دولة فلسطين
وزارة التربية والتعليم العالي

١١
الجزء الثاني

كهرباء استعمال

بسم الله الرحمن الرحيم

دولة فلسطين
وزارة التربية والتعليم العالي

كهرباء إستعمال

علم الصناعة

الجزء الثاني

للصف الأول الثانوي

الفرع الصناعي

المؤلفون

مازن ذيب «منسقاً»
زياد القواسمي
د. عبد الكريم داود
لافي منصور

روان خليل حنيحن «مركز المناهج»
إبراهيم محمود قدح «مركز المناهج»

قررت وزارة التربية والتعليم العالي في دولة فلسطين
تدريس كتاب كهرباء استعمال للصف الأول الثانوي في مدارسها للعام الدراسي ٢٠٠٥ / ٢٠٠٦م

الإشراف العام

رئيس لجنة المناهج: د. نعيم أبو الحمص

مدير عام مركز المناهج: د. صلاح ياسين

مركز المناهج

إشراف تربوي : د.عمر أبوالحمص

الدائرة الفنية

- إشراف إداري: رائد بركات
- تصميم: موفق طلال حماد
- الإعداد المحوسب للطباعة: حمدان بحبوح
- تصميم الغلاف: كمال فحماوي
- تحرير لغوي: تحسين يقين

الفريق الوطني لمنهاج كهرباء استعمال للمرحلة الثانوية

محمود اسماعيل جمال مصاروة زياد القواسمي

الطبعة الأولى التجريبية
٢٠٠٦م/١٤٢٧ هـ

© جميع حقوق الطبع محفوظة لوزارة التربية والتعليم العالي/ مركز المناهج

مركز المناهج – حي المصيون – شارع المعاهد – أول شارع على اليمين من جهة مركز المدينة
ص .ب ٧١٩ – رام الله – فلسطين
تلفون ٢٩٦٩٣٥٠-٢-٩٧٠+ ، فاكس ٢٩٦٩٣٧٧-٢-٩٧٠+
الصفحة الالكترونية: www.pcdc.edu.ps – العنوان الالكتروني: pcdc@palnet.com

تمهيد

رأت وزارة التربية والتعليم العالي ضرورة وضع منهاج يراعي الخصوصية الفلسطينية؛ لتحقيق طموحات الشعب الفلسطيني حتى يأخذ مكانه بين الشعوب. إن بناء منهاج فلسطيني يعد أساساً مهمّاً لبناء السيادة الوطنية للشعب الفلسطيني، وأساساً لترسيخ القيم والديمقراطية، وهوحق إنساني، وأداة تنمية للموارد البشرية المستدامة التي رسختها مبادئ الخطة الخمسية للوزارة.

وتكمن أهمية المنهاج في أنه الوسيلة الرئيسة للتعليم، التي من خلالها تتحقق أهداف المجتمع؛ لذا تولي الوزارة عناية خاصة بالكتاب المدرسي، أحد عناصر المنهاج؛ لأنه المصدر الوسيط للتعلم، والأداة الأولى بيد المعلم والطالب، إضافة إلى غيره من وسائل التعلم: الإنترنت، والحاسوب، والثقافة المحلية، والتعلم الأسري، وغيرها من الوسائط المساعدة.

أقرت الوزارة هذا العام (٢٠٠٥/ ٢٠٠٦)م تطبيق المرحلة الأولى من خطتها لمنهاج التعليم التقني والمهني، لكتب الصف الأول الثانوي (١١) بفروعه: الصناعي، والزراعي، والتجاري، والفندقي، والاقتصاد المنزلي(التجميل، تصنيع الملابس)وعدد الكتب ٦٤ كتاباً نظري وعملي، وسيتبعها كتب منهاج الصف الثاني الثانوي (١٢) في العام المقبل. وبها تكون وزارة التربية والتعليم العالي قد أكملت إعداد جميع الكتب المدرسية للتعليم العام للصفوف(١-١٢)، وتعمل الوزارة حالياً على توسيع البنية التحتية في مجال الشبكات والتعليم الإلكتروني، وعمل دراسات تقويمية وتحليلية لمناهج المراحل الثلاث، في جميع المباحث (أفقياً وعمودياً)؛ لمواصلة التطوير التربوي، وتحسين نوعية التعليم الفلسطيني.

وتعد الكتب المدرسية وأدلة المعلم التي أنجزت للصفوف الأحد عشر حتى الآن، وعددها يقارب ٣٥٠ كتاباً، ركيزة أساسية في عملية التعليم والتعلم، بما تشتمل عليه من معارف ومعلومات عُرضت بأسلوب سهل ومنطقي؛ لتوفير خبرات متنوعة، تتضمن مؤشرات واضحة، تتصل بطرائق التدريس، والوسائل والأنشطة وأساليب التقويم، وتتلاءم مع مبادئ الخطة الخمسية المذكورة أعلاه.

وتتم مراجعة الكتب وتنقيحها وإثراؤها سنويّاً بمشاركة التربويين والمعلمين والمعلمات الذين يقومون بتدريسها، وترى الوزارة الطبعات من الأولى إلى الرابعة طبعات تجريبية قابلة للتعديل والتطوير؛ كي تتلاءم مع التغيرات في التقدم العلمي والتكنولوجي ومهارات الحياة. إن قيمة الكتاب المدرسي الفلسطيني تزداد بمقدار ما يبذل فيه من جهود، ومن مشاركة أكبر عدد ممكن من المتخصصين في مجال إعداد الكتب المدرسية، الذين يحدثون تغييراً جوهريّاً في التعليم، من خلال العمليات الواسعة من المراجعة، بمنهجية رسخها مركز المناهج في مجالي التأليف والإخراج في طرفي الوطن الذي يعمل على توحيده.

إن وزارة التربية والتعليم العالي لايسعها إلا أن تتقدم بجزيل الشكر والتقدير إلى المؤسسات والمنظمات الدولية، والدول العربية والصديقة وبخاصة حكومة بلجيكا؛ لدعمها المالي لمشروع المناهج.

كما أن الوزارة لتفخر بالكفاءات التربوية الوطنية، التي شاركت في إنجاز هذا العمل الوطني التاريخي من خلال اللجان التربوية، التي تقوم بإعداد الكتب المدرسية، وتشكرهم على مشاركتهم بجهودهم المميزة، كلٌّ حسب موقعه، وتشمل لجان المناهج الوزارية، ومركزالمناهج، والإقرار، والمؤلفين، والمحررين، والمشاركين بورشات العمل، والمصممين، والرسامين، والمراجعين، والطابعين، والمشاركين في إثراء الكتب المدرسية من الميدان أثناء التطبيق.

وزارة التربية والتعليم العالي
مركز المناهج
كانون الثاني ٢٠٠٦ م

بسم الله الرحمن الرحيم

مقدمة

بسم الله والصلاة والسلام على أفضل المرسلين وبعد،

يأتي هذا الكتاب كهرباء استعمال مكملاً لما تم انجازه في الجزء الأول، ويتناول دوائر التيار المتغير ثلاثي الأطوار، الكوابل الكهربائية، مفاتيح القطع الآلية ودوائر التحكم.

تتحدث الوحدة الأولى بإيجاز عن طرق توليد التيار الكهربائي ثلاثي الأطوار، دوائر التوصيل الرئيسية مثل دائرة النجمة (Y) ودائرة المثلث (Δ) وكافة القوانين اللازمة لإيجاد التيار، الجهد، القدرة، وطرق تحسين معامل القدرة. وتناولت الوحدة الثانية الكوابل الكهربائية المستخدمة في التمديدات الكهربائية من حيث التركيب، وطريقة الترميز، ونوع المادة المصنعة منها بهدف اكساب الطالب مهارة التمييز فيما بينها، وطريقة التمديد المثلى، وقدرة تحمل هذه الكوابل للتيار الكهربائي بالإستعانة بالجداول الخاصة بالسعة الإمبيرية.

وتعتبر الوحدة الثالثة مكملة للوحدة الثانية لأهمية مفاتيح القطع الآلية في حماية الكوابل الكهربائية بهدف إكساب الطالب مهارة التمييز بين هذه المفاتيح، وطريقة اختيارها حسب نوع الحمل الكهربائي مع التعرف إلى كافة الرموز الكهربائية المكتوبة على هذه المفاتيح.

وتم التطرق بإيجاز إلى دوائر التحكم التي تعتمد على القواطع المغناطيسية في تشغيل الأحمال الكهربائية بتعريف الطالب إلى مبدأ عمل هذه القواطع، عدد أقطابها، وطريقة رسم الدوائر الكهربائية الخاصة بها، وذلك كمقدمة لمنهاج الصف الثاني عشر حيث سيتم التطرق إلى هذا الموضوع بالتفصيل.

ونحن إذ نضع بين أيديكم هذا الكتاب، حاولنا ما استطعنا لتقديم الأفضل وكلنا آمل أن لا تبخلوا علينا بإقتراحاتكم وتوصياتكم لإثراء هذا المنهاج.

المؤلفون

والله ولي التوفيق

المحتـويـات

الوحدة الأولى

دوائر التيار المتناوب

تولـيد التيار المتناوب ثلاثي الأطوار ٣
توصيلات النجمة والدلتا ٥
توصيلات الأحمال على الشبكة ثلاثية الأطوار ٨
القدرة في دوائر التيار المتناوب ثلاثي الأطوار ١٣
معامل القدرة ١٧

الوحدة الثانية

التمديدات الكهربائية الصناعية

الكابلات الكهربائية ٣٢
تحديد السعة الأمبيرة للكيبل ٤٥
أنظمة توزيع الطاقة الكهربائية في المصانع والمنشآت الكبيرة ٥٠

الوحدة الثالثة

أساسيات الحماية والوقاية الكهربائية

مبادئ الحماية الكهربائية ٥٨
القواطع ٦٤
أنظمة التأريض ٨١

الوحدة الرابعة

دوائر التحكم

أساسيات التحكم الكهرومغناطيسية ٨٦
رسم دوائر التحكم وتشغيل المحركات الكهربائية ٩٤

الوحدة ١

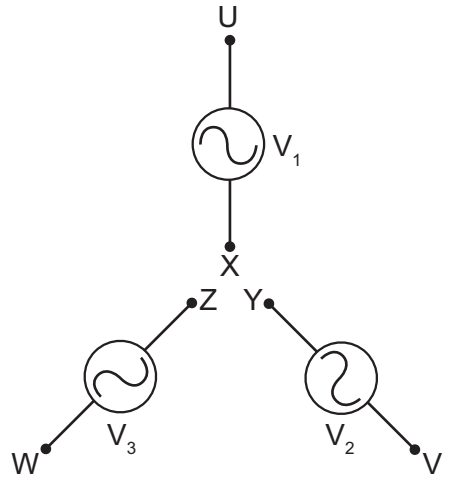
دوائر التيار المتناوب ثلاثي الأطوار

الوحدة الأولى دوائر التيار المتناوب ثلاثي الأطوار:

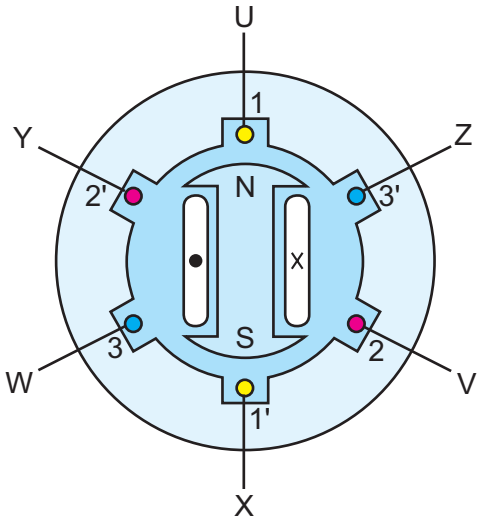
الدرس الأول: توليد التيار المتناوب ثلاثي الأطوار:

يتم توليد تيار أحادي الطور من مولد أحادي الطور كما مر معك سابقا، فإذا دمجت ثلاثة مولدات أحادية الطور مع بعضها البعض كما في الشكل (١-١) فانها تعطي ثلاثة جهود متساوية من ناحية القيم القصوى و القيم الفعالة وشكل الموجة، ولكنها تختلف عن بعضها البعض كل عن الآخر بفارق زاوية مقدارها ١٢٠ درجة.

هذه المولدات الثلاثة تكون ما يسمى مولد ثلاثي الأطوار المبين تركيبه المبسط في الشكل (١-٢) . ويؤثر في هذا المولد نفس المجال المغناطيسي على ثلاثة مجموعات من الملفات الشكل (١-٣) ، كل منها يولد جهداً منفصلاً تماماً كأنها مولد منفصل.

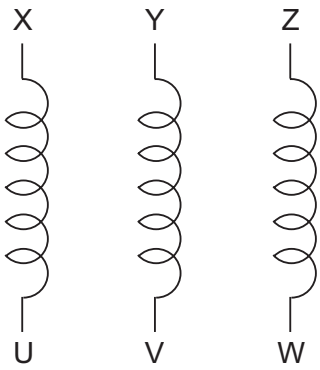


الشكل (١-١): ثلاث مولدات أحادية الطور



الشكل (١-٢): مولد ثلاثي الأطوار

يحتوي مولد التيار ثلاثي الأطوار على ثلاثة ملفات متشابهة تخضع لنفس المجال المغناطيسي ، بحيث تتولد فيها قوى دافعة كهربائية او جهود تأثيرية مترددة جيبية لها نفس التردد ونفس القيمة العظمى، وتختلف زوايا اطوارها بـ ١٢٠° وتعطى هذه الجهود بالمعادلات.



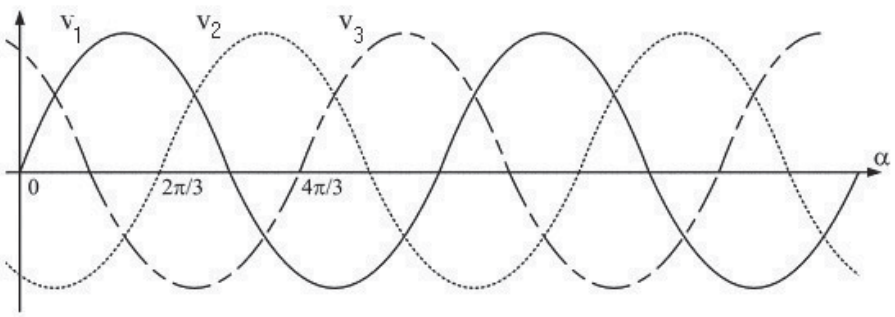
الشكل (١-٣): ثلاث مجموعات من الملفات

$$v1 = Vmax \sin(\omega t)$$
$$v2 = Vmax \sin(\omega t - 120!) \qquad (1.1)$$
$$v3 = Vmax \sin(\omega t - 240!)$$
$$Vmax = V\sqrt{2}$$

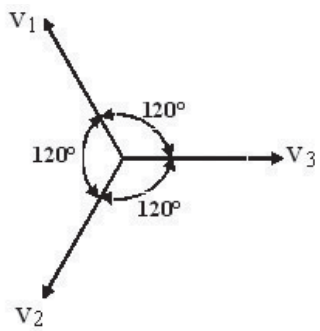
حيث Vmax هي القيمة العظمى و V القيمة الفعالة للجهود والتي تتساوى في الملفات الثلاثة . ويبين الشكل (١-٤) موجات هذه الجهود . ويمكن تمثيل هذه الجهود بمتجهات ثلاثة يكون فرق الطور بين كل متجه منها والذي يليه ١٢٠ درجة كما هو موضح في الشكل (١-٥)، والتي تعطى بالمعادلات التالية :

$$\mathbf{V1} = V \angle 0°$$
$$\mathbf{V2} = V \angle -120° \qquad (1\text{-}2)$$
$$\mathbf{V3} = V \angle -240° = V \angle 120°$$

والأحمال المغذاة من أطراف المولدات ثلاثية الأطوار تحتوي على ثلاثة فروع تكون متزنة إذا تساوت معاوقات فروعها الثلاثة .



الشكل (١-٤): موجات جهود نظام ثلاثي الأطوار



الشكل (١-٥): متجهات الجهود لنظام ثلاثي الأطوار

الدرس الثاني: توصيلات النجمة والدلتا:

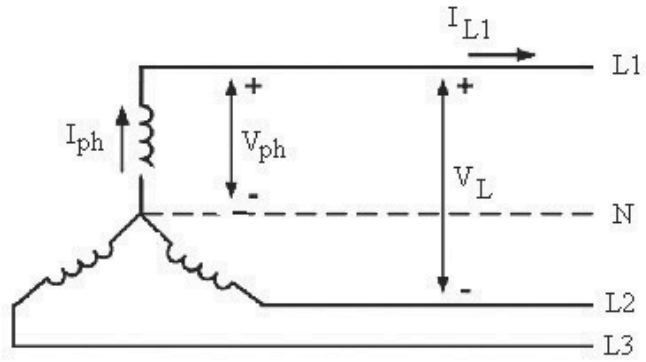
هناك طريقتان لتوصيل أطراف ملفات المولدات ببعضها البعض هما : توصيلة النجمة وتوصيلة الدلتا .
وتستعمل كلتا التوصيلتين كذلك لربط الأحمال ثلاثية الأطوار .

أ توصيلة النجمة (Y) في حالة الاتزان:

في هذا النوع من التوصيلة يتم ربط نهايات ملفات المولد مع بعضها البعض ، وتسمى النقطة الناتجة المشتركة بالطرف المحايد او المتعادل ويرمز لها بالرمز N الشكل (١-٦) وعادة يتم تأريض هذه النقطة . اما بدايات الاطراف فانها توصل بالاحمال بموصلات تسمى الخطوط . ونسمي الجهد بين أي خط من الخطوط الثلاثة والحيادي بجهد الطور V_{ph} (Phase Voltage) . اما الجهد بين أي خطين فيعرف بجهد الخط V_L (Line Voltage) .

ويسمى التيار المار في احد ملفات المولد بتيار الطور I_{ph} (PhaseCurrent) .

كما يعرف التيار المار في احد الخطوط (مثلا I_A المار في الخط الخارج من الطرف A) بتيار الخط(LineCurrent) I_L . وهذه الجهود والتيارات مبينة في الشكل (١-٦) .



الشكل (١-٦) : توصيلة النجمة في المولدات

يمكن الاستنتاج ان تيارالطور يساوي تيارالخط ، أما بالنسبة للجهد فيمكن توضيح العلاقة بينهما كما يلي :
أي أن : $I_L = I_{ph}$

اشتقاق العلاقة بين جهد الخط وجهد الطور في توصيلة النجمة:

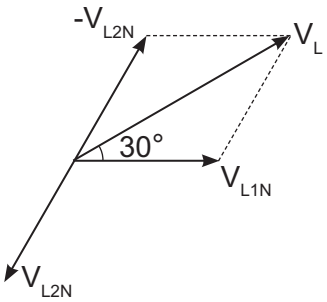
استناداً الى الشكل (١-٦) فان العلاقة بين جهود الأطوار وجهود الخطوط يمكن حسابها كما يلي :
بما أن جهد الخط = V_L لذلك فإن :

$$V_L = V_{LL} = V_{L1N} - V_{L2N}$$

أي أن :

$$V_L = V_{L1N} + (- V_{L2N})$$

الجهد ($-V_{L2N}$) ، أي الجهد ذو القيمة المعاكسة للقيمة (V_{L2N}) في التعبير الزمني، يعبر عنه بمتجه ذي اتجاه مضاد للمتجه الممثل للجهد (V_{L2N}) والشكل (١-٧) يبين الاتجاهات المذكورة.



الشكل (١-٧): حساب جهد الخط V_L

يتضح من الشكل ١-٧ أن:

$$(V_L)^2 = (V_{L1N})^2 + (V_{L2N})^2 - 2\,(V_{L1N})\,(V_{L2N})\cos 120°$$

حيث أنه تم تطبيق قانون جيب التمام

أي أن:

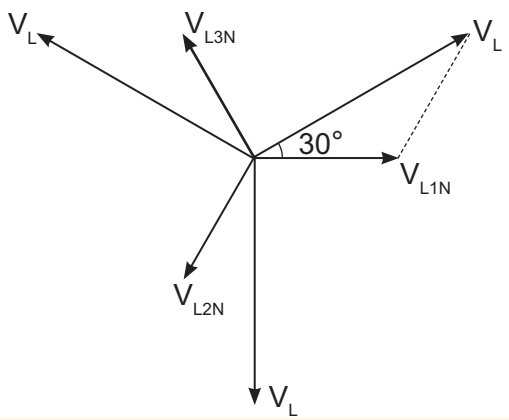
$$(V_L)^2 = (V_{ph})^2 + (V_{ph})^2 - 2\,(V_{ph})\,(V_{ph})\cos 120°$$

$$(V_L)^2 = (V_{ph})^2 + (V_{ph})^2 - 3\,(V_{ph})^2\,(-0.5) = 3\,(V_{ph})^2$$

وبالتالي فإن:

$$V_L = \sqrt{3}\,V_{ph} \qquad (1\text{-}3)$$

أي ان القيمة الفعالة لجهد الخط V_L في توصيلة النجمة تساوي $\sqrt{3}$ مرة القيمة الفعالة لجهد الطور. وبنفس الطريقة يمكن حساب بقية جهود الخطوط، حيث يبين الشكل(١-٨) المتجهات لجهود الأطوار والخطوط، ويلاحظ أن زاوية أي من جهود الخط تختلف عن زاوية أي من جهود الطور. ويمكن التحقق من ان مجموع جهود الخط يساوي الصفر وكذلك الحال بالنسبة لمجموع جهود الطور.



الشكل (١-٨) : المتجهات لجهود الأطوار والخطوط في توصيلة النجمة

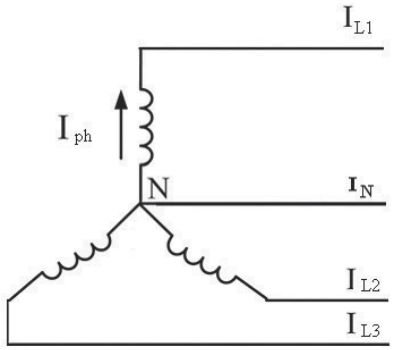
التيارات في توصيلة النجمة:

كما ذكر آنفا فان تيارات الخطوط تساوي تيارات الأطوار

$$I_L = I_{ph} \qquad (1\text{-}4)$$

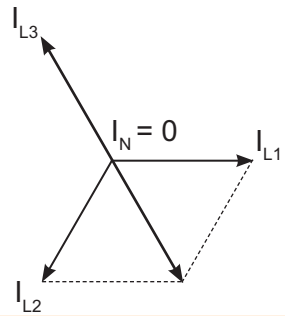
وفي توصيلة النجمة، هناك تيار رابع يجب أخذه بالحسبان وهو تيار الحياد I_N كما يتضح من الشكل (١-٩)، والذي يساوي حاصل الجمع الاتجاهي للتيارات الخطية I_{L1} ، I_{L2} و I_{L3} .

وفي حالة الاتزان يكون التيار I_N يساوي صفرا كما يتضح من الشكل ١-١٠، حيث تتساوى في هذه الحالة محصلة التيارين I_{L1} و I_{L2} مع التيار الثالث I_{L3}، وناتج الجمع الاتجاهي يساوي بذلك صفرا نتيجة تناقض الاتجاهات (اتجاه المحصلة واتجاه I_{L3}) .

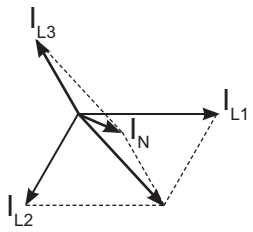


الشكل ١-٩ : التيارات في توصيلة النجمة

أما في حالة عدم الاتزان فإن التيار I_N يمكن استنتاجه من إيجاد محصلة التيارين I_{L1} و I_{L2} بالجمع الاتجاهي أولاً ومن ثم تجمع الأخيرة اتجاهيا مع التيار الثالث I_{L3} كما في الشكل (١-١١) .



شكل (١-١٠): متجهات التيارات في توصيلة النجمة في حالة الاتزان



شكل (١-١١) : متجهات التيارات في توصيلة النجمة في حالة عدم

ب توصيلة الدلتا(Δ) في حالة الاتزان:

يوضح الشكل١-١٢توصيلة الدلتا . وعلى العكس من توصيلة النجمة، فإن في هذا النوع من التوصيلة لا يوجد به طرف محايد كما أنه يتساوى جهد الطور مع جهد الخط .

أي أن :

$$V_L = V_{ph} \qquad (1\text{-}5)$$

ولإيجاد العلاقة بين تيارات الأطوار وتيارات الخطوط، يستخدم الشكل ١-١٢، وباستعمال قانون كيرشوف فإنه :

$$I_L = I_{ph1} - I_{ph2}$$

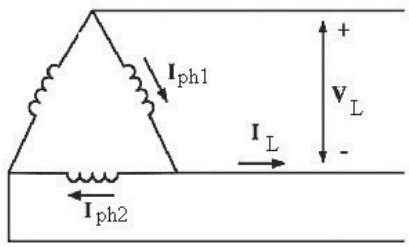
وباتباع نفس الخطوات الواردة آنفا لحساب جهد الخط في توصيلة النجمة، يمكن استنتاج أن القيمة الفعالة لتيار الخط I_L تساوي $\sqrt{3}$ مرة القيمة الفعالة لتيار الطور، أي :

$$I_L = \sqrt{3}\, I_{ph} \qquad (1\text{-}6)$$

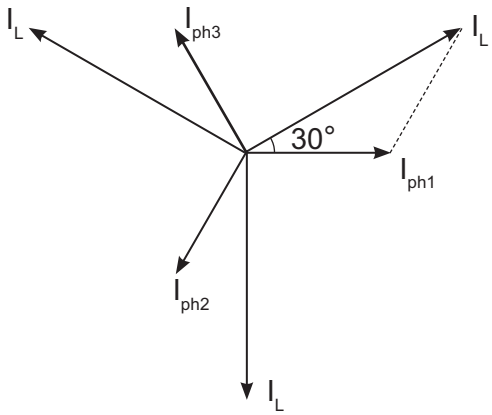
نشاط:

أثبت العلاقة (٦-١) بالنسبة لتوصيلة الدلتا .

ويبين الشكل (١-١٣) متجهات تيارات الأطوار والخطوط في توصيلة الدلتا، وهنا كذلك يلاحظ ان زاوية أي من تيارات الخط تختلف عن زاوية أي من تيارات الطور (ما هو الفرق في الزاوية بينهما؟) . ويمكن التحقق من ان مجموع تيارات الخط يساوي الصفر، وكذلك الحال لمجموع تيارات الطور في حالة الاتزان .



الشكل (١-١٢): توصيلة دلتا في المولدات



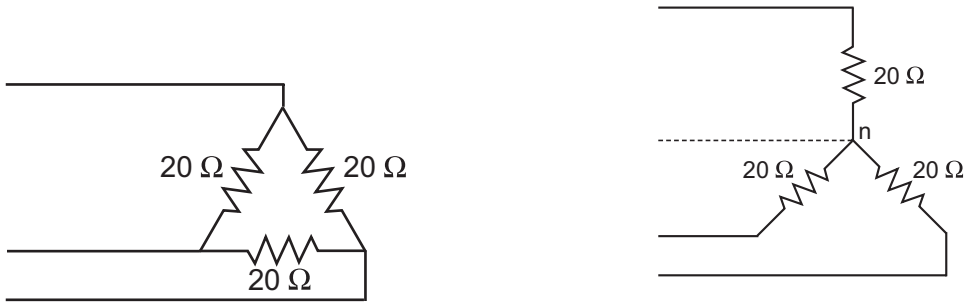
الشكل (١-١٣): متجهات تيارات الأطوار والخطوط في توصيلة دلتا

الدرس الثالث: توصيلات الاحمال على الشبكة ثلاثية الاطوار:

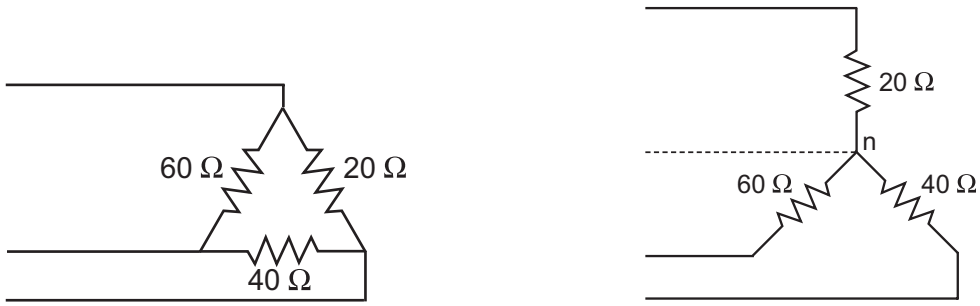
يمكن توصيل العناصر الثلاثة الممثلة للحمل على هيئة النجمة او الدلتا . ولتحقيق الاتزان يجب أن تكون معاوقات الفروع الثلاثة متساوية . وفي توصيلة النجمة فإن التيار المار في الحيادي يكون معدوما في حالة الاتزان، لأنه يساوي مجموع تيارات الخطوط، وهذه التيارات متساوية في القيمة الفعالة وتختلف زوايا اطوارها بـ ١٢٠° أي :

$$I_N = I_{L1} + I_{L2} + I_{L3} = 0 \qquad (1\text{-}7)$$

وبذلك يمكن إزالة الخط الحيادي دون أي تاثير على النظام، وستؤدي هذه الإزالة إلى كابلات تحتوي على ثلاثة أسلاك عوضاً عن أربعة، إلا أنه في الواقع تكون معظم الاحمال ليست متزنة، لذلك تبقى الحاجة عندها الى الموصل الحيادي قائمة . وهذا يعني أن توصيلة النجمة يمكن أن تكون بدون خط حيادي في حالة الأحمال المتزنة، كالمحركات أو بوجوده في حالة الأحمال الغير متزنة كالأحمال في الشبكة العامة، بينما توصيلة الدلتا توصل فقط بدون الخط الحيادي . والفرق بين الأحمال المتزنة وغير المتزنة موضح في الشكل (١-١٤) والشكل (١-١٥)، حيث يتميز الحمل المتزن بتساوي ممانعات أجنحته الثلاثة، بينما تختلف في حالة عدم الاتزان .



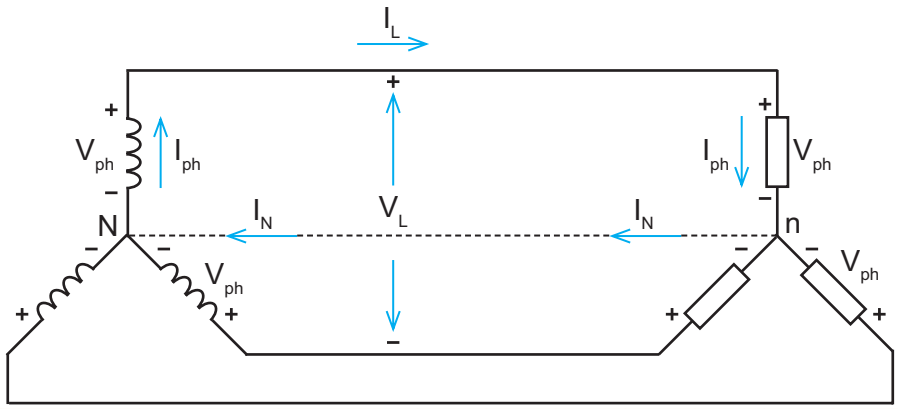
الشكل (١-١٤): أحمال متزنة (Balanced loads) في توصيلتي النجمة والدلتا



الشكل (١-١٥): أحمال غير متزنة (Unbalanced loads) في توصيلتي النجمة والدلتا

اعتمادا عما سبق فهناك مجموعة من التوصيلات المختلفة بين مصدر ثلاثي الأطوار وحمل ثلاثي الأوجه وهي كما يلي :

أ توصيلة نجمة/نجمة شكل (١-١٦):



شكل (١-١٦): توصيلة نجمة / نجمة

يتضح من الشكل (١-١٦) أن جهد الخط للمصدر يساوي جهد الخط للحمل ، وكذلك جهد الطور للمصدر والحمل متساويان بينما :

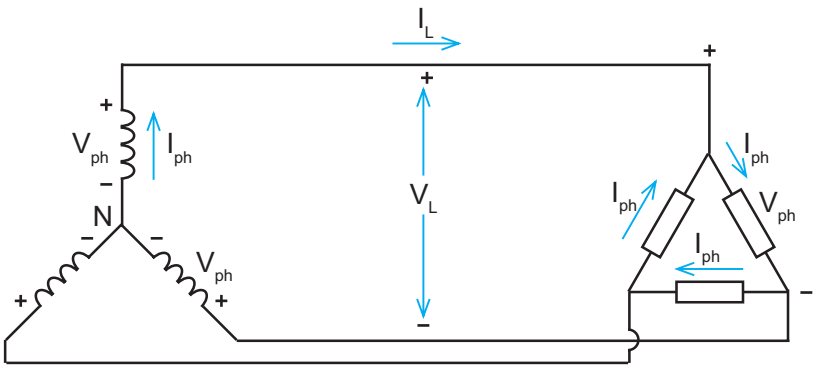
$$V_L = \sqrt{3}\, V_{ph}$$

أما تيارات الخطوط للمصدر والحمل وكذلك تيارات الطور كلها متساوية :

$$I_L = I_{ph}$$

وفي حالة الحمل المتزن فان $I_N = 0$ وغالبا تستخدم هذه التوصيلة في توزيع القدرة العامة .

