إعداد: م. رضوان العلقة
(القسم النظري والعملي)

تصميم المحولات

يمكن تقسيم الآلات الكهربائية إلى فئتين كبيرتين :

- الآلات الكهربائية الدوارة وهي كما يشير اسمها تحوي على جزأ دواراً .
- الآلات الكهربائية الساكنة التي تعمل وكل أجزائها ساكنة .

تشمل الآلات الكهربائية الساكنة :

1- المحولات .

2- الوسائط ذات النوى الحديدية .

3- المكثفات ذات الاستعمال للتحديد وتعديل عامل الاستطاعة.

ولأهمية المحولات سنقتصر في محاضراتنا على دراستها التصميمية، تصادف المحولات بتنوع كبير يبدأ من محولة الجرس الكهربائي ذات التوتر الضعيف جداً والتي كتلتها لا تتجاوز بضعة مئات من الغرامات، حتى المحولة الضخمة المستخدمة في ارتباط الشبكات والتي يبلغ توترها حتى 750 KV ، وكتلتها عدة مئات من الأطنان. (المحولة المركبة في محطة توليد تشرنوبل تابع استطاعتها الظاهرة 660 MVA وتبلغ كتلتها وهي جاهزة للعمل 455 طناً .).

ويعود هذا التنوع الكبير في المحولات إلى كثرة العوامل التي تدخل في حساب هذه الآلات مثل (استطاعة - تردد - عدد أطوار - عدد لفات - طريقة ربط هذه اللفات - التوتر واختلافه بين اللفات - طريقة التبريد - شروط تركيب المحولات وغيرها من العوامل ...).

بالرغم من هذا التنوع فإن طريقة حساب المحولات وطريقة انشائها تدور

حول بعض المسائل الأساسية نعرضها لاحقاً وهي مسائل تشترك بها المحولة مع بقية الآلات الكهربائية :

أ- الدارة المغناطيسية .

ب- الملفات أو الدارة الكهربائية .

ج- العزل أو المادة العازلة .

د- السحونة أو المادة الحرارية .

* أ- الدارة المغناطيسية :

- إنشاء الدارة المغناطيسية

1- الصفائح المغناطيسية :

بما أن التدفق المغناطيسي الذي يجتاز الدارة المغناطيسية للمحولات متناوباً لذلك يجب تجزئة هذه الدارة في اتجاه سريان هذا التدفق للتقليل من التيارات الدوامة (تيارات فوكو) .

إن أفضل أنواع الصفائح المستعملة في إنشاء المحولات هي التي تكون مصنوعة من الفولاذ الحاوي على نسبة (3 ÷ 5) % من السيليسيوم لأن إضافة السيليسيوم إلى الفولاذ تخفض من الضياع الناجمة عن كل من التطاول ومن تيارات فوكو بسبب زيادته للمقاومة النوعية للفولاذ والتي تصل إلى (5 ÷ 6) أضعاف ما للحديد العادي .

تتميز الصفائح من الناحية المغناطيسية بمميزين :

أ- منحني التمغنط : بدلالة الأمبير- دورة الممغنط بالتيار المستمر AT/m والذي منه يمكن أن نستنتج منحني النفوذية .

ب- منحني الضياعات في واحدة الكتلة أو واحدة الحجم بدلالة التردد من أجل الترددات الصناعية .

ولكن لصعوبة التفاهم على أساس المنحنيين السابقين تجارياً ، أصبح تصنيف الصفائح المغناطيسية في العالم حسب ضياعاتها الكلية في كيلو غرام واحد منها ، وتردد 50Hz وتحريض شدته $1Wb/m^2$.

جامعة حماة

فيقال مثلاً أن الصفائح هي من الفئة (1,3 W) ومعناها أن الصناع الاستطاعي الفعلي في كيلوغرام واحد من هذه الصفائح وفق الشروط المذكورة أعلاه يبلغ 1,3 واطاً.

تستعمل الصفائح المغناطيسية للمولدات بسماكتي (0,40 - 0,35 mm) عادة وكثافتها النوعية 7500 Kg/m³ ، ومقاومتها النوعية (0,452 m²/m) ، أما ناقليتها الحرارية في الاتجاه الطولاني فتتراوح بين (18 ÷ 20 w/m·°C).

تصنع هذه الصفائح بطول قدره متران وعرض قدره متر واحد عادة. والطول هو باتجاه عملية التصفيح وهذا الاتجاه الطولاني هو الاتجاه الأفضل للصفات المغناطيسية لذا يجب أن يعين هذا الاتجاه أثناء وضع الصفائح - صفيحة بصفيحة - في الدارة المغناطيسية مع اتجاه التدفق المغناطيسي.

2- عزل الصفائح المغناطيسية:

لتخفيف الضياعات الناشئة عن تيارات فوكو التي قد تسري بين عدة صفائح متتالية يتوجب ايجاد فواصل عازلة بينها. تحزم الصفائح المغناطيسية إما في الصانع المنتجة لها بعد عملية التصنيع أو في معامل صنع المولدات بعد إجراء عمليتي التقطيع والتشعيب.

يستعمل الورق كعازل بين الصفائح المغناطيسية بثخانة (0,02 ÷ 0,03 mm). وأحياناً يستخدم للعزل طريقة الطلاء لوجهي الصفيحة بطبقة رقيقة جداً (السيليكون) وتوضع تسري في الفرن بدرجة حرارة عالية جداً (0,025 mm) ويمكن أيضاً عزل الصفائح بدهان عادي يجفف بالهواء، أو بالحرارة لفترة قصيرة.

3- صنع الصفائح في المولدات:

تحضر الصفائح المغناطيسية لعدة عمليات هي:

أ- التقطيع.

ب- التشعيب.

ج- إزالة الشوائب.

لكون أنواع استعمالاً والمذكورة للمادة المغناطيسية للمولدات هي مستطيلات مشعبة، لذا يجب قطع هذه المستطيلات من الصفائح التي أبعادها 1X2 m. وإذا كان عدد المولدات المراد تصنيعها قليلاً فيمكن استخدام مقصات عادية وتقطع أضلاع المستطيل الواحد تلو الآخر.

تعد عملية التقطيع تثقيب المستطيلات الناتجة بواسطة أزاميل مستديرة ومن الضروري المحافظة على نوعية التقاريح في الدارة المغناطيسية (أي تتم عملية التقطيع والتثقيب بدقة معقولة).

أما إذا كان عدد المولدات المنتجة كبيراً، فمن الأفضل صنع سكين قالب تقطع وتثقب الصفائح المتشابهة بعملية واحدة، وفي مولدات الراديو أو بعض المولدات الأثرية الخاصة الصغيرة يستعمل عناصر مكونة للدارة المغناطيسية ذات أشكال معقدة فتجرى عمليتي التثقيب والتقطيع بطريقة السكين القالب بنفس الطريقة يوجد لعمليتي التقطيع والتثقيب سيئتان هما:

- تزيد سوائب من المعدن على جوانب الصفيحة التي تم قصها (هذه السوائب الناتجة يمكن أن تتجمع عند رؤوس الصفائح وأن تشغل على سطح النوى المورقة دارات مغلقة تسبب في خلق ضياعات إضافية في المولدة).
- سمكان المعدن في جوار المجالات حيث مجرى القص والتثقيب وهذه الحادثة تسبب أيضاً في زيادة هذه الضياعات.

تزال السوائب بإجراء القطع خلال اسطوانتين تضغطانها، ولكن الإرجاع لهذه القطع بعد هذه العمليات يزيل كل أثر للسمكان الناتج عنها مما ينشأ عنه وفر محسوس في الضياعات الاستطاعية في الدارة المغناطيسية.

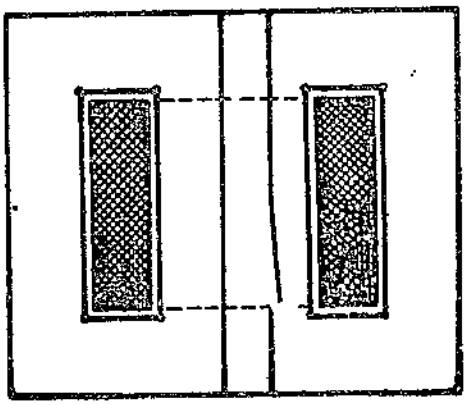
4- سيئات الدارات المغناطيسية:

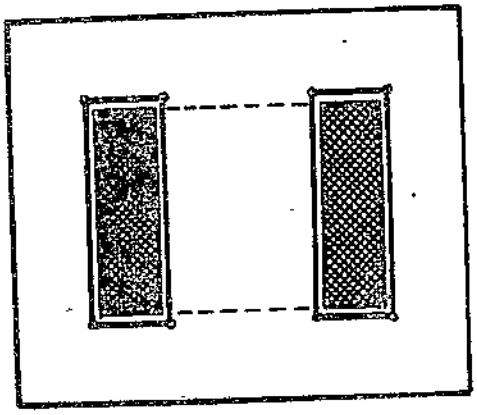
يمكن تقسيم الدارات المغناطيسية للمولدات إلى فئتين كبيرتين هما:

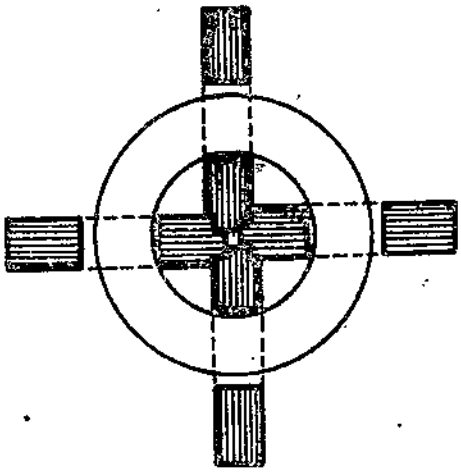
- الدارات المغناطيسية المصفحة.
- الدارات المغناطيسية المقدة (ذات الحمل).

في الدارات المصفحة يحيط أجزاء الدارة المخصصة لعودة التدفق المغناطيسي بالملفات كلياً أو جزئياً وكأنها تحتويها (من هنا جاء اسمها). مثالاً عليها دارة محولة (برّي) حيث يحيط الدارة المغناطيسية كلياً بالملف.

أما في الدارات المقدة فتظهر وكأنها اسطوانات سميكة

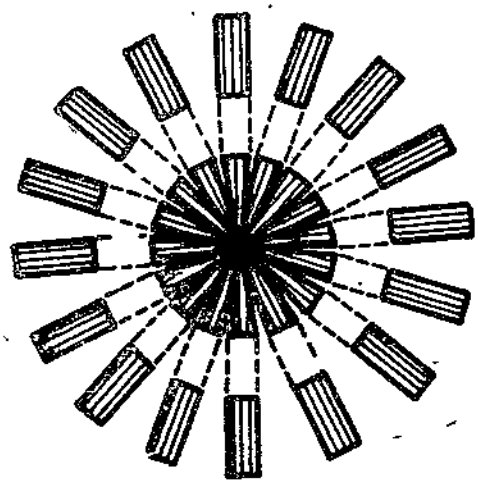






دارة مصفحة وحيدة الطور ذات اربعة جسور
لم تزل مستعملة في الولايات المتحدة الاميركية

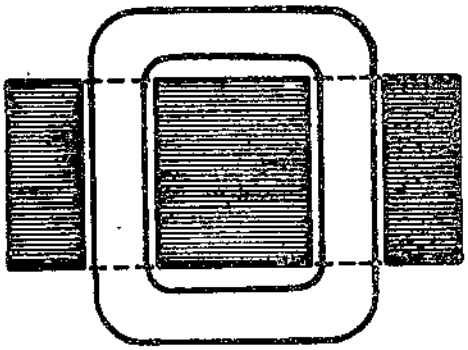
الشكل (1 -)

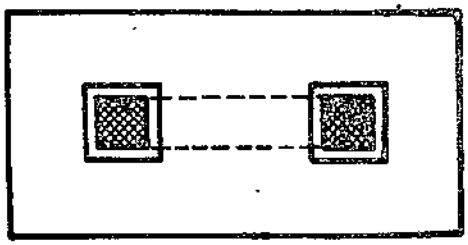


دارة مصفحة وحيدة الطور من نوع
(Berri) . لم تعد مستعملة

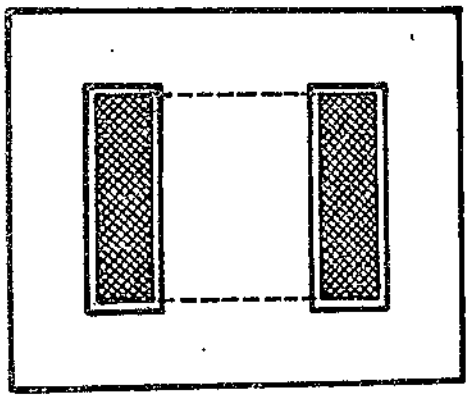
الشكل (2 -)

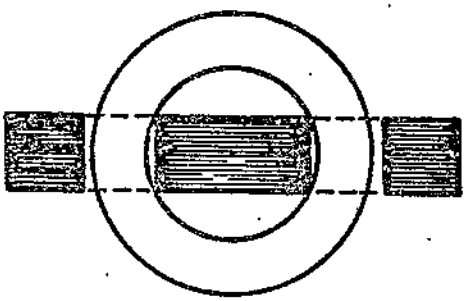
جامعة حماة
آلة التطبيقية





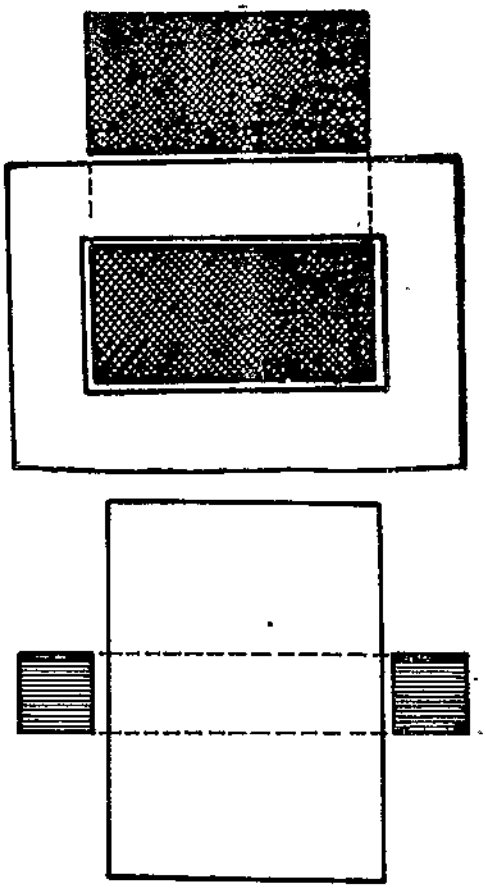
دارة مصفحة وحيدة الطور ذات جسرين من النوع الافقي ـ لا زالت مستعملة .
الشكل (ـ3ـ)





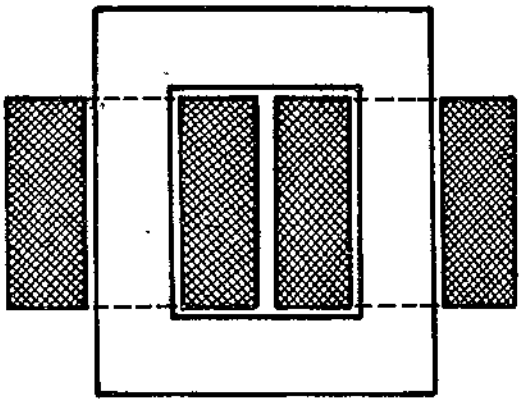
دارة مصفحة وحيدة الطور ذات جسرين من النوع الشاقولي (شائع الاستعمال)
الشكل (ـ4ـ)

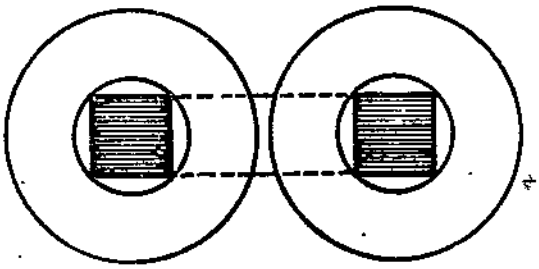
جامعة حماه
الكلية التطبيقية



دارة وحيدة الطور ذات عمودين احدهما فقط مجهز بلف . تستعمل في المحولات
الصغيرة ومحولات الشدة والتوتر
(الشكل -5-)

