

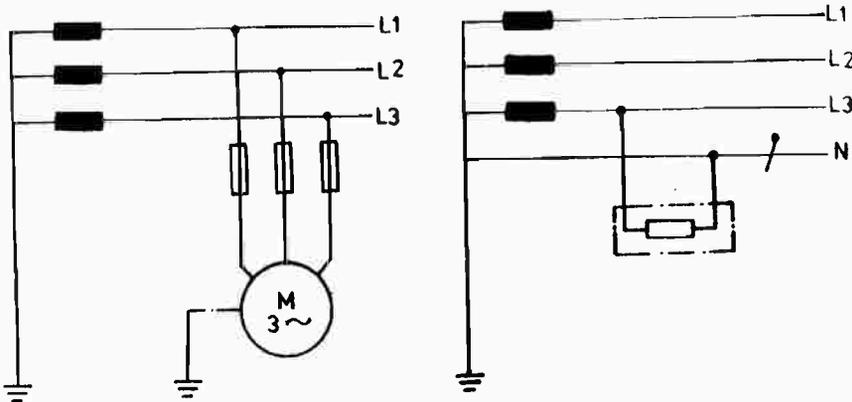
الباب الثاني
التأريض الرقائى

التأريض الوقائي

١ / ٢ - مقدمة

التأريض هو توصيل نقطة ما في دائرة كهربية بالأرض، ويسمى ذلك بتأريض الخدمة **Function earthing**، أو توصيل جسم موصل غير حامل للتيار الكهربى بالأرض مثل : هيكل جهاز كهربى ويسمى ذلك بتأريض الوقاية **Protection earthing** . والأرضى هو عبارة عن موصل غير معزول مدفون بالأرض ويسمى بالقطب الأرضى .

والشكل (١-٢) يوضح الفرق بين تأريض الخدمة (الشكل أ)، وتأريض الوقاية (الشكل ب) .



الشكل (١-٢)

فيتضح من الشكل (أ) أنه تم توصيل نقطة النجما للمحول الكهربى بالأرضى من أجل الحصول على خط تعادل، وبالتالي يمكن الحصول على جهد وجه فإذا كان جهد الخط (الجهد بين وجه وآخر) 380V فإن جهد الوجه (الجهد بين وجه

والتعادل) يساوى 220V وهذا ضرورى لتشغيل الأحمال الأحادية الوجه . أما فى الشكل (ب) فقد تم توصيل جسم المحرك بالأرضى، وذلك من أجل حماية الإنسان من الصدمة الكهربائية عند ملامسته لهيكل المحرك أثناء حدوث انهيار داخلى لعزل المحرك، وسوف نتناول هذا الموضوع بالتفصيل فى الباب الرابع.

ويتكون نظام التأريض الوقائى من قطب واحد أو عدة أقطاب أرضية وموصل أرضى Earthing Conductor، وموصل وقاية Protection Conductor، ومجموعة من الوصلات Bondings. ويعمل نظام التأريض الوقائى على:

- منع تشكل أى جهد على الوسط المحيط عند حدوث أى خطأ مثل: هياكل المعدات الغير حاملة للتيار الكهربى وذلك بالربط الكهربى لجميع هياكل الأجهزة والمعدات الكهربائية الموصلة للتيار الكهربى مع نظام التأريض .

- يسمح بإمرار الشحنات الإستاتيكية التى تتشكل على هياكل المعدات والأجهزة الكهربائية للأرضى .

- يمرر التيار اللازم لتشغيل أجهزة الحماية من زيادة التيار عند القصر .

- يعمل على تصريف الشحنات الكهربائية للمصواعق البرقية للأرضى .

والجدير بالذكر أن جهد الأرضى يساوى صفراً، لذلك يجب المحافظة على جهد جميع هياكل المعدات الغير حاملة للتيار الكهربى عند جهد الصفر لمنع تشكل فرق جهد بين هياكل هذه المعدات والأرضى أثناء تلف هذه المعدات وذلك من أجل حماية الإنسان من الصدمة الكهربائية .

ويمكن اعتبار الأرض كموصل له مساحة مقطع كبيرة جداً وطول كبير جداً، ويمكن لها حمل أى تيار مهما كان شدته . وتعتمد المقاومة النوعية للأرض على عدة أمور مثل: نوعية التربة - الرطوبة - درجة الحرارة - الفصل من العام (شتاء - ربيع - خريف - صيف) .

ولقد وجد بالتجربة أن زيادة طول قطب الأرضى له تأثير أكبر من زيادة قطر قطب الأرضى فى تقليل مقاومة الأرضى حتى لو تساوت المساحة السطحية فى

الحالتين ، وتتكون مقاومة الأرضى كما هو مبين بالشكل (٢-٢) من :

- مقاومة عمود الأرضى ومقاومة الوصلة مع عمود الأرضى .

- مقاومة التلامس بين عمود الأرضى والتربة .

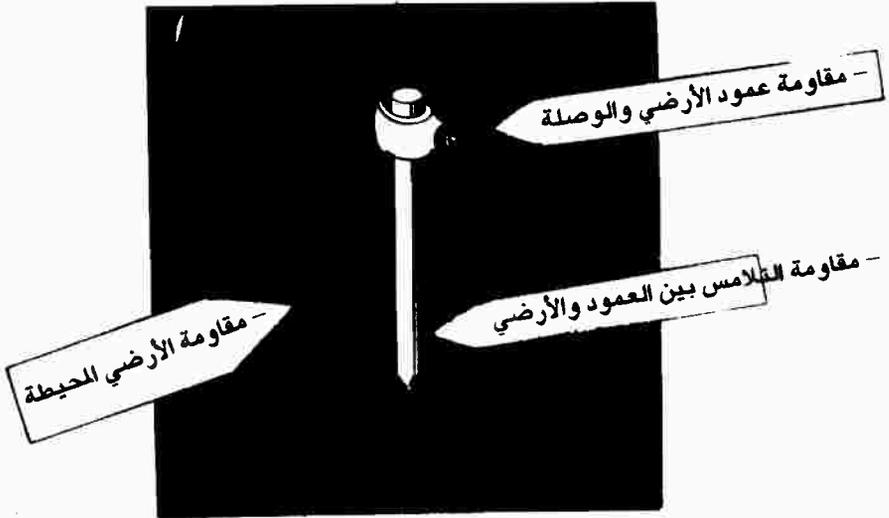
- مقاومة الأرض المحيطة .

ومقاومة عمود الأرضى (قطب الأرضى) ليست كبيرة بل يمكن اعتبارها مهملة .

وعندما يكون عمود الأرضى غير مغطى بطبقة عازلة ويوجد تلامس جيد بين

الأرضى وعمود الأرضى فإن مقاومة التلامس بين عمود الأرضى والتربة تكون صغيرة

هى الأخرى، أى أن مقاومة الأرضى تكمن فى مقاومة الأرض المحيطة بعمود الأرضى .



الشكل ٢-١

ويمكن اعتبارها مجموعة من القشرات المحيطة بالقطب الأرضى، فكلما ازدادت

المساحة السطحية للقشرة قلت مقاومتها أى أن مقاومة الأرض تكون غير خطية

بمعنى أنها تكون صغيرة بالقرب من القطب الأرضى، وتزداد كلما ابتعدنا عن

القطب الأرضى .

٢ / ٢ - أنواع الأقطاب الأرضية

يمكن تقسيم الأقطاب الأرضية إلى :

١ - أقطاب أرضية طبيعية وهى تتمثل فى أجزاء معدنية مدفونة طبيعياً فى الأرض مثل : أنابيب الماء والغاز المعدنية والهياكل المعدنية للمباني والأعمدة الحديدية والأعمدة الخرسانية التى تحتوى على حديد مسلح وطبقة التدريع للكابلات . والجدير بالذكر أنه لا ينصح باستخدام مواسير الماء والغاز كقطب أرضى ، ولكن يمكن توصيلهما مع نظام معادلة الجهد Equipotential System والذى سوف نتناوله فى الفقرة (٩ / ٤) .

٢ - أقطاب أرضية صناعية وهى تعد من قبل المختصين ويوجد منها عدة أشكال . والجدول (١ - ٢) يبين الأنواع المختلفة من الأقطاب الأرضية الصناعية والحد الأدنى لأقطارها .