ب توصيلة نجمة/دلتاالشكل (١-١٧):



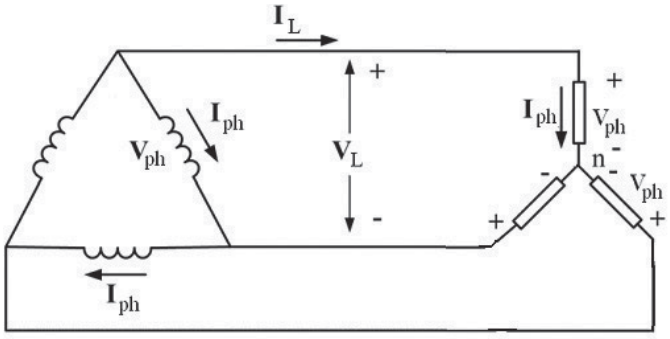
الشكل (١-١٧) : توصيلة نجمة / دلتا

يتضح من الشكل (١-١٧) أن :

للحمل : $V_{ph} = V_L \, , \, I_{ph} = \frac{I_L}{\sqrt{3}}$

للمصدر : $I_{ph} = I_L \, , \, V_{ph} = \frac{V_L}{\sqrt{3}}$

جـ توصيلة دلتا / نجمة الشكل (١-١٨):



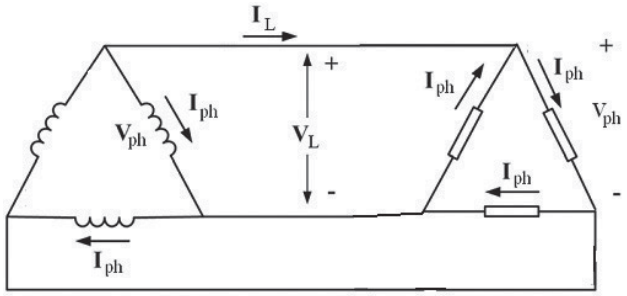
الشكل (١-١٨): توصيلة دلتا / نجمة

يتضح من الشكل (١-١٨) أن :

للحمل : $I_{ph} = I_L \, , \, V_{ph} = \frac{V_L}{\sqrt{3}}$

للمصدر : $V_{ph} = V_L \, , \, I_{ph} = \frac{I_L}{\sqrt{3}}$

د توصيلة دلتا/دلتا الشكل (١-١٩):



الشكل (١-١٩) : توصيلة دلتا / دلتا

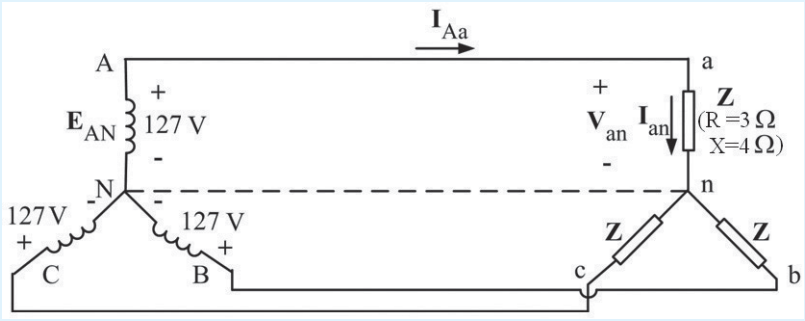
يتضح من الشكل (١-١٩) أن :

للحمل : $V_{ph} = V_L , I_{ph} = \frac{I_L}{\sqrt{3}}$

للمصدر : $V_{ph} = V_L , I_{ph} = \frac{I_L}{\sqrt{3}}$

مثال (١-١):

يغذي مولد حمل ثلاثي الاطوار وموصول بتوصيلة نجمة، كما هو موضح في الشكل (١-٢٠) احسب القيمة الفعالة لجهد الخط وتيارات الخطوط .



الشكل : (١-٢٠)

الحل:

القيمة الفعالة لجهد الخط :

$$V_L = \sqrt{3}\ V = \sqrt{3} \times 127 = 220V$$

تيارات الأطوار :

$$Z = \sqrt{(R^2 + X^2)} = \sqrt{(3^2 + 4^2)} = 5\ \Omega$$

$$I_{an} = \frac{V_{an}}{Z} = \frac{E_{an}}{Z} = \frac{V_{ph}}{Z} = \frac{127}{5} = 25.4\ A$$

$$I_{bn} = \frac{V_{bn}}{Z} = \frac{E_{bn}}{Z} = \frac{V_{ph}}{Z} = \frac{127}{5} = 25.4\ A$$

$$I_{cn} = \frac{V_{cn}}{Z} = \frac{E_{cn}}{Z} = \frac{V_{ph}}{Z} = \frac{127}{5} = 25.4\ A$$

وبما ان التوصيلة نجمة فإن تيارات الخط تساوي تيارات الطور :

$$I_{Aa} = I_{an} = I_{ph} = I_L = 25.4\ A$$

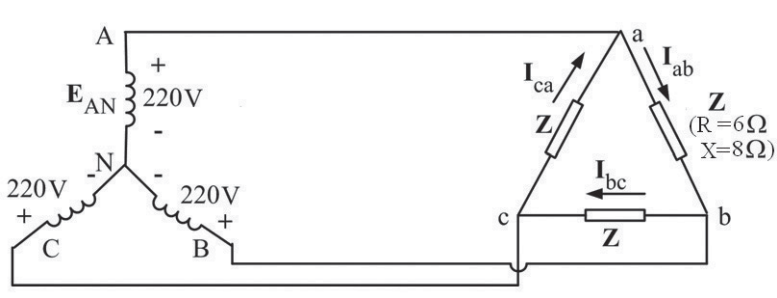
$$I_{Bb} = I_{bn} = I_{ph} = I_L = 25.4\ A$$

$$I_{Cc} = I_{cn} = I_{ph} = I_L = 25.4\ A$$

التيار في الحيادي : بما أن الحمل متزن فإن التيار الحيادي $I_N = 0\ A$.

مثال (١-٢):

وصل حمل ثلاثي الأطوار توصيلة دلتا بمولد ذي توصيلة نجمة كما هو مبين في الشكل (١-٢١). احسب تيار كل طور من الحمل وكذلك القيمة الفعالة لتيار الخط .



الشكل : (١-٢١)

الحل:

ممانعة الحمل

$$Z = \sqrt{(R^2 + X^2)} = \sqrt{(6^2 + 8^2)} = 10\ \Omega$$

القيمة الفعالة لجهد الخط وهو يساوي جهد الطور للحمل

$$V_L = \sqrt{3}\ V = \sqrt{3} \times 220 = 380V$$

تيارات الأطوار

$$I_{ab} = \frac{V_{ab}}{Z} = \frac{V_{AB}}{Z} = \frac{V_L}{Z} = \frac{380}{10} = 38\ A$$

$$I_{bc} = \frac{V_{bc}}{Z} = \frac{V_{BC}}{Z} = \frac{V_L}{Z} = \frac{380}{10} = 38\ A$$

$$I_{ca} = \frac{V_{ca}}{Z} = \frac{V_{CA}}{Z} = \frac{V_L}{Z} = \frac{380}{10} = 38\ A$$

$$I_L = \sqrt{3}\ I = \sqrt{3} \times 38 = 65.8\ A$$

الدرس الرابع: القدرة في دوائر التيار المتناوب ثلاثي الأطوار:

كما هو الحال في دوائر التيار المتناوب أحادي الطور، تقسم القدرة الى فعالة وغير فعالة وظاهرية. والقدرة الفعالة الكلية التي يستهلكها الحمل ثلاثي الأطوار هي مجموع القدرات الفعالة التي يستهلكها كل طور (والحال كذلك بالنسبة للقدرة الغير فعالة والقدرة الظاهرية).

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 \qquad (1\text{-}8)$$

واذا كان الحمل متزنا فإن هذه القدرة الكلية هي ثلاثة أمثال قدرة كل طور ($P = P_1 = P_2 = P_3$)

$$P_T = 3\,P \qquad (1\text{-}9)$$

وفيما يلي حساب هذه القدرات في توصيلتي النجمة والدلتا في حالة الاتزان وبدلالة كميات الخط (تيار الخط وجهد الخط) لأنها أكثر استعمالاً من كميات الطور.

تعطى القدرة الفعالة التي يستهلكها طور واحد بالمعادلة:

$$P = V_{ph}\ I_{ph} \cos\theta \qquad (1\text{-}10)$$

حيث θ هي الزاوية بين تيار الطور I_{ph} وجهد الطور V_{ph}. والقدرة الفعالة الكلية للحمل هي:

$$P_T = 3\ V_{ph}\ I_{ph}\ \cos\theta \qquad (1\text{-}11)$$

وفي كلتا التوصيلتين (النجمة: $V_{ph} = V_L / \sqrt{3}$ ، $I_{ph} = I_L$ والدلتا: $V_{ph} = V_L$ ، $I_{ph} = I_L / \sqrt{3}$) فان:

$$P_T = \sqrt{3}\ V_L\ I_L \cos\theta \qquad (1\text{-}12)$$

وبنفس الطريقة فإن القدرة الغير الفعالة الكلية للحمل تساوي

$$Q_T = \sqrt{3}\ V_L\ I_L \sin\theta \qquad (1\text{-}13)$$

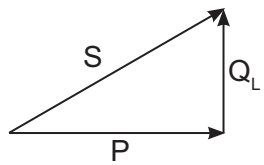
أما القدرة الظاهرية الكلية فهي

$$S_T = \sqrt{3}\ V_L\ I_L \qquad (1\text{-}14)$$

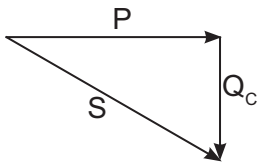
مثلث القوى:

الكميات الثلاث، القدرة الفعالة والقدرة الغير فعالة والقدرة الظاهرية يمكن تمثيلها بمثلث القوى في حالة الحمل حثي أومي كما في الشكل (١-٢٢) أو في حالة الحمل سعوي-أومي كما في الشكل (١-٢٣) حيث يمكن حساب القدرة الظاهرية بالعلاقة الاتية:

$$S = \sqrt{(P^2 + Q_C^2)} \quad \text{أو} \quad S = \sqrt{(P^2 + Q_L^2)} \qquad (1\text{-}15)$$



الشكل (١-٢٢) : مخطط القوى لحمل حثي

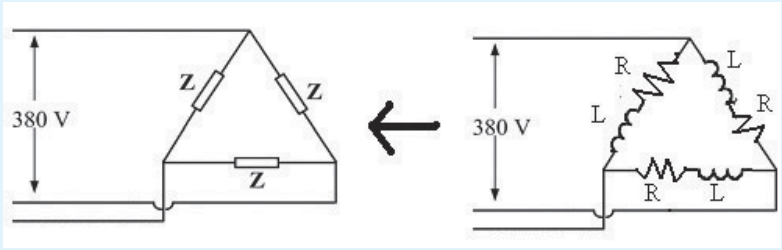


الشكل (١-٢٣) : مخطط القوى لحمل سعوي

عندما تحتوي الدائرة الكهربائية على كل من العناصر الحثية والسعوية فان المركبة غير الفعالة لمثلث القوى تتحدد بالفرق بين القدرة الغير فعالة لكل منهم .

مثال (٣-١):

أحسب القدرات الفعالة والغير فعالة والظاهرية التي يستهلكها الحمل الموضح في الشكل (١-٢٤) ، علما أن النظام متزن، وأن الحمل يحتوي على مقاومة مقدارها R = 6 Ω وملف حثه L=25.46 H، وتردد المصدر 50Hz .



الشكل : (١-٢٤)

$$X = \omega L = 2\pi f L = 2\pi\ 50 \times 25.46 = 8\ \Omega$$

$$Z = \sqrt{(R^2 + X^2)} = \sqrt{(6^2 + 8^2)} = 10\ \Omega$$

$$\theta = \tan^{-1}(X/R) = \tan^{-1}(8/6) = 53.1°$$

بما أن الحمل حثي-مادي فإن زاوية الوجه θ هي موجبة وبذلك تكون القدرة الغير فعالة موجبة

$$I = I_{ph} = \frac{V_L}{Z} = \frac{380}{10} = 38\ A$$

$$I_L = \sqrt{3}\ I = \sqrt{3} \times 38 = 65.8A$$

$$P_T = \sqrt{3}\ V_L\ I_L \cos\theta = \sqrt{3} \times 380 \times 65.8 \times \cos(53.1°) = 26\ kW$$

$$Q_T = \sqrt{3}\ V_L\ I_L \sin\theta = \sqrt{3} \times 380 \times 65.8 \times \sin(53.1°) = 34.6\ kVAR$$

$$S_T = \sqrt{3}\ V_L\ I_L = \sqrt{3} \times 380 \times 65.8 = 43.3\ kVA$$

ويمكن حساب القدرة الظاهرية أيضا باستخدام العلاقة

$$S_T = \sqrt{(P_T^2 + Q_T^2)} = \sqrt{(26^2 + 34.6^2)} = 43.3\ kVA$$

قياس القدرة في دوائر التيار المتناوب ثلاثي الاطوار:

يمكن قياس القدرة التي يستهلكها حمل ثلاثي الاطوار بثلاث طرق :

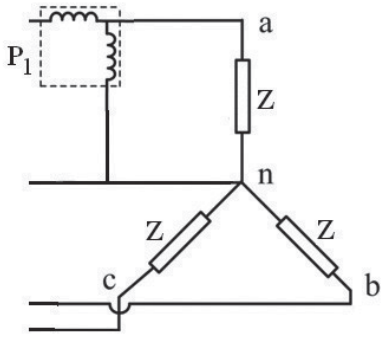
١ طريقة الواطميتر الواحد:

وتستخدم هذه الطريقة فقط في حالة الحمل المتزن، والشكل (١-٢٥) يوضح ذلك حيث يوصل ملف التيار

للواطميتر على التوالي مع الحمل، بينما يوصل ملف الجهد على التوازي مع الحمل بين أحد الأطوار و نقطة التعادل. وبذلك تكون القدرة الكلية الواصلة للحمل.

$$P_T = 3\,P_1 \qquad (1\text{-}16)$$

حيث أن P_1 هي قراءة الواطميتر.

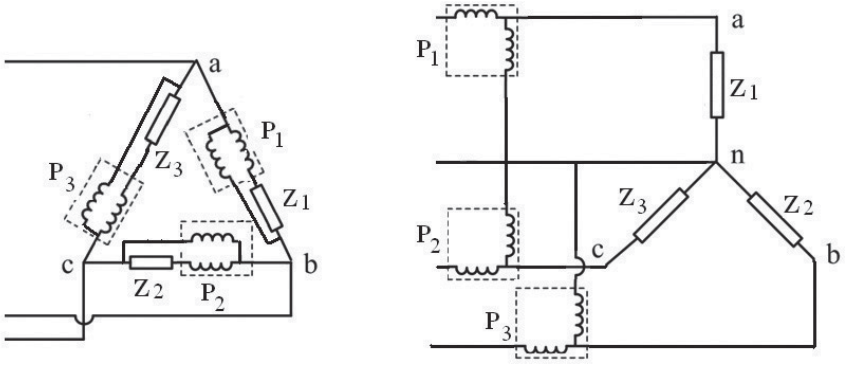


الشكل (١-٢٥) : طريقة الواطميتر الواحد لقياس القدرة لحمل ثلاثي الأطوار

٢ طريقة ثلاثة واطميترات:

وتستخدم هذه الطريقة للاحمال المتزنة وغير المتزنة بغض النظر عن نوع التوصيلة نجمة أو دلتا، كما هو موضح في الشكل (١-٢٦). وفي كلتا الحالتين فإن القدرة الكلية للحمل هي مجموع قراءات أجهزة قياس القدرة الثلاثة:

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 \qquad (1\text{-}17)$$

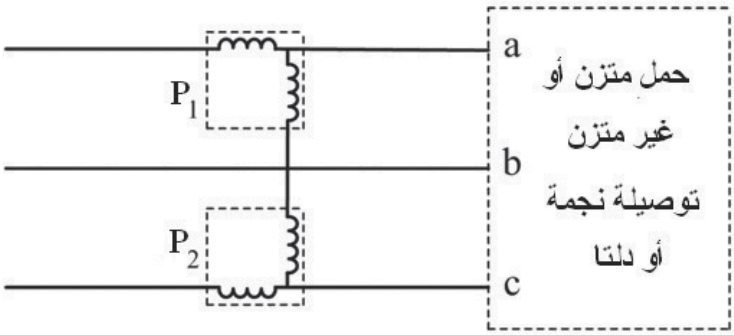


الشكل (١-٢٦) : طريقة ثلاثة واطميترات لقياس القدرة لحمل ثلاثي الأطوار في التوصيلتين (نجمة و دلتا)

٣ طريقة الواطميترين:

تستعمل غالباً طريقة الواطمتيرين الموضحة في الشكل (١-٢٧) في نظام ذي ثلاثة أسلاك، والتي تصلح سواء أكان الحمل متصلاً بتوصيلة نجمة أم بتوصيلة دلتا، وسواء أكان متزناً أم لا، وفي هذه الطريقة نوصل ملف

تيار الواطميتر الأول على التوالي مع الطور a وملف تيار الواطميتر الثاني على التوالي مع الطور c، أما ملفا الجهد للجهازين فانها تقيس جهدي الخط V_{ab} و V_{cb}.



الشكل (١-٢٧): طريقة الواطميترين لقياس القدرة لحمل ثلاثي الأطوار

وتساوي القدرة المستهلكة من طرف الحمل P مجموع قراءتي الواطمترين P_1 و P_2.

ولكن إذا كان الحمل متزناً، فإن القدرة المستهلكة من طرف الحمل ترتبط بقراءتي الجهازين حسب معامل قدرة الحمل كما يلي:

- اذا كان معامل القدرة أكبر من 0.5 (سواء كان «مادي- حثي» او «مادي-سعوي») فان: $P_T = P_1+P_2$
  أما اذا كان الحمل مادي نقي فان $P_2 = P_1$
- اذا كان معامل القدرة أصغر من 0.5 (سواء كان «مادي-حثي» او «مادي-سعوي») فإن أحد الجهازين (مثلا P_2) سيعطي قراءة سالبة ، وهنا فان $P_T = P_1+P_2$.
- اذا كان معامل القدرة يساوي 0.5 (سواء كان «مادي-حثي» او «مادي-سعوي») تكون قراءة أحد الجهازين صفراً، وتعطى القدرة المستهلكة من طرف الحمل بقراءة الواطميتر الآخر.

مثال (٤-١):

عند قياس القدرة المستهلكة من طرف حمل ثلاثي الأطوار باستعمال طريقة الواطمترين، كانت قراءة أحد الجهازين 6kW، بينما كانت قراءة الاخر بعد عكس توصيل ملف تياره 2kW احسب القدرة المستهلكة.

الحل:

معامل قدرة الحمل اقل من 0.5 لأن أحد الواطمترين اعطى قراءة سالبة، أما القدرة المستهلكة فهي:

$$P = P_1 - P_2 = 6 - 2 = 4kW$$

الدرس الخامس: معامل القدرة:

يعرّف معامل القدرة بأنه النسبة بين القدرة الفعالة والتي تستهلك فعلاً بالأحمال وتقاس بالكيلو وات (kW) والقدرة الكلية المطلوبة والتي تسمى القدرة الظاهرية وتقاس بالكيلو فولت امبير، حيث أن القدرة الفعالة هي التي تنجز العمل الحقيقي مثل إنتاج الحرارة، الضوء، الحركة . . . الخ أما القدرة الغير فعالة فهي التي تساعد على وجود المجال الكهرومغناطيسي، وتقاس بالكيلو فولت امبير مفاعلة (kVAR) القدرة الكلية وتسمى القدرة الظاهرية وهي مزيج من القدرة الفعالة والقدرة الغير فعالة وتقاس بالكيلو فولت امبير (kVA) .

معامل القدرة = $\cos\theta$ = القدرة الفعالة / القدرة الكلية ، أي أن :

$$\cos\theta = \frac{P}{S} \qquad (1.18)$$

ويقيس معامل القدرة فعالية نظام القدرة الكهربائي المستخدم ويعني معامل القدرة العالية إن النظام الكهربائي يستخدم بفعالية كبيرة بينما معامل القدرة المنخفض يشير الى الاستخدام السيئ للنظام الكهربائي عندما يكون معامل القدرة مساويا الواحد فإن ذلك يعني أن كل القدرة المنتجة بواسطة النظام الكهربائي تستهلك لإنتاج العمل الفعال، وعلى الجانب الآخر فإن المعدات الصناعية هي المعدات التي تستخدم الملفات الحثية او المكثفات مثل المحركات الكهربية والمحولات . . . الخ .

وهناك نسبة كبيرة من الآلات الكهربائية المستخدمة في الصناعة لها معامل قدرة منخفض، كما هو الحال في المنشأت الصناعية التي تحتوي على انواع المعدات والالات الكهربائية والتي يكون لها معامل قدرة منخفض وبالتالي تتطلب خطوات لتحسين معامل القدرة، وتشمل هذه الآلات :

١. كل أنواع المحركات الحثية والتي تمثل معظم الأحمال الصناعية .
٢. ثيراستور (أو ترانزستورات) القوى والذي يستخدم للتحكم في محركات التيار المستمر والعمليات الكهروكيميائية .
٣. محولات القوى ومنظمات الجهد .
٤. الآت اللحام الكهربي .
٥. أفران القوس الكهربي والأفران الحثية .
٦. الملفات الخانقة والأنظمة المغناطيسية .
٧. كشافات الفلورسنت والنيون

تاثيرات معامل القدرة:

١. **سعة النظام الكهربائي** : وتتمثل في القدرة الكلية المتاحة وتقاس بالكيلوفولت أمبير .

وتعطى بالمعادلة التالية :

القدرة الفعالة = القدرة الكلية x معامل القدرة .

حيث أن معامل القدرة العالي يعني زيادة سعة النظام الكهربائي المتاح ومع زيادة سعة النظام الكهربائي يصبح الجهد اكثر استقرار عند وصل وفصل الاحمال الكهربائية ، وهذا يتيح إضافة أحمال أكثر للنظام الكهربائي عند الحاجة .

٢ **مفاقيد النظام الكهربائي** : ففي حالة زيادة معامل القدرة يصبح التيار الكهربائي المطلوب للحمل أقل مما يقلل من القدرة المفقودة (I^2R) تقل ، وبالتالي يقلل من الارتفاع في درجة حرارة الأجهزة كالكابلات والمحولات وقضبان التوزيع وغيرها ، مما يزيد من العمر الافتراضي للأجهزة .

٣ **تكاليف شركات الكهرباء** : حيث يجب ان يكون معامل القدرة لنظام التوزيع الكهربائي عالياً وذلك لزيادة كفاءة النظام الكهربائي ، والاستفادة القصوى من القدرة المولدة ، لذلك تفرض شركات الكهرباء غرامة تتعلق بمعامل القدرة المنخفض على المستهلك ، وتطالبه بالمحافظة على مستوى لا يقل عن ٩٥٪ لمعامل القدرة لتجنب فرض الغرامة عليه .

٤ **خطوط النقل الكهربائي** : حيث أن التيار المار في خط النقل الكهربائي يزداد عندما يقل معامل القدرة الكهربائية ، وذلك عند ثبات القدرة الكهربائية الفعالة المنقولة في الخط الكهربائي مما يتطلب زيادة مساحة مقطع موصلات خط النقل ، وهذا يتسبب في زيادة تكاليف الخط ، وبزيادة التيار الكهربائي تزداد مفاقيد خط النقل الكهربائي ، مما يقلل من كفاءة خط النقل وزيادة انخفاض الجهد على الخط .

٥ **التاثير على المحولات الكهربائية** : معامل القدرة المنخفض تقل معه سعة المحول للقدرة الفعالة (kW capacity) ويزداد الجهد بداخله . إن انخفاض معامل القدرة يؤدي الى التقليل في سعة المحول وهذا يؤدي الى زيادة جهد المحول .

٦ **التاثير على القواطع وقضبان التوزيع** : لا بد من زيادة مساحة مقطع قضبان التوزيع ، وكذلك مساحة سطح التلامس للقواطع الكهربائية عند نفس قيمة القدرة الكهربائية المنقولة في حالة معامل القدرة المنخفض .

٧ **التاثير على المولدات الكهربائية** : مع معامل القدرة المنخفض تقل سعة القدرة الظاهرية ، وكذلك سعة القدرة الفعالة للمولدات ، وتزداد القدرة المعطاة بواسطة المثير (Exciter) ويزداد الفقد في الملفات النحاسية للمولد وتقل مع ذلك كفاءة المولد .

مميزات تحسين معامل القدرة:

عند عمل الشبكات الكهربية بمعامل قدرة منخفض تزداد التكاليف الرئيسية لمحطات التوليد وأنظمة النقل

والتوزيع الكهربائي . ولذلك فمن المستحسن للمستهلك والمغذي ان تعمل الشبكات الكهربية عند معامل قدرة مرتفع . والنقاط التالية تلخص فوائد تحسين معامل القدرة :

١ زيادة سعة القدرة الفعالة للمولد الكهربائي .

٢ زيادة سعة القدرة الفعالة للمحول الكهربائي .

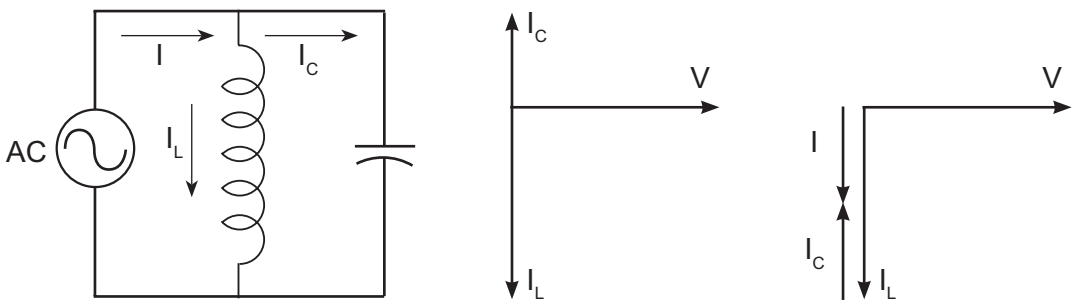
٣ زيادة كفاءة كل الوحدات بالشبكة الكهربائية .

٤ تقليل تكاليف الوحدات بالشبكة .

٥ تحسين تنظيم الجهد على خطوط النقل الكهربائي .

تحسين معامل القدرة:

للحصول على أفضل ميزة اقتصادية من القدرة الكهربائية فان كلا من محطات التوليد وأماكن الاستهلاك لا بد ان تعمل بكفاءة عالية . ولتحقيق ذلك من الضروري أن يكون معامل القدرة مرتفعاً للنظام الكهربائي ، حيث أن معظم الاحمال في أنظمة التوزيع الكهربائي الحديثة أحمال حثية مما يعني أنها تحتاج لمجال كهرومغناطيسي لعملها . وبما أن أبسط الطرق لتحسين معامل القدرة اضافة مكثفات تحسين معامل القدرة لمحطة التوزيع الكهربائية ، حيث تعمل مكثفات القوى كمولدات تيار مفاعلة ، مما يؤدي الى تقليل التيار الكلي للنظام الكهربائي ، ولدراسة كيفية تحسين معامل القدرة في الدوائر الحثية نضع مكثف على التوازي مع ملف يغذى من مصدر كهربائي ، كما في الشكل (١-٢٨) .



الشكل(١-٢٨) : وضع مكثف على التوازي مع ملف لتحسين معامل القدرة

التيار الاولى بالدائرة قبل توصيل المكثف هو I_L ويتاخر عن جهد المصدر بزاوية ٩٠° وهو التيار الكلي المسحوب من المصدر وعند وضع المكثف على التوازي مع الملف فإنه يسحب تياراً سعويا مقدارة I_C يتقدم عن جهد المصدر بزاوية مقدارها ٩٠° وفي هذه الحالة يكون التيار الكلي المسحوب من المصدر هو مجموع التيارات في الملف والمكثف : $I = I_L - I_C$

والاشارة السالبة تعني ان I_C على ١٨٠° من I_L لذلك فان القدرة الغير فعالة الكلية في هذه الحالة تساوي :

$$Q = V (I_L - I_C) = Q_L - Q_C \qquad (1\text{-}19)$$

وبالنظرة العامة الى قيمة المعاوقة الكلية نجد ان جزءً من المعاوقة الحثية قد عودلت بالمعاوقة السعوية مما يقلل من المعاوقة الكلية المطلوبة من المصدر، وهذا التقليل في المعاوقة المطلوبة يؤدي الى تحسين معامل القدرة الكلية للدائرة. هذه العملية تسمى التعويض (Compensation).

لذلك فإنه من أجل تعويض القدرة الغير فعالة الحثية (inductive reactive power) بشكل فعال، يجب تحديد سعة المكثف اللازمة لذلك.

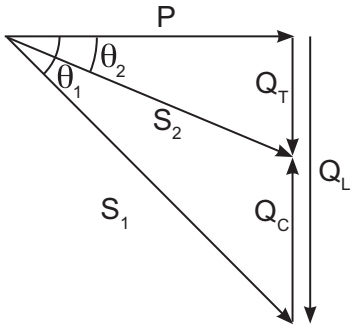
وتعتبر المكثفات من أكثر الأجهزة المستخدمة في تحسين معامل القدرة، وتصنع مكثفات القدرة حالياً بأشكال وأحجام مختلفة.

وتتكون مكثفات القوى من عدد من العناصر الأساسية، والتي تبنى بلف طبقتين من شرائح الألومنيوم بين عدد من الطبقات من ورق رقيق عازل مختلط من الورق وشريحة بلاستيكية.

طرق تحسين معامل القدرة:

يمكن استخدام احدى الطريقتن الآتيتين لتحسين معامل القدرة:

١ **تثبيت القدرة الفعالة (constant kW correction)**: عند استخدام المكثفات لتحسين معامل القدرة من $\cos\theta_1$ الى $\cos\theta_2$، فان تغير قيم القدرة الظاهرية (S) موضح في الشكل (١-٢٩)، حيث أن:



الشكل (١-٢٩): تحسين معامل القدرة بتثبيت القدرة

S_1 = القدرة الظاهرية للحمل قبل تحسين معامل القدرة.

P = القدرة الفعالة للحمل وهي ثابتة.

Q_L = القدرة الغير فعالة المتأخرة للحمل قبل التحسين.

S_2 = القدرة الظاهرية للحمل بعد التحسين.

Q_T = القدرة الغير فعالة المتأخرة بعد التحسين.

وعليه فان القدرة الغير فعالة المتقدمة اللازمة لتحسين معامل القدرةيمكن حسابها على النحو الآتي:

$$\tan\theta_1 = Q_L / P \qquad \tan\theta_2 = Q_T / P$$

$$\tan\theta_1 - \tan\theta_2 = Q_L / P - Q_T / P = (Q_L - Q_T) / P = Q_C / P$$

أي أن:

$$Q_C = P\ (\tan\theta_1 - \tan\theta_2) \qquad (1\text{-}20)$$

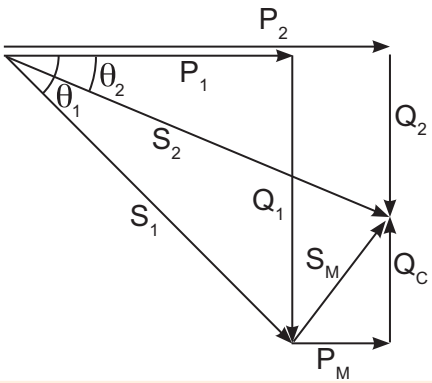
٢ **تثبيت القدرة الظاهرية (constant kVA correction)**: يوضح الشكل (١-٣٠) أن القدرة الظاهرية قبل تحسين معامل القدرة (S_1) تساوي بالأرقام القدرة الظاهرية بعد التحسين (S_2) وكذلك:

P_1 = القدرة الفعالة للحمل قبل تحسين معامل القدرة .

Q_1 = القدرة الغير الفعالة المتأخرة للحمل قبل التحسين .

P_2 = القدرة فعالة للحمل بعد التحسين .

Q_2 = القدرة الغير فعالة المتأخرة للحمل بعد التحسين .



الشكل (١-٣٠) : تحسين معامل القدرة بتثبيت القدرة

فاذا تم تحسين معامل القدرة باستخدام محرك تزامني ذي اثارة عالية فان :

S_M = القدرة الظاهرية الداخلة على المحرك .

Q_C = القدرة الغير الفعالة المتقدمة الداخلة على المحرك .

P_M = القدرة الفعالة الداخلة على المحرك .

ان الخسائر في المحرك تكون عادة اقل من P_M وبذلك فان القدرة المتبقية تمثل الحمل الميكانيكي الذي يقاد باستخدام المحرك .

مثال (١-٥):

محول لمحطة فرعية يزود حملا 360kW عند معامل قدرة متأخر 0.6 احسب :

١ القدرة الغير فعالة للمكثفات اللازمة لتحسين معامل القدرة الى 0.95 متأخر عن طريق تثبيت القدرة الفعالة .

