

آلات التيار المستمر والمحولات

المحولات ثلاثية الأوجه

المحولات ثلاثية الأوجه

الجدارة: معرفة نظرية عمل المحول الكهربائي ثلاثي الأوجه وتركيبه وطريقة توصيل الملفات، وكذلك مجالات الاستخدام وشروط توصيل المحولات على التوازي.

الأهداف: عندما تكتمل هذه الوحدة يكون لديك القدرة على:

١. معرفة نظرية عمل وتركيب المحول الكهربائي ثلاثي الأوجه.
٢. طرق توصيل الملفات.
٣. مجالات الاستخدام.
٤. شروط توصيل المحولات على التوازي.

مستوى الأداء المطلوب: أن يصل المتدرب إلى إتقان هذه الوحدة بنسبة ٨٥٪.

الوقت المتوقع للتدريب: ٩ ساعات.

الوسائل المساعدة: جهاز عرض (بروجيكتور).

متطلبات الجدارة: مقرر الدوائر الكهربائية والقياسات والوحدة الأولى والرابعة من هذا المقرر.

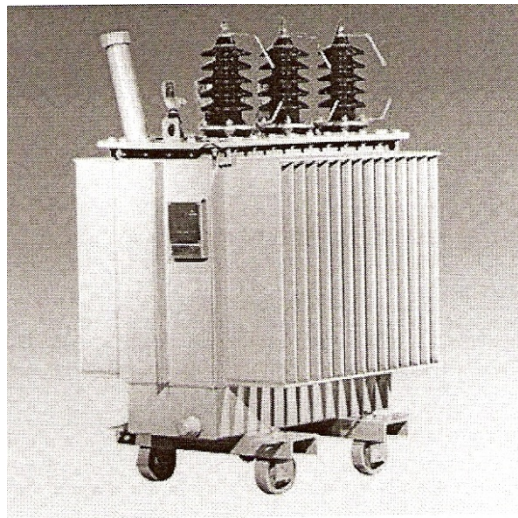
الوحدة الخامسة : المحولات ثلاثية الأوجه Three Phase Transformers

مقدمة:

يتم توليد القدرة الكهربائية عملياً باستخدام مولدات القدرة الكهربائية ثلاثية الأوجه (المولدات التزامنية)، ولذلك يتم نقل القدرة الكهربائية من محطات التوليد إلى المستهلكين أيضاً باستخدام دوائر ثلاثية الأوجه. ولاعتبارات اقتصادية يجب رفع الجهد عند محطات التوليد باستخدام محولات رفع ثلاثية الأوجه حيث يتم نقل القدرة عند الجهود العالية ثم خفض الجهد مرة أخرى إلى جهد التوزيع باستخدام محولات خفض ثلاثية الأوجه وتتم عملية خفض على مرحلة واحدة أو أكثر. وسنتناول في هذه الوحدة المحولات ثلاثية الأوجه والتي تستخدم في عملية رفع أو خفض الجهد الكهربائي في منظومات نقل وتوزيع القدرة.

٥- ١ تركيب المحول ثلاثي الأوجه

إذا تم توصيل ثلاثة محولات أحادية الوجه متماثلة كل منها ذو وجه واحد وتوصل معاً بطريقة خاصة فإنه يمكن الحصول على محول ثلاثي الأوجه. ويمكن الحصول على محول ثلاثي الأوجه مكون من قلب واحد وستة ملفات، ثلاثة منها تستخدم كملف ابتدائي ثلاثي الأوجه بينما تستخدم الثلاثة الأخرى كملف ثانوي ثلاثي الأوجه. ولا تختلف نظرية عمل المحول ثلاثي الأوجه عن المحول أحادي الوجه حيث تعتمد نظرية العمل على تغير المجال المغناطيسي المتشابك مع ملف والذي يتسبب في تولد قوة دافعة بالحث الكهرومغناطيسي. شكل ٥- ١ يعرض صورة لمحول ثلاثي الأوجه.

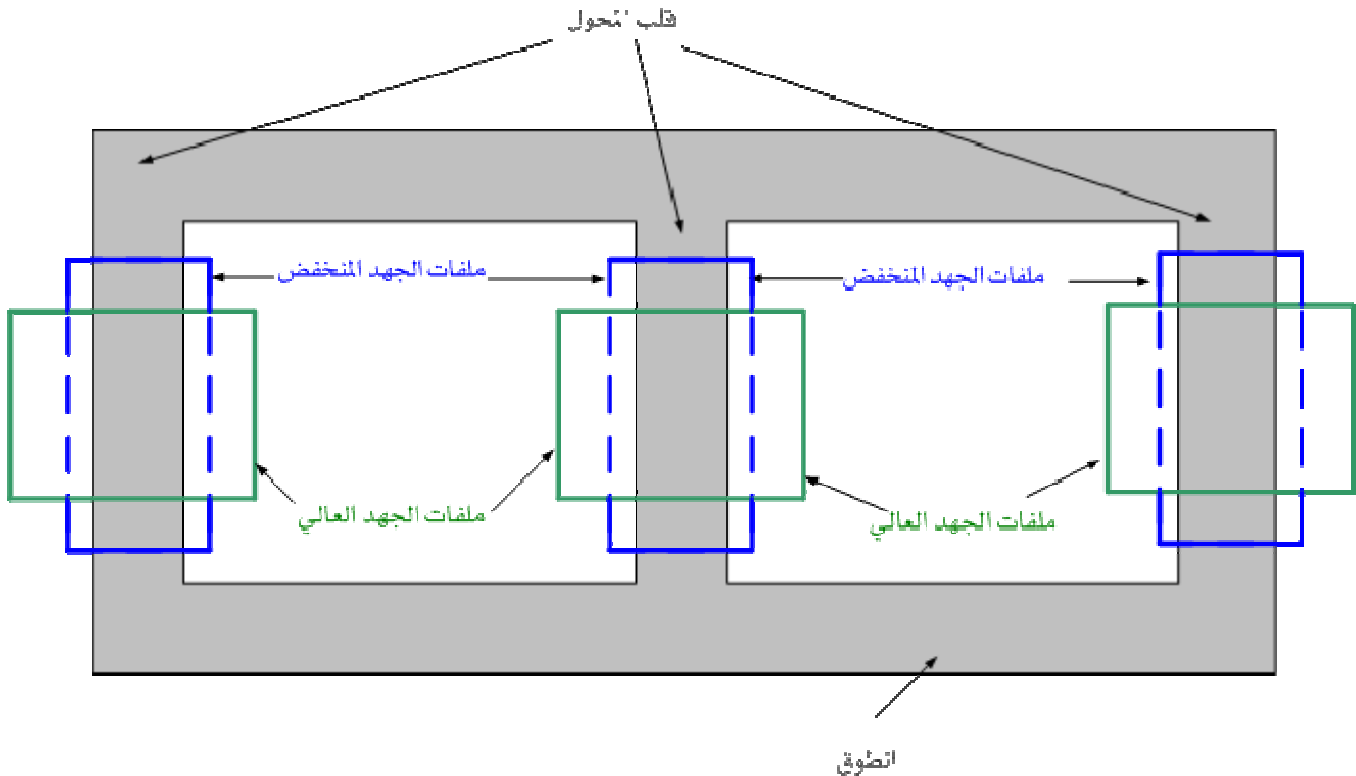


شكل ٥- ١ محول ثلاثي الأوجه

وكما أن نظرية العمل للمحول الحثي ثلاثي الأوجه هي نفسها نظرية العمل للمحول أحادي الوجه فإنه يمكن استنتاج الدائرة المكافئة لكل وجه في المحول ثلاثي الأوجه بنفس الطريقة مع مراعاة علاقات الجهد والتيار في الدوائر ثلاثية الأوجه وأيضا فإن الاختبارات التي تجرى للمحول ثلاثي الأوجه هي نفسها التي تجرى للمحول أحادي الوجه، و ينقسم المحول ثلاثي الأوجه مثل المحول الأحادي الوجه من حيث التركيب إلى نوعين وهما النوع القلبي والنوع الهيكل (القشري).

٥- ١- ١ النوع القلبي: Core type

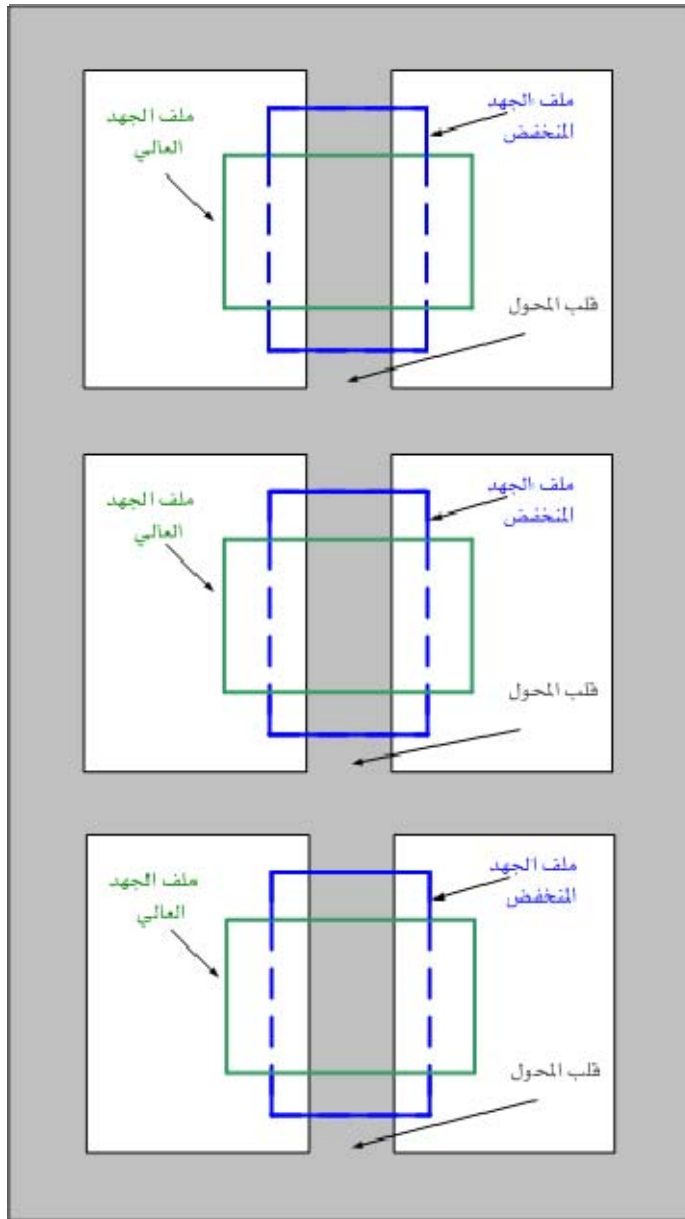
يستخدم النوع القلبي في محولات القدرة متوسطة الحجم والتي تتراوح قدراتها تقريبا بين ٥٠٠ kVA و ١٠٠ MVA. يوضح شكل ٥- ٢ محولاً قلبياً ثلاثي الأوجه، ويحتوي على ملف ابتدائي وملف ثانوي لكل وجه وملفوفين معا على نفس الساق، وتوصل الملفات ثلاثية الأوجه بطرق خاصة سوف تعرض في الفقرة القادمة.



شكل ٥- ٢ النوع القلبي

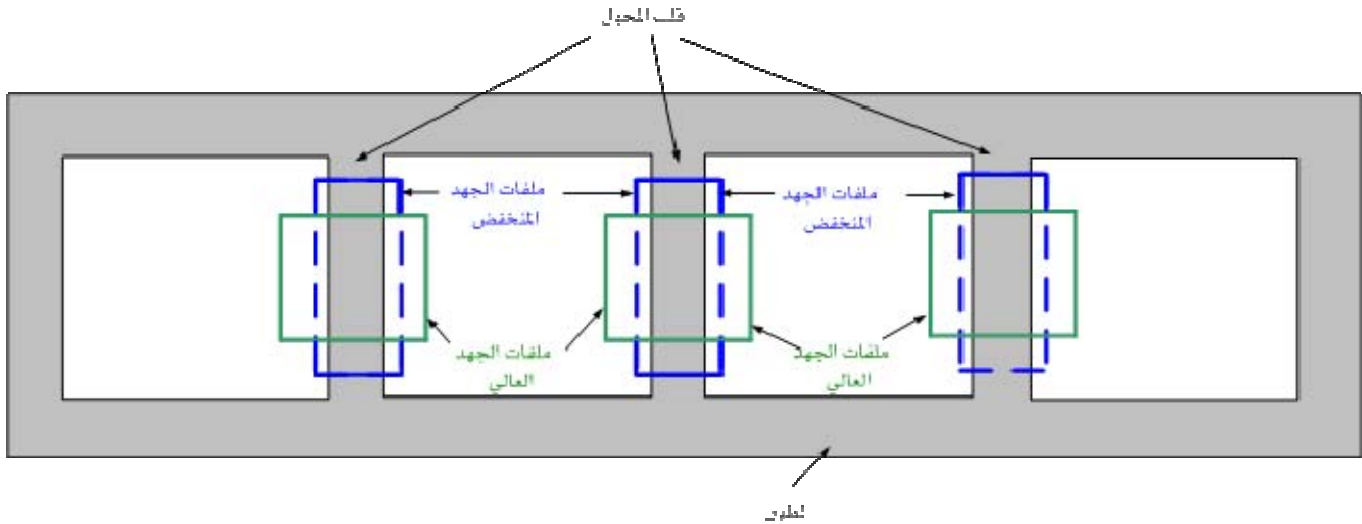
٥- ١- ٢ النوع الهيكلي (القشري): Shell type

يستخدم النوع الهيكلي في محولات القدرة كبيرة الحجم وذات القدرات العالية. يوضح شكل ٥- ٣ محولاً قشرياً ثلاثي الأوجه، ويحتوي على ملف ابتدائي وملف ثانوي لكل وجه ملفوفين معاً على نفس الساق، يبين شكل ٥- ٣ النوع الهيكلي لمحول ثلاثي الأوجه، حيث تلف ملفات الابتدائي والثانوي لكل وجه في القشرة الداخلية، وبالتالي فهو يشبه ثلاثة محولات أحادية من هذا النوع مرتبة في صف واحد.



شكل ٥- ٣ النوع الهيكلي (القشري)

وفي بعض محولات القوى الكبيرة القدرة تستخدم أحيانا محولاً قلبياً بخمسة أعضاء ويسمى باسم المحول ذو القلب والقشرة core and shell type transformer، وذلك بهدف خفض ارتفاع المحول وتقليل حجمة وتسهيل عملية نقله. شكل ٥ - ٤ يبين تكوين هذا المحول



شكل ٥ - ٤ محول ذو قلب وقشرة خمسة أعضاء

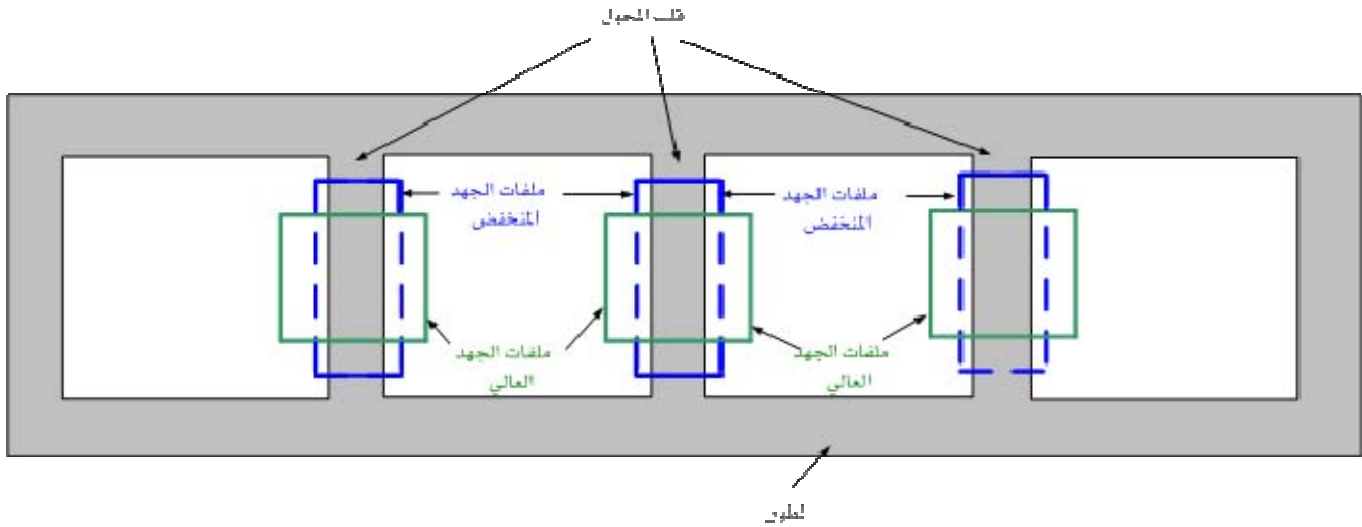
٥ - ٢ توصيل الملفات

توجد طرق كثيرة لتوصيل الملفات الابتدائية والملفات الثانوية وذلك للحصول على خواص تشغيل تلبي احتياجات الحمل الذي يعمل عليه المحول، ويخضع اختيار الطريقة التي يتم بها توصيل أطراف المحول لعوامل واعتبارات مختلفة كعوامل الإجهادات الميكانيكية التي تنشأ من المجالات الكهرومغناطيسية والتي تؤثر على هيكل وملفات المحول، وكذلك شدة العزل الكهربائي بالإضافة إلى خواص الشبكة مثل عدد الخطوط (ثلاثة أو أربعة). ومن هذه العوامل ما يعتمد على نوع الأداء المطلوب مثل منع التوافقية الثالثة أو الحصول على انحراف طوري معين (phase shift) إلخ. ويمكن تلخيص أهم الطرق الشائعة لتوصيل المحولات ثلاثية الأوجه كالتالي:

Star-Star	Y-Y	- توصيل الابتدائي نجمة - الثانوي نجمة
Delta-Delta	$\Delta-\Delta$	- توصيل الابتدائي دلتا - الثانوي دلتا
Star-Delta	Y- Δ	- توصيل الابتدائي نجمة - الثانوي دلتا
Delta-Star	Δ -Y	- توصيل الابتدائي دلتا - الثانوي نجمة

٥ - ٢ - ١ توصيل نجمة- نجمة Y-Y

يوضح شكل ٥ - ٥ طريقة التوصيل نجمة- نجمة، حيث توصل ملفات الابتدائي على شكل Y وتوصل ملفات الثانوي أيضاً على شكل Y.



