جامعة هواري بومدين للعلوم والتكنولوجيا
U S T H B

L. M. D S4

Licence de Physique Appliquée: Electricité

Module : ***Electrotechnique* 1**

Chapitre IV

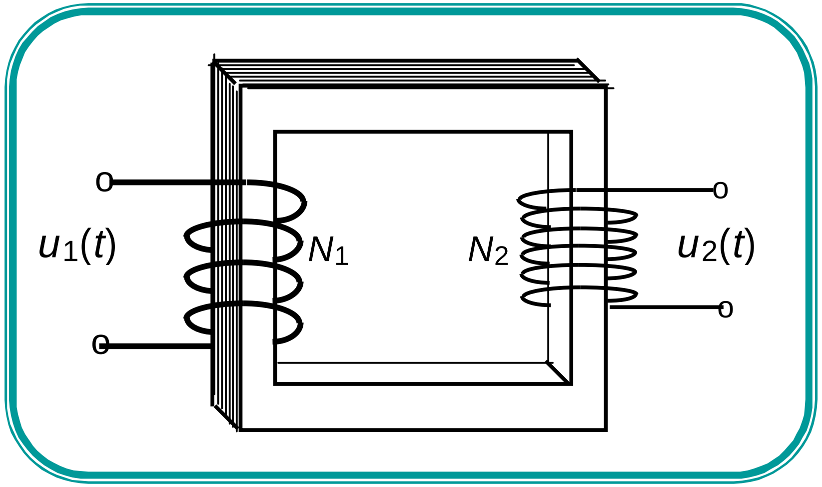
Transformateur

1. LE TRANSFORMATEUR PARFAIT MONOPHASE.

Définition: Un transformateur est une **machine électrique statique** dont le but est de ***changer des grandeurs électriques sinusoïdales***, tensions, courants, tout en conservant leur fréquence.

Un transformateur monophasé comporte:

- un **noyau ferromagnétique fermé**
- et **deux enroulements** :



le **primaire**, composé de N_1 spires, est alimenté par une source de tension sinusoïdale $u_1(t)$

et le **secondaire**, portant N_2 spires, délivre une tension $u_2(t)$.

Au **primaire**, $u_1(t)$ ⟹ un courant $i_1(t)$ ⟹ dans le noyau un flux $\Phi(t)$.

$\boxed{\Phi(t)}$ ⟹
- au 1^{aire} une ***f.c.e.m*** $e_1(t) \sim$ à N_1 et opposée à $u_1(t)$
- au 2^{aire} une ***f.e.m*** $e_2(t) \sim$ à N_2

Le **secondaire** fermé sur Z ⟹ $i_2(t)$ sous $u_2(t)$.

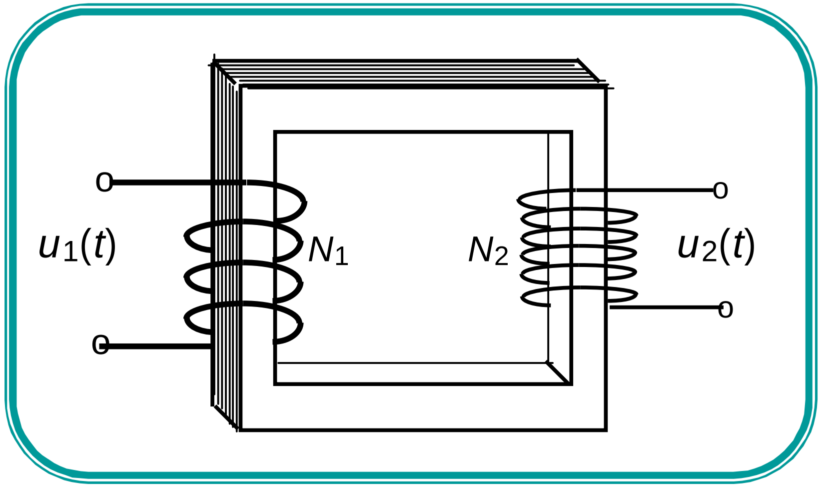
Équations du transformateur parfait

On fait les approximations:

- le *noyau ferromagnétique* **parfait**

⇒ Réluctance R # 0

- les résistances r_1 et r_2 # 0



Loi d'**Ohm** ⇒

$$\begin{cases} u_1(t) = -e_1(t) & \text{avec} \quad e_1(t) = -n_1 \dfrac{d\Phi}{dt} \\ e_2(t) = u_2(t) & \text{avec} \quad e_2(t) = -n_2 \dfrac{d\Phi}{dt} \end{cases}$$

Loi de **Kapp** ⇒

$$N_1 i_1 + N_2 i_2 = \boldsymbol{R}\,\Phi = 0$$

Equations du transformateur parfait

Notations complexes

$$\bar{E}_1 = -j\frac{\omega}{\sqrt{2}}N_1\bar{\Phi}$$

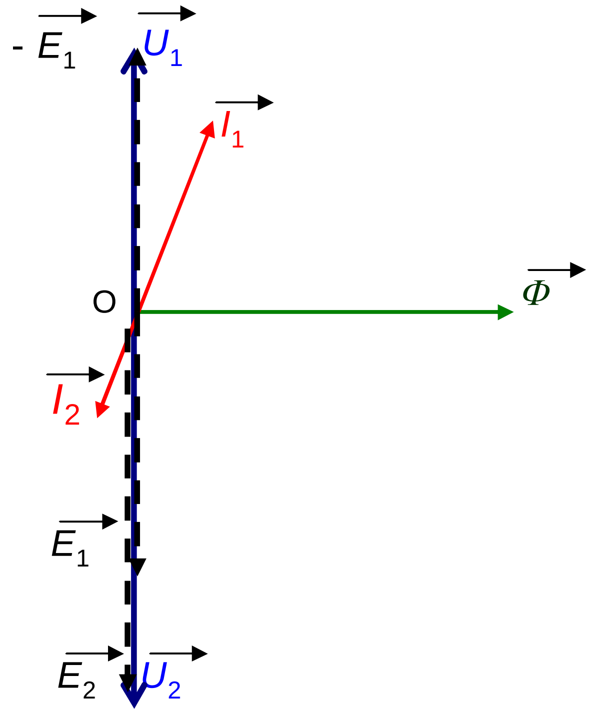
$$\bar{E}_2 = -j\frac{\omega}{\sqrt{2}}N_2\bar{\Phi}$$

$$\bar{U}_1 = -\bar{E}_1$$

$$\bar{U}_2 = \bar{E}_2$$

$$N_1\bar{I}_1 + N_2\bar{I}_2 = 0$$

Diagramme vectoriel



$$\Rightarrow \varphi_1 = \varphi_2$$

$$\Rightarrow P_1 = U_1 I_1 \cos\varphi_1 = mU_2\frac{I_2}{m}\cos\varphi_2 = P_2$$

Pas de pertes

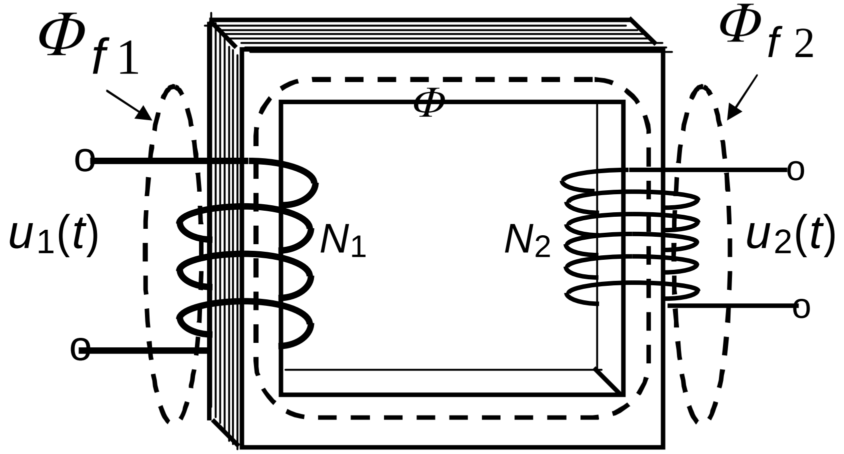
2. LE TRANSFORMATEUR REEL.

