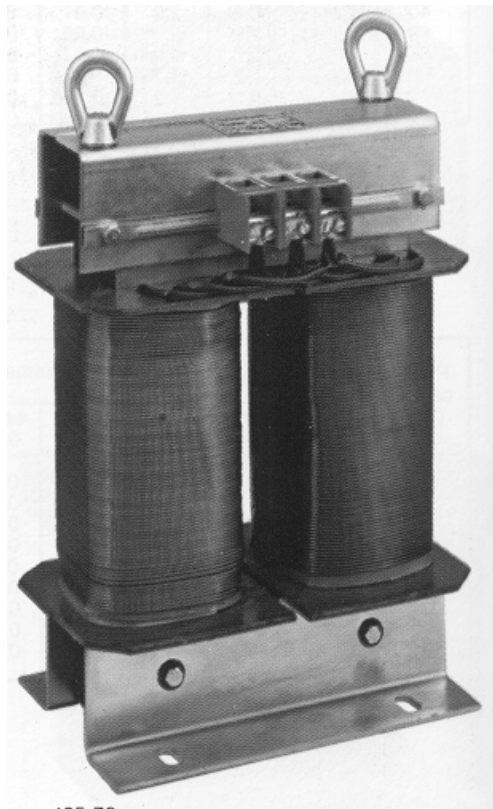


Cours d'électrotechnique

LES MACHINES A COURANT ALTERNATIF



MACHINE STATIQUE A COURANT ALTERNATIF

TABLE DES MATIERES

PARTIE N°1 :

La description d'un transformateur

PARTIE N°2 :

Le transformateur parfait

PARTIE N°3 :

Le transformateur réel

PARTIE N°4 :

Le transformateur triphasé

PARTIE N°5 :

Les transformateurs spéciaux

Nomenclature

Symbole	Description	unité	
U1	Tension primaire	Volt	V
I1	Courant primaire	Ampère	A
N1	Nombre de spires primaire	Spires	Sp
Φ 1	Flux primaire	Wéber	Wb
E'1	Force contre électro motrice primaire	Volt	V
U2	Tension secondaire	Volt	V
I2	Courant secondaire	Ampere	A
N2	Nombre de spires secondaire	Spires	Sp
Φ 2	Flux secondaire	Wéber	Wb
E2	Force électro motrice secondaire	Volt	V
Φ R	Flux résultant	Wéber	Wb
I1v ou Io	Courant primaire à vide	Ampère	A
Rs	Résistance globale du transfo ramenée au secondaire	Ohms	Ω
Xs	Réactance globale du transfo ramenée au secondaire	Ohms	Ω
Rp	Résistance globale du transfo ramenée au primaire	Ohms	Ω
Xp	Réactance globale du transfo ramenée au primaire	Ohms	Ω
M	Rapport de transformation (U2/U1)		
K	Rapport de transformation (U1/U2)		
R1	Résistance enroulement primaire	Ohms	Ω
L1	Inductance circuit primaire	Henry	H
X1	Réactance circuit primaire	Ohms	Ω
Z1	Impédance du primaire	Ohms	Ω
R2	Résistance enroulement secondaire	Ohms	Ω
L2	Inductance circuit secondaire	Henry	H
X2	Réactance circuit secondaire	Ohms	Ω
Z2	Impédance circuit secondaire	Ohms	Ω
Δ U	Chute de tension interne au transfo	Volt	V
P1	Puissance au primaire	Watt	W
pj1	Perte joule primaire	Watt	W
pf1	Perte fer primaire	Watt	W
P2	Puissance au secondaire	Watt	W
pj2	Perte joule secondaire	Watt	W
pf2	Perte fer au secondaire	Watt	W
Cos ϕ 1	Facteur de puissance primaire		
Cos ϕ 2	Facteur de puissance secondaire		

Bibliographie

Les machines électriques

Edition NATHAN TECHNIQUE

J. NIARD

Machines électriques

Edition DELAGRAVE

M. BELLIER et A. GALICHON

Génie électriques

Les machines électriques F3

Edition DELAGRAVE

F. LUCAS et P. CHARRUAULT

Electronique et machines électriques

Edition NATHAN

J. NIARD et R. MOREAU

Machines électriques

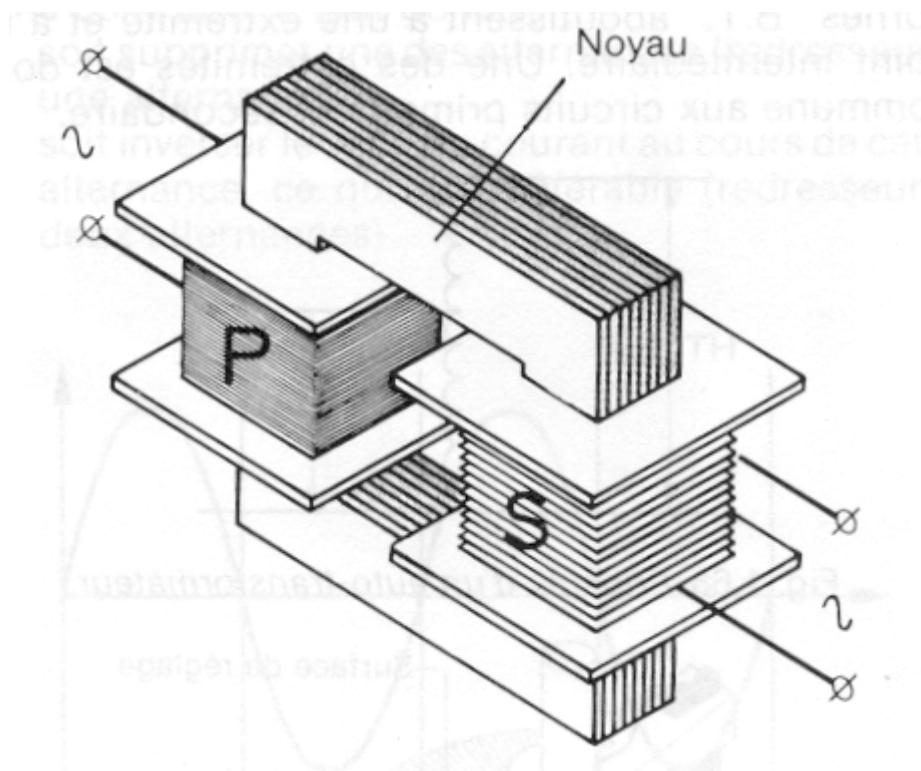
Edition NATHAN

J. NIARD, R. MOREAU et J. BATTUT

Cours d'électrotechnique

LES MACHINES A COURANT ALTERNATIF

MACHINE STATIQUE A COURANT ALTERNATIF



PARTIE N°1 :

LA DESCRIPTION

TABLE DES MATIERES

1.	Description de la machine	2
1.1.	Généralités.....	2
1.2.	Le circuit magnétique.....	2
1.3.	Les bobinages	4
1.3.1.	Description	4
1.3.2.	Fonctionnement.....	5
1.4.	Mode de couplage	6
1.5.	Mode de bobinage	6
2.	Principe de fonctionnement général	10
2.1.	Fonctionnement à vide	10
2.1.1.	Avec une spire	10
2.1.2.	Avec N spires secondaires.....	11
2.1.3.	Avec N spires primaires	11
2.1.4.	Que devient le flux	12
2.2.	Fonctionnement en charge.....	12
3.	Fonctionnement sous tension continue	13

1. Description de la machine

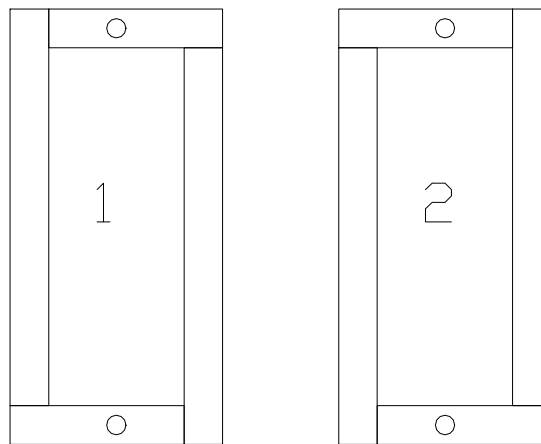
1.1. Généralités

La machine est composée de trois parties :

- Une partie appelée primaire et constituée de bobinage.
- Une partie appelée secondaire et constitué également de bobinage.
- Un support pour les deux parties citées ci-dessus et appelé circuit magnétique.

1.2. Le circuit magnétique

Il est parcouru par un flux alternatif créé par les bobinages. Il est donc feuilleté pour réduire les pertes par courant de Foucault. En effet souvenez-vous que toute masse métallique soumise à des variations de flux engendre la création de courant de Foucault au sein de celle-ci. Comme nous avons circulation au sein du circuit magnétique d'un flux alternatif, cela entraîne un changement périodique (fonction de la fréquence) du sens du flux donc pour une partie du circuit magnétique cela sera vu comme une variation. On résolve se problème en formant le circuit magnétique par une multitude de tôles en fer additionnées de silicium et à grains orientés. Le circuit magnétique est fermé et pour réduire l'entrefer au maximum, les tôles sont enchevêtrées.



La représentation ci-dessus nous montre comment sont enchevêtrées les tôles formant le circuit magnétique. La forme de gauche nous montre l'assemblage des tôles pour les numéros impaires et la forme de droite pour les numéros paires. Le circuit magnétique sera donc formé par l'agencement de couche type 1 alternativement avec des couches de type 2.

Illustration de l'assemblage d'un circuit magnétique triple colonnes de forme cubique.

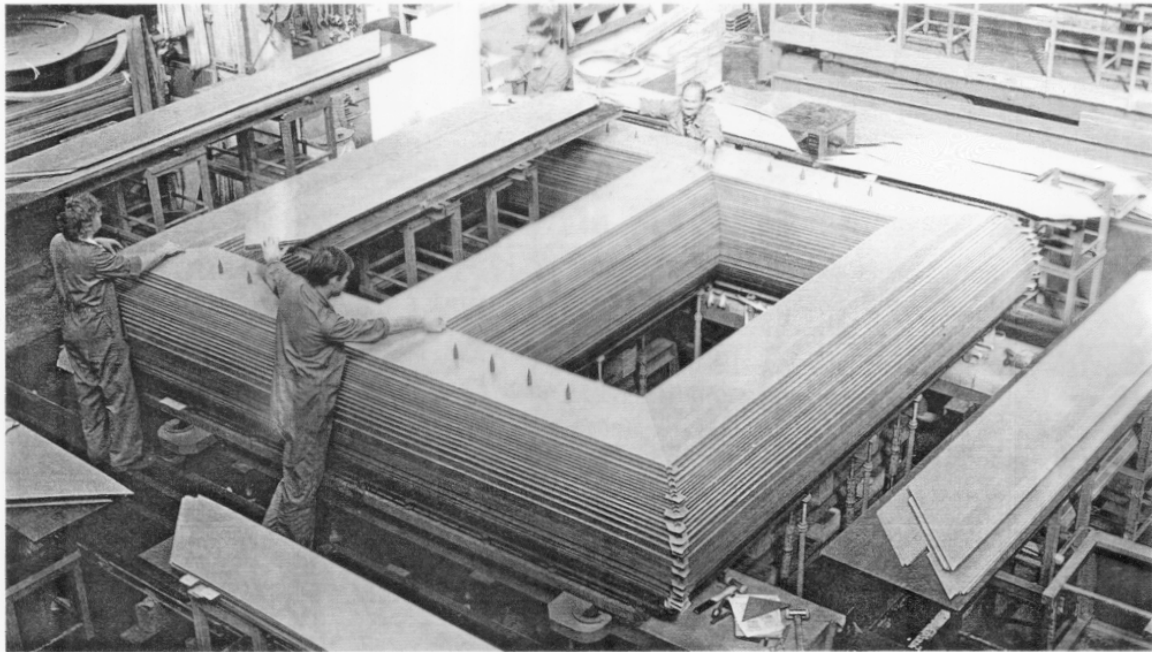
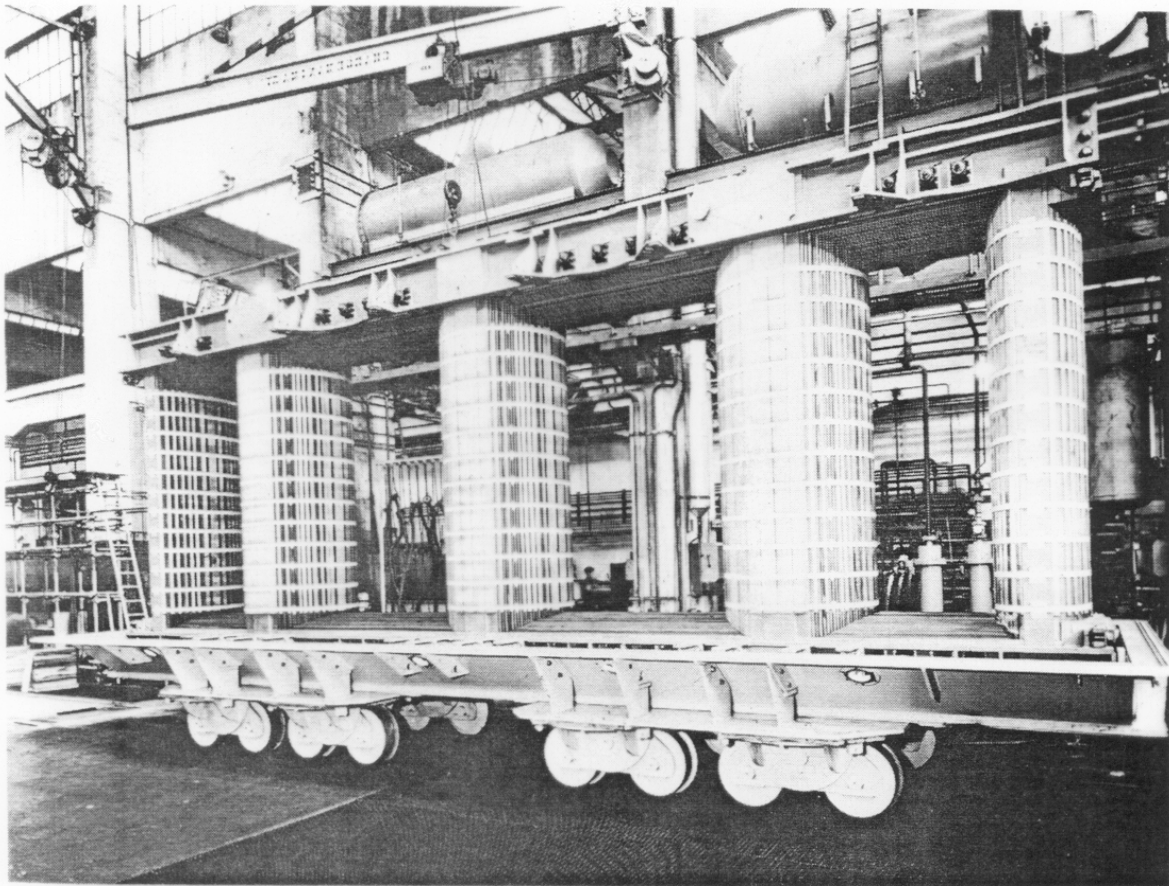


Illustration d'un circuit magnétique fini formé de cinq colonnes cylindriques.



Les bobinages

1.2.1. Description

La seule différence entre la partie primaire et la partie secondaire d'un transformateur, est le nombre de spires de chaque bobinage et la section des conducteurs. L'enroulement haute tension est celui qui comporte le plus de spire. De par le fait que la puissance côté haute tension est relativement égale à la puissance côté basse tension, je peux aisément dire que côté haute tension le courant sera plus faible que du côté basse tension. Sur cette remarque je peux donc affirmer que le conducteur composant l'enroulement haute tension sera de section plus faible que la section du conducteur composant les bobinages côté basse tension.

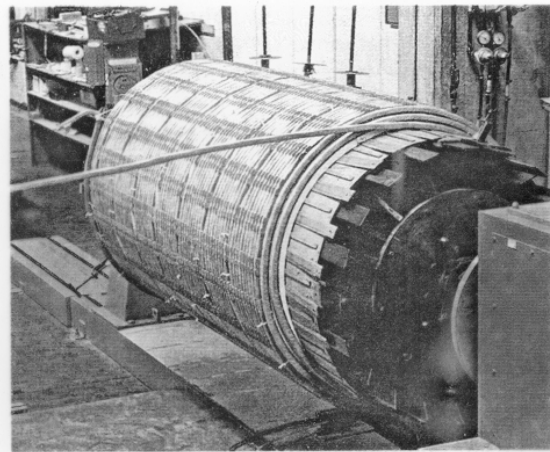
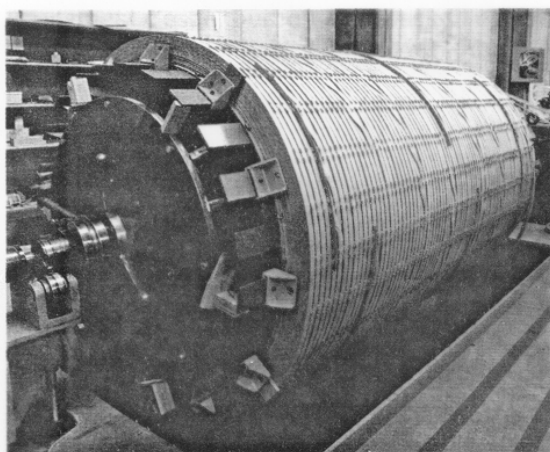
Le nom d'enroulement primaire est donné à l'enroulement qui est alimenté par une source de tension. Cela peut aussi bien être la partie basse tension d'un transformateur alimenté par un alternateur que la partie haute tension d'un transformateur de sous station électrique alimenté dès lors par les lignes aériennes.

Nous prendrons dès lors comme hypothèse pour notre étude d'utiliser l'indice 1 pour l'enroulement primaire. Nous pourrions donc dire que le primaire d'un transformateur peut être considéré de la même façon qu'un récepteur.

Le nom d'enroulement secondaire est donné à l'enroulement qui alimente un récepteur. Cela peut aussi bien être la partie haute tension d'un transformateur alimentant des lignes à haute tension dans une central que la partie basse tension d'un transformateur de sous station électrique alimentant dès lors les particuliers en 230V.

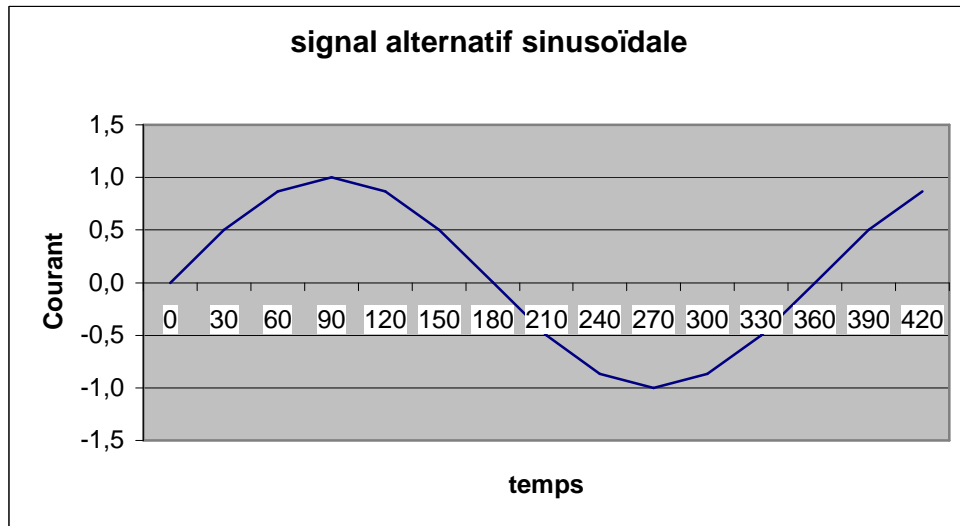
Nous prendrons dès lors comme hypothèse pour notre étude d'utiliser l'indice 2 pour l'enroulement secondaire. Nous pourrions donc dire que le secondaire d'un transformateur peut être considéré comme un générateur de tension.

Illustration de l'étape de bobinage sur une des colonne cylindrique du circuit magnétique.



1.2.2. Fonctionnement

Nous avons vu ci-dessus que le circuit magnétique était traversé par un flux alternatif, la question que nous devons nous poser est de savoir comment est généré ce flux variable. Nous avons vu dans le descriptif que notre machine est dite statique ce qui sous entend qu'aucune partie n'est mise en rotation. Pour créer un flux variable, nous devons dès lors utiliser une source de tension variable. Ce type de source que nous connaissons bien est une source alternative sinusoïdale disponible sur le réseau.



Nous savons que si nous appliquons une tension alternative sinusoïdale sur un bobinage, nous allons avoir en application avec la loi d'ohm circulation au sein de la bobine d'un courant alternatif sinusoïdale. Dès lors, nous savons que tout conducteur traversé par un courant est le siège de la création d'un champ magnétique. Sachant que $H = \frac{N \cdot I}{l}$, nous voyons que le champ sera lui aussi alternatif sinusoïdale. Je peut donc aisément déduire que le flux créé par ma bobine et circulant dans le circuit magnétique sera lui aussi alternatif sinusoïdale.

$$\Phi = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot \frac{N \cdot I}{l} \cdot S .$$

Je viens donc de démontrer la présence d'un flux variable dans mon circuit magnétique et aussi justifier la nécessité de feuilletter le circuit magnétique pour limiter les phénomènes de courant de Foucault.

1.3. Mode de couplage

Si la tension appliquée au primaire d'un transformateur est plus élevée que la tension débitée au secondaire, nous pouvons dire que le transformateur est du type abaisseur de tension.

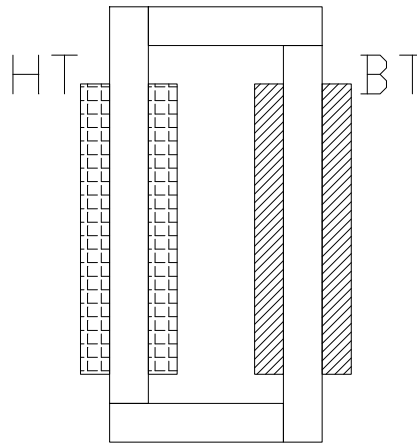
Si la tension appliquée au primaire d'un transformateur est plus basse que la tension débitée au secondaire, nous pouvons dire que le transformateur est du type élévateur de tension.

Si la tension appliquée au primaire d'un transformateur s'avère être la même que la tension débitée au secondaire, nous pouvons dire que notre transformateur est un transformateur d'isolement. Ce dernier est souvent utilisé pour absorber les variations du réseau.

Une dernière remarque, pour autant que l'on respecte la valeur des tensions supportables par les enroulements, on peut dire que le transformateur est une machine réversible.

1.4. Mode de bobinage

- Les deux enroulements sont concentriques et répartis chacun sur une colonne du transformateur.



- Les deux enroulements sont concentriques et répartis sur les deux colonnes du transformateur.

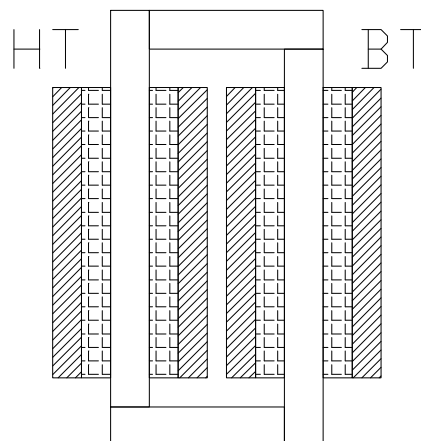


Illustration de colonnes sur lesquelles ont été placé les enroulements basse tension.

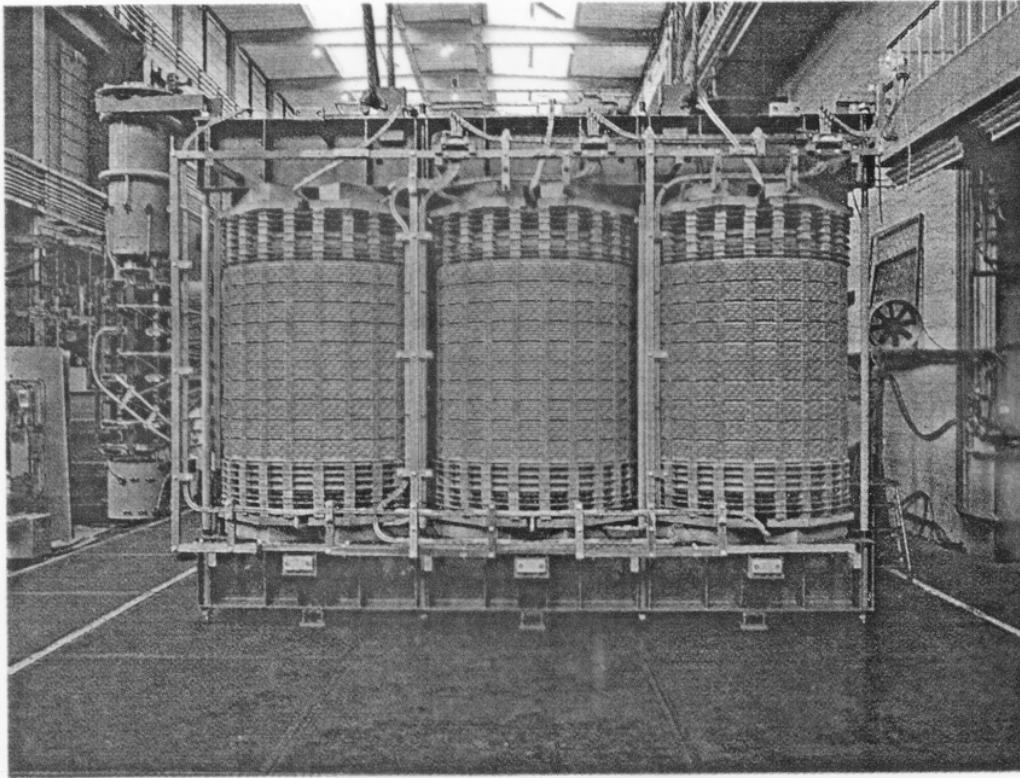


Illustration de colonnes sur lesquelles ont été placé les enroulements haute tension.

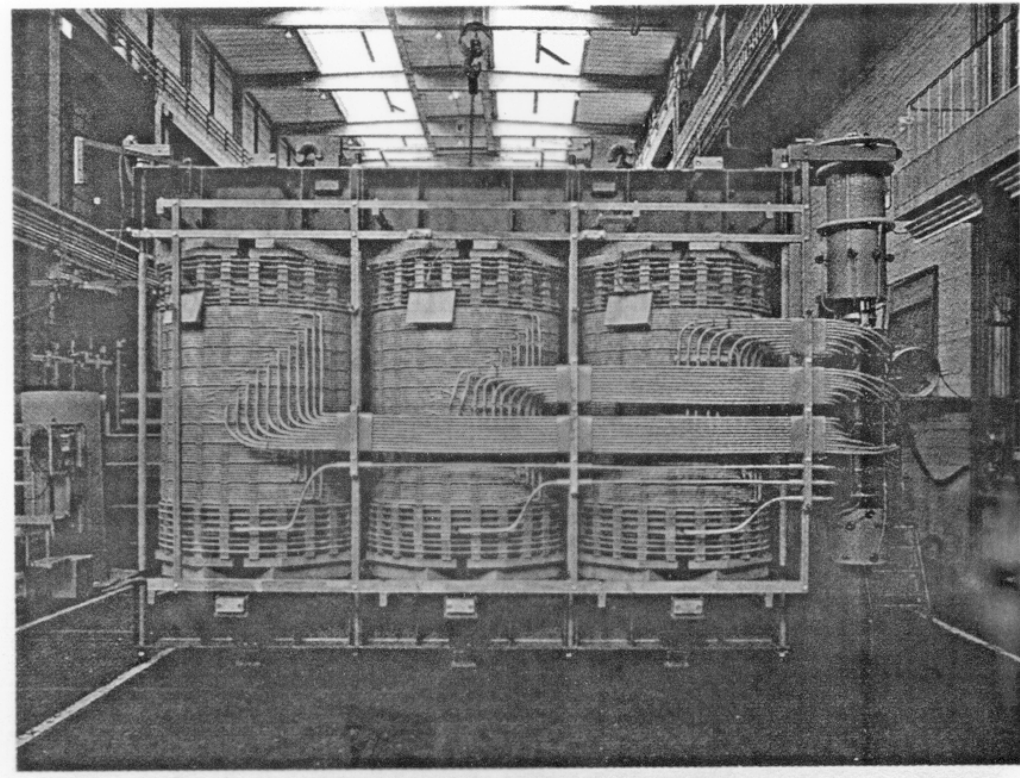
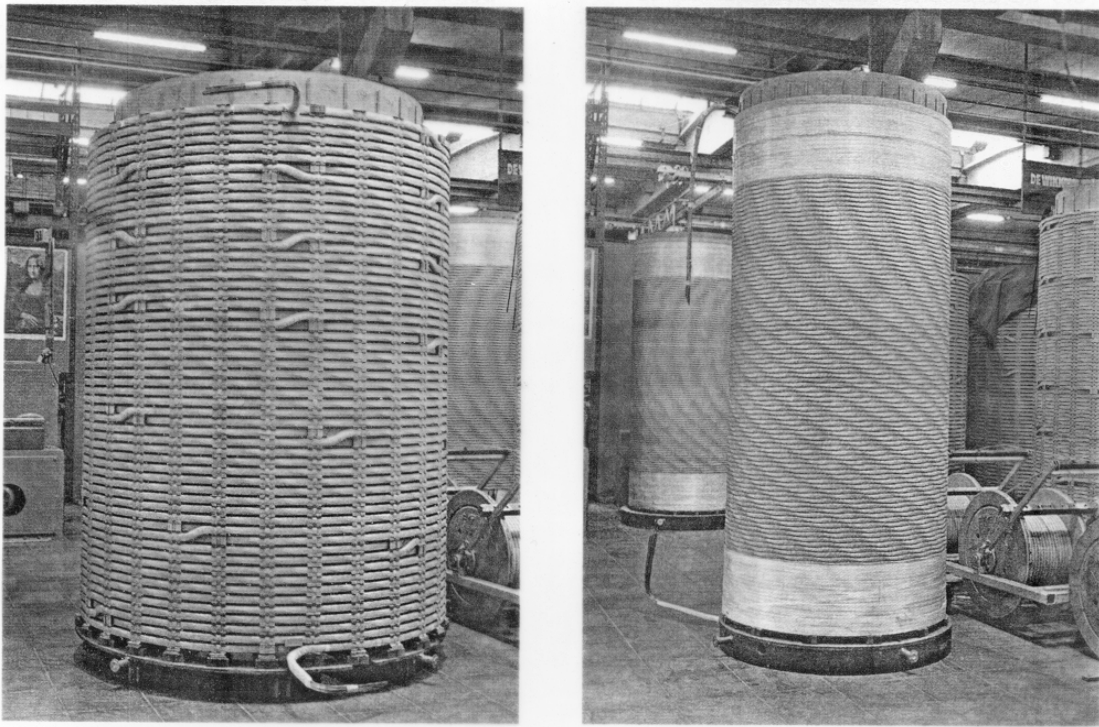


Illustration d'une colonne complètement bobinée.



- Les deux enroulements sont constitués par des bobines alternées.

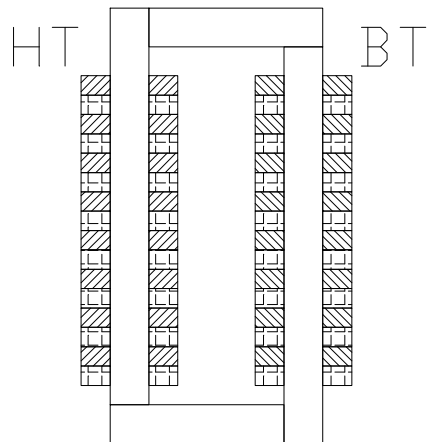


Illustration d'un transformateur triphasé terminé refroidit par huile.

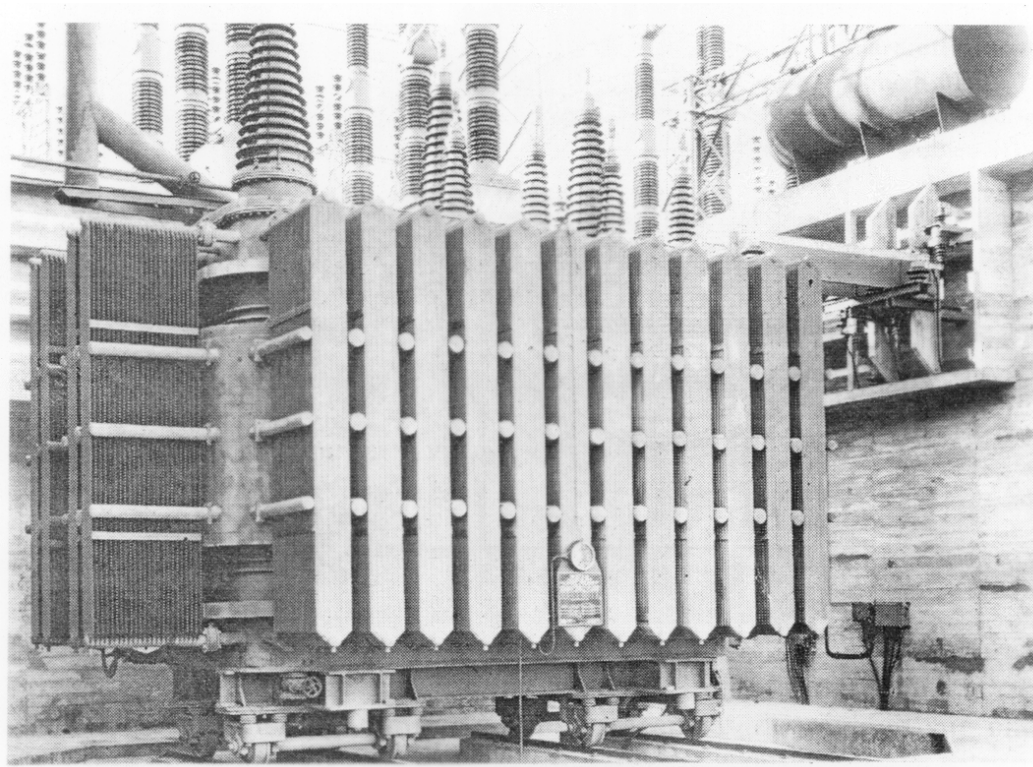
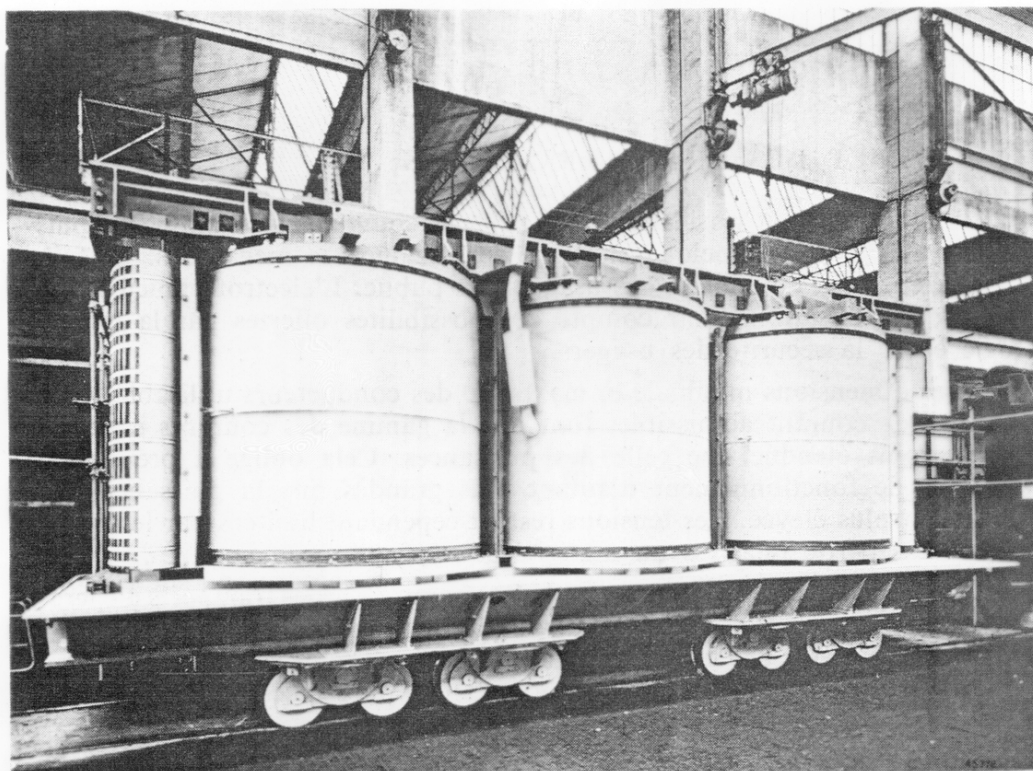


Illustration d'un transformateur triphasé terminé type colonne.



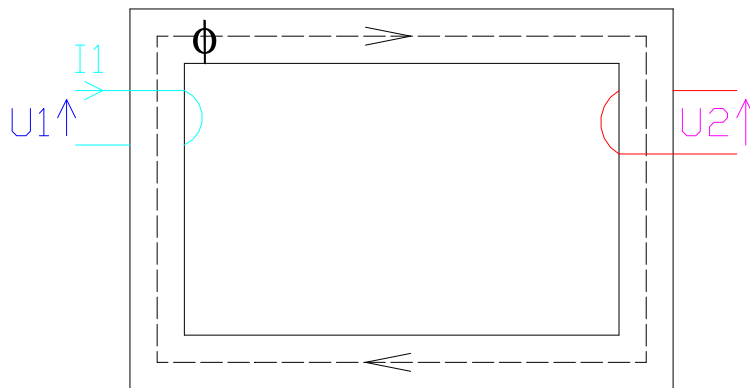
2. Principe de fonctionnement général

2.1. Fonctionnement à vide

Une chose à ne pas perdre de vue c'est que la seule chose que nous attendons d'un transformateur c'est que ce dernier délivre une tension alternative constante.

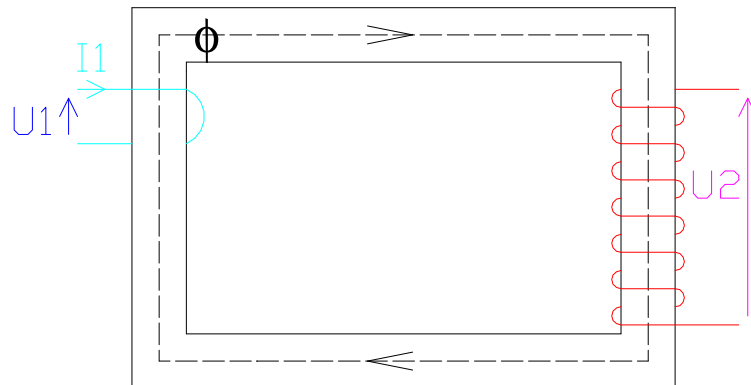
2.1.1. Avec une spire

Soit un transformateur constitué de deux spires, une formant le primaire et l'autre le secondaire. Pour une facilité de compréhension, nous allons figer le système dans le temps de sorte à étudier le fonctionnement avec un sens donné du courant, donc du flux. Si le principe est accepté, il suffira d'envisager le fait que toutes les demi-périodes le sens du courant est inversé et dès lors le sens du flux également.



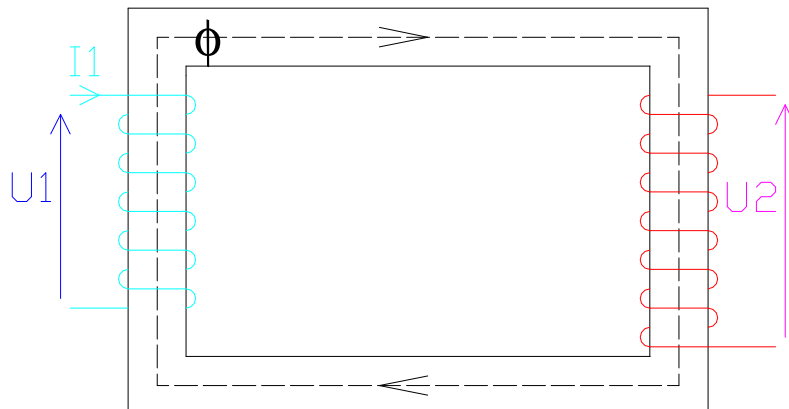
Nous appliquons au primaire de ce transformateur une tension alternative ce qui engendre de part la résistance de cette spire circulation d'un courant alternatif. Ce dernier crée donc un flux alternatif qui circule dans le circuit magnétique. Ce flux traverse donc la spire du secondaire. Rappelez-vous que toute spire soumise à une variation de flux engendre aux bornes de celle-ci la création d'une force électromotrice (FEM). Je peux donc appliquer cette remarque à la spire secondaire de mon transformateur puisque en temps réel, le flux varie. Je viens donc de démontrer que en appliquant une tension alternative au primaire d'un transformateur, le secondaire de celui-ci engendre une tension alternative. Bien que mon transformateur crée une tension alternative, celle-ci est cependant très faible et donc inutilisable en pratique. Il nous faut donc trouver le moyen d'augmenter la valeur de cette FEM.

2.1.2. Avec N spires secondaires



La solution est bien entendu d'augmenter le nombre de spire au secondaire de mon transformateur. En effet, nous savons que une bobine est composée de N spires. Si une spire engendre une FEM « e », je peux dire que la FEM aux bornes d'une bobine de « N » spires sera de « $N \cdot e$ ». Rappelez-vous que nous obtenons dans ce cas une mise en série de petit générateur de FEM « e ». Malgré cette augmentation, nous devons toujours conclure que la valeur totale de la FEM au secondaire est toujours faible. Nous pouvons encore dire que la FEM est aussi fonction du flux qui l'induit.

2.1.3. Avec N spires primaires

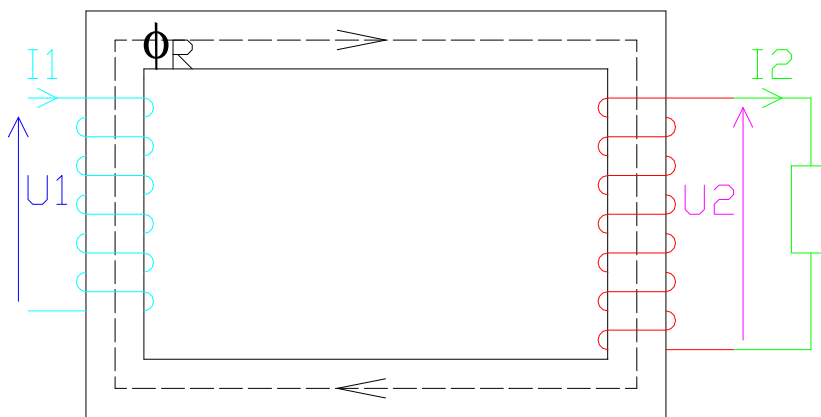


La solution est bien entendu d'augmenter le nombre de spires au primaire de mon transformateur. En effet, si chaque spire primaire crée un flux et que le flux total dans le circuit magnétique est égale à la somme de ces flux je vais dès lors augmenter le module de mon flux total. Donc les spires secondaire vont elles aussi voir un flux plus grand et donc créer chacune une FEM « e » plus grande et dans ce cas la FEM total sera également plus grande.

2.1.4. Que devient le flux

Bien que nous venons de prouver la création d'une tension secondaire alternative, le flux lui ne disparaît pas dans l'enroulement secondaire. En effet, le flux lui boucle dans le circuit magnétique ce qui veut dire qu'il repasse également dans la bobine primaire. Que se passe-t-il ? Et bien tout comme dans le secondaire, le flux crée dans les enroulements primaires la génération d'une FCEM. Rappelez vous que toute bobine soumise à des variations de flux veut en vertu de la loi de Lenz s'opposer à ce qui a donné naissance à ces variations de flux. Dans notre cas la FCEM va venir s'opposer à la tension d'alimentation.

2.2. Fonctionnement en charge



Si le fonctionnement à vide vu ci-dessus est toujours d'application pour le fonctionnement en charge, je peut poursuivre mon raisonnement. Lorsque je place une charge sur le secondaire de mon transformateur, je peux dire que cette dernière reçoit une tension égale à la FEM E_2 . De nouveau, en vertu de la loi d'ohm, je vais avoir circulation d'un courant dans cette charge mais aussi dans la bobine du secondaire. Ce courant du type alternatif sinusoïdale va donc créer dans la bobine secondaire un flux secondaire.

Ce flux va selon le sens du bobinage s'opposer au flux primaire. Je peux donc dire que le flux résultant va donc diminuer au sein du circuit magnétique.

Comme il est impossible de dissocier les deux flux, je peux dire que c'est le flux résultant qui en passant dans mes bobines va engendrer au sein de celles-ci soit une FEM soit une FCEM. Comment vont évoluer ces valeurs ?

Si le flux diminue au sein du circuit magnétique, cela sous entend que la FCEM va diminuer et que dès lors la tension réelle aux bornes du bobinage primaire va augmenter. Si cette dernière augmente, le courant primaire va augmenter. Toute augmentation du courant primaire est lié à une augmentation de flux primaire ce qui permettra de maintenir la FEM secondaire constante. Si la tension secondaire est ainsi maintenue constante, je peux dire que cela sous-entend que le flux résultant a une valeur égale au flux à vide au sein de la machine. Je peux donc dire que toute augmentation de flux secondaire du aux charges entraîne une augmentation du flux primaire et ce dans les mêmes proportions. Je peux donc

dire que le courant primaire va évoluer de la même façon que le courant secondaire.

Notre machine est donc autorégulatrice.

3. Fonctionnement sous tension continue

Que se passerait-il si nous appliquions en lieu et place d'une tension alternative une tension continue ?

Une première remarque, c'est que nous allons polariser la bobine du primaire. Le circuit magnétique va conduire le flux ainsi créé. Que va voir notre enroulement secondaire ? Rien, nous n'avons pas de variation de flux et donc pas de génération de FEM. Cela veut aussi dire que nous n'aurons pas de FCEM et que dès lors nous appliquons la pleine tension du réseau sur notre bobinage. Le courant est donc uniquement limité par la valeur de la résistance de notre bobine. Le courant sera donc très élevé et les bobinages vont jouer le rôle de fusible. Une autre remarque, c'est que si le courant est très grand, le flux va aussi être très grand et nous aurons saturation du circuit magnétique et échauffement de ce dernier car les courants de Foucault seront importants. Les pertes joules au droit de l'enroulement primaire seront aussi très élevées.