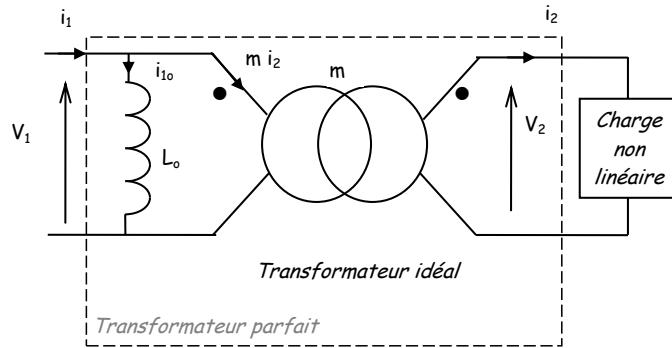


EXERCICE 1 :

On considère un transformateur parfait. On rappelle que le modèle est le suivant.



A /1) Que représentent les deux points ? Décrire une méthode permettant de repérer les bornes correspondantes.

2) Que représente le paramètre L_0 ?

3) Donner les relations entre les courants i_1 , i_{10} et i_2 puis entre les tensions v_1 et v_2 .

B/ La tension $v_2(t)$ est sinusoïdale : $v_2(t) = V_2 \sqrt{2} \sin(\omega t)$ avec $\omega = 100\pi$ rad/s

Le courant $i_2(t)$ est non sinusoïdal et son expression est : $i_2(t) = I_{21} \sqrt{2} \sin(\omega t) + I_{23} \sqrt{2} \sin(3\omega t)$

On donne $V_2 = 115$ V ; $I_{21} = 12$ A ; $I_{23} = 2$ A.

Le rapport de transformation est $m = 0,5$. L'inductance L_0 vaut 0,36 H.

1. Calculer la valeur efficace du courant secondaire. En déduire la puissance apparente S_2 en sortie du transformateur.
2. Déterminer l'expression du courant primaire $i_1(t)$.
3. Calculer la valeur efficace $I_{1\text{eff}}$ du courant primaire.
4. Calculer la puissance apparente S_1 à l'entrée du transformateur ainsi que la puissance active P transmise au secondaire.
5. Calculer les puissances déformantes D_1 et D_2 à l'entrée et à la sortie du transformateur.

EXERCICE 2 :

Soit un transformateur monophasé, dont le secondaire est ouvert. A $t=0$, on met ce transformateur sous tension. Donner les équations et l'allure de flux pour un enclenchement à vide.

$$U(t) = \sqrt{2} \sin(\omega t + \psi), \Phi(0) = \pm \Phi_{\text{rem}}$$

Solution Exercice 1

A/ Les points indiquent les bornes homologues. Ces tensions pointant vers les bornes homologues seront en phase. L_0 est l'inductance magnétisante du transformateur

1. $i_1 = i_{L0} + mi_2$ et $v_2 = mv_1$

B/ 1. $I_2 = \sqrt{12^2 + 2^2} = 12,16$ alors $S_2 = V_2 \times I_2 = 115 \times 12,16 = 1399$ VA

2. $i_1(t) = m \left(I_{21} \sqrt{2} \sin \omega t + I_{23} \sqrt{2} \sin 3\omega t \right) + \frac{V_2 \sqrt{2}}{m L_2 \omega} \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right)$

soit $i_1(t) = 6,335 \sqrt{2} \sin(\omega t - \varphi) + \sqrt{2} \sin(3\omega t)$ avec $\varphi = 18,7^\circ$

3. $I_{1\text{eff}} = 6,413$ A

4. $S_1 = 1476$ VA et $P_1 = 1380$ W

5. $Q_1 = 467$ Var et $D_1 = 229$ VAd = D_2

Exercice 2

La mise sous tension d'un transformateur dont le secondaire est ouvert peut s'accompagner d'un appel de courant très important i_{encl} . À l'enclenchement, la valeur instantanée de la tension appliquée au primaire vaut :

$$v_1 = \sqrt{2} \cdot V_1 \cdot \sin(\omega t + \alpha) = R_1 \cdot i_{encl} + n_1 \cdot \frac{d\phi_1}{dt}$$

où ϕ_1 représente le flux propre du primaire créé par i_{encl} .

La relation entre ϕ_1 et i_{encl} n'est pas linéaire à vide, il se produit un effet de saturation très marqué. Néanmoins, pour cette étude, on supposera que le flux peut être exprimé à partir d'une inductance propre L_1 constante, avec :

$$L_1 = \frac{n_1 \phi_1}{i_{encl}}$$

$$\sqrt{2} \cdot V_1 \cdot \sin(\omega t + \alpha) = R_1 \cdot \frac{n_1 \phi_1}{L_1} + n_1 \cdot \frac{d\phi_1}{dt} \quad \rightarrow \quad \frac{R_1}{L_1} \cdot \phi_1 + \frac{d\phi_1}{dt} = \frac{\sqrt{2} \cdot V_1}{n_1} \cdot \sin(\omega t + \alpha)$$

Le flux ϕ_1 solution de l'équation se décompose en deux termes : $\phi_1 = \phi_{\text{permanent}} + \phi_{\text{transitoire}}$

La composante permanente, en supposant R_1 négligeable devant $L_1 \omega$ est fournie par :

$$\phi_{\text{permanent}} = \hat{\phi}_1 \cdot \sin \left(\omega t + \alpha - \frac{\pi}{2} \right) = -\hat{\phi}_1 \cdot \cos(\omega t + \alpha)$$

où $\hat{\phi}_1$ représente l'amplitude maximale du flux total permanent à vide.

La composante transitoire est de la forme :

$$\phi_{\text{transitoire}} = C \cdot e^{-\frac{R_1}{L_1} \cdot t}$$

où la constante d'intégration C se détermine à partir des conditions initiales. Si le circuit magnétique est le siège d'un flux rémanent $\pm \phi_{\text{rémanent}}$, on a, à $t = 0$,

$$\phi_1 = \phi_{\text{permanent}} + \phi_{\text{transitoire}} = \pm \hat{\phi}_1 \cdot \cos(\alpha) + C \Rightarrow C = \hat{\phi}_1 \cdot \cos(\alpha) \pm \phi_{\text{rémanent}}$$

La composante transitoire s'écrit ainsi :

$$\phi_{\text{transitoire}} = \hat{\phi}_1 \cdot \cos(\alpha) \cdot e^{-\frac{R_1}{L_1} \cdot t} \pm \phi_{\text{rémanent}} \cdot e^{-\frac{R_1}{L_1} \cdot t}$$

Le flux s'écrit donc :

$$\phi_1 = \phi_{\text{permanent}} + \phi_{\text{transitoire}} = -\hat{\phi}_1 \cdot \cos(\omega t + \alpha) + \hat{\phi}_1 \cdot \cos(\alpha) \cdot e^{-\frac{R_1}{L_1} \cdot t} \pm \phi_{\text{rémanent}} \cdot e^{-\frac{R_1}{L_1} \cdot t}$$

$$\phi_1 = -\hat{\phi}_1 \left[\cos(\omega t + \alpha) - \cos(\alpha) \cdot e^{-\frac{R_1}{L_1} \cdot t} \right] \pm \phi_{\text{rémanent}} \cdot e^{-\frac{R_1}{L_1} \cdot t}$$

L'instant le plus favorable pour l'enclenchement correspond à $\alpha = \frac{\pi}{2}$, c'est-à-dire au passage de la tension par son maximum.

Si $\phi_{\text{rémanent}} = 0$, le flux normal s'établit immédiatement à son régime permanent, soit :

$$\phi_{\text{permanent}} = -\hat{\phi}_1 \cdot \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) = \hat{\phi}_1 \cdot \sin(\omega t)$$

L'instant le plus défavorable correspond à $\alpha = 0$, c'est-à-dire au passage par zéro de la tension :

$$\phi_1 = -\hat{\phi}_1 \cdot \cos(\omega t) + \hat{\phi}_1 \cdot e^{-\frac{R_1}{L_1} \cdot t} \pm \phi_{\text{rémanent}} \cdot e^{-\frac{R_1}{L_1} \cdot t}$$

avec habituellement : $\phi_{\text{rémanent}} \approx (0,2 \text{ à } 0,3) \cdot \hat{\phi}_1$

Après une demi-période, $\omega t = \pi$, le flux prend la valeur :

$$\phi_1 = \hat{\phi}_1 + \hat{\phi}_1 \cdot e^{-\frac{R_1}{L_1} \cdot t} \pm (0,2 \text{ à } 0,3) \cdot \hat{\phi}_1 \cdot e^{-\frac{R_1}{L_1} \cdot t}$$

Normalement : $R_1 \ll L_1 \omega$.

d'où : $e^{-\frac{R_1}{L_1} \cdot t} \approx 1$ pour $\omega t = \pi$

et ainsi : $\phi_1 = \hat{\phi}_1 + \hat{\phi}_1 \pm (0,2 \text{ à } 0,3) \cdot \hat{\phi}_1$.

Des relevés oscillographiques ont montré des rapports $\frac{I_{\text{enclenchement}}}{I_{10}}$ allant de 80 à 120 (I_{10} est le courant magnétisant en régime permanent, à ne pas confondre avec le courant nominal!).

La composante apériodique du courant d'enclenchement s'amortit et disparaît pratiquement après un temps de l'ordre de 2 secondes pour de petits transformateurs et de 20 secondes pour des transformateurs de grande puissance. Le courant d'enclenchement ne présente normalement pas de danger pour le transformateur mais il risque de provoquer des déclenchements intempestifs si les relais de protection ne sont pas temporisés convenablement voire neutralisés pendant la mise sous tension.