وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة القادسية- كلية التربية
قسم الفيزياء

الدوائر والاجهزة المستخدمة للتأريض ومانعة الصواعق

بحث مقدم الى قسم الفيزياء كجزء من متطلبات نيل درجة البكالوريوس في علوم الفيزياء

من قبل

مروة جبار كاظم نور الهدى راعي عطيوي

بأشراف
م.د. فراس عائد نجم

2017م

شكر وتقدير

إلى أساتذة قسم الفيزياء المحترمين وأخص بالشكر الجزيل
الدكتور فراس عائد نجم
على كل ما بذله من جهد وعناء كبيرين فأدامهم الله لخدمة العلم أنه
نعم المولى ونعم المجيب.

الاهداء

إلى من أعيش لرؤياهم وتحت حنانهم (والدتي ووالدي).
إلى من ترى العيون بنورهم وتفرح لوجودهم وتحزن لفراقهم إلى من لا طعم للحديث بدونهم ولا معنى للحياة بغيرهم إلى من هم مني وأنا منهم إلى شموع حياتي (أخوتي واخواتي).
إلى من امتلكتهم وامتلكوني إلى من بطيبهم ملكوني إلى من سالت وتسيل لأجلهم عيوني إلى من بفراقهم يعذبوني طلبي منهم لا تنسوني (أصدقائي).

بسم الله الرحمن الرحيم

يَرْفَعُ اللّهُ الَّذِينَ آمَنُوا مِنكُمْ وَالَّذِينَ أُوتُوا الْعِلْمَ دَرَجَاتٍ وَاللّهُ بِمَا تَعْمَلُونَ خَبِيرٌ

صدق الله العظيم

الخلاصة

في هذا البحث سوف نتعرف على التأريض وكيفيته ومكوناته والطرق المختلفة لخفض مقاومة التاريض كذلك سوف نتعرف على المعدات والاجهزة الواجب تأريضها واهمية التأرض الجيد والفرق بين المنظومة الموؤرضه والغير الموؤرضه وقياس منظومة التأريض. ايضا سوف نتعرف على مانعة الصواعق والفرق بين التأريث والتأريض وبعض المصطلحات الهامة في التأريض.

الفصل الاول

المقدمة

1-1 المقدمة

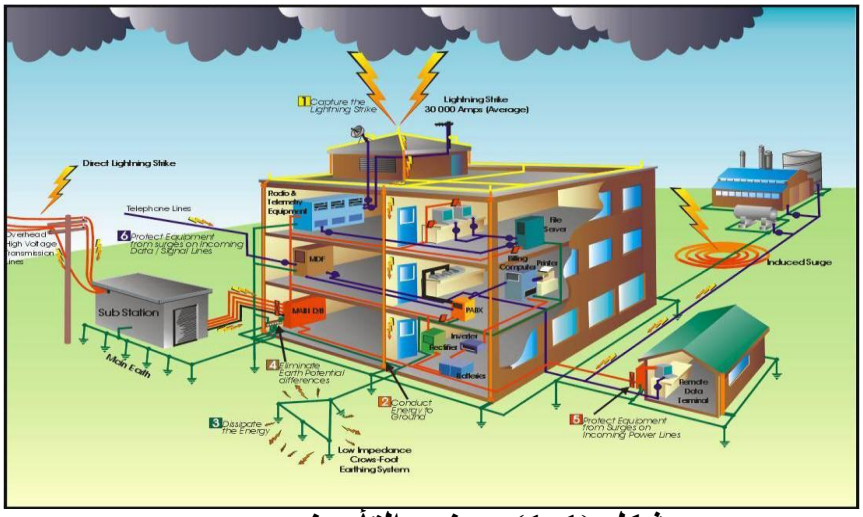
ان الارض هي كتله هائله جدا لاتحمل جهد كهربائي. اي ان جهدها هو صفر. اما اجزاء المنظومه الكهربائيه فيمكن ان تكون ذات جهد معين مقارنة بجهد الارض .ان الموصلات الحية لاجزاء المنضومة الكهربائية تحمل عادتا جهد كهربائي خلال عملها العادي. اما الاجزاء المعدنية الاخرى كهياكل وحاويات الاجهزة الكهربائية فهي لاتحمل جهدا كهربائيا خلال عملها العادي ولكنها يمكن ان تكون ذات جهد في حالت حدوث اي عطل كهربائي ممايعرض العاملين والمنشأت ال الخطراذا لم يتم اتخاذ اجراءات الوقايه الازمه .كتوصيل تلك الاجزاء بالشبكه الارضيه .ومن هنا جائة اهمة التأريض.

يعتبر التأريض من الضروريات الاساسية لسلامة الافراد والمعدات ولا يتطلب الكلفة المالية العالية. ويعتبر من اهم الاشياء للحفاظ ةالسلامة من اخطار الصواعق والكهرباء الساكنة او في حالة العطب لاي من خطوط نقل الطاقة الكهربائية. والتأريض يتكون من سلك موصل او قضيب ارضي يدفن في الارض لتحقيق مقاومة ارضي معينة وتختلف حسب نوع المادة والمواصفات وهنالك مشاكل كثيرة تحدث بسبب هبوط الفولتية او بسبب هبوط الجهد في فصل الصيف وبذلك فأن للتأريض وظيفته الممتازة بالحفاظ على الفولتية.

2-1 التأريض Grounding

التأريض هو توصيل كهربائي متعمد للأجهزة الكهربائية او الشبكة الكهربائية بالارض. وبدون وجود فيوز او مفتاح قاطع في هذا التوصيل. وهو مهم جدا لتوفير الحماية بالنسبة للانسان والمنظومة الكهربائية. ولكي نفهم فكرة التأريض على سبل المثال. اذا كان هنالك جهاز سخان كهربائي في المنزل بالطبع هذا الجهاز يتكون من سلك كهربائي معزول عن جسم السخان الخارجي. وفي حالة حدوث اي تلف في هذا العزل فأن التيار يسري مباشرتا الى جسم السخان وفي هذة الحالة سيصاب كل من يلمس السخان بصعقة كهربائية. اما في حالت التأريض فان التيار سيسري مباشرتا الى باطن الارض بواسطة سلك التأرض الموصل مع جسم الجهاز, وبهذا يتم توفير حماية كبيرة بالنسبة للنسان وللمنظومة الكهربائية. الشكل (1-1) يوضح الية التأريض في المباني.

ومن ناحية اخرى يصنف التأريض عادة الى صنفين اساسيين يتدرج تحت كل منهما اقسام وانواع فرعية من التأرض الاول وهو مايعرف بتأرض المنظومة وهو ايجاد اتصال بين الموصلات الحاملة للتيار والارض في نقطة او اكثر. والثاني هو التأريض الوقائي وهو ايجاد اتصال بالارض مع الاجزاء المعدنية غير الحاملة للتيار (تأرض الاجهزة).



شكل (1-1) يوضح التأريض

3-1 مكونات التأريض Grounding Components

يتكون التأريض من اربعة نقاط كلاتي:-

1- تربة الارض Earth.

هي التربة التي يوضع فيها الكترود التأريض وتختلف كل تربة في طبيعتها. فمنها التربية الطينية والرملية والصخرية ومنها الجافة والرطبو ومنها التي تحتوي على املاح ومعادن. وكل هذة العوامل تأثر في مقاومة التربة Earth Resistance او الارض والشكل (1-2) يوضح عملية التأريض.

الشكل (1-2) يوضح عملية التأريض

2- الكترودات التأريض Grounding Electrode.

الكترود التأريض هو قطعه معدنيه باشكال مختلفه تكون مدفونه في التربه على عمق مناسب وبحجم معين. والشكل (1-3) يوضح مكونات التأريض. تنقسم الكترودات التوصيل الى قسمين اساسيين

أ- الكترودات موجوده بطبيعتها في انشاء المباني

وهي عبارة عن الانشاءات المعدنيه الداخله في تكوين المبني والمتصله اتصالا جيدا او مستمرا بالارض وهي تشمل الاتي:

- ◄انابيب المياه والغاز المعدنيه
- ◄الهياكل المعدنيه للمبني
- ◄الاعمده و الابراج الحديديه والمدفونه في الارض
- ◄حديد التسليح والاعمده الخرسانيه

ب-الكترودات يتم تصنيعها وتركيبها بغرض التأريض.

وهي عباره عن قطعه معدنيه يتم تصنيعها وتجهيزها ودفنها في الارض واستعمالها في نظام التأريض.

الشكل (1-3) يوضح مكونات التأريض

3- -موصلات التأريض Grounding Conductor.

وهي تقوم بالتوصيل بين الاجهزه أوالمعدات او الاجسام المعدنيه المراد تأريضها مع قطب التأريض. وتحديد مقاومتها على حسب نوع الاستخدام ويفضل ان تكون مقاومتها قليله .وهي تتكون من اشكال عده مثل:

أ- سلك من النحاس او الالمنيوم معزول بماده بلاستيكيه باللون الاخضر مع الاصفر.او الاخضر فقط احيانا

ب- حصيره مجدوله عاليه من النحاس تستخدم لربط الاجهزه المتحركه.

وهنالك اشكال اخرى على شكل شريط مصمت عريض من النحاس او سلك مغلف بمادة بلاستيكيه والشكل (1-4) يوضح انواع موصلات التأريض.

