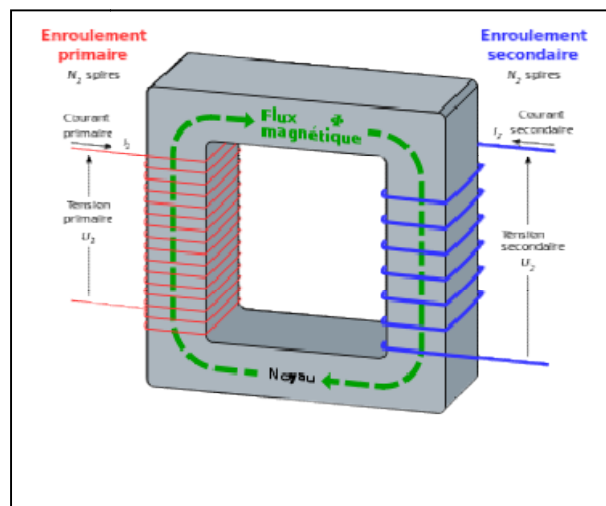
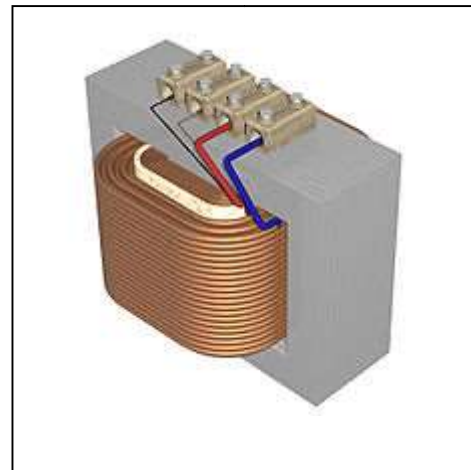


Physique appliquée

BTS 1 Electrotechnique



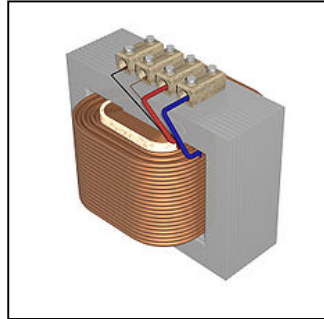
Le transformateur monophasé et triphasé

1. Fonctionnement du transformateur monophasé parfait.....	3
1.1. Constitution du transformateur.....	3
1.2. Détermination du rapport de transformation.....	4
1.3. Relation entre les courants primaire et secondaire.....	4
1.4. Exercices d'application directe sur le rapport de transformation.....	5
1.5. La relation de Boucherot :.....	6
2. Fonctionnement du transformateur monophasé réel.....	8
2.1. Bilan des pertes et imperfections dans le transformateur.....	8
2.2. Modèle du transformateur monophasé en tenant compte des pertes et imperfections.....	9
2.3. Modèle simplifié dans l'hypothèse de Kapp.....	10
2.4. Essais nécessaires pour l'obtention du modèle.....	12
2.5. Diagramme de Kapp.....	14
2.6. Exercices d'application.....	15
2.7. Rendement du transformateur par les pertes séparées.....	17
3. Le transformateur triphasé.....	20
3.1. Constitution.....	20
3.2. Couplage.....	21
3.3. Indice horaire.....	22
3.4. Modèle par phase.....	25
3.5. Diagramme de Kapp.....	25
3.6. Rendement.....	26
3.7. Transformateurs en parallèles.....	26
3.8. Problèmes d'application.....	27

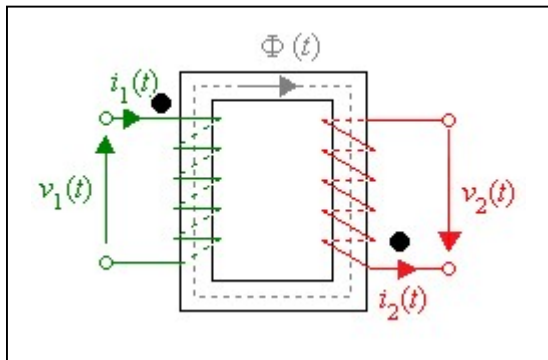
1. Fonctionnement du transformateur monophasé parfait

1.1. Constitution du transformateur.

Un transformateur est constitué de deux bobinages enroulés autour d'un circuit magnétique.



Représentation simplifiée des enroulements :



L'enroulement 1 est alimenté par le réseau sous une tension alternative sinusoïdale $v_1(t)$.

$$v_1(t) = N_1 \cdot \frac{d\Phi(t)}{dt} \quad (1)$$

Un courant $i_1(t)$ sinusoïdal en retard de 90° sur la tension circule dans le bobinage primaire créant un flux $\Phi(t)$.

$$\Phi = L \cdot i(t)$$

La variation du flux induit une tension au secondaire notée $v_2(t)$.

$$v_2(t) = N_2 \cdot \frac{d\Phi(t)}{dt} \quad (2)$$

Les points noirs situés aux extrémités des bobinages sont appelés « Bornes homologues »

Elles repèrent le sens des bobinages.

Dans la convention récepteur au primaire et générateur au secondaire, les tensions dirigées vers ces bornes sont en phases.

1.2. Détermination du rapport de transformation.

En divisant les équations (2) par (1), on pourra écrire :

$$\frac{v_2(t)}{v_1(t)} = \frac{N_2 \cdot \frac{d\Phi(t)}{dt}}{N_1 \cdot \frac{d\Phi(t)}{dt}} \quad \frac{(2)}{(1)}$$

D'où

$$\frac{v_2(t)}{v_1(t)} = \frac{N_2}{N_1}$$

En prenant les valeurs efficaces, on note :

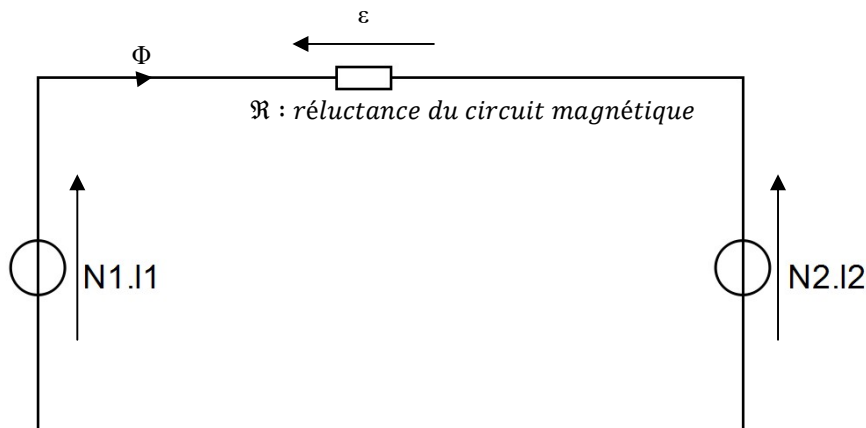
$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{N_2}{N_1}$$

On pose que le rapport de transformation est :

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

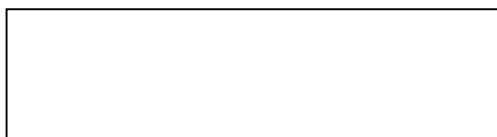
1.3. Relation entre les courants primaire et secondaire.

Le circuit magnétique pourra être représenté par le schéma suivant par analogie aux circuits électriques :



Exercice 1 :

- 1- Ecrire la loi des mailles de ce circuit :
- 2- Montrer que $N_1.I_1 = N_2.I_2$ si dans le cas d'un circuit magnétique parfait la réluctance vaut 0 At.Wb^{-1} .
- 3- Etablir le rapport des courants en fonction du rapport de transformation.



1.4. Exercices d'application directe sur le rapport de transformation

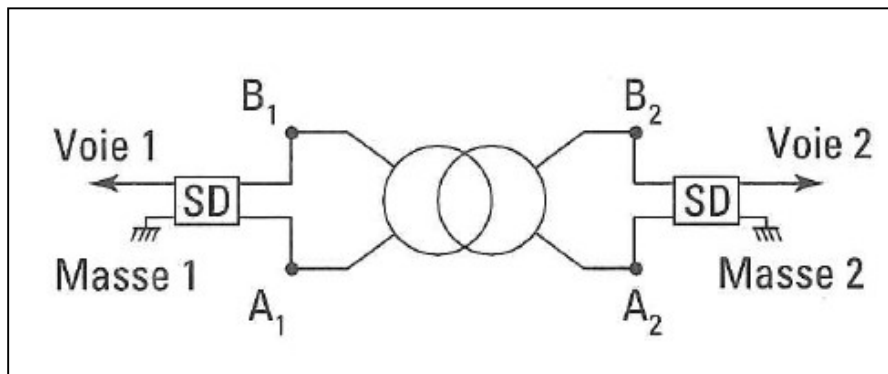
Exercice 2 :

Un transformateur parfait possède un rapport de transformation de $m=0,5$.
La charge au secondaire absorbe un courant sinusoïdal de $I_2=5A$.
Le nombre de spire au primaire est de $N_1=100$ spires.

