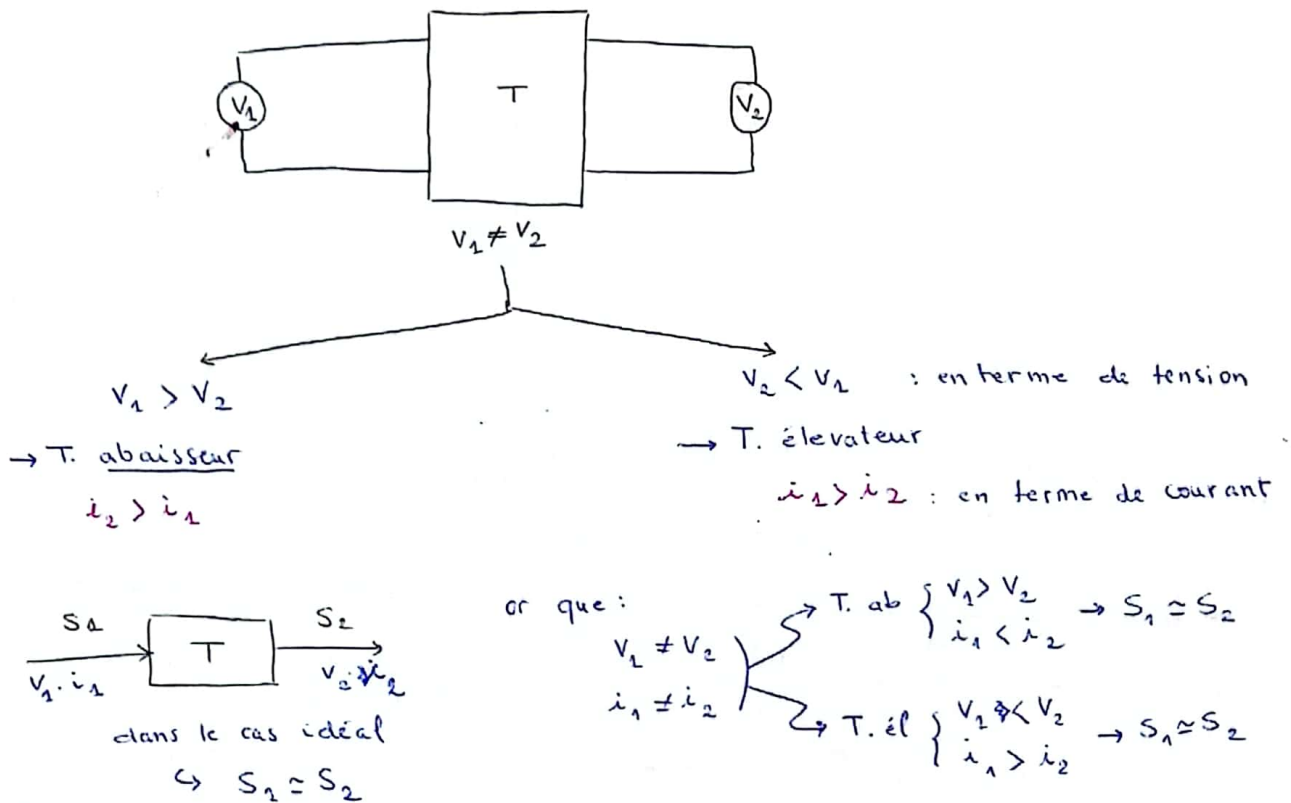
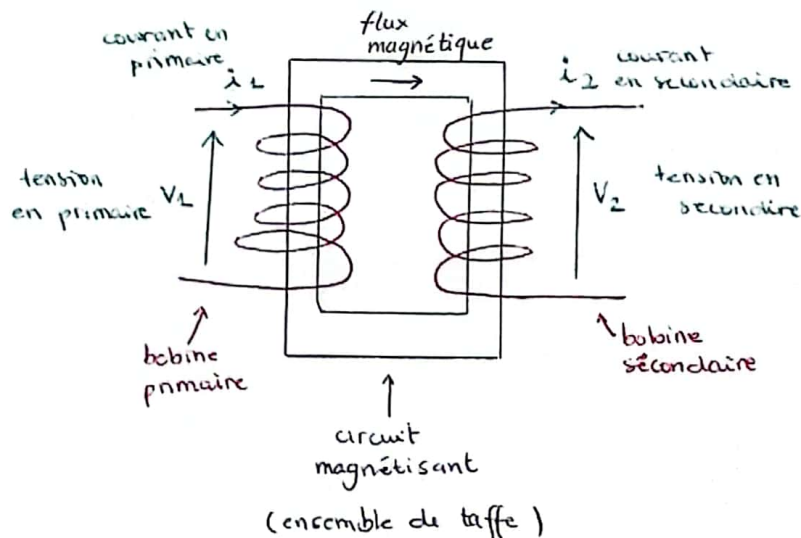