الشكل (1-4) يوضح موصلات التأريض

4- تجهيزات الوصل والربط Bonding.

وهي تستخدم لربط الموصلات بقطب التأريض كما في الشكل (1-5) ويجب ان تكون من نفس الماده للموصل ولقطب التأريض.وهي عباره عن اشكال عديده حسب النوع والحجم للمنظومه.

شكل (1-5) وصلات ربط التأريض

4-1 الطرق المختلفه لخفض مقاومة التأريض Reduce Resistance Grounding

هنالك طرق عديده لخفض مقاومة التأريض وذلك لان المقاومه كلما قلت ادى ذلك الى نجاح منظومة التأريض حيث تتكون مقاومة التأريض من الاتي:

- مقاومات قضيب التأريض والموصلات المربوطه مع القضيب
- مقاومة التلامس بين القضيب والتربه
- مقاومة الارض المحيطه بقضيب التأريض

لذلك لابد من قياس مقاومة التأريض بعد الانتهاء من عملية التأريض فأذا لوحظ انها تزيد عن الحد الامسموح به وهو25 أوم فانه يلزم خفض هذه القيمه وذلك بأحد الطرق التاليه:

1- زيادة قطر القضيب

لايفضل استخدام اقطار اكبر من 18ملم

2- زيادة طول قضيب التأريض

هو240 سم للتربه العاديه.ولكن يمكن زيادة الطول الي 15متر على حسب نوع التربهNEC الطول الموصى به في

3- زيادة عدد قضبان التأريض

وذلك بدفن اكثر من قضيب في الارض على ان تكون المسافه240 سم بين القضيب والاخر للحصول على اقل مقاومه.ولكن مقاومة القضيب والموصلات المربوطه معه ليسة كبيره وكذلك مقاومة التلامس بين القضيب والتربه .لذلك فان مقاومة الارضي الفعليه تكمن في مقاومة التربه المحيطه بقضيب التأريض .ومن هنا تاتي اهمية الفقره الرابعه.

4- معالجة التربه كيميائيا

وهي كما سبق ذكرها من اهم المؤثرات على منظومة التأريض ويمكن معالجة التربه باحد الطرق الاتيه:

أ-عمل حفره مجاوره لقضيب التأريض تبعد عنه مسافه لاتزيد عن10سم وتملئ باملاح كبريتات المغنيسيوم او كبريتات النحاس او ملح صخري.ويكون منسوبها 30سم من سطح الارض. ب- يتم عمل خندق دائري حول القضيب بحيث لايقل القطر الداخلي للخندق عن45سم وعمق30 سم ويملئ بالمواد الكيمياويه ولكن يجب ان لايكون هنالك اتصال مباشر بين المواد الكيمياويه وقضيب التأريض.

5-1 الاجهزه والمعدات الواجب تأريضها Devices must be Grounding

لعمل شبكة تأريض جيده للمباني فانه من الضروري ان يتم تأريض العناصر الاتيه:

◄كل الاجسام المعدنيه الموجوده رأسيا ويزيد طولهل عن240 سم او افقيا ويزيد طولها عن150سم والمعرضه للتلامس

◄جميع الاجهزه الكهربائيه

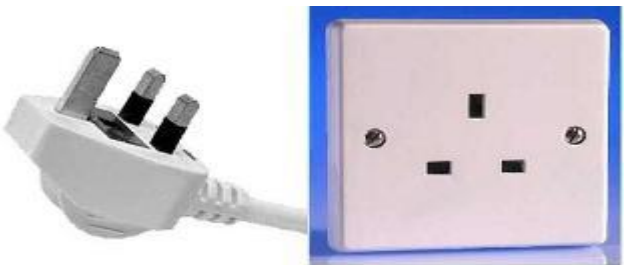
◄جميع مخارج ووحدات الاناره

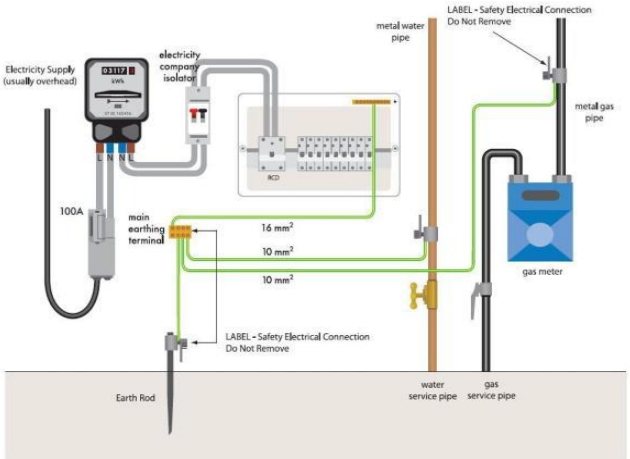
◄اقطاب التأريض.والتي يمكن ان تكون كالاتي:

1- اسياخ التسليح في المباني

2- موصل معدني يتم توصيله حول المباني ولايقل عن75سم من سطح الارض.

3-قضيب التأريض الصناعي والشكل (1-6) يوضح الاجهزة التي يجب تاريضها.





(1-6) الاجهزة والمعدات التي يجب تاريضها

(6-1) أهمية التأريض الجيد The Importance of Grounding

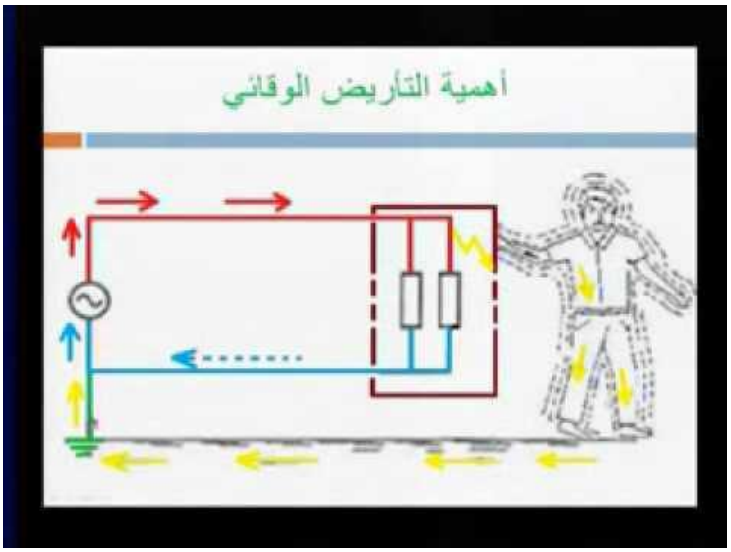
منظومة التأريض امر ضروري وهي تضمن السلامه للعاملين وحسن التشغيل للنظام الكهربائي لذلك التأريض الجيد هو من الامور المهمه جدا وذلك كالاتي: شكل (1-7) يوضح التأريض الوقائي

1- يحمي الافراد من الصعق الناتج عن قصور العزل اوانهياره

2- يقي من خطر التفريغ الكهربائي الناتج من الصواعق.

3- يحمي المعدات من اضرار التغيرات المفاجئه والكبيره في جهد التغذيه.

4- يؤمن تشغيلا مناسبا للمعدات والمنظومات الكهربائيه.



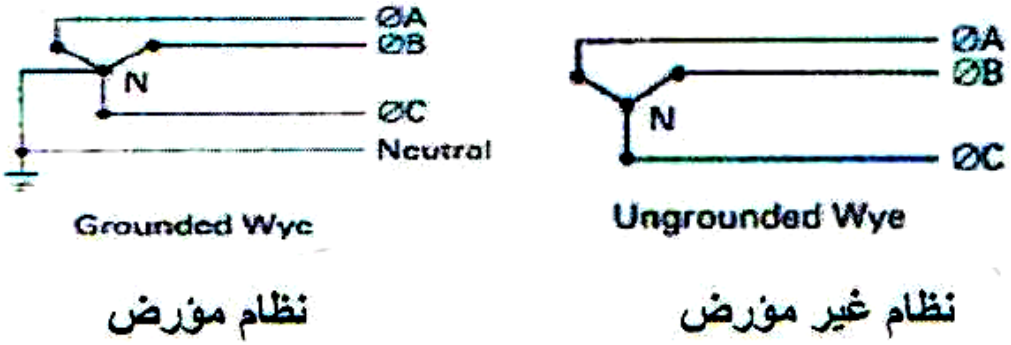
شكل (1-7) يوضح التأريض الوقائي

(7-1) الفرق بين المنظومه المؤرضه وغير المؤرضه Grounding and Ungrounded System

يطلق اسم المنظومه غير المؤرضه على المنظومه التي لاتحتوي على اتصال متعمد بالارض عن طريق توصيل نقطة المتعادل بالارض مثلا او عن طريق استخدام طرق معينه للحصول على مسار أرضي. اما المنظومه المؤرضه فقد سبق ذكرها ولذلك يوضح الجدول (1-1) والشكل (1-8) ادناه الفرق بين المنظومتين وتوضيح الرسومات.

