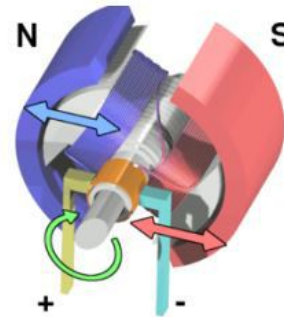


Conception des systèmes électriques



Dr.Smail Latifa

Centre universitaire Nour El Bachir Elbayadh

Faculté des sciences et technologie

Département Électrotechnique

E-mail :l.smail@cu-elbayadh.dz

Table des matières



Objectifs	4
Introduction	5
I - Prés_requis	7
II - Test prés_requis	8
III - Rappel sur les matériaux pour les machines	9
1. Objectifs	9
2. Introduction	9
3. Matériaux magnétiques	10
3.1. Grandeurs magnétiques	10
3.2. Classification des Matériaux d'un point de vue magnétique	10
3.3. Cycle d'hystérésis	11
4. Matériaux Conducteurs	11
5. Matériaux isolants	13
5.1. Caractéristiques des isolants	14
5.2. Effet de la température - classe d'isolation	14
5.3. Choix d'un isolant	14
6. Exercice	15
7. Exercice	15
8. Exercice	15
9. Exercice	15
IV - Transformateurs	16
1. Objectifs	16
2. Introduction	16
2.1. Symboles	17
2.2. Utilisation	17
3. Constitution -Équation	18
3.1. Constitution	18
3.2. Principe de fonctionnement	18
3.3. Équation	19
4. Transformateur parfait	20

5. Transformateur réel	22
5.1. Définition	22
5.2. Impédance ramenée	22
5.3. Essai à vide	23
5.4. Essai en court – circuit	24
5.5. Essai en charge	24
6. Transformateurs spéciaux	25
6.1. Autotransformateur	25
6.2. Transformateur de tension (TT)	26
6.3. Transformateur de courant (TI)	27
7. Transformateur triphasé	27
7.1. Principe	27
7.2. Modes de couplage des enroulements	28
7.3. Plaque signalétique d'un transformateur triphasé	28
8. Exercice	29
9. Exercice :	29
10. Exercice	30
11. Exercice	30
12. Exercice	30
V - Test de sortie	31
Solutions des exercices	32
Références	35

Objectifs



A la fin de ce cours vous allez être capable de :

- Familiariser rapidement avec la conception et les caractéristiques des différents systèmes exploités en électrotechnique.
- Comprendre le principe fonctionnement des machine électriques.
- Connaître les différents machines électriques

Introduction



Ce support de cours sur les « **machines électriques** » a été rédigé pour les étudiants de graduation en électromécanique et électrotechnique. Il sera également utile pour tous lecteurs voulant s'initier dans ce domaine ainsi que pour toutes fins utiles.

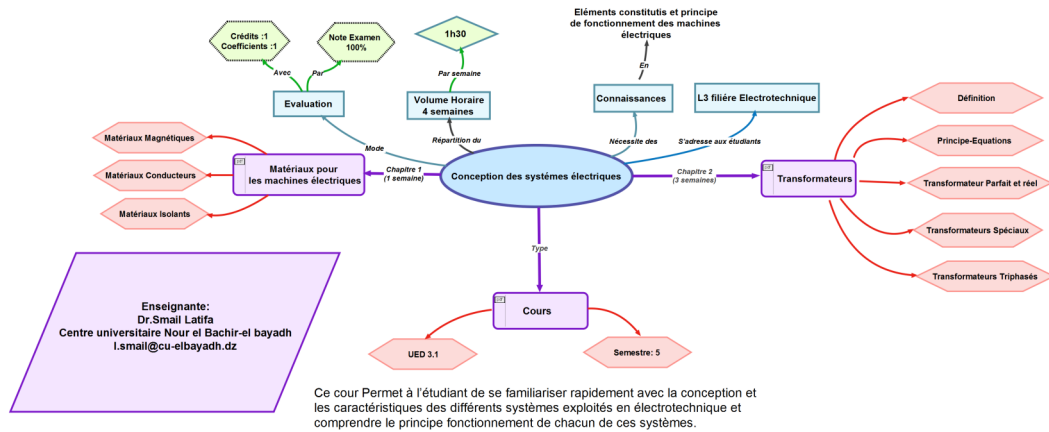
Les moteurs électriques sont aujourd'hui présents dans toutes les branches de l'industrie. Les domaines des transports, de la traction ferroviaire et la propulsion navale font aussi largement appel à ces machines. L'intérêt grandissant envers les moteurs électriques est justifié par le besoin des processus industriels à la vitesse variable. Cette solution permet, en effet, de contrôler un processus ou un système avec une dépense minimale d'énergie et de matière première. Le fonctionnement de toutes les machines électriques telles que les machines à courant continu, les transformateurs, les machines synchrones et asynchrones, etc., repose sur leurs circuits magnétiques. Le chemin fermé suivi par les lignes de force magnétiques s'appelle un circuit magnétique. Le fonctionnement de tous les appareils électriques (par exemple, transformateurs, générateurs, moteurs, etc.) dépend du magnétisme produit par leurs circuits magnétiques. Par conséquent, pour obtenir les caractéristiques requises de ces dispositifs, leurs circuits magnétiques doivent être conçus avec soin. Dans ce chapitre, nous concentrerons notre attention sur les principes de base des circuits magnétiques et leurs applications en tant que dispositifs électromécaniques de conversion d'énergie.

Afin d'atteindre les objectifs visés par ce module, le cours est divisé en six (05) principaux chapitres :

Matériaux pour les machines électriques : Ce chapitre sert de base pour les autres chapitres. Il permet à l'étudiant de saisir la différence entre les matériaux utilisés dans la fabrication des différents systèmes électriques, ainsi que la conception

Transformateurs : Dans ce chapitre, l'étudiant aura à étudier les transformateurs, le principe du fonctionnement et les caractéristiques des transformateurs





Carte conceptuelle CSE

Prés_requis



Élément constitutifs et principe de fonctionnement des machines électriques



Test prés_requis



Exercice

[solution n°1 p.32]

Qu'est-ce qu'un transformateur ?

Exercice

[solution n°2 p.32]

Pourquoi utiliser un transformateur ?

