

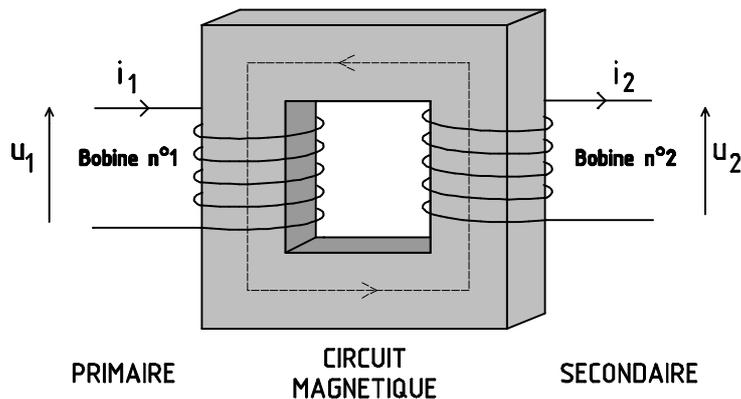
LE TRANSFORMATEUR

I - PRESENTATION ET CONSTITUTION

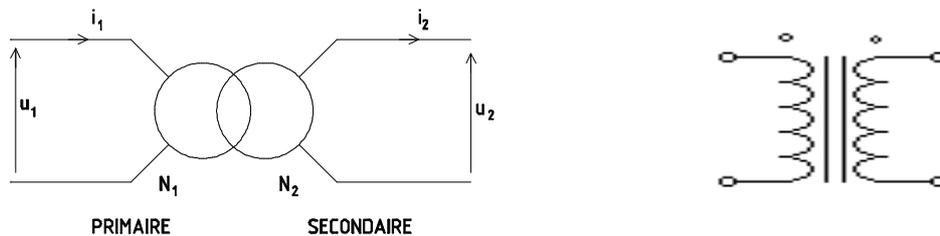
Le transformateur monophasé est un convertisseur statique qui convertit un signal alternatif en un autre signal alternatif de même fréquence, mais de valeur efficace différentes.

Il est constitué de :

- * 1 circuit magnétique en matériau ferromagnétique doux et feuilleté (pour limiter les pertes fer)
- * 1 bobine de N_1 spires alimentée par le réseau (PRIMAIRE)
- * 1 bobine de N_2 spires qui fournit une tension à la charge (SECONDAIRE)



Symboles :



II - ETUDE DU TRANSFORMATEUR PARFAIT

Un système est dit parfait lorsqu'il ne présente aucune perte, c'est à dire :

$$\text{PUISSANCE ABSORBEE} = \text{PUISSANCE FOURNIE (UTILE)}$$

1°) Modèle équivalent

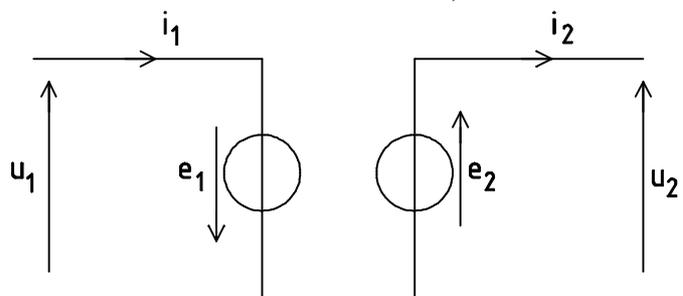
Rappel : Un circuit électrique soumis à une variation de flux magnétique $d\Phi$ se comporte comme un générateur.

Il apparaît dans celui-ci une fem induite e , pendant la durée dt de cette variation, dont le sens est lié à celui de la variation de flux.

$$\text{Loi de Faraday : } e = -\frac{dj}{dt}$$

$$\text{donc : } e_1 = N_1 \cdot \frac{dj}{dt} \quad \text{et} \quad e_2 = N_2 \cdot \frac{dj}{dt}$$

$$\text{On peut en déduire : } \frac{u_2}{u_1} = -\frac{N_2}{N_1}$$



Si $u_1(t)$ est sinusoïdal : $u_1(t) = U_1\sqrt{2} \cos \omega t$ et $u_1 = -e_1$

Alors
$$N_1 \frac{dj}{dt} = U_1\sqrt{2} \cos \omega t$$

D'où
$$\frac{dj}{dt} = \frac{U_1}{N_1}\sqrt{2} \cos \omega t$$

Donc
$$j = \frac{U_1\sqrt{2}}{N_1\omega} \sin \omega t = \frac{U_1\sqrt{2}}{N_1\omega} \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$

Le flux étant défini par la relation $j = bS$, où b est le champ magnétique à travers les spires et S la section (supposée constantes) du circuit magnétique.

Soit
$$b = \frac{U_1\sqrt{2}}{N_1\omega S} \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$

la valeur maximum du champ magnétique est
$$B_{\max} = \frac{U_1\sqrt{2}}{N_1\omega S}$$

D'où l'expression de la valeur efficace
$$U_1 = \frac{2p \cdot f \cdot N_1 B_{\max} S}{\sqrt{2}}$$

Soit
$$\boxed{U_1 = 4,44 N_1 \cdot f \cdot B_{\max} S}$$
 c'est la formule de Boucherot.

2°) Rapport de transformation

$$\boxed{\mathbf{m} = \frac{N_2}{N_1}}$$

3°) Tensions primaires et secondaires

a) grandeurs instantanées

$$\frac{\mathbf{u}_2}{\mathbf{u}_1} = -\mathbf{m} \text{ donc } u_2 = -m \cdot u_1$$

b) valeurs efficaces

$$\boxed{\frac{U_2}{U_1} = \mathbf{m} = \frac{N_2}{N_1}}$$

Remarque : * si $m < 1$ à $U_2 < U_1$: le transformateur est dit abaisseur.
* si $m > 1$ à $U_2 > U_1$: le transformateur est dit élévateur.
* si $m = 1$ à $U_2 = U_1$: le transformateur est dit d'isolement.

4°) Courants primaire et secondaire

Le transformateur est parfait donc : $S_2 = S_1$

$$\text{D'ou : } U_2 I_2 = U_1 I_1$$

$$\text{Soit : } \boxed{\frac{I_1}{I_2} = m = \frac{N_2}{N_1}}$$

5°) Puissances mises en jeu

a) puissances actives et facteurs de puissance

Le transformateur étant parfait (pas de pertes) : $P_2 = P_1$

On en déduit : $U_2 \cdot I_2 \cdot \cos \varphi_2 = U_1 \cdot I_1 \cdot \cos \varphi_1$

Soit encore : $\cos \varphi_2 = \cos \varphi_1$

$$\text{et } \varphi_2 = \varphi_1$$

b) puissances réactives

$$Q_2 = Q_1$$

c) puissances apparentes

$$S_2 = S_1$$

III – TRANSFORMATEUR REEL

1°) Les différentes pertes

a) pertes cuivre ou pertes par effet Joule

$$p_{Cu} = p_{J1} + p_{J2} = R_1 I_1^2 + R_2 \cdot I_2^2$$

(R_1 et R_2 : résistance des enroulements primaire et secondaire)

Elles dépendent de I_1 et I_2

b) pertes fer ou pertes magnétiques

$$p_{Fer} = p_{Hyst} + p_{Fouc}$$

Elles dépendent de U_1 et f .

c) fuites magnétiques

Le circuit n'étant pas parfait, certaines lignes de champ peuvent s'échapper du circuit. Il en résulte une chute de tension au secondaire lorsque le transformateur fonctionne en charge : $U_2 < U_{20}$

Elles dépendent de I_1

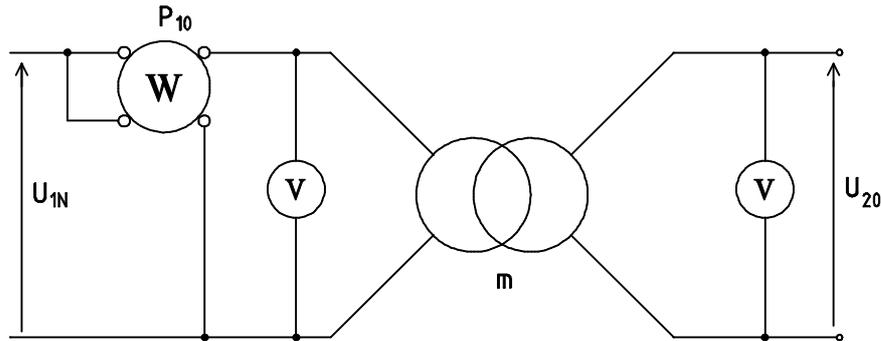
2°) Bilan de puissance

PUISSANCE ABSORBÉE = PUISSANCE FOURNIE (UTILE) + PERTES

$$P_1 = P_2 + p_{Fer} + p_{Cu}$$

3°) Détermination des pertes Fer par un essai à vide

Le transformateur, alimenté sous tension primaire nominale, fonctionne à vide (pas de charge branchée au secondaire).



Bilan des puissances :

Puissance fournie par le secondaire : $P_{20} = 0 \text{ W}$ (pas de charge)

Pertes cuivre : $(p_{Cu})_0 = R_1 \cdot I_{10}^2 + R_2 \cdot I_{20}^2$

$(p_{Cu})_0 = 0 \text{ W}$ (négligeables)

Pertes Fer : Elles ne dépendent que de U_1 et de f , qui, pour cet essai sont nominales.
Les pertes Fer pour l'essai à vide seront donc nominales.

Puissance absorbée par le primaire : $P_{10} = P_{20} + (p_{Cu})_0 + (p_{Fer})_0$

$$P_{10} = (p_{Fer})_0$$

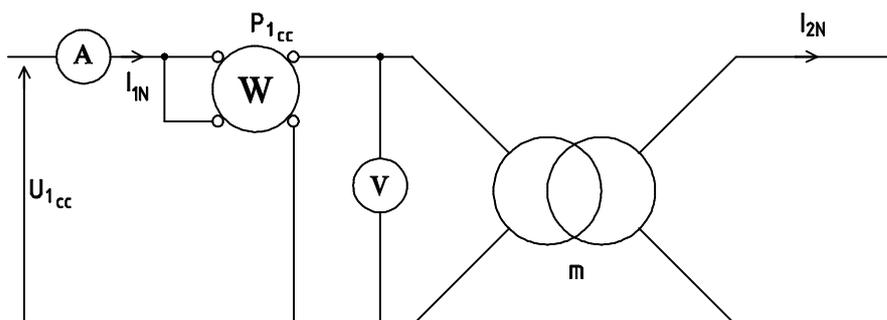
Conclusion :

L'essai à vide d'un transformateur alimenté sous tension nominale permet de déterminer directement :

- * les pertes Fer nominales (P_{10})
- * la tension à vide au secondaire (U_{20})

4°) Détermination des pertes Cuivre (Essai en court-circuit)

On alimente sous tension réduite un transformateur dont le secondaire est court-circuité. On règle la tension U_1 de façon à obtenir nominales les intensités du courant au primaire et au secondaire.



Bilan des puissances :

Puissance fournie par le secondaire : $P_{2cc} = 0 \text{ W}$ (court-circuit)

Pertes cuivre : $(p_{Cu})_{cc} = R_1 \cdot I_{1N}^2 + R_2 \cdot I_{2N}^2$ (nominales)

Pertes Fer : U_{1cc} très faible, donc $(p_{Fer})_{cc}$ seront négligeables

Puissance absorbée par le primaire : $P_{1cc} = P_{2cc} + (p_{Cu})_{cc} + (p_{Fer})_{cc}$

$$P_{1cc} = (p_{Cu})_{cc}$$

Conclusion :

L'essai en court-circuit d'un transformateur alimenté permet de déterminer directement :

* les pertes Cuivre nominales (P_{1cc})

4°) Plaque signalétique d'un transformateur réel

Sur un transformateur, on trouve toujours une plaque, dite plaque signalétique, sur laquelle apparaissent les indications suivantes :

| | | | |
|----------------|--------------|-------------|--------------|
| S_N | U_{1N} | U_{20} | f |
| 600 V.A | 220 V | 24 V | 50 Hz |

Ces indications permettent de déterminer .:

* le rapport de transformation : $m = U_{20} / U_{1N}$ (0,109)

* L'intensité efficace du courant nominal au primaire : $I_{1N} = S_N / U_{1N}$ (2,73 A)

* L'intensité efficace du courant nominal au secondaire : $I_{2N} = S_N / U_{20}$ (25 A)

5°) Rendement d'un transformateur réel

On définit le rendement η d'un système comme étant le rapport (Puissance utile) / (Puissance absorbée).

Appliqué au transformateur, le rendement s'écrit : $h = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_1 + P_{10} + P_{1cc}}{P_1}$

Remarque :

Dans le cas d'un transformateur supposé parfait, les pertes étant négligeables : $P_2 = P_1$
 $\eta = P_2 / P_1 = 1(100\%)$