

# الأكاديمية العربية الدولية



الأكاديمية العربية الدولية  
Arab International Academy

---

## الأكاديمية العربية الدولية المقررات الجامعية

---



# Electrical Transformers

المحولات الكهربائية



إعداد

م. عصام الحفاجي

# الفصل الاول

1. المعنى اللغوي للمحولة الكهربائية.
2. نبذة تاريخية عن المحولات الكهربائية.
3. المدخل الى المحولات



## المعنى اللغوي للمحولة الكهربائية

المحولة الكهربائية هي جهاز كهرومغناطيسي ستابيلي يقوم بتحويل القدرة الكهربائية للتيار المتناوب من شكل إلى آخر. تحوي المحولة على ملفين على الأقل ، متشابكين مغناطيسياً ، و مستقررين ميكانيكيًا ، نسمى الملف الموصول مع الشبكة بالملف الأولى و الملف الموصول مع المستهلك بالملف الثاني .

## نبذة تاريخية عن المحولات الكهربائية:

كان فراداي أول من اكتشف في عام 1841 ظاهرة التحرير المتبادل بين ملفين منفصلين و متواجدين على قلب مغناطيس واحد ، و قاس عملياً القوة المحركة الكهربائية ( Electric Motive Force ) في أحد الملفين نتيجة مرور تيار متغير في الآخر. هذا و استُخدمت هذه الظاهرة عملياً لأول مرة في عام 1876 لتصميم محولة كهربائية تعمل على مبدأ التحرير المتبادل بين ملفين . وكانت الملفات في البداية تتوضع على نواة مغناطيسية غير مغلقة .

ظهرت لأول مرة في عام 1882 محولات مؤلفة من ملف أولي وحيد وعدة ملفات ثانوية بغية الحصول على قيم مختلفة للجهود الثانوية.

وقد كان ظهور المحولات بنواة مغناطيسية مغلقة عام 1884 بداية لـ أي استخدام صناعي للمحولات في تحويل الطاقة الكهربائية إلى جهود عالية ، و نقلها لمسافات بعيدة .

وكان أول من قام بهذه الخطوة هما الأخوان جون و إدوارد هوبكنسون ؛ حيث قاما بصنع محولة بسيطة تتالف نواتها من صفائح فولاذية معزولة ، و من ملفين أحدهما للجهد المنخفض و الآخر للجهد العالي . وقد تمتلك هذه المحولات آنذاك بمواصفات رائعة.

وفي العام التالي لظهور مثل هذه المحولات بدأت تظهر نماذج محدثة للنواة المغناطيسية أنتجها مصنع المعدات الكهربائية في بودابست. وكان صاحب التطوير الحديث في المحولات الذي أعطاها شكلها الحالي ، هو العالم الهنجري ( المجري ) ((ويري)) الذي كان أول من أطلق اسم المحولة Transformer على هذه الأجهزة و ابتكر فيما بعد فكرة توصيل المحولات على التوازي.

## المدخل الى المحولات:

أول محولة كان قد جرى اختراعها بالصدفة، عندما مرر أحد القائمين بالتجربة في الأيام المبكرة تيارا في سلك ولاحظ كلما غير التيار بالزيادة أو النقصان أن سلك قريب قد التقط بعض الطاقة من السلك الأول. ثم لوحظ أن لف الاسلاك على شكل ملفات يجعل نقل الطاقة أحسن، بعد ذلك لوحظ أن هذا النقل أصبح أجود إذا ما تشارك كلا الملفين بقلب واحد . هذا جميعه يعزى سببه إلى الظاهرة المسماة (الحث *. inductance*).

الباحثين في الأيام المبكرة لهذه الابتكارات هم (هانز أورستد ) 1777- 1857 ( من الدانمارك ) وميشيل فارادي ( 1791- 1867 ) من انكلترا و جوزيف هنري ( 1811- 1878 ) من أمريكا

حت السلك هو نتيجة تأثير المجال المغناطيسي في الفضاء حول السلك، المجال المغناطيسي الذي تولد بفعل التيار الدائري في ذلك السلك، يؤثر عكسيا على التيار الذي ولده أي أن يحث في السلك تيار معاكس للتيار الذي ولده يحاول أن يضعف التيار الذي ولده ويعيق سريانه، وهو شكل من أشكال القصور الذاتي الكهربائي أي بالضبط

كما يحدث عندما تحاول قوة ميكانيكية تحريك كتلة ما متواجه مقاومة من الكتلة المستقر تعاكس القوة التي تحاول تحريك الكتلة. يهيا السلك بحيث أن المجال المغناطيسي بإمكانه أن يعمل بفعالية أكبر وذلك بلف السلك على شكل ملف حيث سيمتلك حث أكبر.

عندما يعرض مجال مغناطيسي متغير موصل آخر، سيتسبب في أو سيحث تيارا ليمر ناقل الطاقة من سلك إلى الآخر. هذه المشاركة في المجال المغناطيسي تولد ما يعرف بالحث المتبادل (*mutual inductance*).

شدة المشاركة (درجة المشاركة) في المجال المغناطيسي تسمى إقران (Coupling) الملفات التي تتشارك بمعظم مجالها المغناطيسي يصطلح على إقرانها بأنه إقران وثيق .

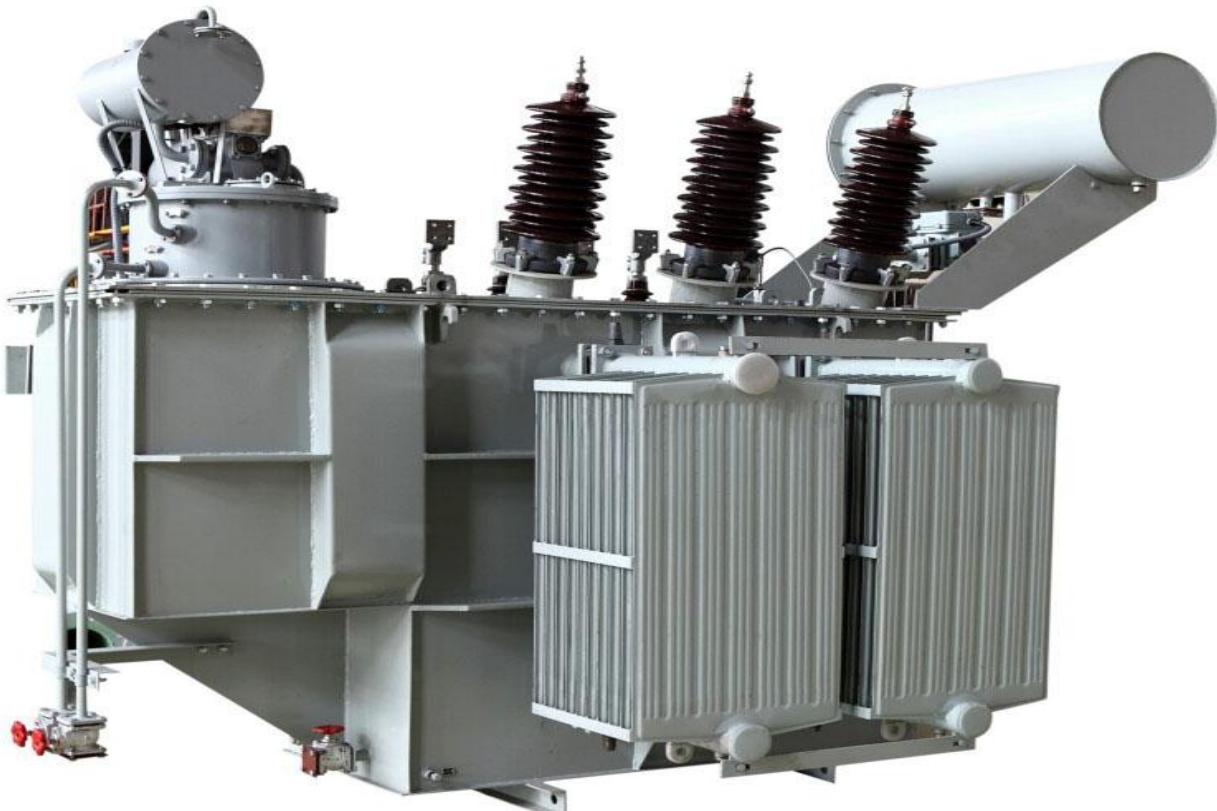
*tightly coupling*

بينما التي تتشارك بالقليل من مجالها المغناطيسي يصطلح على إقرانها أنه إقران سائب *loosely coupling*

نقل الطاقة بصيغة التيار المتناوب من الملف الابتدائي لتجري .

الاستفادة منه من الملف الثانوي يشكل تطبيق مفيد جدا وبذا يصبح زوج الملفات أحد المكونات الشائعة والمفيدة في الالكترونيات وهو **المحولة**.