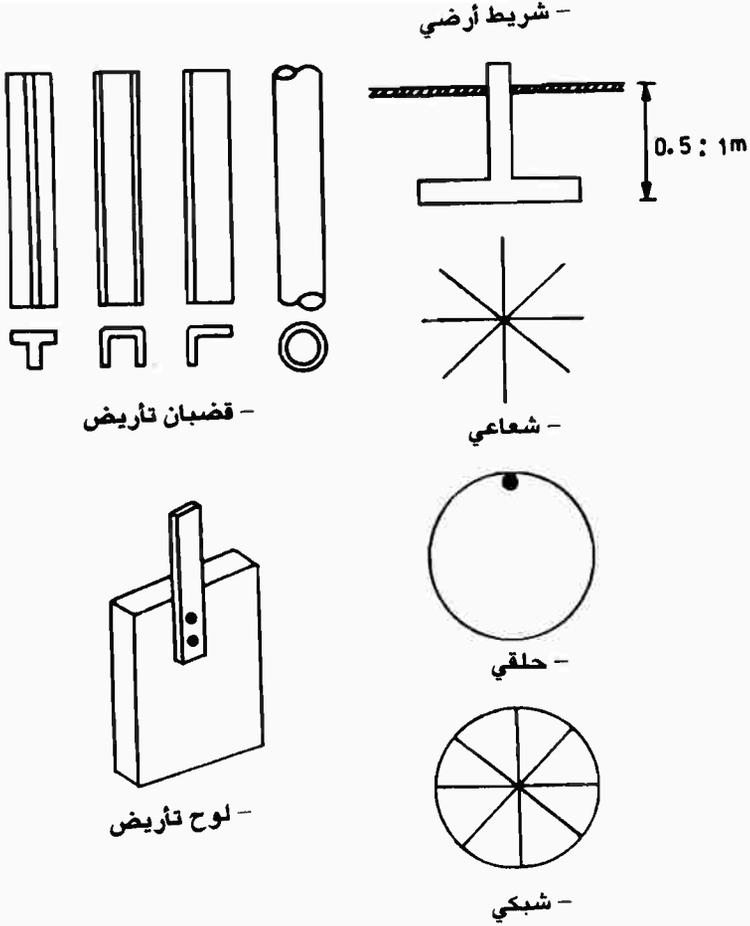
الجدول (١ - ٢)

شكل القطب	المعدن المصنوع منه القطب الأرضي		
	صلب مجلفن على الساخن	صلب مطلى بالنحاس	نحاس
شريط (شعاعى - حلقى - شبكى) حبل	- مساحة مقطعة 100mm^2 وسمكه الأدنى 2mm وأبعاده المفضلة ($4 \times 30\text{mm}$) أو ($5 \times 40\text{mm}$).	- مساحة مقطعة 50mm^2	- مساحة مقطعة 50mm^2 وسمكه 2mm - مساحة مقطعة 35mm^2 مجدول من أسلاك غير دقيقة.
ماسورة عمود	- ماسورة مقاسها بوصة أو 2 بوصة - عمود قطره 16mm	- عمود من الصلب قطره 15mm وعليه طبقة من النحاس سمكها 2.5mm	- ماسورة من النحاس قطرها الخارجى 30mm وسمكها 3mm . - عمود قطره 15mm أو 20mm

تابع الجدول (٢ - ١)

شكل القطب	المعدن المصنوع منه القطب الأرضي		
	صلب مجلفن على الساخن	صلب مطلي بالنحاس	نحاس
	- كمرة على شكل L أبعادها 65X65X7mm - كمرة على شكل U مقاس St6.5 أى سمكها 6.5mm - كمرة على شكل T مقاس T6 أى سمكها 6mm		1.5 X600 X600 mm 1.5 X 900X900mm 3X600X600 3X900X900

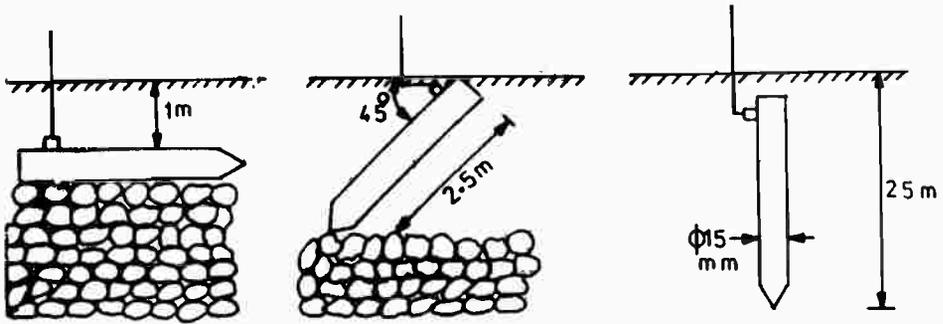
والشكل (٢ - ٣) يبين الأشكال المختلفة للأقطاب الأرضية الصناعية.



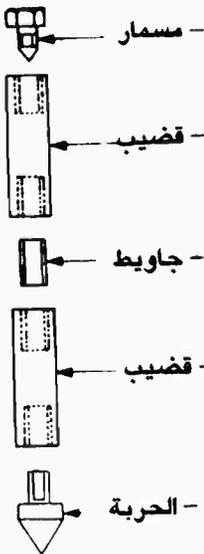
الشكل (٢-٣)

٢ / ٢ / ١- القضبان الأرضية Earth rods

تعد القضبان الأرضية أرخص أنواع الأقطاب التي يتم غرسها في الأرض إما بصورة رأسية إذا كانت الأرض لينة، أو بصورة مائلة إذا تعذر غرسها بصورة عمودية نتيجة لاعتراض طبقة صخرية مسار القطب بشرط ألا تقل زاوية ميل العمود عن 45° مع مستوى الأرض، أو يوضع القضيب أفقياً على عمق 1m .
والشكل (٢-٤) يوضح الطرق المختلفة لغرس القضبان الأرضية.



الشكل ٢-٤



الشكل ٢-٥

ويتم غرس القضبان الأرضية في الأرض إما بالحفر ثم الردم أو بالدق اليدوي أو بالدق بالمطارق الكهربائية أو الهوائية أو الهيدروليكية .

ويكون طول القضبان الأرضية أكبر من 1m وأقل عادة من 2.5m ، وتتميز القضبان الأرضية المتوفرة في الأسواق بأنها قابلة الاستطالة بتجميع عدة وصلات مع بعضها حيث تكون مزودة بجلب توصيل خارجية كما هو مبين بالشكل (٢-٥) .

وتعتبر القضبان الأرضية المصنوعة من النحاس أفضل القضبان الأرضية، ولكنها ليست متينة بالقدر الكافي لغرسها في الأرض على أعماق كبيرة بالطرق

التقليدية، ولذلك تعتبر قضبان الصلب المطلية بالنحاس هي

الأفضل في مثل هذه الظروف، حيث يمكن غرسها لأعماق تصل إلى 30m في التربة الرملية .

والجدير بالذكر أنه أمكن التغلب على مشكلة المتانة الميكانيكية للقضبان النحاسية باستخدام الجهاز المبين بالشكل (٢-٦)، حيث يتم شبك قضيب النحاس المرن مع مقدمة دقاق هوائي، وبالتالي يمكن غرسه على أى عمق علماً بأن هذا الجهاز من صناعة شركة Elpress .



