SOLUTION TD TRANSFO TRIPHASE

Exercice 1

1. Le transformateur représenté sur la figure 1 comporte n_1 spires au primaire et n_2 au secondaire. Déterminer son indice horaire et son rapport de transformation en fonction de n_2 et n_1.

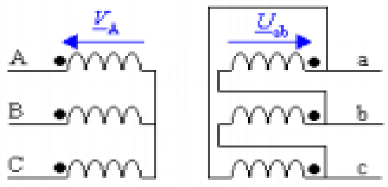


figure 1

Pour la colonne supérieure, on peut écrire $\underline{U}_{ab}=\dfrac{n_2}{n_1}\underline{V}_A$

La tension $\underline{U}_{ab}$ est en phase avec $\underline{V}_A$: $\underline{U}_{ab}$ est en retard de 30° sur $\underline{U}_{AB}$, l'indice horaire est donc égal à 1.

On note U_s la valeur efficace des tensions secondaires et V_p la valeur efficace des tensions primaires, l'équation $\underline{U}_{ab}=\dfrac{n_2}{n_1}\underline{V}_A$ devient $U_s=\dfrac{n_2}{n_1}V_p$ pour les valeurs efficaces. Comme $V_p=\dfrac{U_p}{\sqrt{3}}$ alors $U_s=\dfrac{n_2}{n_1}\dfrac{U_p}{\sqrt{3}}$ ce qui donne $m=\dfrac{U_s}{U_p}=\dfrac{n_2}{n_1}\dfrac{1}{\sqrt{3}}$

2. Le schéma de la figure 2 représente un essai dont les résultats ont donné :

- indication du voltmètre V_1 : 400 V
- indication du voltmètre V_2 : 400 V

a. Déduire de ces résultats le rapport $\dfrac{n_2}{n_1}$

Pour le transformateur colonne, il est possible d'écrire $\dfrac{V_2}{V_1}=\dfrac{n_2}{n_1}$ soit $\dfrac{n_2}{n_1}=1$

b. Quelle est la valeur efficace des tensions composées au secondaire si les tensions composées au primaire ont une valeur efficace égale à 690 V ?

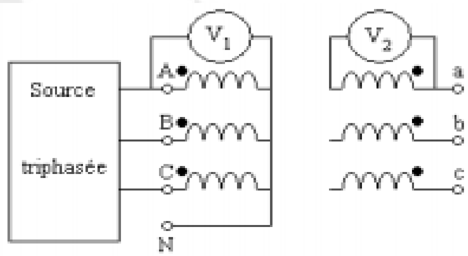
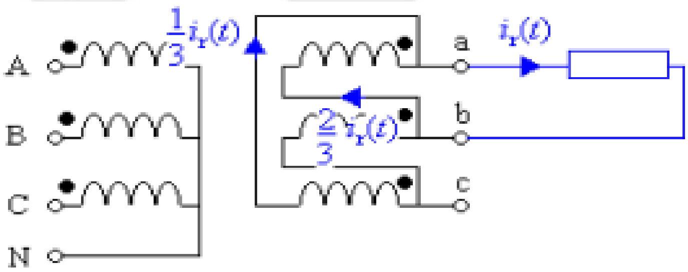


Figure 2

D'après la question 1, $m=\dfrac{n_2}{n_1}\dfrac{1}{\sqrt{3}}$ et $\dfrac{n_2}{n_1}=1$ d'après la question précédente soit $m=\dfrac{1}{\sqrt{3}}$. On a donc $U_s=\dfrac{1}{\sqrt{3}}U_p=\dfrac{1}{\sqrt{3}}690=400\ \text{V}$

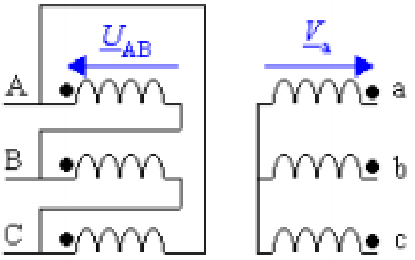
3. Une charge monophasée résistive est branchée entre les bornes a et b du secondaire couplé en triangle.

a. Représenter le schéma de câblage.



Exercice n2

1. Triangle - étoile



Pour la colonne supérieure, il est possible d'écrire :

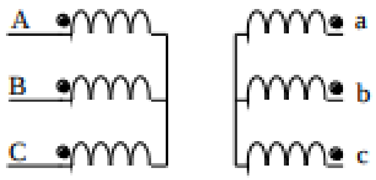
$\underline{V}_a = \frac{n_2}{n_1}\underline{U}_{AB}$ soit pour les valeurs efficaces des tensions composées primaires U_p et simples secondaires V_s : $V_s = \frac{n_2}{n_1}U_p$. En remplaçant U_p par $U_p = \sqrt{3}V_p$ ou V_s par $V_s = \frac{U_s}{\sqrt{3}}$, on obtient $V_s = \frac{n_2}{n_1}V_p\sqrt{3}$ ou $\frac{U_s}{\sqrt{3}} = \frac{n_2}{n_1}U_p$

ce qui donne $m = \frac{V_s}{V_p} = \frac{U_s}{U_p} = \sqrt{3}\frac{n_2}{n_1}$

Pour l'indice horaire, on utilise la relation $\underline{V}_a = \frac{n_2}{n_1}\underline{U}_{AB}$: $\underline{V}_a$ est en phase avec $\underline{U}_{AB}$.

Il faut placer ces deux vecteurs sur un diagramme de Fresnel ($\underline{U}_{AB} = \underline{V}_A - \underline{V}_B$) pour constater que l'indice horaire est égal à 11

2. Étoile - étoile



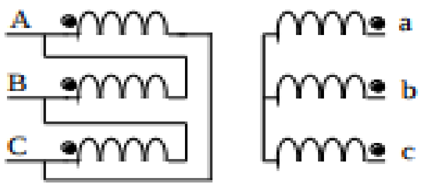
Pour la colonne supérieure, il est possible d'écrire :

$\underline{V}_a = \frac{n_2}{n_1}\underline{V}_A$ soit pour les valeurs efficaces des tensions simples primaires V_p et secondaires V_s : $V_s = \frac{n_2}{n_1}V_p$.

ce qui donne $m = \frac{V_s}{V_p} = \frac{U_s}{U_p} = \frac{n_2}{n_1}$

Pour l'indice horaire, on utilise la relation $\underline{V}_a = \frac{n_2}{n_1}\underline{V}_A$: $\underline{V}_a$ est en phase avec $\underline{V}_A$ et l'indice horaire est égal à 0.

3. Triangle - étoile



Pour la colonne supérieure, il est possible d'écrire :

$\underline{V}_a = \frac{n_2}{n_1}\underline{U}_{AC}$ soit pour les valeurs efficaces des tensions composées primaires U_p et simples secondaires V_s : $V_s = \frac{n_2}{n_1}U_p$. En remplaçant U_p par $U_p = \sqrt{3}V_p$ ou V_s par $V_s = \frac{U_s}{\sqrt{3}}$, on obtient $V_s = \frac{n_2}{n_1}V_p\sqrt{3}$ ou $\frac{U_s}{\sqrt{3}} = \frac{n_2}{n_1}U_p$

ce qui donne $m = \frac{V_s}{V_p} = \frac{U_s}{U_p} = \sqrt{3}\frac{n_2}{n_1}$

Pour l'indice horaire, on utilise la relation $\underline{V}_a = \frac{n_2}{n_1}\underline{U}_{AC}$: $\underline{V}_a$ est en phase avec $\underline{U}_{AC}$.

Il faut placer ces deux vecteurs sur un diagramme de Fresnel ($\underline{U}_{AC} = \underline{V}_A - \underline{V}_C$) pour constater que l'indice horaire est égal à 1.

Probleme :

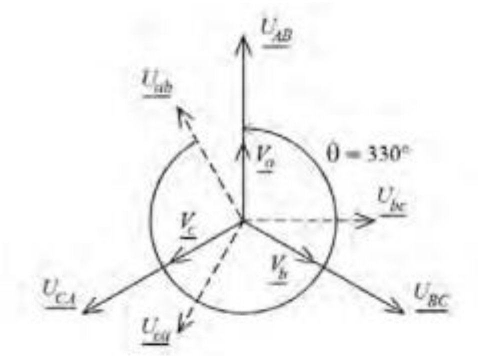
1- Comme pour le transformateur monophasé, les points repèrent les bornes homologues des enroulements. Ce pointage permet de connaître le sens de bobinage relatif des phases du primaire et du secondaire sans avoir besoin d'une représentation détaillée du circuit magnétique et des enroulements. Avec un transformateur triphasé, la différence est que les enroulements sont répartis sur trois noyaux. Pour les bobines d'une même colonne, les tensions entre l'extrémité pointée et l'autre extrémité ont même polarité instantanée. Par ailleurs, dans la relation d'Hopkinson, pour un contour donné, les forces magnétomotrices sont précédées d'un signe + si la flèche d'orientation du courant entre par une extrémité pointée et d'un signe – dans le cas contraire.

2- Le rapport de transformation est égal au quotient de la valeur efficace U_{2v} des tensions composées au secondaire à vide et de la valeur efficace U_{1n} des tensions composées au primaire :

$$m = \frac{U_{2v}}{U_{1n}}$$

$$m = \frac{400}{5,20 \times 10^3} = 7,69 \times 10^{-2}$$

3- Compte tenu du couplage (triangle au primaire et étoile au secondaire) et du pointage des bobines, les tensions simples au secondaire (va, vb, vc) sont en phase avec les tensions composées correspondantes au primaire (u_{AB}, u_{BC}, u_{CA}) (figure ci dessou).



Les tensions composées au secondaire sont obtenues par les relations :

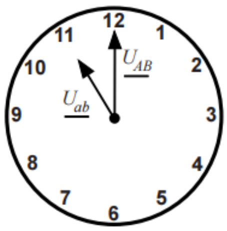
$$u_{ab} = v_a - v_b$$

$$u_{bc} = v_b - v_c$$

$$u_{ca} = v_c - v_a$$

Le déphasage d'une tension composée au secondaire (basse tension) par rapport à la tension composée homologue au primaire (haute tension) est θ = 330°. L'indice horaire du transformateur est :

$$H = \frac{330}{30} = 11$$



Le symbole normalisé du transformateur est Dy11 puisque :

- l'enroulement haute tension (désigné par une majuscule) est couplé en triangle (lettre D) ;
- l'enroulement basse tension (désigné par une minuscule) est couplé en étoile (lettre y) ;
- l'indice horaire du transformateur est 11.

A.5 La valeur efficace V_{2v} des tensions simples au secondaire est égale au produit du rapport $\frac{N_2}{N_2}$ des nombres de spires et de la valeur efficace U_1 des tensions composées au primaire :

$$V_{2v} = \frac{N_2}{N_1} U_1$$

La valeur efficace U_{2v} des tensions composées au secondaire est alors :

$$U_{2v} = \sqrt{3} V_{2v} = \sqrt{3} \frac{N_2}{N_1} U_1$$

Le rapport de transformation m s'exprime donc par :

$$m = \sqrt{3} \frac{N_2}{N_2}$$

A.6 La formule précédente permet d'obtenir le rapport de transformation par colonne :

$$m_c = \frac{m}{\sqrt{3}}$$

Application numérique :

$$m_c = \frac{7,69 \times 10^{-2}}{\sqrt{3}} = 4,44 \times 10^{-2}$$

A.7 La formule de Boucherot exprime la valeur efficace U_1 de la tension aux bornes d'une phase du primaire (tension composée puisque le primaire est couplé en triangle) en fonction de l'amplitude B_M du champ magnétique, du nombre de spires N_1 d'une phase du primaire, de la section S du noyau et de la fréquence f :

$$U_1 = \pi \sqrt{2} B_M N_1 S f$$

Le nombre de spires N_1 d'une phase du primaire est ainsi :

$$N_1 = \frac{U_1}{\pi \sqrt{2} B_M S f}$$

Application numérique :

$$N_1 = \frac{5,20 \times 10^3}{\pi \sqrt{2} \times 1,20 \times 5,00 \times 10^{-2} \times 50,0} = 390$$

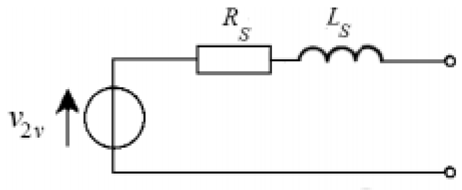
Le rapport de transformation par colonne chiffré à la question précédente permet d'obtenir le nombre de spires N_2 d'une phase du secondaire :

$$N_2 = m_c N_1$$

Application numérique :

$$N_2 = 4,44 \times 10^{-2} \times 390 = 17$$

A.8 La force électromotrice du modèle de Thévenin de la sortie du schéma monophasé équivalent est la tension à vide v_{2v}. L'impédance interne comprend la résistance des enroulements ramenée au secondaire R_S et l'inductance de fuites ramenée au secondaire L_S (figure 2.6).



A.9 Dans l'essai en court-circuit, comme les pertes ferromagnétiques sont négligeables, la puissance active P_{1c} appelée par le transformateur est égale aux pertes par effet Joule qui correspondent à trois fois la puissance dissipée dans la résistance R_S du schéma monophasé équivalent :

$$P_{1c} = 3R_S I_{2c}^2$$

Nous en déduisons la résistance R_S :

$$R_S = \frac{P_{1c}}{3I_{2c}^2}$$

Application numérique :

$$R_S = \frac{7,35 \times 10^3}{3 \times 350^2} = 20,0 \text{ m}\Omega$$

Nous pouvons ensuite calculer le module Z_S de l'impédance de R_S et L_S :

$$Z_S = \frac{mV_{1c}}{I_{2c}} = \frac{mU_{1c}}{I_{2c}\sqrt{3}}$$

Application numérique :

$$Z_S = \frac{7,69 \times 10^{-2} \times 600}{350 \times \sqrt{3}} = 76,1 \text{ m}\Omega$$

Ce module s'écrit également :

$$Z_S = \sqrt{R_S^2 + X_S^2}$$