آلات التيار المستمر والمحولات

المحولات ثلاثية الأوجه

قلم الجزائر | WWW.DZPEN.COM

المحولات ثلاثية الأوجه

الجدارة: معرفة نظرية عمل المحول الكهربي 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 الكهربي 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 الكهربية والقياسات والوحدة الأولى والرابعة من هذا المقرر.

قلم الجزائر | WWW.DZPEN.COM

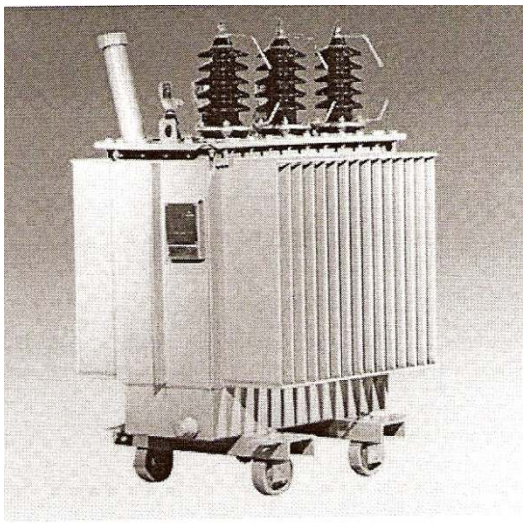
الوحدة الخامسة : المحولات ثلاثية الأوجه Three Phase Transformers

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 الخفض 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. ولاتختلف 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- ١يعرض صورة لمحول ثلاثي الأوجه.



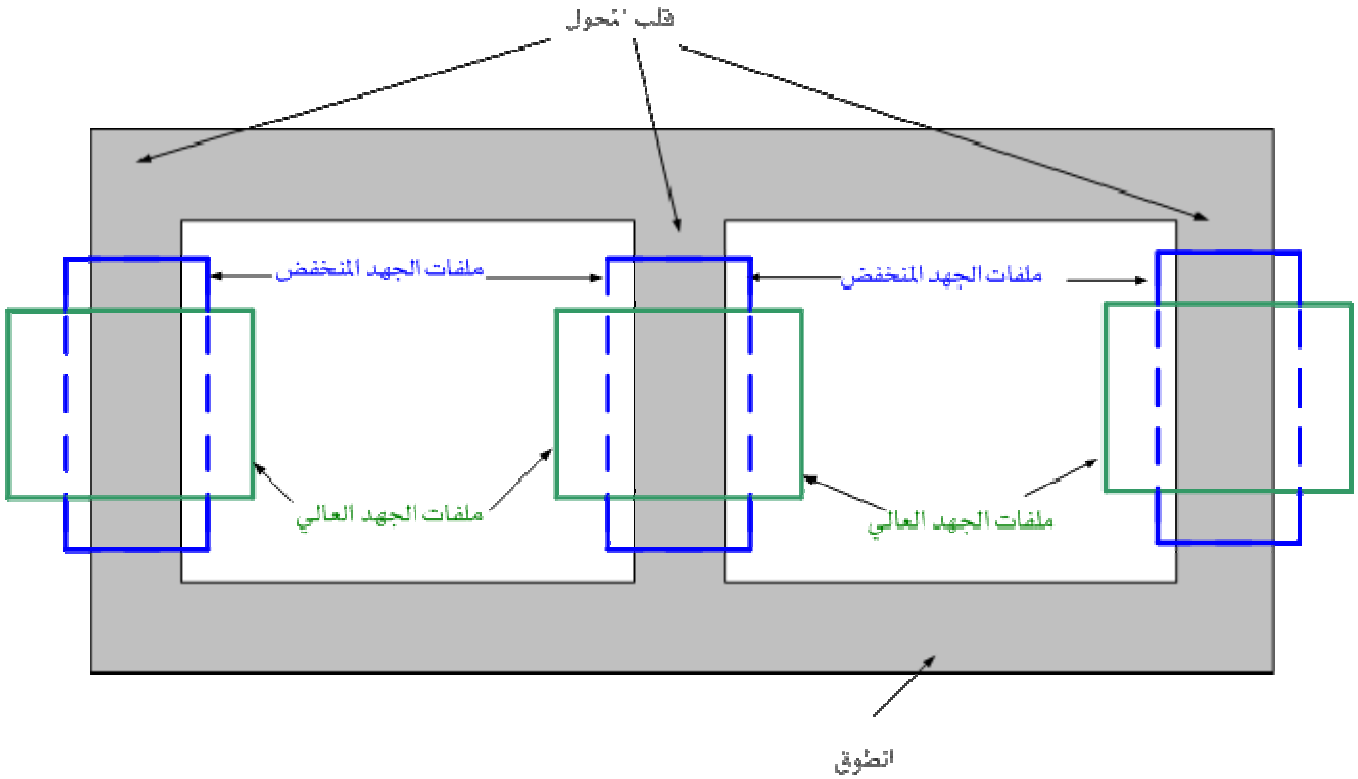
شكل ٥- ١ محول ثلاثي الأوجه

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

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 الهيكلي (القشري).

٥- ١- ١ النوع القلبي: Core type

يستخدم النوع القلبي في محولات القدرة متوسطة الحجم والتي تتراوح قدراتها تقريبا بين ٥٠٠ kVA و ١٠٠MVA. 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.

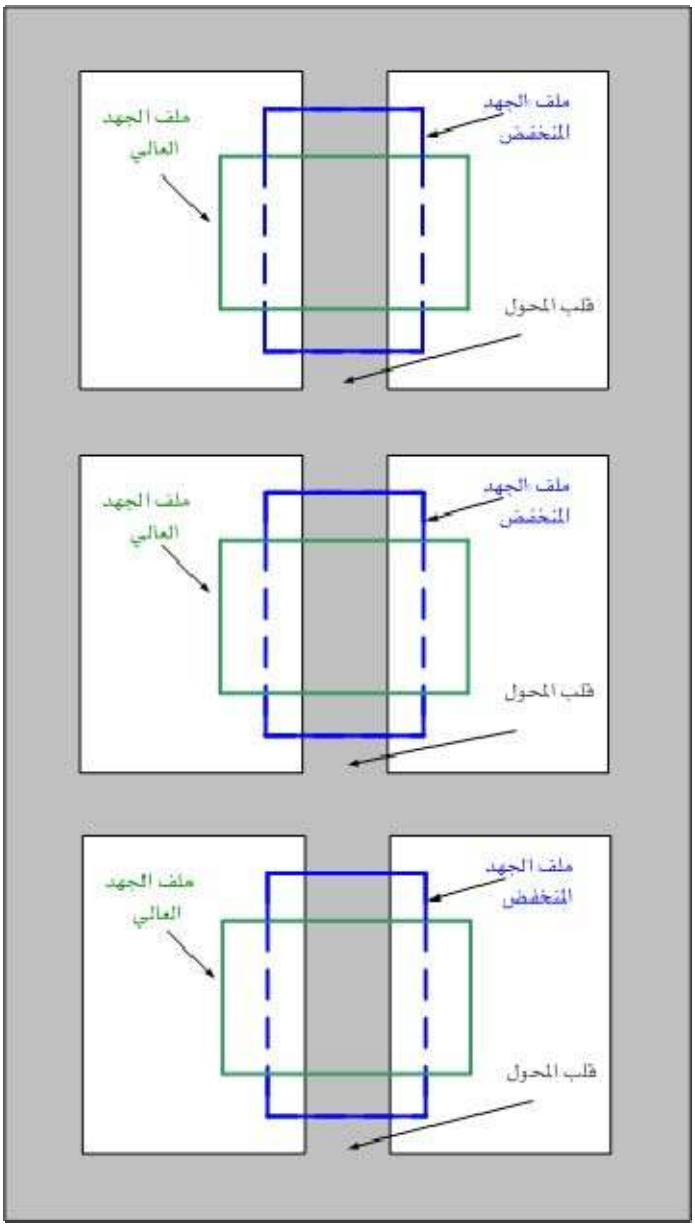


شكل ٥- ٢ النوع القلبي

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

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

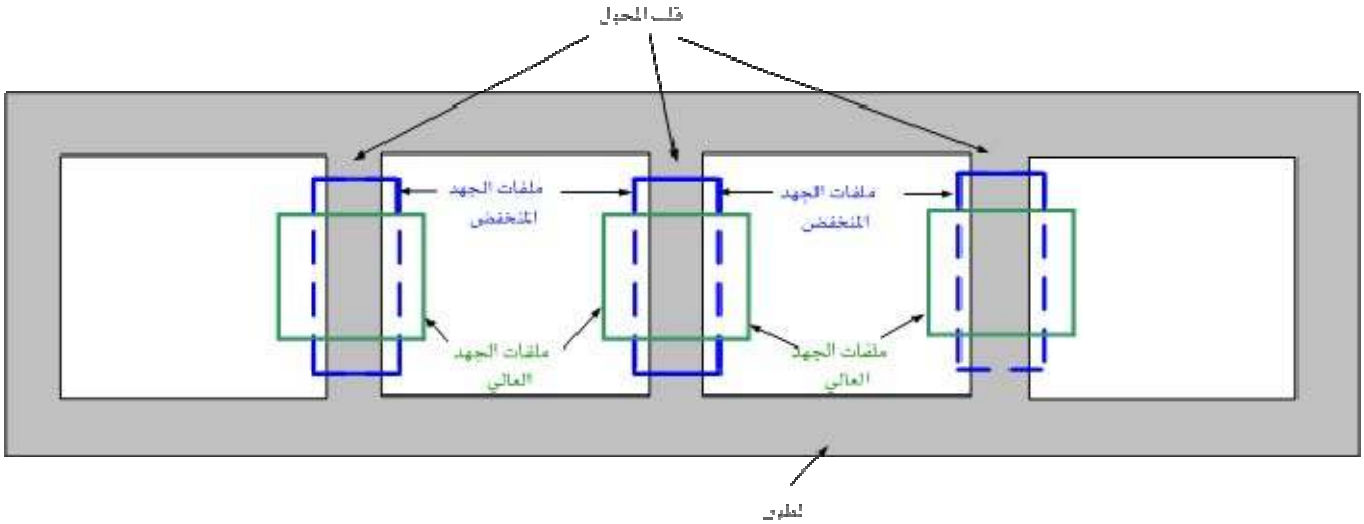
يستخدم النوع الهيكلي في محولات القدرة كبيرة الحجم وذات القدرات العالية. يوضح شكل ٥- ٣ محولاً قشرياً ثلاثي الأوجه، ويحتوي على ملف ابتدائي وملف ثانوي لكل وجه ملفوفين معاً على نفس الساق، يبين شكل ٥- ٣ النوع الهيكلي لمحول ثلاثي الأوجه، حيث تلف ملفات الابتدائي والثانوي لكل وجه في القشرة الداخلية، وبالتالي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



شكل ٥- ٣ النوع الهيكلي (القشري)