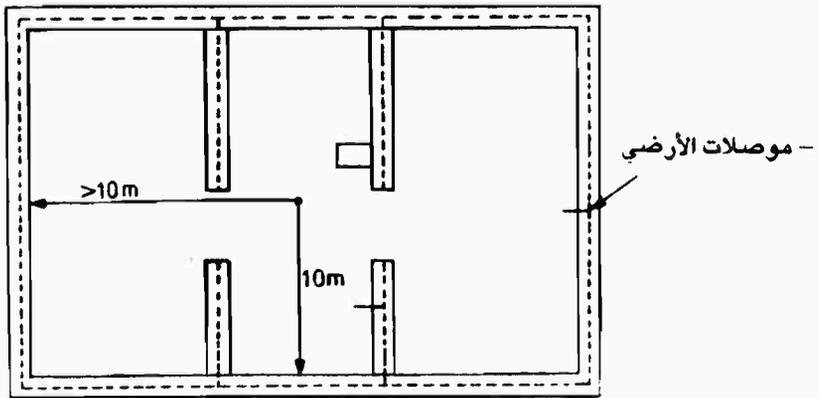
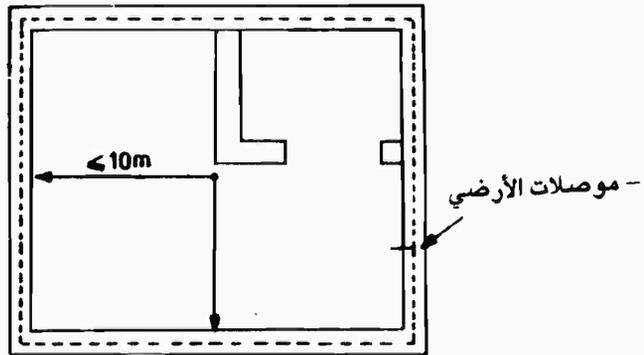
الشكل (٦-٢)

٢ / ٢ / ٢ - الشرائط الأرضية المدفونة في الأساس

لقد أسفرت نتائج التجارب المجرىة في ألمانيا على أن أفضل النتائج يمكن الحصول عليها من دفن شريط من الصلب أو حبل من الصلب في الأساس على شكل مسار مغلق حيث تكون أبعاد الشريط 30X3.2mm أو 25X4mm ، ويكون قطر حبل الصلب المجلفن على الساخن لا يقل عن 10mm . ويجب ألا تبعد جوانب الأساس عن مركز الأساس عن 10m .

وفي حالة زيادة هذه المسافة عن 10m يجب إمرار شريط أرضى أو حبل الصلب فى الجدران الداخلية.

والشكل (٧-٢) يبين طريقة تمديد شريط الصلب فى أساس المنشأة. فالشكل (أ) يوضح أنه لا حاجة من إمرار شريط فى الجدران الداخلية للأساس لأن المسافة بين مركز الأساس والجدران أقل من 10m، أما الشكل (ب) فيوضح أنه يجب إمرار شريط أرضى فى الجدران الداخلية لأن المسافة بين مركز الأساس والجدران الخارجية للأساس أكبر من 10m.



الشكل (٧-٢)

وعادة تستخدم ركائز توجيهية spacer لتمديد شريط الأرضى

الشكل (٨ - ٢) يوضح طريقه تمديد الشريط الأرضى فى الأساس.

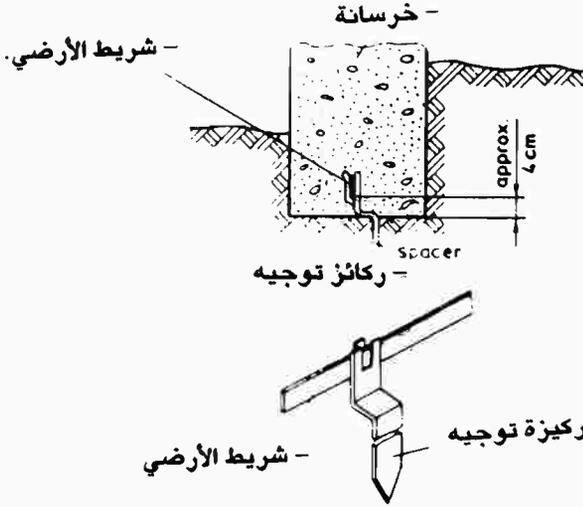
ويمكن تعيين مقاومة القطب الأرضى المدفون بالأساس بالمعادلة 2-1

$$R = \sqrt[3]{\frac{0.2\rho}{I}} \Omega \rightarrow 2.1$$

حيث إن: المقاومة النوعية للتربة ($\Omega \cdot m$)

ρ طول الشريط (m)

I حجم الاساس المحيط بالقطب الأرضي (m^3)



الشكل (٢-٨)

٣/٢ - حساب مقاومة الأرضي

تعتمد مقاومة الأرضي على المقاومة النوعية للتربة ($\Omega \cdot m$) ρ وكذلك على شكل وأبعاد القطب الأرضي.

أما بخصوص المقاومة النوعية للتربة فتعتمد على عدة عوامل مثل:

- ١- نوع التربة.
- ٢- رطوبة التربة.
- ٣- المقاومة النوعية للسوائل الموجودة بالتربة.
- ٤- حرارة التربة.

والجدول (٢-٢) يبين القيمة المتوسطة للمقاومات النوعية لترب مختلفة.

الجدول (٢-٢)

المقاومة النوعية $\Omega \cdot m$	نوع التربة
30	أرض مستنقعات
100	تربة جيرية أو طينية
200	رمل رطب
500	حصى رطب
1000	رمل أو حصى جاف
3000	تربة حجرية

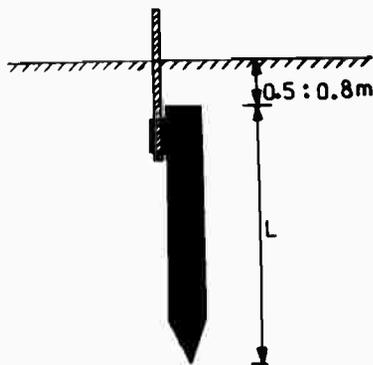
وسوف نتناول فى الفقرات التالية عدة أنواع من الأقطاب الأرضية والمعادلة المستخدمة لتعيين مقاومة الأرضى مع كل نوع.

$$١ / ٣ / ٢ - قضيب واحد مثبت عمودياً$$

ويكون هذا القضيب إما ماسورة أو عامود.

والشكل ٢-٩ يبين طريقة غرس قضيب أرضى عمودياً.

والمعادلة 2.2 هى المعادلة التقريبية لتعيين مقاومة القضيب الأرضى المثبت عمودياً.



الشكل (٢-٩)

$$R = \frac{\rho}{L} (\Omega) \rightarrow 2.2$$

حيث إن:

ρ ($\Omega \cdot m$) المقاومة النوعية للتربة

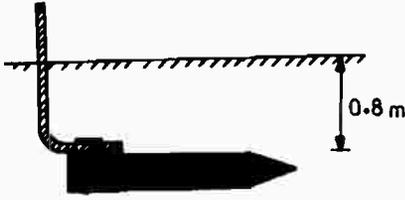
L (m) طول القضيب المدفون بالأرض

فإذا كانت المقاومة النوعية للتربة ($50\Omega \cdot m$)

وطول قضيب الأرضى (2.5m)، فإن مقاومة

الأرضى تساوى :

$$R = \frac{50}{2.2} = 20 \Omega$$



٢ / ٣ / ٢ - قضيب واحد مثبت أفقياً

ويكون على شكل قضيب له مقطع دائرى نصف قطره d ، وطوله L ، أو على شكل شريط من الصلب بسمك أكبر من 3mm ونصف عرضه d وطوله L ومدفون على عمق 80cm . والشكل (١٠-٢) يبين

الشكل (١٠-٢)

طريقة وضع قضيب أرضى أفقياً . والمعادلة 2.3 هي المعادلة التقريبية لتعيين مقاومة القضيب الأرضى الموضوع أفقياً على عمق 80cm .

$$R = \frac{2\rho}{L} (\Omega) \rightarrow 2.2$$

حيث إن :

ρ $\Omega.m$

المقاومة النوعية للتربة

L (m)

طول العمود

فإذا كانت المقاومة النوعية للتربة ($50\Omega.m$) وطول العمود (4m) ، فإن مقاومة

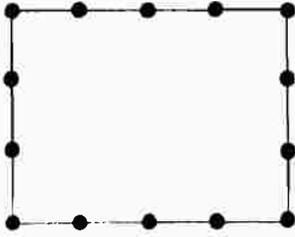
الأرضى تساوى :

$$R = \frac{2 \times 50}{4} = 25 \Omega$$

٢ / ٣ / ٣ - الشبكات الأرضية

تتكون الشبكة الأرضية من مجموعة من القضبان الرأسية المتصلة فيما بينها بشريط أفقى كما هو مبين بالشكل (١١-٢) وحتى يمكن تعيين مقاومة الشبكة الأرضية يلزم هذا تعيين مقاومة القضبان العمودية بمفردها وكذلك تعيين مقاومة الشريط الأفقى .

والشكل (٢-١٢) يبين طريقة تثبيت عدة قضبان عمودياً وموصلة على التوازي
 والمعادلة 2.3 هي المعادلة التقريبية لتعيين مقاومة
 الأرضى المؤلف من شبكة أرضية .



