وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
الجامعة التقنية الشمالية
المعهد التقني الموصل
قسم التقنيات الكهربائية

مقرر التأسيسات الصناعية

المستوى الثاني

فرع الشبكات

للعام الدراسي ٢٠٢٢-٢٠٢٣

اعداد مدرسي المادة

م.م. فراس سعدالدين احمد

م.م. مصطفى قيس قاسم

الخواص الكهربائية للمواد

إن الصفات الكهربائية للمواد يتحكم بها التركيب الذري للمادة، وبما أن المواد تتكون من ذرات ولكل ذرة نواة يدور حولها مجموعة من الإلكترونات السالبة الشحنة في مدارات متعددة. المدار يشبع بعدد معين من الإلكترونات، واعتمادا على الإلكترونات في المدارات الخارجية لذرات المواد، يمكن تصنيف المواد الى:

١- مواد موصلة.
٢- مواد شبه موصلة.
٣- مواد عازلة.

المواد الموصلة وشبه الموصلة تكون مدارات ذراتها الخارجية غير مشبعة بالعدد الكامل من الإلكترونات.
المواد العازلة تكون مدارات ذراتها الخارجية مشبعة بالعدد الكامل من الإلكترونات.

المواد الموصلة: هي المواد التي تكون مقاومتها قليلة جدا لمرور التيار الكهربائي خلالها.

المواد العازلة: هي المواد التي لها مقاومة عالية جداً لمرور التيار الكهربائي خلالها.

كل مادة في الطبيعة لها مقاومة نوعية يرمز لها بالحرف *(ρ)* وتقاس بوحدة *($\Omega . mm^2/m$)* أو *($\mu . \Omega . m$)*.

فمثلا المقاومة النوعية للمواد الموصلة التالية في درجة حرارة *($20^0 C$)* هي:

المادة	المقاومة النوعية
الفضة	**0.0165** *($\mu.\Omega.m$)*
النحاس	**0.0175** *($\mu.\Omega.m$)*
الألمنيوم	**0.029** *($\mu.\Omega.m$)*

حيث تعتبر المواد أعلاه من اهم المواد الفلزية المستخدمة في مجال التوصيلات الكهربائية.

ويعتبر النحاس والألمنيوم من اهم المواد الفلزية المستخدمة في صناعة الأسلاك والكابلات الكهربائية. ومن الجدول أعلاه نلاحظ بان المقاومة النوعية للألمنيوم أكبر من المقاومة النوعية للنحاس بمقدار (65%) من مقاومة النحاس أو (١.٦٥ مرة) بقدر مقاومة النحاس.

حساب مقاومة الموصلات الكهربائية:

يمكن حساب مقاومة الموصلات *(R)* من العلاقة الرياضية التالية:

$$R \propto \frac{L}{A} \qquad \dots (1)$$

حيث أن:

***L* = طول الموصل *(m)*.**

***A* = مساحة مقطع الموصل (*mm^2*).**

نلاحظ انه كلما زاد طول الموصل *(L)* زادت مقاومة الموصل لان المقاومة تتناسب طرديا مع طول الموصل. بينما تقل مقاومة الموصل إذا زادت مساحة مقطعه *(A)* لان المقاومة تتناسب عكسيا مع مساحة المقطع.

ثابت التناسب في المعادلة (١) هي المقاومة النوعية للمادة المراد إيجاد مقاومتها *(ƒ)*.

$$R = \boldsymbol{f}\,\frac{L}{A} = \frac{\Omega \,.\, mm^2}{m} * \frac{m}{mm^2} = \Omega$$

استبدال موصلات النحاس بموصلات الألمنيوم وبالعكس:

١- إذا كان لدينا سلكين أحدهما نحاس والأخر الألمنيوم لهما نفس الطول ونقس المقاومة الكهربائية، فان مساحة مقطع سلك الألمنيوم تكون أكبر من مساحة سلك النحاس بمقدار (65%) من مساحة مقطع سلك النحاس.

$$A_{Al} = A_{Cu} * 1.65 \qquad or \qquad A_{Cu} = \frac{A_{Al}}{1.65}$$

A_{Al} = مساحة مقطع سلك الألومنيوم.

A_{Cu} = مساحة مقطع سلك النحاس.

٢- إذا كان لدينا سلكين من النحاس والألمنيوم لهما نفس الطول ومساحة المقطع فان المقاومة الكهربائية لسلك الألومنيوم تكون أكبر من المقاومة الكهربائية لسلك النحاس بمقدار *(65%)* من مقاومة سلك النحاس.

$$R_{Al} = R_{Cu} * 1.65 \qquad or \qquad R_{Cu} = \frac{R_{Al}}{1.65}$$

R_{Al} = مقاومة مقطع سلك الألومنيوم.

R_{Cu} = مقاومة مقطع سلك النحاس.

مثال ١:

سلكين من النحاس والألومنيوم لهما نفس الطول ونفس المقاومة الكهربائية، فاذا كانت مساحة مقطع سلك النحاس *(10 mm^2)*، أوجد مساحة مقطع سلك الألومنيوم؟

$$A_{Al} = A_{Cu} * 1.65 = 10 * 1.65 = 16.5\ mm^2$$

أو مساحة مقطع سلك الألومنيوم القياسية هي *(16 mm^2)*.

مثال ٢:

سلكين من النحاس والألومنيوم لهما نفس الطول ومساحة المقطع، وكانت مقاومة سلك الألومنيوم *13 (Ω)*. احسب مقاومة سلك النحاس؟

$$R_{Cu} = \frac{R_{Al}}{1.65} = \frac{13}{1.65} = 7.88\ \Omega$$

مشاكل أسلاك الألومنيوم:

١- من المشاكل التي تعاني منها أسلاك الألومنيوم عند تعريضها للهواء تتكون على محيطها الخارجي طبقة من أوكسيد الألومنيوم، والذي يكون مقاومته عالية مما يسبب مشاكل عند ربط أسلاك الألومنيوم مع بعضها بالجذل، حيث تصبح نقطة الربط ذات توصيل رديء، مما يؤدي الى ارتفاع حرارة نقطة الربط، لذا يجب تنظيف أطراف أسلاك الألومنيوم بالصقل قبل ربطها مع بعضها.

٢- إن توصيل أسلاك الألومنيوم مع أسلاك النحاس يؤدي الى تفاعلات كيمياوية تؤدي الى حدوث ما يسمى بالخلايا الكلفانية والتي تسبب تأكل المواد ومن ثم رخاوة في التوصيل وارتفاع حرارة نقطة الربط، ولمعالجة ظاهرة التأكل يتم طلاء اطراف الأسلاك بالقصدير أو الكروم قبل ربطها مع بعضها.

الأحجام القياسية للموصلات:

يقصد بالأحجام القياسية للموصلات هي مساحة مقطع الموصلات حيث تصنع الموصلات بمساحات مقاطع قياسية وهي كالتالي:

1 - 1.5 - 2.5 – 4 -6 – 10 – 16 – 25 – 35 – 50 – 70 – 95 – 120 – 150 – 185 – 240 – 300 – 400 – 500 - (mm^2).

تصنع الأسلاك أو قلوب الكابلات الموصلة بطريقتين:

١- موصلات مصمتة *(Solid conductor)*:
وتكون عبارة عن سلك واحد من النحاس أو الألومنيوم معزول بمادة عازلة، وتكون أحجامها صغيرة لا تتجاوز *10 mm^2* أو *16 mm^2* على الأكثر، وتكون مرونتها قليلة.

٢- موصلات مجدولة *(Stranded conductor)*:

وتكون عبارة عن مجموعة أسلاك دائرية صغيرة ملتوية معا على بعضها في طبقات متمركزة، وتكون ذات مرونة عالية وتصنع بجميع الأحجام القياسية، يكون ترتيب الأسلاك بسلك مركزي محاط بطبقات متتالية من أسلاك وكل طبقة تزيد عن سابقتها بمقدار (٦)، أي أن عدد الأسلاك في الطبقة الأولى تكون (٦) وفي الثانية (١٢) وفي الثالثة (١٨) ...

كيفية بيان أحجام الموصلات:

يتم التعرف على حجم الموصلات (مساحة مقطع الموصلات) بعدة طرق منها:

١- عن طريق مساحة المقطع الكلي للموصل، مثل *(10 mm^2 , 25 mm^2)*.
٢- عدد الأسلاك في الموصل وقطر كل سلك مثل *(7/0.85 mm , 19/0.32 mm)*.
٣- مساحة المقطع الكلي مع عدد الأسلاك بدون السلك المركزي، مثل *(50/18 , 35/6)*.

أحجام الكابلات:

يتم بيان أحجام كابلات القوى الكهربائية عن طرية بيان (عدد الموصلات * مساحة مقطع الموصلات) مثل:

$2*10\ mm^2$ **– كابل ثنائي القلوب، وكل موصل مساحة مقطعه** *$10\ mm^2$*.

$3*50\ mm^2$ **– كابل ثلاثي القلوب، وكل موصل مساحة مقطعه** *$50\ mm^2$*.

$4*35\ mm^2$ **– كابل رباعي القلوب، وكل موصل مساحة مقطعه** *$35\ mm^2$*.

$3*95 + 1*50\ mm^2$ **– كابل رباعي القلوب، وفيه ثلاث موصلات مساحة مقطع كل منها** *($95\ mm^2$)* **، والرابع موصل مساحة مقطعه** *$50\ mm^2$* **يستخدم لخط التعادل.**

$3*120 + 70 + 35\ mm^2$ **– كابل خماسي وفيه ثلاث موصلات مساحة كل منها** *$120\ mm^2$*، **والموصل الرابع مساحة مقطعه** *($70\ mm^2$)* **يستخدم لخط التعادل، والموصل الخامس يستخدم للتأريض.**

أشكال الأسلاك في الموصلات الكهربائية:

تصنع الموصلات عادة بشكل دائري في الأحجام الصغيرة، حيث يكون الموصل عبارة عن سلك واحد أو مجموعة أسلاك دائرية صغيرة.

اما في الموصلات ذات الأحجام الكبيرة، يكون الموصل عبارة عن مجموعة اسلاك بيضوية الشكل حيث يتم ضغط الموصلات الدائرية فتصبح بشكل بيضوي وذلك لتقليل الفراغات بين الاسلاك وتسمى موصلات مضغوطة او موصل مُشكل *(compact)*.

قياس احجام الاسلاك:

١- تقاس مساحة مقطع الموصلات بوحدة *(mm^2)*، **في جميع دول العالم تقريبا.**
٢- المقياس الأمريكي للسلك *(AWG)*: حيث تستخدم أداة خاصة لتعيين رقم يدل على مساحة مقطع الموصل، والذي يبدأ من *(20 AWG)* وينتهي برقم *(0000)* وهو اكبر مقطع في المقياس.

٣- المل الدائري ***(Circular mil)***:
وهو وحدة مساحة تساوي مساحة دائرة قطرها مل واحد ***(one mil)***، والمل يساوي *0.001* من البوصة أي *0.0254* ملي متر.

العوازل الكهربائية لكابلات القوى:

من اهم المواد المستعملة لعزل موصلات كابلات القوى هي:

١- عازل الورق المشبع ***Paper Insulation***.
٢- المواد البوليمرية ***Polymeric Insulation materials***.
٣- المطاط ***Rubber Insulation materials***.
٤- الكتان المورنش ***Varnish-cambric Insulation***.
٥- الاسبستوس ***Asbestos Insulation materials***.

عازل الورق المشبع:

يتميز عازل الورق بان له عمر طويل ويتحمل الاجهاد الكهربائي بشكل كبير، يستخدم الورق على شكل شريط ذو طبقتين او ثلاث طبقات، بحيث يتراوح سمك الورق الكلي للعازل ما بين (*0.6 mm* الى *30 mm*) تبعا لجهد الكابل، يمتاز الورق بخواص كهربائية جيدة وهو في حالة الجافة، الا ان طبيعته المسامية تجعله شديد الامتصاص للرطوبة، وللتغلب على هذه المشكلة يغمر الورق بعد تجفيفه بمركب خاص من مشتقات البترول، ويضاف لها مواد راتنجية لزيادة اللزوجة.

العوازل البوليمرية (العوازل البلاستكية):

المواد البوليمرية هي مواد مستخرجة من صناعة البتروكيمياويات، ويطلق اسم البوليمرية على الأنواع المختلفة من لدائن البوليمر والمطاط الصناعي.

تنقسم لدائن البوليمر الى نوعين:

١- اللدائن الحرارية ***(Thermoplastics)***: وهي أنواع من اللدائن تلين بالحرارة وتصلد بالبرودة.
٢- الجوامد الحرارية ***(Thermosets)***: وهي اللدائن التي لا تلين بالحرارة حتى تصل الى درجة حرارة تحللها.

يمكن صناعيا تحويل العديد من اللدائن الحرارية الى جوامد حرارية وذلك باجراء معالجات خاصة عليها تسمى التشابكية *(crosslinking)*.

أهم الدائن الحرارية في صناعة الكابلات:

١- بولي فينايل كلوريد ***Polyvinyl chloride (PVC)***: تتحمل حرارة تصل الى $70^0\ C$.
٢- بولي أثيلين منخفض الكثافة ***Low density polyethylene (LDPE)***: تتحمل حرارة تصل الى $70^0\ C$.

٣- بولي أثيلين مرتفع الكثافة ***High density polyethylene (HDPE)***: تتحمل حرارة تصل الى $80^0\ C$.
٤- بولي بروبيلين ***Polypropylene (PP)***: تتحمل حرارة تصل الى $80^0\ C$.
٥- مطاط الاثيلين بروبيلين ***Ethylene propylene rubber (EPR)***: تتحمل حرارة تصل الى $60^0\ C$.

