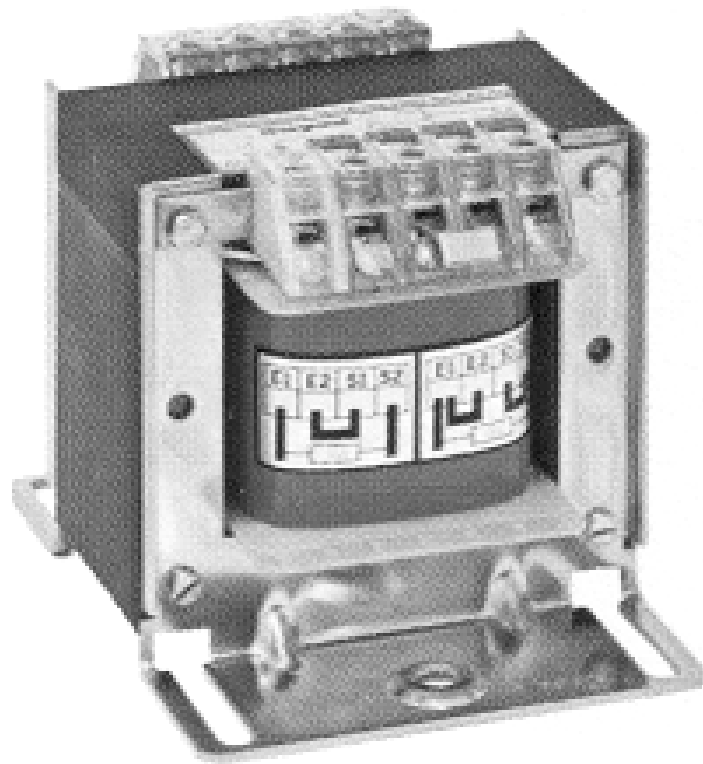


Cours d'électrotechnique

LES MACHINES A COURANT ALTERNATIF

MACHINE STATIQUE A COURANT ALTERNATIF



PARTIE N°3 :

LE TRANSFORMATEUR REEL

TABLE DES MATIERES

1.	Définition d'un transformateur réel.....	3
2.	Analyse des hypothèses.....	3
2.1.	Les pertes joules	3
2.2.	Les fuites magnétiques	3
2.3.	La reluctance magnétique.....	5
2.4.	Les pertes fer	6
3.	Le schéma équivalent du transformateur	7
4.	Equations générales.....	7
5.	Le diagramme vectoriel.....	8
6.	Le transformateur dans l'hypothèse de KAPP	10
6.1.	Hypothèse de départ	10
6.2.	Le rapport de transformation est « m »	10
6.2.1.	Réduction du transformateur au primaire.....	10
6.2.1.1.	Démonstration	10
6.2.1.2.	Diagramme	11
6.2.1.3.	Schéma équivalent.....	11
6.2.2.	Réduction du transformateur au secondaire	11
6.2.2.1.	Démonstration	11
6.2.2.2.	Diagramme	12
6.2.2.3.	Schéma équivalent.....	12
6.3.	Le rapport de transformation est « k »	12
6.3.1.	Réduction du transformateur au primaire.....	12
6.3.2.	Réduction du transformateur au secondaire	12
7.	Détermination de la chute de tension	13
7.1.	Théorie	13
7.2.	Les grandeurs relatives.....	14
7.3.	Evolution de ΔU en fonction de la charge	14
7.3.1.	En résistif.....	14
7.3.2.	En selfique.....	14
7.3.3.	En capacitif.....	14
8.	Bilan énergétique.....	15
8.1.	Les pertes.....	15
8.1.1.	Les pertes cuivre.....	15
8.1.2.	Les pertes fer	15
8.1.3.	Le rendement.....	15
9.	Détermination du rendement.....	16
9.1.	Méthode des pertes séparées	16
9.1.1.	Essai à vide.....	16
9.1.1.1.	Schéma de câblage	16
9.1.1.2.	Renseignements obtenus	16
9.1.2.	Détermination de R_o et X_o	16
9.1.3.	Essai en court circuit	17
9.1.3.1.	Schéma de câblage	17
9.1.3.2.	Renseignements obtenus	17
9.1.4.	Détermination de R_1 , R_2 , X_1 et X_2	18
10.	Quelques courbes	19

10.1.	$U_2 = f(I_{1v})$	19
10.2.	$U_2 = f(I_{\mu})$	19
10.3.	$P_{1v} = f(U_{2v})$	20
10.4.	$\cos\phi_{1v} = f(U_{2v})$	20
10.5.	$Q_0/P_0 = f(U_{2v})$	21
11.	Mise en parallèle de transformateurs	22
11.1.	Descriptif	22
11.2.	Conditions de mise en parallèle	22
11.2.1.	Condition n°1	22
11.2.2.	Condition n°2	22
11.2.3.	Condition n°3	23
11.3.	Caractéristique en charge	23
11.3.1.	Sur charge résistive	24
11.3.1.1.	Diagramme	24
11.3.1.2.	Courbe	25
11.3.1.3.	Explication	25
11.3.2.	Sur charge inductive.....	25
11.3.2.1.	Diagramme	25
11.3.2.2.	Courbe	26
11.3.2.3.	Explication	26
11.3.3.	Sur charge capacitive	26
11.3.3.1.	Diagramme	26
11.3.3.2.	Courbe	27
11.3.3.3.	Explication	27
12.	Exercices	28

1. Définition d'un transformateur réel

Nous savons qu'il existe quatre hypothèses prises pour l'étude du transformateur parfait. Bien que ces hypothèses étaient vérifiées pour ce dernier, nous allons montrer que l'on ne peut retenir aucune de ces hypothèses pour une machine réelle.

Rappel des hypothèses :

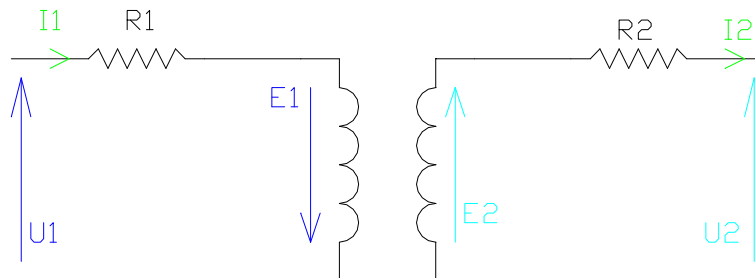
- les pertes joules sont nulles
- les pertes fer sont nulles
- les fuites magnétiques sont nulles
- la reluctance magnétique est nulle

2. Analyse des hypothèses

2.1. Les pertes joules

Nous savons que les bobines sont constituées de fil de cuivre, nous pouvons donc dire que d'après la loi de Pouillet $R = \frac{\rho \cdot L}{S}$, nos enroulements ont une certaine résistance. Donc si mes bobines ont une résistance, cela va engendrer inévitablement des chutes de tension ohmiques et par conséquent des pertes par effet joule. Je peux donc ajouter à mon schéma équivalent une résistance au primaire et une autre au secondaire.

En conclusion, un transformateur réel ne peut avoir des pertes joules nulles.

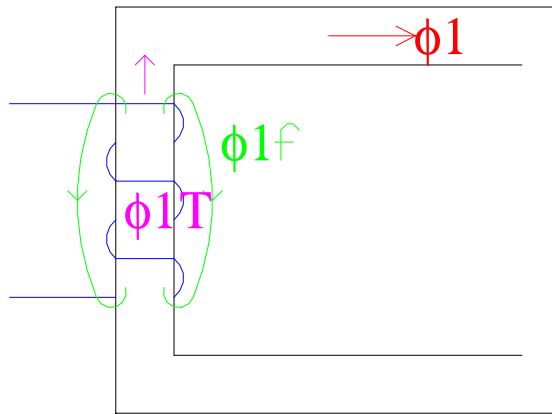


2.2. Les fuites magnétiques

Si nous reprenons la constitution d'une bobine, on peut voir aisément qu'elle est constituée d'une série de spires placées les unes à côté des autres. Sachant que soumise à une tension, elle crée via un courant un flux. On pourrait envisager que si une partie du flux est conduit par le circuit magnétique, une partie cependant pourrait choisir de se refermer dans l'air ce qui entraîne au sein du circuit magnétique une diminution du flux. Je peux donc dire que le flux créé par une bobine est égale au flux qui circule dans le circuit magnétique plus les fuites de flux.

Comme le flux au sein du circuit magnétique est vu de la même façon aussi bien au primaire qu'au secondaire, je peux dire que les FEM évoluent de la même façon et que dès lors le rapport de transformation reste également constant.

Si $\Phi_{1T} = \Phi_1 + \Phi_{1f}$ et que $\Phi_{2T} = \Phi_2 + \Phi_{2f}$ je peux dire que le flux réel au sein du circuit magnétique vaut $\Phi = N_1 \cdot \Phi_1 - N_2 \cdot \Phi_2$.

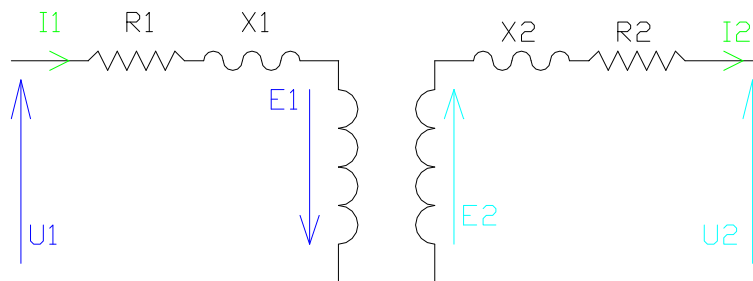


En fonction des données ci-dessus, je peux écrire que tout flux au sein du circuit magnétique évolue proportionnellement au courant qui le crée. Le coefficient de proportionnalité est caractérisé par l'inductance propre ou coefficient de self induction. Je peux dès lors écrire que pour chaque fuite de flux, j'ai une inductance de fuite qui se note de la façon suivante :

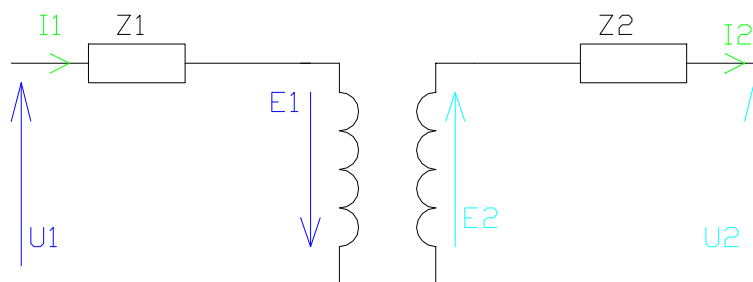
Pour le primaire : $L1 = \frac{N1 \cdot \Phi1}{I1}$

Pour le secondaire : $L2 = \frac{N2 \cdot \Phi2}{I2}$

Comme ces fuites de flux entraînent une chute de tension, il est plus pratique de lier l'inductance à la réactance par le biais de la pulsation. Cela donne pour le primaire $X1 = \omega \cdot L1$ et pour le secondaire $X2 = \omega \cdot L2$. Je peux dès lors compléter mon schéma équivalent en ajoutant une self au primaire et une self au secondaire.



La résistance et la réactance peuvent pour chaque partie du transformateur être liés pour former l'impédance qui caractérise la chute de tension globale au sein du transformateur.



2.3. La reluctance magnétique

La reluctance peut être définie comme étant la résistance offerte par le circuit magnétique au passage du flux. Par analogie à la loi d'ohm, on peut écrire que la reluctance = $\frac{N.I}{\Phi}$

On retrouve dans cette équation les ampères tours $N.I$ qui peuvent également être appelé la force magnétomotrice.

$$\text{Si } \Phi = \frac{N.I}{L} \cdot \mu \cdot S$$

$$\text{Je peux tirer la reluctance} = \frac{L}{\mu \cdot S}$$

L = longueur du circuit magnétique

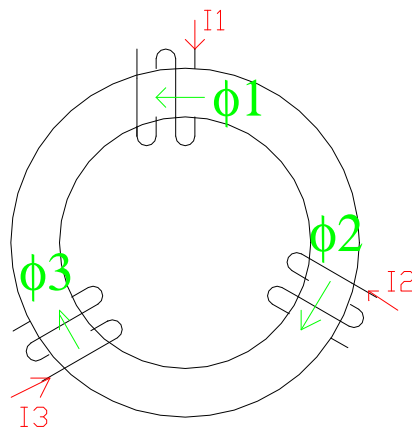
S = section du circuit magnétique

μ = perméabilité

$$\mathfrak{R} = \frac{N.I}{\Phi}$$

$$\mathfrak{R} \cdot \Phi = N.I$$

Rappel de la loi d'Hopkinson



Considérons un circuit magnétique toroïdale sur lequel on a placé trois bobines. Chacune de ces bobines crée donc un flux dont les ampères tours. Je peux donc écrire que la FMM totale est égale à la somme des FMM de chaque bobine.

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 + \mathcal{E}_3 \quad \text{ou encore} \quad \mathcal{E} = N_1 \cdot I_1 + N_2 \cdot I_2 + N_3 \cdot I_3$$

Si R_e est la reluctance du circuit magnétique et Φ le flux total résultant de l'ensemble des FMM nous pouvons écrire.

$$R_e \cdot \Phi = N_1 \cdot I_1 + N_2 \cdot I_2 + N_3 \cdot I_3$$

Je peux donc conclure que dans un circuit magnétique, le produit de la reluctance magnétique par le flux magnétique est égale à la somme des FMM créées par chacun des bobinages.

Appliquons cette théorie au transformateur et analysons la valeur de cette reluctance. Lorsque mon transformateur est à vide, je peux écrire sachant que seul le primaire fournit des ampères tours que $R_e \cdot \Phi = N_1 \cdot I_1$.

Lorsque nous aurons une charge, le secondaire lui aussi va se mettre à fournir des ampères tours. Je peux donc écrire $R_e \cdot \Phi = N_1 \cdot I_1 + N_2 \cdot I_2$.

Comme le flux est constant, aussi bien en charge que à vide, je peux écrire avec certitude que $N_1 \cdot I_1 = N_1 \cdot I_1 + N_2 \cdot I_2$.

Cette équation traduit le fait que la reluctance n'est pas nulle étant donné que le second membre de l'équation est différent de 0.

2.4. Les pertes fer

Nous savons que notre circuit magnétique est susceptible de se saturer, ce qui sous entend que ce dernier est lié au phénomène d'hystérésis. De plus, étant soumis à un flux variable le circuit magnétique est le siège de courant de foucault. Rappelez-vous que le circuit magnétique est feuilleté.

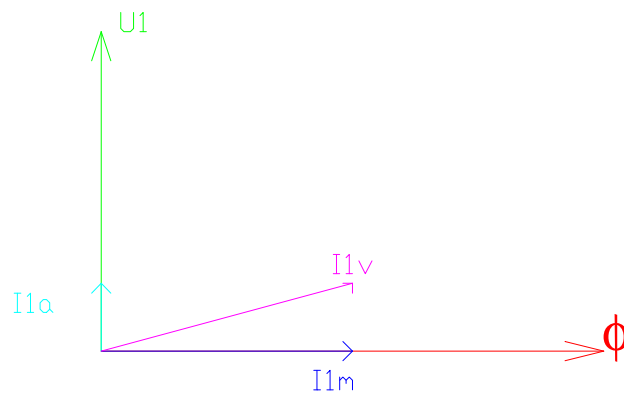
Nous savons que les deux phénomènes sont présent en charge et à vide. Je peux encore dire que ces phénomènes sont constant puisque le flux est constant.

Je peux dire que si les phénomènes apparaissent à vide, ils sont englobés dans le courant primaire à vide. Je peux donc envisager de créer une déviation sur mon schéma équivalent afin de montrer la présence du courant à vide et en charge.

Nous savons que les courants de Foucault entraîne la consommation de courant actif. Nous caractériserons ce phénomène par une résistance.

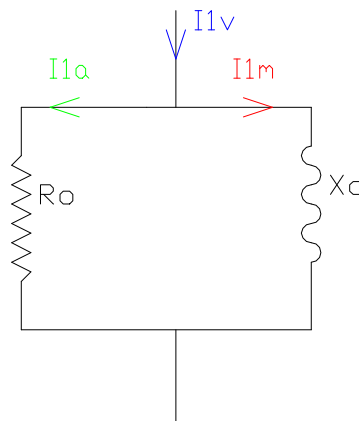
Nous savons que le phénomène d'hystérésis entraîne la consommation de courant réactif. Nous caractériserons ce phénomène par une self.

Je peux donc tracer le diagramme vectoriel suivant :

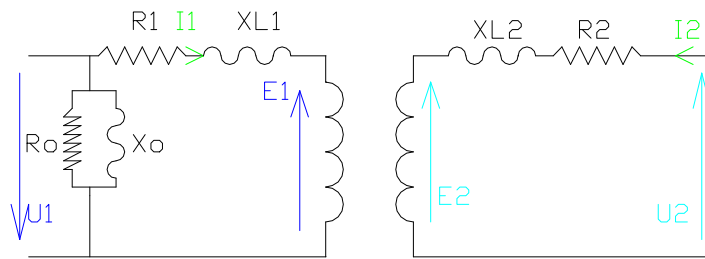


Ce dernier nous montre que $\cos\phi_v = \frac{P_{1v}}{U_1 I}$. Cet angle est un peu inférieur à $\pi/2$.

Je peux donc conclure que le courant absorbé à vide peut être décomposé en deux parties, l'une en phase avec la tension et représentant les pertes par courant Foucault et une en quadrature arrière avec U représentant les pertes par hystérésis.



3. Le schéma équivalent du transformateur



4. Equations générales

$$\overline{U1} = -\overline{E1} + R1 \cdot \overline{I1} + j \omega \cdot L1 \cdot \overline{I1}$$

$$\overline{U2} = \overline{E2} - R2 \cdot \overline{I2} - j \cdot \omega \cdot L2 \cdot \overline{I2}$$

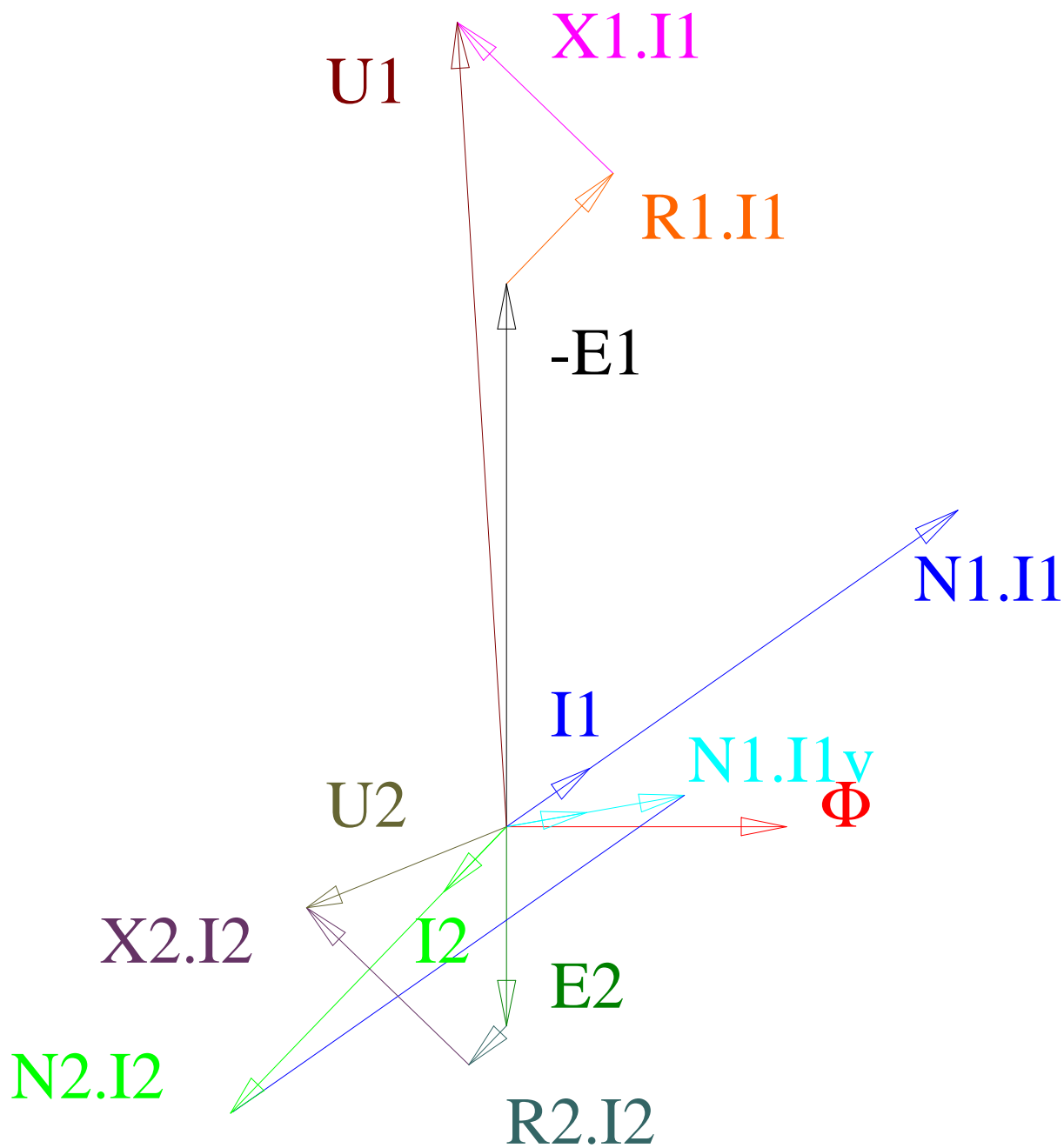
$$N1 \cdot \overline{I1} + N2 \cdot \overline{I2} = N1 \cdot \overline{I1v}$$

5. Le diagramme vectoriel

Comment tracer le diagramme vectoriel ci-joint :

- Nous prendrons comme vecteur de référence le flux car ce dernier ne varie pas au sein de la machine.
- Après un essai à vide, nous aurons relevé le courant à vide. Sachant que la composante réactive ou magnétisante de ce courant est en phase avec le flux, je peux donc tracer les vecteurs I_{1vm} , I_{1va} et déduire par construction I_{1v} .
- La formule de la FEM ($E_2 = 4,44 \cdot N_2 \cdot \Phi_M \cdot f \cdot \sin(\omega t - \frac{\pi}{2})$) nous montre que la FEM est en quadrature arrière par rapport au flux, je peux donc tracer le vecteur E_2 .
- Comme la FCEM E_1 est créé par ce même flux, je peux également tracer E_1 .
- Afin de trouver U_1 , je dois tracer $-E_1$ qui sera placé 180° par rapport à E_1 .
- Le courant primaire aura la même composante réactive que le courant à vide, et le courant actif sera plus important puisqu'il est l'image du courant absorbé au secondaire. Je peux donc tracer les vecteurs I_{1a} , I_{1m} et I_1 .
- Connaissant I_1 , je peux tracer à l'extrémité de $-E_1$ le vecteur $R_1 \cdot I_1$ de même phase que I_1 .
- De même, je peux tracer à l'extrémité de $R_1 \cdot I_1$ le vecteur $X_1 \cdot I_1$ qui aura un déphasage de 90° en avant sur le courant I_1 .
- La somme de $-E_1, R_1 \cdot I_1$ et $X_1 \cdot I_1$ me donne le vecteur de la tension U_1 avec sa phase.
- Afin de trouver le vecteur I_2 , nous allons exploiter l'équation des ampères tours qui nous dit que $N_2 \cdot I_2 = N_1 \cdot I_1 - N_1 \cdot I_{1v}$.
- Tracer $N_1 \cdot I_1$ et $N_1 \cdot I_{1v}$ pour en faire la soustraction vectorielle et ainsi trouver $N_2 \cdot I_2$
- Déduire I_2 des ampères tours secondaires
- Connaissant I_2 , je peux tracer $-R_2 \cdot I_2$ placé à l'extrémité de E_2 .
- De même, je peux tracer à l'extrémité de $R_2 \cdot I_2$ le vecteur $X_2 \cdot I_2$ qui aura un déphasage de 90° en avant sur le courant I_2 .
- Vous pouvez ainsi trouver le vecteur de la tension U_2

Lors du tracé, vous devez trouver que la tension U_2 est en avance sur le courant de I_2 .



6. Le transformateur dans l'hypothèse de KAPP

6.1. Hypothèse de départ

Nous négligerons la valeur du courant à vide qui est beaucoup plus petit que le courant de charge.

6.2. Le rapport de transformation est « m »

$$m = \frac{E_2}{E_1} = \frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{I_1}{I_2}$$

6.2.1. Réduction du transformateur au primaire

6.2.1.1. Démonstration

$$\overline{U_2} = \overline{E_2} - R_2 \overline{I_2} - j \omega L_2 \overline{I_2}$$

divisons par m

$$\frac{\overline{U_2}}{m} = \frac{\overline{E_2}}{m} - R_2 \frac{\overline{I_2}}{m} - j \omega L_2 \frac{\overline{I_2}}{m}$$

remplaçons I2 par I1/m

$$\frac{\overline{U_2}}{m} = \frac{\overline{E_2}}{m} - R_2 \frac{\overline{I_1}}{m^2} - j \omega L_2 \frac{\overline{I_1}}{m^2}$$

$$\overline{U_1} = -\overline{E_1} + R_1 \overline{I_1} + j \omega L_1 \overline{I_1}$$

la somme des deux équations donne

$$\overline{U_1} + \frac{\overline{U_2}}{m} = -\overline{E_1} + \frac{\overline{E_2}}{m} + R_2 \frac{\overline{I_1}}{m^2} + R_1 \overline{I_1} + j \omega L_1 \overline{I_1} + j \omega L_2 \frac{\overline{I_1}}{m^2}$$

$$\text{avec } \frac{\overline{E_2}}{\overline{E_1}} = m \quad -\overline{E_1} + \frac{\overline{E_2}}{m} = 0$$

$$\overline{U_1} = -\frac{\overline{U_2}}{m} + \overline{I_1} \left(\frac{R_2}{m^2} + R_1 \right) + j \overline{I_1} \left(\omega L_1 + \frac{\omega L_2}{m^2} \right)$$

avec la résistance totale ramenée au primaire

$$R_p = R_1 + \frac{R_2}{m^2}$$

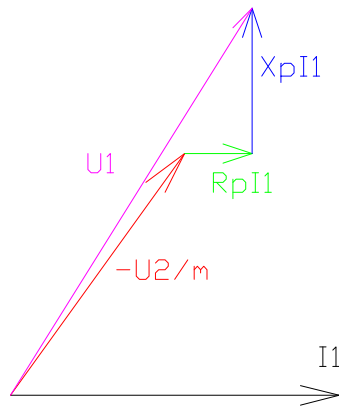
avec la réactance totale rapportée au primaire

$$X_p = \omega L_1 + \omega \frac{L_2}{m^2}$$

L'équation du transformateur devient donc

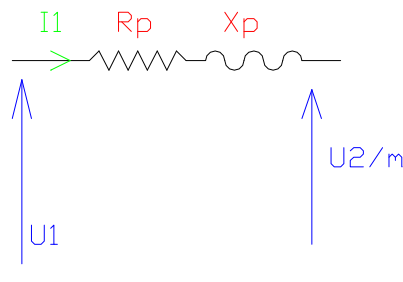
$$\overline{U_1} = -\frac{\overline{U_2}}{m} + R_p \overline{I_1} + j X_p \overline{I_1}$$

6.2.1.2. Diagramme



6.2.1.3. Schéma équivalent

Pour un transformateur réel, la tension primaire est égale à la somme de la tension utile et de la chute de tension interne du transformateur.



6.2.2. Réduction du transformateur au secondaire

6.2.2.1. Démonstration

$$\overline{U1} = -\overline{E1} + R1 \overline{I1} + j \omega L1 \overline{I1}$$

multiplions par m

$$\overline{U1}m = -\overline{E1}m + R1 \overline{I1}m + j \omega L1 \overline{I1}m$$

remplaçons I1 par -I2.m

$$\overline{U1}m = -\overline{E1}m - R1 \overline{I2}m^2 - j \omega L1 \overline{I2}m^2$$

$$\overline{U2} = \overline{E2} - R2 \overline{I2} - j \omega L2 \overline{I2}$$

la somme des deux équations donne

$$\overline{U1}m + \overline{U2} = -\overline{E1}m + \overline{E2} - R2 \overline{I2} - R1 \overline{I2}m^2 - j \omega L2 \overline{I2} - j \omega L1 \overline{I2}m^2$$

$$\text{avec } \frac{\overline{E2}}{\overline{E1}} = m \quad E2 - E1.m = 0$$

$$\overline{U1}m + \overline{U2} = -\overline{I2} \cdot (R2 + R1.m^2) - j \overline{I2} \cdot (\omega L2 + \omega L1.m^2)$$

avec la résistance totale ramenée au secondaire

$$Rs = R2 + R1.m^2$$

Avec la réactance totale ramenée au secondaire

$$X_s = \omega L_2 + \omega L_1 m^2$$

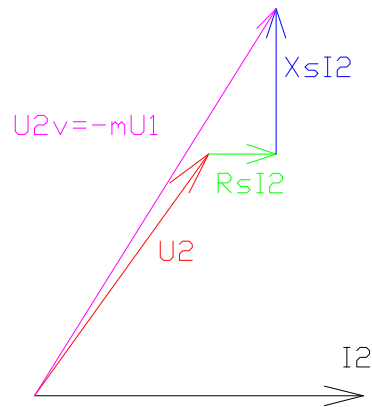
l'équation du transformateur ramené au secondaire devient donc

$$\overline{U_2} = -\overline{U_1} m - R_s \overline{I_2} - j X_s \overline{I_2}$$

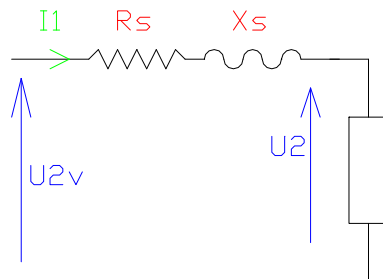
sachant encore que la tension $-m.U_1$ est la tension qui existerait aux bornes du secondaire à vide, l'équation finale devient :

$$\overline{U_2} = \overline{U_{2v}} - R_s \overline{I_2} - j X_s \overline{I_2}$$

6.2.2.2. Diagramme



6.2.2.3. Schéma équivalent



6.3. Le rapport de transformation est « k »

$$k = -\frac{E_1}{E_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} = -\frac{I_2}{I_1}$$

La démonstration ne sera pas faite dans ce cours, seules les solutions sont énoncées

6.3.1. Réduction du transformateur au primaire

$$\overline{U_1} = -\overline{U_2} k + R'_p \overline{I_1} + j X'_p \overline{I_1}$$

6.3.2. Réduction du transformateur au secondaire

$$\overline{U_2} = \overline{U_{2v}} - R'_s \overline{I_2} - j X'_s \overline{I_2}$$

7. Détermination de la chute de tension

7.1. Théorie

On appelle chute de tension, la différence entre la tension secondaire à vide et la tension secondaire en charge. $\Delta U = U_{2v} - U_2 = |m \cdot U_1| - U_2$.

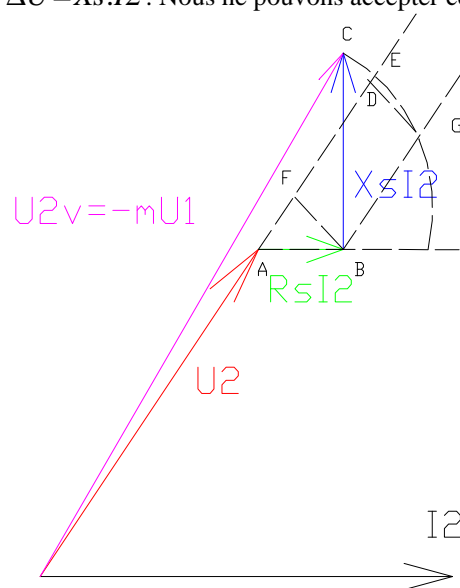
Si nous regardons le diagramme de KAPP, on remarque aisément que cette chute de tension est due à l'impédance interne Z_s . Je peux donc écrire que $\Delta U = |m \cdot U_1| - U_2 = Z_s \cdot I_2$

Voyons maintenant comment déterminer la chute de tension connaissant le courant de charge et le facteur de puissance. Nous pourrions considérer qu'il suffit de la mesurer sur le diagramme de KAPP, mais étant donné la petite valeur de celle-ci en rapport à U_{2v} et U_2 , nous ferions une grossière erreur.

Bien que la formule énoncée ci-dessus donne un résultat probant, une erreur apparaît toutefois. Analysons ensemble le diagramme ci-dessous et plus précisément la chute de tension.

Soit à réaliser le tracé afin de faire apparaître les points F, D et E

Nous savons que les chutes de tension sont représentées par la droite AC, nous pourrions nous dire pourquoi ne pas utiliser la loi de Pythagore puisque nous avons un triangle rectangle. Cette solution qui il est vrai serait la plus simple va entraîner une grande erreur. Nous savons que R_s est de petite valeur. Dans la formule de Pythagore, nous devons mettre les termes au carré. Hors nous savons que toute valeur inférieure à l'unité placée au carré donne un résultat encore plus petit. Nous allons donc dans le calcul ramener la composante $R_s \cdot I_2$ à un terme petit et négligé face au terme $X_s \cdot I_2$. Autrement dit, autant dire tout de suite que $\Delta U = X_s \cdot I_2$. Nous ne pouvons accepter cette approximation.



Au vu de notre diagramme vectoriel, je peux dire que la chute de tension est composée des segments AF, FD et DE. Voyons ce que valent ces segments.

$$AF = R_s \cdot I_2 \cdot \cos \varphi_2$$

$$FD = X_s \cdot I_2 \cdot \sin \varphi_2$$

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

La formule complète rarement utilisée est

$$\Delta U = I_2 \cdot (R_s \cdot \cos \varphi_2 + X_s \cdot \sin \varphi_2 + (X_s \cos \varphi_2 - R_s \sin \varphi_2)^2)$$

7.2. Les grandeurs relatives

Pour comparer plus facilement des transformateurs, il est intéressant d'évaluer en pourcent les effets des résistance et réactance interne. Autrement dit, connaître la valeur en pourcent de la chute de tension.

Si on considère un fonctionnement nominale, je peux écrire que $R_s \cdot I_2 n = \Delta U$ ohmique et que $X_s \cdot I_2 n = \Delta U$ inductive.

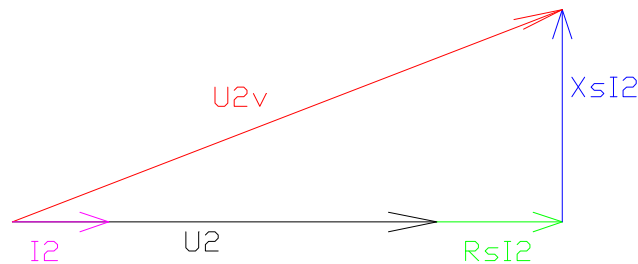
La valeur relative de chacun de ces termes sera $r = \frac{R_s \cdot I_2 n}{U_{2v}} \cdot 100$ et $x = \frac{X_s \cdot I_2 n}{U_{2v}} \cdot 100$.

Si $\Delta U \% = \frac{\Delta U}{U_{2v}} \cdot 100$ je peux trouver aisément que $\Delta U \% = \frac{R_s \cdot I_2 \cdot \cos \varphi_2 + X_s \cdot I_2 \cdot \sin \varphi_2}{U_{2v}} \cdot 100$

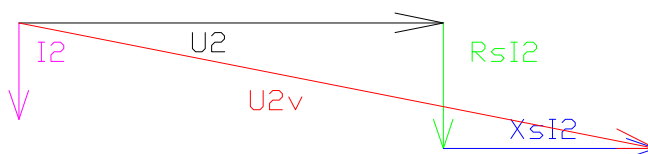
Ou encore $\Delta U \% = r \cdot \frac{I_2 \cdot \cos \varphi_2}{I_2 n} + x \cdot \frac{I_2 \cdot \sin \varphi_2}{I_2 n}$.

7.3. Evolution de ΔU en fonction de la charge

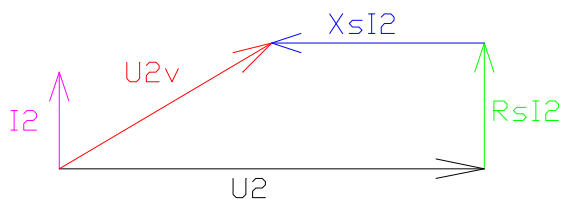
7.3.1. En résistif



7.3.2. En selfique



7.3.3. En capacitif



8. Bilan énergétique

8.1. Les pertes

Le secondaire absorbe $P_2=U_2.I_2.\cos\phi_2$ et le primaire absorbe $P_1=U_1.I_1.\cos\phi_1$.

8.1.1. Les pertes cuivre

Les pertes cuivre ou pertes joule. Elles valent donc, sachant que nous en avons aussi bien au primaire qu'au secondaire, $p_j=R_1.I_1^2+R_2.I_2^2$. Si nous acceptons l'hypothèse selon laquelle I_1v et négligeable face à I_1 , je peux écrire que $I_2=I_1/m$
 $p_j=I_2^2.(m^2.R_1+R_2)=R_s.I_2^2$

Pour donner un ordre de grandeur, on peut dire que pour les machines de forte puissance, ces pertes valent +/- 0,5% et pour les machines de faible puissance +/- 10%.

8.1.2. Les pertes fer

Les pertes dans le fer qui reprennent les pertes par hystérésis et par courant de Foucault. Je rappelle que ce type de perte est constante dans le transformateur car n'oublier pas que le flux au sein du circuit magnétique est constant.

Sachant encore que sur base de l'hypothèse que le flux est constant, cela veut dire que je peux déterminer ces pertes lors d'un essai à vide. En effet, la puissance consommée à ce moment sera égale aux pertes fer puisque les pertes joule sont nulles.

$$p_f=P_{1v}=U_1.I_1.\cos\phi_{1v}$$

Pour donner un ordre de grandeur, on peut dire que pour les machines de forte puissance, ces pertes valent +/- 0,1% et pour les machines de faible puissance +/- 4%.

8.1.3. Le rendement

$$\eta=\frac{P_2}{P_1}=\frac{P_2}{P_2+pertes}=\frac{P_2}{P_2+p_j+p_f}$$

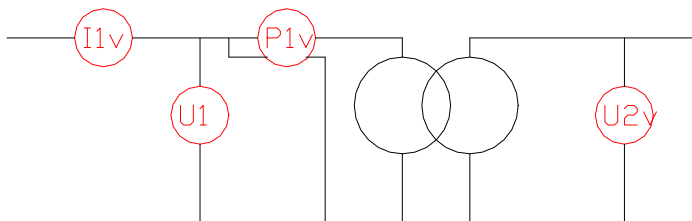
9. Détermination du rendement

L'utilisation pure et simple de wattmètres au primaire et au secondaire du transformateur ne peut être retenue. En effet nous savons que la valeur des pertes est de l'ordre de quelques pourcent de la puissance. Hors nos appareils de mesure de part leur constitution offrent des erreurs de mesure. Sachant que ces erreurs peuvent être de quelques pourcent sur la valeur mesurée, il est aisé de conclure que nous ne pourrions réaliser de façon significative la mesure des puissances.

9.1. Méthode des pertes séparées

9.1.1. Essai à vide

9.1.1.1. Schéma de câblage



9.1.1.2. Renseignements obtenus

Cet essai va nous permettre de déterminer plusieurs éléments de mon transformateur.

$$P_1 = U_1 \cdot I_1 \cdot \cos \phi_1$$

$$m = \frac{U_2}{U_1}$$

$$\cos \phi_1 = \frac{P_1}{U_1 \cdot I_1}$$

9.1.2. Détermination de R_o et X_o

$$S = U_1 \cdot I_1$$

$$\cos \phi_1 = \frac{P_1}{S}$$

$$\phi_1 = \arccos \frac{P_1}{S}$$

$$I_g = I_1 \cdot \cos \phi_1$$

$$I_\mu = I_1 \cdot \sin \phi_1$$

la phase de U_1 est de 0° car référence

I_1 à un déphasage de $-\phi_1$ car selfique

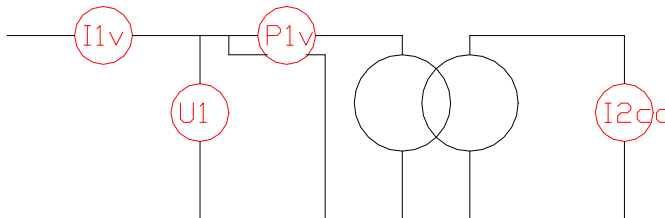
$$Z_o = \frac{U_1}{I_1} \text{ avec une phase } \phi_1$$

$$R_o = \frac{U_1}{I_1} \cdot \cos \phi_1$$

$$X_o = \frac{U_1}{I_1} \cdot \sin \phi_1$$

9.1.3. Essai en court circuit

9.1.3.1. Schéma de câblage



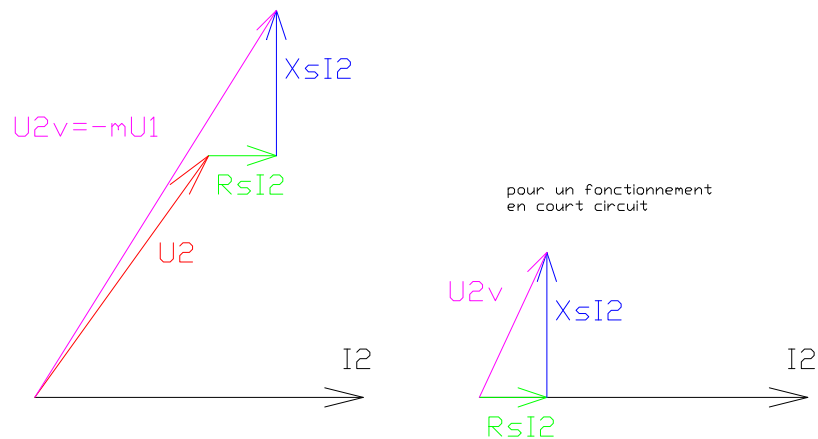
9.1.3.2. Renseignements obtenus

Dans cet essai, nous négligerons les pertes fer face aux pertes joule. Cet essai va nous permettre de déterminer plusieurs éléments de mon transformateur.

$P_{1cc} = P_{2cc} + p_f + p_j$ sachant que U_2 est nulle en court circuit, la P_{2CC} est nulle ce qui me permet d'écrire $P_{1cc} = p_j = R_s \cdot I_{2cc}^2$. Je peux déduire que

$$R_s = \frac{P_{1cc}}{I_{2cc}^2}.$$

Le diagramme de KAPP devient en court circuit



9.1.4. Détermination de R1, R2, X1 et X2

$$\cos\phi_1 = \frac{P_{1cc}}{U_{1cc} \cdot I_{1cc}}$$

$$\phi_1 = \arccos \frac{P_{1cc}}{U_{1cc} I_{1cc}}$$

U_{1cc} a une phase de 0°

I_{1cc} a une phase de $-\phi_1$ car selfique

$$Z_{cc} = \frac{U_{cc}}{I_{cc}} \text{ avec une phase de } \phi_1$$

$$R_e = Z_{cc} \cdot \cos\phi_1$$

$$X_e = Z_{cc} \cdot \sin\phi_1$$

R1DC en continu

R2DC en continu

$$R'_{2DC} = R_{2DC} \cdot (5,23^2) \text{ conversion}$$

$$R_{tDC} = R_{2DC} + R'_{2DC}$$

$$R_{es} = R_e - R_{tDC}$$

$$R_1 \text{ à } 25^\circ\text{C} = R_{1DC} + \frac{R_{es}}{2}$$

$$R_2 \text{ à } 25^\circ\text{C} = R'_{2DC} + \frac{R_{es}}{2}$$

$$R_1 \text{ à } 75^\circ\text{C} = R_{1DC} \cdot (1,216) + \frac{R_{es}}{2 \cdot (1,216)}$$

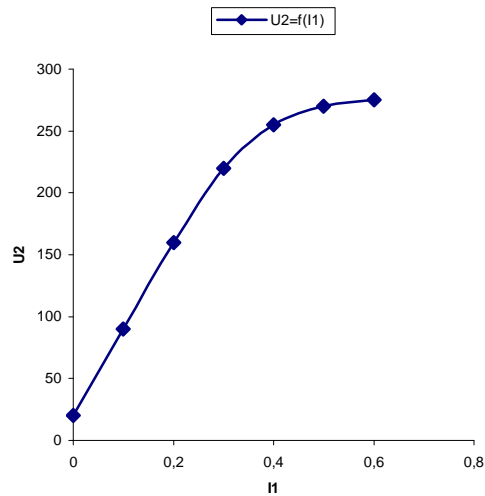
$$R_2 \text{ à } 75^\circ\text{C} = R'_{2DC} \cdot (1,216) + \frac{R_{es}}{2 \cdot (1,216)}$$

$$X_1 = \frac{X_e}{2}$$

$$X_2 = \frac{X_e}{2}$$

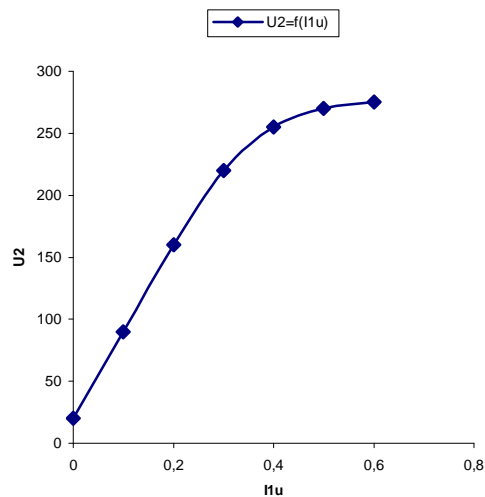
10. Quelques courbes

10.1. $U_2 = f(I_1)$



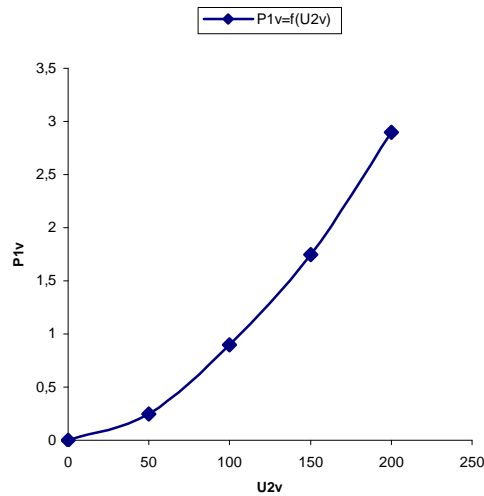
Pour réaliser cette courbe, on fera varier la tension primaire afin d'obtenir les différentes valeurs du courant I_1 à vide. Nous remarquons que dans un premier temps, la courbe est proportionnelle. En effet, toute augmentation de I_1 entraîne une augmentation du flux et donc de la FEM au secondaire. La seconde partie de la courbe montre la saturation de la FEM liée à la saturation du flux dans le circuit magnétique.

10.2. $U_2 = f(I_1 \mu)$



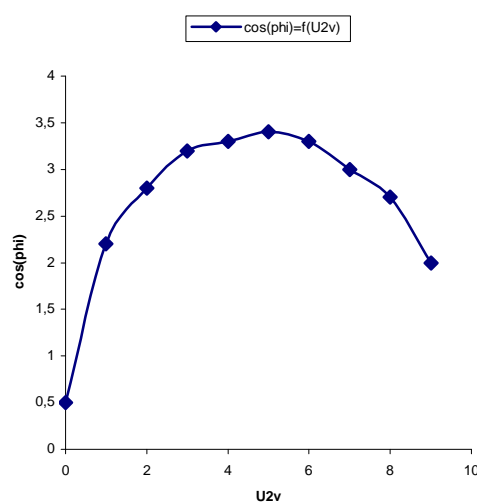
Nous savons que le courant à vide peut être décomposé en deux composantes, une en phase dit courant ohmique et une seconde en quadrature dit courant inductif. Cette dernière est à vide la plus importante puisque c'est elle qui participe à la magnétisation du circuit magnétique. Si on suppose $I_1 a$ très petit, je peux dire que toute évolution du $I_1 v$ est identique à $I_1 u$. L'allure est donc identique à la courbe du point 10.1 et les explications sont identiques.

10.3. $P_{1v} = f(U_{2v})$



Nous savons que toute augmentation de la tension secondaire est fonction du flux et donc du courant primaire. Toute augmentation du courant primaire entraîne donc une augmentation de la puissance à vide P_{1v} . La courbe montre bien ce lien. En effet, la puissance à vide est fonction du courant primaire. Nous voyons encore que nous avons besoin de plus en plus de puissance pour obtenir une augmentation identique de la tension secondaire. En effet, pour lutter contre la saturation du circuit magnétique nous devons augmenter d'autant plus le courant et donc la puissance. Ce dernier point explique le coude montrant que pour une même augmentation de la tension secondaire, il nous faut une plus grande puissance primaire.

10.4. $\cos\phi_{1v} = f(U_{2v})$



$$\mathfrak{R} = \frac{N \cdot I}{\Phi} = \frac{N \cdot I}{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot \frac{N \cdot I}{l} \cdot S} = \frac{l}{\mu \cdot S}$$

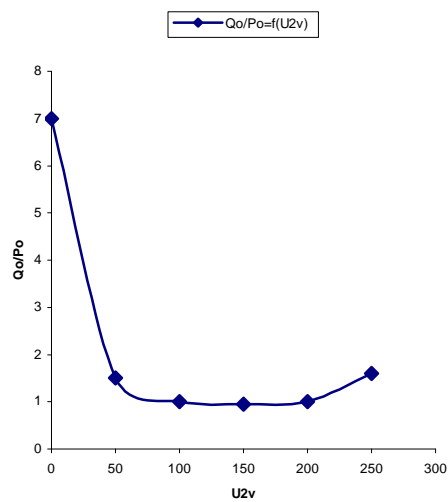
$$L = \frac{N \cdot \Phi}{I} \quad L = \frac{K}{I}$$

$$\mathfrak{R} = \frac{N \cdot I}{\Phi} = K \cdot I$$

Nous voyons sur ce graphique une allure en forme de cloche, tentons d'expliquer cette dernière. Pour la partie montante, cela correspond à une augmentation du flux au sein du circuit magnétique. Cette augmentation entraîne une diminution

de la perméabilité du circuit magnétique. Comme cette dernière diminue, la réactance augmente. Cela est normal puisque nous aurons à un moment saturation. Sachant que la réactance augmente, je peux dire que l'inductance des bobines diminue. Cette diminution entraîne une diminution de la réactance et par conséquent de la puissance réactive. Comme la puissance active est l'image des pertes cuivre et qu'elles peuvent être considérées comme constante dans un essai à vide suite à leur faible valeur. Je peux donc conclure que l'angle diminue et que dès lors le cosinus augmente. Lorsque le circuit magnétique se sature, nous allons avoir une demande de puissance réactive supplémentaire et ce afin de maintenir le flux constant. Cela nous donne l'augmentation de l'angle et la diminution du cosinus.

10.5. $Q_0/P_0 = f(U_2v)$



Cette courbe suit le même raisonnement que la courbe précédente, en effet nous pouvons dire que la puissance active reste constante mais que part contre la puissance réactive diminue dans un premier temps montrant une diminution du rapport et qu'ensuite lors de la saturation nous avons une demande complémentaire de puissance réactive que l'on retrouve par une augmentation de notre courbe.

11. Mise en parallèle de transformateurs

11.1. Descriptif

Certaines applications industrielles imposent parfois de placer deux transformateurs en parallèle. Pourquoi en parallèle ? Et bien c'est très simple, lorsque l'on place un transformateur sur un réseau c'est tout d'abord pour transformer une énergie électrique souvent de la haute tension en une tension de moindre importance qui pourra dès lors être utilisée pour l'alimentation d'appareillages électriques divers. Celle-ci devra restée constante et cela quelque soit la charge. Si la demande en puissance au secondaire devient trop élevée, cela signifie que pour une même tension secondaire, le courant lui va croître entraînant dans un premier temps de plus grande chute de tension mais également risque d'échauffement des conducteurs formant les bobinages. Le problème à résoudre est donc de limiter ce courant ? La solution la plus classique est bien entendu de placer deux générateurs en parallèle de telle sorte que chacun fournisse un pourcentage de la puissance demandée pour les charges et ainsi permettre une répartition des courants. Il va de soit que deux transformateurs seront dit montés en parallèle s'ils sont alimentés par le même réseau et que leur secondaire alimente un réseau commun.

11.2. Conditions de mise en parallèle

Pour pouvoir mettre deux transformateurs en parallèle sur un réseau, il faut absolument vérifier certains points. Si ces derniers ne sont pas vérifié, l'un des transformateurs risque d'être vu par le second comme une charge . Cela veut dire que nous allons apporter une charge supplémentaire au secondaire d'un des transformateur.

11.2.1. Condition n°1

Ils doivent avoir le même rapport de transformation. Cela est nécessaire puisqu'ils sont alimentés par la même tension primaire et qu'ils doivent fournir au secondaire le même potentiel.

11.2.2. Condition n°2

Ils doivent avoir la même hypothénuse de KAPP. En d'autre terme, ils doivent avoir la même impédance interne de telle sorte que les chutes de tension évolues de la même façon. Cette condition est indispensable si on veut que la tension secondaire des deux transformateurs reste sensiblement constante. Notez qu'il faut absolument éviter que la tension secondaire d'un des transformateurs ne soit plus élevée que celle de l'autre car dans ce cas le transformateur ayant la tension la plus faible sera vu par le second transformateur comme un récepteur. Ce dernier transformateur devra à lui seul reprendre tout le courant de charge et en plus le courant demandé par le deuxième transformateur.

Suite au fait que les chutes de tension sont les mêmes, cela me permet de dire que les puissances apparentes fournies par chacun des transformateurs varient en raison inverse de leurs impédances ramenées au secondaire.

$$S = U_2 \cdot I_2$$

$$S' = U_2' \cdot I_2'$$

$$\frac{S}{S'} = \frac{I_2}{I_2'} \quad \text{car } U_2 = U_2'$$

or comme $Z_s \cdot I_2 = Z_s' \cdot I_2'$

$$\text{je peux dire que } \frac{Z_s}{Z_s'} = \frac{I_2'}{I_2}$$

$$\text{et par conséquent que } \frac{S}{S'} = \frac{Z_s'}{Z_s}$$

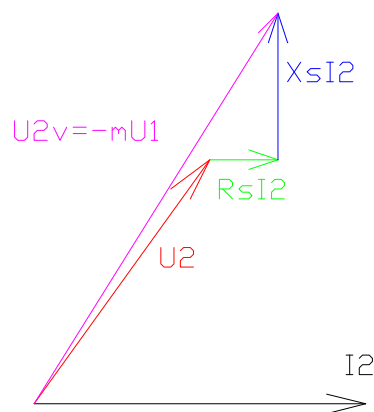
Nous avons vu également que l'hypothénuse du triangle de KAPP était proportionnelle à la tension de court-circuit. Le montage en parallèle ne sera donc possible que lorsque les tensions de court circuit sont égales ou très voisines. Si cette condition est assez facile à réaliser pour des transformateurs de même puissance, il n'en est pas de même pour des transformateurs de puissances différentes. Il sera donc fortement déconseillé de monter deux transformateurs de puissance différente en parallèle.

11.2.3. Condition n°3

Il faut que nous ayons absolument le même ordre de succession des phases. Cette phrase sous-entend que les bornes de même polarité secondaire et primaire doivent être réunies. Cette condition est nécessaire pour éviter une déformation de la tension sur le réseau secondaire. Rappelez vous qu'il existe un déphasage entre les tensions et ce même en alternatif, si les déphasages ne sont pas identiques, la tension totale au secondaire pourrait en être affecté par évolution de l'amplitude de cette dernière.

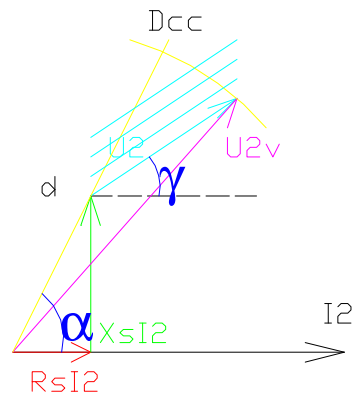
11.3. Caractéristique en charge

On appelle caractéristique en charge d'un transformateur, la courbe représentant la variation de la tension secondaire en fonction du courant de charge et cela pour un facteur de puissance donné. Il va sans dire qu'il existe une caractéristique pour toutes les valeurs de déphasage entre la tension secondaire et le courant de charge.



Le diagramme de KAPP ci-dessus traduit la relation suivante, $\Delta U = U_{2v} - U_2 = R_s \cdot I_2 + X_s \cdot I_2$.

Modifions un rien ce diagramme en plaçant sur l'origine les chutes de tension ohmique et les chutes de tension inductive. Sachant que la valeur de U_{2v} ne varie pas en fonction de la charge, je peux tracer un arc de cercle de centre O et de rayon égale au module de U_{2v} . Je pourrais donc trouver pour un déphasage donné la valeur de la tension secondaire. Je constate que l'origine du vecteur U_2 est l'extrémité du vecteur $X_s I_2$. Si le courant de charge augmente, pour un même déphasage, je peux dire que comme les deux types de chutes sont proportionnelles au courant, qu'elles vont toutes deux augmenter dans de même proportion.

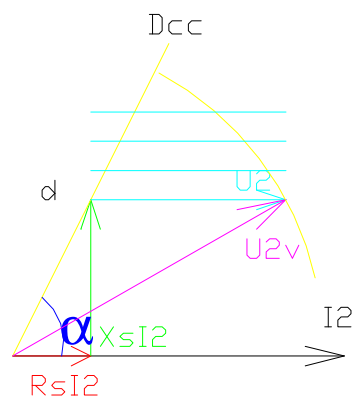


Dés lors je peux conclure en disant que les extrémités du vecteur $X_s I_2$ pour divers courant formera toujours une droite. A cette remarque je peux ajouter encore que plus le courant croît et plus ma droite augmente, ce qui entraîne une diminution de la valeur de U_2 . Lorsque l'arc et la droite se rencontrent, ma tension secondaire est nulle et je me trouve dès lors dans un fonctionnement en court circuit.

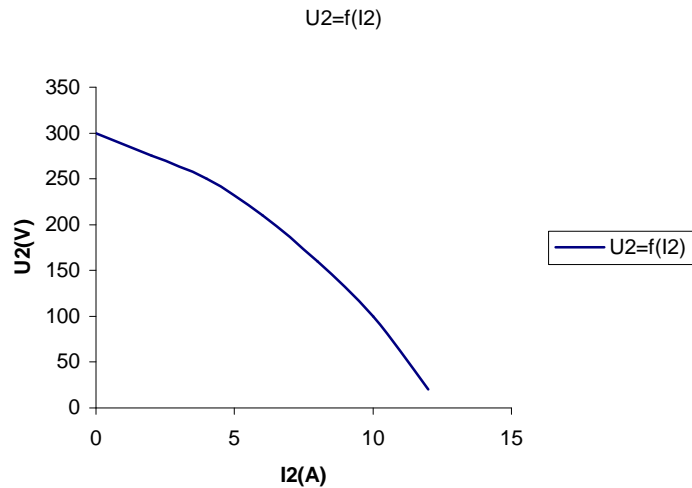
Cette droite « d » fait un angle avec la direction de I_2 tel que $\operatorname{tg} \alpha = \frac{X_s}{R_s} = \varphi_{cc}$ qui n'est rien d'autre que le déphasage interne du transformateur.

11.3.1. Sur charge résistive

11.3.1.1. Diagramme



11.3.1.2. Courbe

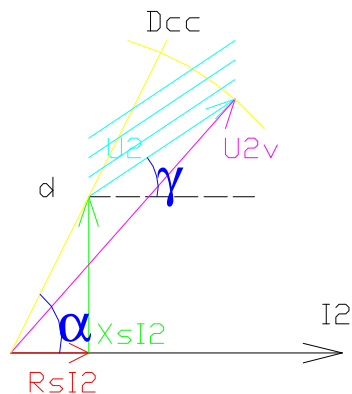


11.3.1.3. Explication

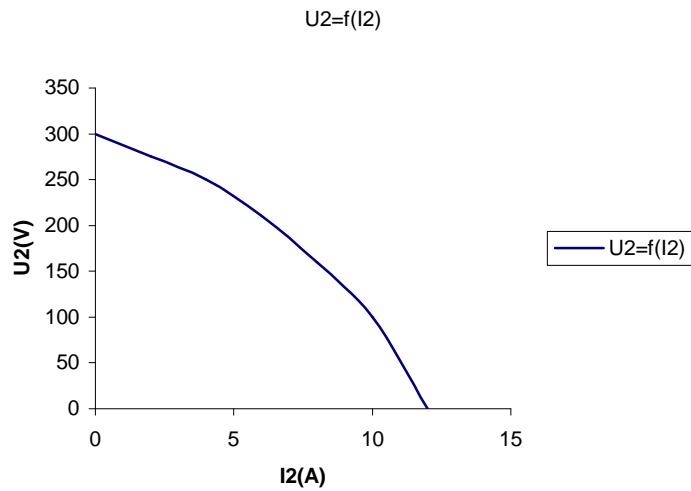
On voit clairement sur le graphe que la tension secondaire diminue de plus en plus vite en fonction de l'augmentation du courant secondaire. L'explication provient du fait que la chute de tension augmente elle aussi en fonction du courant. Pourquoi dès lors n'avons nous pas une droite en lieu et place d'une courbe ? Rappelez-vous que l'augmentation du courant secondaire amène des chutes de tension ohmique et selfique. Ces dernières évoluant chacune soit en fonction de la résistance (chute de tension ohmique) soit en fonction de la réluctance (chute de tension selfique). Pour cette dernière, elle est fonction de la réluctance du circuit magnétique elle même dépendante du flux et donc fonction de la saturation du circuit magnétique. On comprend alors que nous ne pouvons avoir une droite puisque la saturation du circuit magnétique suit l'allure des courbes d'hystérésis. En d'autre terme, nous sommes les chutes de tension ohmiques qui déterminent une droite et les chutes de tensions inductives ou selfiques qui déterminent une courbe (hystérésis)

11.3.2. Sur charge inductive

11.3.2.1. Diagramme



11.3.2.2. Courbe

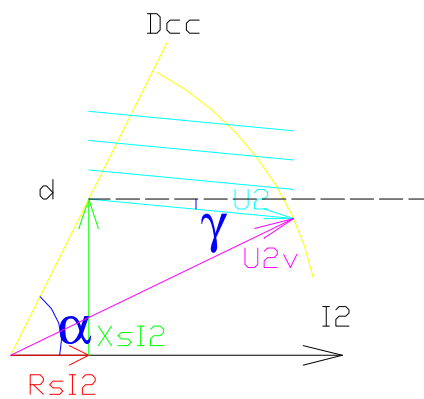


11.3.2.3. Explication

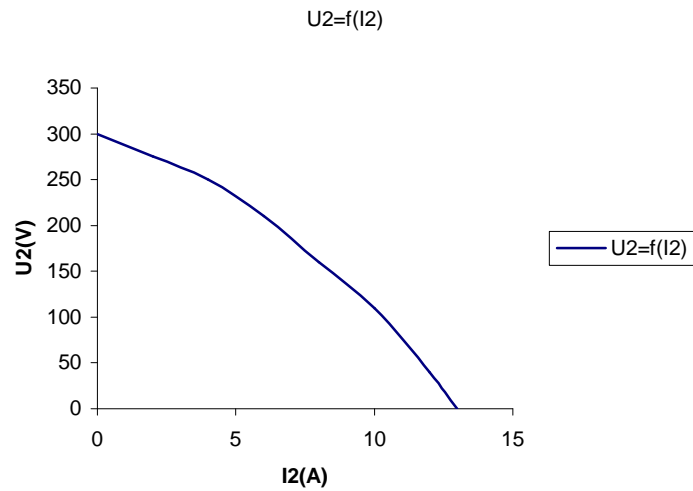
Tout comme pour la courbe dans le cas d'une charge résistive, nous constatons une diminution de plus en plus importante de la tension secondaire en fonction de l'augmentation du courant secondaire. La seule différence notable entre les deux courbes peut se lire sur le fait que nous obtiendrons le point de court circuit et donc la tension secondaire nulle pour un courant secondaire un rien plus faible. N'oubliez pas que nous avons à faire à une charge selfique et que dès lors notre courant secondaire possède une composante de courant selfique qui s'ajoute à l'influence des chutes de tension selfique. L'effet est donc accentué.

11.3.3. Sur charge capacitive

11.3.3.1. Diagramme



11.3.3.2. Courbe



11.3.3.3. Explication

Tout comme pour la courbe dans le cas d'une charge résistive, nous constatons une diminution de plus en plus importante de la tension secondaire en fonction de l'augmentation du courant secondaire. La seule différence notable entre les deux courbes peut se lire sur le fait que nous obtiendrons le point de court circuit et donc la tension secondaire nulle pour un courant secondaire un rien plus important. N'oubliez pas que nous avons à faire à une charge capacitive et que dès lors notre courant secondaire possède une composante de courant selfique qui a tendance à contre carter l'influence des chutes de tension selfique due à la reluctance. L'effet est donc un rien limité. N'oubliez pas non plus que la charge capacitive fournit de l'énergie réactive et que cette dernière joue un rôle favorable dans la limitation des chutes de tension selfique.

12. Exercices

- 1) La tension à vide aux bornes du secondaire d'un transformateur est de 220V. Lorsqu'il débite sur une résistance pure, il délivre un courant de 100A et la tension devient 216V ; pour le même courant fourni à une inductance pure, elle devient 214V. Calculer la tension secondaire pour un courant de 150A et un facteur de puissance de 0,6 en arrière (selfique).

$$\Delta U = R_s \cdot I_2 \cdot \cos\varphi_2 + X_s \cdot I_2 \cdot \sin\varphi_2 = 0,04 \cdot 150 \cdot 0,6 + 0,06 \cdot 150 \cdot 0,8 = 10,8V$$

$$\Delta U_1 = U_{2v} - U_2 = 220 - 216 = 4V$$

$$R_s = \frac{\Delta U_1}{I_2 \cdot \cos\varphi_2} = \frac{4}{100 \cdot 1} = 0,04 \text{ohm}$$

$$\Delta U_2 = U_{2v} - U_2 = 220 - 214 = 6V$$

$$X_s = \frac{\Delta U_2}{I_2 \cdot \sin\varphi_2} = \frac{6}{100 \cdot 1} = 0,06 \text{ohm}$$

$$U_2 = U_{2v} - \Delta U = 220 - 10,8 = 209,2V$$

- 2) Un transformateur 60KVA 50Hz 15000V – 220V est essayé à vide, les pertes fer sont de 950w. Les résistances primaire et secondaire sont $R_1=56\text{ohms}$ et $R_2=0,015\text{ohm}$. Le facteur de puissance secondaire est de 0,8. Calculer le rendement du transformateur pour une puissance apparente secondaire égale aux $\frac{4}{4}$ et $\frac{1}{4}$ de la puissance nominale.

$$R_s = m^2 \cdot R_1 + R_2 = 0,014666^2 \cdot 56 + 0,015 = 0,028 \text{ohm}$$

$$m = \frac{U_2}{U_1} = \frac{220}{15000} = 0,014666$$

$$S(4/4) = 60KVA$$

$$I_2 = \frac{S_2}{U_2} = \frac{60000}{220} = 273A$$

$$p_j = R_s \cdot I_2^2 = 0,028 \cdot 273^2 = 2086w$$

$$\eta = \frac{S \cdot \cos\varphi}{S \cdot \sin\varphi + p_f + p_j} = \frac{60000 \cdot 0,8}{60000 \cdot 0,8 + 2086 + 950} = 0,94$$

$$S(1/4) = \frac{60000}{4} = 15000VA$$

$$I_2 = \frac{S_2}{U_2} = \frac{15000}{220} = 68A$$

$$p_j = R_s \cdot I_2^2 = 0,028 \cdot 68^2 = 126w$$

$$\eta = \frac{S \cdot \cos\varphi}{S \cdot \sin\varphi + p_f + p_j} = \frac{15000 \cdot 0,8}{15000 \cdot 0,8 + 129 + 950} = 0,92$$

- 1) Soit un transformateur de 100KVA – 50Hz – 6000V – 230V on a effectué les essais suivants : un essai à vide $U_1=6000V$, $U_{2v}=240V$, $I_{1v}=0,5A$, $P_{1v}=400w$. En court circuit $U_{1cc}=200V$, $I_{1cc}=16A$, $P_{1cc}=1500w$ pour le courant nominal secondaire. Calculer U_2 pour I_2n lorsque le facteur de puissance vaut 0,7 en arrière, le rendement pour les mêmes conditions et les grandeurs r , x , ΔU en % pour $I_2=I_2n/2$ et le facteur de puissance égale à 0,6 en arrière.
- 2) Soit un transformateur monophasé 1500 – 220V – 50Hz de puissance apparente $S=33KVA$. Calculer le courant I_2n , le rendement pour I_2n et un facteur de puissance de 0,8 en arrière sous $U_2=220V$. Je vous donne encore les résultats d'un essai à vide $P_{1v}=340w$, $I_{1v}=1,5A$, calculer le $\cos\phi_1v$. Si un essai en court-circuit donne $U_{1cc}=60V$ et $P_{1cc}=460w$, calculer R_s et X_s .
- 3) Soit un transformateur dans l'hypothèse de KAPP. Pour avoir la tension nominale $U_{2n}=220V$ il faut appliquer au primaire 5500V à vide. Calculer le rapport de transformation, R_s et X_s sachant qu'un essai en court-circuit a donné $I_{2cc}=250A$, $P_{1cc}=1800w$ et $U_{1cc}=300V$. Que vaut encore U_2 si $S_n=U_{2v}.I_2n=55KVA$, facteur de puissance de 0,8 en arrière et $I_2n=250A$. Si je donne encore les pertes fer de 600w que vaut le rendement et les chutes de tension.
- 4) Lors de l'essai en court-circuit d'un transformateur ($m=0,5$) on a relevé $U_{1cc}=18V$, $I_{1cc}=15A$ et $P_{1cc}=150w$. Sachant encore que $U_{1n}=220V$, $U_2=110V$. Calculer le courant I_2n , X_s et R_s de même que U_{2v} pour $I_2=30A$ sous un $\cos\phi$ de 0,6 arrière.
- 5) Un transformateur comportant 850 spires primaires donne en charge une tension secondaire de 230V pour $U_{1n}=1250V$. Sachant de $\Delta U=5\%$ déterminer U_{2v} et N_2 .
- 6) L'essai d'un transformateur monophasé de 26KVA a donné pour $U_1=5500V$, $U_{2v}=220V$, $U_{1cc}=275V$, $I_{2cc}=118A$ et $P_{1cc}=772w$. Calculer le rapport de transformation de même que R_s et X_s .
- 7) Soit un transformateur $U_1=5500V$, $U_{2v}=220V$, donnant en court circuit $U_{1cc}=220V$, $I_{2cc}=120A$ et $P_{1cc}=500w$. Calculer I_2 pour $\cos\phi_2 = 0,8$ arrière et $S_2=23KVA$, $U_2=220V$. Calculer également la chute de tension pour I_2n et le même facteur de puissance.
- 8) Un transformateur de 24KVA – 10000V – 200V monophasé, fournit au secondaire 210V à vide et absorbe 500w. Les pertes joules sont de 250w au primaire et de 200w au secondaire lorsque le transformateur débite son intensité nominale. Quel est le rendement de l'appareil à pleine charge et pour une charge purement résistive. Quelles sont les résistances de chacun des bobinages ? Si le facteur de puissance devient 0,32, quelle est l'intensité qu'il absorbe à vide, donner également les valeurs des deux composantes de ce courant.
- 9) Un transformateur a son primaire branché sur une source alternative de 6600V. Sachant que le nombre de spires primaires et secondaires est $N_1=1620$ et $N_2=60$ spires, quelles est la tension secondaire et le flux si la fréquence est de 50Hz ?
- 10) Des essais effectués sur un transformateur monophasé de 40KVA, $\cos\phi=0,75$, 500V – 125V – 50Hz ont donné $R_1=6,25$ ohms et $R_2 = 0,0035$ ohm. Un essai à vide a donné une consommation de 0,58Kw. Sachant que le courant primaire à pleine charge est de 6,32A, claculer le rendement à 80% de la charge et celui pour la charge nominale.
- 11) Un transformateur monophasé de 88KVA, 7500V au secondaire possède un facteur de puissance de 0,7. Déterminez la chute de tension à 2/3 de la charge sachant que la chute de tension sur charge résistive est de 2% et sur charge selfique de 4,3%.
- 12) Quelle est la puissance en chevaux des moteurs que pourrait normalement alimenter un transformateur de 24KVA ? Nous les supposons travailler à pleine charge avec un rendement de 0,85 et un facteur de puissance de 0,84.

- 13) Un transformateur monophasé possède 120 spires au primaire et est alimenté sous 220V – 50Hz. On désire obtenir une tension secondaire à vide de 55V. On demande le nombre de spires à prévoir au secondaire, le rapport de transformation, le nombre de spires à ajouter au secondaire si on considère que la tension au secondaire est encore de 55V en charge, la chute de tension due au flux de dispersion ou flux de fuite étant de 4%.
- 14) Dans une installation, on utilise un transformateur dont le circuit magnétique primaire est constitué par une bobine de 120 spires, le secondaire comporte une bobine de 24000 spires et sachant que le courant dans le circuit primaire est de 40A sous 80V. Quel est le rapport de transformation ? Quel est le voltage et l'ampérage aux bornes du secondaire si on suppose d'abord un rendement de 100% et ensuite de 90% ?
- 15) Un transformateur monophasé a donné aux essais les résultats suivants : $E_1=214V$, $E_2=36,3V$, $I_1=0,65A$, $P_{1v}=10w$, $E_{1cc}=17V$, $I_{1CC}=2,45A$, $I_{2CC}=147A$, $P_{1cc}=40w$, $R_1=1,9\text{ ohm}$ et $R_2=0,098\text{ ohm}$. Calculer le facteur de puissance à vide, le rendement à pleine charge inductive si sa puissance de construction est de 5000w et établissez les calculs pour construire le triangle de KAPP.
- 16) On lance dans le primaire d'un transformateur un courant de 30A sous 12V. Quelle est la tension du secondaire sachant que l'intensité de celui-ci est de 0,4A et que la transformation subit une perte de 10%.
- 17) On propose de calculer le rendement d'un transformateur réducteur de tension avec les données suivantes : $P_{1v}=500w$, $R_1=6\text{ohms}$ et $R_2=0,005\text{ ohm}$. L'intensité en charge est $I_1=250A$ et $U_2=120V$.
- 18) Calculez le rendement d'un transformateur si on donne les mesures suivantes, $I_1=10A$, $R_1=25\text{ohms}$, $I_2=200A$, $R_2=0,01\text{ohm}$, $P_2=25Kw$. Les pertes fer correspondantes valent approximativement 750w.
- 19) Un transformateur a son primaire branché sur une ligne 3000V – 50Hz, il abaisse la tension à 230V en consommant une puissance totale de 6KVA. Quelles sont les intensités primaire et secondaire si le rendement est de 95%.