الشكل (٢-١١)

$$R_v = \frac{R_e}{N \eta} \quad (\Omega) \rightarrow 2.3$$

حيث إن :

R_v المقاومة الكلية للأرضى

R_e مقاومة العمود الواحد

η معامل الاستخدام

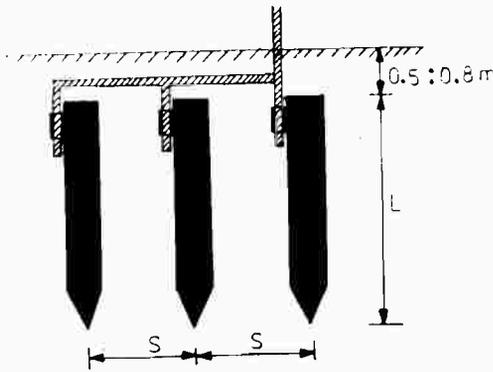
N عدد الأقطاب

والجدول (٢-٣) يبين قيمة

معامل الاستخدام η المعتمدة على

عدد الأعمدة المرتبة في صف واحد

و كذلك النسبة S/L .



الشكل (٢-١٢)

الجدول (٢-٣)

η	N	S/L	η	N	S/L	η	N	S/L
0.93 : 0.95	2	3	0.93 : 0.95	2	2	0.8 : 0.87	2	1
0.9 : 0.92	3		0.9 : 0.92	3		0.76 : 0.8	3	
0.85 : 0.88	5		0.85 : 0.88	5		0.67 : 0.72	5	
0.79 : 0.83	10		0.79 : 0.83	10		0.56 : 0.62	10	
0.74 : 0.79	20		0.74 : 0.79	20		0.5 : 0.47	20	

والجدول (٢-٤) يبين قيمة معامل الاستخدام η والمعتمدة على عدد الأعمدة

المرتبة في مسار مغلق N وكذلك النسبة S/L.

الجدول (٤-٢)

η	N	S/L	η	N	S/L	η	N	S/L
0.84 : 0.86	4	3	0.76:0.8	4	2	0.66: 0.72	4	1
0.78: 0.82	6		0.71:0.75	6		0.58:0.65	6	
0.74: 0.78	10		0.66:0.71	10		0.52:0.58	10	
0.68: 0.72	20		0.61:0.66	20		0.44:0.5	20	
0.64: 0.69	40		0.55:0.61	40		0.38:0.44	40	
0.62: 0.67	60		0.52: 0.58	60		0.36:0.42	60	

والجدول (٥-٢) يبين قيمة معامل الاستخدام للشرائط الأفقية التي تصل بين القضبان الأرضية العمودية المرتبة في صف والتي تعتمد على نسبة S/L، وكذلك عدد القضبان الرأسية N.

الجدول (٥-٢)

N							S/L
50	30	20	10	8	5	4	
0.21	0.31	0.42	0.62	0.67	0.74	0.47	1
0.31	0.46	0.56	0.75	0.79	0.86	0.89	2
0.49	0.58	0.68	0.82	0.85	0.9	0.92	3

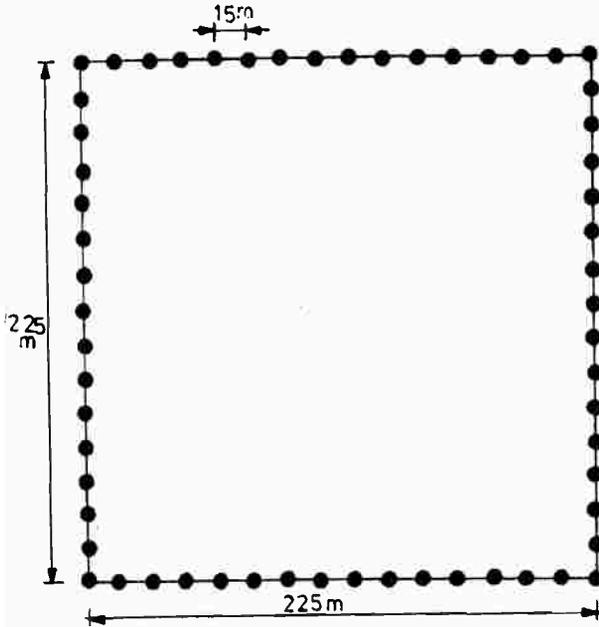
والمعادلة التقريبية 2.4 تعطى قيمة مقاومة الشريط الأفقى الذى يصل بين مجموعة من القضبان العمودية

$$Rh = \frac{2\rho}{\eta L} \quad (\Omega) \rightarrow 2.4$$

أما المعادلة التقريبية 2.5 فتعطي قيمة المقاومة المحصلة للشبكة الأرضية R_t

$$R_t = \frac{R_h R_v}{R_h + R_v} \quad (\Omega) \rightarrow 2.5$$

مثال :



الشكل (١٣-٢)

المطلوب حساب

مقاومة الشبكة

الأرضية لمصنع والمبينة

بالشكل (١٣-٢)

حيث إن :

عدد القضبان

الرأسية $N=60$

المسافة بين القضيب

والآخر $S=15m$

طول القضيب

الرأسي $L= 5m$

قطر القضيب

الرأسي $d= 15mm$

أبعاد الشريط الأفقي $4 \times 40mm$

المقاومة النوعية للتربة $\rho = 1000 \Omega.m$

الإجابة :

مقاومة القضيب الواحد

$$R_e = \frac{\rho}{L} = \frac{1000}{5} = 200 \Omega$$

المقاومة الكلية للقضبان الرأسية تعين من المعادلة التالية :

$$R_v = \frac{R_e}{N\eta}$$

وحيث إن :

$$N = 60 , \frac{S}{L} = \frac{15}{5} = 3$$

فإن معامل الاستخدام η يمكن تعيينه من الجدول (٢-٤) وهو يساوى
0.62:0.67) ويمكن اعتبارها 0.65 وبالتالي فإن

$$R_v = \frac{200}{0.65 \times 60} = 5 \Omega$$

وبالنسبة للشريط الأفقى الذى يصل بين 60 عموداً رأسياً فيمكن تعيين مقاومة
الشريط الأفقى من المعادلة التالية :

$$R_h = \frac{2\rho}{L\eta}$$

وحيث إن :

$$N = 60 , \frac{S}{L} = 3$$

فإن معامل استخدام الشريط الأفقى يمكن تعيينه من الجدول (٢-٥) وتساوى
تقريباً 0.49
أى أن :

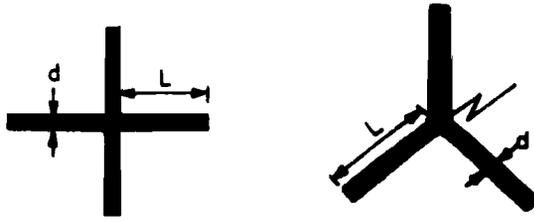
$$R_h = \frac{2 \times 1000}{0.49 \times 900} = 4.5 \Omega$$

وبالتالى تصبح المقاومة الكلية مساوية

$$R_t = \frac{R_v R_h}{R_v + R_h} \\ = \frac{5 \times 4.5}{5 + 4.5} = 2.36 \Omega$$

٢ / ٣ / ٤ الأقطاب الأرضية الشعاعية

الشكل (٢-١٤) يبين شكل قطب أرضى شعاعى بثلاث أشعة (الشكل أ)
وبأربع أشعة (الشكل ب).



الشكل (٢-١٤)

وتستخدم الأقطاب الأرضية الشعاعية في تأريض خطوط نقل الطاقة الكهربائية وتأريض بعض المنشآت والمباني وهي تدفن على عمق (0.3:0.8m) وتحسب مقاومة القطب الأرضي الشعاعي من المعادلة التقريبية 2.6.

$$R = \frac{2\rho}{L.N.\eta} \rightarrow 2.6$$

حيث إن :

R	Ω	مقاومة الأرضي الشعاعي
ρ	$\Omega.m$	المقاومة النوعية للتربة
L	m	طول الشعاع الواحد
N		عدد الأشعة
η		معامل الإستخدام

ويعين معامل الاستخدام η بدلالة طول الشعاع L وقطر الشعاع d وعدد الأشعة N من الجدول (٢-٦).

