

# تقنية التوزيع الكهربائي

## التأريض في نظم التوزيع

## التأريض في نظم التوزيع

### (8-1) مقدمة

يعرف التأريض بأنه عمل توصيلة بالكتلة العامة للأرض. ويستخدم التأريض على نطاق واسع في الشبكات الكهربائية من محطة التوليد الكهربائية مروراً بمحطات التحويل وخطوط النقل الكهربائية حتى المستهلك والأجهزة المنزلية.

ويمنع التأريض حدوث المضاعفات الخطيرة للجهد أثناء الاضطرابات داخل الشبكة الكهربائية ويحدث التأريض مساراً ذي مقاومة صغيرة في الأرض للصواعق الكهربائية. ولحماية المباني ومحطات المحولات من الصواعق الكهربائية تستخدم مانعات الصواعق والتي توفر مساراً ذي مقاومة قليلة للأرض وذلك لتفريغ التيارات العالية جداً المصاحبة للصواعق في الأرض.

### (8-2). تعريفات

- التأريض :- التوصيل بالكتلة العامة للأرض باستخدام إلكترود أرضي (earthing electrode). ويطلق على أي عنصر داخل المنظومة الكهربائية بأنه مؤرض وذلك عندما يوصل هذا العنصر بالإلكترود الأرضي. ويتم تأريض المعدات الكهربائية مباشرة بالإلكترود الأرضي (solidly grounded) أو خلال مقاومة (resistance grounding) أو معاوقة (impedance grounding).
- إلكترود التأريض :- قضيب معدني أو ماسورة معدنية أو مستوى معدني أو أي موصل آخر يدفن أو يوضع داخل الأرض ويستخدم للتأريض.
- المقاومة الأرضية :- هي المقاومة الأومية بين نظام الإلكترودات الأرضية والكتلة العامة للأرض.
- المقاومة النوعية للأرض :- هي المقاومة النوعية للأرض بـ أوم/سم<sup>2</sup> لعينة من الأرض.
- وصلة الأرضي :- هو الكابل الموصل بين المعدة المراد تأريضها وبين الإلكترود الأرضي.
- خط التعادل :- هو الخط الرابع من المصدر أو الشبكة والموصل بنقطة التعادل لمفات الجهد المنخفض للمحول.

### (8-3). أنواع نظم التأريض للتركيبات الكهربائية

تحدد أنواع نظم التأريض طبقاً لطريقة التوصيل بالأرض وأكثر نظم التأريض شيوعاً في التوصيلات ثلاثية الأوجه هي TN و TT و IT . ويشير الحرف الأول من اليسار إلى علاقة توصيل نقطة تعادل مصدر التغذية بالأرض أما الحرف الآخر فيشير إلى العلاقة بين الأجزاء المعرضة للمس في التركيبات الكهربائية وبين الأرض. حرف T الموجود على اليسار يعني التوصيل المباشر لنقطة التعادل بالأرض وحرف I الموجود كذلك على اليسار يعني عزل كل الأجزاء المكهربة عن الأرض مع توصيل نقطة التعادل بالأرض من خلال مقاومة. أما الحروف التي على اليمين فيعني حرف N التوصيل المباشر للأجزاء المعرضة للمس والبالغة للتكهرب إلى النقطة المؤرضة في نظام القوى الكهربائية و حرف T يعني توصيل كل الأجزاء المعرضة للمس والبالغة للتكهرب إلى الأرض مباشرة وهي نقطة مستقلة عن نقطة أرضي القوى. يقسم النظام TN إلى أقسام مختلفة طبقاً للعلاقة بين خط التعادل N وخط التأريض الوقائي PE ويرمز لذلك بحروف لاحقة على النحو التالي:

C : يكون خط التعادل N وخط التأريض الوقائي PE مندمجين في موصل واحد مثل موصل PEN

S : يكون كل من خطي التعادل N والتأريض الوقائي PE منفصلين.

(أ) نظم التأريض TN : يحتوي نظام التأريض TN على نقطة واحدة مؤرضة مباشرة على أن يتم

توصيل الأجزاء المعرضة للمس والمكشوفة من التركيبات إلى هذه النقطة بواسطة موصلات وقاية

ويقسم هذا النظام حسب ترتيبات موصل التعادل وموصلات التأريض الوقائي على النحو التالي:

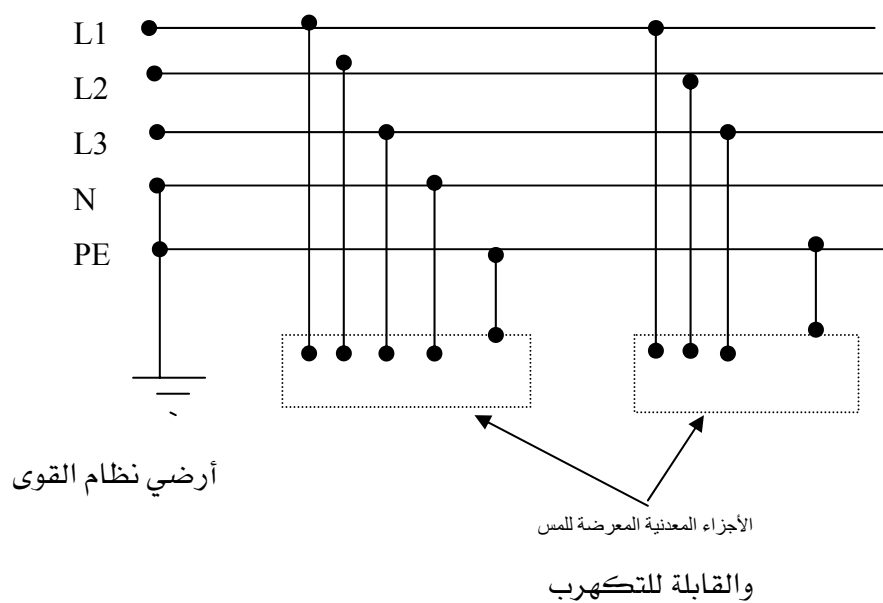
١- نظام TN-S يكون فيه موصل التعادل منفصلاً عن موصلات التأريض الوقائي.

٢- نظام TN-C-S تكون فيه وظائف كل من موصل التعادل وموصلات التأريض الوقائي في

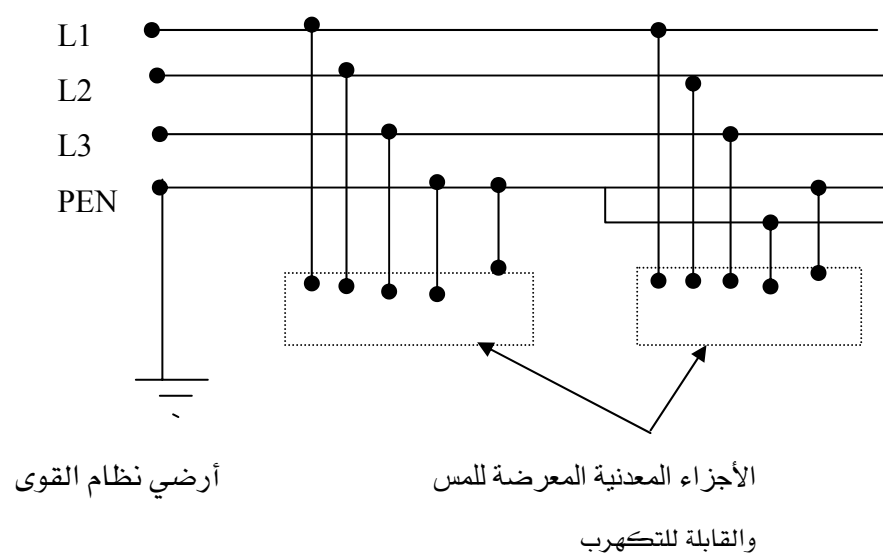
جزء من نظام التوزيع مندمجة في موصل واحد.

