii)$$

The constants used in the above formula are given in Table 6I.

Consider the k value for copper conductors with $70^\circ C$ p.v.c. in Table 43A of BS 7671, $\sigma_c = 3.45 \times 10^6$, $\beta = 234.5$, $\rho_{20} = 1.7241 \times 10^{-8}$, $\theta_f = 160$, $\theta_i = 70^\circ$ then from equation (ii):

$$k = \sqrt{\frac{3.45 \times 10^6 (234.5 + 20) \times 10^{-12}}{1.7241 \times 10^{-8}} \ln \left(\frac{160 + 234.5}{70 + 234.5} \right)}$$

$$= 114.79$$

the value given in Table 43A.

TABLE 54.2 –

Values of k for insulated protective conductor not incorporated in a cable and not bunched with cables, or for separate bare protective conductor in contact with cable covering but not bunched with cables where the assumed initial temperature is 30 °C

Material of conductor	Insulation of protective conductor or cable covering		
	70 °C thermoplastic	90 °C thermoplastic	90 °C thermosetting
Copper	143/133*	143/133*	176
Aluminium	95/88*	95/88*	116
Steel	52	52	64
Assumed initial temperature	30 °C	30 °C	30 °C
Final temperature	160 °C/140 °C*	160 °C/140 °C*	250 °C

* Above 300 mm²

TABLE 54.3 –

Values of k for protective conductor incorporated in a cable or bunched with cables, where the assumed initial temperature is 70 °C or greater

Material of conductor	Insulation material		
	70 °C thermoplastic	90 °C thermoplastic	90 °C thermosetting
Copper	115/103*	100/86*	143
Aluminium	76/68*	66/57*	94
Assumed initial temperature	70 °C	90 °C	90 °C
Final temperature	160 °C/140 °C*	160 °C/140 °C*	250 °C

* Above 300 mm²

TABLE 54.4 –

Values of k for protective conductor as a sheath or armour of a cable

Material of conductor	Insulation material		
	70 °C thermoplastic	90 °C thermoplastic	90 °C thermosetting
Aluminium	93	85	85
Steel	51	46	46
Lead	26	23	23
Assumed initial temperature	60 °C	80 °C	80 °C
Final temperature	200 °C	200 °C	200 °C

TABLE 54.5 –

Values of k for steel conduit, ducting and trunking as the protective conductor

Material of protective conductor	Insulation material		
	70 °C thermoplastic	90 °C thermoplastic	90 °C thermosetting
Steel conduit, ducting and trunking	47	44	58
Assumed initial temperature	50 °C	60 °C	60 °C
Final temperature	160 °C	160 °C	250 °C

TABLE 54.6 –
Values of k for bare conductor where there is
no risk of damage to any neighbouring material by the temperatures indicated
 The temperatures indicated are valid only where they do not impair the quality of the connections

Material of conductor	Conditions		
	Visible and in restricted areas	Normal conditions	Fire risk
Copper	228	159	138
Aluminium	125	105	91
Steel	82	58	50
Assumed initial temperature	30 °C	30 °C	30 °C
Final temperature			
Copper conductors	500 °C	200 °C	150 °C
Aluminium conductors	300 °C	200 °C	150 °C
Steel conductors	500 °C	200 °C	150 °C

543.1.4 Where it is desired not to calculate the minimum cross-sectional area of a protective conductor in accordance with Regulation 543.1.3, the cross-sectional area may be determined in accordance with Table 54.7.

Where the application of Table 54.7 produces a non-standard size, a conductor having the nearest larger standard cross-sectional area shall be used.

TABLE 54.7 –
Minimum cross-sectional area of protective conductor
in relation to the cross-sectional area of associated line conductor

Cross-sectional area of line conductor S	Minimum cross-sectional area of the corresponding protective conductor	
	If the protective conductor is of the same material as the line conductor	If the protective conductor is not of the same material as the line conductor
(mm ²)	(mm ²)	(mm ²)
S ≤ 16	S	$\frac{k_1}{k_2} \times S$
16 < S ≤ 35	16	$\frac{k_1}{k_2} \times 16$
S > 35	$\frac{S}{2}$	$\frac{k_1}{k_2} \times \frac{S}{2}$

where:

- k₁ is the value of k for the line conductor, selected from Table 43.1 in Chapter 43 according to the materials of both conductor and insulation.
- k₂ is the value of k for the protective conductor, selected from Tables 54.2 to 6, as applicable.