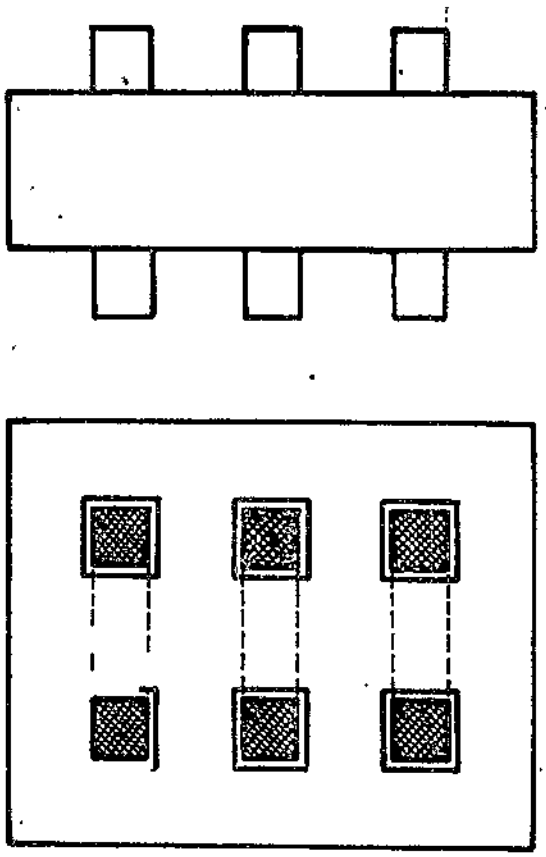
جامعة حلب
المكتبة المركزية





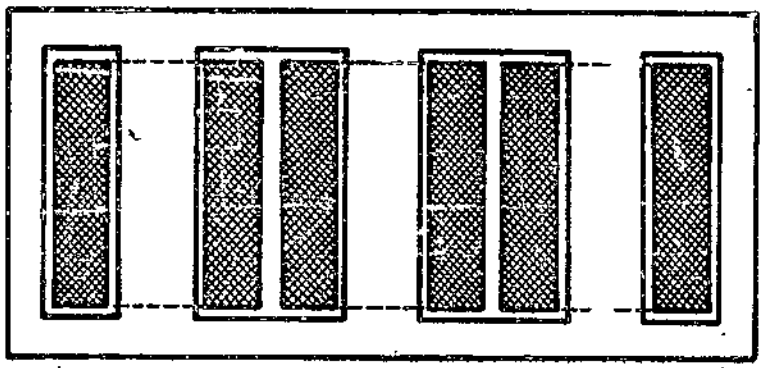
دارة وحيدة الطور ذات عمودين كلاهما مجهز بلف ـ شائعة الاستعمال
(الشكل ـ 6 ـ)

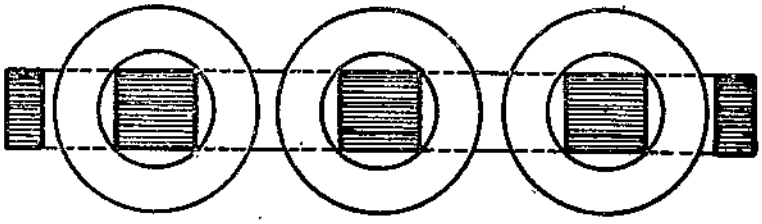
جامعة حلب
الكلية التطبيقية



دارة ثلاثية الطور مصفحة من النوع الافقي-لا زالت مستعملة في بعض الحالات الخاصة
(الشكل -7-)

جامعة حماه
الكلية التطبيقية

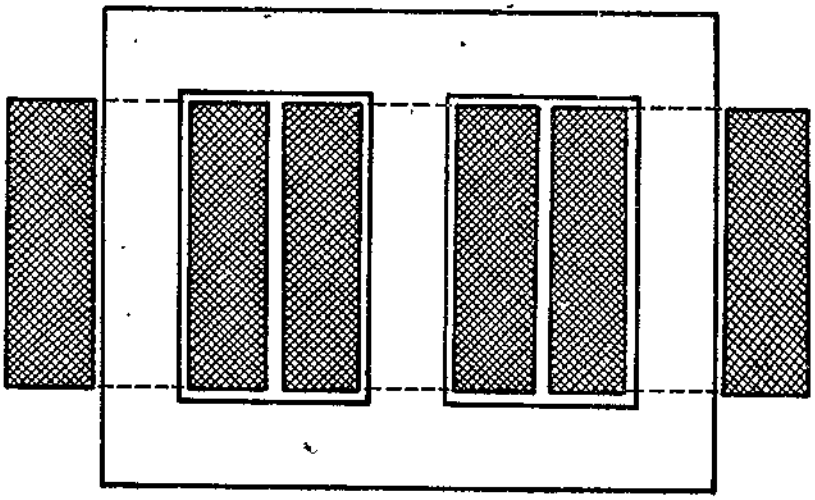


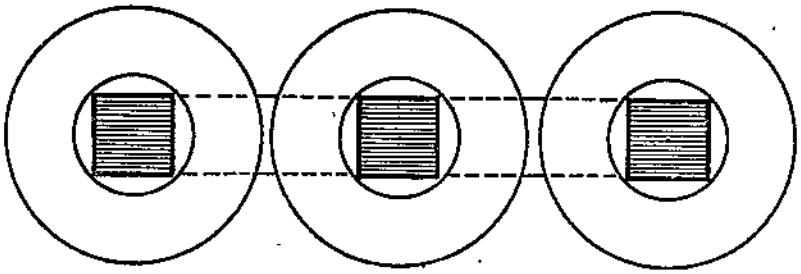


دارة ثلاثية الطور مصفحة من النوع الشاقولي لها جسران واقعان في مستوي النوى . تستعمل في المحولات الكبيرة جداً للتقليل من ارتفاع المحولة (لضرورة تسهيل النقل)

الشكل (-8-)

جامعة حماه





دارة ثلاثية الطور ذات ثلاث اعمدة واقعة في مستوي واحد

ـ تستغمل بصورة مضطردة ـ

الشكل (ـ9ـ)

العمد ، تحيط بها الملفات والجوف التي تغلق الدارة المغناطيسية وهي على الغرم قصيرة وأفقية .

سابقاً كانت المولدات المصنعة مستخدمة بشكل كبير وخاصة في أوربا من أجل المولدات الصغيرة وصغيرة الطور (المستخدمة في توزيع الطاقة الكهربائية) . وحالياً تستخدم المولدات ذات الدارة المصفحة وذات التيار الكبير والتردد بالهواء لأن هذه الدارة تسمح بتحقيق ملفات توزيعها سهلة . باستثناء ذلك فالدارة المفضل دائماً استعمال الدارات المجمدة لأن هذه الدارات اقتصادية وملفاتها أبسط وتأمين الوصول إليها وفكها دون عناء .

وفي الوقت الحالي أصبحت الدارات المجمدة هي الأكثر انتشاراً في العالم لكل المولدات الكبيرة وذات التوتر العالي جداً .

الاستدلال من (1) وفي الشكل (9) يبين أكثر أنواع الدارات المغناطيسية المستعملة ذات الطور الواحد والدارات ثلاثية الطور .

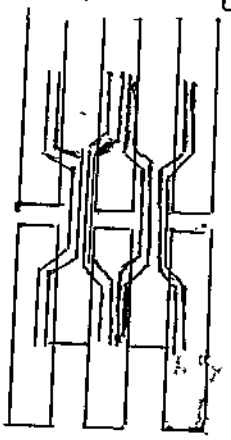
5- وصلات الدارات المغناطيسية :

يسمى بالنوى عادة الأجزاء في الدارات المغناطيسية التي تحيط بها الملفات ، كما تسمى بالجوف الأجزاء التي تصل بين النوى .

يوجد نوعان من الوصلات : - الوصلة المطحية .
- الوصلة المشبكة .

في الوصلة المطحية كما في الشكل (10) حيث تجمع النوى والجوف بصورة منفصلة وتسوى سطوح الالتصاق وتشد إلى بعضها بواسطة تروس . ميزة هذه الوصلة هي أنها سهلة التركيب والفك ، لكن عملية تسوية السطوح لابد أنها تسبب سعاية موضعية للصفائح وبالتالي صناعة اهتراء بسبب تلك التسوية حيث يتم نوعاً ما وصلاً كهربائياً بين الصفائح . ولتجنب حدوث ذلك نوضع صفيحة عازلة عند الوصلة تتراوح ثخنها بين (0,2÷0,3 mm) وتعتبر الوصلة المطحية معادلة لتغرة هوائية قدرها 0,05 mm تقريباً بسبب ثخانة الصفيحة العازلة الموضوعة عند هذه الوصلة .

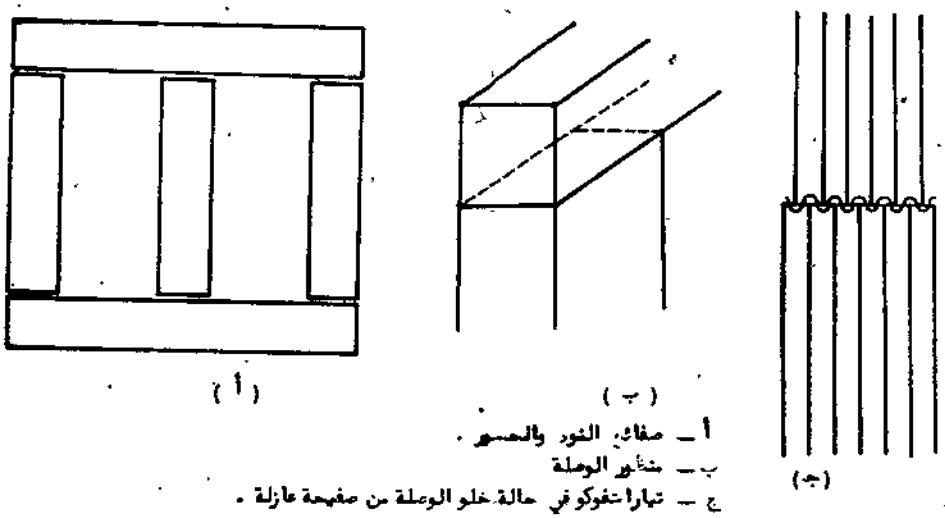
أما في الوصلة المشبكة الشكل (11) ، فقد نظرنا إلى السطحين (ب-11) و (ج-11) اللذين يمثلان طبقتين متتاليتين من صفائح الدارة المغناطيسية نجد بأننا قد تمكنا من تحقيق تشابك بين صفائح النوى والجوف عند الوصلة ، ينتج عنه تداخل بين تعرجات وصلتي مسمرة .
إن تركيب وفك الدارة المغناطيسية من هذا النوع يتطلب وقتاً أطول منه في حالة الوصلة المسطحة بالرغم من أن التجميع لا يتم عادة صفيحة فصفيحة بل كل طبقتين معاً .
في هذا النوع من الوصلات ، عند اتصال صفيحة بصفيحة تجنب التدفق المرور من التعرجة ويتخذ له سبيلاً من الصفيحتين المجاورتين كما هو مبين في الشكل (12) ، مما ينتج عنه ضياع ضعف إضافي .



الشكل (-12-)

6 - شكل المقاطع :

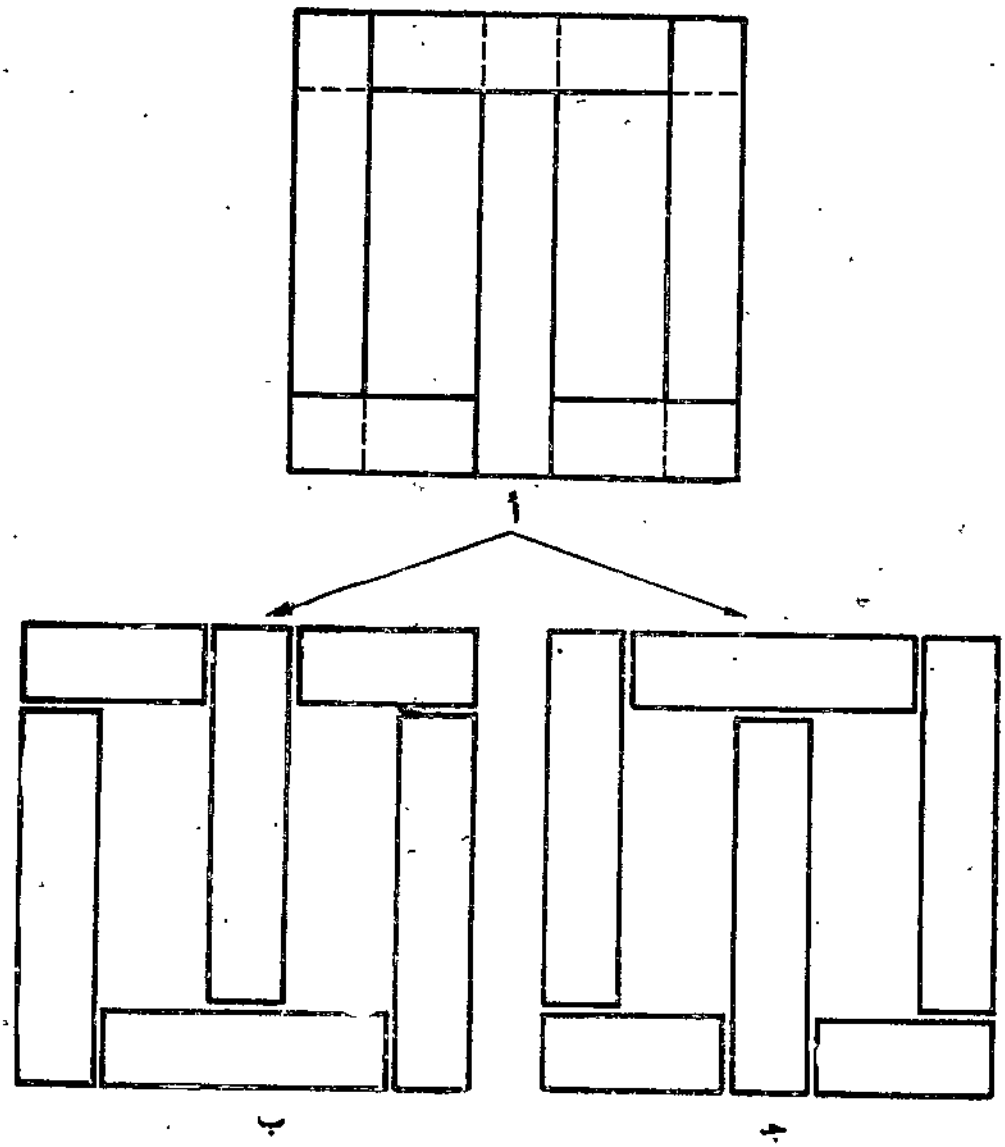
من السير أن نعلم أنه من صالحنا تحقيق أكبر مقطع للنواة داخل الدائرة أو المستطيل المعروف حوله الملف .
مثال : لو كان لدينا محولة مقطعها x وتمكنا من زيادة مقطعها (مقطع نواتها) بمقدار 10% ، فيمكننا عندئذ انشاء محولة أخرى جديدة لها المقطع للنواة الذي وجدناه وبذلك نكون كمية النحاس المطلوب لفها بالنواة للمحولة الجديدة تساوي 1/1.1 بالنسبة للنحاس اللازم للمحولة الى مقطع نواتها (x) .
أي قلت كمية النحاس عند زيادة مقطع النواة مع بقاء الأبعاد للمحولتين .
إذا كان الملف دائرياً يمكن أن يكون مقطع النواة مربعاً (درجة واحدة) أو مضلعاً (درجتان) أو حتى درجات أكثر ، أما فعالية كل مقطع هي مدى نسبة مساحة المقطع على مساحة الدائرة التي تحويه .



أ ـ صفائح النور والصور .
ب ـ منظور الوصلة
ج ـ تيارا تفوكو في حالة خلو الوصلة من صفيحة عازلة .