٣- نظام TN-C تكون فيه وظائف كل من موصل التعادل وموصلات التأريض الوقائي في كل

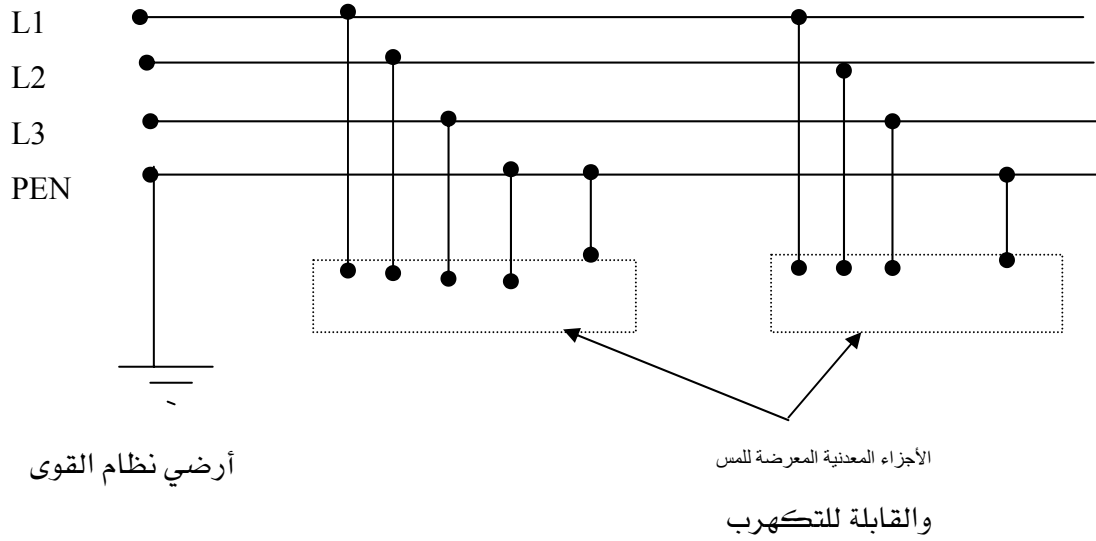
النظام مندمجة في موصل واحد.



كل (8.1) نظام TN-S

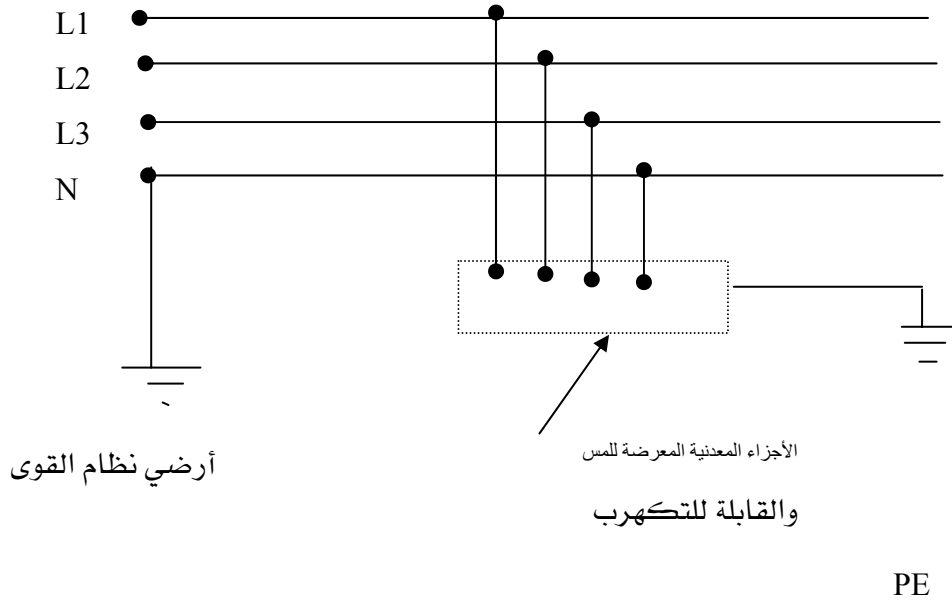


شكل (8.2) نظام TN-C-S



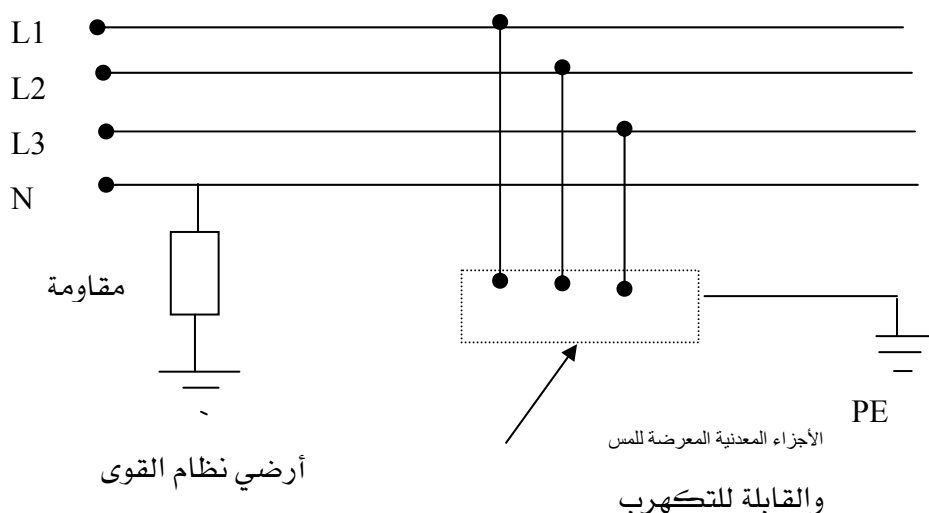
شكل (8.3) نظام TN-C

(ب) نظام التأريض TT : هذا النظام به نقطة واحدة مؤرضة مباشرة ويتم توصيل كل الأجزاء في التركيبات والمعرضة للمس إلى أقطاب تأريض خاصة لا تعتمد على أقطاب التأريض في النظام الكهربائي.



شكل (8.4) نظام TT

(ج) نظام التأريض IT : لا يحتوي هذا النظام على اتصال مباشر بين الأجزاء الكهربائية والأرض ويتم تأريض الأجزاء المعدنية في التركيبات الكهربائية المعرضة للمس.



شكل (8.5) نظام IT

#### الخصائص الفيزيائية للأرض (8-4)

العوامل الآتية تؤثر تأثيراً مباشراً على المقاومة الأرضية للإلكترود الأرضي أو نظم الإلكترودات الأرضية:

- ١- مكونات التربة الأرضية
- ٢- درجة حرارة التربة
- ٣- نسبة الرطوبة في التربة
- ٤- حجم وشكل وعدد الإلكترودات الأرضية والمسافة بينهما.
- ٥- عمق الدفن للإلكترود

**(8-5). مكونات التربة الأرضية**

مكونات التربة الأرضية تعطي انطباعاً جيداً عن القيمة التقريبية للمقاومة النوعية المتوقعة. ويبين الجدول التالي العلاقة بين مكونات التربة والمقاومة النوعية.

جدول (8-1)

المقاومة النوعية (أوم.متر)	مكونات التربة
40-150	التربة الطينية
Above 200	الصلصال
250-500	التربة الرملية
Above 1000	الأرض الصخرية

**(8-6). تأثير درجة حرارة ورطوبة التربة**

درجة حرارة التربة المحيطة بالكثرويدات التأريض لها تأثير كبير على قيمة المقاومة النوعية للتربة وخاصة عندما تنخفض درجة الحرارة لأقل من درجة التجمد. ويبين الجدول التالي العلاقة بين درجة الحرارة والمقاومة النوعية للتربة الطينية والتي تحتوي على رطوبة نسبية مقدارها 2 و ١٥%.

جدول (8-2)

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

وكذلك يبين جدول (8-3) العلاقة بين نسبة الرطوبة في التربة والمقاومة النوعية للرمل المبلل. ومتوسط محتوى الرطوبة يكون تقريباً من 10 إلى ١٥% والتغير البسيط جداً في نسبة الرطوبة يغير بشكل كبير قيمة المقاومة النوعية للتربة. ومن المهم جداً أن تكون التربة المحيطة والملاسة للإكترود التأريض تحتوي على رطوبة عالية وذلك لتقليل قيمة المقاومة الأرضية.

جدول (8-3)

المقاومة النوعية (أ.م. متر)	نسبة الرطوبة (%) بالوزن
$10^6 \times 10$	Zero
1500	2.5
430	5
185	10
105	15
63	20
42	30

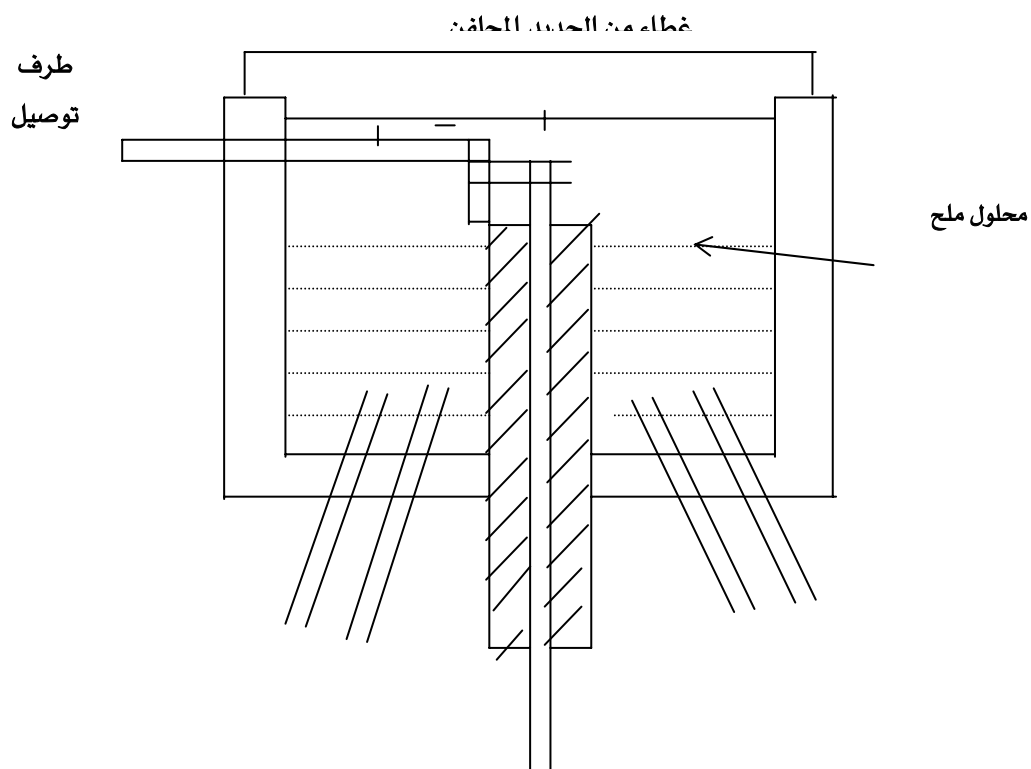
□

#### (8-7). المعالجة الكيميائية للتربة

عندما يكون من المستبعد الحصول على القيمة المطلوبة للمقاومة الأرضية طبيعياً (بوجود تربة رملية جافة أو صخرية) فإنه من الممكن الحصول على القيمة المطلوبة وذلك بمعالجة التربة كيميائياً. ويمكن تقليل قيمة المقاومة الأرضية إلى درجة كبيرة قد تصل إلى ٩٠% وذلك باستخدام المعالجة الكيميائية للتربة. ويمكن ذلك بإضافة الأملاح مثل:

- كبريتات الماغنسيوم
- كبريتات النحاس
- الكربون أو الفحم
- إضافة برادة الحديد

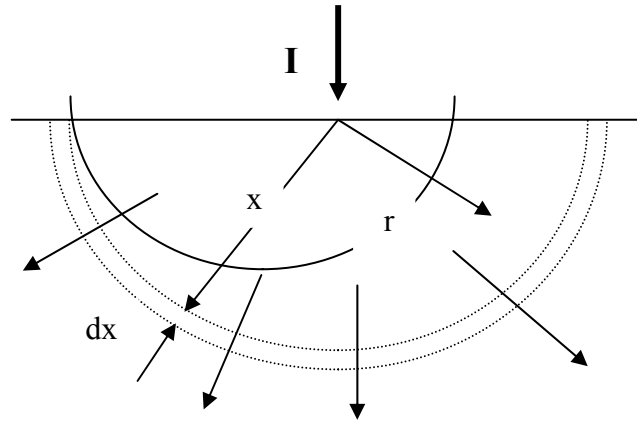




المعالجة الكيميائية للتربة الشكل (8.6)

## (8-8). مقاومة إلكترود التأريض

أبسط شكل للإلكترود هو الشكل النصف كروي والموضح في الشكل (8.7). المقاومة الأرضية لهذا الإلكترود عبارة عن مجموع مقاومات عدد لانهائي من المسطحات الكروية من التربة حول الإلكترود. بفرض أن تياراً مقداره  $I$  يمر للأرض من خلال هذا الإلكترود فإن هذا التيار سوف ينساب بصورة منتظمة في كل الاتجاهات خلال الشرائح النصف كروية متحدة المركز ومتسلسلة. وبفرض أن كل شريحة لها نصف قطر  $x$  وسمك  $dx$  فإن المقاومة الكلية  $R$  لنصف القطر الأكبر  $r_1$  هي:



الشكل (8.7)

$$R = \int_{r_2}^{r_1} \frac{\rho dx}{2\pi x^2} = \frac{\rho}{2\pi} \left( \frac{1}{r} - \frac{1}{r_1} \right)$$

$$R_{\infty} = \frac{\rho}{2\pi r}$$

حيث إن  $\rho$  هي المقاومة النوعية للتربة. وعندما تكون  $r_1 \leftarrow \infty$

## (8-9). مقاومة قضيب التأريض

قضيب التأريض واحد من أبسط وأقل أنواع إلكتروادات التأريض تكلفة اقتصادياً والمستخدم بكثرة في عمليات التأريض للشبكات الكهربائية. يمكن حساب المقاومة الأرضية لقضبان التأريض لو تم تبسيطه إلى قطع ناقص (Ellipsoid) كامل الدوران طول محوره الأكبر يساوي ضعف طول قضيب التأريض  $L$  وطول محوره الأصغر يساوي قطر قضيب التأريض  $d$

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{4L}{d}$$

إذا اعتبر القضيب على أنه أسطوانة الشكل بنهاية نصف كروية فالعلاقة التحليلية للمقاومة الأرضية  $R$  تأخذ الشكل :

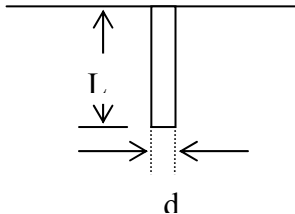
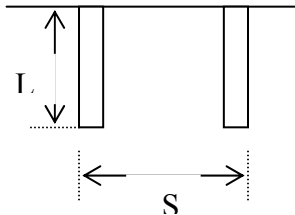
$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{2L}{d}$$

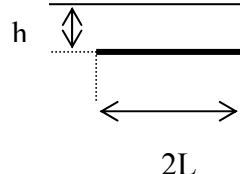
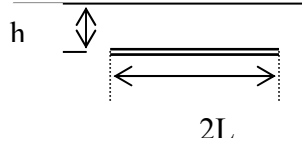
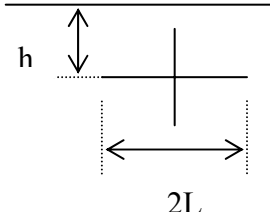
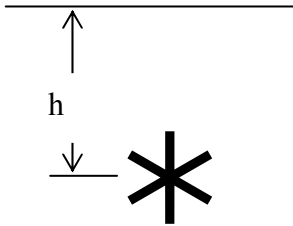
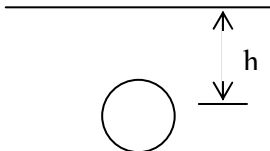
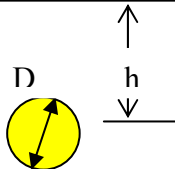
ولو اعتبر قضيب التأريض على أنه يحمل تياراً منتظماً على طول القضيب فتصبح المعادلة كما يلي:

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

ويعطى جدول (8-4) المعادلات التقريبية للمقاومة الأرضية لمختلف أشكال الإلكترونيادات الأرضية.

جدول (8-4)

$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left[ \ln \left( \frac{8L}{d} \right) - 1 \right]$	إلكترواد أرضي	
$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left[ \ln \left( \frac{8L}{d} \right) - 1 \right] + \frac{\rho}{2\pi S} \left\{ 1 - \frac{L^2}{3S^2} \right\}$	إلكترودان أرضيان	
$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left[ \ln \frac{32L^2}{ds} - 2 + \frac{S}{2L} - \frac{S^2}{16L^2} \right]$	(S < L)	

$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left( \frac{16L^2}{dh} - 2 + \frac{h}{L} - \frac{h^2}{4L^2} \right)$	سلك أفقي	
$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left[ \ln \frac{8L^2}{ah} + \frac{a^2 - \pi ab}{2(a+b)^2} - 1 + \frac{h}{L} - \frac{h^2}{4L^2} \right]$	شريحة أفقية (سمك a والعرض b)	
$R = \frac{\rho}{8\pi L} \left( \ln \frac{4L^2}{dh} + 2.9 - 2.14 \frac{h}{L} + 2.6 \frac{h^2}{L^2} \right)$	أربع نقاط على هيئة نجمة	
$R = \frac{\rho}{12\pi L} \left( \ln \frac{4L^2}{dh} + 6.85 - 6.26 \frac{h}{L} + 7 \frac{h^2}{L^2} \right)$	ست نقاط على هيئة نجمة	
$R = \frac{\rho}{2\pi^2 D} \ln \frac{16D^2}{dh}$	حلقة سالكية قطرها D	
$R = \frac{\rho}{4D} + \frac{\rho}{8\pi h} \left( 1 - 0.036 \frac{D^2}{h^2} \right)$	لوح معدني دائري موضوع أفقياً	
$R = \frac{\rho}{4D} + \frac{\rho}{8\pi h} \left( 1 + 0.018 \frac{D^2}{h^2} \right)$	لوح معدني دائري موضوع رأسياً	

### (Step and Touch Potentials). جهد الخطوة وجهد اللمس بالقرب من محول واقع عليه خطأ (8-10)

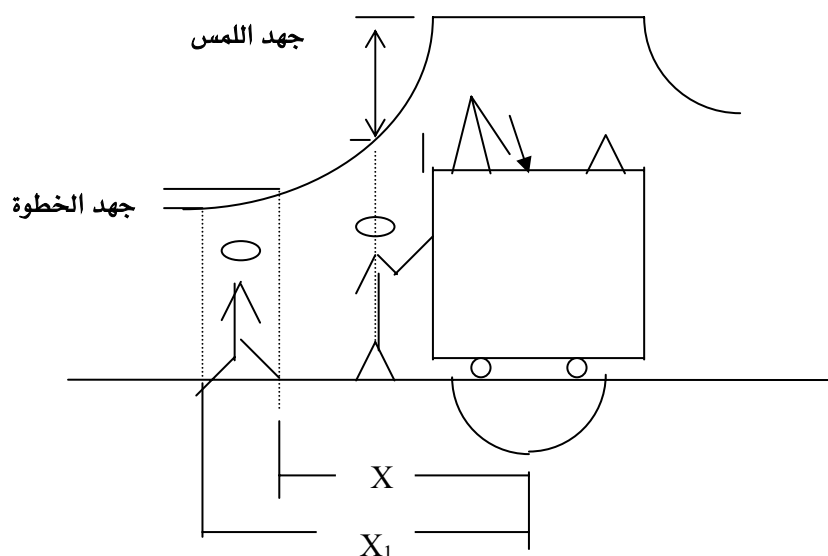
نفترض أن هناك محولاً بمحطة محولات موصل جسمه الخارجي (Tank) بالأرض خلال إلكترود أرضي نصف كروي ، الشكل (8-8). لو حدث قصر على عازلات المحول ذات الجهد العالي فسوف يمر تيار مقداره  $I$  للأرض.

بافتراض أن نصف قطر نصف الكرة  $R$  فإن جهد جسم المحول يكون:

$$V = I \frac{\rho}{2\pi R}$$

لذلك إذا وجد شخص بجوار المحول لحظة حدوث القصر ويكون ملامساً لجسم المحول فإن الجهد الواقع على جسمه يكون مساوياً لجهد جسم المحول ويسمى في هذه الحالة بجهد اللمس.

أما إذا كان الشخص واقفاً على مسافة من المحول وإحدى قدميه على مسافة  $X$  والأخرى على مسافة  $X_1$



شكل (8-8)

فإن الجهد الواقع على جسمه يسمى جهد الخطوة ويساوي :

$$V_{\text{step}} = \frac{\rho I}{2\pi} \left( \frac{1}{X} - \frac{1}{X_1} \right)$$

هذه الجهود الواقعة على الجسم يمكن أن تصل إلى قيم خطيرة على حياة الأشخاص والفنيين المتواجدين في المحطات الكهربائية ولذلك يجب أن يصمم نظام التأريض ليكون آمناً للأشخاص والفنيين العاملين داخل محطات الكهرباء.

مثال: محول قوى كهربية تم تأريضه بواسطة إلكترود نصف كروي نصف قطره 0.5 متر في تربة لها مقاومة نوعية 120 أوم. متر حدث قصر بين موصل الجهد العالي والأرض ومر تيار قصر مقداره 1500 أمبير احسب.

(أ) جهد جسم المحول عند لحظة القصر.

(ب) فرق الجهد عبر شخص واقف بالقرب من المحول بحيث أن إحدى قدميه على بعد 4 متر من المحول والأخرى على بعد 4.8 متر من المحول.

الحل:  $r=0.5 \text{ m}$ ,  $\rho=120 \Omega.m$ ,  $I=1500 \text{ A}$

$$V = \frac{\rho}{2\pi r} = \frac{120 \times 1500}{2\pi \times 0.5} = 57295.8 \text{ V} \quad \text{(أ) جهد اللمس}$$

$$= 57.2958 \text{ kV}$$

$$V = \frac{\rho I}{2\pi} \left( \frac{1}{x_1} - \frac{1}{x_2} \right) = \frac{120 \times 1500}{2\pi} \left( \frac{1}{4} - \frac{1}{4.8} \right) = 1193.66 \text{ V} \quad \text{(ب) جهد الخطوة}$$

$$= 1.193 \text{ kV}$$

### (8-11). الملاحظات الفنية على التأريض باستخدام قضبان التأريض

من النظرة العملية فإن أنسب أنواع إلكترودات التأريض هي قضبان التأريض. والمزايا العملية لقضبان التأريض على الأنواع الأخرى يمكن تلخيصها في الآتي:

١. رخص سعرها مقارنة بالأنواع الأخرى
٢. عندما تكون الرطوبة الدائمة بالأرض على مسافات بعيدة فإن قضبان التأريض يمكن أن تصل إلى الأعماق المطلوبة مما يؤدي إلى تقليل قيمة المقاومة.
٣. التوصيل بين قضيب التأريض وطرف التوصيل للأجهزة في منتهى البساطة ويمكن أن يوضع فوق سطح الأرض.
٤. المعالجة الكيميائية بالمحاليل الملحية تعتبر هامة جداً، وطريقة المعالجة في حالة قضبان التأريض بسيطة وسهلة مقارنة بالأنواع الأخرى.
٥. يمكن وضع العدد المطلوب والكافي للمقاومة الأرضية المطلوبة وفي المساحة المعينة.
٦. الطول الأكبر من قضيب التأريض له الميزة بإعطاء مقاومة نوعية أقل للتربة الأرضية.

## (8-12). نظم الإلكترويدات المتعددة

للحصول على قيمة منخفضة للمقاومة الأرضية يمكن أن نستعمل أكثر من إلكترود أرضي. توصل الإلكترويدات الأرضية على التوازي لتقليل قيمة المقاومة.

في حالة استخدام عدد (n) إلكترود متماثلين وكانت R هي قيمة المقاومة الأرضية للإلكتروود الواحد وبفرض أن الإلكترويدات الأرضية لا تؤثر على بعضها البعض فإن المقاومة الكلية للإلكترويدات هي:

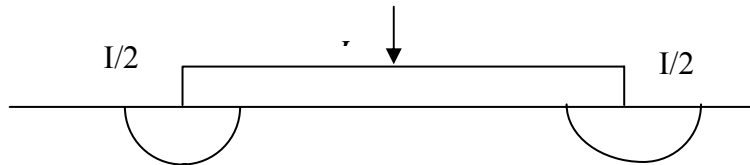
$$R_n = R/n$$

ولكن التأثير المتبادل (mutual effect) للإلكترويدات لها تأثير مباشر على القيمة المقاسة للمقاومة الأرضية. وفي هذه الحالة تكون قيمة المقاومة الكلية للإلكترويدات هي:

$$R_{\text{system}} = R/(n\eta) = R_n / \eta$$

حيث إن:  $\eta$  هي معامل الحجب (screening coefficient) وهي دائماً أقل من 1.

ويمكن حساب معامل الحجب للإلكترودين النصف كرويين، كما في الشكل (8.9):



شكل (8.9)

بفرض أن I هو تيار القصر وللتماثلية بين الإلكترودين فإن التيار المار في كل إلكترود سوف يكون I/2 وجهد الإلكترودين المتصلين على التوازي متساويين:

$$\therefore V = V_I = V_{II}$$

الجهد V يساوي الجهد أثناء مرور التيار I/2 مضافاً إليه الجهد خلال مجال الإلكتروود الآخر.

$$V = \frac{I}{2} \frac{\rho}{2\pi r} + \frac{I}{2} \frac{\rho}{2\pi d} = \frac{\rho I}{4\pi} \left( \frac{1}{r} + \frac{1}{d} \right)$$

حيث أن  $d$  هي المسافة بين الإلكترودين و  $r$  هي نصف قطر الإلكتروود. يمكن حساب قيمة مقاومة النظام كما يلي:

$$R_{\text{system}} = \frac{V}{I} = \frac{\rho}{4\pi} \left( \frac{1}{r} + \frac{1}{d} \right)$$

ويمكن حساب معامل الحجب كما يلي:

$$\eta = \frac{R/2}{R_{\text{system}}} = \frac{\frac{\rho}{4\pi r}}{\frac{\rho}{4\pi} \left( \frac{1}{r} + \frac{1}{d} \right)} = \frac{1}{1 + (r/d)}$$

من المعادلة السابقة نجد أن معامل الحجب  $\eta$  يقل بزيادة نصف قطر الإلكتروود الأرضي وكذلك يقل بتقليل المسافة بين الإلكتروودين.

### (8-13). شبكة التأريض

الطريقة المثلى للحصول على قيمة صغرى للمقاومة الأرضية لمحطات الكهرباء ذات الجهد العالي استخدام شبكة تأريض للمحطة. تستخدم في هذه الحالة مجموعة إلكترودات نحاسية تدفن في الأرض بدءاً من مسافة تتراوح بين 30 إلى 60 سم من سطح الأرض وتترك مسافة تتراوح بين 3 إلى 10 أمتار بين الإلكتروود والآخر المجاور له. وتوصل الإلكتروودات ببعضها بشبكة أرضية جيدة اللحام. تصميم حجم موصلات الشبكة الأرضية يتطلب تجنب الانصهار تحت ظروف تيار القصر. وتحسب قيمة مساحة المقطع كما يلي (IEEE, 1987) :

$$a = 5 \times 10^{-4} I \sqrt{\frac{76t}{\ln\{(234 + T_m)/(234 + T_a)\}}}$$

حيث إن:  $a$  هي مساحة المقطع بالملم<sup>2</sup> ،  $t$  هو زمن القصر بالثانية و  $T_m$  هي أقصى قيمة لدرجة الحرارة يسمح بها و  $T_a$  هي درجة حرارة الوسط المحيط.



## (8-14). المقاومة الأرضية لشبكة الأرضي

مقاومة التأريض تحدد أقصى قيمة لارتفاع الجهد لنظام التأريض أثناء حدوث القصر. ويمكن استعمال المعادلة التالية لتحديد قيمة المقاومة الأرضية لشبكة التأريض:

$$R = \frac{\rho}{L} \left( \ln \frac{2L}{\sqrt{dh}} + K_1 \frac{L}{\sqrt{A}} - K_2 \right)$$

حيث أن:  $L$  هي طول كل إلكترودات التأريض في الشبكة و  $A$  هي المساحة الكلية للشبكة و  $d$  هي قطر إلكترودات التأريض و  $K_1$  و  $K_2$  هي العوامل المعطاة ببيانها والدالة في النسبة بين الطول والمسافة.

## (8-15). قياس مقاومة الأرضي

تتكون المقاومة الأرضية عملياً من إلكترود التأريض محاطاً بجسم الأرض والتي تمتد نظرياً إلى ما لانهاية. عملياً فإن حوالي ٩٨% من المقاومة الكلية الفعالة تكون في حدود مسافة محددة من التربة. لتحديد المسافة حول الإلكترود التي تحتوي على النسبة المعنية من المقاومة الأرضية نفترض وجود إلكترود نصف كروي. مقاومة هذا الإلكترود لمسافة  $r_1$  هي:

$$R_1 = \frac{\rho}{2\pi} \left( \frac{1}{r} - \frac{1}{r_1} \right)$$

مقاومة الإلكترود لمسافة ما لانهاية هي :

$$R = \frac{\rho}{2\pi} \cdot \frac{1}{r}$$

لذلك فإنه:

$$\frac{R_1}{R} = \frac{\frac{1}{r} - \frac{1}{r_1}}{\frac{1}{r}} = 1 - \frac{r}{r_1}$$

فإذا كانت النسبة بين  $R_1$  إلى  $R$  هي ٩٨% فإن :

$$r_1 = \frac{100r}{100 - 98} = 50r$$

لذلك فإن المساحة المحيطة بالإلكترود وتحتوي على ٩٨% تقريباً من المقاومة الكلية هي مساحة المقاومة لهذا الإلكترود.