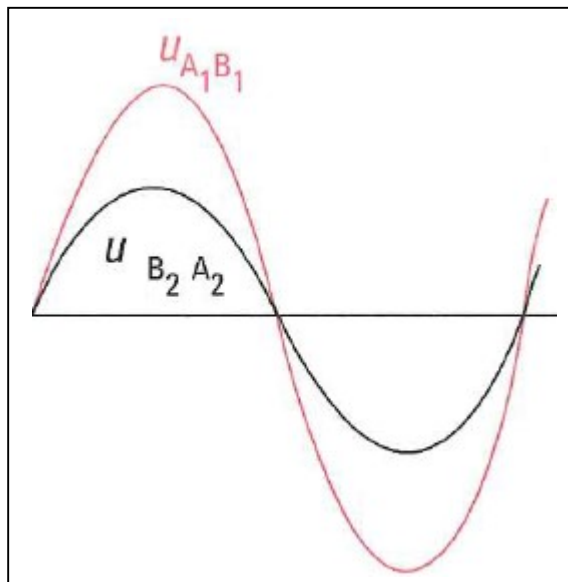
- 1- Calculer la valeur du courant absorbé au primaire noté I_1 .
- 2- Calculer le nombre de spires du bobinage secondaire noté N_2 .

Exercice 3 :

On réalise la mesure suivante au laboratoire :



Les mesures sont :



- 1- A la vue de ces mesures, indiquer les tensions $U_{A_1B_1}$ et $U_{B_2A_2}$ sur le schéma de montage.
- 2- Déterminer la position des bornes homologues.

Exercice 4 :

On veut réaliser un transformateur dont les tensions sont 400V AC au primaire et 24V AC au secondaire.

- 1- Combien faut-il de spires N_2 au secondaire pour obtenir la tension V_2 si la bobine du primaire possède $N_1 = 5000$ spires.

Exercice 5:

Un transformateur monophasé possède $N_1 = 1500$ spires et permet de passer une puissance apparente de 100VA.

Le primaire est alimenté sous $230V_{\text{eff}}$ AC.

- 1- Calculer la valeur du courant nominal primaire noté I_{1N} .
- 2- Calculer la valeur du courant nominal noté I_{2N} si la tension au secondaire est 12V.
- 3- Calculer le nombre de spires au secondaire noté N_2 .
- 4- Quelle sera la puissance maximale absorbée par un moteur de facteur de puissance 0,75 pour être au régime nominal.

Exercice 6:

Un transformateur monophasé alimente un moteur de facteur de puissance 0,82 sous une tension de 48V AC, le transformateur fonctionne au point nominal.

La puissance absorbée par ce moteur est 600W.

- 1- Calculer la valeur du courant absorbé par le moteur noté I_{2N} .
- 2- Calculer la puissance apparente du transformateur.
- 3- Calculer la valeur du courant primaire absorbé par le transformateur noté I_{1N} si le rapport de transformation est de $m = 0.12$.
- 4- Calculer la valeur de la tension du primaire.

1.5. La relation de Boucherot :

Exercice 7 :

Un transformateur est alimenté sous une tension primaire $v_1(t) = V_{\text{max}} \cdot \sin(\omega \cdot t)$.

On sait que le flux total embrassé par la bobine du primaire est $\Phi_{\text{tot}} = N_1 \cdot \Phi$

Et que $\Phi_{\text{tot}} = N_1 \cdot B \cdot S$ ou B est l'induction magnétique dans le fer.

- 1- En intégrant la loi de Faraday, $v_1(t) = N_1 \cdot \frac{db(t)}{dt} \cdot S$, établir l'expression de $b(t)$.
- 2- Exprimer alors B_{max} de la fonction cosinoïdale obtenue.
- 3- Montrer que les résultats précédents aboutissent à la formule de Boucherot :

$$V_{\text{eff}} = 4.44 \cdot B_{\text{max}} \cdot N \cdot S \cdot f$$

La relation pourra s'appliquer à $V_{2\text{eff}}$ et N_2 du côté secondaire.

Exercice 8 :

On fait « circuler » un flux sinusoïdal de 5 mWb en valeur efficace dans un circuit magnétique de section 50 cm².

- 1- Calculer la valeur de l'induction maximale dans le circuit magnétique.
- 2- Calculer la valeur du nombre de spires N1 de la bobine du primaire sachant qu'on alimente ce circuit en 230V alternatif sinusoïdal sous 50Hz.
- 3- Calculer la valeur du nombre de spires N2 de la bobine du secondaire sachant qu'on souhaite obtenir une tension efficace de 48V AC.

Exercice 9 :

On prend deux bobines de N1= 1000 spires et enroulé autour d'un circuit magnétique de section circulaire de diamètre 5 cm.

- 1- Calculer la section du circuit magnétique.
- 2- Déterminer la valeur de l'induction maximale si on alimente le primaire sous 400V et 50Hz .
- 3- Déterminer la valeur de la tension à vide au secondaire si N2=N1/5.

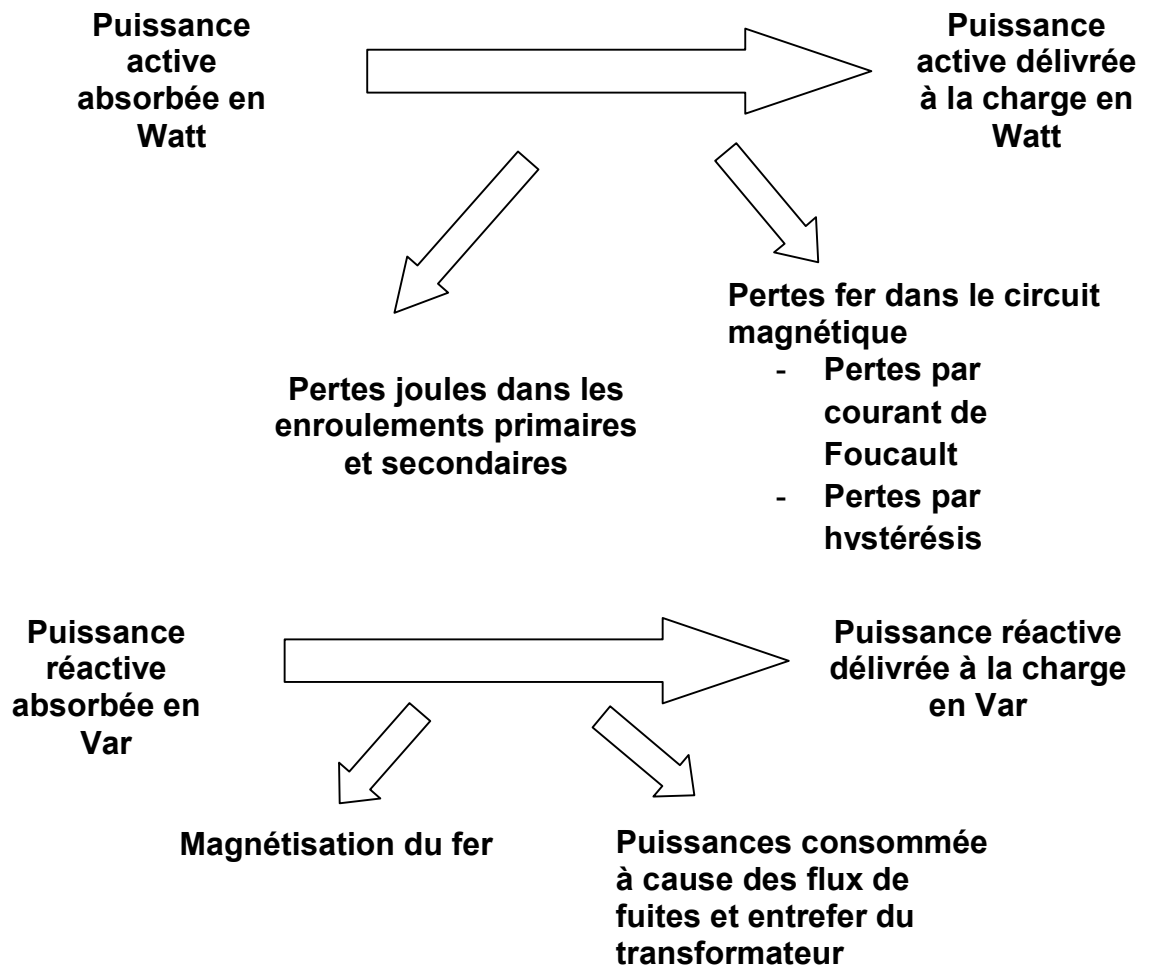
Exercice 10 :

On magnétise un circuit magnétique de section S cm² sous une induction sinusoïdale de 0,8T en valeur efficace.

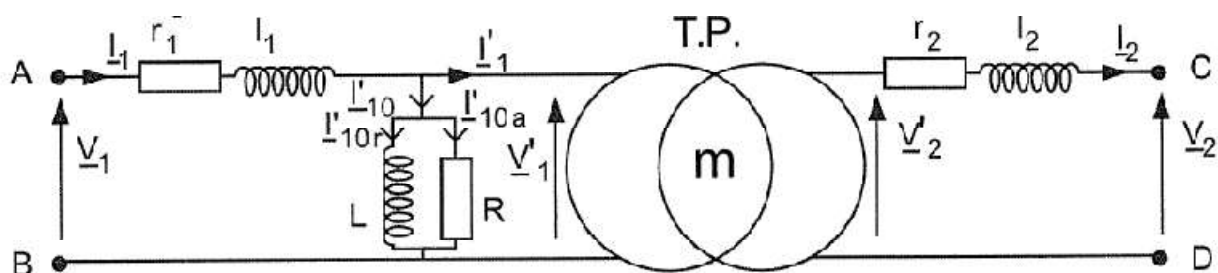
- 1- Calculer la valeur de l'induction maximale dans le circuit magnétique.
- 2- Calculer la valeur de la section sachant qu'on enroule la bobine du primaire avec N1=2000 spires autour du circuit magnétique. On alimente le primaire sous une tension de 230V_{eff} AC sous 50Hz.
- 3- Calculer la valeur du nombre de spires N2 de la bobine du secondaire sachant qu'on souhaite obtenir une tension efficace de 400V_{eff} AC.

2. Fonctionnement du transformateur monophasé réel.

2.1. Bilan des pertes et imperfections dans le transformateur.



2.2. Modèle du transformateur monophasé en tenant compte des pertes et imperfections.



Rôle des dipôles du modèle :

- r1 :
- l1 :
- L :
- R :
- T.P. et m :
- r2 :
- l2 :

Exercice 11 :

On réalise un bobinage de 5000 spires au primaire d'un fil de diamètre de 3mm et de 300 spires au secondaire de diamètre 5mm. $\rho_{cuivre} = 1.7 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot m$

On rappelle l'expression de l'inductance d'un solénoïde donnée par : $L = \frac{N^2 \cdot \mu_0 \cdot \mu_r \cdot S_{bob}}{l_{bob}}$

Le circuit magnétique est de section circulaire de diamètre $D=3cm$ et de perméabilité relative valant 2500.

La perméabilité magnétique de l'air est $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$

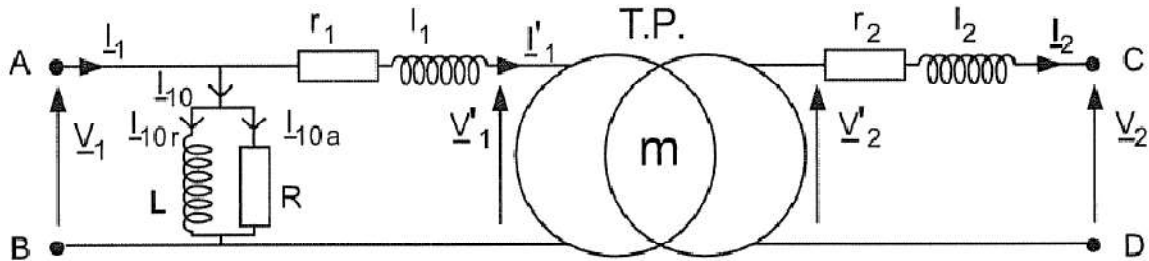
1. Calculer la valeur de r1 et r2 du modèle.
2. Calculer la valeur de L.

Les autres valeurs des dipôles seront déterminées par des essais expérimentaux.

2.3. Modèle simplifié dans l'hypothèse de Kapp.

On considère que la chute de tension aux bornes de r_1 et l_1 est négligeable devant V_1 , de ce fait l'impédance magnétisante \underline{Z}_{RL} est alimentée quasiment sous la tension primaire.

Le schéma précédent devient :



En exprimant la puissances consommées par r_1, r_2 I_1 et I_2 , on pourra noter que :

$$\text{Pertes joules} = r_1 \cdot i_1'^2 + r_2 \cdot i_2^2 \quad \text{comme } i_1' = m \cdot i_2$$

$$\text{Pertes joules} = r_1 \cdot (m \cdot i_2)^2 + r_2 \cdot i_2^2 = (r_1 \cdot m^2 + r_2) \cdot i_2^2$$

$$\text{On pose que } R_2 = r_1 \cdot m^2 + r_2$$

$$\text{D'où Pertes joules} = R_2 \cdot i_2^2$$

De la même manière, on pourra exprimer la puissance réactive consommée au primaire et au secondaire à cause des flux de fuite.

$$Q_{\text{fuite}} = l_1 \cdot \omega \cdot i_1'^2 + l_2 \cdot \omega \cdot i_2^2 \quad \text{comme } i_1' = m \cdot i_2$$

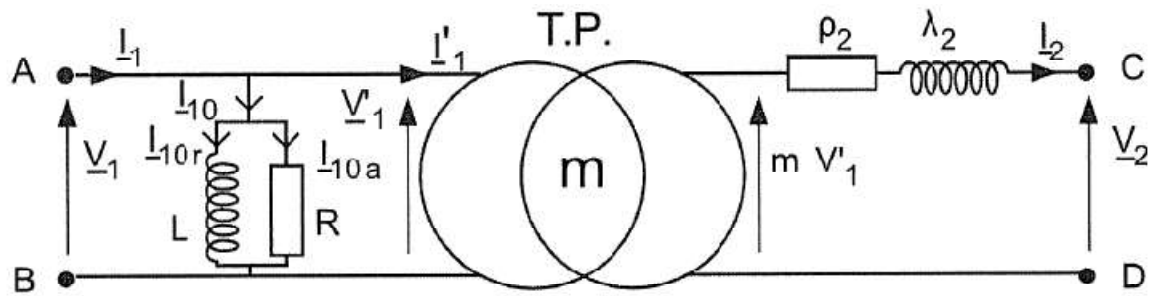
$$Q_{\text{fuite}} = l_1 \cdot \omega \cdot (m \cdot i_2)^2 + l_2 \cdot \omega \cdot i_2^2 = (l_1 \cdot \omega \cdot m^2 + l_2 \cdot \omega) \cdot i_2^2$$

$$\text{On pose que } X_2 = l_1 \cdot \omega \cdot m^2 + l_2 \cdot \omega = L_2 \cdot \omega \quad \text{Soit } L_2 = l_1 \cdot \omega \cdot m^2 + l_2 \cdot \omega$$

$$\text{D'où } Q_{\text{fuite}} = X_2 \cdot i_2^2$$

Le schéma précédent pourra être ramené à un modèle de Thévenin :

$$R_2 \quad L_2$$



Exercice 12 :

On donne la valeur de $R_2 = 0,5\Omega$ et $X_2=0,6\Omega$.

Le transformateur débite sur une charge résistive en absorbant un courant de 10A sous une tension V_2 de 127V.

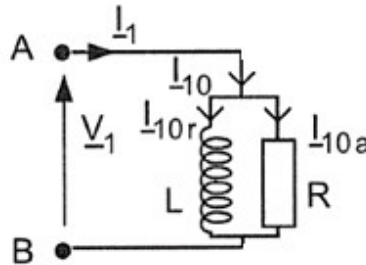
- 1- Calculer les valeurs des chutes de tensions \underline{U}_{R_2} et \underline{U}_{X_2} aux bornes R_2 et X_2 .
- 2- Exprimer la loi des mailles entre les tensions du secondaire dans l'hypothèse de K_{app} .
- 3- Représenter les vecteurs de Fresnel en correspondance avec la loi des mailles.
- 4- Calculer la valeur de la tension à vide.

2.4. Essais nécessaires pour l'obtention du modèle.

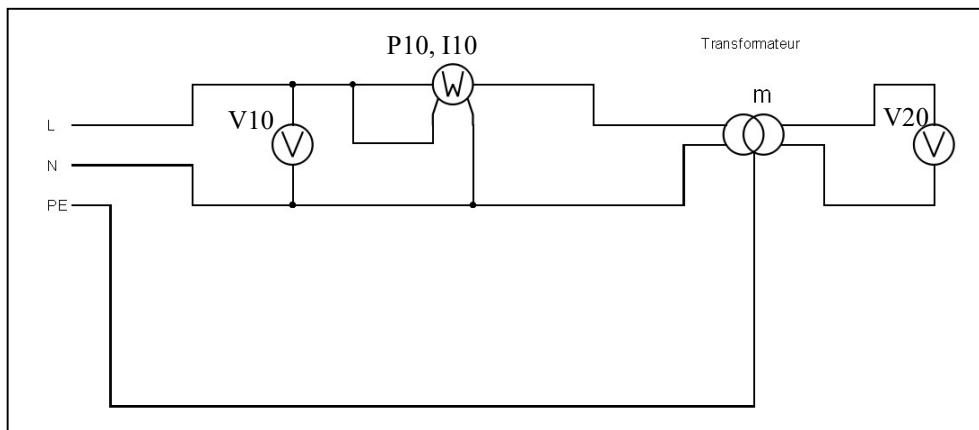
Essai à vide :

Cet essai va permettre de déterminer les valeurs des deux dipôles constituant l'impédance magnétisante.

A vide, le schéma équivalent sera :



Le montage sera :



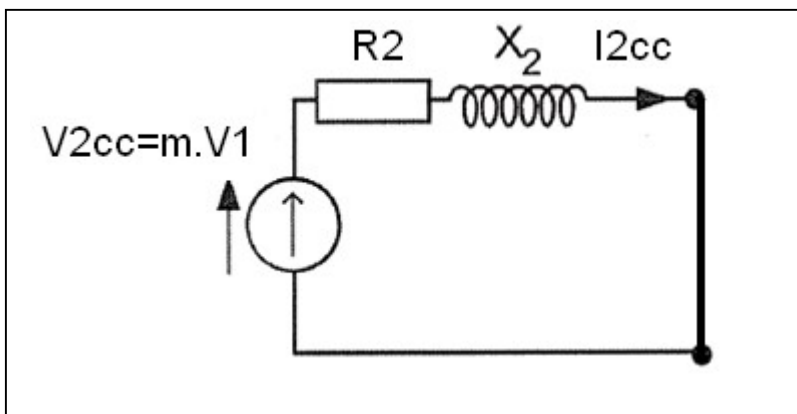
Exercice 13 :

Il s'agit d'un essai à vide réalisé sous tension primaire minimale $V_{10} = V_{1N} = 230V$. On a mesuré les grandeurs suivantes : $I_{10} = 0,24 A$: valeur efficace de l'intensité du courant absorbé par le primaire. $V_{20} = 48,2 V$: valeur efficace de la tension secondaire à vide. $P_{10} = 10,2 W$: puissance absorbée par le primaire. On donne $r_1 = 1\Omega$ la résistance du bobinage primaire. La fréquence est de $50Hz$.

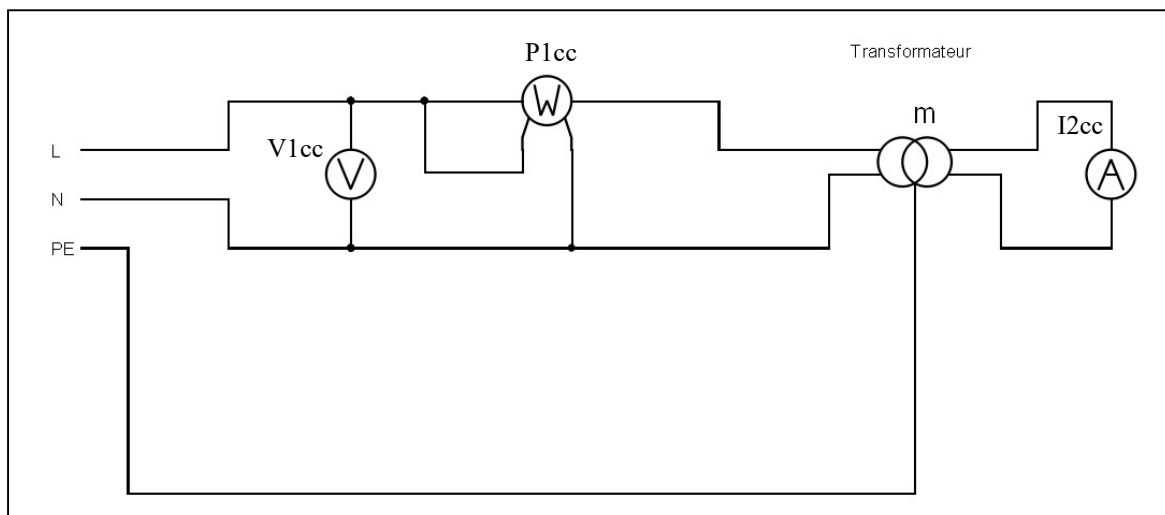
1. Calculer le rapport de transformation ou rapport du nombre de spires.
2. Evaluer les pertes par effet Joule dans ce fonctionnement.
3. En déduire la valeur des pertes dans le fer à vide et justifier l'emploi de cette même valeur en charge sous tension primaire.
4. Déterminer la valeur de R et L de l'impédance magnétisante du schéma équivalent du transformateur.

Essais en court circuit :

Le schéma équivalent dans cette condition de fonctionnement deviendra :



Cet essai va permettre de déterminer les valeurs des deux dipôles constituant l'impédance équivalente ramenée au secondaire.

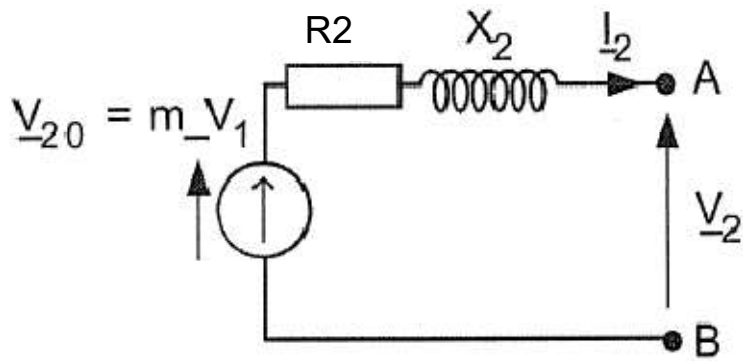


Exercice 14 :

Le secondaire est court-circuité et le primaire est alimenté sous tension réduite. Le courant secondaire de court-circuit I_{2cc} est égal au courant secondaire nominal, I_{2n} . et $P_{1cc} = 12W$ sous $V_{1cc} = 15V$. On note que la puissance nominale du transformateur est de $200VA$ sous $V_{1N} = 230V$ et $V_{2N} = 24V$.

1. Sachant que, dans cet essai, le transformateur peut être considéré comme parfait pour les courants, calculer la valeur du courant secondaire de court-circuit, I_{2cc} .
2. Calculer la valeur de la résistance équivalente ramenée au secondaire R_2 .
3. Calculer la valeur de l'impédance équivalente totale ramenée au secondaire Z_2 .
4. Déterminer la valeur de X_2 .

2.5. Diagramme de Kapp.



La loi des mailles donne :

Le diagramme vectoriel donne :

Sur charge résistive :

Sur charge inductive :

Sur charge capacitive :

2.6. Exercices d'application.

Exercice 15:

Les éléments du modèle équivalent (de Kapp) vu du secondaire d'un transformateur sont les suivants : $R_2 = 2 \Omega$, $X_2 = 3,6 \Omega$, $U_{20} = 116 \text{ V}$.

Donner le diagramme de Kapp (échelle 10 V/1cm) et déterminer la tension secondaire en charge U_2 pour les charges suivantes:

- $I_2 = 20 \text{ A}$ avec un $\cos \varphi_2 = 0,8$ inductif
- $I_2 = 20 \text{ A}$ avec un $\cos \varphi_2 = 0,8$ capacitif
- Comparer les résultats avec ceux obtenus en utilisant la formule de chute de tension approchée.

Exercice 16:

Lors d'un essai avec une charge inductive de facteur de puissance égal à 0,78, on veut tracer les vecteurs de Fresnel en prenant le courant I_2 comme référence, on a :

$R_s = 400 \text{ m}\Omega$ et $X_s = 2,5 \Omega$, $I_2 = 24 \text{ A}$, la tension du secondaire à vide est $U_{20} = 120 \text{ V}$.

1) Placer sur votre feuille les vecteurs de Fresnel correspondant aux tensions $\underline{R_s \cdot I_2}$ et $\underline{X_s \cdot I_2}$ (on prendra une Echelle de 1 cm pour 15V)

2) Tracer l'arc de cercle de centre O (O est l'origine du vecteur $\underline{R_s \cdot I_2}$) et de rayon $\underline{U_{20}}$.

3) Tracer à partir de l'extrémité du vecteur $\underline{X_s \cdot I_2}$, la direction du vecteur U_2 .

4) A l'aide de la relation $\underline{U_{20}} = \underline{R_s \cdot I_2} + \underline{X_s \cdot I_2} + \underline{U_2}$, construire le Vecteur U_2 .

5) A l'aide de l'échelle déterminer la valeur efficace U_2 de la tension aux bornes de la charge

6) calculer la chute de tension $\Delta U_2 = U_{20} - U_2$

7) A l'aide de la formule approchée, vérifier la valeur ΔU_2 de la chute de tension au secondaire.

8) Quelle est la nature de la charge qu'il faut avoir au secondaire pour avoir une chute de tension ΔU_2 nulle.

Exercice 17:

On étudie un transformateur dont les caractéristiques sont les suivantes :

Tension primaire nominale $U_1=230$ V, fréquence , $f=50$ Hz, nombre de spires au primaire $N_1=600$ spires.

Essai à vide : $U_1=230$ V et $U_{2v}=118$ V .Intensité au primaire à vide $I_{1v}=0,35$ A ; puissance consommée au primaire à vide $P_{1v}=40$ W

Essai en court-circuit : tension primaire $U_{1cc}=10$ V; intensité secondaire $I_{2cc}=10$ A ; puissance consommée au primaire $P_{1cc}=36$ W

Essai avec une charge nominale: pour $U_1=230$ V, l'intensité au secondaire $I_2=20$ A sur charge inductive de facteur de puissance $\cos \varphi_2=0,8$.

Calculer:

1. Le facteur de puissance de l'essai à vide.
2. Le nombre de spires au secondaire.
3. Déterminer pour la charge nominale, la tension secondaire U_2 à l'aide du diagramme de Kapp.
4. En déduire la chute relative de tension. Calculer la puissances active au secondaire.

Exercice 18 :

Un transformateur monophasé est alimenté par une tension alternative sinusoïdale au primaire de valeur efficace $U_1=2$ kV et de fréquence 50 Hz.

Un essai à vide a donné : $U_1=2000$ V ; $U_{2v}=230$ V ; $I_{1v}=1,2$ A ; $P_{1v}=560$ W.

Un essai en court-circuit a donné : $U_{1cc}=150$ V ; $I_{2cc}=100$ A ; $P_{1cc}=720$ W.

Pour la charge nominale on a relevé: $U_1=2000$ V ; $I_2=100$ A ; facteur de puissance sur charge inductive $\cos \varphi=0,8$.

- 1) Calculer la valeur du facteur de puissance à vide et le rapport de transformation à vide.
- 2) Calculer les éléments du modèle équivalent du transformateur ramenés au secondaire.
- 3) Pour la charge nominale;
 - a- Calculer les chutes de tension correspondant au triangle de Kapp.
 - b- Construire le diagramme de Kapp.
 - c- A l'aide de la formule approchée, calculer la valeur de la chute de tension secondaire.
 - d- Calculer la puissance active secondaire et le rendement du transformateur.

La section du circuit magnétique est $s = 60 \text{ cm}^2$ et la valeur maximale du champ magnétique $B = 1,1 \text{ T}$.

L'essai à vide a donné les résultats suivants : $U_1 = 5\,000 \text{ V}$; $U_2 = 230 \text{ V}$; $I_1 = 0,50 \text{ A}$ et $P_1 = 250 \text{ W}$.

L'essai en court-circuit avec $I_{2CC} = I_2$ a donné les résultats suivants : $P_{1CC} = 300 \text{ W}$ et $U_{1CC} = 200 \text{ V}$.

1. Calculer le nombre de spires N_1 au primaire.
2. Calculer le rapport de transformation m et le nombre N_2 de spires au secondaire.
3. Quel est le facteur de puissance à vide de ce transformateur ?
4. Quelle est l'intensité efficace du courant secondaire I_2 ?
5. Déterminer les éléments R_S ; Z_S et X_S de ce transformateur.
6. Calculer le rendement de ce transformateur lorsqu'il débite un courant d'intensité nominale dans une charge inductive de facteur de puissance 0,83.

Exercice 20 :

L'étude d'un transformateur monophasé a donné les résultats suivants :

Mesure en continu des résistances des enroulements à la température de fonctionnement : $r_1 = 0,2 \Omega$ et $r_2 = 0,007 \Omega$.

Essai à vide : $U_1 = U_{1n} = 2\,300 \text{ V}$; $U_2 = 240 \text{ V}$; $I_1 = 1,0 \text{ A}$ et $P_1 = 275 \text{ W}$.

Essai en court-circuit : $U_{1CC} = 40 \text{ V}$; $I_{2CC} = 200 \text{ A}$.

1. Calculer le rapport de transformation m .
2. Montrer que dans l'essai à vide les pertes Joule sont négligeables devant P_1 .
3. Déterminer la valeur de la résistance ramenée au secondaire R_S .
4. Calculer la valeur de P_{1CC} .
5. Déterminer X_S .
6. Déterminer par la méthode de votre choix, la tension aux bornes du secondaire lorsqu'il débite un courant d'intensité $I_2 = 180 \text{ A}$ dans une charge capacitive de facteur de puissance 0,9.
7. Quel est alors le rendement.

Exercice 21 :

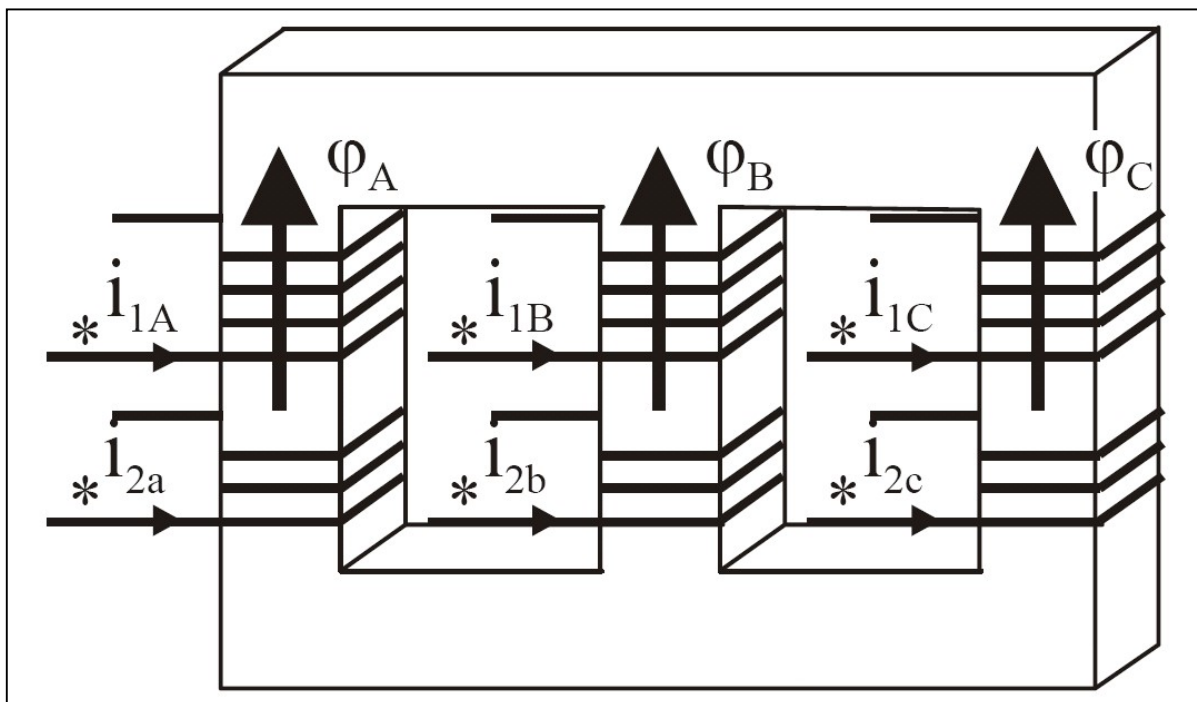
Les essais d'un transformateur monophasé ont donné les résultats suivants :
Essai à vide sous tension primaire nominale : $U_{1n} = 2,20 \text{ kV}$; $f = 50 \text{ Hz}$; Valeur efficace de l'intensité du courant mesuré au primaire : $I_{10} = 3,18 \text{ A}$; Tension efficace de la tension secondaire à vide : $U_{20} = 230 \text{ V}$; Puissance active mesurée au primaire : $P_{10} = 700 \text{ W}$;
Essai en court-circuit sous tension primaire réduite : $U_{1cc} = 130 \text{ V}$; $I_{2cc} = 200 \text{ A}$ et $P_{1cc} = 1,50 \text{ kW}$.

1. Proposer un schéma de câblage du transformateur permettant lors de l'essai à vide, avec tous les appareils pour mesurer I_{10} , U_{20} , P_{10} en indiquant le type d'appareil choisi.
2. Calculer le rapport de transformation m .
3. Calculer le facteur de puissance du transformateur lors de l'essai à vide :
4. On appelle R_S la résistance des enroulements ramenée au secondaire et X_S la réactance ramenée au secondaire.
 - a- Proposer un schéma de câblage du transformateur lors de l'essai en court circuit, avec tous les appareils permettant de mesurer U_{1cc} , P_{1cc} et I_{2cc} .
 - b- Pourquoi cet essai est-il réalisé sous tension primaire réduite ?
 - c- Faire un schéma électrique équivalent du transformateur ramené au secondaire pour cet essai ; y porter toutes les grandeurs électriques.
 - d- Que représente la puissance active P_{1cc} lors de cet essai ?
 - e- Calculer R_S .
 - f- Calculer le module de l'impédance Z_S ramené au secondaire. Montrer que $Z_S = \sqrt{R_S^2 + X_S^2}$. Calculer X_S .
- 5- Le secondaire alimente maintenant une charge inductive de facteur de puissance 0,8. $U_{1n} = 2,2 \text{ kV}$. On relève $I_{2n} = 200 \text{ A}$.
 - a- Faire un schéma électrique équivalent du montage, le transformateur étant représenté par son modèle ramené au secondaire.
 - b- Calculer une valeur approchée de U_2 .
 - c- En déduire la puissance active fournie à la charge.
 - d- Quel est la valeur des pertes dans le fer P_f et des pertes cuivres P_{cu} . Calculer la puissance active P_1 .
 - e- Calculer le rendement du transformateur η :

3. Le transformateur triphasé

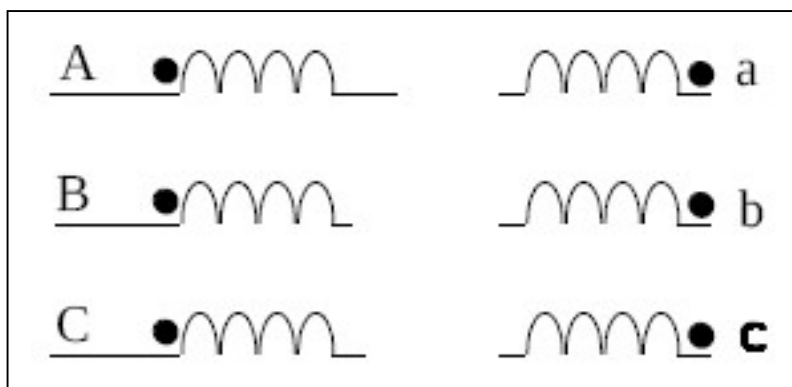
3.1. Constitution.

On installe six (ou neuf) bobinages sur un circuit magnétique constitué de tôles feuilletées en fer doux.



Le primaire est repéré par des indices majuscules A,B et C.
Le secondaire est repéré par des indices minuscules a,b et c.

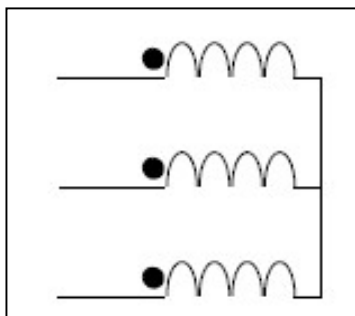
Représentation schématique des enroulements :



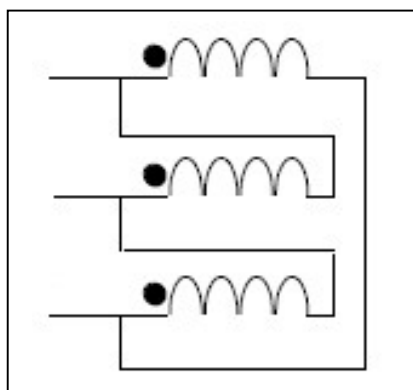
3.2. Couplage.

Trois couplages existent :

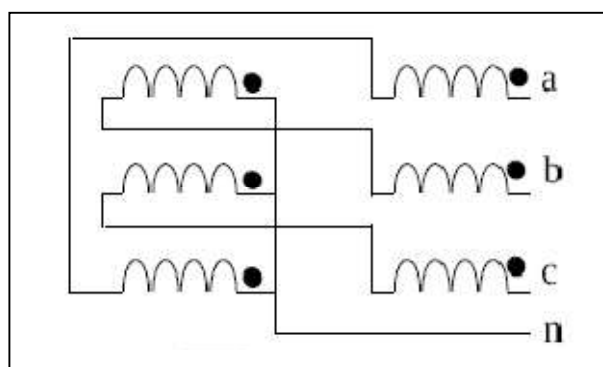
Le couplage étoile :



Le couplage triangle :



Le couplage zig zag :



Ce couplage est un couplage étoile particulier car il y a un point neutre.

Lorsqu'on consomme un courant sur la phase « a », les deux demi bobines sollicitent les colonnes « a » et « c » dans notre exemple. Par conséquent, au primaire ce sont deux courants dans les phases « A » et « C » qui compenseront les ampères tour du secondaire.

Cette technique permet d'atténuer fortement les déséquilibres en courant rencontrés sur les charges secondaires.

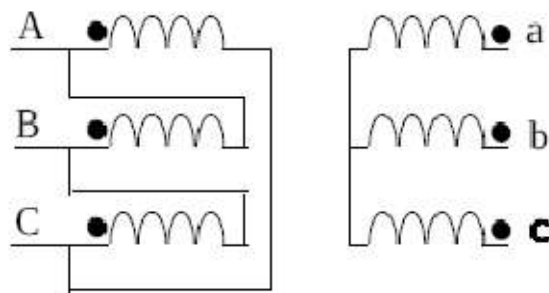
3.3. Indice horaire.

L'indice horaire permet de préciser le déphasage entre la tension simple \vec{V}_A et la tension simple \vec{V}_a .

La technique permettant la détermination de cet indice est :

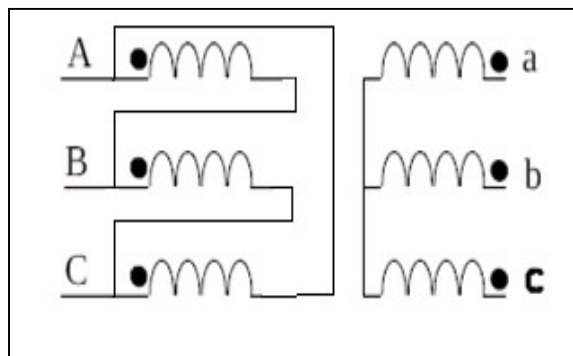
Exercice 21 :

En appliquant la technique précédente, déterminer l'indice horaire du transformateur suivant :



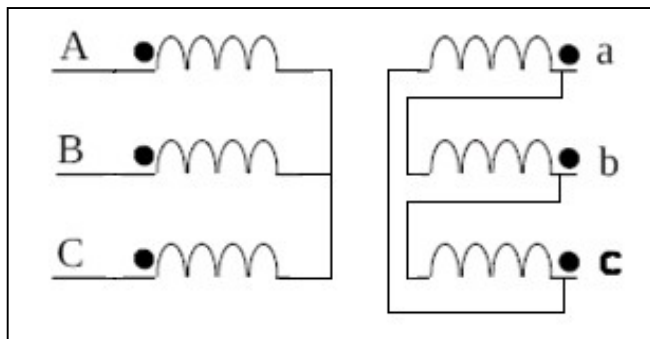
Exercice 22 :

En appliquant la technique précédente, déterminer l'indice horaire du transformateur suivant :



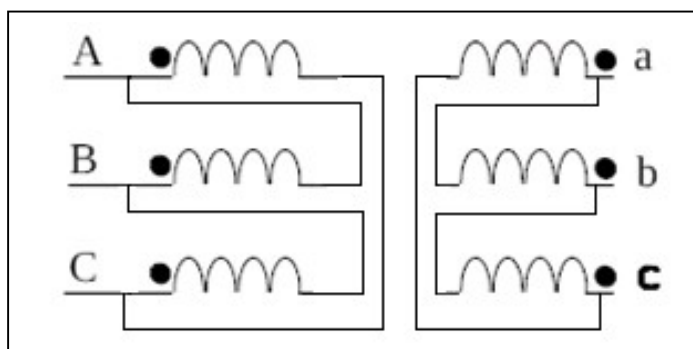
Exercice 23 :

En appliquant la technique précédente, déterminer l'indice horaire du transformateur suivant :



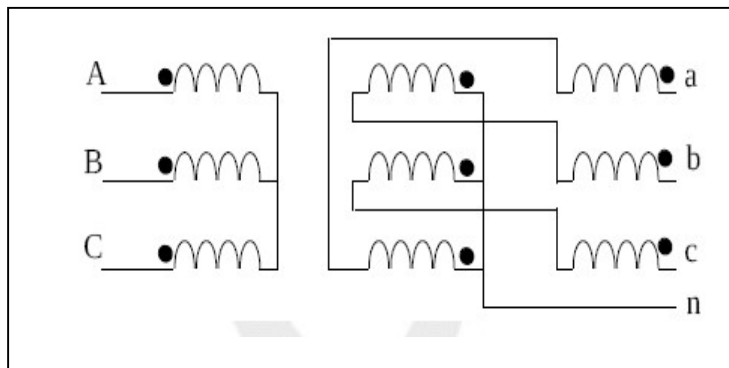
Exercice 24 :

En appliquant la technique précédente, déterminer l'indice horaire du transformateur suivant :



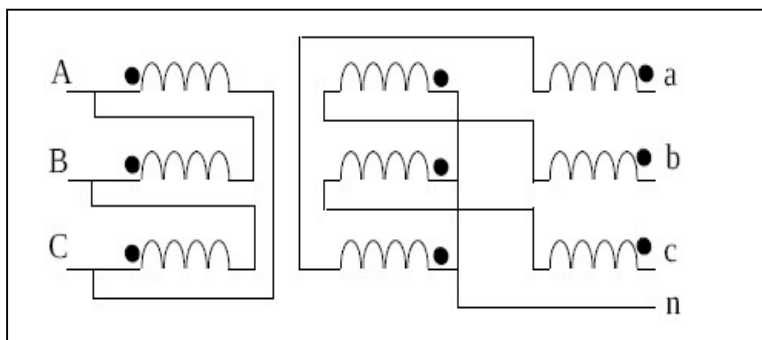
Exercice 25 :

En appliquant la technique précédente, déterminer l'indice horaire du transformateur suivant :



Exercice 26 :

En appliquant la technique précédente, déterminer l'indice horaire du transformateur suivant :



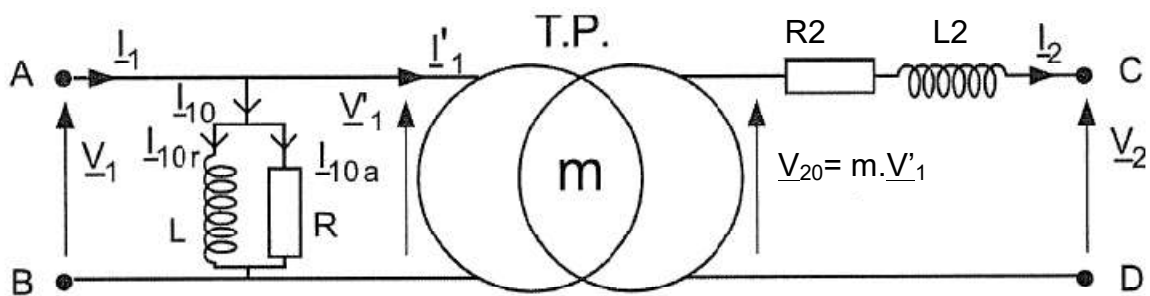
3.4. Modèle par phase.

Quelque soit le couplage au primaire et au secondaire, on représente le modèle par phase en exprimant les tensions simples au primaire et au secondaire.

Le rapport de transformation m sera défini par : $m = \frac{V_{20}}{V_1}$

Attention, ce rapport de transformation ne correspond pas forcément au rapport du nombre de spire qui est défini par $m' = \frac{\text{Tension à vide aux bornes d'un enroulement secondaire}}{\text{Tension aux bornes d'un enroulement primaire}}$

Le schéma équivalent dans l'hypothèse de Kapp correspond à celui d'un transformateur monophasé sur une des trois colonnes :



L'équation des mailles au secondaire sera :

3.5. Diagramme de Kapp.

3.6. Rendement.

Par les pertes séparées, on exprimera la puissance consommée au secondaire par la relation :

$$P_2 = 3.V_2.I_2.\cos(\varphi) = \sqrt{3}.U_2.I_2.\cos(\varphi)$$

La puissance absorbée par :

$$P_1 = P_2 + \text{pertes fer} + \text{pertes cuivre}$$
$$P_1 = 3.V_2.I_2.\cos(\varphi) + P_{vide} + 3R_2.I_2^2$$

Le rendement sera:

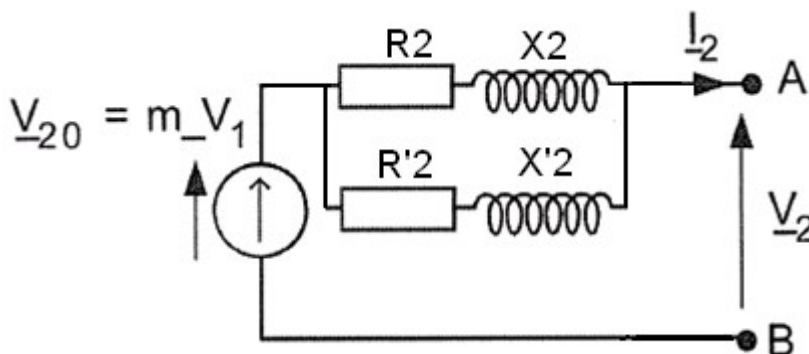
$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{\sqrt{3}.U_2.I_2.\cos(\varphi)}{\sqrt{3}.U_2.I_2.\cos(\varphi) + P_{vide} + 3R_2.I_2^2}$$

3.7. Transformateurs en parallèles.

Pour pouvoir mettre deux transformateurs en parallèle, il sera nécessaire d'avoir les conditions suivantes :

- Même tension à vide entre phases.
- Même phases entre les tensions couplées ensemble.

Le schéma équivalent par phase sera :



Exercice 27 :

- A l'aide de l'écriture complexe, exprimer l'impédance équivalente \underline{Z}_{2e} en fonction de R_2, R'_2, X_2, X'_2 .
- On donne $R_2=2\text{m}\Omega, R'_2=3\text{m}\Omega, X_2=5\text{m}\Omega$ et $X'_2=7\text{m}\Omega$, Calculer le module et l'argument de \underline{Z}_{2e} puis trouver la valeur numérique de la partie réelle et imaginaire de cette impédance pour la mettre sous la forme : $\underline{Z}_{2e} = R_{2e} + j.X_{2e}$.
- En déduire le nouveau modèle de Thévenin correspondant aux deux transformateurs en parallèles.

3.8. Problèmes d'application.

Exercice 28 :

Les essais d'un transformateur triphasé Y-y ont donné les résultats suivants :

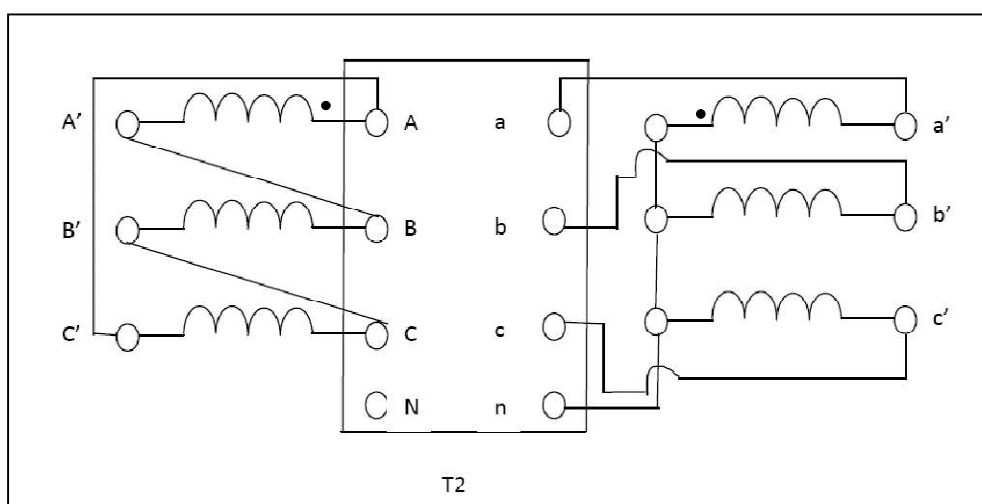
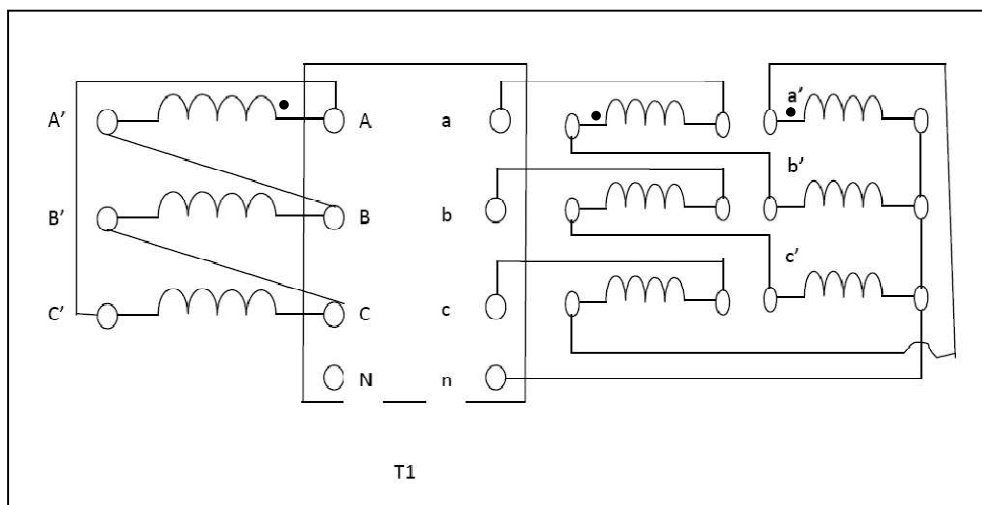
- Essai à vide $U_{10}=380V$; $U_{20}=400V$
 - Essai en court-circuit $U_{1cc}=19V$; $I_{2cc}=4.5A$; $P_{cc}=81W$
1. Calculer R_S et X_S
 2. Le transformateur alimenté au primaire sous $380V$ débite sur un récepteur triphasé de facteur de puissance $\cos(\phi)=0.8AR$, un courant $I_2=4.5A$. Quelle sera la tension entre phases au secondaire
 3. Le secondaire est maintenant chargé par 3 résistances identiques ($R=180\Omega$) couplées en triangle. La tension au primaire est toujours $U_1=380V$, quelles sont les valeurs efficaces du courant de ligne et de la tension entre phases au secondaire.

Exercice 29 :

Soient T1 et T2 deux transformateurs triphasés possédant les caractéristiques suivantes :

- T1 $S=100KVA$; $20KV/220V$ (tensions composées)
- T2 $S=60KVA$; $20KV/220V$ (tensions composées)

Les couplages de deux transformateurs sont donnés par les figures suivantes :



1. Donner le type de couplage de chaque transformateur, déterminer leurs indices horaires.
2. Déterminer pour chaque transformateur, le nombre de spires par colonne au secondaire N2 en fonction de N1 (on donne $U_{10}=20KV, U_{20}=230V$).
3. Que doit-on avoir comme couplage au primaire du transformateur T1 pour permettre une connexion des deux transformateurs en parallèle.

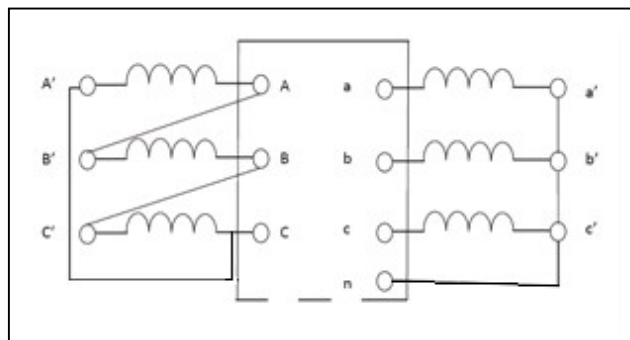
Exercice 30 :

Un transformateur triphasé possède les caractéristiques suivantes :
 $20KV/380V ; S=200KVA ; f=50hz$.

On a réalisé les essais suivants :

- Essai à vide $U_{10}=U_{1n} ; U_{20}=400V ; P_0=680W$
 - Essai en court-circuit $I_{2cc}= I_{2n}/2 ; U_{1cc}=400V ; P_{cc}=680W$
1. Calculer le courant secondaire nominal.
 2. Déterminer la tension U_2 , quand le secondaire alimente une charge triphasée équilibrée de facteur de puissance $\cos(\phi)=0.8AR$ et débite un courant $I_2=k \cdot I_{2n}/4$ avec $k= 1 ; 2 ; 4$ puis 5.
 3. Calculer le rendement dans le cas $k=2$ puis 5.

Le transformateur est couplé de la façon suivante :



4. Déterminer l'indice horaire.
5. La section de circuit magnétique est de $0.02m^2$ et l'induction maximale $B_{max}=1.4$ Tesla, calculer le nombre de spires au primaire et au secondaire.

Exercice 31 :

Un transformateur triphasé, dont le primaire, branché en triangle est alimenté par un système de tension triphasé de fréquence 50hz , de tension efficace entre phases 20KV. Le secondaire est branché en étoile. Ce transformateur débite dans une installation fonctionnant en charge nominale sous une tension 220V/380V et comprenant :

- 12 moteurs triphasés identiques, ayant chacun une puissance utile de 3KW de rendement 0.8 et de facteur de puissance 0.82.
- 90 lampes de 60W, 220V régulièrement réparties sur 3 phases.

Pour réaliser l'essai à vide, on ne disposera pas d'une alimentation de 20KV, on l'alimente du coté secondaire sous 380V entre phases .On a relevé coté sortie une tension entre phases de 19570V.deduire de ces mesures :

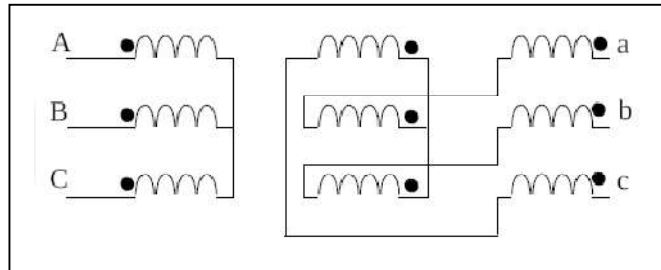
1. Le rapport de transformation par colonne.
2. Le nombre des spires d'un enroulement primaire sachant que le secondaire comporte 60 spires.

Maintenant, le transformateur branché normalement, primaire sous 20KV entre phases, débite dans l'installation dont tous les appareils fonctionnent (charge normale).

3. Calculer l'intensité du courant dans un enroulement secondaire et son déphasage à la tension simple.

Exercice 32 :

On considère le transformateur supposé parfait dont le schéma de câblage est indiqué ci-dessous :



Plaque signalétique

Puissance apparente : 130 kVA

Primaire : 20 kV, secondaire : 380 V

Secondaire 200 A

1. Indiquer les conditions pour que ce transformateur soit considéré comme parfait.
2. Déterminer son indice horaire.
3. Exprimer le rapport de transformation en fonction de n_2 (nombre de spires d'un enroulement secondaire) et n_1 (nombre de spires d'un enroulement primaire).
4. Ce transformateur est alimenté par un système direct de tensions triphasées de valeur efficace 20 kV et alimente une charge triphasée constituée de trois résistances de 4Ω couplées en triangle.
 - a. Représenter le montage.
 - b. Déterminer le courant dans un élément de la charge (module et déphasage par rapport à la tension à ses bornes).
 - c. Déterminer le courant en ligne (module et déphasage par rapport à la tension simple qui lui est associé).
5. Ce transformateur alimente maintenant entre deux phases une charge purement résistive.
 - a. Écrire la loi de compensation des ampères-tours pour chaque colonne.
 - b. En déduire que la somme des courants primaires est nulle.