الوصلة السطحيـــة

الشكل (-10-)



أ ـ الدارة المغناطيسية
ب ـ الصفائح ذات الترتيب الزوجي
جـ ـ الصفائح ذات الترتيب الفردى

الوصلـة الشبكـــة

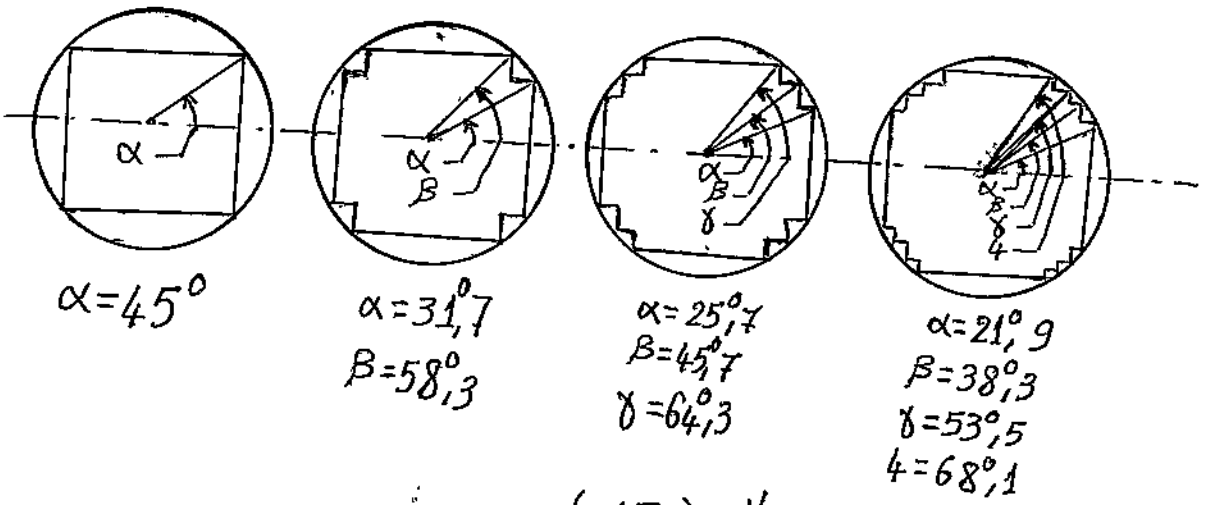
الشكل (-11-)

الجدول (1) يبين القيم الأعظمية لهذه الفعاليات :

عدد الدرجات	1	2	3	4	5	6	7
الفعالية الأعظمية	0,638	0,787	0,851	0,886	0,907	0,922	0,93

جدول (1)

والشكل (13) يبين بعض المقاطع التي تتحقق بها الفعالية الأعظمية



$\alpha = 45^\circ$

$\alpha = 31^\circ,7$
$\beta = 58^\circ,3$

$\alpha = 25^\circ,7$
$\beta = 45^\circ,7$
$\gamma = 64^\circ,3$

$\alpha = 21^\circ,9$
$\beta = 38^\circ,3$
$\gamma = 53^\circ,5$
$4 = 68^\circ,1$

شكل (13)

إن لعدد الدرجات حدود لا يتحسن تجاوزها لأسباب اقتصادية لأن أجور اليد العاملة تزداد بزيادة عدد الصفائح ذات الأبعاد المختلفة المستعملة في إنشاء الدارة المغناطيسية .

ومن المناسب أيضاً أن نشير إلى إمكانية قدر الدائرة بكاملها إذا عملنا الصفائح الحديدية كلها باتجاه واحد ، إلا أن ذلك يحتاج إلى عدد كبير من العروض نفصل بها الصفائح كما أن رص هذه المجموعة من الصفائح يشكل صعوبة حقيقية .

مثال على ذلك المحولة التي صممها العالم (Berri) .

يرجع علاقة قاعدة تحدد عدد درجات النواة الحديدية وفقاً لاستطاعة المحولة ، (هذا الجدول تجريبي) ويستخدم في تصميم المحولات كما هو مبين بالجدول رقم (2) :

جدول (2)

عدد الدرجات	1	2	3	4	5	6	7
استطاعة المحولة KVA	نادراً ما تستخدم في المحولات	≥ 10	≥ 100	≥ 500	≥ 1000	≥ 10000	< 100000

في بعض المحولات الصغيرة المعدة وأحياناً في المحولات المصغرة تكون الملفات مستطيلة الشكل، وفي هذه الحالة يكون مقطع النواة مستطيلاً بعيداً عن المربع. تتراوح نسبة سماكة الدارة المغناطيسية إلى عرض الصفيحة بين (1,5 ÷ 2) وهذه النسبة محددة باعتبارات تتعلق بتبريد المحولة.

في المحولات الكبيرة المغموسة في الزيت أو في المحولات المتوسطة التي تبرد بالهواء الطلق فإنه غالباً ما يجعل مسالك خاصة للتبريد في داخل الدارة المغناطيسية، ولهذا يجعل داخل النوى والجوار صفائح (والأفضل أن تكون من الحديد مع السليسيوم) بثخنة سليمتر واحد تقريباً مثبت بينها بين كل زوج معترضات لتأمين وجود معين لمجال بينها سيل مركز الزيت أو الهواء داخل الدارة المغناطيسية، ويجب أن لا تغير ثخنة هذه القطع حتى تأثير عملية الرص أو التمدد الحراري، ومن الضروري عند حساب مقطع الحديد الصحيح أن نطرح من المقطع الكلي مقطع هذه الأقنية.

لا يكفي أن يكون للمقطع الكلي للحديد فعالية جيدة بل يجب أن يكون المقطع الصافي أكبر ما يمكن من أجل المقطع الكلي، حيث يكون المقطع الصافي أصغر من الكلي بسبب عيوب الصفائح ووجود الطبقة العازلة بينها، لذلك ندخل هنا عامل الاستثمال وهو نسبة المقطع الصافي إلى المقطع الكلي بالنسبة للصفائح المعزولة عن بعضها في المحولة.

الجدول (3) يبين قيم عامل الاستثمال بالنسبة للصفائح المعزولة.

جدول (3)

ثخن الصفائح / طريقة العزل	35/100 mm	40/100 mm
بالورق	0,85	0,86
بالطلاء	0,89	0,90

جامعة حماه

7 - تجميع الدارات المغناطيسية:

ينبغي رص جميع مختلف عناصر الدارة المغناطيسية رصاً قوياً جيداً للاهتزازات، ترص النوى بإبراغ معزولة مرصوفة نصف واحد أو بعدة صفوف ويوزع الضغط على الكل بواسطة صفائح ثخينة من الحديد مع السليسيوم أو من الفولاذ العادي المغنط، وتشد الجوار أيضاً بإبراغ معزولة وصفائح رص تغطي كل سطحها وتسمى الألواح، وعدا عن وظيفة هذه الألواح في الرص فإنها تكون قاعدة استناد للمحولة ومرتكز لقطع شد الملفات، وبها تثبت الملحقات التي تتعلق بواسطتها المحولة ومرتكز لقطع شد الملفات، وبها تثبت الملحقات التي تتعلق بواسطتها المحولة بخطاف الرفع لنقلها وفكها، وتكون هذه الألواح من الخشب أو الحديد الصب أو البرونز، وهل تؤدي الرص أو الألواح إذا لم تكن من مواد عازلة للتيار يجب أن تفصل عن سطح الدارة المغناطيسية بعوازل ثخينة نسبياً لكي لا تخرق السدق المغناطيسي

* حساب الدارة المغناطيسية :

مقدمة : إن حساب الدارات المغناطيسية يتم بأمرين :
- حساب الضياعات في الحديد.
- حساب شدة التيار المغنط.

لذلك يجب معرفة أبعاد الدارة المغناطيسية (تحديد أبعاد الدارة المغناطيسية بالمقارنة مع محولة مصنوعة سابقاً ذات استطاعة قريبة) ومعرفة قيمة التحريض.

تكون التحريض في كل جزء من الدارة المغناطيسية سارياً إلى حاصل قسمة التدفق المغناطيسي السائد في هذا الجزء على المقطع الصافي للجزء ذاته.

يرتبط التدفق المغناطيسي والقوة المحركة الكهربائية المحرضة في الأولي والتردد وعدد اللفات الأولية بالعلاقة التالية :

$$E_1 = \frac{1}{\sqrt{2}} 2\pi f n_1 \Phi_m = 4{,}44 \cdot f \cdot n_1 B_m \cdot S$$

أو

$$B_m = \frac{E_1}{4{,}44 \cdot f \cdot n_1 \cdot S} \quad \text{.....(1)}$$

حيث : Φ_m - التدفق المغناطيسي

B_m - التحريض المغناطيسي الأعظمي ويقدر (Wb/m^2)،

E_1 - القوة المفالة (المجرية) للقوة المحركة الكهربائية الأولية وتقدر (V)،

S - المقطع الصافي للنواة في الدارة المغناطيسية ويقدر بـ (m^2)،

f - التردد ويقدر بـ (Hz)،

n_1 - عدد لفات الملف الأولي،

والتحريض المقبول عادة يكون في حدود [(1,35) Wb/m^2] لكن أحياناً يمكن أن يتجاوز التحريض من [(1,5) Wb/m^2] - أو يخفف إلى [(1) Wb/m^2].

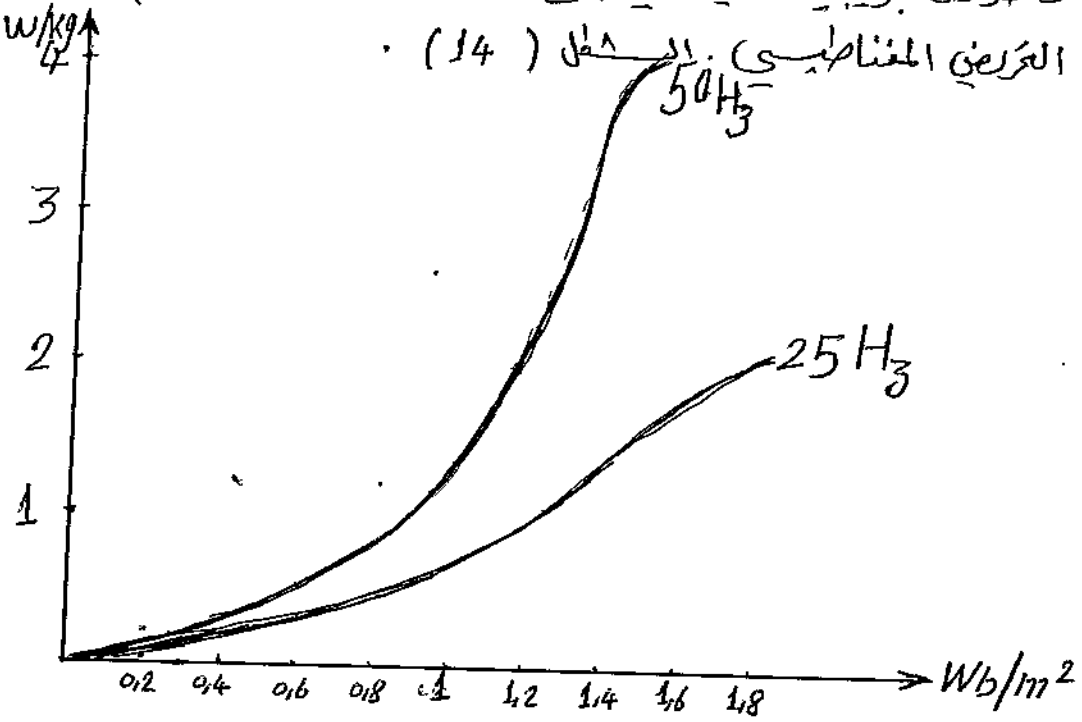
وفي محولات القياس ذات الدقة العالية يجب أن لا يتجاوز التحريض [(0,1) Wb/m^2].

حساب الضياعات في الحديد :

تشمل الضياعات في الحديد الضياعات الناشئة عن البطاء المغناطيسي والضياعات الناتجة عن تيارات فوكو وما ينشأ من ضياعات أخرى بسبب الشوائب وبعض مكونات المحول (كالبراغي وصفائح الرص ...الخ).

في المحولات المصممة ثلاثية الطور والموصولة نجم-نجم (للملفين الأول والثاني تحدث ضياعات أخرى في الحديد ناشئة عن التدفقات المغناطيسية الضائعة عن المدروج الثالث والتي تشترك في الصفحة بالأعمدة الثلاثة فتنتشر هذه التدفقات وتغلق عن طريق الوسط المحيط بالدارة وخلال جدران الحوض الحافظ للمحولة.

في الصناعة تحسب الصناعات بالبطاء وتيارات فوكو بتحديد بواسطة جداول ومخططات مأخوذة تجريبياً والتي تعطي مجموع الضياعات في واحدة الحجم أو واحدة الكتلة بدلالة التردد المغناطيسي الشكل (14) .



شكل (14)
منحنيات الضياعات من أجل (50, 25 Hz) للصفائح 1,3W

أما الدساتير التقريبية والتي تحسب بموجبها الضياعات بالبطاء وتيارات فوكو هي:

- الضياع الاستطاعي الناتج عن مقاومة البطاء المغناطيسي (P_H) بالواط يحسب بالعلاقة :

$$P_H = \eta \cdot f \cdot V \cdot B_m^2$$

- الضياع الاستطاعي الناتج عن تيارات فوكو يحسب بالواط أيضاً وبالعلاقة :

$$P_f = 1,64\, f^2 \cdot e^2 \cdot V \frac{B_m^2}{\rho}$$

حيث: - f - التردد ويقدر بالهرتز Hz .
- V - حجم الحديد ويقدر بالمتر المكعب m^3 .
- B_m - التحريض المغناطيسي الأعظمي مقاساً بـ Wb/m^2 .
- e - ثخانة الصفائح وتقدر بالمتر m .
- ρ - المقاومة النوعية للحديد وتقدر بـ $\Omega m^2/m$.

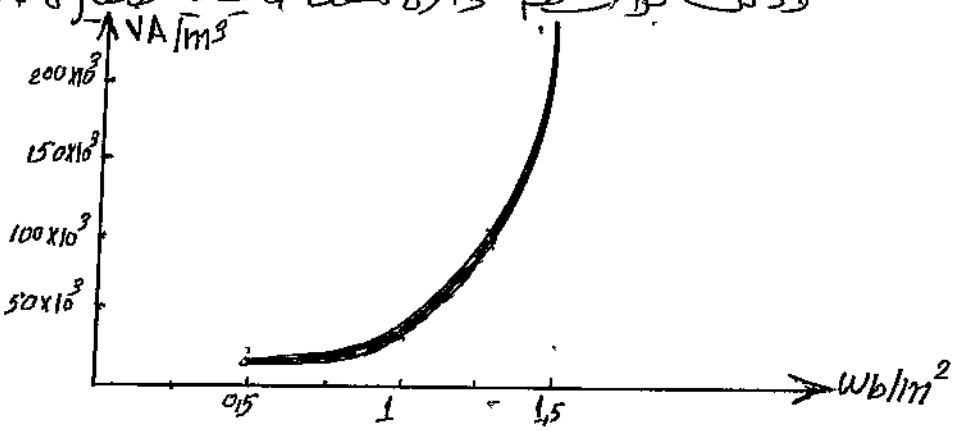
η عامل يتعلق بنوع الحديد وتتراوح قيمته بين 150 و 460 .

وبما كان المنحني المعتمد لحساب هذا استنتج من دارة مغناطيسية صغيرة، فمن المحتمل زيادة حاصل جمع الضياعات الذي حصلنا عليه بضربه بعامل الترابط (k) والذي تقل قيمته إلى (1,1 – 1,3) في الدارات المغناطيسية الكبيرة والصفائح عرضها (0,5) متر.
ومن المعتاد أيضاً أن نعلم أن الضياعات بالبطاء تحتل (80%) من الضياعات الكلية

حساب شدة التيار والمغنط:

التيار المغنط: هو التيار اللازم للمحافظة على التدفق المغناطيسي في الحديد وفي الوصلات المقدرة للدارة المغناطيسية.

إن الاستطاعة الفعلية الضائعة في واحدة الحجم أو في واحدة الكتلة من الحديد مقدرة بـ W/m^3 أو W/kg معروفة ومألوفة بينما الاستطاعة المغنطة لواحدة الحجم أو واحدة الكتلة من الحديد فالمقدرة بـ VA/m^3 أو VA/kg هي أقل مألوفة تماماً، ومع ذلك يمكننا إثبات أن الاستطاعة المغنطة اللازمة لدارة مغناطيسية كي تحافظ على قيمة معينة من التحريض المغناطيسي هي متناسبة مع حجم الدارة المغناطيسية ومتناسبة كذلك مع التردد. يمكننا إذاً أن نحصل على المنحني الذي يعطي الاستطاعة المغنطة اللازمة لواحدة الحجم أو واحدة الكتلة، من أجل تردد معين وبدلالة التحريض المغناطيسي وذلك بواسطة دارة مغناطيسية صغيرة، الشكل (15).



شكل (15)
منحنى الاستطاعة المغنطة للصفائح 1,3W وبتردد 50Hz

هذا وإذا كانت الدارة المغناطيسية تحوي وصلات متعددة يتوجب أن نأخذ بالاعتبار الاستطاعة المغنطة اللازمة لتغاريح هذه الوصلات، وهي معطاة بالعلاقة:

$$\frac{1}{4} f \cdot B_m^2 \; 10^{-7} \; V.A/m^3$$

حيث: f - هو التردد بالهرتز.

B_m - التحريض الأعظمي مقدراً بـ Wb/m^2

يجري حساب الاستطاعة المغنطة الكلية لدارة مغناطيسية بذات الطريقة التي اتبعت لحساب الضياعات الفعلية فيها. إذ يكفي أن نقسم هذه الدارة إلى عدد من الأجزاء بقدر ما هنالك من اختلاف في التحريض أو في نوعية هذه الأجزاء (نوى - عبور - وصلات)، ولكل قيمة للتحريض هنالك قيمة للاستطاعة المغنطة في واحدة الحجم أو الكتلة، فإذا ضربنا الحجوم أو (الكتل) الجزئية بالاستطاعة

المغنطة العاجزة الخاصة بها وجمعنا كل هذا يحصل بذلك على الاستطاعة المغنطة الظاهرية للدارة.

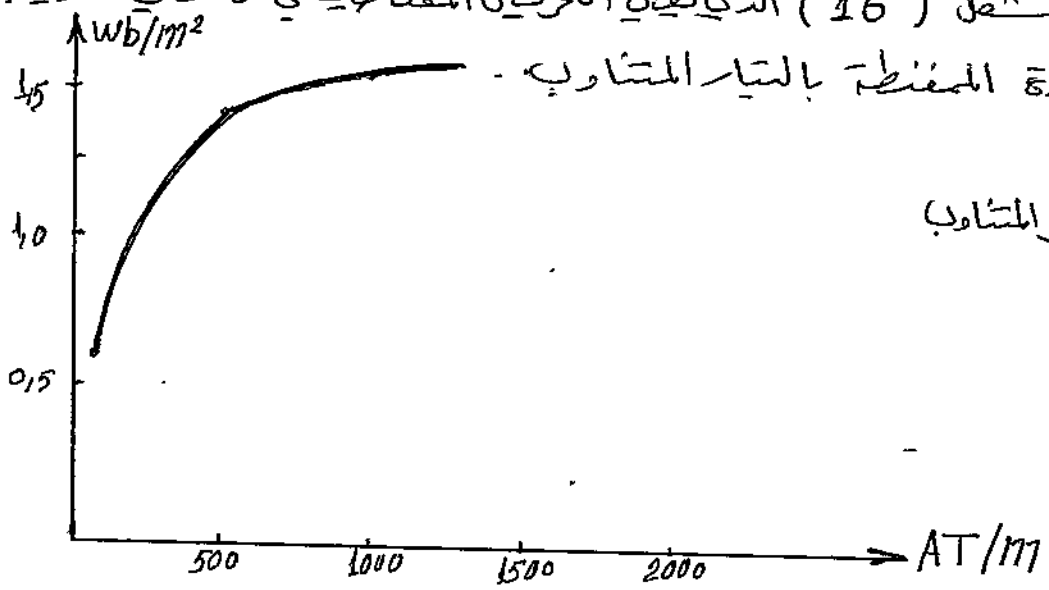
وبالتالي شدة التيار المغنط تساوي حاصل قسمة الاستطاعة المغنطة الظاهرية المحسوبة بهذه الصورة على توتر الملفات الأولية.

ملاحظة: إذا كانت الحولة ثلاثية الطور يتوجب أخذ ثلث الاستطاعة المغنطة الظاهرية ومن ثم تقسيمها على توتر الملف الأولي.

وإذا رغبنا في حساب التيار المغنط المرجع يكفي أن نطبق الدستور الآتي:

$$I_\mu \% = \frac{\text{الاستطاعة المغنطة} \times 100}{\text{الاستطاعة الظاهرية للحولة}}$$

إضافة إلى الطريقة السابقة يمكن حساب التيار المغنط اعتباراً من المنحني $B_m = f(n,i)$ كما هو مبين بالشكل (16) الذي يعطي التحريض المغناطيسي الأعظمي للحديد بدلالة الأمبير-دورة المغنطة بالتيار المتناوب.



شكل (16)
منحني التمغنط بالتيار المتناوب
للصفائح 1,3W

والقيمة الجديدة للتيار المغنط تساوي حاصل قسمة الأمبير-دورات الطلية المحسوبة بهذا الشكل على عدد اللفات للملف الأولي.

ملاحظة: إذا كانت الحولة ثلاثية الطور يتوجب أخذ ثلث الأمبير-دورات الطلية ومن ثم تقسيمها على عدد لفات الملف الأولي.

بصورة عامة ينبغي عدم المبالغة في دقة حساب التيار المغنط لأن الأخطاء في إنشاء الدارة المغنطيسية يمكن أن تؤدي إلى اختلاف محسوس في قيمة هذا التيار.

* إنشاء الملفات :

١- المعادن الناقلة :

إن المعادن الناقلة المستخدمة في صنع الملفات ثلاث معادن هي (النحاس ، الألمنيوم والزنك) وسوف نتعرض فقط للنحاس والألمنيوم لأنهما أكثر انتشاراً .

أ- النحاس : يتوصل بالتحليل الكهربائي ، وهو نقي جداً ويوجد على شكل سبائك تصفى بسافة ثم تسحب لتصل إلى المقطع المطلوب (دائرياً كان أم مستطيلاً أو بأي شكل آخر) (منعاً من صعوبة حقول كهربائية شديدة وتجنباً لحدوث تلف العوازل).

للنحاس الصافي ناقلية كهربائية جيدة ، ومقاومته على الدرجة الحرارية العادية تساوي ($0,016\ \mu\Omega.m$) وإذا كان محمراً فإن ثخنه يكون صغيراً لذلك يمكن سحبه إلى أسلاك رفيعة جداً تصل حتى قطر ($0,1\ mm$) .

ب- الألمنيوم : إن المقاومة النوعية للألمنيوم في الحالة الصافية تبلغ ($0,027\ \mu\Omega.m$) أي أكبر من المقاومة النوعية للنحاس بـ (٦٠ %) ويمكن أيضاً تصفيته وسحبه إلى أسلاك صغيرة أو مستطيلة ، لكن الألمنيوم أقل متانة من النحاس لذلك لا يمكن جعل أسلاكه بقطر صغير. إضافة إلى أن لحامه صعب (لذلك هذه العقبة مؤقتاً) ، كما أن الكتلة الصغيرة للألمنيوم التي تكسبه ميزة في بعض الاستعمالات ، الأقل مرغوبة بالنسبة للمحولات .

والتالي فإن العقبة الوحيدة التي تعترض سبيل استعمال الألمنيوم في ملفات المحولات هي إذاً مقاومته النوعية ، لذلك يؤدي استعماله إلى تكبير حجم المحولات وموثوقيته في عملها أقل .

والجدول (٤) يبين أهم الصفات الفيزيائية العامة للنحاس والألمنيوم .

الصفات الفيزيائية العامة		معدن النحاس	معدن الألمنيوم
نقطة الانصهار C°		1083	658
الكتلة النوعية في الدرجة $20C^\circ$	Kg/m^3	8950	2700
عامل التمدد الطولي بين $0C^\circ$ و $100C^\circ$		$16,6 \cdot 10^{-6}$	$23 \cdot 10^{-6}$
الحرارة النوعية بين $17C^\circ$ و $100C^\circ$	$KCal/kg \cdot C^\circ$	0,097	0,22
الناقلية الحرارية في الدرجة $0C^\circ$	$W/m \cdot C^\circ$	372	209
المقاومة الكهربائية النوعية في $20C^\circ$	$\Omega.m$	$0,01724 \cdot 10^{-6}$	$0,0286 \cdot 10^{-6}$
عامل الحرارة		$3,99 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-3}$
موديل المرونة	N/m^2 (Pascal)	$127500 \cdot 10^6$	$66200 \cdot 10^6$
حد الانقصاف	N/m^2 محمر	$245 \cdot 10^6$	$78,5-98 \cdot 10^6$
	N/m^2 مسحي	$390-441 \cdot 10^6$	$167-196 \cdot 10^6$
الاستطالة النسبية المئوية	محمر	40	35-40
	مسحي	5	4-6

جدول (4)

2- عزل النواقل:

من أجل الأسلاك المستديرة المقطع وذات الأقطار الصغيرة (أصغر من $1 \div 1,5$ mm) فقد تفنن الصانعون بعمل عوازل أقل ما يمكن من الرقة. وهي تتكون من عدة طبقات من طلاء مرن وله قدرة عزل عالية، إن ثخن هذه الطبقات العازلة يتغير مع قطر السلك. فمثلاً يكون ثخنها (0,03 mm) لسلك قطره (0,2mm) ومادياً (0,09 mm) لسلك قطره (2mm)، وإذا كان السلك طويلاً جداً يتبين أنه تظهر عيوب وأخطاء بالطلاء (ثقوب مسامية وسكرية).

لذلك لا يستعمل مثل هذا العزل إلا في اللفات الصغيرة وذات الكراسي الصغيرة، وغالباً ما يكون هذا العزل يعازل رقيق جداً (ذي الياف حريري أو قطن أو ورق).

أما الأسلاك ذات القطر الكبير فإن ثخنه العازل ليس أمراً هاماً كما في حالة الأقطار الصغيرة، لذلك تعزل الأسلاك ذات القطر الكبير بعدة طبقات من ألياف الحرير أو القطن أو الورق وتختلف عدد الطبقات بحسب مقدار العزل المطلوب، وقلما يتجاوز عددها الأربع طبقات.

تعزل الأسلاك المستطيلة المقطع كما تعزل الأسلاك ذات القطر الكبير وفي بعض الأحيان يستعمل شريط قماشي مدهون وطري (من القطن أو الحرير). وقد أدخل منذ فترة ليست بعيدة جداً استعمال عازل أساسه ألياف زجاجية، منظره يشبه القطن. وخاصته المميزة هو مقاومته الكبيرة للحرارة.

3- أشكال الملفات:

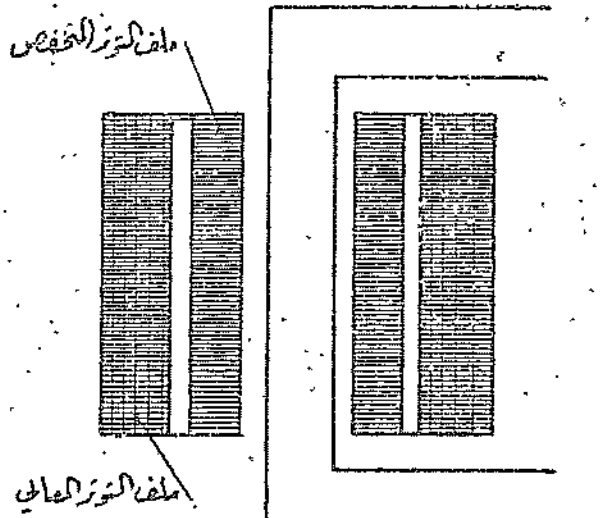
إن الملفات هي العناصر في المحولة التي تتصل بواسطة المخرقات بالشبكة الكهربائية التي تغذي المحولة بالطاقة الكهربائية أو توزع هذه الطاقة بواسطة شبكة التوزيع، والمحولات تصنع عادة تحوي ملفين /واحد/ للتوتر العالي والآخر للتوتر المنخفض، من وجهة نظر ترتيبها يمكن تجزئة الملفات إلى نوعين: - الملفات المتداخلة.
- الملفات المتناوبة.

- تسمى الملفات متداخلة عندما يكون ملف التوتر العالي وملف التوتر المنخفض اسطوانيي الشكل ومتحدي المحور، وطالما طولاهما متساويين وطول النزاة الحديدية تقريباً، وهذا النوع شكلان P- المتداخل البسيط (فيه يشكل كل ملف اسطوانة واحدة.)

ب- المتداخل المضاعف (وفيه يشكل أحد الملفين اسطوانة واحدة بينما الملف الثاني يشكل اسطوانتين الواحدة تكون داخلية والثانية خارجية)

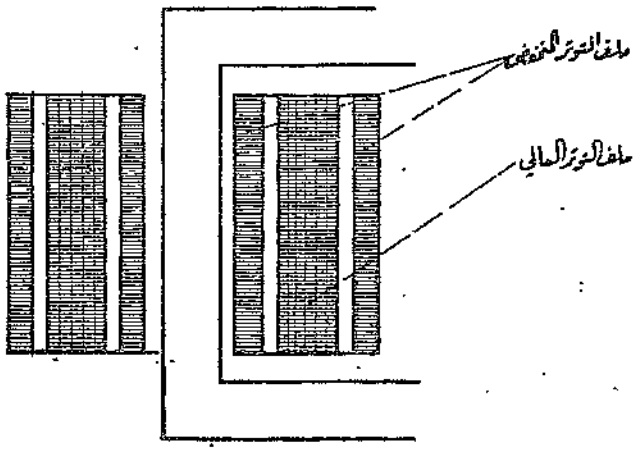
الشكلين (17) و (18) يبينان الملفات المتداخلة.

- تسمى الملفات متناوبة كما في الشكل (19) إذا كان كل ملف مقسم إلى عدة ملفات صغيرة وللملفين نفس القطر الداخلي والخارجي تقريباً. وأثناء التركيب تضع جزء من ملف التوتر المنخفض ثم جزء من ملف التوتر العالي وهكذا بالتناوب، وعدد أجزاء التي يقسم إليها كل ملف يتعلق بمقدار الضياعة



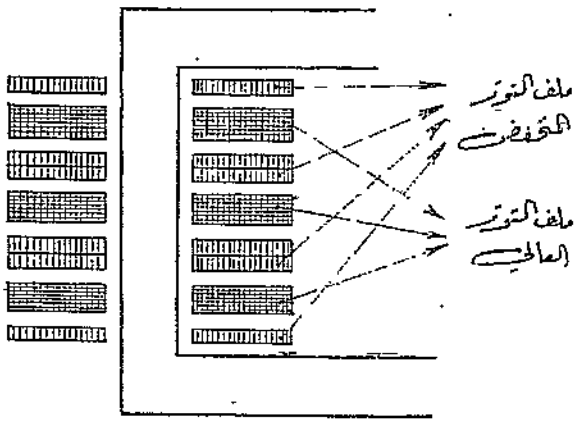
ملفات متداخلة بسيطة

شكل (17)



ملفات متداخلة مضاعفة

الشكل (18)



الملفات التناوبية

الشكل (19)

المطلوبة لهبوط التوتر في المحولة.
ولكي نحصل على توازن أفضل للأطوار - دورات ونقلل من قيمة ردة التسرب للمحولة نضع من كل طرف نصف جزء من أحد الملفات وغالباً ما يكون التوتر المنخفض فتسهل بذلك عملية العزل بالنسبة لجسر المحولة.

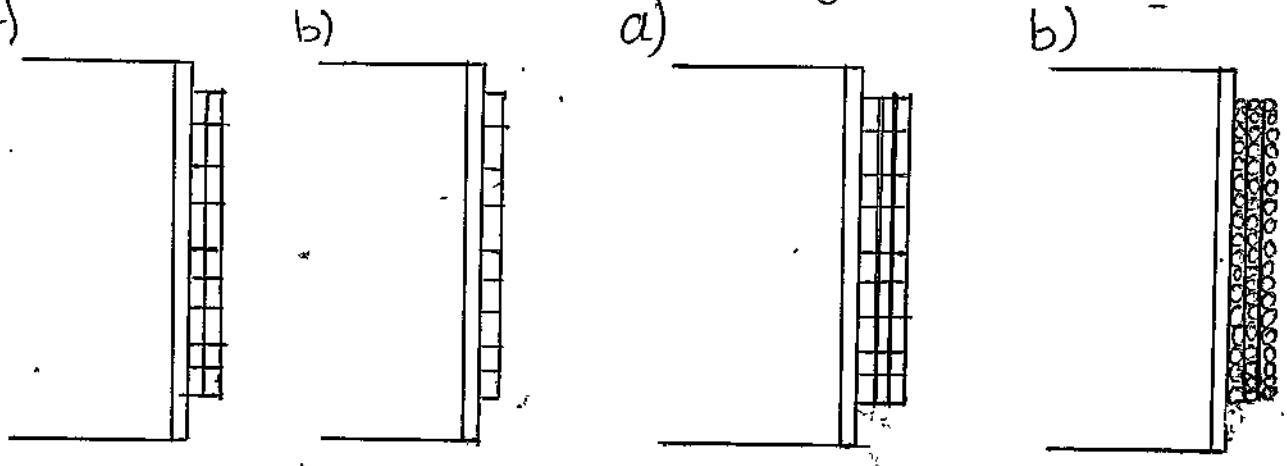
إن الملفات المتناوبة وبفضل التجميعات المختلفة التي يمكن جمع الملفات تناسب بعض حالات خاصة: (تحقيق ردة تسرب - تحقيق مقاومة ميكانيكية جيدة للاجهادات الكهرديناميكية في حالة الدارة القصيرة) ولكن من سيئاتها العزل الصعب والمرتفع الكلفة لذلك لا تستعمل الملفات المتناوبة للتوتر العالي جداً.
أما الملفات المتماثلة فهي تناسب جميع الحالات الأخرى، ولذلك هي الأكثر استعمالاً ولا تكون الملفات المتناوبة إلا إجبارياً محدوداً جداً.

كما يمكن تصنيف الملفات حسب شكلها إلى ملفات دائرية أو مربعة أو مستطيلة حيث أن المربعة والمستطيلة لا تستعمل إلا في المحولات ذات الاستطاعة الصغيرة وذات التوتر المنخفض.