Exercice

[solution n°3 p.32]

Quelle sont les différentes types des matériaux

Rappel sur les matériaux pour les machines

III

1. Objectifs

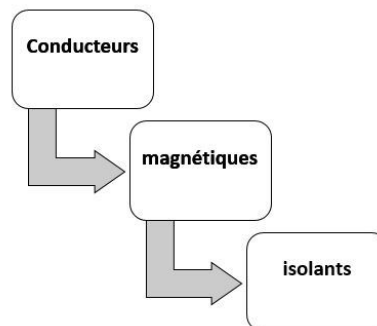
A l'issu de ce chapitre, vous serez capables de :

- Comprendre le circuit magnétique, les termes importants liés au magnétisme et aux circuits magnétiques, les similitudes.
- L'étudiant pourra distinguer et différencier entre les circuits magnétiques , électriques et isolants

2. Introduction

D'une manière générale, une machine électrique est composée de trois types de matériaux:

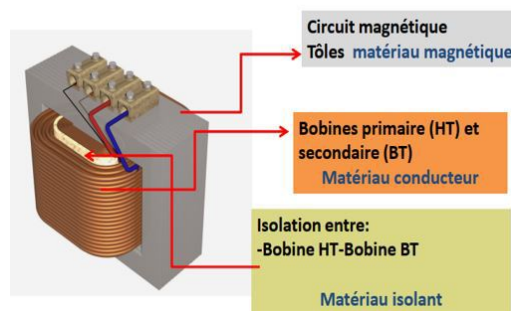
- Matériaux magnétiques.
- Matériaux Conducteurs.
- Matériaux isolants



Types des matériaux



Exemple : Cas d'un transformateur



3. Matériaux magnétiques

Le chemin fermé suivi par le flux magnétique est appelé **un circuit magnétique**. Un circuit magnétique est généralement constitué de matériaux magnétiques à haute perméabilité (par exemple, fer, acier doux, etc.)

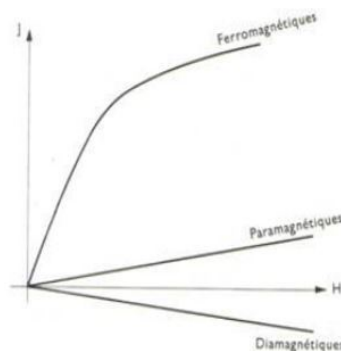
3.1. Grandeurs magnétiques

- **Champ magnétique** : La région autour d'un aimant où ses pôles présentent une force d'attraction ou la répulsion est appelée champ magnétique.
- **Flux magnétique** : La quantité de lignes de force magnétiques établies dans un circuit magnétique est appelée Flux magnétique. Son unité est le weber (Wb). Il est analogue au courant électrique I dans un circuit électrique.
- **Induction magnétique** : c'est la densité de flux magnétique en un point. Il est généralement représenté par la lettre "B". Son unité est le Wb/m² ou Tesla.
- **Perméabilité** : c'est la capacité d'un matériau à conduire des lignes de force magnétiques. Elle est généralement représentée par μ . Plus la perméabilité d'un matériau est grande, plus sa conductivité est grande et vice-versa. La perméabilité de l'air ou du vide est la plus faible et est représentée par μ_0 (où $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ H/m)

3.2. Classification des Matériaux d'un point de vue magnétique

Tous les milieux ont des propriétés magnétiques : mis en présence d'un champ magnétique H ils sont le siège d'une induction B telle que $B = \mu H$.

- **Ferromagnétisme** : Les matériaux ferromagnétiques sont caractérisés par une susceptibilité magnétique relative extrêmement grande et variant avec H. Peu de matériaux sont ferromagnétiques et ils jouent un rôle très important en électrotechnique.
- **Paramagnétisme** : Les matériaux dits paramagnétiques sont caractérisés par une susceptibilité magnétique relative positive et de faible valeur.
Al : $7.7 \cdot 10^{-6}$
Pt : $1.2 \cdot 10^{-5}$
- **Diamagnétisme** : Les matériaux diamagnétiques sont caractérisés par une susceptibilité magnétique relative négative et de faible valeur. C'est le cas de la grande majorité des matériaux
Cu : $-1.08 \cdot 10^{-6}$
Si : $-1.2 \cdot 10^{-6}$



Matériaux ferromagnétiques/paramagnétiques/diamagnétiques

Exemple

Ferromagnétisme : Fe, Ni, Co, Fe₃O₄(magnétite), certains alliages (aciers ferro-Nickel).

Paramagnétisme :

- Al : 7.7E-6
- Pt : 1.2E-5

Diamagnétisme :

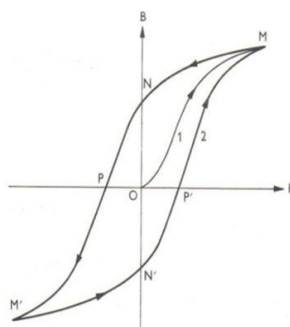
- Cu : -1.08E-6
- Si : -1.2E-6

3.3. Cycle d'hystérésis

Définition

Le cycle d'hystérésis d'un matériau ferromagnétique est caractérisé principalement par deux points :

Le point N (0, B_r) correspondant à l'**induction rémanente** et le point **P(H_c,0)** correspondant au **champ coercitif**.



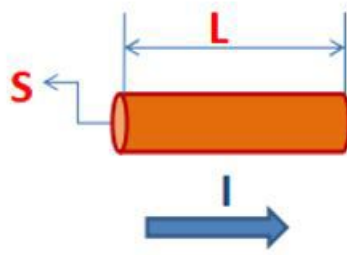
Courbe B(H)

4. Matériaux Conducteurs

Définition

Un matériau conducteur en électrotechnique a comme rôle: la circulation des courants électriques avec un **minimum de pertes**

$$Pertes\ joules = R \times I^2$$



$$R = \rho L / S$$

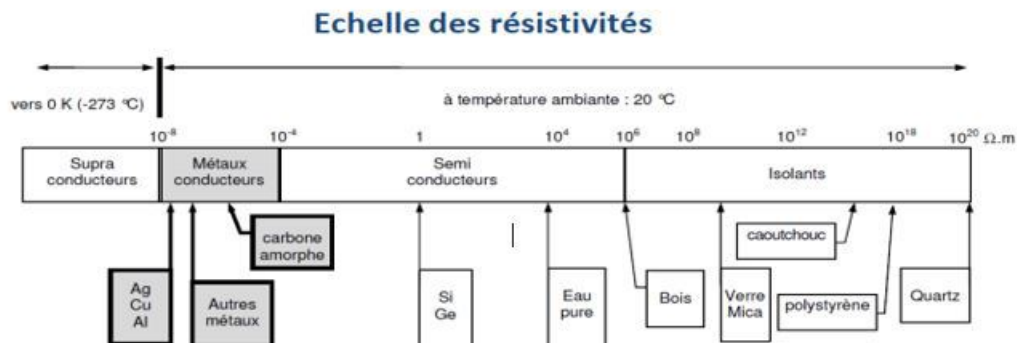
$$R = L / S \cdot \sigma$$

Remarque

Donc pour conduire le courant électrique sans trop de pertes, il est nécessaire d'utiliser des matériaux ayant une faible résistivité électrique ρ (conductivité électrique σ [siemens] élevée)

Complément

Le cuivre est généralement utilisé pour réaliser les bobinages des machines électriques car, à part l'argent, c'est le matériau dont la résistivité est la plus faible. Cependant, pour les lignes de transport de l'énergie électrique où l'on souhaite disposer de câble assez léger, on utilise l'aluminium. Certaines machines utilisent également l'aluminium en lieu et place du cuivre.



Échelle de résistivités

Matériaux Conducteurs	Résistivité à 20°C en $\Omega.m$
Cuivre	$1.72.10^{-8}$
Or	$2.04.10^{-8}$
Aluminium	$2.63.10^{-8}$
Argent	$1.59.10^{-8}$
Liton	$7.0.10^{-8}$

Résistivités de quelques matériaux conducteurs

5. Matériaux isolants

D'un point de vue électrique, un matériau est dit isolant ou diélectriques, si sa résistivité électrique est très élevée $> 10^6$. Physiquement, se sont des matériaux qui ne possèdent pas d'électrons libres.

Les diélectriques sont utilisés pour assurer l'isolation :

- Des conducteurs des bobinage de potentiels électriques différents;
- Des conducteurs avec le circuit magnétique.

Plusieurs type d'isolants existent sous les formes: **solide ,liquide ou gaz**. On peut citer à titre d'exemple:

Solide	Liquide	Gaz
Mica	H2O	Air
Epoxy	Huile minérales	SF ₆
porcelaine	Askarel	

Types d'isolants

Exemple de rouleaux de mica
utilisés en isolation électrique

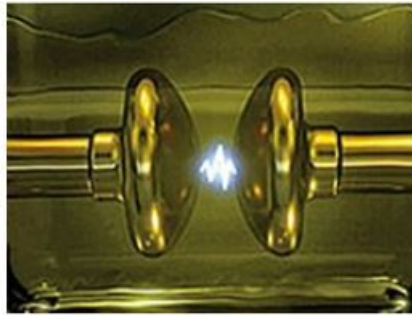


Epoxy
utilisée comme vernie pour
les conducteurs

Mica et epoxy

5.1. Caractéristiques des isolants

Phénomène de claquage : si un isolant est soumis à champ électrique intense, les électrons des couches supérieures vont subir des forces électriques intenses qui vont les arracher de leurs atomes, ils deviennent des é libres. L'isolant est donc détruit et on parle de claquage de l'isolant.



Phénomène de claquage

▼ Rappel : Caractéristiques

Rigidité diélectrique : On appelle rigidité diélectrique, la valeur maximale du champ électrique notée E_c qu'on peut appliquer à un diélectrique sans apparition de claquage. Cette donnée est propre aux diélectriques et s'exprime en [kV/mm] ou [MV/m]

5.2. Effet de la température - classe d'isolation

De nombreux phénomènes sont susceptibles d'altérer un diélectrique au cours du temps, provoquant en particulier une diminution de sa rigidité.

On peut citer les effets de : **la température**, la pression, l'humidité, les vibrations, la présence d'impuretés dans l'isolant (bulles d'air par exemple) sont des facteurs dégradant de la rigidité

Durée de vie de l'équipement : électrique La durée de vie d'un appareil électrique est limitée par la température à laquelle est soumis son isolant.

Des tests effectués, sur un grand nombre d'isolants, ont montrés que la durée de vie d'un appareil, diminue de moitié chaque fois que la température augmente de 10°C

5.3. Choix d'un isolant

Le choix d'un isolant dépend, du type d'application en premier lieu, puis des contraintes auxquelles il sera soumis :

- La température de fonctionnement T va fixer la classe d'isolation
- Le champ électrique auquel il sera soumis doit être $< E_c$
- Les contraintes mécaniques
- Les contraintes de l'environnement (la différence de température, l'humidité, contaminants chimiques, rayonnement (UV, ionisants).....

6. Exercice

[solution n°4 p.32]

Quels sont les matériaux utilisés en électricité

7. Exercice

[solution n°5 p.32]

Quel type de matériau est souvent utilisé pour isoler les câbles électriques

- ☐ Aluminium
- ☐ Cuivre
- ☐ Plastique
- ☐ Acier inoxydable

8. Exercice

[solution n°6 p.32]

Quel est le rôle principal du circuit magnétique

- ☐ Convertir l'énergie électrique en énergie magnétique
- ☐ Fournir un chemin de moindre résistance pour le flux magnétique
- ☐ Générer un champ magnétique permanent

9. Exercice

[solution n°7 p.33]

Quel matériau est généralement utilisé pour construire un circuit magnétique

- ☐ cuivre
- ☐ Fer
- ☐ Plastique

Transformateurs

1. Objectifs

- Comprendre le principe de fonctionnement des transformateurs
- Connaître les essais d'un transformateur
- Étudier les caractéristiques d'un transformateur

2. Introduction

Un transformateur est un convertisseur « alternatif-alternatif » qui permet de modifier la valeur d'une tension alternative en maintenant sa fréquence et sa forme inchangées. Le transformateur est un appareil qui peut :

- Transformer une tension alternative d'une grandeur à une autre grandeur.
- Transformer un courant alternatif d'une grandeur à une autre grandeur.
- Isoler un circuit électrique d'un courant continu circulant dans un autre circuit électrique.
- Faire paraître une impédance comme ayant une autre valeur.

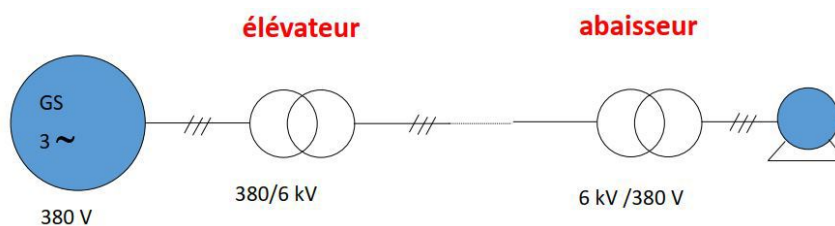
Les transformateurs sont des machines électriques entièrement statiques, cette absence de mouvement est d'ailleurs à l'origine de leur excellent rendement. Leur utilisation est

primordiale pour le transport de l'énergie électrique où l'on préfère « transporter des volts plutôt que des ampères ». Ils assurent l'élévation de tension entre la source (alternateurs d'une centrale électrique fournissant du 20000 V) et le réseau de transport, puis ils permettent l'abaissement de la tension du réseau vers l'utilisateur.

Un transformateur monophasé est constitué de 2 bobines en fil de cuivre, l'une dite est dite "primaire", l'autre "secondaire". Ces bobines sont enroulées sur un noyau magnétique constitué d'un empilage de tôles minces en acier. Celui-ci permet de relier magnétiquement le primaire et le secondaire en canalisant les lignes de champ magnétiques produites par le primaire.

Le rôle d'un transformateur est : Modifier, changer les tensions alternatives, les élever ou les abaisser.

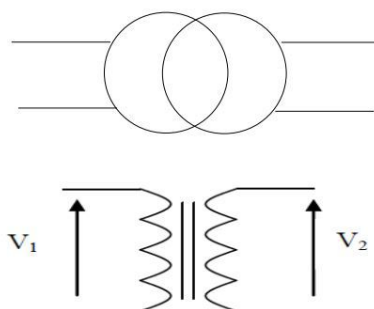
Afin de transporter l'énergie électrique avec le **moins de pertes** possible.



Réversibilité d'un transformateur monophasé

2.1. Symboles

On trouve deux symboles. Sur celui de la Figure 1, les trois barres verticales symbolise le noyau magnétique qui permet à l'énergie magnétique de passer du bobinage primaire au bobinage secondaire.



Symbole du transformateur monophasé

2.2. Utilisation

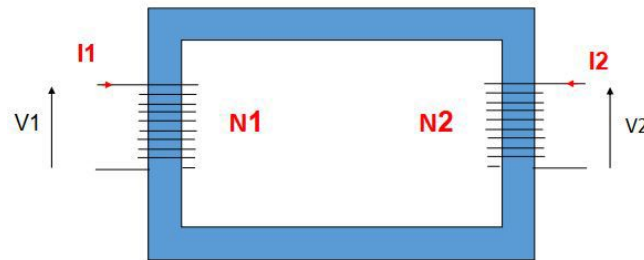
Il ne pourrait pas y avoir de transport d'énergie électrique à grande distance sans transformateurs. Grâce aux transformateurs élévateurs de tension, on transporte des volts plutôt que des ampères, limitant les pertes d'énergie à quelque pour cent. D'autres transformateurs abaissent la tension pour que celle-ci ne soit plus aussi dangereuse pour l'utilisateur. Les transformateurs sont réalisés en toutes puissances et tensions, de quelques VA et à basse tension pour l'alimentation de circuits électroniques à quelques centaines de MVA et de kV pour l'alimentation ou le couplage des réseaux de transport de l'énergie électrique. Le transformateur est également utilisé comme adaptateur d'impédance en électronique

3. Constitution -Équation

3.1. Constitution

Un transformateur comprend :

- Un circuit magnétique fermé, feuilleté
- Deux enroulements :
 - Le primaire comportant N_1 spire
 - Le secondaire comportant N_2 spires



L'un des deux bobinages joue le rôle de primaire, il est alimenté par une tension variable et donne naissance à un flux variable dans le circuit magnétique. Le circuit magnétique conduit avec le moins de réluctance 1 possible les lignes de champ magnétique créées par le **primaire** à travers les spires du deuxième bobinage.

D'après la **loi de Faraday**, ce flux magnétique variable induit une **force électromotrice** (f.é.m.) dans le deuxième bobinage qui est appelé **secondaire** du transformateur.

3.2. Principe de fonctionnement

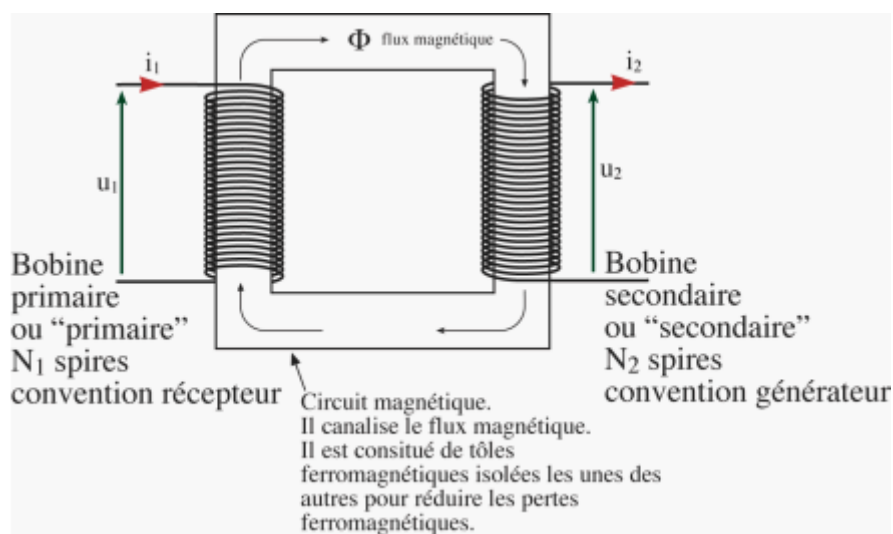
De par son principe, le transformateur ne peut pas fonctionner s'il est alimenté par une tension continue. Le flux doit être variable pour induire une f.é.m. au secondaire, il faut donc que la tension primaire soit variable.

Le transformateur est réversible, chaque bobinage peut jouer le rôle de primaire ou de secondaire. Le transformateur peut être abaisseur ou élévateur de tension.

Un transformateur comprend :

- Un **circuit magnétique fermé**, son rôle est de transmettre le plus efficacement possible l'énergie magnétique du primaire, qui la génère, au secondaire. Il doit donc être :
 - de perméabilité magnétique aussi haute que possible ;
 - d'hystérésis aussi faible que possible pour limiter les pertes ;
 - feuilleté (tôles de 0,2 à 0,3 mm d'épaisseur) afin de limiter les courants de Foucault ;
 - de résistance électrique aussi élevée que possible, toujours dans le but d'affaiblir les courants de Foucault, à cette fin on utilise des aciers au silicium ;
- **Deux enroulements (bobines) :**
 - Le **primaire** alimenté par un générateur de tension alternative de tension V_1 et comportant **n_1 spires**. Il absorbe le courant I_1 . Le primaire transforme l'énergie électrocinétique reçue en énergie magnétique. C'est un récepteur d'énergie électrique.

- Le **secondaire** comporte **n_2 spires** ; il fournit, sous la tension V_2 , un courant I_2 au dipôle récepteur. Le secondaire transforme l'énergie magnétique reçue du primaire en énergie électrocinétique. C'est un générateur d'énergie électrique.

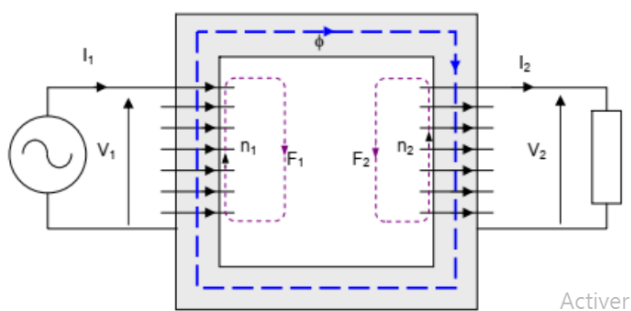


Par induction, une f.é.m. apparaît aux bornes du secondaire. Si le dipôle récepteur absorbe une puissance $P_2 = V_2 \cdot I_2 \cdot \cos \phi_2$ (ϕ_2 étant le déphasage dû au dipôle), le primaire, qui se comporte comme un récepteur, absorbe $P_1 = V_1 \cdot I_1 \cdot \cos \phi_1$ (ϕ_1 étant le déphasage entre V_1 et I_1). La conservation de la puissance permet d'écrire, au rendement près : $P_1 = P_2$.

3.3. Équation

Afin de préciser les notations et les conventions de signes, redessignons un schéma du transformateur en faisant apparaître :

- le flux commun aux deux enroulements ;
- F_1 et F_2 les flux de fuite respectivement primaire et secondaire.



Flux commun et le Flux de fuite au primaire et au secondaire à un instant donné.

Le flux traversant une spire du primaire est :

$$\Phi + F_1 = \Phi_1$$

Le flux traversant une spire du secondaire est :

$$\Phi - F_2 = \Phi_2$$

Si R_1 et R_2 sont les résistances des enroulements, on peut écrire, en régime sinusoïdal (circuit magnétique non saturé) :

$$V_1 = R_1 I_1 + j\omega n_1 \phi_1$$

$$V_2 = R_2 I_2 + j\omega n_2 \phi_2$$

Le signe – provient du sens choisi pour I_2 qui est « fourni » par le secondaire.

Le flux commun est donné par la relation d'Hopkinson dans laquelle on néglige les fuites devant le flux:

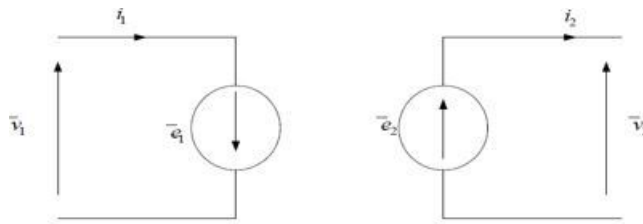
$$n_1 I_1 - n_2 I_2 = \Re \phi$$

4. Transformateur parfait

Définition

Un transformateur parfait :

- n'a pas de fuites magnétiques : $\phi_1 = \phi_2 = 0$;
- n'a pas de pertes Joule : $R_1 = R_2 = 0$;
- perméabilité est infinie (réductance nulle)
- n'a pas de pertes fer.



Les équations se simplifient :

$$V_1 = j\omega n_1 \phi$$

$$V_2 = j\omega n_2 \phi$$

$$n_1 I_1 - n_2 I_2 = 0$$

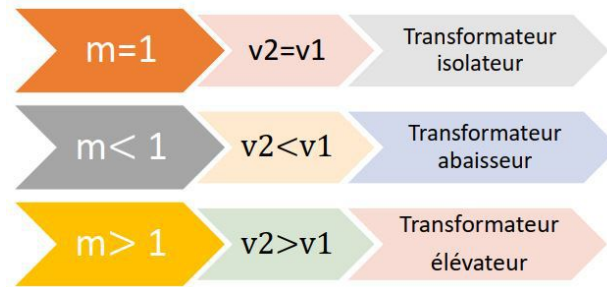
En éliminant le flux commun et en utilisant la relation de Hopkinson, on obtient les relations fondamentales :

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{I_1}{I_2} = m$$

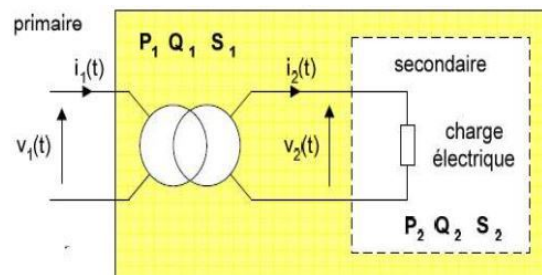
Ce rapport m est appelé **rapport de transformation**.

Remarque

Selon la valeur qui prend m , on peut distinguer :



Le bilan énergétique est comme suite :



1. Pas pertes : $P_1=P_2$ (rendement 100%)
2. Circuit magnétique parfait : $Q_1=Q_2$
3. Par conséquent $S_1=S_2$

5. Transformateur réel

5.1. Définition

En réalité le transformateur pendant son fonctionnement présente :

- Des pertes par effet joules due à la chute ohmique de la résistance interne des bobinages.
- Des fuites de flux dans le circuit magnétique.
- Des pertes dans le circuit magnétique dites pertes fer.
- La tension à la sortie du transformateur est très influencé par la nature de la charge et le courant qu'elle absorbe.

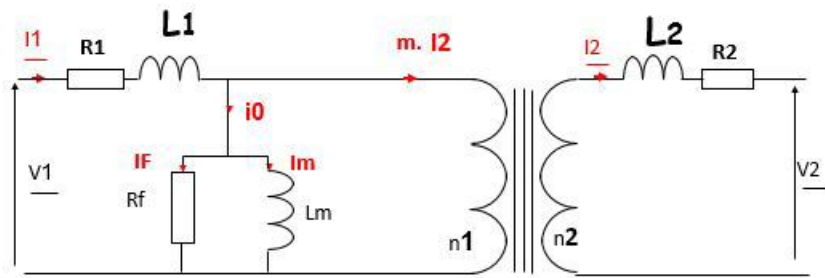


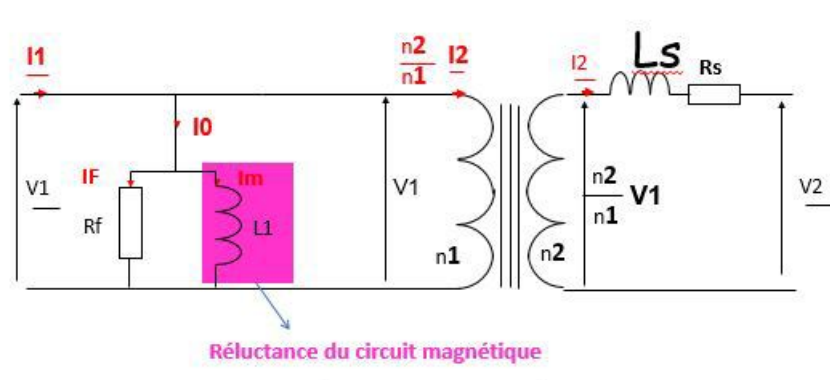
Schéma équivalent du transfo réel en charge

Le courant magnétisant est généralement faible devant $i1$ et la chute de tension dans $R1$ et $L1$ négligeable. On considère que l'on peut déplacer Rf et Lm devant $R1$ et $L1$ sans modifier significativement le modèle précédent

5.2. Impédance ramenée

Appliquant le théorème du transfert d'impédance :

- On peut ramener $R1$ et $L1$ au secondaire en les **multipliant** par $(m)^2$.
- On peut ramener $R2$ et $L2$ au primaire en la **divisant** par $(m)^2$.

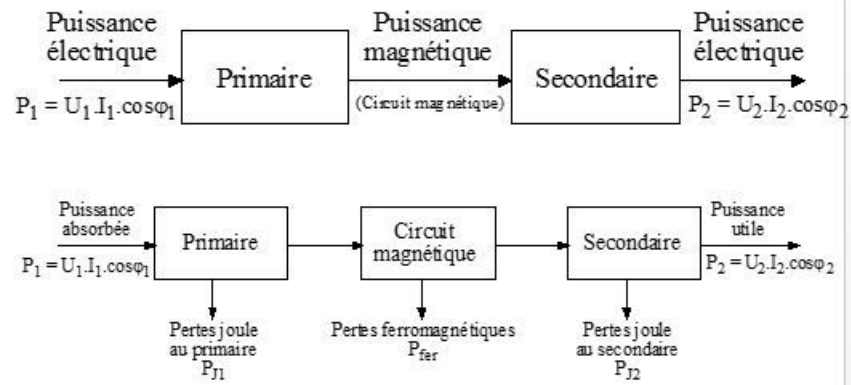


Appliquant le théorème du transfert d'impédance :

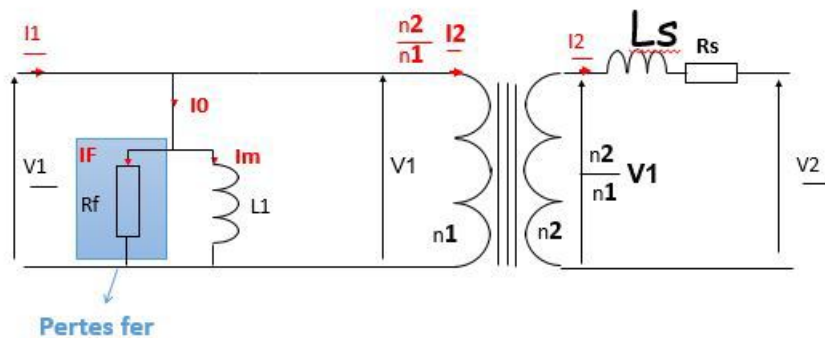
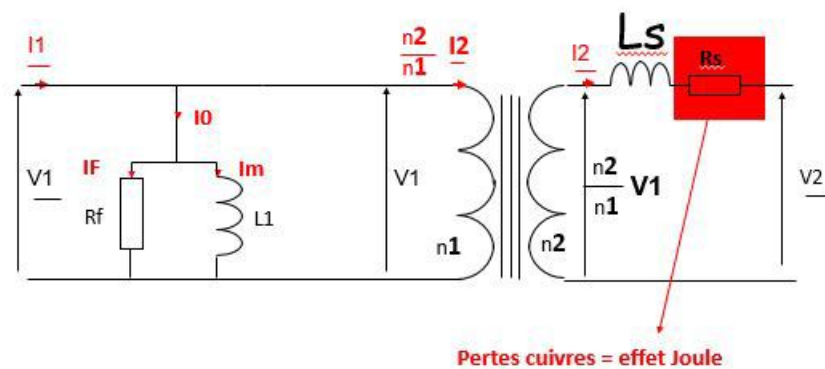
- On peut ramener $R1$ et $L1$ au secondaire en les **multipliant** par $(m)^2$.
- On peut ramener $R2$ et $L2$ au primaire en la **divisant** par $(m)^2$.

$$R_s = R_2 + m^2 R_1$$

$$L_s = L_2 + m^2 L_1$$



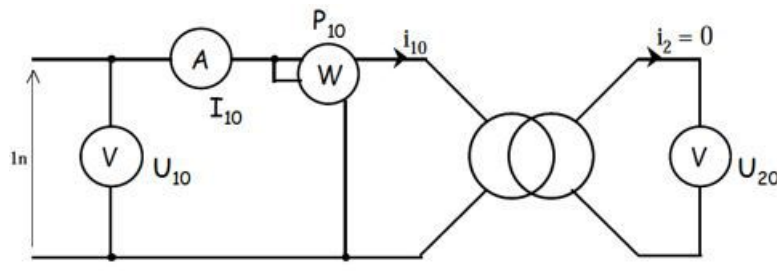
Bilan énergétique



5.3. Essai à vide

- Cet essai s'effectue sous tension nominale, le secondaire étant en circuit ouvert.
- Cet essai permet de déterminer le rapport de transformation du transformateur :

$$m = \frac{U_{20}}{U_1} = \frac{N_2}{N_1}$$



Il n'y a pas de puissance consommée au secondaire ($i_2 = 0 \Rightarrow P_2 = 0$), la puissance mesurée par le wattmètre correspond aux pertes joules au primaire et aux pertes fer :

$$P_{10} = P_{J10} + P_{\text{fer}}$$

Remarque

L'indice 0 (zéro) indique qu'il s'agit de valeurs à vide.

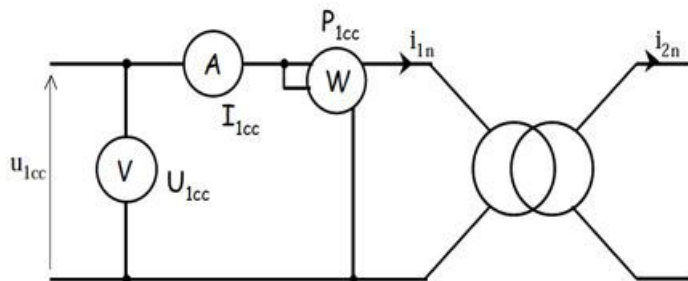
A vide I_{10} est très faible. Par conséquent $P_{J10} \ll P_{10}$.

Fondamental

L'essai **à vide** permet de mesurer les **pertes fer**.

5.4. Essai en court – circuit

L'essai en court – circuit est réalisé avec le secondaire branché en court – circuit, donc le primaire est alimenté sous faible tension



Dans cet essai également la puissance active fournie au secondaire est nulle ($u_2 = 0 \Rightarrow P_2 = 0$), la puissance active mesurée au primaire correspond donc aux pertes fer et aux pertes joules au primaire et au secondaire :

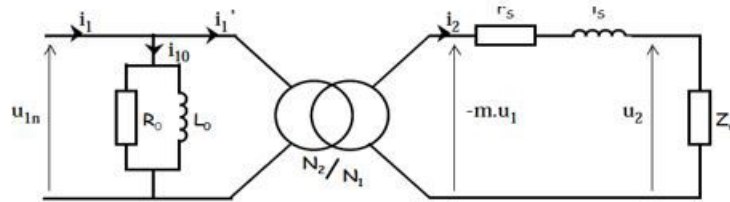
$$P_{1cc} = P_{J1cc} + P_{J2cc} + P_{\text{fer}}$$

Fondamental

L'essai en **CC** permet de mesurer les **pertes joules**.

5.5. Essai en charge

On choisit l'impédance de charge, Z_c , telle que le transformateur fonctionne aux conditions nominales de tension et de courant.



Fondamental

L'essai **en charge** étant effectué aux conditions nominales il est possible de calculer le **Chute de tension** et le **rendement** du transformateur

Définition

Par définition la chute de tension est donnée par la différence entre valeurs efficaces de la tension à vide et la tension en charge

$$\Delta V_2 = V_{20} - V_2$$

Pour déterminer la chute de tension on peut se servir de la relation suivante :

$$\Delta V_2 = I_2 \cdot (R_s \cdot \cos(\varphi_2) + X_s \cdot \sin(\varphi_2))$$

Méthode

Le rendement peut être déterminé pratiquement à l'aide des deux wattmètres pour les faibles puissances, cependant, pour les grandes puissances on utilise généralement la méthode des pertes séparées basée sur l'estimation des pertes. La relation utilisée est la suivante :

$$\eta = \frac{P_{\text{utilisée}}}{P_{\text{absorbée}}} = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_1}{P_1 + P_{Fe} + P_j}$$

Remarque

Le rendement varie en fonction des conditions d'utilisation du transformateur. Le meilleur rendement s'obtiendra pour les grandeurs d'utilisation nominales indiquées sur la plaque signalétique du transformateur

6. Transformateurs spéciaux

Dans les applications industrielles, on rencontre un grand nombre de transformateurs de construction spéciale.

6.1. Autotransformateur

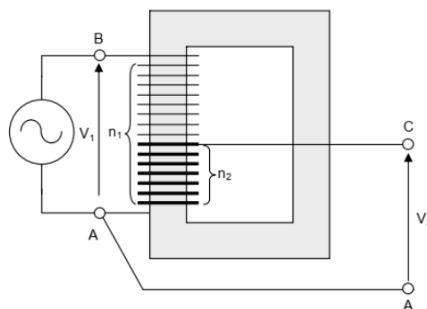
On appelle autotransformateur, un transformateur composé d'un enroulement unique monté sur un circuit magnétique. Pour un autotransformateur abaisseur, par exemple, la haute tension est appliquée à l'enroulement complet et la basse tension est obtenue entre une extrémité de l'enroulement et une prise intermédiaire.



Autotransformateurs variables

Soit un autotransformateur composé d'un enroulement AB de n_1 spires monté sur un circuit magnétique. L'enroulement est raccordé à une source de tension constante V_1 .

Le courant d'excitation crée un flux et, comme dans tout transformateur, ce flux demeure constant tant que V_1 est constante.



Autotransformateur

6.2. Transformateur de tension (TT)

Les transformateurs de tension sont utilisés sur les lignes à haute tension pour alimenter des appareils de mesure (voltmètre, wattmètre, etc.) ou de protection (relais). Ils servent à isoler ces appareils de la haute tension et à les alimenter à des tensions appropriées. Le primaire des transformateurs de tension est branché en parallèle avec le circuit dont on veut connaître la tension.

Le primaire des transformateurs de tension est branché en parallèle avec le circuit dont on veut connaître la tension. Leur construction diffère très peu de celle des transformateurs conventionnels

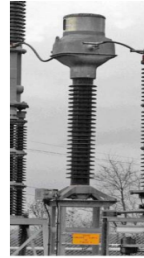
Par exemple, la figure du TT montre un transformateur utilisé sur une ligne à 140 kV, il comprend une grosse borne (traversée) en porcelaine afin d'isoler la ligne haute tension du boîtier qui est mis à la terre. Ce dernier renferme le transformateur proprement dit



Transformateur de tension.

6.3. Transformateur de courant (TI)

Les transformateurs de courant sont utilisés pour ramener à une valeur facilement mesurable les courants intenses des lignes à haute ou à basse tension. Ils servent également à isoler les appareils de mesure ou de protection des lignes à haute tension. Le primaire de ces transformateurs est monté en série avec la ligne dont on veut mesurer l'intensité.



Transformateur de courant

Conseil

On ne doit jamais ouvrir le secondaire d'un TI lorsque le primaire est alimenté.

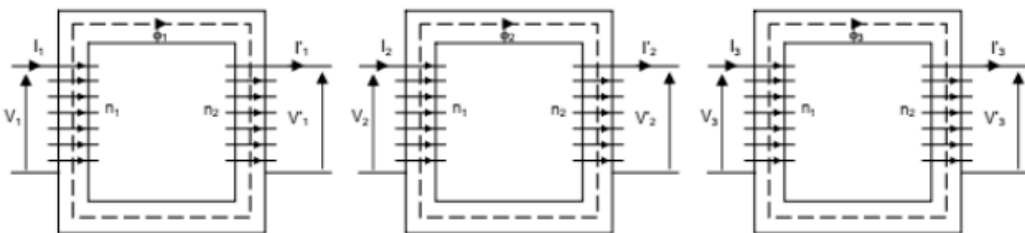
7. Transformateur triphasé

En triphasé, on peut utiliser trois transformateurs monophasés identiques dont on groupe les primaires et les secondaires en étoile ou en triangle.

Le transformateur triphasé joue un rôle fondamental pour le transport et la distribution de l'énergie électrique. Le transport de cette dernière ne peut être économique qu'en haute tension (ex 400Kv).

7.1. Principe

On peut transformer la tension d'un système de distribution triphasé à l'aide de trois transformateurs monophasés identiques comme l'indique.



Transformateur triphasé composé de trois transformateurs monophasés

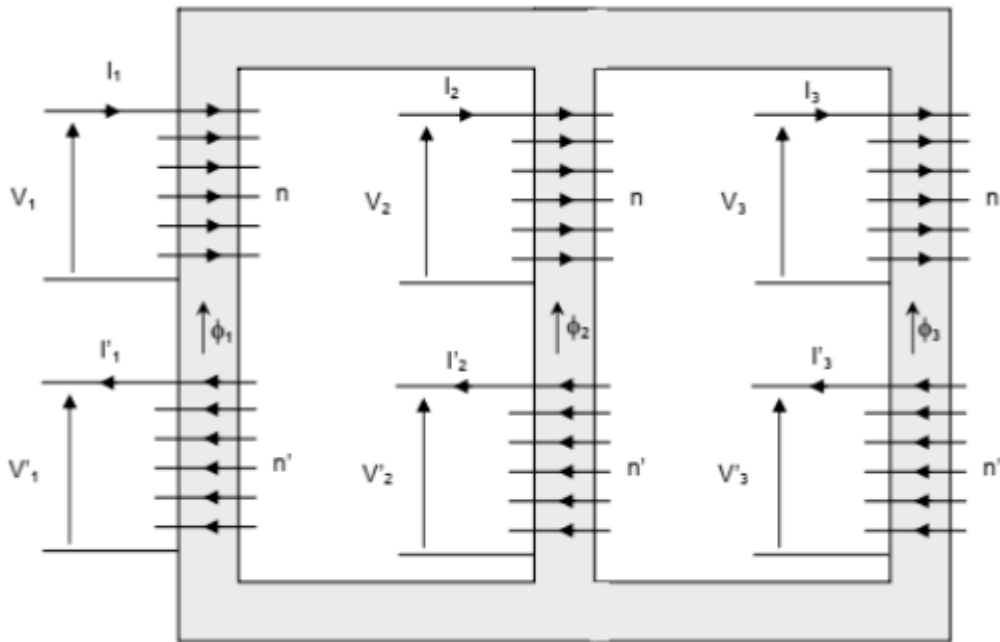
Les primaires de ces transformateurs seront alors groupés :

- Soit en étoile et donc alimentés par les tensions simples ;
- Soit en triangle et donc alimentés par les tensions composées.

De la même façon, les bobines secondaires pourront être couplés en étoile ou en triangle .

On peut donc à priori réunir les trois transformateurs en un seul comportant trois colonnes.

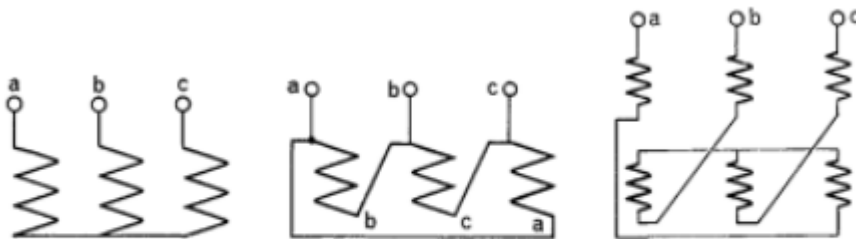
Chacune de ces colonnes porte un bobinage primaire et un bobinage secondaire comme cela est représenté sur le schéma de principe



Circuit magnétique à 3 colonnes d'un transformateur triphasé.

7.2. Modes de couplage des enroulements

Comme tout système triphasé, les enroulements primaires et secondaires peuvent être couplés en étoile ou en triangle. Il existe une troisième variante de couplage est dit en zig-zag.



(a) Couplage étoile (b) Couplage triangle (c) Couplage zig-zag

Différents couplages d'un primaire ou d'un secondaire.

Trois couplages des enroulements sont donc possibles, chacun d'eux est désigné par une lettre :

- y pour le couplage étoile ;
- d pour le couplage triangle ;
- z pour le couplage zigzag

7.3. Plaque signalétique d'un transformateur triphasé

La plaque signalétique nous renseigne sur :

- Nom du constructeur
- numéro de fabrication
- Année de Fabrication
- Le nombre de phases du transformateur
- La fréquence nominale d'utilisation du transformateur
- La puissance apparente nominale en VA.....



plaque signalétique

8. Exercice

[solution n°8 p.33]

Quels sont les différents essais d'un transformateur ?

9.

Exercice :

Sur un transformateur monophasé, on a effectué les essais suivants :

-Essai à vide $U_{10} = U_{1n} = 220V$; $U_{20} = 44V$; $P_0 = 80W$; $I_0 = 1A$

-Essai en court-circuit $U_{1cc} = 40V$; $P_{cc} = 250W$; $I_{2cc} = 100A$

1-Calculer le rapport de transformation m , déduire le nombre de spires N_2 si $N_1 = 520$ spires

2-Déterminer le facteur de puissance à vide, la résistance R_m et la réactance X_m

3-Déterminer la résistance ramenée au secondaire R_s et la réactance X_s

4- pour quel courant du secondaire, le rendement du transformateur est maximal

5-le transformateur alimente une charge constituée par une résistance R en série avec une inductance L ayant un facteur de puissance 0.8

a)Calculer la tension aux bornes de la charge (on suppose que le rendement est maximal)

b)Déduire ce rendement maximal

c)Déterminer les valeurs de R et L .

10. Exercice

[solution n°9 p.33]

En désignant par m le rapport de transformation défini par $m=N_2/N_1$ si $m > 1$

- ☐ abaisseur
- ☐ éleveur

11. Exercice

[solution n°10 p.33]

L'essai à vide permet de mesurer

- ☐ les pertes joules
- ☐ les pertes fer

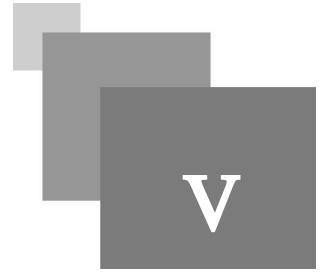
12. Exercice

[solution n°11 p.33]

L'essai en court circuit permet de mesurer

- ☐ les pertes joules
- ☐ les pertes fer

Test de sortie



Exercice

[solution n°12 p.33]

quels sont les critères de choix d'un isolant

Exercice

[solution n°13 p.34]

Quelle est la différence entre un transformateur et autotransformateur.

Exercice

[solution n°14 p.34]

la lettre d désigne le couplage

- ☐ étoile
- ☐ triangle
- ☐ zigzag



Exercice p. 8

Qu'est-ce qu'un transformateur ?

Un transformateur a pour but de modifier les amplitudes des grandeurs électriques alternatives : il transforme des signaux de tension et de courant de fréquence donnée en signaux de même fréquence mais

Exercice p. 8

Pourquoi utiliser un transformateur ?

Le transformateur joue un rôle important dans le transport et la distribution de l'énergie électrique.

Exercice p. 8

Quelle sont les différents types des matériaux

Conducteur, magnétique et isolant

Exercice p. 15

Quels sont les matériaux utilisés en électricité

Matériaux conducteurs.

Exercice p. 15

Quel type de matériau est souvent utilisé pour isoler les câbles électriques

- ☐ Aluminium
- ☐ Cuivre
- ☒ Plastique
- ☐ Acier inoxydable

Exercice p. 15

Quel est le rôle principal du circuit magnétique

- ☐ Convertir l'énergie électrique en énergie magnétique
- ☒ Fournir un chemin de moindre résistance pour le flux magnétique
- ☐ Générer un champ magnétique permanent

> **Solution n°7**

Exercice p. 15

Quel matériau est généralement utilisé pour construire un circuit magnétique

- ☐ cuivre
- ☒ Fer
- ☐ Plastique

> **Solution n°8**

Exercice p. 29

Quels sont les différentes essais d'un transformateurs

Essai à vide , en court circuit et en charge

> **Solution n°9**

Exercice p. 30

En désignant par m le rapport de transformation défini par $m=N_2/N_1$ si $m > 1$

- ☐ abaisseur
- ☒ élévateur

> **Solution n°10**

Exercice p. 30

L'essai à vide permet de mesurer

- ☐ les pertes joules
- ☒ les pertes fer

> **Solution n°11**

Exercice p. 30

L'essai en court circuit permet de mesurer

- ☒ les pertes joules
- ☐ les pertes fer

> Solution n°12

Exercice p. 31

quels sont les critères de choix d'un isolant

la température ,le champ électrique,contraintes mécaniques et de l'environnement

> Solution n°13

Exercice p. 31

Quelle est la différence entre un transformateur et autotransformateur.

On appelle autotransformateur, un transformateur composé d'un enroulement unique monté sur un circuit magnétique.

> Solution n°14

Exercice p. 31

la lettre d désigne le couplage

- ☐ étoile
- ☒ triangle
- ☐ zigzag

Références

*Claude CHEVASSU,
MACHINES
ÉLECTRIQUES: Cours et
Problèmes, ENSM, 2012* Référence

*Dominique BAREILLE,
Laurent MOSSION,
Claude GARNIER,
L'essentiel* Référence

*Marcel JUFER: Les
entraînements électriques:
Méthodologie de
conception, Hermès –* Référence