٢ القدرة الظاهرية الاسمية لمحرك تزامني اللازم لتحسين معامل القدرة الى 0.95 عن طريق تثبيت القدرة الظاهرية .

الحل:

١ تثبيت القدرة الفعالة :

$$\theta_1 = \cos^{-1}(0.6) = 53.13° \quad , \quad \theta_2 = \cos^{-1}(0.95) = 18.19°$$

$$Q_C = P(\tan\theta_1 - \tan\theta_2) = 360(\tan 53.13° - \tan 18.19°) = 362 \text{ kVar}$$

٢ تثبيت القدرة الظاهرية :

قبل التحسين

$$S = P / \cos\theta_1 = 360 / 0.6 = 600 \text{ kVA}$$

بعد التحسين

$$P = 600 \times 0.95 = 570 \text{ kW}$$

قبل التحسين

$$Q_L = S \sin \theta_1 = 600 \times 0.8 = 480 \text{ kVar}$$

بعد التحسين

$$Q_L = S \sin \theta_2 = 600 \times 0.3123 = 187 \text{ kVar}$$

وبذلك فإن القدرة الغير فعالة المتقدمة الداخلة على المحرك التزامني

$$Q_C = 480 - 187 = 293 \text{ kVar}$$

القدرة فعالة الداخلة على المحرك التزامني

$$P = 570 - 360 = 210 \text{ kW}$$

القدرة الظاهرية الداخلة على المحرك التزامني

$$S = \sqrt{(210^2 + 293^2)} = 361 \text{ kVA}$$

طريقة الجداول لتحسين معامل القدرة:

وهي من الطرق شائعة الاستعمال وتعطي مقنن المكثف المطلوب لتحسين معامل القدرة من معامل القدرة الموجود بالفعل الى معامل القدرة المراد الوصول اليه .

بفرض أن معامل القدرة المراد تحسينه هو $\cos \theta_1$ فانه يمكن كتابة المعادلات التالية :

معامل القدرة = $\cos \theta_1$

القدرة الفعالة = (القدرة الظاهرية)١ x $\cos \theta_1$

(القدرة الغير فعالة)١ = (القدرة الظاهرية)١ x $\sin \theta_1$

(القدرة الغير فعالة)١ = القدرة الفعالة x $\tan \theta_1$

وبفرض أن معامل القدرة تم تحسينه الى $\cos \theta_2$ فان :

معامل القدرة = $\cos \theta_2$

القدرة الفعالة = (القدرة الظاهرية)٢ x $\cos \theta_2$

(القدرة الغير فعالة)٢ = (القدرة الظاهرية)٢ x $\sin \theta_2$

(القدرة الغير فعالة)٢ = القدرة الفعالة x $\tan \theta_2$

لذلك فان قدرة المكثف المطلوبة = Q_C = (القدرة الغير فعالة)١ – (القدرة الغير فعالة)٢

= (القدرة الفعالة) ($\tan \theta_2 - \tan \theta_1$)

= (القدرة الفعالة) (معامل الضرب)

أي أن معامل الضرب = $\tan \theta_2 - \tan \theta_1$

ويبين الجدول (١-١) معامل الضرب لتحسين معامل القدرة من قيمة لأخرى .

الجدول (١-١): جدول تحسين معامل القدرة

معامل القدرة	معامل الضرب لتحسين معامل القدرة الى :								
المراد تحسينه	1.00	0.99	0.98	0.97	0.96	0.95	0.90	0.85	0.80
0.60	1.333	1.190	1.130	1.082	1.041	1.004	0.849	0.713	0.583
0.61	1.229	1.156	1.096	1.048	1.007	0.970	0.815	0.679	0.549
0.62	1.265	1.122	1.062	1.014	0.973	0.936	0.781	0.645	0.515
0.63	1.233	1.090	1.030	0.982	0.941	0.904	0.749	0.613	0.483
0.64	1.201	1.058	0.998	0.950	0.909	0.872	0.717	0.581	0.451
0.65	1.169	1.026	0.966	0.918	0.877	0.840	0.685	0.549	0.419
0.66	1.138	0.990	0.935	0.887	0.846	0.809	0.654	0.518	0.388
0.67	1.108	0.965	0.905	0.857	0.816	0.779	0.624	0.488	0.358
0.68	0.078	0.935	0.875	0.827	0.786	0.749	0.594	0.458	0.328
0.69	1.049	0.906	0.846	0.798	0.757	0.720	0.565	0.429	0.299
0.70	1.020	0.877	0.817	0.769	0.728	0.691	0.536	0.499	0.270
0.71	0.992	0.849	0.789	0.741	0.700	0.663	0.508	0.372	0.242
0.72	0.964	0.821	0.761	0.713	0.672	0.635	0.470	0.344	0.214
0.73	0.936	0.793	0.733	0.685	0.644	0.606	0.452	0.316	0.186
0.74	0.909	0.766	0.706	0.658	0.617	0.580	0.425	0.289	0.159
0.75	0.882	0.739	0.679	0.631	0.590	0.553	0.398	0.262	0.132
0.76	0.855	0.712	0.652	0.604	0.563	0.526	0.371	0.235	0.105
0.77	0.829	0.686	0.626	0.578	0.537	0.500	0.345	0.209	0.079
0.78	0.802	0.659	0.559	0.551	0.510	0.473	0.381	0.182	0.052
0.79	0.776	0.633	0.573	0.525	0.484	0.447	0.292	0.156	0.026
0.80	0.750	0.607	0.547	0.499	0.458	0.421	0.266	0.130	---
0.81	0.724	0.581	0.521	0.473	0.432	0.395	0.240	0.104	---
0.82	0.698	0.555	0.495	0.447	0.406	0.369	0.214	0.078	---
0.83	0.672	0.529	0.469	0.421	0.380	0.343	0.188	0.052	---
0.84	0.646	0.503	0.443	0.395	0.354	0.317	0.162	0.026	---
0.85	0.620	0.477	0.417	0.369	0.328	0.291	0.136	---	---
0.86	0.592	0.450	0.390	0.342	0.301	0.264	0.109	---	---
0.87	0.567	0.424	0.364	0.316	0.275	0.238	0.083	---	---
0.88	0.540	0.397	0.337	0.289	0.248	0.211	0.056	---	---
0.89	0.512	0.369	0.309	0.261	0.220	0.183	0.028	---	---
0.90	0.484	0.341	0.281	0.233	0.192	0.155	---	---	---
0.91	0.456	0.313	0.253	0.205	0.164	0.127	---	---	---
0.92	0.426	0.283	0.223	0.175	0.134	0.097	---	---	---
0.93	0.395	0.252	0.192	0.144	0.103	0.066	---	---	---
0.94	0.363	0.220	0.160	0.112	0.071	0.034	---	---	---
0.95	0.329	0.186	0.126	0.078	0.037	---	---	---	---
0.96	0.292	0.149	0.089	---	---	---	---	---	---
0.97	0.251	0.108	0.048	---	---	---	---	---	---
0.98	0.203	0.060	---	---	---	---	---	---	---
0.99	0.143	---	---	---	---	---	---	---	---

مثال (١-٦):

حمل كهربائي قدرته الفعالة 400kW بمعامل قدرة 0.8 متأخر . حدد القدرة الغير فعالة المقننة للمكثف لرفع معامل القدرة الى 0.9 متأخر باستخدام الجداول .

الحل:

معامل القدرة المراد تحسينه = 0.8

معامل القدرة المراد الوصول اليه = 0.9

من الجدول فإن معامل الضرب = 0.266

القدرة الغير فعالة المتقدمة المطلوبة للمكثف = القدرة الفعالة x معامل الضرب

$= 0.266 \times 400$

$= 106.4$ kVar

الطرق العملية لتحسين معامل القدرة:

أولا: تحسين أحادي (Single Compensation):

يتم توصيل مكثف مع حمل حثي أو صندوق مكثفات مناسب مباشرة مع الحمل، حيث تعمل أجهزة الحماية من التيار العالي على حماية الحمل والمكثفات على حد سواء .

توصل المكثفات على التوازي مع الحمل مباشرة كما في الشكل (١-٣١) ، وعند فصل الحمل من المصدر يعمل المحرك كمولد كهربائي، مما يؤدي الى انتاج جهد عالي قد يتسبب في تلف المحرك والمكثفات ولتجنب ذلك يتم تحديد قيمة القدرة غير الفعالة للمكثف (Q_C) بنسبة ٩٠٪ كحد أعلى من القدرة الظاهرية (S) في حالة اللاحمل . ويتحقق هذا الشرط من خلال المعادلة التالية :

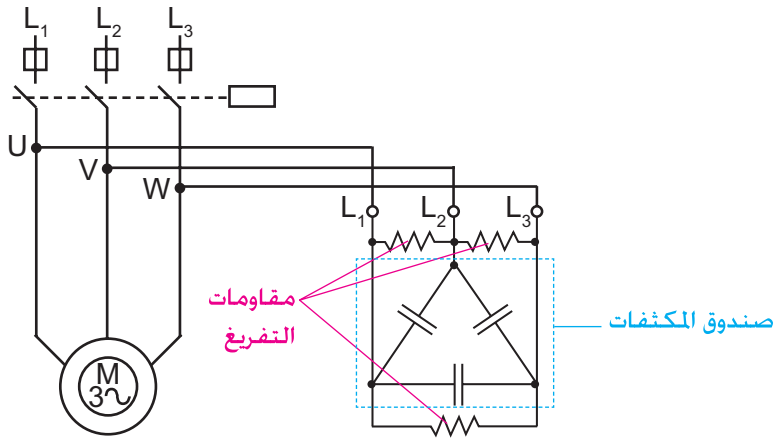
$$Q_C \text{ (in kVAR)} = (0.9 / 1000) \times \sqrt{3}\, V\, I_{NL} \qquad (1\text{-}21)$$

حيث أن I_{NL} تيار اللاحمل للمحرك .

وبذلك يصبح معامل القدرة عند الحمل المقنن (rated load) يساوي 0.9 بينما في حالة اللاحمل (no load) فإن معامل القدرة يتراوح بين 0.98 - 0.95 . والجدول (١-٢) يبين القدرة الغير فعالة للمكثف مع القدرة المقننة للمحرك .

ملاحظة:

يتم الحصول على تيار اللاحمل بالقياس فقط، ويتم وصل مقاومات على التوازي مع المكثفات لغايات تفريغ شحنة المكثفات .



الشكل (١-٣١): تحسين أحادي لمعامل القدرة

الجدول (١- ٢): العلاقة بين القدرة الغير فعالة للمكثف والقدرة المقننة للمحرك

القدرة الاسمية للمحرك Pn / kW	القدرة الغير فعالة للمكثف Qc / kVar
1 - 1.9	0.5
2 - 2.9	1
3 - 3.9	1.5
4 - 4.9	2
5 - 5.9	2.5
6 - 7.9	3
8 - 10.9	4
11 - 13.9	5
14 - 17.9	6
18 - 21.9	7.5
22 - 29.9	10
30 - 39.9	Q_C = 40% Pn
⩾ 40	$Q_C \approx$ 35% Pn

ثانيا: تحسين مجموعة (Group Compensation):

في هذه الحالة يتم تحسين معامل القدرة لمجموعة من الأحمال، التي يتم تغذيتها من مصدر واحد، باستخدام صندوق المكثفات. وهذا ينطبق على الآلات و التجهيزات اللازمة لانارة شارع ما، حيث يتم تحسين معامل القدرة لاجهزة الانارة المستخدمة التي تكون غالبا عبارة عن أحمال حثية ضمن صندوق المكثفات المستخدم.

فمثلا إذا كانت القدرة الكلية لأجهزة الإنارة لشارع ما هو (P = 4.5kW) ويتم تغذيتها من مصدر جهد ثلاثي الاطوار ومعامل قدرتها $\cos\theta_1$=0.43 ، يراد استخدام صندوق مكثفات لتحسين معامل قدرة الى $\cos\theta_2$= 0.8 حثي، ما هي قيمة القدرة الغير فعالة للمكثفات التي يجب استخدامها في هذه الحالة؟

لايجاد القدرة الغير فعالة تستخدم المعادلة (١-٢٠):

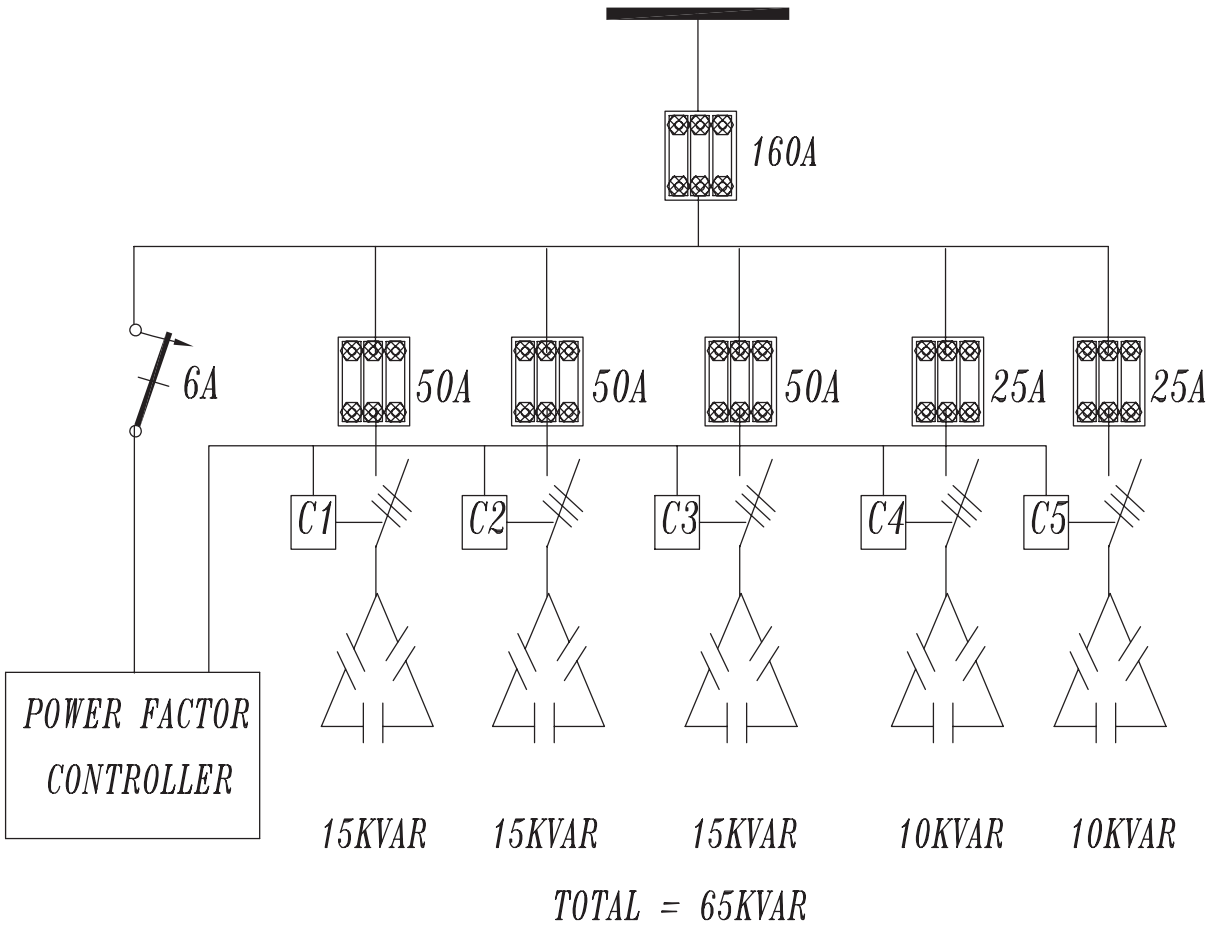
$\cos \theta_1 = 0.43$ $\tan \theta_1 = 2.1$

$\cos \theta_2 = 0.8$ $\tan \theta_2 = 0.75$

$Q_C = P (\tan\theta_1 - \tan\theta_2) = 4.5 (2.1 - 0.75) = 6.075$ kVar

ثالثا: التحسين المركزي (Central Compensation):

في حالة التحسين المركزي كما في الشكل (١-٣٢)، يتم تحسن معامل القدرة لجميع التجهيزات من خلال الموزع الرئيسي. وحيث أن الحمل يتغير بشكل دوري، فان تحديد القدرة الغير الفعالة لكل حمل يتم على حدة حيث أن صندوق المكثفات يحتوي على مجموعة من المكثفات يتم التحكم في كل منها على حدة عن طريق جهاز التحكم وبطريقة آلية حسب قيمة الحمل المتغير. ويقوم جهاز التحكم كذلك برصد قيم معامل القدرة والقدرة الفعالة والغير فعالة.



الشكل (١-٣٢): التحسين المركزي لمعامل القدرة

مثال (٧-١):

محرك حثي ثلاثي الطور يملك المواصفات التالية :

$\cos\theta = 0.85$ متأخر ، $\eta = 89\%$ ، $50\ Hz$ ، $440\ V$ ، $37.3\ kW$

المطلوب :

١ احسب القدرة فعالة اللازمة لرفع معامل القدرة الى (0.95) متأخر .

٢ ما هي قيمة سعة المكثف لكل طور إذا كانت المكثفات موصولة توصيلة مثلث أو نجمة؟

الحل:

قبل حل السؤال ينبغي توضيح بعض مواصفات المحرك الواردة في السؤال وهي كما يلي :

- القدرة $37.3\ kW$ تمثل القدرة الميكانيكية الخارجة $P_{mech} = 37.3\ kW$
- الجهد $440\ V$ يمثل جهد الخط للمصدر الموصول مع المحرك $V_L = 440\ V$
- $\eta = 89\%$ يمثل فعالية المحرك والتي تساوي نسبة القدرة الخارجة الى القدرة الداخلة على المحرك $\eta = P_{mech}/P_{in}$

١ يتم حساب القدرة الفعالة الداخلة على المحرك حسب المعادلة :

$$P_{in} = \frac{P_{mech}}{\eta} = \frac{37.3}{0.89} = 41.91\ kW$$

$$\cos\theta_1 = 0.85 \qquad \theta_1 = 31.8^\circ$$

$$Q_1 = P_{in} \tan\theta_1 = 41.91 \times \tan 31.8^\circ = 25.98\ kVar$$

$$\cos\theta_2 = 0.95 \qquad \theta_2 = 18.19^\circ$$

$$Q_2 = P_{in} \tan\theta_2 = 41.91 \times \tan 18.19^\circ = 13.78\ kVar$$

القدرة الغير فعالة المتقدمة المزودة من المكثفات للأطوار الثلاثة هي :

$$Q_C = Q_1 - Q_2 = 25.98 - 13.78 = 12.19\ kVar$$

وبذلك تكون القدرة الغير فعالة لكل طور هي :

$$Q_{C,ph} = \frac{Q_C}{3} = \frac{12.19}{3} = 4.063\ kVar$$

٢ بناء على قيمة القدرة الغير فعالة المتقدمة لكل طور، يمكن حساب سعة المكثف لكل طور حسب نوع التوصيلة كما يلي :

- **توصيلة مثلث (دلتا) :**

الجهد على المكثف الواحد هي جهد الخط $V_C = V_L = 440\ V$ وبذلك فإن :

$$Q_{C,ph} = I_C V_C = V_C^2 / X_C = V_C^2\, \omega\, C$$

$$C = \frac{Q_{C,ph}}{V_C^2 \omega} = \frac{4.063 \times 10^{+3}}{2\,\pi\,50 \times 440^2} = 66.8\ \mu F$$

توصيلة نجمة (ستار) :

الجهد على المكثف الواحد هي جهد الطور

$$V_C = \frac{V_L}{\sqrt{3}} = \frac{400}{\sqrt{3}} = 254\ V$$

وبذلك فان :

$$C = \frac{Q_{C,ph}}{V_C^2 \omega} = \frac{4.063 \times 10^{+3}}{2\,\pi\,50 \times 254^2} = 200.4\ \mu F$$

يتضح مما سبق أن سعة المكثف الواحد في توصيلة النجمة أكبر منها في حالة توصيلة المثلث لنفس القدرة، وبالتالي تكون التكلفة الاجمالية في حالة التوصيلة نجمة أعلى منها في توصيلة مثلث، لذلك توصل مكثفات تحسين معامل القدرة في دوائر ثلاثية الطور دائما توصيلة مثلث (دلتا) .

أسئلة الوحدة:

١ عرف المصطلحات التالية :

القيمة العظمى للجهد المتردد ، القيمة الفعالة للجهد المتردد، القدرة الفعالة ، القدرة الغير فعالة، القدرة الظاهرية، معامل القدرة .

٢ ارسم مثلث القوى واكتب العلاقات التي تربط بين القدرات المختلفة في دوائر التيار المتردد ثلاثية الطور .

٣ جد القدرة الذاهبة الى حمل ثلاثي الطور موصل بطريقة نجمة على مصدر جهد ثلاثي الطور موصل بطريقة نجمة، اذا كانت مقاومة الحمل لكل طور تساوي 10Ω وجهد الطور للمصدر يساوي 220V .

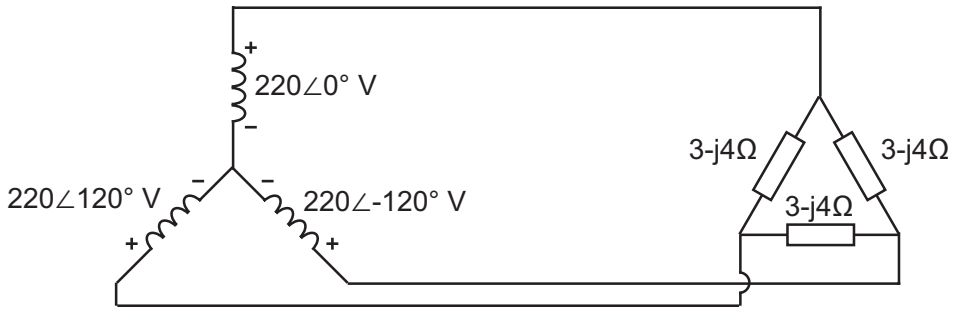
٤ جد القدرة الذاهبة الى حمل ثلاثي الطور موصل بطريقة دلتا على مصدر جهد ثلاثي الطور موصل بطريقة نجمة، اذا كانت مقاومة الحمل لكل طور تساوي 10Ω وجهد الطور للمصدر يساوي 220V .

٥ جد القدرة الذاهبة الى حمل ثلاثي الطور موصل بطريقة نجمة على مصدر جهد ثلاثي الطور موصل بطريقة دلتا، اذا كانت مقاومة الحمل لكل طور تساوي 10Ω وجهد الطور للمصدر يساوي 220V .

٦ جد معامل القدرة للحمل اذا كانت القدرة الذاهبة للحمل حسب قراءة الواطميتر تساوي 3800W وقيمة جهد الخط للمصدر ثلاثي الطور يساوي 380V وتيار الخط يساوي 10A .

٧ احسب قيمة تيار الخط المار في حمل ثلاثي الطور اذا كانت القدرة الذاهبة اليه تساوي 1900W وقيمة جهد الخط للمصدر يساوي 190V ومعامل القدرة يساوي 0.5 .

٨ احسب تيار الخط للحمل ثلاثي الطور المبين في الشكل (١-٣٣)، وكذلك القدرة الفعالة والقدرة الغير فعالة المستهلكة من طرف الحمل وكذلك معامل القدرة .



الشكل (١-٣٣)

٩ لماذا لا يمكن قياس القدرة الفعالة في دوائر التيار المتردد باستعمال جهازي فولتميتر وأ ميتر فقط؟

١٠ عند قياس القدرة المستهلكة من طرف حمل ثلاثي الطور متزن باستعمال طريقة الواطميترين، كانت قراءة أحد الجهازين 500W أحسب القدرة المستهلكة الكلية علما أن معامل قدرة الحمل واحد صحيح .

١١ وصلت ثلاث ملفات مقاومة وممانعة كل (X = 15Ω , R = 20Ω) توصيلة نجمة مع مصدر ثلاثي الطور موصول توصيلة نجمة وجهد الخط فيه يساوي 400V وتردد يساوي 50Hz . احسب :

أ تيار الخط .

ب القدرة الفعالة .

جـ معامل القدرة .

د اذا وصلت ثلاث مكثفات لها نفس السعة توصيلة دلتا الى نفس المصدر وعلى التوازي مع الملفات، احسب سعة كل المكثف للحصول على معامل قدرة جديد قيمته 0.95 متأخر . ارسم الدائرة الكهربائية الكلية للنظام في هذه الحالة .

الوحدة ٢

التمديدات الكهربائية الصناعية

الوحدة الثانية التمديدات الكهربائية الصناعية

مقدمه:

عند دراسة التمديدات الكهربائية الصناعية لا بد من الحديث ضمن أمور كثيرة عن الكابلات الكهربائية المستخدمة في تغذية الأحمال الكهربائية داخل المؤسسات الصناعية، حيث يجب أن يتم التعرف عليها بشكل كامل لتحديد أنواعها ومعرفة مواصفاتها ومقاساتها ومقدار تحملها للتيار والجداول المعتمد ه لها عالمياً، ليتم اختيار الكابل المناسب منها لطبيعة هذه الأحمال وظروف تمديدها.

ولا بد للفني من أن يكون ملما بالقواعد الأساسية للتمديدات الصناعية وطرق توزيعها، لكي يتم تحديد النظام المناسب لاعتماده في توزيع الطاقة الكهربائية داخل المؤسسات الصناعية. ولتقدير المتطلبات اللازمة من الطاقة الكهربائية لا بد من معرفة الطريقة الصحيحة التي يتم فيها احتساب قدرة الأحمال الكهربائية الصناعية وغير الصناعية.

ويتوجب عليه معرفة كيفية رسم المخططات التنفيذية للتمديدات الصناعية وقراءة رموزها ليتسنى تحديد أماكن تواجد مصادر التغذية الرئيسيه والفرعية والاحتياطية وأماكن تواجد الآلات والمعدات الكهربائية، وطريقة تغذيتها داخل المؤسسات ومخططات مجاري الكابلات والقنوات المستخدمة لها، سواء الأرضية أو المكشوفة أو الجانبية أو العلوية.

ولا بد من الإشارة هنا إلي أن العملية الصناعية تكون محددة مسبقا في مرحلة التصميم الأولي للمصنع حيث يمكن تقدير الأحمال الكهربائية الإجمالية للمصانع مثلا من خلال المعلومات الكهربائية مباشرة من الشركات الصانعة للمعدات والآلات والأجهزة والمكائن قبل تركيبها في الموقع. كما يمكن إضافة الأحمال الغير صناعية بمعرفة أنظمة الإنارة العامة المستخدمة فيها ومعرفة مخارج القدرة وأحمالها وكذلك أحمال التدفئة والتكييف والتهوية والمصاعد والأدراج المتحركة وغيرها.

واعتمادا على مجموع الأحمال الكهربائية(الصناعية وغير الصناعية) للمصنع يتم اختيار قدرة محول التوزيع الذي بوساطتة يتم تغذية المصنع بالكهرباء مع إضافة نسبة لا تقل عن ٢٠٪ من باب الاحتياط وذلك للتوسع المستقبلي للأحمال. ويؤخذ بعين الاعتبار ضرورة وجود مولد كهربائي احتياطي لتغذية الأحمال الرئيسية التي لا يسمح بانقطاع التيار الكهربائي عنها.

وسيتم دراسة الكوابل المستخدمة في نقل وتوزيع الطاقة وأنواعها ومقدار تحملها للتيار ودراسة تقدير الأحمال وطريقة تغذيتها ورسم المخططات التنفيذية لها وقراءتها.

الدرس الأول: الكابلات الكهربائية:

الشكل(٢-١): كيبل كهربائي مسلح ومعزول

سوف تتعرف في هذا الدرس بشكل عام على الكابلات الكهربائية واستخداماتها في نقل وتوزيع الطاقة الكهربائية، وبشكل خاص على استخداماتها في تغذية الأحمال الكهربائية الصناعية. حيث تصنع الكابلات الكهربائية من مواد موصلة تشكل الممر للتيار الكهربائي، وتكون مغطاة بمواد عازلة للتيار الكهربائي لحماية المستخدم والأجهزة على حد سواء، وتكون بمواصفات تحددها الشركات الصانعة لها كما هو مبين في الشكل (٢- ١) كما سيرد تفصيلها لاحقا.

الشكل (٢-٢): بعض أنواع الكابلات الكهربائية

وتحتوي الكابلات الكهربائية عادة على عدد من الموصلات تلائم متطلبات الاستخدامات المتنوعة لكل من الأحمال ومصادر التغذية، فمنها ما هو ذو قلب أحادي أو متعدد القلوب، ومنها ما هو دائري الشكل أو بيضاوي أو مثلثي الشكل، ويبين الشكل (٢-٢) بعض أنواع هذه الكابلات وأشكالها.

ويمكن تقسيم الكابلات الكهربائية بناء على نوع التيار المنقول إلى:

١ كبالات التيار المتناوب: وتشمل:

أ كبالات أحادية الطور:

حيث تحتوي في الغالب على موصل مفرد واحد معزول أو كيبل ذي موصلين اثنين أو ثلاثة وتستخدم لتغذية حمل أحادي الطور، ومنها ما هو مصمت ومنها ما هو مجدول كما هو موضح في الشكل (٢-٣).

الشكل (٢-٣): كيبل أحادي الطور مصمت وآخر مجدول

(ب) كابلات ثلاثية الأطوار:

حيث تحتوي الكابلات على ثلاثة موصلات أو أربعة أو خمسة أو ستة موصلات أو أكثر، وسيتم دراستها لاحقا ببعض التفصيل نظرا لكثرة شيوعها .

(٢) كابلات التيار المستمر:

إن استخدام كابلات التيار المستمر في نقل الطاقة الكهربائية بدلاً من التيار المتردد ازداد الاهتمام به في العشرين سنه الأخيرة، وذلك نظرا للزيادة الكبيرة في الطلب على الطاقة الكهربائية المنقولة باستخدام كابلات تحت الماء (submarine cables) وخاصة باستخدام جهود فائقة تصل إلى kv (800) لما لها من أهمية في تقليل كلفة النقل والفقد الكهربائي(المقاومة للتيار المستمر اقل بحوالي 20% من المقاومة للتيار المتردد) .

ولدراسة نوع المادة الموصلة المستخدمة في الكابلات الكهربائية من قبل الشركات ألمصنعه لها وعددها يتبين ما يلي :

يمكن تقسيم الكيبل بناء على الجهد المستخدم إلى خمسة أقسام :

١ كابلات الجهد المنخفض : وتستخدم مدى جهود من (600–250) فولت وحتى 6kv

٢ كابلات الجهد المتوسط : وتستخدم لمدى جهود من kv (6.6-22)

٣ كابلات الجهد العالي : وتستخدم لمدى جهود من kv (22-33)

٤ كابلات الجهد الزائد : وتستخدم لمدى جهود من kv (220-345) وحتى 750 kv

٥ كابلات الجهد الفائق : وتستخدم لمدى جهود أعلى من 750 kv

١-١ المواد المستخدمة في صناعة الكابلات الكهربائية فتقسم إلي قسمين:

(١) المواد المستخدمة في صناعة الموصلات (conductor):

يعود السبب في اختيار نوع الموصل في صناعة الكابلات إلي عدة اعتبارات ومن أهمها :

١ الموصلية الكهربائية للموصل .

٢ سهولة الحصول على الموصل بدرجة عالية من النقاوة .

٣ انخفاض كثافة الموصل وبالتالي انخفاض وزنة .

٤ درجة المتانة الكهربائية للموصل خاصة في عمليات اللحام .

٥ درجة المرونة للموصل .

٦ تكلفة إنتاج الموصل بقياسات مختلفة .

٧ درجة تحملها للصدمات الميكانيكية وإجهادات الشد .

٨ درجة تأثرها بالحرارة والمؤثرات الكيميائية خاصة عند حدوث قصر في الدارة .

٩ سهولة التعامل معه عند الإنتاج .

وتصنع موصلات الكابلات من مواد موصلة مختلفة ويبين الجدول (١-١) بعض المعادن التي قد يصنع منها الموصل الذي يدخل في صناعة الكابلات الكهربائية وموصليتها بالنسبة للنحاس :

الجدول (١-١): تقسيم المعادن حسب الموصلية الكهربائية مقارنة بالنحاس:

نوع المعدن	الموصلية الكهربائية (النحاس =١٠٠)
فضة	١٠٦,٣
نحاس	١٠٠
ذهب	٧٣,٨
الومنيوم	٦١,٧
صوديوم	٣٥,٤
زنك	٢٩,٠
حديد	١٧,٢
قصدير	١٥,٠
رصاص	٧,٩

ويعتبر النحاس النقي (٩٩,٩٪) المادة الأكثر شيوعا في صنع موصلات الكابلات الكهربائية نظرا لموصليته العالية مقارنة بموصلية الألمنيوم (حيث أن المقاومة النوعية للنحاس أقل من الألمنيوم) والتي تبلغ ثلثي موصلية النحاس لذا يستخدم في التمديدات الداخلية (كالتمديدات المنزلية) إلا أن الألمنيوم يعتبر الأكثر استعمالا في السنوات الأخيرة، وخاصة في كبالات نقل القدرة خاصة بعد التغلب على صعوبة لحامه، فضلا عن أن كثافة الألمنيوم تبلغ (٣٠٪) من كثافة النحاس مما يمكنه من حمل ضعف القدرة التي يحملها موصل النحاس في حالة تساوي الوزن، إلا أن هناك موصلات تصنع من معدن الصوديوم نظرا لخفة وزنها ومرونتها، مما يخفف من تكلفة إنتاجها بشكل كبير مع الأخذ بنظر الاعتبار أن موصل الصوديوم سيكون أكبر من مثيله من النحاس الذي يحمل نفس التيار بحوالي (٤٥٪) مما يجعله قيد الدراسة ويحد من انتشاره بشكل واسع حتى الآن .