شكل ٥ - ٥ توصيل Y-Y

وتتميز توصيلة النجمة- نجمة بالخواص التالية:

- تحتاج إلى عدد أقل من الملفات وأقل كمية عزل (حيث $V_{ph} = \frac{1}{\sqrt{3}} V_L$) كما تحتاج إلى أن تكون مساحة مقطع الملفات أكبر ($I_{ph} = I_L$) ولذلك فإن هذه التوصيلة تكون ملائمة من وجهة النظر الاقتصادية البحتة للمحولات ذات الجهد العالي والقدرات المنخفضة.
- الإجهادات الكهربائية على عوازل الملفات تكون أقل مايمكن حيث يهبط الجهد من قيمة جهد الوجه عن طرف الملف إلى صفر عند نقطة التعادل.
- تتحمل ملفات المحول الموصل نجمة- نجمة إجهادات ميكانيكية عالية بسبب كبر مساحة مقطعها وقلة عددها.
- يتيح وجود نقطة تعادل على جانبي المحول عملية التأريض ووجود منظومة من أربعة أسلاك.
- في هذا النوع من التوصيل، لا يوجد مسار مغلق للتوافقية الثالثة في التيار (Third-harmonic) حيث إن نقطة التعادل معزولة، وبالتالي يحتوي تيار المغنطة على التوافقية الثالثة بالإضافة إلى الموجة الأساسية، ويعمل هذا على تشوه شكل موجة الجهد مما ينتج عنه ضجيج يؤثر على خطوط الاتصالات. ولهذا السبب لا يستخدم هذا النوع من التوصيل إلا في حالات خاصة.

ج. تحسب نسبة التحويل بين الملف الابتدائي والملف الثانوي بنسبة جهد الوجه على كل منهما فتكون:

$$\frac{V_1/\sqrt{3}}{V_2/\sqrt{3}} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

يتبن لنا مما سبق أن استخدامات المحول نجمة- نجمة محدودة ولأغراض معينة مثل محولات القدرة الصغيرة أو بغرض ربط منظومتى دلتا معا وإيجاد خط تعادل لهما. وقد يستعمل في محولات النقل الكبيرة بشرط أن يكون من النوع القلبي ولا تستعمل المحولات القشرية لأنها تتسبب في وجود التوافقية الثالثة وخروجها على الخط.

مثال ٥- ١

احسب نسبة التحويل لمحول ثلاثي الأوجه من نوع نجمة/نجمة يربط بين دائرتي جهد الخط لهما ٦٦ كيلوفولت و ٦,٦ كيلوفولت. ثم احسب التيار في دائرة ملف الجهد العالي إذا كان المحول يغذي حملاً قدره ١٠٠٠ كيلوفولت- أمبير عند جهد ٦,٦ كيلوفولت

الحل

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{66000}{6600} = \frac{10}{1}$$

$$S = \sqrt{3} V_r I_r$$

$$I_r = \frac{1000000}{\sqrt{3} \cdot 6600} = 17,477$$

Amp.

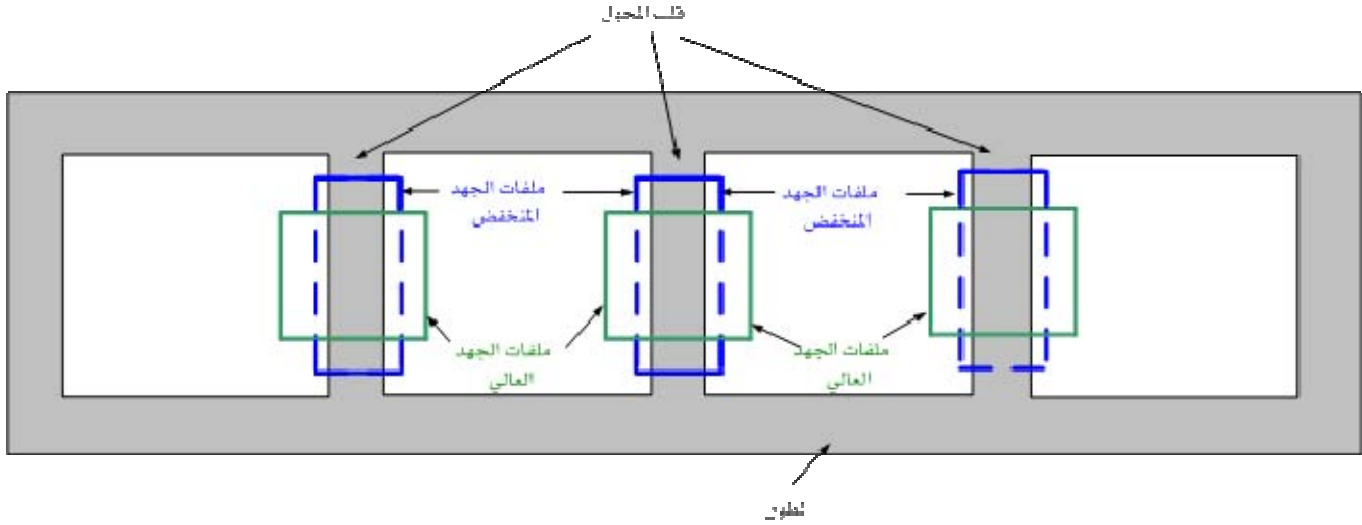
$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{I_1}{87.477} = \frac{10}{1}$$

$$I_1 = 1,744$$

Amp.

٥- ٢- ٢ توصيل دلتا- دلتا Δ-Δ

في هذا النوع من التوصيل، يوصل كل من ملفات الابتدائي والثانوي على شكل دلتا، كما هو موضح في شكل ٥- ٦. حيث توصل نهاية كل ملف ببداية الملف الآخر وينطبق هذا على كل من الملف الابتدائي والملف الثانوي.

شكل ٥ - ٦ توصيل Δ - Δ

ويمتاز هذا النوع من التوصيل بالخواص التالية:

- أ. تحتاج توصيلة الدلتا إلى عدد أكبر من اللفات وأكبر كمية من مواد العزل حيث أن جهد الخط يساوي جهد الوجه ($V_{ph} = V_L$) كما تحتاج إلى أن تكون مساحة مقطع الملفات أقل حيث ($I_{ph} = \frac{1}{\sqrt{3}} I_L$) ولذلك فإن هذه التوصيلة تكون ملائمة من وجهة النظر الاقتصادية البحتة للمحولات ذات الجهود المنخفضة والتيارات العالية.
- ب. تعتبر المحولات الموصلة دلتا - دلتا أضعف المحولات من حيث قدرتها على تحمل الإجهادات الميكانيكية بسبب صغر مساحة المقطع وكثرة عدد اللفات.
- ت. الإجهادات الكهربائية على عوازل الملفات تكون أكبر نظراً لأن جهد الخط يساوي جهد الوجه.
- ث. من خصائص توصيلة الدلتا عدم وجود نقطة التعادل وعلى ذلك فإنها لا تصلح بمفردها لإمداد منظومة من أربعة أسلاك إلا باستعمال أجهزة تأريض مساعدة.
- ج. لا تحتوي توصيلة الدلتا على التوافقية الثالثة
- ح. تحسب نسبة التحويل بين الملف الابتدائي والملف الثانوي بنسبة جهد الوجه على كل منهما فتكون:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

يتبن لنا مما سبق أن استخدامات المحول دلتا- دلتا محدودة نظراً لعدم وجود نقطة تعادل طبيعية وصعوبة عملية التأسيس، ومع ذلك من الممكن استخدامها في بعض التطبيقات لتغذية أحمال كبيرة وغير متزنة

مثال ٥- ٢

محول ثلاثي الأوجه من نوع دلتا/دلتا يغذي حمل جهده ١٣,٨ كيلو فولت بتيار قدرة ١٥٠ أمبير. احسب الجهد في الجانب الابتدائي ثم احسب التيار المار في ملفات المحول الابتدائية والثانوية وكذا تيار الخط في الجانب الابتدائي إذا كانت نسبة التحويل ٤,٧٨٢٦

الحل

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{V_1}{13800} = 4,7826$$

$$V_1 = 77 \text{ kV}$$

$$I_{ph} = \frac{I_2}{\sqrt{3}} = \frac{150}{\sqrt{3}} = 86,6 \text{ Amp.}$$

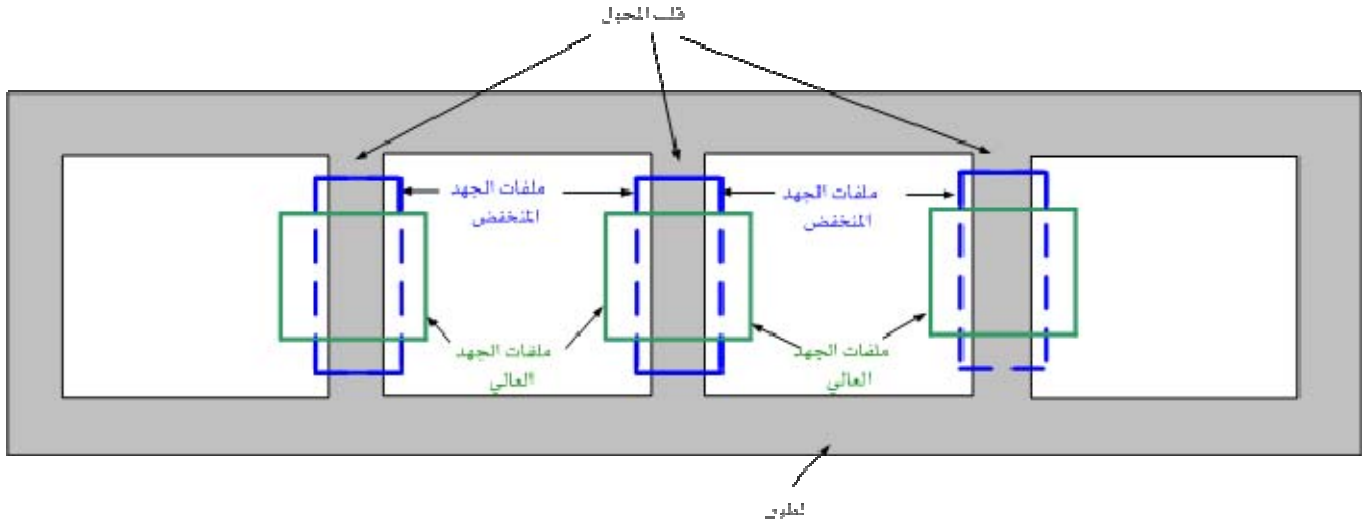
$$\frac{I_{1ph}}{I_{2ph}} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{I_{1ph}}{86,6} = \frac{1}{4,7826} \text{ Amp.}$$

$$I_{ph} = 18,11 \text{ Amp.}$$

$$I_1 = I_{ph}\sqrt{3} = 31,36 \text{ Amp.}$$

٥- ٢- ٣ توصيل نجمة- دلتا Y-Δ

يتم في هذه الطريقة توصيل ملفات الابتدائي على شكل نجمة أما ملفات الثانوي فتوصل دلتا كما هو موضح في شكل ٥- ٧.



شكل ٥ - ٧ توصيل نجمة - دلتا

وتتميز توصيلة نجمة - دلتا بالخواص التالية:

- أ. توصيلة دلتا للملف الثانوي تنشئ مساراً للتوافقيات مما يؤدي إلى عزل التوافقية الثالثة عن الخطوط الموصلة بهذا الملف
- ب. إمكانية تأريض نقطة التعادل على الجانب الابتدائي
- ت. يعمل ملف الدلتا في الجانب الثانوي على استقرار نقطة التعادل في الملف الابتدائي.
- ث. يمكن دائماً توصيل أي محولين نجمة - دلتا على التوازي.
- ج. يعتبر التوصيل نجمة - دلتا أحسن توصيل مرغوب فيه عند استعمال محولات خفض الجهد في منظومات نقل القدرة على الجهود الفائقة وكذلك في المحولات الضخمة
- ح. تحسب نسبة التحويل بين الملف الابتدائي والملف الثانوي بنسبة جهد الوجه على كل منهما فتكون:

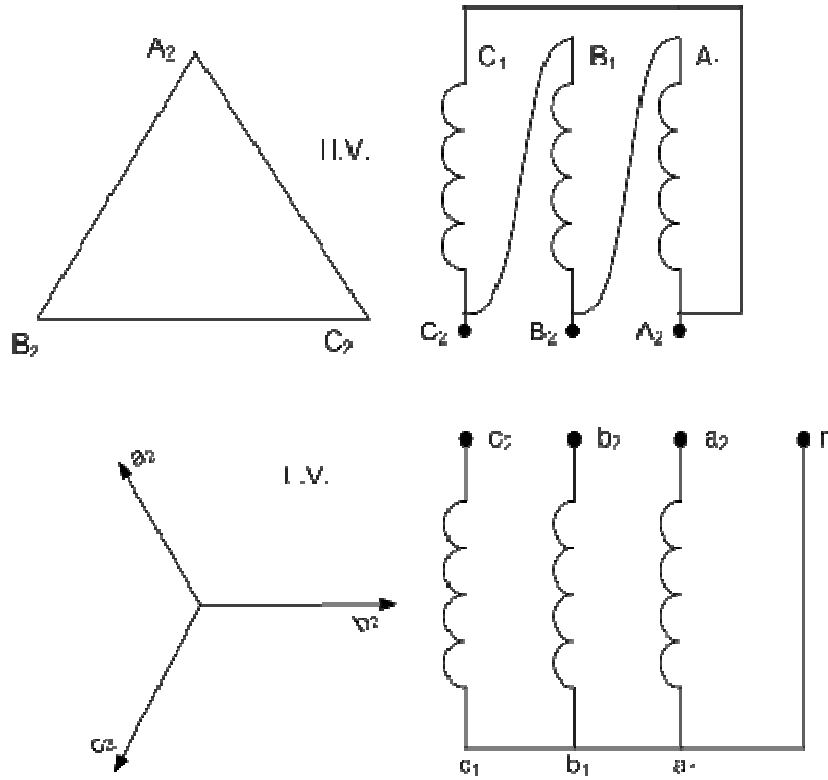
$$\frac{V_1/\sqrt{3}}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} \Rightarrow \frac{V_1}{V_2} = \frac{\sqrt{3}N_1}{N_2}$$

$$\frac{I_2/\sqrt{3}}{I_1} = \frac{N_1}{N_2} \Rightarrow \frac{I_2}{I_1} = \frac{\sqrt{3}N_1}{N_2}$$

٥ - ٢ - ٤ توصيل دلتا - نجمة Y-Δ

في هذه الحالة توصل ملفات الابتدائي على شكل دلتا وملفات الثانوي توصل نجمة. ويوضح شكل

٥ - ٨ طريقة التوصيل في هذه الحالة.