**TABLE 43.1 –
Values of k for common materials, for calculation of the effects of fault current
for disconnection times up to 5 seconds**

Conductor insulation	Thermoplastic				Thermosetting		Mineral insulated	
	90 °C		70 °C		90 °C	60 °C	Thermoplastic sheath	Bare (unsheathed)
Conductor cross-sectional area	≤ 300 mm ²	> 300 mm ²	≤ 300 mm ²	> 300 mm ²				
Initial temperature	90 °C		70 °C		90 °C	60 °C	70 °C	105 °C
Final temperature	160 °C	140 °C	160 °C	140 °C	250 °C	200 °C	160 °C	250 °C
Copper conductor	k = 100	k = 86	k = 115	k = 103	k = 143	k = 141	k = 115	k = 135/115 ^a
Aluminium conductor	k = 66	k = 57	k = 76	k = 68	k = 94	k = 93		
Tin soldered joints in copper conductors	k = 100	k = 86	k = 115	k = 103	k = 100	k = 122		

^a This value shall be used for bare cables exposed to touch.

NOTE 1: The rated current or current setting of the fault current protective device may be greater than the current-carrying capacity of the cable.

NOTE 2: Other values of k can be determined by reference to BS 7454.

<http://www.doc88.com/p-9465604933939.html>

BS 7454:1991+A1:2008, IEC 60949:1988

3 Calculation of adiabatic short-circuit current

The general form of the adiabatic temperature rise formula which is applicable to any initial temperature is:

$$I_{AD}^2 t = K^2 S^2 \ln \left(\frac{\theta_f + \beta}{\theta_i + \beta} \right)$$

where:

I_{AD} = short-circuit current (r.m.s. over duration) calculated on an adiabatic basis (A)

t = duration of short-circuit (s)

K = constant depending on the material of the current carrying component ($As^{1/2}/mm^2$): see Table I

$$K = \sqrt{\frac{\sigma_c(\beta + 20) \times 10^{-12}}{\rho_{20}}}$$

S = geometrical cross-sectional area of the current carrying component (mm^2): for conductors specified in IEC 228 it is sufficient to take the nominal cross-sectional area

θ_f = final temperature ($^{\circ}C$)

θ_i = initial temperature ($^{\circ}C$)

β = reciprocal of temperature coefficient of resistance of the current carrying component at $0^{\circ}C$ (K): see Table I

$\ln$ = $\log_e$

σ_c = volumetric specific heat of the current carrying component at $20^{\circ}C$ ($J/K.m^3$): see Table I

ρ_{20} = electrical resistivity of the current carrying component at $20^{\circ}C$ ($\Omega.m$): see Table I

6.5 Wire braid

The wire braid is considered to have a cross-sectional area equal to the number of wires in the braid multiplied by the area of an individual wire. δ is taken as twice the diameter of a braid wire.

Table I

Material	K ($As^{1/2}/mm^2$) ^a	β (K) ^b	σ_c ($J/K.m^3$) ^c	ρ_{20} ($\Omega.m$) ^b
<i>a) Conductors</i>				
Copper	226	234.5	3.45×10^6	1.7241×10^{-8}
Aluminium	148	228	2.5×10^6	2.8264×10^{-8}
<i>b) Sheaths, screens and armour</i>				
Lead or lead alloy	41	230	1.45×10^6	21.4×10^{-8}
Steel	78	202	3.8×10^6	13.8×10^{-8}
Bronze	180	313	3.4×10^6	3.5×10^{-8}
Aluminium	148	228	2.5×10^6	2.84×10^{-8}

^a Values obtained from formula in Clause 3.

^b Values taken from [2] IEC 60287-1-1. [4]

^c Values taken from *Electra* No. 24, October 1972, p. 91.

Table 5 gives recommendations for maximum likely fault current temperatures for bare earthing conductors, according to the environmental conditions and the type of connections used. For a conductor covered to provide corrosion or mechanical protection, or an insulated conductor, it should be borne in mind that the maximum temperature might be limited by the covering or insulating material.