الموضوع	المنظومه المؤرضه	المنضومه غير المؤرضه
ظاهرة القوس الكهربائي	**لاتحدث**	**تحدث في حالة دائرة القصر**
مخاطر ارتفاع الجهد	**لاتنشأ بين الاطوار السليمه**	**تنشأ في حالة حدوث قصر لاحد الاطوار مع الارض**
استمرارية الخدمه	**أكثر استمراريه**	**عمرها محدود بحدوث باول عطب بالدائره**
امكانية منظومة الحمايه	**في حالة تأريض المتعادل فأنه يسمح بوجود مسار التيار الصفري وهذا مايجعل ضبط واداء انظمة الحمايه اكثر دقه**	**لا تحتوي على مركبات التتابع الصفري للتيار والفولتيه**

الجدول (1-1) يوضح الفرق بين المنظومة المؤرضة وغير المؤرضة



الشكل (1-8) يوضح الفرق بين النظام المؤرض وغير المؤرض

(1-8) طرق القياس Grounding Measuring

هنالك طرق عديده لقياس التأريض وهي تتوقف دائما على مقاومة التربه والنوعيه وعلى نسبة الرطوبه والمكونات الموجوده في التربه. وعليه فهي تتغير موسميا طبقا لكمية المياه المتصرفه فيها.

لذلك يوصى بعمل الاختبارفي نهاية فصل الجفاف نظرا لتأثير الرطوبه الفعال.

تستخدم في بعض الاحيان اجهزه خاصه لقياس مقاومة التأريض كما في الشكل (1-9) تعمل بجهد ربما يكون عاليا مما يسبب صدمه كهربائيه للعمال.عليه يجب أخذ الاحتياطات اللازمه.

◄ يجب قياس مقاومة الالكترود بعد وضعه في الارض ويجب ان تكون هنالك قياسات دوريه للاطمئنان على قيمة تلك الامقاومه.

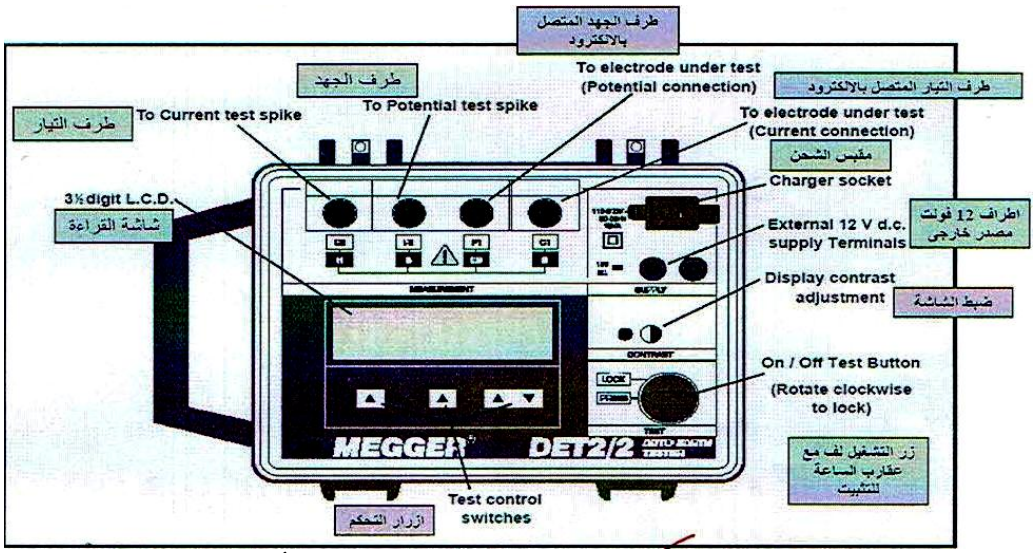
◄ معرفة الفرق بين سلك التأريض والمحايد بواسطة مفك بيان

اولا المعرفه الظاهره هي بواسطة الالوان. فسلك التأريض عادة يكون باللون الاخضر او الالصفر والمحايد يكون باللون الاسود.اما في حالة عدم وجود الوان فيمكن توصيل لمبه100 واط بجهد220 فولت مثلا يوضع مفك البيان في جهه سلك التأريض او المحايد فاذا اشار المفك الى وجود فرق جهد هذا يعني ان السلك هو سلك تأريض. اما في حالة عدم وجود اي فرق جهد فهذا يعني انه سلك المحايد. وهي ايضا طريقه للفحص بأستخدام مصباح عادي.

◄معرفة الفرق بين سلك التأريض والمحايد بواسطة جهاز الاميتر.

في هذه الحاله يتم قياس المقاومه بين الاثنين والسلك الذي يعطي مقاومه قليله جدا هو سلك التأريض.

◄اما الطريقه الوحيده المثاليه هي استخدام جهاز فحص الايرث وهو يستخدم لقياس مقاومة الايرث. وهو موجود بانواع كثيره وباسعار متفاوته.غير انه غالي الثمن. وكذلك يمكن استخدام جهاز قياس العازل.



شكل (1-9) يوضح اجهزة قياس مقاومة التأريض

الفصل الثاني

1-2 المقدمة

نظلا لتطور البناء والهياكل الشاهقه الى ما قد يناطح السحاب فان خطر الصواعق اصبح اكثر شراسه وخطرا على الانسان والاجهزه، وربماانه من البديهيات بان سلامة الانسان من الاولويات التي يتجه اليها العالم في صناعة الاجهزه وتوفير وسائل الحمايه من الصعقات الكهربائيه والتي تحصل بسبب التماس الكهربائي او بسبب الكوارث الطبيعيه مثل الصواعق ، فان التأريض انجح وسيله لحماية الانسان من خطر الصواعق وماينتج عنها من حرائق وغيرها، وبذلك يعتبر التأريض من احد الطرق الرئيسيه لحماية الانسان من الفولتيات الخطره وكذلك يسمح لاجهزة الحمايه بالعمل في حالة العطب (الفشل في التشغيل) وبالتالي فأن التأريض مطلوب لتوفير السلامه للمنظومه الكهربائيه للاشخاص والمنشأه وبذلك يمكن تشبيه الارضي بطوق النجاة أو مظلة الهبوط حيث تقدر قيمتها عند الحاجه لهما فقط.

ونظرا لاهمية الطاقه الكهربائيه باعتبارها احد العناصر الاساسيه للتطور الاجتماعي والاقتصادي فقد قدمة الكثير من الدول الدعم لقطاع الكهرباء والمتمثل في انجاز مشاريع الكهرباء الضخمه المنتجه للطاقه الكهربائيه مما نتج عنه التوسيع الكبير في استعمال الوسائل العصريه في المعيشه والعمل ومايتطلبه من استخدام اجهزة والات تعتمد في تشغيلها على الكهرباء والنظريه الاساسيه للتاريض هي للحفاظ او ابقاء الفولتيه لاي جزء مؤرض(اجسام الاجهزه - قطب المتعادل.....الخ)بنفس جهد الارض لكي لايكون اختلاف بالفولتيه بين الشخص والاجزاء المؤرضه.

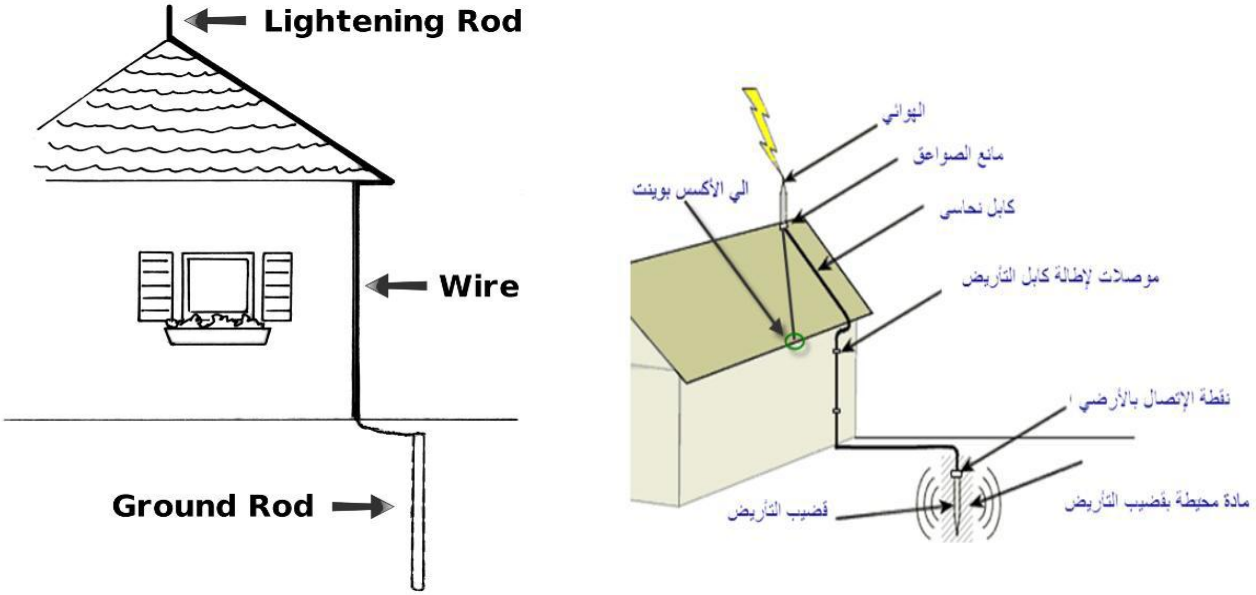
تعرف الصاعقه هي تفريغ كهربائي بين الغيوم او بين الغيوم والارض. وهي تفريغ مرئي للكهرباء الساكنه المتجمعه على السحب والمتكونه نتيجة للاحوال الجويه.