اهم الجوامد الحرارية:

١- المطاط السيليكوني ***Silicone Rubber (SR)***: تتحمل حرارة تصل الى $150^0\ C$.
٢- مصاط الاثيلين بروبيلين الناشف ***Hard Ethylene Propylene Rubber (HEPR)***: تتحمل حرارة تصل الى $90^0\ C$.
٣- البولي أثيلين التشابكي ***Cross Linked Polyethylene (XLPE)***: تتحمل حرارة تصل الى $90^0\ C$.

المطاط Vulcanized Rubber Insulation (VRI):

وهو عبارة عن مطاط نقي مع الكبريت، تكون مرنة ولها مقاومة ضد الماء اما مقاومتها الميكانيكية فتعتمد على كمية الكبريت المضافة، واعلى درجة حرارة يتحملها العازل $65^0\ C$، ونلاحظ ان الكبريت المضاف يتفاعل مع النحاس في الموصل مسببا أوكسيد النحاس الأسود، لذا فان هذا العازل يستخدم مع موصلات النحاس المطلية بالزنك.

اما المطاط السيليكوني *(SRI)* فانه يتحمل ويقاوم درجات الحرارة الأعلى من $85^0\ C$، لذا فانه يستخدم في المصابيح المعلقة حيث ترتفع درجة الحرارة بداخلها.

الكتان المورنش:

في الواقع عبارة عن نسيج قطني على شكل شريط يُلف لولبياً على الموصل بعد تشبيع جانبيه بمادة الورنيش العازلة.

يمتاز بمرونة عالية أعلى من العوازل الورقية الا أنها اقل من المطاط، وله مقاومة جيدة ضد الرطوبة، لذا فانه يستعمل في بعض الأحيان بدون غلاف خارجي.

الاسبستوس:

مادة عازلة تعتبر من المواد التي لها مقاومة عالية للحرارة، ولا يعمل على جهد أعلى من *(8 kV)* نظراً لضعف خواصه الكهربائية يستخدم كعازل بشكل الياف وتشبع تلك الالياف بمادة مقاومة للحريق.

الغلاف المعدني Metallic Sheathing:

يعتبر الغلاف المعدني ضروري في الكابلات الورقية، حيث يُزود الكابل بحماية ميكانيكية، كما يمنع دخول الماء اليه، ويكون الغلاف المعدني اما من : ١- الرصاص ٢- الألومنيوم.

يتميز الرصاص بسهولة الصنع ومقاومته للتأكل، الا ان خواصه الميكانيكية ضعيفة، مع مرونة عالية.

اما الألومنيوم فهو أقوى من الرصاص ،الا ان عمليات ثني الكابل تكون صعبة، ويتم معالجة مشاكل الألومنيوم باستخدام غلاف الومنيوم معرج.

ويمكن تأريض الكابلات ذات الغلاف المعدني عن طريق الغلاف المعدني.

الحماية الخارجية Over Sheath:

هي طبقة من مادة عازلة لها خواص معينة توضع فوق طبقة التسليح بحيث تكون طبقة الحماية هي أخر طبقة خارجية للكابل لحمايته من البيئة والظروف والمواد المحيطة به.

الحشو Filler:

تستخدم مادة الحشو في الكابلات متعددة القلوب، والهدف منها هو ملئ الفراغات بين الموصلات للحصول على تكوين مصمت دائري الشكل.

المواد المستخدمة في الحشو هي (الجوت، القطن، الاسبستوس، المطاط، والورق).

تركيب الكابلات:

المكونات الرئيسة للكابل:

١- قلب الكابل Core:

موصل معدني مقاومته منخفضة (نحاس او الومنيوم)، ويكون اما مصمت او مجدول، وتعتمد مساحة مقطع الكابل على التيار المار فيه، كلما زادت مساحة المقطع زاد تحمل الكابل للتيار.

ملاحظة: استخدام الموصلات المجدولة يزيد من السعة الامبيرية للكابل الكهربائي حيث ان التيار يفضل المرور في المحيط الخارجي للموصل.

٢- غلاف الموصل Conductor Shield:

طبقة رقيقة منت مادة سبه موصلة توضع حول القلب وذلك لملئ الفراغات بين الجدائل وتنظيم المجال الكهربائي.

٣- العازل الرئيسي Dielectric:

يعمل على عزل قلوب الكابل عن بعضها، وكلما زاد الجهد زاد سمك العازل، ومن اشهر العوازل المستخدمة PVC و XLPE.

٤- الغلاف العازل Insulation Shield:

طبقة رقيقة من مادة شبه موصلة توضع حول العازل، تعمل على حماية الكابلات من المجلات الكهربائية.

٥- الغلاف المعدني Metallic Tape:

غلاف معدني يستخدم للحماية الميكانيكية ومنع تسرب الماء او الرطوبة وخاصة في الكابلات الورقية، وكذلك يأرض الكابل من خلال الغلاف لتسريب تيارات القصر، ومن اهم الاغلفة المعدنية:

- **الرصاص: سهل الصنع ومقاومته عالية ضد التأكل، الا ان خواصه الميكانيكية ضعيفة.**
- **الألومنيوم: اقوى من الرصاص الا ان عمليات ثني الكابل تكون صعبة، ويتم معالجة ذلك باستخدام غلاف الومنيوم متعرج.**

٦- المادة المالئة Filler:

طبقة مطاطية تحيط بقلوب الكابلات وفائدتها:

- **تعطي له الشكل الدائري وتمنع تحرك الموصلات داخل الغلاف واحتكاكها مع بعضها.**
- **يمنع تسرب الرطوبة والماء الى داخل الكابل.**

٧- الغطاء الداخلي Inner Jacket: ويكون عبارة عن غلاف من ال PVC.

٨- درع معدني أو طبقة التسليح Armor:

عبارة عن غلاف معدني يعمل على زيادة الحماية الميكانيكية للكابل.

٩- الغطاء الخارجي Outer Jacket:

غلاف من مادة ال PVC على الاغلب، يعمل على حماية الكابل من الظروف البيئية والمواد المحيطة به.

ملاحظة:

المكونات أعلاه ليس من الضروري ان تكون جميعها موجودة في تركيب الكابل حيث وجود قسم منها يعتمد على انتاج وجودة الكابل وعلى كلفة الإنتاج وطبيعة الاستخدام.

لذا يمكن وصف اهم مكونات الكابل الكهربائي وخاصة الكابلات الاعتيادية على انها:

١- الموصل ٢- العازل ٣- الحشوة ٤- الغلاف الخارجي.

عوامل اختيار احجام الكابلات الكهربائية:

١- مساحة مقطع الموصل.

٢- درجة الحرارة المحيطة.

٣- نوع الحماية.

٤- البعد والقرب من الكابلات الأخرى.

٥- هبوط الجهد.

تصنيف الكابلات الكهربائية

١- حسب جهد التشغيل:

كلما زاد الجهد زاد تعقيد تركيب الكابل، وذلك للحصول على درجة عزل عالية، وتصنف الكابلات الى:

- **كابلات جهد منخفض LVC : (1 – 1000 V).**
- **كابلات جهد متوسط MVC : (1 kV – 33 kV).**
- **كابلات جهد مرتفع HVC : (33 kV – 132 kV).**
- **كابلات جهد فوق المرتفع UHVC : (أعلى من 132 kV).**

ملاحظة: يتناسب جهد الكابل طردياً مع سمك العازل.

$$V \propto \textit{سمك العازل}$$

٢- حسب تردد العمل:

تعمل الكابلات على ترددات تتراوح ما بين 50 Hz و 60Hz.

٣- حسب مستوى العزل:

اهم أنواع العوازل المستخدمة في كابلات القوى الكهربائية هما:

- **عازل PVC.**
- **عازل XLPE.**

PVC: يستخدم في الكابلات الجهد المنخفض ويتميز :

a) خواص كهربائية ممتازة عند جهود ودرجات الحرارة المنخفضة.

b) رخيص الثمن.

c) الإطفاء الذاتي للهب.

d) مقاومة عالية للتاكل والتأين ومقاومة عالية ضد الرطوبة والماء.

XLPE: يستخدم في كابلات الجهد المتوسط، وكذلك في الجهد المنخفض ويتميز:

a) مقاومة عالية للرطوبة.

b) تحمل درجات الحرارة المرتفعة.

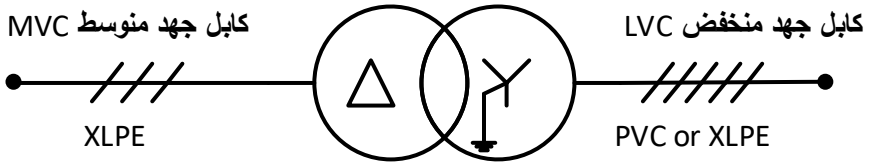
c) تحمل تيارات القصر والتحميل الزائد.

d) اصلد العوازل ولا يحتاج الى تسليح في الغالب.

e) يجب تجنب تعرضه لانحناءات حادة.

ومن حيث تحمل العوازل لدرجات الحرارة:

نوع العازل	PVC	XLPE
درجة الحرارة الطبيعية	$70^0\ C$	$90^0\ C$
اقصى درجة حرارة في حالة القصر S.C	$150^0\ C$	$250^0\ C$



ملاحظة:

- **جميع كابلات الجهد المتوسط MVC تكون ذات عزل من نوع XLPE.**
- **كابلات الجهد المنخفض LVC يكون العزل اما:**

a) PVC : تيارات قليلة.

b) XLPE: تيارات عالية.

علماً بان الغلاف الخارجي للكابل يكون من PVC.

٤- حسب تسليح الكابلات Armored:

يكون تسليح الكابلات بطريقتين:

a) تسليح بشرائط معدنية Steel Tape Armored (STA):

ويتم بشرائط معدنية (نصف على نصف) تلف حول الكابل، ويستخدم في الكابلات الأرضية، ويعطي متانة ميكانيكية عالية لتحمل الغوط والأوزان الثقيلة.

b) تسليح باسلاك معدنية Steel Wire Armored (SWR):

ويتم باستخدام اسلاك معدنية توضع طوليا حول الكابل، وتكون اكثر مرونة من STA.

٥- حسب نوع الموصل Conductor Type:

الموصلات المستخدمة في كابلات القوى تكون:

a) موصلات نحاس (Copper) .Cu.

تكون أعلى موصلية واكثر كلفة واثقل وزناً.

b) موصلات الومنيوم (Aluminum) .Al.

تكون اقل موصلية واقل كلفة واخف وزناً.

٦- حسب عدد القلوب Cores:

a) كابلات أحادية القلب Single Core Cable:

- **يستخدم في المقاطع ذات مساحة مقطع الكبيرة ($240\ mm^2$ فما فوق) لثقل الوزن وصعوبة التمديد.**
- **يستخدم في المساحات السكنية.**
- **يستخدم في كابلات التأريض.**

b) كابلات ثنائية القلوب Two Core Cable:

يستخدم في الجهود المنخفضة الأحادية الطور (خط فعال وخط تعادل L-N) بدون ارضي.

c) كابلات ثلاثية القلوب Three Core Cable:

- **يستخدم في الجهود المنخفضة الأحادية الطور (خط فعال وخط تعادل وخط ارضي L-N-E).**
- **يستخدم في الجهود المتوسطة الثلاثية الطور (R-S-T).**

d) كابلات رباعية القلوب Four Core Cable:

يستخدم في الجهود المنخفضة ثلاثية الطور (R-S-T-N).

مواصفات خط التعادل Neutral Line:

١- تكون مساحة مقطع موصل خط التعادل مساوية لمساحات مقاطع خطوط الاطوار (الخطوط الفعالة) في الحالات التالية:

- **في الكابلات الصغيرة والتي تكون مساحة مقطع موصلاتها اقل من $35\ mm^2$.**
- **الاحمال التي تحتوي على أجهزة الكترونية بسبب الترددات التوافقية الثالثة.**
- **دوائر الإنارة التي تحتوي على مصابيح فلورسنت.**

٢- تكون مساحة مقطع موصل خط التعادل مساوية لنصف مساحة الخطوط الفعالة الثلاثية الأطوار، حيث يكون التيار المار في خط التعادل صغير ولا يستوجب موصل ذات مساحة كبيرة.

السعة الامبيرية للكابل:

السعة الامبيرية تعتمد على مساحة مقطع الموصل وطريقة تمديد الكابل (في الهواء او في التربة او في الانابيب)، وذلك بسبب اختلاف التبادل الحراري بين الكابل والمنطقة المحيطة به.

اذا كان معدل طرد الحرارة اعلى من معدل توليد الحرارة يؤدي الى زيادة كفاءة الكابل وبالعكس، والجدول ادناه يمثل تحمل الكابلات على اعتبار درجة حرارة الهواء $45^0\ C$ **ودرجة حرارة الأرض** $30^0\ C$ **وبعمق** $90\ cm$**.**

مساحة مقطع الموصل (mm^2)	قياس الموصل بعدد الاسلاك والقطر (mm)	اسلاك مفردة داخل انابيب (Ampere)	كابلات ضغط واطئ تحت الأرض (Ampere)	كابلات ضغط واطئ سطحية (Ampere)	كابلات ضغط عالي سطحية (Ampere)
١	7/0.42	8	20	12	-
1.5	7/0.52	10	23	15	-
2.5	7/0.67	14	30	20	-
4	7/0.85	17	39	27	-
6	7/1.04	23	50	34	-
10	7/1.34	31	66	46	-
16	7/1.69	42	87	57	-
25	7/2.12	57	111	81	-
35	7/2.5	71	137	100	73
50	19/1.83	91	162	124	89
70	19/2.16	-	197	152	108
92	19/2.52	-	232	180	130
120	37/2.03	-	272	210	150
150	37/2.27	-	312	241	173
185	37/2.52	-	354	272	190
240	61/2.24	-	487	317	227
300	61/2.5	-	497	360	257

تصميم الكابلات Cable design

يتم تصميم الكابلات اعتمادا على:

١- السعة الامبيرية للكابل.