The current densities k in r.m.s. amperes per square millimetre, for a 1 s duration, are given in Table 5 for copper, aluminium and steel conductors assuming an initial temperature of $30^{\circ}C$. The corresponding conductor cross-sectional area S in square millimetres is given by:

Recommended fault current capacities, for 1 s and 3 s durations, for a selection of standard sizes of copper and aluminium strips are given in Table 6 and Table 7.

For other durations the fault current capacity I in amperes r.m.s. may be calculated from one of the following equations:

Table 5 Earth fault current densities for 1 s duration for earthing conductors with initial conductor temperature of 30 °C

Type of joint ^{A)}				Maximum temperature ^{B)} °C _s	U	R.M.S. current density, <i>k</i>		
Welded	Brazed	Bolted	Soft soldered			Copper	Aluminium	Steel
						0391	A/mm ²	A/mm ²
✓				700		254	—	91
✓				600		252	—	87
✓				500	C)	228	—	82
✓	✓			450		220	—	79
✓	✓			400		211	—	76
✓	✓			350		201	—	73
✓	✓			300		190	125 ^{D)}	69
✓	✓	✓		250		176	116	64
✓	✓	✓		200	E)	159	105	58
✓	✓	✓	✓	150	F)	138	91	50
✓	✓	✓	✓	100		—	—	—

Table 7 Earth fault currents (in kA) for aluminium strip earthing conductors

a) 1 s duration

Size of conductor mm × mm	Maximum conductor temperature			
	150 °C	200 °C	250 °C	300 °C
20 × 3	5.5	6.3	7	7.5
25 × 3	6.8	7.9	8.7	9.4
25 × 6	13.7	15.8	17.4	18.8
50 × 6	27.3	31.5	34.8	37.5
60 × 6	32.8	37.8	41.8	45
80 × 6	43.7	50.4	55.7	60

a) 3 s duration

Size of conductor mm × mm	Maximum conductor temperature			
	150 °C	200 °C	250 °C	300 °C
20 × 3	3.2	3.6	4	4.3
25 × 3	3.9	4.5	5	5.4
25 × 6	7.9	9.1	10	10.8
50 × 6	15.8	18.2	20.1	21.7
60 × 6	18.9	21.8	24.1	26
80 × 6	25.2	29.1	32.1	34.6

1- طريقة الجدول 54.7 الموجود بالكود

وهذه الطريقة تستخدم لحساب مقطع موصل الحماية PE الواصل بين لوحتين مثلاً أو لوحة ومحرك كهربائي ، ولكنها لن تستخدم لحساب مقطع كابل شبكة الأرضي الرابط بين الأقطاب بعضها البعض وبينها وبين بارة الأرضي. ويجب ملاحظة أن الجدول يطبق في حالة كون موصل الحماية من نفس مادة موصل القوي -الكابل المُغذي للوحة أو الحمل- أما لو كانا من مادتين مختلفتين -نحاس مع ألومنيوم مثلاً -فإنه لابد من تطبيق معامل تصحيح ، وفي الحالة العادية فإنهما يكونان من نفس المادة. تُوصي شركة شneider حالة الكابلات الصغيرة فإن مقطع موصل الحماية يجب ألا يقل عن:

- 2.5 مم مربع في حالة استخدام كابل نحاسي محمي ميكانيكياً ، مثل أن يكون علي حامل كابلات أو داخل ماسورة.
- 4 مم مربع في حالة استخدام كابل نحاسي **غير** محمي ميكانيكياً ، مثل أن يكون مُلقي علي الأرض مباشرةً.
- 4 مم مربع في حالة استخدام كابل نحاسي **غير** محمي ميكانيكياً ، مثل أن يكون مُلقي علي الأرض مباشرةً.
- 10 مم مربع في حالة استخدام كابل نحاسي أو ألومنيوم **كموصل حماية وموصل تعادل PE** لأسباب الحماية الميكانيكية وذلك للكابلات

Table 54.7 of BS 7671 Minimum CSA of protective conductor in relation to the cross-sectional area of associated line conductor.