الشحنات الموجوده في الغيوم الموجود بأحد القطبيات تزداد الى نقطه بحيث العازليه بين الغيوم والارض غير كافيه. اوليست كبيره وعند تلك النقطه يحدث تفريغ ويحدث على شكل جريان او سيل من التيار عادة يكون كبير في المقدار وذو زمن قصير جدا. ويتكون نتيجة الحراره المتولده والقوي الميكانيكيه الناتجه عن ذلك.

2-2 اهمية مانعة الصواعق

مانعة الصواعق تتناول حماية البنايات والهياكل نتيجة الضررالمباشر الناتج من الصاعقة. وهذا الضرر الناتج من الصاعقه يمكن تقليله من خلال مسارات مباشره الى الارض باستخدام مقاومة قليله وبذلك يمكن تعريفها بانها اتصال سلكي عمل عن قصد بين مستقبل للبرق في اعلى نقطه للمنشئ والارض بدون وجود فيوز أو مفتاح أو قاطع دورة في هذا الاتصال لتفريغ الشحنة الكهربائيه الساقطه من السحب الرعديه الى الارض مباشرة. لقد قام العالم والمخترع والناشر و السياسي الامريكي بنجامين

فرانكلين(1706-1790)ببيان العلاقه بين البرق والكهرباء بتجربه خطيره جدا. ففي عام 1752 ، طير فرانكلين طائره ورقيه اثناء عاصفه رعديه فسرت الكهرباء عبر الخيط الطائره المبتل الى مفتاح معدني كان في الطرف الاخر للخيط ، وعندما قرب فرانكلين اصبعه من المفتاح قفزت شرارة الفجوه بينهما، فاستنتج ان كهرباء الغيوم (السحب) هي التي سببت الشرارة وان التفريغ البرقي هو نوع من الشرر، وان وجود مانعة الصواعق فوق النشأة كفيله بتوجيه البرق اليها.وفي عام1753، اعلن عن اختراع مانع الصواعق.ومنذ ذلك الحين والى وقتنا الحاضر فان اسلوب فرانكلين في عمل مانعات الصواعق معمول به.واهمية مانعة الصواعق عديده منها الحمايه من التيارات الكبيره التي تسببها الصاعقه والتي تؤدي الى الحرائق وتلف الاجزاء والالات والمعدات وقتل الاشخاص وكذلك تستعمل لحماية خطوط النقل من ارتفاع الفولتيه ولحماية ابراج الاتصالات كون الصاعقهة تعتبر العدو اللدود بالنسبه لابراج الاتصالات بالضرب المباشر وغير المباشره المحوره. الشكل (2-1) يوضح تركيب مانعة الصواعق



الشكل (2-1) يوضح تركيب مانعة الصواعق

3-2 مكونات مانعة الصواعق

تتكون مانعة الصواعق من ثلاث اجزاء رئيسيه كما موضح بالشكل (2-2) :

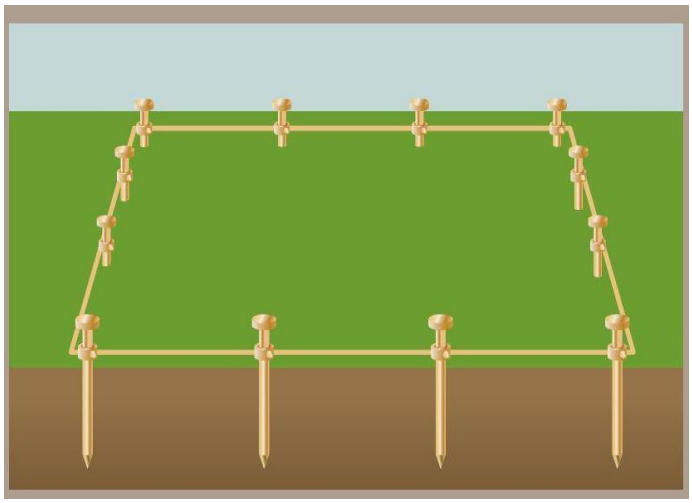
◄ اللواقط (الهوائيات) ومهمتها هي جذب الصاعقه. وهي على نوعين

1- قضيب فرانكلين وهو عباره عن ابره مدببه

2- قفص فارادي وهو عباره عن قفص يشبه قفص العصفور يحيط بالمبنى

◄ الموصلات والنوازل . ومهمتها هي تأمين مسار الصاعقه الى الارض.

◄ الارض اي نظام التأريض ومهمته تفريغ تيار الصاعقه في الارض.



شكل (2-2) يوضح شكل وترتيب لاقط الصاعقة

ومن الامور المهمه عند تصميم مانعة الصواعق حيث تعتبر الصواعق من الظواهر الفيزيائيه. وبالتالي تختلف المناطق الرعديه من منطقه الى اخرى ويجب الحصول على معلومات كافيه من مكتب الارصاد الجوي في المنطقه المعدنيه. ولذلك تتوقف حماية اي مبنى او مكان من الصواعق على امور مهمه ورئيسيه كالتالي:

1- مقدار تردد وشدة العواصف الرعديه في المكان المعني

2- قيمة وطبيعة الهيكل او البناء او محتوي البناء المعدني

3- الامور المرتبه علي نوع الخسائر المباشره وغير المباشره

ان اهم المعدات والهياكل التي يجب حمايتها من الصواعق متوقفه على طبيعة المباني ومحتواها. ولكن يمكن الاخد بالاعتبار الامور و الاماكن التاليه:

1- جميع الهياكل المعدنيه

2- البنايات من الحجر والطوب والخشب وغيرها من المواد غير الموصله

3- القمم المدببه وساريات الاعلام ومآذن المساجد

4- المباني التاريخيه والاثري

5-المباني العسكريه

6-خطوط نقل القدره

7-محطات توليد الطاقه وضخ المياه

8-المداخن العاليه

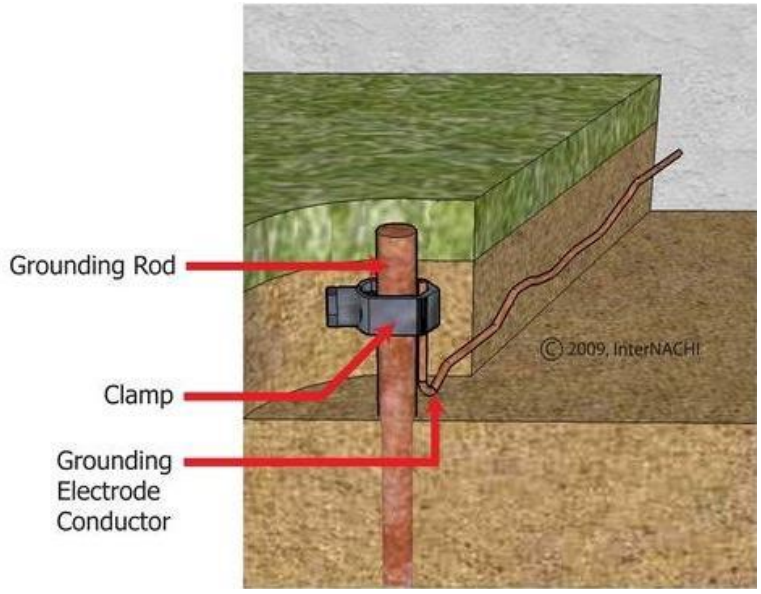
9-البنايات ذات الحساسيه الالكترونيه

10-المستشفيات والمرافق الشاهقه

الفرق بين التأريث والتأريض

4-2 الفرق بين التأريث والتأريض The different between Earthing and Grounding

يطلق الاوربيون لفظ Earthing على عملية التأريض وذلك على اساس انها عملية توصيل بالارض. اما الامريكان فانهم يفرقون تفريقا واضحا بين لفظ Earth ولفظ Ground ويعتبر الامريكيون ان اللفظ الادق في الاستعمال هو لفظ Ground حيث انه يشير الى وجود جسم له جهد مرجع Reference voltage. يقاس بالنسبه له جميع الجهود الاخرى. ان هذا الجسم ليس بالضروره هو الارض والشكل (2-3) يوضح عملية الايرث والتأريض. فعملية التأريض داخل الساره مثلا هي عملية توصيل بجسم السياره وعملية التأريض في الطائره او حتى في القمر الصناعي هي عملية توصيل بالجسم. لذلك فان لفظ Ground في جميع المواصفات و المراجع الامريكيه يعني الجسم الذي يعتبر جهدع صفرا بالنسبه لباقي المنظومه. امالفظ Earth فهو يستعمل للدلاله على الارض ذاتها. ان الارض تعتبر موصل جهده صفر فولت وهي المرجع لاي موصل اخر.



