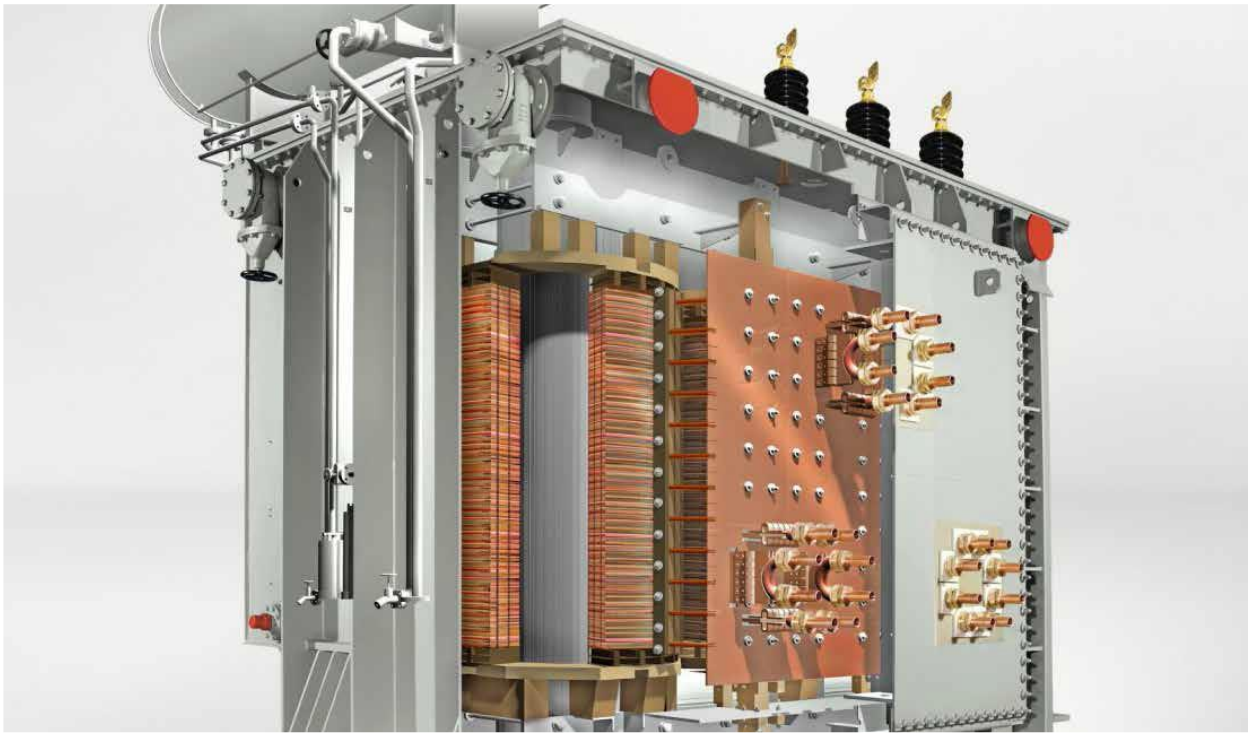
مهنة الكهرباء الصناعية

الوحدة الأولى



المحولات الكهربائية

الصف الثاني

العام التدريبي (٢٠١٩ / ٢٠٢٠)

تم الإعداد والتطوير بواسطة شركة يات لحلول التعليم
تليفون: 27498297 (202+) - **محمول:** 01001726642 (2+)
Website: www.YATLearning.com - **E-Mail:** info@yat.com.eg

الفهرس

المعارف النظرية للوحدة ٣

المحول الكهربي "Transformer" ٤
أنواع المحولات الكهربية ٤
المحولات الكهربية أحادية الوجه "Single Phase Transformers" ٦
المحولات ثلاثية الأوجه "Three phase transformers" ٧
قراءة لوحة البيانات للمحولات الكهربية ١٠

التدريبات العملية للوحدة ٢٤

١- إختبار اللا حمل للمحول أحادي الوجه (Open Circuit Test) ٢٨
٢- إختبار القصر للمحول أحادي الوجه Short Circuit Test ٣٢
٣- إختبار التحميل للمحول أحادي الوجه Load Test ٣٥
٤- إختبار الصلاحية للمحول أحادي الوجه ٣٨
٥- فك وتجميع المحول أحادي الوجه ٤١
٦- استخدام الميكروميتر ٤٧
٧- إعادة لف محول أحادي الوجه ٥٢
٨- توصيل المحولات أحاديه الوجه علي التوازي ٥٦
٩- طرق توصيل المحولات ثلاثية الأوجه ٥٩
١٠- توصيل المحولات ثلاثية الأوجه علي التوازي ٦٦

المقدمة

تهدف هذه الوحدة إلى تنمية المعارف النظرية والمهارات العملية للمتدرب وإكسابه الخبرات اللازمة للتعامل مع المحولات الكهربائية من حيث معرفة أنواعها وطرق توصيلها وقراءة لوحة بيانات كل منها.

بالانتهاء من القسم النظري نقدم لك التدريبات العملية الخاصة بكل جزء والتي تغطي المعارف النظرية وتؤيدها بالخبرة العملية ونسبقها بتعليمات السلامة والأمان للتعامل مع العدد والأدوات والمكونات المختلفة للدوائر الكهربائية المتقدمة.

ولقد راعينا في تصميم هذه الوحدة عدة اعتبارات هامة أولها: أن يستطيع الطالب الاعتماد على ذاته أكثر من الاعتماد على المدرب بإتباع الخطوات والتعليمات في التدريبات العملية بدقة حيث جعلنا الخطوات في كل تدريب أكثر تفصيلا لتناسب المرحلة العمرية والمستوى العلمي للمتدرب.

لقد تم تصميم الوحدة بحيث يتبع كل تدريب عملي تقييم للطالب حسب معايير التقييم الخاصة بكل مهارة بالإضافة إلى اختبار عملي يبين مدى اكتساب الطالب للمهارة لتحقيق هدف التدريب في زمن قياسي محدد بالاختبار العملي.

في نهاية كل وحدة قمنا بإضافة ملخص خاص بالمصطلحات الإنجليزية الهامة المستخدمة بالوحدة وذلك لتنمية مهارات اللغة الإنجليزية التي سيحتاجها المتدرب أثناء عملة في قراءة كتالوجات الشركات المنتجة الأجنبية وتعليمات التشغيل الهامة.

أخيرا، نقدم لك عزيزي المتدرب هذه الوحدة متمنيين لك كل النجاح والتوفيق في حياتك العملية المستقبلية.

فريق التأليف والإعداد لشركة

يات لحلول التعليم

المعارف النظرية للوحدة

المحولات الكهربائية

المحول الكهربي "Transformer"

جهاز كهربائي ساكن يتكون من ملفين من الأسلاك المنفصلة الملفوفة حول قضبان حديدية فقط بمسافة بسيطة، يسمى الطرف المرتبط بالمولد الكهربي بالملف الابتدائي بينما يطلق على الطرف المرتبط بالحمل الملف الثانوي، ويستخدم المحول لتغيير قيمة الجهد الكهربي في نظام نقل الطاقة الكهربائية الذي يعمل على التيار المتردد حيث لا يمكن أن يعمل المحول في أنظمة التيار المستمر. فإذا كان جهد الطرف الثانوي أقل من جهد الطرف الابتدائي كان المحول خافضا للجهد أما لو كان جهد الطرف الثانوي أعلى من جهد الطرف الابتدائي كان المحول رافعا للجهد.

مبدأ عمل المحول الكهربي

يقوم مبدأ عمل المحول الكهربي على قانون فاراداي للحث الكهرومغناطيسي الذي ينص على أن قيمة القوة المحركة الكهربائية (الجهد الكهربائي) تتناسب طرديا مع معدل تغير التدفق المغناطيسي ولهذا السبب فإن المحول لا يعمل في أنظمة التيار المستمر لأن التيار المستمر يخلق مجالا مغناطيسيا ثابتا مقدار تغيره يساوي الصفر فلا يمكن خلق جهد كهربي حينها بطريقة الحث وهذا أحد الأسباب الرئيسية لتفضيل التيار المتردد على التيار المستمر.

يوصل طرفا الملف الابتدائي بمصدر التيار المتردد ويوصل الملف الثانوي بالحمل المستهلك للطاقة الكهربية

الغرض من المحولات الكهربية

- رفع أو خفض القوة الدافعة الكهربية المترددة
- نقل الطاقة الكهربائية من أماكن توليدها إلى أماكن استهلاكها

أنواع المحولات الكهربية

أ. من حيث التردد:

١. محولات تردد شديد الانخفاض "Very low frequency Transformers"
٢. محولات تردد صوتي "Audio frequency Transformers"
٣. محولات تردد عالي "High frequency Transformers"
٤. محولات تردد متوسط "IF frequency transformers"

النوع الأول يستخدم في نظم القوى الكهربية. أما الأنواع الثلاثة الأخيرة فلها عدة استخدامات في أجهزة الاتصالات ودوائر مصادر التغذية الكهربية (DC/DC converter) المستخدمة مع أجهزة الوقاية في محطات التحويل.

ب. من حيث نسبة التحويل:

١. محولات رفع "Step-up"

٢. محولات خفض "Step-down"

٣. محول نفسي (ذاتي) "Auto transformer"

أي محول يمكن أن يعمل كمحول خافض أو محول رافع اعتمادا على اتجاه التغذية ولا يوجد بين المحول الرافع أو المحول الخافض أي اختلاف في التركيب أو التصميم.

المحول الرافع للجهد خافض للتيار والعكس صحيح.

ج. من حيث الوظيفة الكهربية:

١. محولات قدرة "Power Transformers" وهي المحولات المستخدمة في شبكات النقل الكهربية ومحطات التوليد الكهربية.

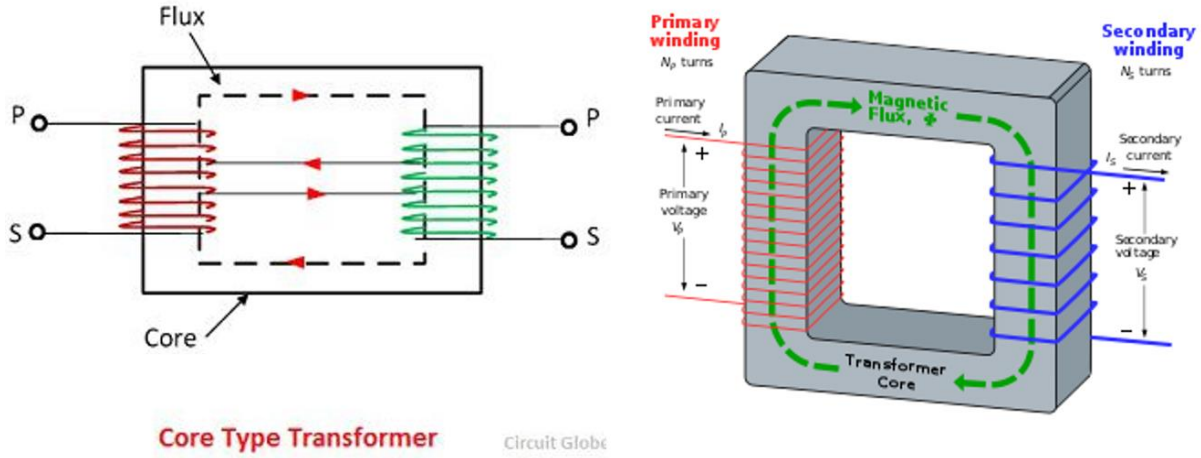
٢. محولات توزيع "Distribution Transformers" وهي المحولات المستخدمة في شبكات التوزيع الكهربائية

٣. محولات قياس وتنقسم إلى نوعين:

- محولات جهد "Voltage Transformers".
- محولات التيار "Current Transformers".

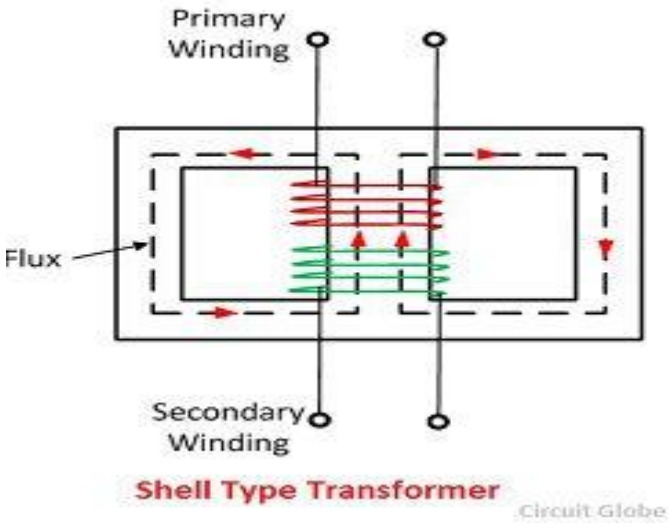
د. من حيث الشكل

١. النوع القلبي "Core type"



شكل رقم ١: المحول القلبي

٢. النوع الهيكلي أو القشري "Shell type"



شكل رقم ٢: المحول القشري

ه. من حيث الأوجه

١. محول أحادي الوجه
٢. محول ثلاثي الأوجه

المحولات الكهربية أحادية الوجه "Single Phase Transformers"

تركيب المحول

يتركب المحول الكهربي من ثلاثة عناصر رئيسية:

١. ملف ابتدائي "Primary Coil": وهو عبارة عن ملف من سلك نحاس معزول ويوصل طرفاه بمصدر التيار المتردد المراد رفع أو خفض جهده حسب نوع المحول (رافع أو خافض للجهد).
٢. ملف ثانوي "Secondary Coil": وهو عبارة عن ملف من سلك نحاس معزول ويختلف في عدد لفاته عن الملف الابتدائي ويوصل بالحمل ويرتبط الملفان مغناطيسيا فقط عن طريق القلب الحديدي.
٣. القلب الحديدي "Iron Core": يصنع القلب الحديدي من شرائح من صلب المحولات السيلكوني يتراوح سمكها ما بين ٠,٣ مم - ٠,٥ مم وهي معزولة عن بعضها كهربيا وذلك لتقليل تأثير التيارات الإعصارية (الدوامية) "eddy current" ويتم تجميع هذه الشرائح لتكوين القلب المغناطيسي حسب الشكل التصميمي للقلب لكيفية ترتيب هذه الرقائق على شكل شباك "Window" وللحد من تأثير الثغرات الهوائية يراعى تجميع الشرائح بحيث تتداخل فيما بينها في الطبقات المتتالية بحيث تختلف تبعا لذلك أطوال الشرائح المتتالية في القلب.

وتتركب المحولات عامة من نوعين حسب وضع الملفان الابتدائي والثانوي حول شرائح القلب المغناطيسي:

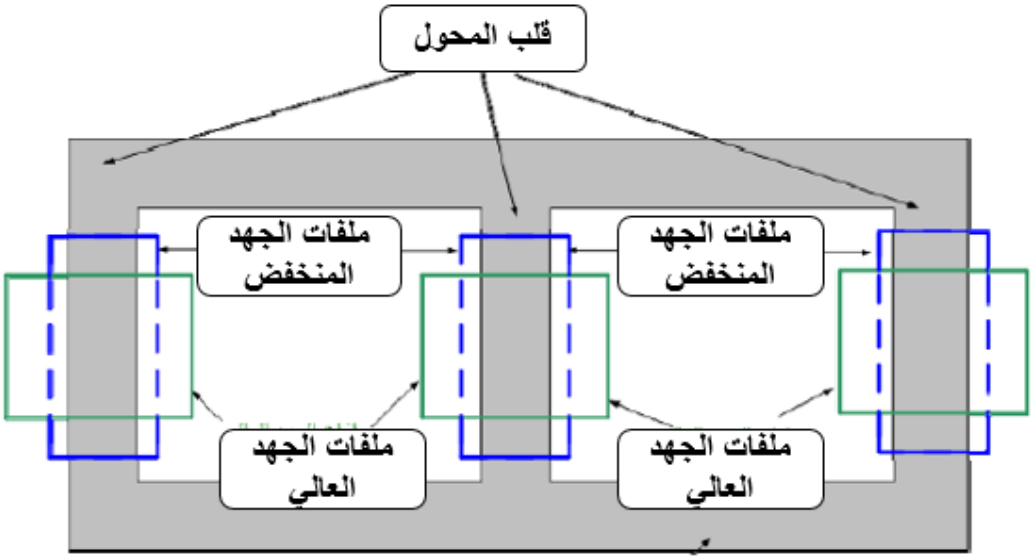
١. المحول ذو القلب المغناطيسي الداخلي "Core type transformer"

٢. المحول ذو القلب المغناطيسي واللف الطبقي "Shell type transformer"

المحولات ثلاثية الأوجه "Three phase transformers"

النوع القلبي "Core type"

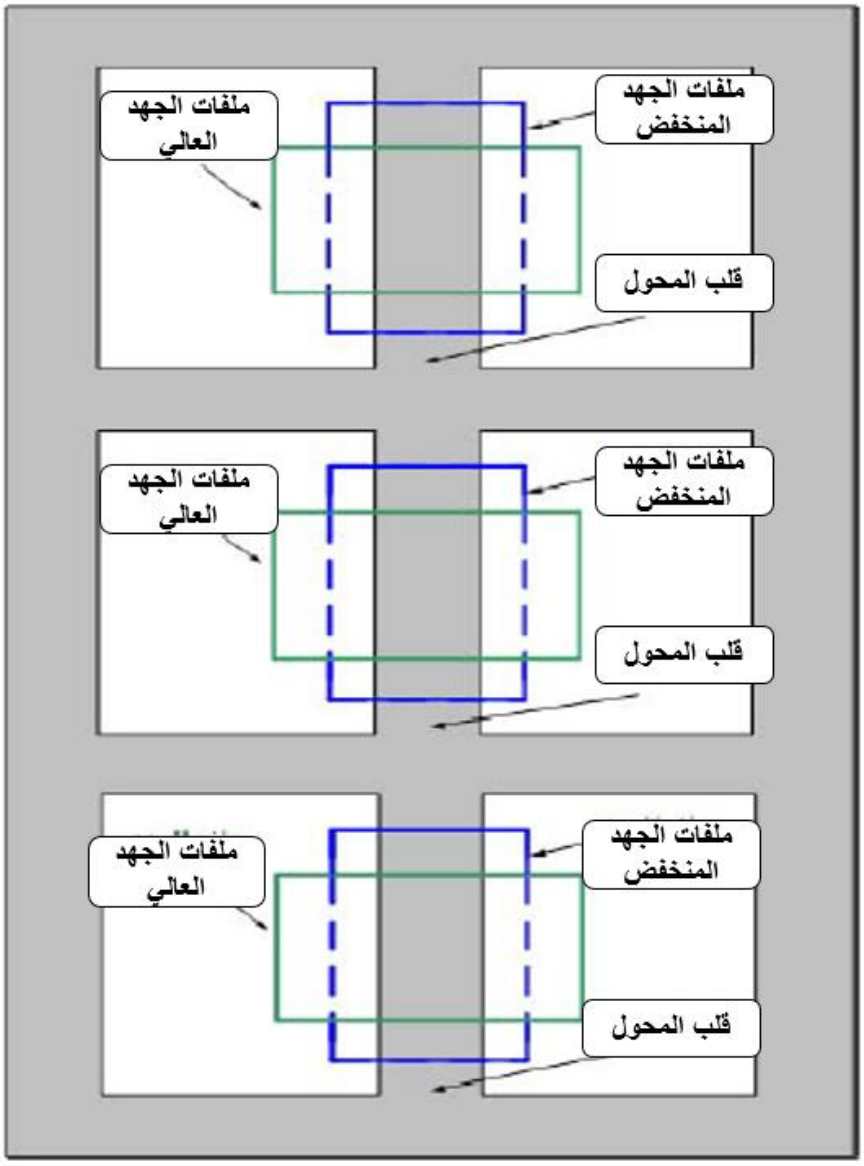
يستخدم هذا النوع في محولات القدرة متوسطة الحجم والتي تتراوح بين 100KVA - 500KVA ويوضح الشكل التالي شكل المحول القلبي ويتكون من ملف ابتدائي وملف ثانوي على نفس الساق.