٢- هبوط الجهد.

٣- مقدار تيارات القصر.

السعة الامبيرية للكابل:

يتم حساب تيار الكابل ومن ثم مساحة مقطع موصلاته بالطرق التالية:

١- يتم حساب تيار الحمل *(I_L)* ومن العلاقة التالية:

$$I_L = (kVA) * 1.5$$

٢- يتم حساب تيار قاطع الدورة من العلاقة التالية:

$$I_{C.B} = I_L * 1.25$$

ملاحظة: يجب ان يكون تيار القاطع IC.B اعلى من تيار الحمل I_L بمقدار 25% حسب المواصفات العالمية، وتسمى بمعامل الأمان (S.F).

٣- يتم حساب تيار الكابل من العلاقة التالية:

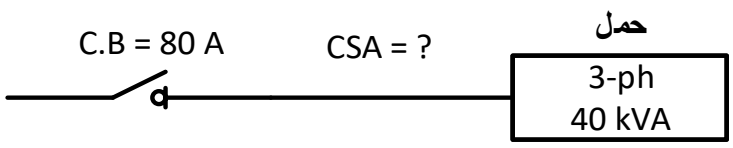
$$I_{cable} = I_{C.B}/(D.F)$$

معامل تصحيح التيار(D.F) Derating factor :

(معامل تصحيح الحمل المقنن)، وهذا يعتمد على درجة حرارة الهواء او درجة الحرارة تحت الأرض، وكذلك على طريقة دفن الكابلات وعمق الدفن بالإضافة الى المقاومة النوعية للتربة.

جدول معامل تصحيح الحمل المقنن في الهواء

درجة حرارة الهواء (C^0)	٢٥°	٣٠°	٣٥°	٤٠°	٤٥°	٥٠°	٥٥°
كابلات ***PVC***	***1.22***	***1.15***	***1.08***	***1***	***0.95***	***0.82***	***0.71***
كابلات ***XLPE***	***1.14***	***1.1***	***1.05***	***1***	***0.9***	***0.89***	***0.84***



$1.5 * kVA = I_L$ $\quad$ $I_L = 40 * 1.5 = 60\ A$

$S.F = I_L = I_{C.B}$ $\quad$ $I_{C.B} = 60 * 1.25 = 75\ A$

يتم اختيار C.B ذات تيار $80\ A$.

$I_{cable} = I_{C.B}\ /\ D.F$

$D.F = 0.82$

$I_{cable} = 80/0.82 = 97.5\ A$

بعد إيجاد تيار الكابل I_{cable}**، يتم إيجاد مساحة مقطع الكابل من جداول الكابلات، حيث نلاحظ بان الرقم** $97.5\ A$ **واقع بين الرقمين** 81 **و** 100 **في حقل كابلات ضغط واطىء سطحية، فيتم اختيار الرقم الأعلى** (100)**، ثم نلاحظ مساحة مقطع الكابل حيث نرى بان مساحة مقطع الكابل هي** $35\ mm^2$ **(أي كابل** $3*35\ mm^2$ **او** $4*35\ mm^2$**).**

معامل تصحيح عدد الكابلات المتجاورة:

يجب استخدام معامل تصحيح لعدد الكابلات المتجاورة، حيث ان وجود الكابلات جنب بعضها يؤثر على قيمة التيار الذي يتحمله الكابل بسبب الحرارة الناتجة من مرور التيار في الكابلات.

جدول معمل التصحيح للكابلات المتجاورة.

	عدد الكابلات المتجاورة				
	٢	٣	٤-٥	٦-٨	اكثر من ٩
معامل التصحيح لكابلات أفقية	0.85	0.78	0.75	0.72	0.7
معامل التصحيح لكابلات راسية	0.8	0.73	0.7	0.86	0.66

أنواع الكابلات في النظام الإنكليزي:

١- كابلات ذات عازل مطاطي مقسى (V.R.T):

تمتاز بمرونة عالية، ويحاط الكابل من الخارج بنسيج قطني كعازل واقي يستخدم في الاحجام الصغيرة.

٢- كابلات ذات الغلاف المطاطي المتين *(T.R.S)*:

يكون العازل من المطاط القوي (مطاط سيليكوني)، يمتاز بمقاومة عالية ضد الماء، ويمكن استخدامه في الأماكن ذات الرطوبة العالية.

٣- كابلات بولي فينايل كلوريد *(PVC)*:

يكون العازل من البلاستك *PVC*، الا انه يتاثر بدرجات الحرارة الواطئة جداً ودرجات الحرارة الأعلى من $70^{o}\ C$.

٤- كابلات ذات مواد العزل المتعدد *(M.I.M)*:

والذي يكون عبارة عن أنبوب معدني توضع بداخله الموصلات وتملا الأنبوبة بمادة أوكسيد المغنيسيوم العازلة وتكون على شكل مسحوق، ويلف حول الأنبوب سلك معدني لزيادة القوة الميكانيكية، ويغلف من الخارج بعازل *PVC*، وتمتاز بما يلي:

- **غير قابل للاشتعال.**
- **لا يتاثر بالرطوبة او الزيوت.**
- **متانة ميكانيكية عالية.**
- **يتحمل درجات حرارة عالية (اكبر من $80^{o}\ C$).**
- **تحمل عالي للتيار.**

٥- كابلات ورقية ذات غلاف رصاصي *(P.I.L)*:

حيث يتكون الكابل من:

- **موصلات نحاس او الألومنيوم.**
- **يكون العازل ورق مشبع بالزيت يلف حول الموصلات بطبقات.**
- **غلاف من الرصاص لمنع تسريب الماء، ويستخدم كارضي للكابل.**
- **طبقة من الورق المطلي بالقار.**
- **طبقة تسليح على شكل شرائط تلف نصف على نصف حول الكابل.**
- **طبقة خارجية من خيوط الجوت المشبعة بمادة القار.**

طرق مد الكابلات الكهربائية :

يتم مد الكابلات بطرق مختلفة حسب طبيعة الاستخدام والمكان ومن اهم الطرق هي:

١- مد على الأعمدة والجدران:

تستخدم هذه الطريقة في الازقة والاحياء الضيقة، واحيانا في تأسيس المعامل والمنازل.

٢- دفن مباشر في الأرض:

وهي طريقة رخيصة وسهلة التنفيذ، حيث يدفن الكابل على عمود يتراوح ما بين *(70-100 cm)* في الأرض، وتستخدم في المواقع الواقعة خارج المدن على الاغلب كالمعسكرات مثلاً.

٣- مد داخل انابيب بلاستيكية *(PVC)* او الاسبستية:

حيث يتم إمرار الكابل من المصدر الى الحمل داخل أنبوب يدفن تحت الأرض، وتستخدم هذه الطريقة في المنازل والمعامل.

من مميزات هذه الطريقة إمكانية استبدال الكابل في حالة حدوث العطل، وكذلك إمكانية إضافة كابلات أخرى مستقبلا.

٤- مد داخل قنوات أرضية:

تستخدم هذه الطريقة في المعامل الكبيرة حيث يتم وضع التأسيسات الخارجية والداخلية معا في قنوات مشيدة لهذا الغرض.

وتعتبر طريقة مكلفة لاحتياجها الى أعمال مدنية لإنشاء القنوات، حيث يتم بناء جوانب القناة بالطابوق او الأسمنت وتغطى من الأعلى بالواح معدنية سميكة.

٥- مد على حوامل الكابلات *Cable Tray*:

وتكون عبارة عن حوامل معدنية معلقة في السقف او مثبتة على الجدران، وتستخدم في المختبرات والمعامل وغرف المكائن.

٦- مد داخل قنوات الخدمة العامة *Service Shaft*:

ويتم تثبيت الكابلات على جدران القناة بواسطة القفائص وتستخدم في إيصال الكهرباء الى لوحات التوزيع في العمارات السكنية.

مساوئ اختيار مساحة مقطع اصغر من الحد المسموح به:

يتم اختيار احجام الكابلات (مساحة مقطع الموصلات) بحيث تتناسب مع مقدار تيار الحمل، لذا فان اختيار كابلات ذات احجام لا تتناسب مع الحمل يؤدي الى:

١- زيادة المفاقيد في الجهد.

٢- زيادة درجة حرارة الكابل.

٣- تلف العازل.

٤- حدوث قصر بين الموصلات وتلفها.

اعطال الكابلات الكهربائية وطرق تحديدها:

من اهم اعطال المحتملة في الكابل هي:

١- حدوث قطع لبعض الموصلات او لجميع الموصلات.

٢- حدوث تماس او قصر بين الموصلات.

٣- حدوث تماس او قصر بين الموصلات والأرض.

تحدث هذه الأعطال بسبب الإصابة الميكانيكية او تعرض الكابل لضربات قوية او نتيجية لاحتراق العازل بسبب الاختيار الخاطئ للكابل او بسبب وجود مواد كيمياويات او زيوت في التربة.

طرق تحديد نوع العطل في الكابلات:

يتم تحديد نوع العطل باستخدام أجهزة القياس التالية:

١- استخدام جهاز الاوميتر لتحديد القطع في الموصلات.

٢- تسليط فولتية عالية لاحداث شرارة في موقع القطع ومن ثم حرق العازل لتحديد مكان القطع.

٣- استخدام أجهزة كشف الكترونية خاصة.

٤- استخدام جهاز الميكر *magger* لكشف عن حالات التماس او القصر.

طرق تحديد موقع (مكان) الفصل في الكابلات الكهربائية:

١- اختبار موري *Murray loop test*.

٢- اختبار سقوط الجهد *Fall of potential test*.

٣- اختبار السعة *Capacity test*.

يستخدم اختبار موري واختبار سقوط الجهد لغرض تحديد مكان العطل في حالات القصر والتماس الأرضي، بينما يستخدم اختبار السعة لغرض تحديد مكان العطل في حالات القطع.

اختبار موري Murray loop test:

جهاز موري عبارة عن مقاومة متغيرة ذات طرف وسطي منزلق وتكون هذه المقاومة بشكل مسطرة مترية مدرجة بالميليمتر *mm* وطولها متر واحد *1 m* ويرمز لها بالرمز *S*، بالإضافة الى وجود جهاز كلفانوميتر *G*.

لو فرضنا انه لدينا كابل ثنائي طوله *L (m)* واحد موصلاته بحالة جيدة بينما الموصل الاخر حدث له تماس مع الأرض في نقطة تبعد بمقدار *X (m)* من طرف الكابل، فيتم تحديد العطل بالطريقة التالية:

١- ربط اطراف موصلات الكابل بدائرة قصر من احد نهايات الكابل.

٢- ربط اطراف المسطرة المترية *S* من موصلات الكابل من الطرف الاخر.

٣- يتم ربط جهاز الكلفانوميتر مع اطراف المسطرة المترية (على التوازي).

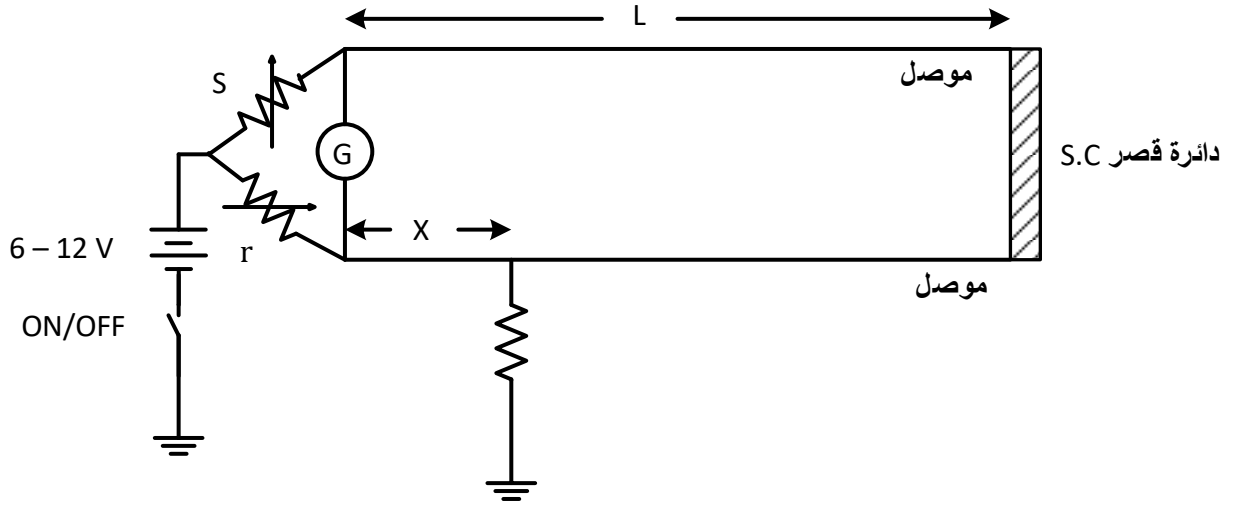
٤- يتم ربط جهاز بطارية *(6 – 12 V)* الى الطرف المنزلق للمسطرة المترية عن طريق الطرف السالب للبطارية من خلال مقاومة متغيرة، والطرف الموجب الى الأرض عن طريق مفتاح *on/off*.

٥- ضع المفتاح على وضع *on*، وقم بتغير الطرف المنزلق الى ان تصبح قراءة الكلفانوميتر صفر.

٦- اقرأ على المسطرة موضع الطرف المنزلق *r*.