الجدول (٦-٢)

عدد الأشعة N	طول الشعاع L m قطر الشعاع d(mm)	2.5	5	10	15	30
		3	10	0.76	0.78	0.81
	20	0.74	0.76	0.79	0.8	0.82
4	30	0.63	0.67	0.7	0.72	0.75
	40	0.61	0.65	0.69	0.7	0.73

مثال :

قطب أرضى على شكل شعاع رباعى طوله $L = 10 \text{ m}$ ، وأبعاد الشريط المصنع منه الشعاع $5 \times 400 \text{ mm}$ ، ومقاومة التربة النوعية $\rho = 100 \Omega \cdot \text{m}$. فما هى مقاومة الأرضى؟

الإجابة:

$$R = \frac{2\rho}{LN\eta}$$

من الجدول (٦-٢) فإن معامل الاستخدام η عندما يكون

$$L = 10 \text{ m}, d = 40\text{mm}, N = 4 \text{ هى } 0.69$$

أى أن:

$$R = \frac{2 \times 100}{10 \times 4 \times 0.69} = 7.2\Omega$$

٥/٣/٢ - الألواح الأرضية

يندر استخدام الألواح المعدنية كأقطاب أرضية لأنها تحتاج لمجهود شاق لدفنها فى الأرض، فهى توضع عمودية فى الأرض على حدها (حرفها)، وذلك من أجل الوصول لمساحة تلامس جيدة للوح مع التربة، ويمكن حساب مقاومة الأرضى ذات

اللوحة المعدنية من المعادلة التقريبية 2.7.

$$R = \frac{\rho}{4\sqrt{Lw}} \quad (\Omega) \quad \rightarrow \quad 2.7$$

حيث إن :

ρ المقاومة النوعية $\Omega.m$

L طول اللوح m

w عرض اللوح m

مثال :

قطب أرضي على شكل لوح أبعاده (1.5 X 600 X 600 mm) مصنوع من النحاس ومدفون في تربة مقاومتها النوعية $100\Omega.m$. فما هي مقاومة الأرضي.

الإجابة :

$$\rho = 100 \Omega.m$$

حيث أن :

$$W=L = 600 \text{ mm}$$

$$W=L = 0.6 \text{ m}$$

لذلك فإن :

$$R = \frac{\rho}{4\sqrt{Lw}} = \frac{100}{4\sqrt{0.6 \times 0.6}} = 4.16 \Omega$$

٢ / ٤ - الطرق المتبعة لتقليل مقاومة الأرضي

يمكن تقليل مقاومة الأرضي بعدة طرق أهمها :

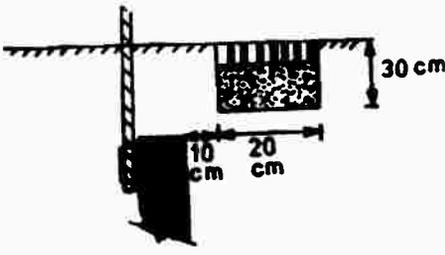
١- زيادة عدد قضبان التأسيس.

٢- زيادة طول قضبان التأسيس.

٣- معالجة التربة.

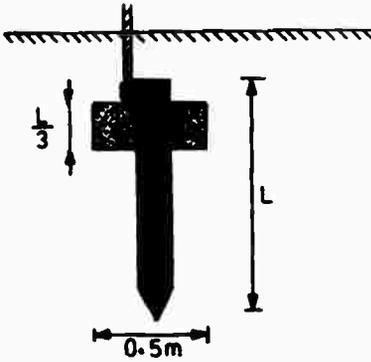
وعادة نلجأ لمعالجة التربة إذا لم تنجح الطريقة الأولى والثانية في الوصول لمقاومة

الأرضي المطلوبة. وأكثر طرق معالجة التربة الطريقة المبينة بالشكل (٢-١٥).



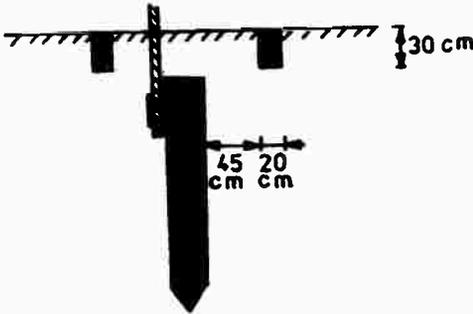
الشكل (٢-١٥)

حيث يحفر حفرة بجوار القطب الأرضي وعلى بعد 10Cm منه تقريباً، وبعمق 30Cm، وبعرض 20Cm، ثم تغمر هذه الحفرة بالماء، ثم يوضع كبريتات الماغنسيوم أو كلوريد الصوديوم (ملح الطعام) أو الكربون أو الفحم أو إضافة برادة الحديد في هذه الحفرة، وتغطي هذه الحفرة بشبكة معدنية، ويجب إجراء تفتيش دوري على هذه الحفرة للتأكد من عدم تسرب المادة المعالجة في التربة، كما يجب إجراء قياس لمقاومة الأرضي من حين لآخر للتأكد من أن مقاومة الأرضي لم تتجاوز القيمة المسموح بها، وسوف نتناول طرق قياس مقاومة الأرضي في الفقرة (٢/١٠).



الشكل (٢-١٦)

والشكل (٢-١٦) يبين طريقة أخرى لمعالجة التربة حيث يوضع ملح الطعام حول قضيب الأرضي بالطريقة المبينة بالشكل. ويضاف الملح في طبقات طولها 1Cm، ويضاف الماء لهذه الطبقات بمعدل (1:1.5 لتر) لكل كيلو جرام من الملح، وعادة نحتاج إلى 30:40kg ملح حول القضيب الواحد.



الشكل (٢-١٧)

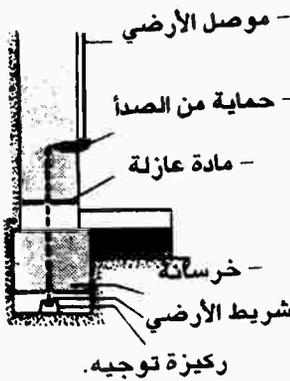
والشكل (٢-١٧) يبين طريقة أخرى لمعالجة التربة حيث يوضع ملح الطعام حول خندق دائري حول القضيب بعمق 30Cm، وبعرض 20Cm، وعلى بعد 45Cm من القضيب. ويوضع فيه المادة المعالجة (ملح الطعام) ويضاف الماء بمعدل (1:1.5) لتر ماء لكل كجم من ملح الطعام.

٢ / ٥ - موصلات الأرضى Earthing Conductors

تقوم هذه الموصلات بتوصيل القطب الأرضى بلوحة الدخول للمنشأة . والجدول (٧ - ٢) يبين الأبعاد الصغرى لموصل الأرضى والذي يصنع من شريط من النحاس أو الصلب أو حبل من النحاس أو الصلب .

(الجدول ٢ - ٧)

موصل الأرضى	بحماية ميكانيكية	بدون حماية ميكانيكية
بحماية ضد الصدأ والتآكل بواسطة غلاف واقٍ .	نفس مساحة مقطع خط الحماية	- شريط أو حبل من النحاس مساحة مقطعه 16mm^2 . - شريط أو حبل من الصلب مساحة مقطعه 16mm^2 .
بدرجة حماية ضد الصدأ والتآكل .		- شريط من النحاس مساحة مقطعه 25mm^2 . - شريط من الصلب المجلفن على الساخن مساحة مقطعه 50mm^2 .



(الجدول ٢ - ١٨)

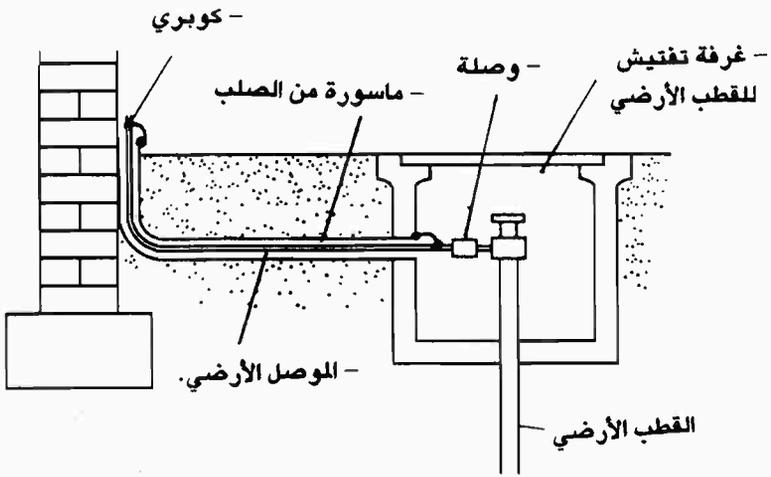
والشكل (٢ - ١٨) يبين طريقة تمديد الموصل الأرضى عند استخدام قطب أرضى على شكل شريط من الصلب المجلفن على الساخن والمدفون فى الخرسانة والذي أبعاده $25 \times 4\text{mm}$ أو $30 \times 3.5\text{mm}$.