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

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

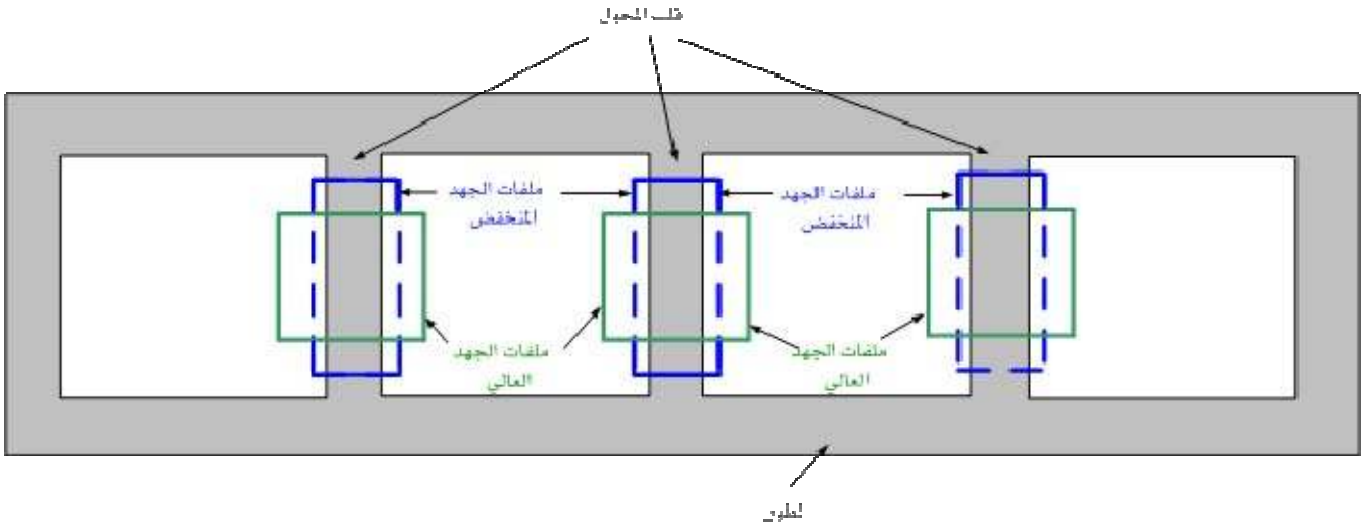
توجد طرق كثيرة لتوصيل الملفات الابتدائية والملفات الثانوية وذلك للحصول على خواص تشغيل تلبي احتياجات الحمل الذي يعمل عليه المحول، ويخضع اختيار الطريقة التي يتم بها توصيل أطراف المحول لعوامل واعتبارات مختلفة كعوامل الإجهادات الميكانيكية التي تنشأ من المجالات الكهرومغناطيسية والتي تؤثر على هيكل وملفات المحول، وكذلك شدة العزل الكهربي 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:

- توصيل الابتدائي نجمة- الثانوي نجمة Y-Y Star-Star
- توصيل الابتدائي دلتا – الثانوي دلتا Δ-Δ Delta-Delta
- توصيل الابتدائي نجمة – الثانوي دلتا Y-Δ Star-Delta
- توصيل الابتدائي دلتا – الثانوي نجمة Δ-Y Delta-Star

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

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:

أ. تحتاج إلى عدد أقل من اللفات 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.

ب. الإجهادات الكهربية على عوازل الملفات تكون أقل مايمكن حيث يهبط الجهد من قيمة جهد الوجه عن طرف الملف إلى صفر عند نقطة التعادل.

ت. تتحمل ملفات المحول الموصل نجمة- نجمة إجهادات ميكانيكية عالية بسبب كبر مساحة مقطعها وقلة عددها.

ث. يتيح وجود نقطة تعادل على جانبى المحول عملية التأريض ووجود منظومة من أربعة أسلاك.

ج. 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.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

ح. 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.

مثال٥- 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 ١٠٠٠كيلوفولت- أمبير عند جهد ٦,٦ كيلو فولت

الحل

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

$$S = \sqrt{3}\, V_2 I_2$$

$$I_2 = \frac{1000000}{\sqrt{3}\cdot 6600} = 87.477 \quad \text{Amp.}$$

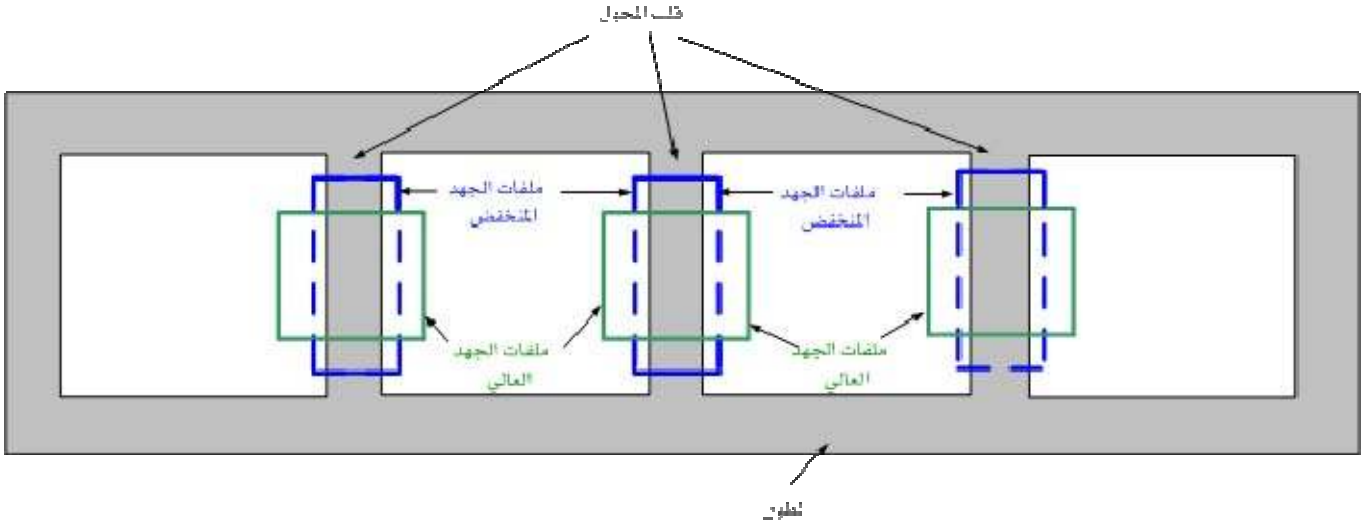
$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{I_1}{87.477} = \frac{10}{1}$$

$$I_1 = 8.744 \quad \text{Amp.}$$

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.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر



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 الكهربية 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. لاتحتوي توصيلة الدلتا على التوافقية الثالثة

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

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

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

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

مثال٥- 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

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{V_1}{13800} = ٤,٧٨٢٦$$

$V_١ = ٦٦$ kV

$$I_{٢ph} = \frac{I_2}{\sqrt{3}} = \frac{150}{\sqrt{3}} = ٨٦,٦$$ Amp.

$$\frac{I_{1ph}}{I_{2ph}} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{I_{1ph}}{86.6} = \frac{1}{4.7826}$$ Amp.

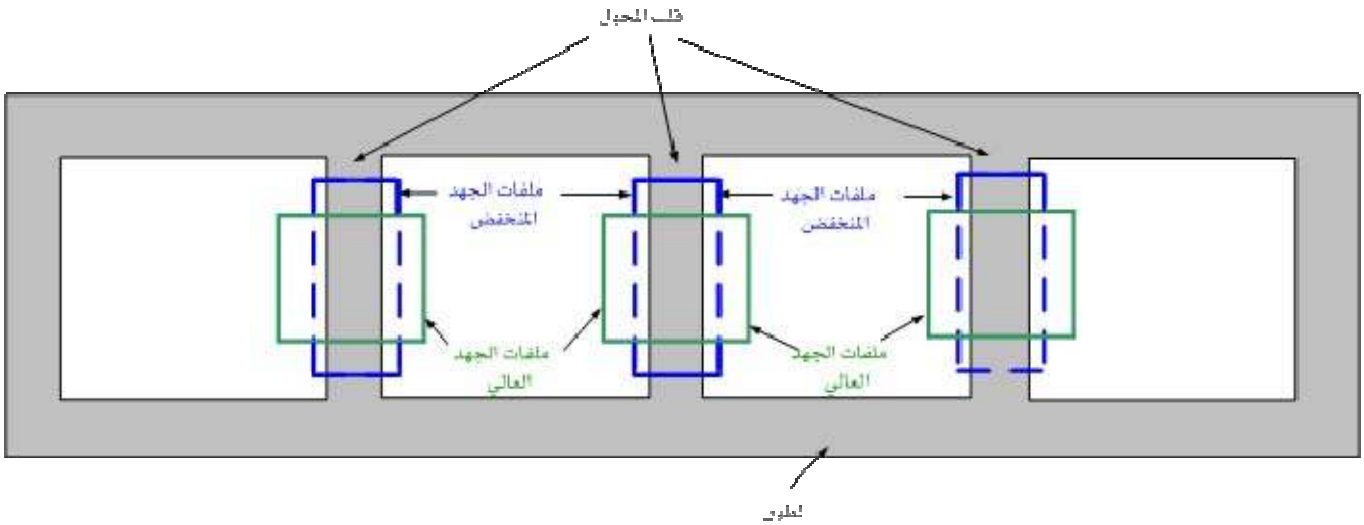
$I_{١ph} = ١٨,١١$ Amp.

$I_١ = I_{١ph}\sqrt{3} = ٣١,٣٦$ 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.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر



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:

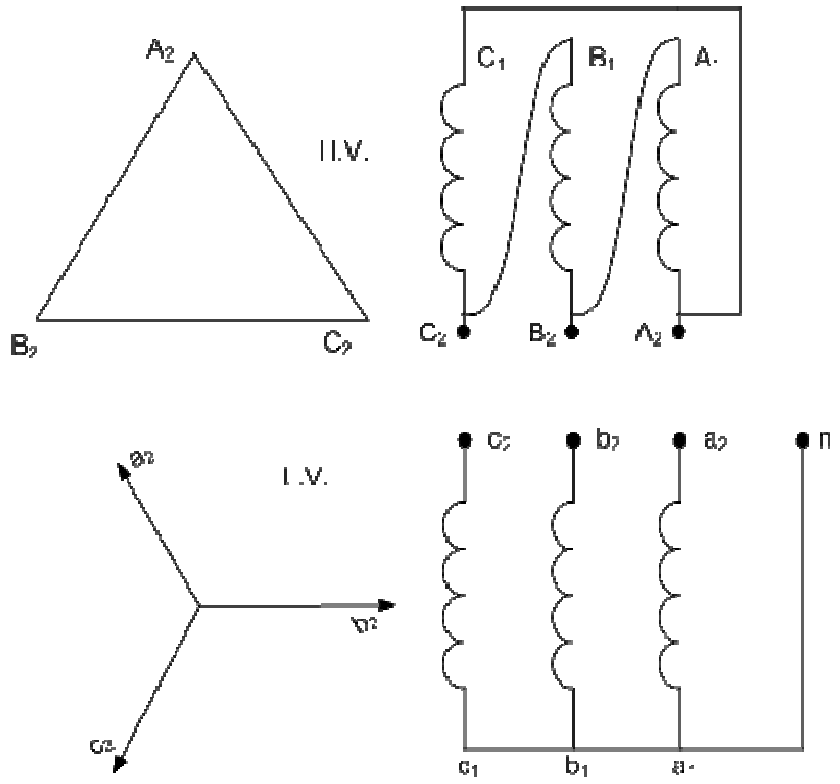
$$\frac{V_1/\sqrt{3}}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad \Rightarrow \quad \frac{V_1}{V_2} = \frac{\sqrt{3}N_1}{N_2}$$

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

٥- ٢- ٤ توصيل دلتا- نجمة Δ- Y

في هذه الحالة توصل ملفات الابتدائي على شكل دلتا وملفات الثانوي توصل نجمة. ويوضح شكل ٥- ٨ طريقة التوصيل في هذه الحالة.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر



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 عل 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 لايعتبر 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.