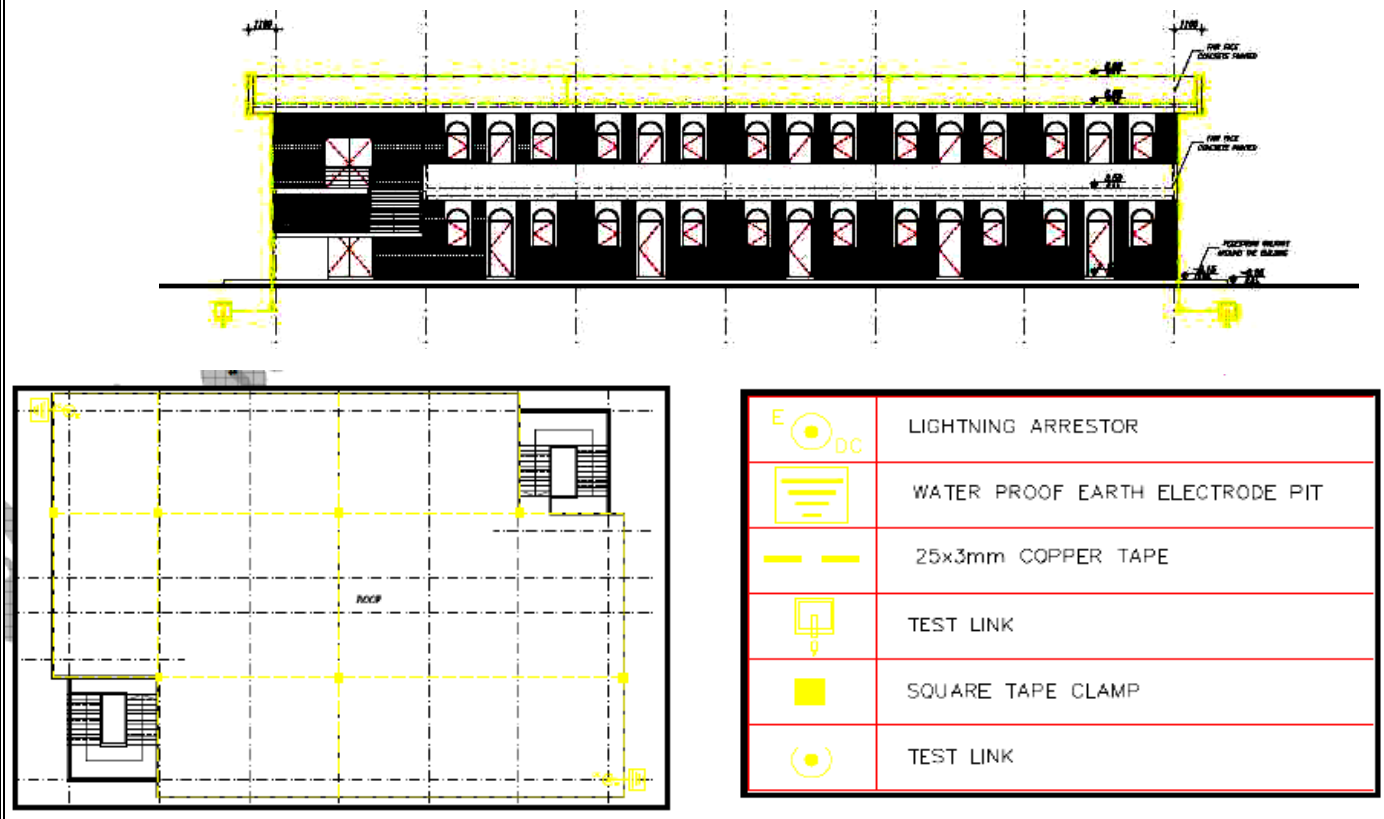
شكل (2-3) يوضح عملية الايرث والتأريض

2-5 أهم الخطوات العملية لعمل مانعة صواعق

كيفية العمل الفني لمنظومة مانعة الصواعق لبناية معينة كثافتها السكانية 300 شخص تصنيفها سكني من الدرجة الثالثة موقعها الجغرافي ضمن المناطق القليلة الصواعق ضمن الأراضي المنبسطة فيكون العمل كلاتي:

يتم تحديد أعلى نقطة للمبنى واذا كانت مساحة أعلى منطقة للمبنى أكثر من200 متر مربع يتم تحديد نقطتين متقابلتين ليتم نصب اللاقط(الهوائي) (قضيب فرانكلين) بها ,في البداية يتم تثبيت قاعدة اللاقط ثم يتم التوصيل بين اللاقط بواسطة الموصلات وحسب نوعها ويفضل استخدام الشرائط النحاسية يتم التوصيل بين اللواقط بطريقة تحزيم المبنى أي على جميع محيط المبنى والفائدة من التحزيم هي لتبديد الشحنة الكهربائية الناتجة من الصاعقة بالإضافة الى ذلك يتم عمل تقاطعات بالموصلات في منصف المسافة بين اللواقط وذلك لنفس السبب اعلاه .ثم يتم تثبيت الموصلات باستخدام الأدوات اللازمة للتثبيت . والشكل (2-4) يوضح مخططات ربط مانعة الصواعق.

عند الانتهاء من الامور اعلاه يتم تنزيل الموصلات من اقرب نقطة للوقط (يجب تحديد عدد النزلات بعدد اللواقط ولا يجوز إن تكون اقل منها وكلما كانت أكثر يكون أفضل), عند الانتهاء من اكمال النزلات وتثبيتها إلى الجدران باستخدام الأدوات اللازمة نقوم بوضع طرف الفحص أو النهاية كما في الصورة4 , ومن نهاية أداة الفحص يتم التوصيل إلى الأراضي بواسطة سلك من النحاس أو الألمنيوم .وبهذه ينتهي تنفيذ المنظومة ,وعند تصميم أي منظومة يجب اخذ بنظر الاعتبار السرعة بتبديد شحنة الصاعقة



شكل (2-4) يوضح مخططات ربط مانعة الصواعق

الفصل الثالث

1-3 المقدمة

ان منظومة التأريض أمر ضروري لسلامة الموظفين وتتمثل في ضمان عدم تعرض جميع القطع المعدنية الغير حاملة لتيار للهياكل والمعدات أو بالقرب من شبكة توزيع الكهرباء لنفس الجهد ولبقاء جهدها هو الصفر للمرجع وهو جهد الأرض للغالبية العظمى. ان الاجهزة الواجب تأريضها تتضمن :

1- جميع الأجسام المعدنية الموجودة رأسيا ويزيد طولها عن 2,4متر أو أفقيا ويزيد طولها عن 1,5 متر والمعرضة للملامسة مثلا خزان الوقود.
2- جميع الأجهزة الكهربائية .
3- جميع نقاط مخارج القدرة ووحدات الإنارة .
4- قطب المتعادل لضمان سلامة الأشخاص والمعدات وتحقيق التيار الصفري وعدم ارتفاع الجهد في حالة دائرة القصر لأي الأطوار مع الأرض.

2-3 انواع التأريض

1- <u>التأريض المتعادل (تأريض الخدمة)</u> **<u>Function Grounding</u>**

وهو عبارة عن توصيل موصل حامل للتيار في الدائرة الكهربائية إلى الأرض من خلال جهاز كهربائي ,ويستفاد من كمعادل للحصول على فولتية تساوي فولتية الموصل الحامل للتيار مقسومة عل جذر الرقم ثلاثة ,مثلا أذا كانت الفولتية 380 فولت إذا عند عمل التأريض سوف نحصل على 220 فولت ,وبذلك يتحقق التيار ألازم لتشغيل المعدات التي تعمل على220فولت كالإضاءة والأجهزة ..الخ.

2- <u>التأريض الوقائي أو الواقي</u> **<u>Protection Grounding</u>**

وهو التأريض جسم موصل غير حامل للتيار الكهربائي إلى الأرض مثل هياكل الأجهزة الكهربائية ويستعمل لحماية الإنسان من التلامس الكهربائي وانتقال التيار الساكنة إلى جسم الإنسان ويعمل على :-

1. منع تشكل أي جهد على الوسط المحيط عند حدوث أي خطأ مثلا هياكل المعدات الغير حاملة للتيار الكهربائي ويكون ذلك بربط جميع هياكل المعدات إلى نظام التأريض.
2. يسمح بتمرير الشحنات الاستاتيكية التي تتشكل على الهياكل المعدنية للمعدات الكهربائية والأجهزة على الأرض
3. يعمل على تفريغ الشحنات الكهربائية الناتجة من الصواعق إلى الأرض.
4. تمرير التيار اللازم لأجهزة الحماية في حالة حدوث دائرة القصر .

3- التأريض المحلي **Local Grounding**

يتم التأريض المحلي بالواقع العام في الأبنية الكبيرة أو على مسافات متباينة في المدن حتى تمنع من ارتفاع جهد نقطة التعادل عن قيمة المسموح بها ويتم ذلك من خلال ثلاثة اقطاب نحاسية على شكل مثلث أو على شكل متوازيا على أن لا يقل طول الضلع عن 2متر , تدفن داخل الأرض على عمق كبير من سطح الأرض وطبقا للمواصفات المعمول بها حسب الدول ويتم اختياره من النحاس كون مقاومته النوعية قليلة مقارنتا مع المعادن الأخرى بالرغم من أن الذهب اقل مقاومة ولكنه باهظة الثمن وقد يشكل خطورة لتعرضه للسرقة أذا تم استعماله.

