آلات التيار المستمر والمحولات

المحولات الكهربية أحادية الوجه

قلم الجزائر | WWW.DZPEN.COM

المحولات الكهربائية أحادية الوجه

الجدارة: معرفة نظرية عمل المحول الكهربي وتركيبه وطريقة ترتيب الملفات، واستنتاج معادلة القوة الدافعة الكهربية ونسبة التحويل وكذلك الدائرة المكافئة وتشغيله عند الأحمال المختلفة وأيضاً حساب المفقودات والكفاءة ومعامل التنظيم.

الأهداف: عندما تكتمل هذه الوحدة يكون لديك القدرة على:

١. معرفة نظرية عمل وتركيب المحول الكهربي وطرق ترتيب الملفات.
٢. استنتاج معادلة القوة الدافعة الكهربية ونسبة التحويل.
٣. معرفة العلاقات الخاصة بالمحول المثالي.
٤. استنتاج الدائرة المكافئة منسوبة للابتدائي والثانوي.
٥. تشغيل المحول عند اللاحمل وعند التحميل.
٦. إجراء الاختبارات الضرورية.
٧. استنتاج عناصر الدائرة المكافئة.
٨. حساب معامل التنظيم وكذلك المفقودات والكفاءة.
٩. تركيب المحول الذاتي ومجالات استخدامه.

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

الوقت المتوقع للتدريب: ١٥ ساعة.

الوسائل المساعدة: جهاز عرض (بروجيكتور).

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

قلم الجزائر | WWW.DZPEN.COM

الوحدة الرابعة : المحولات الكهربية أحادية الوجه Single Phase Transformers

تلعب المحولات الكهربائية دوراً مهما في الحياة العصرية حيث تستخدم بصورة واسعة في الحياة العملية بقدرات وجهود مختلفة حيث تستخدم بقدرات عالية في رفع أو خفض الجهد الكهربي عند توليد ونقل القدرة الكهربية، كما تستخدم المحولات الكهربية في كثير من الأجهزة الكهربية وأجهزة القياس والدوائر الإلكترونية.

المحول الكهربي هو جهاز كهرومغناطيسي ساكن (لايحتوي على أجزاء متحركة مثل الآلات الكهربائية الأخري) يستخدم في تحويل القدرة الكهربائية في دوائر التيار المتردد من دائرة ذات جهد أو تيار معين إلى دائرة أخرى بنفس التردد عند جهد أو تيار آخر. ويعتبر المحول الكهربي تطبيقاً مباشراً لقانون "فارادي" للحث الكهرومغناطيسي والذي يعتمد على توليد القوة الدافعة الكهربائية استاتيكيا بسبب تغير المجال المغناطيسي كما أشرنا في الوحدة الأولى. وسوف نتعرف في هذه الوحدة على نظرية عمل المحول وتركيبه وكذلك أنواعه المختلفة وطرق ترتيب الملفات فيها. أيضاً سوف نستنتج الدائرة المكافئة للمحول نظرياً وكيفية الحصول عليها معملياً. ومن المهم أيضاً دراسة أداء المحول في حالات التحميل المختلفة وحساب المفقودات والكفاءة. وفي النهاية سوف نتعرض إلى نوع خاص من المحولات وهو المحول الذاتي نظراً لاستخداماته المتعددة وخصوصا في المختبرات للحصول على مصور جهد متغير.

أنواع المحولات

يمكن تقسيم المحولات بعدة طرق مختلفة من أهمها أن يتم التقسيم بناء على نوع الخدمة التي تقدمها كما يلي:

- **محولات القوى Power Transformers**: وهي تلك المحولات ذات القدرات العالية التي تستخدم في رفع أو خفض الجهد في منظومات وخطوط النقل كما في شكل ٤- ١.
- **محولات التوزيع Distribution Transformers** : وهي المحولات التي تستخدم في استلام الطاقة الكهربائية من شبكات التوزيع وتسليمها إلى الأحمال وهي عادة محولات خفض. شكل ٤- ٢ يوضح محول توزيع يستخدم في شبكات التوزيع الكهربائية.
- **محولات الأجهزة Instrument Transformers**: وهي تستخدم في أجهزة قياس الجهد والتيار العالي والتي تستعمل في أجهزة الحماية، وأيضا كحساس للجهد والتيار في أنظمة التحكم حتى تعمل تلك الأجهزة على جهود وتيارات آمنة.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر



شكل ٤- ١ محول قدرة



شكل ٤- ٢ محول توزيع

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

- **محولات التأريض Earthing Transformers:** وتستخدم لإيجاد مسار أرضي في منظومات الدلتا وعادة تتكون من ملف واحد. وتفيد تلك المحولات في منظومات التوزيع على جانب الحمل حيث يمكن عن طريقها عمل الحماية من الخطأ الأرضي.

- **محولات خاصة :** وهي المحولات التي تستخدم بطريقة خاصة بحيث يتطلب بعض التغييرات في تصنيعها مثل محولات الأفران ومحولات لحام القوس الكهربائي ومحولات اختبار شدة العزل

- **المحولات الصغيرة:** وهي المحولات ذات المقننات الصغيرة مثل محولات الإضاءة ومحولات الأجراس ومحولات لعب الأطفال كما في شكل ٤- ٣.

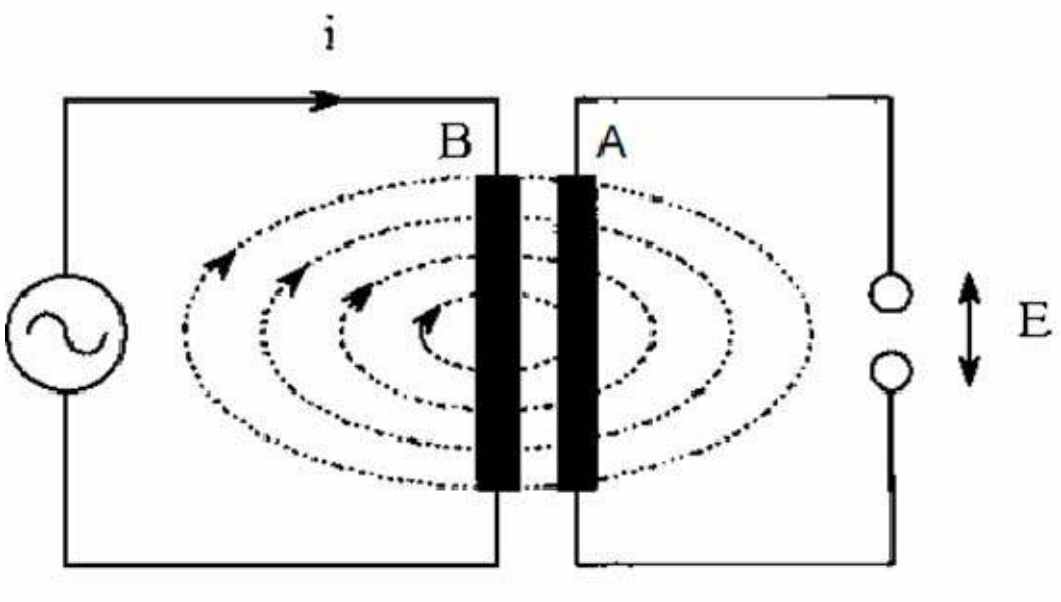


شكل ٤- ٣ محولات ذات قدرات صغيرة

٤- ١ نظرية عمل المحول

تعتمد نظرية عمل المحول على الحث الكهرومغناطيسي والذي يمكن اختصاره ببساطة كما يلي: "إذا قرب موصل الكهربائي A يحمل تياراً متغيراً (متردداً) من موصل آخر B فإنه تتكون قوه دافعة كهربائية في الموصل B " شكل ٤- ٤ يوضح الفكرة الأساسية لتكون القوة الدافعة الكهربائية استاتيكياً بسبب وجود موصل قريب من مجال مغناطيسي متردد ناتج بسبب مرور تيار في موصل آخر.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر



شكل ٤- ٤ توليد القوة الدافعة استاتيكياً

مما سبق يمكن فهم نظرية عمل المحول الكهربي التي تعتمد على الحث الكهرومغناطيسي المتبادل بين دائرتين معزولتين كهربياً ومرتبطتين بتدفق مغناطيسي متغير وتشترك جميع المحولات في أنها تتكون من ثلاثة أجزاء رئيسه وهي:

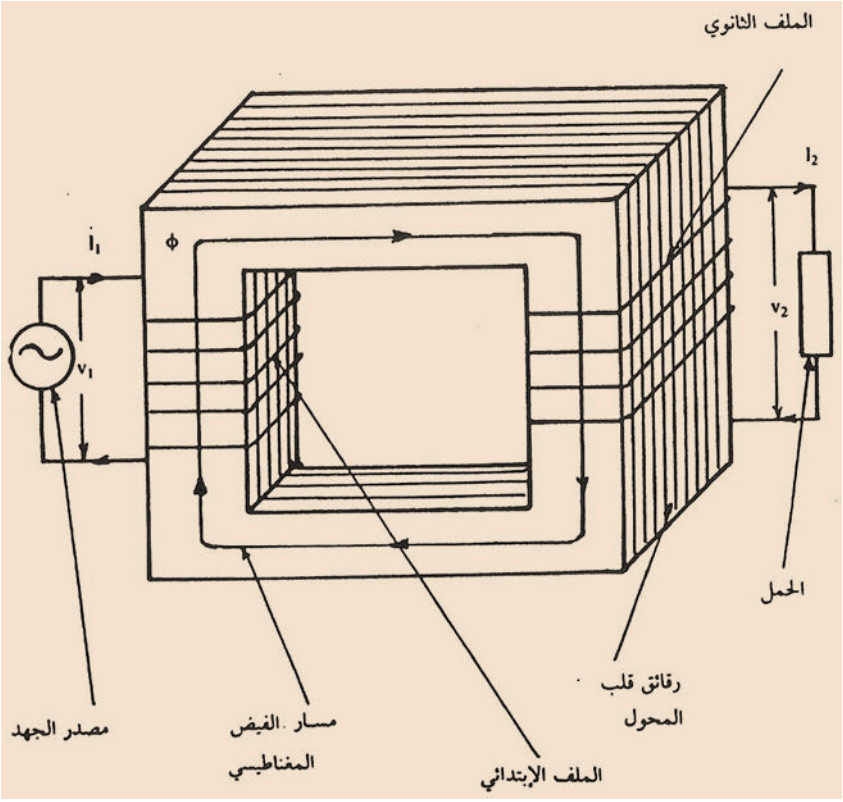
١. **الملف الابتدائي Primary coil**، وهو الملف الذي يستقبل الطاقة الكهربائية من مصدرها على الجهد الابتدائي والتيار الابتدائي ويحتوي الملف الابتدائي على عدد من اللفات N_1.

٢. **قلب المحول، Transformer core** وهو مادة مغناطيسية يتولد فيها فيض مغناطيسي متردد alternating magnetic flux يخترق كلاً من الملف الابتدائي والملف الثانوي، ويتم تحويل الطاقة داخل قلب المحول.

٣. **الملف الثانوي Secondary coil**، وهو الملف الذي تتكون فيه قوه دافعة كهربائية e.mf. بالحث نتيجة لتردد الفيض المغناطيسي المخترق لهذا الملف. ويتصل عادة الملف الثانوي بالحمل الكهربائي، ويتكون الملف الثانوي من عدد من اللفات N_2.

وفي بعض الأحيان يسمى الملفان نسبة إلى الجهد على كل منهما فيسمى الملف ذو الجهد الأكبر بملف الجهد العالي، ويسمى الملف ذو الجهد الأقل بملف الجهد المنخفض. وتجدر الإشارة إلى أن بعض المحولات تحتوي فقط على ملف واحد حيث يقوم هذا الملف بعمل كل من الملف الابتدائي والملف الثانوي وتسمى هذه المحولات بالمحولات الذاتية auto transformer. شكل ٤- ٥ يوضح الأجزاء الرئيسة لمحول كهربائي أحادي الوجه، وسنتناول كل جزء من هذه الأجزاء بالتفصيل فيما يلي. تذكر دائماً أن المحول الكهربي يستعمل مع التيار المتردد ولا يستعمل مع التيار المستمر، لماذا؟

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر



شكل ٤- ٥

شكل ٤- ٥ الأجزاء الرئيسة لمحول الكهربائي في أبسط صورة

٤- ٢ تركيب المحول

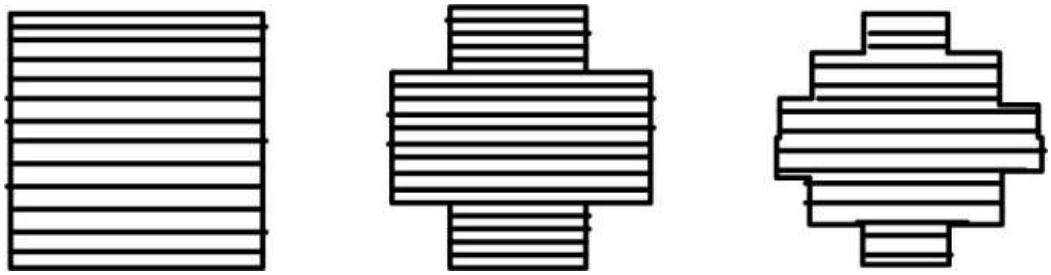
مما سبق يتبن لنا أن المحول يحتوي على الأجزاء التالية: القلب الحديدي(core)، الملفات (windings) بخلاف أوعية مناسبة لجمع القلب والملفات وعوازل مناسبة لعزل وحمل أطراف الملفات وأجهزة الوقاية والتبريد.

- **القلب الحديدي (core)**: وهو يشكل المسار للفيض المغناطيسي للمحول ويصنع عادة من الصلب السليكوني والذي يتميز بنفاذية مغناطيسية عالية وبالتالي كفاءة عالية لتحويل الطاقة. كما أنه يمكن مغنطته بسهولة. ويتكون القلب الحديدي من سيقان (legs) توضع عليها الملفات وعوارض (yoke) لتكملة الدائرة المغناطيسية. ويتم تصنيع القلب من رقائق (laminations) من الصلب السليكوني (لتقليل المفقودات الحديدية)، والتي سمكها يتراوح من ٣٥,. مم إلى ٥,. مم. وتعزل الرقائق عن بعضها البعض طبقة من الورق بسمك ٢,. إلى ٣,. مم والذي يلصق على أحد وجهي كل رقيقة، أو من الورنيش الذي يدهن به أحد وجهي الرقيقة. والهدف من هذا العزل هو الحد من مفقودات التيارات الإعصارية. ومقطع الساق يأخذ عدة أشكال، فإما أن يكون على شكل مربع أو صليب في المحولات صغيرة

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

ومتوسطة القدرة، وإما أن يكون متدرجاً كما في المحولات الكبيرة القدرة. ويوضح شكل ٤- ٦ عدة أشكال لمقاطع مختلفة للساق.