والجدير بالذكر أنه يجب تمديد الموصلات الأرضية فى موقع مرئى، ويجب حمايتها من كافة العوامل الميكانيكية والكيميائية، وذلك عند التمديد فوق

الأرض، ويجب دهان الأجزاء الموضوعه فوق الأرض وتحتها مباشرة بدهانات لمنع

الصدأ؛ وذلك لأن هذه الأجزاء هي المعرضة للصدأ. وأحياناً يتم تغطية هذه الأجزاء بالبلاستيك، وعادة يتم إمرار موصلات الأرضى داخل أنابيب من البلاستيك أو الصلب لحمايتها من الصدأ والتآكل خصوصاً للموصلات التى مساحة مقطعها 16mm^2 أو أصغر.

والجدير بالذكر أنه عند تمديد موصل أرضى داخل أحد القنوات المعدنية وعند مرور تيار كهربى فى موصل الأرض أثناء حدوث خطأ يتولد قوة دافعة كهربية بالحث فى معدن هذه القنوات المعدنية، فترتفع درجة حرارتها بالحد الذى يؤدي إلى انصهار الموصل الأرضى، لذلك يجب توصيل المجارى المعدنية من كلا جانبيها بالموصل الأرضى بالطريقة المبينة بالشكل (٢ - ١٩).

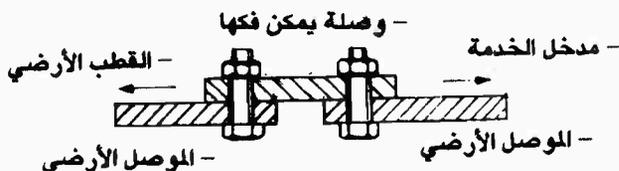


الشكل (٢ - ١٩)

ويستثنى من ذلك المجارى الغير معدنية وبخصوص الوصلة المستخدمة فى توصيل القطب الأرضى مع الموصل الأرضى يجب أن تكون مصنوعة من نفس معدن الموصل الأرضى والقطب الأرضى، فإذا كان الموصل الأرضى والقطب الأرضى من النحاس يجب استخدام وصلة من النحاس، أما إذا كان معدن القطب الأرضى يختلف عن معدن الموصل الأرضى تستخدم وصلة ثنائية وهذه الوصلة تصنع من معدنين

أحدهما يشبه معدن القطب الأرضي، والآخر يشبه معدن الموصل الأرضي، وبالتالي فإن أسرع جزء يحدث له تحلل كهربى هو هذه الوصلة؛ لذلك توضع هذه الوصلات داخل غرفة تفتيش حتى يسهل الوصول إليها وتغييرها إذا لزم الأمر.

وعادة توضع وصلة ثابتة فى مسار الموصل الأرضى يمكن فكها لأغراض قياس مقاومة شبكة التاريض كما هو مبين بالشكل (٢ - ٢٠).



الشكل (٢ - ٢٠)

٢ / ٦ - موصلات الوقاية (PE) Protection Conductors

وهى تكون معزولة بلون أصفر أخضر، أو تكون موصلات من النحاس العارى. والجدول (٢ - ٨) يبين مساحة مقطع موصلات الوقاية بدلالة مساحة مقطع الأوجه، فإذا كان موصل الوقاية يستخدم لعدة دوائر تستخدم أكبر مساحة مقطع خاصة بأوجه هذه الدوائر.

الجدول (٢ - ٨)

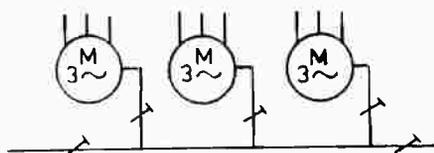
25	16	10	6	4	2.5	1.5	1	0.75	0.5	مساحة مقطع الأوجه mm^2
16	16	10	6	4	2.5	1.5	1	0.75	0.5	مساحة مقطع موصل الرقابة المعزول mm^2
16	10	6	4	2.5	1.5					مساحة مقطع موصل الرقابة العارز والحصى mm^2
16	10	6	4	4	4	4				مساحة مقطع موصل الرقابة العارز غير الحصى mm^2
400	300	240	185	150	120	90	70	50	35	مساحة مقطع الأوجه mm^2
185	150	120	95	70	70	50	35	25	16	مساحة مقطع موصل الرقابة المعزول mm^2
50	50	50	50	50	50	50	35	25	16	مساحة مقطع موصل الرقابة العارز والحصى mm^2
50	50	50	50	50	50	50	35	25	16	مساحة مقطع موصل الرقابة العارز وغير الحصى mm^2

وهناك عدة ملاحظات يجب مراعاتها مع موصلات الوقاية وهي كما يلي :

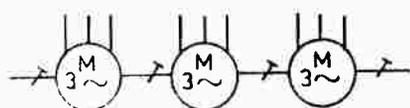
١ - يجب أن يمدد موصل الوقاية بكامل طوله بنفس عناية تمديد موصلات الأوجه المختلفة، ويمدد مع الأوجه المختلفة داخل ما سورة واحدة أو مجرى واحد، ويكون لون عزله أصفر أخضر .

٢ - لا يجوز تأمين موصل الوقاية بمصهر حماية، ولا يجوز أن يكون قابل للفصل عن الدائرة .

٣ - يتم توصيل موصل الوقاية الرئيسي مع موصلات الوقاية الفرعية بعناية فائقة سواء باللحام أو بواسطة الرباط بوصلة مقلوطة آمنة .



٤ - يحظر توصيل موصل الوقاية مع القطب الأرضي بطريقة مباشرة دون التوصيل بالموصل الأرضي .



٥ - يجب أن يكون لكل جهاز موصل

وقاية خاص به متفرع من موصل الوقاية الرئيسي،

الجدول (٢ - ٢١) يمنع توصيل الهياكل المعدنية المطلوب تأريضها بالتسلسل بواسطة موصل الوقاية .

والشكل (٢ - ٢١) يبين طريقة التوصيل الصحيحة للأجهزة مع موصل الوقاية الرئيسي (الشكل أ) وطريقة التوصيل الخاطئة للأجهزة مع موصل الوقاية الرئيسي (الشكل ب) .

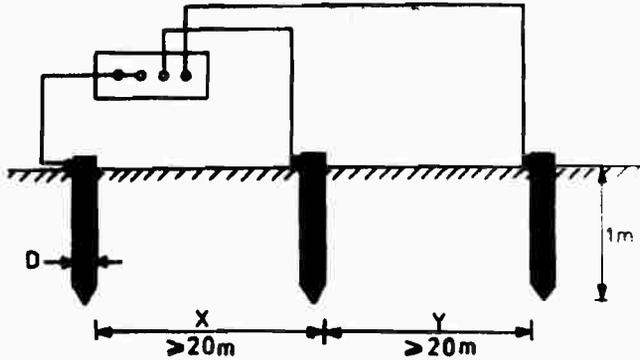
٦ - يتم ربط موصلات الوقاية الفرعية مع التجهيزات المطلوب تأريضها بواسطة البراغى المعدة لذلك لتسهيل الفك عند اللزوم .

٧ / ٢ - قياس المقاومة النوعية للتربة

يمكن قياس المقاومة النوعية للتربة باستخدام جهاز قياس مقاومة العزل بالطريقة المبينة بالشكل (٢ - ٢٢) .

حيث إن :

- X (m) المسافة بين القطب الرئيسى والمجس
y (m) المسافة بين القطب الإضافى والمجس
L (m) طول قضيب الأرضى
D قطر القطب الرئيسى بالبوصة



الشكل (٢ - ٢٢)

حيث إن قيم الأبعاد الموضحة فى الشكل السابق مبينة بالجدول (٢ - ٩).