يصلح هذا النوع من التأرض للمناطق الصناعية وللمباني الضخمة للاستهلاك الكهربائي علاوة على ذلك أنه هام للمنازل الصغيرة أيضا ويجب أن يكون بإشراف المختصين من دائرة الكهرباء حتى تصبح العملية بدون مقننات وخلافا للفوضى التاريخية وهو ما لا يجب أن يسمح بحدوث خصوصا وان هذه التأريض قد يؤثر بطريق غير مباشرة على قيمة التيارات القصرية التي تمر بالمفتاح الكهربائية وتزويد بمقدار غير محسوب ويفوق حدود تشغيلها فتؤدي إلى تدميرها .

4- التأريض الشبكي **Grid Grounding**

في محطات التوليد أو محطات التوزيع (محطات المحولات) عالية الجهد يستعمل هذا النوع من التأريض كونه أكثر عرضه لتيارات القصر وكون هذه التيارات هائلة القيمة وتعطي جهدا خطرا مع اقل المقاومات ويكون فوق التصور , ولذلك فعدم عمل هذا النوع داخل المحطات يكون العاملون والمتواجدون في المحطات بخطر كبير .

ويكون هذا النوع بجعل مقاومة التأريض متناهية الصغر , ويمكن تحقيق هذا النوع بجعل قضبان التأريض مربوطة على التوازي لتقليل مقاومتها الى النصف . وكذلك يمكن تقليل قيمة محصلة مقاومة التوازي في التأريض الشبكي بان تستغل الأقطاب الرأسية ليخرج منها على طول ارتفاعها عدد اخر من الأقطاب الأصغر لتكون افقية الوضع فتصبح كلها متوازية التوصيل لتقل المقاومة لكل قضيب راسي وبذلك نصل الى اقل قيم مقاومة الأرضية ونكون قد بلغنا الهدف دون تكلفة تذكر وهذا هو ما يتم بالفعل في المحطات الحالية وبذلك يكون جهد التلامس غير خطير أو ضار وتصبح نقطة المتعادل داخل المحطة آمنة ويستطيع الفرد أن يتعامل معها دون خوف وبأمان كامل .

5- التأريض الاستاتيكية **Static Grounding**

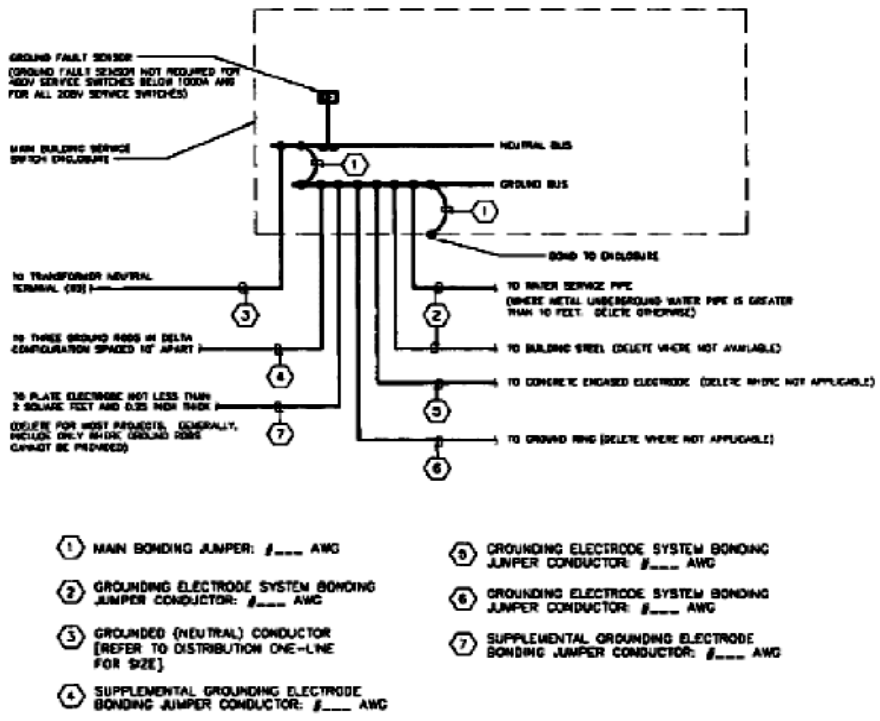
ويستخدم لغرض تسرب الشحنات المستقرة التي تتولد في الحاويات والأوعية والخزانات إثناء التحميل أو التفريغ حيث إن توفر التأريض الجيد يؤدي إلى تسرب الشحنات المتولدة نتيجة حركة السائل داخل هذه الأوعية الى الأرض وعدم تكون جهد خطر على تلك الأوعية والخزانات والحاويات.

3- 3 طرق التأريض نقطة المتعادل Neutral مع الأرضي

يتضح مما سبق إن تأريض المنظومة أصبح أمرا ضروريا في عمليات تصميم وأداء وحماية منظومات القوى الكهربائية وطرق عمل التأريض بين نقطة عمل المتعادل والأرض يتم بإحدى الطرق التالية .

1- التأريض المباشر Direct or Soil Grounding

ويتم فيه التوصيل بين نقطة المتعادل والأرض بموصل دون وجود اي معوقة بينهما وكما اسلفنا بأن هذه الطريقة تؤدي إلى الخطر على العاملين وذلك عند حصول عطل ارضي (قطع احد الأطوار وتلامسه مع الأرض) فيسبب بتدفق تيار عالي قد يسبب عطل المحولة. وكذلك صعود فولتيات باقل الأطوار الصالحة عند الحصول عطل في احدى الأطوار كما موضح بالشكل (3-1) يبين كيفية التأريض مع المتعادل والأرضي وكذلك الاستخدامات الأخرى.



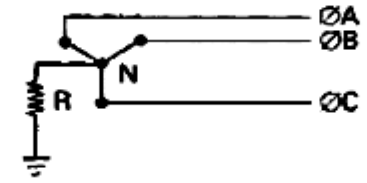
شكل (3-1) يبين كيفية التأريض مع المتعادل

2- التأريض مع المقاومة Resistance Grounding

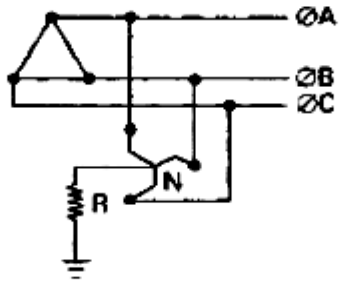
ويكون التوصيل لنقطة المتعادل مع الأرضي بواسطة معوقة معظمها مقاومة ويكون فيها مقاومة الأرضي عالية لغرض تحديد تيار العطل مع وجود مشكلة الحرارة في المقاومة وكذلك حجم المقاومة وكما في الشكل (3-2).

ويتم حساب هذه المقاومة حسب القانون التالي : $R=1/Cr+Cs+Ct$

حيث تمثل C المتسعة للأرض , وتمثل (R,S,T) الأطوار الثلاثة .



Resistance-Grounded Wye



Delta With Derived Neutral Resistance-Grounded Using Zig-Zag Transformer

شكل (3-2) يوضح التأريض مع المقاومة

2- التأريض بمفاعليه Reactance Grounding

ويكون التوصيل فيه من خلال معاوقة معظمها عباره عن مفاعله. وتكون ممانعة الارضي متوسطه بين الارضي المفتوح والارضي الصلب، ولكن يكون سعر هذه المنظومه اعلى من النوع الاول ولكن خصائصه افضل منة.

3- التأريض عن طريق ملف كابح القوس(Arc-Suppression Coil)

وهو عباره عن Reactor يوضع بين نقطة المتعادل والارضي ويمكن تنغيمه على الرنين مع سعة المنظومة عند حدوث القصر الارضي وبذلك يمكن كبح القوس الكهربائي في حالة دائرة القصر.

4- التأريض باستخدام محولات التأريض

في هذه الحالة يستخدم محول زكزاك للحصول على نقطة تعادل للمنظومة في حالة عدم وجود مثل هذه النقطة كما في حالة توصيلة الدلتا مثلا . ويسمى هذا المحول بمحول التأريض حيث يتم بعد ذلك توصيل نقطة المتعادل بالأرض . ويمكن كذلك استخدام محول النجمة / دلتا في عملية الحصول على نقطة المتعادل . ومن انواع محولات التأريض :

1- محول الزكزاك Zigzag

2- محول Open Delta

3- محول المعوقة العالية , ويستخدم في تأريض المولدات

هذه محولات التأريض وجدت أساسا لغرض تجهيز نقطة المتعادل لغرض إعطاء إمكانية التأريض منها في الأنظمة التي تفقدها قد تكون هذه المحولات مكونة من ملفين ابتدائي أو ثانوي أو ملف واحد وهنا تكون المحول على شكل Auto Transformer وفي النوع ذي الملفين تكون المحولة دلتا /ستار وهنا في ملف ستار والذي هو الملف الابتدائي يعطينا نقطة المحايد التي يمكن تأريضها . وفي النوع الثاني يتم ربط المحولات بطريقة النجم المتداخل أو ما يدعى الزكزاك والغاية من المحولات اعلاة تجهيز مسار التيار الأعطال الأرضية من خلال المحولة ولتحديد إزاحة المحايد ضمن حدود معينة في بعض الأحيان تربط هذه المحولات جهة الضغط الواطئ في جهة دلتا من محولات نقل الطاقة لإمكانية إعطاء خط التغذية بأربعة أسلاك

يجب ان تكون ممانعة التأريض (ZI) متساوية على الأقل مع فولتية الطور إلى المتعادل .

4-3 المبادئ العامة للتأريض الشبكي

1- تقليل فرق الجهد بين الأجزاء المعدنية المكشوفة المتجاورة وكذلك بينهما والأرض من ناحية اخرى ...ويكون ذلك بين الأجزاء بالربط المتساوي الجهد Equipotent Bonding المعدنية المتجاورة من ناحية وكذلك ربطها بشبكة أرضية ذات مقاومة كهربائية واطئة قدر الإمكان من ناحية أخرى حيث يؤدي ذلك الى تقليل جهد التماس وكذلك جهد الخطوة (Touch & Step Voltage)وبالتالي إلى حماية الأشخاص من الصعقات المميتة.

2- تقليل ممانعة قطب الأرضي.ويكون ذلك باستخدام موصلات لتأريض الشبكي ذات حجوم مناسبة تجعل مقاومتها قليل إضافة إلى اختبار نوع أقطاب الأرضي المدفونة في الأرض واعدادها وأعماق دفنها ومناطق دفنها بحيث توفر اقل مقاومة ممكنة الى كتلة الأرض .

إن تقليل ممانعة القطب الأرضي تؤدي بالنتيجة إلى سريان تيارات عالية خلالها عند حدوث تماس كهربائي مع الأرض وهذا وهو المهم وما نسعى إلية (لتجنب الإخطار على الإنسان) حيث يؤدي ذلك إلى تحسس أجهزة الحماية الكهربائية وبالتالي إلى قيامها بقطع التيار الكهربائي عن الجزء المعطوب أي عزلة عن الأجزاء السليمة من الدائرة الكهربائية وخلال وقت قصير جدا فتوفر حماية كافية للتأسيسات ومن الإعطاب والحرائق و حماية الأشخاص من خطر الصعقة الكهربائية . وإن زمن القطع يتراوح عادة بين جزء من الثانية الواحدة وبضع ثواني ويتناسب عكسيا مع مقدار تيار العطب الأرضي وجهد التماس .

5-3 التيار الكهربائي المسموح مروره في موصلات التأريض

هناك تيار يسمح بمروره خلال موصل التأريض يضمن سلامة وعمل أجهزة الحماية الأشخاص وسوف نتطرق لاستخدام موصل النحاس والألمنيوم لكونهما أكثر استخداما في منظومات التأريض كما في الجدول رقم (2).

مقطع موصل التأريض ملم2	التيار المسموح لمدة طويل (امبير)		التيار اللحظي المسموح خلال ثانية واحدة (امبير)	
	نحاس	**ألمنيوم**	**نحاس**	**ألمنيوم**
16	150	.....	2500	.....
25	200	160	4000	2700
35	280	200	5500	3700
50	480	250	8000	5300
70	590	320	11500	7400
95	780	430	11600	10500
150	1050	620	27500	18300
185	1380	760	32500	21000

جدول رقم (2)

6-3 مقاومة منظومة التأريض

هذا هو الموضوع الذي يجب تحقيقه عند عمل منظومة الأرضي لكون نجاح المنظومة أو فشلها يعتمد عليه وعلى أساس تحدد أنواع المنظومات وطريقتها . وتتكون مقاومة منظومة التأريض من :

1- مقاومة قضيب التأريض ومقاومة الموصلات المربوطة مع القضيب .
2- مقاومة التلامس بين قضيب التأريض والتربة .
3- مقاومة الأرض المحيطة بقضيب التأريض .

وكما أسلفنا إن طول قضيب الأرضي له تأثر كبير بتقليل مقاومة الأرضي لزيادة المساحة السطحية وبلوغ قضيب التأريض مسافة اقرب إلى باطن الأرض .

كذلك إن مقاومة قضيب التأريض والموصلات المربوطة معه ليست كبيرة بل يمكن اعتبارها مهملة , وكذلك مقاومة التلامس بين القضيب والتربة تكون صغيرة هي الأخرى أي إن مقاومة الأرضي تكمن في مقاومة التربة المحيطة بقضيب التأريض , ويمكن اعتبارها (مقاومة التربة المحيطة بقضيب التأريض) مجموعة من القشرات المحيطة بقضيب التأريض فكلما زادت المساحة السطحية للقشرة قلت مقاومتها أي إن مقاومة الأرض تكون غير خطيرة بمعنى أنها تكون صغيرة قرب مركز الأرض والعكس صحيح .

7-3 المقاومة النوعية للتربة

تؤثرالمقاومة النوعية للتربة على مقاومة الأرضي وهي من أهم المؤثرات وتكون المشاكل الخاصة بالتأريض بتقليل هذه المقاومة وتعتمد المقاومة النوعية التربة على عدة عوامل منها :-

1. نوع التربة .
2. رطبة التربة أو مستوى الماء في التربة .
3. المقاومة النوعية للسوائل الموجودة في التربة .
4. حرارة التربة .
5. الفصل من المناخ (صيف , شتاء , خريف , ربيع) .

كذلك فأن متوسط القيمة لمقاومة التربة المختلفة تبين في الجدول رقم (3)كذلك القيم التقريبية .

نوع التربة	المقاومة النوعية (أوم .متر)	
	القيمة التقريبية	القيمة المتوسطة
تربة رطبة	50- 10	30
تربة طينية زراعية	200 - 20	100
تربة رملية رطبة عمق 2 متر	600 - 200	450
تربة رملية جافة	1500- 500	1000
صخر جامد عمق 2 متر	2000 - 200	1500
تربة حجرية	800 - 300	3000
تربة صخرية	مقاومة عالية جدا	.....

جدول رقم (3)

3-8 طرق خفض مقاومة التأريض

بعد الانتهاء من تأريض المبنى واللوحات الرئيسية والفرعية يتم قياس مقاومة التأريض بواسطة أجهزة خاصة بذلك فإذا لوحظ إنها تزيد عن الحد المسموح به وهو 25 أوم فإنه يلزم خفض هذه القيمة باستخدام أو اكثر من الطرق التالية :

(علما تختلف المواصفات والقياسات بخصوص مقدار المقاومة الواجب تحقيقها عن بعضها البعض فمثلا المواصفات البريطانية توجد تحقيق مقاومة لا تزيد عن 5 أوم) . من اهم الطرق:

1- زيادة قطر قضيب التأريض :

زيادة قطر قضيب التأريض لزيادة المساحة المعرض لملامسة التربة إلا أن زيادة قطر القضيب لا يتبعها خفض ملموس في مقاومة التـأريض بالإضافة إلى أنه لا يفضل استخدام أقطار اكبر من 18 ملم .

2- زيادة طول قضيب التأريض :

يمكن أن يتم أكثر من قضيب عن طريق جلبه وصل من نفس المعدن للحصول على الطول المناسب ورغم أن الطول الموصل باستخدامه في (NEC) هو 240 سم للتربة العادية إلا أنه يمكن زيادة هذا الطول إلى 15 متر لأنواع التربة الرديئة .

3- زيادة عدد قضبان التأريض :

يمكن استخدام أكثر من قضيب مدفون في الأرض على مسافات لا تقل عن 240 سم بيت القضيب والأخر وذلك للحصول على أفضل قيمة ممكنة لمقاومة التأريض .

4- معالجة التربة كيميائيا :

تعالج التربة المحيطة بقضيب التأريض كيميائيا للحصول على مقاومة التأريض بإحدى الطرق التالية :-

◄تعمل حفرة مجاورة لقضيب التأريض وتبعد عنه بمسافة لا تزيد عن 10 سم وتملأ بأملاح كبريتات المغنيسيوم أو كبريتات النحاس أو ملح صخري حتى منسوب 30 سم من سطح الأرض ويصعب تنفيذ هذه الطرية في حالة عدم توفير فراغ كافي بجوار قضيب التأريض .

◄أو يتم عمل خندق دائري حول قضيب التأريض بحيث لا يقل القطر الداخلي للخندق عن 45 سم وعمق 30 سم . ويملأ هذا الخندق بالمواد الكيميائية السابق ذكرها . ويجب إلا يكون هناك اتصال مباشر بين المواد الكيميائية وقضيب التأريض حتى لا يتسبب في تكوين طبقة من الصدأ على ذلك القضيب . والكمية التي يفضل وضعها تكون على حدود 18 الى 40 كيلو جرام من مادة كبريتات النحاس لرخص ثمنها وجودة توصيلها الكهربائي ويستمر مفعول هذه الكمية لمدة سنتين ثم يكرر وضعها مرة اخرى . ويتم غمر بئر التأريض في بادئ الامر بالماء حتى يساعد على تسرب المواد الكيميائية للتربة أما بعد ذلك فإن مياه الأمطار كافية للقيام بهذه العملية .

3-9 الحماية من التيار التسرب الأرضي

◄قواطع الحماية من التيار التسرب الأرضي :

يتم حماية الدوائر الكهربائية الفرعية بقواطع فرعية عادية سعة 15 أمبير أو 20أمبير إلا أنها قيمة مرتفعة جدا بمقارنتها بما ينتج عنها من أخطار حيث إن مرور تيار كهربائي صغير فب حدود 60 مللي أمبير في جسم الأنسان يسبب وفاته .ولهذا يفضل استخدام قواطع الحماية من تيار التسرب الأرضي ,وهذه القواطع مماثلة لقواطع العادية من حيث الشكل إلا إنها حساسة جدا لمرور التيار الكهربائي (مهما صغرت قيمته)في أي مسار يختلف عن المصل المحدد لمروره كان يكون هذا المسار من خلال جسم

الأنسان مثلا . وفي هذه الحالة , عند مرور تيار بسيط قد يصل جزء من الملي أمبير فإن هذا النوع من القواطع يفصل الدائرة .

◄أنواع قواطع الحماية من تيار تسرب الأرضي :

لهذه القواطع نوعان :

النوع الأول :يستطيع فصل الدائرة عندما تكون قيمة التيار المار فيها بحدود 6 مللي أمبير .

النوع الثاني :يصلح لفصل الدوائر التي تزيد تيارها عن 20مللي أمبير ويوصي NEC باستخدام قواطع الحماية من تيار التسرب الأرضي في بعض الدوائر الكهربائية للمباني التجارية والسكنية والخاصة الموجودة في الأماكن المبتلة .

◄العلاقة بين شدة تيار التسرب الأرضي ومدة سيرانه في جسم الأنسان .

فيما يلي جدول يوضح تأثير مرور تيار التسرب الأرضي في جسم الأنسان كما في الجدول (4) :

تيار التسرب (مللي أمبير)	مدة سريان التيار	التأثير البيولوجي على جسم الأنسان
0– 0.5	مستمر	التيار غير محسوس وليس له تأثير
0 .5 – 5	مستمر	يبدأ الجسم بالإحساس بالتيار ويمكن للإنسان التخلص من المصدر إلا أنه يترك آثارا في مكان التلامس
5 - 30	عدة دقائق	يصعب الانفصال عن مصدر الكهرباء ويسبب ارتفاع ضغط الدم وضيق التنفس
30 - 50	بضع ثواني	عدم انتظام نبض القلب – يرتفع ضغط الدم مع إغماء
50 – عدة مئات	أقل من مدة النبضة	الشعور بصدمة قوية
	أطول من مدة النبضة	إغماء مع ظهور آثار عند نقط التلامس
أكثر من عدة مئات	أقل من مدة النبضة	إغماء مع ظهور آثار عند نقط التلامس
	أطول من مدة النبضة	إغماء – موت أو حريق

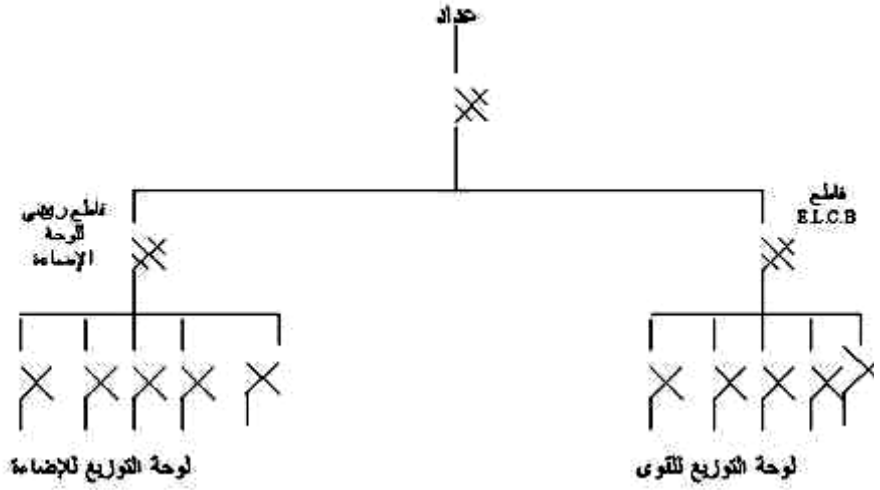
الجدول رقم (4)

10-3 أماكن تركيب قواطع الحماية ضد التسرب الأرضي (ELCB (Earth Leakage Circuit Breakers

1- يمكن أن وضع قاطع ELCB على الخط الرئيسي للوحة التوزيع وفي هذه الحالة تكون حماية شاملة لجميع الدوائر كما في الشكل (3-3) و من مساوئ هذه الطريقة أنه لو كان هناك أي تسرب للأرض من وحدة إضاءة مثلا فإن ذلك يتسبب في قطع التيار الكهربائي من كل اللوحة .

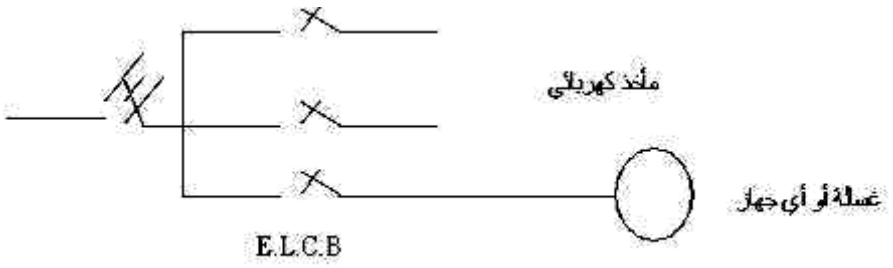
شكل (3-3) يوضح قواطع الحماية

2- ربط يكون لوحتان متجاورتان إحداهما للإضاءة والأخرى للقوى ويوضح قاطع ELCB قبل لوحة القوى بحيث يحمي فقط الأجهزة والآلات الكهربائية التي تتصل بدوائر القوى كما في الشكل رقم (3-4).



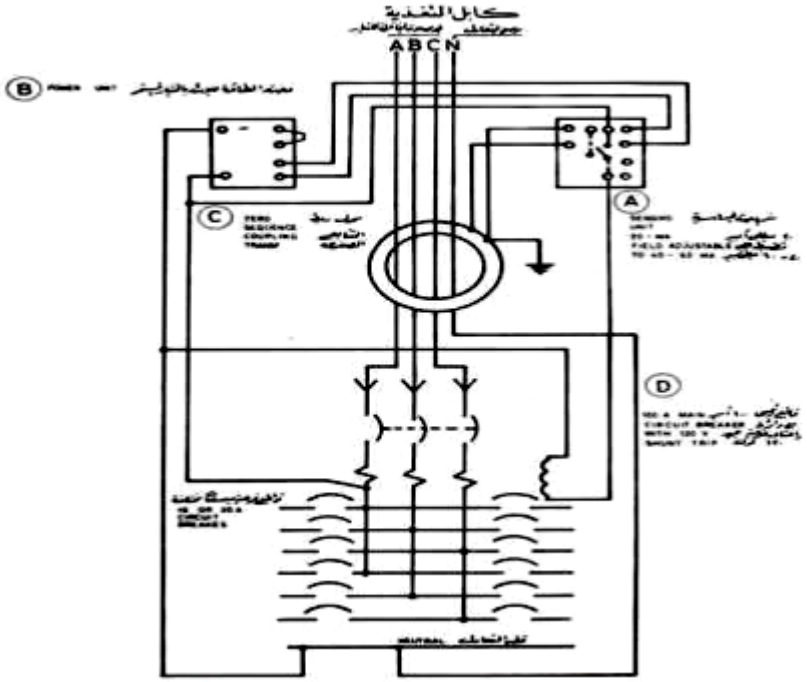
شكل (3-4) يوضح قاطع الحماية قبل لوحة القوى

3- يمكن أن يستخدم قاطع ELCB لحماية جهاز معين فقط كغسالة مثلا ويتم ذلك بتوصيل قبل النآخذ الكهربائية والغسالة أو أي جهاز آخر يرد حمايته بشرط إن يتم توصيل الجهاز بالأرض كما في الشكل رقم (3-5).



شكل رقم (3-5) يوضح ربط قاطع حماية مع جهاز منزلي

كما يمكن أن يستخدم لحماية جزء من سكن أو مبنى أو فراغات معينة كما في الشكل رقم (3-6).



شكل (3-6) يوضح ربط منظومة حماية مع المنزل

المصادر

1-Grounding Methods for Electric Supply and Communications Facilities . Allen L. Clapp P.E., P.L.S-2011.

2- Electrical Engineer's Portable Handbook- Second edition- Robert B. Hickey, P.E.-2004

3- 1993- التأريض الوقائي والحماية من الصواعق- تأليف د. عبد المنعم موسى – دار الراتب الجامعية

4- System earthings worldwide and evolutions, B. Lacroix and R. Calvas, Cahier Technique no. 173

5- National Electrical Code & code Handbook-1999.

6- Bonding Configurations and Earthing Inside a Telecommunication Building.-1991.

7- Grounding Electrical distribution systems for safety –Eustace C. Soares-1966

8- Grounding for the control of EMI-Hugh W. Denny-1983

9- Neutral earthing and power system protection-Lehtonen, M. & Hakola, T.-1996

10- Basic Electrical Installation Work.- Trevor Linsley-2011.

11- Electrical Power Systems: Theory and Practice-Bandyopadhyay, M. N.-2006