تربط الرقائق معاً بواسطة أحزمة في المحولات الصغيرة أو بمسامير في حالة المحولات الكبيرة، بحيث لا ينتج عنها طنين بسبب الاهتزازات الناشئة عن القوى المغناطيسية. وتعشق رقائق الساق مع رقائق العارضة مكونة بذلك القلب الحديدي.



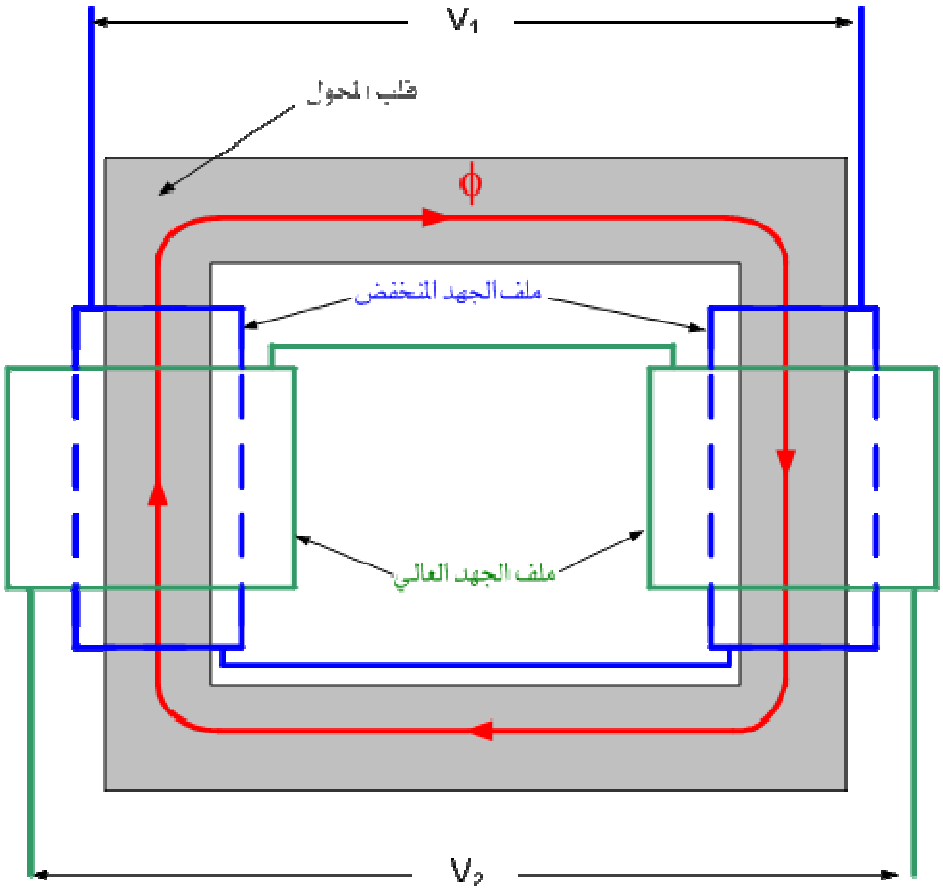
شكل ٤- ٦ مقاطع مختلفة للساق (Leg)

يمكن لقلب المحول أن يأخذ أحد تكوينين رئيسيين، حيث يتم الإشارة لنوع المحول بناء على شكل أو تكوين القلب حيث يوجد نوعان رئيسان:

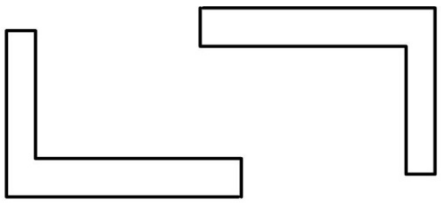
أ. **المحول القلبي Core type Transformer** : شكل ٤- ٧ يبين تكوين محول قلبي أحادي الوجه وطريقة وضع الملفين الابتدائي والثانوي، وكذلك مسار الفيض المغناطيسي داخل قلب المحول. ويمكن ملاحظة أن كلاً من الملف الابتدائي والثانوي يتكون من نصفين على سيقان المحول، ويصل هذين النصفين معاً على التوالي أو التوازي كما يمكن ملاحظة أن الملفين الابتدائي والثانوي متمركزان مع قلب المحول.

يتكون القلب الحديدي في هذا النوع كما في شكل ٤- ٧ من ساقين توضع عليهما الملفات وعارضتين لتكملة القلب الحديدي، وتكون الرقائق على شكل حرف L كما في شكل ٤- ٨ ثم تجمع مع بعضها واحدة بعد الأخرى كما في شكل ٤- ٩، حيث توضع الرقائق بالوضع المبين في شكل (أ)، ثم يوضع بعدها الرقائق بالوضع المبين في شكل (ب)، ثم توضع الرقائق كما في شكل (أ) مرة أخرى وهكذا تتكرر العملية حتى يتم تركيب الرقائق بأكملها. وتتكون الدائرة المغناطيسية في هذا النوع من مسار واحد فقط، مما يميز هذا التصميم بالبساطة، كما أنه يسهل عزل الملفات.

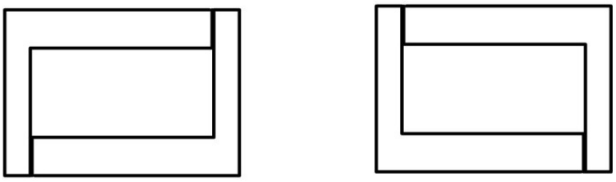
WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر



شكل ٤- ٧ المحول القلبي أحادي الطور



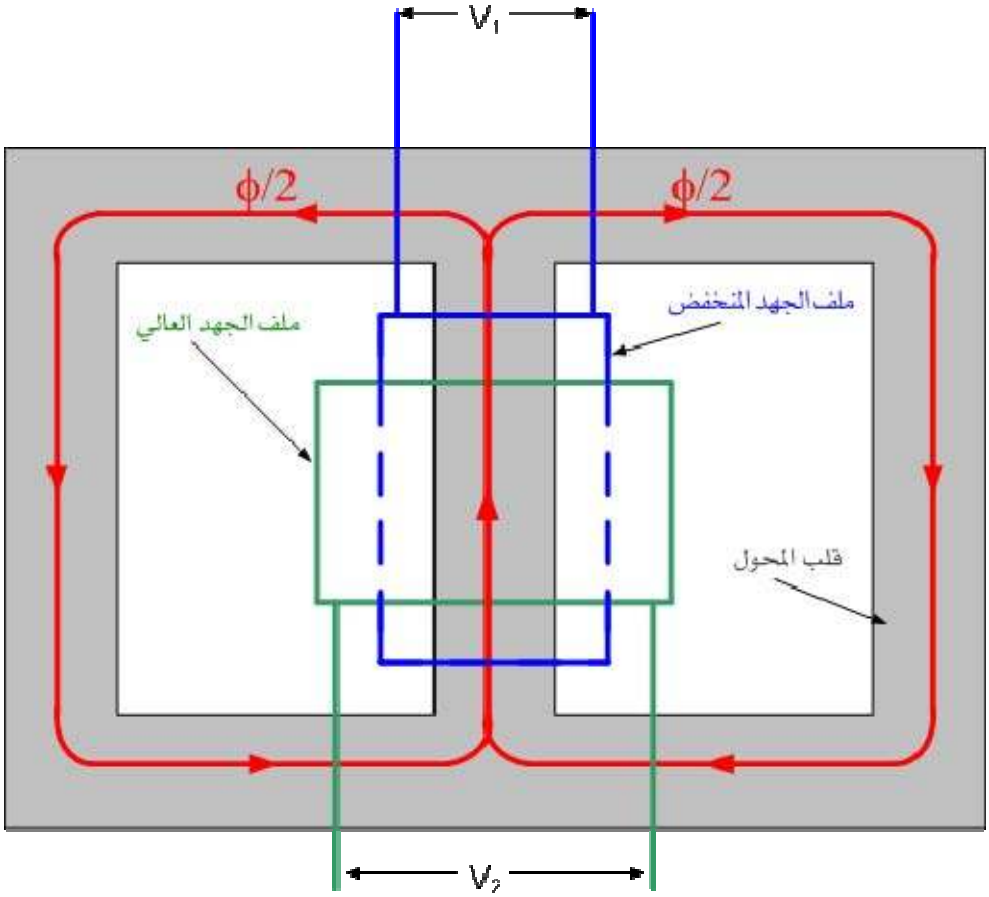
شكل ٤- ٨ الرقائق المكونة للقلب الحديدي في المحول القلبي



شكل ٤- ٩ طريقة تجميع الرقائق المكونة للقلب الحديدي في المحول القلبي

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

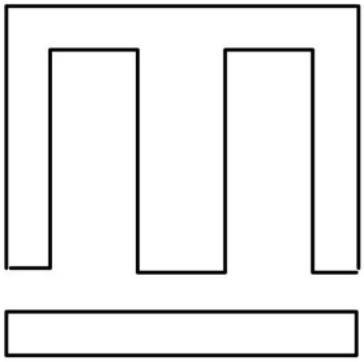
ب. **المحول القشري Shell type Transformer** : شكل ٤- ١٠ يبين تكوين محول قشري أحادي الوجه حيث يتم ترتيب وضع الملفات على قلب المحول بحيث يتكون مساران متوازيان للفيض المغناطيسي ويحيط كل مسار بملفي المحول.



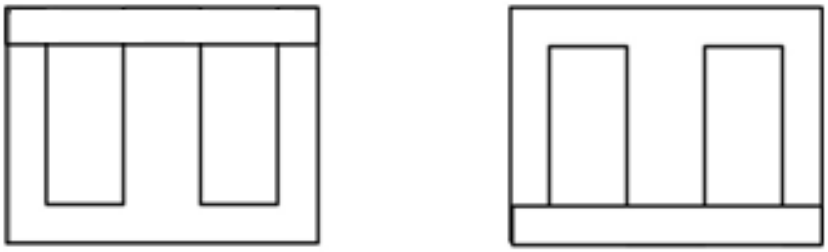
شكل ٤- ١٠ المحول القشري أحادي الطور

في هذا النوع تكون الرقائق على أشكال حرف E وحرف I كما في شكل ٤- ١١، وتجمع الرقائق مع بعضها بحيث توضع رقيقة على شكل E مع رقيقة على شكل I كما في شكل٤- ١٢ (أ)، ثم توضع رقيقة على شكل I مع رقيقة على شكل E كما في شكل - ١٢ (ب) وتتكرر هذه العملية حتى تركب الرقائق بأكملها، وتتكون الدائرة المغناطيسية من مسارين بالتوازي يشترك في تكوينها الساق الوسطى التي يجب أن تكون مساحتها ضعف مساحة أي من الساقين الآخرين. وتوضع ملفات الابتدائي والثانوي حول الساق الوسطى ، ولذلك يمتاز هذا النوع بأن الملفات تكون في حماية من الأضرار الميكانيكية.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر



شكل ٤- ١١ الرقائق المستخدمة في القلب الهيكلي

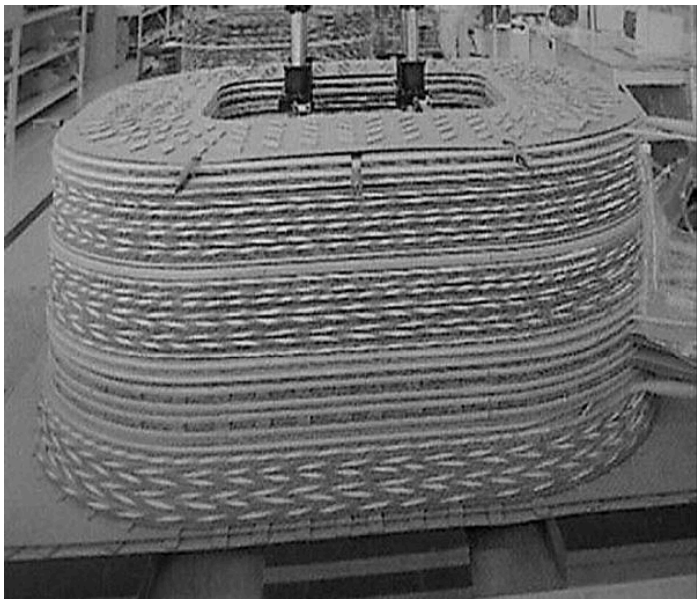


شكل ٤- ١٢ طريقة تجميع الرقائق المكونة للقلب الحديدي في المحول القشري

- **الملفات (windings)**: يلعب وضع وشكل وطريقة تركيب ولف الملفات دوراً مهماً له تأثير كبير على أداء وخواص المحول حيث تؤثر على كفاءة المحول وقدرته على مقاومة الإجهادات الميكانيكية والحرارية التي يتعرض لها أثناء التركيب والتشغيل. والخبرة المتبعة هي وضع الملفين الابتدائي والثانوي متمركزين مع المحور الهندسي لعضو القلب المخصص لذلك (سيقان المحول)، بحيث يوضع الملف ذو الجهد المنخفض مجاوراً لقلب المحول ويتم اللف بحيث يشمل العضو بالكامل. وتوجد أربعة طرق رئيسة من اللف:

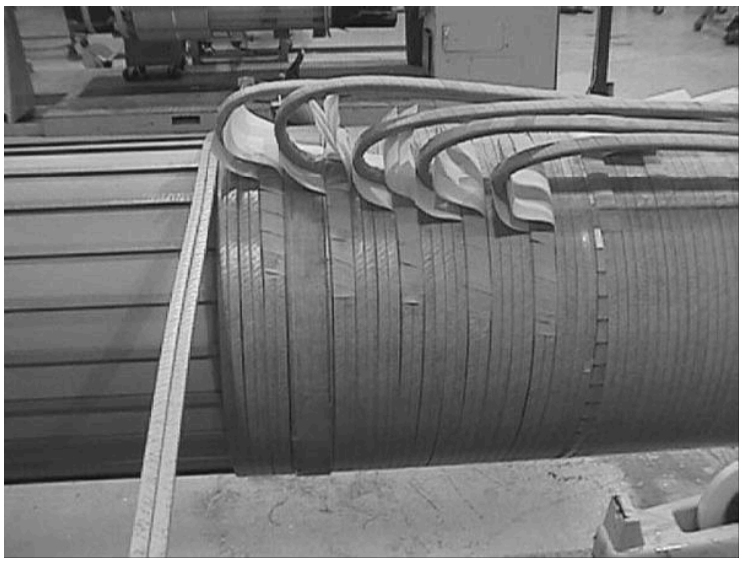
أ. **<u>اللف اللولبي Pancake Type</u>**: ويعتبر أبسط أنواع اللف ,والملف إما أن يكون سابق التشكيل أو يلف مباشرة على اسطوانة عازلة. ويلاحظ أن يتم عزل كل لفة عن اللفة التي تجاورها. ويستعمل اللف اللولبي في الملفات التي تحمل تيارات كبيرة، شكل ٤- ١٣ يعرض صورة لملف من هذا النوع.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر



شكل ٤- ١٣ ملف ملفوف بطريقة اللف اللولبي

ب. **اللف المفرق crossover Type:** يتم تكوين الملف الكلي في هذا النوع عن طريق توصيل مجموعة من الوحدات على التوالي. تتكون كل وحده من عدة طبقات وكل طبقة من عدة لفات كما في شكل ٤- ١٤

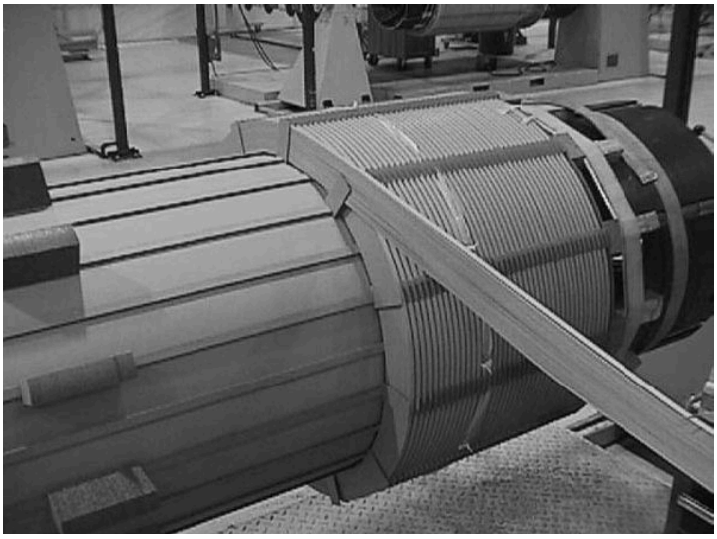


شكل ٤- ١٤ ملف ملفوف بطريقة اللف المفرق

ت. **اللف الحلزوني Helical Type:** يتم اللف في هذه الطريقة بحيث تتكون كل لفة على حدة من موصل يتكون من عدد من الشرائح مستطيلة المقطع وبحيث تشغل كل لفة العمق القطري للملف

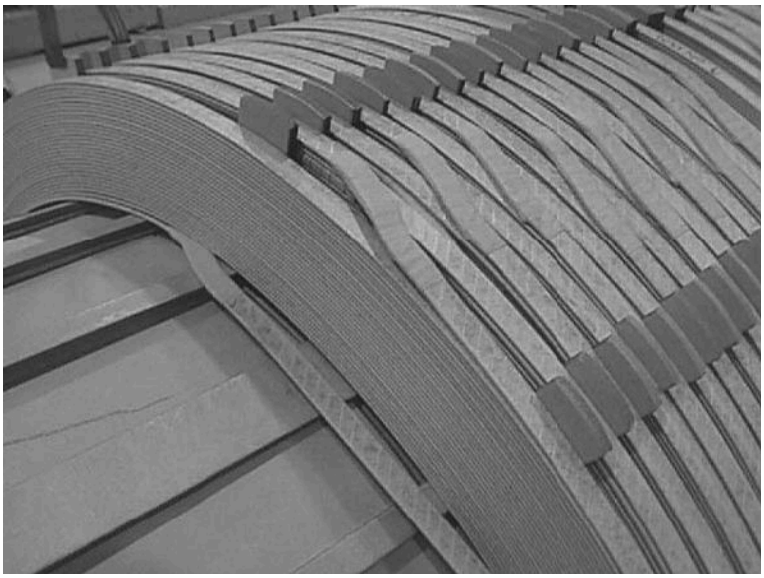
WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

(أى أن سمك اللفة هونفسة سمك الملف) ويستعمل هذا النوع للمحولات الكبيرة حتى جهد ٣٣كيلو فولت وللتيارات المتوسطة. شكل ٤- ١٥ يبين هذا النوع من اللف.



شكل ٤- ١٥ ملف ملفوف بطريقة اللف الحلزوني

ث. **<u>اللف القرصي Disc Type</u>:** يتم اللف القرصي بحيث يتكون الملف الكلي من عدد من الأقراص، ويتكون كل قرص من عدد من اللفات الملفوفة في اتجاه نصف قطري فوق بعضها بحيث تتصل الأقراص ببعضها دون انقطاع. يتميز هذا النوع من اللف بالمتانة الميكانيكية العالية والمقاومة للإجهادات الناشئة في الظروف الصعبة. شكل ٤- ١٦ يبين هذا النوع من اللف.



شكل ٤- ١٦ ملف ملفوف بطريقة اللف القرصي

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

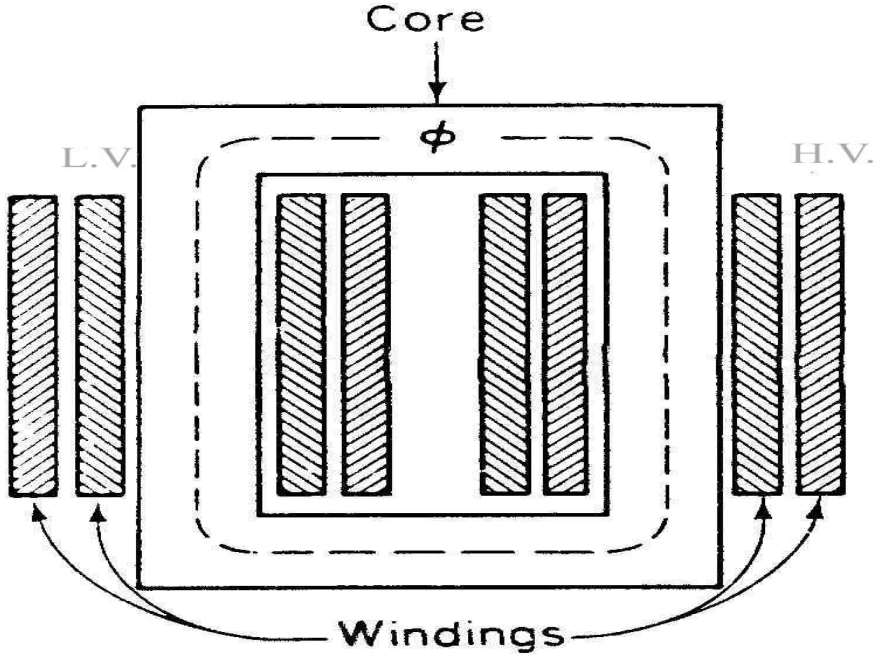
٤- ٣ طريقة ترتيب الملفات

تنقسم الملفات حسب طريقة وضعها حول الساق إلى ملفات متمركزة، أي متحدة المركز وملفات متداخلة (Sandwich).

٤- ٣- ١ الملفات المتحدة المركز

وتسمى بهذا الاسم لأنها تصنع على هيئة أسطوانات وتستعمل في المحولات ذات القلب المركزي (core type). ويوضح شكل ٤- ١٧ كيفية ترتيب هذه الملفات، حيث توضع ملفات أسطوانية حول سيقان المحول وقد تكون هذه الملفات مستطيلة إذا كان مقطع الساق مستطيلاً، وقد تكون قضبان من النحاس موصلة مع بعضها بالتوازي في المحولات كبيرة القدرة، وتغطى هذه القضبان بطبقة من الورنيش ثم يلف حولها شريطاً من الورق سمكه ٥,. مم ثم يلف عليه شريطاً من القطن بسمك ١,. مم لكي يحفظ شريط الورق.

ترتب الملفات حول الساق بحيث يوضع أولاً اسطوانة من الورق أو البكاليت حول الساق وذلك لعزل الساق عن الملفات، ثم يوضع حول اسطوانة الورق أسطوانة(ملفات) الجهد المنخفض وذلك لسهولة عزلها عن الساق، ثم يترك حيز أسطواني يمتلئ بالزيت وذلك لتبريد المحول. ثم بعد ذلك توضع أسطوانة(ملفات) الجهد العالي.

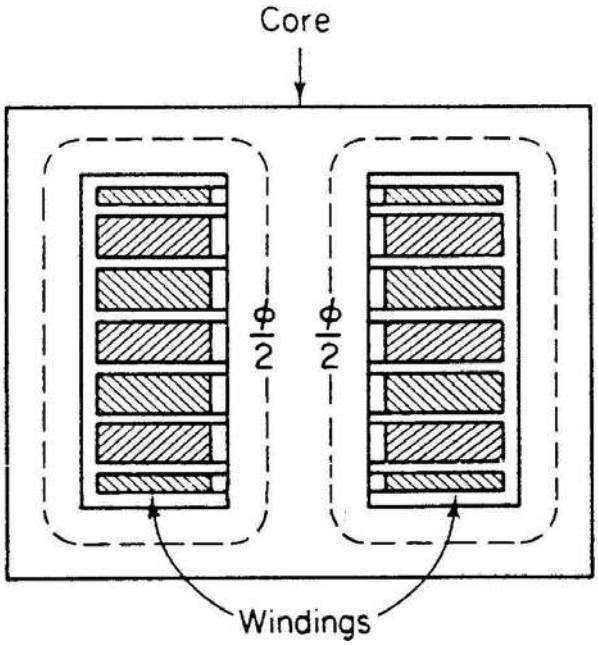


شكل ٤- ١٧ ترتيب الملفات المركزية للمحول

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

٤- ٣- ٢ الملفات المتداخلة

وتسمى بالملفات القرصية، نظراً لأنها على هيئة أقراص وتستعمل في المحولات الهيكلية ، وترتب بحيث يوضع قرص من ملف الجهد العالي وفوقه قرص من ملف الجهد المنخفض ،ثم قرص من ملف الجهد العالي وهكذا حتى يتم تركيب بقية الأقراص مع مراعاة أن يوضع نصف قرص من ملفات الجهد المنخفض عند النهايتين، أي أعلى وأسفل الملفات وذلك بسبب سهولة عزل ملفات الجهد المنخفض عن الحديد، كما هو موضح في شكل ٤- ١٨.



شكل ٤- ١٨ ترتيب الملفات القرصية للمحول

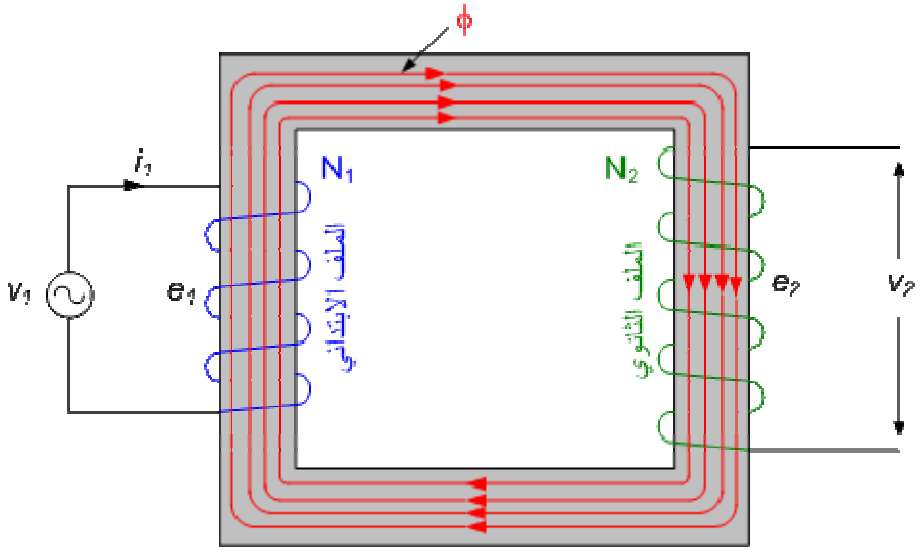
يمكن أيضاً استخدام الملفات القرصية مع القلب المركزي، كما يمكن أن تستخدم الملفات الأسطوانية مع القلب الهيكلي بنفس الترتيب الذي ذكر في الحالتين.

٤- ٤ معادلة القوة الدافعة الكهربائية

تعتمد نظرية عمل المحرك كما سبق شرحه على الحث الكهرومغناطيسي، فعند توصيل الملف الابتدائي للمحول إلى مصدر للجهد المتردد يمر تيار متردد في الملف الابتدائي للمحول كما في شكل ٤- ١٩، وهذا التيار يصاحبه مجال مغناطيسي متردد أيضاً (أي تتغير قيمته باستمرار) له نفس تردد التيار المسبب له (تردد المصدر). هذا المجال المغناطيسي يمر فى القلب الحديدي ويتشابك مع كل من

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

الملف الابتدائي والملف الثانوي وبالتالي تتكون قوة دافعة كهربائية في كل من الملفين، هذه القوة الدافعة المتولدة بالحث تتناسب مع عدد اللفات في كل ملف ومع معدل تغير الفيض المغناطيسي بالنسبة للزمن



شكل ٤- ١٩ الدائرة التخطيطية للمحول

ويمكن إثبات أن:

$$e_1 = N_1 \frac{d\phi}{dt} \qquad (٤-١)$$

وبالمثل فإن القوة الدافعة المتولدة فى الملف الثانوي تكون متناسبة مع عدد لفات الملف الثانوي ومع معدل تغير المجال بالنسبة للزمن وعلى ذلك فإن:

$$e_2 = N_2 \frac{d\phi}{dt} \qquad (٤-٢)$$

ومن المعادلتين السابقتين يمكن استنتاج أن:

$$\frac{e_1}{e_2} = \frac{N_1}{N_2} \qquad (٤-٣)$$

يمكن اعتبار الفيض المغناطيسي في المحول المثالي عبارة عن موجة جيبية.

$$\phi(t) = \phi_m \sin\omega t \qquad (٤-٤)$$

حيث ϕ_m هي القيمة العظمى للمجال المغناطيسي. $\omega=2\pi f$ ، f هى تردد المصدر.