شكل ٥- ٨ توصيل دلتا - نجمة

وتتميز توصيلة الدلتا - نجمة بالخصائص التالية:

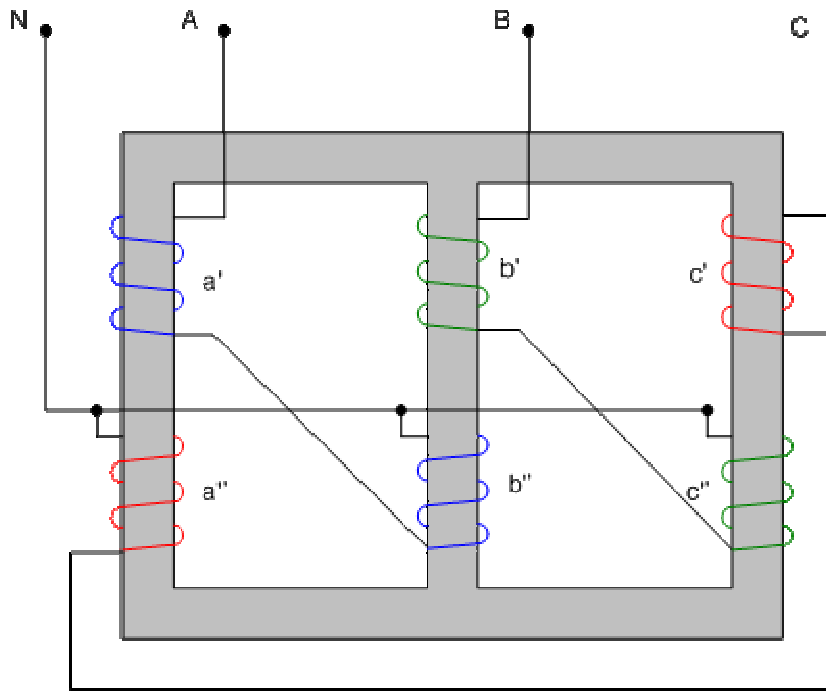
- أ. نظراً لوجود ملفات الدلتا على الجانب الابتدائي فإن ذلك يؤدي إلى عزل التوافقية الثالثة على الخطوط الموصلة بهذا الجانب
- ب. إمكانية تأريض نقطة التعادل على الجانب الثانوي وعلى ذلك يمكن إمداد حمل غير متماثل بأربعة أسلاك دون أن يحدث ذلك تغيرات كبيرة في الجهود حيث تتناسب تلك الجهود مع معاوقات المحول فقط بسبب وجود ملفات الدلتا في الجانب الابتدائي
- ت. عدم وجود نقطة التعادل في جانب الدلتا لاعتبار عيباً لأن هذا الجانب يوصل عادة بالمولد الذي تكون نقطة تعادله مؤرضة دائماً.
- ث. يفضل عدم استخدامه كمحول خفض أو في المحولات الصغيرة بسبب ضعف ملفات الدلتا الميكانيكي.
- ج. يعتبر محول الدلتا - نجمة أفضل محول رفع في منظومات النقل ومنظومات التوزيع الكبيرة.
- ح. تحسب نسبة التحويل بين الملف الابتدائي والملف الثانوي بنسبة جهد الوجه على كل منهما فتكون:

$$\frac{V_1}{V_2/\sqrt{3}} = \frac{N_1}{N_2} \Rightarrow \frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{\sqrt{3}N_2}$$

$$\frac{I_2}{I_1/\sqrt{3}} = \frac{N_1}{N_2} \Rightarrow \frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{\sqrt{3}N_2}$$

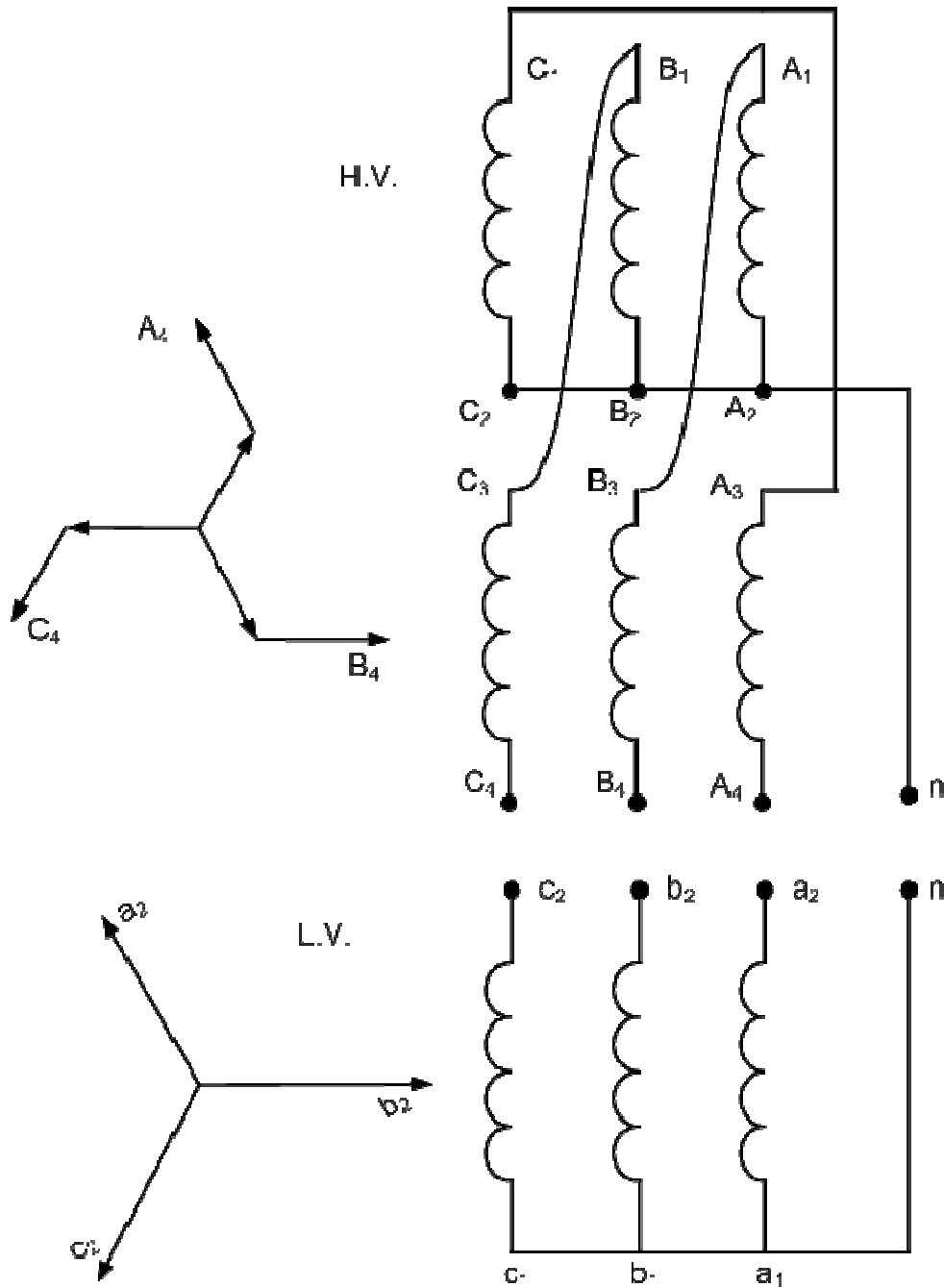
٥- ٣. محول الزجراج

محولات الزجراج هي محولات يكون أحد جانبيها (الابتدائي) أو الثانوي إما موصلاً نجمة أو دلتا بينما يتم تقسيم ملفات الجانب الآخر كل ملف إلى نصفين موصلين على التوالي، ويتم التوصيل بين الملفات كما في شكل ٥- ٩ ويتم الربط بين الملفات بحيث يمكن الحصول على نقطة تعادل.



شكل ٥- ٩ توصيل ملفات المحول بطريقة الزجراج

وباستخدام محول الزجراج يمكن الحصول على العديد من التوصيلات مثل (دلتا- زجراج) و(زجراج- دلتا) و(نجمة- زجراج) و(زجراج- نجمة) وكل من هذه التوصيلات له ما يميزه من خصائص. يبين شكل ٥- ١٠ طريقة توصيل محول زجراج- نجمة وكذلك مخطط المتجهات المناظر.



شكل ٥- ١٠ توصيلة زجراج- نجمة

٥- ٣. توصيل المحولات الثلاثية على التوازي

٥- ٤- ١ مخطط المتجهات المجموعة المتجهه Phasor diagram-Vector group

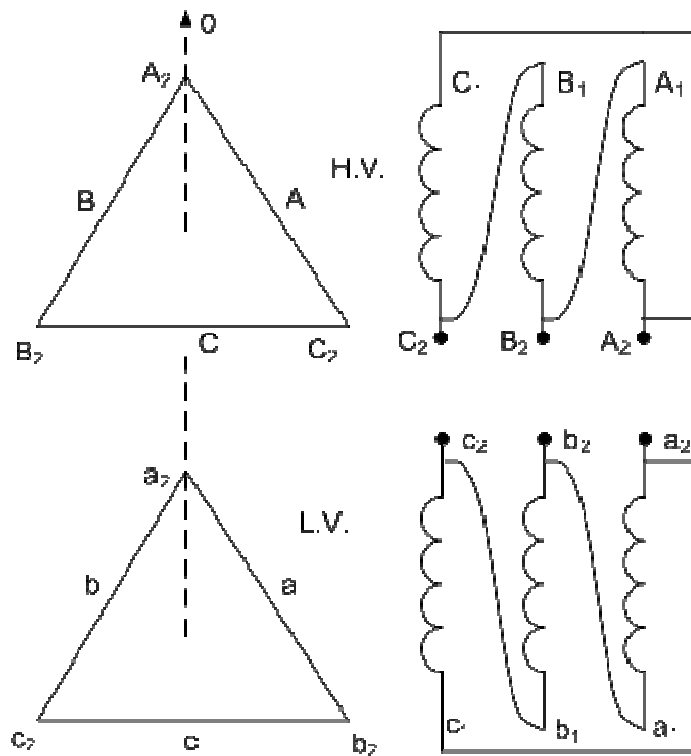
مخطط المتجهات phasor diagram هو رسم يبين وضع جهود الوجه على جانبي المحول بالنسبة لبعضها البعض، حيث تتولد في كل وجه في ملفات الملف الابتدائي والملف الثانوي قوة دافعة تأثيرية، فقد يكون الجهدان التأثيريان المتولدان على نفس القلب في نفس الاتجاه (زاوية طور بينهما صفر) ومن

الممكن أن تكون زاوية الطور بينهما 180° ويمكن القول بأنه تظهر إزاحة طورية بين أطراف الملف الابتدائي والملف الثانوي تتراوح بين صفر و 360° على خطوات كل منها 30° وتعتمد هذه الإزاحة على طريقة اللف وطريقة التوصيل بين أطراف المحول.

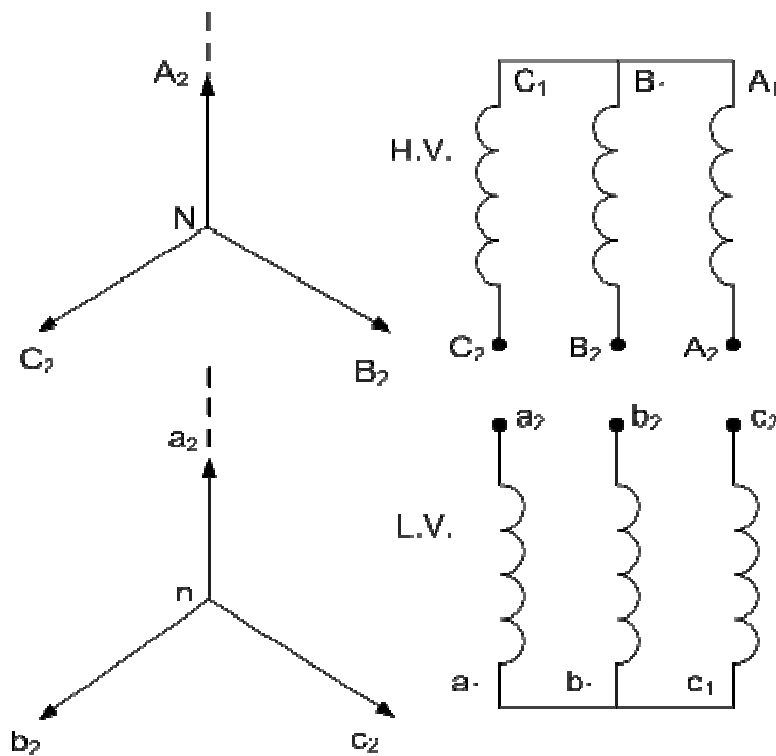
يتفق المهندسون على إعطاء كل جانب من ملفي المحول رمزاً يتكون من حرف ورقم بحيث يدل الحرف على طريقة التوصيل (دلتا - نجمة - زجراج) بينما يدل الرقم على مضاعفات الزاوية 30° التي يسبق بها متجه جهد الوجه الابتدائي جهد الوجه الثانوي بغض النظر عن طريقة التوصيل وقيمة الجهد، كما اتفق المهندسون على أن الرمز الكبير يعبر عن ملفات الجهد العالي بينما يعبر الرمز الصغير عن ملفات الجهد المنخفض. وعلى سبيل المثال فإن الرمز $Dz0$ تعني أن ملفات الملف الابتدائي (ملفات الجهد العالي في هذه الحالة) موصلة دلتا وأن ملفات الملف الثانوي (ملفات الجهد المنخفض في هذه الحالة) موصلة زجراج وأن الزاوية بين الجهد التأثري في الملفات الابتدائية والجهد التأثري في الملفات الثانوية مساوية للصفر، وهكذا. وعلى أي حال يمكن تلخيص أشهر التوصيلات في أربع مجموعات، كل مجموعة تحتوي على ثلاث توصيلات مختلفة ولكنها تعطي نفس زاوية الطور بين جهدي الملف الابتدائي والثانوي وهذه المجموعات هي:

١. المجموعة الأولى: إزاحة الطور الناتجة عنها مساوية للصفر وتشمل التوصيلات التالية:

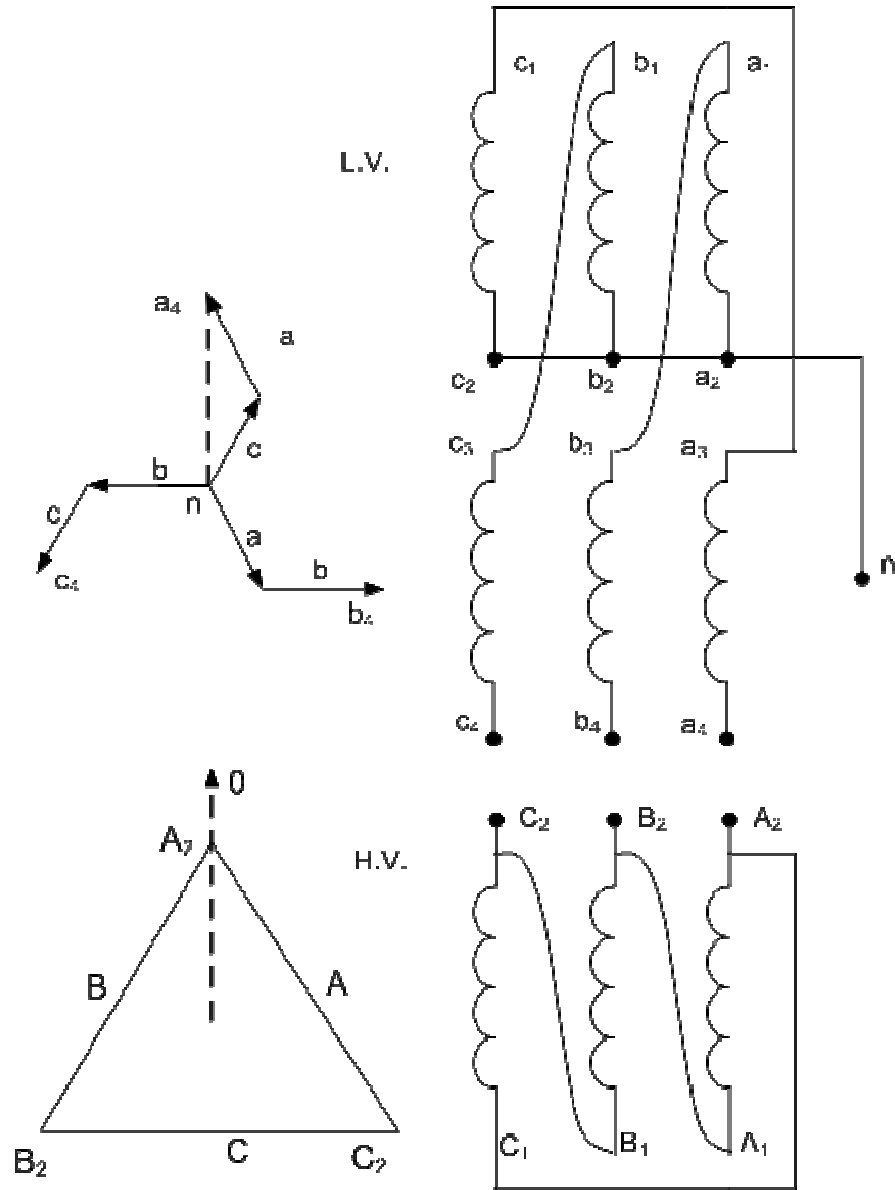
- أ. توصيلة $Dd0$ ومعنى ذلك أن ملفات الجهد العالي وملفات الجهد المنخفض من النوع دلتا والإزاحة صفر شكل ٥- ١١ يوضح التوصيلة والمخطط الاتجاهي للجهود
- ب. توصيلة $Yy0$ ومعنى ذلك أن ملفات الجهد العالي وملفات الجهد المنخفض من النوع نجمة والإزاحة صفر شكل ٥- ١٢ يوضح التوصيلة والمخطط الاتجاهي للجهود
- ت. توصيلة $Dz0$ ومعنى ذلك أن ملفات الجهد العالي من النوع دلتا بينما ملفات الجهد المنخفض من النوع زجراج والإزاحة صفر شكل ٥- ١٢ يوضح التوصيلة والمخطط الاتجاهي للجهود