وتصنع عادة الكابلات الكهربائية المستخدمة في التمديدات المنزلية والتجارية وفي المباني العامة من موصلات دائرية نحاسية ومعزولة بمادة البولي فينيل كلورايد (PVC) وتتراوح أحجامها من(١ ملم مربع إلي ١٦ ملم مربع أو أكثر) وهي كابلات أحادية القلب أو متعددة القلوب ويمكن أن تكون من النوع المصمت أو المجدول، حيث أنه من الملاحظ أن موصل الكيبل يصنع أحيانا من حزمة من الموصلات المتماثلة بدلا من استخدام موصل واحد ذي قطر كبير(مصمت) solid وذلك لإعطاء الكيبل مرونة اكبر في التخزين والنقل وسهولة اللف على بكرات، ويسمى هذا الموصل بالموصل المجدول (strand conductor) .

نشاط:

هل تستطيع أن تعطي أسبابا أخرى لاستخدام الكابلات المصمتة بدلا من المجدولة؟

٢ المواد المستخدمة في صناعة عوازل الكابلات (cable insulation):

قد تنحصر مهمة العوازل في الكابلات لعزل الموصل الذي يحمل الطاقة الكهربائية عن المحيط الخارجي الذي حوله ليمنع خطر التوصيل مع موصل أخر أو مع المحيط . الا أن نوع العازل المستخدم يحد من السعة الامبيريه للموصل وبالتالي على قدرته على فقد الحرارة للوسط المحيط فيه .

ومن اشهر العوازل المستخدمة في الكابلات والتي قد يتم تصنيف الكابلات بناء عليها ما يلي :

١ كابلات العوازل الورقية (paper insulation)

٢ كابلات العوازل البلمرية (polymeric insulation)

٣ كابلات العوازل الغازية (gaseous insulation)

وسوف يتم دراسة كل منها ببعض من التفصيل .

١ الكابلات الورقية:

حيث يعود استخدام الورق في صناعة عوازل الكابلات الكهربائية إلى عدة أسباب من أهمها ما يلي :

١ إن استخدام شرائط من الورق العازل على شكل طبقات تلف بشكل حلزوني يسمح بثني الكيبل ومدة ووصله بسهولة ولمسافات كبيرة نسبياً .

٢ إن عملية تشريب الورق بالزيت العازل يؤدي إلى زيادة المتانة الكهربائية للورق العازل .

٣ إن الكيبل الو رقي المشبع بالزيت يتحمل درجة حرارة تشغيلية عالية نسبيا .

٤ قدرته على الاستخدام في مدى عريض من الجهود المتوسطة والعالية والفائقة .

٥ إمكانية استخدامه في كل من التيار المستمر والمتناوب ولفترة خدمة طويلة .

ويبين الشكل (٢-٤) كيبل ورقي مشبع بالزيت، ويتكون من الطبقات :

A : موصل دائري مجدول .

B : شبكه حاجبة ورقيه مشبعة .

C : عازل ورقي (مادة حشو) .

D : شبكه حاجبة ورقيه معزولة .

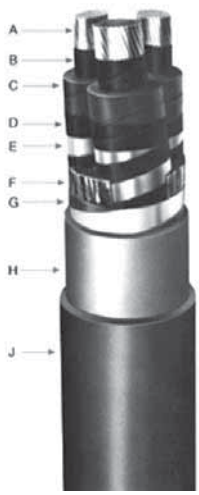
E : شبكة حاجبة من شريط من النحاس .

F : حشو ورقي .

G : شريط تسليح من النحاس .

H : درع واقي .

J : غلاف نهائي .



الشكل (٢-٤) : كيبل ورقي ثلاثي الموصلات مشبع بالزيت

ويبين الشكل (٢-٥) مقطع عرضي لكيبل ورقي مشبع ذو جهد 33kv، ودلالة أرقام الشكل هي :

١ غلاف خارجي مصنوع من مادة ال pvc او البولي ايثلين – oversheath

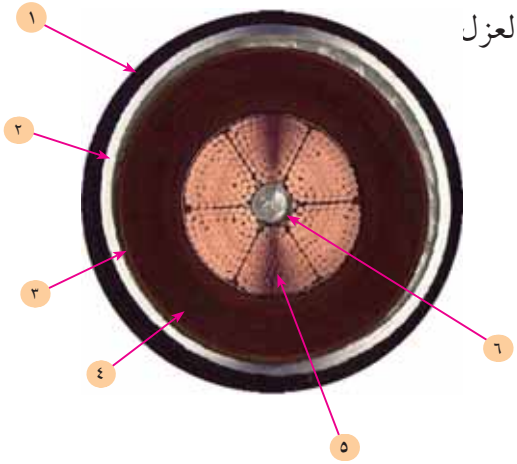
٢ غلاف داخلي (طبقة عازلة مسلحة تحتوي على سائل العزل

٣ عازل ورقي مشبع بسائل عزل من البنزين (alkyl-benzene) – sheath

٤ شبكة ملساء لحماية الموصلات ذات ورق مكربن – conductor screen

٥ موصلات مصنوعه من النحاس او الالمنيوم –conductors

٦ قناة لتسهيل مرور سائل العزل .



الشكل (٢-٥) : مقطع عرضي لكيبل ورقي

٢ الكابلات البلمرية:

إن استخدام العوازل البلمرية (الصناعية) بدأ يأخذ مكان العوازل الو رقية حديثا وذلك لعدة أسباب سوف يأتي ذكرها لاحقا . وهنالك أنواع مختلفة من هذه العوازل، إلا أنه سوف يتم التركيز على النوعين الآتيين لكثرة شيوعهما وهما :

أ الكابلات المعزولة بالبولي فينيل كلوريد (PVC)

ب الكابلات المعزولة بمادة البولي اثيلين المتشابك الجزيئات Cross-Linked Poly Ethylene (XLPE)

أ **الكابلات المعزولة بالبولي فينيل كلوريد (PVC)** : تشبه هذه المادة العازلة مادة شمع البرافين في شكلها وملمسها، وتعتبر مادته عازلا مثاليا للكابلات خاصة تلك المستعملة في التيار المتردد، وهي شائعة الاستخدام لتوفر العديد من الخصائص الكهربائية والكيميائية والطبيعية فيها التي تميزها عن العوازل الأخرى من حيث :

١ تمتعها بمتانة كهر بائية عالية .

٢ ارتفاع مقاومة العزل فيها .

٣ انخفاض معامل الفقد لها .

٤ ارتفاع مقاومتها للحرارة وتصل حتى ٧٠ درجة مئوية تشغيلية (حيث ينصهر العازل عند درجة حرارة ١١٥ درجة مئوية) .

٥ تحملها للصدمات الميكانيكية .

٦ أنها مادة غير قابلة للاشتعال .

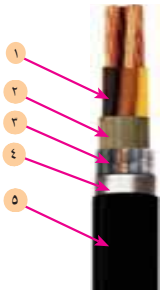
٧ أنها لا تتأثر بالزيوت المعدنية .

٨ أنها لا تهترىء مع مرور الزمن .

الشكل (٢-٦) : كيبل نقل طاقة مسلح مصنوع من النحاس متعدد القلوب وآخر أحادي القلب غير مسلح معزول بمادة PVC

والشكل (٢-٦) يبين كيبل معزول بمادة PVC (احادي القلب ومتعدد القلوب ذو جهد منخفض).

كما ويمكن ترميز الكوابل كما هو موضح في الشكل (٢-٦).



الشكل (٢-٦): كابل تيار متردد ذو جهد منخفض0.6/1KV مسلح معزول بمادة PVC

ترميز الكيبل : NYFGbY

ويبين الشكل (٢-٦) كيبل قدرة ذو جهد منخفض نوع PVC (احادي القلب ومتعدد القلوب ذو جهد منخفض)، تبدأ عملية ترميز الكابلات في معظم الواصفات العالمية (كما في الموصفات الالمانية vde).

١ الموصلات وهي عادة (نحاس او المنيوم) – رقم (١) كما في الجدول التالي والشكل (٢-٦).

٢ الطبقة العازلة للموصل نفسه وهي تصنع عادة من (pvc او xlpe) – رقم (٢) .

٣ الطبقة العازلة (وهي أكبر سمكا) وهي تصنع ايضا من مادة (pvc او xlpe) – رقم (٣) .

٤ شريط تسليح وهي تصنع عادة من (الفولاذ او الرصاص) رقم (٤) .

٥ طبقة عزل الغلاف الخارجي (الدرع) وهي تصنع من (pvc او xlpe) رقم (٥) .

لاحظ أن الكيبل المبين في الشكل (٢-٦) قد أعطي أحرف من الشركة الصانعة (NYFGby) مثلا وتسمى هذه العملية (ترميز الكابل) كما هو مبين في الجدول التالي :

الرقم		الرمز	الدلالة
	نظام الترميز المستعمل	N	نظام الماني(VDE)
١	نوع مادة الموصل		موصل من النحاس
٢	نوع مادة العزل	Y	كيبلPVC
٣	نوع مادة الغلاف الساتر للموصل	F	غلاف ساتر مصنوع من موصل فولاذي مبسط الشكل
٤	نوع مادة تسليح الكابل	Gb	شريط تسليح فولاذي مقوى
٥	نوع مادة الغلاف الخارجي(الدرع)	Y	غلاف PVC

وهناك انظمة مختلفة لترميز الكابلات منها النظام الالماني (vde)والنظام البريطاني (BS).

والجدول (٢-٢) يبين كيف يمكن قراءة بعض هذه الرموز ومدلولاتها حسب نظام (VDE) الألماني:

الرقم		الرمز	الدلالة
١	نظام الترميز المستعمل	N	نظام الماني
		X	المشابه له في انظمة اخرى(بريطانية مثلاً)
٢	نوع مادة الموصل		موصل من النحاس
		A	موصل من الالمنيوم
٣	نوع مادة العزل	Y	كيبل PVC
		2	كيبل XLPE
		C	موصلات نحاسية متحدة المركز
		CW	موصلات نحاسية متحدة المركز موجية الشكل
٤	نوع مادة الغلاف الساتر للموصل	CE	موصلات نحاسية متحدة المركز، لها غلاف ساتر فوق كل قلب لوحدة
		S	غلاف ساتر مصنوع من النحاس
		H	غلاف ساتر موزد بطبقة موصلة
		SE	غلاف ساتر مصنوع من النحاس مزود بطبقة موصلة
		F	غلاف ساتر مصنوع من موصل فولاذي مبسط الشكل
٥	نوع مادة تسليح الكابل	R	أسلاك فولاذية دائرية الشكل
		Gb	شريط تسليح فولاذي مقوى
٦	نوع مادة الغلاف	Y	غلاف PVC
٧	موصلات ذات حماية	J	موصلات لها حماية داخلية فوق عازل الموصل مباشرة
		O	موصلات بدون حماية داخلية فوق عازل الموصل مباشرة
٨	عدد القلوب		
٩	مساحة مقطع الموصل mm^2		
		r	موصلات دائرية الشكل
		s	موصلات ذات قطاع دائري
١٠	نوع الموصل	o	
		e	موصل مصمت
		m	موصل مجدول
		h	موصل ذو قلب مفرغ
		/v	موصل مضغوط
	جهد الكابل المقرر		0.6/1.0kv
			3.5/6.0kv

ملاحظة : الجدول للاطلاع فقط .

ب **الكابلات المعزولة بمادة البولي اثيلين المتشابك الجزيئات Cross-Linked Poly Ethylene (XLPE)** :

تستعمل مادة العزل (XLPE) كماده عازلة بشكل متزايد وفي مدى واسع من الجهود واكبر من تلك المستعملة في مادة MS (PVC) ويبين الشكل (٢-٧) بعض اشكال كابلاتXLPE .

الشكل (٢-٧) : بعض انواع الكابلات من نوع XLPE ذات جهود مختلفة

وتتمتع مادة XLPE بخصائص أفضل من مادة PCV ومنها :

١ فقد ضعيف للعزل الكهربائي .

٢ استقرارها عند درجات الحرارة العالية بالمقارنة مع مادة PVC (درجة حرارة تشغيلية تصل إلى ٩٠ درجة مئوية) وتتحمل درجة حرارة تنتج عن قصر الدار ه تصل إلى ٢٥٠ درجة مئوية وذلك لفترة زمنية قصيرة .

٣ تحملها لتيارات مقررة أعلى .

٤ متانة كهر بائية اكبر وبالتالي ثخانة كيبل أقل .

٥ أكثر شيوعا واستعمالا للفولطيات العالية .

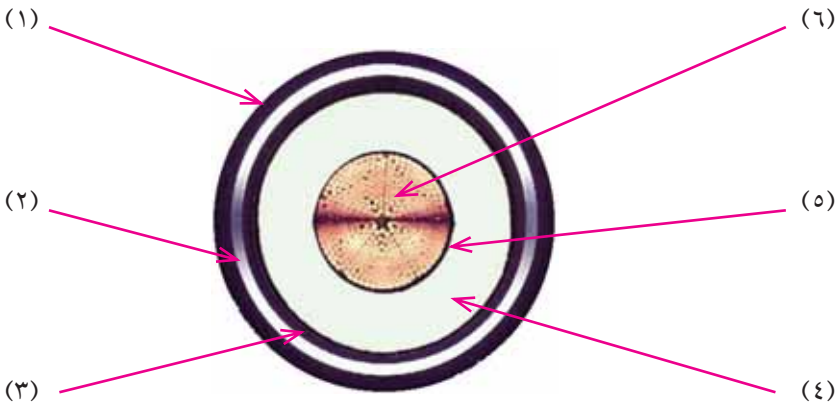
٦ ذات خدمة عمريه طويلة (لا تهرم بسرعة) .

ويعاب عليها ما يلي :

١ ارتفاع ثمنها .

٢ صعوبة ثنيها وتداولها في المسارات الضيقة نظرا لقساوة عازلها .

ويبين الشكل (٢-٨) كيبل من نوعXLPE مجدول مصنوع من الألمنيوم .



الشكل (٢-٨) : كيبل من نوع XLPE مصنوع من الالمنيوم المجدول لخطوط نقل الطاقة الهوائية

١ غلاف خارجي مصنوع من مادة PVC أو بولي ايثيلين oversheath .

٢ شبكة من اسلاك الالمنيوم (قد توصل مع خط الارث) sheath .

٣ المادة العازلة وهي طبقة ملساء شبه موصلة معزولة بمادة XLPE (insulation) .

٤ طبقة أخرى من مادة XLPE (insulation) .

٥ طبقة من مادة شبه موصلة ملساء تغطي الموصلات من مادة XLPE (conductor screen) .

٦ موصلات من الألمنيوم مجدولة (conductors) .

٣ الكابلات الغازية:

حيث تستخدم بعض الغازات في عزل كابلات الجهد العالي والفائق لما لها من خصائص جيدة ومنها :

١ احتفاظها للحالة الغازية لمدى واسع من درجات الحرارة .

٢ غير قابلة للاشتعال .

٣ ذات متانة كهربائية عالية .

٤ تقليل في سعة الكيبل .

ومن الغازات المستخدمة في عزل الكوابل ما يلي :

١ غاز سادس فلوريد الكبريت .

٢ غاز الفريون .

٣ غاز النيتروجين الخامل .

نشاط:

أي من الكابلات السابقة الذكر جميعها تستخدم في السوق المحلي بشكل واسع؟

٢-١ طرق تمديد الكوابل الصناعية:

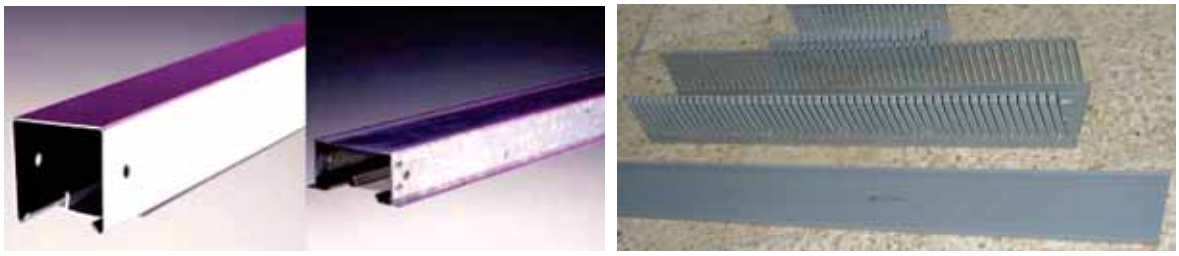
اما بالنسبة لطريقة نقل الكوابل فتتم بالطرق التالية :

١ **القنوات cable ducts** : تمثل القنوات والصواني والمواسير على إختلاف أنواعها ومادة صنعها الطريقة الملائمة والآمنة لنقل وتمديد الأسلاك والكوابل من مكان الى آخر . وتصنع تلك القنوات والمجاري من مواد مختلفة لتقاوم العوامل الخارجية المحيطة (الحرارة والاجتهادات الميكانيكية وغيرها) لتلك النواقل .

ويمكن تقسيم القنوات والصواني حسب مادة الصنع الى :

أ **القنوات المصنوعة من مادة البلاستيك المقسى cable ducts** : ومن أهم تلك المواد المصنوعة منها مادة البولي ايثلين آو ما يعرف بال بي في سي (p.v.c) وتكون باطول وأبعاد مختلفة .

ومنها ما هو مغلق ومنها ما هو مفتوح من الجوانب ، وقد تكون تلك القنوات مقسمة من الداخل ، وتتميز تلك القنوات بنعومة السطح الداخلي ، لتسهيل عملية سحب الكوابل بداخلها ، ويبين الشكل (٢-٨) بعض اشكال هذة القنوات .



الشكل (٢-٨) : قنوات بلاستيكية مختلفة

وتستعمل القنوات المصنوعة من مادة الـ(pvc) بشكل عام لتحمل الاسلاك والكوابل ذات الجهد المنخفض (٦ , ٠ / ١) kv . وتستعمل المجاري البلاستيكية المفتوحة بشكل اساسي في اللوحات الكهربائية كقناة (raceway) للكوابل والاسلاك لمرور الاسلاك فيها ، وذلك لتحسن المظهر الداخلي لها ، وترتيبها وتوزيعها على القواطع بشكل منتظم وتكون باحجام وابعاد تناسب عدد الكوابل التي ستمر فيها ، ويتم تثبيتها بشكل محكم على الجسم المعدني للوحة الكهربائية ببراغي تثبيت كما ويتم ربط الكوابل بداخلها بعد الانتهاء من تمديدها بمرابط بلاستيكية مناسبة للمحافظه على ثباتها .

اما القنوات البلاستيكية المغلقة الجوانب فتستعمل عندما لايكون التمديد الداخلي للكوابل متاحاً ، أو إذا ما كان مكلفا(علل؟) (اي تمديدا ظاهريا او مكشوفا) ويتم نقل الكوابل عبرها من اماكن التغذية(اواللوحات الرئيسية) الى الاحمال (اواللوحات الفرعية) . وعادة ما تستخدم في الاماكن المغلقة(indoor) حيث يتم تثبيتها على الجدران او الاسقف ببراغي تثبيت خاصة تبعد كل منها مسافة مناسبة وتحمل تلك المجارى عدد من الكوابل يتناسب مع السعة القصوى المحددة لها مسبقا من الشركات الصانعة ، و يتناسب مع ابعادها ، حيث يتم اختيارها بناء على عدد الكوابل التي سيتم نقلها بداخلها مع الأخذ بنظر الاعتبار بان يتم المحافظه على عامل فراغ مناسب بين الكوابل ، وبان لاتكون مكتظه (تتوفر جداول تزودها الشركات الصانعه تحدد السعة القصوى لتلك القنوات مما يتناسب مع ابعادها)(حاول الحصول عليها) .

ب **القنوات المصنوعة من الاسمنت(الخنادق الدائمة)** : تستعمل القنوات المصنوعة من الاسمنت في التمديدات الصناعية للكوابل اذا كان التمديد مدفوناً في الأرض، حيث يتم عمل خنادق دائمة تحت الأرض وبعمق يتناسب مع عددها والقدرة المراد نقلها (لا يقل عن نصف متر) وتكون تلك الخنادق محكمة الإغلاق، كما يتم وضع مناهل لتسهيل عملية الصيانة اللازمة للكوابل، والتي تكون مفصولة عن بعضها البعض بمسافات مناسبة .

وتراعي ظروف تمديد تلك الكوابل من حيث كونها داخل المنشأت الصناعية او خارجها وهذا يؤثر في عمق دفنها في الأرض، أو أنها حفرت في الشوارع العامة (أيهما يكون عمقة أكبر؟) ويجب ان تثبت الكوابل بمرابط (جسور معدنية) داخل تلك الخنادق الاسمنتية بشكل افقي او بشكل رأسي على الجدران الجانبية (لماذا ؟) .

ج **الخنادق الترابية** : هذا وقد يتم دفن تلك الكوابل دفنا مباشرا في التربة فيما يعرف بالخنادق الترابية ضمن شروط معينة تتضمن عوامل السلامة المعتمدة عالميا وتأخذ بعين الاعتبار ما يلي :

١ حفر خندق ترابي بعمق لا يقل عن نصف متر ويعتمد بالأساس على عدد الكوابل المراد تمديدها في الارض مع مراعاة تقاطع مسارها مع الطرق وغيرها، حيث يجب وضعها في هذة الحالة داخل انابيب معدنية او بلاستيكية مناسبة .

٢ وضع طبقة من الرمل في أرضية الخندق ومن ثم تمديد الكابل فوقها وترك مسافات مناسبة بين الكوابل اذا كانت الحاجة تدعو لذلك .

٣ توفير ارتخاء مناسب للكابل على امتداد مسار التمديد على شكل تعرجات بسيطة أثناء تمديدها .

٤ تغطية الكوابل بطبقة اخرى من الرمل وبسمك مناسب .

٥ وضع طبقة من الطوب الاسمنتي فوق طبقة الرمل لحمايتها من الصدمات اذا ما حصل أي طارىء

٦ وضع اشارات تحذيرية خاصة (شريط اصفر كتب علية إشارات تحذيرية خطر الكهرباء) فوق طبقة الطوب .

٧ عمل مخطط كروركي لمسار تمديد الكوابل وحفظة لدى السلطات المعنية لحين الطلب .

٨ طمر التربة الناعمة فوقها وضغطها .

٢ **الصواني (cable tarys)** : تتوفر الصواني المصنوعة من الحديد المغلفن (أو الالمنيوم) التي يتم استخدامها في التمديدات الصناعية وغير الصناعية بشكل واسع بأبعاد وأحجام وأشكال متنوعة تبعاً للشركات الصانعة .

ويمكن إجمال ميزات استخدام طريقة التمديد عن طريق الصواني عن غيرها من الطرق بما يلي :

أ درجة الأمان فيها عالية جداً (لا تتأثر بالعوامل الكيميائية أو بالحرارة .

ب لها درجة عالية من الموثوقية وتعمر لمدة كبيرة جداً من الزمن .

ج توفير كبير في المساحة المستخدمة في التمديد، وخاصة في الفنادق والمستشفيات والمطارات التي يتم التوسع فيها باستمرار وهذة الطريقة أنسب من غيرها في التمديد في هذة الاماكن .

د توفير في تكاليف التمديدات مقارنة مع غيرها من الطرق (توفير في التكاليف من١٠-٦٠ ٪) خاصة عند الحاجة الى التوسع المستقبلي .

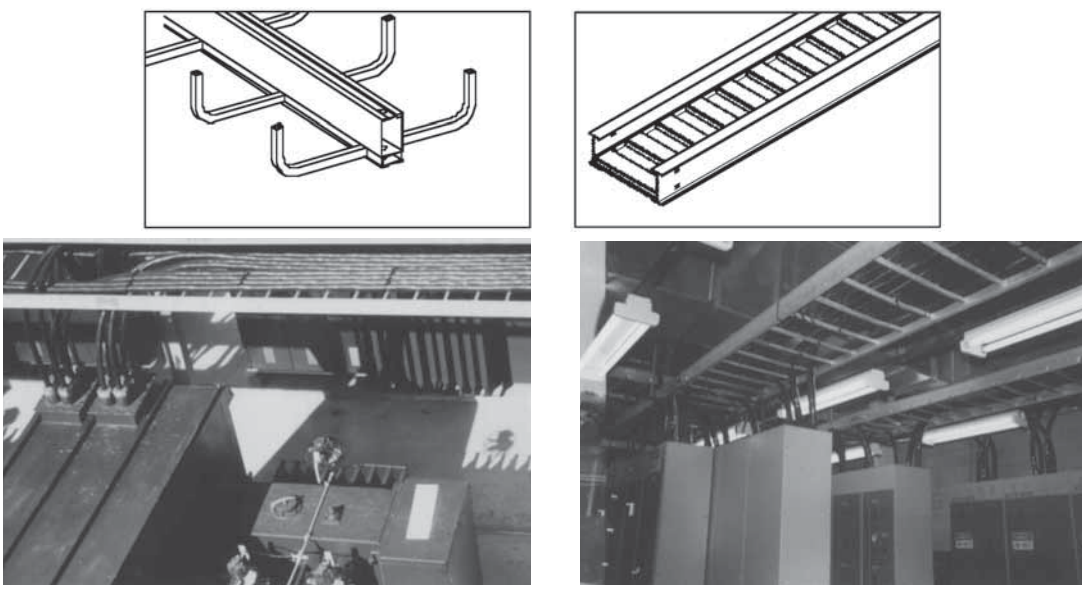
هـ توفير في تكاليف التصميم الهندسي خاصة في التمديدات التي تتم على مراحل، وعند الحاجة الى تغير الصواني الى أحجام أكبر نظراً للتوسعة .

و توفير في المواد الخام وخاصة في مساحة مقطع الكوابل المستخدمة في التمديدات، حيث تتوفر التهوية في الصواني بشكل أكبر .

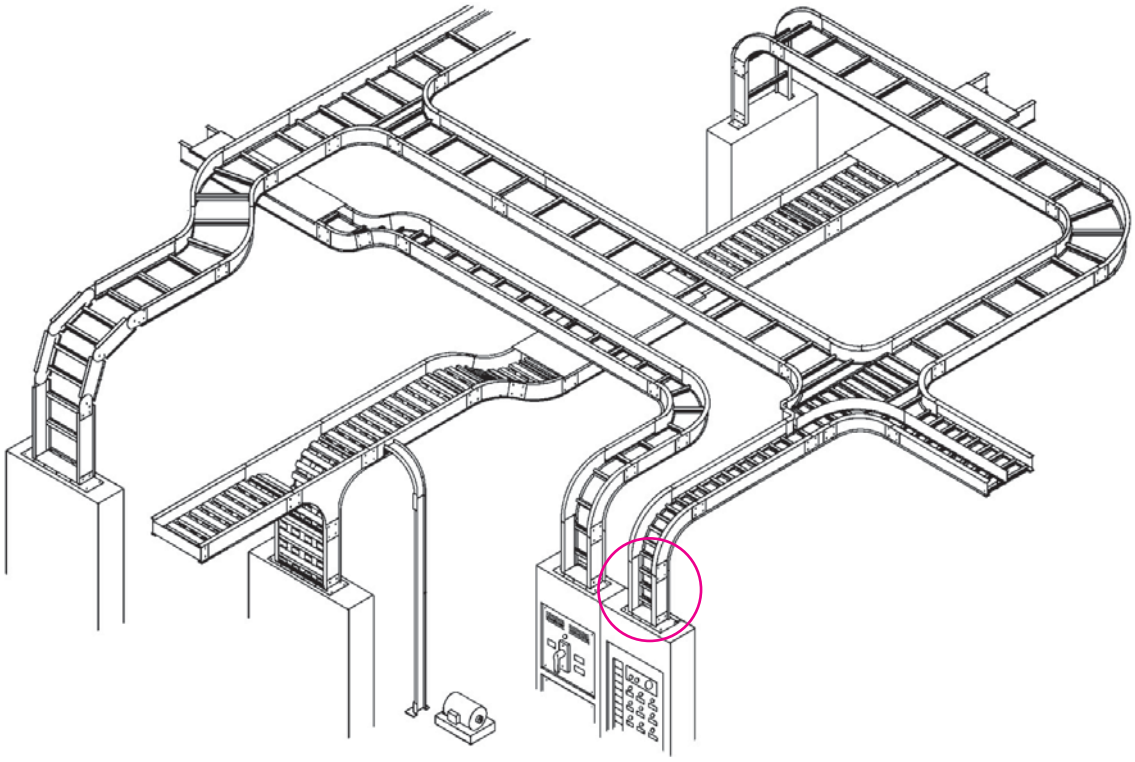
ز توفير في الوقت والجهد لإنجاز العمل المطلوب مقارنة مع غيرها بالطرق .

ح توفير في تكاليف الصيانه والتعديل مقارنة بغيرها من اساليب التمديد دون حدوث انقطاع للطاقة .

وتعتبر الطريقة الأمثل والأسهل والاوفر لنقل الكوابل داخل المنشأت الصناعية او المباني العامة سواء بشكل رأسي او بشكل أفقي، وذلك تبعا لمكان تواجد الاحمال وطريقة تمديدها، وتتمتع بقدارتها على تحمل اوزان الكوابل المختلفة المراد نقلها ويمكن ان يتم تثبيتها عن طريق حوامل معلقه ومثبته على الاسقف كما هو مبين في الشكل (٢-١٠) او عن طريق مرابط تثبيت جانبيه كما هو مبين في الشكل (٢-١١) .



الشكل (٢-١٠) : صواني نقل الكوابل المكشوفة في المنشات الصناعية بطريقة التعليق بالسقف



الشكل (٢-١١) : الصواني مثبته على الجدران

وهناك بعض اشكال تلك الصواني التي قد تصنع من حديد مثقوب لتوفير عامل التهوية، حيث تكون مكشوفة في الأماكن الصناعية أو مخفية فوق السقوف (أو الأرضيات) المستعارة في القاعات أو المكاتب أو من شبك(سلم) وتسمى ladder trays لتسهيل ربط الكوابل المنقولة فوقها .

٣ **المواسير المصنوعه من مادة ال PVC** : تستخدم المواسير المصنوعه من مادة البولي فنيل كلوريد (PVC) بشكل متزايد لتحل مكان المواسير المصنوعه من الحديد الصلب (التي تكاد تندثر) حيث تمتاز هذة المواسير بما يلي :

١ لا تتعرض للصدأ كمواسير الصلب .

٢ يسهل التعامل معها (ثنيها ، قطعها ، توصيلها) .

٣ تمتاز بخفة وزنها مما يسهل نقلها .

٤ قلة تكلفتها عموما .

٥ مادة عازلة للتيار الكهربائي .

٦ تتوفر بأحجام وأشكال مختلفة .

الدرس الثاني: تحديد السعة الامبيرية للكبيل Current Carrying Capacity:

تعرف قدرة الكابل على حمل التيار في الظروف الطبيعية وغير الطبيعية بالسعة الامبيرية للكابل، وهناك ضرورة لتبديد الحرارة المتولدة فيه بسبب فقود الطاقة في الموصلات والعزل والغلاف والمقاومة الحرارية للوسط المحيط بالكيبل (هواء- ماء ذ تربة)، ويعتمد ذلك كله على مقدار الجهد المنقول ونوع الكيبل المستعمل وطريقة تمديده (في الهواء أم مطمور في الأرض) ، حيث يكون مستوى التيار المقرر لكيبل مطمور في الأرض اقل منه عندما يراد مده في الهواء بشكل عام ، فإذا كان الكيبل ممدودا في الهواء، فإن الحرارة تتبدد بالحمل والإشعاع في الهواء المحيط أما الكيبل المدفون في الأرض فان الحرارة المتولدة فيه تتبدد في الأرض عن طريق الحمل، وتعتمد سرعة التبديد على طبيعة التربة ومكوناتها .

ويوجد عادة عدة معاير لتحديد نوع الموصلات والكوابل المستخدمة في التمديدات ومنها :

١. مكان التركيب وطريقة التمديد ، فيمكن ان يمدد الكابل داخل انبوب (قناة)، او يمدد مباشرة في الهواء، او مدفون في الارض او يمدد في المياة .
٢. درجة حرارة المحيط الخاجي للموصل فقد يستعمل موصل له عازل من نوع ال بي في سي (PVC) (يتحمل حتى ٧٠ درجة مئوية) او موصل له عازل من نوع XLPE (يتحمل حتى ٩٠ درجة مئوية) كما مر سابقا .
٣. السعة الامبيرية للموصلات والكوابل، مما يحدد مقدار تحملها للتيار وتتحدد من خلال حسابات القدرة الكلية للأحمال وفقد الجهد فيها .
٤. نوع الشبكة الكهربائية التي تحدد عدد موصلات الكوابل التي ستسخدم لتغذية الحمل (ثلاثة او اربعة او خمسة او ستة موصلات أو أكثر) وما اذا كان الكابل يحتوي حجاب واقي أم لا .
٥. المواصفات المتبعه في التركيبات الكهربائيه والتي تتبع المقاييس المحليه او الدولية .

ونظرا لاختلاف الظروف الطبيعية اوالسعة التشغيلية للكيبل، فإن الشركات الصانعة للكوابل تعطي جداول تحدد فيها السعة التيارية لكابلاتها حسب الظروف القياسية(وهي ٢٠ درجة مئوية لكيبل ممدود في الأرض أو ٣٠ درجه مئوية لكيبل ممدود في الهواء) وتحدد المواصفات القياسية العالمية الالمانية والبريطانية والامريكية /VDE/BSI) (IEC السعه الامبيرية لتلك الكوابل وطرق تمديدها وظروف تشغيلها .

ولاختيار مساحة مقطع الموصلات المناسبة لحمل معين يتم اعتبار المتطلبات التالية :

١. استغلال أحسن سعة تيارية للكوابل .
٢. عدم تعدي هبوط الجهد المسموح به (وهي ٢,٥-٣٪ للتمديدات المنزلية وحوالي ٥٪ للتمديدات الصناعية .
٣. تحمل الكابل لتيار القصر(Isc)دون ان تحدث مضاعفات لذلك .

ونظرا لان حسابات تيار القصر وتأثيرة على اختيار مساحة مقطع الكيبل تتعدى قدرة الطالب في هذة المرحلة فلن يتم التطرق اليها .

ويتم معرفة أحسن سعة تياريه لكيبل ما من خلال معرفة تيار الحمل I_L وذلك بعد تحديد نوع التيار الذي يغذي الحمل (تيار مستمراً أم مترددا) ونوع الدائرة التي يستخدم فيها هذا الكابل (أحادية الطور أم ثلاثية الطور) وطريقة التمديد .

فإذا كان نوع التيار مستمرا (أو تياراً أحادي الطور ذو حمل مادي) تستخدم المعادلة التالية (لحساب تيار الحمل) :

$$I = \frac{P}{V} \qquad (2\text{-}1)$$

أما إذا كان تيار الحمل متردداً أحادي الطور فتستخدم المعادلة التالية :

$$I = \frac{P}{V \cos \theta} \qquad (2\text{-}2)$$

وإذا كان تيار الحمل مترددا ثلاثي الطور فتستخدم المعادلة آلاتية :

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}\, V \cos \theta} \qquad (2\text{-}3)$$

حيث أن :

P : القدرة المسحوبة من الحمل .

I : شدة التيار المار في الحمل(I_L) (وتمثل تيار الطور للأحمال أحادية الطور وتيار الخط للأحمال ثلاثية الطور) .

V : الجهد (وتمثل جهد الطور للأحمال أحادية الطور (220 فولت) وجهد الخط للأحمال ثلاثية الطور (380 فولت) .

Cos θ : معامل القدرة .

و يمكن معرفة مساحة مقطع الموصلات تبعاً لأكبر تيار (I_z) مسموح به لطريقة التمديد غير المدفونه في الارض عند ٣٠ درجة مئوية من الجدول (٢-٤) .

وسيتم التطرق إلى الحسابات المتعلقة باستخدام الجداول (٢-٤) و (٢-٥) لاحقاً في الوحدة الثالثة .

الجدول (٢- ٤): اكبر تيار (I_z)مسموح به للكوابل غير المدفونة في الارض عند درجة حرارة ٣٠ درجة مئوية او اقل:

اكبر قيمة تيار (I_z) مسموح به للمرور خلال الموصلات غير المدفونة في الارض في درجة حرارة 30°C أو أقل						
مساحة المقطع mm^2	المجموعة الثالثة		المجموعة الثانية		المجموعة الاولى	
	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al
	A	A	A	A	A	A
0.75	15	-	12	-	-	-
1	19	-	15	-	11	-
1.5	24	-	18	-	15	-
2.5	32	26	26	20	20	15
4	42	33	34	27	25	20
6	54	42	44	35	33	26
10	73	57	61	48	45	36
16	98	77	82	64	61	48
25	129	103	108	85	83	65
35	158	124	135	105	103	81
50	198	155	168	132	132	103
70	245	193	207	163	165	-
95	292	230	250	197	197	-
120	344	268	292	230	235	-
150	391	310	335	263	-	-
185	448	353	382	301	-	-
240	528	414	453	357	-	-
300	608	479	504	409	-	-
400	726	569	-	-	-	-
500	830	649	-	-	-	-

حيث أن المجموعه تبين طريقة تمديد الموصلات (عند درجة حرارة ٣٠ درجه مئوية) وهي كما يلي :

١ **المجموعه الأولى** : عباره عن موصل او عدة موصلات ممدده داخل مواسير(او قنوات)

٢ **المجموعه الثانية** : كيبل عادي متعدد القلوب مثل (كابلات PVC)

٣ **المجموعه الثالثة** : موصلات أحادية القلب ممدوده في الهواء بعزل XLPE بحيث أن المسافة بين أي كابلين متجاورين لا تقل عن قطر أحدهما .

ملاحظة:

AL : موصل مصنوع من الالمنيوم .

CU : موصل مصنوع من النحاس .

تاثير تيار القصر على الكوابل:

إن العامل الأهم في تحديد السعة التيارية لكيبل ما(وبالتالي تحديد مساحة مقطعه) تعتمد بشكل أساسي على قدرة ذلك الكيبل على تحمل الظروف الغير طبيعية التي يواجهها الكيبل نتيجة حدوث تيار قصر(Isc)في الدارة الكهربائية (حيث قد يصل تيار القصر إلي ٢٠ ضعف تيار الحمل الطبيعي) مما يحمله اجهادات حرارية وكهر وميكانيكية كبيرة جدا ، حيث تتحمل مادة العزل الإجهادات الحرارية والتي قد تنهار نتيجة لذلك أما الموصلات فتتحمل الاجهادات الكهروميكانيكية نتيجة قوى الجذب والتنافر بين الموصلات المتجاورة والتي قد تؤدي إلى إنفجار الكيبل (خاصة إذا كان الكيبل متعدد القلب غير مدرع مثل الكيبل الورقي المشبع) مما يتطلب وسائل حماية ووقاية مناسبة لكل من الكابل والحمل على حد سواء .

وبالنتيجه فان الاختيار النهائي لمساحة مقطع الكيبل يتم بناء على مقدرة الكيبل على تحمل تيار القصر والفترة (لا تزيد عن خمس ثواني) التي يدوم فيها هذا التيار منذ لحظة حدوثه حتى قيام نظم الحماية (من مرحلات ومصهرات وقواطع) بفصل هذا التيار نهائيا عن الحمل .

حسابات هبوط الجهد في الكوابل:

بعد اختيار مساحة مقطع الكيبل المناسب للحمل المراد تغذيته وتحديد السعة التيارية له يجب بعدها التأكد من أن مساحة المقطع المختارة تحقق هبوط الجهد المسموح به حيث تفصل مسافة ما بين المصدر والحمل تؤثر على الاختيار .

وكما مر معك سابقا فان المسافة التي تفصل ما بين الحمل والمصدر تؤدي الى ما يسمى هبوط في الجهد على أطراف الحمل ، مما يؤدي إلى فقد في الجهد(نتيجة زيادة المقاومة في الاسلاك) لا يمكن اهماله في حسابات مساحة مقطع الكابل . وتقسم حسابات هبوط الجهد في دوائر التيار المتناوب الى :

أ حساب هبوط الجهد في الدوائر احادية الطور:

حيث تستعمل المعادلة آلاتية لحساب هبوط الجهد في الدوائر احادية الطور :

$$V(\%) = \frac{2 \times I \times \rho \times L \times \cos\theta}{A \times V} \times 100\% \qquad (2\text{-}4)$$

فإذا كانت النسبة المئوية لهبوط الجهد اكبر من (2.5 %) يتم اختيار الكيبل ذو مساحة المقطع الأكبر (التالية في الجدول (٢-٤) .

حيث أن : ρ : المقاومة النوعية للموصل .

A : مساحة مقطع الموصل ملم مربع .

$\cos\theta$: معامل القدرة .

I : تيار الطور .

V : جهد الطور .

L : طول الموصل بالمتر .

ب حساب هبوط الجهد في الدوائر ثلاثية الطور:

تستخدم المعادلة آلاتية لحساب مقدار الهبوط في الجهد في حالة الدوائر ثلاثية الأطوار :

$$V(\%) = \frac{1.73 \times I \times \rho \times L \times \cos\theta}{A \times V} \times 100\% \qquad (2\text{-}5)$$

حيث أن : ρ : المقاومة النوعية للموصل .

I : تيار الخط .

V : جهد الخط .

A : مساحة مقطع الموصل ملم مربع .

L : طول الموصل بالمتر .

$\cos\theta$: معامل القدرة .

مثال (٢):

حمل كهربائي مادي يعمل على جهد 220 فولت وقدرتة 6KW فاذا كانت المسافة بين الحمل والمصدر ذهابا وإيابا 20 متر فما هي مساحة مقطع الموصلات المناسبة مع العلم أن المقاومة النوعية للنحاس 0.0178Ω .

الحل:

بتطبيق المعادلة رقم (2-1) لحساب تيار الحمل I_L :

$$I_L = \frac{P}{V} = \frac{6000}{220} = 27.1\ A$$

ومن الجدول (٢-٤) تكون مساحة مقطع الكيبل المناسب هي : $6mm^2$

وللتحقق من شرط الهبوط في الجهد المسموح به يتم تطبيق المعادلة (2-4) :

$$V(\%) = \frac{2 \times 27.2 \times 0.0178 \times 20 \times 1}{220 \times 6} \times 100\% = 1.46\%$$

(وهي أقل من 2.5%) .

لذلك فإن اختيار الكيبل ذا مساحة المقطع ($6mm^2$) هو اختيار موفق كمرحلة أولى ويتبقى اختيار وسائل الحماية المناسبة للأحمال وهو ما سيتم بحثه في الوحدة الثالثة لاحقاً .

سؤال:

في المثال السابق، احسب نسبة الهبوط في الجهد إذا أصبحت المسافة بين الحمل والمصدر ٦٠ متراً، حلل النتائج؟

الدرس الثالث: أنظمة توزيع الطاقة الكهربائية في المصانع والمنشآت الكبيرة:

إن عملية إمداد الأحمال الكهربائية كتلك الخاصة بوحدات الإضاءة وأحمال الأجهزة ووحدات التبريد والتكيف والآلات والمصاعد الكهربائية وغيرها في المصانع والمنشآت الكبيرة تحتاج إلى قدرات عالية نسبيا .

لذلك يتم تزويد تلك المنشات بمصدر تغذية مستقل يحتوي على محول توزيع كهربائي ثلاثي الأطوار خافض للجهد يتم تحديد سعته الكهربائية بناء على مجموع تلك الأحمال مع الأخذ بنظر الاعتبار أي توسعات مستقبلية في المنشاة كما ذكر سابقا . ومن الجدير ذكره هنا أن القدرات المقررة لمحولات التوزيع ثلاثية الأطوار والشائعة الاستخدام هي (٥٠، ١٠٠ ، ٢٠٠، ٣٠٠ ، ٥٠٠ ، ٦٠٠ ، ٧٥٠ ، ١٠٠٠) KVA .

وعادة ما يتم تمديد الكابلات الخاصة بتغذية الآلات(بعد تحديد مساحة مقطعها) داخل المصانع مغمورة في الأرض وبداخل مواسير (بلاستيكية او معدنية)، حيث تنطلق من لوحات التوزيع الرئيسية باتجاه المكان الذي تتواجد فيه الآلة(الحمل) وعادة ما تكون الكابلات مسلحة لتتحمل الصدمات الميكانيكية وظروف التشغيل . هذا ويتم فصل لوحات الاضاءه الخاصه بإنارة المصنع عن لوحات القوى الخاصة بمخارج القدرة ثلاثية الأطوار أو بتلك الخاصة بالآلات والمعدات .

وسيتم تحديد المواصفات الخاصة بلوحات التوزيع الرئيسية والفرعية بالاضافة لأجهزة الوقاية الخاصة بها وأجهزة القياس والتحكم كذلك لاحقا في الوحدةالثالثة لما لها من اهمية في التمديدات الصناعية .

هناك عدة أنظمة توزيع لإمدادات الطاقة الكهربائية داخل تلك المنشآت تتمتع كل منها بميزات وعيوب مختلفة إلا أنها جميعا يجب أن تشترك في ضرورة استمرار إيصال التيار الكهربائي للأحمال وبموثوقية عالية وبجهود تشغيلية تناسب تلك الأحمال وبطريقة تساعد في الكشف عن الأعطال بسهولة ويسر وتقلل من التكلفة قدر الامكان .

وتقسم أنظمة توزيع الطاقة الكهربائية للمنشآت إلى قسمين :

١. **التوزيع الرأسي للطاقة الكهربائية :** حيث يستخدم هذا التوزيع في المباني ذات الطوابق المرتفعة جداً حيث يتم استخدام مغذي رأسي(صاعد) أو أكثر ينطلق من مصدر التغذية الرئيسي باتجاه لوحات التوزيع للأحمال الكهربائيه في الطوابق العليا .
٢. **التوزيع الأفقي للطاقة الكهربائية :** إن الانتقال من نظام التغذية الرأسي إلى نظام التوزيع الأفقي يكون خلال تغذية الأحمال في كل طابق عبر لوحات التوزيع الخاصة بكل طابق .

أولا: التوزيع الرأسي للطاقة الكهربائية للمنشآت الكبيرة:

وتشمل هذة الطريقة :

أ نظام التوزيع بصاعد واحد:

حيث يبين الشكل (٢-١٢ أ) كيفية إمداد الأحمال الكهربائية باستخدام هذا النظام ويستعمل عندما لا يترتب عن انقطاع التيار الكهربائي عن الحمل خسائر مادية جسيمه. ويمتاز هذا النظام بصغر وبساطة لوحة التوزيع المستخدمة واما عيوبه فهي :

١ عند حدوث أي عطل في الخط الصاعد ينقطع التيار الكهربائي عن المنشأة بأكملها .

٢ أن مساحة مقطع الصاعد كبيرة وذات تكلفة عالية في التركيب .

٣ لا يمكن استخدامة في الاماكن الصناعية التي تحتاج الى موثوقية عالية من ناحية المصدر .

ب نظام التوزيع كمجموعات لتغذية الأحمال.

ويبين الشكل (٢-١٢ب) طريقة إمداد الأحمال الكهربائية باستخدام هذا النظام ويمتاز :

١ بسهولة تنفيذه لأنة يحتاج لموصلات لها مساحة مقطع صغيرة .

٢ عند حدوث عطل في أحد المغذيات الرئيسية ينقطع التيار عن مجموعة من الأحمال التي يغذيها فقط ، وتبقى المجموعة الأخرى للأحمال متصلة بالمصدر عن طريق المغذي الآخر وهكذا .

وأما عيوبه أنه يحتاج إلى لوحة توزيع كبيرة .

ج نظام التوزيع المفرد للأحمال:

ويبين الشكل (٢-١٢ج) طريقة إمداد الأحمال الكهربائية باستخدام هذا النظام ويمتاز بما يلي :

١ صغر مساحة مقطع موصلاته .

٢ سهولة في التنفيذ .

٣ عند حدوث أي عطل في أحد المغذيات ينفصل التيار عن الدور المغذى به فقط .

وأما عيوبه فهي :

١ يحتاج إلى لوحة توزيع كبيرة .

٢ يحتاج إلى قنوات (مجاري) كبيرة .

٣ ارتفاع تكلفة التنفيذ .

د نظام التوزيع الحلقي للأحمال:

ويبين الشكل (٢-١٢د) طريقة إمداد الأحمال الكهربائية باستخدام هذا النظام ويمتاز بما يلي :

١ بموثوقية عالية في تغذية الأحمال .

٢ صغر مساحة مقطع مغذياتة .

٣ صغر حجم لوحة التوزيع .

ويستخدم هذا النظام أكثر من الأنظمة السابقة .

هـ نظام التوزيع بصاعدين:

ويبين الشكل (٢-١٢هـ) طريقة إمداد الأحمال الكهربائية باستخدام هذا النظام، ويمتاز بانخفاض معدل انقطاع التيار الكهربائي عن الأحمال وينصح باستخدامه في المباني المرتفعة جدا .

ولا بد من الاشارة هنا الى انه يفضل استخدام نظام القضبان النحاسية المثبته رأسيا في نظام التوزيع الرأسي على استخدام الكوابل في تغذية الأحمال الرأسية في المنشأت الكبيرة لما لها من ميزات منها :

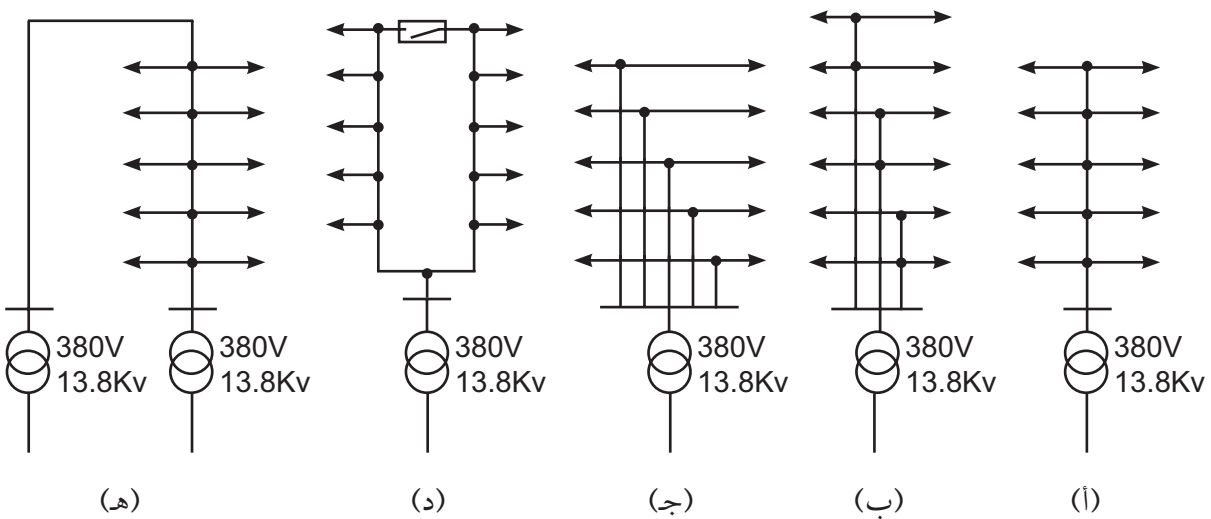
١ سهولة التنفيذ .

٢ انخفاض التكلفة .

٣ صغر حيز تنفيذ التركيب .

٤ السعة الامبيرية للقضبان اكبر بكثير من الكابلات حيث تصل حتى ٤٠٠٠ A(وبالتالي تحملها للحرارة اكبر) .

٥ خفة وزن القضبان مقارنة بعدد الكوابل المستعملة في التغذية .



الشكل (٢-١٢) : نظام التوزيع الرأسي

ثانيا: التوزيع الأفقي للطاقة الكهربائية للمنشآت الكبيرة:

يمكن تقسيم التوزيع الأفقي للقدرة الكهربائية إلي قسمين :

أ التوزيع المركزي:

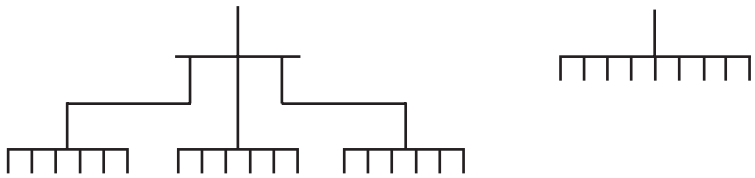
حيث تغذى جميع الأحمال الكهربائية الخاصة بكل طابق من لوحة توزيع واحدة تحتوي على جميع وسائل الحماية اللازمة . ويبين الشكل (٢-١٣ أ) نظام مركزي لتوزيع الطاقة في النظام الأفقي .

إلا أن هذا النظام لة مساوىء منها :

١ انه يحتاج إلى عدد كبير جدا من الكيبلات لتغذية الأحمال .

٢ صعوبة تحديد مكان الأعطال نتيجة العدد الكبير للكابلات .

٣ هبوط كبير في الجهد عند الأحمال .



(ب) (أ)

الشكل (٢-١٣) : (أ) التوزيع المركزي للطاقة في النظام الأفقي ، (ب) التوزيع الغير مركزي للطاقة في النظام الأفقي

ب التوزيع الغير مركزي:

حيث يخصص لوحة توزيع رئيسية لكل طابق ويتم تقسيم الأحمال إلى مجموعات تغذى كل مجموعة منها من خلال لوحة توزيع فرعية خاصة بها وتتصل جميع هذه اللوحات باللوحة الرئيسية للطابق بكيبل له سعه تيارية مناسبة للحمل .

ويبين الشكل (٢-١٣ ب) طريقة التوزيع الغير مركزي للنظام الأفقي . ولهذه الطريقة مميزات عدة منها :

١ التقليل في عدد الكابلات الخارجة من لوحة التوزيع الرئيسية .

٢ سهولة تحديد مكان الأعطال .

٣ فصل مكان العطل فقط في حالة حدوثه نتيجة وجود أكثر من لوحة توزيع فرعية .

نشاط:

أي من الأنظمة السابقة يستخدم في مدرستك؟

أسئلة الوحدة:

١ صنف الكابلات الكهربائية حسب نوع التيار المنقول .

٢ اذكر بعض التطبيقات التي تستخدم فيها كوابل ذات ثلاثة موصلات او اربعة او خمسة او ستة موصلات .

٣ هل هناك فرق ما بين كل من الكابلات التي تستخدم في نقل وتوزيع الطاقة الكهربائية وما بين تلك التي تستخدم في الاتصالات والتحكم؟ بين هذة الفروق من حيث :

- عدد الموصلات المستخدمة .
- مقدار الجهد المنقول .
- مساحة مقطع الموصلات .

٤ لماذا تقل مقاومة الموصلات المستخدمة في التيار المستمر عن تلك المستخدمة للتيار التناوب؟

٥ قارن بين المزايا الفنيه لاستعمال كيبل ، كل موصل فية يتكون من عدة أسلاك مجدولة (متعدد الشعرات) وكيبل آخر ، كل موصل فية يتكون من سلك مصمت (مفرد) ،

٦ بين كيف يمكن تقسيم الكابلات المستخدمة لنقل الطاقة بناءً على مدى الجهود المنقولة .

٧ بين كيف يتم اختيار نوع الموصل في صناعة الكابلات الكهربائية موضحا أهم الاعتبارات التي تؤخذ عند الاختيار .

٨ علل :

أ تستخدم الموصلات المصنوعة من النحاس في التمديدات المنزلية، بينما تستخدم الموصلات المصنوعة من الالمنيوم في كابلات نقل الطاقة (او في التمديدات الخارجية) .

ب نوع العازل المستخدم يحد من السعة الامبيرية للموصل .

٩ ما هي اشهر العوازل المستخدمة في صناعة الكابلات الكهربائية وكيف يتم تصنيفها؟

١٠ اذكر الاسباب التي من اجلها تم استخدام كابلات العوازل الورقية .

١١ ارسم مقطعا عرضيا لكابل ذي عازل ورقي موضحا عليه الأجزاء الرئيسية .

١٢ ارسم مقطعا عرضيا لكابل ذي عازل XLPE موضحا علية الأجزاء الرئيسية .

١٣ ما هي اهم الخواص الكهربائية والكيميائية والطبيعية التي تميز الكابلات من نوع PVC؟

١٤ يتمتع كابل الـ XLPE بميزات أفضل من كابل الـ PVC ، اذكرها .

١٥ ما هي أهم خصائص الكابلات الغازية، وما هي أهم تلك الغازات التي تستخدم؟

١٦ أذكر أهم الطرق المستخدمة لنقل وتمديد الكابلات الكهربائية .

١٧ أكمل ما يلي :

- تستعمل القنوات المصنوعة من مادة الـ PVC بشكل عام لتحمل الأسلاك والكوابل ذات الجهد . . . . . وتتراوح تلك الجهود ما بين . . . . . الى . . . . . فولت .
- يتم عمل خنادق دائمة يتم فيها دفن الكوابل بعمق . . . . . مع عددها وكذلك مع . . . . . المراد نقلها بحيث لا يقل عمقها عن . . . . . متر ويجب عمل مناهل لها عند مسافات مناسبة وذلك . . . . . اعمال الصيانة اللازمة مستقبلاً .

١٨ علل ما يلي :

- يجب ربط وتثبيت الكابلات المحموله على الصواني والممدة بشكل رأسي .
- يوصى بضرورة ترك مسافة بين كل كابل والذي يليه، بحيث لا تقل عن قطر الكابل نفسه في حالة تمديدها عند استخدام الصواني كوسيلة تمديد .
- يتحمل كابل من نوع XLPE تيارا اعلى من كابل من نوع PVC لهما نفس مساحة المقطع ونفس الجهد المنقول .

١٩ اذكر الشروط التي يجب توفرها عند استخدام الخنادق الترابية كممرات لنقل الكابلات .

٢٠ أيهما يتحمل تياراً أعلى ، كابل ممدد ظاهريا (مكشوف) أم كابل ممدد دفنا في الارض؟ لماذا؟

٢١ اذكر المعايير اللازمة لتحديد نوع الموصلات والكابلات المستخدمة في التمديدات الكهربائية .

٢٢ ما هي العوامل اللازم توفرها لاختيار مساحة مقطع الموصلات بالنسبة للحمل الكهربائي؟

٢٣ ما هو تأثير تيار القصر على الكابلات بشكل عام؟

٢٤ ما هي انظمة توزيع الطاقة الكهربائية داخل المنشأت الصناعية وغير الصناعية؟ وما هو الفرق بينها؟

٢٥ اذكر ميزات وعيوب استخدام نظام التوزيع بصاعد واحد في التوزيع الرأسي للطاقة؟

٢٦ ما هو المقصود بنظام التوزيع الحلقي لتغذية الأحمال الكهربائية؟ وما هي ميزاته؟

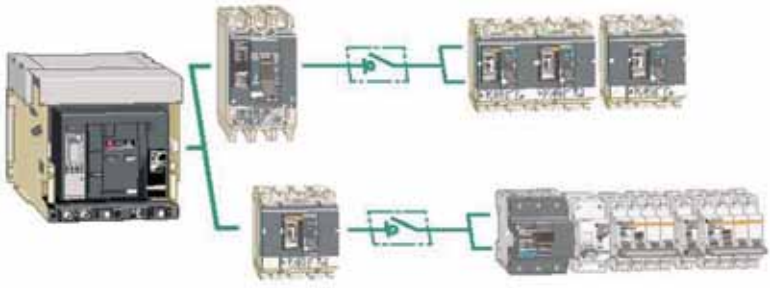
٢٧ لماذا يفضل استخدام نظام القضبان النحاسية المثبتة رأسيا في نظام التوزيع الرأسي على استخدام الكابلات في تغذية الاحمال الرأسية في المنشآت الكبيرة كالفنادق والمستشفيات وغيرها؟

٢٨ ما هو المقصود بالتوزيع المركزي والتوزيع الغير مركزي للطاقة الكهربائية في المنشآت الكبيرة؟

٢٩ ما هي فائدة وجود مخطط وجدول رموز للتمديدات الكهربائية بشكل عام؟

الوحدة ٣

أساسيات الحماية والوقاية الكهربائية



الوحدة الثالثة: اساسيات الحماية والوقاية الكهربائية:

مقدمة:

تتعرض هذة الوحدة ربما لأهم ما يجب على الفني دراستة ومعرفته بشكل أساسي ودقيق، نظراً لأن هذه الوحدة تشمل التعرف على كيفية إيصال التيار الكهربائي إلى الأحمال الكهربائية بطريقة آمنة وسليمة، مما يتطلب جهوداً كبيرة وتجهيزات كثيرة ومتنوعة ودقيقة وفعالية فائقة للحيلولة دون انقطاع التيار الكهربائي ما أمكن، ودون تعرض الأجهزة أو المعدات أو غيرها للتلف وبصورة أهم دون تعرض الأشخاص الذين يتعاملون معها الى أي سوء.

إن أي نظام كهربائي يتكون بشكل أساسي كما تعرفت سابقاً من ثلاثة عناصر أساسية هي :

- مصدر التغذية الذي يضمن استمرار مرور التيار الكهربائي إلى الحمل.
- نواقل التيار الكهربائي أو الموصلات التي تمثل الممر الآمن وحلقة الوصل ما بين المصدر والمستهلك.
- الأحمال الكهربائيه المختلفة التي ستغذى بهذا التيار، والتي يجب إمدادها بالتيار الكهربائي بصورة منتظمة ما أمكن للحيلولة دون حصول خسائر مادية نتيجة تعطلها.

إن القيام بهذه الأعمال جميعها يتطلب من هذا النظام أن يشتمل على شروط قاسية من ناحية وسائل الحماية والوقاية التي يجب أن يتضمنها النظام لكي لا يؤدي حصول الأعطال التي لايمكن تفاديها في أي عنصر من عناصره إلى أضرار فادحة، كان بالإمكان الحيلولة دون حصولها إن تم أخذ الاحتياطات اللازمة لذلك .

إن وسائل الحماية الكهربائية يجب أن تأخذ بنظر الاعتبار حماية جميع عناصر المنظومة الكهربائية إبتداءً من مصدر التغذية، وإنتهاءً بالحمل الكهربائي .

سيقتصرالحديث في هذة الوحدة عن وسائل حماية الأحمال كالمصهرات ومقرراتها والقواطع الكهربائية وتصنيفاتها، وكذلك عن اللوحات الكهربائية الرئيسية والفرعية وتصميمها، وتوزيع الأحمال وأنظمة التأريض.

الدرس الأول: مبادئ الحماية الكهربائية:

تهدف أجهزة الحماية الكهربائية بشكل عام إلى حماية التجهيزات الكهربائية المختلفة عن طريق القيام بما يلي :

١ مراقبة وضع العناصر الكهربائية المختلفة اثناء العمل .

٢ كشف الاعطال التي تحدث نتيجة حدوث خلل طارئ على عمل الدارة الكهربائية .

٣ تحديد مكان حدوث العطل عن طريق فصل الجزء الغير سليم عن الدارة .

٤ الابقاء على الجزء الذي لم يحدث فية عطل يعمل بانتظام .

٥ محاولة اصلاح مكان العطل ان امكن القيام بة دون تدخل العامل البشري .

٦ اعطاء تنبيهات وتحذيرات للعنصر البشري ليقوم باصلاح مكان الخلل .

أسباب الأعطال الكهربائية:

يمكن أن تنشأ الأعطال الكهربائية بشكل عام نتيجة ما يلي :

١ حدوث دارة قصر مما يؤدي الى زيادة كبيرة في التيار .

٢ تيار الحمل المفرط (تحميل زائد عن الحد المسموح) .

٣ هبوط في الجهد .

٤ تشغيل الأحمال الكهربائية على جهود أعلى من الجهد المقرر لها (بدون الرجوع لتعليمات المنتج) .

٥ انهيار في العازل نتيجة الحراره المفرطة .

٦ التعرض لصدمات البرق .

٧ عمليات خاطئه في الدارة .

٨ تلف في أحد عناصر الدارة الكهربائية .

٩ سوء اختيار وسائل الحماية الكهربائية المناسبة .

١٠ الاهمال في اتخاذ إجراءات الوقاية الدورية الضرورية .

ويمكن القول ان نسبه كبيرة من الأعطال التي تحدث خسائر تحدث نتيجة الاهمال أو الاستخدام الخاطئ، أو لعدم إجراء الحسابات الصحيحة التي يتم بناء عليها اختيار وسائل الحمايه المناسبه للتطبيق المطلوب .

العناصر الاساسية لحماية التركيبات الكهربائية المختلفة:

حيث تضم تلك الاجهزة العناصر الآتية :

١ المصهرات بأنواعها Fuses .

٢ قواطع الدارة بأنواعها المختلفة (Circuit-Breakers (CB .

٣ قواطع تيار التسرب الارضي (Earth Leakage Circuit Breakers (ELCB .

٤ المفاتيح الكهربائية .

٥ المرحلات Relays .

٦ محولات التيار (Current - Transformer (C.T .

٧ محولات الجهد (Voltage - Transformer (V.T .

٨ مانعات الصواعق Lighting - Arrestors .

حيث يتم اختيار وسائل الحماية والاستعزال وأجهزة التحكم للدارات الكهربائية المختلفة بشكل عام بناءً على مقرري الفولطية والقدرة الكهربائية للأحمال .

المتطلبات العامة لاجهزة الحماية المختلفة:

ولكي تقوم أجهزة الحماية الكهربائية المختلفة بهذه الوظائف جميعها على أكمل وجه يجب أن تتوفر فيها عدة شروط أساسية تجعلها فعالة بشكل كبير للمحافظة على تلك التجهيزات ومنها :

١ الانتقائية أو التمييز Selectivity or Discrimination .

٢ سرعة الاستجابة Responsivity .

٣ الحساسية Sensitivity .

٤ الموثوقية Relialability .

٥ الاستقرار Stability .

٦ التنسيق الوقائي Protective Coordination .

وفيما يلي شرح مبسط لمفهوم كل منها :

١ الانتقائية او التميز (Discrimination):

يقصد بالانتقائية لعنصر الحماية هو أن يتمكن العنصر الاقرب إلى نقطة العطل من فصل الدارة الكهربائية التي حصل فيها العطل دون ان تتأثر باقي الدارات الكهربائية الأخرى (أي تبقى تعمل) . إن الأجهزة الرئيسية الثلاثة ذات العلاقة بالتنسيق الانتقائي هي :

١ المصهرات .

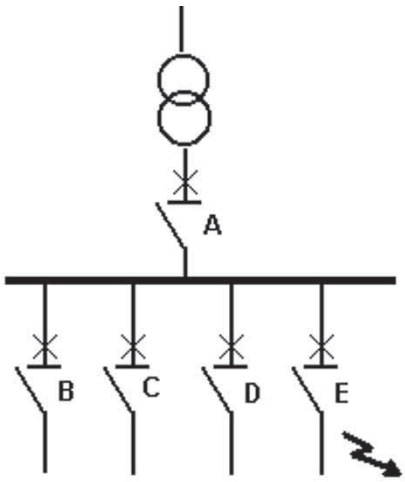
٢ قواطع الدارة .

٣ قواطع تيار التسرب الارضي .

والتميز إما كامل أو جزئي، ويعتمد على عدة أمور منها مستوى تيار بدء العمل وزمن الاستجابة للقاطع .

ويمكن توضيح مفهوم الانتقائية بالمثال التالي :

في الشكل (٣-١) اذا كان زمن الاستجابة للقاطع A أعلى من زمن الاستجابة للقاطع E فان حدوث دارة قصر أسفل القاطع E سيؤدي إلى تفعيله وفصل الدارة ويبقى القاطع A مغلق بحيث يضمن وصول التيار إلى الدارات B، C، D .



شكل (٣-١)

٢ سرعة الاستجابة:

إن سرعة عمل عنصر الحماية تعتمد بشكل كبير على مقدار التأخير الزمني لهذا العنصر . ولا بد من الاشارة هنا ان لكل عنصر حماية منحنى خواص يحدد مقدار التأخير الزمني له . ويجب التنسيق بين اجهزة الحماية من نفس النوع بحيث يكون منحنى خواص جهاز الحماية الاول اعلى من منحنى خواص جهاز الحماية الذي يقع بعده(اي ان مقدار التأخير الزمني للنعصر الاول ٠,٥ ثانية يكون مقدار التأخير الزمني للذي بعده ٠,١ ثانية مثلا وهكذا) .

ويمكن تصنيف اجهزة الحماية الكهربائية من حيث زمن التشغيل الى ما يلي :

١ أجهزة حماية فورية التشغيل او ذات سرعة عالية لا تتضمن تاخيراً زمنياً مقصوداً (متعمداً) (٠,١ ثانية او اقل) لكي تعمل .

٢ أجهزة حماية ذات تأخير زمني .

٣ أجهزة فورية أو ذات سرعة عالية مع تأخير زمني .

٣ الحساسية:

وتعرف على انها اقل قيمة للتيار الكهربائي التي تؤدي الى تفعيل عنصر الحماية .

٤ الوثوقية:

وتعرف على أنها قدرة عنصر الحماية على أداء المهمة المطلوبة منه دون خلل أو فشل تحت الظروف المختلفة طوال العمر الافتراضي للعنصر .

٥ الاستقرار:

أي أن العنصر يعمل بشكل ثابت وطبيعي بغض النظر عن ظروف التشغيل الغير طبيعية، بحيث أنه لا يتأثر بالأخطاء الحاصلة في دارات أخرى خارج نطاق عمله.

٦ التنسيق الوقائي:

يتطلب مبدأ التنسيق بأن تكون عناصر الحماية كالقواطع مثلاً مرتبطة بشكل صحيح مع غيرها من المرحلات والريلهات (عناصر وقاية) أثناء حدوث دارة القصر أو الحمل المفرط (الزائد) لحماية العنصر نفسه ليكون قادراً على العودة إلى الخدمة من جديد حالما يزال العطل وبأقل خسائر ممكنة، وذلك ليحقق أعلى درجة من التنسيق الوقائي.

المصهرات (Fuses):

تعرفت سابقا بأن المصهر (FUSE) عبارة عن سلك أو شريط مصنوع من معدن (نحاس أو سلك مطلي بالقصدير) وله أبعاد محددة مسبقا وهذا المعدن أو السبيكه قابلة للإنصهار.

وتعتمد مقدرة المصهر على فصل التيار الكهربائي على:

١. نوع المادة المصنوع منها عنصر الإنصهار.
٢. أبعاد عنصر الإنصهار نفسه.
٣. درجة حرارة الجو المحيط بالمصهر.

ويسمى التيار المار في المصهر والذي يسبب انصهاره بالمقرر التياري القياسي للعنصر أما أكبر تيار يمر بالمصهر دون أن يحدث تلف العنصر فيسمى بالتيار المقنن للعنصر (In) (ويكتب عادة على جسم المصهر) ويجب على المصهرات ان تتحمل ما مقداره ١١٠ ٪ من التيار المقنن دون احداث اي تغير في خصائص عنصر الانصهار.

وبشكل عام كلما زادت شدة التيار الكهربائي المار في المصهر قل الزمن اللازم لإنصهاره، وبالتالي فصل الداره الكهربائيه المسؤول عنها.

وتقسم المصهرات إلى نوعين هما:

١ المصهرات القابله للتبديل:

وهي عبارة عن المصهرات التي يعاد تشعيرها بعد انصهارها والجدول(٣-١) يبين أقطار أسلاك النحاس المستخدمة في تشعير المصهرات القابله للتبديل:

الجدول (٣-١):

التيار المقنن (A)	٣	٥	١٠	١٥	٢٠	٢٥	٣٠	٤٥	٦٠	٨٠	١٠٠
قطر سلك النحاس mm	٠,١٥	٠,٢	٠,٣٥	٠,٥	٠,٦	٠,٧٥	٠,٨٥	١,٢٥	١,٥٣	١,٨	٢

إن المصهرات القابله للتبديل لم تعد تستخدم بكثره هذه الأيام لما لها من مساوىء (حاول أن تذكر بعض منها؟) .

٢ المصهرات الغير قابله للتبديل:

وتقسم لقسمين :

١ **الخرطوشية :** حيث تصنع بمقررات تيارية مقننه حتى ٦٠ أمبير والشكل (٣-٢) يبين مصهر خرطوشي (فئة التلامس الطوقي) وتستخدم بكثرة في حماية الأجهزة الكهربائية والالكترونية ومآخذ التيار ويكون معامل انصهارها حوالي (١,٥) فمثلا إذا كان التيار المقنن للمصهر هو 20A فإن تيار انصهاره يكون 30A .

الشكل (٣-٢): مصهر خرطوشي

٢ **السكينية :** وتصنع بمقررات تيارية مقننه اكبر من ٦٠ أمبير والشكل (٣-٣) يبين مصهر سكيني .

الشكل (٣-٣): سكيني

المصهر الخرطوشي وقواطع الدارة :

لا بد هنا من الإشارة الى بعض الملاحظات فيما يتعلق بالمصهرات والقواطع بشكل عام :

١ إن معظم قواطع الدارة التجارية تعمل بعد أن ينقضي بعض الوقت بين اشتغال آلية التوقيف التلقائي وعملية الفصل الفعلي للتيار(يبلغ تقريبا ٠,١ ثانية) إلا أن المصهر الخرطوشي يستطيع أن يتعامل مع قصر الدارة أو فرط التيار العالي في وقت أقل من ذلك مما يتيح للمصهر أن يقوم بفصل التيار قبل القاطع بوقت طويل .

٢ بالمقابل فان قواطع الدارة تتميز عن المصهرات بميزات مهمة تجعلها حيوية لجميع الدوائر التي يكون فيها الاشتغال الدقيق والمتكرر مطلوباً . مما يجعلها مناسبة للاستعمال في الدوائر الرئيسية بينما تكون المصهرات مناسبة للاستعمال في الدوائر الفرعية .

٣ إن القواطع تعتبر من أجهزة الحماية غالية الثمن بالمقارنة مع المصهرات التي تعتبر رخيصة نسبياً .

٤ يقوم المصهر بحماية كابل معزول بـ(PVC) متعلق به من تجاوز الحمل اذا كان مقدار التيار المقنن (In) المار فيه يساوي قيمة أكبر تيار (Iz) يمر في الكابل أو يقل عنه وذلك ضمن المواصفات القياسية العالمية .

وتحدد مواصفات المصهرات حسب :

- مقررات التيار لها .
- مقررات الجهد .
- درجة حدها من تيار العطل .
- قدرتها على قطع تيارات الأعطال العالية .
- خواص التأخير الزمني لها .
- أبعادها .
- نوع المادة المصنوع منها (نحاس أو المنيوم) .

ويبن الجدول (٣-٢) قيمة التيار المقنن (I_N) الذي تتحمله المصهرات (أو القواطع) حسب ترتيب المجموعات الموضحة في الوحدة السابقة الجدول (٢-٤) حيث يتم اختيار مساحة مقطع الكابل بناءً على تيار الحمل (I_L) المحسوب باستخدام المعادلات (٢-٣) و (٢-٤) في الوحدة السابقة ومن ثم يجب التحقق من الشرط التالي :

$$I_Z \geq I_N \geq I_L$$

حيث ان :

I_Z : أكبر تيار يتحمله الموصل .

I_N : تيار المصهر (أو القاطع) .

I_L : تيار الحمل .

الجدول (٣-٢): تيار المصهرات (او القاطع) المستخدمة (A) I_N حسب مساحة مقطع الموصلات عند درجة حرارة ٣٠ درجة مئوية:

مساحة المقطع mm^2	المجموعة الثالثة		المجموعة الثانية		المجموعة الأولى	
	Cu A	Al A	Cu A	Al A	Cu A	Al A
0.75	10	--	6	--	--	--
1	10	--	10	--	6	--
1.5	20	--	10	--	10	--
2.5	25	20	20	16	16	10
4	35	25	25	20	20	16
6	50	35	35	25	25	20
10	63	50	50	35	35	25
16	80	63	63	50	50	35
25	100	80	80	63	63	50
35	125	100	100	80	80	63
50	160	125	125	100	100	80
70	200	160	160	125	125	--
95	250	200	200	160	160	--
120	315	250	250	200	200	--
150	315	315	250	200	--	--
185	400	315	315	250	--	--
240	400	400	400	315	--	--
300	500	400	400	315	--	--
400	630	500	--	--	--	--
500	630	500	--	--	--	--

اختيار مساحة مقطع موصلات الوقاية PE :

الجدول (٣-٣): يعرض مساحة مقطع موصلات الوقاية بدلالة مساحة مقطع الاوجه:

مساحة مقطع الاوجه	0.5	0.75	1	1.5	2.5	4	6	10	16	25	35	50	70	90	120	150
مساحة مقطع موصل الوقاية المعزول mm^2	0.5	0.75	1	1.5	2.5	4	6	10	16	16	16	25	35	50	70	70

الدرس الثاني: القواطـــع:

تعريفه:

القاطع عبارة عن جهاز يقوم بوصل وفصل سريان التيار الكهربائي عن الدارة في حالات التشغيل العادية وغير العادية . أي أنه جهازا مصمماً لفتح وقفل الدارة بطريقة غير آلية، ويستطيع فتح الدارة آلياً عند مرور تيار أعلى من مقرره التياري دون أن يتعرض للتلف .

وهناك نوعان من القواطع الكهربائية :

١. القاطع الذي يقوم بفصل ووصل التيار الكهربائي عن الدارة الكهربائية في ظروف التشغيل العادية، أي أنه يستخدم يدوياً ويسمى في هذة الحالة بالمفتاح الكهربائي (Switching Device) .
٢. القاطع الذي يقوم بفصل ووصل سريان التيار الكهربائي عن الدارة الكهربائية في ظروف التشغيل العادية يدويا وفي الظروف الغير عادية (في حالة حدوث عطل) آلياً ويسمى في هذة الحالة بالقاطع الآلي (Circuit-Breaker) .

ويتم فتح الدارة الكهربائية آلياً بإحدى الوسائل التالية :

- عن طريق الاعتاق الحراري Thermal Release .
- عن طريق فعل مغناطيسي Magnetic Action .
- عن طريق الاعتاق الحراري والفعل المغناطيسي معا .
- عن طريق وسائل هيدروليكية .
- عن طريق وسائل هوائية .

أنواع القواطع الآلية:

١ قواطع الدارة المصغرة Miniature Circuit-Breakers(MCB's):

وهي عبارة عن جهاز يقوم بوصل وفصل الدارة الكهربائية يدويا في ظروف التشغيل العادية وفصل الدارة آلياً في حالات الخطأ، وتستخدم لحماية الأحمال الكهربائية من التلف نتيجة حدوث دارة قصر أو حمل زائد أو غير ذلك من الأخطاء.

مميزات قواطع الدارة المصغرة:

١. تعمل عن طريق الاعتاق الحراري أو التاثير الغناطيسي أو الاثنين معاً.
٢. يمكن إعادة توصيلها يدويا بعد إزالة أسباب الخطأ.
٣. سرعة الاستجابة في حالة حدوث خطأ (دارة قصر).
٤. تحتوي على طرق لإخماد القوس الكهربائي المتولد عند فصل الدارة.
٥. تتميز بكفأتها وإعتماديتها وسهولة تركيبها.

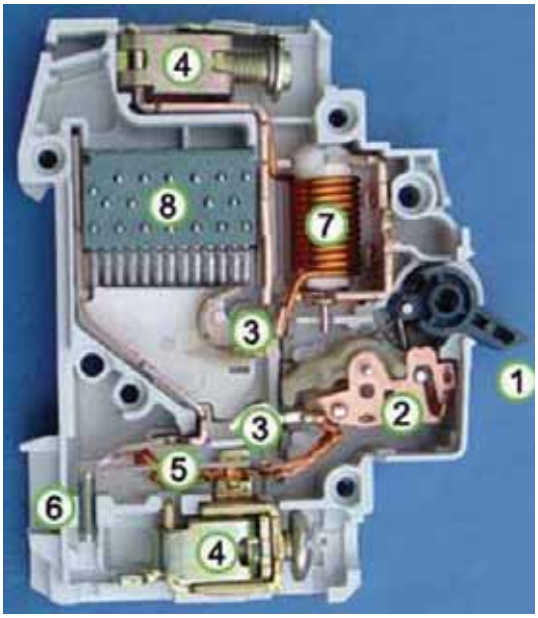
شكل (٣-٤)

وتصنع قواطع الدارة بعدد مختلف من الأقطاب (قطب واحد SP أو قطبين DP ،SPN أو ثلاثة TP أو أربعة أقطاب FP ، TPN) والشكل (٣-٤) يعرض نموذجا لهذه القواطع.

شكل (٣-٥)

وعادة تثبت القواطع المصغرة داخل لوحات التوزيع على سكة معدنية يطلق عليها قضيب أوميجا أو DIN rail ، الشكل (٣-٥) يعرض نموذجاً لقضيب أوميجا.

والشكل ٣-٦ يبين التركيب الداخلي لقاطع مصغر ذي قطب واحد كما يلي :



شكل (٣-٦)

١ رافعة بلاستيكية تستخدم لوصل وفصل الدارة يدويا وكذلك تستخدم للإشارة إلى حالة القاطع هل هو في حالة توصيل ON أو في حالة فصل OFF .

٢ آلية الحركة وتقوم بوصل وفصل تلامسات القاطع .

٣ التلامسات المعدنية والتي تقوم بعملية فصل ووصل التيار المار في الدارة .

٤ الأقطاب أو الأطراف والتي توصل من خلالها أسلاك الدارة مع القاطع .

٥ شريط ثنائي المعدن يستخدم لقطع الدارة (حيث يتمدد أحد الشريطين بشكل أكبر من الثاني) عند مرور تيار حمل زائد .

٦ برغي معايرة يستخدم من قبل مصنع القاطع لتحديد قيمة تيارالفصل بدقة بعد عملية التجميع .

٧ مرحل كهرومعناطيسي .

٨ مقسم/ خامد القوس الكهربائي .

القيم المقررة للقواطع المصغرة:

١ **التيار المقنن In** : وهو أقصى قيمة للتيار الذي يمر خلال القاطع عند درجة حرارة معينة، دون تفعيل القاطع أو تسخينه . فمثلا إذا كان التيار المقنن لقاطع ما هو In=100A عند درجة حرارة تساوي 40C° فاننا نتوقع انه عند درجة حرارة 50C° أن تقل قيمة التيار المقنن إلى 92A وهكذا .

٢ **تيار الفصل اللحظي Im** : وهو أقل قيمة لتيار القصر الذي يقوم بتفعيل القاطع خلال فترة قصيرة جداً تتراوح من ٠,٢ ثانية الى ٥ ثواني، وتتراوح قيمة هذا التيار من ثلاث إلى عشرة أضعاف قيمة التيار المقنن، وتعتمد قيمته على خصائص القاطع ويطلق عليه أحياناً تيار الفصل المغناطيسي لأن المرحل الكهرومغناطيسي داخل القاطع هو اللذي يفصل التلامسات .

٣ **تيار الفصل التقليدي Ir او Irth** : ويطلق عليه أحياناً تيار الفصل الحراري، وهذا التيار عادة ينتج عن زيادة تيار الحمل لفترات طويلة نسبيا (أقل من ساعة) مما يؤدي الى تسخين وتمدد الشريط المعدني المزدوج داخل القاطع وبالتالي فصل التلامسات، وهو أكبر من التيار المقنن تقريبا بمرة ونصف (Ir =1.45 x In) .

٤ **سعة تيار القصر Icu او Icn** : وهو أقصى قيمة للتيار يمكن للقاطع فصله دون التعرض للتلف، الرمز Icu يستخدم للقواطع الصناعية أما الرمز Icn فيستخدم للقواطع المنزلية .

٥ **الجهد المقرر Ue** : وهي قيمة الجهد الكهربائي الذي يعمل عليه القاطع في الوضع الطبيعي .

٦ **جهد العزل Ui** : وهو أعلى قيمة للجهد الكهربائي التي يستطيع القاطع أن يعزله ويجب أن يكون مساوياً أو أكبر من الجهد المقرر (Ue >= Ui) .

الجدول (٣-٤): الخصائص الفنية والادائية للقاطع المصغر والتي تجهدها مكتوبة عليه كما يظهر في الشكل (٣-٧):

Specification:	IS 8828: 1996, IEC 898	المواصفات
Current Rating:	0.5 A to 63 A	مقررات التيار
Number of Poles	SP, SPN, DP, TP, TPN, FP	عدد الاقطاب
Tripping Characteristics	B, C, D, G, K	خصائص القطع
Rated Voltage	240 / 415 V	الجهد المقرر
Rated Frequency	50 Hz	التردد المقرر
Short Circuit Breaking Capacity:	10,000 A	سعة تيار القصر
Electrical Endurance:	10,000 Operations	العمر الافتراضي الكهربائي
Mechanical Endurance:	1,00,000 Operations	العمر الافتراضي الميكانيكي
Mounting:	Snap fixing on 35mm DIN channel	التثبيت
Mounting Position:	Optional	موقع التثبيت
Protection Clause	IP- 20	درجة الحماية
Back up Protection	No Backup Protection necessary upto a fault level of 10KA	الحماية المساندة
Housing:	Glass fibre reinforced Polyester	التغليف
Terminal:	25mm^2 Box type at Incoming Block type at outgoing	الأطراف

ويمكن تقسيم القواطع حسب خصائص القطع (خصائص الزمن والتيار) حسب مقياس IEC كما يلي :

١ **فئة A** : في هذا النوع من القواطع تتم عملية الفصل مباشرة ودون تأخير في حالة الخطأ .

٢ **فئة B** : عند حدوث خطا فان هذا النوع من القواطع يتأخر في عملية الفصل لفترة زمنية محددة وذلك لأغراض تتعلق بالانتقائية (discrimination) مع قواطع أخرى .

شكل (٣-٧)

ويستخدم هذا النوع مع المصادر التي تنتج مستويات منخفضة من تيار القصر مثل المولدات الاحتياطية (Standby generators) وتستخدم أيضاً لحماية الكوابل ذات الإمتدادات الطويلة .

٣ **فئة C** : ولها نفس خصائص النوع B ولكن زمن التاخير لها أكبر وتيار الفصل اللحظي (Im) أعلى . وتستخدم لحماية الدارة في الحالات العامة .

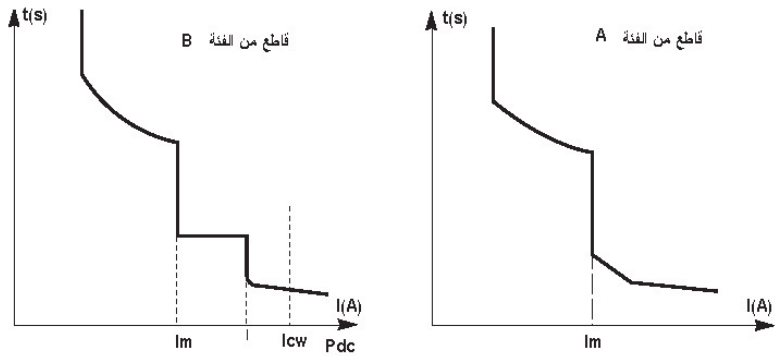
٤ **فئة K ، D** : تتميز بتيار فصل لحظي أكبر من فئة C . وتستخدم لحماية الدارات التي تحتوي على تيارات ابتدائية عالية نسبيا مثل المحركات والمحولات الكهربائية .

٥ فئات اخرى مثل **G** .

والجدول (٣-٥) يعرض اهم المواصفات الفنية لقواطع الدارة المصغرة من فئات K ، D ، C ، B .

جدول (٣-٥):

	نوع القاطع	التيار التقليدي	تيار الفصل اللحظي		
القواطع المنزلية	حراري ومعناطيسي	Ir=In	اعددات منخفضة فئة B 3In<=Im<5In	اعددات قياسية فئة C 5In<=Im<10In	اعددات عالية فئة D 10In<=Im<20In
القواطع الصناعية	حراري ومعناطيسي	Ir=In	اعددات منخفضة فئة B او Z 3.2In<=Im<4.8In	اعددات قياسية فئة C 7In<=Im<10In	اعددات عالية فئة D او K 10In<=Im<14In
	الكتروني	0.4<=Ir<In	زمن تاخير قصير قابل للتعديل 1.5Ir<=Im<10Ir قطع سريع I= 2 to 15 In		



الشكل (٣-٨) : يبين منحنيات الاداء للقوطع من الفئة A و B

يتم اختيار سعة القاطع ونوعه وكذلك مساحة مقطع الكابل إعتماداً على قيمة التيار المار في الدارة الكهربائية ونوع الحمل، والجدول (٣-٦) يوضح مساحة مقطع الموصلات وسعة القاطع المناسب لكل منها .

جدول (٣-٦):

مساحة مقطع الموصل (mm^2)	التيار المقنن للقاطع (A)
2.5	15
4	20
6	30
10	40
16	50

٢ القواطع الآلية المقولبة Moulded Case Circuit Breakers (MCCB's):

تتشابه القواطع المقولبة MCCB's مع مثيلاتها من قواطع الدارة المصغرة MCB's من حيث الخصائص وطريقة العمل عدى أن الأولى تتوافر بسعات عالية للتيار، ويصل التيار المقنن لها إلى 1000A وتستخدم في أنظمة التوزيع المتوسطة القدرة .

الشكل (٣-٩): نموذج لقواطع مقلوبة

وفيما يلي أهم مميزات القواطع المقولبة :

١ ذراع القاطع الخارجية له ثلاثة أوضاع وهي ON و OFF و Tripped بحيث يكون الذراع في منتصف المسافة بين وضعي ON و OFF .

٢ تعطي حلول متكاملة لمشاكل التمييز .

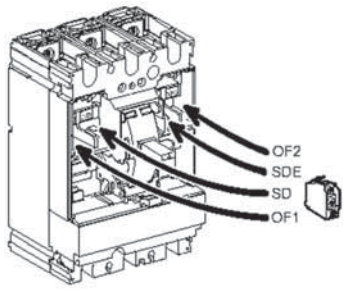
٣ إمكانية تغيير ومعايرة التيارات المقررة لتتناسب وطبيعة الحمل .

الجدول (٣-٧): بعض الانواع المنتجة في شركة Legrand الفرنسية وحدود معايرة التيارات لها:

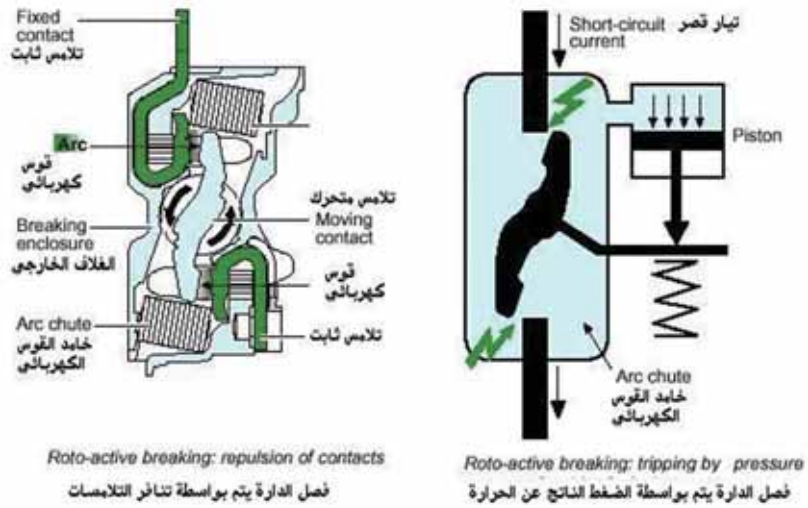
الرمز	DXP125	DXP160	DXP250	DXP320	DXP800
حدود معايرة التيار الحراري (A)	90:125	100:160	160:250	250:320	630:800
حدود معايرة التيار المغناطيسي (A)	1250	6000	875:2500	1600:3200	4000:8000

٤ إمكانية إضافة وتوصيل أجزاء ثانوية (ريّش) معها لأداء مهمات متنوعة ومتعددة (Auxiliary functions). كما هو موضح في الشكل (٣-١٠).

٥ تستخدم نظام جديد في عملية الفصل يطلق علية Roto-active Breaking حيث تستخدم الطاقة الناتجة عن القوس الكهربائي المتولد في إحداث ضغط على ذراع القاطع لفصل التلامسات كما هو موضح في الشكل (٣-١١).



الشكل (٣-١٠)



الشكل (٣-١١)

٣ قاطع التسرب الارضي (ELCBs):

هو عبارة عن جهاز يحتوي على طرفين يوصلان مع نظام الأرضي ويقوم بالتحسس والاكتشاف المباشر لأي تيار تسرب مار خلاله من الأجهزة إلى الأرض، وكان هذا الجهاز مستخدما في الماضي أما اليوم فقد حل محله جهاز يطلق عليه جهاز التيار الفرقي Residual current device (RCD) والذي يعمل عن طريق الاحساس بفرق التيار بين الخط الحار والمتعادل المارين خلاله فهو لا يوصل مباشرة مع الارضي كما هو حاصل مع ELCB.

وتطلق عبارة ELCB بشكل خطأ شائع على جهاز RCD مع أنه جهاز من نوع آخر ويعتمد تقنية مختلفة في العمل.

٤ جهاز التيار الفرقي Residual current device (RCD) او residual current circuit breakers (RCCB):

يستخدم جهاز RCD لفصل الدارة في حالة تسرب تيار صغير للأرضي، حيث أن المصهرات والقواطع الآلية لا تعمل عند هذه القيم الصغيرة للتيار، والسبب الرئيسى لاستخدامه هو حماية الأشخاص من الصدمة الكهربائية لأن تيار تسرب قيمته 30mA يمكن أن يسبب ضرراً كبيراً للإنسان إذا مر في جسمه عند ملامسته للهياكل المعدنية للأجهزة الكهربائية التي تعاني من خلل في العازلية، والشكل (٣-١٢) يعرض جهاز RCD أحادي وثلاثي الطور.

وعادة يثبت داخل لوحات التوزيع على سكة معدنية يطلق عليها قضيب أوميجا أو DIN rail .

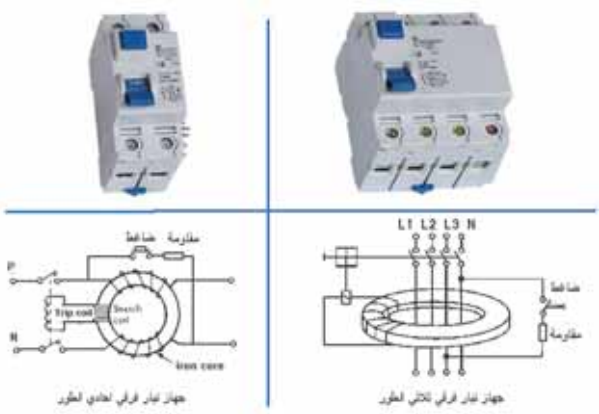
شكل (٣-١٢)

جدول (٣-٨): تاثير مرور تيار التسرب الارضي في جسم الانسان:

تيار التسرب (mA)	مدة سريان التيار	التاثير البيولوجي على جسم الانسان
٠,٥ : ٠	مستمر	التيار غير محسوس وليس له تاثير
٥ : ٠,٥	مستمر	يبدأ الجسم بالاحساس بالتيار ويمكن للانسان التخلص من المصدر إلا انه يترك اثارا في مكان التلامس
٣٠ : ٥	عدة دقائق	يصعب الانفصال عن مصدر الكهرباء ويسبب ارتفاع ضغط الدم وضيق التنفس
٥٠ : ٣٠	بضع ثواني	عدم انتظام نبضات القلب – يرتفع ضغط الدم مع اغماء
٥٠ : عدة مئات	أقل من طول موجة الجهد	الشعور بصدمة قوية
	أطول من طول موجة الجهد	اغماء مع ظهور آثار عند نقاط التلامس
اكثر من عدة مئات	أطول من طول موجة الجهد	اغماء مع ظهور آثار عند نقاط التلامس
	أطول من طول موجة الجهد	اغماء موت أو حريق

تركيب وطريقة عمل RCD:

الشكل (٣-١٣) يبين الشكل والتركيب الداخلي لجهاز RCD أحادي وثلاثي الطور حيث يحتوي الأول على قطبين توصيل للحامي والبارد متصلين مع موصلين يمران داخل محول تيار يوصل الملف الثانوي للمحول بمرحل الفصل للقاطع، ويحتوي أيضاً على دارة فحص لصلاحية الجهاز تتكون من مفتاح ضاغط ومقاومة، وكذلك على التلامسات التي تقوم بوصل وفصل التيار.



شكل (٣-١٣)

في الوضع الطبيعي تكون قيمة التيار المار في الموصل الحار (I_L) نفس قيمة التيار الراجع في الموصل المتعادل(I_N) وبالتالي فإن كل موصل يولد مجال مغناطيسي مساوي ومعاكس للآخر فيلغيان بعضهما البعض ولا يتولد تيار داخل محول التيار ويبقى المرحل على وضعه .

أما في حالة حصول تسرب للتيار نتيجة خطأ في العازلية فإن التيار الراجع إلى RCD يصبح أقل من التيار الداخل إليه والفرق في التيار (I_Δ) يولد مجالاً معناطيسياً في محول التيار والذي يقوم بدوره بتفعيل المرحل وفصل التلامسات وبالتالي قطع التيار عن الحمل، وحتى يحصل هذا يجب أن تكون قيمة الفرق في التيار أكبر من تيار التسرب المقنن للجهاز ($I_{\Delta N}$) وعادة تساوي 30mA .

أما بالنسبه لدارة اختبار القاطع فهي تستخدم للتأكد من صلاحية القاطع بحيث أنه في حالة الضغط على الضاغط T يمر تيار صغير من الخط الحار إلى المتعادل عبر المقاومة R خارج محول التيار مما يسبب فرق في التيار وبالتالي فصل التلامسات ويتم اختيار المقاومة بحيث تسمح بمرور تيار أكبرمن تيار التسرب المقرر بقليل، وينصح بعمل الفحص للقاطع كل شهر مرة للتاكد من صلاحيته .

شكل (٣-١٤)

أما القاطع الرباعي الأقطاب فيعمل على نفس المبدأ ففي الوضع الطبيعي يكون :

$$I_\Delta = I_{L1} + I_{L2} + I_{L3} + I_N = 0$$

وفي حالة حدوث تسرب للتيار أكبر من $I_{\Delta N}$ للقاطع يتم فصل الدارة .

وهناك نوع آخر من قواطع التسرب يطلق عليه Residual Current Breaker with Overload (RCBO) وهو عبارة عن جهاز RCD يحتوي على MCB .

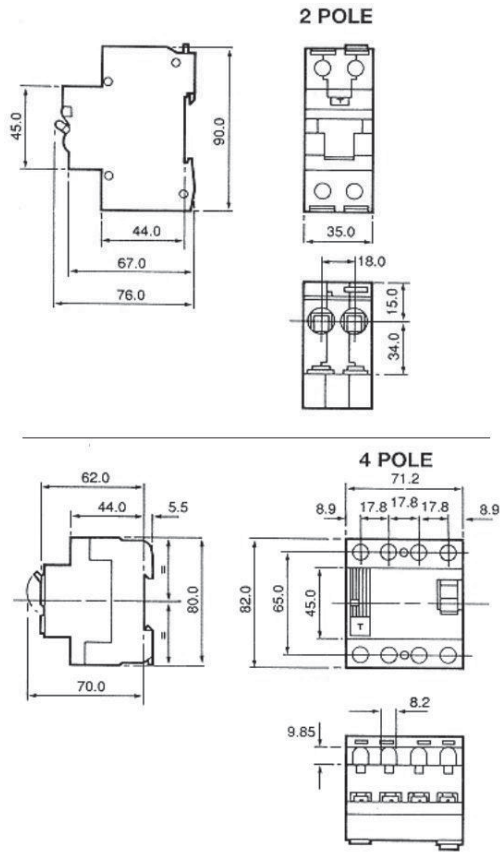
والشكل (٣-١٤) يوضح المواصفات الفنية المكتوبة على جهاز RCD أحادي الطور من صنع شركة سيمنز .

الجدول (٣-٩) يعرض المواصفات الفنية لقاطع تسرب ارضي:

Standards	IS 12640, IEC 1008 $ BS EN 61008	مقاييس
Reted current I_n	25,40,63 A	التيار المقرر
Reted tripping Current $I_{\Delta n}$	30,100,300 mA	تيار التسرب المقرر
Number of poles	2 Pole,4 Pole	عدد الاقطاب
Frequency	50/ 60 Hz	التردد
Rated Voltage U_n	240/ 415 V ac	الجهد المقرر
Configuration	4 module	الشكل

Rated Short Circuit With= stand capacity ($/_{nc}$)	10,000 A	اقصى قيمة لتيار القصر
Resistance against unwanted Tripping	8/20 µ sec 250A (VDE 0664.1) 0.5, µ sec 100 kHz 200A (EN 61008)	المقاومة ضد القطع غير المرغوب به
Terminal Capacity	25 mm^2	قياس الاطراف
Operating temperature range	-25° to +55° C	مدى درجة الحرارة التي يعمل عليها
Service Life	20,000 Operations	العمر الافتراضي
Mounting arrangement	Snap fit on 35mm Din Channel	طريقة التثبيت

الشكل (٣-١٥) يبين أبعاد جهاز RCD ثنائي ورباعي القطبية .



شكل (٣-١٥)

محددات الموجات العابرة للجهد Surge Arrestor:

تحدث الموجات العابرة للجهد (Surges) نتيجة لأسباب خارجية مثل الصواعق الكهربائية (البرق) وأسباب داخلية مثل تشغيل وإطفاء الآلات الكهربائية، وقد تؤدي هذه الموجات العابرة إلى تلف الأجهزة الحساسة لإرتفاع الجهد وخاصة الأجهزة الإلكترونية مثل الأجهزة الطبية وأجهزة التلفاز والحاسوب، لذلك يتم استخدام محددات الموجات العابرة لحماية تلك الأجهزة الحساسة والتي تقوم بمنع الجهود العابرة من الوصول اليها .

الشكل (٣-١٦) يعرض محددات موجات عابرة ناتجة عن الصواعق الكهربائية .

محول التيار Current transformer (C.T):

يتكون محول التيار من سلك معزول ملفوف حول قالب معناطيسي دائري الشكل كما هو موضح في الشكل (٣-١٧) ويشكل هذا السلك الملف الثانوي للمحول اما الملف الابتدائي فهو عبارة عن الموصل المراد قياس التيار المار فيه .

شكل (٣-١٦)

يستخدم محول التيار لقياس قيمة التيار المتناوب المار في موصل ما حيث تتم العملية كما يلي :

شكل (٣-١٧)

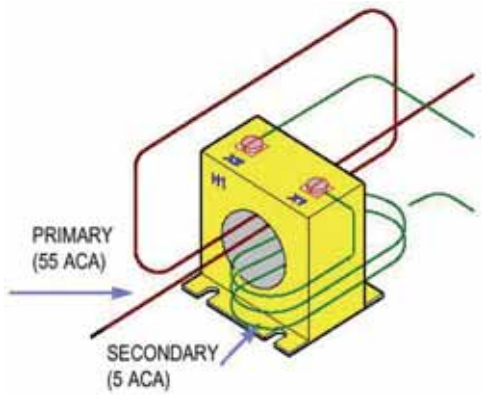
- التيار المتناوب المار في الموصل يشكل مجال مغناطيسي متناوب حول ذلك الموصل .
- المجال المغناطيسي المتناوب يؤدي إلى توليد تيار كهربائي متناوب في الملف الثانوي للمحول حسب قانون الحث .
- قيمة التيار المتولد في الملف الثانوي للمحول صغيرة وتتناسب مع نسبة عدد اللفات .
- يتم توصيل أطراف الملف الثانوي مع جهاز قياس التيار (أميتر) لقياس قيمة التيار .

وهذه الطريقة تستخدم عند الحاجة الى قياس تيارات ذات قيم عالية (عدة مئات من الأمبير)، فمثلاً يصعب توفير جهاز لقياس تيار قيمته 600A مباشرة، ولكن عند استخدام محول التيار يمكن استعمال أميتر مداه يتراوح من 0-5A لقياس هذه القيمة العالية من التيار .

إذا كانت القيمة المقررة لمحول تيار هي ٥ : ١٠٠ فان ذلك يعني أنه في حال مرور تيار قيمته 100A في الموصل فانه يولد تيار قيمته 5A في الملف الثانوي للمحول أي أنه أقل من التيار الابتدائي بنسبة ١/ ٢٠ .

من ميزات محول التيار أنه يمكن تغيير القيمة الإسمية المقررة له عن طريق لف الملف الابتدائي أو الثانوي عدد من المرات من خلال فتحة المحول بحيث أنه يمكن حساب نسبة التحويل الجديدة حسب المعادلة التالية :

$$\text{نسبة التحويل الفعلية} = \frac{\text{نسبة التحويل المقررة} \pm \text{عدد لفات الملف الثانوي عبر نافذة المحول}}{\text{عدد لفات الملف الابتدائي عبر نافذة المحول}}$$



شكل (٣-١٨)

تستخدم إشارة (+) عندما يكون اتجاه اللف من جهة H1 للمحول عبر نافذة المحول كما هو مبين في الشكل (٣-١٨) ، وتستخدم إشارة (–) عندما يكون اتجاه اللف من الجهة المقابلة لجهة H1 للمحول عبر نافذة المحول .

فيما يلي مثال يستعرض عملية تحويل نسبة التيار المقررة ٥ : ١٢٥ إلى النسبة التالية ٥ : ٥٥

$$\frac{٣ - \frac{١٢٥}{٥}}{٢} = ١١$$

نسبة عدد اللفات = ١ : ١١

نسبة التيار = ٥ : ٥٥

ويستخدم محول التيار أيضاً داخل أجهزة الحماية المختلفة مثل القواطع الآلية وقواطع التسرب الأرضي .

لوحات المفاتيح ولوحات التوزيع Switch and distribution borads:

تستخدم كل من لوحات المفاتيح والتوزيع للربط بين محولات الخفض، أو مولدات الطوارئ والأحمال الكهربائية داخل المنشأة . داخل هذه اللوحات يتوزع مصدر الطاقة إلى دارات منفصلة عن بعضها البعض بحيث يتم التحكم وحماية كل واحدة من هذه الدارات بواسطة عناصر الحماية والتحكم، بحيث تثبت القواطع والمصهرات وغيرها من العناصر على سكك حديدية (DIN Rail) داخل الخزانة، اما اجهزة التحكم والتأشير (لمبات الإشارة، الضواغط، مؤشرات القياس والمراقبة . . .الخ) فتثبت على الوجه الأمامي للخزانة، كما هو موضح في الشكل (٣-١٩).

شكل (٣-١٩) أ

شكل (٣-١٩) ب

لوحات الفاتيح Switch boards:

تقسم لوحات المفاتيح الى نوعين :

١ لوحة مفاتيح من النوع المفتوح حيث تكون الخزانة مفتوحة من جميع الجهات ما عدا الجهة الأمامية (جانب التشغيل للوحة) مما يسهل عملية الوصول إلى العناصر التي بداخلها وبالتالي سهولة عملية الصيانة ، وتستخدم هذه اللوحات في الأماكن المغلقة التي لا يصل إليها إلا المختصون فقط .

٢ لوحة مفاتيح من النوع المغلق بحيث تكون مغلقة من جميع الجهات، وبالتالي فهي توفر أمان أكبر للأشخاص وتستخدم في الأماكن المفتوحة وتتكون عادة من عدة مقاطع وتحتوي على أبواب خلفية وجانبية كما تزود أحياناً بأجزاء متحركة تمكن من سحب القواطع خارج اللوحة، والشكل (٣-٢٠) يعرض لوحة مفاتيح ذات جهد منخفض .

شكل (٣-٢٠)

وتتميز لوحات المفاتيح بما يلي :

شكل (٣-٢١)

- تحتوي على قضبان تصل سعتها الى 4000A .
- تصنع من ألواح من الصلب .
- أقصى ارتفاع لها 2.2m .
- تحتوي على قواطع ثابتة واخرى متحركة يمكن سحبها .
- تحتوي على عناصر تتحمل تيار قصر يصل الى 176KA .
- درجة الحماية لها تصل الى IP54 .
- قد تحتوي على مكثفات Capacitor banks لتحسين معامل القدرة والتي تظهر في الشكل (٣-٢١) .

لوحات التوزيع Distribution boards:

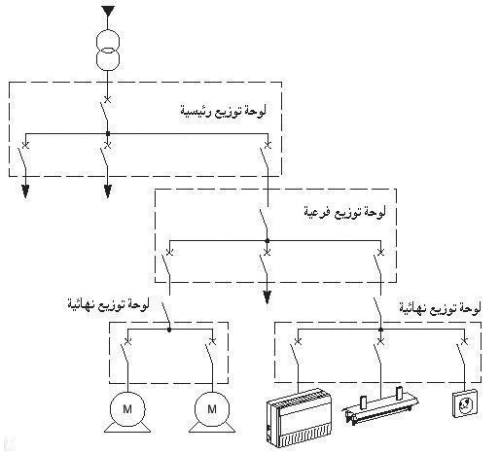
تقسم لوحات التوزيع الى ثلاثة انواع :

شكل (٣-٢٢)

- لوحات توزيع رئيسية Main distribution boards .
- لوحات توزيع فرعية Sub distribution boards .
- لوحات توزيع نهائية Final distribution boards .

والشكل (٣-٢٢) يعرض أنواع مختلفة من لوحات التوزيع .

لوحة التوزيع الرئيسية توزع التيار الكهربائي إلى لوحة أو أكثر من لوحات التوزيع الفرعية والتي بدورها تقوم بتوزيع التيار ألى لوحة أو أكثر من لوحات التوزيع النهائية والتي بدورها توصل التيار إلى الأحمال، وتتم عملية الاتصال بين اللوحات عادة بواسطة كابلات ممتدة داخل أنابيب بلاستيكية أو مجاري خاصة (ترنكات) أو قضبان توزيع معدنية معدة خصيصا لذلك. والشكل (٣-٢٣) يعرض لوحة مفاتيح، ولوحة توزيع رئيسية، ولوحتي توزيع فرعيتين، لاحظ أن كل لوحة تحتوي على قاطع رئيسي لحماية جميع أحمال اللوحة ولاحظ أنه كلما تدرجنا من أعلى إلى أسفل فإن القيم المقررة للقواطع تصغر.



شكل (٣-٢٣)

وتتميز لوحات التوزيع بما يلي:

- تحتوي على قضبان تصل سعتها إلى 2000A.
- تصنع من ألواح من الصلب أو البلاستيك.
- أقصى ارتفاع لها 1m.
- تحتوي على قواطع ثابتة.
- تحتوي على عناصر تتحمل تيار قصر يصل الى 80KA.
- درجة الحماية لها تصل الى IP65.

وهناك أنواع اخرى من اللوحات الكهربائية ذات الاستعمالات الخاصة مثل:

- لوحات التحكم بالمحركات الكهربائية Motor control center (MCC).
- لوحات أجهزة التكييف والتبريد.
- لوحات المصاعد.
- لوحات التحكم في العمليات الصناعية.

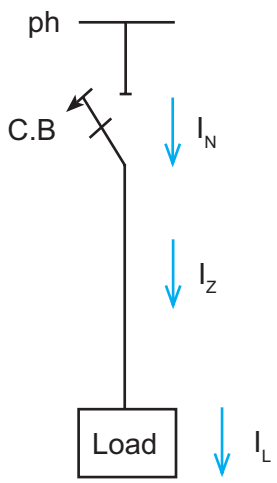
حساب مساحة مقطع الكابل المغذي لحمل كهربائي.

لحساب مساحة مقطع الكابل نتبع الخطوات التالية :

١ حساب تيار الحمل .

$$P = VI \cos\theta$$

$$I = \frac{P}{V \cos\theta} = I_L$$



شكل (٣-٢٤)

٢ تحديد نوع الموصل المستخدم نحاس Cu أو المنيوم AL .

٣ تحديد نوع التمديد داخل مواسير ، باطن الأرض أو في الهواء .

٤ طول الموصل (بعد الحمل الكهربائي عن المصدر) لما في ذلك علاقة مباشرة مع هبوط الجهد ، بحيث لا يزيد عن ٣٪ كما تم شرحه سابقاً .

٥ عامل التجميع بمعنى عدد الكوابل أو الأسلاك المجاورة حسب طريقة التمديد .

مع العلم بأن جميع الجداول الخاصة بمساحة مقطع الكوابل لكافة الشركات الصانعة تشير إلى جميع العوامل السابقة .
في هذه المرحلة سيتم اعتماد الجدول التالي والمتعارف علية محلياً والذي يحدد مساحة مقطع الكابل والسعة الأمبيرية له .

Cu , XLPE , T = 30°

مساحة مقطع الكابل mm^2	I_N (A)	I_Z (A)
1.5	10	15
2.5	16	20
4	20	25
6	25	33
10	35	45
16	50	61
25	63	83
25	80	103
50	100	132

ويجب أن تحقق مساحة مقطع الكابل الذي تم اختياره العلاقة : $I_Z \geq I_N \geq I_L$

حيث أن : I_L : تيار الحمل ويتم احتسابه من الخطوة (١) .

I_N : تيار المصهر (القاطع) .

I_Z : أكبر تيار يتحمله الموصل .

مثال (١):

أحسب مساحة مقطع الموصل اللازم وسعة القاطع الواجب استخدامه لتوصيل مدفأة كهربائية قدره 2200W/220V

الحل:

١ حساب تيار الحمل من المعادلة التالية :

$$P = VI_L \cos\theta$$

بما أن الحمل مادي $\cos\theta = 1$

$$I_L = \frac{P}{V_L \cos\theta}$$

$$I_L = \frac{2200}{220 \times 1} = 10A$$

٢ بالرجوع إلى الجدول نلاحظ ما يلي :

mm^2	A
1.5	10
2.5	16

نلاحظ بأن تيار الحمل يتطابق مع سلك مساحة مقطعه $1.5\ mm^2$ إلا أنه لا يجوز استخدام الموصل بأعلى سعة أمبيرية له . كذلك لا يجوز أن تقل مساحة القطع الكابل المستخدم في تمديدات القوة عن $2.5\ mm^2$.

وعليه يتم اختيار مساحة مقطع الموصل يليه في الجدول .

$$2.5\ mm^2 \leftrightarrow 16A$$

٣ من الشكل (٣-٢٤) ومراجعة الجدول نلاحظ ما يلي :

$$I_L = 10\ A$$

$$I_Z = 20\ A$$

$$C.B = I_N = 16\ A$$

$$I_Z \geqslant I_N \geqslant I_L$$

$$20 \geqslant 16 \geqslant 10$$

أما في حالة الاحمال الثلاثية الأطوار فيتم استخدام المعادلة التالية في الخطوة رقم (١) .

$$P = \sqrt{3}\ V_L\ I_L \cos\theta$$

$$I_L = \frac{P}{\sqrt{3}\ V_L \cos\theta}$$

مثال (٢):

محرك حثي قدرته 10KW ومعامل القدرة 0.8 ويعمل على فرق جهد مقداره 400V يراد توصيله بالكهربا بشكل مباشر أوجد مساحة مقطع الموصل سعة قاطع الحماية الواجب استخدامه، وكذلك تيار واقي الحمل اللازم.

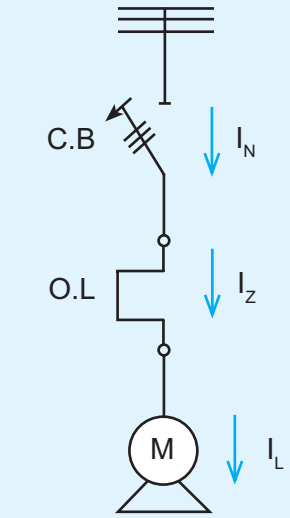
الحل:

١ $P = \sqrt{3}\ V_L\ I_L\ Cos\theta$

$$I_L = \frac{P}{\sqrt{3}\ V_L\ Cos\theta}$$

$$I_L = \frac{10 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 400 \times 0.8}$$

$$= \frac{10.000}{553.6} = 18A$$



شكل (٣-٢٥)

يتم إضافة عامل أمان للكابل الكهربائي = $1.25 \times I_L = 22.5\ A$

٢ بالرجوع إلى الجدول.

mm^2	IN	IL
1.5	10	15
2.5	16	20
4	20	25
6	25	33

يتم اختيار كابل مساحة مقطعة $6mm^2$.

$$I_N = 25A$$

$$I^Z = 33A$$

$$I_{O.L} = 1.2 \times I_L$$

$$= 1.2 \times 18$$

$$= 21.6\ A$$

الدرس الثالث: أنظمة التأريض:

في أنظمة التوزيع الكهربائي فان نظام التأريض يبين قيمة الجهد الكهربائي للموصلات بالنسبة إلى سطح الأرض، اختيار نظام التأريض له مضاعفات على السلامة والمواءمة الكهرومغناطيسية لمصدر الطاقة.

عملية التأريض تتم عن طريق وصل السطوح المعدنية للأجهزة والمعدات الكهربائية بالأرض عن طريق وصلة معدنية تسمى وصلة الأرضي الواقي Protective Earth connection (PE) بحيث تضمن هذه الوصلة أن يكون الجهد الكهربائي على تلك السطوح مساويا للجهد الكهربائي على سطح الأرض، وبالتالي تجنب احتمال حدوث صدمة كهر بائية في حالة أن لامس شخص جهاز فيه تسريب كهربائي نتيجة خلل في العازلية مثلا، وكذلك تضمن هذه الوصلة مرور تيار قصر عالٍ عبرها في حال حدوث خطأ أو دارة قصر مما يؤدي إلى تفعيل أجهزة الحماية كقواطع الدارة والتي تقوم بفصل مصدر الطاقة عن الحمل.

هناك نوع آخر من وصلة الأرضي تدعى وصلة الأرضي الفاعلة Functional Earth Connection والتي قد تحمل تيار كهربائي خلال العمل الطبيعي للأجهزة (دون حدوث خلل) وهذه الوصلة ضرورية لعمل بعض أنواع الأجهزة الكهربائية وحمايتها مثل Surge Suppressor ، بعض أنواع الهوائيات ، وأجهزة القياس المختلفة.

يمكن استخدام الأرضي الواقي (PE) كأرضي فاعل ولكن هذا يتطلب عناية في أحوال معينة.

تم تقسيم أنظمة التأريض حسب المقياس العالمي IEC 60364 إلى ثلاثة مجموعات تم ترميز كل مجموعة بحرفين وهي **TT** ، **TN** ، و **IT** .

الحرف الأول يبين حال وصلة الأرضي مع مصدر الطاقة (مولد أو محول) وهذا الحرف يكون احد الحرفين التاليين:

T : وتعني توصيل مباشر لنقطة ما مع الأرضي وهي مشتقة من الكلمة الفرنسية (Terre).

I : وتعني انه لا يوجد اتصال مع الأرضي من أي نقطة (عزل Isolation)، أو اتصال من خلال ممانعة عالية.

الحرف الثاني يبين حال وصلة الأرضي مع الجهاز الكهربائي الذي يتم تزويده بالطاقة (الحمل) ويكون احد الحرفين التاليين:

T : وتعني توصيل مباشر للحمل مع الأرضي، بمعزل عن أي وصلة ارضي في شبكة توزيع الطاقة.

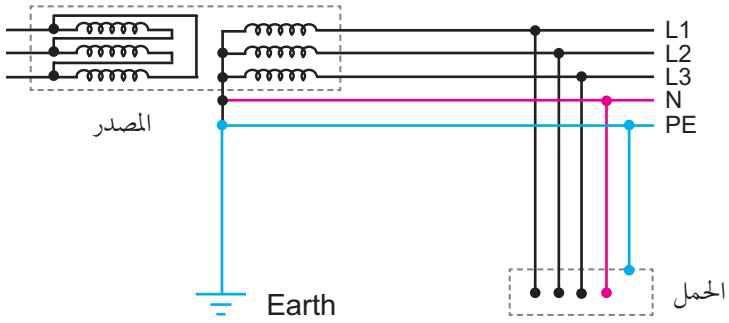
N : وتعني أن الحمل موصول مع الأرضي من خلال شبكة التوزيع (Network).

١ نظام TN:

في هذا النظام توصل إحدى النقاط (عادة نقطة النجمة في النظام ثلاثي الاطوار) في المولد أو المحول مع الأرض. أما الهيكل الخارجي للجهاز الكهربائي (الحمل) يوصل مع الأرض من خلال وصلة الأرضي للمصدر كما هو موضح في الشكل (٣-٢٦) وبالتالي فا ن حدوث أي خلل في العازلية يؤدي الى مرور تيار قصير عالياً في الوصلة الواقية مما يؤدي الى تفعيل قاطع الدارة او المصهر وبالتالي فصل التيار عن الحمل.

السلك (الموصل) الذي يقوم بتوصيل الأجزاء المعدنية المكشوفة لأجهزة المستهلك مع أرضي المصدر يسمى خط الوقاية (PE). السلك الذي يتصل مع نقطة النجمة النظام ثلاثي الأطوار أو الذي يحمل التيار الراجع في نظام أحادي الطور يسمى خط التعادل (N) Neutral.

من ناحية اقتصادية فان نظام TN يوفر تكلفة انشاء وصلة ارضي ذات ممانعة صغيرة في موقع كل واحد من المستهلكين.



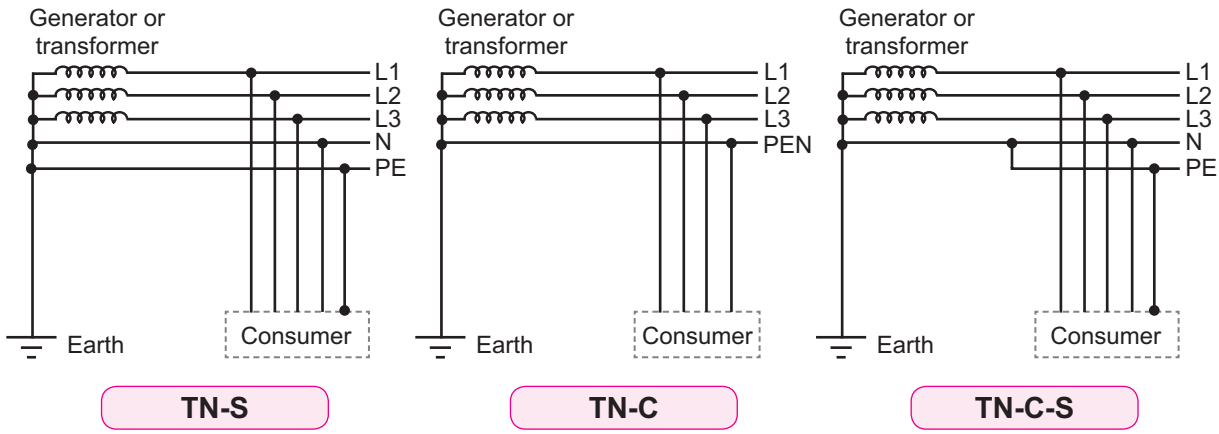
شكل: (٣-٢٦)

ويندرج تحت نظام TN ثلاثة أنظمة فرعية كما هو موضح في الشكل (٣-٢٧) وهي:

أ **TN-S** : وفيه خط الوقاية (PE) والتعادل (N) عبارة عن خطين منفصلين ولا يتصلان مع بعضهما البعض إلا عند مصدر الطاقة والحرف S يعني Separate أي منفصل.

ب **TN-C** : وفيه خط الوقاية والتعادل مجتمعان في خط واحد يطلق عليه خط PEN ، من ناحية اقتصادية فان هذا يعني تقليل عدد الموصلات، وللتقليل . من خطر انقطاع خط التعالدل N يتم استخدام نوع خاص من الكيبلات وتوصيل متعدد مع الأرض في نقاط مختلفة من الشبكة، والحرف C يعني Connected أي متصل.

ج **TN-C-S** : وهذا النوع يجمع بين النظامين السابقين حيث أن خط الوقاية والتعادل مجتمعان في خط PEN (يحصل عادة في المسافة بين المحطة الفرعية حتى مدخل البناية) ويتم فصلهما عند مدخل البناية التي تحتوي الأحمال إلى خطين مستقلين (خط الوقاية وخط التعادل) . في بريطانيا يعرف هذا النظام أيضا باسم Protective multiple earthing (PME) ويعود سبب التسمية لان خط PEN يتم توصيله بالأرض في مواقع مختلفة للتخفيف من خطر حدوث انقطاع في خط التعادل ، ويستخدم هذا النظام في معظم البيوت الحديثة في اوروبا في الوقت الحاضر.



شكل : (٣-٢٧)

٢ نظام TT:

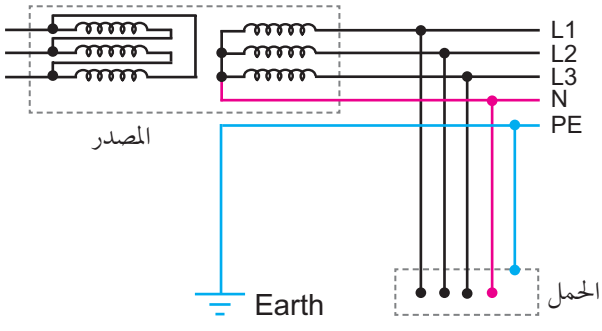
في هذا النظام يوصل المصدر بالأرض مباشرة، أما الحمل فيوصل بالأرض من خلال وصلة أرضي خاصة به مستقلة ومعزولة عن المصدر، كما هو موضح في الشكل (٣-٢٨)، وهذا النظام هو المطبق في بلادنا .

٣ نظام IT:

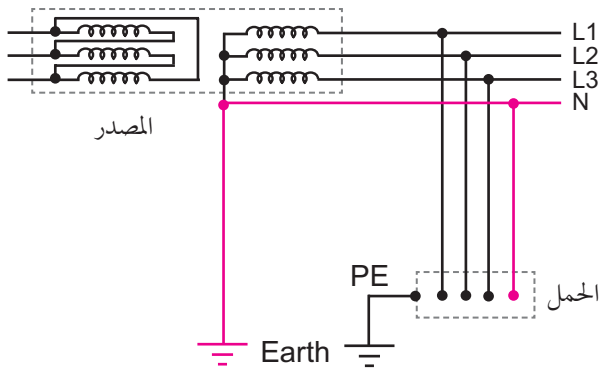
في هذا النظام تكون شبكة التوزيع معزولة نهائيا عن الأرض، أو تتصل بالأرض من خلال وصلة ذات ممانعة عالية، أما الحمل فيتم توصيله بالأرض من خلال وصلة تاريض مستقلة كما هو موضح في الشكل (٣-٢٩) .

ويستخدم هذا النظام في الأماكن التي تحتوي على أجهزة ومعدات حساسة وباهظة الثمن مثل الأجهزة الطبية وغرف المختبرات حيث يؤدي حدوث خلل في العازلية في هذه الأماكن إلى خسائر اقتصادية كبيرة، وقد يستخدم محول عزل اضافي لزيادة الحماية والأمان .

نظام TT و IT يتطلب استخدام قواطع التسرب الأرضي RCD لتوفير الحماية والأمان في جهة المستهلك .



شكل : (٣-٢٩)



شكل : (٣-٢٨)

أسئلة الوحدة:

١ املأ الفراغات فيما يلي :

أ يعتبر المصهر احد عناصر . . . . . .

ب كلما زادت مساحة سلك المصهر كلما . . . . . قيمة التيار المقرر له .

جـ القاطع المخصص لحماية الأشخاص من الصعقات الكهربائية هو . . . . . .

د القواطع المقولبة لها مقررات تيارية . . . . . من القواطع المصغرة .

هـ في القواطع الآلية يكون تيار الفصل الحراري . . . . . من تيار الفصل المغناطيسي .

و يتم إخماد (إطفاء) القوس الكهربائي المتولد داخل القاطع الآلي بواسطة . . . . . .

ز يستخدم . . . . . لتخفيض قيمة التيار الكهربائي من اجل قياسه .

ح لوحة المفاتيح تقوم بتوزيع التيار الكهربائي إلى لوحات . . . . . .

ط يستخدم جهاز التيار ألفرقي في نظامي التأريض . . . . . و . . . . . .

٢ بالرجوع إلى الشكل (٣-٣٠) اجب عما يلي :

شكل (٣-٣٠)

أ نوع الجهاز : . . . . . .

ب التيار المقرر = ... أمبير .

جـ التيار اللحظي = ... أمبير .

د سعة تيار القصر = ... أمبير .

هـ الجهد المقرر = ... فولت .

و قيمة التيار ألفرقي = ... أمبير .

ز عدد الاقطاب = ...

ح ما المقصود بعبارة TEST MONTHLY؟

٣ عرف ما يلي :

أ الانتقائية او التمييز .

ب قضيب اوميجا .

جـ اللوحة الكهربائية .

٤ إذا أردنا تشغيل محرك كهربائي قدرته ٢٠ حصان يعمل على نظام ثلاثي الطور . احسب كل من : تيار الحمل ، مساحة مقطع الكابل اللازم للتوصيل ، وقيمة التيار المقرر لقاطع الحماية .
مع الأخذ بعين الاعتبار توضيح طريقة التشغيل المناسبة .

الوحدة ٤

دوائر التحكم

الوحدة الرابعة: دوائر التحكم Control Circuits:

الدرس الأول: أساسيات التحكم الكهروميكانيكية Control Circuits:

مقدمة:

توجد أنواع مختلفة من دوائر التحكم والتنظيم الكهربائي تدخل في مجالات كهربائية والكترونية متعددة، كدوائر تنظيم جهد الخرج من المولد في محطة توليد كهربائية وجهد الخرج من مولد السيارة إلى البطارية وغيرها، كما توجد أجهزة تحكم وتنظيم كهربائية ميكانيكية تعمل في مجالات التدفئة والتبريد والتكييف والضغط وغيرها.

يستخدم في دوائر التحكم ما يسمى بالقواطع المغناطيسية (contactors) وهي عبارة عن جهاز فصل ميكانيكي مغناطيسي مصمم للقيام بعدة عمليات، يتم تشغيله ليس فقط بواسطة اليد وإنما عن بعد بواسطة ضواغط، يستطيع التحكم بوصل وقطع التيار في ظروف طبيعية وغير طبيعية.

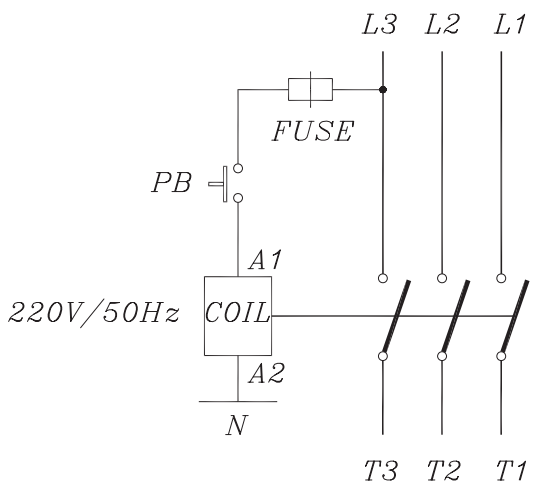
تختلف القواطع المغناطيسية عن بعضها البعض باختلاف عدد الأقطاب فقد يكون قطب واحد، اثنان، ثلاثة، أو أربعة وهكذا.

تتم إضافة أقطاب أخرى عن طريق قطع مساعدة تسمى (Auxiliary Poles) تكون هذه الأقطاب معزولة عن بعضها البعض ومصممة لتعمل بنفس الوقت بطريقة ميكانيكية.

مبدأ عمل القاطع المغناطيسي:

عند مرور تيار كهربائي في ملف فإنه يولد مجال مغناطيسي يؤثر على ملامسات القاطع المغناطيسي فتجذب مع بعضها البعض محدثه اتصال في الدائرة الكهربائية، مصممة داخلياً لتتحرك مع بعضها البعض عن طريق ذراع يربط فيما بينها، كما في الشكل (١).