لعمل أي نوع من القياسات فلا بد من أخذ حقيقتين هامتين في الاعتبار هما :

١. كل مساحة المقاومة المطلوبة لابد أن تتضمن في القياسات.

٢. لو استخدم إلكتروود أرضي مساعد فمن الضروري أن نتأكد أن مساحة المقاومة للإلكتروود المساعد لا تتداخل مع مساحة المقاومة للإلكتروود الرئيس.

هناك نقطة أخرى هامة يجب أن تؤخذ في الاعتبار هو عدم السماح باستخدام التيار المستمر في القياس لأنه يسبب استقطاباً وتحليلاً للتربة. لذلك من الممكن أن ينتج غازات والتي تؤثر في سريان التيار الكهربائي في التربة. لذلك فهي لا تعطي القيمة الحقيقية للمقاومة تحت الظروف العادية. كذلك لا يسمح باستخدام قيم عالية من التيار المتردد حيث إن الفقد الكبير في القدرة الكهربائية يعطي نفس تأثيرات التيار المستمر.

### . طريقة الثلاث نقاط (8-15-1)

في هذه الطريقة نستخدم اثنين من الإلكتروودات المساعدة مع الإلكتروود الرئيسي وتقاس المقاومة لكل الإلكتروودات.

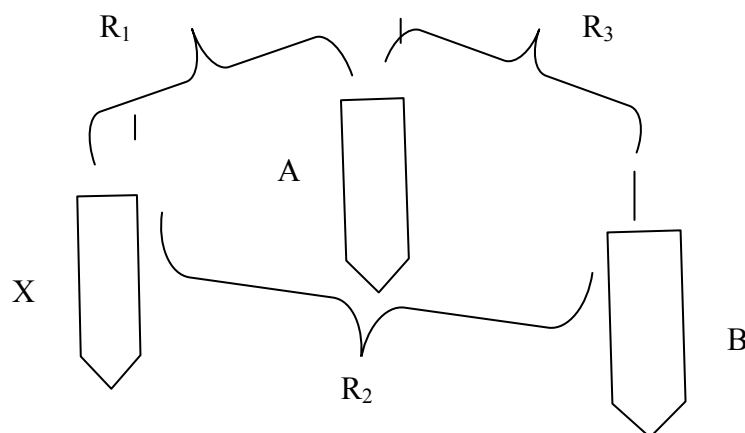
$$R_1 = X + A$$

$$R_2 = X + B$$

$$R_3 = X + B$$

حيث أن:  $R_1$  المقاومة بين الإلكتروود المساعد  $A$  والإلكتروود الرئيس  $X$  و  $R_2$  المقاومة بين الإلكتروود المساعد  $B$  والإلكتروود الرئيس  $X$  و  $R_3$  المقاومة بين الإلكتروود المساعد  $A$  والإلكتروود المساعد  $B$ . ومن العلاقات السابقة نستنتج أن:

$$X = (R_1 + R_2 + R_3)/2$$



الشكل (8.10) طريقة الثلاث نقاط

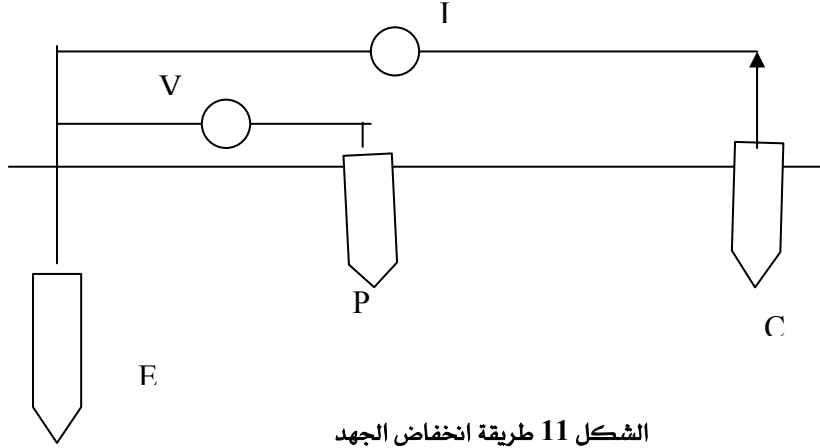
ومن الضروري زيادة المسافة بين الإلكترودات حتى تصبح قيمة المقاومة المقاسه ثابتة وأي خطأ في قيم المقاومات المقاسه يؤدي إلى خطأ أكبر في قيمة المقاومة المحسوبة  $X$ .

## (8-15-2). طريقة انخفاض الجهد

هذه الطريقة هي الشائعة الاستعمال في قياس المقاومة الأرضية. في هذه الطريقة يستعمل إلكترودان مساعدان P و C على مسافة مناسبة للإلكترود الرئيسي E.

بوضع مصدر كهربائي له تيار معرف بين الإلكترودين E و C ويقاس فرق الجهد بين الإلكترودين E و B إذا كان التيار المار I و فرق الجهد المقاس V فإن قيمة المقاومة الأرضية تكون:

$$R_e = V/I$$



الشكل 11 طريقة انخفاض الجهد

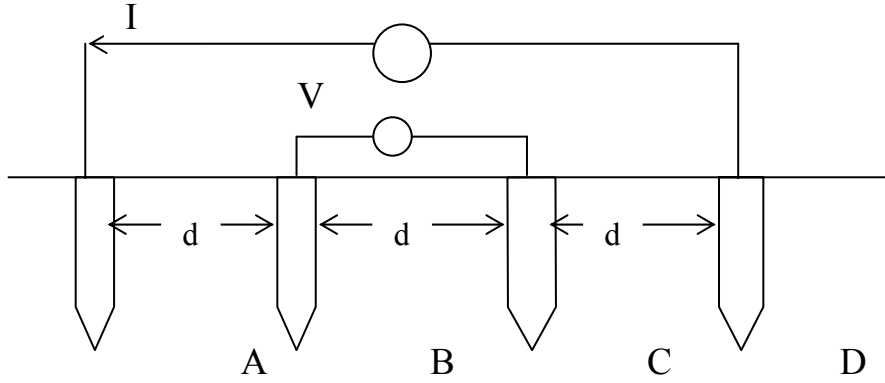
ومن الواضح في هذه الطريقة أن مقاومة الإلكتروودات المساعدة لا تتضمن في هذه الطريقة. وإن كانت مقاومة الإلكتروود C هي أحد العوامل المحددة لقيمة التيار I لكن هذا بدوره يحدد قيمة فرق الجهد V لذلك فإن المعادلة  $V/I$  غير معتمدة على قيمة مقاومة الإلكتروود C

#### (8-16). قياس مقاومة الأرض Grounding Resistivity Measurement

لغرض قياس مقاومة الأرض تستخدم طريقة أربعة إلكترودات المبينة في الشكل (8.12). بإمرار تيار بين الإلكتروود A و الإلكتروود D وقياس الجهد بين الإلكتروود B و الإلكتروود C يمكن معرفة قيمة مقاومة الأرض.

$$\rho = 2 \pi d (V/I)$$

حيث أن  $\rho$  هي مقاومة الأرض بالأوم مترو V فرق الجهد المقاس بين B و C بالفولت و I هو التيار المار بين A و B.



شكل (8.12) طريقة الأربعة إلكترودات لقياس مقاومة الأرض

**مثال :** لقياس مقاومة تربة داخل محطة توليد كهربائية جديدة استخدمت طريقة أربعة إلكترودات المسافة بين كل إلكترود والإلكترود المجاور 20 مترو قراءة جهاز قياس المقاومة الأرضية يشير إلى 1.2 أوم. احسب مقاومة التربة.

**الحل :**  $d=20 \text{ m}, \quad R=1.2 \Omega$

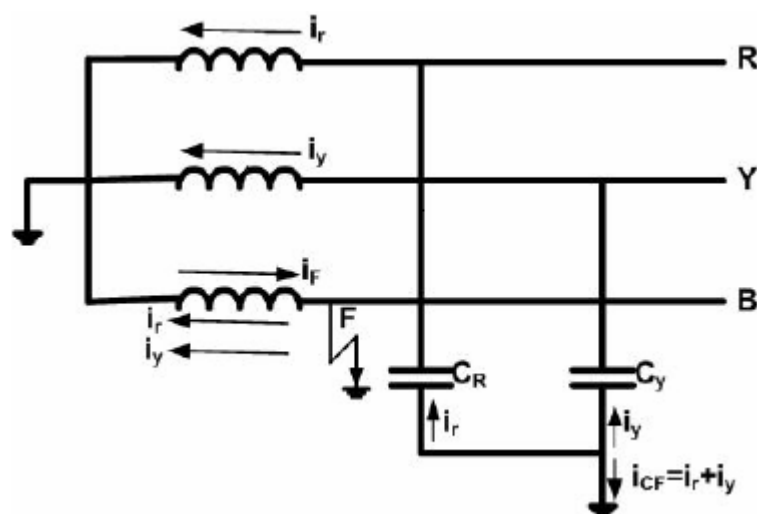
$$R = \frac{\rho}{2\pi d} \quad \therefore \rho = R \cdot 2\pi d = 1.2 \times 2\pi \times 20 = 150.8 \Omega \cdot \text{m}$$

### (8-17) تأريض نقطة التعادل Neutral Earthing

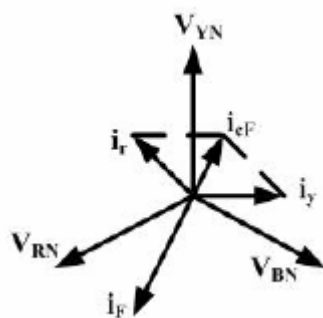
تأريض المنظومة الكهربائية هو توصيل نقطة التعادل بالأرض. ويتم تأريض نقطة التعادل إما عن طريق توصيل الصلب بالأرض (solidly grounding) أو توصيل الصلب بالأرض من خلال مقاومة مادية (resistance grounding) ممانعة حثية (reactance grounding) أو من خلال تأريض رنيني (resonant grounding) باستخدام ملف بترسون والذي يختار قيمته ليكافئ تيار التسريب السعوي.

## (8-17-1) التأريض الصلب

التأريض الصلب هو عمل توصيل معدني مباشر من نقطة التعادل بالأرض من خلال قضيب أرضي أو عدة قضبان أرضية. ويبين الشكل (8.13) نظاماً ثلاثي الأوجه نقطة تعادله مؤرضة تأريضاً صلباً ويوجد منه خطأ أرضي (ground fault) عند النقطة F في الوجه B. ويبين الشكل (8.14) الشكل الطوري للتيارات والجهود.



الشكل (8-13) التأريض الصلب



الشكل (8.14) الشكل الطوري للتيارات والجهود

باعتبار أن الخطأ حدث عند النقطة F على الوجه B فإن التيار في الوجه B يتكون من:

(أ) الجمع الاتجاهي للقيم  $(i_F + i_Y)$  تساوي تيار الخط الأرضي  $i_{CF}$  وهذا التيار يسري من الوجه الذي حدث فيه الخطأ B إلى الأرض.

(ب) تيار الخطأ  $I_F$  يغذي من مصدر القدرة.

وبتحليل تيار الخطأ باستخدام المركبات المتماثلة (symmetrical component) يمكننا الحصول على تيار الخطأ كالتالي:

$$I_F = \frac{3V_{BN}}{Z_1 + Z_2 + Z_0} = \frac{3V_{ph}}{Z_1 + Z_2 + Z_0}$$

حيث  $V_{ph}$  هي جهد الوجه و  $Z_1$  و  $Z_2$  و  $Z_0$  هي معاوقات التسلسل الموجب (positive sequence) والسالب (negative sequence) والصفري (zero sequence).

ومن مميزات التأريض الصلب ما يلي:

(أ) جهد نقطة التعادل يكون دائماً مساوياً جهد الأرض تحت كل ظروف التشغيل وبذلك فإن جهد

أي موصل والأرض لن يزيد عن جهد الوجه العادي لنظام القدرة الكهربائي.

(ب) القيمة الكبيرة لتيار الخطأ  $I_F$  يلاشي تأثير التيار السعوي  $i_{CF}$  لذلك لن تحدث ظاهرة التفريغ للأرض أو زيادة فجائية للجهد.

(ت) يمكن توظيف مانعات الصواعق (lightning arresters) في نظم القوى المؤرضة تأريضاً صلباً

ومن عيوب هذا النوع من التأريض أن زيادة تيار الخطأ الأرضي ينتج عنه تأثير كبير على ملامسات القواطع الكهربائية وكذلك تتأثر به دوائر الاتصالات المجاورة للنظام الكهربائي.

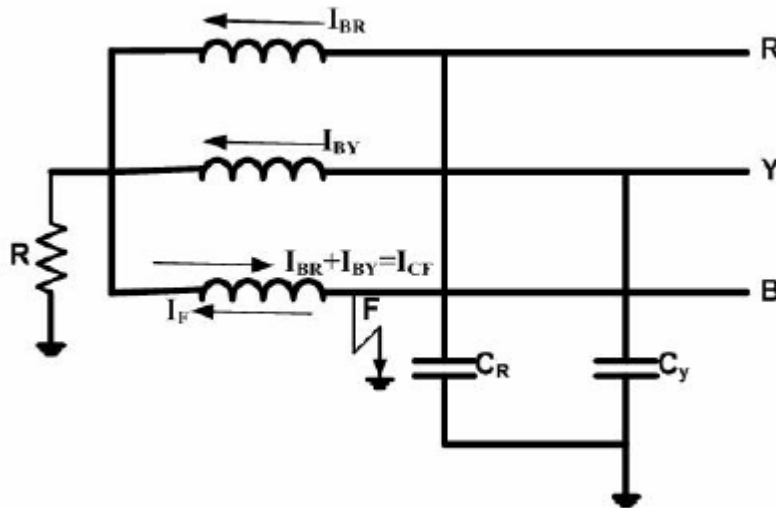
## (8-17-2) التأريض من خلال مقاومة مادية

يمكن التقليل من تيار الخطأ الأرضي الكبير—وهو أحد العيوب الكبيرة للتأريض الصلب— وذلك بوضع عنصر كهربائي بين نقطة التعادل والأرض للحد من هذا التيار. ويستخدم في هذا الإطار مقاومة مادية سواء أكانت مقاومة معدنية أم سائلة (مقاومة مائية). وتستخدم هذه الأيام المقاومة السائلة بصورة أكبر. ويبين الشكلات (8.15) و (8.16) خطأ أرضياً عند النقطة F على الوجه B والشكل الطوري للتيارات وجهود ثلاث التيارات عند النقطة F هي  $I_F$  و  $I_{BR}$  و  $I_{BY}$  ويتأخر التيار  $I_F$  عن جهد الوجه بزاوية تعتمد على قيمة المقاومة R والممانعة الحثية للنظام حتى نقطة الخطأ. التيار  $I_{CF}$  هو المجموع الاتجاهي

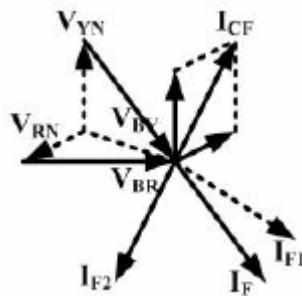
للتيارين  $I_{BY}$  و  $I_{BR}$  يتقدمان على الجهد  $V_Y$  و  $V_R$  بزاوية قدرها  $90^\circ$  ويجب ملاحظة أنه إذا زادت قيمة  $R$  بصورة كبيرة جداً فإن النظام يمكن أن يؤل إلى النظام غير المؤرض وكذلك إذا قلت قيمة  $R$  بصورة كبيرة جداً فإن النظام يمكن أن يؤل إلى النظام المؤرض تأريضاً صلباً لذلك فإن قيمة المقاومة لا بد أن تختار بحيث أن تيار الخطأ لا يزيد عن التيار الكلي المقنن للمحول أو المولد.

$$R = \frac{V_L}{\sqrt{3}I}$$

حيث إن:  $V_L$  هو جهد الخط بـ kV و  $I$  هو تيار الحمل الكامل لأكبر مولد أو محول بـ kA و  $R$  هي مقاومة التأريض بالأوم.



الشكل (8-15) التأريض من خلال مقاومة مادية



الشكل (8.16) الشكل الطوري للتيارات والجهود

ويمكن أيضاً استنتاج قيمة مقاومة التأريض باستخدام معادلة بيترسون كالتالي:

$$R = \frac{K}{C_R + C_Y + C_B}$$



حيث إن  $C_R$  و  $C_Y$  و  $C_B$  هي السعات بين الأوجه والأرض و  $K$  قيمة ثابتة تتراوح قيمتها بين 1.0 و 2.5. ومن مميزات هذا النوع من التأريض :

(أ) تسهيل استخدام الحماية الأرضية و تقليل من أخطار ظاهرة التفريغ للأرض.

(ب) تحسن من اتزان النظام الكهربائي.

ومن عيوب هذه الطريقة :

(أ) الفقد في القدرة في مقاومة التأريض والذي يتسبب في ارتفاع درجة حرارتها.

(ب) تكلفة المقاومة.

### (8-17-3) التأريض من خلال ممانعة حثية

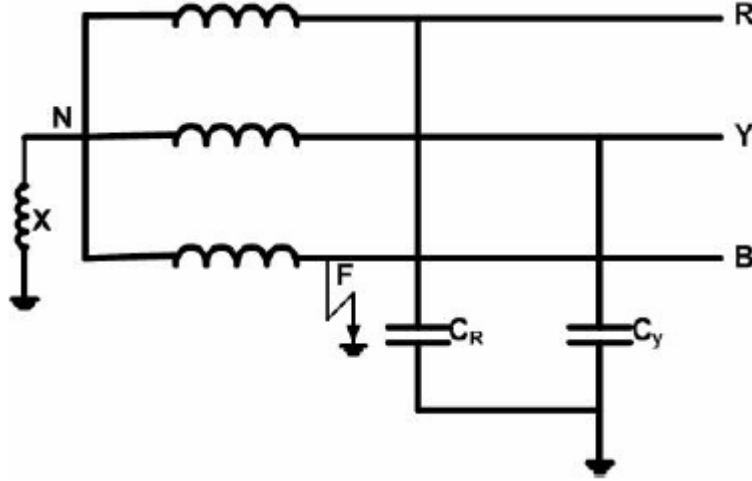
التأريض من خلال ممانعه حثية يعني تأريض نقطة التعادل باستخدام معاوقة حثية ويطلق على النظام الكهربائي أنه مؤرض من خلال ممانعة حثية إذا كانت النسبة بين ممانعة التسلسل الصفري ( $X_0$ ) ومعاوقة التسلسل الموجب ( $X_1$ ) أكبر من 3 (i.e.  $X_0/X_1 > 3$ ) ولكن أقل من القيمة المطلوبة لرنين التأريض (resonant earthing)

### (8-17-4) التأريض من خلال ملف خامد للشرارة (ملف بيترسون)

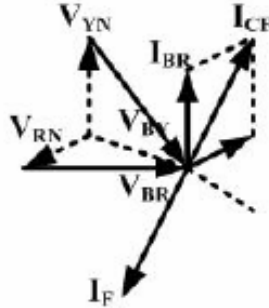
يمكن الحصول على مميزات نقطة التعادل الحرة بربط نقطة التعادل لثلاثة أوجه لمصدر التيار الكهربائي في الأرض من خلال مفاعلة حاثية خاصة تسمى ملف خامد للشرارة أو ملف بيترسون. وهذا الملف يمنع دخول التيارات السعوية الغير متزنة للخط الأرضي ولذلك ينتج شرر متقطع خطير. ويبين شكلاً (18.7) و (18.8) التأريض من خلال ملف بيترسون  $X$  وبفرض أن هناك خطأ عند النقطة  $F$  على الوجه  $B$  فإن الجهد بين الوجهين  $R$  و  $Y$  والأرض يصبح مساوياً لجهد الخط للمصدر والتيارات السعوية من هذين الوجهان للأرض تكون مكافئة المارة في مكثفين متماثلين  $C_R$  و  $C_Y$ . نواتج التيارات في هذين المكثفين تتأخر بزاوية مقدارها  $90^\circ$  عن الجهدين الناتجين من  $R$  إلى  $B$  ومن  $Y$  إلى  $B$ . ويكون الجهد بين نقطة التعادل والأرض مماثلاً لما بين نقطة التعادل و  $B$  وطبقاً لهذا فإن تياراً سيسري من خلال  $X$  للأرض متأخراً بزاوية  $90^\circ$  عن الجهد بين نقطة التعادل والوجه  $B$  والذي له نفس زاوية الطور للجهدين الناتجين من  $R$  إلى  $B$  ومن  $Y$  إلى  $B$ .

التيار السعوي الناتج من الأوجه  $R$  و  $Y$  والتيار الساري من نقطة التعادل من خلال  $X$  متقدم  $90^\circ$  ومتأخر  $90^\circ$  عن الجهد المناظر على الترتيب لذلك فإن اتجاهيهما متضادان في كل لحظة ولذلك فإذا ضبطت قيمة  $X$  بطريقة صحيحة فإن التيارين سيكونان متساويين ومتضادين وبذلك تصبح محصلتهما صفراً

لذلك لن يدخل النظام الكهربائي أي تيار عند نقطة الخطأ على الوجه B وبالتالي فإن التيارات السعوية من الوجهين الآخرين سيرجعان للمصدر من خلال ملف الإخماد X.



الشكل (8-17) التأريض من خلال ملف بيترسون



شكل (8.18) الشكل الطوري للتيارات والجهود

التيار السعوي الناتج ثلاثة أمثال تيار الشحن العادي لوجه واحد:

$$I_{CF} = \sqrt{3} I_{BR}$$

$$I_{BR} = \sqrt{3} \frac{V_L}{X_C} = \frac{\sqrt{3} \sqrt{3} V_{ph}}{X_C} = 3 \frac{V_{ph}}{X_C}$$

حيث إن  $V_L$  هو جهد الخط و  $X_C$  هو السعة بين الخط وخط التعادل.

$$I_F = \frac{V_{ph}}{X_L}$$

تيار الخطأ

حيث إن  $X_L$  هي الممانعة الحثية للملف.

وكما ذكرنا سابقاً فإن  $I_{CF}$  يعادل بتيار الخطأ  $I_F$

$$I_{CF} = I_F$$

$$\frac{3V_{ph}}{X_C} = \frac{V_{ph}}{X_L}$$

أو

$$X_L = X_C/3$$

ومنها

$$L = \frac{1}{3\omega^2 C}$$

أو

$$I = \frac{3V_{ph}}{X_C}$$

التيار المقنن للملف

وتصمم ملفات الإخماد كالمحولات الكهربائية المغمورة بالزيت وتتكون من ملفات ملفوفة على قلب حديدي بها نقاط تفريع بحيث يمكن ضبط المقاومة الأومية للقيمة التي يكون فيها التيار المار للخطأ الأرضي مناظراً للتيار السعوي غير المتزن للنظام الكهربائي.