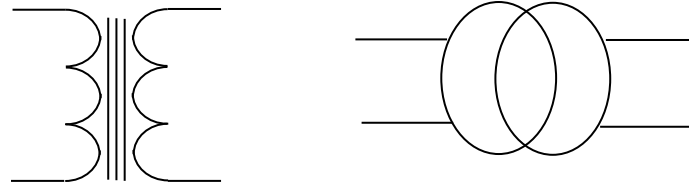


CHAPITRE 5 TRANSFORMATEUR MONOPHASÉ

Les transformateurs assurent l'élévation ou l'abaissement de la tension du réseau électrique

La source (alternateurs EDF fournissant une tension de 20000 V) et le réseau de transport (400000 V en Europe), puis ils permettent l'abaissement de la tension du réseau vers l'utilisateur

Symboles du transformateur



CHAPITRE 5 TRANSFORMATEUR MONOPHASE

1.-TRANSFORMATEUR IDEAL.....

2- TRANSFORMATEUR REEL A VIDE

3. TRANSFORMATEUR REEL EN CHARGE

6. AUTOTRANSFORMATEUR.....

4. ESSAIS ET PROPRIETES DU TRANSFORMATEUR.....

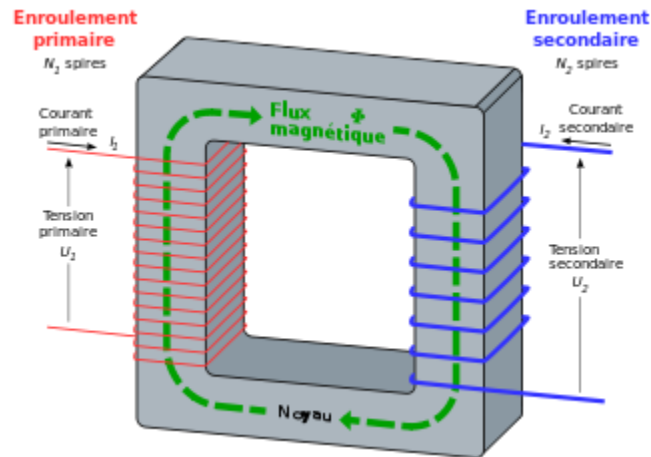
5. BILAN DES PUISSANCES

6- TRANSFORMATEUR DE COURANT (TD)

CHAPITRE 5 TRANSFORMATEUR MONOPHASÉ

Constitution

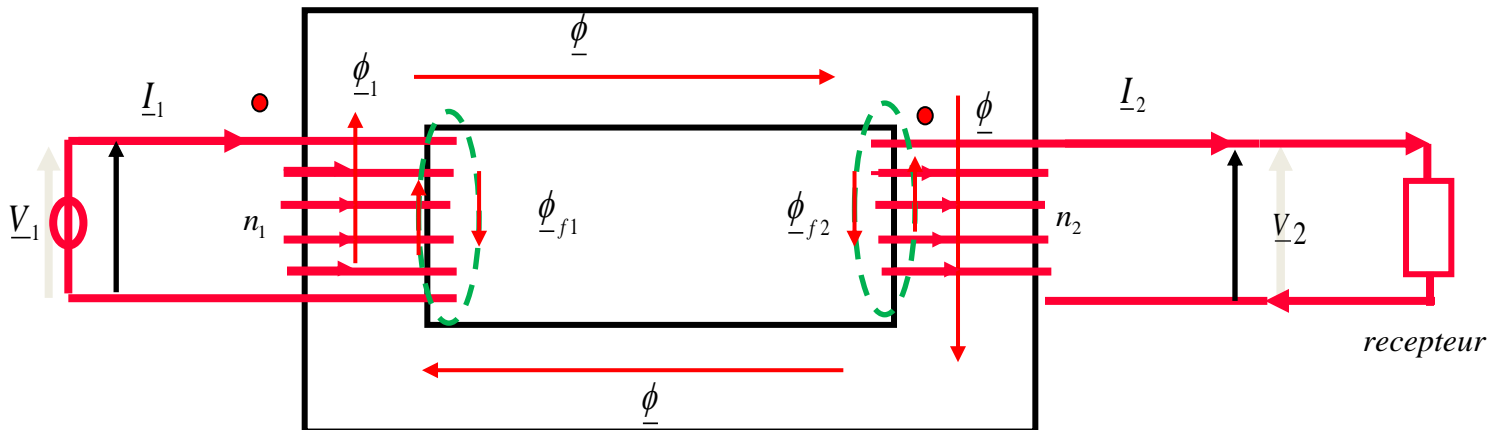
- un circuit magnétique fermé :
- de perméabilité magnétique aussi haute que possible afin de faciliter le plus possible le passage des lignes de champ magnétique
- d'hystérésis aussi faible que possible pour limiter les pertes
- feuilleté (tôles de 0,2 à 0,3 mm d'épaisseur) afin de limiter les courants de Foucault
- de résistance électrique aussi élevée que possible, afin d'affaiblir les courants de Foucault, à cette fin on utilise des aciers au silicium (2 à 3 %).



CHAPITRE 5 TRANSFORMATEUR MONOPHASÉ

Deux enroulements (bobines) :

- le primaire alimenté par un générateur de tension alternative de tension \underline{V}_1 et comportant n_1 spires. Il absorbe le courant \underline{I}_1 . Le primaire transforme l'énergie électrique reçue en énergie magnétique. C'est un récepteur d'énergie électrique qui transforme cette énergie en énergie magnétique
- le secondaire comporte n_2 spires ; il fournit, sous la tension \underline{V}_2 , un courant \underline{I}_2 au récepteur. Le secondaire transforme l'énergie magnétique reçue du primaire en énergie électrique. C'est un générateur d'énergie électrique

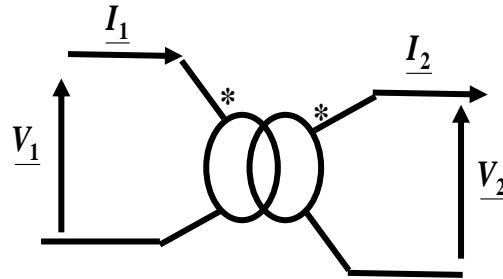


1.-TRANSFORMATEUR IDÉAL

$$\mathbf{P}_1 = \mathbf{P}_2$$

$$\underline{V}_1 \underline{I}_1 = \underline{V}_2 \underline{I}_2$$

$$\frac{\underline{V}_2}{\underline{V}_1} = \frac{\underline{I}_1}{\underline{I}_2}$$

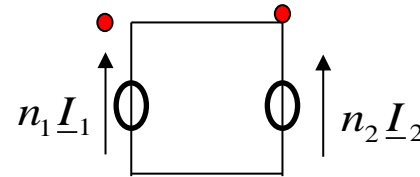


- n'a pas de fuites magnétiques : $l_1 = l_2 = 0$;
- n'a pas de pertes Joule : $r_1 = r_2 = 0$;
- possède un circuit magnétique infiniment perméable : $\mathcal{R} = 0$;
- n'a pas de pertes fer.

$$n_1 \underline{I}_1 - n_2 \underline{I}_2 = 0$$

$$\frac{\underline{V}_2}{\underline{V}_1} = \frac{\underline{I}_1}{\underline{I}_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

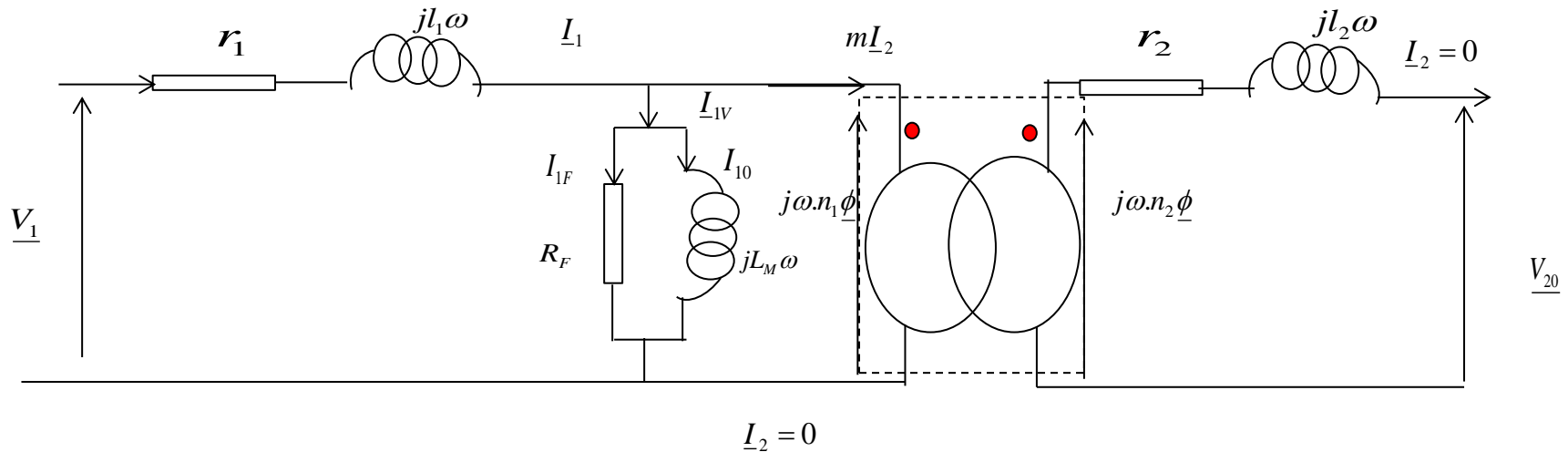
$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{\underline{I}_1}{\underline{I}_2}$$



Le transformateur permet **d'élever** ou **de diminuer** la tension.

2- TRANSFORMATEUR RÉEL À VIDE

Schéma équivalent du transformateur monophasé à vide



$$\frac{V_{20}}{V_1} = \frac{I_1}{I_2} = \frac{n_2}{n_1} = m$$

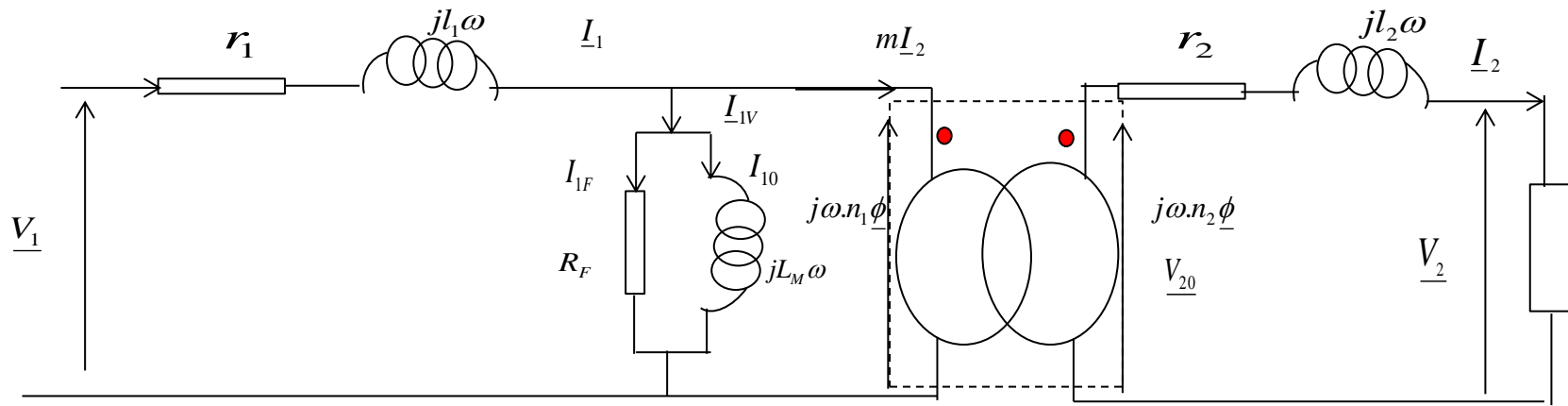
$$I_1 = \frac{n_2}{n_1} I_2 + I_{1V}$$

$$I_1 = I_{1V} = I_{10} + I_{1F}$$

m: rapport de transformation

- L_1, L_2 inductance de fuite magnétique du primaire et du secondaire
- r_1, r_2 résistance de l'enroulement du primaire et du secondaire
- L_M , l'inductance de magnétisation ramenée au primaire
- R_F : résistance modélisant les pertes par courants de Foucault

Schéma équivalent du transformateur monophasé en charge



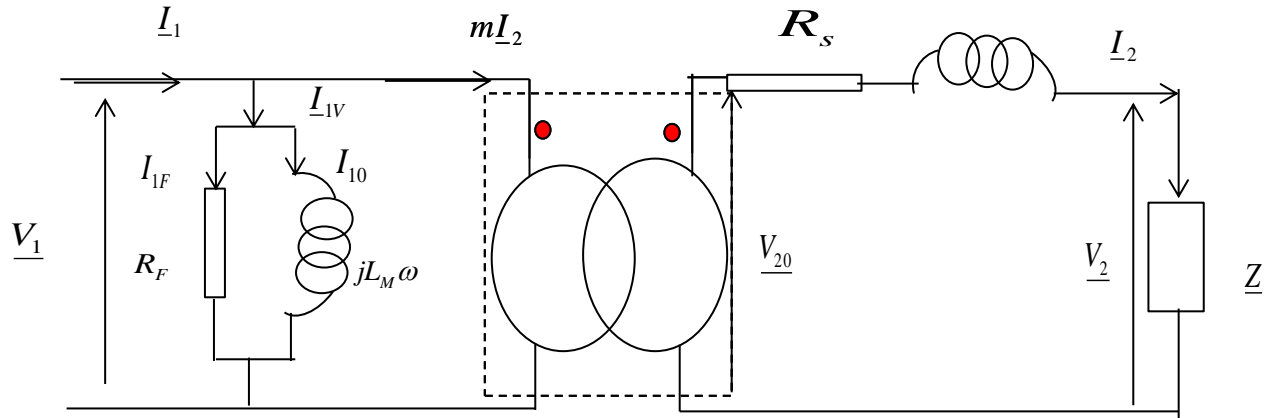
$$I_2 > 0$$

$$I_1 = \frac{n_2}{n_1} I_2 + I_{1V} = \frac{n_2}{n_1} I_2 + I_{10} + I_{1F}$$

Hypothèse de Kapp

On néglige I_{1v} devant I_1 et I_2

$$\underline{I}_{1nom} = \frac{n_2}{n_1} \underline{I}_{2nom}$$



$$R_s = r_2 + m^2 r_1$$

$$l_s = l_2 + m^2 l_1$$

- L_M , l'inductance de magnétisation ramenée au primaire
- R_F : résistance modélisant les pertes par courants de Foucault
- R_s : Résistance des enroulements ramenée au secondaire
- l_s : Inductance de fuite ramenée au secondaire.

Exercice 1.5 Un transformateur monophasé porte les indications suivantes sur sa plaque signalétique : $S_n = 2200VA \cdot \eta = 0.95 \cdot V_{1n} = 220V \cdot V_{2n} = 127V; V_{20} = 128V$

1. Calculer I_{1n} et I_{2n} ainsi que les pertes du transformateur au point nominal, en sachant que $\cos \varphi_n = 0.8$; Représenter un schéma équivalent de Kapp ramenée au secondaire du transformateur en faisant apparaître $R_F, L_M \omega, R_s; I_s \omega$
2. En supposant qu'au régime nominal les pertes sont uniformément réparties entre pertes fer et pertes Joules, calculer alors $R_F; R_s$ du schéma équivalent.

Corrigé

$$1. \quad S_n = V_{1n} \times I_{1n} = V_{20} \times I_{2n} \Rightarrow I_{1n} = \frac{2200}{220} = 10A$$

$$I_{2n} = \frac{S_n}{V_{20}} = 17.2A$$

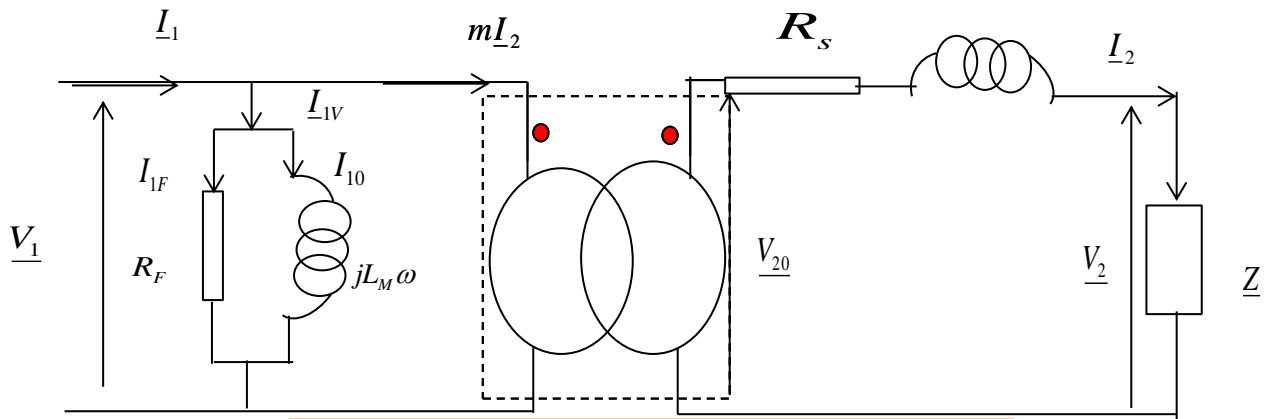
$$P_{2n} = V_{2n} I_{2n} \cos \varphi_{2n} = 127 \times 17.2 \times 0.8 = 1748W$$

$$\eta_n = \frac{P_{2n}}{P_{2n} + \sum \text{pertes}} \quad \sum \text{pertes} = \frac{1-\eta}{\eta} \times P_{2n} = \frac{1-0.95}{0.95} \times 1748 = 92W$$

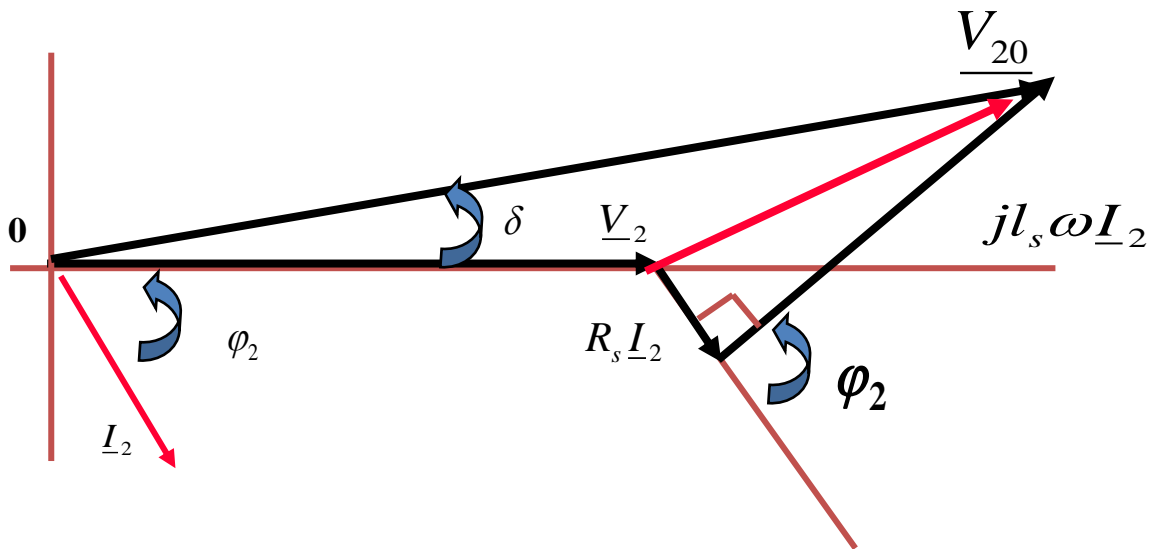
$$2. \quad p_J = p_F = \frac{\sum \text{pertes}}{2} = 46W \quad p_J = R_s I_2^2 \Rightarrow R_s = \frac{p_J}{I_2^2} = \frac{46}{(17.2)^2} = 0.155\Omega$$

$$p_F = \frac{V_{1n}^2}{R_F} \Rightarrow R_F = \frac{V_{1n}^2}{p_F} = \frac{220^2}{46} = 1052\Omega$$

Chute de tension

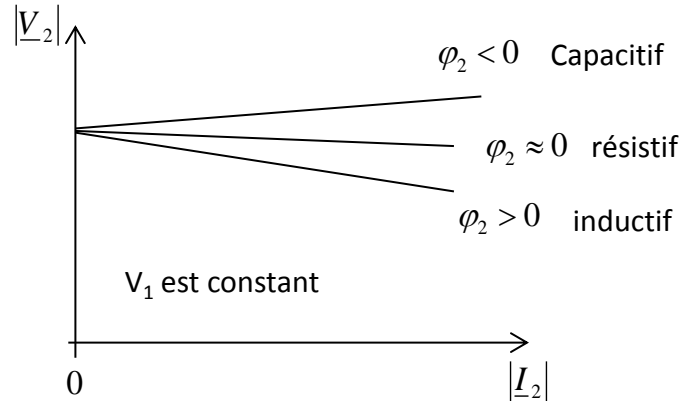


$$\underline{V}_{20} = m\underline{V}_1 = (R_s + j l_s \omega) \underline{I}_2 + \underline{V}_2$$



$$\Delta V_2 = R_s I_2 \cos \varphi_2 + l_s \omega I_2 \sin \varphi_2$$

Chute de tension du transformateur en fonction du déphasage imposé



Suite de l'exercice 1.5

3. La tension secondaire à vide de ce transformateur vaut $V_{20} = 133V$. Calculer le rapport de transformation m et calculer la valeur de la réactance de fuite $l_s \omega$ ramenée au secondaire du transformateur en sachant que la chute de tension est $\Delta V_2 = V_{20} - V_2$
4. En utilisant toujours la formule $\Delta V_2 = V_{20} - V_2$, calculer la valeur de la tension secondaire correspondant à une charge absorbant la moitié du courant secondaire nominal, toujours avec un $\cos \varphi = 0.8$ et calculer le rendement du transformateur en ce point.

Suite de l'exercice 1.5

$$3. \quad m = \frac{V_{20}}{V_{1n}} = \frac{133}{220} = 0.604$$

$$\Delta V_2 = V_{20} - V_2 = R_s I_{2n} \cos \varphi_{2n} + X_s I_{2n} \sin \varphi_{2n}$$

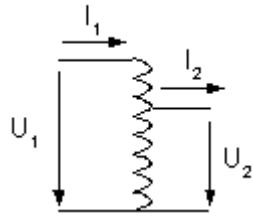
$$X_s = \frac{V_{20} - V_{2n} - R_s I_{2n} \cos \varphi_{2n}}{I_{2n} \sin \varphi_{2n}} = \frac{133 - 127 - 0.15 \times 17.3 \times 0.8}{17.3 \times 0.6} = 0.378 \Omega \quad l_s = \frac{X_s}{\omega} = \frac{0.378}{2\pi \times 50} = 1.2 \text{mH}$$

$$4. \quad V_2 = V_{20} - \Delta V_2 = 130 \text{V}$$

$$\Delta V_2 = V_{20} - V_2 = R_s \frac{I_{2n}}{2} \cos \varphi_{2n} + X_s \frac{I_{2n}}{2} \sin \varphi_{2n} = 0.15 \times 8.65 \times 0.8 + 0.378 \times 8.65 \times 0.6 = 3 \text{V}$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + \sum \text{pertes}} = \frac{V_2 I_2 \cos \varphi_{2n}}{V_2 I_2 \cos \varphi_{2n} + p_j + p_F} = \frac{130 \times 8.65 \times 0.8}{130 \times 8.65 \times 0.8 + 0.15 \times (8.65)^2 + \frac{220^2}{1045}} = 0.94$$

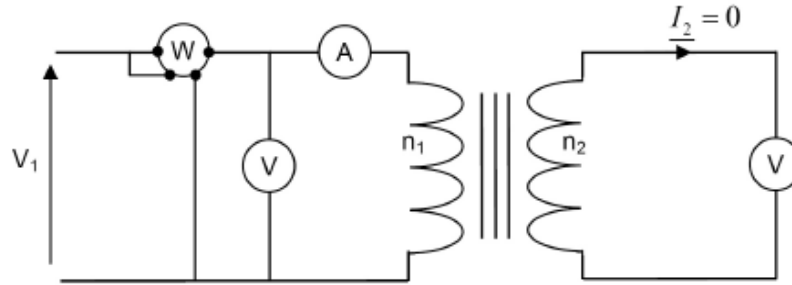
6. AUTOTRANSFORMATEUR



Lorsque l'on a besoin d'une tension variable de 0 à 230 V ou plus, on a souvent recours à un autotransformateur ayant une prise mobile

4. ESSAIS ET PROPRIÉTÉS DU TRANSFORMATEUR

Essai à vide



On mesure V_1 , $V_2 = V_{20}$, P_{1V} , I_{1V} .

On en déduit

$$m = \frac{n_2}{n_1} = \frac{V_{20}}{V_1} \quad R_F = \frac{V_1^2}{P_{1V}} \quad L_M \omega = \frac{V_1^2}{Q_{1V}} \quad Q_{1V} = \sqrt{S_{1V}^2 - P_{1V}^2} \quad S_{1V} = V_1 I_{1V}$$

- **Exercice 2.5:** *L'essai à vide d'un transformateur donne la tension primaire V_1 , la tension secondaire à vide V_{20} , le courant à vide I_{1V} et la puissance active absorbée à vide P_{1V} .*

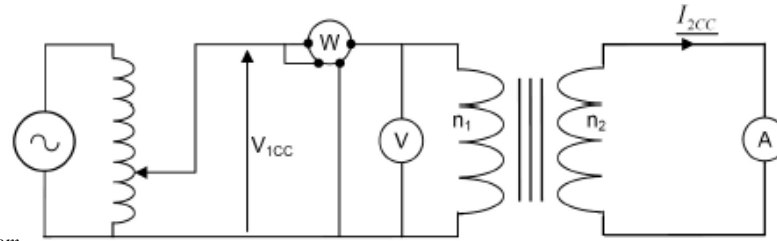
Déterminez le rapport $\frac{n_2}{n_1}$ et la valeur des impédances R_F et X_M .

CORRIGÉ

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{V_{20}}{V_1} \quad R_F = \frac{V_1^2}{P_{1V}} \quad X_M = \frac{V_1^2}{Q_{1V}}$$

4. ESSAIS ET PROPRIÉTÉS DU TRANSFORMATEUR

Essai en court-circuit



On mesure V_{1cc} P_{cc} $I_{2cc} = I_{2nom}$

On en déduit

$$R_s = \frac{P_{cc}}{I_{2cc}^2} \quad l_s \omega = \frac{Q_{cc}}{I_{2cc}^2} \quad Q_{cc} = \sqrt{S_{1cc}^2 - P_{cc}^2} \quad S_{1cc} = V_{1cc} I_{1cc} \quad m = \frac{I_{1cc}}{I_{2cc}} = \frac{I_{1nom}}{I_{2nom}}$$

Exercice 3.5. L'essai en court-circuit est réalisé avec une tension V_{1cc} . On relève le courant primaire I_{1cc} et la puissance active absorbée au primaire P_{cc} . Déterminez les impédances R_s et X_s .

Corrigé 3.5

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{V_{20}}{V_1} \quad R_F = \frac{V_1^2}{P_{1V}} \quad X_M = \frac{V_1^2}{Q_{1V}}$$

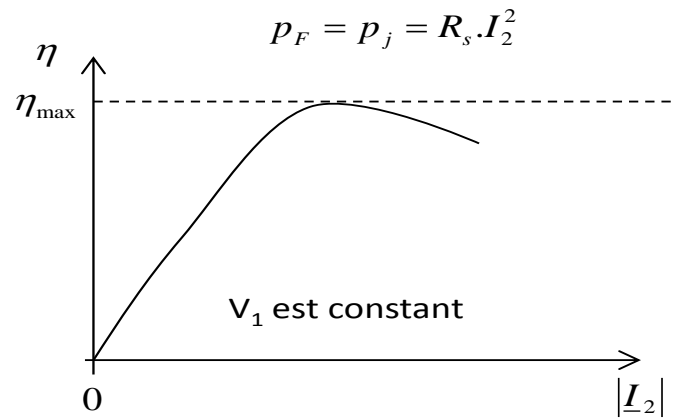
5. BILAN DES PUISSANCES

$$P_1 = V_1 I_1 \cos \varphi_1$$

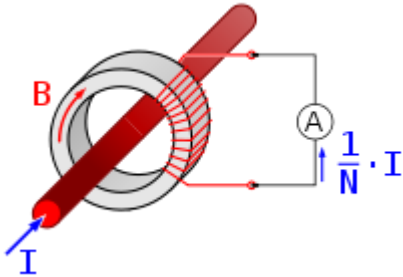
$$P_2 = V_2 I_2 \cos \varphi_2$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{V_2 I_2 \cos \varphi_2}{V_2 I_2 \cos \varphi_2 + p_F + p_j}$$

Le rendement est maximal si $p_F = P_{1V} = p_j$ $p_j = R_s I_2^2$



6- TRANSFORMATEUR DE COURANT (TI)



Les transformateurs de courant sont utilisés pour ramener à une valeur facilement mesurable les courants intenses des lignes à haute ou à basse tension.

Ils servent également à isoler les appareils de mesure ou de protection des lignes à haute tension.

Questions de cours

Q1 : Quelles sont les deux fonctions principales réalisées par les transformateurs ?

R1. Modifier la tension électrique et assurer l'isolement galvanique.

Q2. Quelle différence faites-vous entre un transformateur et un autotransformateur ?

R2. Un autotransformateur ne comprend qu'un seul enroulement dont un point intermédiaire est sorti. La totalité de l'enroulement peut jouer le rôle de primaire et la partie de l'enroulement jusqu'au point intermédiaire le rôle de secondaire.

Q3. Quels sont les trois types de défauts que l'on retrouve sur les transformateurs ?

R3. Surcharge. . Court-circuit. Défaut à la masse

FIN