Cross-sectional area of line conductor S (mm ²)	If the protective conductor is of the same material as the line conductor (mm ²)	If the protective conductor is not the same material as the line conductor (mm ²)
$S \leq 16$	S	$k_1/k_2 \times S$
$16 \leq S < 35$	16	$k_1/k_2 \times 16$
$S > 35$	$S/2$	$k_1/k_2 \times S/2$

k_1 is the value of k for the line conductor, selected from Table 43.1 in Chapter 43 according to the materials of both conductor and insulation.

k_2 is the value of k for the protective conductor, selected from Tables 54.2 to 54.6 as applicable.

TABLE 43.1 –
Values of k for common materials, for calculation of the effects of fault current
for disconnection times up to 5 seconds

Conductor insulation	Thermoplastic				Thermosetting		Mineral insulated	
	90 °C		70 °C		90 °C	60 °C	Thermoplastic sheath	Bare (unsheathed)
Conductor cross-sectional area	$\leq 300 \text{ mm}^2$	$> 300 \text{ mm}^2$	$\leq 300 \text{ mm}^2$	$> 300 \text{ mm}^2$				
Initial temperature	90 °C		70 °C		90 °C	60 °C	70 °C	105 °C
Final temperature	160 °C	140 °C	160 °C	140 °C	250 °C	200 °C	160 °C	250 °C
Copper conductor	k = 100	k = 86	k = 115	k = 103	k = 143	k = 141	k = 115	k = 135/115 ^a
Aluminium conductor	k = 66	k = 57	k = 76	k = 68	k = 94	k = 93		
Tin soldered joints in copper conductors	k = 100	k = 86	k = 115	k = 103	k = 100	k = 122		

^a This value shall be used for bare cables exposed to touch.

NOTE 1: The rated current or current setting of the fault current protective device may be greater than the current-carrying capacity of the cable.

NOTE 2: Other values of k can be determined by reference to BS 7454.

	c.s.a. of phase conductors S_{ph} (mm ²)	Minimum c.s.a. of PE conductor (mm ²)	Minimum c.s.a. of PEN conductor (mm ²)	
			Cu	Al
Simplified method ⁽¹⁾	$S_{ph} \leq 16$	$S_{ph}^{(2)}$	$S_{ph}^{(3)}$	$S_{ph}^{(3)}$
	$16 < S_{ph} \leq 25$	16	16	
	$25 < S_{ph} \leq 35$			25
	$35 < S_{ph} \leq 50$	$S_{ph}/2$	$S_{ph}/2$	
	$S_{ph} > 50$			$S_{ph}/2$

(1) Data valid if the prospective conductor is of the same material as the line conductor. Otherwise, a correction factor must be applied.

(2) When the PE conductor is separated from the circuit phase conductors, the following minimum values must be respected:

- 2.5 mm² if the PE is mechanically protected
- 4 mm² if the PE is not mechanically protected.

(3) For mechanical reasons, a PEN conductor, shall have a cross-sectional area not less than 10 mm² in copper or 16 mm² in aluminium.

مثال: 4Cx95+ 1SCx50(E) & 4Cx16+ 1SCx16(E) & 4Cx10+ 1SCx10(E)

In addition to conforming to the thermal constraints described above, the earthing conductor should have a cross-sectional area of not less than 4 mm² where protection against corrosion only is provided or 2.5 mm² where mechanical protection is also provided.

قياس المقاومة النوعية للتربة:

قياس المقاومة النوعية للتربة يتم باستخدام عدة طرق:

- 1- طريقة تسمى "Wenner method" أو "four probe method" وهي الأكثر إستخداماً.
- 2- طريقة تسمى "Schlumberger-Palmer Arrangement" أو "Un-equally Spaced Method"
- 3- طريقة تسمى "two-point method"

وتعد الطريقة رقم 1 هي الأكثر شيوعاً.

To properly design a grounding system, the earth resistivity must be measured.

Several methods can be used to measure earth resistivity: the four-point method, the variation

in-depth method (three-point method) and the two-point method. The most accurate method and the one that ERICO recommends is the four-point method.

وفكرة الطريقة تقوم علي تثبيت أربعة أقطاب "صغيرة الطول" وطولها L تُثبت علي مسافات متساوية a وتوصل كما في الشكل التالي.

وحيث أن قيمة الجهد المُسلط معروفة وكذلك قيمة التيار المار فإنه باستخدام المعادلات التالية يمكن حساب قيمة المقاومة النوعية

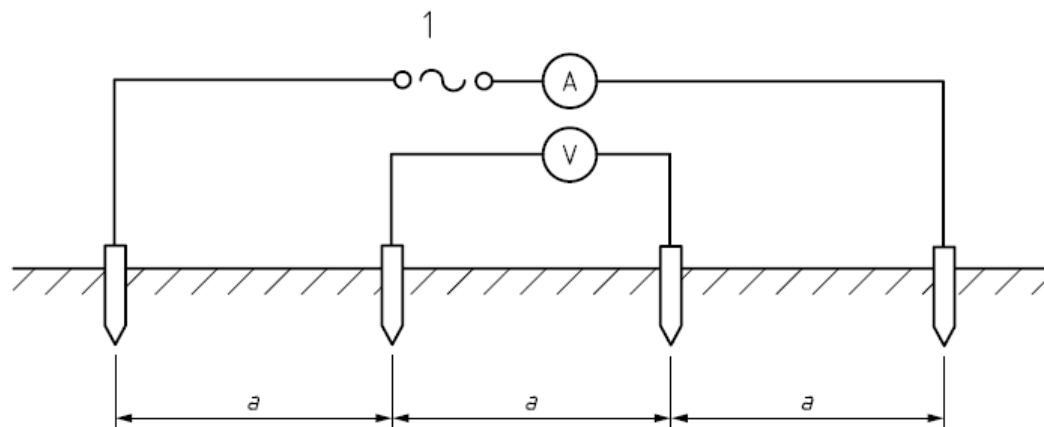
وحيث أن طول أقطاب الإختبار صغير جداً مقارنة بالمسافات بينها فإنه يهمل (لا يزيد عن 5% كما في ال BS7430 وعادةً ما تكون 1%).

$$R = \frac{V}{I} \quad \rho = \frac{4\pi a R}{1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2 + 4l^2}} - \frac{a}{\sqrt{a^2 + l^2}}} = 2\pi a R$$

neglecting the value of " l ", then;

$$\rho = 2\pi a R$$

Figure 13 Measurement of earth resistivity

**Key**

- 1 Current source
 A Ammeter
 V Voltmeter

10.2.2 Soil resistivity – Wenner test

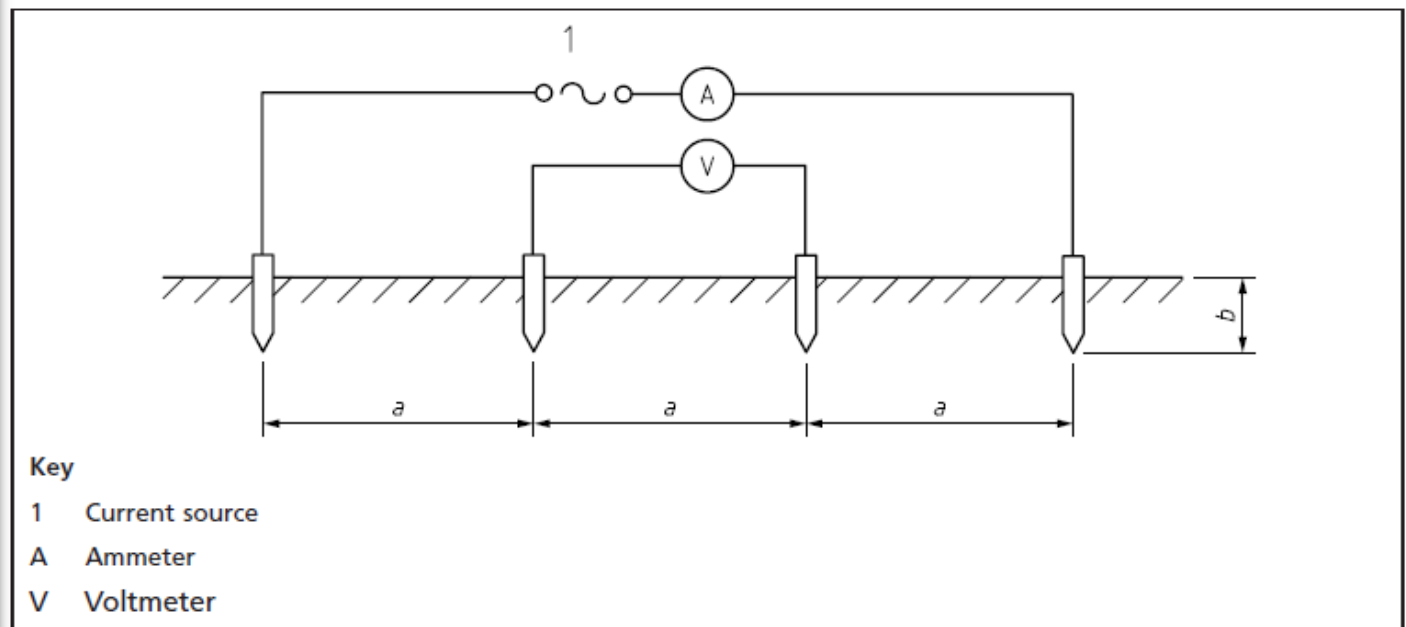
In a technique developed by Dr Frank Wenner of the U.S. Bureau of Standards (now NIST); it was demonstrated that provided the electrode depth B is small with respect to the spacing, the electrodes the average soil resistivity ρ to a depth a in Ωcm may be found from:

$$\rho = 2\pi aR$$

where:

- π is the constant 3.1416;
 a is the distance between the electrodes in cm; and
 R (V/A , see Figure 20) is the reading obtained from the Earth tester in ohms (Ω).

Figure 18 Measurement of earth resistivity



Four equally spaced test spikes should be driven to a depth of up to 1 m, the depth not exceeding 5% of their separation a (see Figure 18). It is important to ensure that their resistance areas do not overlap. Current should be passed between the two outer electrodes and the resistance R may be found as the ratio of the voltage between the inside electrodes to the current conducted through the outside electrodes.

The resistivity found applies to soil depth a , so by repeating the measurement with different values of a , the average resistivity to various depths may be found and the results indicates whether any advantage is to be gained by installing deeply driven electrodes in order to reach strata of a lower resistivity.

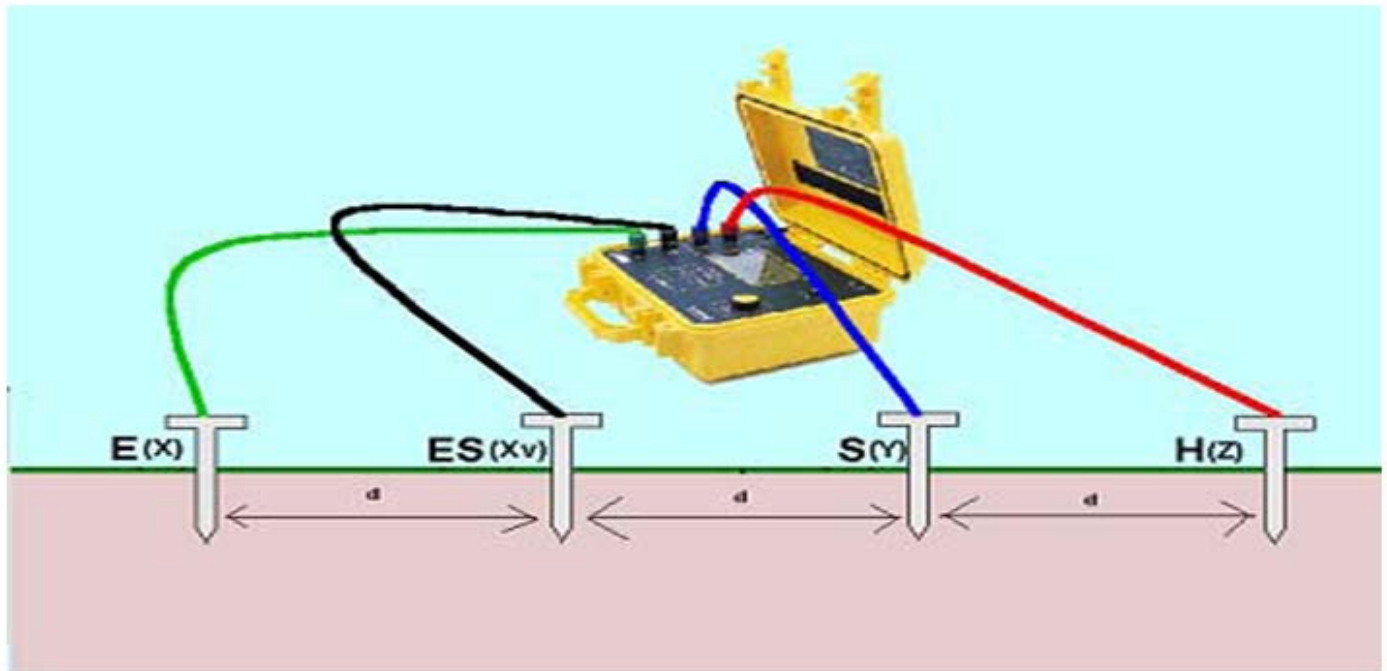
EXAMPLE

If the distance a between electrodes is 1 m the constant for the test setup is calculated as $(2 \times 3.14 \times 100) \text{ cm} = 628 \text{ cm}$.

If the instrument reads 40Ω the earth resistivity is $(40 \times 628) \Omega\text{cm} = 25\,120 \Omega\text{cm}$.

It should be noted that environmental conditions such as temperature have an impact on earth resistivity with a corresponding decrease in resistivity as temperature rises.

WENNER method



$$\rho_w = 2 \pi d R_{S-ES}$$

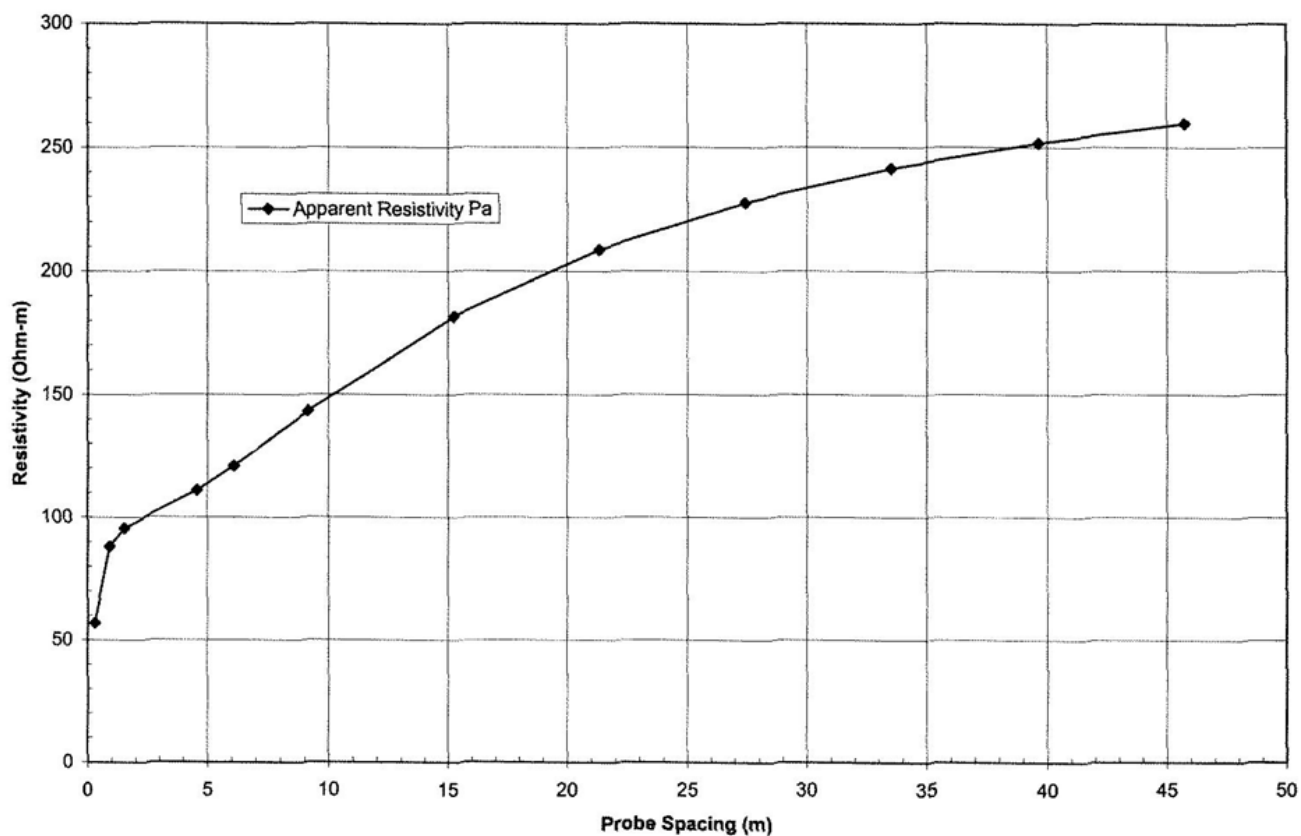
- Test Probes (Pins) Placed in a Straight Line at Intervals “a” Driven to a Depth “l” (“l” < 0.1”a”)
- Assume “l” = 0 and Formula is Simplified as Follows:

$$\rho = 2\pi a R$$

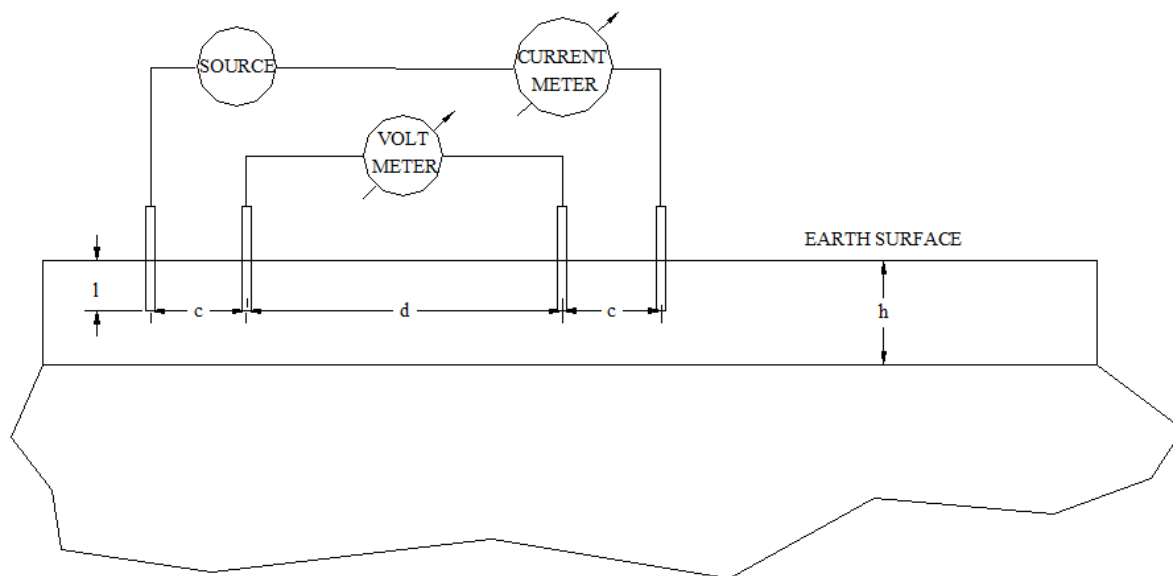
- The Formula Provides the Average Soil Resistivity (Apparent Resistivity) of the Soil to Depth “a”

- Set of Readings Is Plotted Against Spacing Indicates Distinct Layers of Different Soils or Rocks and Gives an Idea of Their Respective Resistivities and Depths

Wenner's or Four Pin Method



Schlumberger-Palmer Arrangement



Schlumberger-Palmer Arrangement

- If the Burial Depth of the Probes “ l ” is Small Compared to Their Separation “ c ” and “ d ” the Apparent Resistivity Can be Calculated as Follows:

$$\rho = \pi c(c + d) \frac{R}{d}$$

- With Large Value of $(d/2c+d)$ the Variations of Measured Resistivities Due to the Surface Irregularities Are Reduced to Minimum, Yielding More Accurate Measurements