شكل رقم ٣: شكل المحول الثلاثي الأوجه من النوع القلبي.

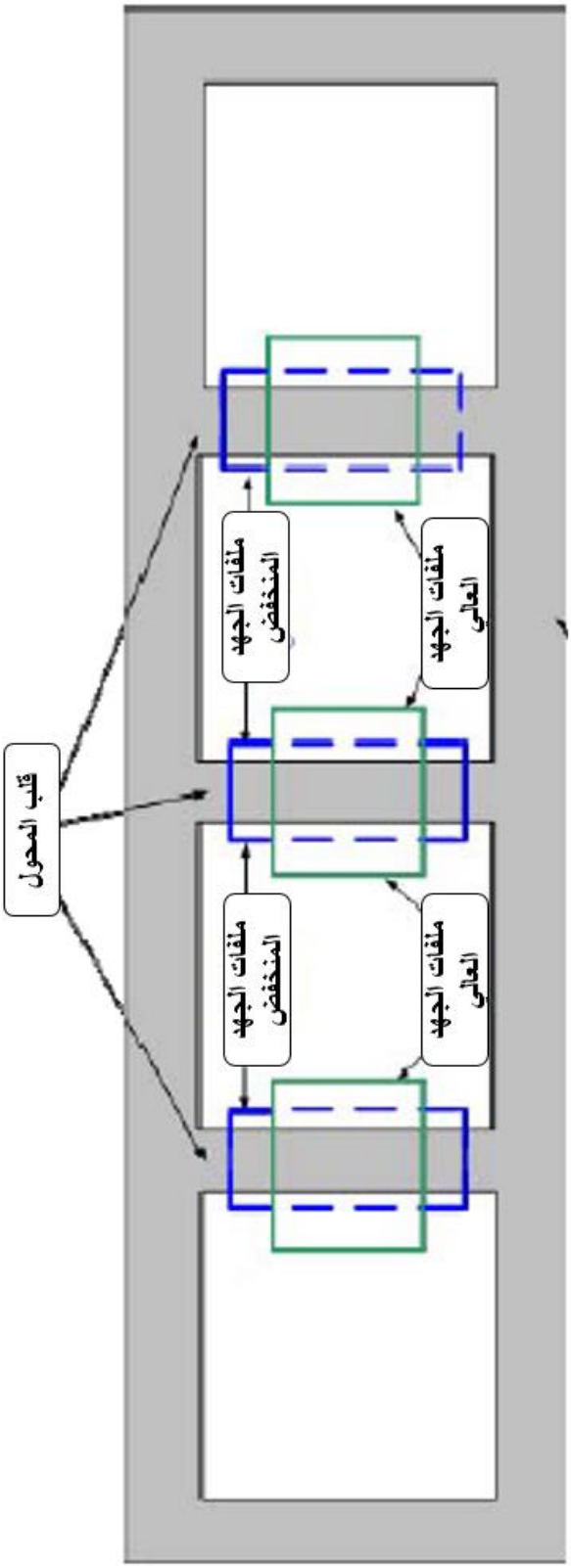
النوع الهيكلي أو القشري "Shell type"

يستخدم هذا النوع في محولات القدرة كبيرة الحجم ويوضح الشكل التالي شكل المحول القشري ثلاثي الأوجه ويحتوي على ملف ابتدائي وملف ثانوي لكل وجه ملفوفان معا على نفس الساق وهو يشبه ثلاثة محولات أحادية الوجه من نفس النوع.



شكل رقم ٤: شكل النوع الهيكلي (القشري).

في بعض محولات القدرة الكبيرة يستخدم محولا قلبيا بخمسة أعضاء ويسمي بالمحول ذو القلب والقشرة "core and shell type transformer" وذلك بهدف خفض ارتفاع المحول وتقليل حجمه كما في الشكل التالي.



شكل رقم ٥: شكل المحول ذو القلب والقشرة "محول قلبي بخمسة أعضاء".

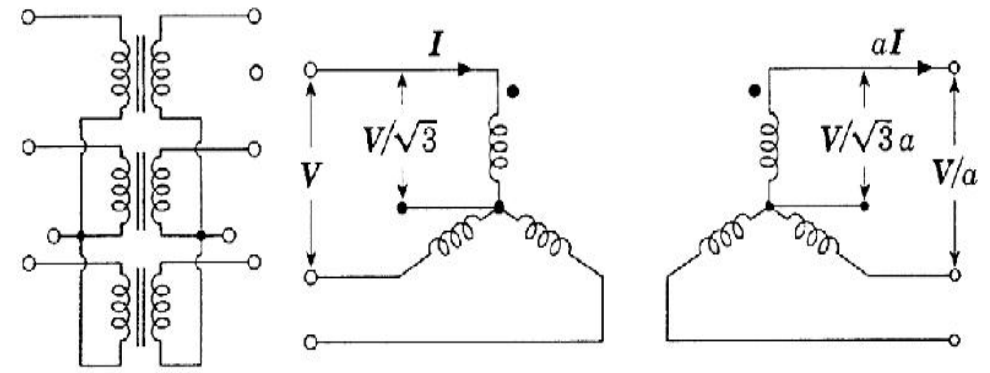
توصيل ملفات المحولات ثلاثية الأوجه

توجد طرق كثيرة لتوصيل الملفات الابتدائية والملفات الثانوية وذلك للحصول على خواص تشغيل تلبي احتياجات الحمل الذي يعمل عليه المحول ويمكن تلخيص أهم الطرق الشائعة لتوصيل المحولات ثلاثية الأوجه كالتالي:

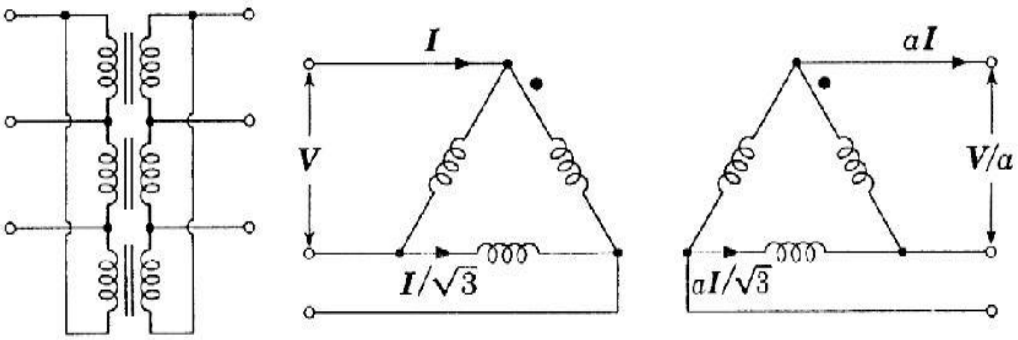
- التوصيل الابتدائي نجمة-الثانوي نجمة "Y-Y، Star-Star"
- التوصيل الابتدائي دلتا-الثانوي دلتا "Δ-Δ، Delta-Delta"
- التوصيل الابتدائي نجمة-الثانوي دلتا "Y-Δ، Delta-Delta"
- التوصيل الابتدائي دلتا-الثانوي نجمة "Δ-Y، Delta-Delta"
- وتوضح الأشكال التالية طرق التوصيل المختلفة، مع الجهود والتيارات المختلفة، تتميز المحولات الثلاثية الطور المكونة من ثلاثة محولات أحادية الطور بالسهولة في كل شيء، سواء في الصيانة، أو التركيب، أما عن عيوب هذه الطريقة فهي أنها تشغل حيز أكبر، وزن أكبر وتكلفتها أكبر.
- نسبة التحويل "K" في المحولات الثلاثية تعطى بالعلاقة:

$$K = \frac{V1L}{V2L}$$

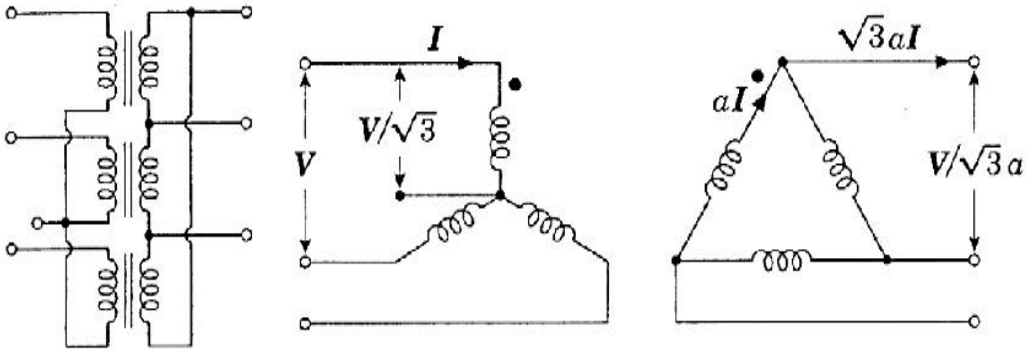
- حيث V_{2L} هو جهد الخط على الطرف الثانوي، V_{1L} هو جهد الخط على الطرف الأولي



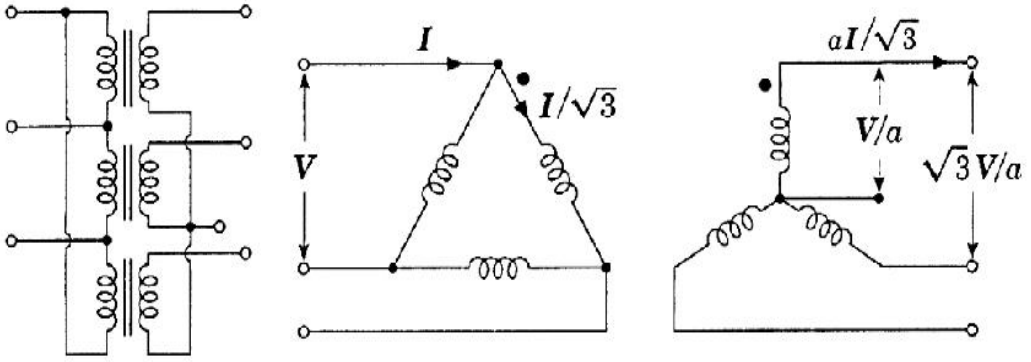
شكل رقم ٦: طريقة التوصيل نجمة - نجمة



شكل رقم ٧: طريقة التوصيل دلتا - دلتا



شكل رقم ٨: طريقة التوصيل نجمة - دلتا



شكل رقم ٩: طريقة التوصيل دلتا – نجمة

يتم حساب نسبة تحويل المحولة بعد أخذ طريقة توصيل الملفات بعين الاعتبار، لهذا لدينا أربع حالات:

١. نسبة التحويل في المحول الموصل نجمة – نجمة تعطى بالعلاقة:

$$K = \frac{V_{1L}}{V_{2L}} = \frac{\sqrt{3}\,V_{1Ph}}{\sqrt{3}\,V_{2Ph}} = \frac{V_{1ph}}{V_{2ph}} = K_{ph}$$

٢. نسبة التحويل في المحول الموصل دلتا – دلتا تعطى بالعلاقة:

$$K = \frac{V_{1L}}{V_{2L}} = \frac{V_{1Ph}}{V_{2Ph}} = K_{ph}$$

٣. نسبة التحويل في المحول الموصل نجمة – دلتا تعطى بالعلاقة:

$$K = \frac{V_{1L}}{V_{2L}} = \frac{\sqrt{3}\,V_{1Ph}}{V_{2Ph}} = \sqrt{3}\,K_{ph}$$

٤. نسبة التحويل في المحول الموصل دلتا – نجمة تعطى بالعلاقة:

$$K = \frac{V_{1L}}{V_{2L}} = \frac{V_{1Ph}}{\sqrt{3}V_{2Ph}} = \frac{K_{ph}}{\sqrt{3}}$$

قراءة لوحة البيانات للمحولات الكهربية

أنظر الأشكال التالية:

1980	Manfact. Date	2500 KVA	Rated Power
50 HZ	Frequency	11000 V	Rated H.V
Dyn11	Vector group connection	380/220 V	Rated L.V
5 %	Impedance Voltage	I.E.C	Property
2 Sec	Short circuit time		
1750 Kg	Total weight		
430 Kg	Oil weight		
ONAN	Type of cooling		
	Serial NO		

Secondary Volts	Primary Volts	Volt Tap Changer Position
380/220	11550	1
	11275	2
	11000	3
	10725	4
	10450	5
3800 A	131.22	Current (A)

Distribution Transformer Nameplate

شكل رقم ١٠: لوحة بيانات محول كهربي

شكل رقم ١١: لوحة بيانات محول كهربي

شرح بيانات الـ name plate لمحولات التوزيع

يجب أن يحتوي كل محول على لوحة بيانات بحيث يسهل التعامل مع المحول والبيانات الموجودة على لوحة البيانات كالتالي:

- اسم الشركة المنتجة
- سنة الصنع "Manfact. Date"
- التردد "Frequency"
- القدرة "Power Rated"
- مجموعة التوصيل الاتجاهية "Group connection vector"
- جهد المعاوقة "Impedance voltage"
- زمن القصر "Short circuit time"
- الوزن الكلى "Total weight"
- وزن الزيت "Oil weight"
- طريقة التبريد "Type of cooling"
- التيار المقنن "Rated current"
- الجهد المقنن (عند كل نقطة من نقاط مغير الجهد) "Rated voltage"

أعطال المحولات والحماية المناسبة

يمكن تقسيم الأعطال المحتمل حدوثها في المحولات إلى الأنواع التالية:

- زيادة الحمل أو حدوث قصر خارجي.
- أعطال في ملفات المحول وتوصيلاته.
- أعطال في الأجهزة المساعدة والتي تعتبر أجزاء من المحول.

١. الحماية ضد تجاوز الحمل أو القصر الخارجي

نظرا لأن تجاوز الحمل قد يستمر لفترة طويلة تعتمد على أقصى درجة حرارة مسموح بها لملفات المحول وطبيعة وسط التبريد. وتسمح جميع المواصفات المعمول بها بتجاوز الحمل المقنن للمحول لفترة زمنية محددة تعتمد على الحمل الذي كان يعمل عليه المحول قبل تجاوز الحمل مباشرة وعلى نسبة تجاوز الحمل ودرجة حرارة وسط التبريد.

ويجب ملاحظة أنه إذا زادت درجة حرارة الملفات عن أقصى قيمة مسموح بها فإن ذلك يؤثر على العمر الافتراضي للمحول، إلا أن يتم تعويض تجاوز العمل الذي تعرض له المحول بفترات من العمل الخفيف. كما يجب التأكد قبل السماح بتجاوز العمل من أن جميع أجزاء المحول لن تتأثر بهذا التجاوز.

تعطي مصانع المحولات عادة دليلا لتجاوز الحمل على المحول فيشكل جدول يعرف باسم دليل التحصيل. ويجب طلب هذا الجدول من صانع المحول، حيث من الأفضل استعمال الجدول الخاص بكل محول بعينه. ويلزم عند وضع خطة الحماية مراعاة الجداول الخاصة بتجاوز الحمل وذلك بعد أخذ خطة التحميل في الاعتبار. ويجب تغيير ضبط أجهزة الحماية تبعا للفترات المسموح بها تجاوز العمل على المحول. يمكن الحماية من تجاوز الحمل والقصر الخارجي كما يلي:

أولا: تشغيل قاطع الدائرة الخاص بالمحول بواسطة وحدة إعتاق مباشرة أو غير مباشرة بحيث يكون له منحنى زمن-تيار يحتوي على حماية تجاوز الحمل (تأخير زمني طويل)، ويتم اختيار وضبط حماية تجاوز الحمل تبعا للجداول السابقة.

نلاحظ في تلك الطريقة أن نظام الحماية ليس له اتصال مباشر بالمحول إنما يعمل تبعا للتيار المار به.

ثانيا: استعمال أجهزة حساسة لدرجة الحرارة يتم تركيبها في المحول حيث يمكنها أن تقوم بواحدة أو أكثر من الوظائف الآتية:

- إعطاء بيان عن درجة حرارة المحول (الملفات ووسط التبريد).
- إعطاء تحذير (جرس مثلا) عندما ترتفع درجة الحرارة عن حد معين داخل المحول.
- تشغيل وحدة تبريد الطوارئ في المحول في حالة وجودها.
- تشغيل دائرة إعتاق قاطع الدائرة الخاص بالمحول إذا تجاوزت درجة الحرارة الحد المسموح بها.

ومن الملاحظ أن تلك الأجهزة كثيرة ومتنوعة، نذكر منها باختصار ما يلي:

- ترمومتر بسيط.
- ترمومتر بملامسات.
- مرحل حراري.
- جهاز تحديد البقعة الساخنة.
- مرحل البوخولز.

ويجب تحديد ما نراه مناسبا لظروف التشغيل والحماية بحيث يتوافق هذا مع أهمية الأحمال والاعتبارات الاقتصادية.

كما أنه من الممكن في بعض الأحيان فصل بعض الأحمال غير الهامة في فترات تجاوز الحمل، وذلك عندما يكون العامل الاقتصادي له تأثير حاسم في أخذ القرار. وسوف نستعرض في الأسطر التالية محول البوخولز فقط .

مرحل البوخولز

من المعروف أن أعطال القلب الحديدي للمحول (انهيار عزل الشرائح الحديدية للقلب الحديدي للمحول) وكذلك التوصيلات الكهربائية غير الجيدة لأطراف التوصيل للملفات ينتج عنها ارتفاع موضعي لدرجة

الحرارة والتي قد تصل إلى ٣٥٠ درجة مئوية. هذا الارتفاع العالي في درجة الحرارة يتسبب في انحلال زيت المحول إلى غازات والتي تصعد أعلى المحول فوق زيت المحول والتي يمكن تجميعها في الخزان الذي يعلو المحول. ويعتبر محول البوخولز من أبسط وسائل الحماية للمحولات. ويستخدم دائما في المحولات المزودة بتنك (خزان) لتجميع الغازات المتصاعدة من انحلال زيت المحولات. والموحل عبارة عن وعاء معدني متصل بأنبوب بطرف التنك وأنبوب آخر بالمحول. والوعاء مهيأ لاستقبال الغازات المتصاعدة من خزان المحول والتأثر بكمية تلك الغازات. ويحتوي ذلك الوعاء على عوامتين أسطوانيتين الشكل من الألومنيوم، تطفوان على سطح الزيت عندما يكون الوعاء ممتلئا بالزيت.

وكل عوامة تتحرك حول محور وتتحكم في نقاط تلامس زئبقية. وتكون نقاط التلامس مفتوحة طالما كانت العوامة طافية. والعوامة الأولى موجودة في قمة الوعاء والأخرى بالقرب من قاع الوعاء.

وتعمل العوامة الأولى على توصيل دائرة إنذار بينما تعمل العوامة الثانية على توصيل دائرة فصل للمحول وذلك على حسب كمية الغازات.

في حالة التشغيل العادي (عدم حدوث أي أعطال) فإن كمية الغازات المتصاعدة من انحلال زيت المحول تكون قليلة جدا وبذلك يستمر المحول بالعمل.

شكل رقم ١٢: مرحل بوخلز

في حالة زيادة التحصيل أو حدوث عطل في القلب الحديدي للمحول أو عطل في التوصيلات الكهربائية لأطراف الملفات ترتفع درجة حرارة الزيت نتيجة للارتفاع في درجة حرارة الملفات أو ارتفاع درجة حرارة القلب الحديدي وتبدأ الغازات بالتصاعد. تتجمع تلك الغازات في الخزان العلوي وعندما يمتلئ الخزان تبدأ تلك الغازات في الوصول إلى وعاء المرحل. عندما تصل كمية الغازات المتصاعدة في غرفة المرحل إلى قيمة معينة تبدأ العوامة العلوية بالحركة لتغلق نقاط التلامس لدائرة الإنذار.

عند زيادة كمية الغازات المتصاعدة لتصل إلى العوامة المثبتة بالقرب من قاع الوعاء تتحرك تلك العوامة لتغلق نقاط التلامس لدائرة الفصل للقاطع ليقوم القاطع بفصل المحول عن الشبكة.

وعموما يعمل الجهاز ويعطي إنذارا في الحالات التالية:

- عند تكون بقعة ساخنة داخل المحول نتيجة لوجود قصر بين شرائح القلب الحديدي.
- عند انهيار عزل المسامير التي تثبت القلب الحديدي.
- عند فتح أي من نقاط التلامس للموصلات.
- عند زيادة التحميل للمحول.
- عند انخفاض مستوي الزيت لوجود تسرب.

وإذا استمرت أي من الحالات السابقة ولم تعالج أو إذا حدث قصر كهربي شديد فسوف تهبط العوامة السفلي وتعمل على توصيل دائرة الفصل للقواطع.

يمكن معرفة نوع العطل الحادث داخل المولد وذلك بالتحليل الكيميائي للغازات والأبخرة المتجمعة في الخزان العلوي للمحول كما يلي:

- وجود الهيدروجين + الأسيتيلين يدل على وجود قوس كهربي بين أجزاء المحول.
- وجود الهيدروجين + الأسيتيلين + الميثان يدل على وجود عطل في مغير نسبة التحويل للمحول أو قوس كهربي قوي ومؤثر على عزل المحول.
- وجود الهيدروجين + الميثان + الإيثيلين يدل على وجود ارتفاع في درجة حرارة القلب الحديدي.
- وجود الهيدروجين + الإيثيلين + ثاني أكسيد الكربون + الإيثان يدل على وجود ارتفاع في درجة حرارة ملفات المحول.

٢. الحماية ضد الأعطال في ملفات المحول وتوصيلاته

تتعرض كل من ملفات المحول (الابتدائي والثانوي) إلى أنواع عديدة ومختلفة من قصر الدائرة ويمكن تقسيمها كما يأتي:

- عطل أرضي على أطراف ملفات الجهد العالي.
- عطل وجه-وجه على أطراف ملفات الجهد العالي.
- عطل أرضي داخلي على أطراف ملفات الجهد العالي.
- عطل وجه-وجه داخلي على أطراف الجهد العالي.
- عطل قصر دائرة بين ملفات الجهد العالي.
- عطل أرضي على أطراف الجهد المنخفض.
- عطل وجه-وجه على أطراف الجهد المنخفض.
- عطل أرضي داخلي على ملفات الجهد المنخفض.
- عطل وجه-وجه داخلي بين ملفات الجهد المنخفض.

- عطل قصر دائرة بين ملفات الجهد المنخفض.
- عطل وجه-وجه خارجي.
- عطل أرضي خارجي.

ويعتبر قصر الدائرة هو أخطر الحالات الشاذة التي قد يتعرض لها المحول على الإطلاق. ورغم التعداد الكبير في أنواع الأخطاء التي قد يتعرض لها المحول، إلا أن كل هذه الأخطاء يتم الحماية منها بثلاثة أنواع رئيسية من الحماية هي:

- حماية تجاوز التيار.
- الحماية الفرقية.
- حماية الخطأ الأرضي.

والأجهزة المستعملة في الحماية هي أجهزة الحماية والقطع المذكورة في الأبواب السابقة بأنواعها المختلفة (مصهرات قواطع – دائرة – مرحلات).

أ. الحماية ضد تجاوز التيار

تساعد الحماية ضد تجاوز التيار في الخطة العامة لعملية حماية المحول ضد أعطال الملفات. ويجب من وضع متطلبات خطة الحماية بالاسترشاد بالشروط الوطنية أو العالمية المعترف بها في هذا المجال مع الأخذ في الاعتبار الحالة الخاصة للمحول. نذكر في هذا المجال متطلبات حماية تجاوز التيار للمحولات تبعا للكود الأمريكي وذلك كحد أدنى من المتطلبات (NEC – 1993 – 450).

يتم إجراء حماية المحول إما باستخدام حماية على الجانب الابتدائي فقط (الجهد العالي عادة) أو باستخدام حماية على الجانب الابتدائي والجانب الثانوي معا.

أولا: عند استخدام حماية على الجانب الابتدائي فقط يراعى ما يأتي:

المحولات التي يزيد جهد أحد جانبيها عن ٦٠٠ فولت يمكن الحماية بأحد الطريقتين الآتيتين:

- استخدام مصهر بمقنن لا يزيد على ٢٥٠% من تيار الحمل الكامل على الجانب الابتدائي. ويشترط في هذا المصهر أن يتحمل ٢٠٠% من هذا التيار بصفة دائمة (الرتبة E في المواصفات الأمريكية). هذا النوع من المصهرات يعرف باسم مصهرات الخدمة أو مصهرات الحماية الثانوية، وهو مصمم لكي ينصهر بعد حوالي ٦٠٠ ثانية عند حوالي ٢٢٠% من مقنن التيار له.
- استخدام قاطع دائرة بمقنن لقط لا يزيد على ٣٠٠% من تيار الحمل الكامل على الجانب الابتدائي للمحول أو استخدام مصهر عادي لا يزيد مقننه على ٣٠٠% أيضا.

المحولات التي لا يزيد الجهد على جانبيها عن ٦٠٠ فولت يتم استخدام مصهر بمقنن تيار أو قاطع دائرة بمقنن تيار لقط يساوي ١٢٥% من تيار الحمل الكامل على الجانب الابتدائي للمحول.

هذا بشرط أن تكون قدرة حمل التيار للكابل المغذي للمحول تساوي ١٢٥% أيضا من تيار الحمل الكامل. ويمكن في تلك الحالة وضع الحماية عند طرف كابل التغذية من ناحية المصدر بحيث تصبح تلك الحماية كافية لكل من المحول والكابل مهما كان طول هذا الكابل.

ثانيا: عند استخدام حماية على كل من الجانب الابتدائي والجانب الثانوي يراعى ما يأتي:

- للمحولات الأعلى من ٦٠٠ فولت للملف الثانوي وفي حالة استخدام قاطع كهربائي فيجب ضبط قاطع الدائرة ليعمل على ٣٠٠% من التيار المقنن وذلك للمحولات ذات المعاوقة الحثية التي لا تزيد عن ٦% وفي حالة استخدام الفيوز فيضبط ليعمل على ١٥٠% من التيار المقنن وذلك للحماية الموجودة في الملف الثانوي. يتم تعديل ضبط قاطع الدائرة ليعمل على ٢٥٠% من التيار المقنن، وذلك للمحولات ذات المعاوقة الحثية التي تزيد على ٦% وفي حالة استخدام الفيوز فيضبط ليعمل على ١٢٥% من التيار المقنن.
- للمحولات الأقل من ٦٠٠ فولت للملف الثانوي وفي حالة استخدام قاطع كهربائي فيجب ضبط القاطع ليعمل على ٢٥٠% من التيار المقنن وفي حالة استخدام الفيوز فيضبط ليعمل على ٣٠٠% من التيار المقنن، وذلك للمحولات ذات المعاوقة الحثية التي تزيد أو تقل على ٦% وذلك للحماية الموجودة في الملف الثانوي.
- للمحولات الأعلى من ٦٠٠ فولت للملف الابتدائي وفي حالة استخدام قاطع كهربائي فيجب ضبط القاطع ليعمل على ٤٠٠% من التيار المقنن، وذلك للمحولات ذات المعاوقة الحثية التي لا تزيد على ٦% وفي حالة استخدام الفيوز فيضبط ليعمل على ٢٠٠% من التيار المقنن وذلك للحماية الموجودة في الملف الابتدائي.
- للمحولات الأعلى من ٦٠٠ فولت للملف الابتدائي وفي حالة استخدام قاطع كهربائي فيجب ضبط القاطع ليعمل على ٤٠٠% من التيار المقنن وذلك للمحولات ذات المعاوقة الحثية التي تزيد عن ٦% وفي حالة استخدام الفيوز فيضبط ليعمل على ٢٠٠% من التيار المقنن وذلك للحماية الموجودة في الملف الابتدائي.

ويمكن في جميع الحالات المذكورة استخدام مقنن جهاز الحماية الأكبر مباشرة في حالة عدم وجود المقنن المطلوب بالضبط.

ثالثا: للمحولات الصغيرة يمكن إتباع ما يأتي:

- إذا كان تيار الجانب الابتدائي المقنن للمحول أقل من ٢ أمبير يستخدم مصهر بمقنن أو قاطع دائرة بمقنن لقط لا يزيد على ٣٠٠% من تيار الحمل الكامل.
- إذا كان تيار الجانب الابتدائي أقل من ٩ أمبير وحتى ٢ أمبير يستخدم مصهر بمقنن أو قاطع دائرة بمقنن لقط لا يزيد على ١٦٧% من تيار الحمل الكامل.

وفي كلتا الحالتين يستخدم المقنن الأصغر مباشرة في حالة عدم وجود المقنن المطلوب بالضبط.

يجب أن يكون لدى أجهزة الحماية على الجانب الابتدائي القدرة على عمل ما يأتي:

تحمل تيار المغنطة المندفع للمحول

تحدث هذه الظاهرة عند إعادة توصيل المحول من جانبه الابتدائي على مصدر التغذية مع عدم وجود حمل على جانبه الثانوي، ويكون ذلك التيار على شكل تيار لا حملي ذي قيمة عالية تتراوح من ٨ إلى ١٢ ضعفا من تيار الحمل الكامل المقنن للمحول. ويستمر هذا التيار لفترة عابرة تأخذ عادة ٠,١ ثانية في أغراض الحماية. ويؤخذ الرقم ٨ للمحولات حتى مقنن ١٠٠٠ ك.ف.أ، والرقم ١٢ للمحولات الأكبر من ذلك.

يعتبر تيار المغنطة المندفع من الظواهر الموجودة في جميع المحولات، ويكون وجودها أكثر وضوحا في المحولات الحديثة بسبب قدرة قلب تلك المحولات على الاحتفاظ بالمغناطيسية المتبقية بصورة أكبر من المحولات القديمة. ويحتوي هذا التيار على موجة بالتردد الأساسي (٦٠ هرتز) وعلى موجات أخرى على جميع التوافقيات الزوجية والفردية مع وضوح التوافقيات الثانية التي هي خاصية مميزة لهذا التيار. كما يحتوي على مركبة تيار ثابت. عند إجراء عملية الحماية على المحول يتم توقيع النقطة المناظرة لتيار المغنطة المندفع على خريطة الزمن-التيار. ويجب أن يكون منحنى جهاز حماية الجانب الابتدائي فوق هذه النقطة حتى لا تتسبب في تشغيله.

فصل القصر الأرضي المباشر الحادث على الجانب الثانوي قبل تلف المحول

يتم عادة تصميم المحولات بحيث تتحمل الإجهادات الداخلية الناتجة من قصر الدائرة على الأطراف الخارجية لفترات محددة يجب معرفتها من الصانع وعلى حسب المواصفات العالمية. ولإجراء الحماية السليمة يجب أن يكون الخطأ المناظر لخاصية تلف المحول من تيارات القصر أعلى بأكمله من منحنى الزمن-التيار لجهاز الحماية من القصر.

طريقة توصيل المحول

نظرا لأن المحول يعمل في الأحوال العادية وأحوال الأعطال تبعا لقاعدة تساوي القوة الدافعة المغناطيسية (الأمبير-لفة) في الملفين الابتدائي والثانوي. وعلى ذلك يجب الأخذ في الاعتبار اختلاف تيار الوجه عن تيار الخط في توصيلة شكل دلتا-نجمة.

ب. الحماية الفرقية للمحول

من المهم أن نلاحظ أن مرحل تجاوز التيار يتم استعماله للحماية الفرقية. وتعتمد الحماية الفرقية على تغذية المرحل بتيارين متساويين—للحالة المثالية في حالة عدم وجود أعطال—من محولي تيار كما هو مبين بشكل ١، وتكون المنطقة المحمية هي المنطقة المحصورة بين محولي التيار، بحيث:

- في حالة عدم حدوث أعطال داخل المنطقة المحمية فإن التيارين I1 و I2 يكونان متساويين ويكون التيار داخل ملف التشغيل مساويا للصفر ولا يعمل المرحل.

- في حالة حدوث عطل داخلي من الأنواع السابقة (داخل منطقة الحماية) فإن ذلك يؤدي إلى اختلاف في قيمتي I1 وI2 مما يتسبب في تشغيل المرحل إذا زاد هذا الفرق عن حد معين.
- في حالة وجود عطل خارجي (خارج منطقة الحماية) سوف يزيد التيار الداخل والخارج من المحول ويكون التياران I1 وI2 متساويين ويكون التيار داخل ملف التشغيل مساويا للصفر ولا يعمل المرحل.

هذه هي النظرية الأساسية من وجهة النظر المثالية، أما في الحالة العملية فإن الحماية الفرقية ترتبط دائما بعدة مشاكل منها:

- لا يجوز الاعتماد على الحماية الفرقية فقط والاستغناء بها عن حماية تجاوز التيار حيث إن الحماية الفرقية محددة بمنطقة المحول فقط كما سبق بيانه.
- ترتبط الحماية الفرقية بمشاكل عديدة نذكرها فيما يلي باختصار مع ذكر الحلول لها.

أولا: تيار المغنطة المندفع

كما أشرنا سابقا فإن تيار المغنطة المندفع هو تيار لا حملي، أي أنه يظهر على الجانب الابتدائي فقط ولا يظهر على الجانب الثانوي. معنى ذلك ببساطة أن مثل هذا التيار من الممكن أن يسبب عمل المرحل الفرقي. توجد حلول عديدة للتغلب على هذه المشكلة، وجميع هذه الحلول ممكنة ومطبقة عمليا، منها ما يأتي:

١. استعمال مرحل فرقي بحساسية منخفضة لموجة التيار المندفع. أي أن هذا المرحل له تيار لقط مرتفع بحيث يتجاوز التيار المندفع، بالإضافة إلى تأخير زمني كاف.
٢. استخدام مرحل انخفاض جهد مع المرحل الفرقي. يميز هذا المرحل بين حالة التيار المندفع وحالة قصر الدائرة التي تكون مصحوبة بانخفاض شديد في جهد أحد الأطوار على الأقل.
٣. تغذية المرحل الفرقي بعزم معاكس لعزم التشغيل يتم توليده من توافقيات التيار المندفع وخاصة التوافقية الثانية. إن هذا يميز بين تيار القصر الذي لا يحتوي على تلك التوافقية وبين التيار المندفع.
٤. يمكن كذلك منع تشغيل المرحل الفرقي بأية وسيلة عند لحظة تشغيل المحول وتوصيله على مصدر التغذية.

ثانيا: وجود فرق بين تياري المرحل الفرقي

لا يمكن من الناحية العملية الحصول على تيارين متساويين تماما من محولي التيار الذين يغذيان المرحل الفرقي، وذلك نتيجة لتفاوت الصناعة والتوصيلات والأجهزة وغير ذلك.

ورغم أن هذا الفرق يكون صغيرا في الحالات العادية بحيث يمكن ضبط المرحل تبعا لذلك، إلا أنه عند حدوث عطل خارجي فإن ارتفاع قيمة تيار القصر يرفع من قيمة هذا الفرق مما قد يؤدي إلى تشغيل المرحل نتيجة لخطأ خارج منطقة الحماية.

يمكن التغلب على هذه المشكلة باستعمال مرحل يعرف باسم المرحل الفرقي المنحاز المزود بملف آخر يسمى بملف الكبح (الاتزان). وباستخدام ذلك الملف يمكن ضبط تساوي التيارين I1 و I2 .يبين شكل ٣ فكرة عمل هذا المرحل. ويتم في هذا النوع من الحماية تغذية المرحل بواسطة محولي التيار. يتصل ملف التشغيل بمنتصف ملف الكبح وتتراوح نسبة الفرق بين I1 و I2 من ٢٠% إلى ٥٠% عادة، ويتم اختيارها بحيث لا تتسبب الأخطاء الخارجة عن منطقة الحماية في تشغيل المرحل. كما أن تلك النسبة تسمح بالفرق الذي يمكن أن يحدث بين I1 و I2 نتيجة للأسباب السابقة.

أسئلة للمراجعة

١. ضع علامة صح أو خطأ أمام العبارات التالية.

رقم	السؤال	صح أم خطأ
١	المحول الكهربي هو جهاز كهربائي ساكن يتكون من ملفين من الأسلاك المنفصلة الملفوفة حول قضبان حديدية فقط بمسافة بسيطة	
٢	يمكن أن يعمل المحول في أنظمة التيار المستمر	
٣	من أغراض المحولات رفع أو خفض القوة الدافعة الكهربية المترددة	
٤	اسم الشركة المنتجة لا يوجد على لوحة بيانات المحول	
٥	جهد المعاوقة أحد عناصر لوحة البينات للمحول	

٢. اختر الإجابة الصحيحة أو الإجابات الصحيحة مما يلي.

رقم	السؤال			
١	يسمى طرف المحول المرتبط بالمولد الكهربي بالملف			
	(أ) الأولي	(ب) الابتدائي	(ج) الثانوي	(د) المحمل
٢	يطلق على طرف المحول المرتبط بالحمل الملف			
	(أ) الأولي	(ب) الابتدائي	(ج) الثانوي	(د) المحمل
٣	إذا كان جهد الطرف الثانوي أقل من جهد الطرف الابتدائي كان المحول			
	(أ) خافضا للجهد	(ب) رافعا للجهد	(ج) متساوي للجهد	(د) متغير الجهد
٤	لو كان جهد الطرف الثانوي أعلى من جهد الطرف الابتدائي كان المحول.			
	(أ) خافضا للجهد	(ب) رافعا للجهد	(ج) متساوي للجهد	(د) متغير الجهد

٣. اشرح مبدأ عمل المحول الكهربي

٤. ما هو الغرض من المحولات الكهربائية؟

٥. ما هي أنواع المحولات من حيث التردد؟

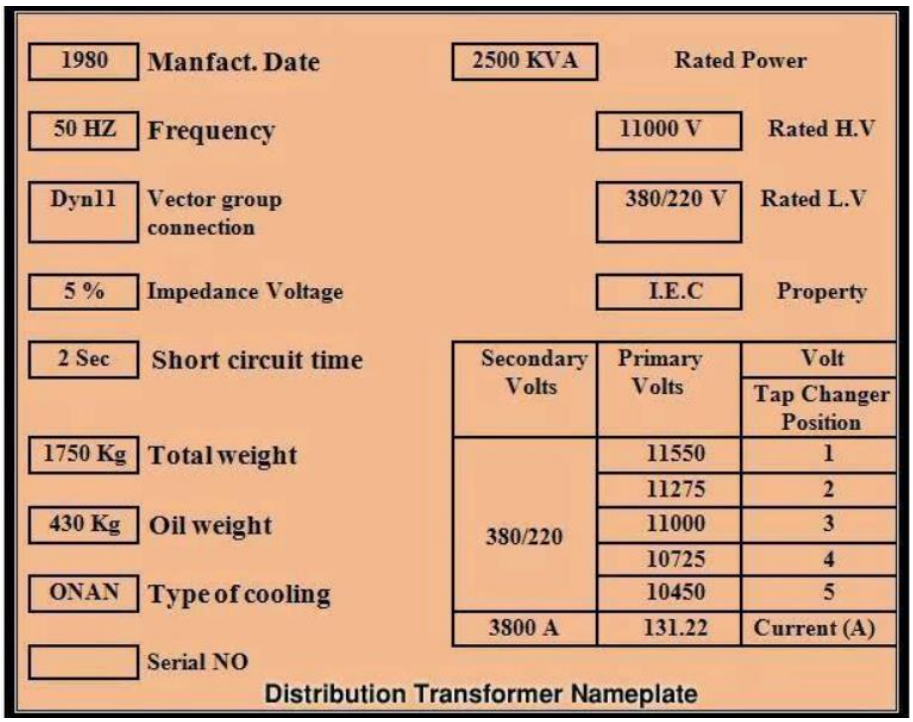
٦. ما هي أنواع المحولات من حيث عدد الأوجه؟

٧. اشرح تركيب المحول؟

٨. عدد أساليب توصيل ملفات المحولات ثلاثية الأوجه.

٩. ارسم طريقة توصيل المحولات الثلاثية نجمة – نجمة.

١٠. وضح العناصر الأساسية لقراءة لوحة بيانات المحول التالي.


1980
Manfact. Date
2500 KVA
Rated Power
50 HZ
Frequency
11000 V
Rated H.V
Dyn11
Vector group connection
380/220 V
Rated L.V
5 %
Impedance Voltage
I.E.C
Property
2 Sec
Short circuit time
1750 Kg
Total weight
430 Kg
Oil weight
ONAN
Type of cooling
Serial NO
Secondary Volts
Primary Volts
Volt Tap Changer Position
380/220
11550
1
11275
2
11000
3
10725
4
10450
5
3800 A
131.22
Current (A)
Distribution Transformer Nameplate

التدريبات العملية للوحدة

تعليمات السلامة العامة

١. يجب توعية جميع المتدربين بمخاطر الكهرباء، وطرق الوقاية منها، وأهمية التزامهم بقواعد وتعليمات السلامة، واستخدام معدات الوقاية الشخصية.
٢. يجب أن تكون جميع الأجهزة والمعدات الكهربائية مطابقة لمواصفات السلامة والصحة المهنية ويجب أن تكون العلامات المثبتة عليها واضحة وسهلة القراءة.
٣. يجب فصل التيار عن أي معدة أو جهاز قبل إجراء أعمال صيانة به مع وضع لافتة عند مكان الفصل حتى ولا يتم إعادة التيار إلا بواسطة المختصين
٤. يجب التحقق من أن جميع المقابس مدخلة بشكل صحيح لضمان عدم سخونتها وتسببها لحريق.
٥. يجب تجنب وضع منافذ كهربائية قريبة من مصادر المياه كالمغاسل ودورات المياه.
٦. يجب ترقيم جميع الفيوزات والقواطع الكهربائية في لوحة الكهرباء حتى يسهل التعرف على كل فيوز أو قاطع بكل.
٧. يجب التأكد دائما من سلامة المنفذ الكهربائي والاهتمام بإبدال وإصلاح كل ما هو متضرر.
٨. يجب عمل الاختبار الدوري لوسائل الحماية للتأكد من صلاحيتها وخلوها من الأعطال مثل تمزق العوازل – لفائف المحركات... وغيرها.
٩. لا يجب تحمل مصدر التيار بأكثر من طاقته حيث يؤدى ذلك لحدوث حريق.
١٠. لا يجب تمرير أسلاك الكهرباء عبر النوافذ أو الأبواب أو تحت السجاد وكذلك لا يجب أن تعلق على مسامير أو بالقرب من مصدر حرارة. .
١١. يجب عدم زيادة طول التوصيلة الكهربائية بإيصالها بتوصيلة أخرى.
١٢. يجب عدم استخدام السلالم المعدنية أو العدد اليدوية غير المعزولة عند العمل في الأجهزة الكهربائية .
١٣. يجب تدريب العاملون في مجال الكهرباء على استخدام الطفايات المناسبة للاستعمال في حرائق الكهرباء
١٤. يجب أن تتوفر أجهزة القياس اللازمة لإجراء الفحوص والاختبارات الهامة مثل التيار، الجهد، مقاومة العزل، ومقاومة التأريض.
١٥. يجب إيقاف تشغيل المعدات والأجهزة الكهربائية المعيبة وإصلاحها بأسرع وقت ممكن.
١٦. يجب التأكد من وجود المواد العازلة على الأجهزة والعدد الكهربائية وكسوتها بغلاف واقي في حالة عدم وجوده عليها.
١٧. لا يجب لمس الشخص المصاب بالصدمة الكهربائية إذا كان لا يزال ممسكا للتيار الكهربائي فيجب محاولة قطع. التيار أولا؛ وإذا لم تتمكن من فصل التيار الكهربائي فاسحب أو ادفع المصاب بعيدا

عن التيار بواسطة قطعة منNon-conducting material مثل الخشب – حبل جاف – قطعة قماش أو أي مادة غير موصلة للتيار الكهربائي.

١٨. يجب إبعاد المواد سريعة الاشتعال (الغازات – الكيماويات... وغيرها) عن مواقع الأجهزة الكهربائية خوفا من حدوث الحرائق.

١٩. يجب تبريد بعض الأجهزة الكهربائية (المحولات) بالسوائل المناسبة لخفض درجة حرارتها، وعدم تعرض الأجهزة الكهربائية ومكوناتها للرطوبة والغبار والغازات.

٢٠. يجب توفير أجهزة ومعدات إطفاء الحريق المناسبة وتوزيعها بشكل يغطي جميع أماكن العمل وخاصة الخطرة منها.

تعليمات السلامة عند استعمال العدد اليدوية في ورشة الكهرباء:

١. لا يجب أبدا استعمال عدة غير ملائمة للعمل أو عدة بديلة مؤقتة، يجب الحصول على العدة الملائمة والتأكد أن المعدة ذات الحجم المناسب الصحيح لأداء العمل بأمان.

٢. يجب إبعاد أية عدد أو معدات تالفة أو غير سليمة وعدم استعمالها مطلقا ووضع لافتة عليها تفيد بذلك حتى لا يستعملها شخص آخر عن طريق الخطأ وتتسبب في إصابته.

٣. يجب فحص العدد اليدوية قبل استخدامها والتأكد من أنها سليمة.

٤. لا يجب استعمال مفاتيح الربط التي تكون فكوكها مشوهة أو بالية.

٥. لا يجب استعمال الأدوات ذات المقابض الخشبية المتشققة.

٦. يجب حفظ العدد في حالة نظيفة وحال الانتهاء من العمل بها يجب تنظيفها ووضعها في مكانها المعد لها (صندوق العدة) أو تثبيتها على لوحة بالحائط.

٧. يجب تثبيت القطعة المراد العمل عليها على طاولة ذات سطح مستو ولا تمسكها في يدك وتعمل عليها.

٨. يجب استعمال العدد ذات المقابض المعزولة (Insulated Handles). وذلك للعمل في الأجهزة الكهربائية

٩. يجب تجنب استعمال وصلات لإطالة يد مفاتيح الربط حتى لا تتعرض للإصابة.

١٠. يجب عدم حفظ العدد في جيبك أثناء العمل ويفضل وضعها في حقيبة خاصة مع تغطية أطراف العدد ذات الأطراف الحادة حتى لا تتسبب في حدوث جروح.

١١. يجب التأكد من أن جميع العدد الكهربائية اليدوية موصولة بالأرض (Grounded) وأن المادة العازلة على الأسلاك الكهربائية الخاصة بها سليمة.

١٢. يجب عدم قذف العدد إلي أعلي أو إلى أسفل ويفضل استخدام حقيبة خاصة وحبل لرفع العدد أو إنزالها في حالة العمل بأماكن عالية.

١٣. يجب ألا تستخدم الأدوات الكهربائية اليدوية في الأماكن الخطرة (الأماكن الموجود بها أبخرة للمواد القابلة للاشتعال) ما لم تكن هذه المعدات مصممة للعمل في هذه الأماكن.

١٤. يجب التأكد من وجود أغطية الحماية على جميع العدد التي بها أجزاء دوارة قبل استعمالها.

١٥. يجب تبليغ رئيسك المباشر أو المشرف فورا عن أية تلفيات أو تشوهات في العدد اليدوية حتى يتم إبعادها حتى لا تتسبب في حدوث إصابات.

١٦. يجب وضع ملصق خاص على العدد والأدوات غير الصالحة ولا يتم استعمالها، وإذا كان بالإمكان إصلاحها يتم هذا الإصلاح وبعدها يتم إزالة الملصق أما إذا لم يكن من الممكن إصلاحها يتم إبعادها نهائيا من العمل.

اختبار اللا حمل للمحول أحادي الوجه (Open Circuit Test)			
تدريب رقم	١	الزمن	٨ ساعات

أهداف

يستطيع المتدرب أن يعين الآتي للمحول أحادي الوجه:

- تيار اللا حمل.
- نسبة التحويل.
- قدرة المحول.

متطلبات التدريب

الأجهزة	المعدات والخامات
جهاز قياس متعدد الأغراض (أفوميتر) لقياس الجهد	محول أحادي الوجه
جهاز قياس متعدد الأغراض (أفوميتر) لقياس التيار	
مصدر جهد متردد	أسلاك توصيل.

جدول رقم ١: جدول متطلبات التدريب.

المعارف المرتبطة بالتدريب

تتكون الدائرة الكهربائية في المحول الكهربي من ملفين رئيسيين يطلق على أحدهما الملف الابتدائي وهو الملف الذي يوصل إلى مصدر الجهد الرئيسي، ويطلق على الثاني الملف الثانوي وهو الملف الذي يوصل مع الحمل.

وتحسب قيمة القدرة المحول في حالة اللا حمل حسب المعادلة التالية:

$$P_0 = V_0 I_0 \cos \varphi_0$$

حيث:

- P_0: قدرة المحول في حالة اللا حمل (Open Circuit)
- V_0 (V_1): جهد الملف الابتدائي
- I_0: تيار الملف الابتدائي
- $\cos \varphi_0$: معامل القدرة حيث الزاوية (φ_0) هي الزاوية بين الجهد والتيار، وبالتالي يمكن إيجاد معامل القدرة كالتالي:

$$\cos \varphi_0 = P_0 / V_0 I_0$$

كما يمكن تعيين نسبة التحويل (K) للمحول الأحادي عن طريق قسمة جهد الملف الثانوي على جهد الملف الابتدائي كالآتي:

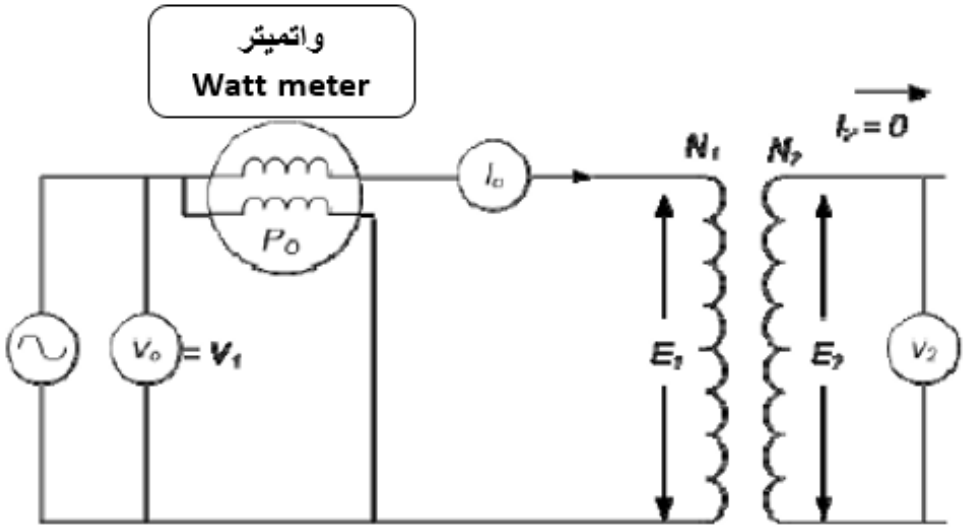
$$K = V_2/V_1$$

حيث:

V_2: جهد الملف الثانوي

خطوات تنفيذ التدريب

١. تطبيق إجراءات السلامة والأمان الخاصة بالمعمل.
٢. تحضير أجهزة الأفوميتر (AVO) وتجربتها ومعرفة صلاحيتها.
٣. قم بتوصيل الدائرة الكهربية كما هو موضح في الشكل التالي.



شكل رقم ١٣: دائرة اللا حمل للمحول

٤. قم بقراءة لوحة بيانات المحول ومن ثم تحديد التيار المقنن والجهد المقنن للملف الابتدائي.
٥. يترك أحد ملفي المحول مفتوحا ويوصل عليه جهاز فولتميتر.
٦. يوصل الملف الآخر من خلال أجهزة القياس المناسبة لقياس الجهد والتيار والقدرة إلى منبع جهد متردد متغير القيمة ويعطي الجهد المقنن للملف الابتدائي.
٧. غير الجهد تدريجيا (لا تصل للجهد المقنن) وسجل قراءات الأجهزة في الجدول المبين.
٨. احسب نسبة التحويل.
٩. بالانتهاء من التدريب قم بترتيب العدد والأدوات والخامات في أماكنها السليمة وأترك المعمل مرتب ونظيف.

تسجيل النواتج

$V_1(v)$								
$P_0(w)$								
$I_0(A)$								
$V_2(V)$								
$\cos\varphi_0 = P_0/V_1I_0$								
$K = V_1/V_2$								

جدول رقم ٢: نتائج التدريب

المشاهدات

.....

.....

.....

.....

.....

تقييم الأداء

أن يصبح المتدرب قادرا على أن:

م	معيار الأداء	تحقق		ملاحظات
		نعم	لا	
١	يطبق إجراءات السلامة المهنية.			
٢	يضبط جهاز القياس حسب القيم الكهربائية المراد قياسها.			
٣	يحدد قيمة الفقد في الحديد في المحولات.			
٤	يعين تيار اللا حمل، نسبة التحويل وكذلك القدرة للمحول أحادي الوجه.			
٥	يرتب مكان العمل ويتركه نظيفا.			

جدول رقم ٣: تقييم الأداء

توقيع المدرب

الاسم: ..... التوقيع: ..... التاريخ: .....

الاختبار العملي

في نهاية التدريب العملي يقوم المتدرب بإعادة توصيل الدائرة بمحول آخر يعين تيار اللا حمل، نسبة التحويل وكذلك القدرة للمحول أحادي الوجه على أن يكون قادرا على أن يقوم بذلك في زمن ٣٠ دقيقة.

اختبار القصر للمحول أحادي الوجه Short Circuit Test			
تدريب رقم	٢	الزمن	٨ ساعات

أهداف

أن يستطيع المتدرب تعيين قدرة المحول في حالة القصر وكذلك تعيين معامل القدرة.

متطلبات التدريب

الأجهزة	المعدات والخامات
جهاز قياس متعدد الأغراض (أفوميتر) لقياس الجهد	محول أحادي الوجه
جهاز قياس متعدد الأغراض (أفومتر) لقياس التيار	
مصدر جهد متردد	أسلاك توصيل.

جدول رقم ٤: جدول متطلبات التدريب.

المعارف المرتبطة بالتدريب

في هذا التدريب (قصر المحول) يتم قصر الملف الثانوي للمحول بتوصيل طرفيه بجهاز (أميتر) ويكون تيار القصر هو: I_{sc}

ومن ثم نبدأ في أخذ قراءات الملف الابتدائي على هذا النحو:

V_{sc}(v): جهد الملف الابتدائي عند القصر للملف الثانوي

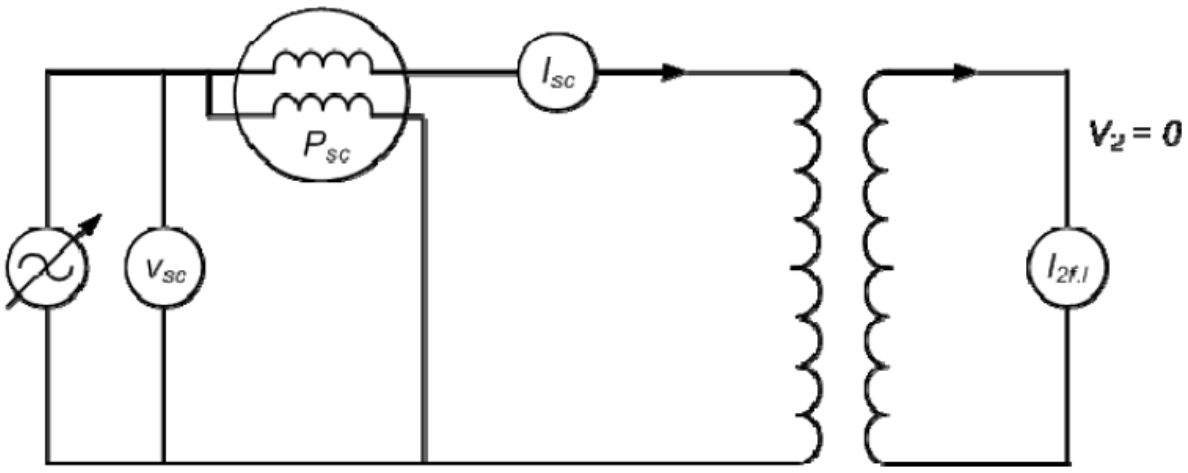
P_{sc}(w): قدرة المحول في حالة قصر الملف الثانوي

ومن القياسات السابقة يمكن أيضا تعيين معامل قدرة المحول في حالة القصر باستخدام المعادلة التالية:

$$\cos\varphi_{sc}=P_{sc}/(V_{sc}I_{sc})$$

خطوات تنفيذ التدريب

١. تطبيق إجراءات السلامة والأمان الخاصة بالمعمل.
٢. تحضير أجهزة الأفوميتر (AVO) وتجربتها ومعرفة صلاحيتها.
٣. قم بتوصيل الدائرة الكهربية كما هو موضح في الشكل التالي.



شكل رقم ١٤: قصر المحول الأحادي

٤. قم بقراءة لوحة بيانات المحول ومن ثم تحديد التيار المقنن والجهد المقنن للملف الابتدائي.

٥. يتم قصر أحد ملفي المحول بتوصيله على أميتر.

٦. يوصل على الطرف الآخر من الملف جهاز لقياس الجهد والتيار والقدرة إلى منبع جهد منخفض متردد ومتغير.

٧. غير الجهد تدريجيا وسجل القراءات في الجدول المبين.

٨. بالانتهاء من التدريب قم بترتيب العدد والأدوات والخامات في أماكنها السليمة وأترك المعمل مرتب ونظيف.

تسجيل النواتج

I_{sc}	20% I_{rated}	40%	60%	80%	100%
$V_{sc}(v)$					
$P_{sc}(w)$					
$\cos\varphi_{sc}=P_{sc}/(V_{sc}I_{sc})$					

جدول رقم ٥: نتائج التدريب

المشاهدات

.....

.....

.....

.....

.....

تقييم الأداء

أن يصبح المتدرب قادرا على أن:

م	معيار الأداء	تحقق		ملاحظات
		نعم	لا	
١	يطبق إجراءات السلامة المهنية.			
٢	يضبط جهاز القياس حسب القيم الكهربائية المراد قياسها.			
٣	يعين قدرة المحول في حالة القصر.			
٤	يعين معامل قدرة المحول في حالة القصر.			
٥	يرتب مكان العمل ويتركه نظيفا.			

جدول رقم ٦: تقييم الأداء

توقيع المدرب

الاسم: ..... التوقيع: ..... التاريخ: .....

الاختبار العملي

في نهاية التدريب العملي يقوم المتدرب بتكرار التدريب مرة أخري على محول آخر وتعيين قدرة المحول في حالة القصر وكذلك تعيين معامل القدرة على أن يقوم بذلك في زمن ٢٠ دقيقة.

اختبار التحميل للمحول أحادي الوجه Load Test			
تدريب رقم	٣	الزمن	٨ ساعات

أهداف

أن يستطيع المتدرب تعيين كفاءة المحول عند التحميل بأحمال مختلفة.

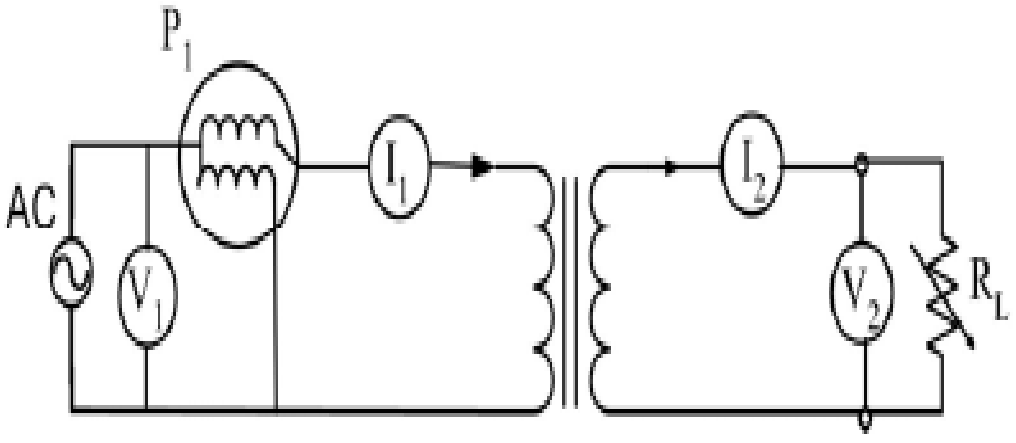
متطلبات التدريب

الأجهزة	المعدات والخامات
جهاز قياس متعدد الأغراض (أفوميتر) لقياس الجهد	محول أحادي الوجه
جهاز قياس متعدد الأغراض (أفوميتر) لقياس التيار	
مصدر جهد متردد	أسلاك توصيل.

جدول رقم ٧: جدول متطلبات التدريب.

المعارف المرتبطة بالتدريب

في هذا التدريب نقوم بتحميل المحول (بتوصيل الملف الثانوي بحمل كهربائي متغير) كما هو موضح بالشكل التالي، ثم نقوم بقياس القيم الكهربائية حسب الموضح بالجدول ومن ثم إيجاد كفاءة المحول في حالة التحميل.



شكل رقم ١٥: تحميل المحول الأحادي

القيمة الكهربائية		العملية
$V_1(V)$	جهد الملف الابتدائي	يقاس عن طريق فولتميتر
$I_1(A)$	تيار الملف الابتدائي	يقاس عن طريق أميتر
$P_1(W)$	قدرة المحول عند التحميل	يقاس عن طريق واتميتر
$V_2(V)$	جهد الملف الثانوي	يقاس عن طريق فولتميتر
$I_2(A)$	تيار الملف الثانوي	يقاس عن طريق أميتر
$P_2=V_2I_2(W)$	قدرة المحول	يحسب عن طريق تيار وجهد الملف الثانوي
$\eta=P_2/P_1$	كفاءة المحول	يحسب

خطوات تنفيذ التدريب

١. تطبيق إجراءات السلامة والأمان الخاصة بالمعمل.
٢. تحضير أجهزة الأفوميتر (AVO) وتجربتها ومعرفة صلاحيتها.
٣. قم بتوصيل الدائرة الكهربية كما هو موضح في الشكل السابق.
٤. صل ملفات الثانوي بالحمل.
٥. صل الملف الابتدائي بمنبع جهد ثابت عند الجهد المقنن للمحول وكذلك صل أجهزة قياس الجهد والتيار والقدرة.
٦. عند ثبوت الجهد الداخل (220 V) يتم تغير مقاومة الحمل وتسجل النتائج كما في الجدول.
٧. بالانتهاء من التدريب قم بترتيب العدد والأدوات والخامات في أماكنها السليمة وأترك المعمل مرتب ونظيف.

تسجيل النواتج

$V_1(V)$	220	220	220	220	220
$I_1(A)$					
$P_1(W)$					
$V_2(V)$					
$I_2(A)$					
$P_2=V_2I_2(W)$					
$\eta=P_2/P_1$					

جدول رقم ٨: نتائج التدريب

المشاهدات

.....

.....

.....

.....

.....

تقييم الأداء

أن يصبح المتدرب قادرا على أن:

م	معيار الأداء	تحقق		ملاحظات
		نعم	لا	
١	يطبق إجراءات السلامة المهنية.			
٢	يضبط جهاز القياس حسب القيم الكهربائية المراد قياسها.			
٣	يعين الكفاءة بأحمال مختلفة.			
٤	يرتب مكان العمل ويتركه نظيفا.			

جدول رقم ٩: تقييم الأداء

توقيع المدرب

الاسم: ..... التوقيع: ..... التاريخ: .....

الاختبار العملي

في نهاية التدريب العملي يقوم المتدرب بتكرار التدريب مرة أخري بأحمال مختلفة ومحول مختلف وذلك لتعيين كفاءة المحول عند التحميل بأحمال مختلفة.

ينبغي أن يكون المتدرب قادرا على أن يقوم بتوصيل الدائرة واختبارها في زمن ٣٠ دقيقة.

اختبار الصلاحية للمحول أحادي الوجه			
تدريب رقم	٤	الزمن	٨ ساعات

أهداف

أن يستطيع المتدرب اختبار صلاحية المحول الأحادي الوجه.

متطلبات التدريب

الأجهزة	المعدات والخامات
جهاز قياس متعدد الأغراض (أفوميتر)	محول أحادي الوجه
	أسلاك توصيل.

جدول رقم ١٠: جدول متطلبات التدريب.

المعارف المرتبطة بالتدريب

في هذا التدريب نقوم بعمل بالتدرب على الثلاثة اختبار الأساسية لمعرفة صلاحية المحول الأحادي الوجه:

- اختبار التماس مع الأرضي
- اختبار فتح أحد الملفين
- اختبار القصر في الملفات

خطوات تنفيذ التدريب

١. تطبيق إجراءات السلامة والأمان الخاصة بالمعمل.
٢. تحضير جهاز الأفوميتر (AVO) وتجربته ومعرفة صلاحيته.
٣. قم بضبط جهاز الأفوميتر (AVO) لقياس المقاومة الكهربائية

اختبار التماس مع الأرضي

٤. ارفع العازل عن جزء من القلب الحديدي.
٥. ضع أحد أطراف الأوميتر (الأفو – في وضع قياس المقاومة)، على الجزء المعرى من القلب الحديدي.
٦. ضع الطرف الثاني لجهاز الأوميتر على أحد أطراف الملف الابتدائي (اذا أعطى قيمة دل ذلك على عدم وجود تماس مع الأرضي)
٧. كرر ذلك مع الملف الثانوي.

٨. سجل النتيجة في خانة المشاهدات (مع معرفة أنه غالبا ما تحدث مشكلة التلامس الأرضي عند أركان البكرة، واذا تعثر علاجه ينبغي إعادة لف الملف المتماس أرضيا).

اختبار فتح أحد الملفين

٩. لامس بطرفي الأوميتر طرفي أحد الملفين (الابتدائي أو الثانوي) فاذا أعطى قيمة دل ذلك على عدم وجود فتح فيه (Open Circuit)، واذا اعطى قيمة مالانهاية دل على وجود فتح فيه، وفي حالة وجود فتح في أحد الملفات، يكون ذلك غالبا نتيجة انفصال أطراف السلك الخارجية، عن أطراف الملفات نفسها، لذا ينبغي التأكد من سلامة التوصيل، وربما يكون نتيجة قطع داخلي في أحد الملفات – وفي هذه الحالة ينبغي إعادة لف الملف من جديد.

اختبار القصر فى الملفات

١٠. قم بقياس مقاومة الملفين الابتدائي والثانوي عن طريق جهاز الأوميتر، فاذا كانت قيمة أحدهما صفرا أو قيمة صغيرة جدا، دل ذلك علة وجود قصر في الملفات، وينبغي عندها إعادة لف الملف الذي به قصر.

١١. بالانتهاء من التدريب قم بترتيب العدد والأدوات والخامات في أماكنها السليمة وأترك المعمل مرتب ونظيف.

المشاهدات

.....

.....

.....

.....

.....

تقييم الأداء

أن يصبح المتدرب قادرا على أن:

م	معيار الأداء	تحقق		ملاحظات
		نعم	لا	
١	يطبق إجراءات السلامة المهنية.			
٢	يضبط جهاز القياس حسب القيم الكهربائية المراد قياسها.			
٣	يختبر صلاحية المحول الأحادي الوجه			
٤	يرتب مكان العمل ويتركه نظيفا.			

جدول رقم ١١: تقييم الأداء

توقيع المدرب

الاسم: ..... التوقيع: ..... التاريخ: .....

الاختبار العملي

في نهاية التدريب العملي يعطى المتدرب محول أحادي الوجه، ينبغي أن يكون المتدرب قادرا على أن يقوم باختبار صلاحية المحول (القيام بالثلاثة اختبارات السابقة) في زمن ٢٠ دقيقة.

فك وتجميع المحول أحادي الوجه			
تدريب رقم	٥	الزمن	٨ ساعات

أهداف

- أن يجيد المتدرب استخدام الأدوات المناسبة لفك وتجميع المحولات أحادية الوجه.
- أن يجيد المتدرب فك وتجميع المحول أحادي الوجه.

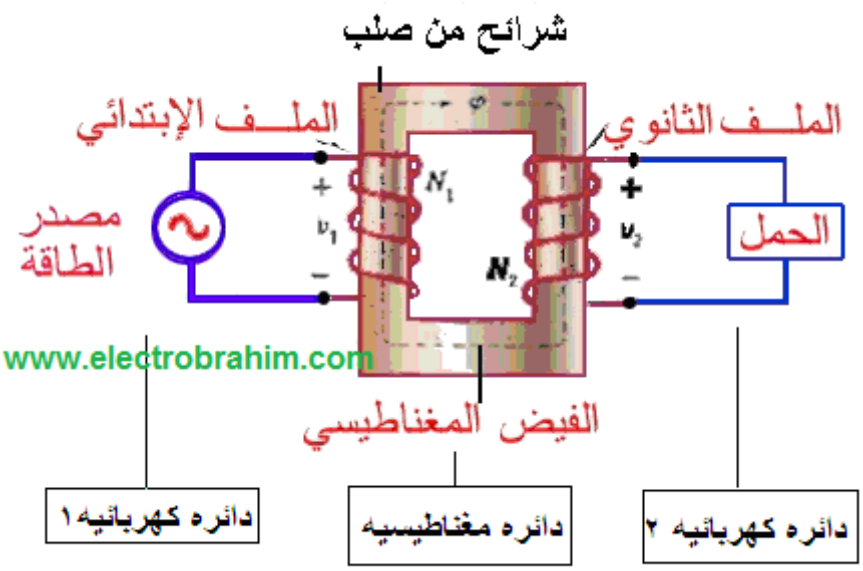
متطلبات التدريب

الأجهزة	المعدات والخامات
جهاز قياس متعدد الأغراض (أفوميتر) لقياس الجهد	محول أحادي الوجه
مصدر جهد متردد	أسلاك توصيل.
	قاطع (Cutter)
	مجموعة مفكات
	زرادية

جدول رقم ١٢: جدول متطلبات التدريب.

المعارف المرتبطة بالتدريب

المحول الكهربائي (Transformer) جهاز مؤلف من ملفين من الأسلاك المنفصلة الملفوفة حول قضبان حديدية فقط بمسافة بسيطة، يسمى الطرف المرتبط بالمولد الكهربي بالملف الابتدائي بينما يطلق على الطرف المرتبط بالحمل الملف الثانوي، ويستخدم المحول لتغيير قيمة الجهد الكهربي في نظام نقل الطاقة الكهربائية الذي يعمل على التيار المتردد حيث لا يمكن أن يعمل المحول في أنظمة التيار المستمر. فإذا كان جهد الطرف الثانوي أقل من جهد الابتدائي كان المحول خافضا للجهد أما لو كان جهد الثانوي أعلى من جهد الابتدائي كان المحول رافعا للجهد



شكل رقم ١٦: المحول الكهربائي

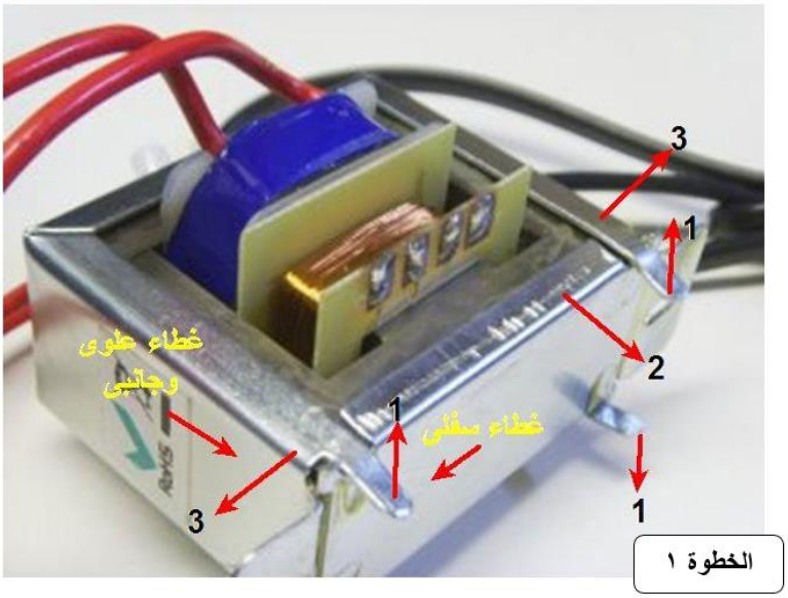
يتركب المحول من ثلاثة أجزاء رئيسية هي:

- الملف الابتدائي Primary Winding
- الملف الثانوي Secondary Winding
- القلب الحديدي Core

خطوات تنفيذ التدريب

١. تطبيق إجراءات السلامة والأمان الخاصة بالمعمل.
٢. تحضير جهاز الأفوميتر (AVO) وتجربته ومعرفة صلاحيته.
٣. ضبط جهاز الأفوميتر على قياس الجهد المتردد.
٤. قم بفك الأغطية:

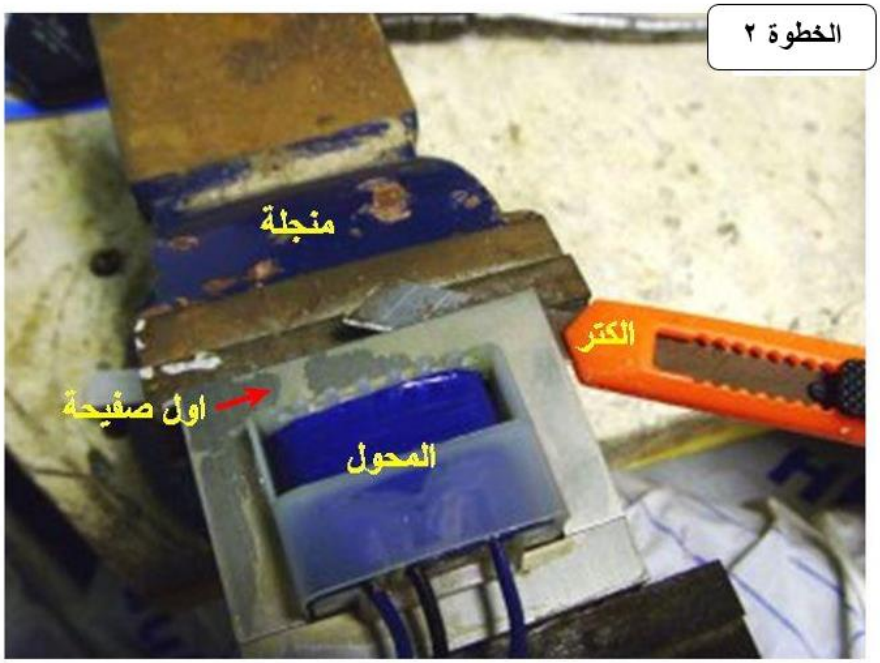
- السفلي (١)
- العلوي والجانبي (٢-٣)



شكل رقم ١٧: فك الغطاء السفلي والعلوي والجانبي

٥. قم بربط المحول بالمنجلة.

٦. استخدم القاطع (Cutter) لفك الورنيش بين الصفيحة الأولى والثانية، وكن حذرا من أن تتلف الملفات (سواء احتجت إليها أو لأخذ معلوماتها).



شكل رقم ١٨: فك الصفيحة الأولى باستخدام القاطع (Cutter)

٧. تابع فك الصفيحة الأولى من جميع الجوانب كما بالشكل التالي.

شكل رقم ١٩: فك الصفيحة الأولى من جميع الجوانب

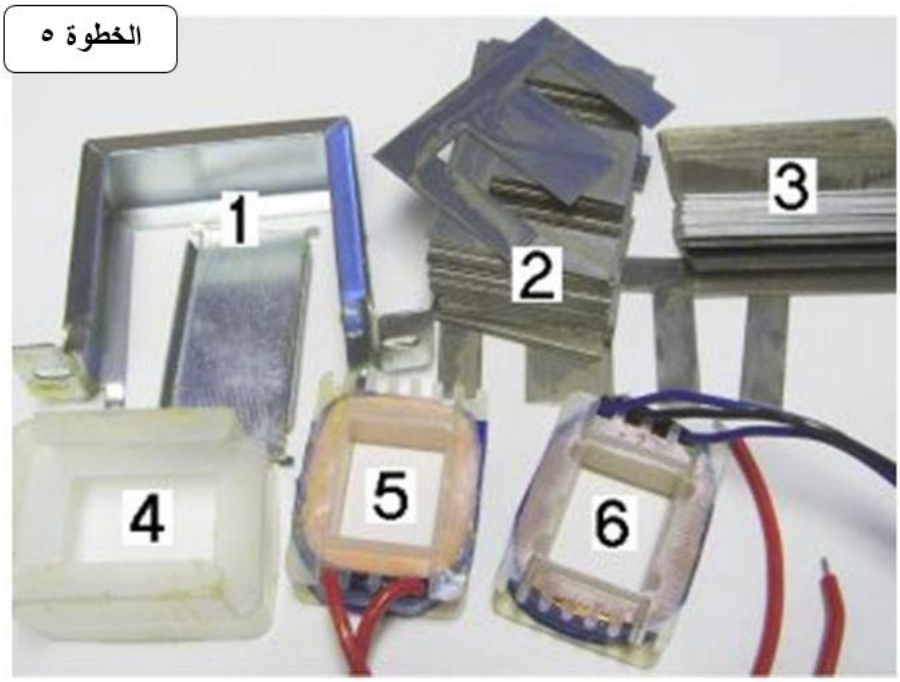
٨. استخدم المفك العادة لنزع الصفيحة الأولى ومن ثم قم بنزع باقي الصفائح.

شكل رقم ٢٠: استخدام المفك لنزع الصفائح

٩. فك باقي الصفائح ثم جمع كل نوع مع مثيله ورتب المكونات كما بالشكل التالي:

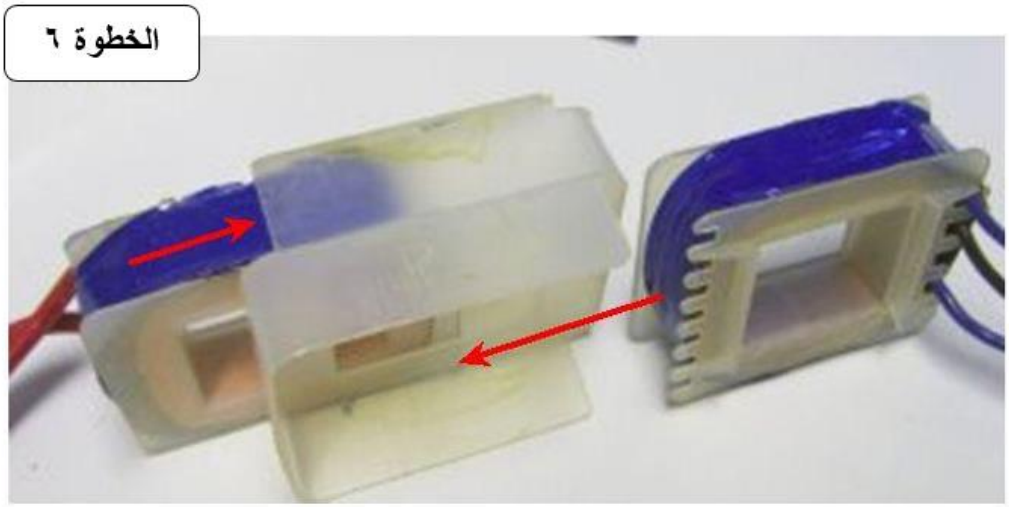
- الغطاء المعدني
- صفائح على شكل حرف E
- صفائح على شكل حرف I
- الغطاء البلاستيكي للملفات

- الملفات الابتدائي والثانوي



شكل رقم ٢١: ترتيب مكونات المحول بعد الفك

١٠. لاحظ الغطاء البلاستيكي للملفات يعمل كدعامة ويحافظ عليها، كن حذرا عند إخراجه.



شكل رقم ٢٢: نزع الغطاء البلاستيكي للملفات

١١. قم بتجميع المحول مرة أخرى، واختبارة كما تدربت في التدريب السابق.

١٢. بالانتهاء من التدريب قم بترتيب العدد والأدوات والخامات في أماكنها السليمة وأترك المعمل مرتب ونظيف.

المشاهدات

.....

.....

.....

.....

تقييم الأداء

أن يصبح المتدرب قادرا على أن:

م	معيار الأداء	تحقق		ملاحظات
		نعم	لا	
١	يطبق إجراءات السلامة المهنية.			
٢	يضبط جهاز القياس حسب القيم الكهربائية المراد قياسها.			
٣	يجيد فك وتجميع المحول الأحادي			
٤	يستخدم الأدوات المناسبة للفك والتجميع			
٥	يرتب مكان العمل ويتركه نظيفا.			

جدول رقم ١٣: تقييم الأداء

توقيع المدرب

الاسم: ..... التوقيع: ..... التاريخ: .....

الاختبار العملي

في نهاية التدريب العملي يعطى المتدرب محول أحادي الوجه ويطلب منه:

- فك المحول
- إعادة تجميعه

تجربة صلاحيته، على أن يكون قادرا على أن يقوم بذلك في زمن ٦٠ دقيقة.

استخدام الميكروميتر			
تدريب رقم	٦	الزمن	٤ ساعات

أهداف

أن يجيد المتدرب استخدام الميكروميتر لقياس قطر السلك.

متطلبات التدريب

العدد والأدوات	المواد والخامات
جهاز ميكروميتر.	أسلاك توصيل بأقطار مختلفة.
قصافة أسلاك	

جدول رقم ١٤: جدول متطلبات التدريب

المعارف المرتبطة بالتدريب

الميكروميتر

يعتبر المايكرومتر من أدوات القياس لتي تسبق القدمة في درجة القياس (درجة دقة أعلى) وسهولة ووضوح القراءة به، ويجب ملاحظة أن استعمال أجهزة القياس الدقيقة يتطلب عناية فائقة، كما أن تقدير القياس يعتمد بدرجة كبيرة على دقة وحساسية الشخص الذي يقوم بالقياس.

ويستخدم الميكروميتر في قياس أقطار الأسلاك وأقطار الأسطوانات الملفوفة وسمك الألواح، ويوجد ميكروميتر عادي ونوع حديث رقمي كما هو موضح بالشكل التالي.

شكل رقم ٢٣ : ميكروميتر عادي

شكل رقم ٢٤ : ميكروميتر رقمي

مكونات جهاز المايكرومتر:

يتكون جهاز مايكرومتر القياس الخارجي من جزئيين أساسين:

شكل رقم ٢٥: تركيب الميكروميتر

الجزء الثابت:

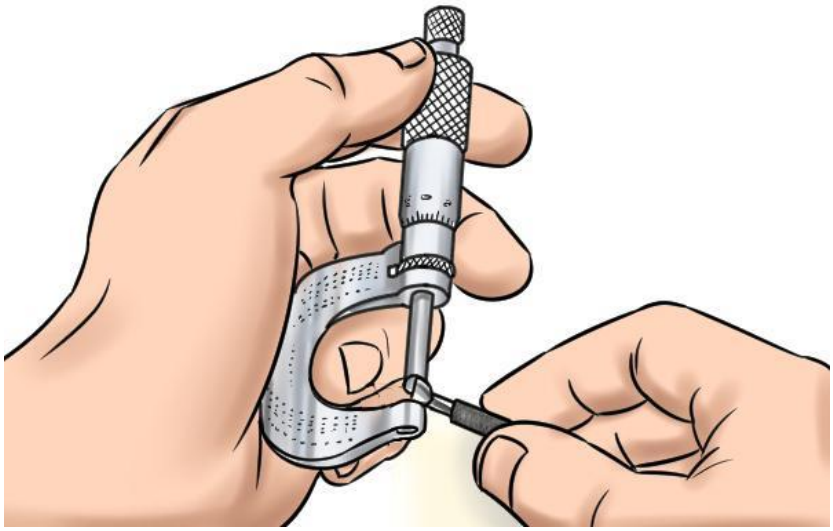
ويحتوي على إطار أو هيكل الجهاز (Frame) على شكل حرف (U) لحمل بقية مكونات الجهاز الثابتة والمتحركة منها. يسند الإطار كل من العمود الساند (Anvil) وعمود القياس (Spindle Measuring rod) الذين يستعملان لتثبيت الشغلة المراد قياس أبعادها. كذلك يحمل إطار الجهاز التدرج الرئيسي للقياس أو أسطوانة التدرج الطولي ويكون التدرج الرئيسي للقياس مدرج بالمليمتر (1 mm) من جهة وبـ (0.5 mm) من الأسفل.

الجزء المتحرك:

الجزء الأساسي المتحرك هو جلبة القياس التي إذا قمنا بتحريكها حركة دورانية عن طريق المسمار فيتحرك عمود القياس لتثبيت الشغلة (السلك في تدريبنا) المراد قياسها. عادة ما تكون محيط جلبة القياس مقسم إلى ٥٠ تدرج ويسمح تحريكها دورة كاملة بالتقدم بمقدار ٢/١ مم = ٠,٥ مم. من هنا يمكن استخلاص حساسية الجهاز بأنه ٠,٠١ مم.

الطريقة الصحيحة للقياس بالمايكرومتر:

الطريقة الصحيحة لاستعمال مايكرومتر القياس الخارجي. نقوم بمسك المايكرومتر باليد اليسرى حيث يكون الإطار في راحة اليد والخنصر داخل الإطار. يستخدم الإبهام والسبابة لتدوير الجلبة قصد تحديد مقاس الشغلة التي نمسكها باليد اليمنى.



شكل رقم ٢٦: الطريقة الصحيحة للقياس بالمايكرومتر

طريقة القياس بالمايكرومتر:

إن المايكرومتر جهاز حساس يستعمل في القياسات الدقيقة ولأغراض خاصة في المجال الصناعي، لذلك فإن على مستخدمه مراعاة بعض القواعد الأساسية التي تسمح بإجراء القياس الدقيق على الجهاز. تتم قراءة قياس المايكرومتر على النحو التالي:

قراءة القياس الرئيسي:

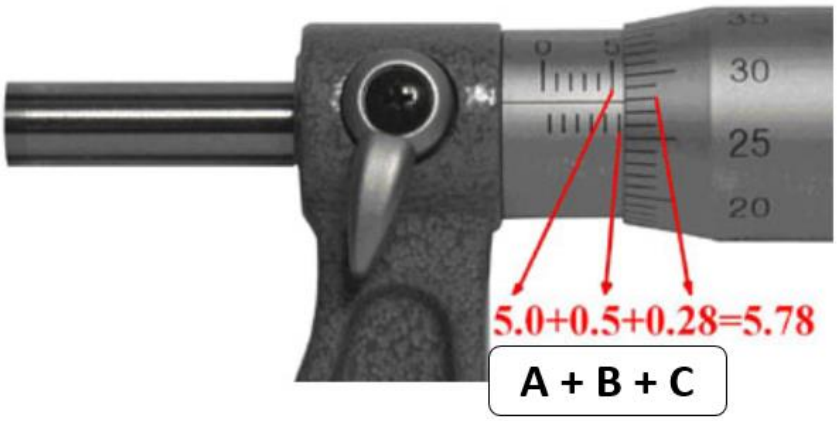
يكون نظرنا على حافة جلبة القياس ونقرأ قيمة التدرج المسجل على أسطوانة التدرج الطولي بالمليمتر ونسجل قيمة (A).

لاحظ وجود (أو عدمه) أي تدرج ٠,٥ مم على أسطوانة التدرج الطولي بعد قيمة (A) في حالة وجود هذا التدرج أضف قيمة B = 0.5 mm إلى القياس، في حالة عدم وجود التدرج نأخذ قيمة B = 0.0 mm

قراءة القياس على الجلبة:

نقوم بتحديد التطابق بين تدرج جلبة القياس والخط الرئيسي على أسطوانة التدرج الطولي. نضرب قيمة التدرج المسجل على الجلبة بدقة الجهاز (٠,١*) وتكون النتيجة هي قيمة القراءة على جلبة القياس ونرمز لها (C)

نتيجة القياس على المايكرومتر هي حاصل جمع (A+B+C)



شكل رقم ٢٧: القياس بالميكروميتر

خطوات تنفيذ التدريب

١. تطبيق إجراءات السلامة والأمان الخاصة بالمعمل.
٢. تحضير المايكرومتر وتنظيفه وإعداده للقياس.
٣. إعداد مجموعة من الأسلاك ذات الأقطار المختلفة.
٤. قياس قطر الأسلاك حسب الخطوات المذكورة في المعارف المرتبطة بالتدريب وتسجيل النواتج في خانة المشاهدات.
٥. بالانتهاء من التدريب قم بترتيب العدد والأدوات والخامات في أماكنها السليمة وترك المعمل مرتب ونظيف.

المشاهدات

.....
.....
.....
.....
.....

تقييم الأداء

أن يصبح المتدرب قادرا على أن:

م	معيار الأداء	تحقق		ملاحظات
		نعم	لا	
١	يطبق إجراءات السلامة المهنية.			
٢	يستخدم الميكروميتر لقياس قطر السلك			
٣	يرتب مكان العمل ويتركه نظيفا.			

جدول رقم ١٥: تقييم الأداء

توقيع المدرب

الاسم: ..... التوقيع: ..... التاريخ: .....

الاختبار العملي

في نهاية التدريب العملي يعطى المتدرب:

- ماكروميتر
- مجموعة من الأسلاك ذات الأقطار المختلفة

ينبغي على المتدرب أن يكون قادرا على تحديد قطر كل سلك معطى له في زمن ١٠ دقائق.

إعادة لف محول أحادي الوجه			
تدريب رقم	٧	الزمن	٨ ساعات

أهداف

- أن يجيد المتدرب استخدام الأدوات المناسبة للف المحولات أحادية الوجه.
- أن يجيد المتدرب إعادة لف المحول أحادي الوجه.

متطلبات التدريب

الأجهزة	المعدات والخامات
جهاز قياس متعدد الأغراض (أفوميتر) لقياس الجهد	محول أحادي الوجه
مصدر جهد متردد	أسلاك توصيل.
كاوية لحام	قاطع (Cutter)
جهاز ميكروميتر	مجموعة مفكات
	زرادية
	ماكينة لف محولات يدوية
	ورنيش للعزل
	كرتون مقوى أو خشب
	قصدير

جدول رقم ١٦: جدول متطلبات التدريب.

المعارف المرتبطة بالتدريب

تتعرض المحولات إلى التلف في كثير من الأحيان وغالبا تكون المشكلة في حرق في أحد الملفات (الابتدائي أو الثانوي أو كليهما معا)، ولإعادة لف المحول الأحادي الوجه ينبغي معرفة البيانات التالي:

- عدد لفات الملف الابتدائي
- عدد لفات الملف الثانوي
- قطر السلك للملف الابتدائي
- قطر السلك للملف الثانوي
- أبعاد قلب المحول (لتحديد أبعاد القطعة الخشبية المستخدمة في اللف)

خطوات تنفيذ التدريب

١. تطبيق إجراءات السلامة والأمان الخاصة بالمعمل.
٢. تحضير جهاز الأفوميتر (AVO) وتجربته ومعرفة صلاحيته.
٣. قم بفك المحول الكهربي الأحادي الوجه كما تدربت سابقا.
٤. قم بفك لفات الملف الابتدائي (مع تسجيل عددها في الجدول النتائج).
٥. استخدم القاطع (Cutter) أو طريقة الحرق، لأزاله العازل (الورنيش) لسلك الملف الابتدائي.
٦. قم بقياس قطر سلك الملف الابتدائي عن طريق جهاز الميكروميتر، سجل الناتج في جدول النتائج.
٧. قم بفك لفات الملف الثانوي (مع تسجيل عددها في الجدول النتائج).
٨. استخدم القاطع (Cutter) أو طريقة الحرق، لأزاله العازل (الورنيش) لسلك الملف الثانوي.
٩. قم بقياس قطر سلك الملف الثانوي عن طريق جهاز الميكروميتر، سجل الناتج في جدول النتائج.
١٠. استخدم ماكينة اللف حسب عدد اللفات المطلوبة وباستخدام السلك المناسب.
١١. قم بتكرار الخطوات السابقة للملف الثانوي
١٢. قم بلحام الأطراف بسلك مفرد مجدول ومعزول.
١٣. قم بتجميع المحول مرة أخرى، واختبارة كما تدربت في التدريب السابق.
١٤. قم بضبط جهاز الأفوميتر على قياس المقاومة الكهربائية.
١٥. قم بفحص ملفات المحول عن طريق الأفوميتر (قياس مقاومة كل ملف).
١٦. ادهن المحول بمادة الورنيش واتركه يجف.
١٧. قم بضبط جهاز الأفوميتر على قياس الجهد المتردد.
١٨. قم بتوصيل مصدر جهد متردد بالملف الابتدائي وقياس جهد اللا حمل للملف الثانوي، ثم سجل النتيجة في خانة المشاهدات.
١٩. بالانتهاء من التدريب قم بترتيب العدد والأدوات والخامات في أماكنها السليمة وأترك المعمل مرتب ونظيف.

جدول النتائج

الملف	عدد اللفات (لفة)	قطر السلك (مم)	الجهد (V)
الملف الابتدائي			
الملف الثانوي			

جدول رقم ١٧: جدول النتائج

المشاهدات

.....

.....

.....

.....

.....

تقييم الأداء

أن يصبح المتدرب قادرا على أن:

م	معيار الأداء	تحقق		ملاحظات
		نعم	لا	
١	يطبق إجراءات السلامة المهنية.			
٢	يضبط جهاز القياس حسب القيم الكهربائية المراد قياسها.			
٣	يجيد فك وتجميع المحول الأحادي			
٤	يستخدم الأدوات المناسبة للفك والتجميع			
٥	يقوم بلف المحول الأحادي واختبار صلاحيته.			
٦	يرتب مكان العمل ويتركه نظيفا.			

جدول رقم ١٨: تقييم الأداء

توقيع المدرب

الاسم: ..... التوقيع: ..... التاريخ: .....

الاختبار العملي

في نهاية التدريب العملي يعطى المتدرب محول أحادي الوجه ويطلب منه:

- فك المحول
- تعيين بيانات الملفات للمحول الأحادي
- لف المحول الأحادي
- إعادة تجميعه

تجربة صلاحيته، على أن يكون قادرا على أن يقوم بذلك في زمن ١٢٠ دقيقة.

توصيل المحولات أحاديه الوجه علي التوازي			
تدريب رقم	٨	الزمن	٨ ساعات

أهداف

أن يستطيع المتدرب توصيل المحولات الأحادية على التوازي لزيادة قدرة التحميل الكلية.

متطلبات التدريب

الأجهزة	المعدات والخامات
جهاز قياس متعدد الأغراض (أفوميتر) لقياس الجهد	محولين أحاديي الوجه
جهاز قياس متعدد الأغراض (أفوميتر) لقياس التيار	
مصدر جهد متردد	أسلاك توصيل.

جدول رقم ١٩: جدول متطلبات التدريب.

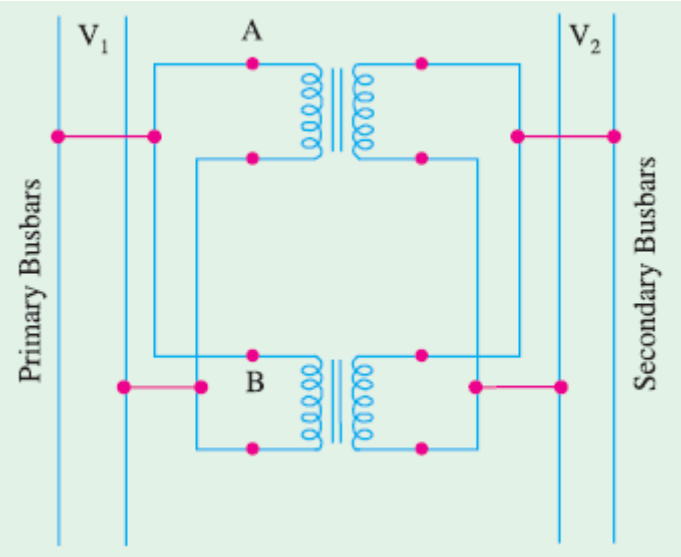
المعارف المرتبطة بالتدريب

توصيل محولين على التوازي لزيادة سعة التحميل وله الشروط التالية:

- يجب أن تتطابق القطبية لكلا المحولين.
- يجب أن تكون نسبة اللف متساوية.
- يجب أن تتساوي نسبة مقاومة اللفائف إلى الفاعلة المتسربة لكلا المحولين.
- يجب أن تتساوي المعاوقة للمحولين.
- يجب أن يكون تعاقب الأوجه واحد في المحولين.

خطوات تنفيذ التدريب

١. تطبيق إجراءات السلامة والأمان الخاصة بالمعمل.
٢. اختبار كلا المحولين.
٣. تحديد قطبية المحولين بإجراء اختبار القطبية.
٤. يجب قراءة لوحة البيانات لكلا المحولين والتأكد من أن نسبة اللف متساوية.
٥. من لوحة البيانات تأكد من تساوي نسبة مقاومة اللفائف لكلا المحولين.
٦. من لوحة البيانات تأكد من تساوي المعاوقة لكلا المحولين..
٧. قم بتوصيل المحولين على التوازي كما هو موضح في الشكل التالي.



شكل رقم ٢٨: توصيل المحولات على التوازي

٨. صل الملف الابتدائي بمنبع جهد ثابت عند الجهد المقنن للمحول الأول وكذلك صل المحول الثاني علي التوازي مع مراعاة القطبية.

٩. صل الملف الثانوي للمحول الأول وكذلك صل المحول الثاني علي التوازي.

١٠. وصل التيار الكهربي.

١١. لاحظ بعد فترة من التوصيل درجة حرارة المحولين.

١٢. بالانتهاء من التدريب قم بترتيب العدد والأدوات والخامات في أماكنها السليمة وأترك المعمل مرتب ونظيف.

المشاهدات

.....

.....

.....

.....

.....

تقييم الأداء

أن يصبح المتدرب قادرا على أن:

م	معيار الأداء	تحقق		ملاحظات
		نعم	لا	
١	يطبق إجراءات السلامة المهنية.			
٢	يوصل محولين أو أكثر علي التوازي.			
٣	يحدد صحة توصيل المحولين علي التوازي.			
٤	يرتب مكان العمل ويتركه نظيفا.			

جدول رقم ٢٠: تقييم الأداء

توقيع المدرب

الاسم: ..... التوقيع: ..... التاريخ: .....

الاختبار العملي

في نهاية التدريب العملي يقوم المتدرب بتكرار التوصيل مرة أخري.

ينبغي أن يكون المتدرب قادرا على أن يقوم بتوصيل الدائرة واختبارها في زمن ٢٠ دقيقة.

طرق توصيل المحولات ثلاثية الأوجه			
تدريب رقم	٩	الزمن	٨ ساعات

أهداف

أن يجيد المتدرب توصيل المحولات الثلاثية الأوجه بالطرق لتالية:

- نجمة / دلتا
- نجمة / نجمة
- دلتا / نجمة
- دلتا / دلتا

متطلبات التدريب

الأجهزة	المعدات والخامات
جهاز قياس متعدد الأغراض (أفوميتر) ٣.	محول ثلاثيي الأوجه ذو قلب حديدي ثلاثي من النوع القلبي
مصدر جهد متردد ثلاثي الأوجه	أسلاك توصيل.

جدول رقم ٢١: جدول متطلبات التدريب.

المعارف المرتبطة بالتدريب

تعتمد طريقة توصيل أطراف الملفات في المحولات ثلاثية الأوجه على عدة عوامل منها:

- طبيعة الشبكة الكهربائية وخواصها.
- طبيعة المحول في الشبكة والجهد المقرر وعدد لفاته.
- طبيعة الحمل

ويمكن توصيل المحولات الثلاثية بعدة أساليب كالتالي:

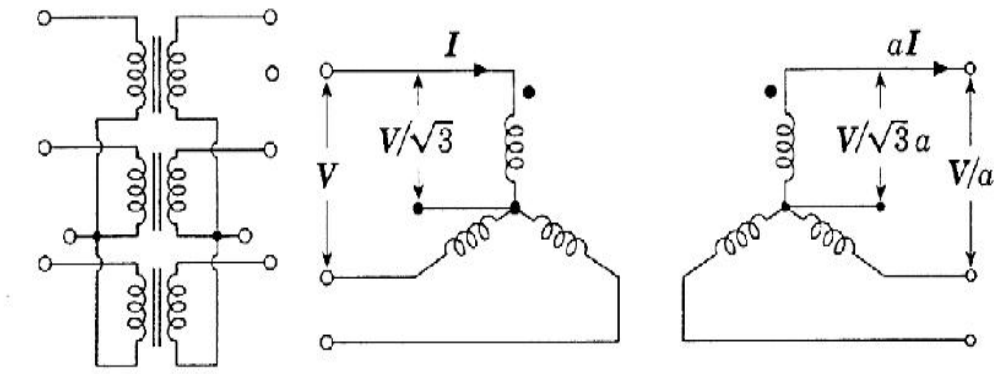
- نجمة / نجمة
- دلتا / دلتا
- نجمة / دلتا
- دلتا / نجمة

وتوضح الأشكال التالية طرق التوصيل المختلفة، مع الجهود والتيارات المختلفة، تتميز المحولات الثلاثية الطور المكونة من ثلاثة محولات أحادية الطور بالسهولة في كل شيء، سواء في الصيانة، أو التركيب، أما عن عيوب هذه الطريقة فهي أنها تشغل حيز أكبر، وزن أكبر وتكلفتها أكبر.

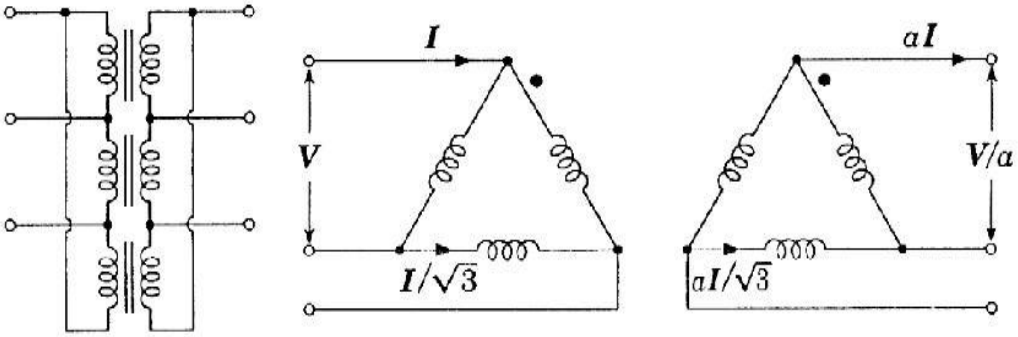
نسبة التحويل "K" في المحولات الثلاثية تعطى بالعلاقة:

$$K = \frac{V1L}{V2L}$$

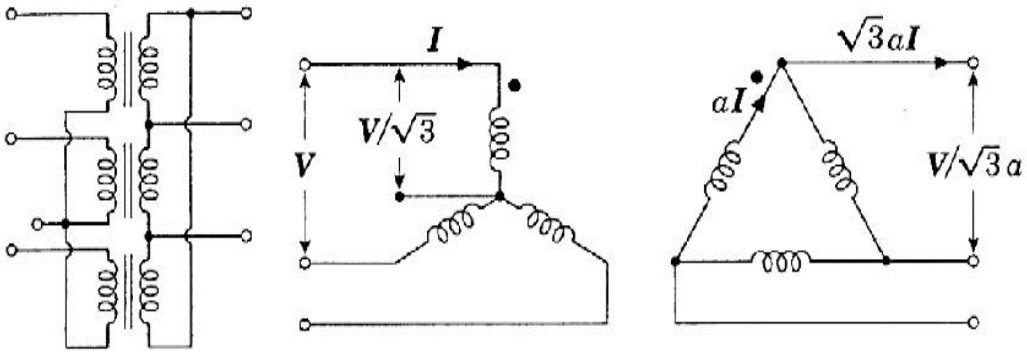
حيثV2L هو جهد الخط على الطرف الثانوي، V1L هو جهد الخط على الطرف الأولي



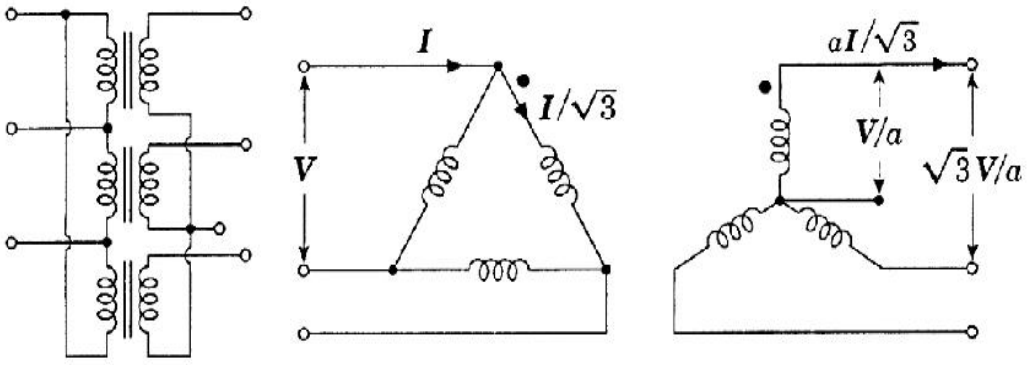
شكل رقم ٢٩: طريقة التوصيل نجمة - نجمة



شكل رقم ٣٠: طريقة التوصيل دلتا - دلتا



شكل رقم ٣١: طريقة التوصيل نجمة - دلتا



شكل رقم ٣٢: طريقة التوصيل دلتا – نجمة

يتم حساب نسبة تحويل المحولة بعد أخذ طريقة توصيل الملفات بعين الاعتبار، لهذا لدينا أربع حالات:

١. نسبة التحويل في المحول الموصل نجمة – نجمة تعطى بالعلاقة:

$$K = \frac{V_{1L}}{V_{2L}} = \frac{\sqrt{3}\,V_{1Ph}}{\sqrt{3}\,V_{2Ph}} = \frac{V_{1ph}}{V_{2ph}} = K_{ph}$$

٢. نسبة التحويل في المحول الموصل دلتا – دلتا تعطى بالعلاقة:

$$K = \frac{V_{1L}}{V_{2L}} = \frac{V_{1Ph}}{V_{2Ph}} = K_{ph}$$

٣. نسبة التحويل في المحول الموصل نجمة – دلتا تعطى بالعلاقة:

$$K = \frac{V_{1L}}{V_{2L}} = \frac{\sqrt{3}\,V_{1Ph}}{V_{2Ph}} = \sqrt{3}\,K_{ph}$$

٤. نسبة التحويل في المحول الموصل دلتا – نجمة تعطى بالعلاقة:

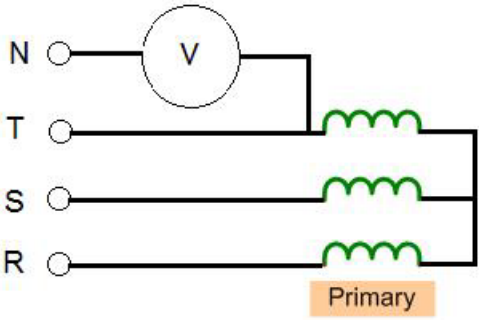
$$K = \frac{V_{1L}}{V_{2L}} = \frac{V_{1Ph}}{\sqrt{3}V_{2Ph}} = \frac{K_{ph}}{\sqrt{3}}$$

خطوات تنفيذ التدريب

١. تطبيق إجراءات السلامة والأمان الخاصة بالمعمل.

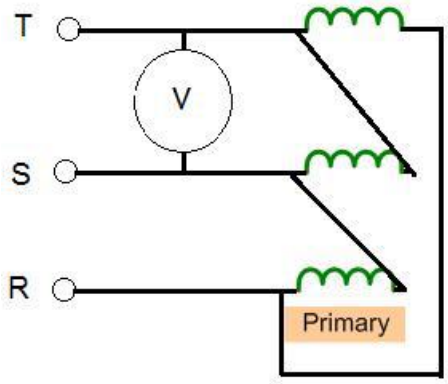
٢. سنقوم في هذا التدريب بتوصيل الطرف الأولي إلى منبع ثلاثي الطور ونبقي الطرف الثانوي مفتوح.

٣. ضع مقياس الجهد (الأفو – قياس جهد متردد) لقياس جهد الوجه على الطرف الأول بين الوجه والطرف المتعادل (N) في حال كان التوصيل نجمي كما في الشكل التالي ثم نضرب القيمة بـ $\sqrt{3}$ للحصول على قيمة جهد الخط.



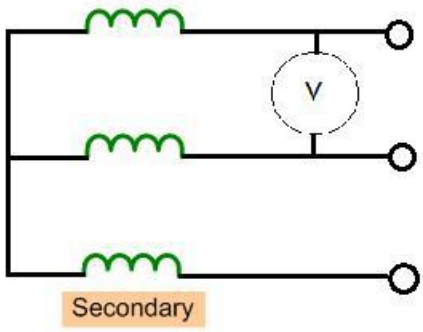
شكل رقم ٣٣: قياس جهد الخط في التوصيل نجمة

٤. أما في حال كان التوصيل دلتا، ويكون التوصيل كما في الشكل التالي

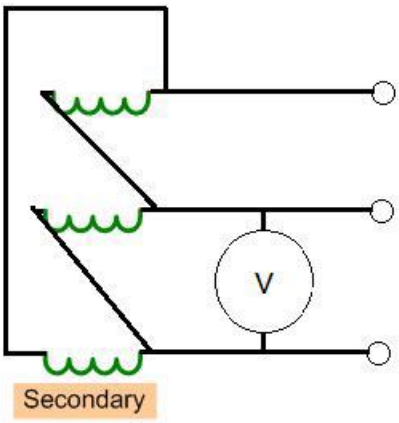


شكل رقم ٣٤: قياس جهد الخط في التوصيل دلتا

٥. أما على الطرف الثانوي فيوصل مقياس الفولت بين طورين سواء كان التوصيل نجمة أو دلتا كما في الشكلين التاليين:



شكل رقم ٣٥: توصيل جهاز الافو للمبف الثانوي في التوصيل النجمة



شكل رقم ٣٦: توصيل جهاز الافو للمبف الثانوي في التوصيل الدلتا

٦. قم بتنفيذ التوصيل النجمة – نجمة وقياس الجهود حسب الرسم السابق وتسجيل النواتج في جدول النتائج ومن ثم حساب قيمة نسبة التحويل.
٧. قم بتنفيذ التوصيل الدلتا – دلتا وقياس الجهود حسب الرسم السابق وتسجيل النواتج في جدول النتائج ومن ثم حساب قيمة نسبة التحويل.
٨. قم بتنفيذ التوصيل النجمة – دلتا وقياس الجهود حسب الرسم السابق وتسجيل النواتج في جدول النتائج ومن ثم حساب قيمة نسبة التحويل.
٩. قم بتنفيذ التوصيل الدلتا – نجمة وقياس الجهود حسب الرسم السابق وتسجيل النواتج في جدول النتائج ومن ثم حساب قيمة نسبة التحويل.
١٠. بالانتهاء من التدريب قم بترتيب العدد والأدوات والخامات في أماكنها السليمة وأترك المعمل مرتب ونظيف.

النتائج

طريقة التوصيل	نجمة - نجمة	نجمة - دلتا	دلتا - نجمة	دلتا - دلتا
نسبة التحويل				

جدول رقم ٢٢: نتائج التدريب

المشاهدات

.....

.....

.....

.....

.....

تقييم الأداء

أن يصبح المتدرب قادرا على أن:

م	معيار الأداء	تحقق		ملاحظات
		نعم	لا	
١	يطبق إجراءات السلامة المهنية.			
٢	يتقن توصيل المحول الثلاثي توصيل نجمة – نجمة وحساب نسبة التحويل			
٣	يتقن توصيل المحول الثلاثي توصيل نجمة – دلتا وحساب نسبة التحويل			
٤	يتقن توصيل المحول الثلاثي توصيل دلتا – نجمة وحساب نسبة التحويل			
٥	يتقن توصيل المحول الثلاثي توصيل دلتا – دلتا وحساب نسبة التحويل			
٦	يرتب مكان العمل ويتركه نظيفا.			

جدول رقم ٢٣: تقييم الأداء

توقيع المدرب

الاسم: ..... التوقيع: ..... التاريخ: .....

الاختبار العملي

في نهاية التدريب العملي يعطى المتدرب محول ثلاثي الأوجه

ينبغي أن يكون المتدرب قادرا على أن يقوم بالآتي في زمن ٩٠ دقيقة:

- توصيل المحول الثلاثي توصيل نجمة – دلتا وحساب نسبة التحويل
- توصيل المحول الثلاثي توصيل نجمة – دلتا وحساب نسبة التحويل
- توصيل المحول الثلاثي توصيل دلتا – نجمة وحساب نسبة التحويل
- توصيل المحول الثلاثي توصيل دلتا – دلتا وحساب نسبة التحويل

توصيل المحولات ثلاثية الأوجه علي التوازي			
تدريب رقم	١٠	الزمن	٨ ساعات

أهداف

أن يستطيع المتدرب توصيل المحولات ثلاثية الأوجه على التوازي لزيادة قدرة التحميل الكلية.

متطلبات التدريب

الأجهزة	المعدات والخامات
جهاز قياس متعدد الأغراض (أفوميتر) لقياس الجهد	محولين ثلاثيي الأوجه
جهاز قياس متعدد الأغراض (أفومتر) لقياس التيار	
مصدر جهد متردد	أسلاك توصيل.

جدول رقم ٢٤: جدول متطلبات التدريب.

المعارف المرتبطة بالتدريب

توصيل المحولات على التوازي

نحتاج في بعض الأحيان إلى استخدام أكثر من محول واحد لتغذية أحمال كبيرة، لا يمكن أن يقوم بها محول واحد من المحولات التي يسهل الحصول عليها. لذلك نلجأ إلى توصيل محولين على التوازي، حيث يوصل ملفي الجهد العالي مع بعضهما وكذلك ملف الجهد المنخفض، وهناك اعتبارات لابد أن تؤخذ عند عمل مثل هذا التوصيل.

شروط تشغيل المحولات على التوازي

يجب أن تتوفر عدة شروط قبل توصيل محولين على التوازي معا. وهذا ينطبق على المحولات أحادية الوجه، والمحولات ثلاثية الأوجه. وإلى جانب ذلك كله يوجد شرط عام يجب ألا نغفله، وهو يختص بتشغيل أي نوعين من الآلات على التوازي. وينص على أن تكون قدرة الآلتين، المراد تشغيلهما بالتوازي، متقاربتين بقدر الإمكان. حيث لا يوجد ما يمنع تشغيل آلتين على التوازي بسبب اختلاف قدرتيهما، والحكمة من هذا الشرط ألا يؤدى أي اختلاف صغير، في تحميل الآلة الكبيرة، إلى إلقاء عبء متزايد على الآلة الصغيرة، بسبب حدوث حالة تعدى الحمل. وتتلخص شروط توصيل المحولات على التوازي في الآتي:

- أن يكون للمحولين نفس نسبة تحويل الجهد عند نفس التردد. حيث اتفاق نسبة التحويل يجعلنا نحصل على نفس الجهد على طرفي كل من ملفي الجهد الثانوي، في حالة عدم وجود الحمل وذلك عند

توصيل الملفين الابتدائيين معا على التوازي على منبع جهد واحد. وهذا يمنع مرور تيارات محلية (circulating current) بين الملفين الثانويين. والتي تعمل على زيادة فقد النحاس.

- أن يكون هبوط الجهد النسبي متساويا في كل منهما عدديا، ومتوافقا مرحليا أي أن معامل التنظيم واحد للمحولين.
- أن تراعى قطبية الأطراف عند توصيلهما، فتوصل الأطراف ذات القطبية المتماثلة معا. وينشأ عن وجود خطأ في القطبية عند التوصيل، أن يصبح الملفان الثانويان مقصورين بضعف الجهد، مما يتسبب في مرور تيار قصر كبير قبل التوصيل إلى الحمل. لذلك يجب التحقق من صحة التوصيل بالنسبة للقطبية قبل أن يصبح الملفان الثانويان متصلين على التوازي معا على طرفي الحمل.
- أن يراعى توافق التعاقب المرحلي (sequence phase) بالنسبة للمحاولات الثلاثية الأوجه، على أن يكون تعاقب المراحل متماثلا في المحولين، وإلا فسوف تحدث دائرة قصر بين كل مرحلتين خلال كل دورة.

خطوات تنفيذ التدريب

١. تطبيق إجراءات السلامة والأمان الخاصة بالمعمل.
٢. اختبار كلا المحولين.
٣. تحديد قطبية المحولين بإجراء اختبار القطبية.
٤. تحديد التعاقب المرحلي (sequence phase) لكل من المحولين الثلاثي الأوجه
٥. يجب قراءة لوحة البيانات لكلا المحولين والتأكد من أن نسبة اللف متساوية.
٦. من لوحة البيانات تأكد من تساوي نسبة مقاومة اللفائف لكلا المحولين.
٧. من لوحة البيانات تأكد من تساوي المعاوقة لكلا من المحولين.
٨. قم بتوصيل المحولين على التوازي.
٩. صل الملف الابتدائي بمنبع جهد ثابت عند الجهد المقنن للمحول الأول وكذلك صل المحول الثاني علي التوازي مع مراعاة القطبية.
١٠. صل الملف الثانوي للمحول الأول وكذلك صل المحول الثاني علي التوازي.
١١. وصل التيار الكهربي.
١٢. لاحظ بعد فترة من التوصيل درجة حرارة المحولين.
١٣. بالانتهاء من التدريب قم بترتيب العدد والأدوات والخامات في أماكنها السليمة وأترك المعمل مرتب ونظيف.

المشاهدات

.....

.....

.....

.....

.....

تقييم الأداء

أن يصبح المتدرب قادرا على أن:

م	معيار الأداء	تحقق		ملاحظات
		نعم	لا	
١	يطبق إجراءات السلامة المهنية.			
٢	يوصل محولين أو أكثر علي التوازي.			
٣	يحدد صحة توصيل المحولين علي التوازي.			
٤	يرتب مكان العمل ويتركه نظيفا.			

جدول رقم ٢٥: تقييم الأداء

توقيع المدرب

الاسم: ..... التوقيع: ..... التاريخ: .....

الاختبار العملي

في نهاية التدريب العملي يقوم المتدرب بتكرار التوصيل مرة أخري.

ينبغي أن يكون المتدرب قادرا على أن يقوم بتوصيل الدائرة واختبارها في زمن ٤٥ دقيقة.

المصطلحات العلمية

المصطلح باللغة العربية	المصطلح باللغة الإنجليزية
آلات التيار المباشر (المستمر)	D.C machines
المنتج	Armature
رد فعل المنتج	Armature reaction
ملفات المنتج	Armature winding
اللف الإنطباقي	Lap winding
اللف التموجي	Wave winding
كراسي التحميل (البيل)	Bearings
فرشة كربونية (فحمة)	Carbon brush
هيكل	Yoke
رقائق أو صفائح	Laminations
مروحة	Fan
المبدل - موحد – عاكس	Commutator
أقطاب التعويض	Compensated type
محور التعادل المغناطيسي	Magnetic neutral axis
محرك التوالي	Series motor
محرك التوازي	Shunt motor
المحرك المركب	Compound motor
المحرك المركب التراكمي	Cumulative motor
المحرك المركب الفرقي	Differential motor
بادئ تشغيل محركات التوازي	D.C shunt motor starter
مولد التوالي	D.C series generator
مولد التوازي	D.C shunt generator
المولد المركب	D.C compound generator
مولد مركب طويل	Long compound generator
مولد مركب قصير	Short compound motor
مولدات الإثارة الذاتية	Self-excited generator

المصطلح باللغة العربية	المصطلح باللغة الإنجليزية
مولدات ذات تغذية منفصلة	Separately excited generator
المفاقيد النحاسية	Copper losses
المفاقيد في آلات التيار المباشر	D.C machine losses
القوة الدافعة الكهربائية	Electrical force
المفاقيد الهستيرية	Hysteresis losses
المفاقيد الحديدية	Iron losses
المفاقيد الميكانيكية	Mechanical losses
الخاصية الميكانيكية	Mechanical characteristic
زيادة التيار	Over current
زيادة الجهد	Over voltage
المفاقيد الشاردة	Stray losses

قائمة المراجع

1. BIRD, J. (2013) Electrical Circuit Theory and Technology. Routledge.
2. Giorgio Rizzoni. (2014) Principles and Applications of Electrical Engineering.
3. Paul Gil, Electrical Power Equipment Maintenance and Testing (Power Engineering), 2017.
4. Kenneth R. Edwards, Transformers 2nd Edition, 2007.