الجدول (٢ - ٩)

L (m)	X (m)	y (m)
≤ 4	20	20
≥ 4	15	40

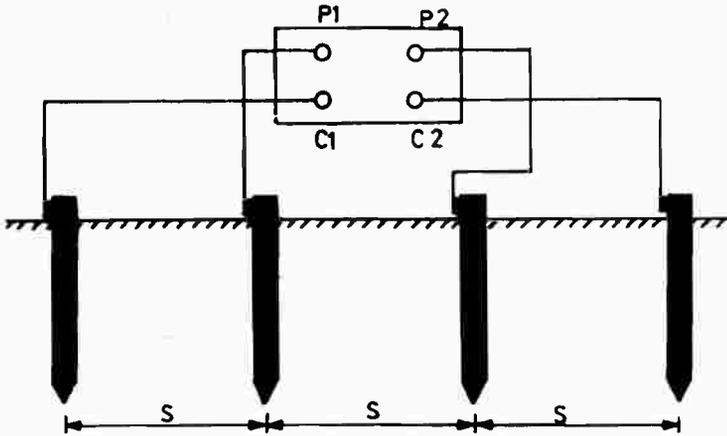
ونحصل على المقاومة النوعية للتربة ρ ($\Omega \cdot m$) بضرب قيمة قراءة الجهاز والتي تمثل مقاومة الأرضى بالمعامل K، والذي يعتمد على الأبعاد الهندسية للقطب الأرضى.

والجدول (٢ - ١٠) يبين قيمة المعامل K حسب أبعاد القطب الرئيسى.

الجدول (٢ - ١٠)

(بوصة) D L (متر)	1/2	3/4	1	$1 \frac{1}{4}$	1 1/2	2
1	1.2	1.25	1.31	1.33	1.42	1.5
1.5	1.67	1.74	1.82	1.9	1.95	2.05
2	2.19	2.2	2.29	2.4	2.4	2.57

والشكل (٢-٢٣) يبين طريقة تحديد طول قطب الأرضي المناسب تبعاً للمقاومة النوعية للتربة باستخدام جهاز قياس العزل I_R ذي النقاط الأربعة والمصنع بشركة . Megger Instrument Ltd, Dover



الشكل (٢ - ٢٣)

حيث تغرس الأعمدة الأربعة المستخدمة في خط مستقيم. والنقطة المطلوب تعيين المقاومة النوعية لها هي نقطة المنتصف لهذه القضبان، ويستخدم في ذلك أربعة قضبان، طول القضيب 3m، وقطره 13 mm، مصنوعة من الصلب المجلفن. والمعادلة 2.8 تعطى قيمة المقاومة النوعية للتربة في هذه الحالة.

$$\rho = 2 \pi RS (\Omega.m) \rightarrow 2.8$$

حيث إن :

ρ	المقاومة النوعية المتوسطة ($\Omega.m$)
R	قراءة الجهاز (Ω)
S	المسافة بين أى قضبين (m)

والجدير بالذكر أن المقاومة النوعية للتربة والمحسوبة من المعادلة السابقة تكون على عمق (3/4) المسافة S.

والجدول (٢ - ١١) يبين بعض نتائج القياسات التي تم إجرائها لقياس المقاومة النوعية لتربة على أعماق مختلفة وذلك بتغيير المسافة بين الأعمدة.

الجدول (٢ - ١١)

المسافة S (m)	قراءة الجهاز R (Ω)	المقاومة النوعية ρ ($\Omega.m$)	العمق (m)
2	90	1140	1.5
4	21.5	538	3
8	10	502	6
12	5.5	415	9
24	3	450	18
40	2	502	30

والجدير بالذكر أن قيم المقاومة النوعية ρ تحسب من المعادلة 2.8، أما العمق الذي يحسب له المقاومة النوعية فيساوى (3/4S).

ويلاحظ من الجدول السابق أن المقاومة النوعية للتربة على عمق 3 m تساوى

538Ω.m، فى حين أن المقاومة النوعية للتربة على عمق 9 m تساوى 502Ω.m لذلك ينصح باختيار عمود طوله 3 m وذلك لعدم وجود فرق كبير فى المقاومة النوعية مع زيادة الطول ثلاث مرات .

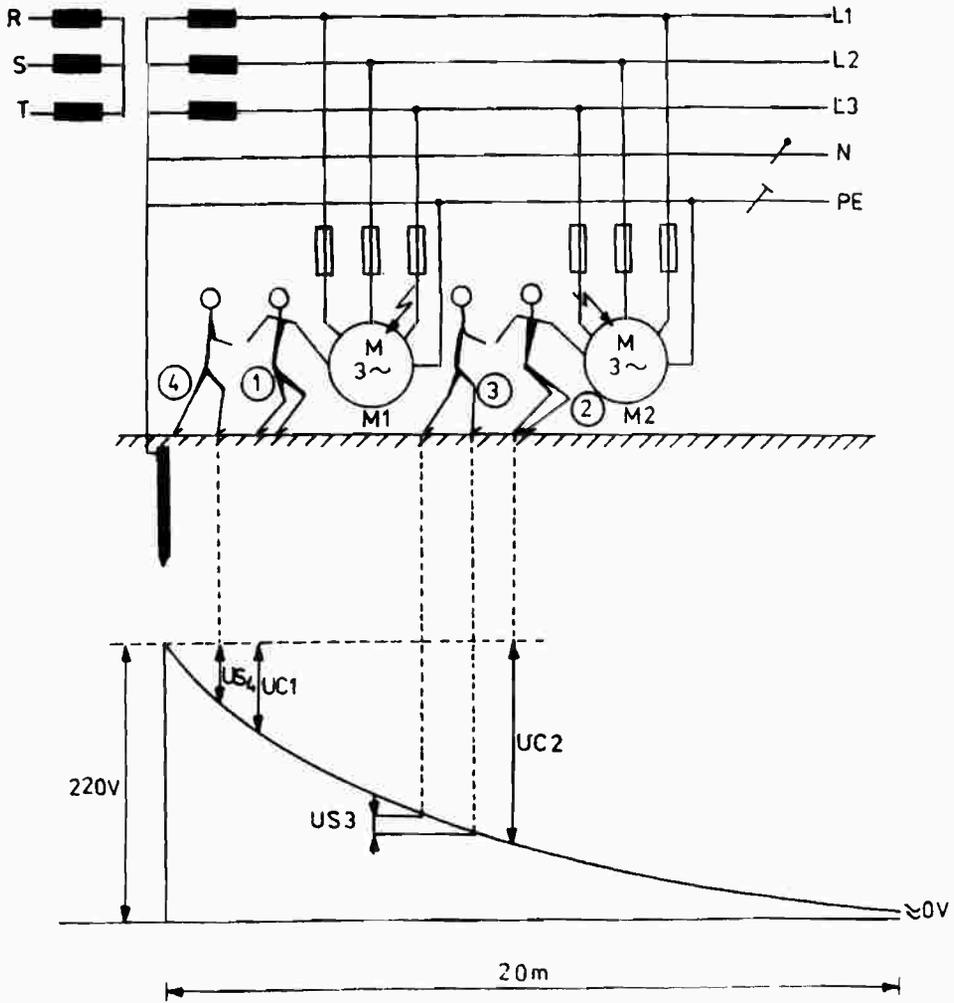
٢ / ٨ - جهد التلامس وجهد الخطوة Contact Voltage and step Voltage

الشكل (٢ - ٢٤) يبين شبكة كهربية ثلاثية الأوجه مزودة بموصل وقاية PE، وموصل بها محركين كهربيين مؤرضين الأول M1 وبه قصر داخلى بين L1 وجسم المحرك الأمر الذى يؤدي لانتقال هذا الجهد إلى القطب الأرضى عبر موصل الوقاية PE فيكون جهد القطب الأرضى مساوياً لجهد خط الوقاية مساوياً جهد الوجه L1 فيتشكل جهد على تربة أرضى الوقاية ويقل هذا الجهد كلما ابتعدنا عن قطب الأرضى ليصبح مساوياً للصفر على بعد 20 m تقريباً من القطب الأرضى فى جميع الاتجاهات . وباعتبار أن المقاومة النوعية للتربة ρ ثابتة فى جميع الاتجاهات لذلك فإن منحنيات توزيع الجهد على تربة الأرضى تكون متماثلة فى جميع الاتجاهات أى أن الجهد على نقاط الدائرة التى مركزها قطب الأرضى يكون ثابتاً تقريباً، وتسمى الدائرة التى مركزها القطب الأرضى ونصف قطرها 20 m بأساس الأرضى Earth .reference

وعند ملامسة الشخص رقم 1 لجسم المحرك M1 فإنه يتعرض لجهد تلامس UC1، فى حين يتعرض الشخص رقم 2 الملامس لجسم المحرك M2 والموصل مع نفس موصل الأرضى لجهد تلامس UC2، ويتعرض الشخص 3 لجهد خطوة يساوى فرق الجهد بين قدميه والذى يساوى US3، فى حين يتعرض الشخص 4 لجهد خطوة يساوى US4 . ويلاحظ أن جهد التلامس يزداد كلما ابتعدنا عن مكان القطب الأرضى فى حين يزداد جهد الخطوة كلما اقتربنا من مكان القطب الأرضى .

والجددير بالذكر أن جهد الخطوة لا يمثل خطورة على الإنسان فى شبكات الجهد المنخفض لصغر خطوة الإنسان .

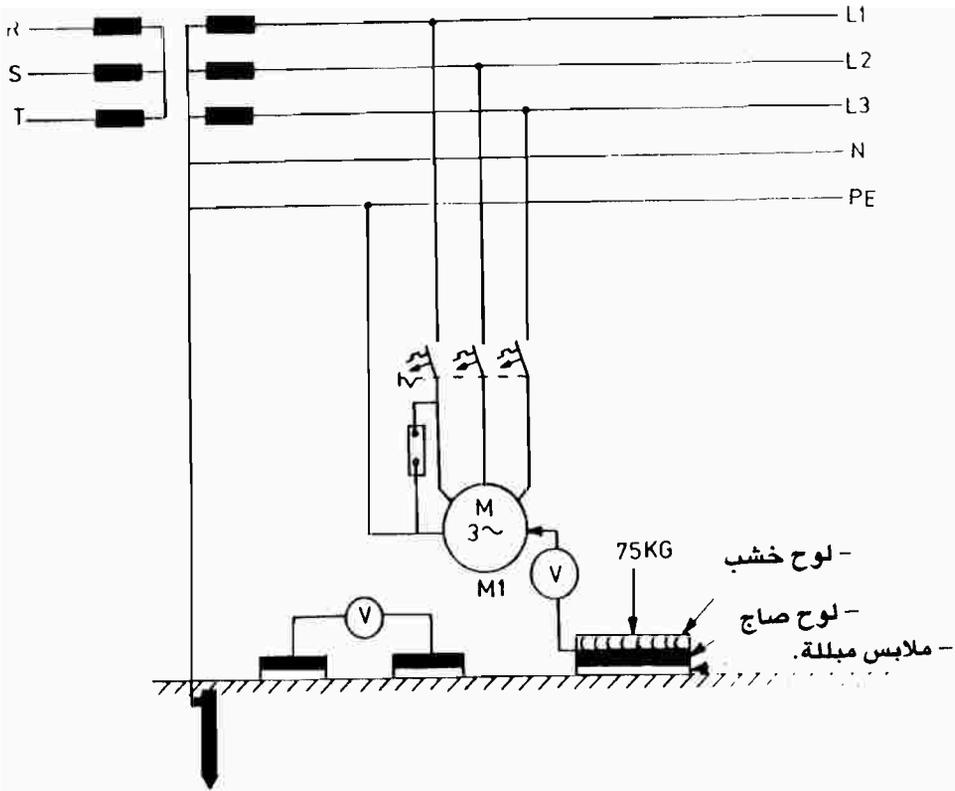
فى حين يمثل خطورة على الحيوانات الكبيرة مثل: الخيول والأبقار بسبب خطوتها الكبيرة بين قدميها الأماميتين والخلفيتين، وقد يؤدي هذا الجهد لارتفاع ضغط دمها وتصلب شرايينها وقد يؤدي إلى الوفاة .



الشكل (٢ - ٢٤)

والشكل (٢ - ٢٥) يوضح طريقة قياس جهد التلامس وجهد الخطوة عند حدوث قصر في محرك كهربى .

ولقياس جهد التلامس نستخدم لوح من الحديد المسطح أبعاده 35 x 35 Cm وتوضع على بعد (1: 1.25m) من المحرك باعتبار أن مجال يد الإنسان 1.25m وينصح بوضع ملابس مبلملة أسفل لوح الحديد، ثم يوضع لوح خشبى فوق لوح الصاج



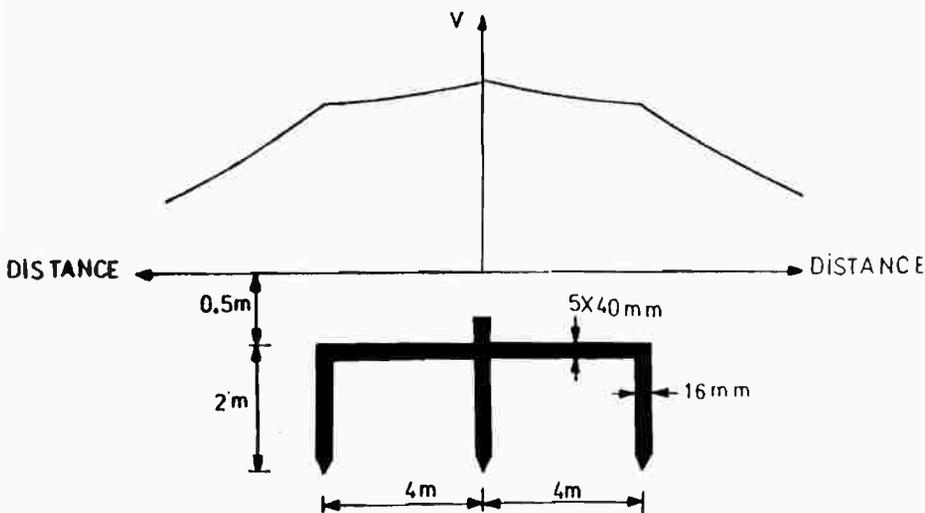
الشكل (٢ - ٢٥)

وعليه ثقل 75 Kg، وهو يمثل ثقل الإنسان، ويوصل لوح الصاج بهيكل المحرك عن طريق فولتيميتر ذات مقاومة داخلية لا تقل عن 1000Ω ، ويفصل المحرك عن المصدر بواسطة القاطع الخاص به، ثم يوصل أحد الأوجه مع جسم المحرك ويعاد توصيل قاطع الدائرة مرة أخرى فتكون قراءة الفولتيميتر هي جهد التلامس، ويمكن تغيير وضع لوح الصاج مع المحافظة على المسافة بينه وبين المحرك واعتبار أكبر قراءة للفولتيميتر هي جهد التلامس الذي يؤخذ به.

ولقياس جهد الخطوة نستخدم لوحين من الصاج أبعادهم $35 \times 35 \text{ Cm}$ ، ونقترب من مكان القطب الأرضي قدر الأماكن للحصول على أعلى جهد خطوة، ثم نضع لوح الصاج على الأرض، بحيث تكون المسافة بينهما تساوي 1m ووضع ملابس مبللة أسفلها ويوضع على كل منهما ثقل 40kg، ويوصل بين اللوحين بجهاز

فولتميتر مقاومته الداخلية لا تقل عن 1000Ω ونحدث قصر بين أحد أوجه المحرك مع هيكل المحرك بنفس الطريقة المتبعة في الحالة السابقة فتكون قراءة جهاز الفولتميتر هي جهد الخطوة، ويمكن تكرار التجربة عند مواضع مختلفة مع المحافظة على المسافة بين اللوحين، ونعتبر أكبر قراءة للفولتميتر هي جهد الخطوة الذي يؤخذ به في كلتا الحالتين، ويجب أن يكون جهد التلامس، وجهد الخطوة أقل من (50 Vac)، وفي حالة تعدى جهد الخطوة وجهد التلامس الحدود المسموح بها نقوم بعمل تعديل لمنحنى توزيع الجهد على الأرض باستخدام أقطاب أرضية إضافية بالطريقة المبينة بالشكل (٢ - ٢٦)، وذلك باستخدام شعاع رباعي طوله 8m مصنوع من الصلب المجلفن أبعاده $5 \times 40\text{mm}$ كالمتبين بالشكل (٢ - ١٤).

ويربط معه أربعة قضبان من الصلب المجلفن طول الواحد 2m وقطره 16mm.



الشكل (٢ - ٢٦)