*الملفات المتداخلة:

* ملف التوتر المنخفض:

إن التوتر المنخفض للمحولات التي لا تتجاوز استطاعتها (1000 KVA) يكون في حدود (400 V - 220 - 110)، أما في المحولات الأكبر فيكون هذا التوتر أعلى وقد يصل إلى (3 kv أو 5 kv أو 10 kv أو حتى 15 kv) في المحولات ذات الاستطاعة الصغيرة يكون ملف التوتر المنخفض اسطوانياً ويكون من عدة طبقات من سلك غليظ ومقطعه مستدير أو مستطيل

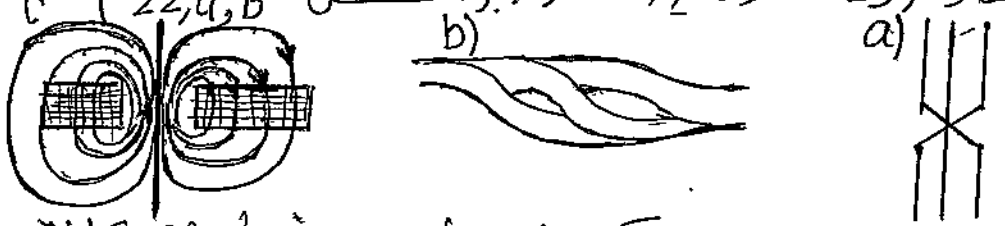


شكل (21) شكل (20)

ويوضع بصورة عامة بين الطبقات غلاف من الورق أو القماش لتقوية العزل (شكل 20,a و b) وإذا زادت الاستطاعة وبقي التوتر كما هو فإما مقطع النواة في الدارة المغناطيسية يكبر وبالتالي المرتفع المغناطيسي وبالتالي عدد اللفات في الملف ينقص، وبالتالي ملف التوتر المنخفض سيكون

مؤلفاً من طبقة واحدة من الأسلاك شكل (21, b) ، وإذا زادت الاستطاعة أكثر تزداد شدة التيار وبالتالي مقطع الأسلاك ، ولأسباب تتعلق بسهولة اللف وانقاص تيارات فوكو تقسم الناقل إلى عدة أسلاك مجموع مقاطعها يساوي المقطع المطلوب وتوضع جنباً إلى جنب وتوصل مع التوازي عند أطراف الملف (شكل 21, a).

يجب أن تتبادل هذه الأسلاك بين بعضها في منتصف العمود حتى تكون أطوال كل منها ذات المقاومة وذات ردة السرب. (الشكل 22)



شكل (22)

والشكل (22, c) يبين كيف أن الأسلاك الثلاثة تعاني تدفقات سرب مغناطيسية مختلفة وبالتالي فإنها إذا لم تجر عليها عملية التبادل تتقاسم التيار بصورة غير متكافئة عندما تكون موصلة على التوازي.

إن شكل ملفات التوتر المنخفض للمحولات التي تزيد استطاعتها عن 1000 KVA يكون دائماً كالبرميل وشدة التيار تضطرنا إلى تجزئة الناقل إلى أجزاء تربط على التوازي ويجب طبعاً تحقيق التبادل بين هذه الأجزاء الواقعة في صف واحد عند منتصف الارتفاع.

* ملف التوتر العالي :

في ملفات التوتر العالي للمحولات ذات الاستطاعة الصغيرة يكون التيار صغيراً وبالتالي تحتاج هذه الملفات إلى أسلاك مقطعها صغير يكون عادة مستديراً ، يتم عملياً صنع هذا الملف من طبقات موصلة على التسلسل (كما في حالة التوتر المنخفض) وتلف كل طبقة لحوي ارتفاعها وفي ارتفاع النواة عندئذٍ عدداً كبيراً من اللفات ، والتوتر بين أول لفة من طبقة واللفة الأخيرة من الطبقة التالية يكون كبيراً جداً ، لذلك يجب أن نلحظ في هذه الحالة عزل إحداها عن الأخرى بين مختلف الطبقات وهذا العزل يتكون من طبقات من الورق أو القماش المشمع، إن مثل هذا الملف يشكل حجماً كبيراً وصعب تبريد داخله لذلك يعيد إلى تقسيم ملف التوتر العالي إلى عدة وشائع جزئية توصل مع بعضها على التسلسل.

وكل وشيعة تحوي عدة طبقات ، وفي كل طبقة عدد قليل من اللفات من تكون التوتر بين كل طبقتين من جدود (100 V) لذلك لا تكون بحاجة إلى عزل خاص بين الطبقات فورقة سمكها (0,1 mm) تكفي.

إذا ازدادت الاستطاعة مع بقاء التوتر على حاله يزداد مقطع الأسلاك ويزداد مقطع النواة وبالتالي التوتر في كل لفة ، لذلك يجب ألا تقل عدد اللفات في كل وشيعة حتى لا يتجاوز حد التوتر بين طبقتين في هذه الوشيعة حداً

* الملفات المتناوبة:

هذه الملفات لاتتطلب صنعاً خاصاً عدا عن أن ملف الوتر المنخفض يكون مجزءاً إلى وشائع عرضية. ومن ثم فإن أماناً أكثر في حساب ردة الضرب والتي تكون عادة "منتشرة" في الاتجاه القطري.

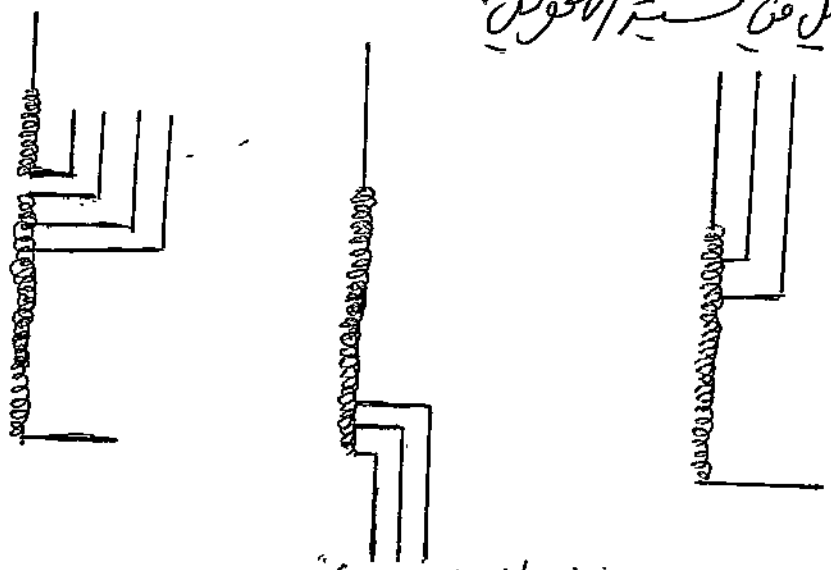
يجب أن ننتبه بأن التدفق المضرب هو بالاتجاه القطري كما أن عبء الناقل الذي سيلغي أن يكون مجزءاً لكي نتجنب تيارات فوكو هو العبء المتعامد مع هذا الاتجاه.

إن الملفات المتناوبة في الحولات المصفحة ذات النوى الأفقية هي في الغالب من النوع الذي فيه لفة واحدة لكل طبقة وملفوفة في قالب مستطيل كبير، فإذا كانت لفة الوتر المنخفض ذات تيار كبير فإنه يستعمل عدة أسلاك مرتبطة مع التوازي.

* المآخذ الإضافية:

لكي نتمكن من التحكم في الوتر الثانوي نجهز كافة الحولات تقريباً بمآخذ إضافية تسمح بتغيير نسبة التحويل زيادة أو نقصاناً عن قيمتها الاسمية. تكون هذه النسبة عادة بالمبادل (5%) من نسبة التحويل الاسمية. عادة هذه المآخذ تكون في ملف الوتر العالي لأن الوتر المنخفض لايحوي عادة" في عدد كاف من اللفات يسمح بمثل هذه التحويلات.

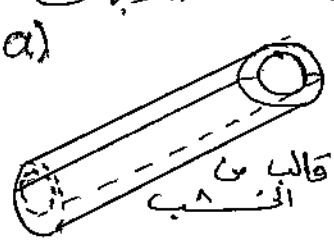
توضع هذه اللفات عادة" من طرف الملف ويفضل أن تكون من جهة النقطة الحيادية في الحولات الثلاثية الطور أو أن تكون في وسط الملف كما هو مبين في الشكل (23)، وهذه الملفات توصل بمآخذ خارجية ومبدل تيار ساعد مثبت في غلاف الحولة. ويجب دائماً قطع التيار عن الحولة قبل إجراء أي تبديل في نسبة التحويل.

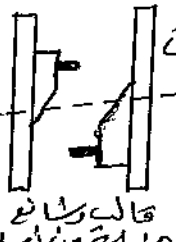


شكل (23)

* صنع الملفات :

تصنع الملفات بلف الناقل وهو معزول على قالب تركب عليه فرشاة، عادة يكون من الخشب المقوى، وهو عبارة عن اسطوانة طويلة من الخشب تثبت عليها فرشاة اللف قالب الوشائع الجزئية المؤلفة من أسلاك مستديرة مؤلف من اسطوانة وصندوق من الخشب وفيها وجهان جانبيان يظلان عنقاً اسطوانياً، وهذان الوجهان يساعدان على حصر السلك، وإذا كانت الوشيعة مؤلفة من لفة واحدة لكل طبقة وكان السلك سميكاً فيمكن استعمال وجه واحد فقط.





الشكل (24)

وهناك اللف أسطح من خارط الاشتاغ العادية وعلى الغالب أقل منها سرعة ومع هذا فإن لف السلك يتم بسرعة شديدة (500-700 R.P.m)، ويجهز هذه الخارط بجهاز ليقطع السلك الشعاعي المناسب إضافة إلى عداد لضبط عدد اللفات. انظر الشكل (24 a و b)

* معالجة الملفات :

تخضع الملفات لمعالجة خاصة لزيادة صفاتها العازلة، والملفات تحوي دائماً رطوبة وهواء، وتهدف المعالجة إلى التخلص من هذه الرطوبة والاستعاضة عن الهواء بجسم عازل كهربائياً وناقل جيد للحرارة وماص بأقل ما يمكن للرطوبة.

لذلك نبدأ بتجفيف الملفات في وسط خامل يمكن إجراؤه حتى 100/ درجة مئوية وإفراغه من الهواء ومتى تم تبعيد الملف الموضوع في داخل المعلبة المحلية عن ماء نتبدأ عملية التجفيف قد تمت، ثم تغمس الملفات في طلاء مناسب يتمتع بالصفات الكهربائية حتى تتخلل إلى عمق الملفات ثم تسخن بدرجة (100) درجة ثم يجب أن تكون الوسط خالية من التخلص من المواد الحال للطلاء.

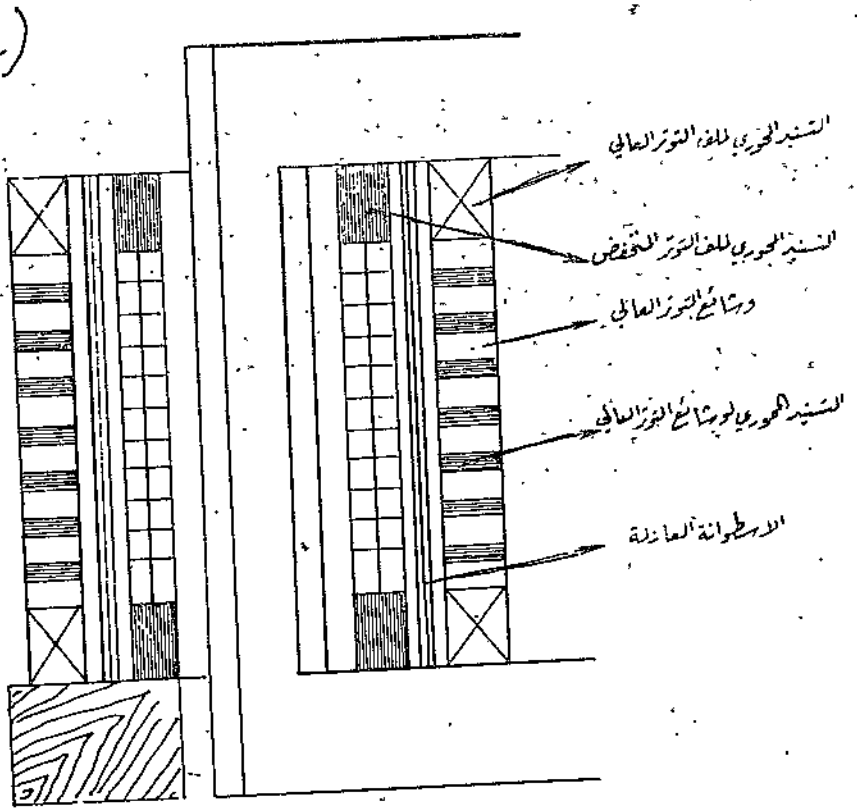
* تركيب الملفات :

يركب الملف ذو التوتر المنخفض في الداخل (على الذراع الحديدية) ويوضع الملف ذو التوتر العالي - وإذا كان هناك ملف ثالث متوسط التوتر فإنه يوضع بين الاثنين -. تصمم الملفات حتى تكون عند تركيبها بصورة ما أمكن من القطع الموصلة بالأرض (الذراع المغناطيسية - الألواح - الحوض) وأن تكون متباعدة بعضها عن بعض بالشكل المناسب.

ووضع الملفات في مواضعها يجري بواسطة طريقتين للتثبيت:

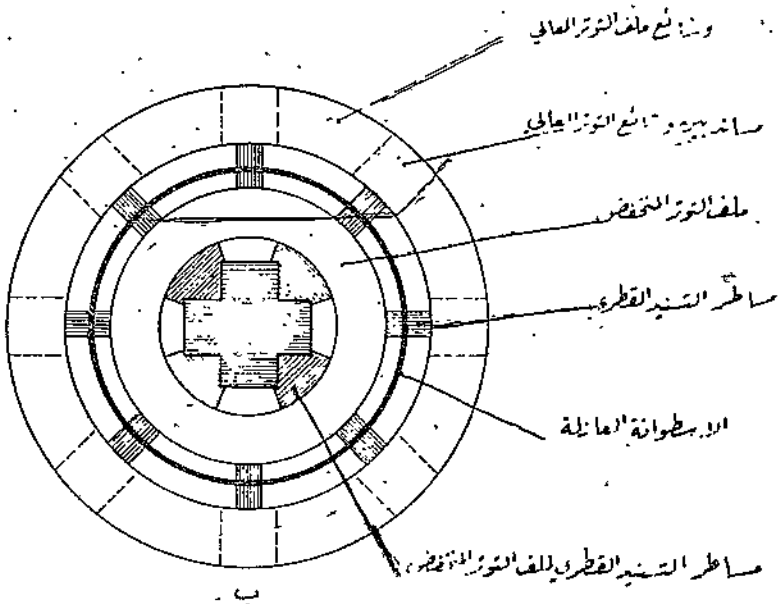
- التثبيت القطري أو المركزي، شكل (24 b).
- التثبيت المحوري، شكل (24 a).

a)



أ: التسنيد المحوري

b)



ب: التسنيد القطري

الشكل (2.4)

التسنيد القطري يتم بواسطة ساطر مقطعها اسطواني أو بيضوي أو مستطيل يوضع على كامل الطول بين الدارة المفاصلية وسلك التوتر المنخفض من جهة وبين سلك التوتر المنخفض والاسطوانة العازلة وبين هذه الأخيرة وسلك التوتر العالي. يجب أن يكون عدد صدوع الساطر بما يكفي لأن لا يتغير شكل الملفات بتأثير الاجهادات الميكانيكية التي تنشأ عند فتح الدارة القصيرة.

أما التسنيد المحوري للملفات البرميلي فيتم بواسطة قطع مصقولة لها شكل الطل الحلزوني للفة الأخيرة عند الأطراف ومثقوبة ليمر الناقل منها وهي ترتكز على الحبور وعلى مواخير الألواح.

والتسنيد المحوري للملفات ذات اللفات المتباعدة، أو اللفات المكونة من وشائع مزلقة يتم بواسطة ساند متباعدة وموزعة بصورة منتظمة على المحيط ومثبتة بشريط عازل أو مسوكة بساطر داخل أو خارج الملف.

أما تسنيد الملفات المتناوبة فهو مماثل لتسنيد الملفات المتداخلة ذات الوشائع الجزئية.

* حساب الملفات :

لكي نتمكن من حساب الملفات يجب أن نتناول مايلي:

1- حساب أبعاد الملفات .
2- حساب الضياعات .
3- حساب هبوط التوتر .
4- حساب الاجهادات الكهرديناميكية .

تلك الحسابات سنجريها مبدئياً من الايجاز (اي ذكر القانون وتعريف مقاديره) وسنلقي نظرة على بعض الحسابات والقيم .