ترتدي المحولات في أشكال وأحجام متعددة وجميعها تشتراك في خاصية أنها جميعاً لها على الأقل ملفين تشارك في المجال المغناطيسي المار في القلب. معظم المحولات مصممة بحيث أن الملفات تشارك إلى أقصى ما يمكن نفس المجال كذلك نفس القلب الذي يركز المجال داخل **اللفات**



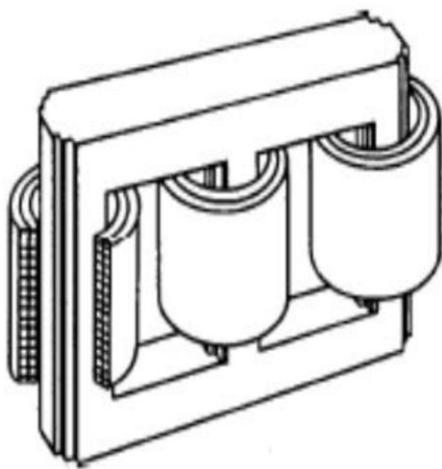
## الفصل الثاني

1- مبدأ عمل المحولة الكهربائية

2- أهمية الملف الابتدائي

3- قياس نسبة التحويل لمحولة ثلاثة الطور

4- الفرق بين طريقي تكوين المحولات الثلاثية



## مبدأ عمل المحولة الكهربائية:

يقوم مبدأ عمل المحول الكهربائي على قانون فرداي للحث الكهرومغناطيسي الذي ينص على أن قيمة القوة المحركة الكهربائية (الجهد الكهربائي) تتناسب طردياً مع معدل تغير التدفق المغناطيسي ولهذا السبب فإن المحول لا يعمل في أنظمة التيار المستمر لأن التيار المستمر يخلق مجالاً مغناطيسياً ثابتاً مقدار تغييره يساوي الصفر فلا يمكن خلق جهد كهربائي حينها بطريقة الحث وهذا أحد الأسباب الرئيسية لقضيل التيار المتردد على المستمر الذي لا يوجد له طريقة عملية واقتصادية لتحويل قيمة الجهد

تتألف أبسط المحولات الكهربائية من قلبٍ مغناطيسيٍّ ، يوضع عليه ملفات ؛ عدد ملفاتها  $N_1$  و  $N_2$  منفصلان كهربائياً ، ومتشابكان مغناطيسياً . ومن أجل أن تكون ضياعات الطاقة في المحولة مهملة ، أو أقل ما يمكن ، وينبغي أن تشكل النواة المغناطيسية للمحولة دائرة مغلقة .

عندما نذكر أثناء دراسة المحولة المثلالية فإنها يجب أن تتحقق الشروط التالية:

- 1) نهمل فيها الحقل الكهربائي للملفات.
- 2) تنعدم فيها الضياعات؛ أي أن المقاومة الداخلية للحديد و للملفات مساوية للصفر.
- 3) النفاذية المغناطيسية للحديد لا نهائية ( $\mu \rightarrow \infty$ ) ، أو المقاومة المغناطيسية للحديد معدومة ، وبالتالي القوة المحركة المغناطيسية الازمة لتوليد الفيض المغناطيسي في النواة مهملة.
- 4) التسرب المغناطيسي مهم؛ أي أن الفيض المغناطيسي يغلق دائنته عبر النواة المغناطيسية فقط وتشابك كليةً مع الملفين الأولي والثانوي ويكون عامل التبادل مساوياً للواحد.

## أهمية الملف الابتدائي

المحولات بإمكانها أن تنقل الطاقة بين ملفاتها في أي اتجاه كان. والغالب أن المحولة تحرك الطاقة في اتجاه واحد. اللفات التي يجري تغذيتها بالطاقة الداخلة تسمى الملف الابتدائي *primary*

والملفات التي تؤخذ منها الطاقة تسمى الثانوي *Secondary*.

وعلى العموم فإن المحولة لا تبالي من أي ملف جرى إدخال الطاقة، فهي تعمل في كلا الاتجاهين، ويمكنك إدراجها في دوائر مختلفة وإدخال الطاقة إليها من الملف الثانوي حسب فولتية الملف الثنائي ولا يحدث بسبب ذلك تلف معظم المحولات يتم إقران ملفاتها بشكل وثيق وبذا يتم تقريباً نقل معظم الطاقة بينهما.

إذا ما قمت بتسليط فولتية لهذا محولة على الملف الابتدائي الذي يمتلك حتى مقدار  $L_1$

وقياس الفولتية على طرف الملف الثنائي الذي يمتلك حتى مقدار  $L_2$

سنجد أن:

$$V_2 = V_1 \sqrt{\frac{L_2}{L_1}}$$

نعلم أن الملف يعتبر دالة لعدد اللفات  $N$  مرفوعة للقوة 2

إذا ما كانت الملفات لها قلب مشترك عندها ستكون النسبة

$$\frac{L_2}{L_1} \text{ هي نفسها } \frac{(N_2)^2}{(N_1)^2} \text{ وهذا يؤدي إلى :}$$

$$V_2 = V_1 \left( \frac{N_2}{N_1} \right) = n V_1 \dots \dots \dots \dots \dots \dots \quad (1)$$

$$\text{حيث أن } n = \frac{V_2}{V_1}$$

الحرف (n) يشير الى نسبة لفات الملف الثانوي الى الملف الابتدائي

N2/N1

المعادلة رقم (1) تقودنا الى معادلة مهمه، بسبب ان القدرة تدخل الى المحولة عن طريق الملف الابتدائي فانه يتبع على (P1)

ان تكون مساويه لقدرة الخارج من الملف الثانوي (P2)

(عمليا قلوب المحولات تبدي نسبة مؤية قليله من الطاقة على شكل حراره)

$$P1 = V1 * I1$$

$$P2 = V2 * I2$$

$$P1 = P2$$

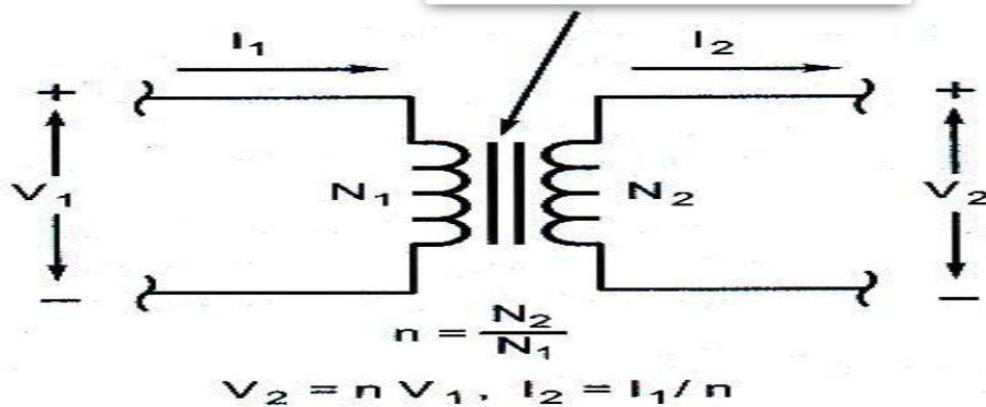
$$V1 * I1 = V2 * I2$$

$$\frac{V2}{V1} = \frac{I1}{I2}$$

$$\text{و بما ان } n = \frac{V2}{V1}$$

$$I1 = n * I2 \dots \dots \dots (2)$$

ترمز الخطوط الى ان القلب من مواد  
مقاطعيه



$n$  هي نسبة التحويل *transformation ratio*

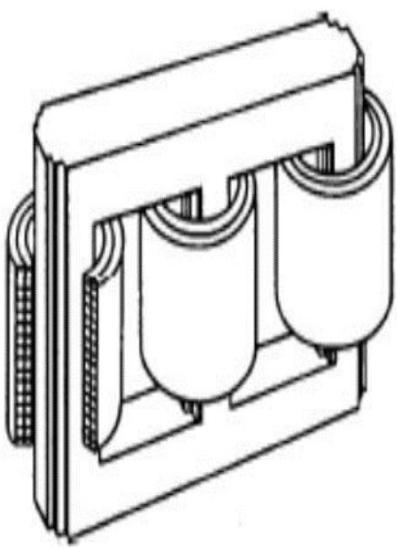
وتبين العلاقة بين فولتيات وتيارات الملفين الابتدائي والثانوي

السلوك الأساسي الخاص بالمحولة ممكّن أن يدرك من خلال نسبة التحويل  $n$ .

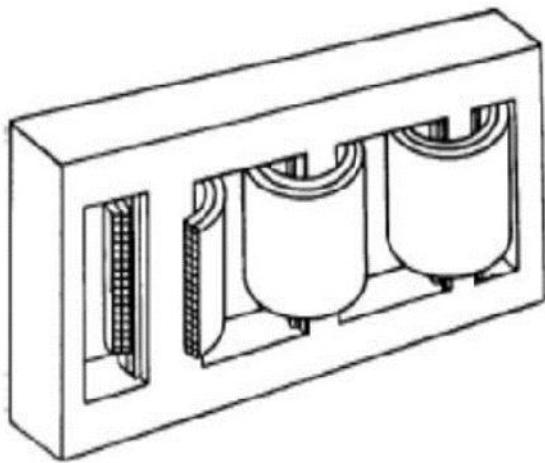
تصميم الملف الابتدائي والثانوي يدرك من خلال اتجاه القدرة المزمع تحويلها.

## قياس نسبة التحويل لمحولة ثلاثة الطور:

إن المحولة ثلاثة الطور إما أن تكون عبارة عن ثلاثة محولات أحادية الطور موصولة مع بعضها البعض، أو أن تكون مصنوعة من قلب حديدي ثلاثي كوحدة واحدة فقط، وهي في هذه الحالة نوعين: النوع الأول هو المحولات القلبية كما في الشكل (2)، النوع الثاني هو المحولات القشرية كما في الشكل (3)



شكل رقم (2)



شكل رقم (3)

## الفرق بين طريقي تكوين المحولات الثلاثية:

تتميز المحولات الثلاثية الطور المكونة من ثلاثة محولات أحادية الطور بالسهولة في كل شيء، سواء في الصيانة، أو التركيب، كما أن لها ميزة هامة وهي إمكانية إضافة محولة أحادية الطور رابعة كبديل عن إحدى المحولات الثلاثة الأولى عند حدوث عطل في إحداها.

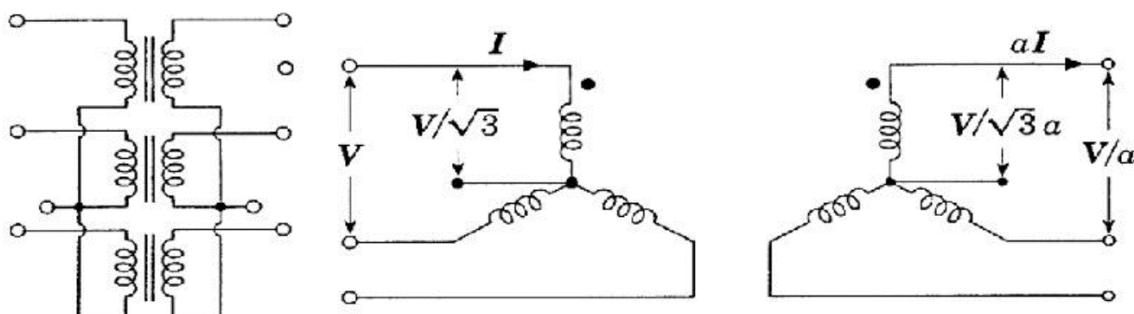
أما عن عيوب هذه الطريقة فهي أنها تشغّل حيز أكبر، وزن أكبر وتكلفتها أكبر.

نسبة التحويل في المحولة ثلاثة الطور تعطى بالعلاقة

$$K = \frac{V_{1L}}{V_{2L}} \dots \dots \dots (3)$$

جهد الخط على الطرف الثانوي  $V_{2L}$ ، هو جهد الخط على الطرف الأولي  $V_{1L}$  حيث يتم حساب نسبة تحويل المحولة بعدأخذ طريقة توصيل الملفات بعين الاعتبار، لهذا يوجد أربع حالات:

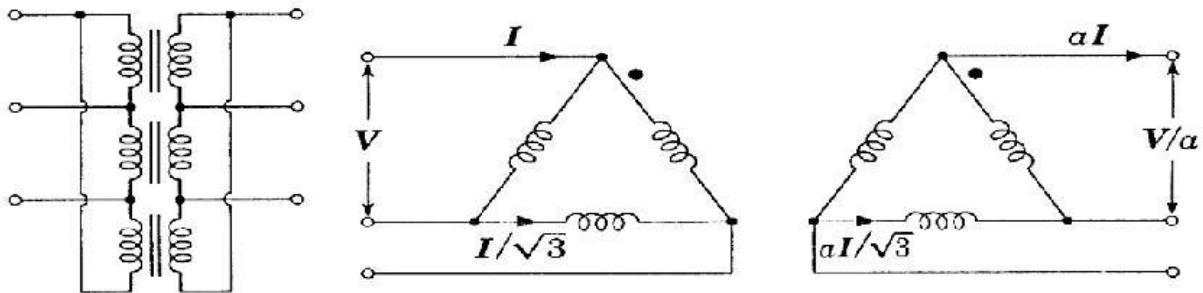
الحالة الأولى المبينة في الشكل أدناه، حيث طريقة الربط  $\Delta - \Delta$



شكل (4) محولة ثلاثة الطور  $\Delta - \Delta$

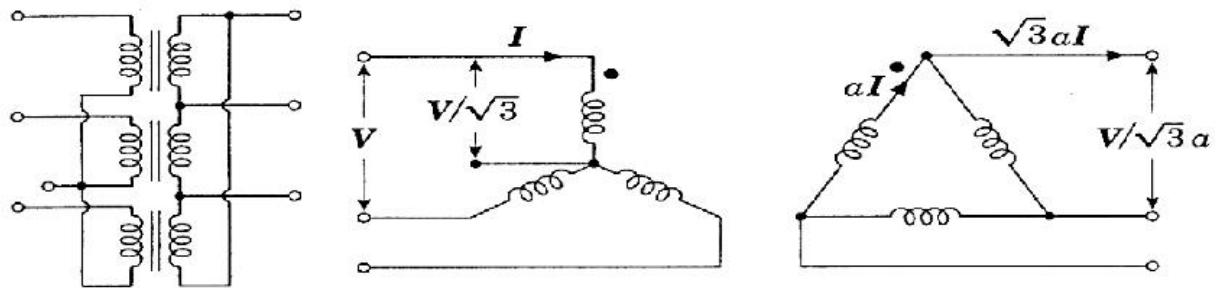
$$K = \frac{V_{1L}}{V_{2L}} = \frac{\sqrt{3}V_{1ph}}{\sqrt{3}V_{2ph}} = \frac{V_{1ph}}{V_{2ph}} = K_{ph} \dots \dots \dots (4)$$

الحالة الثانية مبينة في الشكل (5) حيث طريقة التوصيل هي  $\Delta-\Delta$



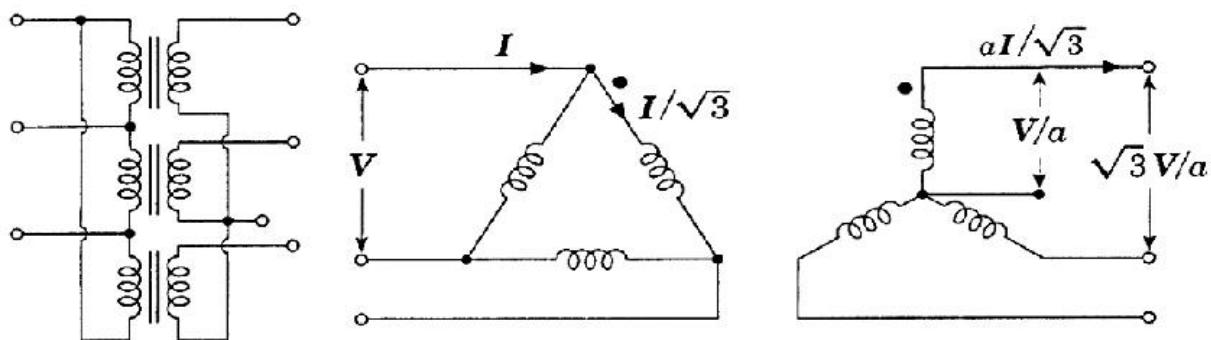
### شكل (5) محولة ثلاثة الطور $\Delta - \Delta$

الحالة الثالثة مبينه في الشكل(6) حيث طريقة التوصيل هي  $\Delta - \Delta$

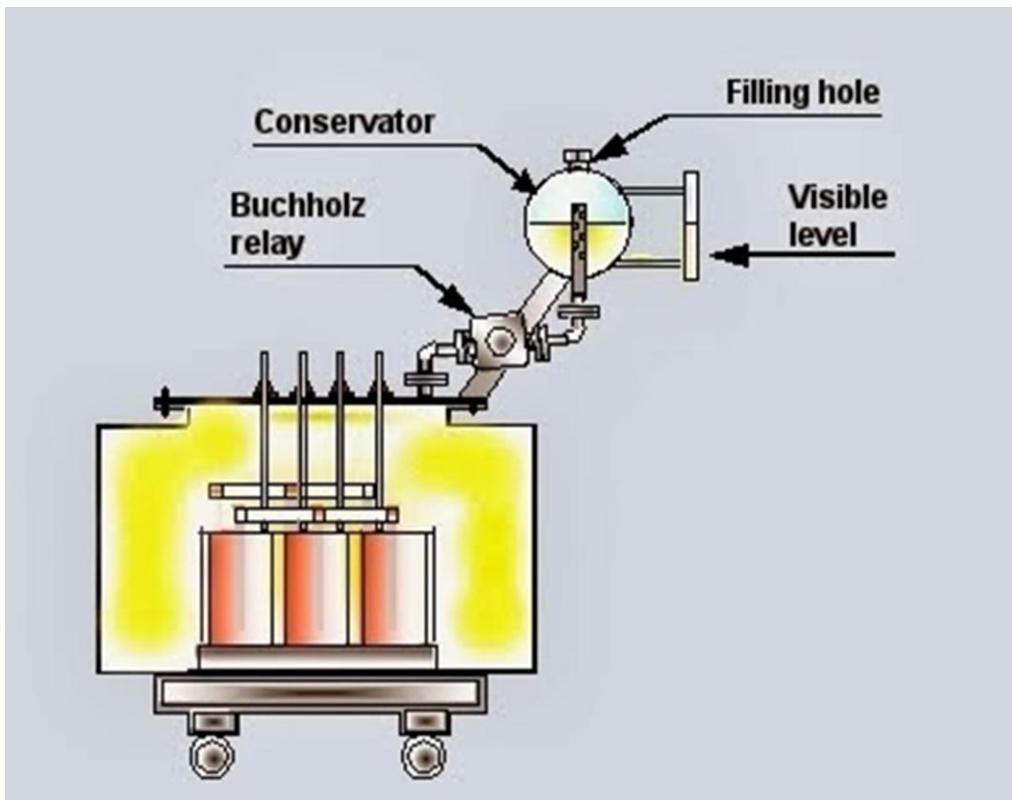


## شكل (6) محولة ثلاثة الطور $\Delta$ - $\lambda$

الحالة الرابعة والأخيرة مبينة في الشكل(7) حيث طريقة التوصيل هي  $\lambda - \Delta$



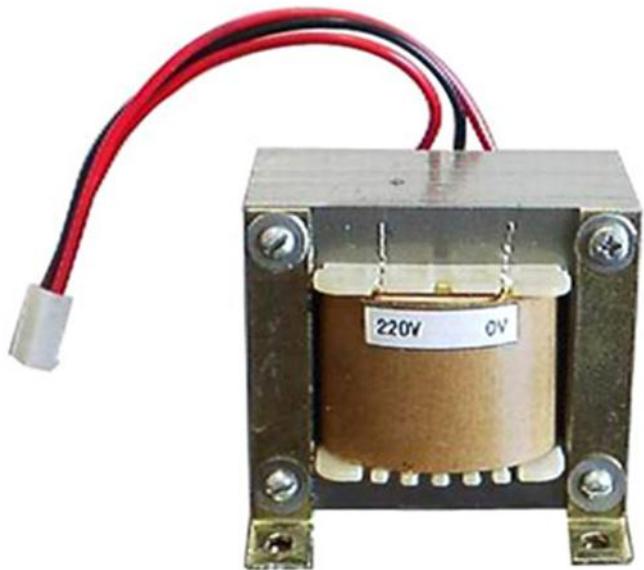
## محولة ثلاثية الطور (7) شكل ٨ -



## الفصل الثالث



1. اقسام المحولات الكهربائية.
2. تسمية القيم الاساسية للمحولة



## اقسام المحولات الكهربائية:

جهاز مؤلف من ملفين من الأسلاك المنفصلة الملفوفة حول قضبان حديدية فقط بمسافة بسيطة، يسمى الطرف المرتبط بالمولد الكهربائي بالملف الابتدائي بينما يطلق على الطرف المرتبط بالحمل مسمى الثانوي، ويستخدم المحول لتعديل قيمة الجهد الكهربائي 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 خافضاً للجهد أما لو كان جهد الثانوي أعلى من جهد الابتدائي كان المحول رافعاً للجهد.

يمكن أن نقسم المحولات بحسب مجالات استعمالها إلى :

### 1-محولات القوى ( Power Transformers ) :

وتقوم بتحويل جهود القدرة الكهربائية من مستوى إلى آخر، و تستخدم في نقل و توزيع القدرة الكهربائية ، وفي شتى مجالات التصنيع ، وفي الاستخدامات المنزلية .

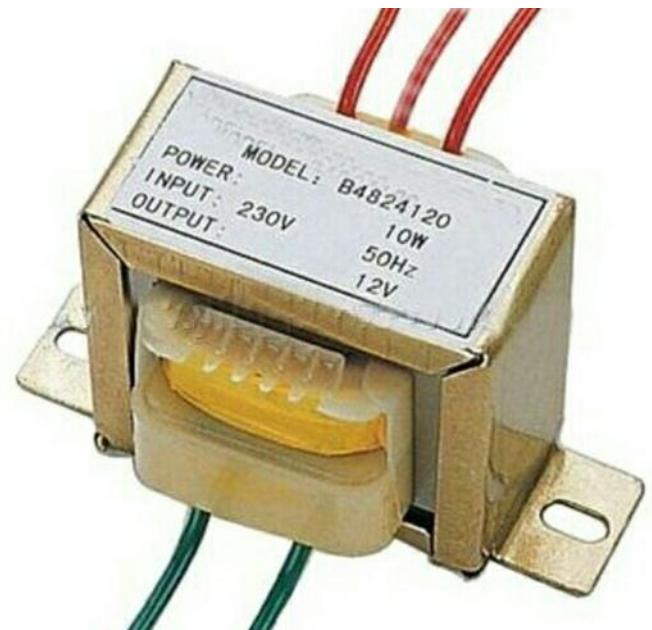
### 2-محولات التنظيم والتعديل (Regulation Transformers) :

و تستعمل للحصول على قيم مختلفة للجهد في المخابر ، و مراكز الأبحاث ، و التحكم الآلي .

3-محولات لتعديل عدد أطوار التيار الكهربائي (m) المتناوب ، و التردد (f) و شكل النسبة و تستخدم بشكل أساسي في الأجهزة الإلكترونية و الاتصالات السلكية ، و التحكم الآلي ، و لا تتعذر استطاعة هذه المحولات عددة فولتات أمبيرات .

### 4-محولات القياس ( Measurement Transformers ) :

مثل محولات التيار التسلسلية و محولات الجهد التفرعية و تستعمل في القياسات الكهربائية ، و في لوحات التوزيع و التغذية.



محولة قياس



محولة قدرة

وتقسم المحولات من حيث عدد أطوارها إلى :

- (1) محولات أحادية الطور (Monophase Transformers)
- (2) محولات ثلاثية الطور (Three-phase Transformers)
- (3) محولات متعددة الأطوار (Poly-phase Transformers)

ومن حيث عدد ملفاتها إلى :

- (1) محولات ثنائية الملف (Tow winding Transformers)
- (2) محولات ثلاثية الملف (Three winding Transformers)
- (3) محولات متعددة الملف (Poly winding Transformers)

ومن حيث نسب تحويلتها إلى :

- (1) محولات خافية للجهد (Step-down Transformers)
- (2) محولات رافعة للجهد (Step-up Transformers)

## ومن حيث طريقة تبريدها إلى :

1) محولات جافة (Dry Transformers) : يتم تبریدها بالهواء الطبيعي أو القسري ، وهي في العادة محولات ذات استطاعات صغيرة و متوسطة .

2) محولات مغمورة بالزيت (Oil Transformers) و يتم تبریدها بالزيت كمحولات القوى ذات الاستطاعات المتوسطة و الكبيرة ، المستخدمة في المحطات الكهربائية المختلفة . وتتصف هذه المحولات بأخطار الانفجار ؛ لهذا تزود بدارات تحكم متقدمة .

3) محولات يتم تبریدها بغاز سادس فلور الكبريت (الغاز الكهربائي ، : sf6

وقد شاع استخدامها في الآونة الأخيرة في الأماكن المغلقة .

## تسمية القيم الأساسية للمحولة:

نسمى القيم الكهربائية للمحولة: التيار ، التردد ، الجهد ، الاستطاعة ، و المقاومات ..... الخ ، التي تعمل عليها المحولة دون أن تؤدي إلى أية زيادة في سخونتها عن الحد المسموح به ، بالقيم الاسمية (Nominal Data) حيث تدون هذه القيم على لوحة خاصة تدعى باللوحة الاسمية تتثبت على جسم المحولة و تحوي القيم الاسمية التالية : الشركة الصانعة و نوع المحولة (أحادية ، ثلاثية ) و نوع التوصيل (إذا كانت المحولة ثلاثة الطور ) ، و الجهود الاسمية للأولي  $V_{1n}/V_{2n}$  ، و التيارات الاسمية للأولي و الثاني  $I_{1n}/I_{2n}$  ، والاستطاعة الظاهرية الاسمية  $Sn$  ، والتردد  $F$  ، و أحياناً المردود الاسمي  $Nn$  و عامل الاستطاعة الاسمي  $\cos\phi_n$  و وزن المحولة  $G$  ، و سنة الصنع .

## الفصل الرابع



### تركيب المحولات الكهربائية



# تركيب المحولات الكهربائية

تتألف المحولة الكهربائية من مواد فعالة : النواة المغناطيسية ، و الملفات و هي التي تشارك في العمليات الكهرومغناطيسية في المحولة ، ومن مواد انشائية : كالعزل ، و المخترقات ، و جسم المحولة ، و سخونة المحولة المتولدة في الملفات ، في الوسط الخارجي عبر جسم الحوض ، وأنابيب التبريد ، إنَّ وجود زيت المحولات مهمٌ جداً في المحولات خزان تمدد الزيت .... إلخ .

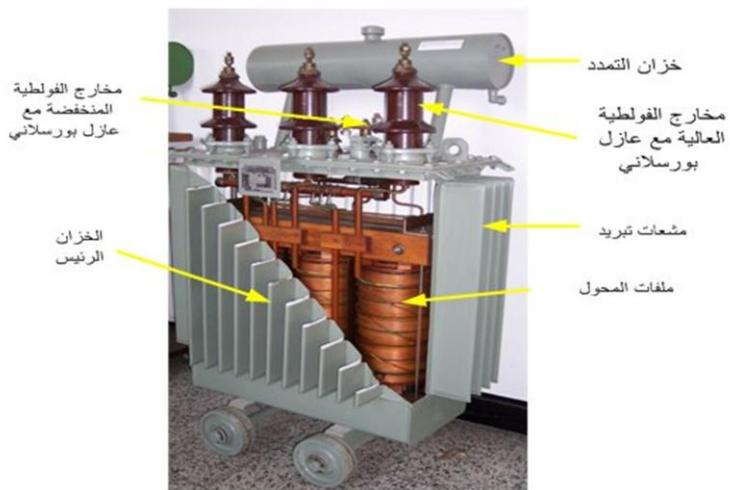
توضع النواة المغناطيسية و عليها الملفات في حوض يملأ بزيت المحولات . تنتشر العاملة على الجهد العالي ، لأن المثانة الكهربائية لزيت أعلى بكثير من المثانة الكهربائية للهواء

ولهذا فإن حجم وزن المحولات الزيتية يكون أقل بكثير من وزن و حجم الملفات الجافة . يغلق زيت التبريد دائريته عبر الأنابيب الخارجية التي تمتد من أعلى الحوض حتى أسفله ، و يرتكب في أعلى المحولة موسعاً لليزت و يرتكب على السطح العلوي للمحولة صمام أمان ينفجر أثناء غليان زيت المحولة . تتصل ملفات الجهد المرتفع و المنخفض في المحولة مع الشبكة الكهربائية عبر مخترقات موجودة على السطح العلوي للمحولة . وبذلك فإن المحولة الكهربائية تتكون من الأجزاء التالية :

1-النواة المغناطيسية.

2-الملفات النحاسية.

3-الأجزاء المتممة للمحولة.



## 1-النواة المغناطيسية:

بغية التخفيف من المفائق في المحولة . تشكل النواة المغناطيسية للمحولة دارة مغناطيسية مغلقة ، و هي تأخذ أشكالاً مختلفة تختلف باختلاف نوع المحولة و عدد أطوارها ، وجهودها ، واستخدامها .

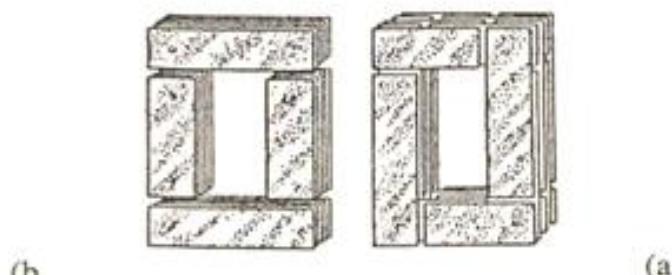
تتألف النواة المغناطيسية من قضبان مجّمعة من صفائح رقيقة و معزولة عن بعضها ، توضع عليها الملفات الكهربائية و من جسور مجّمعة أيضاً من صفائح رقيقة و معزولة تصل بين القضبان .



شكل (II-3)

نواة مغناطيسية لمحولة أحادية الطور مدروزة

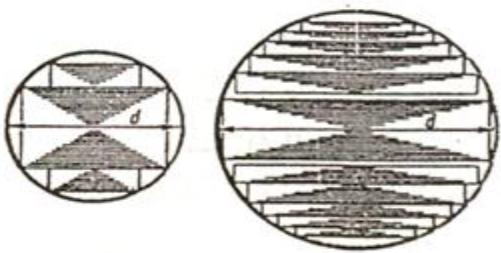
تشكل النواة المغناطيسية من صفائح رقيقة و معزولة من الحديد الكهربائي بسماكه تتراوح من 0.2 mm حتى 1.2 mm . ويتم تجميع النواة المغناطيسية بشكل متشابك أو بصورة تماسية كما في الشكل التالي :



شكل (II-5)

تجميع النواة المغناطيسية بشكل متشابك أو متumas

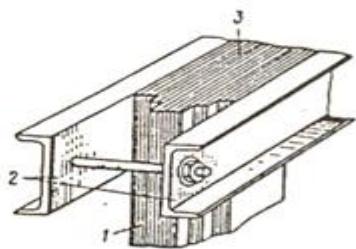
يختلف شكل مقطع النواة المغناطيسية من محولةٍ لأخرى . و كلما زاد عدد تدريجات النواة ، تحسن معامل امتلاء الدائرة المحيطية بالنواة بالمادة المغناطيسية الفعالة ، و بالتالي ... تحسن معامل استخدام المحولة . ولكن بالمقابل يزداد تعقيد العملية التكنولوجية لتجمیع النواة ، إذ ينبغي استخدام صفائح بأبعاد مختلفة ، و يبدو على الشکل التالي بعض مقاطع النوى المتدرجة.



شكل (II-6)

مقاطع مختلفة لنواة مغناطيسية متدرجة

تستخدم في المحولات الكبيرة عوارض حديدية لتثبيت النواة المغناطيسية و ضغطها بشكل جيد . و تلف أحياناً قضبان المحولة بأشرطة عازلة متينة و ذلك للتقليل قدر الإمكان من الضياعات في المحولة



شكل (II-7)

حزن القضبان والجسور في النواة المغناطيسية

1 - القضبان . 2 - الجسور . 3 - عوارض شد جانبية .

## 2- الملفات النحاسية:

يجب أن تتصف ملفات المحولة بما يلي :

1) متانة ميكانيكية عالية تكفي لحمايتها من التشوّهات التي قد تنتج عن تيارات القصر والتيارات الزائدة .

2) متانة حرارية كافية ، بحيث لا يؤدي ارتفاع درجة الحرارة إلى انهيار المادة العازلة حرارياً .

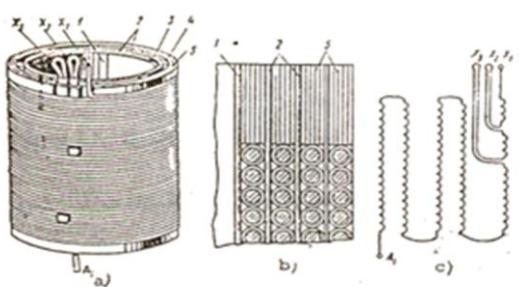
3) متانة كهربائية كافية ، بحيث تكون المواد العازلة ، و مسافات العزل كافية لمنع حدوث انهيار كهربائي ، أو قوس كهربائي .

تختلف ملفات المحولة باختلاف تiarاتها و جهودها الاسمية؛ و تصنع إما من أسلاك نحاسية ، أو ألمينيومية ذات مقطع دائري أو مستطيلة

ترواح كثافة التيار في الملفات النحاسية للمحولات المغموسة بالزيت ضمن المجال (  $A/mm^2$  )  $2 \div 4.5$  ) ، و للمحولات الجافة (  $1.2 \div 3 A/mm^2$  ) ، حيث تقابل القيم الكبرى كثافة التيار في المحولات الصغيرة و بالعكس أما كثافة التيار في الملفات الألمنيومية فهي أقل بحوالي 40 % من كثافة التيار في الملفات النحاسية المكافئة لها بالمقطع .

تعتبر اللغة ( Turn ) العنصر الأساسي في الملف ، و تتتألف إما من ناقل واحد ، أو عدة نوافل تفرعية مع بعضها البعض . تسمى مجموعة الملفات المشكلة لاسطوانة واحدة من الملف بالطبقة (Coil Side) وحسب عدد الطبقات يمكن أن نميز الملف أحادي الطبقة أو الملف متعدد الطبقات.

قد تتتألف الطبقة الواحدة من مجموعة من الوشائع ( Coils ) المنفصلة عن بعضها ، و المؤلفة من عدد محدد من اللفات . والشكل التالي يبين أشكال هذه الملفات:



شكل (II-9)

ملف أسطواني الشكل متعدد الطبقات مصنوع من نواقل دائيرية

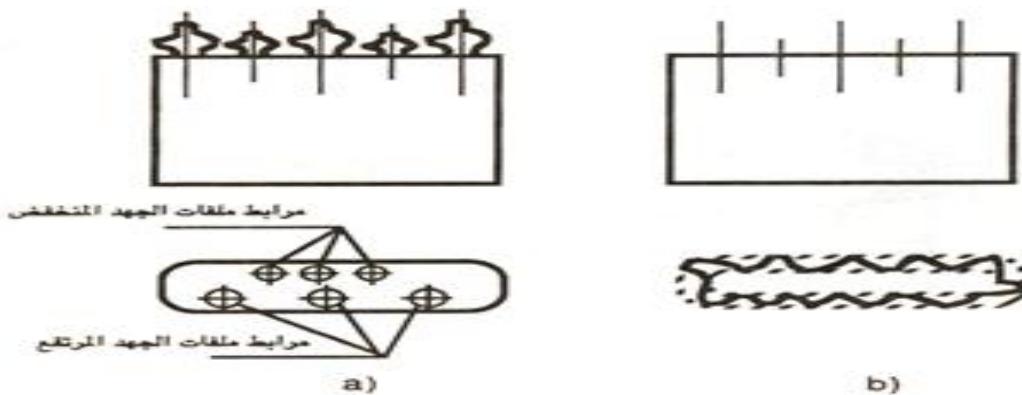


شكل (II-8)

ملفات أسطوانية الشكل مصنوعة من نواقل مستطيلة المقطع

### 3-الأجزاء المتممة للمحولة :

لا تشارك هذه الأقسام في العمليات الكهرومغناطيسية الجارية في المحولة ، و تكمن أهميتها في ربط أجزاء المحولة المختلفة مع بعضها و إعطاء المحولة شكلها الأولي . و أهم هذه الأقسام مايلي : حوض المحولة ( الجسم الخارجي ) الذي يحمي ملفاتها ، و يحفظ زيتها ، و يعمل على نشر حرارتها المتولدة من مفائقه مختلفة في المحولة . و يختلف شكل الجسم باختلاف استطاعة المحولة ، و طريقة تبريدها ، و توضعها . فهناك الحوض الأملس ، و الحوض المتموج حيث يزيد فيه السطح الناشر للحرارة إلى الوسط الخارجي .



شكل (II-11)  
الحوض الأملس (a) والحوض المتموج (b)

هذا و تزود المحولات الكبيرة الامتناعية بأنابيب جانبية خارجية موصولة مع جسم المحولة ، و موضع على طبقة أو طبقتين حسب استطاعة المحولة ، و غايتها زيادة فعالية تبريد زيت المحولة ، و يستخدم في المحولات الأكبر الحوض ذو المشعات أثناء نقل المحولة من المصنع إلى محطة التحويل أو من مكان إلى آخر .

تزود المحولة أيضا بزاجلة غازية (Gas Really) ترکب بين خزان الزيت و الحوض الرئيسي تحمي المحولة من دارات القصر المفاجئة فعند حدوث دارات قصر مفاجئة تمر في ملفات المحولة تيارات كبيرة تؤدي إلى تسخينها بسرعة ، و يزداد وبالتالي ضغط الغاز في الزاجلة ، مما يؤدي إلى فصل المحولة عن الشبكة .

بالإضافة إلى أن المحولة الكهربائية تتكون من الأجزاء التالية:

- \* الخزان الرئيسي
- \* الخزان الاحتياطي
- \* الراديتور
- \* أنابيب الزيت الخاصة بتبريد المحولة
- \* عوازل اختراق الجهد العالي
- \* عوازل الجهد المنخفض
- Silica Gel\*

## Silica Gel سيليكا جيل

تعتبر مادة السيليكا جيل من اهم المواد المستخدمة في تركيب محول القدرة الكهربائية حيث تتوارد مادة السيليكا جيل في أنبوبة زجاجية تسمى breather unit أي وحدة التنفس و تتصل هذه الوحدة مباشرة بالخزان الاحتياطي عن طريق أنبوبة حديدية لها قطر معين.



## أهمية مادة السيليكا جيل :

من المعروف ان مهمة الخزان الاحتياطي هي تعويض اي نقص في ارتفاع الزيت يحدث في الخزان الأساسي تغير ارتفاع الزيت ناتج عن تمدده او انكماسه حسب درجة الحرارة التي تعتمد في الاصل على تيار الملفات اذا عند انكمash الزيت ينخفض مستوى في الخزان الأساسي و بالتالي ينخفض في الخزان الاحتياطي ... و حتى يحدث هذا الانخفاض يجب ان يحل محله هواء جوي, بالطبع الهواء الجوي متتبع بالرطوبة و معروف ان اي نسبة قليلة من الرطوبة تتسرّب الى زيت المحول تؤدي الى تدهور و فشل العزل بنسبة كبيرة مما يهدد

للزيت كعازل

و يؤدي الى احتراق المحول اذا هنا نحتاج الى هواء جوى منزوع الرطوبة بالكامل و تظهر هنا أهمية مادة السيليكا جيل اذا مادة السيليكا جيل هي ملح بلوري ازرق اللون مهمتها امتصاص الرطوبة من الهواء الجوي الداخل الى التانك الاحتياطي و ذلك لحماية زيت المحول.

## الوان مادة السيليكا جيل و دلالة كل لون

ان مادة السيليكا جيل لا تعمل بكفاءة طوال عمر المحول و لكن يجب تغييرها كل فتره و يدل لونها على ضرورة تغييرها من عدمه

**لون المادة و دلالته:**

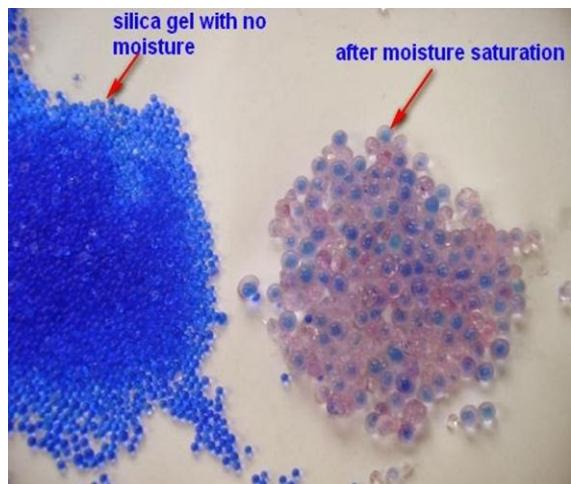
**اللون الأزرق:** يدل على ان المادة ما زالت فعالة في امتصاص الرطوبة من الهواء و لا تحتاج لتغيير.

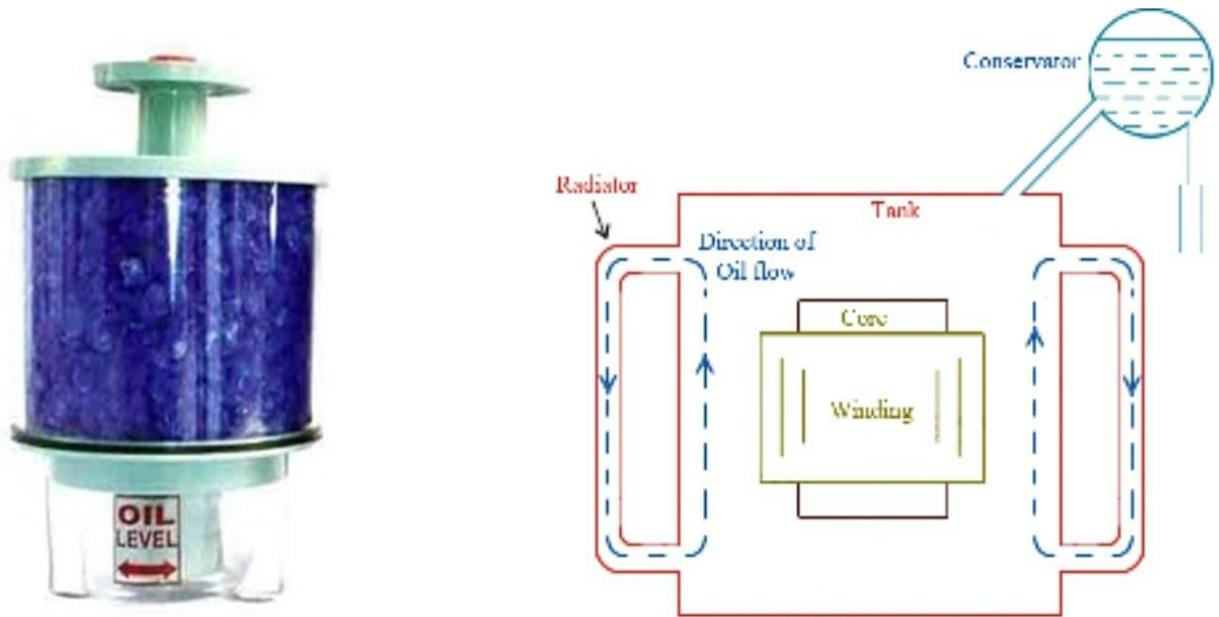
**اللون الوردي :** يدل على تشبّع مادة السيليكا جيل بالرطوبة و ضرورة تغييرها او تجفيفها في فرن يتم تجفيف المادة في فرن درجة حرارته حوالي 200 درجة حتى يتم طرد الرطوبة و تحولها للون الأزرق مجددا

-**اللون الأبيض :** عند تحول المادة للون الأبيض يدل ذلك على ان المادة متشبّعة بالرطوبة و قد تم تجفيفها عدة مرات و لا يمكن تجفيفها مرة اخرى و يجب تغييرها

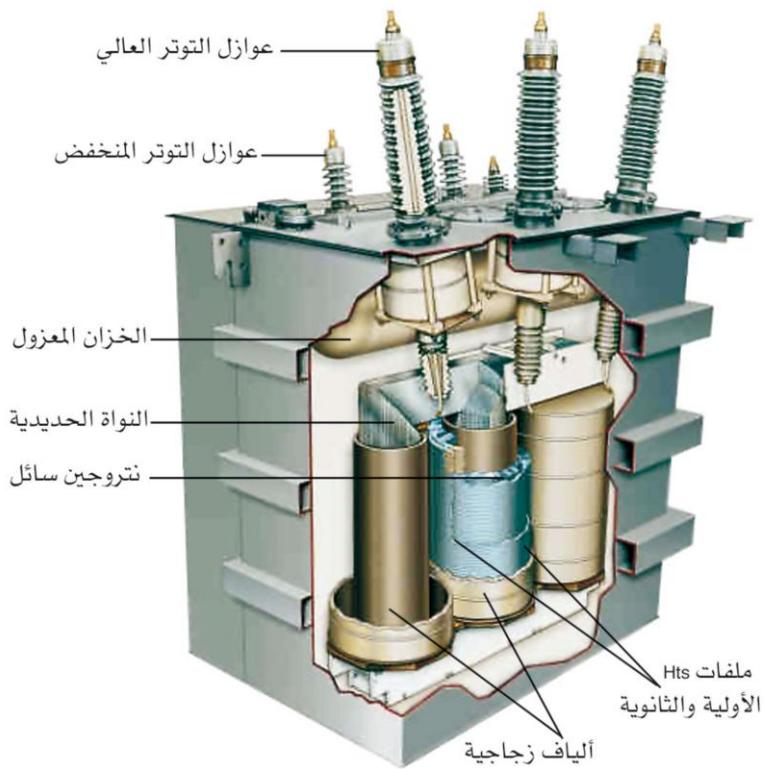
- **اللون الاسود :** عند تحول مادة السيليكا جيل الى اللون الاسود دل ذلك على تشبّعها ببخار الزيت .. فيجب تغييرها و لا يمكن اعادة استخدامها مرة اخرى بأى طريقة

**ملحوظة هامة :** توجد بعض انواع السيليكا جيل التي يكون لونها الأساسي البرتقالي ( بدلا من اللون الأزرق ) و تعمل نفس الوظيفة و لكن يجب معرفة دلالة الوانها





Oil Natural Air Natural (ONAN) - Cooling of Transformer



# الفصل الخامس

1-التبريد المستخدم في المحولات الكهربائية.

2-الغازات المترسبة داخل المحولة عند ارتفاع درجة الحرارة.

3-تحل الغازات الذائبة في زيوت المحولات.

4-طرق الوقاية والحماية للمحولة الكهربائية



# 1-التبريد المستخدم في المحولات

## 1. التبريد بالزيت الطبيعي :-

ONAN وهي اختصاراً لعبارة Oil Natural Air Natural أي أن الهواء يتحرك بطريقة طبيعية وكذلك الزيت يتحرك فقط بتأثير تيارات الحمل الطبيعية.

في هذا التبريد يوضع القلب وال ملفات في وعاء مملوء بالزيت المعدني المنقى بعناية فائقة حيث يتم تبريد القلب وال ملفات بواسطة تيارات الحمل في الزيت الذي يشع إلى الجو الخارجي ولزيادة سطح التبريد قد يكون سطح الإناء متعرجاً ويزود الإناء بمواسير لزيادة سرعة تبريد الزيت

|                                    |                         |          |                 |                           |
|------------------------------------|-------------------------|----------|-----------------|---------------------------|
| 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            |          | Secondary Volts | Primary Volts             |
| 430 Kg                             | Oil weight              |          |                 | Volt Tap Changer Position |
| ONAN                               | Type of cooling         |          | 380/220         | 1                         |
|                                    | Serial NO               |          |                 | 11550                     |
|                                    |                         |          |                 | 2                         |
|                                    |                         |          |                 | 11275                     |
|                                    |                         |          |                 | 3                         |
|                                    |                         |          |                 | 11000                     |
|                                    |                         |          |                 | 4                         |
|                                    |                         |          |                 | 10725                     |
|                                    |                         |          |                 | 5                         |
|                                    |                         |          | 3800 A          | 10450                     |
|                                    |                         |          |                 | 3800 A                    |
|                                    |                         |          |                 | 131.22                    |
|                                    |                         |          |                 | Current (A)               |
| Distribution Transformer Nameplate |                         |          |                 |                           |

## 2- التبريد بالزيت المبرد:-

تستخدم في محولات القدرة الكبيرة والعالية في القدرة الكهربائية لا يكفي التبريد بالزيت والهواء الطبيعي نظراً لارتفاع الحرارة الناتجة من المفائق الكهربائية ولذلك تستخدم عدة طرق لتبريد الزيت المستخدم في تبريد المحول ومنها:-

**ONAF-1** اختصاراً لعبارة **Oil Natural Air Forced** أي تدوير قسري للهواء باستخدام المراوح في حين أن الزيت يتحرك بتأثير تيارات الحمل الطبيعية. ولذلك فإن التبريد بواسطة الهواء المسلط حيث يسلط على جسم الوعاء الرئيسي للمحول بمجموعه من المراوح لدفع الهواء وهي 4 مراوح للمحول الواحد وتعمل عند ضغط ثابت لتبريد المحول.

**OFAF-2** اختصار لعبارة **Oil Forced Air Forced** أي يتم عمل دفع الهواء بمروحة والزيت بمضخة لزيادة حركة كل منها. حيث يتم سحب الزيت في أنابيب وتمديده بواسطة طلمبة في آناء به ماء بارد يتم دفعه إلى داخل المحول ويجب أن تكون سرعة طلمبة السحب متساوية وسرعة الدفع حتى يصبح مستوى الزيت ثابت.

**OWWF-3** اختصار لعبارة **Oil Forced Water Forced** تدوير قسري

حيث يتم دفع ماء بارد في مواسير التبريد داخل المحول وبذلك تنتقل الحرارة من الزيت إلى الماء خارج الوعاء ويجب أن تكون أنابيب التبريد خالية من الثقوب ومصنوعة من النحاس الأحمر لعدم التآكل والتفاعل الكيميائي مع زيت المحول

### مميزات التبريد بالزيت:

- 1 - زيادة المتانة الكهربائية للعزل
- 2 - يسمح بتحميل المحولات لفترات طويلة
- 3 - الاتزان الكهرو حراري داخل جسم المحول
- 4 - صغر حجم الملفات والتغيرات الهوائية

## عيوب التبريد بالزيت :

- 1 - قد يسبب انسداد في أنابيب التبريد مما يعرض المحول لارتفاع درجة الحرارة
- 2 - قد يسبب انفجار نتيجة لتفاعل الهواء المسرب مع الغازات الناتجة من الزيت.

## 2-الغازات المتولدة داخل المحولة الكهربائية عند ارتفاع درجة حرارة الزيت

1. عند درجة الحرارة المنخفضة ينتج غاز الميثان  $\text{CH}_4$
2. عند درجة الحرارة المرتفعة ينتج غاز الايثان  $\text{C}_2\text{H}_6$  ويصاحبه القوس الكهربائي
3. اذا ارتفعت درجة الحرارة الى  $3000^{\circ}\text{C}$  تنتج غاز الاستلين.

## 3-تحلل الغازات الذائبة في زيوت المحولات:

نظراً لتحليلات الزيوت حسب المواصفات القياسية والعالمية ذات الملفات التي تصنع من النحاس والعزل المستخدم عباره عن ورق السيليلوز او مواد صلبه مكبوسة مملوءة بالزيت الطبيعي الهيدروكربوني تعمل محولات القدرة تحت ظروف تعتمد على طبيعة منظومة القدرة الكهربائية مما يخضع عزل ملفات المحولات لدرجات الحرارة العالية و الاجهادات العالية واجهادات حرارية وكهربية مسببه تأكل المواد العازلة و المواد الصلبة مثل الورق المضغوط مما يؤدي الى تكون غازات من انواع مختلفة حيث تذوب هذه الغازات في زيت المحول او زيوت المحولات وهي من الاسباب الرئيسية لحدوث التأكل او انهيار المواد العازلة. وتقسم الغازات الناتجة عن تحلل زيت المحولة الى:

- 1 - غاز الهيدروجين ويرمز له بالرمز  $\text{H}_2$
- 2 - غاز الميثان ويرمز له بالرمز  $\text{CH}_4$
- 3 - غاز الايثان ويرمز له بالرمز  $\text{C}_2\text{H}_6$

4 – غاز الاستلين ويرمز له بالرمز C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>

5 – غاز الايثلين ويرمز له بالرمز C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>

## 4-طرق الوقاية والحماية للمحولة الكهربائية:

1. وقاية كهربائية: وهي مجموعه من الوقايات واهما الوقاية التفاضلية

2. وقاية ميكانيكية: واهما هو البوخلز ريليه.

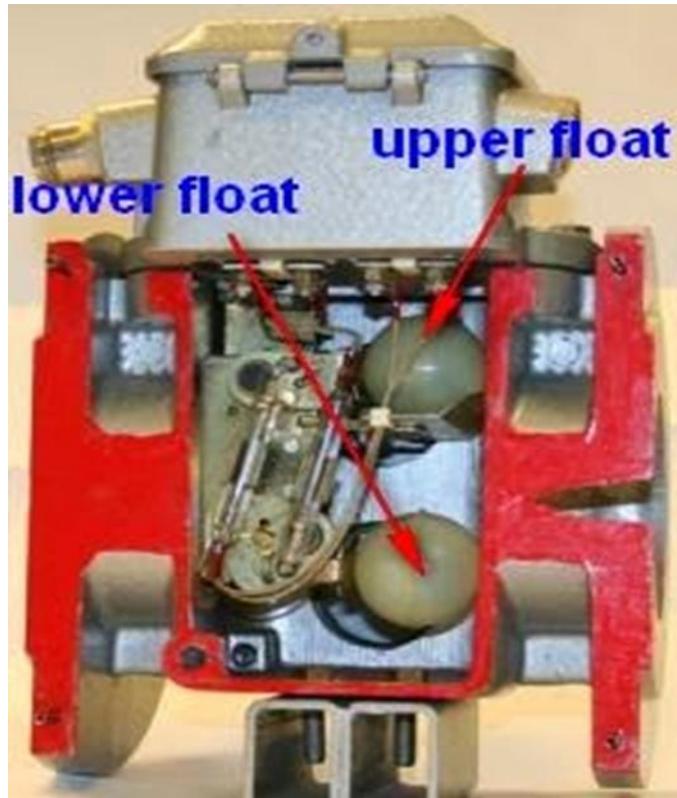
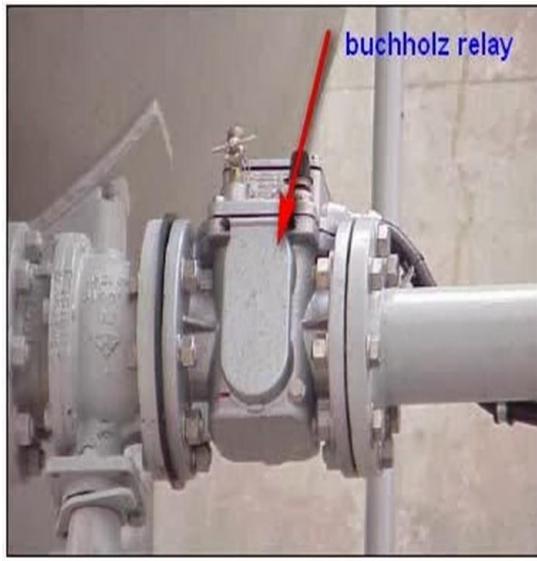
### buchholz relay

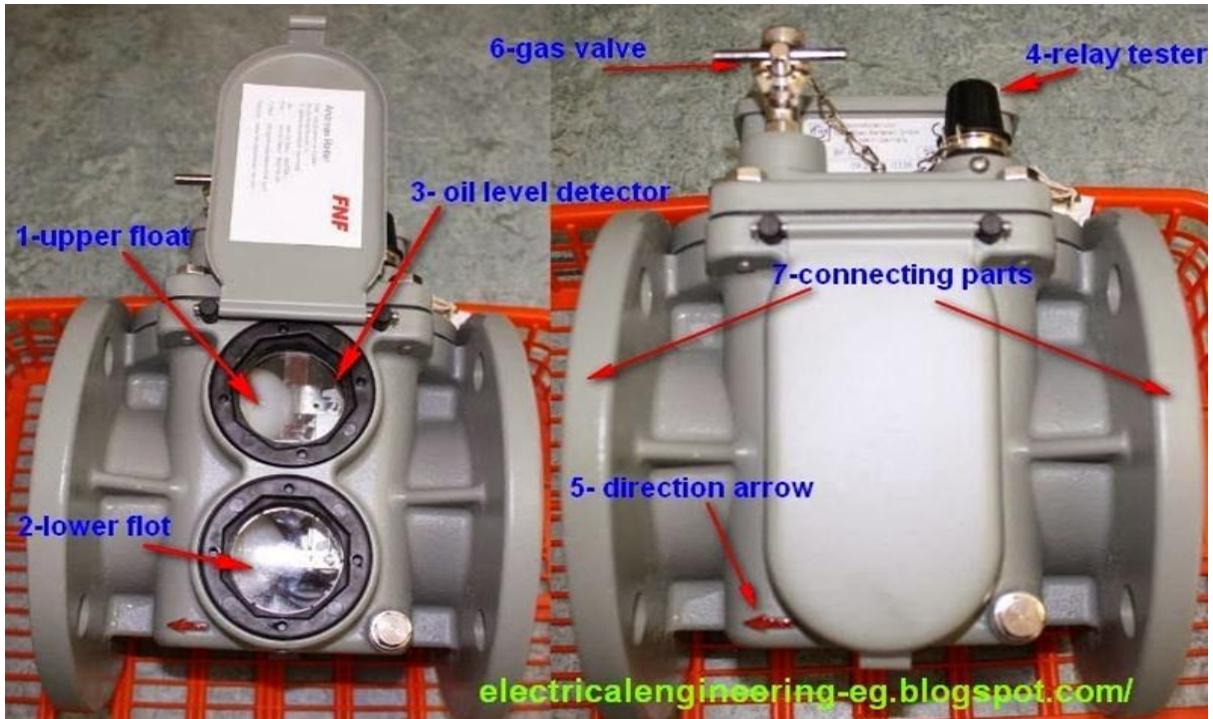
يعتبر جهاز البوخلز ريليه من اهم اجهزة الحماية اللازム تركيبها في محولات القدرة الكهربائية يتم تركيب البوخلز ريليه في الانابيب الواسلة بين الخزان الرئيسي والخزان الاحتياطي بحيث يقوم بمهام مهمه وهي :

1- إعطاء اشارة عند زيادة نسبة الغاز بالخزان

2- إعطاء اشارة و فصل المحول بالكامل عند نقص الزيت بالخزان عن نسبة معينة و ذلك لحمايته من الاحتراق

3- فصل المحول عند حدوث دائرة قصر كهربائي او زيادة التيار بنسبة كبيرة جدا.





## Upper fault-1

(العوامة العلوية) و مهمتها اصدار تنبيه عند زيادة نسبة الغازات داخل الخزان عن نسبة معينة وايضا عند حدوث نقص كبير في ارتفاع الزيت.

## Under fault-2

(العوامة السفلية): و مهمة هذه العوامة هي فصل المحول بالكامل و ذلك عند حدوث نقص كبير في زيت المحول او في حالة حدوث دائرة قصر.

## oil level detector-3

زجاج شفاف يمكننا من رؤية مستوى ارتفاع الزيت في البوخلز

## Realy Tester-4

(مفتاح الاختبار) : و هو مفتاح يتم الضغط عليه لاختبار البوخلز و التأكد من انه يعمل بصورة جيدة و ذلك عند صيانته و قبل تركيبه في المحول و هذا المفتاح له مستويين من الضغط :

المستوى الاول : و هذا يقوم باختبار العوامة العلوية .. أي عند الضغط حتى هذا المستوى نقوم بأنزال العوامة العلوية يدويا ف يتم التأكد من عملها

المستوى الثاني : و هذا يقوم باختبار عمل العوامتين العلوية و السفلية .. حيث ان الضغط حتى هذا المستوى يقوم بأنزال العوامتين يدويا

### direction arrow-5

(سهم الاتجاه) : هذا السهم هام جدا في تحديد اتجاه توصيل البوخلز بين الخزان الرئيسي و الخزان الاحتياطي ( حيث يشير الى اتجاه وجود الخزان الاحتياطي ).

### gas valve-6

(صمام خروج بخار الزيت) : حيث عند وصول ضغط الزيت الى قيمة معينة .. يجب علينا اخراجه خارج البوخلز و يتم ذلك بفتح هذا الصمام.

### connecting parts-7

(اجزاء التوصيل) : و هي اجزاء توصيل البوخلز بالخزان الرئيسي و الخزان الاحتياطي.

## buchholz relay

في الحالة العادية و عند عدم وجود أي مشاكل في الزيت. تكون العوامتين مغمورتان في الزيت بالكامل لذلك تكون العوامتين مرفوعتين بسبب حمل الزيت لهما

المرحلة الاولى: تنخفض فقط العوامة العلوية لتعطى انذار كمرحلة اولى للحماية و ذلك في الحالات الآتية:

- حدوث تراكم للغازات اعلى العوامة فتضغط عليها لا سفل فتنزل العوامة للأسفل
- حدوث انخفاض كبير في مستوى الزيت في البوخلز فلا يحمل الزيت العوامة فتنخفض للأسفل

المرحلة الثانية : تنخفض العوامة السفلية لتقوم بفصل المحول بالكامل كمرحلة ثانية للحماية و ذلك في الحالات الآتية :

- حدوث انخفاض كبير في مستوى الزيت في البوخلز بحيث لا يوجد أي زيت في البوخلز فلا يحمل الزيت العوامة السفلية ايضا فتنخفض و هذه حالة خطيره جدا و يجب فصل المحول في الحال و هذا ما تقوم به العوامة عندما تنخفض
- حدوث دائرة قصرا او زيادة التيار بنسبة كبير جدا ... تزداد حرارة الزيت بدرجة عالية فيغلی و يتمدد فيندفع الزيت لأعلى متوجه للخزان الاحتياطي مرورا بالبوخلز في هذه الحالة يقوم الزيت بتحريك قطعة معدنية تسمى Puffer plate هذه القطعة متصلة بالعوامة السفلية فتنخفض العوامة السفلية للأسفل و تقوم بفصل المحول

## دائرة تحكم الموصلة بـ buchholz relay

عندما تنخفض العوامة العلوية للأسفل تقوم بتوصيل دائرة إنذار و عندما تنخفض العوامة السفلية تقوم بتوصيل دائرة فصل المحول (متصلة بالقاطع الكهربائي).



## المصادر:

1. [https://books.google.iq/books?id=aynOBQAAQBAJ&pg=PA1&source=gb\\_s\\_toc\\_r&cad=4#v=onepage&q&f=false](https://books.google.iq/books?id=aynOBQAAQBAJ&pg=PA1&source=gb_s_toc_r&cad=4#v=onepage&q&f=false)
2. <https://www.electrical4u.com/conservator-tank-of-transformer/>
3. [http://electricalengineering-eg.blogspot.com/2014/02/blog-post\\_11.html](http://electricalengineering-eg.blogspot.com/2014/02/blog-post_11.html)
4. <Https://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%85%D8%AD%D9%88%D9%84>
5. <http://www.kutub.info/library/book/4123>
6. <http://www.kutub.info/library/book/13635>

طلب العلم فريضة على كل مسلم و مسلمة

حديث نبوي شريف