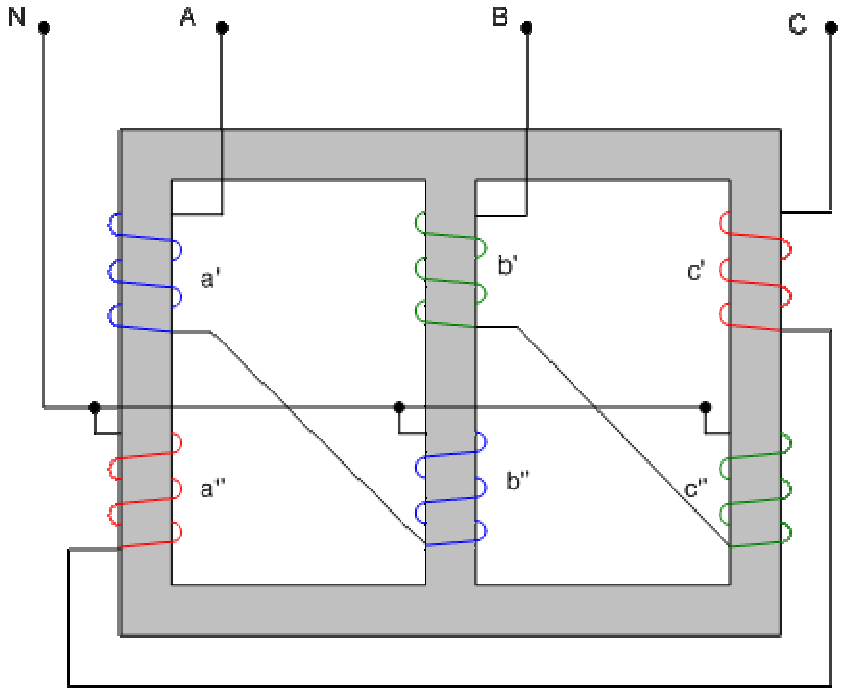
ح. تحسب نسبة التحويل بين الملف الابتدائي والملف الثانوي بنسبة جهد الوجه على كل منهما فتكون:

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

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

٥- ٣. محول الزجزاج

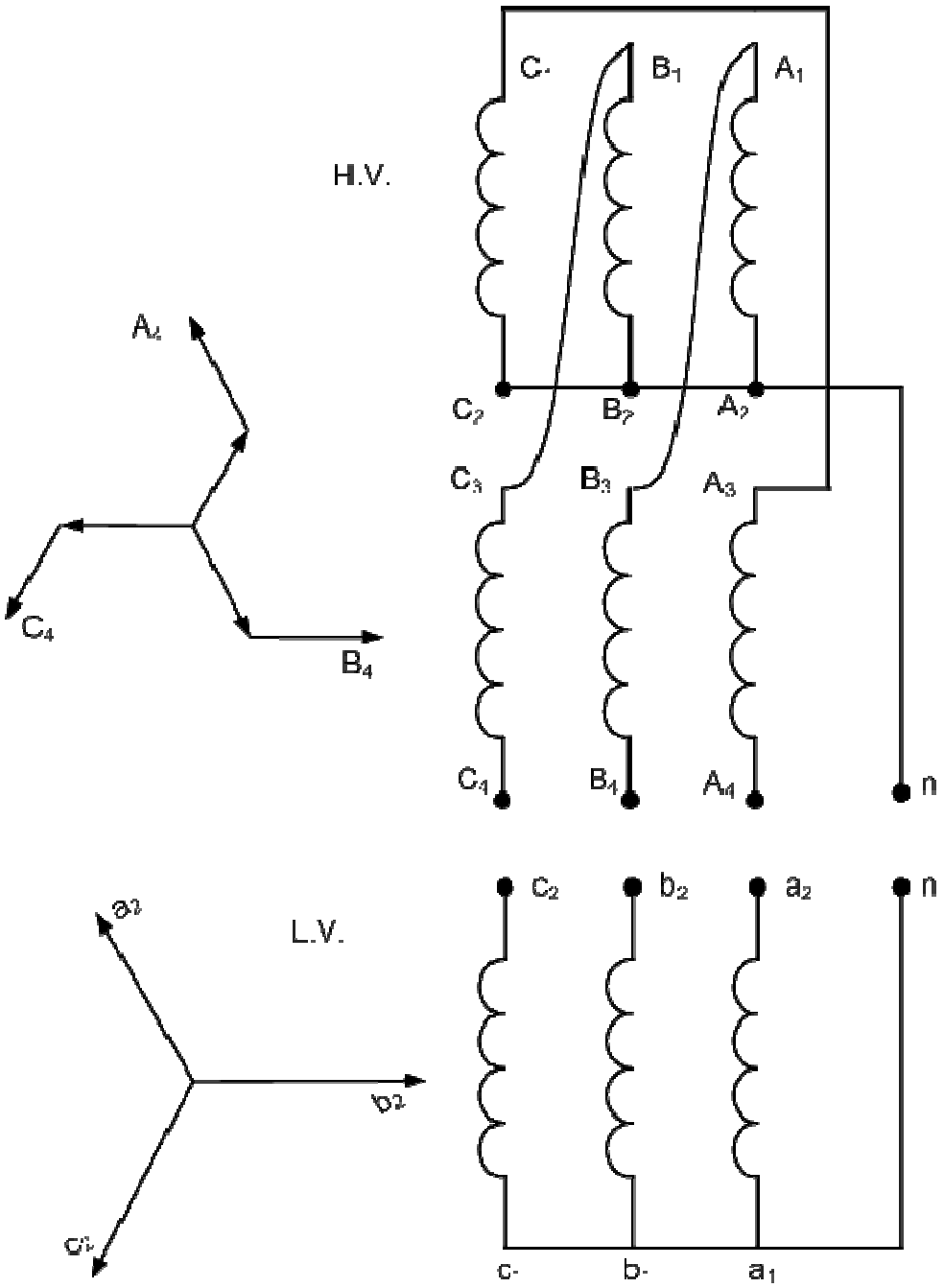
محولات الزجزاج هي محولات يكون أحد جانبيها (الابتدائي) أو الثانوي إما موصلا نجمة أو دلتا بينما يتم تقسيم ملفات الجانب الآخر كل ملف إلى نصفين موصلين على التوالي، ويتم التوصيل بين الملفات كما في شكل ٥- ٩ ويتم الربط بين الملفات بحيث يمكن الحصول على نقطة تعادل.



شكل ٥- ٩ توصيل ملفات المحول بطريقة الزجزاج

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

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر



شكل ٥- ١٠ توصيلة زجزاج- 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

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

الممكن أن تكون زاوية الطور بينهما 180^{o} ويمكن القول بأنة تظهر إزاحة طورية بين أطراف الملف الابتدائي والملف الثانوي تتراوح بين صفر و360^{o} على خطوات كل منها 30^{o} وتعتمد هذه الإزاحة على طريقة اللف وطريقة التوصيل بين أطراف المحول.

إتفق المهندسون على إعطاء كل جانب من ملفي المحول رمزاً يتكون من حرف ورقم بحيث يدل الحرف على طريقة التوصيل (دلتا – نجمة – زجزاج) بينما يدل الرقم على مضاعفات الزاوية 30^{o} 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 Dz٠ تعني أن ملفات الملف الابتدائي (ملفات الجهد العالي في هذه الحالة) موصلة دلتا وأن ملفات الملف االثانوي (ملفات الجهد المنخفض في هذه الحالة) موصلة زجزاج وأن الزاوية بين الجهد التأثيري في الملفات الابتدائية والجهد التأثيري 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:

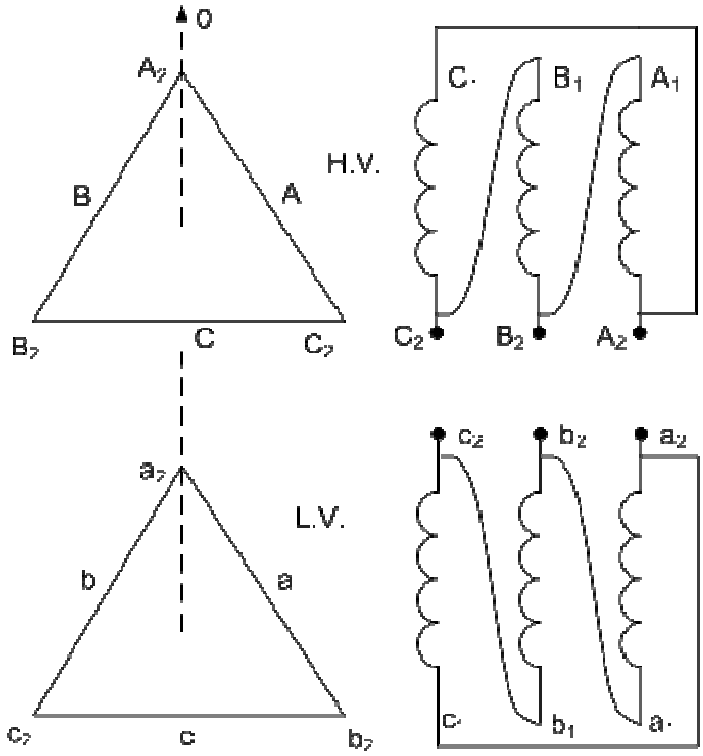
١. المجموعة الأولى: إزاحة الطور الناتجه عنها مساوية للصفر وتشمل التوصيلات التالية:

أ. توصيلة Dd٠ ومعنى ذلك أن ملفات الجهد العالي وملفات الجهد المنخفض من النوع دلتا والإزاحه صفر شكل ٥- ١١ يوضح التوصيلة والمخطط الاتجاهي للجهود

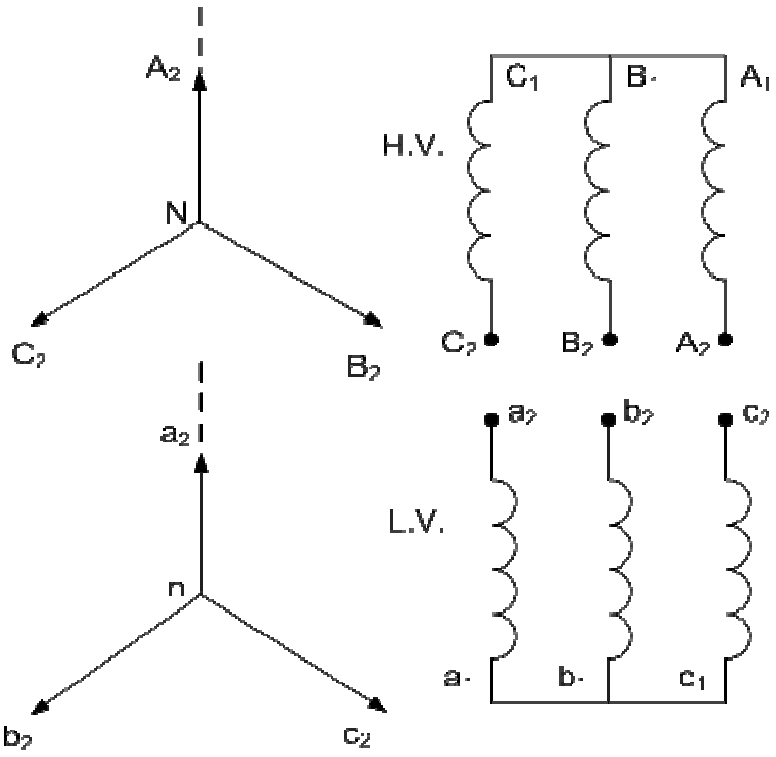
ب. توصيلة Yy٠ ومعنى ذلك أن ملفات الجهد العالي وملفات الجهد المنخفض من النوع نجمة والإزاحه صفر شكل ٥- ١٢ يوضح التوصيلة والمخطط الاتجاهي للجهود

ت. توصيلة Dz٠ ومعنى ذلك أن ملفات الجهد العالي من النوع دلتا بينما ملفات الجهد المنخفض من النوع زجزاج والإزاحه صفر شكل ٥- ١٢ يوضح التوصيلة والمخطط الاتجاهي للجهود

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

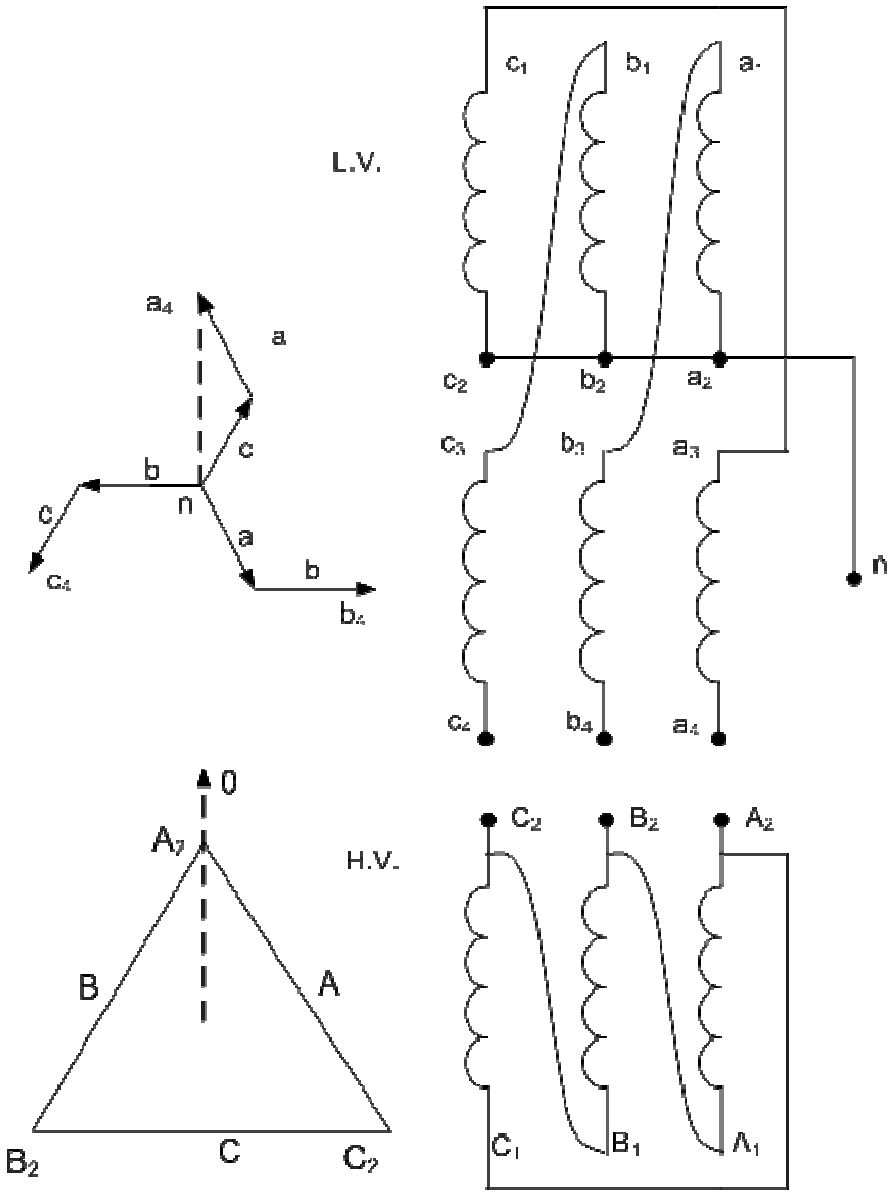


شكل ٥- ١١ توصيلة Dd٠



شكل ٥- ١٢ توصيلة Yy٠

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر



شكل ٥- ١٣ توصيلة Dz٠

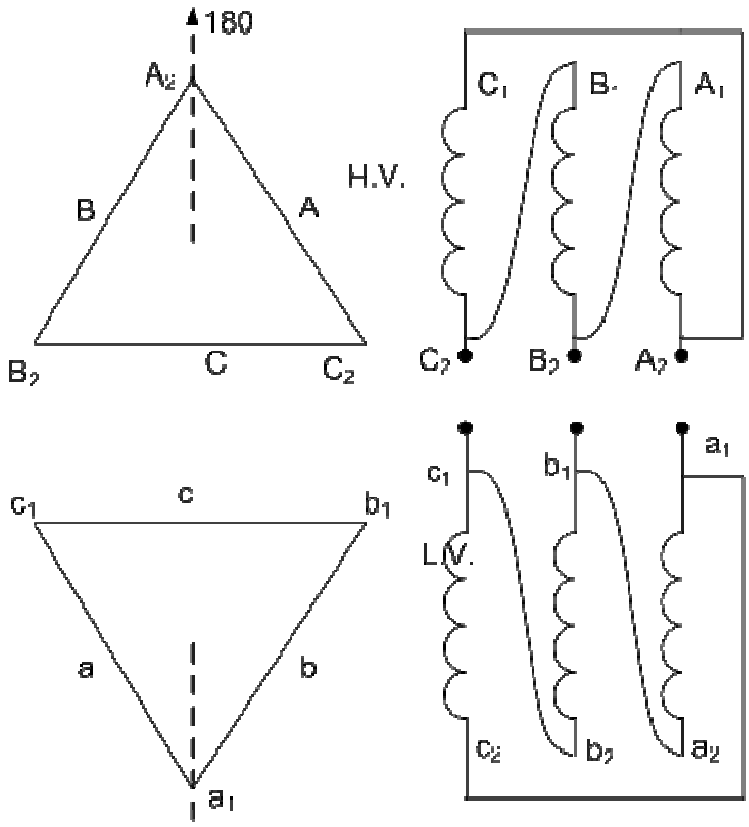
٢. المجموعة الثانية: إزاحة الطور الناتجه عنها تساوي 180^{o} وتشمل التوصيلات التالية

أ. توصيلة Dd٦ ومعنى ذلك أن ملفات الجهد العالي وملفات الجهد المنخفض من النوع دلتا والإزاحه 180^{o} شكل ٥- ١٤ يوضح التوصيلة والمخطط الاتجاهي للجهود

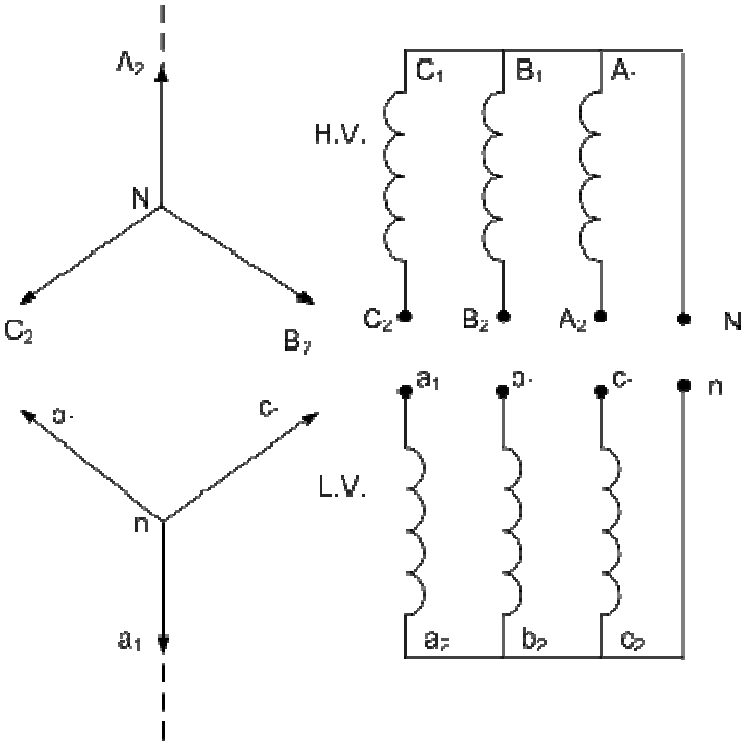
ب. توصيلة Yy٦ ومعنى ذلك أن ملفات الجهد العالي وملفات الجهد المنخفض من النوع نجمة والإزاحه 180^{o} شكل ٥- ١٥ يوضح التوصيلة والمخطط الاتجاهي للجهود

توصيلة Dz٦ ومعنى ذلك أن ملفات الجهد العالي من النوع دلتا بينما ملفات الجهد المنخفض من النوع زجزاج والإزاحه 180^{o} شكل ٥- ١٦ يوضح التوصيلة والمخطط الاتجاهي للجهود

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

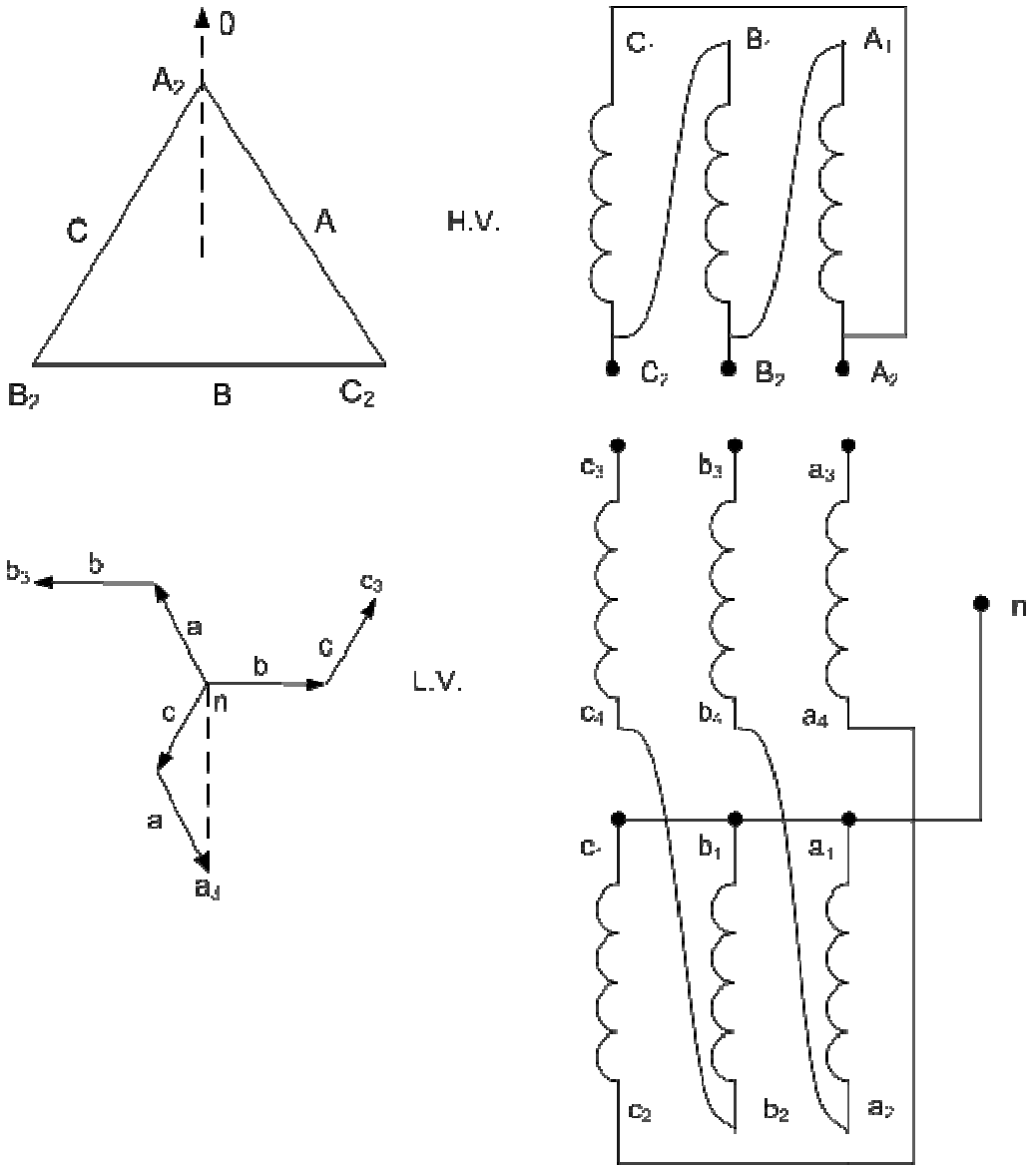


شكل ٥- ١٤ توصيلة Dd٦



شكل ٥- ١٥ توصيلة Yy٦

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر



شكل ٥- ١٦ توصيلة Dz٦

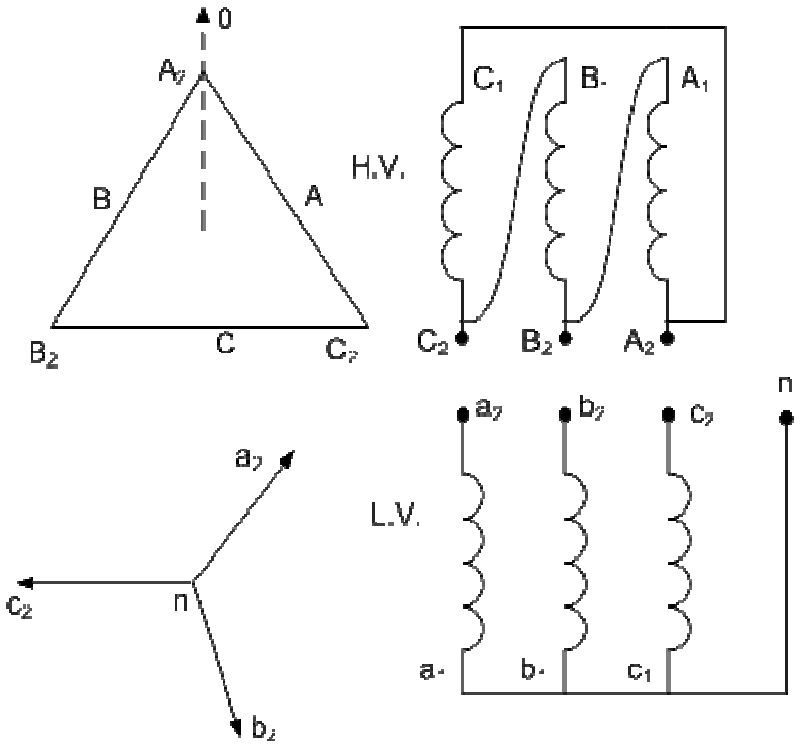
٣. المجموعة الثالثة: إزاحة الطور الناتجه عنها تساوي 30^{o} وتشمل التوصيلات التالية

أ. توصيلة Dy١ ومعنى ذلك أن ملفات الجهد العالي من النوع دلتا وملفات الجهد المنخفض من النوع نجمة والإزاحه 30^{o} شكل ٥- ١٧ يوضح التوصيلة والمخطط الاتجاهي للجهود

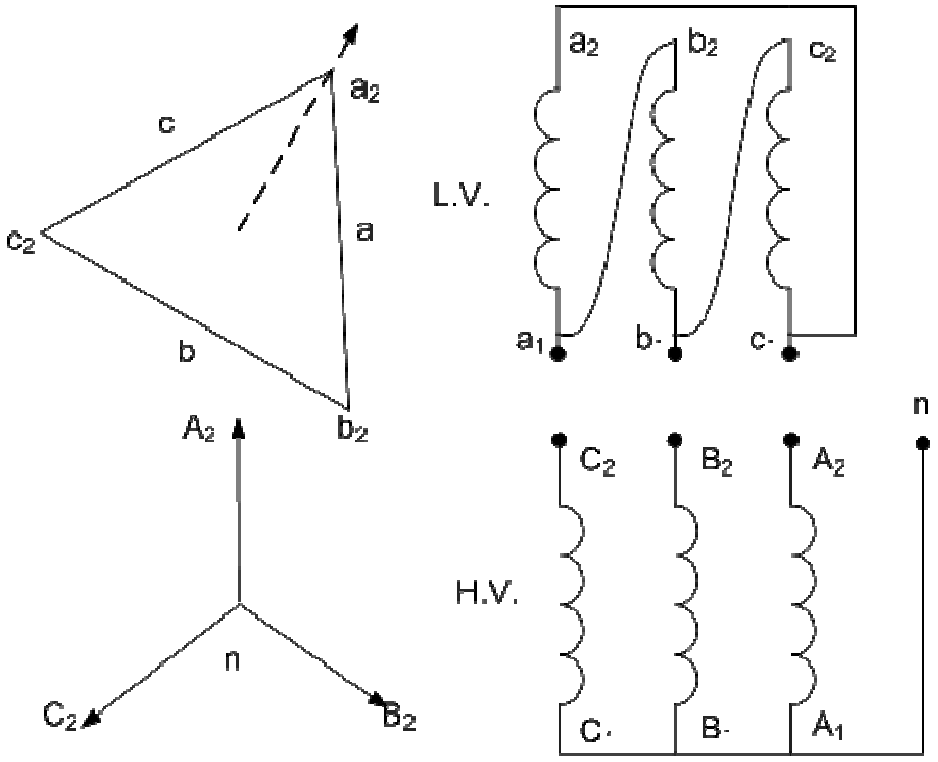
ب. توصيلة Yd١ ومعنى ذلك أن ملفات الجهد العالي من النوع نجمة وملفات الجهد المنخفض من النوع دلتا والإزاحه 30^{o} شكل ٥- ١٨ يوضح التوصيلة والمخطط الاتجاهي للجهود

ت. توصيلة Yz١ ومعنى ذلك أن ملفات الجهد العالي من النوع نجمة بينما ملفات الجهد المنخفض من النوع زجزاج والإزاحه 30^{o} شكل ٥- ١٩ يوضح التوصيلة والمخطط الاتجاهي للجهود

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

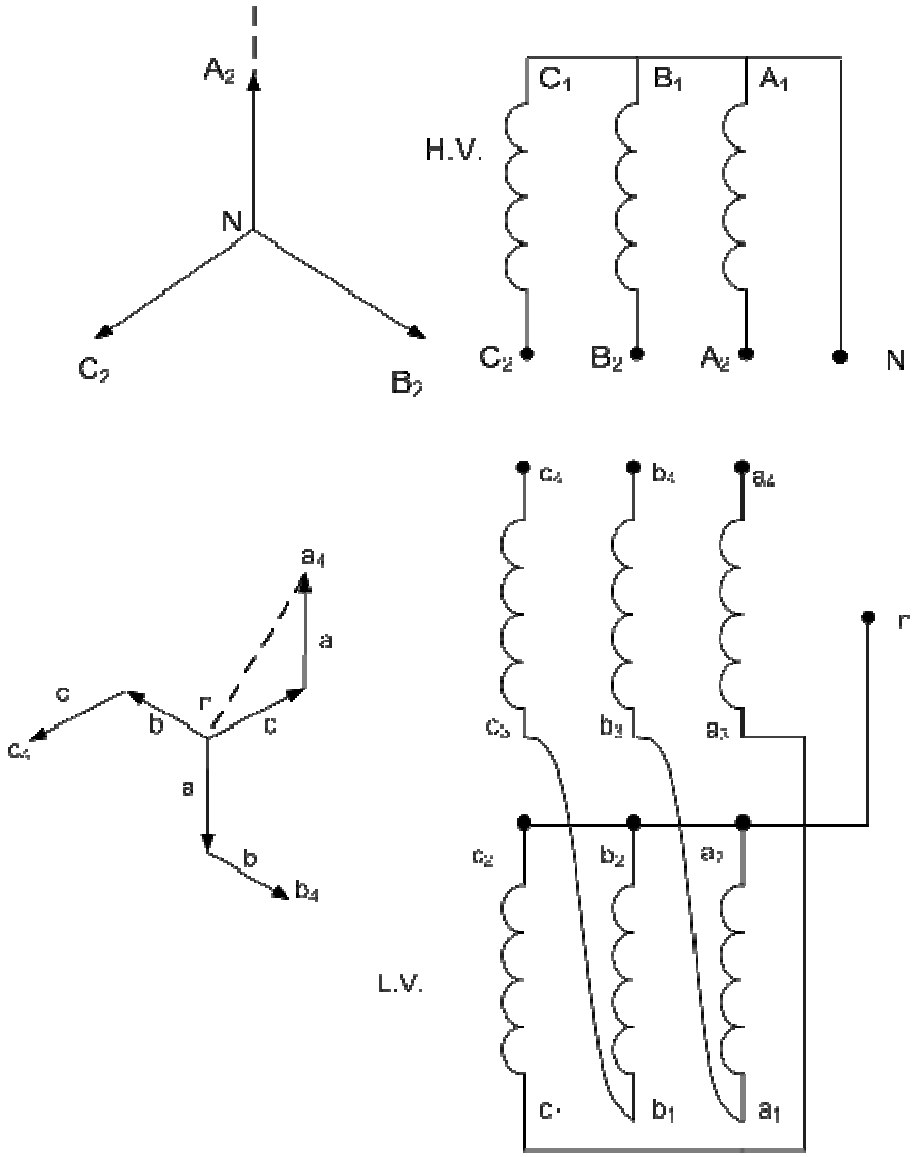


شكل ٥- ١٧ توصيلة Dy١



شكل ٥- ١٨ توصيلة Yd١

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر



شكل ٥- ١٩ توصيلة Yz١

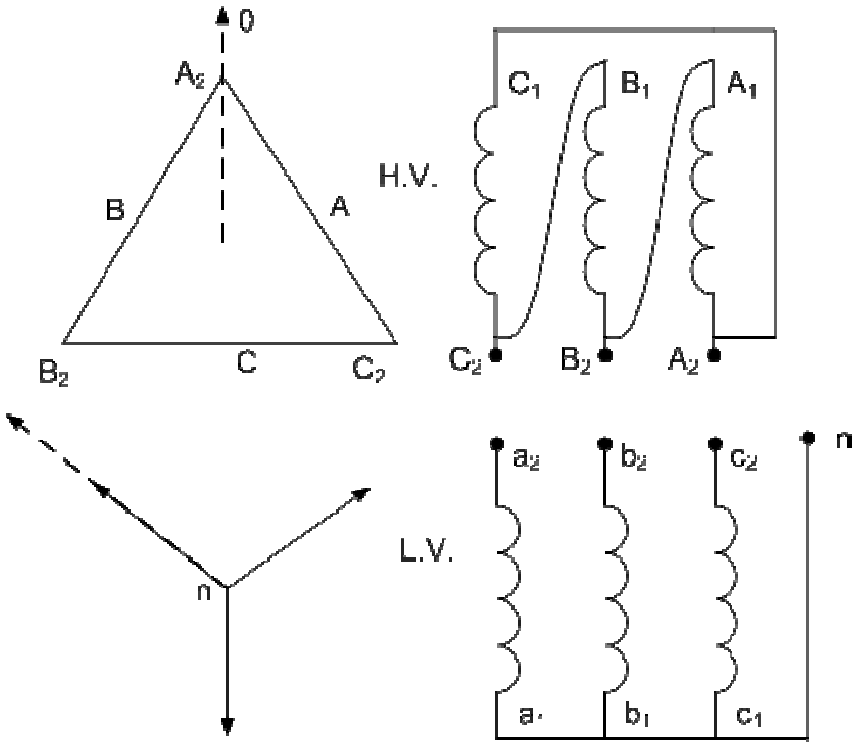
٤. المجموعة الرابعة: إزاحة الطور الناتجه عنها تساوي ٣٣٠^{o} أوسالب ٣٠ درجة وتشمل التوصيلات التالية:

أ. توصيلة Dy١١ ومعنى ذلك أن ملفات الجهد العالي من النوع دلتا وملفات الجهد المنخفض من النوع نجمة والإزاحه ٣٣٠^{o} شكل ٥- ٢٠ يوضح التوصيلة والمخطط الاتجاهي للجهود

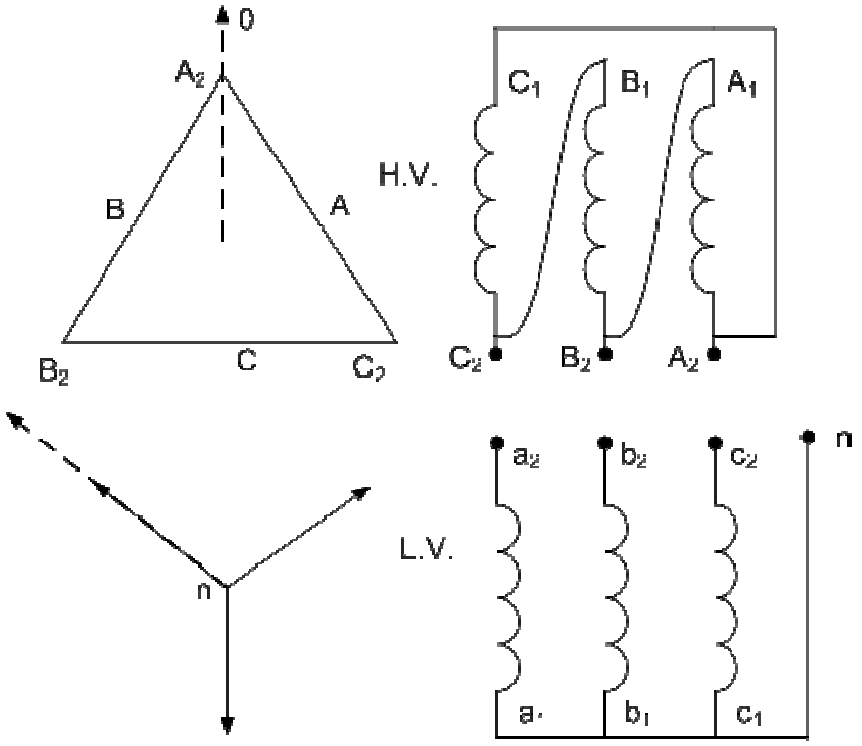
ب. توصيلة Yd١١ ومعنى ذلك أن ملفات الجهد العالي من النوع نجمة وملفات الجهد المنخفض من النوع دلتا والإزاحه ٣٣٠^{o} شكل ٥- ٢١ يوضح التوصيلة والمخطط الاتجاهي للجهود

ت. توصيلة Yz١١ ومعنى ذلك أن ملفات الجهد العالي من النوع نجمة بينما ملفات الجهد المنخفض من النوع زجزاج والإزاحه ٣٣٠^{o} شكل ٥- ٢٢ يوضح التوصيلة والمخطط الاتجاهي للجهود

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

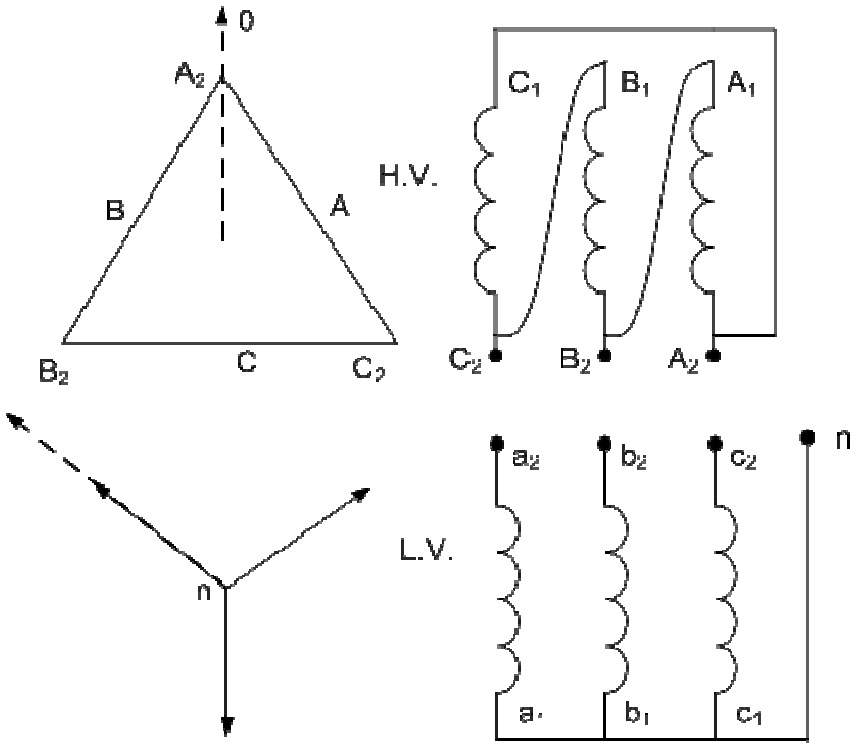


شكل ٥- ٢٠ توصيلة Dy١١



شكل ٥- ٢١ توصيلة Yd١١

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر



شكل ٥- ٢٢ توصيلة Yz١١

٥- ٤- ٢ توصيل المحولات الثلاثية على التوازي

Parllel 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 أى محولين ينتميان إلى نفس المجموعة يمكن تشغيلهما على التوازي.

٥- ٥ طرق تبريد المحولات

Methods of Cooling

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 للتيار ات 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 لاتتأثر بها المواد

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

العازلة المستخدمة.كما أن ارتفاع درجة الحرارة يؤثر على كفاءة المحول وكذلك عمره الافتراضي لذلك فإنة 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- 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) ولايزيد 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 إختصار Air Forced

٥- ٢ تبريد المحولات المغمورة في الزيت:

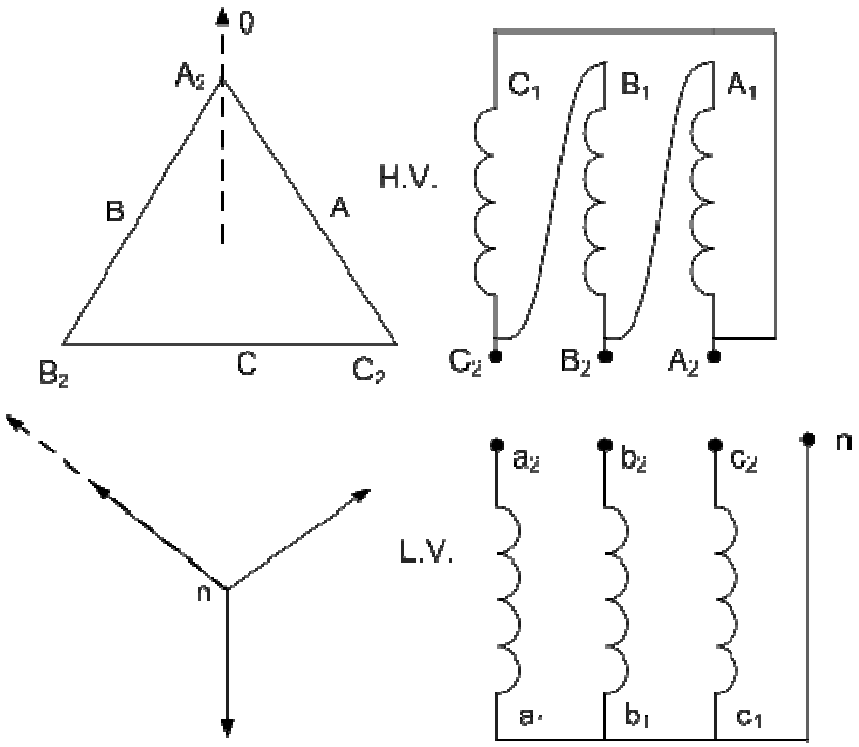
Cooling of liquid immersed Transformer

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

أ. <u>تبريد ذاتي بالزيت</u>: Oil immersed, self cooled

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 تبريدة 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

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر



شكل ٥- ٢٣ محول توزيع جاف تبريد ذاتي بالهواء

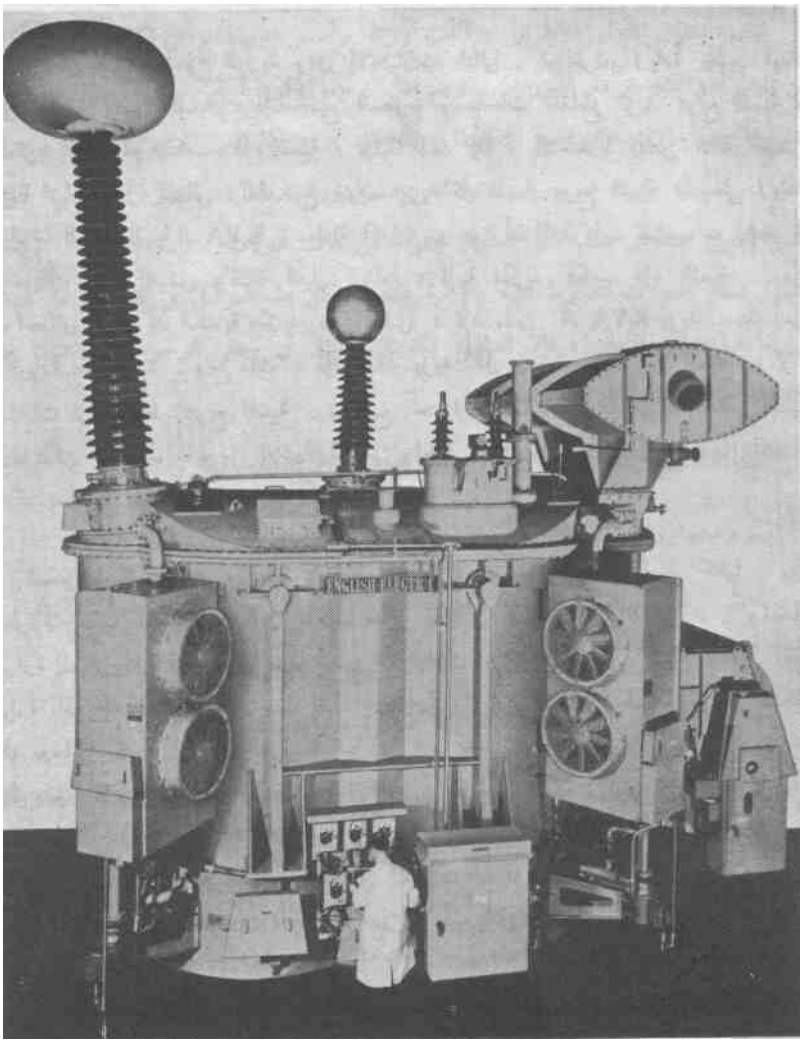


شكل ٥- ٢٤ محول توزيع تبريد ذاتي بالزيت مع وجود أنابيب لزيادة السطح

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

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.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

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 إجزاء 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

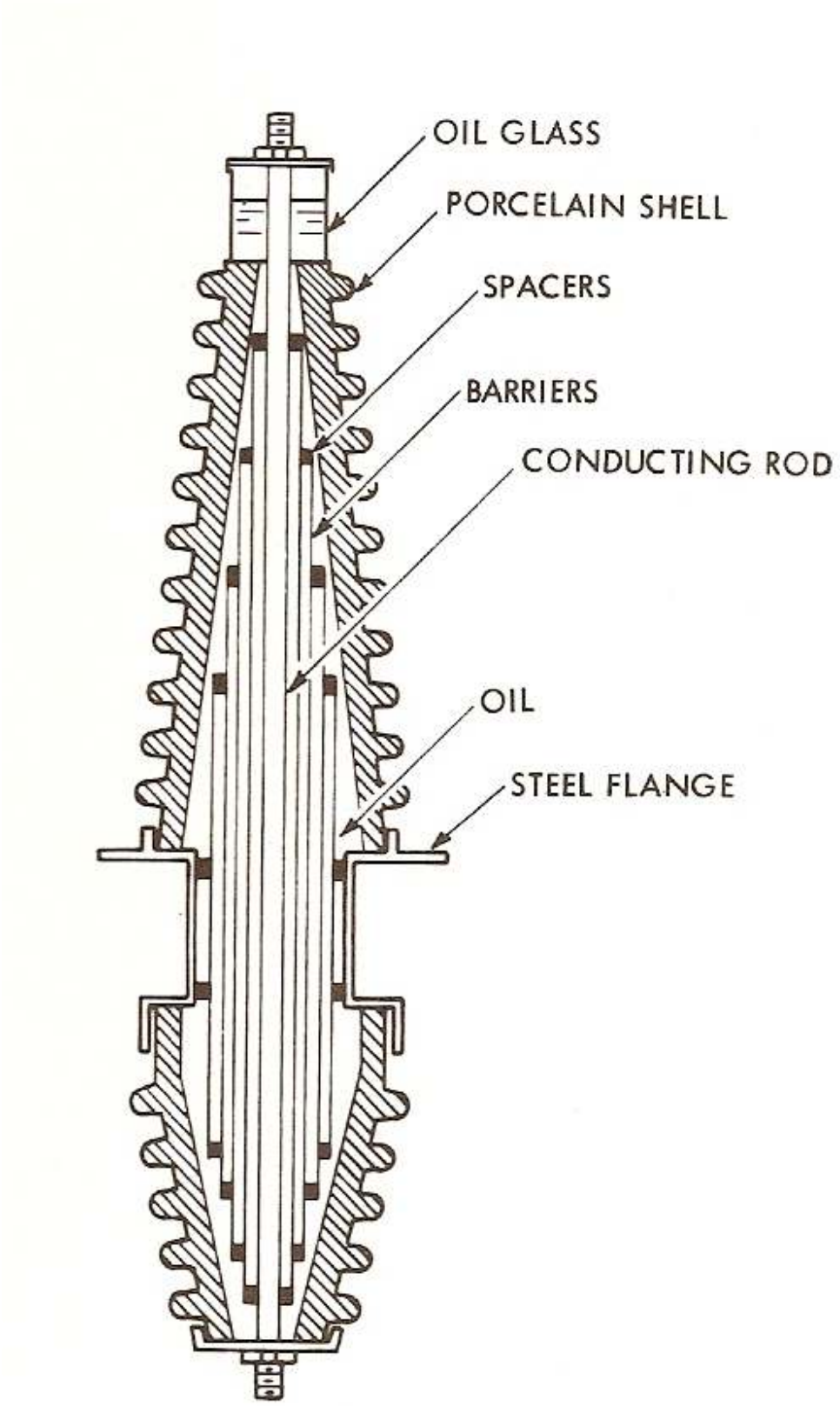
٥- ٦ محولات القدرة Power Transformer

تستخدم محولات القدرة (Power Tansformers) والتي تكون عادة محولات ثلاثية الأوجه في رفع الجهد الكهربي 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 ٨٠٠kV 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.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر



شكل ٥- ٢٦ طرف توصيل الجهد المنخفض Low Voltage Bushing

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

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

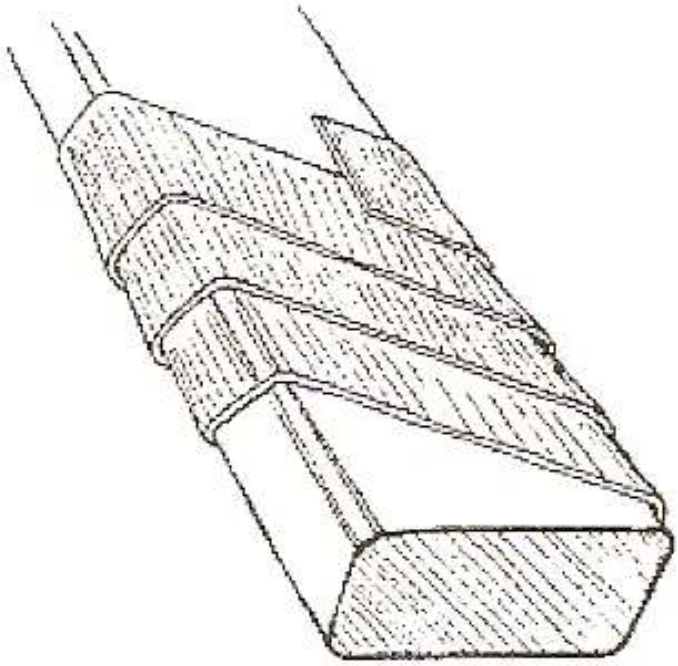
تجدر الإشارة إلى أن مواد العزل الكهربائية يتم تصنيفها تبعاً لقدرتها على تحمل أقصى درجة حرارة يمكن أن يتعرض لها العازل دون أن يؤثر ذلك تأثيراً محسوساً على العمر الافتراضي للعازل ومن بين هذه المواد :

- القطن والحرير والورق ويمكن أن تتحمل درجة حرارة ١٠٥درجة مئوية
- المايكا والألياف الزجاجية والإسبستوس وتتحمل حتى درجة حرارة ١٥٠درجة 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.

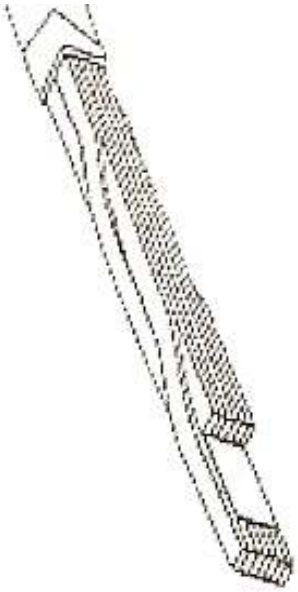
٥- ٦- ٢ الملفات

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.

قلم الجزائر | WWW.DZPEN.COM



شكل ٥- ٢٧ موصل مستطيل الشكل ملفوف بورق عازل



شكل ٥- ٢٨ كابل مكون من مجموعة موصلات

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

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 الراسبة
٢. **الكثافة**: يجب ألا تزيد الكثافة عن ٨٩٥ kg/m^3
٣. **اللزوجة**: كلما قلت اللزوجة زادت حركة الزيت وكان تبريد المحول أفضل.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

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**: وهى 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 و٤٥ 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 الكهربي للزيت إلى النصف. لذا يجب أن لا يزيد محتوى الماء عن ٣٥ ملليجرام لكل كيلو من الزيت.

٧. **الشدة الكهربائية**: وتقيس قدرة الزيت على تحمل المجال الكهربي. لذا يجب ألا يقل جهد الانهيار للزيت غير المعالج عن ٣٠ kV وللزيت المعالج عن ٥٠kV.

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 هيكلاً قوياً. 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 فإما 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،

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

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 مساويا 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 عل 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 لايعتبر 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 كهربي) (Circuit Braker.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

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 ١١٠٠ MVA ونسبة تحويل ١٩/٣٤٥ kV وهو من النوع الهيكلي



شكل ٥- ٢٩ محول رفع ثلاثي الأوجه من النوع الهيكلي

- **المحولات الخافضة:** Step Down Transformer

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 ١٥٪± 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

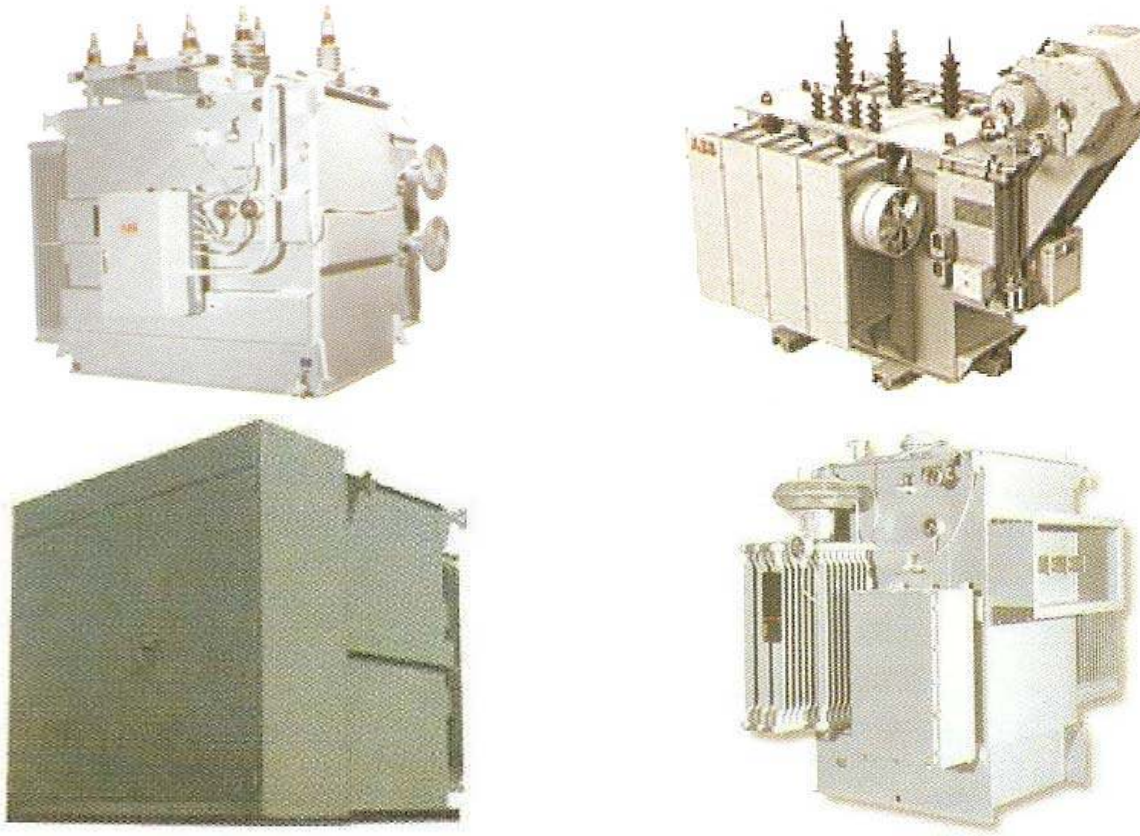
WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

٥- ٧ محولات التوزيع Distribution Transformer

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.

٥- ٧- ١ محولات التوزيع الكبيرة Large Distribution Transformer

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. ويحتوى 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

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

٥- ٧- ٢ محولات التوزيع المتوسطة Meduim Distribution Transformer

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 لايلامس الهواء وبالتالي يتم تفادي امتصاص الرطوبة من الهواء التي تؤثر على خواص الزيت.

٥- ٧- ٣ محولات التوزيع الصغيرة Small Distribution Transformer

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

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر



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 وتلويث 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 لايكون 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. لاتحتاج 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.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

٦. خفيفة الوزن نسبياً حيث يمكن وضعها بسهولة في كثير من الأماكن كأسطح المباني والأرفف والهياكل 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 وتمتاز المحولات الجافة التقليدية برخص الثمن وبساطة التكوين والصيانة، ويراعى عند استخدام المحولات الجافة أن لا تترك بدون عمل لفترة طويلة حيث تكون عرضة لامتصاص الرطوبة من الهواء الجوي المحيط بها نظراً للاتصال المباشر بين قلب المحول وملفاته وبين الوسط الخارجي.

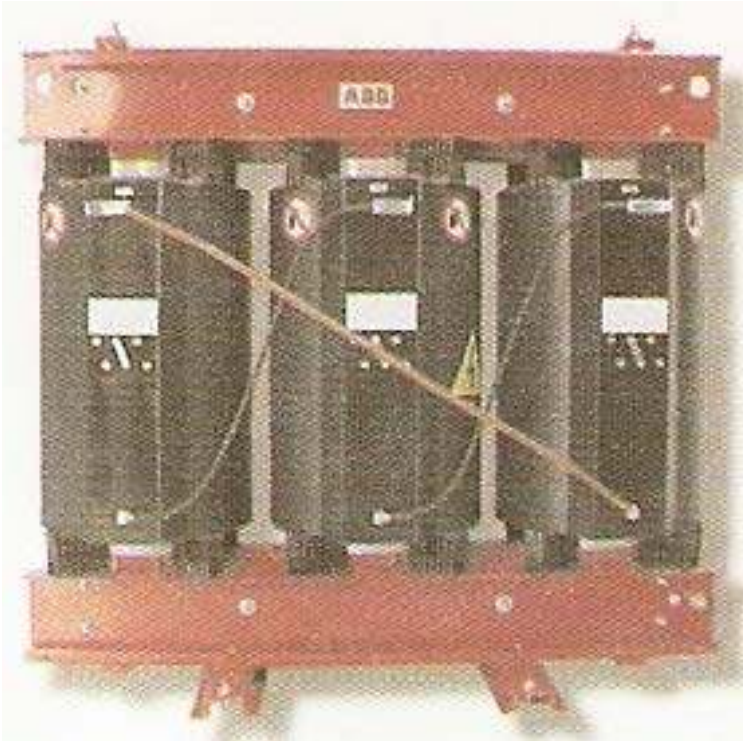
٢. **المحولات الجافة الراتينجية:** وهي محولات جافة لاتحتوي على أية سوائل للعزل والتبريد. ويتم تكوين المحول عن طريق وضع ملفات المحول بأكملها داخل مادة راتنجية بحيث تغلف هذه المادة الملفات.تماماً وتتميز هذه النوعية من المحولات بمقاومة كبيرة للرطوبة وللعوامل الجوية بالإضافة إلى مقاومة أكبر للإجهادات الميكانيكية، وبالتالي فإن مثل هذه المحولات تكون مفيدة جداً في الأجواء الملوثة والمعرضة للأتربة والمواد الكيميائية الضارة والرطوبة مثل صناعات الأسمنت 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 ولاينفجر وغير سام وغير ضار بالبيئة. ويملأ 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 لاتحتاج إلى صيانة تذكر ولا تزود بأي وسيلة تبريد حيث يتم تبريدها ذاتياً. والعيب الرئيسي في هذه المحولات هو سعرها المرتفع.

وأصبح من المألوف 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

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

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

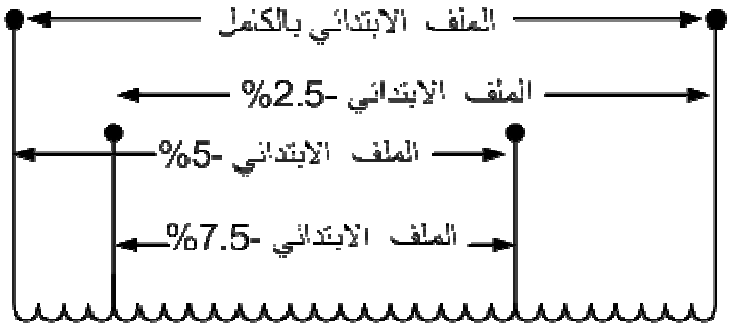
٥- ٨ مآخذ الجهد (تفريعات الجهد) Votage Tappings

يتم تزويد المحولات المصنوعة في الوقت الحالي بمآخذ 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 الخفض 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 ثابتا بينما الجهد على أطراف الملف الثانوي يتغير بتغير الحمل، ولذلك فإننا نحتاج إلى تغيير نسبة التحويل للمحول للتعويض عن التغييرات التي تنتج بسبب التغير اليومي والموسمي في الأحمال. وبالنسبة لمحولات التوزيع فتحتاج أيضاً لوجود مآخذ 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 مآخذ على الجانب الابتدائي وخمسة مآخذ على الجانب الثانوي. بحيث تتراوح نسبة

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

الجهد بين ٩٥٪ و١٠٠٪ من قيمة الجهد المقنن وبنسبة تغيير ٢,٥٪ ويمكن زيادة المدي على حسب ظروف التشغيل.

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



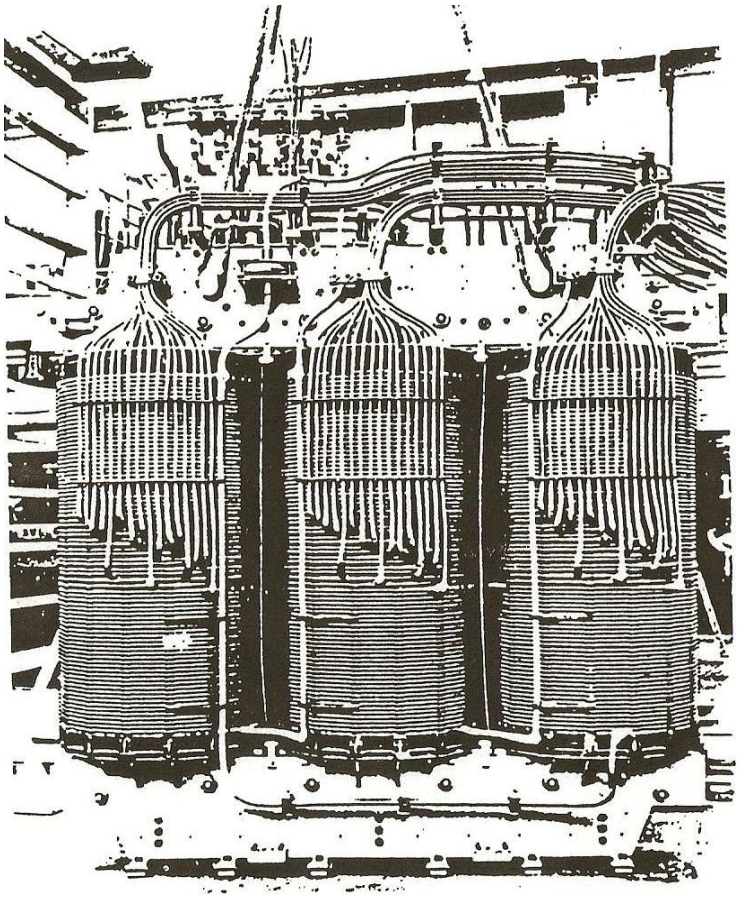
شكل ٥- ٣٣ ملف به عدد ٤ مآخذ للجهد

جدول ٥- ١ يعرض قيم الجهد على كل من الملف الابتدائي والملف الثانوي في حال تغيير مآخذ الجهدعلى 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.

قلم الجزائر | WWW.DZPEN.COM



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

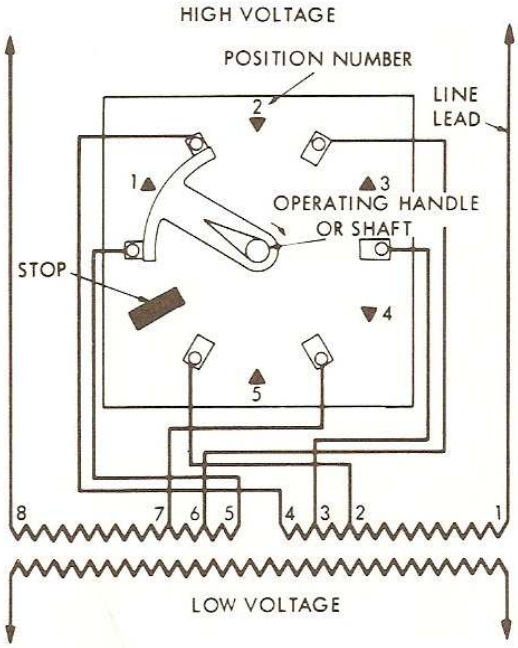
٥- ٩ مغيرات الجهد Tap Changers

أن تغيير مآخذ الجهد في المحولات من الممكن أن تتم بدون حمل أوبحمل باستخدام مغيرات الجهد والتى من الممكن تقسيمها إلى نوعين:

٥- ٩- ١ مغير الجهد بدون حمل No Load Tap Changer

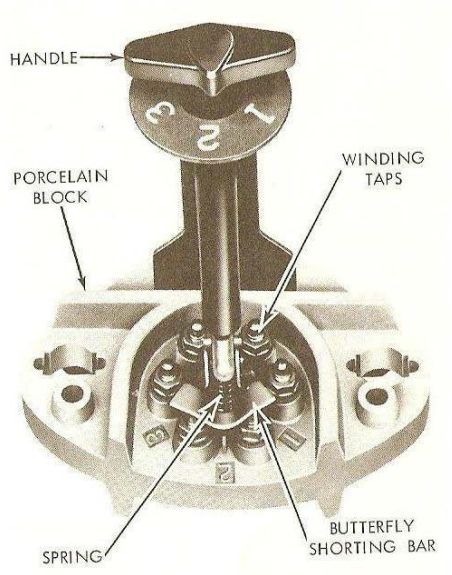
إن مغير الجهد بدون حمل هوعبارة عن تصميم بسيط يمكن من خلاله توصيل الجهد على أي طرف من أطراف مآخذ الجهد ، ويتم ذلك بعد فصل المحول من الخدمة (Off Load). ويراعى استخدام زنبرك قوي للمحافظة على عملية توصيل جيدة عند نقطة الاتصال المطلوبة. ويلاحظ أن تشغيل نفس نقطة الاتصال لفترة طويلة (السنوات عديدة) يؤدي إلى زيادة مقاومة الاتصال عند هذة 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

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر



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

في شكل ٥- ٣٥ في حالة التوصيل على الوضع ١ فإن ملف الجهد العالي يتم استخدامه بالكامل، حيث يتم التوصيل بن 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

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

٥- ٩- ٢ مغير الجهد تحت الحمل On Load Tap Changer

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 هى تغيير نقطة نقل القدرة من نقطة اتصال إلى نقطة مجاورة. ويجب أن يتم ذلك بدون عمل قصر بين نقطتى 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.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

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 كيلوفولت، ١٣٨ كيلوفولت 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؟

قلم الجزائر | WWW.DZPEN.COM