1- حساب أبعاد الملفات :

إن مصطلح الملف والطاس الذي سنتناوله التوالي يجب أن نتوقف عند بعض الأمور المتعلقة بالدارة المغناطيسية بحيث تكون مساحة "مقطع" لها ، حيث أن ثخانة وارتفاع الملفات تكون دائماً أكبر مما تقتضيه الحسابات النظرية (عدد اللفات × مقطع الناقل) ففي أثناء عملية الصنع تتغير هذه القيم بحدود تتراوح بين (10% ± 5) .

2- حساب الضياعات :

يوجد تشابه بين الضياع في الحديد (تيار تكتل الحديد وشدة التريض) وبين الضياع في الملفات (تكتل المعدن الناقل والتيار) .

فكما أن التريض هو حاصل قسمة التدفق المغناطيسي على المقطع الصافي للحديد ، فإن كثافة التيار هي حاصل قسمة (شدة التيار) على المقطع الفعلي للمعدن

$$S = \frac{n.I}{n.s} = \frac{I}{s} \quad A/m^2$$

تشمل الضياعات في الملفات :

1- الضياع بواسطة جول :

إن الضياع بواسطة جول في ملف يعطى بالعلاقة :

$$W = R.I^2 \quad (Watt) \text{ ---- } (2-1)$$

حيث : $R = \rho \frac{L}{S}$ مقدرة بالأوم عندما تكون (ρ) مقدرة بالأوم.متر و S بالمتر المربع .

بإجراء بعض التحويلات البسيطة ⇐

$$W = R.I^2 = \rho \frac{L}{S} I^2 = \rho L S \left(\frac{I}{S}\right)^2 = \frac{\rho}{d} m S^2 \text{ ---- } (2-2)$$

حيث : S - كثافة التيار مقدرة بـ A/m^2

m - كتلة الملف مقدرة بـ Kg

d - الكتلة النوعية للمعدن مقدرة بـ Kg/m^3

ب- الضياع بتيارات فوكو في الملفات:

بالرغم من كل الاحتياطات سيبقى هناك ضياع اضافي في الملفات ناتجة عن التيارات الطفيلية، والعامل (K) يجب ضربه بالضياعات الناتجة عن مقاومة جول من تشمل معه الضياع بتيارات فوكو والعامل K يساوي الى:

$$K = 1 + \frac{\left[\frac{8\pi^2 m \cdot b \cdot f}{\rho h}\right]^2 \cdot a^4}{12} \left(\frac{4n^2-1}{12} + \frac{1}{60}\right) \cdot 10^{-14} \quad \text{---(2-3)}$$

حيث: ρ - المقاومة النوعية للناقل في الدرجة $75\,C^\circ$ مقدرة بـ $\Omega.m$

f - التردد مقدراً بـ Hz

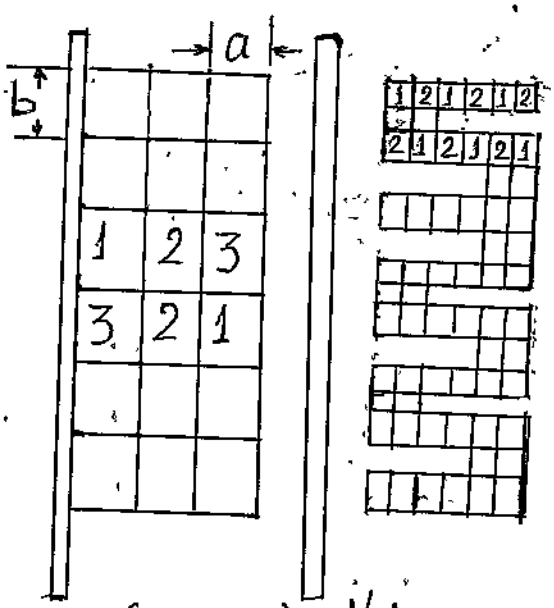
h - خط القوة للتدفق المتناوب مقدراً بالمتر. (هذا الارتفاع يساوي ارتفاع الملف)

a - بعد السلك في الاتجاه العمودي على اتجاه التدفق المتناوب مقدراً بالمتر.

b - بعد السلك في الاتجاه الموازي للتدفق المتناوب مقدراً بالمتر.

m - عدد الأسلاك الممدودة بالاتجاه الموازي للتدفق المتناوب.

n - عدد النواقل ممدودة في الاتجاه العمودي على اتجاه التدفق المتناوب



مثال (2-1)

ففي حالة السلك (2-1) نجد أن:

في ملف الوتر المنخفض:

$m = 6$

$n = 3$

وفي ملف الوتر العالي:

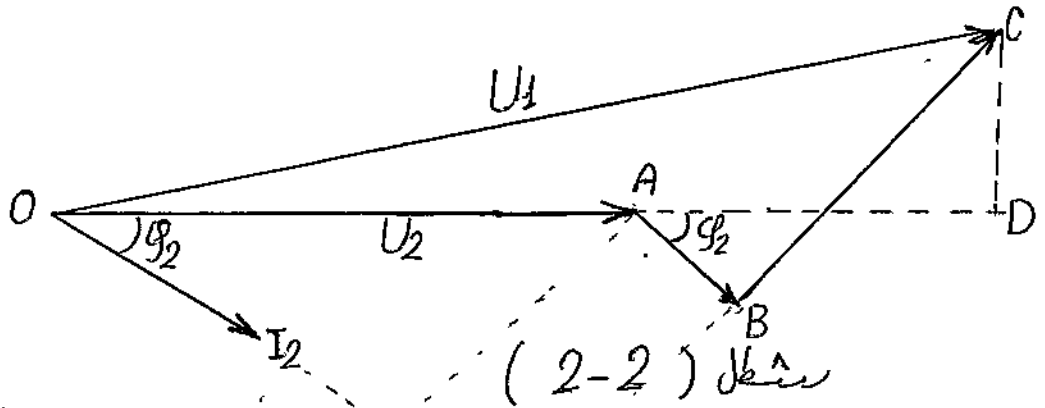
$m = 8$

$n = 6$

جـ- الضياع في الألواح وجدران الحوض:

إن جزءاً من التدفق المتناوب تغلق خلال الدارة المغناطيسية ولكن القسم الأعظم ينتشر في الحيز المحيط بالملفات ويلاقي وقطاعاً معدنية خاصة بجدران الحوض حيث يسبب ضياعاً، والقوانين التي تعطي هذه الضياعات تشاء أنها تصح بأشكال عملية، لذلك نكتفي بأنه يشير أنه في المولدات الكبيرة (أكبر من 100MVA) والتي فيها رد فعل المتناوب تتراوح بين (8÷12%) يجب أن يلاحظ للصيانة اعطاء الضياعات للملفات بنسبة تتراوح بين (10÷15%) وذلك بفتح الأعين بين الاعتبار هذه الضياعات الخاصة في المولدات الكبيرة لاعتبار أكثر من 0.5%.

3- حساب هبوط التوتر :



الشكل (2-2)

المخطط الشعاعي لهبوط التوتر، الشكل (2-2) يحسب وفقاً لطريقة (Kapp) حيث :

$\overrightarrow{AB}$ يمثل هبوط التوتر الأومي وطوله يساوي : $\Sigma R I_2$

$\overrightarrow{BC}$ يمثل هبوط التوتر التحريضي وطوله يساوي : $\Sigma Lw.I_2$

$\overrightarrow{OC}$ يمثل التوتر الأولي منقولاً إلى الثانوي وطوله يساوي $U_1' = U_1 \cdot \frac{n_2}{n_1}$

وهبوط التوتر يساوي :

$$OC - OA = U_1' - U_2 = U_1 \cdot \frac{n_2}{n_1} - U_2 \quad ----(2-4)$$

إذا أسقطنا المحيط $OABC$ على اتجاه التيار I_2 ⇐

$$U_1' = U_1 \cdot \frac{n_2}{n_1} = \sqrt{(U_2 \cos\varphi_2 + \Sigma R I_2)^2 + (U_2 \sin\varphi_2 + \Sigma Lw I_2)^2}$$

وإذا نشرنا هذه العلاقة بالنسبة وأهملنا الحدود العالية الأس نجد:

$$U_1 \cdot \frac{n_2}{n_1} - U_2 = \Sigma R I_2 \cos\varphi_2 + \Sigma Lw.I_2 \sin\varphi_2 + \frac{1}{2U_2}(\Sigma Lw I_2 \cos\varphi_2 - \Sigma R I_2 \sin\varphi_2)^2$$

عادة نهمل هبوط التوتر بالقيمة السابقة ونكتفي بالقيم المطلقة، وكذلك الحال بالنسبة لهبوط التوتر الأومي والتحريضي، لذلك تصبح العلاقة السابقة عند اعطاء هبوط التوتر بالمئة :

$$R\cos\varphi_2 + X\sin\varphi_2 + \frac{1}{2U_2}(R\sin\varphi_2 - X\cos\varphi_2)^2 \quad ----(2-5)$$

حيث : R و X هما هبوط التوتر الأومي والتحريضي مقدرين بالنسبة المئوية.

وبالتالي وفي بعض الحالات نكتفي بالحد الأول والثاني وبالتالي فإن OC تساوي تقريباً OD ⇐ أي المسقط OD ⇐ أي الفرق سيكون ليس كبيراً إلا في الحالة التي فيها $\varphi_2 = 0$ ، و X كبيراً جداً.

في محولات صارة الآلات الكهربائية قد عرفنا بالسابق المحولات
أن R و X يحسبان بسهولة لعد معرفة هبوط التوتر الأومي الأول
R_n وهبوط التوتر التفاعلي الاسمي X_n :

$$\left.\begin{aligned} R &= R_n \left(\frac{U_{2n}}{U_2}\right)^2 \cdot \frac{S}{S_n} \\ X &= X_n \left(\frac{U_{2n}}{U_2}\right)^2 \cdot \frac{S}{S_n} \end{aligned}\right\} \quad \cdots (2-6)$$

حيث: S - الاستطاعة الظاهرة المأخوذة من المحولة ،
S_n - الاستطاعة الظاهرة الاسمية للمحولة ،

بالإضافة إلى هبوط التوتر هناك ميزة هامة في المحولات تلعب دوراً كبيراً في ربط المحولات على التوازي وهي توتر الدارة القصيرة ويمكن قياسه مباشرة على المحولة، وهو يقاس بالنسبة المئوية :

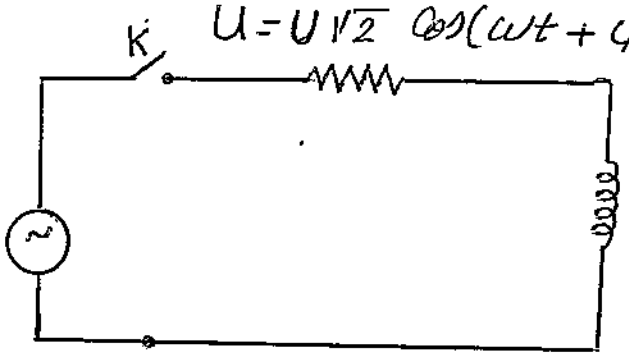
$$U_{sc}\% = \sqrt{R_n^2 + X_n^2} \quad \cdots (2-7)$$

والخلاصة فإن حساب هبوط التوتر وتوتر الدارة القصيرة للمحولة يقتضي معرفة هبوط التوتر الأومي وهبوط التوتر التفاعلي الاسميين .

* حساب الاجهادات الكهروديناميكية في الملفات:

لتكن لدينا الدارة التحريضية (L، R) المبينة بالشكل (2-3)، فإذا طبقنا عليها في اللحظة (0) توتراً جيبياً (u) :

$$u = U\sqrt{2}\cos(\omega t + \psi) \quad \text{---(2-8)}$$



شكل (2-3)

وبالتالي تكون الصيغة الرياضياتية للتيار الساري في هذه الدارة معطاة بالعلاقة التالية :

$$i = I\sqrt{2}\left[\cos(\omega t + \psi - \varphi) - \cos(\psi - \varphi)\cdot e^{-\frac{R}{L}t}\right] \quad \text{--(2-9)}$$

حيث : I – القيمة الفعالة للتيار وتساوي $I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + X_L^2}}$

φ – زاوية تبدد الطور للتيار $tg\varphi = \frac{X_L}{R}$

فإذا طبقنا الشروط المختلفة التي يتم منها تطبيق التوتر اللحظي (u) ينتج ما يلي :

أ- إذا كانت $\psi = (\varphi \pm \frac{\pi}{2})$ ⇐ القيمة اللحظية للتيار

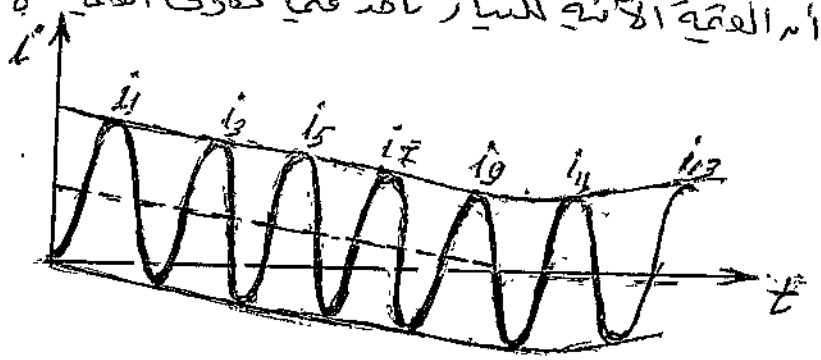
$$i = \pm I\sqrt{2}\sin\omega t \quad \text{.....(2-10)}$$

أي أن التيار يأخذ شكله الدائم الجيبي وبالتالي لا تحصل زيادة في شدة التيار نتيجة تطبيق التوتر.

ب- $\psi = \varphi$ أو $\psi = \varphi + \pi$ عندئذٍ التيار يساوي :

$$i = \pm I\sqrt{2}\left(\cos\omega t - e^{-\frac{R}{L}t}\right) \quad \text{---(2-11)}$$

إن تحول هذا التيار بدلالة الزمن معطى بالشكل (2-4)، والذي يبين أن القيمة الآنية للتيار تأخذ قيماً تفوق القيمة الأعظمية للتيار الدائم.



الشكل (2-4)

إن نظم اللجنة الكهروتقنية الدولية (CEI) تنص أن الدارة الحدية التي ينبغي اعتبارها هي الدارة التحريضية التي فيها عامل الاستطاعة ($\cos\varphi = 0{,}07$) عندئذ قيم الذروات المتتالية للتيار حساب قيمها فيما إذا أغلق المنبع الكهربائي بالشروط المشار إليها آنفاً كما في الجدول (2-4).

$$\left.\begin{array}{ll} i_1 = 1{,}8\, I\sqrt{2} & i_7 = 1{,}21\, I\sqrt{2} \\ i_3 = 1{,}51\, I\sqrt{2} & i_9 = 1{,}13\, I\sqrt{2} \\ i_5 = 1{,}33\, I\sqrt{2} & i_{11} = 1{,}09\, I\sqrt{2} \end{array}\right\} \quad \text{----- (2-12)}$$

إن القوى الجزئية التي تؤثر في النواقل الموضوعة في ساحة تحريض مغناطيسي تحسب بالعلاقة:

$$dF = B\, i\, dL \sin\alpha \quad \text{-----(2-13)}$$

حيث: - B شدة التحريض المغناطيسي،
- i شدة التيار الساري في الناقل،
- α الزاوية المحصورة بين اتجاه التحريض واتجاه التيار،
- dL طول الناقل.

فإذا قدرت B، I، dL بواحدات الجملة الدولية فإن dF تقدر بالنيوتن، أما قيمة التيار الذي يجب إدخالها في المعادلة (2-13) فهي قيمة الذروة في نصف الموجة الأولى من بدء الدارة القصيرة. وقد رأينا وفقاً للعلاقة (2-12) أن القيمة Imax المحسوبة هي ($1{,}8\sqrt{2}$) مرة من القيمة المجدية (الفعالة) لتيار الدارة القصيرة الدائم.

الإجهادات الكهروديناميكية للملفات المتماثلة البسيطة:

في هذه الملفات هناك نوعان من الإجهادات:

P- الإجهادات المحورية: تعين إن تقطي وسطياً بالعلاقة التالية

$$P_r = 2\pi \left(\frac{n\, I_{max}}{h}\right)^2 \cdot 10^{-7} \quad \text{-----(2-14)}$$

حيث: P_m - الإجهاد الكهروديناميكي الوسطي لكل متر من الخط ولكل متر ارتفاع من الملف وتقدر بـ N/m^2.
- n عدد لفات الملف المعني.
- I_{max} يساوي $1{,}8\sqrt{2}$ مرة من تيار الدارة القصيرة الدائم في الملف المعني مقدراً بالأمبير.
- h ارتفاع الملف مقدراً بالمتر.

