

**CORRIGÉ**

## Ex 1. Étude rapide : Transformateur BT

### 1. Que vaut le rapport de transformation $m$ ?

Négligeant les pertes, on considère que la tension nominale au secondaire et la tension à vide au secondaire sont identiques.

$$m = N_2 / N_1 = 33 / 150 = 0.22$$

### 2. Que vaut la tension secondaire à vide $V_{2,0}$ ?

$$m = U_{2,0} / U_{1,n} \rightarrow U_{2,0} = m \cdot U_{1,n} = 0.22 \times 230 = 50.6 \text{ V}$$

### 3. Que vaut l'intensité nominale du courant au primaire $I_{1,n}$ ?

$$S_n = U_{1,n} \cdot I_{1,n} \rightarrow I_{1,n} = S_n / U_{1,n} = 1000 / 230 = 4.35 \text{ A}$$

### 4. Que vaut l'intensité nominale du courant au secondaire $I_{2,n}$ ?

$$S_n = U_{2,n} \cdot I_{2,n} \rightarrow I_{2,n} = S_n / U_{2,n} = 1000 / 48 = 20.8 \text{ A}$$

### 5. Que vaut la puissance active $P_2$ consommée par la charge ?

$$P_2 = U_{2,n} \cdot I_{2,n} \cdot f_p = 48 \times 9.5 \times 0.85 = 387.6 \text{ W}$$

### 6. Que vaut la puissance apparente $S_2$ consommée par la charge ?

$$S_2 = U_{2,n} \cdot I_{2,n} = 48 \times 9.5 = 456 \text{ VA}$$

### 7. Que vaut le rendement en charge du transformateur ?

$$\eta = P_2 / P_1 = 456 / 600 = 0.76 = 76\%$$

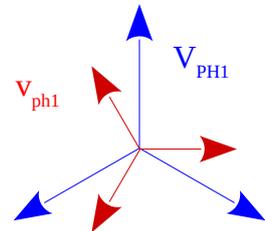
## Ex 2. Étude approfondie : Transformateur HTA-BT

### Caractéristiques nominales

#### 1. Que signifie Dyn11 ? Tracez le diagramme de Fresnel correspondant.

Dyn11 représente le mode de couplage du transformateur : le primaire est monté en triangle (D), le secondaire en étoile (y) avec présence d'un neutre (n).

L'indice horaire (déphasage entre la tension simple au primaire et celle au secondaire) est de 11h (soit  $-\pi/6$ ).



#### 2. Calculez l'intensité nominale du courant au primaire $I_{1,n}$ .

$$S_n = \sqrt{3} \cdot U_{1,n} \cdot I_{1,n} \rightarrow I_{1,n} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_{1,n}} = \frac{100 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \cdot 20 \text{ kV}} = 2.89 \text{ A}$$

#### 3. Calculez l'intensité nominale du courant au secondaire $I_{2,n}$ .

$$S_n = \sqrt{3} \cdot U_{2,n} \cdot I_{2,n} \rightarrow I_{2,n} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_{2,n}} = \frac{100 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \cdot 410 \text{ V}} = 141 \text{ A}$$

### Caractéristiques à vide

*Note : le terme « déchargé » signifie que le circuit du secondaire est déchargé, donc ouvert.*

#### 4. En reprenant le modèle de la figure Error: Reference source not found, tracez le schéma équivalent d'une phase du transformateur à vide, en éliminant les éléments négligeables.

À vide, le courant  $I_2$  est nul, le courant  $J_1$  se réduit au courant magnétisant  $J_m$  et courant de pertes fer  $J_{Fe}$  seulement, avec  $J_{Fe} + J_m = J_0$ . Les pertes par effet Joule dans les enroulements et les fuites magnétiques sont négligeables.

#### 5. Donnez la valeur du courant déchargé $I_0$ (courant du primaire quand le secondaire est à vide).

D'après la documentation technique : « Courant déchargé  $I_0 = 1\%$  »

$$\text{Donc } I_0 = 1\% \times I_{1,n} = 28.9 \text{ mA}$$

**6. Retrouvez les valeurs de puissance apparente à vide  $S_{1,0}$ , de puissance réactive à vide  $Q_{1,0}$  et de déphasage à vide  $\varphi_{1,0}$ .**

$$(1) S_0 = \sqrt{3} \cdot U_{1,n} \cdot I_0 = \sqrt{3} \times 20 \cdot 10^3 \times 28.9 \cdot 10^{-3} = 1000 \text{ VA}$$

$$(2) S_0^2 = P_0^2 + Q_0^2 \rightarrow Q_0 = \sqrt{S_0^2 - P_0^2} = \sqrt{1000^2 - 252^2} = 968 \text{ VAR}$$

$$(3) P_0 = \sqrt{3} \cdot U_{1,n} \cdot I_0 \cdot \cos(\varphi_0) \rightarrow \cos(\varphi_0) = f_{p,0} = \frac{P_0}{\sqrt{3} \cdot U_{1,n} \cdot I_0} = \frac{252}{\sqrt{3} \times 20 \cdot 10^3 \times 28.9 \cdot 10^{-3}} = 0.252$$

$$(3) \rightarrow \varphi_0 = 75.4^\circ$$

**7. Déterminez la valeur de la résistance  $R_{Fe}$  symbolisant les pertes fer dans une phase transformateur (pensez à utiliser  $P_{1,0} / 3$  !).**

$$P_{0,ph} = \frac{P_0}{3} = \frac{U_{1,n}^2}{R_{Fe}} \rightarrow R_{Fe} = \frac{3 \cdot U_{1,n}^2}{P_0} = \frac{3 \times 20000^2}{252} = 4.76 \text{ M}\Omega$$

**8. Déterminez la valeur d'inductance magnétisante  $L_m$  d'une phase (pensez à utiliser  $Q_{1,0} / 3$  !).**

De manière analogue,  $Q_{0,ph} = U_{1,n}^2 / X_m$  avec  $X_m = L_m \cdot \omega = L_m \times 2 \pi \cdot f$

$$\rightarrow L_m = \frac{3 U_{1,n}^2}{Q_0 \cdot \omega} = \frac{3 \times 20000^2}{968 \times 2 \pi \times 50} = 3950 \text{ H}$$

## Caractéristiques en court-circuit

**9. En reprenant le modèle de la figure Error: Reference source not found, tracez le schéma équivalent d'une phase du transformateur en court-circuit, en éliminant les éléments négligeables.**

Avec le secondaire en CC, on atteint les valeurs nominales de courant avec une très basse tension en entrée. Le circuit magnétique n'est plus saturé et on peut négliger les pertes fer et l'inductance magnétisante en comparaison aux pertes par effet Joule et aux fuites magnétiques.

**10. Donnez l'expression de la puissance  $P_K$  dissipée par effet Joule dans la résistance totalisée ramenée au secondaire  $R_{T2}$ , en fonction du courant de court-circuit  $I_{2,CC}$ .**

$$\text{Dans une phase : } P_{K,ph} = R_{T2} \cdot I_{2,CC}^2$$

**11. Déduire la valeur de résistance totalisé  $R_{T2}$  pour une phase (pensez à utiliser  $P_K / 3$  !).**

$$R_{T2} = \frac{P_{K,Ph}}{I_{2,CC}^2} = \frac{P_K}{3 \cdot I_{2,CC}^2} = \frac{1800}{3 \times 141^2} = 30.3 \text{ m}\Omega$$

**12. Déduire la chute de tension  $\Delta V_2$  observée aux bornes de cette résistance à courant nominal.**

$$\Delta V_2 = R_{T2} \cdot I_{2,CC} = 30.3 \cdot 10^{-3} \times 141 = 4.26 \text{ V}$$

**13. Déterminez la valeur de la tension à vide au secondaire  $V_{2,0}$  à partir de  $V_{2,n}$  et  $\Delta V_2$ .**

$$V_{2,0} = V_{2,n} + \Delta V_2 = \frac{U_{2,n}}{\sqrt{3}} + \Delta V_2 = \frac{410}{\sqrt{3}} + 4.26 = 241 \text{ V}$$

**14. Généralement, on exprime la chute de tension en pourcentage :  $\Delta V_2 = 100 \times (V_{2,0} - V_{2,n}) / V_{2,0}$ .**

$$V_{2,\%} = \Delta \frac{V_2}{V_{2,n}} = \frac{4.26}{241} = 1.77 \%$$

**15. Le rapport de transformation  $m$  est défini par le rapport des tensions à vide :  $m = V_{2,0} / U_{1,0}$ . Donnez sa valeur.**

$$m = \frac{V_{2,0}}{U_{1,0}} = \frac{V_{2,0}}{U_{1,n}} = \frac{241}{22000} = 0.012$$

**16. Calculez le rendement du transformateur dans ses conditions nominales d'utilisation (le facteur de puissance dépendant de la charge, on le prendra à 1 par commodité).**

En considérant  $f_p = 1$ , on considère alors que  $P_1 = S_1$ .

$$\eta = \frac{P_1}{P_1 + P_0 + P_K} = \frac{100 \cdot 10^3}{100 \cdot 10^3 + 252 + 1800} = 98,0 \%$$