I / Introduction

Un transformateur de tension permet de modifier la tension et le courant dans un circuit. Il sert à adapter la tension de la source à la tension de la charge selon les spécifications demandées. Grâce à lui, l'énergie électrique peut être transportée à grande distance. Initialement, ce système a pour rôle d'adapter deux niveaux de potentiels tel qu'on trouve sur les extrémités du réseau électrique.



II / Composition du transformateur



4 - lobine primaire

Elle subit une tension V_2 et parcourue par un courant primaire i_2 , possède un nombre n_2 spires qui présente une résistance R_2 qui développe une f.e.m

2- bobine secondaire

Elle subit un flux créé par la bobine primaire et développe une f.e.m et un courant induit, dit courant secondaire, il y a n_2 spires ($n_1 \neq n_2$) et possède une résistance R_2 ($R_2 \neq R_1$)

sachant que : $\vec{I}_{10} = \vec{I}_{10 \text{ actif}} + j \vec{I}_{10 \text{ réactif}}$
 responsable du pertes joule responsable du champ magnétique

2 - Notion de puissance

$$P_{10} = e_{10} I_{10a} = P_{fa}$$

3 - Diagramme Vectoriel

→ Cas du transf $E_{10} > E_{20}$

$$E_{10} = e_{10} = n_1 \frac{d\phi_{10}}{dt}$$

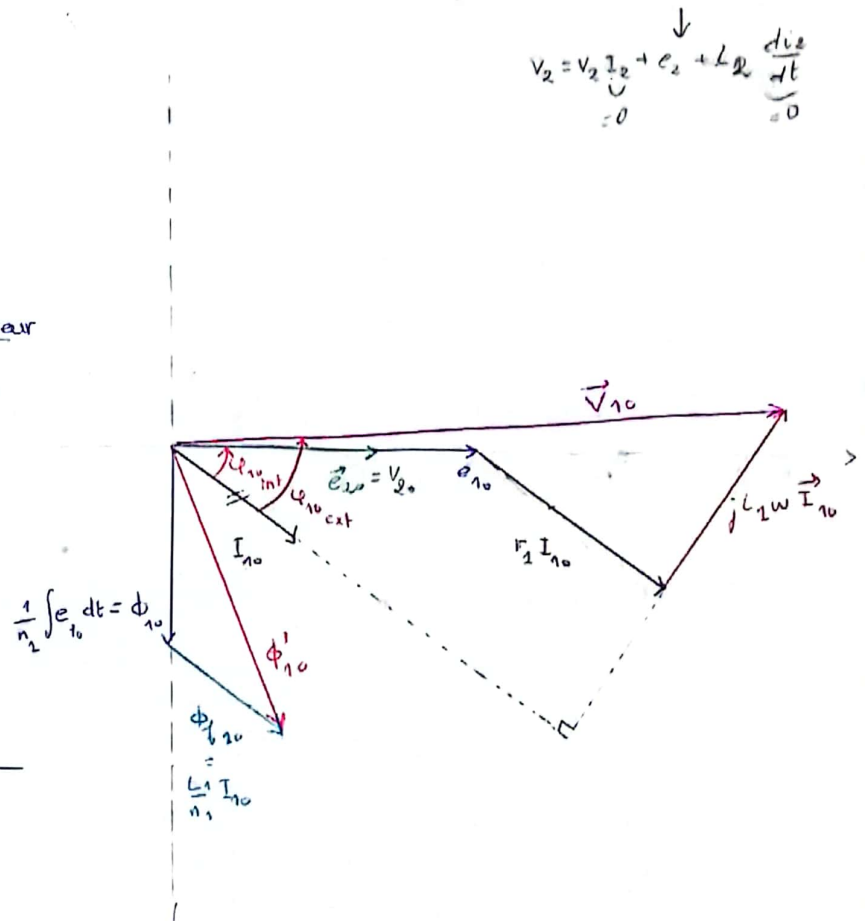
$$E_{20} = e_{20} = n_2 \frac{d\phi_{20}}{dt}$$

on suppose que \vec{E}_{20} est le vecteur d'origine.

$$V_{10} = V_1 \vec{I}_{10} + r_1 \vec{I}_{10} + j L_1 \omega \vec{I}_{10}$$

$$V_{20} = e_{20}$$

I_{10} est en retard $\angle \vec{E}_{10}$



$$\vec{\phi}'_{10} = \vec{\phi}_{10} + \vec{\phi}_{20}$$

$$e_{10} = n_1 j \phi_{10}$$

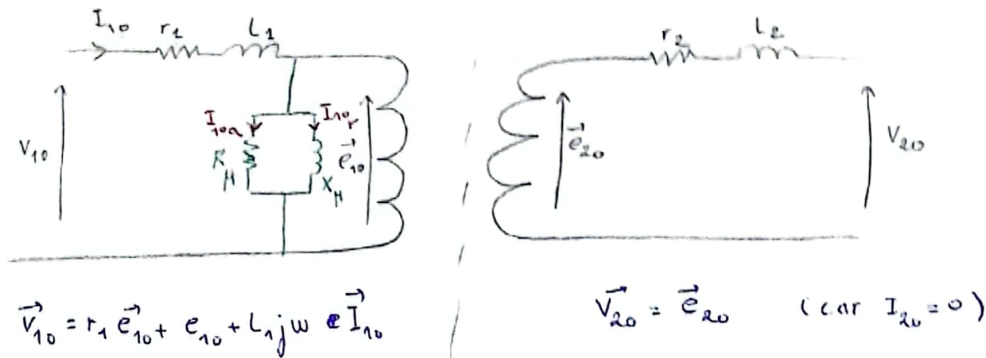
$$n_1 \frac{d\phi_{10}}{dt} = L_1 j \omega I_{10}$$

$$I_{10r} = \frac{R_0}{n_1} \phi_{10}$$

4 - Montage équivalent

$$\vec{V}_{10} = r_1$$

4 - Montage équivalent



$$\vec{V}_{10} = r_1 \vec{I}_{10} + e_{10} + L_1 j\omega \vec{I}_{10}$$

$$\vec{V}_{20} = \vec{e}_{20} \quad (\text{car } I_{20} = 0)$$

$$\text{or } \vec{I}_{10} = \vec{I}_{10a} + \vec{I}_{10r}$$

le rapport du transfo

$$m = \frac{e_{10}}{e_{20}} = \frac{n_1}{n_2}$$

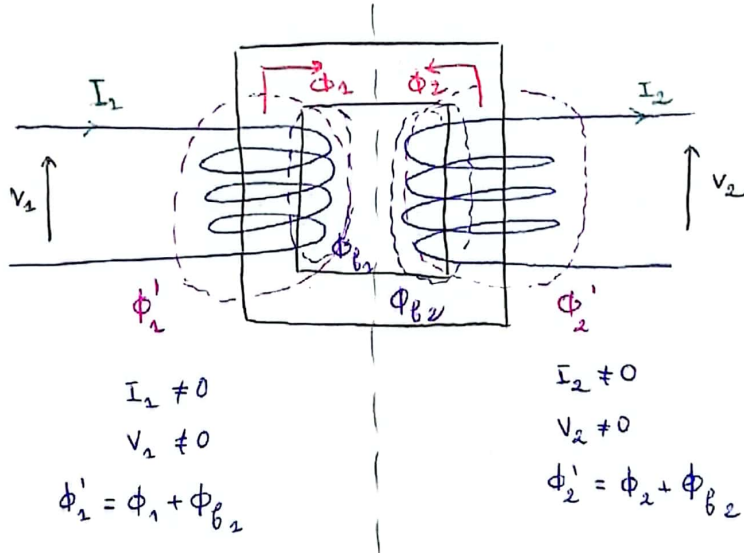
Bobine 1 : Puissance active : $P_{10} = r_1 I_{10}^2 + R_\mu I_{10a}^2 = V_1 I_{10} \cos(\varphi_{10})$

Bobine 2 : $P_{20} = 0$ car $I_{20} = 0$

Puissance réactive : $Q_{10} = X_1 I_{10}^2 + X_\mu I_{10a}^2 = V_1 I_{10} \sin(\varphi_{10})$

Bobine 2 : $P_{20} = 0$ car $I_{20} = 0$

IV - Transformateur en charge



$$I_1 \neq 0$$

$$V_1 \neq 0$$

$$\Phi_1' = \Phi_1 + \Phi_{b2}$$

$$I_2 \neq 0$$

$$V_2 \neq 0$$

$$\Phi_2' = \Phi_2 + \Phi_{b2}$$

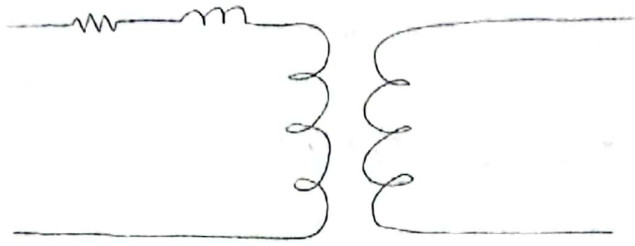
Le flux magnétisant : $\Phi = \Phi_1 - \Phi_2$

Le flux résultant :

bobine 1 : $\Phi_{1r} = \Phi_1' - \Phi_2 = \Phi + \Phi_{b2}$

bobine 2 : $\Phi_{2r} = -\Phi_2' + \Phi_1 = \Phi - \Phi_{b2}$

1) Transfo ramenant au Primaire



L'objectif est de reformuler les expressions convenable de la résistance globale (côté primaire) et l'inductance globale (côté primaire)

Remarque : Dans la partie secondaire, il n'y a que V_2

On a :

$$V_2 = E_2 - r_2 I_2 - j L_2 \omega I_2 \quad (A) \Rightarrow m V_2 = m E_2 - r_2 m I_2 - j L_2 \omega I_2 m : (A) \times m = (A')$$

$$\text{or : } \begin{cases} \frac{E_1}{E_2} = m \rightarrow m E_2 = E_1 & \text{avec : } V_1 = E_1 - r_1 I_1 + j L_1 \omega I_1 \quad (B) \\ \frac{I_2}{I_1} = m \rightarrow m I_1 = I_2 \end{cases}$$

$$\begin{aligned} (B) - (A') &= 0 \Rightarrow V_1 - m V_2 = E_1 - m E_2 + (r_1 I_1 + r_2 m I_2) + j (L_1 \omega I_1 + L_2 \omega I_2 m) \\ &= 0 + \underbrace{(r_1 + r_2 m^2)}_{R_1} I_1 + j \underbrace{(L_1 \omega + L_2 \omega m^2)}_{X_1} I_1 \end{aligned}$$

résistance équivalente ramenant au primaire réactance équivalente ramenant au primaire

2) Transfo ramenant au secondaire

$$\begin{aligned} \frac{(B)}{m} - (A) &\Rightarrow \frac{V_1}{m} - V_2 = \frac{E_1}{m} - E_2 + \underbrace{\left(\frac{V_1}{m} + r_2 \right)}_{R_2} I_2 + j \underbrace{\left(\frac{L_1 \omega}{m} + L_2 \omega \right)}_{X_2} I_2 \end{aligned}$$

résistance équivalente ramenant au secondaire réactance équivalente ramenant au secondaire

$$\Rightarrow V_2 = \frac{V_1}{m} - R_2 I_2 - j X_2 I_2$$

Expression des tensions:

* au niveau du primaire: $V_1 = r_1 I_1 + n_1 \frac{d\phi_1}{dt} = r_1 I_1 + \underbrace{e_2}_{n_1 \frac{d\phi_1}{dt}} + L_1 \frac{dI_1}{dt}$

$$\vec{V}_1 = r_1 \vec{I}_1 + \vec{e}_1 + jL_1 \omega \vec{I}_1$$

* au niveau du secondaire: $n_2 \frac{d\phi_2}{dt} = r_2 I_2 + V_2 \Rightarrow e_2 = V_2 + r_2 I_2 + L_2 \frac{dI_2}{dt}$

$$\vec{e}_2 = \vec{V}_2 + r_2 \vec{I}_2 + jL_2 \omega \vec{I}_2$$

on peut écrire aussi: $\vec{V}_2 = \vec{e}_2 - r_2 \vec{I}_2 - jL_2 \omega \vec{I}_2 \Rightarrow \boxed{\frac{e_2}{e_1} = \frac{n_1}{n_2} = m^{-1}}$

Remarque: approximation d'ampère

* Transf à vide: $\phi_{10} = n_1 I_{10}$; ϕ_{20}

* Transf en charge: $\phi = \phi_1 - \phi_2 = n_1 I_1 + n_2 I_2$

D'après ampère, le flux se conserve: $\phi_{10} = \phi$ d'où $n_1 I_{10} = n_1 I_1 - n_2 I_2$

$$I_{10} = I_1 - \frac{n_2}{n_1} I_2$$

$$I_{10} \ll I_1$$

\Rightarrow approximation pour traçage! $I_1 \approx \frac{n_2}{n_1} I_2$

Diagramme vectoriel:

* En charge, le déphasage entre V_2 et I_2 est connue $e_{20} \neq 0$

φ_1 : déphasage côté bobine ①

φ_2 : déphasage côté bobine ②

δ_1 : déphasage interne ①

δ_2 : déphasage interne ②

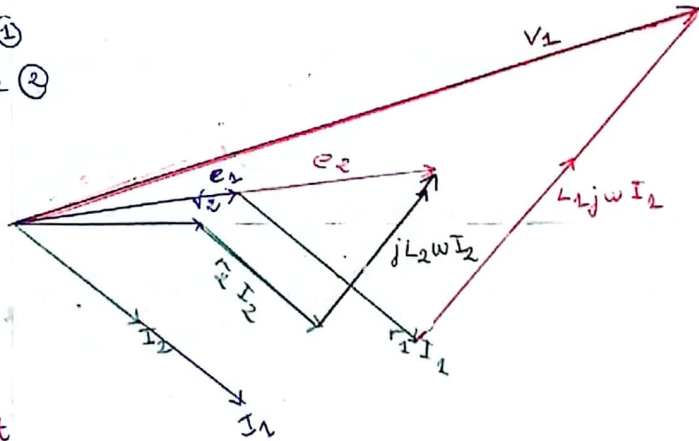
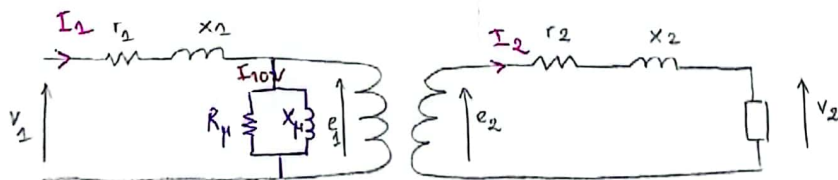


Schéma électrique équivalent



Remarque: I_{10} existe dans le cas en charge, c'est l'image de pertes fer et flux magnétisant

$$e_1 = R_\mu I_{10a} = X_\mu I_{10r}$$

on essaie de lier: $e_1, e_2, I_1, I_2, I_{10} \leadsto \frac{e_1}{e_2} = \frac{n_1}{n_2} \Rightarrow \frac{n_2}{n_1} = \frac{e_2}{e_1}$

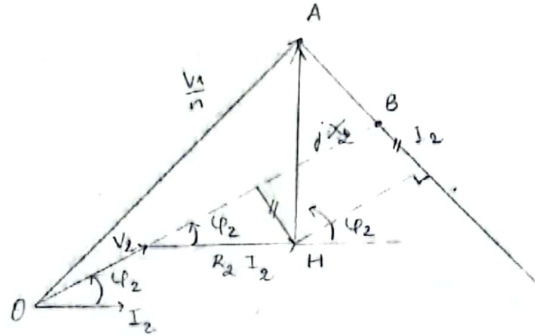
$$\rightarrow I_{10} = I_1 - \frac{e_2}{e_1} I_2 \quad m = \frac{e_1}{e_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{I_2}{I_1 - I_{10}}$$

⇒ il y a une chute de tension entre la bobine primaire et secondaire.

$$\Delta V = \frac{V_1}{m} - V_2 = Z_2 I_2 \quad \text{nominal}$$

$\frac{V_1}{m} = R_2 I_2 + j X_2 I_2 + V_2$, On remarque que les paramètres / variables sont liées à la charge ⇒ V_2, I_2, φ_2 connues

$$OB = \frac{V_1}{m}, \quad BC = \frac{V_1}{m} - V_2 = \Delta V$$

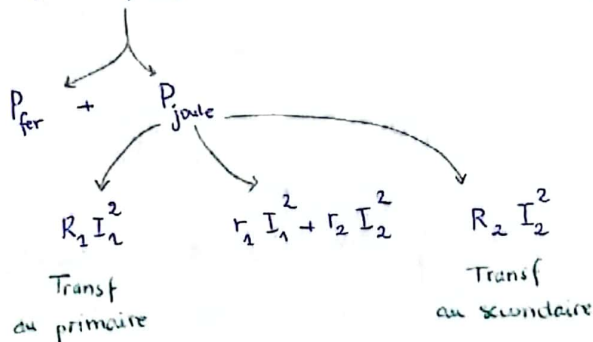


Rendement du transfo

$$\eta = \frac{P_{\text{formée}}}{P_{\text{absorbée}}} \quad (\text{puissance active})$$

$$P_{\text{abs}} = P_{\text{formée}} + P_{\text{perte}}$$

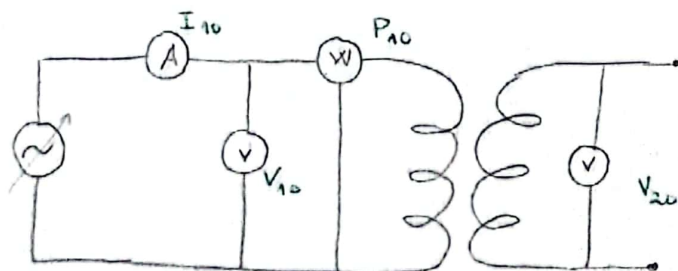
$$P_1 = P_2 + P_{\text{perte}}$$



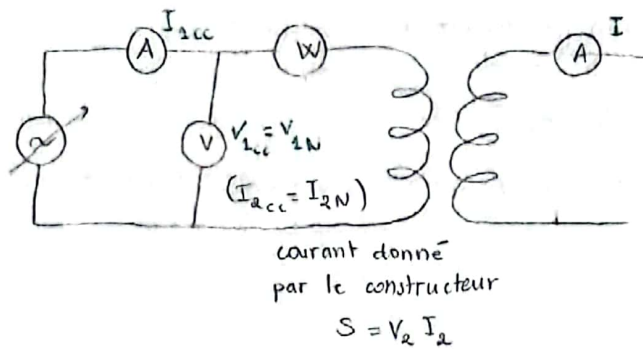
$$\Rightarrow \eta = \frac{P_2}{P_2 + P_{\text{fer}} + P_{\text{joule}}}$$

Essais appliqués sur le transfo

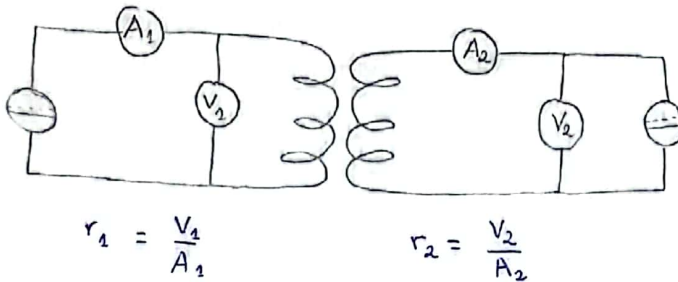
a- / Essai à vide



b- / Essai en court circuit



c- / Essai en continu (direct)



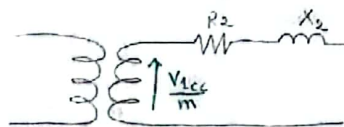
Identification des paramètres ($r_1, L_1, L_2, r_2, R_\mu, X_\mu$)

* Essai en c-c :

$$P_{1cc} = \underbrace{P_{2cc}}_{=0 \text{ car } V_{2cc}=0} + P_{\text{perte}} = P_{\text{perte}} = P_{10} + R_1 I_{1cc}^2 = P_{10} + R_2 I_{2cc}^2 \Rightarrow R_1 = \frac{P_{2cc} - P_{10}}{I_{1cc}^2}, P_{10} \ll P_{1cc}$$

$$\Rightarrow R_1 \approx \frac{P_{2cc}}{I_{1cc}^2}$$

$R_1 = r_1 + m^2 r_2$: avec l'essai direct $\Rightarrow V_1, V_2$ seront déterminées $\Rightarrow r_1$ et r_2 seront trouvées en court circuit, le montage équivalent du transfo secondaire sera :



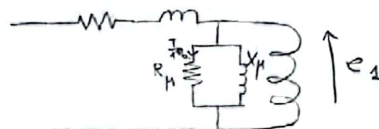
$$\frac{V_{2cc}}{m} = Z_2 \cdot I_{2cc}, \quad Z_2 = \sqrt{R_2^2 + X_2^2}$$

$$\Rightarrow X_2 = \sqrt{\left(\frac{V_{1cc}}{m I_{2cc}}\right)^2 - R_2^2}, \text{ avec } \boxed{X_1 = m^2 X_2}$$

$$\boxed{\begin{aligned} X_1 &= \omega L_1 + m^2 (\omega L_2) \\ X_2 &= \omega L_2 + \frac{1}{m^2} (\omega L_1) \end{aligned}}$$

Essai à vide :

$$P_{10} = V_{10} I_{10} \cos \varphi_1 = V_{10} I_{10a}$$



$$e_2 = R_\mu \cdot I_{10a} \text{ avec } I_{10} \approx 0 \Rightarrow R_\mu = \frac{V_{10}^2}{P_{10}}$$

$$\text{de même } X_\mu = \frac{V_{10}}{Q_{10}}, \quad Q_{10} = V_1 \cdot \frac{S_{10} \sin \varphi}{I_{10r}}$$

$$V_{10} \cdot I_{10} = S_{10} = \sqrt{P_{10}^2 + Q_{10}^2}$$

Exercice 1 :

Soit un transformateur ayant 90 spires en primaire et 2250 spires en secondaire branché sur une source de 200 V / 60 Hz, la charge tire un courant de 2 A et son facteur de puissance est 80%.

- 1- / Déterminer le facteur de transformation
- 2- / Déterminer la tension au secondaire
- 3- / Déterminer l'angle de déphasage entre V_2 et I_2
- 4- / Déterminer la quantité du courant au primaire
- 5- / Déterminer la quantité de flux qui circule dans le transfo.
- 6- / Donner le diagramme vectoriel.

→ Solution:

$$1- / m = \frac{n_1}{n_2} = \frac{90}{2250} = 0,04$$

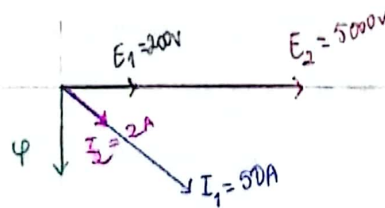
$$2- / m = \frac{V_1}{V_2} \Rightarrow V_2 = \frac{V_1}{0,04} = 5000 \text{ V}$$

$$3- / \cos \varphi_2 = 0,8 \rightarrow \arccos^{-1}(0,8) = \varphi_2 = 36,9^\circ$$

$$4- / \frac{I_2}{I_1} = m \rightarrow I_1 = \frac{I_2}{m} = \frac{2}{0,04} = 50 \text{ A}$$

$$5- / \phi = \frac{E_1}{n_1 j 2 \pi f} = 5,8 \cdot 10^{-3} \quad (E_1 = 200 \text{ V})$$

6- /

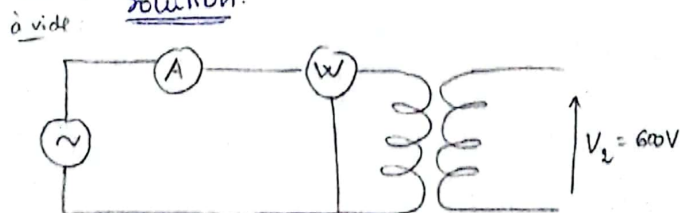


Exercice 2 :

Un transfo de 20 KVA, 120 / 600 V fonctionne à vide, tire un courant de 5 A, lorsqu'il est connecté à une source 120 V / 60 Hz, un wattmètre indique 180 W, S = 20 KVA

- 1- / Déterminer Q absorbée par le noyau du transfo.
- 2- / Déterminer la valeur de X_μ et R_μ
- 3- / Trouver la valeur liée du courant lié à la perte fer, courant magnétisant et courant à vide.

→ Solution:



$$I_{20} = 5 \text{ A}$$

$$V_{10} = 120 \text{ V}$$

$$P_{10} = 180 \text{ W}$$

1-1 Q_{10} : puissance magnétisante (absorbée par le noyau)

$$Q_{10}^2 + P_{10}^2 = S_{10}^2 \Rightarrow Q_{10} = \sqrt{S_{10}^2 - P_{10}^2} = 572 \text{ VAR}$$

$$2-1 \quad R_H = \frac{(e_1 = V_{10})}{I_{10a}} = \frac{(e_1 = V_{10})^2}{R_{10}} = 80 \Omega$$

$$X_H = \frac{(e_1 = V_{10})}{I_{10r}} = \frac{V_{10}^2}{Q_{10}} = 25,2 \Omega$$

$$3-1 \quad I_{\text{fer}} = I_{10a} = \frac{e_1}{R_H} = 1,5 \text{ A}$$

$$I_H = I_{10r} = \frac{e_1}{X_H} = 4,8 \text{ A}$$

$$I_{10} = \sqrt{I_{10a}^2 + I_{10r}^2} = 5 \text{ A}$$

Exercice 3 :

Soit un transfo. de 100 kVA, ayant une impédance de 4 % (de l'impédance nom.),
connecté en // avec un transfo de 250 kVA dont l'impédance est de 6 %.

Le rapport de transformation: $\frac{7200}{240}$ $\begin{matrix} \swarrow V_1 \\ \searrow V_2 \end{matrix}$. La charge consomme 330 kVA (on néglige les pertes).

1/ Calculer I_N au I_{aire}

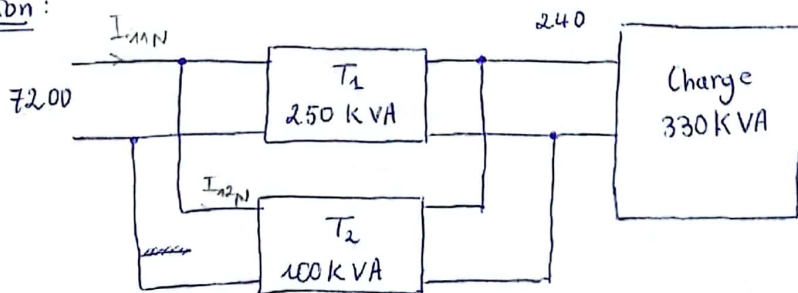
2/ Calculer l'impédance de chaque transfo (rapporté au I_{aire})

3-1 Calculer l'impédance de charge (rapporté au I_{aire})

4- Donner le montage électrique équivalent des deux transfo + charge.

5- Donner le courant total de charge.

→ solution :



$$1-1 \quad S_{1N} = 250 \text{ kVA} = V_{11} \cdot I_{11N} \rightarrow I_{11N} = 34,7 \text{ A}$$

$$S_{2N} = 100 \text{ kVA} = V_{21} \cdot I_{21N} \rightarrow I_{21N} = 13,9 \text{ A}$$

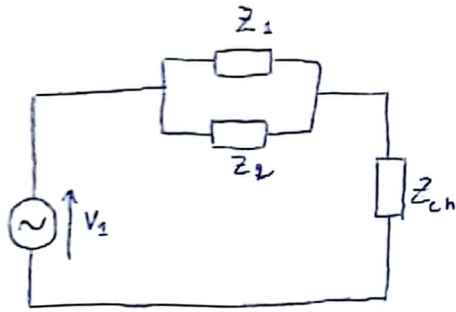
num du transfo pas II^{aire}

$$2-1 \quad Z_{ch} = \frac{V_2}{I_{ch}} = \frac{V_1^2}{S_{ch}} = 157 \Omega$$

$$3-7 \quad (T_1): Z_{1N} = \frac{V_1^2}{S_{1N}} = 207 \Omega$$

$$(T_2): Z_{2N} = \frac{V_2^2}{S_{2N}} = 518 \Omega$$

4-1



$$5-1 \quad I_{ch} = \frac{S_{ch}}{S_1} = 46A$$

(ssi Z_1 et Z_2 sont de m nature)