شكل ٥- ١١ توصلة Dd٠



شكل ٥- ١٢ توصلة Yy٠

شكل ٥- ١٣ توصيلة Dz^0

٢. المجموعة الثانية: إزاحة الطور الناتجة عنها تساوي 180° وتشمل التوصيلات التالية

أ. توصيلة Dd^6 ومعنى ذلك أن ملفات الجهد العالي وملفات الجهد المنخفض من النوع دلتا والإزاحة

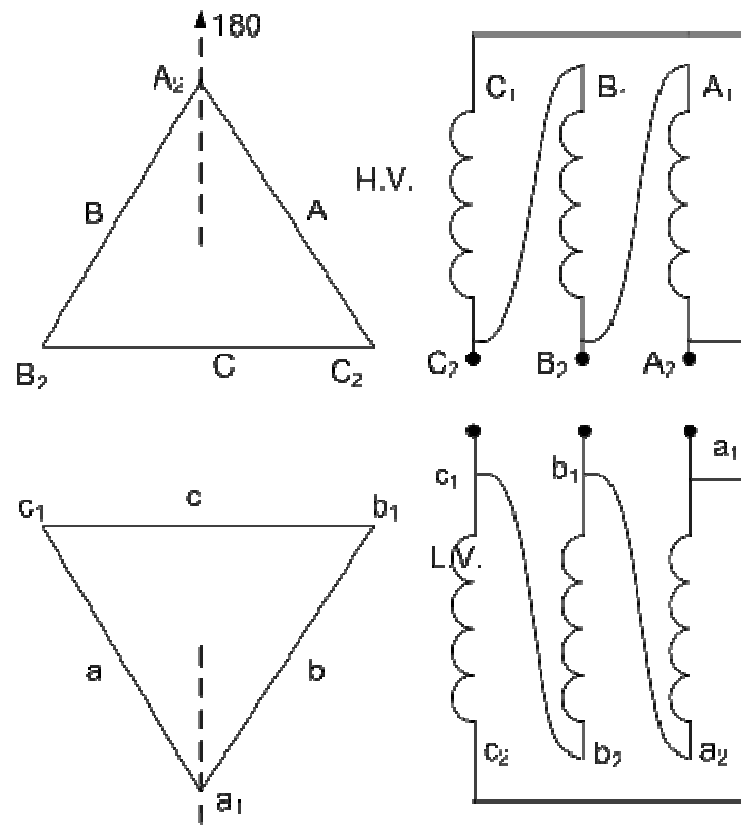
180° شكل ٥- ١٤ يوضح التوصيلة والمخطط الاتجاهي للجهود

ب. توصيلة Yy^6 ومعنى ذلك أن ملفات الجهد العالي وملفات الجهد المنخفض من النوع نجمة والإزاحة

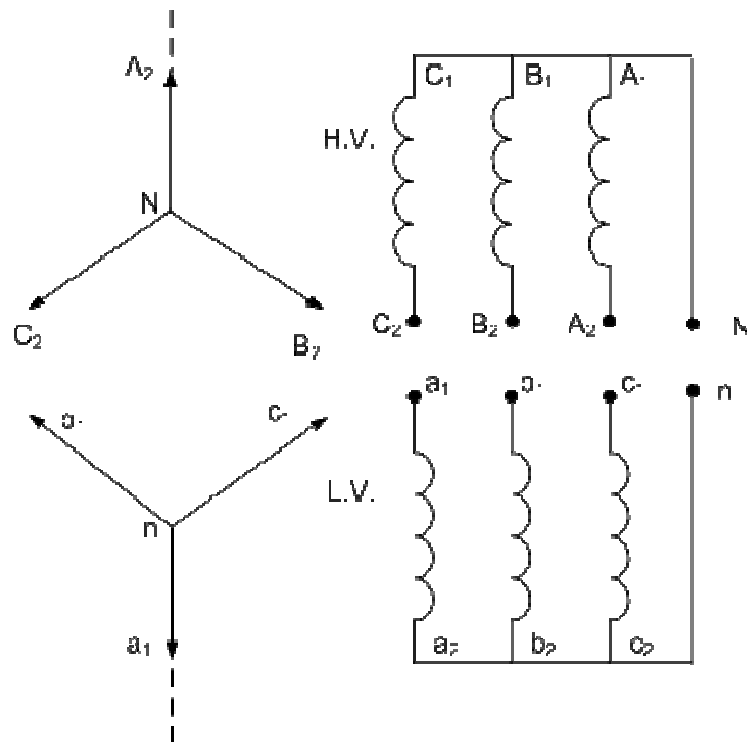
180° شكل ٥- ١٥ يوضح التوصيلة والمخطط الاتجاهي للجهود

توصيلة Dz^6 ومعنى ذلك أن ملفات الجهد العالي من النوع دلتا بينما ملفات الجهد المنخفض من

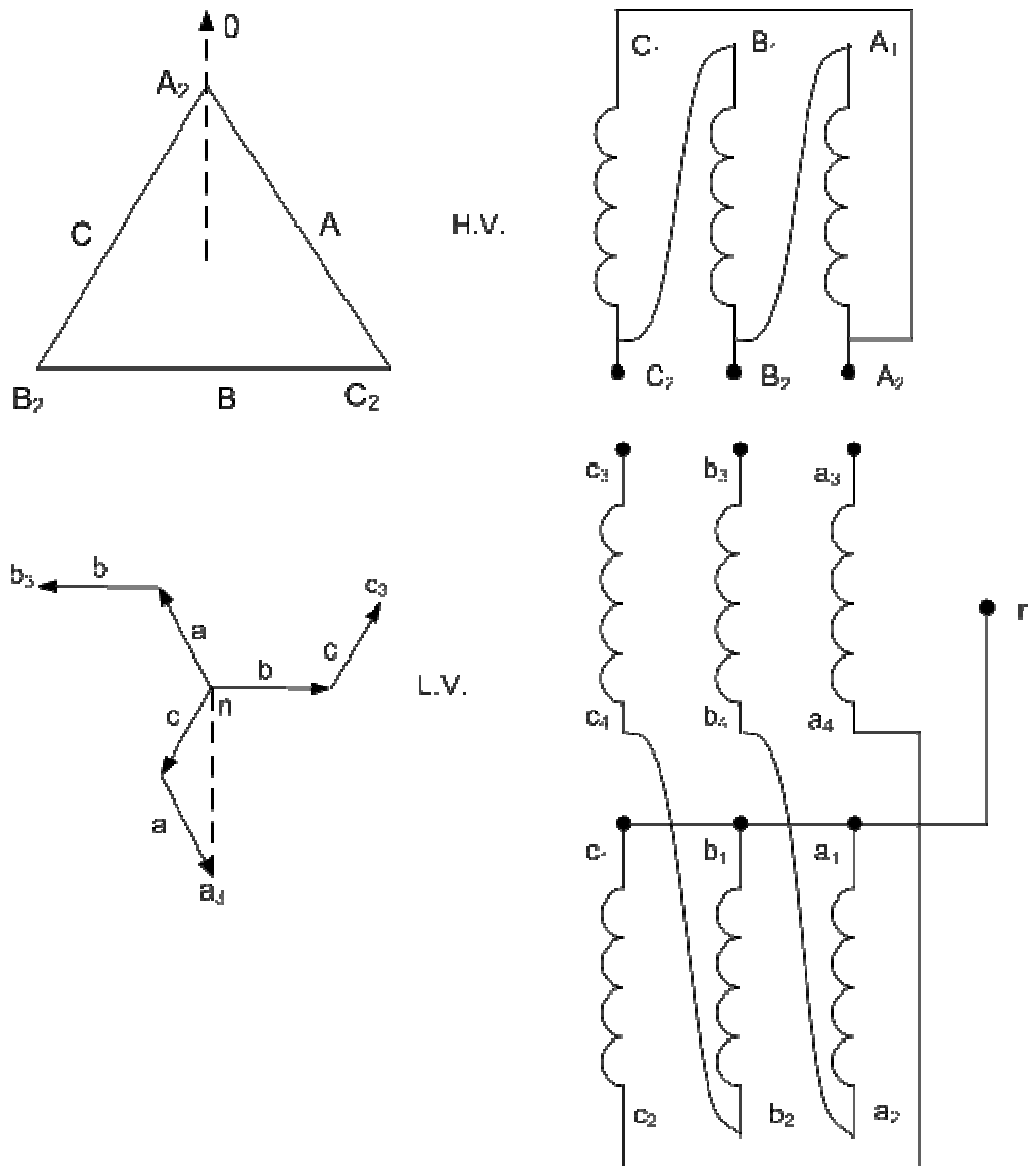
النوع زجراج والإزاحة 180° شكل ٥- ١٦ يوضح التوصيلة والمخطط الاتجاهي للجهود



شكل ٥- ١٤ توصيلة Dd₆



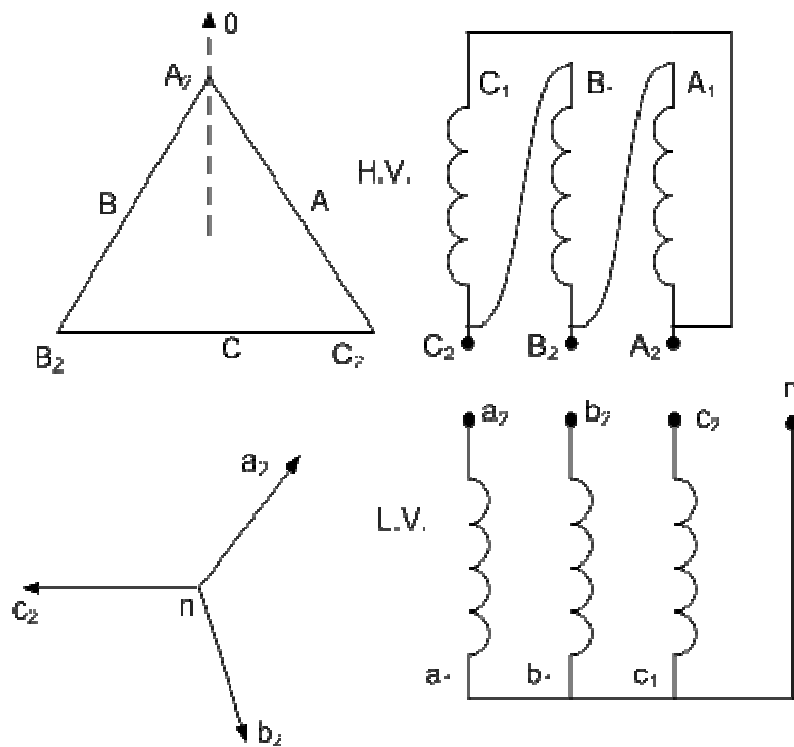
شكل ٥- ١٥ توصيلة Yy₆



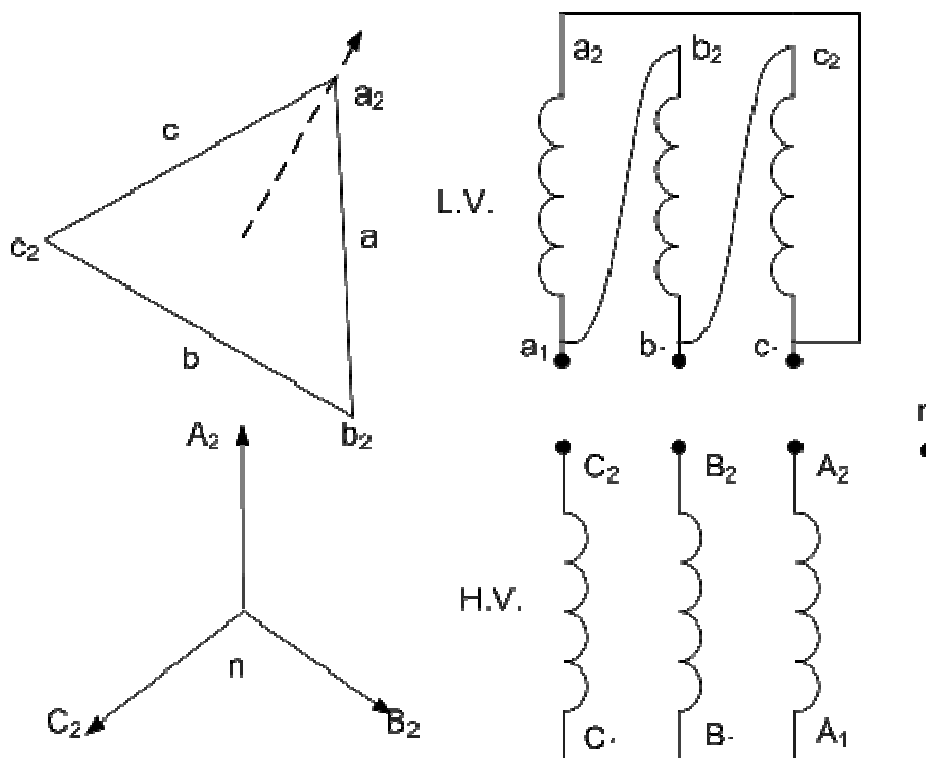
شكل ٥- ١٦ توصيلة DZ٦

٣. المجموعة الثالثة: إزاحة الطور الناتجة عنها تساوي 30° وتشمل التوصيلات التالية

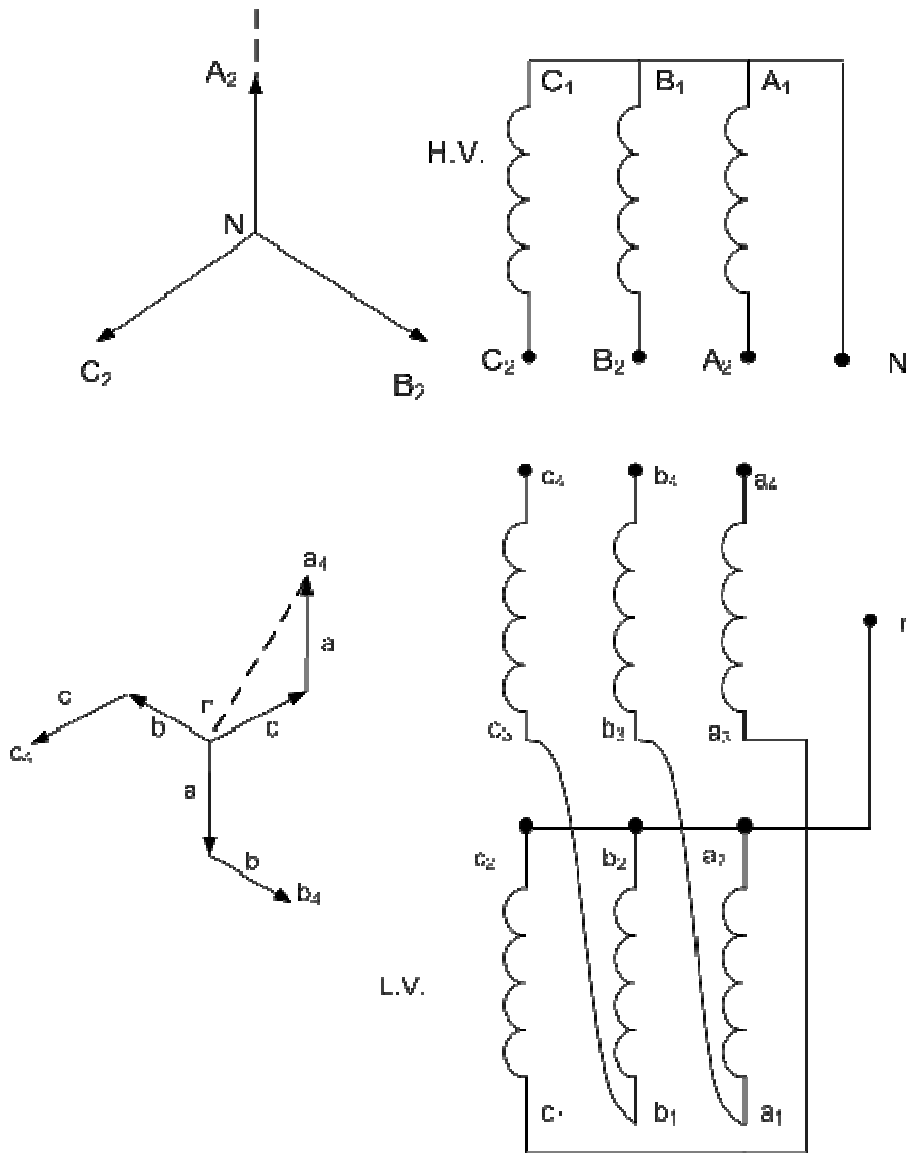
- أ. توصيلة Dy1 ومعنى ذلك أن ملفات الجهد العالي من النوع دلتا وملفات الجهد المنخفض من النوع نجمة والإزاحة 30° شكل ٥- ١٧ يوضح التوصيلة والمخطط الاتجاهي للجهود
- ب. توصيلة Yd1 ومعنى ذلك أن ملفات الجهد العالي من النوع نجمة وملفات الجهد المنخفض من النوع دلتا والإزاحة 30° شكل ٥- ١٨ يوضح التوصيلة والمخطط الاتجاهي للجهود
- ت. توصيلة YZ1 ومعنى ذلك أن ملفات الجهد العالي من النوع نجمة وبينما ملفات الجهد المنخفض من النوع زجراج والإزاحة 30° شكل ٥- ١٩ يوضح التوصيلة والمخطط الاتجاهي للجهود



شكل ٥- ١٧ توصيلة $Dy1$



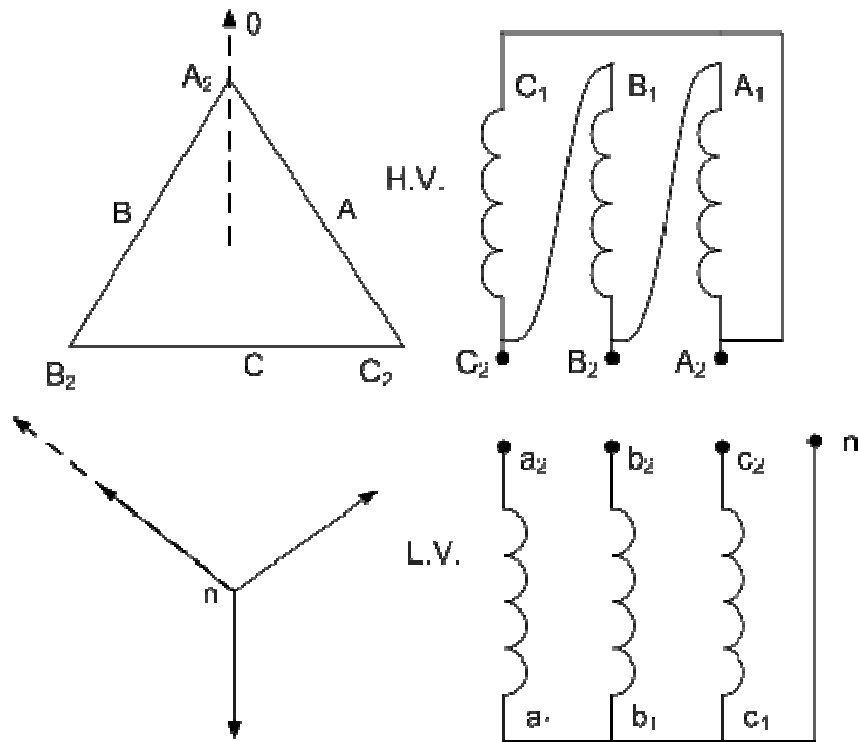
شكل ٥- ١٨ توصيلة $Yd1$



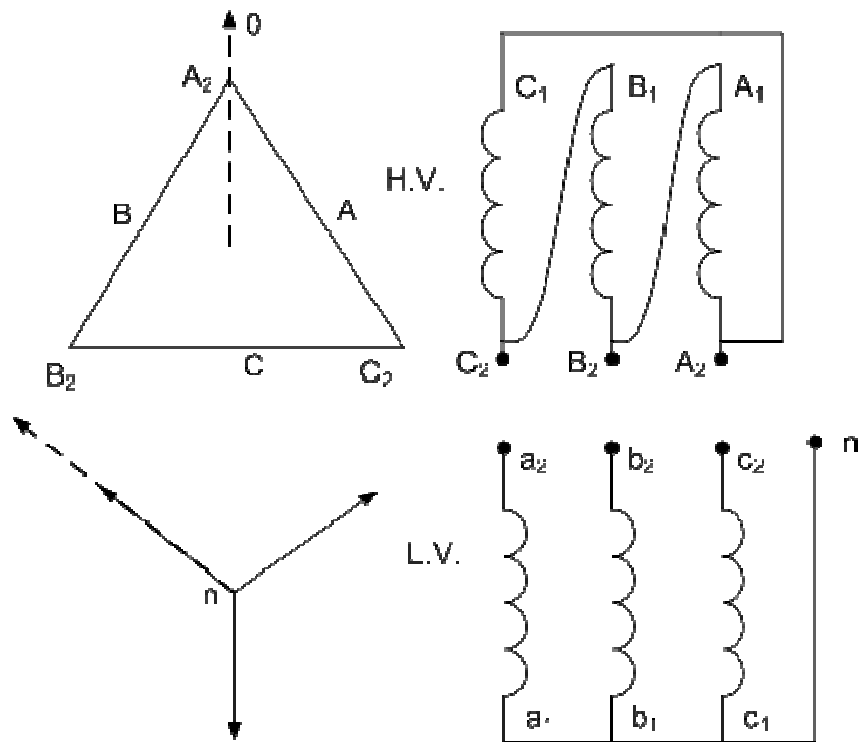
شكل ٥- ١٩ توصيلة YZ١

٤. المجموعة الرابعة: إزاحة الطور الناتجة عنها تساوي 330° أو سالب 30° درجة وتشمل التوصيلات التالية:

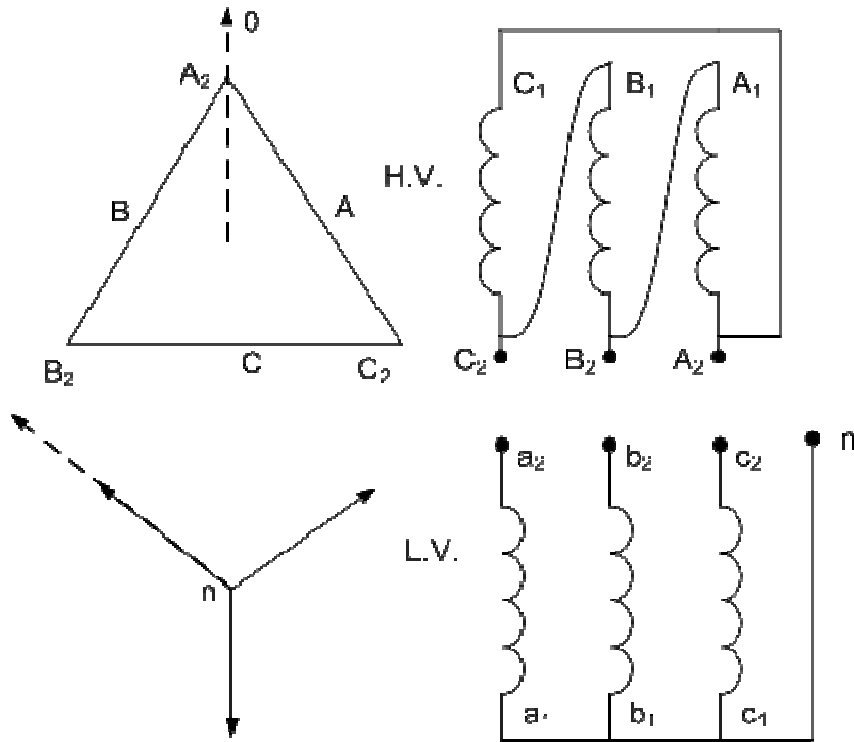
- توصيلة $Dy11$ ومعنى ذلك أن ملفات الجهد العالي من النوع دلتا وملفات الجهد المنخفض من النوع نجمة والإزاحة 330° شكل ٥- ٢٠ يوضح التوصيلة والمخطط الاتجاهي للجهود
- توصيلة $Yd11$ ومعنى ذلك أن ملفات الجهد العالي من النوع نجمة وملفات الجهد المنخفض من النوع دلتا والإزاحة 330° شكل ٥- ٢١ يوضح التوصيلة والمخطط الاتجاهي للجهود
- توصيلة $YZ11$ ومعنى ذلك أن ملفات الجهد العالي من النوع نجمة وبينما ملفات الجهد المنخفض من النوع زجراج والإزاحة 330° شكل ٥- ٢٢ يوضح التوصيلة والمخطط الاتجاهي للجهود



شكل ٥- ٢٠ توصيلة Dy11



شكل ٥- ٢١ توصيلة Yd11



شكل ٥ - ٢٢ توصيلة YZ11

٥ - ٤ - ٢ توصيل المحولات الثلاثية على التوازي

Parallel Operation of Three Phase Transformer

سبق وأن ناقشنا تشغيل المحولات أحادية الوجه على التوازي وكان الشرط الأساسي لتشغيل محولين على التوازي هو أن تكون لهما نفس القطبية، أما في حالة المحولات ثلاثية الأوجه فيضاف إلى ذلك أن يكون لهما نفس تتابع الطور وكذلك نفس فرق الطور الزاوي في كلا المحولين. إذا توافرت تلك الشروط فإننا نجد أن المحولين ينتميان إلى نفس المجموعة الاتجاهية. لذلك فإن أي محولين ينتميان إلى نفس المجموعة يمكن تشغيلهما على التوازي.

Methods of Cooling**٥ - ٥ طرق تبريد المحولات**

عند تحميل المحول الكهربائي بحمل ما تمر تيارات كهربائية في ملفات المحول تعتمد قيمته على الحمل. ونتيجة لمرور هذه التيارات في ملفات المحول يحدث فقد في النحاس المكون لتلك الملفات كما يحدث فقد في الحديد نتيجة للتيارات الدوامية وينتج عن ذلك ارتفاع في درجة حرارة المحول إلى أن تصل قيمة ثابتة تعرف بدرجة الحرارة النهائية. وهذه الدرجة يجب ألا تزيد عن حدود معينة حتى لا تتأثر بها المواد

العازلة المستخدمة. كما أن ارتفاع درجة الحرارة يؤثر على كفاءة المحول وكذلك عمره الافتراضي لذلك فإنه من الضروري استخدام وسائل تبريد مختلفة. وتختلف وسائل تبريد المحولات اعتماداً على عدد من العوامل أهمها حجم المحول وتركيبه ومكان استخدامه وسوف نتناول بعض أهم هذه الطرق فيما يلي:

٥- ٥- ١ تبريد المحولات الجافة: Cooling of Dry Type Transformer

يتم ذلك باستخدام الهواء الطبيعي كتبريد ذاتي (self-cooled) للمحولات الجافة الصغيرة مثل محولات الأجهزة ومحولات التحكم ومحولات الإضاءة كما تستخدم في محولات التوزيع الصغيرة والتي تبلغ قدراتها عدة كيلو فولت أمبير (KVA) ولا يزيد جهدها عن ١٥ kV، ويرمز لعملية التبريد في هذه الحالة AN وهذا اختصار Air Natural أما إذا كانت قدرة المحول كبيرة فيمكن استخدام مراوح لدفع الهواء الذي يستخدم في عملية التبريد وتسمى عملية التبريد في هذه الحالة بالتبريد القسري بالهواء المدفوع (Self-cooled with forced-air cooling) ويرمز لعملية التبريد بالهواء القسري بالرمز AF وهذا اختصار Air Forced

٥- ٥- ٢ تبريد المحولات المغمورة في الزيت:

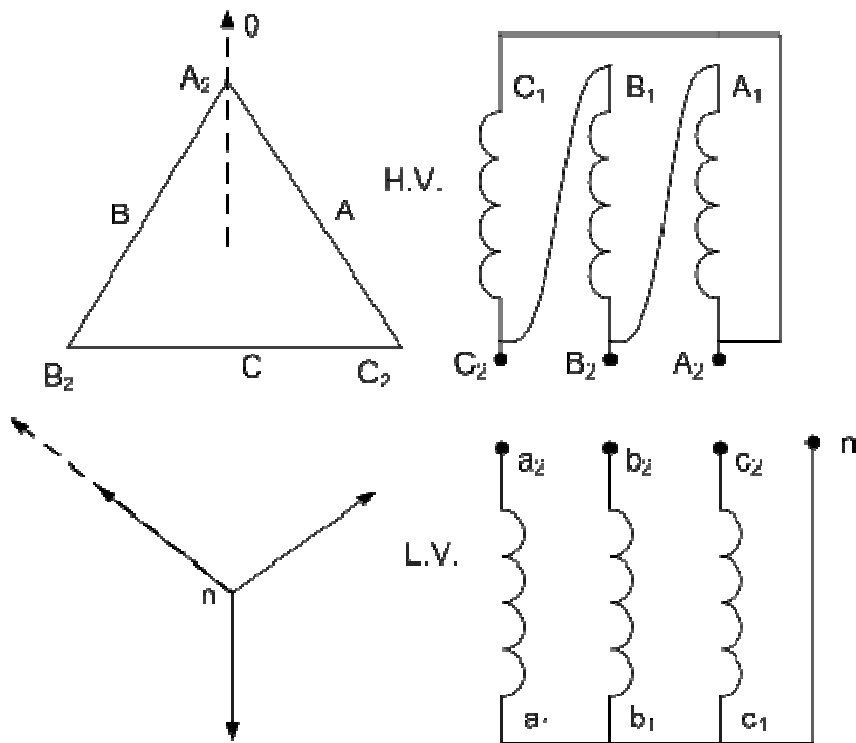
Cooling of liquid immersed Transformer

المحولات ذات القدرات الأكبر، والمقاسات الأكبر، تغمر عادة في وعاء (container) ممتلئ بالزيت. ويمكن تبريدها بأحد الطرق التالية:

Oil immersed, self cooled

أ. تبريد ذاتي بالزيت:

في المحولات المغمورة في الزيت يكون القلب والملفات مغمورة بالكامل في زيت عازل داخل تانك معدني. المحولات ذات القدرات الصغيرة يتم تبريدها ذاتياً (طبيعياً) حيث تنتقل الحرارة إلى الزيت الذي يدور حول الوعاء بتيارات الحمل الطبيعية إلى سطح وجدران الوعاء، حيث تتبدد بالإشعاع إلى الجو المحيط بالمحول. شكل ٥- ٢٣ يعرض أحد محولات التوزيع والذي يتم تبريده ذاتياً (طبيعياً)، ويمكن زيادة مساحة أسطح الوعاء بشكل فعال بوسائل كثيرة. فمثلاً يمكن استخدام عدة أنابيب رأسية على جوانب الوعاء وملحومة به بحيث يدور الزيت بطريقة طبيعية من خلالها كما في شكل ٥- ٢٤. ويرمز لعملية التبريد في هذه الحالة بالرمز ON وذلك اختصار Oil Natural



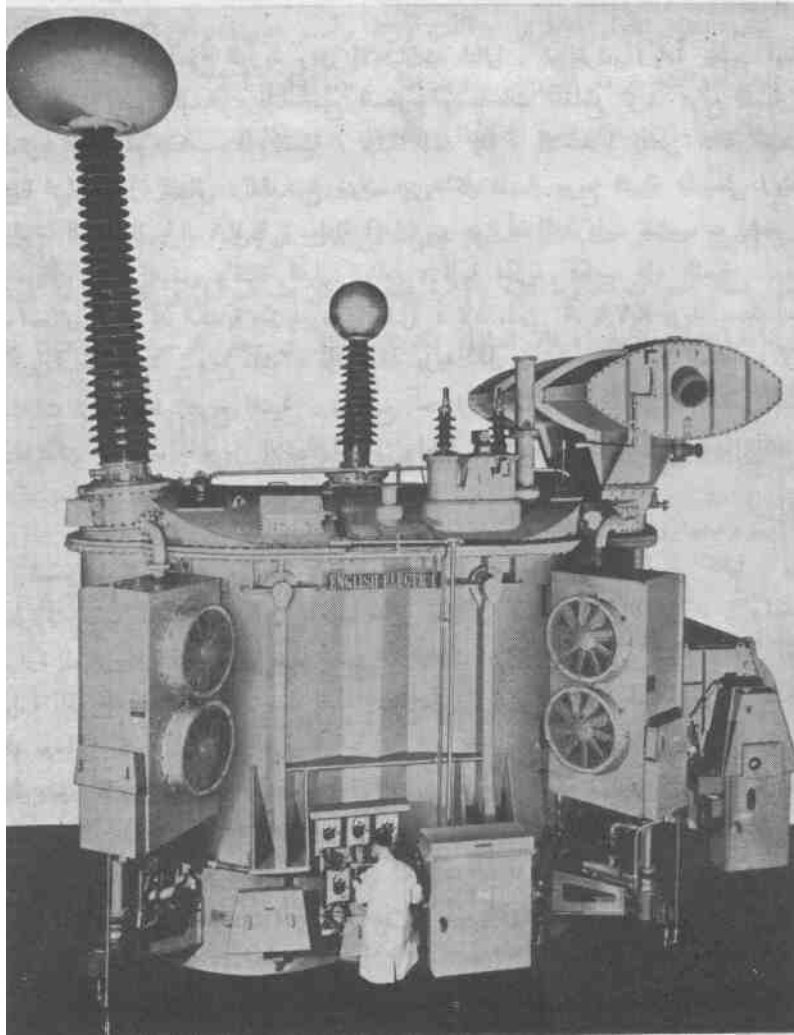
شكل ٥- ٢٣ محول توزيع جاف تبريد ذاتي بالهواء



شكل ٥- ٢٤ محول توزيع تبريد ذاتي بالزيت مع وجود أنابيب لزيادة السطح

ب. تبريد ذاتي بالزيت وقسري بالهواء Oil immersed, self cooled/forced-air cooled

تتم عملية التبريد بطريقة مشابهة للطريقة السابقة مع إضافة تبريد قسري بالهواء وذلك عن طريق دفعه بمضخات على أسطح التبريد. شكل ٥ - ٢٥ يعرض صورة لأحد تلك المحولات. تستخدم هذه الطريقة مع المحولات ذات القدرات العالية. ويرمز لعملية التبريد في هذه الحالة بالرمز ONAF وذلك اختصار Oil Natural Air Forced



شكل ٥ - ٢٥ محول قدرة تبريد ذاتي بالزيت وقسري بالهواء

ت. تبريد قسري بالزيت وقسري بالهواء Oil immersed, self cooled/forced-air cooled

تتم عملية التبريد بالزيت عن طريق دورة قسرية للزيت بحيث يتم التبادل الحراري بينه وبين الهواء كما يتم تبريد الأسطح باستخدام الهواء القسري وذلك عن طريق دفعه بمضخات على أسطح التبريد. تستخدم هذه الطريقة مع المحولات ذات القدرات العالية والتي تصل إلى آلاف الكيلو فولت أمبير.

وهناك أنواع أخرى يتم فيها تبريد الزيت بواسطة أنابيب من المياه حيث يتم تبريد زيت المحول بضغط الماء البارد داخل أنابيب تمر داخل زيت المحول حيث يتم التبادل الحراري بين الماء البارد وزيت المحول. ولكن يعترض على هذه الطريقة أن الماء يتحرك تحت ضغط أكبر من ضغط الزيت فإذا حدث أي تسرب من الماء فإن ذلك يتسبب في تغيير من خواص الزيت ويقلل من قدرته على العزل: كما أنه من الممكن أن يصل هذا الماء إلى أجزاء المحول مما قد يتسبب في أضرار جسيمة. ويرمز لعملية التبريد بالرمز OFWF وذلك إختصار Oil Forced Water Forced ، ويمكن أن يحتوي نظام التبريد في المحول على أكثر من نظام تبريد وعلى سبيل المثال ONAN/ONAF

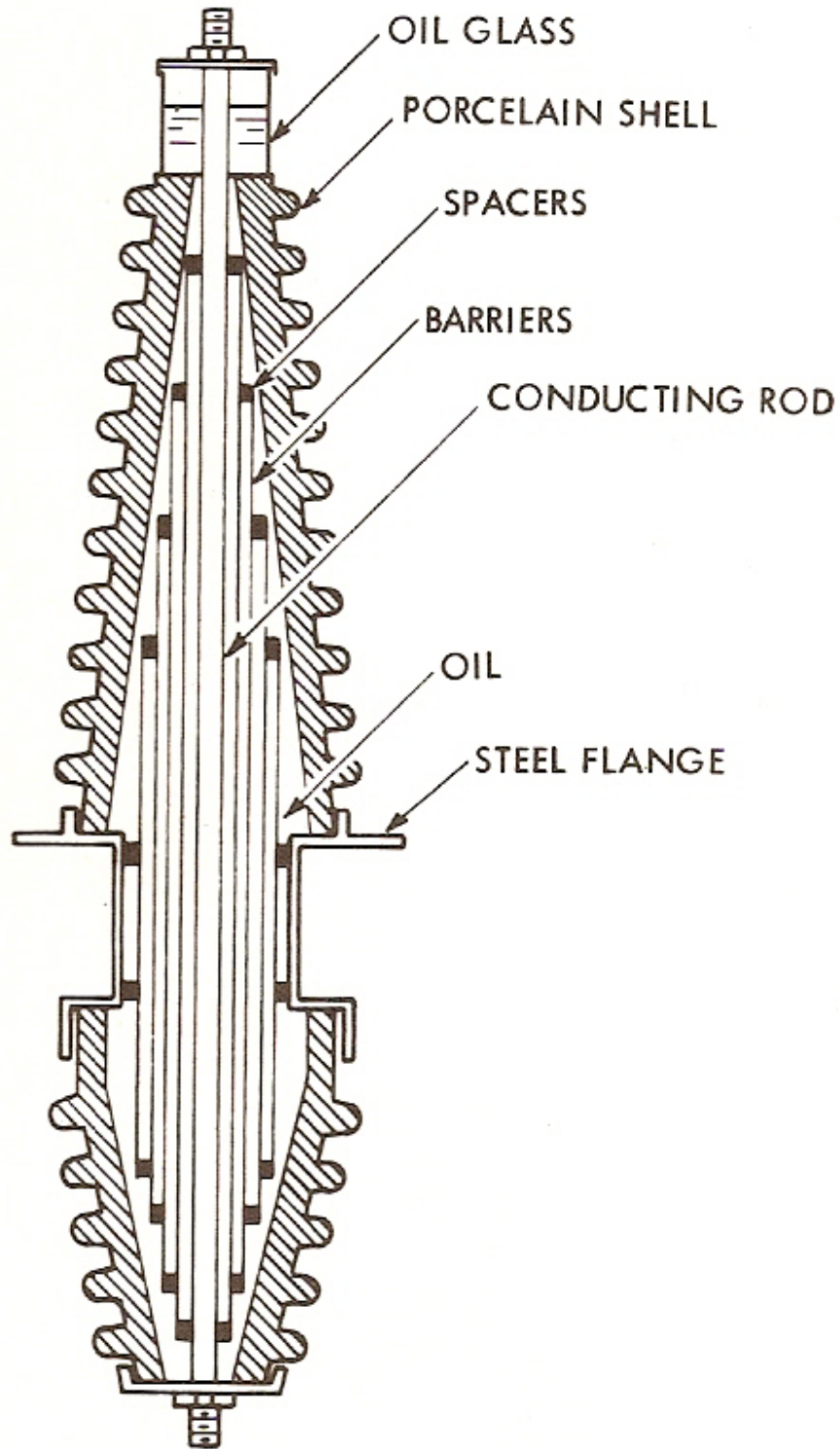
Power Transformer

٥ - ٦ محولات القدرة

تستخدم محولات القدرة (Power Transformers) والتي تكون عادة محولات ثلاثية الأوجه في رفع الجهد الكهربائي المتولد من محطات التوليد وتسمى تلك المحولات بمحولات الرفع Step up transformer وذلك تمهيداً لنقل القدرة الكهربائية وتكون تلك المحولات في محطات بجانب محطات التوليد وفي بداية خطوط النقل. كما تستخدم تلك المحولات أيضاً في نهاية خطوط النقل وتستخدم كمحولات خفض للجهد الكهربائي (Step down transformer) تمهيداً لتوزيعها على المستهلكين. وتتميز محولات القدرة كما هو واضح من اسمها بالقدرة العالية والتي تزيد قدرتها عن ٥٠٠٠ kVA ولذلك فإنها ضخمة الحجم كما أن الجهود التي تتعامل معها هذه المحولات قيمتها عالية قد تصل إلى ٨٠٠ kV وعلى ذلك فإن هذه المحولات لها تجهيزات خاصة تؤهلها للعمل بكفاءة تحت ظروف تشغيل مختلفة وفيما يلي بعض المواصفات الخاصة لهذه المحولات.

٥ - ٦ - ١ العزل

تستخدم أنواع كثيرة في عزل أجزاء المحول المختلفة مثل عزل الملفات أو عزل شرائح القلب الحديدي أو عزل الأوجه عن بعضها البعض أو عزلها عن الأرضي. إن مواد العزل المستخدمة في محولات القدرة أو محولات التوزيع تتم معالجتها كيميائياً حتى تستطيع المحافظة على خواص العزل التي تتمتع بها وهي مغمورة في الزيت ومعرضة لدرجات حرارة عالية. كما أن مثل هذه المواد يجب أن تتحمل الإجهادات الميكانيكية العالية التي تتعرض لها أثناء النقل أو ظروف التشغيل الطبيعية أو الظروف الطارئة مثل حالات القصر. وبناء على ذلك تستخدم أعداد محددة من أوراق العزل المعالجة مع ملفات المحول.



شكل ٥ - ٢٦ طرف توصيل الجهد المنخفض Low Voltage Bushing

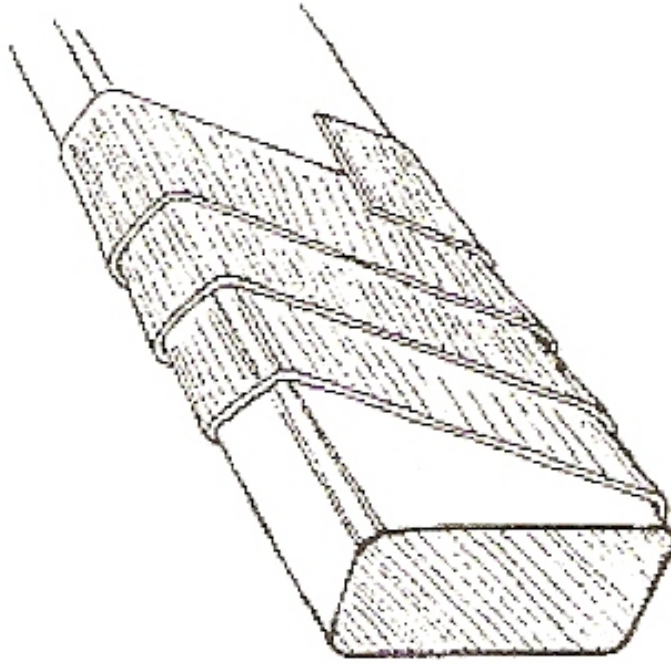
ومن الأجزاء المهمة التي يجب عزلها جيداً أطراف دخول وخروج الجهد الكهربائي للمحول والتي يتم عزلها باستخدام جلب العزل (Bushings) والتي تصنع من مادة عازلة مثل البورسلين ويختلف حجمها باختلاف قيمة الجهد الكهربائي المطلوب عزلها. فكلما زاد الجهد زاد حجم جلب العزل (Bushings) شكل ٥- ٢٦ يعرض طرف توصيل الجهد المنخفض لمحول قدرة ويتكون من قضيب توصيل من النحاس محاط بالبورسلين العازل والمملوء بالزيت.

تجدر الإشارة إلى أن مواد العزل الكهربائية يتم تصنيفها تبعاً لقدرتها على تحمل أقصى درجة حرارة يمكن أن يتعرض لها العازل دون أن يؤثر ذلك تأثيراً محسوساً على العمر الافتراضي للعازل ومن بين هذه المواد:

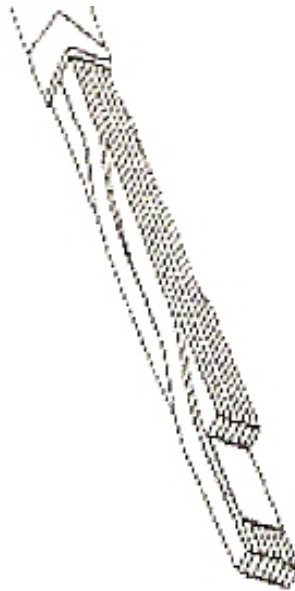
- القطن والحرير والورق ويمكن أن تتحمل درجة حرارة ١٠٥ درجة مئوية
- المايكا والألياف الزجاجية والإسبستوس وتتحمل حتى درجة حرارة ١٥٠ درجة مئوية
- السليكون والإلستومر ومايكا وألياف زجاجية وإسبستوس مع مواد راتنجية رابطة ويمكن أن تتحمل حتى ١٩٠ درجة مئوية.
- الخشب ويستخدم كدعامات في المحولات المغمورة في الزيت
- البورسلين ويستخدم في جلب العزل في المحولات المغمورة في الزيت.

٥- ٦- ٢ الملفات

الموصلات المستخدمة في تكوين الملفات المستخدمة في محولات القدرة الكهربائية عادة ما تكون على شكل مستطيل حتى يتم استغلال الفراغ المتاح في المحول بكفاءة، وحتى مع محولات التوزيع صغيرة القدرة فإن الموصلات الدائرية يتم تسطيحها لتغيير شكلها الدائري لتكون أقرب ما يمكن لأن تكون مستطيلة. ومع زيادة قدرة المحول تزداد مساحة مقطع الموصل ويتم تقسيمه إلى موصلين أو أكثر من موصلين على التوازي وذلك لتقليل التيارات الدوامية في الموصل وسهولة التعامل مع الموصلات، وكل موصل يتم لفه بورق عازل يتكون من شرائح رقيقة سمكها بالميكرومتر. وكل مجموعة موصلات موصلة على التوازي تشكل كابلاً. شكل ٥- ٢٧ يعرض موصلاً ملفوفاً عليه جزئياً ورق عازل بينما يعرض شكل ٥- ٢٨ كابلاً مكوناً من مجموعة موصلات.



شكل ٥ - ٢٧ موصل مستطيل الشكل ملفوف بورق عازل



شكل ٥ - ٢٨ كابل مكون من مجموعة موصلات

٥- ٦- ٣ القلب

ويصنع كما سبق شرح ذلك في الوحدة الرابعة من رقائق من الصلب السليكوني موجه الحبيبات المدرفل على البارد وتلك الرقائق معزولة عن بعضها البعض وتكون على شكل مستطيل في محولات التوزيع أو على شكل دائري في محولات القدرة. وكما سبق شرح ذلك فهناك نوعان من القلوب أحدهما القلبي ويستخدم في محولات القدرة المتوسطة والتي يكون مقننها من ٥٠١ kVA إلى ١٠٠ MVA بينما يستخدم النوع الهيكلي أو المحول ذو الخمس أرجل الذي سبق الحديث عنه في الوحدة الرابعة لمحولات القدرة الكبيرة.

٥- ٦- ٤ زيت المحول

هناك أنواع عديدة من الزيوت التي تستخدم في المحولات من أهمها الزيت المعدني، وتستخدم السوائل في المحولات لأهداف متعددة أهمها:

- العزل بين الملفات بعضها البعض وكذلك العزل بين الملفات والقلب الحديدي الملفوفة حوله تلك الملفات.
- المساعدة في عملية تبريد قلب المحول وملفاته. ويتم ذلك عن طريق انتقال الحرارة المتولدة في القلب والملفات إلى السائل المحيط بها من خلال العوازل الصلبة (عوازل الملفات وعوازل رقائق قلب المحول)، ويقوم السائل بنقل تلك الطاقة الحرارية إلى خزان المحول وملحقات التبريد حيث يتم التخلص منها.
- نقل المعلومات عن حالة الأجزاء الداخلية (الملفات - القلب) حيث أن حالة زيت المحول تعبر عن حالة الأجزاء الداخلية للمحول

ولكى تتم عملية التبريد بكفاءة عالية يجب أن يتحرك الزيت داخل المحول في مجاري ducts واسعة. وهناك عدد من السوائل التي يمكن استخدامها لهذا الهدف من أهمها السائل المعدني الذي يستخرج من البترول وتضاف إليه بعض الإضافات لمنع الأكسدة. ويعتمد أداء المحول بدرجة كبيرة على خصائص زيت التبريد الفيزيائية والكيميائية والكهربائية ومن أهم هذه الخصائص:

١. المظهر: يجب أن يكون رائقا وخاليا من المواد المعلقة أو الراسبية
٢. الكثافة: يجب ألا تزيد الكثافة عن 895 kg/m^3
٣. اللزوجة: كلما قلت اللزوجة زادت حركة الزيت وكان تبريد المحول أفضل.

٤. نقطة الوميض: تحدد درجة حرارة الزيت الذي تكون عندها الأبخرة المتواجدة في الهواء الملامس لهذا الزيت قابلة للاشتعال لذا. يجب أن تكون نقطة الوميض دائماً أعلى من درجة حرارة الزيت أثناء أداء المحول
 ٥. نقطة الانصباب: وهي أقل درجة حرارة يمكن للزيت أن يتدفق عندها تحت قيمة معينة من فرق الضغط دون حدوث أى معوقات. تؤخذ نقطة الانصباب بين ٣٠ درجة في الزيوت الخالية من موانع الأكسدة و ٤٥ درجة في الزيوت التي تحتوي على موانع الأكسدة.
 ٦. محتوى الماء: تتأثر قدرة الزيت على العزل بدرجة كبيرة جداً بنسبة وجود الماء فيه، فوجود الماء بنسبة ٠,٠٦٪ من الماء داخل الزيت تقلل شدة العزل الكهربائي للزيت إلى النصف. لذا يجب أن لا يزيد محتوى الماء عن ٣٥ ملليجرام لكل كيلو من الزيت.
 ٧. الشدة الكهربائية: وتقاس قدرة الزيت على تحمل المجال الكهربائي. لذا يجب ألا يقل جهد الانهيار للزيت غير المعالج عن ٣٠ kV وللزيت المعالج عن ٥٠ kV.
 ٨. عامل الفقد داخل العزل: يعطي مقياساً للفقد داخل العزل ويقاس بظل زاوية الفقد ويجب أن يكون الحد الأعلى لظل زاوية الفقد ٠,٠٠٥
- من الجدير بالذكر أن زيت المحولات يضاف إليه بعض المركبات الكيميائية تسمى موانع الأكسدة وذلك بهدف منع إتمام عملية تكوين نواتج الأكسدة (الحامض والحمأة)، كما تمنع أيضاً أكسدة بلورات المعادن التي قد تكون موجودة في الزيت

٥ - ٦ - ٥ تانك المحول

إن تانك محول القدرة يتم تصنيعه من ألواح صلب معينة وذات جودة عالية يتم قطعها وتشكيلها ولحامها لتكون هيكلًا قويًا. ويتم تدعيم هذا الهيكل بدعامات قوية كما يتم أيضاً تدعيم قاعدة وغطاء المحول لتحمل الإجهادات الميكانيكية التي من الممكن أن يتعرض لها المحول أثناء عملية النقل أو التشغيل أو حتي في حالات القصر التي من الممكن أن يتعرض لها أثناء عمليات التشغيل. ويجب أن تكون أبعاد التانك متوفرة على متسع إضافي لتمدد الغازات، ومن المناسب أيضاً أن يتم لحام الجوانب الداخلية للتانك لزيادة متانة التانك، بالإضافة إلى ذلك فإن جميع نقاط الاتصال الخارجية يتم لحامها أيضاً لتفادي دخول الرطوبة المسببة للصدأ. أما غطاء المحول فيما أن يتم لحامه أو ربطه بمسامير قوية وجوانات من المطاط، ومن الجدير بالذكر أن هذه الجوانات وغيرها تتحمل ضغوطاً معينة طبقاً لمواصفات المحول.

يتم دهان جدران المحول من الداخل بعد تنظيفها جيداً وقبل حدوث أي تلوث على سطحه باستخدام دهانات خاصة تتحمل ظروف عمل المحول من ارتفاع في درجة الحرارة واحتوائه على زيت العزل وخلافه،

ثم يتم تجفيفها جيداً وبعد ذلك يتم دهان الجدران الخارجية للمحول بدهان خاص مكون من طبقتين يتم دهان الطبقة الأولى بعد الانتهاء من تجفيفه مباشرة بينما يتم دهان الطبقة الثانية والتي عادة ما يكون لونها رمادياً غامقاً لامعاً قبل نقل المحول من المصنع مباشرة. ويراعي في دهان المحول أن تكون مادة الدهان تتحمل ظروف الطقس المختلفة.

٥- ٦- ٦ أنواع محولات القدرة

تنقسم محولات القدرة من حيث استخدامها إلى نوعين: محولات رافعة ومحولات تستخدم لرفع الجهد ومحولات خافضة تستخدم لخفض الجهد.

• المحولات الرافعة:

Step Up Transformer

المحولات الرافعة تستخدم عادة لرفع الجهد المتولد من محطات التوليد وتقوم برفعة لمستوى جهد خط النقل والذي قد يصل في بعض الأحيان إلى ٨٠٠ kV. وعادة ما يكون هذا المحول موصلاً على شكل دلتا/نجمة. ويلاحظ أن ملفات الجهد المنخفض توصل على شكل دلتا لعدة أسباب من بينها أن تيار الخط في جهة التوليد عادة يكون عالياً جداً والتيار المار في ملفات الدلتا يكون مساوياً لنسبة ٥٧,٧٪ من تيار الخط ، وبالتالي فإن تصنيع الملفات سيكون أسهل. كما أن استخدام الدلتا في ناحية الجهد المنخفض يؤدي إلى عزل التوافقية الثالثة على الخطوط الموصلة بهذا الجانب كما أنه من الممكن تأريض نقطة التعادل على الجانب الثانوي وعلى ذلك يمكن إمداد حمل غير متماثل بأربعة أسلاك دون أن يحدث ذلك تغيرات كبيرة في الجهود حيث تتناسب تلك الجهود مع معاوقات المحول فقط بسبب وجود ملفات الدلتا في الجانب الابتدائي بالإضافة إلى أن عدم وجود نقطة التعادل في جانب الدلتا لا يعتبر عيباً لأن هذا الجانب يوصل عادة بالمولد الذي تكون نقطة تعادله مؤرضة دائماً.

في بعض الأحيان يكون الملف الثانوي للمحول (ملف الجهد العالي) متعدد المخارج لضمان استمرارية تبادل القدرة غير الفعالة بين المولد وشبكة النقل الكهربائية. وتحتاج محولات القدرة الكهربائية إلى بعض الاحتياطات الهامة التي يجب أن تؤخذ في الاعتبار منها:

١. يتم توصيل ملفات الجهد المنخفض أولاً ثم يتم تنفيذ عملية التزامن بين المولد وباقي نظام النقل (من الممكن أن يكون هناك اتصال مباشر بين المحول والمولد أو من خلال قاطع كهربائي) (Circuit Braker).

٢. نظام الحماية ضد ارتفاع الجهد على جانب الجهد المنخفض يحتاج إلى اعتبارات خاصة بسبب الفرق الكبير في الجهد على طرفي المحول حيث من الممكن أن تؤثر الحالات العابرة على الجانب الثانوي (جانب الجهد العالي) على نظام الحماية.

٣. في أغلب الأحوال يتم استخدام تجويف (duct) خاص لكل وجه بين المحول والمولد وذلك لتقليل امكانية حدوث قصر بين الأوجه

شكل ٥- ٢٩ يعرض محول رفع ثلاثي الأوجه ذو قدرة ظاهرية MVA ١١٠٠ ونسبة تحويل kV ١٩/٣٤٥ وهو من النوع الهيكلي



شكل ٥- ٢٩ محول رفع ثلاثي الأوجه من النوع الهيكلي

Step Down Transformer

• المحولات الخافضة:

المحولات الخافضة تستخدم عادة لخفض الجهد من جهد النقل إلى جهد التوزيع وتكون ملفات الثانوي مزودة بمغيرات للجهد تعمل وهي محملة (On Load Tap Changer) وتعمل على تغيير نسبة التحويل $\pm 10\%$ على خطوات من ١٪ إلى ٥٪. إن شبكة التوزيع الكهربائي تتضمن عدة مستويات مختلفة لجهود التوزيع قبل أن يتم خفض الجهد والوصول به لمستوى جهد التوزيع النهائي، وسنجد أن المحولات الخافضة تستخدم أيضاً للربط بين تلك الجهود المختلفة ولكن بقدرات أصغر

Distribution Transformer

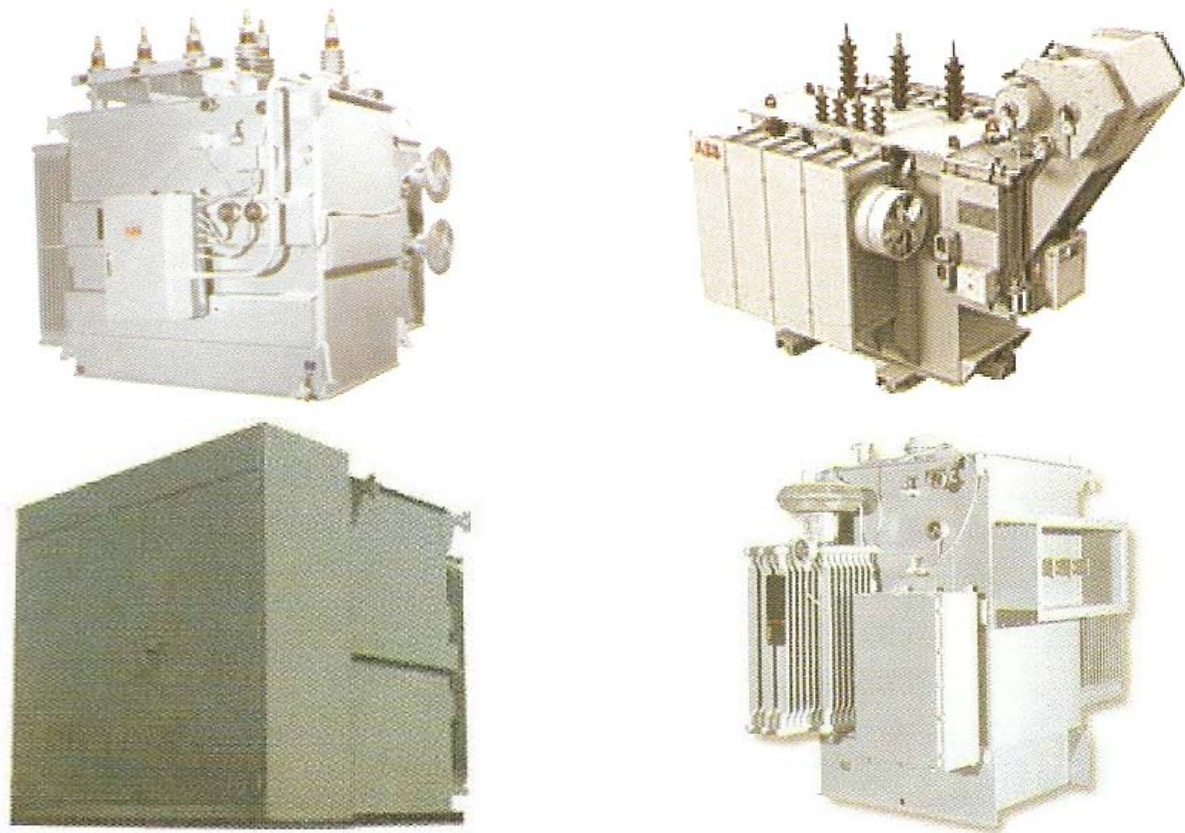
٥ - ٧ محولات التوزيع

تستخدم محولات التوزيع عادة لخفض الجهد من المستويات العالية لمستوى جهد التوزيع أو الاستخدام على حسب حجم المحول واستخدامه. وتنقسم محولات التوزيع إلى ثلاثة أنواع: محولات التوزيع الكبيرة ومحولات التوزيع المتوسطة ومحولات التوزيع الصغيرة.

Large Distribution Transformer

٥ - ٧ - ١ محولات التوزيع الكبيرة

تقوم هذه المحولات باستلام القدرة الكهربائية من خطوط النقل ذات الجهد العالي وخفض هذا الجهد إلى جهد توزيع أقل لمحطات التوزيع أو إلى الأحمال الصناعية مباشرة وتتراوح قدراتها بين ٥٠٠٠ kVA و ٢٠ MVA ويصل جهد الملفات الابتدائية إلى ٧٢,٥ kV ويكون القلب مشابهاً للقلب في محولات القدرة حيث يتكون من شرائح من الحديد الصلب بينما تكون الموصلات المستخدمة في الملفات من النحاس أو الألمنيوم ويستخدم عادة الزيت المعدني أو مائع السليكون في عملية تبريد المحول. ويحتوي تانك المحول عادة على مشعات للمساعدة في تبريد المحول. شكل ٥ - ٣٠ يعرض بعض أنواع محولات التوزيع كبيرة الحجم بأشكال مختلفة



شكل ٥ - ٣٠ أشكال مختلفة لمحولات توزيع كبيرة

Meduim Distribution Transformer ٥ - ٧ - ٢ محولات التوزيع المتوسطة

تستخدم هذه المحولات لخفض الجهد إلى المستوى المستخدم للمناطق الصناعية وتصل قدراتها إلى ٥٠٠٠ kVA ويصل جهد الملفات الابتدائية إلى ٣٦ kV ويتميز تانك هذا النوع من المحولات بالمرونة التي توفر تبريداً كافياً للمحول كما تمكن من تعويض التغير في الحجم الناتج من التغير في درجة حرارة الزيت في فترة التشغيل. ومن أهم مميزات هذا النوع أن زيت التبريد لا يلامس الهواء وبالتالي يتم تفادي امتصاص الرطوبة من الهواء التي تؤثر على خواص الزيت.

Small Distribution Transformer ٥ - ٧ - ٣ محولات التوزيع الصغيرة

تستخدم هذه المحولات لخفض الجهد إلى المستوى المستخدم في المناطق السكنية ومن الممكن أن تكون ثلاثية الأوجه كما في شكل ٥ - ٣١ أو أحادية الوجه كما في شكل ٥ - ٣٢ ويتم تبريد المحولات أيضاً باستخدام الزيت. ويتم طلاء مثل هذه المحولات بنوعية خاصة من الطلاء بما يمكن من استخدام هذه المحولات خارج المباني



شكل ٥ - ٣١ محول توزيع صغير ثلاثي الأوجه



شكل ٥- ٣١ محول توزيع صغير ثلاثي الأوجه

٥- ٧- ٤ محولات التوزيع الجافة Dry-type Distribution Transformer

توجد دائماً المحولات الجافة داخل المباني (Indoors) وتكون في غرف خاصة بالمحولات إذا كانت قدرتها كبيرة، وتستخدم لتقليل احتمالات الحرائق وتلوث البيئة المحيطة، لذا فهي تستخدم في المباني التجارية والمستشفيات وأماكن التخزين وفي الأماكن التي تزداد فيها احتمالات حدوث الحرائق مثل أماكن استخراج البترول والغاز وتصل قدرات هذا النوع من المحولات إلى ٥٠ MVA كما يصل جهد ملفات الضغط العالي إلى ٣٥ kV.

والمحولات الجافة هي تلك المحولات التي لا يكون فيها قلب المحول ولاملفاته مغمورة في أي سائل. وتتم عملية تبريد ملفات وقلب المحول عن طريق دوران الهواء الطبيعي أو القسري داخل المحول. ويمكن استخدام غاز آخر غير الهواء وتتميز المحولات الجافة عامة بعدد من المميزات يمكن أن نعرض منها ما يلي:

١. رخص الثمن حيث أنها تعتبر أرخص الأسعار.
٢. يمكن تركيبها داخل أو خارج المباني.
٣. لا تحتاج إلى صيانة. ويمكن تنظيف مجاري الهواء في النوع التقليدي منها باستخدام مكنسة كهربائية.
٤. لا تحتاج إلى تجهيزات خاصة مثل المحولات المملوءة بالسائل.
٥. آمنة تماماً من ناحية الحريق والانفجار وتلوث البيئة.

٦. خفيفة الوزن نسبياً حيث يمكن وضعها بسهولة في كثير من الأماكن كأسطح المباني والأرصفة والهيكل المعدنية.

٧. تتميز بكفاءة عالية وتنظيم جهد جيد وتشغيل هادئ

ويوجد ثلاثة أنواع للمحولات الجافة:

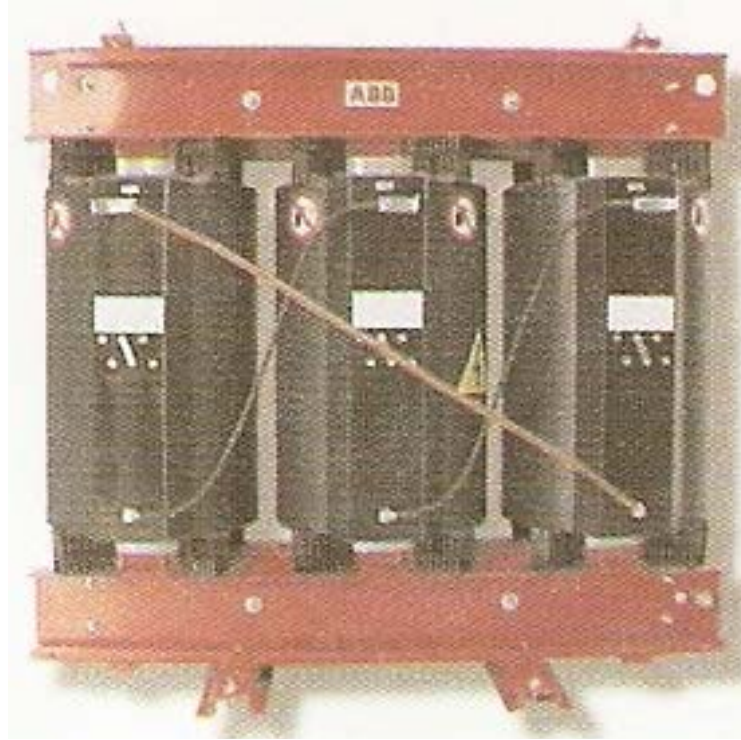
١. المحولات الجافة التقليدية: وفيها يتم تبريد قلب وملفات المحول إما طبيعياً بالسريان الذاتي للهواء داخل المحول، أو قسرياً باستخدام مراوح التبريد. ويتم تصميم المحول بحيث يحتوي على ممرات كبيرة تسمح بمرور هواء التبريد وتتميز المحولات الجافة التقليدية برخص الثمن وبساطة التكوين والصيانة، ويراعى عند استخدام المحولات الجافة أن لا تترك بدون عمل لفترة طويلة حيث تكون عرضة لامتناس الرطوبة من الهواء الجوي المحيط بها نظراً للاتصال المباشر بين قلب المحول وملفاته وبين الوسط الخارجي.

٢. المحولات الجافة الراتنجية: وهي محولات جافة لا تحتوي على أية سوائل للعزل والتبريد. ويتم تكوين المحول عن طريق وضع ملفات المحول بأكملها داخل مادة راتنجية بحيث تغلف هذه المادة الملفات تماماً وتتميز هذه النوعية من المحولات بمقاومة كبيرة للرطوبة ولل عوامل الجوية بالإضافة إلى مقاومة أكبر للإجهادات الميكانيكية، وبالتالي فإن مثل هذه المحولات تكون مفيدة جداً في الأجواء الملوثة والمعرضة للآتربة والمواد الكيميائية الضارة والرطوبة مثل صناعات الأسمت وتكرير البترول والغزل والنسيج وخلافة. والعيب الرئيسي في هذه المحولات هو ارتفاع سعرها. شكل ٥- ٣٢ يعرض أحد هذه المحولات

٣. المحولات المملوءة بالغاز: تحتاج بعض ظروف التشغيل إلى استعمال محولات ذات خواص معينة مثل توفر منسوب عزل أساسي مرتفع أو مقاومة كاملة للحريق، ومثل هذه المتطلبات يمكن تحقيقها باستخدام المحولات المملوءة بالغاز. ويستخدم غاز الفلوروكربون C_2F_6 وهو غاز غير قابل للاحتراق ولا ينفجر وغير سام وغير ضار بالبيئة. ويملاً خزان المحول بذلك الغاز ثم يغلق بإحكام بحيث يتم عزله تماماً عن الوسط الخارجي. ويمكن استخدام تلك المحولات بأمان تام داخل وخارج المباني. وتتميز هذه المحولات بأنها لا تحتاج إلى صيانة تذكر ولا تزود بأي وسيلة تبريد حيث يتم تبريدها ذاتياً. والعيب الرئيسي في هذه المحولات هو سعرها المرتفع.

وأصبح من المؤلف استخدام المحول الجاف على شكل وحدة محطة متكاملة Package unit حيث يوضع المحول وملحقاته داخل غلاف معدني مزود بصندوق توصيل الكيابل على كل جانب من

جاني المحول، ويستخدم عادة هذا النوع في منظومة شبكة التوزيع على الجهد المنخفض كما يستخدم لتغذية الأحمال الصناعية والأماكن الرطبة وغير المحمية.



شكل ٥- ٣٢ محول توزيع صغير ثلاثي الأوجه

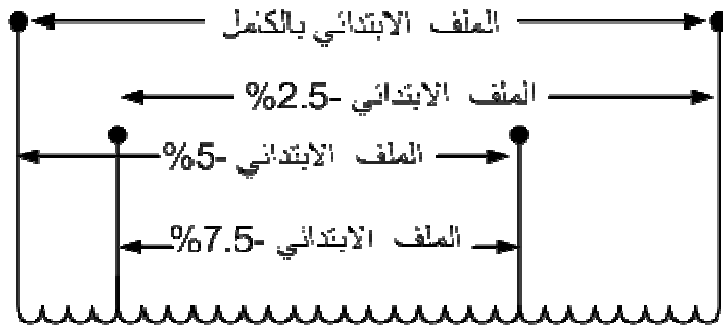
Voltage Tappings

٥- ٨ مأخذ الجهد (تفريعات الجهد)

يتم تزويد المحولات المصنوعة في الوقت الحالي بمأخذ للجهد (voltage taps) إما على أحد ملفي المحول أو على كليهما على حسب استخدام المحول وذلك بهدف تغيير نسبة التحويل للمحول حتى يتم التعويض عن التغيرات الطفيفة التي تحدث في منظومات النقل والتوزيع الكهربائي. فمثلاً محول التوزيع الذي يتم تركيبه قريباً من محطة خفض الأولي لجهد النقل يكون الجهد على أطراف الملف الابتدائي فيه أكبر من محول توزيع آخر بعيداً عن تلك المحطة. وكذلك في حالة محول القدرة الكبير والذي يستخدم لرفع جهد التوليد فإن الجهد على أطراف الملف الابتدائي (جهد التوليد) يكون ثابتاً بينما الجهد على أطراف الملف الثانوي يتغير بتغير الحمل، ولذلك فإننا نحتاج إلى تغيير نسبة التحويل للمحول للتعويض عن التغيرات التي تنتج بسبب التغير اليومي والموسمي في الأحمال. وبالنسبة لمحولات التوزيع فتحتاج أيضاً لوجود مأخذ للجهد (voltage taps) للتعويض عن التغيرات في الجهد الناتجة من عملية الفقد في الجهد بسبب النقل (فقد في خطوط النقل) وخلافه. والصورة القياسية في محولات التوزيع هي تزويد المحول بخمسة مأخذ على الجانب الابتدائي وخمسة مأخذ على الجانب الثانوي. بحيث تتراوح نسبة

الجهد بين ٩٥٪ و ١٠٠٪ من قيمة الجهد المقنن وبنسبة تغيير ٢,٥٪ ويمكن زيادة المدي على حسب ظروف التشغيل.

شكل ٥- ٣٣ يعرض مثلاً بسيطاً ملف ابتدائي يحتوي على مجموعة من المآخذ لشرح فكرة تغيير نسبة التحويل.

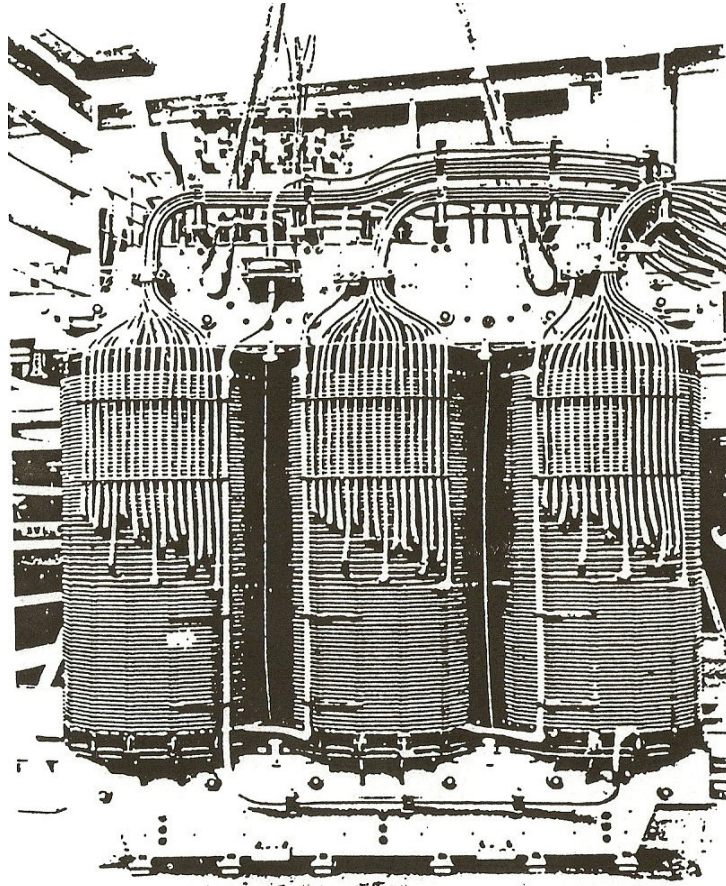


شكل ٥- ٣٣ ملف به عدد ٤ مآخذ للجهد

جدول ٥- ١ يعرض قيم الجهد على كل من الملف الابتدائي والملف الثانوي في حال تغيير مآخذ الجهد على الملف الابتدائي حسب القيم الموضحة في شكل ٥- ٣٣.

مآخذ الجهد	الجهد على الملف الابتدائي	الجهد على الملف الثانوي	نسبة التحويل
الملف بالكامل ٪١٠٠	٢٤٠٠	١٢٠	٢٠
٪٩٧,٥	٢٣٤٠	١٢٠	١٩,٥
٪٩٥	٢٢٨٠	١٢٠	١٩
٪٩٢,٥	٢٢٢٠	١٢٠	١٨,٥

ومن المعتاد أن يتم توصيل مآخذ الجهد إلى لوحة خاصة تسمى لوحة الأطراف (Terminal Board) كما في شكل ٥- ٣٤ ويتم تغيير وضع مآخذ الجهد إما بعد فصل المحول باستخدام مغير أطراف الجهد بدون حمل (No Load Tap changer) أو بدون فصل الحمل باستخدام مغير أطراف الجهد بحمل (On Load Tap Changer) والتي سيتم مناقشتها في الفقرة التالية.



شكل ٥- ٣٤ مآخذ الجهد على جانب الجهد العالي توصل إلى لوحة الأطراف

Tap Changers

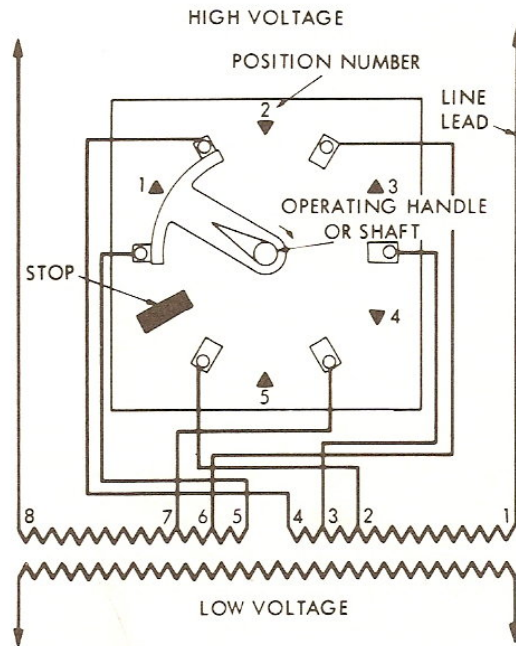
٥- ٩ مغيرات الجهد

أن تغيير مآخذ الجهد في المحولات من الممكن أن تتم بدون حمل أو بحمل باستخدام مغيرات الجهد والتي من الممكن تقسيمها إلى نوعين:

No Load Tap Changer

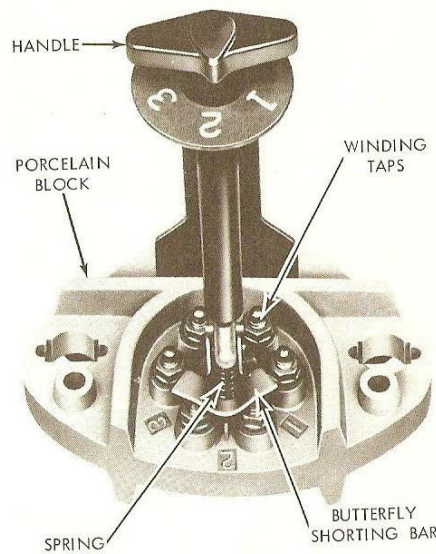
٥- ٩- ١ مغير الجهد بدون حمل

إن مغير الجهد بدون حمل هو عبارة عن تصميم بسيط يمكن من خلاله توصيل الجهد على أي طرف من أطراف مآخذ الجهد، ويتم ذلك بعد فصل المحول من الخدمة (Off Load). ويراعى استخدام زنبرك قوي للمحافظة على عملية توصيل جيدة عند نقطة الاتصال المطلوبة. ويلاحظ أن تشغيل نفس نقطة الاتصال لفترة طويلة (السنوات عديدة) يؤدي إلى زيادة مقاومة الاتصال عند هذه النقطة مما يساعد على تآكلها ولتجنب ذلك يتم تنظيف نقاط الاتصال دورياً. شكل ٥- ٣٥ يوضح كيفية تغيير نقاط الاتصال باستخدام مغير الجهد بدون حمل بينما يبين شكل ٥- ٣٦ مغير الجهد



شكل ٥- ٣٥ توصيل مغير الجهد على جانب الجهد العالي من المحول

في شكل ٥- ٣٥ في حالة التوصيل على الوضع ١ فإن ملف الجهد العالي يتم استخدامه بالكامل، حيث يتم التوصيل بين النقطة ٤ والنقطة ٥ وإذا تم تحريك يد التشغيل إلى الوضع ٢ فيتم التوصيل بين النقطة ٤ والنقطة ٦ ويكون هناك قصر على الجزء من الملف من ٥ إلى ٦ وبالتالي يتم استخدام جزء من الجهد العالي، وهكذا.



شكل ٥- ٣٦ مغير الجهد بدون حمل

On Load Tap Changer

٥ - ٩ - ٢ مغير الجهد تحت الحمل

نتيجة للتوسعات المستمرة في منظومات النقل والتوزيع وكذلك التغير السريع في الأحمال فقد أصبح من الضروري أن يتم تغيير نقاط اتصال مآخذ الجهد عدة مرات في اليوم الواحد. لذا فقد أصبح من الضروري أن تتم عملية تغيير نقاط الاتصال لمآخذ الجهد بدون فصل المحول أو قطع تيار الحمل ويتم ذلك باستخدام مغير الجهد تحت الحمل الذي يوفر إمكانية تغيير نقاط الاتصال بدون أن يتم قطع التيار عن الأحمال. وبالتالي يمكن فهم أن الوظيفة الأساسية لمغير الجهد تحت الحمل هي تغيير نقطة نقل القدرة من نقطة اتصال إلى نقطة مجاورة. ويجب أن يتم ذلك بدون عمل قصر بين نقطتي الإتصال. لذا فإن عملية تغيير نقاط الاتصال تتم عادة من خلال مقاومة أو معاوقة حتى يتم نقل الاتصال بالكامل من نقطة إلى النقطة المجاورة لها.

أسئلة على الوحدة الخامسة

- ١- ما أهم استخدامات المحولات ثلاثية الأوجه؟
- ٢- ما فائدة استخدام المحول ذو القلب والقشرة؟
- ٣- ما أهم التوصيلات للمحول ثلاثي الأوجه؟
- ٤- ما مميزات وعيوب توصيلة نجمة/نجمة؟
- ٥- ما استخدامات المحول نجمة/نجمة؟
- ٦- ما مميزات وعيوب التوصيلة دلتا/دلتا؟
- ٧- ما استخدامات المحول دلتا/دلتا؟
- ٨- ما مميزات التوصيلة نجمة/دلتا؟
- ٩- ما استخدامات المحول نجمة/دلتا؟
- ١٠- ما مميزات التوصيلة دلتا/ نجمة؟
- ١١- ما استخدامات المحول دلتا/ نجمة؟
- ١٢- ما شروط توصيل المحولات الثلاثية على التوازي؟
- ١٣- اذكر طرق تبريد المحولات الجافة.
- ١٤- اذكر طرق تبريد المحولات المغمورة في الزيت ما مميزات وعيوب كل طريقة؟
- ١٥- ما أهم خصائص زيت التبريد؟
- ١٦- ما أسباب استخدام المحول دلتا/نجمة كمحول رفع؟
- ١٧- ما أنواع محولات التوزيع الجافة و ماهى أهم مميزات وعيوب كل نوع؟
- ١٨- ما استخدامات مغيرات الجهد؟
- ١٩- احسب نسبة التحويل لمحول ثلاثي الأوجه من نوع نجمة/دلتا يربط بين خطين جهدهما ١٣,٨ كيلو فولت، ١٣٨ كيلو فولت على الترتيب؟ احسب التيار المار في ملفات المحول إذا كان تيار الخط في جانب الجهد المنخفض ١٠٠ أمبير.
- ٢٠- كرر المسألة السابقة إذا استبدل المحول بآخر دلتا نجمة؟