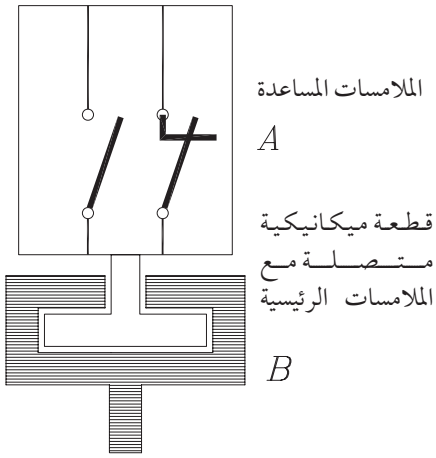
الملامسات الرئيسية: أقطاب منفصلة عن بعضها البعض موجودة داخل القاطع الرئيسي تعمل على فصل ووصل التيار في آن واحد.



شكل (١): قاطع مغناطيسي ذو ثلاثة أقطاب

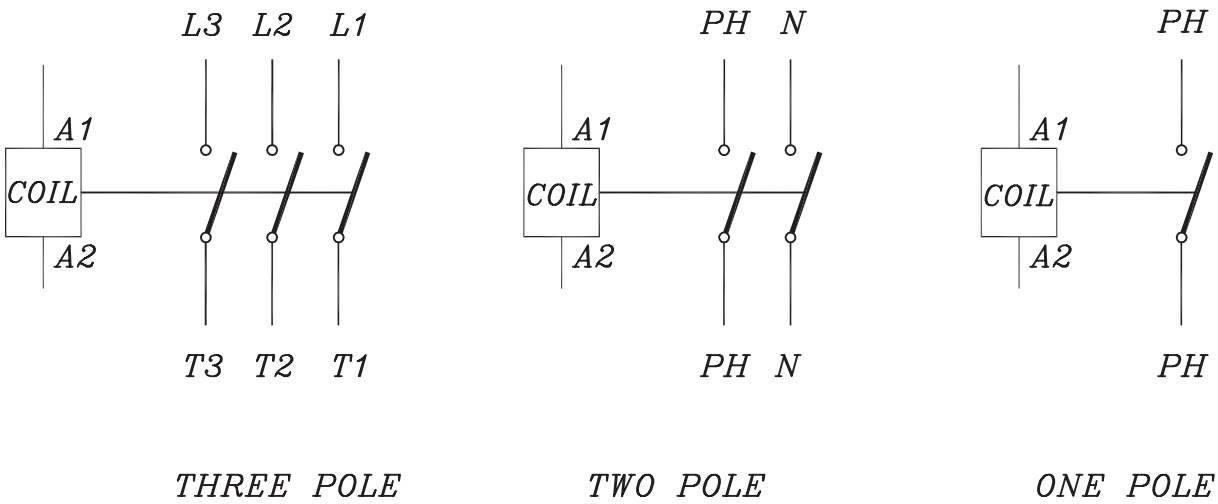
الملامسات المساعدة: عبارة عن أقطاب إضافية توصل بطريقة ميكانيكية مع الأقطاب الرئيسية كما في الشكل (٢):

عند وصول التيار الكهربائي للملف يتولد مجال مغناطيسي يقوم بجذب الأقطاب الرئيسية فتعمل على ايصال التيار الكهربائي وبالتالي تندفع الوصلة (B) إلى أسفل بفعل قوة الجذب فتسحب معها الوصلة (A) والتي يدورها متصلة مع الأقطاب المساعدة فتتبدل حالة هذه الأقطاب.



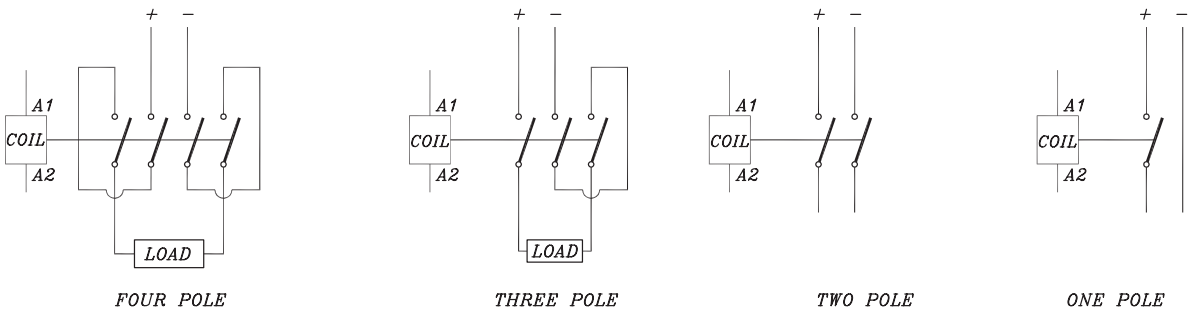
شكل (٢): الوصلة الميكانيكية للأقطاب المساعدة مع القاطع الرئيسي

أمثلة على القواطع المغناطيسية:



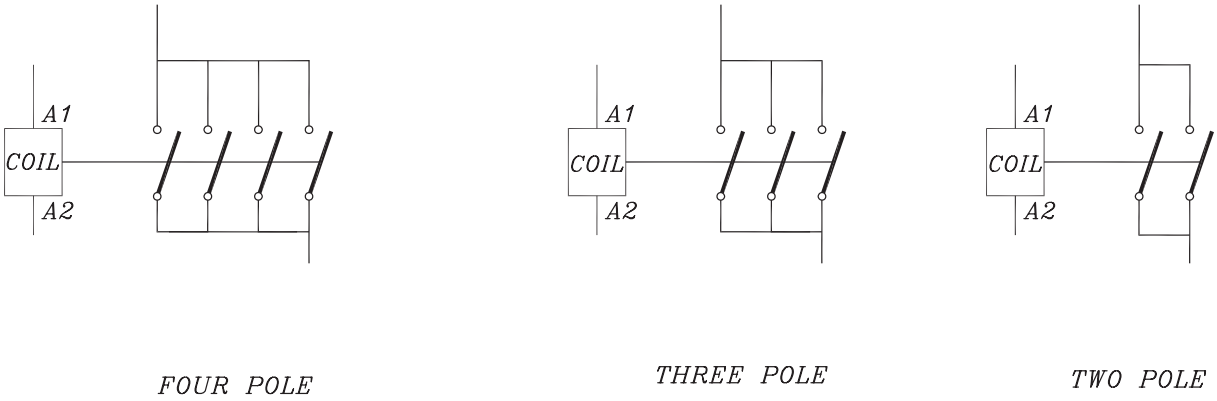
شكل (٣): قواطع مغناطيسية بأقطاب مختلفة

كما ويمكن توصيل الأقطاب على التوالي كما في الشكل (٤).



شكل (٤): توصيل أقطاب القواطع على التوالي

كذلك يمكن توصيل الأقطاب على التوازي لزيادة تيار التشغيل كما في الشكل (٥).



شكل (٥): توصيل الاقطاب على التوازي

يمكن زيادة عدد الأقطاب التي يتحكم فيها القاطع الرئيسي بإضافة أقطاب مساعدة أخرى حسب الحاجة، كذلك هناك بعض الدوائر الكهربائية يلزمها تحديد قيمة التيار المار وذلك بإضافة قاطع حراري للتيار الكهربائي (Thermal Over Loads) الذي يمكنه التحكم بقيم متغيرة وقيم محددة للتيار الكهربائي.

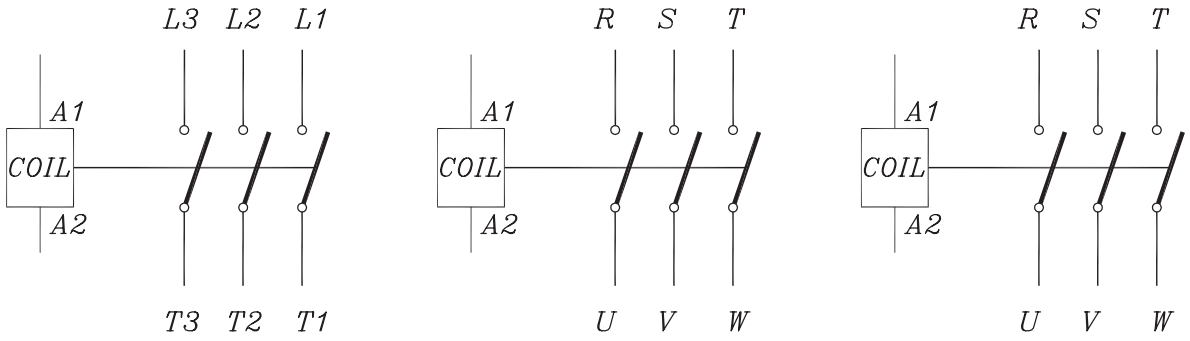
ويتم استخدام القاطع المغناطيسي في دوائر التحكم الرئيسية التالية:

١. مفتاح قلاب Change over Switch.
٢. توصيل مباشر Direct -on- Line.
٣. ستار–دلتا Star - Delta
٤. عكس اتجاه الدوران Reversing.
٥. تحسين معامل القدرة Power factor Correction.
٦. دوائر البدء للمحركات Starting Circuits.
٧. قواطع Relays.

وغيرها من الاستخدامات المتعددة للقواطع المغناطيسية حسب حاجة المصنع، المعصرة، المحددة، المنجرة، وكذلك طبيعة عمل الماكنات وعلاقتها مع بعضها البعض عند البدء بالعمل.

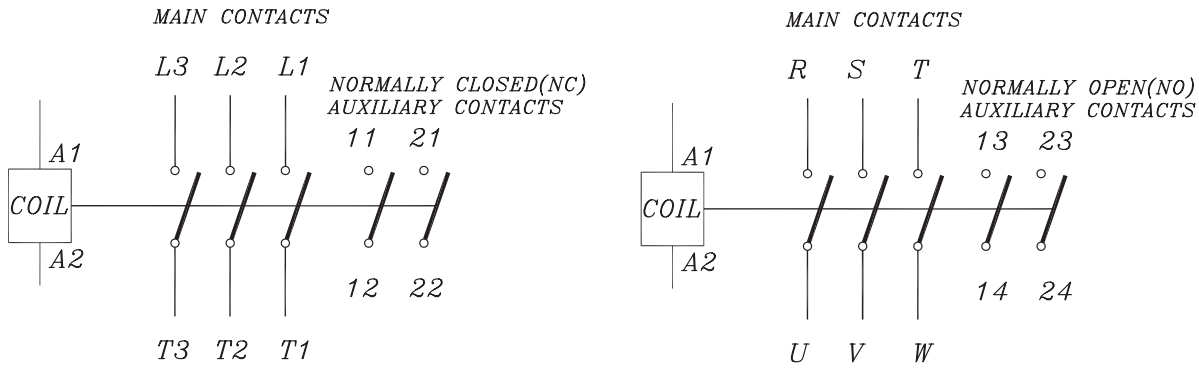
الأرقام والإختصارات المكتوبة على القواطع المغناطيسية.

١. **الأقطاب الرئيسية**: كما في الشكل (٦).



شكل (٦): ترقيم الأقطاب الرئيسية

٢ **الأقطاب المساعدة**: قد تكون مع القاطع الرئيسي أو يمكن إضافتها وتوصيلها بطريقة ميكانيكية إلى القاطع الرئيسي كما في الشكل (٧).



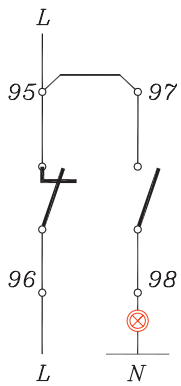
شكل (٧): ترقيم الأقطاب الرئيسية والمساعدة

٣ **الملف الرئيسي (Coil)**: الذي يعمل على جذب كافة تلامسات القاطع (الرئيسية والمساعدة) مع الإنتباه إلى جهد الملف.

٤ **القاطع الحراري Thermal over load**: يعمل على التحكم بقيمة تيار الحمل المتصل مع المصدر بحيث يعمل على فصل المصدر في حال زيادة قيمة التيار المار بسبب حدوث عطل أو خلل في الدائرة الكهربائية وله أقطاب يتم الاستفادة منها في عملية التحكم كما في الشكل (٨).

95-96 --- NC التوصيلة الرئيسية المسؤولة عن قطع التيار في الدائرة.

97-98 --- NO لتوصيل لمبة تحذير عند حدوث خلل في الدائرة.



شكل (٨): أقطاب القاطع الحراري

٥ ضواغط التشغيل والايقاف Push Buttons :

(1-2) ضاغط تشغيل أخضر [1] NO

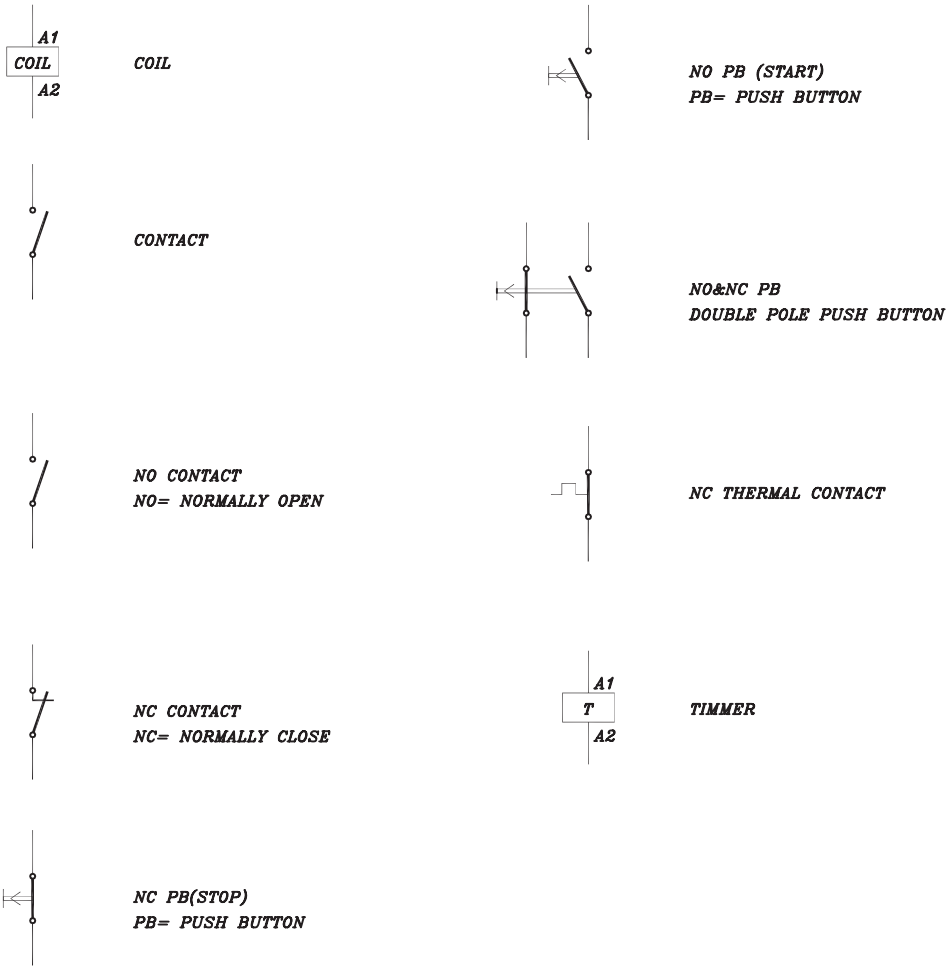
(3-4) ضاغط ايقاف أحمر [0] NC

شكل (٩): ضواغط التشغيل والايقاف

ملاحظة:

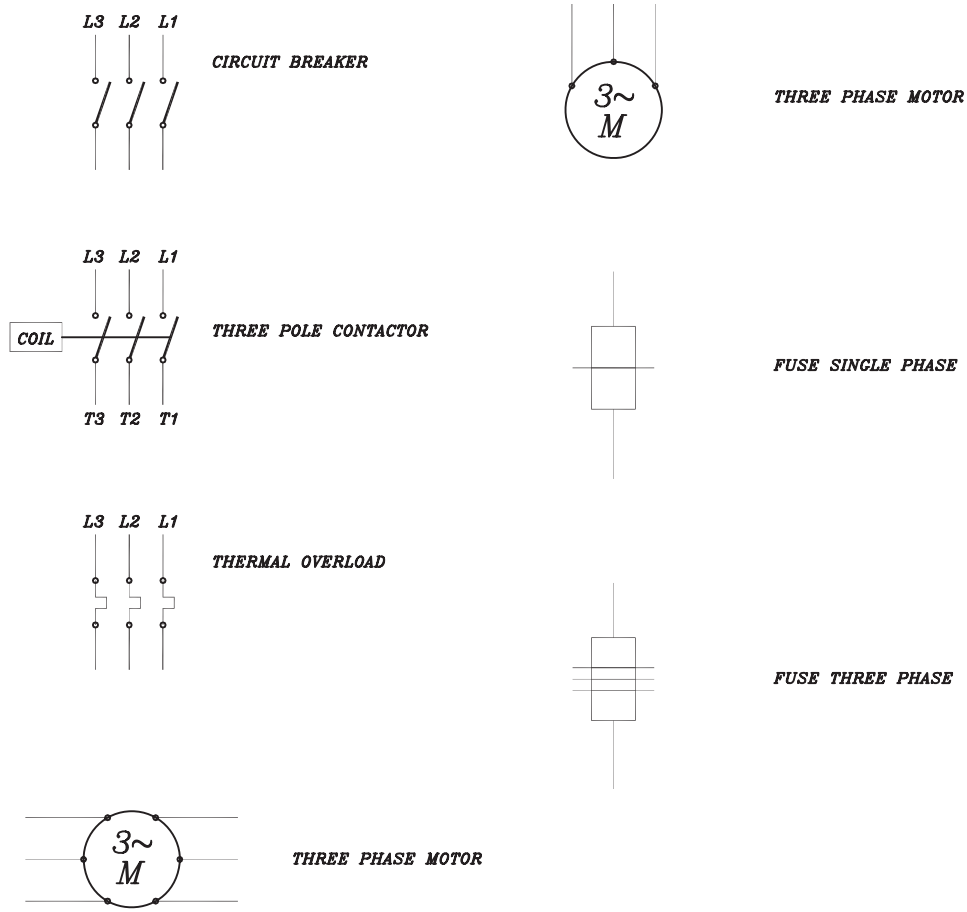
بالنسبة لجميع هذه الرموز والأرقام والاختصارات فهي موجودة على جميع القواطع باختلاف الشركة الصانعة، وكذلك باختلاف شكل القاطع ولذلك يجب أن يكون فني الكهرباء ملماً بهذه الأرقام والاختصارات .

الرموز المستخدمة في دوائر التحكم:



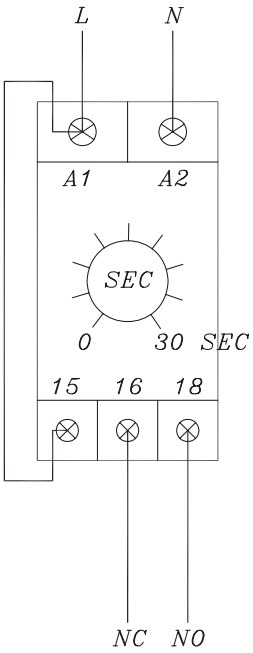
شكل (١٠): الرموز المستخدمة في دوائر التحكم

الرموز الثلاثية المستخدمة في دوائر التحكم:



شكل (١١): الرموز الثلاثية المستخدمة في دوائر التحكم

٦ المؤقت (Timer): هناك أنواع متعددة من المؤقتات الزمنية التي يتم استخدامها في دوائر التحكم تبعاً للفترة الزمنية المطلوبة ومن اكثرها شيوعاً المؤقت الذي يتم استخدامه في دائرة ستار-دلتا والتي لا تحتاج إلى فترة زمنية كبيرة للتحويل . إذ عند وصول التيار الكهربائي إلى ملف المؤقت يعمل المؤقت على توصيل التيار من النقطة (١٥) إلى النقطة (١٦) لأن القطب الواصل بين النقطتين مغلق وبعد مضي الوقت المطلوب يتم فصل التيار الكهربائي عن النقطة (١٦) ويتحول القطب الواصل بين النقطتين (١٥)، (١٨) إلى وضع الإغلاق مباشرة ويستمر مرور التيار الكهربائي طيلة فترة التشغيل من النقطة (١٨) . كما في الشكل (١٢) .



شكل (١٢): مؤقت زمني

تعيين قيمة تيار الفيوز وتيار وسيلة الحماية (Overload):

إن عملية ربط المحرك الكهربائي على الشبكة تمر من خلال ثلاث مراحل رئيسية :

أ الفيوزات الرئيسية أو القاطع الرئيسي .

ب القاطع المغناطيسي أو قاطع يدوي للتشغيل أو ستار–دلتا .

ج وسيلة الحماية ضد زيادة التيار (Overload) .

ولذلك يجب معرفة تيار المحرك إما عن لوحته أو عن طريق حساب التيار من قانون القدرة .

القدرة = الجهد x التيار x معامل القدرة

أما في حالة التيار ثلاثي الأوجه فإن :

القدرة = $\sqrt{٣}$ x جهد الخط x تيار الخط x معامل القدرة

كذلك يجب معرفة طريقة توصيل المحرك :

١ توصيل مباشر .

٢ توصيل عن طريق Y – Δ .

عند التوصيل المباشر يكون تيار بدء المحرك يساوي (٦) اضعاف تيار الحمل الكامل في بعض الحالات . وتيار وسيلة الحماية يساوي تيار الخط أما عند التوصيل بطريقة ستار– دلتا فإن تيار البدء للمحرك يساوي (٣–٢) أضعاف تيار الحمل الكامل وتيار وسيلة الحماية يساوي تيار الوجه ويتم معايرة تيار وسيلة الحماية في هذه الحالة حسب المعادلة التالية :

تيار وسيلة الحماية = 1.2x التيار المار من تلك الوسيلة

مثال:

محرك قدرته ٥ كيلوواط (5kw) يراد تشغيله بطريقة ستار–دلتا فما قيمة تيار القاطع الرئيسي وتيار وسيلة الحماية؟ مع العلم أن جهد الشبكة 380V ومعامل القدرة = ٠,٨ .

الحل:

$$W = \sqrt{3} \times V_L \times I_L \times \cos\theta$$

$$I_L = \frac{W}{\sqrt{3} \times V_L \times \cos\theta}$$

$$I_L = \frac{5000}{\sqrt{3} \times 380 \times 0.8}$$

$$I_L = 9.5A$$

١ تيار البدء Starting current

$$= (2\text{-}3) \times 9.5$$

٢ تيار وسيلة الحماية Over load current

$$I_{O.L} = 1.2 \times I_{ph}$$

$$I_{ph} = \frac{I_L}{\sqrt{3}} = \frac{9.5}{\sqrt{3}} = 5.5A$$

$$I_{O.L} = 1.2 \times 5.5 = 6.5A$$

٣ تيار مفتاح الصف أتوماتيك Circuit braker current

$$I_N = 2 \times 9.5 = 19A$$

$$I_N = 3 \times 20A$$

٤ مساحة مقطع الكابل Cable cross section

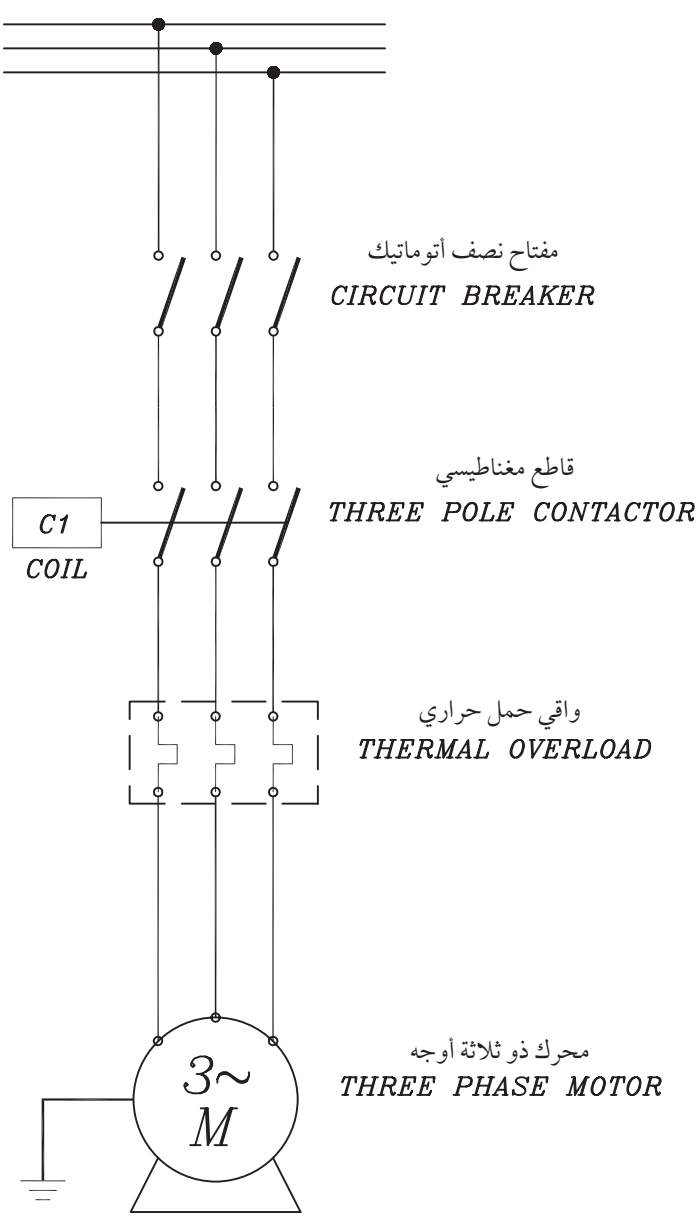
الحل من الجدول

$$5 \times 2.5\ mm^2$$

الدرس الثاني: رسم دوائر التحكم وتشغيل المحركات الكهربائية:

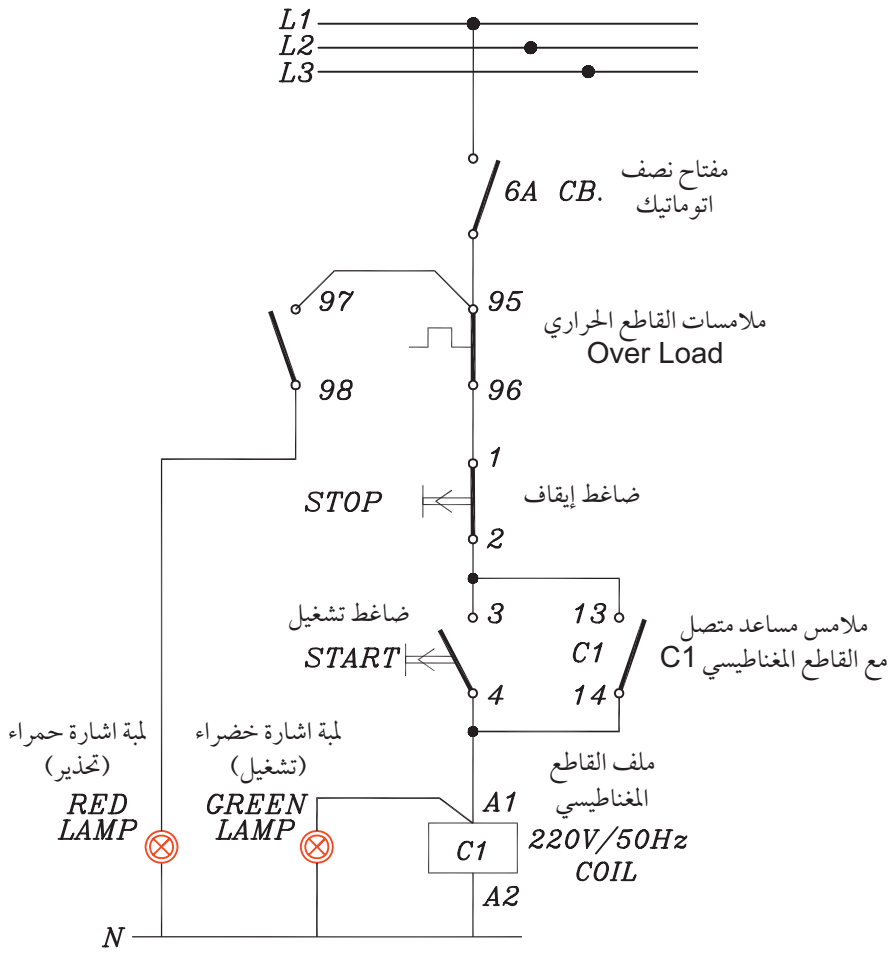
عند رسم تلك الدوائر نرسم دائرتين :

١ **دائرة القوة**: وتشمل القواطع الرئيسية والمغناطيسية ووسائل الحماية، كما في الشكل (١٣).



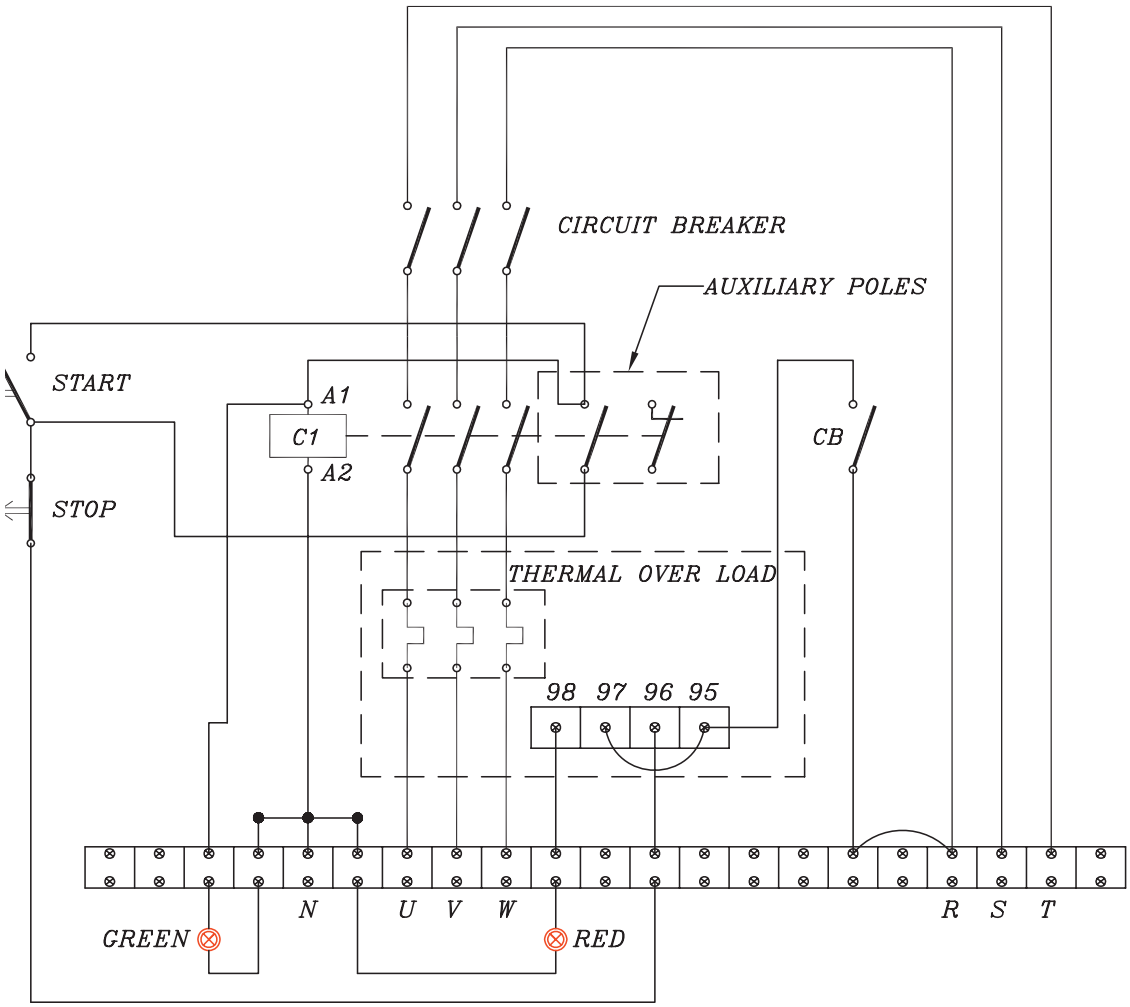
شكل (١٣): دائرة القوة (3 - Wire Diagram).

٢ **دائرة التحكم**: وتشمل الضواغط، لامبات الإشارة، وسائل الحماية وأية مفاتيح أخرى لازمة، كما في الشكل (١٤).



شكل (١٤): دائرة التحكم

٣ **دائرة التجميع (مخطط التجميع)** : حيث يبين دائرة التحكم ودائرة القوة ومكان تثبيت القطع على اللوحة وأرقام وأماكن الأسلاك وعظمات الوصل، كما في الشكل (١٥).



شكل (١٥) : دائرة التجميع في اللوحات الكهربائية

أسئلة الوحدة:

١ يراد تشغيل محرك كهربائي بإستخدام محطتا تشغيل (Start)، محطتا إيقاف (Stop) مع إضافة واقي حمل (Over Laod) لحمايه المحرك. أرسم دارة القدرة ، دارة التحكم؟

٢ تناول كتاب الجزء الأول بشيء من التفصيل مؤقت زمني ٢٤ ساعة، إستخدم هذا المؤقت لتشغيل محرك ثلاث ساعات يومياً. أرسم دارة التحكم؟

٣ لعكس إتجاه دوران محرك حثي ثلاثي الأطوار يتم ذلك بعكس أحد الأطوار حاول رسم دارة القوة، ودارة التحكم.