إن هذه الإجهادات تضغط الملف الداخلي وتسعى أن تلصقه بالنواة بينما تسعى لتمزيق الملف الخارجي كما الحديث في المراجل.

ب - الاجهادات المحورية : تنشأ عن مركبات التدفق المتسرب التي تسري باتجاه محوري وتسمى التدفق المتسرب المستعرض.
في حالة التوازن التام بين الملفين الأولي والثانوي لـ (أمبير دوره) وعلى طول ارتفاع النواة ، لا تكون هذه الاجهادات ذات قيمة تذكر.

الإجهادات الكهروديناميكية في الملفات المتداخلة المضاعفة:
هذه الملفات تعتبر وكأنها مؤلفة من زوجين من الملفات المتداخلة البسيطة وبالتالي فإن عدد اللفات في كل منها يكون $n/2$ وبالتالي تعطى قيمة الاجهادات الكهروديناميكية الوسطية لكل متر من المحيط ولكل متر من ارتفاع الملف بالعلاقة :

$$P_r = \frac{\pi}{2}\left(\frac{n I_{max}}{h}\right)^2 \cdot 10^{-7} \quad \text{----(2-15)}$$

الإجهادات الكهروديناميكية في الملفات المتساوية :
في هذه الملفات تكون خطوط القوى للتدفق المتسرب بالاتجاه القطري وعند حدوث الدارة القصيرة يحدث التدفق المتسرب إجهادات آنية باتجاه المحور وبالتالي تكون القوة الكهروديناميكية المؤثرة على وجه وسطي تعطى بالعلاقة :

$$P_r = F = \frac{1}{(2m)^2} \cdot 2\pi (n \cdot I_{max})^2 \frac{2m}{h} \cdot 10^{-7} \quad \text{----(2-16)}$$

حيث : m عدد الوشائع في الملف الواحد.
r نصف قطر الاسطوانة المارة في منتصف المسافة بين الملفين.
h طول الملف.

المردود : وهو نسبة الاستطاعة المصدرة من الثانوي على الاستطاعة التي يأخذها الأولي . وهاتان الكميتان تختلفان بقيمة مجموع الضياعات في الحولة (الضياعات على فراغ والضياعات في الملفات) .
حيث الضياعات على فراغ تكون ثابتة مع الحولة بينما الثانية متناسبة مع مربع التيار ، وبالتالي الضياعات الكلية من الشكل :

$$A + B I_2^2$$

عندما تكون الاستطاعة المصدرة معطاة (في الحولة وصيغة الطلب) بالعلاقة $U_2 I_2 \cos\varphi_2$ فإن المردود يكون مساوياً إلى :

$$\left.\begin{aligned} \eta &= \frac{U_2 I_2 \cos\varphi_2}{U_2 I_2 \cos\varphi_2 + (A + B I_2^2)} \\ \eta &= 1 - \frac{A + B I_2^2}{U_2 I_2 \cos\varphi_2 + (A + B I_2^2)} \end{aligned}\right\} \quad \text{----(2-17)}$$

حيث يكون المردود أعظمياً عندما يكون $A = B I_2^2$.

ربط المحولات على التوازي

تتوزع الحمولة بين المحولات أثناء ربطهم على التوازي مع الشبكة العامة حسب استطاعاتهم الظاهرية، حيث سيسمح بربط محولات باستطاعات مختلفة على التوازي مع الشبكة الكهربائية ولكن هذا الاختلاف بالاستطاعات يجب أن لا يتجاوز النسبة (1 : 3).

لا يجوز استبدال المحولات المربوطة على التوازي لمحولة ضخمة الاستطاعة؛ استطاعة تكاليف مجموع استطاعة المحولات المربوطة على التوازي، لاسيما في مجال نقل الطاقة الكهربائية، حيث هذه المحولة الضخمة الاستطاعة تملك أبعاداً وحجماً كبيراً، عانياً من صعوبات جمة في صنعه ولاسيما في تأمين العزل الآمن له.

كما لا تقل أهمية وصل المحولات على التوازي في المحطات الفرعية بالإضافة إلى المحاسن التالية:

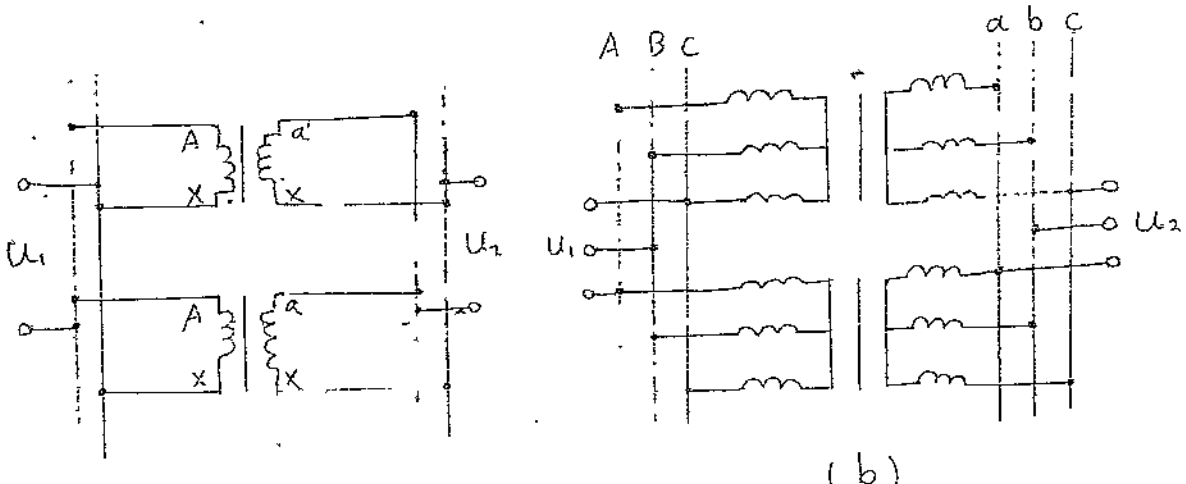
1- تأمين وتزويد المستهلك بالطاقة الكهربائية في حال وجود أعطال في بعض المحولات وضرورة اصلاحها
2- الاقلال من ضياعات الطاقة أثناء الحمولات الدنيا وذلك بفصل قسم من الموصولة على التوازي

شروط ربط المحولات على التوازي:

يتوجب ربط المحولات على التوازي عند عدة تداعيات كما يلي:

1- عند التأرجح الكبير للحمولات اليومية والفصلية
2- تأمين الاحتياط اللازم للطاقة أثناء تزويد المستهلك بالقدرة الكهربائية.

حيث يفهم من عمل المحولات على التوازي بأن الملفات الثانوية لهذه المحولات تتصل مع حمولة مشتركة، في حين الملفات الأولية تتصل مع شبكة التغذية:



(a) (b)

دارة وصل المحولات a: الآحادية الطور على التوازي

b: والمحولات الثلاثية الطور

لتحقيق ذلك يجب أن تتوفر عدة شروط لوصل محولتين أو أكثر على التوازي:

1- تساوي التوترات الأولية والثانوية للمحولات:

$U_{1I} = U_{1II} = \dots = U_{1n}$ } U_1: التوترات الأولية للمحولات

$U_{2I} = U_{2II} = \dots = U_{2n}$ } U_2: التوترات الثانوية للمحولات

يقتضي هذا الشرط عملياً مساواة نسب تحويل هذه المحولات:

$$k_1 = k_2 = \dots = k_n$$

نسبة تحويل المحولة الأولى $k_1 = \frac{U_{1I}}{U_{2I}}$

نسبة تحويل المحولة الثانية $k_2 \quad \frac{U_{1II}}{U_{2II}}$

نسبة تحويل المحولة n $k_n = \frac{U_{1n}}{U_{2n}}$

2- مساواة هبوطات التوتر الأومية والتفاعلية للمحولات المربوطة على التوازي:

وهذا بدوره يقتضي تساوي القيم الواحدية لتوترات القصر (النسبية) المئوية لهذه المحولات:

$$U_{scI}\% = U_{scII}\% = \dots = U_{sc.n}\%$$

$$Z_{scI}\% = Z_{scII}\% = \dots = Z_{sc.n}\%$$

$$r_{sc.I}\% = r_{sc.II}\% = \dots = r_{sc.n}\%$$

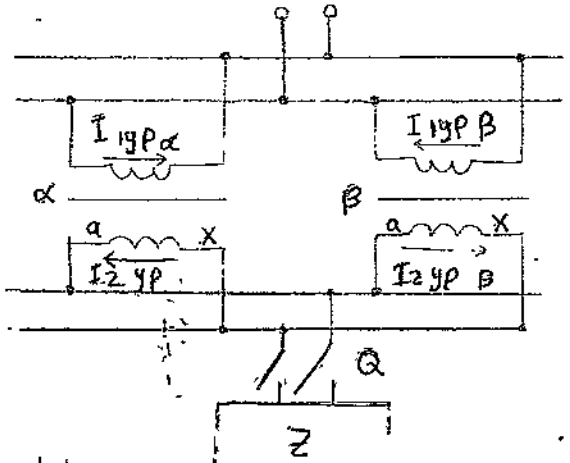
3- انتماء المحولات المربوطة على التوازي إلى مجموعة توصيل واحدة:

أي أن توترات الأولي والثانوي لهذه المحولات تتطابق بالاتجاه وبالتالي الفرق الشاعر بينهما يكون معدوماً. وبالتالي لا تتقع الملفات عند الربط على التوازي تحت تأثير هذا الفرق الذي يؤدي إلى سريان تيار دوار بين المحولات يعمل على تسخين الملفات ولا تخرج إلى دارة الحمل عند إجراء عملية ربط المحولات على التوازي.

وسنستعرض فيما يلي تأثير هذا الاختلاف في عملية الربط على التوازي:

1- تأثير عدم تساوي نسب التحويل:

نجري الدراسة على محولتين أحاديتي الطور مقطتين على التوازي وتملكان نسب تحويل مختلفة واستطاعات متساوية:



عامل تحويل المحولة الأولى Ka أصغر من عامل تحويل المحولة الثانية KB ، (Ka < KB)
نفرض أثناء الدراسة أن شرطي الربط على التوازي متحققان ، أي للمحولتين نفس
توعات التوصيل وكذلك نفس توترات القطر.

في بداية الدراسة نفرض أن الحمولة Z مفصولة عن المحولتين بالقاطع Q
(العمل على فراغ) بسبب أن ملفات الأولي للمحولتين تتصل مع شبكة واحدة فإن
توترات الأولي للمحولتين متساوية كما يلي :

$$U_{1a} = U_{1B} = U_{1n}$$

القوة المحركة الكهربائية لملفات الثانوي ستكون مختلفة .

$$E_{2a} = \frac{U_{1n}}{K_a} \neq E_{2B} = \frac{U_{1n}}{K_B}$$

طالما أن $K_B > K_a$ فإن $E_{2a} > E_{2B}$ لذلك سيظهر فرق التوتر ($\Delta E = E_{2a} - E_{2B}$)
على ملفات الثانوي المتصلة مع قضبان تجميع الثانوي والحمولة مفصولة حيث ستمثل
ملفات الثانوي مع قضبان تجميع الثانوي بدارة قصر واحدة .
تحت تأثير التوتر ΔE سيمر تيار دائر $I_{2/p}$ في ملفات الثانوي للمحولتين من خلال قضبان
التجميع للثانوي ، وسيكتسب اتجاهات متعاكسة في كلا من الملفين .
بسبب الترابط المغناطيسي بين ملفات المحولة ، فإن التيار الدائر في الثانوي سيتحول
إلى ملفات الأولي وبالتالي يمر تيار دائر في ملفات الأولي ، تكون قيمه مختلفة عن
قيم التيار الدائر في الثانوي بمقدار نسبة التحويل :

$$K = \frac{I_2}{I_1} .$$

يمر التيار الدائر في ملفات الثانوي كتيار دارة قصيرة مؤلفة من ملفات المحولة الثانوية
وقضبان التجميع بدون المرور إلى الحمولة Z ، لذلك سيحدد قيمته بمعاملات القصر
للمحولات المربوطة على التوازي .

2- تأثير اختلاف مجموعات التوصيل :

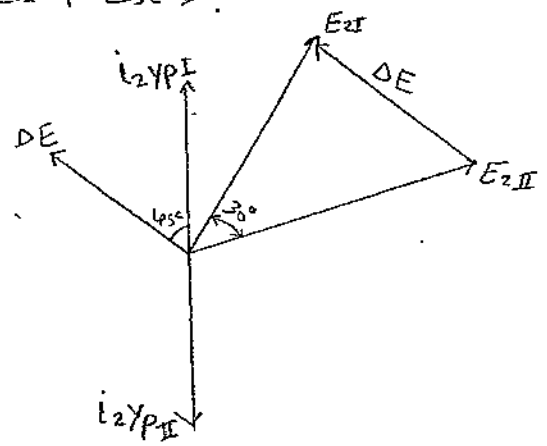
عند ربط محولتين أو أكثر على التوازي وعند اختلال شرط مساواة مجموعات التوصيل بينها
فإن تياراً كبيراً يصل بالقيمة إلى قيمة تيار القصر أو يفوقه بعدة مرات ينشأ في دارة
ملفات الثانوي المحولتين وينتقل إلى ملفات الأولي فتصل التوابط المغناطيسي بين الملفين
ينشأ التيار الدائر أعلاه حتى لو كانت الجهود الأولية والثانوية للمحولتين متساوية و
كذلك توترات القصر .
على سبيل المثال : إذا كانت مجموعات توصيل محولتين مربوطتين على التفرع مختلفة كما يلي ،
الأولى ذات الوصل 12-Y/Y ، والثانية ذات الوصل 11-D/Y يظهر فرق توتر ΔE
بين ملفات الثانوي للمحولتين الذي سيولد التيار الدائر في ثانوي المحولتين $I_{2/p}$
نلاحظ من ذلك بأن القوى المحركة الكهربائية الخطية للمحولتين متساوية بالقيمة ومختلفة
بفارق صفحة قدره 30 درجة

سينشأ فرق بالتوتر بين القوى المحركة الكهربائية السابقة مقداره ΔE وذلك بنتيجة عدم
تطابق هذه القوى شعاعياً .

$\Delta E = 2E_{21} \sin\frac{30}{2} = 0{,}51\ E_{21}$

كلما كبرت زاوية الإزاحة بين القوى المحركة الكهربائية لملفي الثانوي للمحولتين، ستكبر قيمة فرق التوتر ΔE، وبالتالي سيكبر التيار الذاتي الناشئ عن هذا الفرق إلى درجة أنه يصبح أكبر من تيار القصر، حيث هذا التيار يتحدد بمعاقات صغيرة

$$\dot{I}_{2Yp} = \frac{\Delta E}{Z_{sc\,I} + Z_{sc\,II}}$$



التيارات الداخلية والقوى المحركة الكهربائية

٢- تأثير اختلاف توترات القصر:

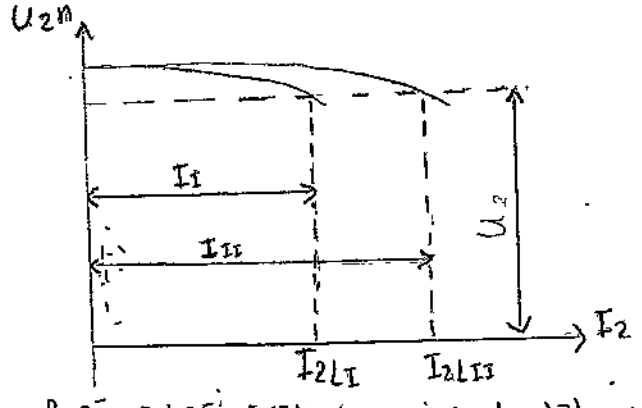
عند تساوي الشرط الأول والثاني لربط محولتين أو أكثر على التوازي أي عند تساوي نسب التحويل لكلتا المحولتين وانتماء هذه المحولات إلى مجموعات توصيل واحدة فإن القوى المحركة الكهربائية المتحرضة في ملفات الثانوي ستكون متساوية بالقيمة ومتطابقة بالطور أي ($E_{2I} = E_{2II}$) لذلك سينعدم التيار الذاتي المار في دائرة ملفات الثانوي لهاتين المحولتين.

لكن ماذا يحدث لو حدث اختلاف في الشرط الثالث لربط المحولات على التوازي أي أن توترات القصر للمحولات المربوطة على التوازي تختلف فيما بينها.

نعالج هذا الأمر عند عمل المحولتين بشكل مستقل كل على حدة وأيضاً عند عمل المحولتين على التوازي في الشبكة العامة.

أولاً: عند تحميل كل من المحولتين بحمله الاسمي بصورة مستقلة عن الأخرى، تحدث توتر القصر للمحولة الأولى أكبر من توتر القصر للمحولة الثانية ويكون توتر ثانوي المحولة الأولى أصغر من توتر ثانوي المحولة الثانية، وذلك بسبب أن مقاومة القصر للمحولة الأولى أكبر من مقاومة القصر للمحولة الثانية، وبالتالي هبوط التوتر على مقاومة القصر للمحولة الأولى أكبر.

مقاومة القصر للمحولة الثانية



(41)

الميزات الخارجية لمحولتين مربوطتين على التوازي عند اختلاف توترات قصرهما $U_{sc\,I} > U_{sc\,II}$

ثانياً : عند ربط المحولات السابقة على التوازي، تستقر في الدارة الثانوية لجملة المحولتين قيمة مشتركة لتوتر الثانوي U_2، عند ذلك سيختلف تيار الحمل لكل منهما حيث نرى أنه عند التوترات فإن المحولة الثانية ذات توتر القصر الأقل تتحمل تياراً I_{2L2} أكبر من التيار المار في ملفات المحولة I_{2L1} (ذات توتر القصر الأكبر).

لتحديد هذين التيارين نرسم الدارة المكافئة للمحولتين وهما مربوطتان على التوازي انطلاقاً من الرسم السابق يمكن كتابة العلاقات التالية:

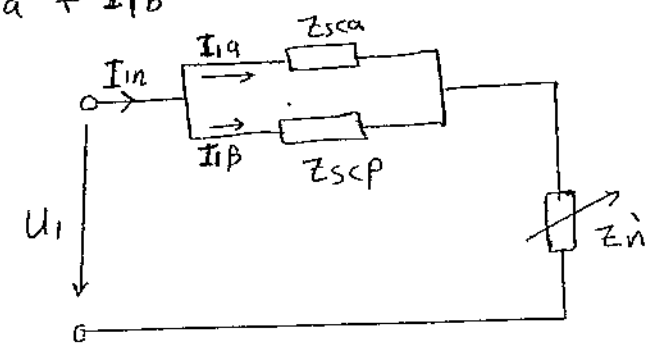
$$Z_{sca} I_{1a} = Z_{scb} I_{1b}$$

وبالتالي:

$$\frac{I_{1a}}{I_{1b}} = \frac{Z_{scb}}{Z_{sca}}$$

⇐ التيار الاسمي I_{1n} سيساوي المجموع الشعاعي لتياري المحولتين المربوطتين على التوازي:

$$\underline{I}_{1n} = \underline{I}_{1a} + \underline{I}_{1b}$$



بشكل عام تيارات المحولات (I_{1a}, I_{1b}) لا تنطبق شعاعياً بسبب أن زوايا القصر لممانعة القصر $Z_{sc\beta}$ و Z_{sca} غير متساوية.

مسائل

مسألة (١):

محولتان ثلاثيتا الطور a و B موصولتان على التوازي، الوصلة (Δ/λ) لكلا المحولتين ولهما نفس مجموعات التوصيل.

المحولة a تملك المعطيات التالية:

$\frac{U_{1A}}{U_{2A}} = \left(\frac{3}{20}\right) kV$; $S_{nA} = 400\,kVA$; $U_{scA}\% = 5{,}5\,\%$, $\varphi_2 = 36°$, $\varphi_{sc,A} = 75$

المحولة B تملك المعطيات التالية:

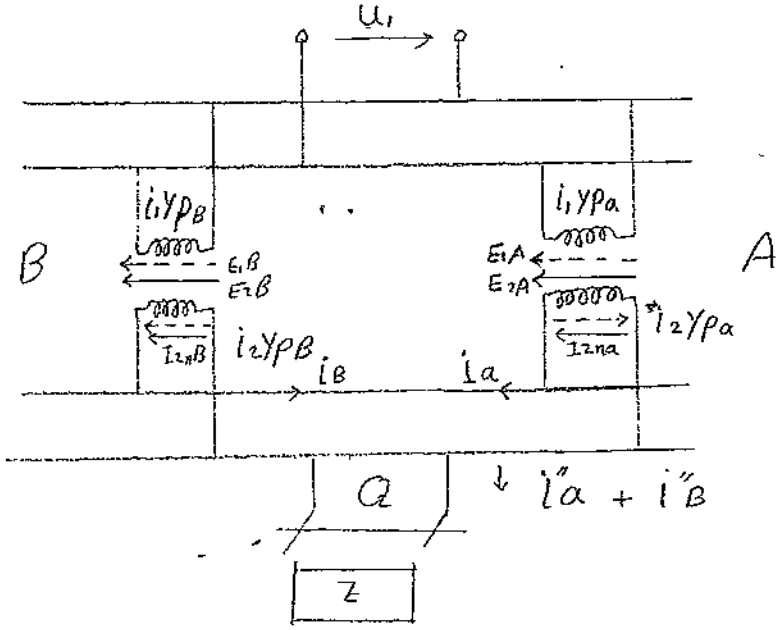
$\frac{U_{1B}}{U_{2B}} = \left(\frac{3}{20{,}5}\right) kV$, $S_{nB} = 630\,kVA$, $U_{scB}\% = 6\,\%$, $\varphi_2 = 36°$, $\varphi_{scB} = 80°$

المطلوب:

١- حساب التيار الدائر في ثانوي المحولتين وفي أولي المحولتين أيضاً

٢- احسب التيار في ثانوي المحولتين أثناء الربط على التوازي

٣- اذا كان المطلوب عدم تحميل أية محولة أكثر من حمولتها الاسمية، فما حسب عندئذ تيار الحمل الكلي الناتج في المحولتين ونسبة تخفيض الحمولة عما هو عليه أثناء عدم وجود اختلاف في نسب التحويل.



١- حساب التيار الدائر في ثانوي المحولتين:

$$i_{2Yp} = \frac{U(k_a - k_B)}{Z_{sca} + Z_{scB}} \qquad \text{---- (1)}$$

$$U_{sca} = Z_{sca} = \frac{Z_{sca}}{Z_{in}} = \frac{Z_{sca}}{U_{1n}} I_{1n}$$

(43)

$$Z_{sca} = \frac{U_{1n}\, U_{sca}}{I_{1n}} = \frac{0{,}055 \cdot \frac{3000}{\sqrt{3}}}{76{,}98} = 1{,}237\ \Omega$$

$$Z_{sca} = 1,237\, e^{j75}\ \Omega$$

$$I_{ina} = \frac{S_{nA}}{\sqrt{3}\, U_{in}} = \frac{400}{\sqrt{3}\cdot 3} = 76,98\ A$$

$$I_{inB} = \frac{S_{nB}}{\sqrt{3}\, U_{in}} = \frac{630}{\sqrt{3}\cdot 3} = 121,24\ A$$

$$Z_{scb} = \frac{0,106\cdot \frac{3000}{\sqrt{3}}}{121,24} = 0,857\ \Omega$$

$$Z_{scb} = 0,857\, e^{j80}\ \Omega$$

نعوض هذه القيم في العلاقة (1)

$$I_{2Yp} = \frac{\frac{3000}{\sqrt{3}}\, e^{j0}\cdot(0,15-0,146)}{1,237\, e^{j75} + 0,857\, e^{j80}} = 3,06\, e^{-j77,1}\ A$$

$$I_{2naL} = \frac{S_{na}}{\sqrt{3}\, U_{2na}} = \frac{400}{\sqrt{3}\times 20} = 11,547\ A$$

$$i_{2naL} = 11,547\, e^{-j36}$$

$$i_{2naph} = \frac{I_{2naL}}{\sqrt{3}} = 6,66\, e^{-j36}\ A$$

$$i_{2nbL} = \frac{S_{nB}}{\sqrt{3}\, U_{2nB}} = \frac{630}{\sqrt{3}\cdot 2015} = 17,74\ A \quad ; \quad i_{2nbL} = 17,74$$

$$i_{2nbph} = 10,24\, e^{-j36}\ A$$

$$i_{1Ypal} = i_{1yaph} = \frac{i_{2Ypa}}{ka} = \frac{3,06\, e^{-j77,1}}{0,15} = 20,4\, e^{-j77,1}\ A$$

$$i_{1YpBl} = i_{1YBph} = \frac{i_{2YpB}}{kB} = \frac{3,06\, e^{-j77,1}}{0,146} = 20,91\, e^{-j77,1}\ A$$

2- حساب التيار في ثانوي المحولتين أثناء التشغيل:

التيار المار في ثانوي المحولة B (ذات نسبة التحويل الأصغر):

$$i_{2Bph} = i_{2nBph} + i_{2Yp} = 10,24\, e^{-j36} + 3,06\, e^{-j77,1} = 12,71\, e^{-j45}$$

$$i_{2Bph} = \frac{i_{2Bph}}{i_{2nBph}} = 1,24\, e^{-j9}\ i_{2nBph}$$

(44)

التيار المار في ثانوي المحولة a (ذات نسبة التحويل الأكبر).

$$i_{2aph} = 0,718\, e^{-j9} \cdot i_{2naph}$$

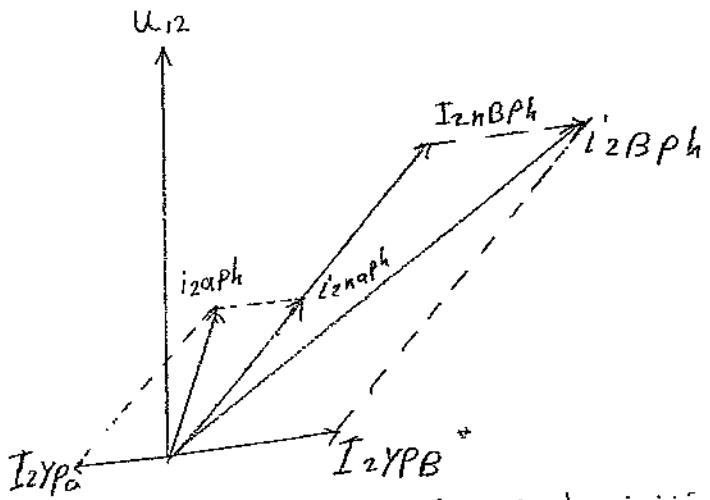
تظهر التيارات i_{2aph} و i_{2BPh}.

3 - حساب تيار الحمل الكلي في المحولتين ونسبة تخفيض المحولة أثناء العمل الاسمي:

حمل لامير في المحولة ذات نسبة التحويل الأقل تيارا أكبر من التيار الاسمي، يجب تقسيم كلا التيارين في الطلب السابق i_{2aph} ، i_{2BPh} على الشعاع $1,24\, e^{-j9}$، للحصول على التيارين i'_a ، i'_B المارين في ملفات المحولتين أثناء العمل الاسمي عند اختلاف نسب تحويلها:

$$i'_B = \frac{i_{2BPh}}{1,24\, e^{-j9}} = \frac{1,24\, e^{-j9}\ i_{2nbPh}}{1,24\, e^{-j9}} = i_{2nbPh}\ A$$

$$i'_a = \frac{i_{2aph}}{1,24\, e^{-j9}} = \frac{4,79\, e^{-j11,2}}{1,24\, e^{-j9}} = 3,863\, e^{-j2,2}\ A$$



لإيجاد نسبة تخفيض المحولة أثناء الربط على التوازي ونسب تحويل المحولتين مختلفة يجب إيجاد التيارين i''_a ، i''_B الذاهبان إلى المحولة Z أثناء العمل الاسمي:

$$i''_B = i'_B - i_{2YP} = i_{2nBPh} - i_{2YP}$$

$$= 10,24\, e^{-j36} - 3,06\, e^{-j77,1} = 8,185\, e^{-j21,8}\ A$$

$$i''_a = i_a - i_{2YP} = 3,863\, e^{-j2,2} - 3,06\, e^{-j77,1} = 4,26\, e^{-j41,8}\ A$$

نسبة تخفيض المحولة عند الحمل الاسمي: $\beta = \frac{\sum i_{2n} - \sum i''_2}{\sum i_{2n}}$; $\sum i'' = i''_a + i''_B = 8,185\, e^{-21,8} + 4,26\, e^{-j47} = 12,26\, e^{-28,6}$

$\sum i_{2n} = 10,24\, e^{-j36} + 6,66\, e^{-j36} = 16,9\, e^{-j36}\ A$ (45)

وبالتالي فإن النسبة β.

$$\beta = \frac{16,9\, e^{-j36} - 12,26\, e^{-j28,6}}{\quad} = \frac{4,99\, e^{-j54,2}}{\quad} = 0,295\, e^{-j18,3} = 29,5\%$$

مسألة (2) :

محولتان ثلاثيتا الطور مربوطتان على التوازي، المحولة الأولى تملك المواصفات التالية:

$S_{na} = 1000\ KVA$ ، $U_{sca}\% = 5,5\%$

بينما المحولة الثانية فتملك المواصفات التالية:

$S_{nB} = 1000\ KVA$ ، $U_{scB}\% = 6,5\%$

يتم ربط هاتين المحولتين على التوازي لتغذية حمل استطاعته الكلية $S = 2000\ kVA$ والمطلوب: حساب توزع الحولة الكلية بين المحولتين:

باستخدام العلاقة:

$$\frac{S_a}{S_B} = \frac{U_{scB}\% S_{na}}{U_{sca}\% S_{nB}} = \frac{6,5 \times 1000}{5,5 \times 1000} = 1,18$$

وبالتالي:

$$S_a = 1,18\ S_B$$

$$S = S_a + S_B$$

$$\Rightarrow 1,18\ S_B + S_B = S \Rightarrow 2,18\ S_B = 2000 \Rightarrow S_B = \frac{2000}{2,18}$$

$$= 917,4\ KVA$$

$$S_a = 2000 - 917,4 = 1082,56\ KVA$$

تدل هذه النتائج على أن المحولة الأولى تعمل بزيادة تحميل قدره 8,25% عن استطاعتها الاسمية، لكن عند العمل الاسمي لا يسمح بزيادة أحمال المحولات، لذلك يوجب تخفيض استطاعة التحميل للمحولة الأولى بـ 8,25% عندئذ يصبح عمل المحولة الأولى هو نفسه عملها الاسمي (1000 KVA) بينما عمل المحولة الثانية ينخفض بنفس النسبة 8,25% ويصبح حمولتها 841,74 kv، أي نكون قد حفظنا حمولة المحولة الثانية لكي لا تعمل أي من المحولات زيادة عن حملها الاسمي بنسبة قدرها 15,8%

مسألة (3):

تربط ثلاث محولات ثلاثية الطور ومتساوية بنسب التحويل ومجموعات التوصيل على التوازي وتكمل منها المواصفات التالية:

$S_{n_I} = 200\ KVA$; $U_{scI}\% = 5,5\ \%$

$S_{nII} = 250\ KVA$; $U_{scII}\% = 6\%$

$S_{nIII} = 300\ KVA$; $U_{scIII}\% = 6,5\%$

والمطلوب:

1- هل يمكن ربط المحولات السابقة على التوازي ضمن المجال المسموح به.

2- احسب توزيع الحمولة بين المحولات الثلاث، إذا كانت الاستطاعة الكلية المأخوذة تساوي إلى المجموع الجبري للاستطاعات الاسمية للمحولات الثلاث.

3- عند العمل الاسمي احسب توزيع الحمولة بين المحولات الثلاث واحسب نسبة تخفيض الحمولة.

الحل:

1- المجال المسموح به لوصل المحولات على التوازي أن يكون أكبر فرق بقيمة توتر القصر النسبي المئوي لأي من المحولات لا يزيد عن ±10% عن المتوسط الحسابي لتوتر القصر النسبي لجميع المحولات.

المتوسط الحسابي لتوتر القصر النسبي لجميع المحولات المربوطة على التوازي:

$$\frac{5,5 + 6 + 6,5}{3} = 6\%$$

أكبر فرق في توتر القصر النسبي المئوي هو 0,5% ونسبته المئوية عن القيمة المتوسط تبلغ

$$\frac{0,5}{6} \times 100 = 8,33\ \% < 10\ \%$$

إذن ربط المحولات على التوازي باختلاف توترات القصر يتم ضمن المجال المسموح.

2- الاستطاعة الكلية الاسمية للمحولات التي تغذي استطاعة الحمل الكلية S.

$$S = S_{n1} + S_{n2} + S_{n3} = 200 + 250 + 300 = 750\ KVA$$

- لنجد نصيب كل محولة من الحمولة الكلية S:

$$S_I = \frac{\sum_{n=1}^{3} S_n}{\frac{U_{scI}\%}{S_{nI}} \sum_{n=1}^{3} \frac{S_{nn}}{U_{scn}\%}} \quad \text{---(1)}$$

نحسب المجموع $\sum \frac{S_{nn}}{U_{sc}\%}$ في المعادلة (1) كما يلي:

$$\sum_{n=1} \frac{S_{nn}}{U_{sc}\%} = \frac{200}{5,5} + \frac{250}{6} + \frac{300}{6,5} = 124,2\ KVA$$

نعوض في العلاقة (1) لنجد قيمة S_I كما يلي: