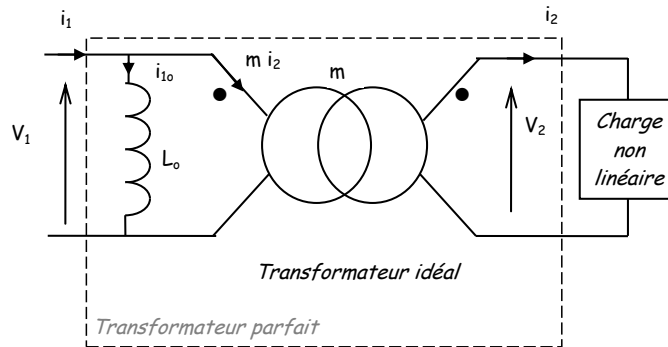


EXERCICE 1 :

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  $i_1$ ,  $i_{L0}$  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  $I_{1eff}$  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.

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

### 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.  $i_1 = i_{L0} + m i_2$  et  $v_2 = m v_1$

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  $i_{\text{encl}}$ . À l'enclenchement, la valeur instantanée de la tension appliquée au primaire vaut :

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

où  $\phi_1$  représente le flux propre du primaire créé par  $i_{\text{encl}}$ .

La relation entre  $\phi_1$  et  $i_{\text{encl}}$  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 :

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

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

Le flux  $\phi_1$  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 montrés 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.