وبحساب $\frac{d\phi}{dt}$ من المعادلة (٤-٤) والتعويض عنها في المعادلة (٤-١) نحصل على العلاقة التالية:

$$e_1(t) = N_1 \cdot \phi_m \cdot \omega \cos\omega t = 2\pi \cdot N_1 \cdot \phi_m \cdot f \cos\omega t \qquad (٤-٥)$$

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

وبكتابة المعادلة السابقة بالصيغة المتبعة $e_1(t) = \sqrt{2}E_1 \cos \omega t$ حيث: E_1 هي القيمة الفعالة للجهد المتولد في الملف الابتدائي نجد أن المعادلة التي تحدد قيم القوة الدافعة المتولدة E_1 يمكن كتابتها كما يلي:

$$E_1 = 4.44 N_1 \phi_m f \qquad (٤-٦)$$

بنفس الطريقة السابقة يمكن استنتاج معادلة القوة التأثيرية المتولدة في الملف الثانوي، وتكون المعادلة كالتالي:

$$E_2 = 4.44 N_2 \phi_m f \qquad (٤-٧)$$

ويمكن أيضاً من المعادلة (٤-٦) والمعادلة (٤-٧) أن نثبت النسبة بين القوة الدافعة المتولدة في الملف الابتدائي والقوة الدافعة المتولدة في الملف الثانوي مساوية للنسبة بين عدد اللفات في كل منهما كايلي:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} \qquad (٤-٨)$$

وتسمى النسبة بين القوة الدافعة المتولدة في ملفات الملف الابتدائي والقوة الدافعة في ملفات الملف الثانوي بنسبة التحويل وهي تساوي أيضاً النسبة بين عدد ملفات الملف الابتدائي وعدد لفات الملف الثانوي. وتقاس قدرة المحول عادة بالقدرة الظاهرية "S" أو KVA وحاصل ضرب الجهد على الملفات الابتدائية في التيار المار به تساوي أيضاً حاصل ضرب الجهد على الملفات الثانوية في التيار المار بها كما في المعادلة التالية:

$$S = V_1 \times I_1 = V_2 \times I_2 \qquad VA \quad OR \quad KVA \qquad (٤-٩)$$

مثال ٤- ١

محول أحادي الوجه يعمل على جهد تردده ٦٠ ذبذبة/ثانية، فإذا كان القلب الحديدي على شكل مربع المقطع طول ضلعه ٢٠سم وكثافة الفيض المغناطيسي العظمي المسموح بها للمرور في القلب الحديدي ١٠٠٠٠خط/سم^2 – احسب عدد الملفات المطلوب وضعها لكل من الملف الابتدائي والثانوي لتكون نسبة تحويل الجهد ٢٢٠/٣٠٠٠ فولت.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

الحل

B=١٠٠٠٠lines/cm^{٢}, A=٢٠x٢٠=٤٠٠cm^{٢}, $E_{١}$=٣٠٠٠ V, $E_{٢}$=٢٢٠V,

$\phi = BA$=١٠٠٠٠×٤٠٠×١٠$^{-٨}$=٠,٠٤ wb

E=٤,٤٤fϕN

$E_{١}$=٤,٤٤$f\phi N_{١}$, N$_{١}$=٣٠٠٠/(٤,٤٤×٦٠×٠,٠٤)=٢٨٢ turns

$E_{٢}$=٤,٤٤$f\phi N_{٢}$, N$_{٢}$=٢٢٠/(٤,٤٤×٦٠×٠,٠٤)=٢١ turns

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

٤- ٥ المحول المثالي والدائرة المكافئة

٤- ٥- ١ المحول المثالي:

المحول المثالي هو افتراض نظري فقط ويستخدم لفهم المحول الحقيقي. والمحول المثالي يتركب من ملفين لهما ممانعة حثية فقط وملفوفين حول قلب من الحديد كما في شكل ٤- ٢٠،ويوصل الملف الابتدائي بموصل للجهد المتردد كما سبق شرح ذلك بينما يوصل الملف الثانوي بالحمل، ويفترض في المحول المثالي الفروض التالية:

- لا يوجد فقد في الطاقة حيث تنتقل الطاقة من دائرة الملف الابتدائي إلى دائرة الملف الثانوي دون أي فقد وهذا معناه

$$E_1 \times I_2 = E_2 \times I_2 \qquad (٤-١٠)$$

وبالتالي يمكن من المعادلة ١٠□٤ والمعادلة ٨□٤ استنتاج أن:

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2} \qquad (٤-١١)$$

- أيضاً يفترض في المحول المثالي أن الملفات ليس لها مقاومة لمرور التيار كذلك لا يوجد تسرب في الفيض المغناطيسي وهذا معناه أن:

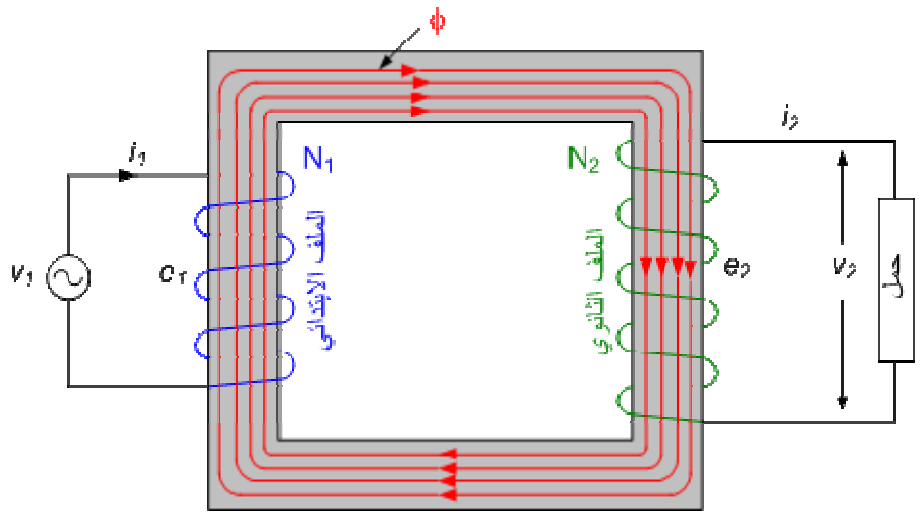
$V_١ = E_١$; $V_٢ = E_٢$

وبالتالي نستطيع استنتاج أن:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} \qquad (٤-١٢)$$

- . القلب الحديدي له مغناطيسية لانهائية أي أنه لايحتاج إلى تيار المغنطة فقط.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر



شكل ٤- ٢٠ الدائر ة التخطيطية للمحول في حالة التحميل

مثال ٤- ٢

محول أحادي الوجه قدرته ٢٥ كيلوفولت أمبير وعدد لفات الابتدائي ٥٠٠ والثانوي ٥٠ وصل الملف الابتدائي إلى منبع جهد قيمه ٣٠٠٠ فولت، احسب - تيار الملف الابتدائي –تيار الملف الثانوي عند الحمل الكامل - القوة الدافعة الكهربية في الثانوي - أقصى تدفق في الدائرة المغناطيسية .

الحل

KVA=٢٥, N_1=٥٠٠, N_2=٤٠, V_1=٣٠٠٠V

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

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{500}{50} = 10$$

$$E_2 = V_2 = \frac{3000}{10} = ٣٠٠ \quad \text{Volt}$$

$$I_1 = \frac{VA}{V_1} = \frac{25000}{3000} = ٨,٣٣ \quad \text{Amp.}$$

$$I_2 = \frac{VA}{V_2} = \frac{25000}{300} = ٨٣,٨ \quad \text{Amp}$$

$$\text{OR, } I_2 = I_1 \frac{N_1}{N_2} = ٨,٣٣(١٠) = \ ٨٣,٨ \quad \text{Amp}$$

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

$E_1 = ٤,٤٤ f \phi N_1$

$$\phi_1 = \frac{E_1}{4.44 \times f \times N_1} = \frac{3000}{4.44 \times 50 \times 500} = ٠,٠٢٧ \quad \text{wb}$$

مثال ٤- ٣_ محول أحادي الوجه قدرته ٥كيلوفولت أمبير، جهده ٤٤٠/١١٠فولت ويعمل على تردد ٦٠ هيرتز ويغذي حمل بتيار مقداره ٣٥ أمبير عند معامل قدرة ٨,. متقدم وعند الجهد المقنن. باعتبار المحول مثالي ، أوجد الآتي: - جهد وتيار الابتدائي - معاوقة الحمل –

الحل

$KVA=٥$, $\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{440}{110} = ٤$ $f=٦٠$ Hz , $I_2=٣٥$ A, P.F=٠,٨ leading

$V_2 = 110\angle 0,\ volt$ $I_2 = 35\angle cos0.8 = 35\angle 36.87$ Amp.

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{V_1}{110} = 4$$

Thus:

$V_1=٤٤٠$ V

$$I_1 = I_2 \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{4} \times 35\angle 36.87 = ٨,٧٥\angle 36.87 \quad \text{Amp}$$

معاوقة الحمل:

$$Z_L = \frac{V_2}{I_2} = \frac{110\angle 0}{35\angle 36.87} = ٣,١٤\angle 36.87 \quad \Omega$$

٤- ٥- ٢ الدائرة المكافئة

يجدر الإشارة قبل البدء في استنتاج الدائرة المكافئة للمحول بأن الدائرة المكافئة للمحول دائرة افتراضية ليس لها وجود في الطبيعة ولكنها فقط تستخدم لتبسيط المعادلات الرياضية والعمليات الحسابية المستخدمة للتعرف على أداء المحول في ظروف التشغيل المختلفة.

بالرجوع إلى شكل ٤- ٢٠ نجد أن هناك دائرتين كهربائيتين منفصلتين كهربياً عن بعضهما تماماً: (دائرة خاصة بالملف الابتدائي ودائرة خاصة بالملف الثانوي)، كما يشمل المحول القلب الحديدي

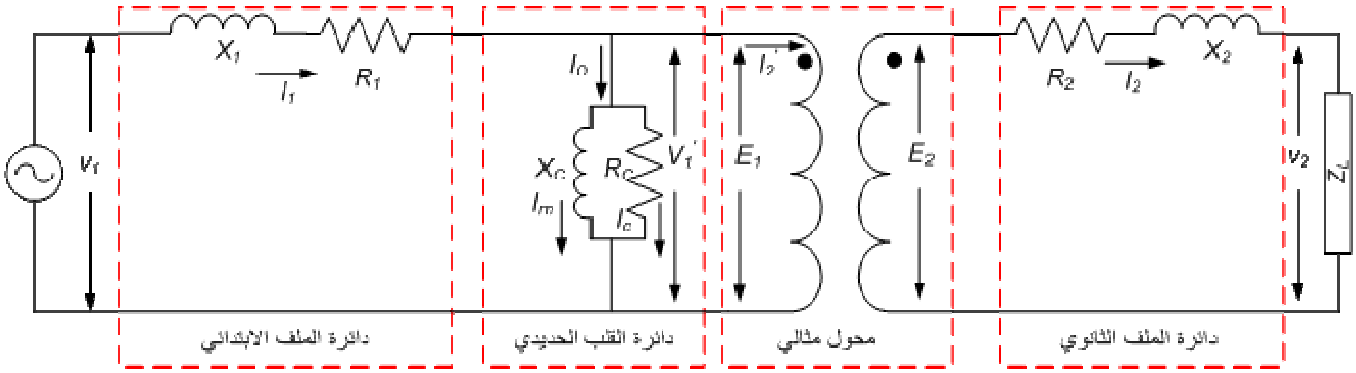
والذي تتكون فيه قوة دافعة تأثيرية أيضاً نتيجة لوجود المجال المغناطيسي المتردد ويمر به تيار المغنطة وتيارات دوامية، وكل دائرة منها يمكن تمثيلها كهربياً كما يلي:

أولاً دائرة الملف الابتدائي: تتكون من مصدر للجهد V_1 ومقاومة الملفات R_1 والممانعة الحثية للملفات X_1 وكذلك القوة الدافعة التأثيرية E_1 المتولدة بالحث الكهرومغناطيسي ويمر بها التيار I_1

ثانيا: دائرة الملف الثانوي: تتكون من القوة الدافعة التأثيرية E_2 المتولدة بالحث الكهرومغناطيسي ومقاومة الملفات R_2 والممانعة الحثية للملفات X_2 ومعاوقة الحمل Z_2 والتي يمر بها التيار I_2 ويحدث عليها فرق جهد V_2.

ثالثا: الدائرة التي تمثل القلب الحديدي: للتعبير عن الفقد في القدرة الكهربية نتيجة للتيار الدوامية كما تعبر عن تيار المغنطة والذي يتسبب في وجود الفيض المغناطيسي.وتحتوي هذه الدائرة على مقاومة R_C ومعاوقة X_C. ويتم توصيل هذة الدائرة على التوازي مع دائرة الملف الابتدائي.

شكل ٤- ٢١ يمثل الدائرة التي تعبر عن مكونات المحول الثلاث وكيفية توصيلها معاً لاستنتاج الدائرة المكافئة.



شكل ٤- ٢١ الدوائر الممثلة لأجزاء المحول

حيث:

R_1: مقاومة ملفات الملف الابتدائي بالأوم

R_2: مقاومة ملفات الملف الثانوي بالأوم

X_1: ممانعة التسرب الحثية ملفات الملف الابتدائي بالأوم

X_2: ممانعة التسرب الحثية ملفات الملف الثانوي بالأوم

R_c: المقاومة المعبرة عن المفاقيد الحديدية في القلب الحديدي بالأوم

X_c: ممانعة القلب الحديدي بالأوم

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

Z_L: معاوقة الحمل بالأوم

I_1: التيار المار المسحوب من المصدر (أمبير)

I_2: التيار المار في الملفات الثانوية (أمبير) وهونفسه تيار الحمل

I_O: تيار اللاحمل (أمبير)

I_c: المركبة الفعالة لتيار اللاحمل (أمبير) وهي المسببة للفقد الحديدي

I_m: المركبة الغير فعالة لتيار اللاحمل (أمبير) وهي المسببة للمجال المغناطيسي

V_1: جهد المصدر (فولت)

V_2: الجهد على أطراف الحمل (فولت)

E_1: الجهد المتولد على أطراف الملف الابتدائي للمحول المثالي

E_2: الجهد المتولد على أطراف الملف الثانوي للمحول المثالي

لاستنتاج الدائرة المكافئة يجب أن تكون القدرة المنقولة عبر المحول المثالي من جهة الملف الابتدائي مساوية للقدرة في جهة الملف الثانوي أى أن:

$$E_1 \times I_2' = E_2 \times I_2$$

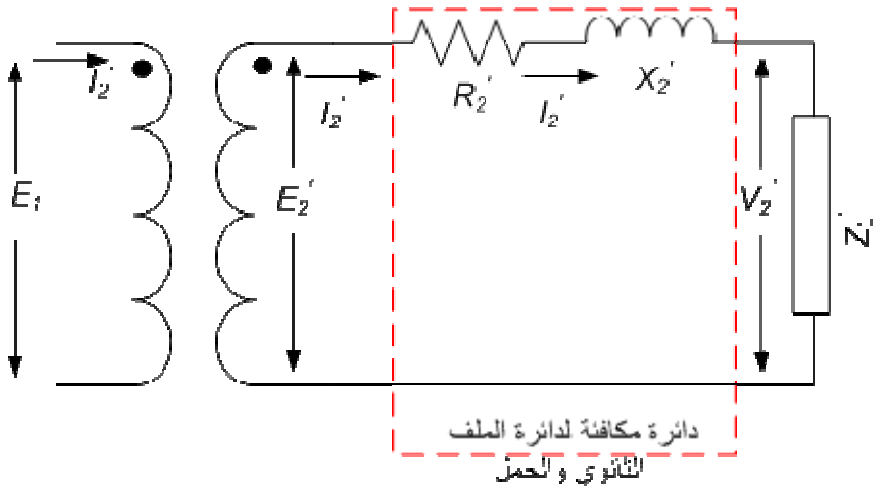
وعلى ذلك فإن :

$$\frac{I_2'}{I_2} = \frac{E_2}{E_1} = \frac{N_2}{N_1} \qquad (٤-١٣)$$

ويمكن استبدال دائرة الملف الثانوي بدائرة أخرى مكافئة لها ولكن جهدها يكون مساوياً لجهد الملف الابتدائي كما في شكل ٤- ٢٢ وذلك كى نتمكن من ربط دائرة الملف الابتدائي بالملف الثانوي

لإيجاد الدائرة المكافئة للمحول فإن الجهد على الملف الثانوي للدائرة المكافئة يجب أن يكون مساوياً للجهد في الملف الابتدائي.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر



شكل ٤- ٢٢ استبدال دائرة الملف الثانوي بدائرة أخرى مكافئة لها وجهدها مساوٍ لجهد الملف الابتدائي تمهيداً لاستنتاج الدائرة المكافئة للمحول

وبالرجوع إلى شكل ٤- ٢٢ والأخذ في الاعتبار تساوي القدرة والمفاقيد بين دائرة الملف الثانوي والدائرة المكافئة لها وتساوي القوة الدافعة المتولدة في الدائرة المكافئة بالقوة الدافعة للملف الابتدائي يمكن استنتاج العلاقات التالية:

$$I_2' = I_2 \times \frac{N_2}{N_1} \qquad (٤-١٤)$$

$$E_2' = E_2 \times \frac{N_1}{N_2} \qquad (٤-١٥)$$

$$V_2' = V_2 \times \frac{N_1}{N_2} \qquad (٤-١٦)$$

$$R_2' = R_2 \times \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \qquad (٤-١٧)$$

$$X_2' = X_2 \times \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \qquad (٤-١٨)$$

حيث إن :

R_2': مقاومة ملفات الملف الثانوي بالأوم منسوبة للملف الابتدائي

X_2': ممانعة ملفات الملف الثانوي بالأوم منسوبة للملف الابتدائي

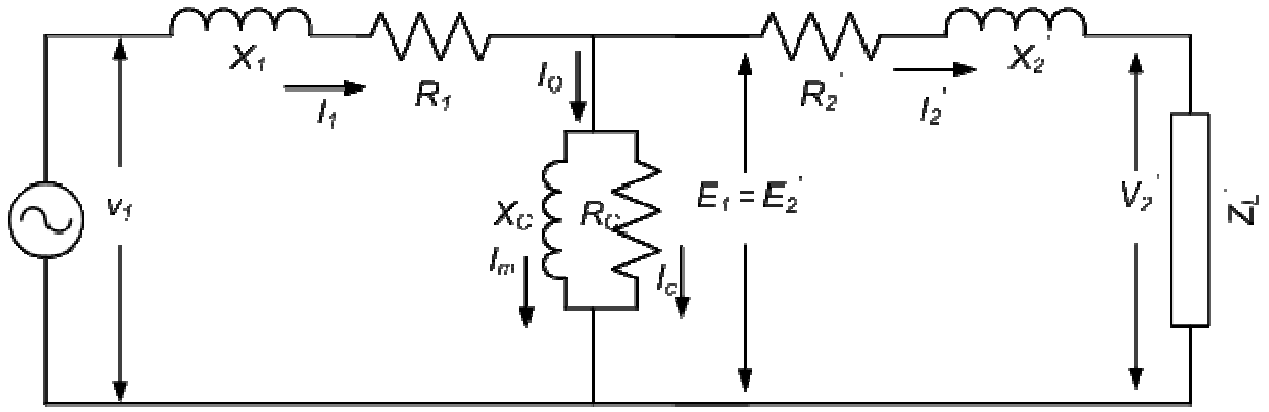
WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

I_2': التيار المار في الملف الثانوي (أمبير) منسوبة للملف الابتدائي

V_2': الجهد على أطراف الحمل (فولت) منسوبة للملف الابتدائي

E_2': الجهد المتولد على أطراف الملف الثانوي للمحول المثالي منسوبة للملف الابتدائي

الآن وبعد مساواة القوة الدافعة المتولدة على ملفات الثانوي بالجهد المتولد على أطراف الملف الابتدائي يمكن توصيل الدائرة المكافئة لملفات الثانوي بدائرة الملف الابتدائي لنحصل على الدائرة المكافئة للمحول كما في شكل ٤- ٢٣. وتسمى بالدائرة المكافئة الدقيقة

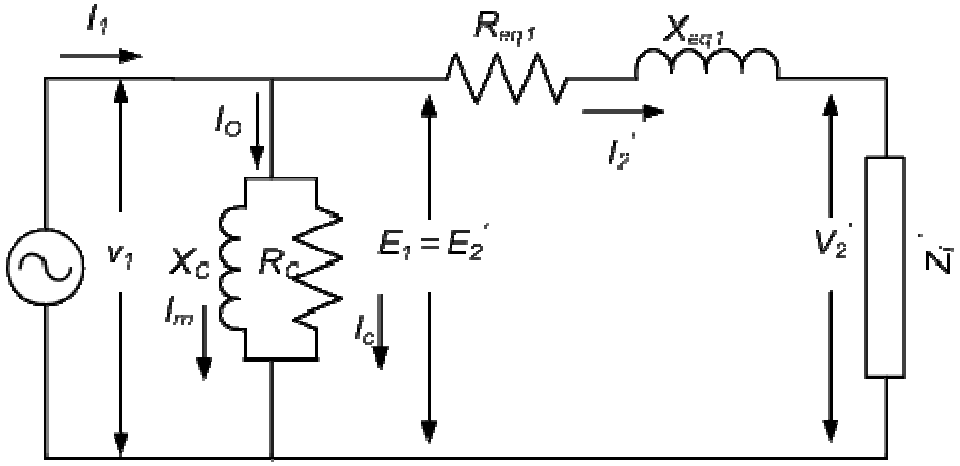


شكل ٤- ٢٣ الدائرة المكافئة الدقيقة للمحول منسوبة للملف الابتدائي

حيث إنَّ:

Z_L': معاوقة الحمل بالأوم منسوبة للملف الابتدائي

يمكن تبسيط الدائرة المكافئة كما في شكل ٤- ٢٤ وذلك لأن تيار اللاحمل يكون صغيراً وبالتالي يكون الفقد في الجهد الناتج من مروره في الملف الابتدائي صغيراً ويمكن إهماله.



شكل ٤- ٢٤ الدائرة المكافئة التقريبة للمحول منسوبة للملف الابتدائي

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

حيث إنَّ:

$$R_{eq1} = R_1 + R_2' \qquad (٤-١٩)$$

$$X_{eq1} = X_1 + X_2' \qquad (٤-٢٠)$$

ويمكن من خلال الدائرة المكافئة التقريبية في شكل ٤- ٢٣ للمحول كتابة العلاقات التالية:

$$I_1 = I_o + I_2' \qquad (٤-٢١)$$

$$V_1 = V_2' + I_2' (R_{eq1} + jX_{eq1}) \qquad (٤-٢٢)$$

مثال ٤- ٤

محول أحادي الوجه قدرته ١٢٠ كيلوفولت أمبير وجهده ٤٠٠/٢٠٠٠ وعناصر الدائرة المكافئة هي كالتالي:

R_1=٠,٠١ Ω, X_1=٠,٠٣ Ω, R_2=٠,٢٥ Ω, X_2=٠,٧٥ Ω,

R_c=٥٠٠Ω, X_c=١٥٠ Ω, $\frac{N_1}{N_2} = \frac{400}{2000}$

ويغذي حمل قدرته ١٠٠ كيلوفولت أمبير عند جهد مقداره ٢٠٠٠ فولت ومعامل قدرة ٠.٨. متأخر. احسب جهد وتيار الملف الابتدائي مستخدماً الدائرة المكافئة شكل ٤- ٢٣

الحل

في البداية يجب أن ننسب كل العناصر جهة الابتدائي، فتكون كالآتي:

R_1=٠,٠١٥Ω, X_1=٠,٠٣٥Ω,

$$R_2' = R_2 \times \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 = ٠,٢٥ \times \left(\frac{400}{2000}\right)^2 = ٠,٠١ \quad \Omega$$

$$X_2' = X_2 \times \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 = ٠,٧٥ \times \left(\frac{400}{2000}\right)^2 = ٠,٠٣ \quad \Omega$$

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

$$R_{eq1} = R_1 + R_2' = ٠,٠١٥ + .٠١ = ٠,٠٢٥ \quad \Omega$$

$$X_{eq1} = X_1 + X_2' = ٠,٠٣٥ + ٠,٠٣ = ٠,٠٦٥ \quad \Omega$$

يمكن حساب التيار في الملفات الثانوية كما يلي:

$$I_2 = \frac{VA}{V_2} = \frac{120000}{2000} = ٦٠ \quad \text{Amp.}$$

$$I_2' = I_2 \times \frac{N_2}{N_1} = ٦٠ \times \frac{2000}{400} = ٣٠٠ \quad \text{Amp.}$$

وحيث إن معامل القدرة ٠,٨ متأخر فإن:

$$I_2' = ٣٠٠ \angle -36.87^o = ٢٤٠ - j\ ١٨٠$$

يمكن حساب تيار اللاحمل كما يلي:

$$I_m = \frac{V_1}{X_c} = \frac{400}{150\angle 90^o} = ٢,٦٦ \angle -90^o \quad \text{Amp.}$$

$$I_c = \frac{V_1}{R_c} = \frac{400}{500} = ٠,٨ \quad \text{Amp.}$$

$$I_o = I_c + I_m = ٠,٨ - j\ ٢,٦٦ = ٢,٧٨ \angle -73.26^o \quad \text{Amp.}$$

يمكن حساب التيار المسحوب من المصدر كما يلي:

$$I_1 = I_o + I_2' = ٢,٧٨ \angle -73.26^o + ٣٠٠ \angle -36.87^o$$

$$= ٠,٨ - j\ ٢,٦٦ + ٢٤٠ - j\ ١٨٠ = ٢٤٠,٨ - j\ ١٨٠,٨$$

$$= ٣٠٠,٦٤ \angle -36.78^o \quad \text{Amp.}$$

وعلى ذلك يكون التيار المسحوب من المصدر هو ٣٠٠,٦٤ أمبير عند زاوية ^{o}٣٦,٧٨ متأخراً

ويمكن حساب الجهد على الملفات الابتدائية كما يلي:

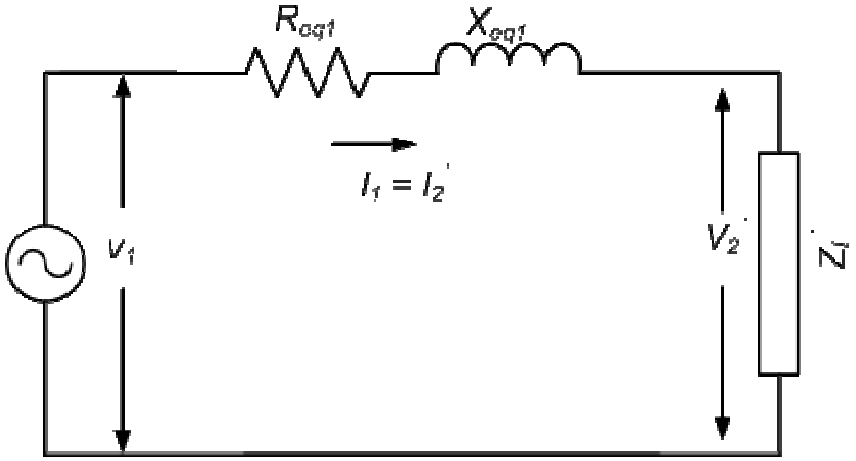
$$V_1 = V_2' + I_2' (R_{eq1} + jX_{eq1}) = ٤٠٠ \angle 0^o + ٣٠٠ \angle -36.87^o (٠,٠٢٥ + j٠,٠٦٥)$$

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

$= ٤٠٠ \angle 0^{o} + ٣٠٠ \angle -36.87^{o} \times ٠,٠٧ \angle 68.96^{o} = ٤٠٠ + ٢١ \angle 32.09^{o}$

$V_{1} = ٤١٧,٧٩ + j١١,١٦ = ٤١٧,٩٤ \angle 1.5^{o}$ Volt

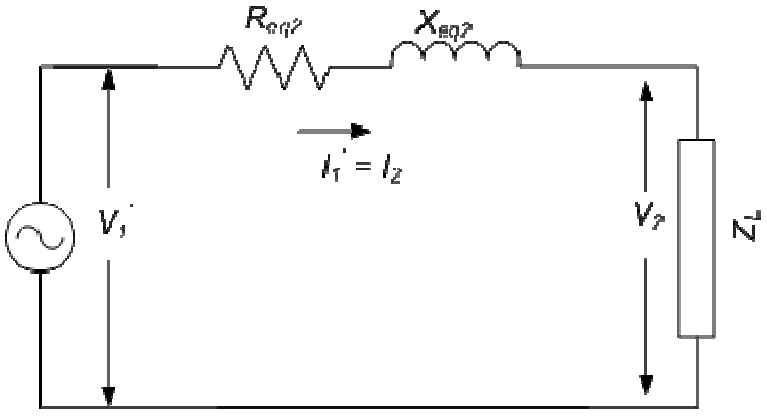
توضح نتائج المثال السابق بأن تأثير تيار اللاحمل في حسابات قيم التيارات والجهود في الدائرة ليس بالتأثير الكبير، لذا يمكن في بعض الأحيان الاستغناء عن هذا الجزء من الدائرة المكافئة لنحصل على الدائرة المكافئة البسيطة كما في شكل ٤- ٢٥.



شكل ٤- ٢٥ الدائرة المكافئة البسيطة للمحول منسوبة للملف الابتدائي

ومن الدائرة المكافئة البسيطة شكل ٤- ٢٥ يمكن ملاحظة أن : $I_{1} = I_{2}'$ وعلى المتدرب حل المثال السابق باستخدام الدائرة المكافئة البسيطة لإدراك مدى التبسيط الذي سببه إهمال قيمة تيار اللاحمل.

ويلاحظ أنه يمكن استنتاج الدائرة المكافئة منسوبة للملف الثانوي كما في شكل ٤- ٢٦



شكل ٤- ٢٦ الدائرة المكافئة البسيطة للمحول منسوبة للملف الابتدائي

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

حيث إنَّ:

$$R_{eq1} = R_1 + R'_2$$

$$X_{eq1} = X_1 + X'_2$$

$$I'_1 = I_2$$

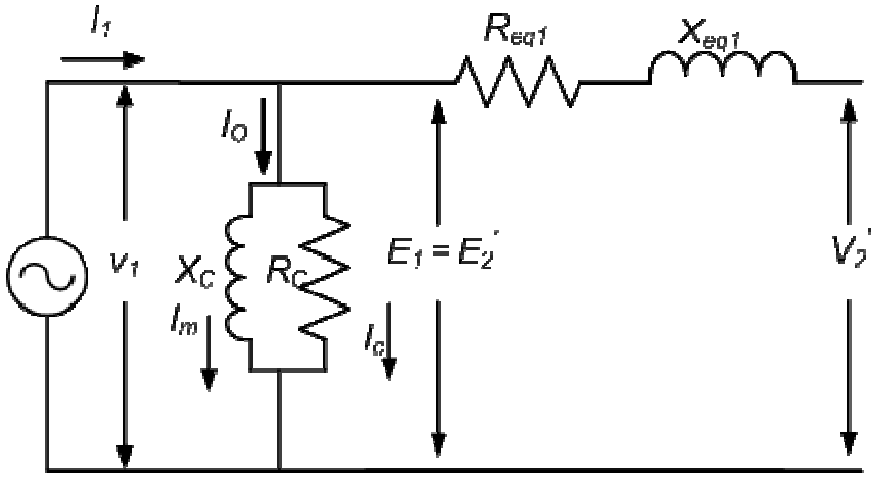
$$V'_1 = V_2 + I_2 (R_{eq2} + jX_{eq2})$$

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

٤- ٦ تشغيل المحول Transformer operation

٤- ٦ -١ تشغيل المحول عند اللاحمل No load operation

يمكن دراسة خواص المحول في حالة اللاحمل بدراسة الدائرة المكافئة للمحول التقريبية بدون حمل كما في شكل ٤- ٢٧.



شكل ٤- ٢٧ الدائرة المكافئة للمحول في حالة اللاحمل منسوبة للملف الابتدائي

في حالة اللاحمل فإن قدرة الخرج تساوي صفراً وبالتالي فإن القدرة المسحوبة من المنبع(قدرة الدخل) تستهلك في فقد الحديد والنحاس، ولذلك فإننا نستطيع أن نقول إن تيار اللاحمل I_o هو مجموع تيار المغنطة I_m والتيار الممثل للفقد في الحديد I_c وأن القدرة المسحوبة من المصدر في حالة اللاحمل P_o هي القدرة المفقودة في الحديد وتعطى بالعلاقة:

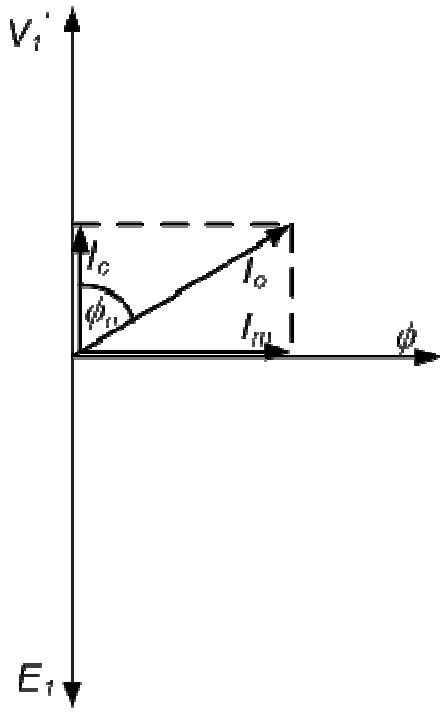
$$P_o = V_1 I_o \cos\phi_o \qquad (٤-٢٣)$$

ويمكن ملاحظة أن تيار المغنطة يكون متأخراً عن الجهد المسبب له بزاوية مقدارها ٩٠^o بينما يكون التيار المسئول عن الفقد الكهربي يكون في نفس اتجاه الجهد المسبب له ويمكن التعبير عن ذللك بالمخطط الاتجاهي الموضح في شكل ٤- ٢٧. ويمكن كتابة العلاقات التالية من هذا المخطط الاتجاهي كما يلي:

$$I_m = I_o \cos\phi_o$$
$$I_c = I_o \sin\phi_o \qquad (٤-٢٤)$$

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

حيث ϕ_o هي الزاوية بين التيار I_o والجهد المتولد على الملف الابتدائي



شكل ٤- ٢٨ المخطط الاتجاهي للمحول في حالة اللاحمل

٤- ٦- ٢ تشغيل المحول عند الحمل Load operation

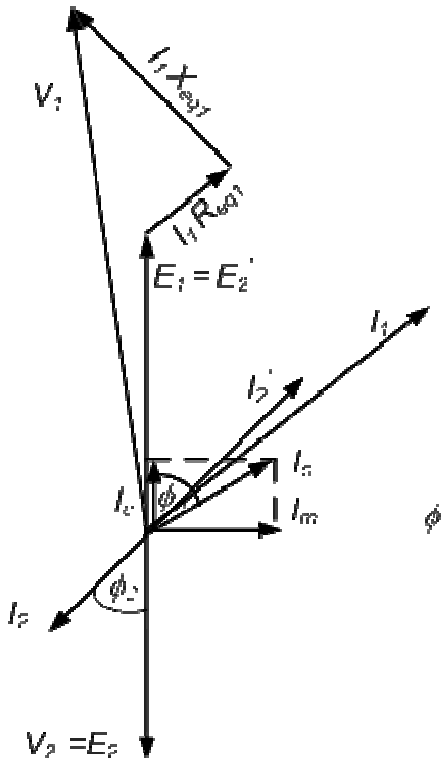
إذا تم توصيل معاوقة Z_L(حمل) على طرف الملف الثانوي فإنه يمر به تيار يسمي تيار الملف الثانوي I_2 نتيجة لوجود معاوقة الحمل ويمكن رسم المخطط الاتجاهي للمحول في حالة الحمل بأشكال مختلفة تعتمد على الدائرة المكافئة المستخدمة. وفي حالة الدائرة المكافئة في شكل ٤- ٢٤ يمكن كتابة العلاقات التالية:

$$\overrightarrow{I_2'} = \frac{V_2'}{Z_L'} \qquad (٤-٢٥)$$

$$\overrightarrow{I_1} = \overrightarrow{I_2'} + \overrightarrow{I_o} \qquad (٤-٢٦)$$

ويمكن رسم المخطط الاتجاهي في حالة الحمل باستخدام الدائرة المكافئة للمحول في شكل ٤- ٢٤. ويكون كما في شكل ٤- ٢٩.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر



شكل ٤- ٢٩ المخطط الاتجاهي للمحول في حالة الحمل

٤- ٦- ٣ معامل التنظيم للمحول Transformer regulation

من العوامل المهمة عند اختيار محول لتطبيق معين، معامل تنظيم الجهد. ويعرف معامل تنظيم الجهد بأنه التغيير في جهد الثانوي عندما يتغير تيار الحمل من صفر إلى القيمة المقننة. ويحسب بالعلاقة التالية:

$$V.R = \frac{|V_{2\,noload}| - |V_{2rated}|}{|V_{2noload}|} \qquad (٤-٢٩)$$

حيث إنَّ :

$V.R$: معامل تنظيم الجهد للمحول

V_{moload} : قيمة الجهد على أطراف الملف الثانوي في حالة اللاحمل

V_{rrated} : قيمة الجهد المقنن على أطراف الملف الثانوي في حالة التحميل بالحمل المقنن

وعادة ما يعبر عن معامل التنظيم كنسبة مئوية كما يلي:

$$P.V.R = \frac{|V_{2\,noload}| - |V_{2rated}|}{|V_{2noload}|} \times 100 \qquad (٤-٣٠)$$

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

حيث إنَّ :

$P\ V.R$: النسبة المئوية لمعامل تنظيم الجهد للمحول

ويمكن كتابة معادلات معامل التنظيم أيضاً منسوبة لجهة الملف الابتدائي كما يلي:

$$V.R = \frac{|V_1| - |V_1'|}{|V_1'|} \qquad (٤-٣١)$$

$$P.V.R = \frac{|V_1| - |V_1'|}{|V_1'|} \times 100 \qquad (٤-٣٢)$$

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

٤- ٧ اختبارات المحول

يجرى على المحول اختبارين بهدف حساب عناصر الدائرة المكافئة للمحول وهما احتبار اللاحمل (إختبار الدائرة المفتوحة) واختبار القصر، وسوف نتناول كلاً منهما فيما يلي.

٤- ٧- ١ اختبار اللاحمل No load test

يجرى هذا الاختبار عند تغذية الملفات الابتدائية للمحول بجهد متردد مساوٍ للجهد المقنن للمحول بينما تكون ملفات الثانوي تكون مفتوحة لذا يسمى هذا الاختبار أيضاً باختبار الدائرة المفتوحة (open circuit test) ونظراً لأن أطراف الملف الثانوي تكون مفتوحة وغير موصلة بحمل بينما يتم توصيل ملف الابتدائي إلى جهد المصدر، كما هو موضح في شكل ٤- ٣٠، لذلك نجد أن القدرة المسحوبة من المصدر تستهلك فقط في المفاقيد الحديدية للمحول وتكون قيمتها مساوية P_o. بينما يمر تيار اللاحمل I_o في الملف الابتدائي. يتم تسجيل قيم القدرة الداخلة والجهد والتيار باستخدام أجهزة القياس الموضحة في الشكل. ويستخدم هذا الاختبار لإيجاد قيمة نسبة التحويل وكذلك حساب R_o, X_o كالتالي:

$$P_o = V_o I_o \cos\phi_o$$

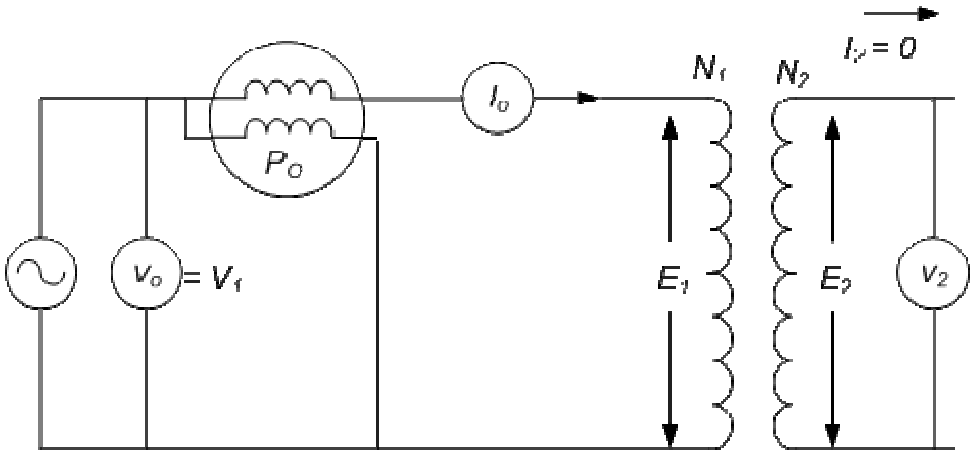
$$\cos\phi_o = \frac{P_o}{V_o I_o}$$

$$I_c = I_o \cos\phi_o$$

$$R_c = \frac{V_o}{I_c}$$

$$I_m = I_o \sin\phi_o$$

$$X_c = \frac{V_o}{I_m}$$



شكل ٤- ٣٠ اختبار اللاحمل

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

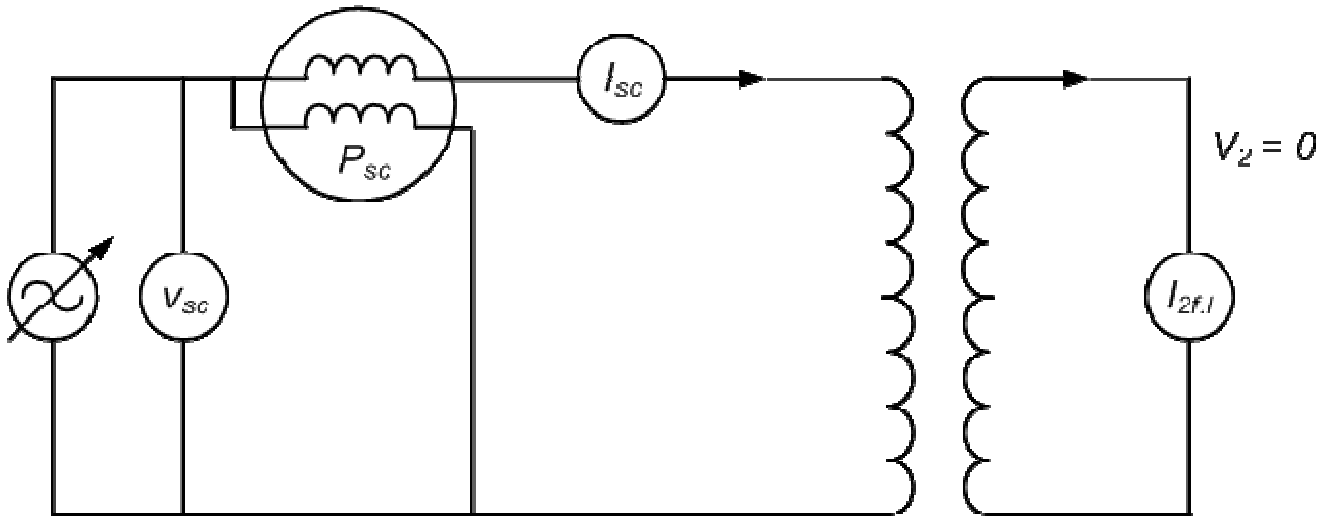
٤- ٧- ٢ اختبار القصر Short circuit test

يجرى هذا الاختبارعندما تكون أطراف الملف الثانوي مقصورة من خلال أميتر كما هو موضح في شكل ٤- ٣١، ويراعي أن لايزيد تيار القصر عن القيمة المقننة ويتم ذلك بتوصيل الملف الابتدائي بمنبع جهد متردد ومتحكم فيه بحيث يبدأ من الصفر ويزاد الجهد المسلط على أطراف الملف الابتدائي تدريجياً حتى يصل التيار المار في الملف الثانوي المقصور إلى القيمة المقننة، وعندئذ يتم تسجيل قراءات الأجهزة (القدرة المسحوبة في حالة القصر P_{sc} وتيار القصر I_{sc}، وكذلك جهد الابتدائي V_{sc})، من خلال هذه القراءات يتم حساب R_{eq}, X_{eq} ومنها تحسب عناصر الدائرة المكافئة كالتالي:

$$P_{sc} = I_{sc}^{2} R_{eq} \qquad (٤-٣٣)$$

$$Z_{sc} = \frac{V_{sc}}{I_{sc}} = \sqrt{R_{eq}^2 + X_{eq}^2} \qquad (٤-٣٤)$$

وبالتالي يمكن حساب كل من R_{eq} و X_{eq} كما يمكن حساب من R_1 و R_2' بقسمة R_{eq} على ٢ وبالمثل X_1 و X_2' وباستخدام نسبة التحويل يمكن حساب R_2 و X_2



شكل ٤- ٣١ اختبار القصر

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

مثال ٤- ٥

محول توزيع أحادي الوجه قدرته ٥٠٠ كيلوفولت أمبير وجهده ٢٣٠٠/٢٣٠ فولت. تم اختباره لإيجاد عناصر الدائرة المكافئة. أثناء اختبار الدائرة المفتوحة، كانت القدرة ٢٢٥٠ وات وكان التيار ٩,٤ أمبير، أما الجهد فكانت قيمته ٢٣٠٠ فولت. وأثناء اختبار القصر كانت القدرة ٨٢٢٠ وات والتيار هو التيار المقنن أما الجهد فكان ٩٤,٥ فولت. احسب عناصر الدائرة المكافئة.

الحل

Open circuit test: V_o=٢٣٠٠V, I_o=٩,٤A, P_o=٢٢٥٠W

Short circuit test: V_{sc}=٩٤,٥V, $I_{sc}=I_{rated}$, P_{sc}=٨٢٢٠W

$$P_o = I_o V_o \cos\phi_o$$

$$\cos\phi_o = \frac{P_o}{I_o V_o} = \frac{2250}{9.4 \times 2300} = 0.1156$$

$$\phi_o = \cos^{-1}(0.1156) = 83.36^o$$

$$R_c = \frac{V_1}{I_c} = \frac{V_o}{I_o \cos\phi_o} = \frac{2300}{9.4 \times 0.1156} = 2116\Omega$$

$$X_c = \frac{V_1}{I_m} = \frac{V_o}{I_o \sin\phi_o} = \frac{2300}{9.4 \times 0.9933} = 246.33\Omega$$

$$I_{sc} = I_{f.l} = \frac{500 \times 10^3}{2300} = 217.39A$$

$$R_{eq} = \frac{P_{sc}}{I_{sc}^2} = \frac{8220}{(217.39)^2} = 0.1739\Omega$$

$$Z_{sc} = \frac{V_{sc}}{I_{sc}} = \sqrt{(R_{eq}^2 + X_{eq}^2)}$$

$$\left(\frac{94.5}{217.39}\right)^2 = (0.1739)^2 + X_{eq}^2$$

$\therefore X_{eq}$=٠,٣٩٨٤Ω

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

$$R_1 = R_2' = \frac{R_{eq}}{2} = \frac{0.1739}{2} = 0.08695\Omega$$

$$X_1 = X_2' = \frac{X_{eq}}{2} = \frac{0.3984}{2} = 0.1992\Omega$$

$$R_2' = R_2\left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2$$

$$R_2 = R_2'\left(\frac{N_2}{N_1}\right)^2 = 0.08695 \times \left(\frac{230}{2300}\right)^2 = .0008695\Omega$$

$$X_2' = X_2\left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2$$

$$X_2 = X_2'\left(\frac{N_2}{N_1}\right)^2 = 0.1992 \times \left(\frac{230}{2300}\right)^2 = .001992\Omega$$

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

٤- ٨ المفقودات والكفاءة Losses and Efficiency

٤- ٨- ١ المفقودات في المحولات

كما هو الحال في معظم الآلات الكهربائية فإن المفقودات في المحولات تنقسم إلى نوعين وهما فقد الحديد Iron loss وفقد النحاس Cupper loss، وعادة فإن فقد الحديد ثابت القيمة ولا يعتمد على الحمل، أما فقد النحاس فيعتمد على الحمل حيث إنه يتناسب مع مربع التيار. ويمكن حساب الفقد الحديدي من تجربة اللاحمل، حيث القدرة المسحوبة في هذه التجربة والمتمثلة في قدرة اللاحمل P_o تساوي الفقد في الحديد تقريبا لأن الفقد النحاسي في حالة اللاحمل تكون صغيرة جداً ومهملة نظراً لصغر التيار المار في الملفات الابتدائية للمحول لذا يكون الفقد الحديدي مساوياً لقدرة اللاحمل.

$$P_i = P_o \qquad (٤-٣٥)$$

يعتمد الفقد في النحاس على قيمة التيار المار في الملفات وبالتالي فإنه يعتمد علي قيمة الحمل ويمكن حساب الفقد النحاسي عند الحمل الكامل من المعادلة التالية:

$$P_{cu.f.l} = I_{١f.l}{}^{٢} R_{eq\,١} = I_{٢f.l}{}^{٢} R_{eq\,٢} \qquad (٤-٣٦)$$

أما إذا كان المحول يعمل عند حمل آخر غير الحمل الكامل فإنه يمكن حساب الفقد النحاسي بدلالة الفقد النحاسي عند الحمل الكامل. حيث إن الفقد عند أي نسبة حمل تتناسب مع مربع نسبة الحمل.

$$P_{cu(x)} = x^{٢} P_{cu.f.l} = x^{٢} I_{١f.l}{}^{٢} R_{eq\,١} = x^{٢} I_{٢f.l}{}^{٢} R_{eq\,٢} \qquad (٤-٣٧)$$

كما يمكن حساب الفقد الكهربي عند الحمل الكامل من تجربة القصر. ففي هذه التجربة يتم قصر الملف الثانوي وبالتالي فإن قدرة الخرج تساوي صفرً، وبذلك تكون كل القدرة الداخلة في هذه الحالة عبارة عن فقد حديدي في قلب المحول وفقد نحاسي في الملفات. ويكون الفقد الحديدي في هذه الحالة مهمل نظراً لأنه يتناسب مع مربع الجهد والجهد عادة صغير جداً في هذه التجربة (٣إلي ٥٪) بالنسبة للجهد المقنن. لذلك يمكن أن نعتبر أن القدرة الداخلة كلها فقد نحاسي. فإذا كان تيار القصر مساوياً لتيار الحمل الكامل فإن القدرة الداخلة تساوي فقد النحاس عند الحمل الكامل.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

$$P_{cu.f.l} = P_{sc} \qquad (٤-٣٨)$$

٤- ٨- ٢ كفاءة المحول

تحسب الكفاءة للمحول عادة بدلالة قدرة الخرج output power التي يحتاجها الحمل والمفقودات التي يستهلكها المحول، وتحسب الكفاءة من العلاقات التالية:

$$\eta = \frac{P_o}{P_o + P_i + P_{cu}} x100 \qquad (٤-٣٩)$$

$$\eta = \frac{P_o}{P_{in}} x100 \qquad (٤-٤٠)$$

حيث إنَّ:

P_o: هي قدرة الحمل، ويمكن حسابها من المعادلة: $P_o = V_2 I_2 \cos\phi_2$

P_i: القدرة الداخلة للمحول

حيث $\cos\phi_2$ هو معامل القدرة للحمل Power factor.

بالتعويض عن قيمة P_2 في المعادلة ٣٩ـ٤ يمكن الحصول على الكفاءة كدالة في متغيرات الحمل (الجهد والتيار ومعامل القدرة):

$$\eta = \frac{|V_2||I_2|\cos\phi_2}{|V_2||I_2|\cos\phi_2 + P_i + |I_2|^2 R_{eq}} 100 \qquad (٤-٤٠)$$

مثال ٤- ٦ محول أحادي الوجه قدرته ٥٠٠ كيلوفولت أمبير، الفقد الحديدي ٢٥٠٠ وات والفقد النحاسي عند الحمل الكامل ٧٥٠٠ وات . احسب الكفاءة عند الحمل الكامل ثم عند نصف الحمل ومعامل قدرة متأخر ٠,٨.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

الحل

KVA=٥٠٠, P_i =٢٥٠٠W, $P_{cu.f.l.}$=٧٥٠٠ W, $\cos\phi_2$=٠,٨

P_2=٥٠٠×١٠^3×٠,٨=٤٠٠٠٠٠ W

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + P_i + P_{cu}} x100 = \frac{400000}{400000 + 7500 + 2500} x100 = 97.56\%$$

عند نصف الحمل:

$P_{2(1/2)}$=٠,٥×٥٠٠×١٠^3×٠,٨=٢٠٠٠٠٠W

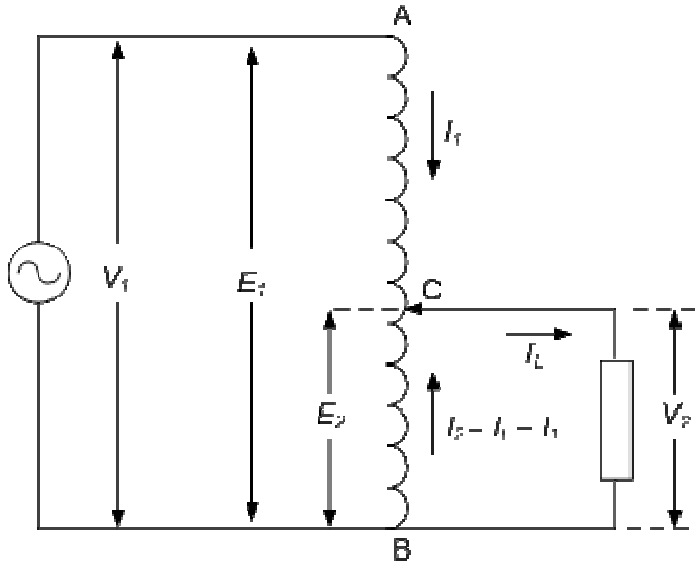
$P_{cu(0,5)}$=(٠,٥)^2$P_{cu.f.l.}$ =٠,٢٥× (٧٥٠٠) = ١٨٧٥ W

$$\eta = \frac{P_{2(1/2)}}{P_{2(1/2)} + P_{iron} + P_{cu(1/2)}} x100 = \frac{200000}{200000 + 1875 + 2500} x100 = 97.86\%$$

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

٤- ٩ المحول الذاتي Auto-transformer

يعتبر المحول الذاتي نوع خاص من المحولات لأنه يتكون من ملف واحد ويعتمد في نظرية عمله وتشغيله على نفس نظرية عمل المحول ذي الملفين. ويستخدم الملف كله (الملف AB)في المحول الذاتي كملف ابتدائي بينما يستخدم جزء منه (الملف BC) كملف ثانوي وفي هذه الحالة يستخدم كمحول خافض كما في شكل ٤- ٣٢. كما يمكن استخدام الملف كله (الملف AB) كملف ثانوي بينما يستخدم جزء منه (الملف BC) كملف ابتدائي فإن المحول الذاتي في هذه الحالة يكون محول رفع كما في شكل ٤- ٣٣.

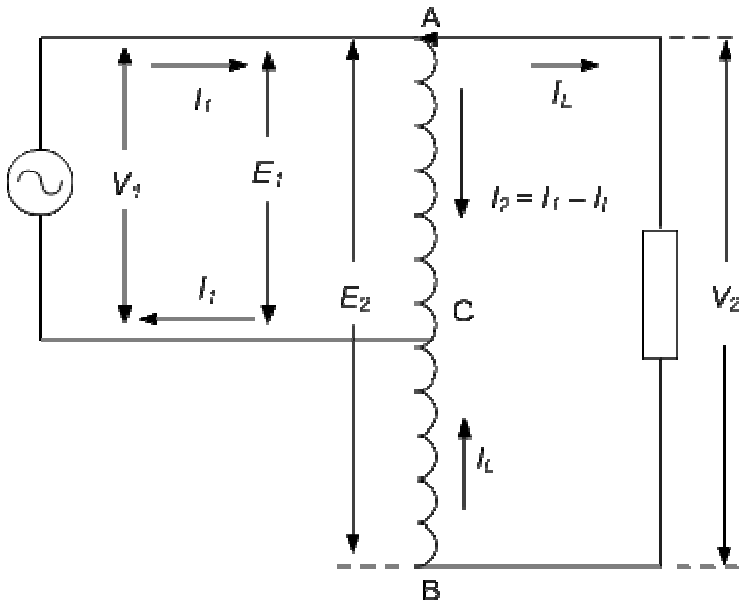


شكل ٤- ٣٢ محول ذاتي خافض للجهد

وعلى ذلك فإن المحول الذاتي يعتبر جهازاً مفيداً جداً في بعض الاستخدامات نظراً لبساطته وانخفاض ثمنه مقارنة مع المحول العادي. كما يتميز بأنه يعطي جهداً متغيراً. وذلك بتغير موضع النقطة C وبذلك يمكن تغيير عدد لفات الثانوي للحصول على جهد يتراوح من صفر وحتى جهد الابتدائي أو أكبر منه كما في المحول الذاتي الرافع للجهد. ويسمى المحول الذاتي المتغير القيمة لجهد الثانوي "فارياك "Variac". ويستخدم هذا النوع من المحولات في المختبرات وأجهزة بدء الحركة عندما يكون نسبة التحويل المطلوبة في حدود من ١: ٢,٥ أي الجهد الثانوي والابتدائي متقاربين. ويتميز هذا النوع عن المحول ذي الملفين بصغر حجمه لنفس القدرة وذلك لتوفير النحاس المستخدم في الملفات ولكن من عيوب هذا المحول أن العزل الكهربي بين المنبع والحمل غير متوفر نظراً لاستخدام ملف واحد بين الدخل والخرج.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

ولذلك لا يفضل أيضاً استخدامه بنسبة تحويل كبيرة حيث يسبب خطورة وإمكانية حدوث قصر بين ملفات الجهد العالي والمخفض وذلك لنفس السبب. وهذا على العكس تماماً كما في المحول ذي الملفين.



شكل ٤- ٣٣ محول ذاتي رافع للجهد

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

٤- ١٠ القطبية والتوصيل على التوازي Polarity and Parallel Operation

٤- ١٠- ١ القطبية

القطبية في المحول هي العلاقة الاتجاهية بين القوة الدافعة المتولدة بالحث في كل من ملفيه الابتدائي والثانوي ويمكن أن تكون قطبية جمع addiditive أو قطبية طرح subtractive. وتعتمد القطبية بين ملفي المحول على عدة عوامل:

١. طريقة لف الملفين
٢. طريقة توصيل الملفات داخل المحول
٣. طريقة توصيل أطراف الملفات الخارجية

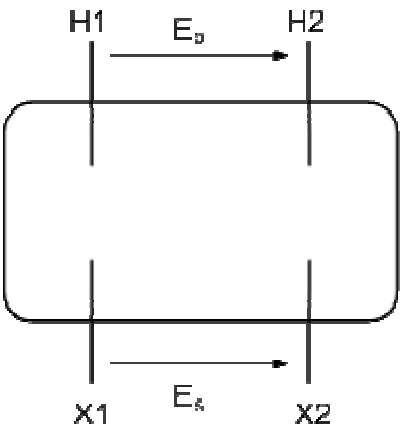
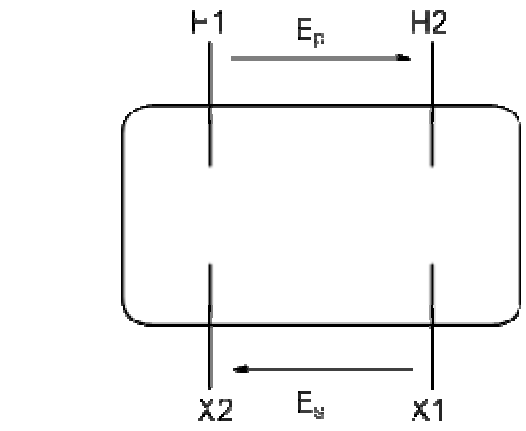
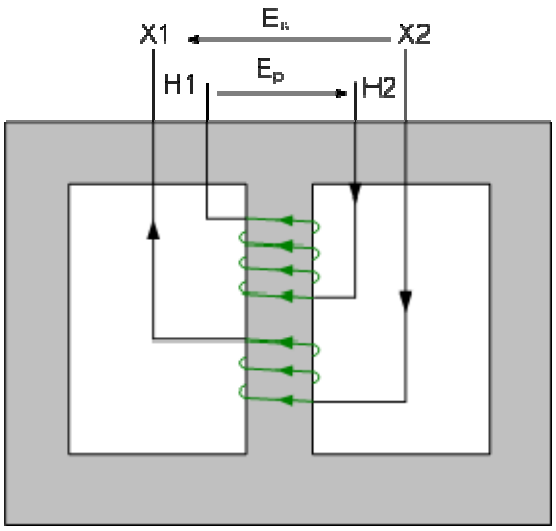
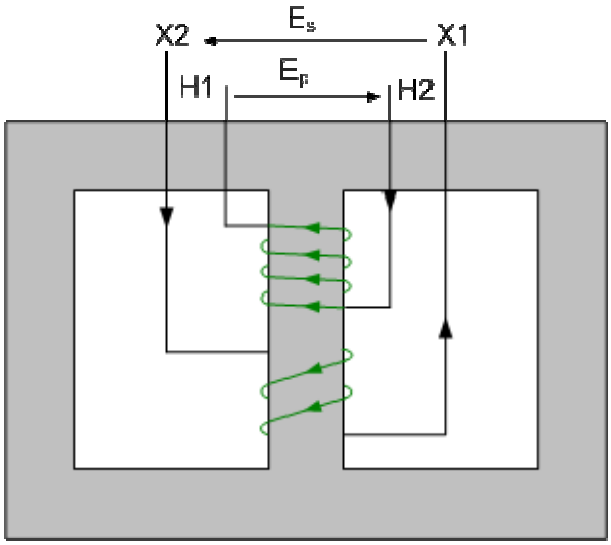
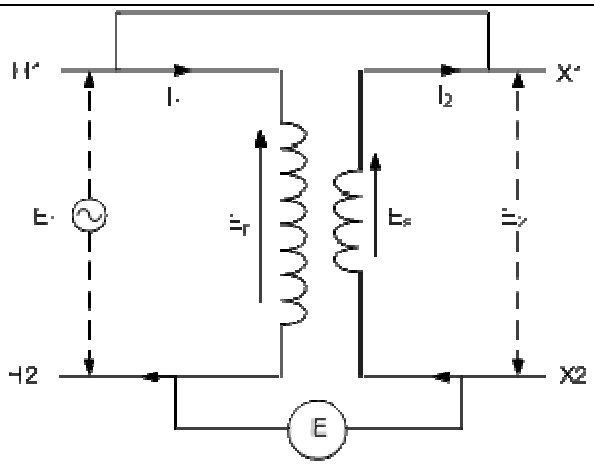
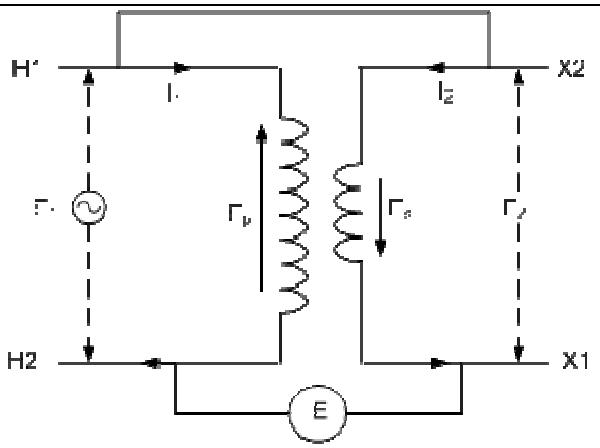
من المعلوم أن مفهوم القطبية قد يسبب بعض اللبس عند بعض الفنيين لذلك فإن صانعي المحولات يشيرون إلى أطراف المحولات عادة بحروف وأرقام تختلف باختلاف بلد الصنع نذكر منها على سبيل المثال:

- **المحولات المصنوعة في أمريكا**: تستخدم H١-H٢-H٣ لأطراف الجهد العالي وتستخدم X١-X٢-X٣ لأطراف الجهد المنخفض
- **المحولات المصنوعة في انجلترا**: تستخدم A٢-B٢-C٢ لأطراف الجهد العالي وتستخدم a١-b١-c١ لأطراف الجهد المنخفض
- **المحولات المصنوعة في ألمانيا**: تستخدم ١U□١V□١W لأطراف الجهد العالي وتستخدم ٢U□٢V□٢W لأطراف الجهد المنخفض

في هذا المقرر سنستخدم الرموز الأمريكية لتوضيح مفهوم القطبية ومن المعلوم في هذا النظام أن اتجاه القوة الدافعة التأثيرية (المتولدة بالحث) يكون من الحرف ذي الرقم الأصغر إلى الحرف ذي الرقم الأكبر.

شكل ٤- ٣٤ يوضح تأثير ترتيب الملفات والأطراف الخارجية للمحول على القطبية للمحول كما يوضح كيفية إجراء اختبار القطبية وذلك بتوصيل طرف من ملفات الجهد العالي بالطرف المجاور له من ملفات الجهد المنخفض وتوصيل فولتميتر بين الطرفين الآخرين، ثم توصيل مصدر الجهد بين أطراف الجهد العالي. فإذا كانت القطبية قطبية جمع (additive) كانت قراءة الفولتميتر مساوية لمجموع القوة الدافعة المتولدة بالتأثير في كل من الملفين، أما إذا كانت القطبية قطبية طرح (subtractive) فإن قراءة الفولتميتير تكون هي الفارق بين القوة الدافعة المتولدة بالتأثير في كل من الملفين.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

ترتيب الأطراف الخارجية		
ترتيب الملفات		
اختبار القطبية	 قطبية طرح $E= E_P-E_s$	 قطبية جمع $E= E_P+E_s$

شكل ٤- ٣٤ مقارنة بين قطبية الجمع وقطبية الطرح

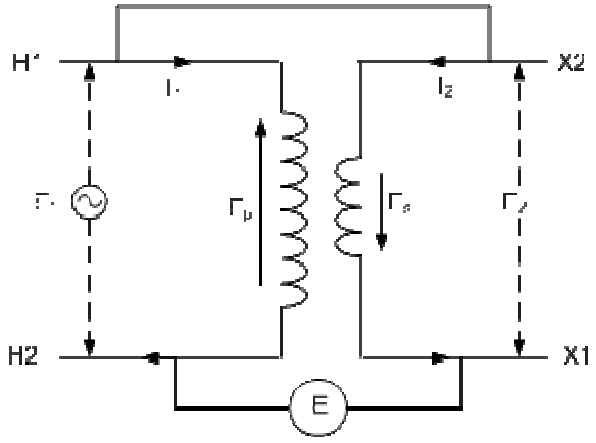
WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

٤- ١٠- ٢ توصيل المحولات على التوازي

تظهر الحاجة إلى تشغيل محولين أو أكثر على التوازي في المنشآت الصناعية ومنظومات التوزيع المختلفة في الحالات الآتية:

١. عندما تكون قدرة الحمل أكبر من القدرة المقننة للمحول الموجود فعلاً.
٢. دورة الحمل تتغير فيها القدرة المطلوبة من المحول تغيراً كبيراً مع الزمن.
٣. عندما يغذي المحول أحمالاً ذات أهمية خاصة بحيث أن استمرارية التغذية يكون لها الأهمية الأولى بصرف النظر عن الاعتبارات الاقتصادية مثل الصناعات التي لاتحتمل قطع التيار

ويتم توصيل المحولين على التوازي بتوصيل الملفات الابتدائية للمحولين على التوازي معاً وكذلك الملفات الثانوية كما في شكل ٤- ٣٥.



شكل ٤- ٣٥ توصيل محولين على التوازي

ويجب أن تتوافر الشروط الآتية حتى نتمكن من توصيل المحولين على التوازي:

أ. أن يكون لهما نفس نسبة التحويل
ب. أن يكون لهما نفس المعاوقة (Per unit System)
ت. أن تكون القطبية متماثلة.

إن الهدف الرئيس من هذه الشروط هو أن لا تحدث تيارات دوارة بين المحولين مما يتسبب في زيادة المفقودات الكهربائية بصورة كبيرة. ونظراً لأن الحصول على نسبتي تحويل متساويتين تماماً أمر صعب في كثير من الأحيان، فقد سمحت معظم المواصفات بقدر من الاختلاف في هذه النسبة ومن الممكن أن تتسبب في تيار دوار يتراوح بين ٥٪ و١٠٪ من تيار الحمل الكامل تحت ظرف التشغيل.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

أسئلة وتمارين على الوحدة الرابعة

١- عرف المحول الكهربي واشرح نظرية عمله.
٢- اذكر استخدامات المحول الكهربي
٣- اذكر أنواع المحولات الكهربية
٤- اشرح مع الرسم تركيب المحول.
٥- هل يصلح المحول للعمل مع تيار مستمر ؟ علل اذكر لإجابتك.
٦- اذكر الفرق بين المحول المثالي والمحول الفعلي
٧- ما أنواع المحولات الكهربية من حيث شكل القلب الحديدي ؟
٨- ما أنواع الملفات المستخدمة في محولات القدرة؟ وضح بالرسم طرق ترتيب الملفات
٩- اشرح مع الرسم الدائرة المكافئة للمحول وبين كيف يمكن تبسيط هذه الدائرة؟
١٠- كيف يمكن حساب ثوابت المحول معملياً؟
١١- ما الاختبارات التي تجرى على المحول لحساب الكفاءة؟
١٢- ارسم مخطط المتجهات للمحول عند الحمل.
١٣- ما أنواع المفقودات في المحول؟
١٤- قارن بين المحول الذاتي والمحول ذي الملفين.
١٥- ما هي أهم استخدامات المحول الذاتي؟
١٦- ما المقصود بالقطبية في المحولات؟
١٧- ما العوامل التي تؤثر على قطبية المحول؟
١٨- ما الفارق بين قطبية الجمع وقطبية الطرح؟
١٩- اشرح كيفية إجراء اختبار القطبية؟
٢٠- لماذا نلجأ لتوصيل المحولات على التوازي
٢١- ما شروط توصيل محولين على التوازي؟
٢٢- ارسم الرسم التخطيطي لمحولين موصلين على التوازي
٢٣- محول أحادي الوجه يعمل على جهد ذي تردد ٦٠ هيرتز، فإذا كان القلب الحديدي على شكل مستطيل المقطع أبعاده ٢٥X٢٠ سم وكثافة الفيض المسموح به للمرور في القلب

قلم الجزائر | WWW.DZPEN.COM

الحديدي ٠,٠٠٠١ ويبر/سم^{٢} ، احسب عدد اللفات المطلوب وضعها لكل من الملف الابتدائي والثانوي لتكون نسبة تحويل الجهد ٣٠٠٠/٢٢٠ فولت.

٢٤- محول أحادي الوجه نسبة التحويل ١:٤. معاوقة الحمل ١٠ أوم بزاوية ٣٠^{o} ومتصلة عبر الملف الثانوي، حيث جهده ١٢٠ فولت. باعتبار المحول مثالياً وأخذ جهد الثانوي كمرجع، أوجد - تيار الملف الابتدائي وتيار الملف الثانوي –جهد الملف الابتدائي –معاوقة الحمل منسوبة للابتدائي.

٢٥- محول أحادي الوجه قدرته ٥٠ كيلو فولت امبير ، ونسبة تحويل الجهد ٤٠٠/٢٠٠٠. يغذي حمل قدرته ٤٠ كيلو فولت أمبير عند جهد ٢٠٠٠ فولت ومعامل قدرة ٨,. متأخر. باعتبار المحول مثالياً أوجد: - معاوقة الحمل –تيار الحمل منسوباً للابتدائي.

٢٦- محول أحادي الوجه ٢٠٠ كيلو فولت أمبير، ونسبة تحويل الجهد ٦٦٠٠/٦٦٠ فولت وله الثوابت التالية: $X_{٢}$=٠.٠٤٨Ω $X_{١}$=٤,٦٧Ω $R_{٢}$=٠,٠١٦Ω $R_{١}$=١,٥٦Ω
وعند اللاحمل يأخذ المحول تيار مقداره ٩٦, أمبير عند معامل قدرة ٢٦٣, متأخراً. احسب ثوابت الدائرة المكافئة منسوبة للابتدائي.

٢٧- أجري اختبار اللاحمل واختبار القصر على محول توزيع أحادي الوجه ٥٠٠ كيلوفولت، ونسبة تحويل الجهد ٢٣٠٠/٢٣٠ فولت، فكانت نتائج الاختبارات كما يلي:

١- اختبار اللاحمل

V_o=٢٣٠V, I_o=٩٤A, P_o=٢٢٥٠W

٢- اختبار القصر

V_{sc}=١٠٠V, I_{sc}=٢٢٨A, P_{sc}=٩,٢KW

احسب ثوابت الدائرة المكافئة منسوبة للجهد العالي.

٢٨- عند اختبار محول أحادي الوجه قدرته ٢٥ كيلوفولت أمبير ونسبة تحويل الجهد ٣٣٠٠/٢٠٠ أعطي النتائج التالية:

V_o=٣٣٠٠V, I_o=٠,٨A, P_o=٣٠٠W

V_{sc} =١٠٠V, I_{sc} =٧,٥A, P_{sc} =٥٨٠W

احسب ثوابت المحول موضحة على الدائرة المكافئة ، وكذلك احسب معامل التنظيم والكفاءة عند الحمل الكامل ومعامل قدرة ٨, متأخر، كرر الحل عند نصف الحمل. ونفس معامل القدرة.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر