

## Série 4- Correction

### Exercice1

Un transformateur de distribution possède les caractéristiques nominales suivantes :  
 $S_{2n} = 25 \text{ kVA}$ ,  $P_{\text{Joule } n} = 700 \text{ W}$  et  $P_{\text{fer}} = 115 \text{ W}$ .

1- Calculer le rendement nominal pour :

- une charge résistive

$$P_2 = S_2 \cos \varphi_2 \quad \text{Or pour une charge résistive } \cos \varphi_2 = 1$$

$$P_{2N} = 25000 * 1 = 25 \text{ kW}$$

$$P_1 = P_2 + P_{\text{Pertes Joule}} + P_{\text{fer}} = 25000 + 700 + 115 = 25.815 \text{ kW}$$

$$\text{Rendement nominal } \eta = \frac{P_2}{P_1} = 96.8\%$$

- une charge inductive de facteur de puissance 0.8

$$\eta = \frac{25000 * 0.8}{25000 * 0.8 + 700 + 115} = 96.1\%$$

1. Calcul du rendement pour :

Une charge résistive qui consomme la moitié du courant nominal

$$P_2 = S_2 \cos \varphi_2 I_2 = \frac{I_{2N}^2}{2} \quad \text{Donc } P_2 = \frac{P_{2N}}{2} = 12.5 \text{ kW}$$

Les pertes Joule sont proportionnelles au carré des courants.

$$\text{Loi de Joule } P_j = \frac{700}{2^2} = 175$$

$$\eta = \frac{12500}{12500 + 175 + 115} = 97.7\%$$

### Exercice2

Un transformateur monophasé a les caractéristiques suivantes :

- tension primaire nominale :  $U_{1N} = 5375 \text{ V} / 50 \text{ Hz}$
- rapport du nombre de spires :  $N_2/N_1 = 0,044$
- résistance de l'enroulement primaire :  $R_1 = 12 \Omega$
- résistance de l'enroulement secondaire :  $R_2 = 25 \text{ m}\Omega$
- inductance de fuite du primaire :  $L_1 = 50 \text{ mH}$
- inductance de fuite du secondaire :  $L_2 = 100 \mu\text{H}$

1- Calcul de la tension à vide au secondaire

$$U_2 = U_{1N} * m = 5375 * 0.044 = 236.5 \text{ V}$$

2- Calculer la résistance des enroulements ramenée au secondaire

$$\begin{aligned} R_s &= R_2 + R_1 * m^2 = 25 * 10^{-3} + (0.044)^2 \\ &= 48.232 * 10^{-3} \Omega = 48.232 \text{ m}\Omega \end{aligned}$$

3- Calcul l'inductance de fuite ramenée au secondaire  $L_s$

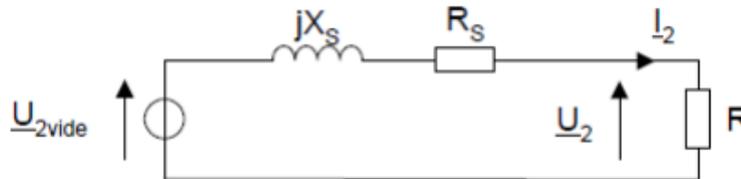
En déduire la réactance de fuite  $X_s$

$$L_s = L_2 + L_1 * m^2 = 100 * 10^{-6} + 50 * 10^{-3} * (0.044)^2 = 197 \mu H$$

$$X_s = L_s \omega = 197 * 10^{-6} * 2\pi * 50 = 61.8 m\Omega$$

Le transformateur débite dans une charge résistive  $R=1\Omega$

- 4- Calculer la tension aux bornes du secondaire  $U_2$  et le courant qui circule dans la charge  $I_2$   
Schéma équivalent du secondaire



Impédance complexe totale

$$\underline{Z} = (R_s + R) + jX_s$$

Impédance totale

$$Z = \sqrt{(R_s + R)^2 + X_s^2}$$

Courant du secondaire  $I_2 = \frac{U_{2vide}}{Z}$

$$I_2 = \frac{U_{2v}}{\sqrt{(R_s + R)^2 + X_s^2}} = 225.2 A$$

$$U = RI_2 = 225.2 V$$

### Exercice 3

Un transformateur de commande et de signalisation monophasé a les caractéristiques suivantes : 230 V/ 24 V 50 Hz 630 VA 11,2 kg

- 1- Calculer le rendement nominal du transformateur pour  $\cos \varphi_2 = 1$  et  $\cos \varphi_2 = 0,3$ .  
 $(630 \times 1) / (630 \times 1 + 54,8) = 92 \%$   
 $(630 \times 0,3) / (630 \times 0,3 + 54,8) = 77,5 \%$
- 2- Calculer le courant nominal au secondaire  $I_{2N}$ .  
 $630 / 24 = 26,25 A$
- 3- Les pertes à vide (pertes fer) sont de 32,4 W.  
 En déduire les pertes Joule à charge nominale.  
 Bilan de puissance :  $54,8 - 32,4 = 22,4 W$   
 En déduire  $R_s$ , la résistance des enroulements ramenée au secondaire.  
 Loi de Joule :  $22,4 / 26,25^2 = 32,5 m\Omega$
- 4- La chute de tension au secondaire pour  $\cos \varphi_2 = 0,6$  (inductif) est de 3,5 % de la tension nominale ( $U_{2N} = 24 V$ ). En déduire  $X_s$ , la réactance de fuite ramenée au secondaire.  
 Chute de tension au secondaire :  $\Delta U_2 = 0,035 \times 24 = 0,84 V$

$$\Delta U_2 = (R_s \cos \varphi_2 + X_s \sin \varphi_2) * I_{2N}$$

$$X_s = (0,84/26,25 - 0,0325 \times 0,6) / 0,8 = 15,6 \text{ m}\Omega$$

#### Exercice 4

Les essais d'un transformateur monophasé ont donné :

A vide :  $U_1 = 220 \text{ V}$ , 50 Hz (tension nominale primaire);  $U_{2v} = 44 \text{ V}$ ;  $P_{1v} = 80 \text{ W}$ ;  $I_{1v} = 1 \text{ A}$ .  
 En court-circuit :  $U_{1cc} = 40 \text{ V}$  ;  $P_{1cc} = 250 \text{ W}$  ;  $I_{2cc} = 100 \text{ A}$  (courant nominal secondaire). En courant continu au primaire :  $I_1 = 10 \text{ A}$  ;  $U_1 = 5 \text{ V}$ .

Le transformateur est considéré comme parfait pour les courants lorsque ceux-ci ont leurs valeurs nominales.

- 1- Déterminer le rapport de transformation à vide  $m_v$  et le nombre de spires au secondaire, si l'on en compte 500 au primaire.

$$m_v = 44 / 220 = 0,2$$

$$N_2 = 500 \times 0,2 = 100 \text{ spires}$$

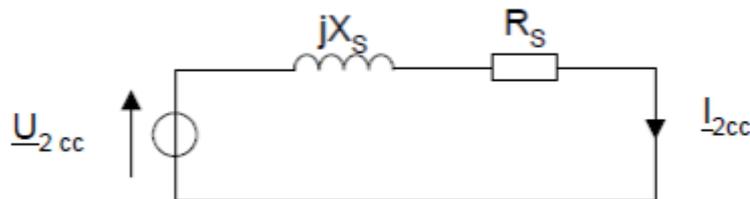
- 2- Calculer la résistance de l'enroulement primaire  $R_1$ .

$$R_1 = 5 / 10 = 0,5 \Omega$$

- 3- Vérifier que l'on peut négliger les pertes par effet Joule lors de l'essai à vide (pour cela, calculer les pertes Joule au primaire).

$$\text{Pertes Joule au primaire} = R_1 I_{1v}^2 = 0,5 \text{ W} \ll 80 \text{ W} \text{ donc négligeables.}$$

- 4- Représenter le schéma équivalent du transformateur en court-circuit vu du secondaire. En déduire les valeurs  $R_s$  et  $X_s$  caractérisant l'impédance interne.



$$R_s = 250 / 100^2 = 0,025 \Omega$$

$$Z_s = m_v * U_{1cc} / I_{2cc} = 0,080 \Omega$$

$$Z_s = \sqrt{R_s^2 + X_s^2} \rightarrow X_s = \sqrt{Z_s^2 - R_s^2} = 0,076 \Omega$$

On prend  $R_s = 0,025 \Omega$  et  $X_s = 0,075 \Omega$ .

Le transformateur, alimenté au primaire sous sa tension nominale, débite 100 A au secondaire avec un facteur de puissance égal à 0,9 (charge inductive).

- 5- Déterminer la tension secondaire du transformateur. En déduire la puissance délivrée au secondaire.

$$\Delta U_2 = (R_s \cos \varphi_2 + X_s \sin \varphi_2) * I_2 = 5,5 \text{ V}$$

$$U_2 = 44 - 5,5 = 38,5 \text{ V}$$

$$P_2 = U_2 * I_2 * \cos \varphi_2 = 3460 \text{ W}$$

- 6- Déterminer la puissance absorbée au primaire (au préalable calculer les pertes globales).

En déduire le facteur de puissance au primaire et le rendement.

$$\text{Pertes globales} = 80 + 250 = 330 \text{ W}$$

$$P_1 = 3460 + 330 = 3790 \text{ W}$$

$$\text{Rendement} : 3460 / 3790 = 91 \%$$

$$P_1 = U_1 * I_1 * \cos \varphi_1 = U_1 * m_v * I_2 * \cos \varphi_1$$

$$\text{D'où} : \cos \varphi_1 = 0,86$$

### Exercice 5

Transformateur triphasé, S=16 kVA ;

Primaire 20kV, couplage triangle

Secondaire 220/380V en charge nominale, couplage étoile.

- 1) L'intensité nominale au secondaire 230A.

Calcul de la puissance active sachant que  $\cos \varphi = 0.8$

- a) On raisonne par phase, le secondaire étant en étoile, la tension par phase et le courant par phase sont :

$$V=220V \text{ et } I=230A \text{ avec } \cos \varphi = 0.8$$

$$\text{La puissance active } P=3VI \cos \varphi = 3 * 220 * 230 * 0.8 = 121440 \text{ W} \\ = 121,44 \text{ kW}$$

- b) Calcul des pertes fer qui est égale aux pertes Joule sachant que le rendement maximal est de 0.96

$$\eta = \frac{P}{P + \text{pertes}} \rightarrow \eta * (P + \text{pertes}) = P \rightarrow \eta * \text{pertes} = P(1 - \eta)$$

$$\text{pertes} = P_{fer} + P_J = P \left( \frac{1 - \eta}{\eta} \right) = \frac{0.04 * P}{0.96} = \left( \frac{121400}{24} \right) \\ = 5060 \text{ W}$$

$$\text{Alors } P_f = P_J = 2530 \text{ W}$$

- 2) On s'intéresse à une colonne du transformateur : Elle se comporte comme transformateur monophasé

- Le primaire est sous 20 kV

- Le secondaire  $I_2 = 230$  sous 220 V,  $\cos \varphi = 0.8$

- a) La chute de tension 5% de la tension à vide au secondaire

Calcul de cette tension à vide.

Le secondaire étant en étoile  $V_a = 220 \text{ V}$  tandis que le primaire étant en triangle, sa tension par phase  $V_A = 20000 \text{ V}$

$$(V_{a0} - V_a) = V_{a0} * 0.05 \text{ soit } V_{a0}(1 - 0.05) = V_a$$

$$V_{a0} = \frac{220}{0.95} = 232 \text{ V}$$

$$m = \frac{V_{a0}}{V_A} = \frac{232}{20000} = 0.0116$$

- b) Détermination de la résistance équivalente R ramenée au secondaire

$$P_j = 3R_s * I_2^2 = 2530W \text{ (Voir question 1-b)}$$

$$\text{Soit } R_s = \frac{2530}{3*230^2} = 0.016 \Omega$$

$$\begin{aligned} \Delta V &= R_s * I_2 * \cos \varphi + X_s * I_2 * \sin \varphi = 0.016 * 230 * 0.8 + X_s * 230 * 0.6 \\ &= 12 V \text{ (} 0.05 * 232 \approx 11.6 \text{)} \end{aligned}$$

$$\rightarrow X_s = \frac{9.06}{13.8} = 0.656 \Omega$$

Ce résultat est normal car, dans un transformateur, la chute inductive est environ 5 fois plus élevée que la chute résistive.