يتم تحديد قيمة *X* من العلاقة التالية :

$$X = \frac{r * 2L}{S}$$



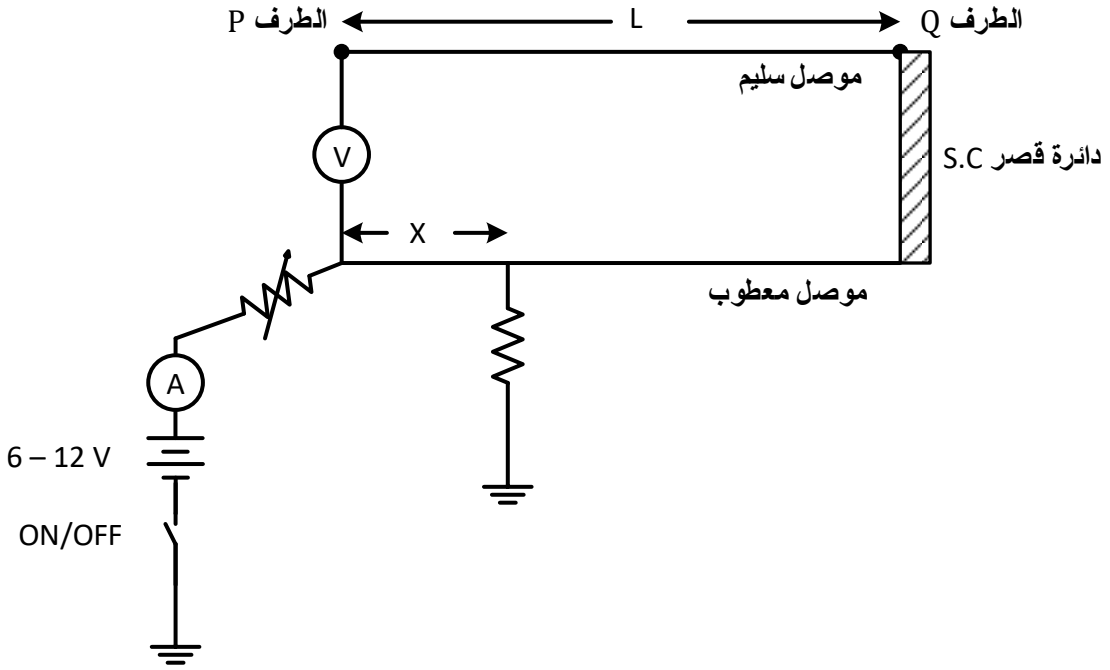
لو فرضنا ان التماس حدث لجميع موصلات الكابل مع الأرض، فان الاختبار في هذه الحالة يتم عن طريق موصل اخر او كابل سليم بنفس مواصفات الكابل المعطوب من حيث الطول ومساحة المقطع.

حيث يتم ربط نهاية الكابل المعطوب مع الموصل السليم بدائرة قصر *S.C* ومن الجهة الأخرى يتم ربط المسطرة المترية مع جهاز الكلفانوميتر على التوازي مع طرف الكابل المعطوب الاخر مع الطرف الاخر للموصل السليم، ويتم اجراء الاختبار بنفس الطريقة السابقة.

اذا لم يتوفر كابل او موصل سليم بنفس مواصفات الكابل المعطوب، يمكن اجراء الاختبار باستخدام أي موصل اخر (يختلف عن الكابل المعطوب من حيث الطول ومساحة المقطع)، ولكن يجب حساب الطول المكافئ في هذه الحالة.

اختبار سقوط الجهد Fall of potential test:

لو فرضنا انه لدينا كابل ثنائي وحدث فيه تماس بين موصلاته ولمعرفة مكان التماس عن طريق اختبار سقوط الجهد يتم عن طريق موصل اخر كما في الشكل التالي:



حيث يتم الاختبار بالشكل التالي:

١- ربط دائرة قصر بين احد الموصلات المقصورة والموصل الاخر السليم.

٢- ربط أجهزة قياس وبطارية كما في الشكل أعلاه، ويتم قياس الجهد والتيار من طرف الكابل الأول (الطرف P)، ولتكن القيم هي V_P و I_P.

٣- يتم إعادة ربط أجهزة القياس من الطرف الاخر (الطرف Q) وتكون دائرة القصر من الطرف P في هذه الحالة.

٤- تقاس قيمة الجهد والتيار من الطرف Q ولتكن V_Q و I_Q.

يتم حساب قيمة X من العلاقة التالية:

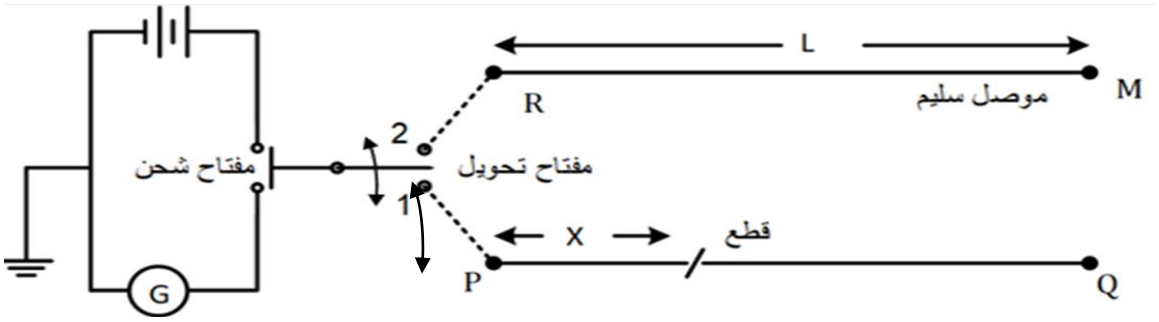
$$X = \frac{(V_P * I_Q) * L}{(V_P * I_Q) + (V_Q * I_P)}$$

اختبار السعة Capacity test:

يستخدم اختبار السعة لتحديد مكان القطع في الموصل، حيث يتم مقارنة شحنة الموصل المقطوع مع شحنة الموصل السليم.

يكون الاختبار كما في الشكل التالي:

لو فرضنا انه لدينا كابل طوله $L\ (m)$ وفيه الموصل $R\,M$ سليم والموصل $P\,Q$ مقطوع.



يتم ربط اطراف الكابل مع مفتاح التحويل (R مع 2) و (P مع 1)، حيث يتم وضع مفتاح التحويل على الوضع 1 ويضغط على مفتاح الشحن حيث يتم شحن الموصل $P\,Q$ لمدو قصيرة $(10\ sec)$ عن طريق البطارية الى النقطة P، ثم يغير وضع مفتاح الشحن، حيث يتم تفريغ الشحنة الى الأرض عن طريق جهاز القياس ويسجل انحراف مؤشر الجهاز (قراءة الجهاز). ولتكن قيمة القراءة (a).

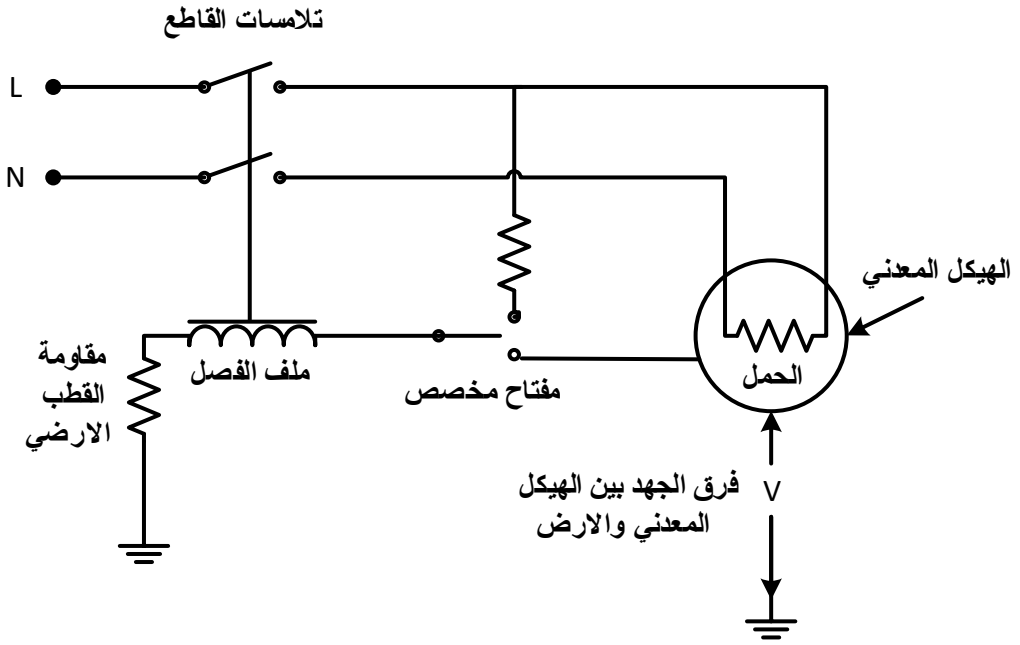
يوضع مفتاح التحويل على الوضع ٢ ، وبضغط مفتاح الشحن حيث يتم في هذه الحالة شحن الموصل $R\ M$ لمدة قصيرة $(10\ sec)$ ثم تفرغ شحنة الموصل الى الأرض ويسجل قراءة جهاز الكلفانوميتر في هذه الحالة، ولتكن قيمة القرأة (b)، فان قيمة X تكون:

$$X = L * \frac{a}{b} \qquad (m)$$

اما اذا كان كلا الموصلين $R\,M$ و $P\,Q$، فيتم إجراء الاختبار من الطرف P والطرف Q، فاذا كانت قراءة الكيلفانوميتر من الطرف P هي (a) ومن الطرف Q هي (b)، فان قيمة X:

$$X = L * \frac{a}{(a+b)} \qquad (m)$$

عند الضغط على مفتاح الفحص يؤدي الى تشغيل ميكانيكية الفصل للقاطع، وهذا يعني ان القاطع يعمل بشكل جيد، وفي حالة عدم اشتغال القاطع نستدل على حالة عطل قد تكون بسبب زيادة مقاومة القطب الارضي او قطع السلك الأرضي او خلل في القاطع نفسه.



شكل رقم ١

قواطع RLCB التي تعمل بتأثير التيار:

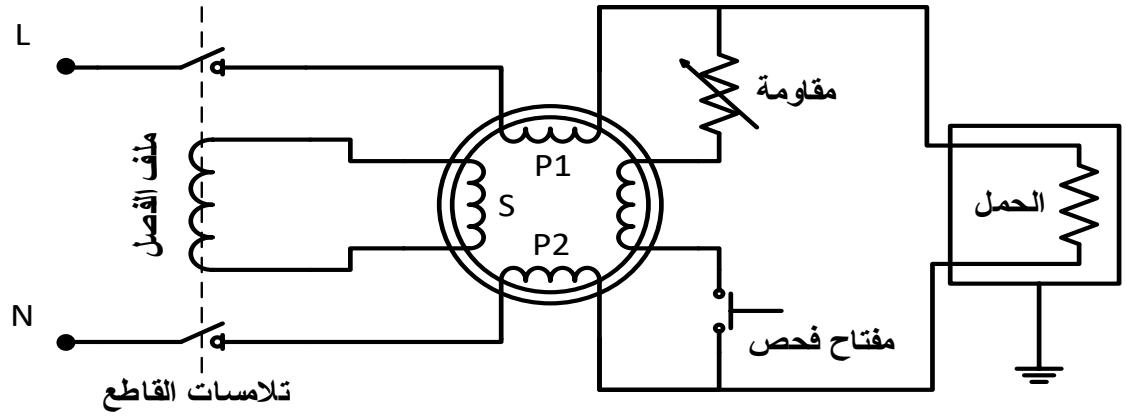
تعمل قواطع التسرب الأرضي التي تعمل بتأثير التيار في الدوائر الأحادية الطور على مقارنة بين التيار الداخل والتيار الخارج من الحمل، حيث يتكون القاطع من قلب حديدي دائري الشكل يوجد عليه ملف ابتدائي مكون من جزئيين لهما نفس عدد اللفات ونفس مساحة مقطع السلك، احدهما يربط مع الخط الفعال والأخر يربط مع خط المتعادل، ويمر فيهما التيار باتجاهين متعاكسين، ويوجد ملف ثانوي يربط مع ملف الفصل للقاطع، بالإضافة الى ملف فحص يربط في دائرة الفحص للقاطع.

في حالة عدم وجود تسرب للتيار يكون الفيض المغناطيسي الناتج عن جزئي الملف الابتدائي متساويان بالقيمة متعاكسان بالاتجاه فتصبح محصلة الفيض بالقلب الحديدي صفر، أي لا توجد ق.د.ك. محتثة في الملف الثانوي فيبقى القاطع في حالة عمل. وعند حدوث تسرب للتيار، تكون محصلة الفيض في القلب الحديدي لها قيمة، وهذا الفيض يؤدي الى حث ق.د.ك. في الملف الثانوي والتي تؤدي الى امرار تيار في ملف الفصل الذي يعمل على تشغيل ميكانيكية الفصل للقاطع في زمن قصير جداً لايتعدى (*30 msec*) كما في الشكل رقم ٢.

توصي المواصفات العالمية الخاصة بالسلامة من اخطار الصدمات الكهربائية ان لا يزيد (حاصل ضرب تيار التسرب * مقاومة الجسم التي يمر فيها التيار عن *40 V*).

التأثيرات التي تسببها التيارات المختلفة على جسم الانسان:

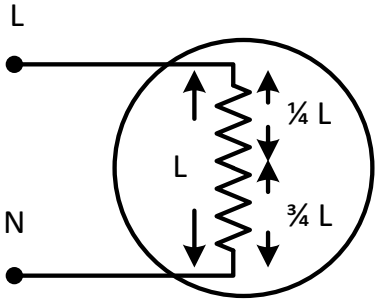
شدة التيار	التأثير على جسم الانسان
1 – 3 mA	يشعر الجسم بوخز بسيط (اقل قيمة للتيار يمكن لجسم الانسان الإحساس بها).
10 – 15 mA	يشعر الجسم بشد في العضلات ولا يمكن ابعاد الخطر ذاتياً.
25 – 30 mA	بداية الحالة الخطرة حيث يزداد تقلص العضلات ويفقد السيطرة.
50 mA	يبدأ خفقان القلب وتكون الصدمة مميتة اذا لم يتخذ اجراء مناسب.

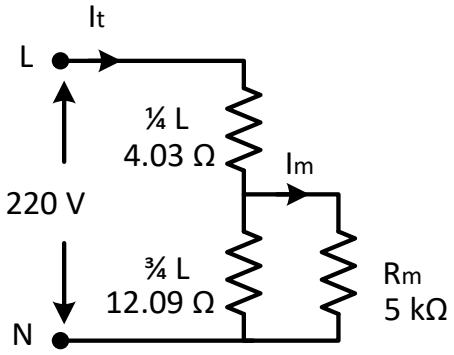


شكل رقم ٢

مثال :

سخان كهربائي قدرته (3 kW) يعمل على جهد (220 V) حدث له تماس مع الغطاء المعدني عند نقطة تبعد بمقدار ربع طول العنصر من الطرف الفعال، فاذا لمس شخص الغلاف المعدني مقاومة جسمه (5 kΩ)، فما مقدار التيار المار خلال جسم الشخص، وما مقدار الفولتية الناتجة من مرور التيار خلال الجسم، علماً بان السخان غير مأرض.





$$P = \frac{V^2}{R}$$

$R =$ **مقاومة العنصر** $= \frac{220^2}{3000} = 16.13\ \Omega$

مقاومة $\frac{1}{4}$ **طول العنصر** $= \frac{1}{4} * 16.13 = 4.03\ \Omega$

مقاومة $\frac{3}{4}$ **طول العنصر** $= \frac{3}{4} * 16.13 = 12.09\ \Omega$

المقاومة الكلية للدائرة $= R_t = (\frac{12.09*5000}{12.09+5000}) + 4.03 = 16.09\ \Omega$

التيار الكلي $= I_t = \frac{V}{R_t} = \frac{220}{16.09} = 13.67\ A$

التيار المار خلال جسم الشخص $= I_m = I_t * \frac{12.09}{(12.09+500)} = 13.67 * \frac{12.09}{5012.09} =$
$0.0329\ A$

$$= 32.9\ mA$$

الفولتية الناتجة $= V_m = I_m * R_m = 0.0329 * 5000 = 164.5\ V$

المناول الكهربائي Electrical Relay

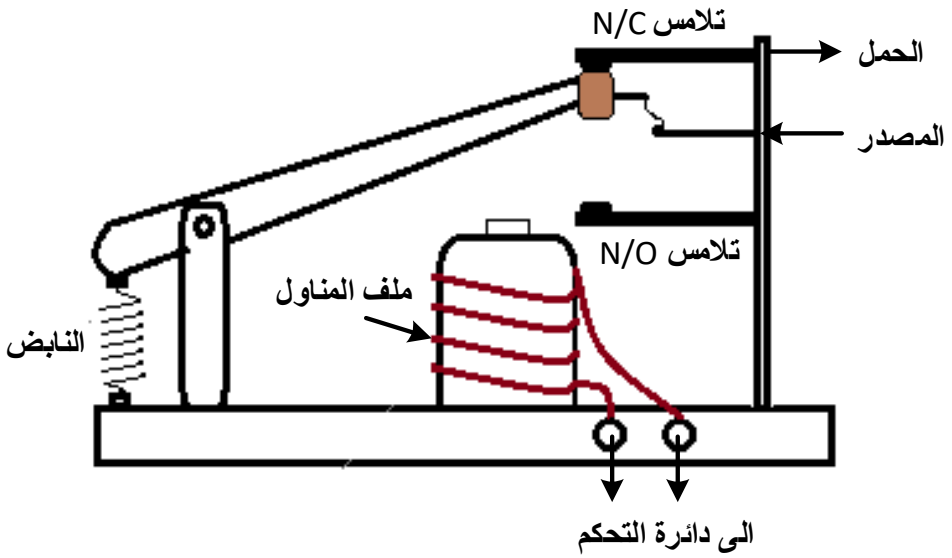
ان معنى كلمة ريلي هي نقل المعلومات، وعمل الريلي في دوائر السيطرة هو تحسس ونقل المعلومات من أجهزة التحسس وايصالها الى دوائر السيطرة، وان أجهزة التحسس يمكن ان تتحسس او تكشف التغير الحاصل في قيم التيار، الجهد، زياردة الحمل، التردد، الحرارة، الضغط، السرعة .... الخ من القيم المتغيرة.

ويوجد أنواع عديدة من المناولات ومنها:

١- مناولات التيار Current Relay (C.R) :

هي عبارة عن أجهزة كهرومغناطيسية تعمل ذاتيا لحماية المحركات الحثية الثلاثية الاطوار من أخطاء دوائر القصر، سواء كانت محركات نوع القفص السنجابي او نوع حلقات الانزلاق.

مناولات التيار تعمل مع اللواقط في قطع التغذية عن المحرك عند حدوث ودوائر القصر، حيث ان مناول التيار يغير وضع تلامساته اعتمادا على قيمة التيار المار في ملفه، ويربط ملف مناول التيار على التولي مع الحمل المراد حمايته، ولمناول التيار تلامسات مساعدة مغلقة NC تربط في دائرة السيطرة على التوالي مع ملف اللاقط.



مخطط مبسط لمناول التيار.

التيار المقرر او المقنن I_{rr} :

اقصى تيار يُسمح بمروره بشكل متواصل في ملف المناول.

تيار التنظيم للمناول I_a :

هو تيار العمل الذي ينظم عليه المناول ليعمل عنده، وفي المناولات ينظم تيار العمل ليكون اكبر من التيار المقرر ما بين (4- 3) مرة.

استخدام مناول التيار في حماية المحركات الحثية (نوع القفص السنجابي):

- **دائرة القدرة للمحرك:**

تستخدم ثلاث مناولات للتيار (CR1, CR2, CR3) تربط ملفاتها على التوالي مع خطوط تغذية المحرك في دائرة القدرة وتكون بعد المفتاح الرئيسي للدائرة.

- **دائرة السيطرة:**

تربط التلامسات المغلقة NC للمناولات (CR1, CR2, CR3) على التوالي مع ملف اللاقط C.

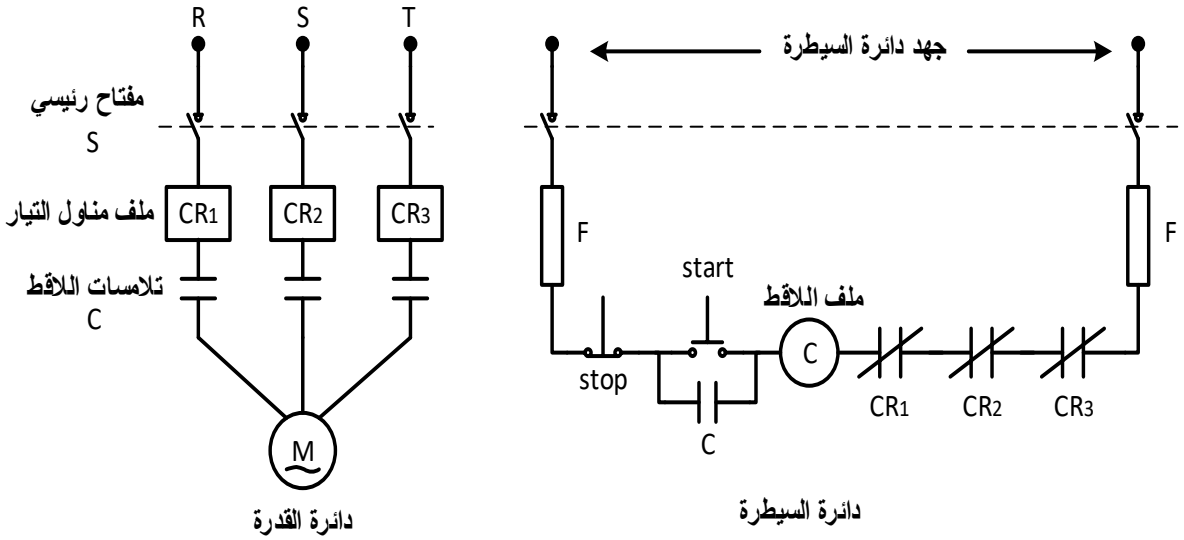
ملاحظة:

عندما تكون نقطة الحياد للمحرك مارضة تستخدم ثلاث مناولات للتيار حيث انه يضمن الحماية من القصر الأحادي الطور مع الأرضي.

ويمكن استخدام مناولين فقط تربطان في خطين من خطوط التغذية عندما يكون المحايد غير مارض او معزول.

ان تيار المناول المقرر Irr يساوي او يزيد على تيار المحرك المقنن، اما تيار تنظيم المناول فيحدد اعتمادا على طبيعة ونوع الحمل وتيار القصر المتوقع في حالة حدوثه.

وفي التطبيقات ذات القيم العالية للتيارات، يستخدم محول تيار CT ويتم ربط خرج محول التيار مع ملف الريلي للمناول.



دائرة كهربائية لتشغيل محرك حثي باستخدام مناولات التيار.

٢- المناولات الحرارية Temperature Relay (T.R) :

تستخدم الناولات الحرارية لحماية المحركات الحثية من زيادة الحمل (O.L) حيث يزداد تيار المحرك عن التيار المقنن للمحرك بسبب:

- **زيادة الحمل الميكانيكي على المحرك.**
- **انخفاض جهد المصدر.**
- **فقدان احد اطوار المصدر اثناء العمل.**

ان استمرار مرور التيار الغالي في ملفات المحرك لمدة طويلة سوف يؤدي الى ارتفاع حرارة الملفات بشكل كبير والذي يؤدي الى تلف العوازل واخيراً احتراق ملفات المحرك.

المناول الحراري (T.R) له خصائص فصل عكسية، أي ان زمن فصل المناول يقل مع زيادة تيار الحمل، أي ان الزيادة القليلة للتيار تأخذ وقت أطول لفصل المناول، بينما الزيادة الكبيرة في التيار تأخذ وقت قصير جدا لفصل المناول.

ان الحماية من زيادة الحمل يمكن باستخدام مناولات التيار (C.R)، الا ان التاثير المباشر لزيادة الحمل على المحرك هو زيادة درجة حرارة المحرك عن الحدود المقررة، لذا يمكن حماية المحرك حراريا (من زيادة درجة الحرارة) باستخدام عناصر حساسة للحرارة تربط في دوائر المحركات.

طرق حماية المحركات الحثية من زيادة الحمل:

يتم حماية المحركات الحثية من زيادة الحمل باستخدام عناصر الحساسة للحرارة والتي تكون اما:

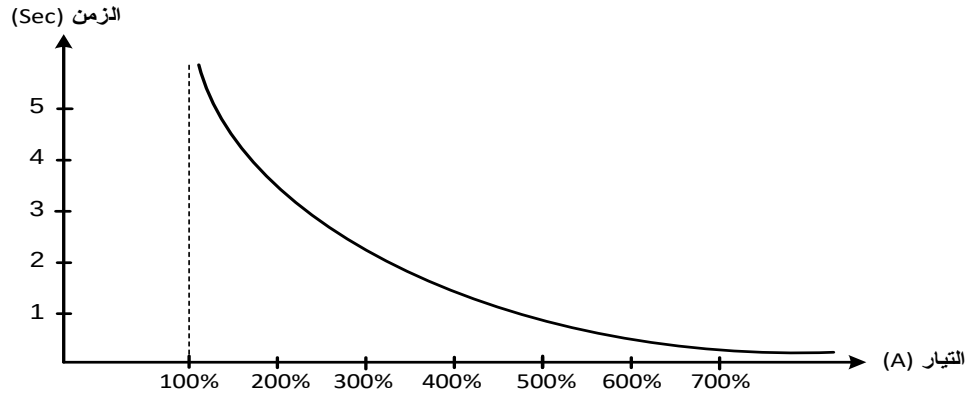
- **ربط العناصر الحرارية على التوالي مع خطوط التغذية (استخدام مناولات التيار).**
- **دفن العناصر الحرارية بين ملفات المحرك (استخدام المتحسسات المدفونة).**

استخدام المناولات الحرارية في حماية المحركات الحثية:

يحتوي المناول على ثلاث شرائح ثنائية المعدن مع وجود ملف تيار ملفوف حول الشرائح يعمل على تسخين الشرائح اثناء مرور التيار خلالها.

الشرائح الثنائية تتكون من معدنيين مختلفين في معاول التمدد الحراري، الطرف العلوي للشريحة يكون ثابت بينما الطرف السفلي يكون حر الحركة، ان زيادة مرور التيار خلال ملف التسخين يؤدي الى زيادة حرارة الشريحة ويسبب انحناء الشريحة باتجاه اليمين بسبب الاختلاف في تمدد الطولي للشرائح، انحناء الشريحة يودي الى تشغيل ميكانيكية الفصل والتي تعمل على فتح تلامسات المناول.

ان المناولات الحرارية لها خواص تيار زمنية عكسية، أي انه كلما كانت قيمة الزيادة في تيار الحمل كبيرة تؤدي الى سرعة انحناء الشريحة وسرعة فصل المناول، كما في الشكل التالي:



خصائص المناولات الحرارية.

ومن خصائص المناولات الحرارية نلاحظ بانه:

١- عندما يكون تيار المحرك بقيمة 100% من التيار المقنن فان المناول لا يفصل.

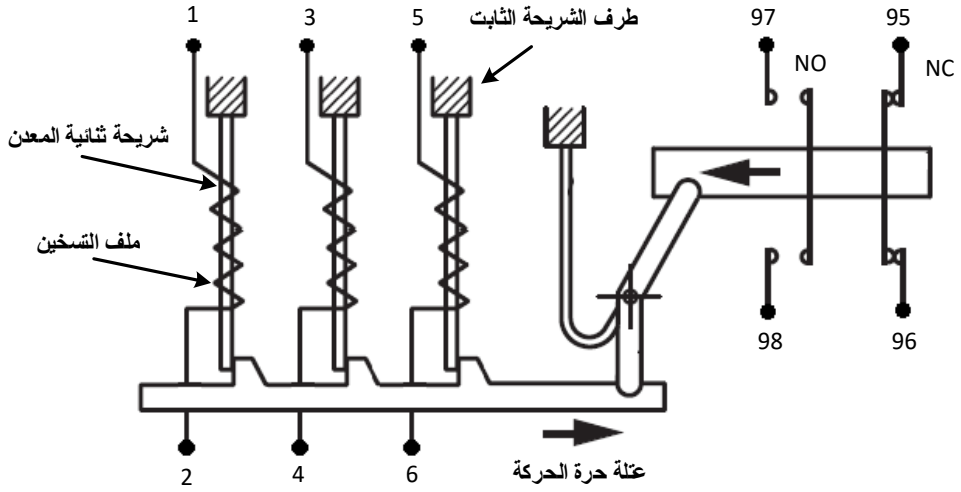
٢- عندما يصبح تيار المحرك بقيمة 200% من تيار المقنن فان المناول يفصل خلال (2 sec).

٣- عندما يصبح تيار المحرك بقيمة 300% من تيار المقنن فان المناول يفصل خلال (1 sec).

٤- ان تيار البدء العالي للمحرك لايؤثر على عمل المناول لانه يبقى لمدة قصيرة جداً.

ان خواص المناول الحراري تمثل العلاقة بين تيار العنصر الحراري وزمن الفصل للمناول، وتكون العلاقة بينهما علاقة عكسية حيث انه كلما كان التيار اكبر كان زمن الفصل اسرع.

تيار العنصر الحراري (I_{th}) هو اكبر تيار يمر في العنصر الحراري بصورة مستمرة ودون ان يؤدي مروره الى فصل المناول.

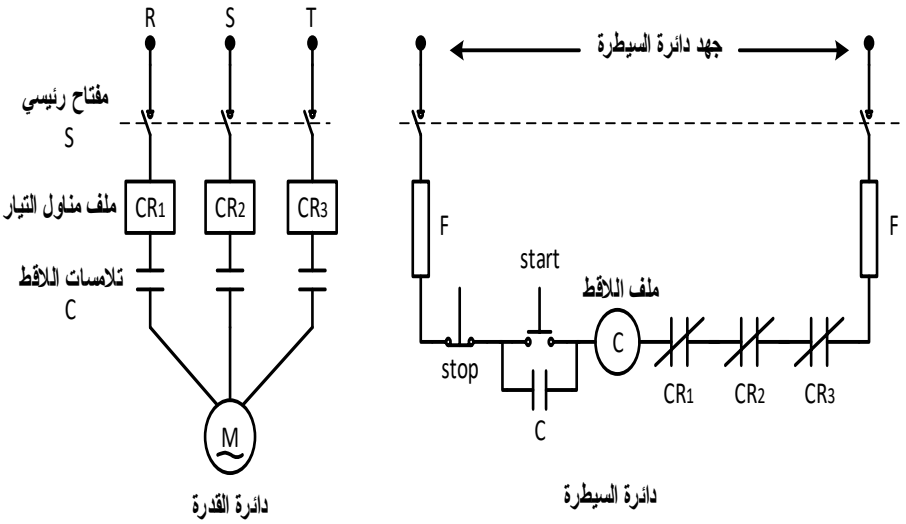


مخطط توضيحي لمناول الحراري *T.R*.

كيفية ربط المناولات الحرارية لحماية المحركات الحثية:

يتم ربط المناول بحيث يمر تيار المحرك خلال الشرائح الثنائية المعدن، بشكل مباشر او بشكل غير مباشر عن طريق ملف تسخين يلف حول الشريحة ومعزول عنها، أي يربط العنصر الحراري للشريحة على التوالي مع خطوط تغذية المحرك.

اما تلامسات المناول المغلقة NC فتدخل في دائرة السيطرة وتربط على التوالي مع ملف اللاقط، فعند زيادة التيار المار الى المحرك عن التيار المقنن يؤدي الى انحناء الشريحة والتي تعمل على فتح التلامس المغلق للمناول وقطع التيار عن ملف اللاقط والذي يؤدي الى قطع التغذية عن المحرك.



دائرة كهربائية تبين استخدام المناول الحراري في حماية المحرك الحثي الثلاثي الطور.

عيوب المناول الحراري :

١- ان التيار المار في المناول لا يكون مقياس لمقدار الحرارة المتولدة في المحرك.

٢- قد يفشل المناول الحراري في حماية المحركات ذات القصور الذاتي العالي والتي تطول فترة انطلاقها.

٣- الناول الحراري لا يأخذ بنظر الاعتبار درجة حرارة الهواء المحيط اثناء العمل، ولا يتحسس الخلل في نظام تبريد وتهوية المحرك.

٤- قد يفشل المناول الحراري في حماية المحركات التي يتكرر اطلاقها وايقافها، حيث تزداد حرارة المحرك بينما يكون التيار المار في المناول اعتيارياً.

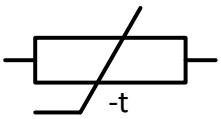
استخدام المتحسسات المدفونة في حماية المحركات الحثية الثلاثية الطور

يتم استخدام المتحسسات المدفونة في ملفات المحرك لحماية المحرك من زيادة الحمل (زيادة تيار المحرك عن التيار المقنن) ، حيث يدفن المتحسس الحراري بين ملفات المحرك.

ومن اهم أنواع المتحسسات الحرارية هو المقاوم الحراري الثيرميستور (Thermistor) وهي عبارة عن مقاومة غير خطية لكنها تتغير مع تغير درجة حرارتها، ويوجد نوعين من الثيرميستور وهما :

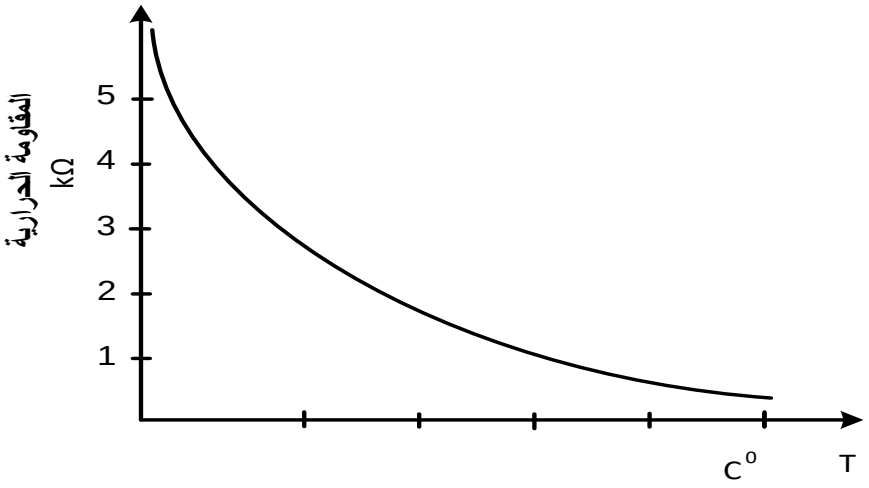
١- ثيرميستور ذات معامل حراري سالب NTC :

ويرمز له بالرمز



حيث تكون العلاقة بين قيمة مقاومة الثيرميستور ودرجة الحرارة علاقة عكسية، أي تقل قيمة المقاومة مع ارتفاع درجة الحرارة.

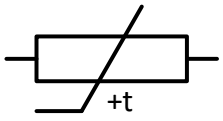
$$R \propto \frac{1}{T}$$



منحني الخواص ل *NTC*.

٢- ثيرميستور ذات معامل حراري موجب PTC :

ويرمز له بالرمز

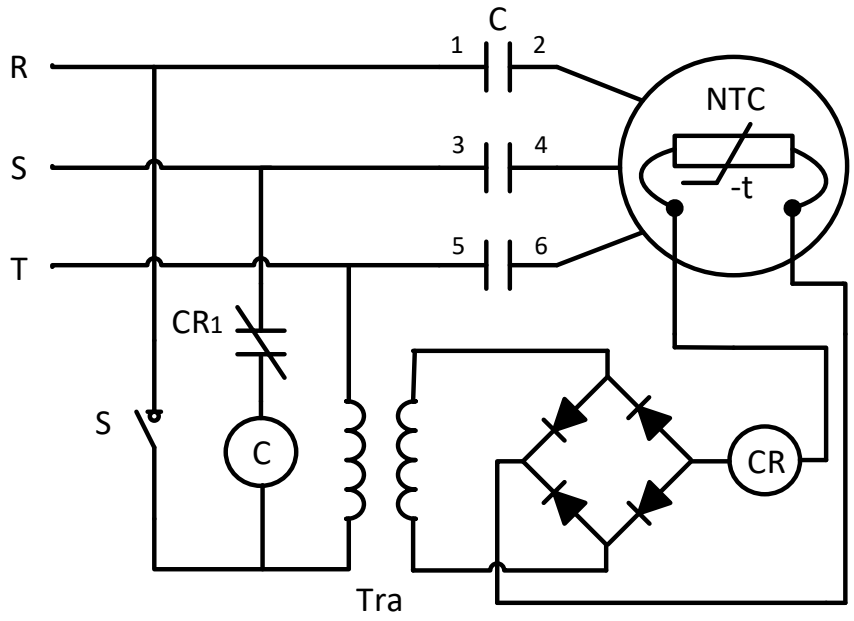


حيث تكون العلاقة بين قيمة مقاومة الثيرميستور ودرجة الحرارة علاقة طردية، أي تزداد قيمة المقاومة مع ارتفاع درجة الحرارة.

كيفية استخدام الثيرمستور NTC في حماية المحركات الحثية:

ان استخدام الثيرميستور NTC في حماية المحركات يتطلب وجود مناول تيار CR في دائرة الحماية.

يتم وضع الثيرميستور NTC بين ملفات المحرك ويربط على التوالي مع ملف اللاقط الرئيسي، كما في المخطط ادناه.



الدائرة الكهربائية لاستخدام المتحسسات المدفونة *NTC* في حماية المحركات الحثية الثلاثية الطور.

طريقة عمل الدائرة:

ان غلق المفتاح (S) يؤدي الى تغذية ملف اللاقط (C) من خلال التلامس المغلق لمناول التيار (CR)، فيؤدي الى غلق تلامسات اللاقط الرئيسية التي تغذي المحرك، ويبدأ المحرك بالعمل، وفي نفس الوقت يتم تغذية المول الكهربائي الذي يعمل على خفض الجهد وتغذيته الى الموحد القنطري الذي يحول التيار المتناوب الى تيار مستمر.

التيار المستمر الخارج من الموحد القنطري يتم تغذيته الى المتحسس الحراري NTC المدفون بين ملفات المحرك من خلال ملف مناول التيار (CR).

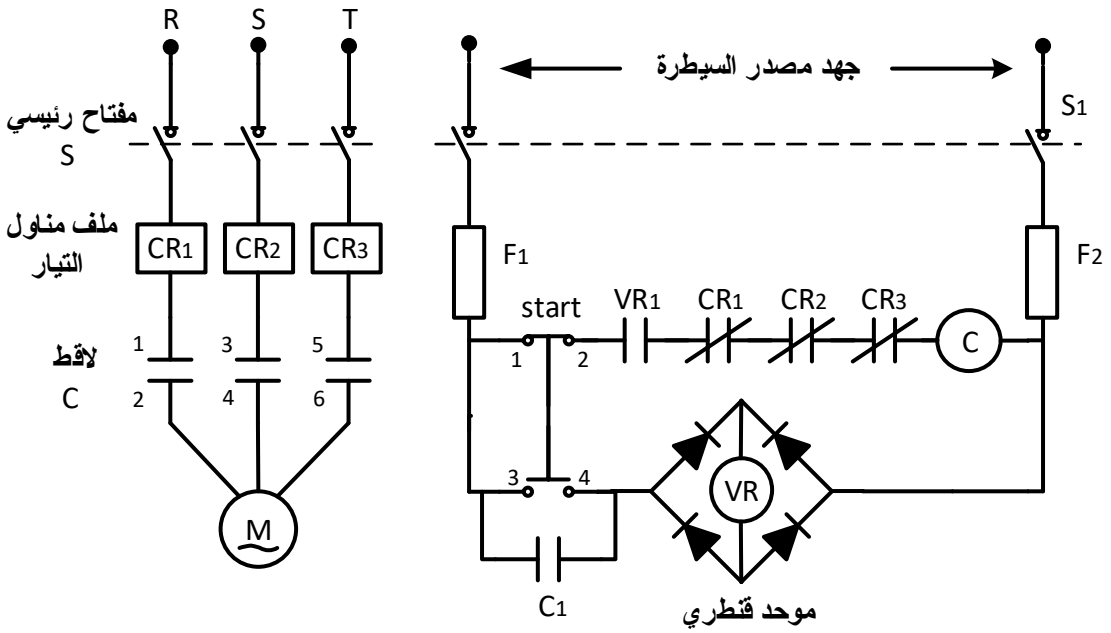
عندما يعمل المحرك بشكل طبيعي تكون حرارة ملفات المحرك طبيعية، وتكون مقاومة المتحسس الحراري NTC عالية، لذا فان التيار المار خلالها يكون صغير وغير كافي لعمل مناول التيار (CR)، فيبقى المحرك مستمر بالعمل.

وعند زيادة درجة حرارة ملفات المحرك (بسبب زيادة الحمل على المحرك) تهبط مقاومة المتحسس الحراري NTC ، فيزداد التيار المار فيه، وعندما تصل قيمة التيار الى قيمة تيار عمل المناول، فان المناول سوف يعمل ويُفتح تلامسها المغلق (CR_1) وتقطع التغذية عن ملف اللاقط والذي يعمل على فصل التغذية عن المحرك.

مناولات الجهد (VR) Voltage Relay

تستخدم مناولات الجهد لحماية المحركات الحثية من انخفاض جهد التغذية، تشترط مواصفات العالمية عدم ترك المحركات الكهربائية الحثية تعمل لفترة طويلة، عند انخفاض جهد التغذية خصوصاً عندما يعمل المحرك عند الحمل الكامل.

وتحدد هذه المواصفات اقصى هبوط في الجهد بمقدار (2.5%) من جهد المصدر، الحماية من انخفاض الجهد او اختفائه في المحركات الحثية يتم باستخدام مناولات الجهد الكهرومغناطيسية (VR)، يربط هذا المناول كما في الشكل ادناه.



دائرة الحماية من انخفاض جهد التغذية.

نلاحظ في الدائرة وجود مناولات التيار (CR) التي تتحسس الزيادة في تيار الدائرة، اما مناولات الجهد (VR) فتتحسس مقدار الجهد في الدائرة، وتتميز مناولات الجهد عن باقي أنواع المناولات الأخرى بان لها فترة امساك عن العمل لمدة نصف ثانية تقريبا (وفي أنواع من مناولات الجهد يمكن تنظيم فترة الإمساك عن العمل (5 – 10 sec)).

مناول الجهد (VR) يتكون من ملف يوضع حول قلب حديدي، وملف المناول مصمم ليعمل على قيمة معينة من الجهد تدعى الجهد المقنن (V_{rr})، مع وجود تلامسات مساعدة مغلقة او مفتوحة.

فعند تسليط الجهد المقنن المناسب على ملف المناول سوف يتمغنط القلب الحديدي ويعمل على تغيير وضعية التلامسات من مفتوحة الى مغلقة وبالعكس، وعند انخفاض الجهد المقنن الى قيمة اقل من (65%) من الجهد فان التلامسات سوف تعود الى حالتها الطبيعية، ولكن بعد انقضاء فترة الإمساك عن العمل.

ملف المناول VR يمكن ان يعمل على جهد مقنن متناوب او جهد مقنن مستمر من خلال موحد قنطري (كما في الرسم السابق).

طريقة عمل الدائرة:

عند الضغط على مفتاح Start تفتح نقاط (2 – 1) وتغلق نقاط (3-4) فتعمل على تغذية ملف المناول VR مما يؤدي الى غلق التلامس المفتوح (VR_1).

وعند رفع الضغط عن المفتاح Start يعود المفتاح الى وضعيه الطبيعي ((3,4) يفتح و -1) (2 يغلق) أي تقطع التغذية عن ملف المناول (VR)، الا ان تلامسه يبقى مغلق لمدة نصف ثانية (فترة الإمساك عن العمل)، فيؤدي ذلك الى تغذية ملف اللاقط (C) من خلال تلامسات مناولات التيار المغلقة (CR1, CR2, CR3) ، والذي يؤدي الى تشغيل المحرك عن طريق تلامسات اللاقط الرئيسية (5-6 و 3-4 و 1-2)، وبنفس إعادة تغذية ملف المناول (VR) عن التلامس المساعد (C1)، وعند هبوط الجهد الى اقل من (65%) او اختفائه لفترة قصيرة يؤدي الى إطفاء اللاقط (C) وتعود تلامساته الى وضعها الطبيعي فتقطع التغذية عن المحرك وعن ملف مناول الجهد (VR)، فاذا عاد الجهد الى قيمته الطبيعية قبل انتهاء فترة الإمساك عن العمل لمناول الجهد (VR) يعود المحرك الى العمل ذاتياً، اما اذا عاد الجهد الى قيمته الطبيعية بعد انتهاء فترة الإمساك عن العمل فان المحرك لا يعود الى العمل الا عند الضغط على مفتاح Start مرة ثانية.

الحماية الطورية (Phase Relay)

تتم الحماية الطورية للمحركات باستخدام مناولات الطور Phase Relay والتي تتكون من ملف موضوع حول قلب حديدي وتلامسات مفتوحة او مغلقة حسب طبيعة العمل للدائرة.

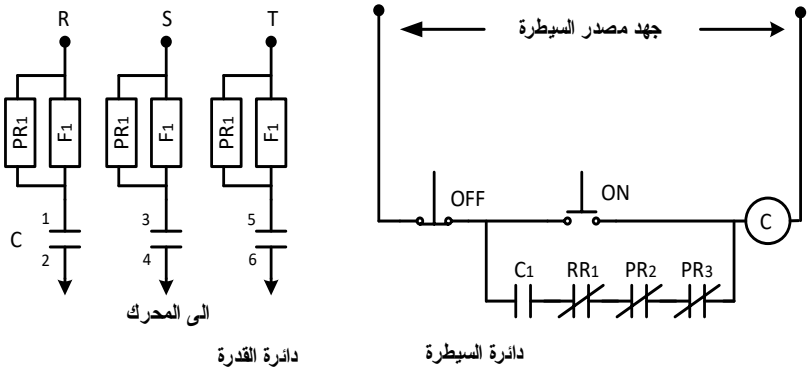
في المحركات الثلاثية الاطوار اذا نقص او فقد احد الاطوار اثناء عمل المحرك فان المحرك يبقى يتغذى من طورين فقط، وللمحافظة على قدرة المحرك الداخلة فان التيار في الطورين يزداد بمقدار (1.73 مرة) والذي يؤدي الى ارتفاع حرارة ملفات المحرك واحتراقها، وقد لا تتمكن المناولات الحرارية (TR) من حماية المحرك عندما يكون الحمل على قليل.

طرق حماية المحركات الحثية الثلاثية الاطوار من العمل على طور ناقص:

تستخدم المناولات الطورية (PR) في حماية المحركات الثلاثية الاطوار بعدة طرق:

١- استخدام ثلاث مناولا تطورية:

يمكن استخدام حماية خاصة بوضع مناولا طورية على التوازي مع الفيوزات بحيث تربط ملفات المناولات على التوازي مع الفيوزات الموجودة في خطوط تغذية المحرك، اما تلامسات المناولات المغلقة فتربط في دائرة السيطرة (كما في الشكل رقم ١).



شكل رقم ١

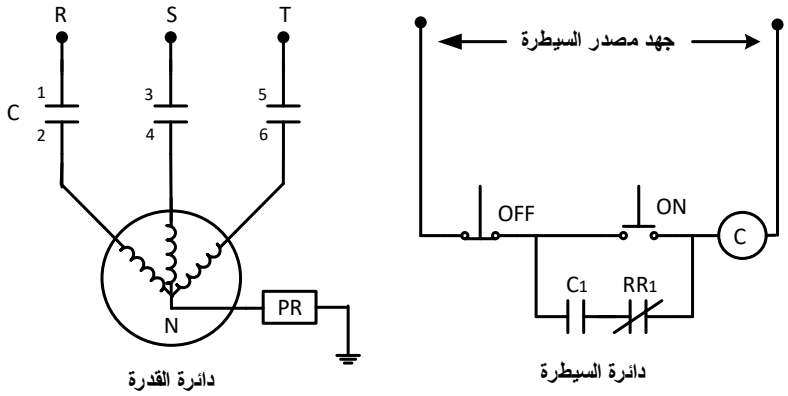
في الحالات الطبيعية لا يمر تيار في ملف المناول عندما تكون الفيوزات سليمة، اما اذا حدث خلل في احد اطوار المحرك اثناء العمل وادى الى انصهار عنصر احد الفيوزات فان ذلك سوف يؤدي الى مرور التيار خلال ملف المناول المتصل على التوازي مع الفيوز (فمثلاً اذا انقطع عنصر الفيوز الثاني F2 فان التيار سوف يمر في ملف المناول PR2 ويؤدي الى تشغيله والذي يعمل على فتح تلامسه المغلق PR2 الموجود في دائرة السيطرة وقطع التغذية عن ملف اللاقط (C) والذي بدورهسوف يعمل على قطع التغذية عن المحرك.

وعندما يكون محايد المحرك معزولاً يمكن استخدام مناولين فقط يربطان مع الفيوزات لطورين فقط بينما يصمم فيوز الطور الثالث بحيث يتحمل تياراً اعلى من التيار المقنن.

٢- استخدام مناول طوري واحد لحماية المحركات الحثية الثلاثية الاطوار:

عندما يكون محايد المحرك مؤرضاً فيمكن استخدام مناول طوري واحد، يربط ملف المناول بين نقطة الحياد للمحرك والارضي اما تلامسات المناول المغلق فيربط في دائرة السيطرة، ان طريقة استخدام مناول واحد تعتمد على طريقة ربط ملفات المحرك وكما يلي:

a) اذا كانت ملفات المحرك ذات ربط ستار Y فيربط ملف المناول بين نقطة الحياد والارضي (كما في الشكل رقم ٢).



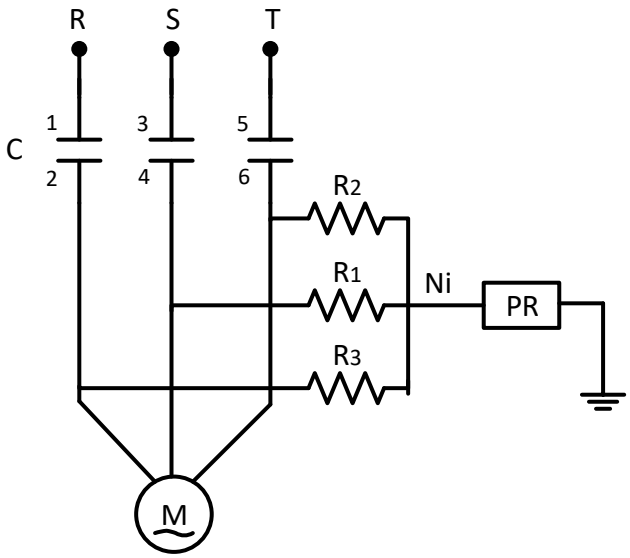
شكل رقم ٢.

b) اذا كانت ملفات المحرك ذات ربط دلتا Δ حيث لا توجد نقطة حياد طبيعية (N)، فيتم تشكيل نقطة حياد مصطنعة (Ni) وفي هذه الحالة يربط ملف مناول الطور PR بين نقطة الحياد المصطنعة (Ni) والقطب الأرضي، ويتم تشكيل نقطة الحياد المصطنعةت بطريقتين:

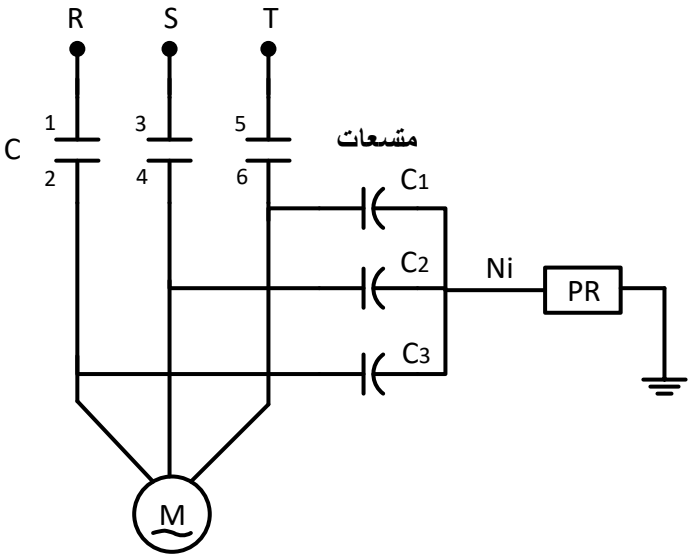
١- استخدام ثلاث مقاومات قدرتها (30-50 W) وقيم تقدر بعدة مئات من الاوم، كما في الشكل رقم ٣.

٢- استخدام ثلاث متسعات قيمها بحدود (2-10 µF) وجهد يساوي جهد المصدر، كما في الشكل رقم ٤.

في الحالات الطبيعية يكون الجهد في نقطة الحياد المصطنعة (Ni) صغير جداً بحدود (2.5% من جهد المصدر ويكون غير كافي لتشغيل مناول الطور PR، اما عندما يفقد احد الاطوار فان الجهد في نقطة الحياد Ni يزداد بشكل كبير، ويؤدي هذا الجهد الى تشغيل المناول PR فيفتح تلامسها المغلق الموجود في دائرة السيطرة ويقطع التغذية عن ملف اللاقط C الذي يؤدي الى فصل المحرك عن المصدر.



شكل رقم ٣.



شكل رقم ٤.

التأريض (E) Earthling

التأسيسات الكهربائية أصبحت من الأمور المهمة لكثرة نوعيات المنظومات والأجهزة المستخدمة، ولأنها تؤدي أغراض أساسية وهي إيصال الطاقة الكهربائية بشكل سليم ومناسب لتشغيل الأجهزة الكهربائية، على ان تتوفر فيها كافة الشروط الخاصة بالسلامة والأمان فضلاً عن عدم جعلها مصدر اذى وتشويه للأبنية التي تتم فيها التأسيسات.

ان السلامة والأمان في التأسيسات الكهربائية تتحقق بالاختيار الصحيح لا حجام الاسلاك والفيوزات والقواطع للحفاظ على الأجهزة والتأسيسات اثناء العمل وعند حدوث عطب فيها، ويمكن ان يكون الأرضي احد الأمور المهمة في موضوع السلامة خاصة عند حدوث العطل.

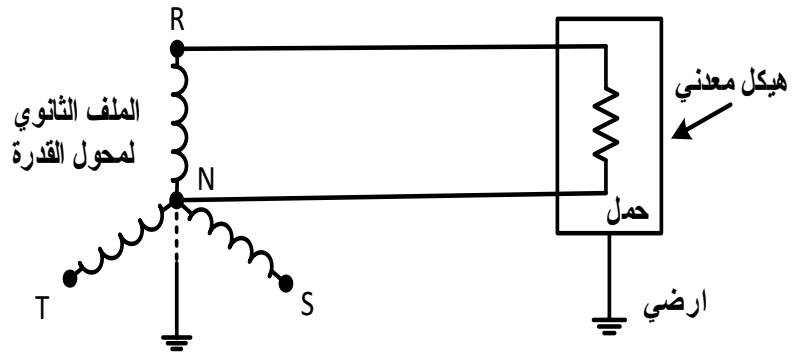
ان التاريض يقوم بدور كبير في سلامة الأجهزة والأشخاص، الا اننا لانعطيه الاهتمام الكبير وذلك لعدة اسباب منها:

- **عدم وجود الوعي والفهم الجيد لموضوع التأريض.**
- **ان التأريض لا يخدم الا عند حصول العطل.**

ان الاستخدام المتزايد للطاقة الكهربائية يجب ان يأخذ بنظر الاعتبار الاحتمالات الخطرة التي يمكن ان تصاحب هذه الاستخدامات خصوصا اذا حدث انحراف عن الطرق الصحيحة للتوصيل.

وتكون الخطورة اساساً في إمكانية تهديد صحة الأشخاص نتيجة لا صابتهم بصدمة كهربائية قد تودي بحياتهم، وكذلك يمكن ان تحدث الحرائق المدمرة للممتلكات وتسبب خسائر جسيمة بسبب حدوث تماس كهربائي مع الأرض، وعدم إمكانية فصل مثل هذه الحالات بواسطة دوائر الحماية والفيوزات وقواطع الدورة.

تعد طريقة توصيل جسم معدني او هيكل معدني يحتوي على أجهزة وأدوات كهربائية الى الأرض من احد طرائق الحماية ضد التسرب الى الأرض، كما في الشكل التالي.



ان منظومة التأريض تعتبر الجزء المهم في كل اعمال التأسيسات الكهربائية، والسبب الرئيسي في استخدام منظومة التأريض هو:

١- منع او تقليل خطر الصدمة الكهربائية على الانسان وكذلك الحيوان.

٢- تقليل خطر الحرائق المدمرة.

حيث ان منظومة التأريض توفر مسار ذو مقاومة واطئة لمرور التيار الى الأرض، ويتم ذلك عن طريق ربط الهياكل المعدنية للأجهزة والمعدات الى قطب ارضي (يدفن في الأرض).

الصدمة الكهربائية:

تكون الصدمة الكهربائية خطرة عندما تصل قيمة التيار المار خلال جسم الشخص الى قيمة قليلة محدودة، وان درجة الخطورة لا تعتمد على قيمة التيار المار خلال الجسم فقط وبل كذلك على وقت سريان التيار في الجسم، ان تيار بقيمة (50 mA) تؤدي الى انقباض عضلي للقلب، وتكون مميتة اذا لم يتم الإسعاف الفوري للشخص المصاب، وخصوصا اذا استمر هذا التيار خلال الجسم لمدة قصيرة جداً (30 msec).

القطب الأرضي:

هو أداة التوصيل الى كتلة الأرض، او الأداة التي يتم عن طريقها التوصيل الى الأرض، ويمكن اني يكون القطب الأرضي بأشكال متعددة.

اشكال القطب الأرضي:

١- قطب ارضي بشكل لوح Plate type :

يكون القطب بشكل لوح من الحديد او النحاس يدفن داخل الأرض بعمق يصل الى 2) (m، والعمق يعتمد على نوع التربة، ومساحة اللوح فتعتمد على نوع التأسيس، ويمكن تقليل مقاومة التربة حول القطب بوضع طبقة من الفحم والملح حول اللوح والتي تساعد امتصاص الرطوبة.

٢- قطب ارضي يشكل قضيب Rod type :

يكون القطب بشكل قضيب من النحاس او الحديد المطلي بالنحاس، ويستخدم في الأراضي الناعمة التي لا تحتوي على صخور، يدفن في الأرض على بعد لا يقل عن) (0.5 m وقد يصل العمق الى (2-3 m) حسب طبيعة التربة.

٣- قطب ارضي بشكل شرائح Strip type :

تستخدم شرائح من النحاس عندما تكون التربة ضحلة وتعلو طبقة صخرية، حيث تدفن الشرائح في خندق عمقه لا يقل عن (0.5 m) ويمكن احاطة الشريحة بخليط من الفحم والملح وذلك لضمان جودة التوصيل بين الشريحة والأرض.

تصميم منظومة التأريض:

العوامل التي تؤخذ بنظر الاعتبار عند تصميم منظومة التأريض:

١- مقاومة القطب الأرضي.

٢- الحرارة الناتجة في منطقة القطب الأرضي.

٣- المقاومة النوعية للتربة.

٤- زمن عمل معدات الحماية.

٥- زمن التيار الأرضي والذي يعتمد على معدات الحماية.

٦- يجب ان يكون القطب الأرضي مدفون تحت الأرض لتقليل الجهد المتكون على سطح الأرض.

- **ان مرور التيار من القطب الأرضي الى الأرض يؤدي الى رفع درجة حرارة التربة وجفافها، ان حرارة التربة اذا وصلت الى (100^0 C) تصبح مقاومة القطب الأرضي كبيرة جداً (ما لا نهاية)، وبذلك لا يسمح للتيار ان يتسرب الى الأرض.**
- **عند حدوث الخطأ وتسرب التيار الى الأرض عن طريق القطب الأرضي فان جهد القطب يزداد عند القطب ويقل الجهد للتربة كلما ابتعدنا عن القطب الأرضي، وان هذا الجهد يمكن ان يكون مصدر خطر على الأشخاص او الحيوانات المارة عليها.**
- **منطقة ربط السلك الأرضي بالقطب معرضة للتأكل والتأكسد والذي يؤدي الى زيادة المقاومة، ويفضل حفظ هذه المناطق بطبقة من الشحوم العازلة للرطوبة، مع احكام الربط بشكل جيد ويجب تجنب ربط النحاس بمعادن أخرى مثل الألومنيوم.**

أسباب التأريض:

١- السماح لتيارات الخطأ ان تتسرب الى الأرض، وعندها سوف تعمل أجهزة الحماية وتفصل الحمل عن المصدر.

٢- المحافظة على قيم الجهود للأجزاء الغير مخطئة.

٣- منع الصدمة الكهربائية للأشخاص.

٤- لتأسيس منظومة حماية ضد تيارات التسرب الأرضي.

الطرق المختلفة للتأريض:

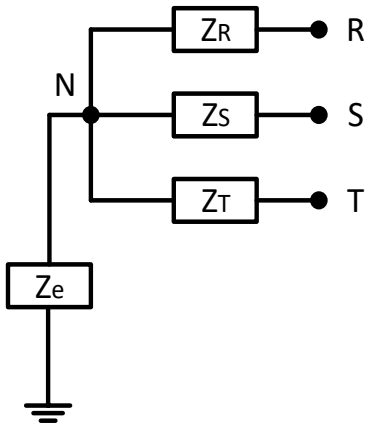
١- الغلاف المعدني او غلاف التسليح في الكابلات الأرضية.

٢- سلك الأرضي العلوي لخطوط نقل الطاقة الهوائية.

٣- انابيب التأسيسات الكهربائية والهياكل المعدنية للتأسيسات.

٤- المأخذ الكهربائية.

تمثيل الأرضي في النظام الثلاثي الاطوار:



حيث ان:

Z_R **= ممانعة الطور R.**

Z_S **= ممانعة الطور S.**

Z_T **= ممانعة الطور T.**

Z_e **= ممانعة دائرة الخطأ.**

عندما يكون النظام معزول فان $Z_e = \infty$.

عندما يكون النظام مأرض تأريض مباشر فان $Z_e = 0$.

عندما يكون النظام مأرض تأريض غير مباشر فان :

$Z_e = R$ **اذا كان النظام مارض من خلال مقاومة.**

$Z_e = XL$ **اذا كان النظام مأرض من خلال محاثة.**

$Z_e = XC$ **اذا كان النظام مأرض من خلال متسعة.**

هبوط الجهد (V_d **) Voltage drop :**

ان مرور التيار في الموصلات يتسبب بفقدان جزء من الفولتية بين بداية ونهاية الموصل، وان هذا الفقدان يدعى ب" هبوط الجهد " (V_d **) ويمكن حسابه من القانون:**

$$V_d = I * R$$

حيث ان :

I **= التيار المارفي الموصل.**

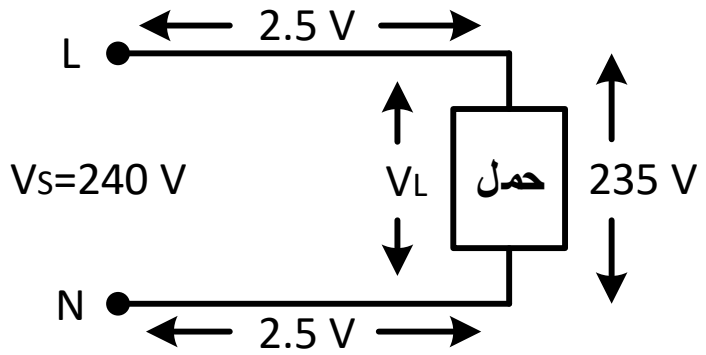
R **= مقاومة الموصل.**

ان هبوط الجهد يؤدي الى انخفاض الجهد عند الحمل فيؤثر على كفاءة الأجهزة الكهربائية، فمثلاً المصابيح في حالة هبوط الجهد لا تعطي أضاه كافية، والسخانات لا تعطي الحرارة الكافية كما هو مصمم لها.

في الدائرة ادناه لو كان مصدر الجهد $V_S = 240\ V$ **وكان هبوط الجهد** $V_d = 5\ V$ **، فان الجهد على اطراف الحمل** V_L **هو:**

$$V_L = V_S - V_d = 240 - 5 = 235\ V$$

نلاحظ بان هبوط الجهد لكل موصل $2.5\ V$ **.**



ان القدرة الكهربائية تعطى بالقانون :

$$P = V * I * \cos\theta$$

وهذا يعني ان أي نقص في الجهد يقابله زيادة في التيار المسحوب من المصدر ليعطي نفس القدرة، وهذا يؤدي الى ارتفاع درجة حرارة الكابل.

يمكن حساب هبوط الجهد بشكل دقيق من العلاقة :

$$V_d = I_{ph} * (R * \cos\theta + X * \sin\theta) \qquad \ldots (1)$$

العوامل التي تؤثر على هبوط الجهد :

١- مقاومة الكابل (R).

٢- المحاثة الخاصة بالكابل (X).

٣- معامل القدرة.

٤- التيار المار في الكابل.

ومن العلاقة (١) اذا اهملنا المفاعلة الحثية (X_L **) للكابل فيمكن حساب هبوط الجهد في الموصلات المفردة من العلاقة :**

كابل

$$V_d = I_{ph} * R \qquad \ldots (2)$$

احادي الموصل:

وفي الدوائر الثنائية الخطوط (L+N) فتكون قيمة V_d تساوي :

كابل ثنائي $V_d = 2 * I_{ph} * R$ ...(3)

الموصلات:

وفي الدوائر الثلاثية الخطوط فتكون قيمة V_d تساوي :

كابل ثلاثي $Vd = \sqrt{3} * I_L * R$ ...(4)

الموصلات:

ان افضل طريقة في حساب هبوط الجهد (V_d) في الكابلات تكون باستخدام جداول الكابلات حيث تعطي هبوط الجهد ب (mV / A.m) او (V / A.km) . أي قيمة هبوط الجهد لكل امبير.متر، ولحساب هبوط الجهد الكلي في الكابل يكون كما يلي:

$$V_d = \frac{(\ mV/A.m\ ) * I * L}{1000} \qquad (Volt)$$

حيث ان :

(mV / A.m) = قيمة الهبوط من الجداول.

I = تيار المار في الكابل (Amper).

L = طول الكابل (meter).

جدول يبين قيمة (mV / A.m) في الكابلات.

mm^2	موصلات نحاس	موصلات الومنيوم
1.5	22.8	-
2.5	14	-
4	8.7	-
6	5.9	-
10	3.5	-
16	2.2	3.7
25	1.5	2.4
35	1.1	1.7
50	0.81	1.3
70	0.58	0.92
95	0.44	0.68
120	0.37	0.56
150	0.31	0.47

القيم المسموح بها لهبوط الجهد في الدوائر الكهربائية:

في دوائر المحركات:

يجب ان لايزيد هبوط الجهد عن (2.5%) من الجهد المقنن عند الحمل التام، واذا زاد هبوط الجهد عن (2.5%) يجب اختيار كابل بمساحة مقطع اكبر.