Les Flux

$$\boxed{\Phi_1 = N_1\Phi + \Phi_{f1}} \qquad \boxed{\Phi_2 = N_2\Phi + \Phi_{f2}}$$

$$\Phi_{f1} = l_1 i_1 \qquad \Phi_{f2} = l_2 i_2$$

l_1 et l_2 constantes



Loi d'Ohm

$$u_1 - \frac{d\Phi_1}{dt} = r_1 i_1 \quad \& \quad -\frac{d\Phi_2}{dt} = u_2 + r_2 i_2$$

$$u_1 - N_1\frac{d\Phi}{dt} - l_1\frac{di_1}{dt} = r_1 i_1 \quad \& \quad -N_2\frac{d\Phi}{dt} - l_2\frac{di_2}{dt} = u_2 + r_2 i_2$$

Avec:

$$\boxed{e_1 = -N_1\frac{d\Phi}{dt}} \qquad \boxed{u_1 = -e_1 + r_1 i_1 + l_1\frac{di_1}{dt}}$$

$$\boxed{e_2 = -N_2\frac{d\Phi}{dt}} \Rightarrow \boxed{e_2 = u_2 + r_2 i_2 + l_2\frac{di_2}{dt}}$$

En outre: $$\oint \vec{H}.\vec{dl} = \boxed{N_1 i_1 + N_2 i_2 = N_1 i_0}$$

Notation complexe :

$$\begin{cases} \bar{E}_1 = -j \dfrac{\omega}{\sqrt{2}} N_1 \bar{\Phi} \\[2ex] \bar{E}_2 = -j \dfrac{\omega}{\sqrt{2}} N_2 \bar{\Phi} \\[2ex] \bar{U}_1 = -\bar{E}_1 + r_1 \bar{I}_1 + j\, l_1\, \omega\, \bar{I}_1 \\[2ex] \bar{E}_2 = \bar{U}_2 + r_2 \bar{I}_2 + j\, l_2\, \omega\, \bar{I}_2 \\[2ex] N_1 \bar{I}_1 + N_2 \bar{I}_2 = N_1 \bar{I}_0 \end{cases}$$

On peut connaître :

r_1 , r_2 , N_1 et N_2

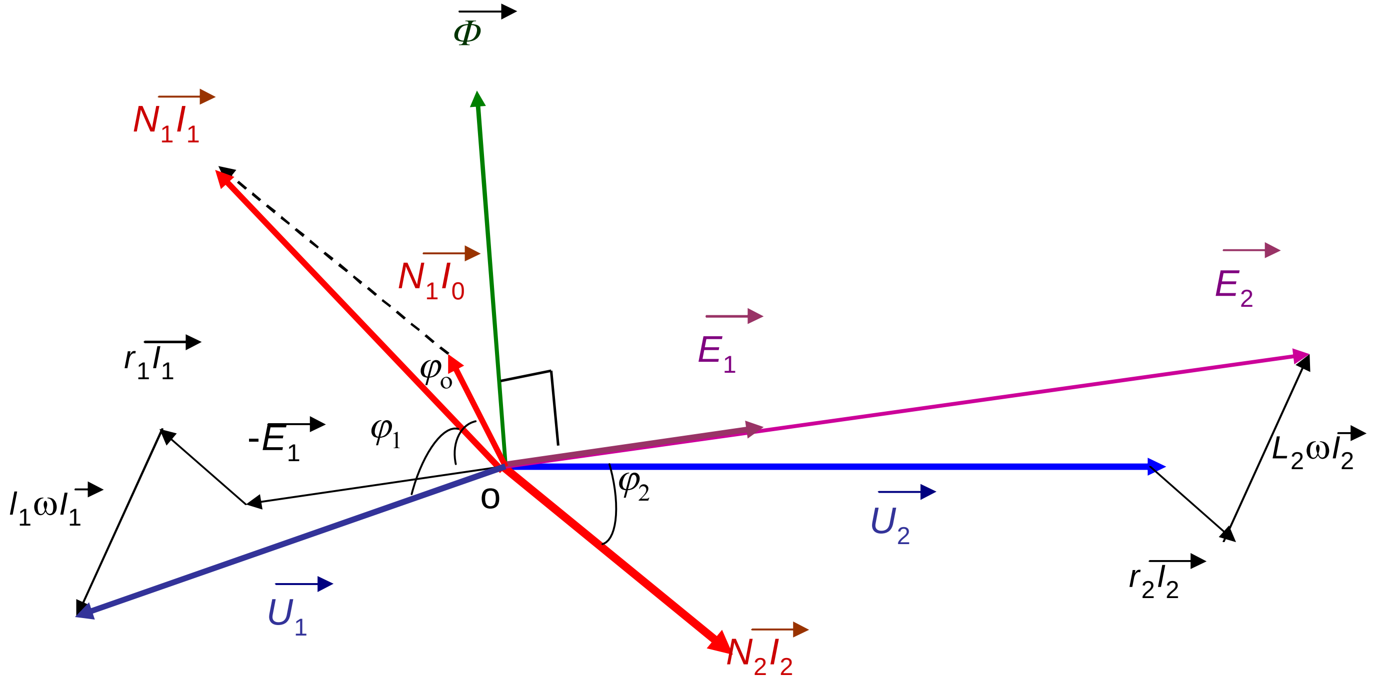
mais il n'y a aucun moyen de mesurer

l_1 et l_2 .

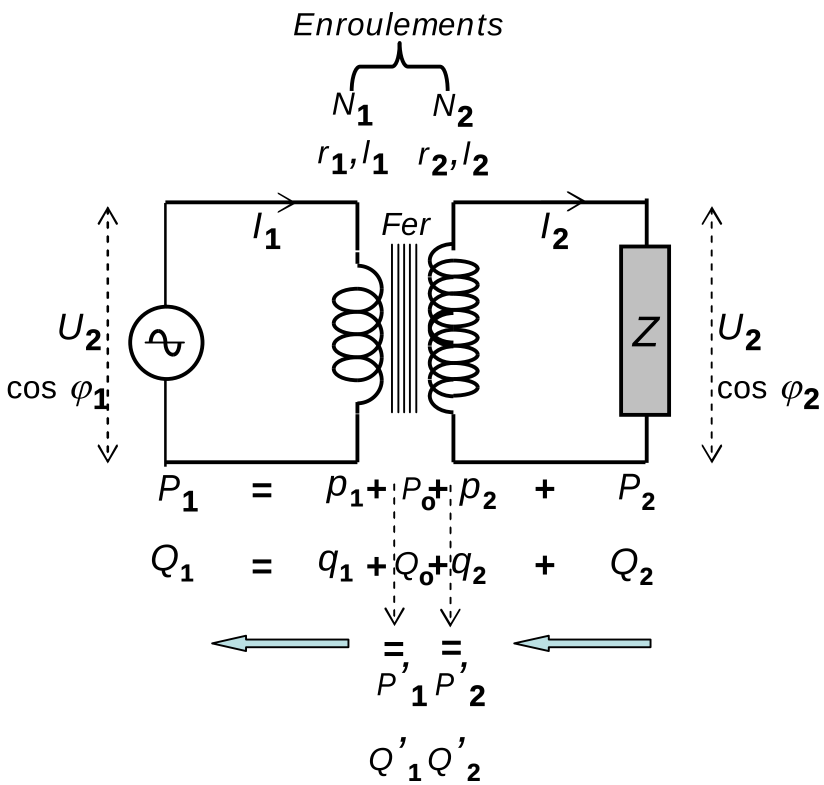
On verra comment on procède dans la pratique.

Représentation vectorielle :

On part de: $\vec{U}_2$ $\vec{I}_2$ $\cos\varphi_2$



Méthode de Boucherot



3. CARACTERISTIQUES DU TRANSFORMATEUR

3.1. Grandeurs nominales

Un transformateur industriel caractérisé par ses grandeurs nominales:

$$S_n \qquad U_{1,n} \qquad U_{2,n} \Rightarrow \boxed{m = \frac{U_{1,n}}{U_{2,n}} = \frac{N_1}{N_2}}$$

$$I_{1,n} \qquad I_{2,n}$$

En charge un transformateur industriel caractérisé par

Sa chute de tension:

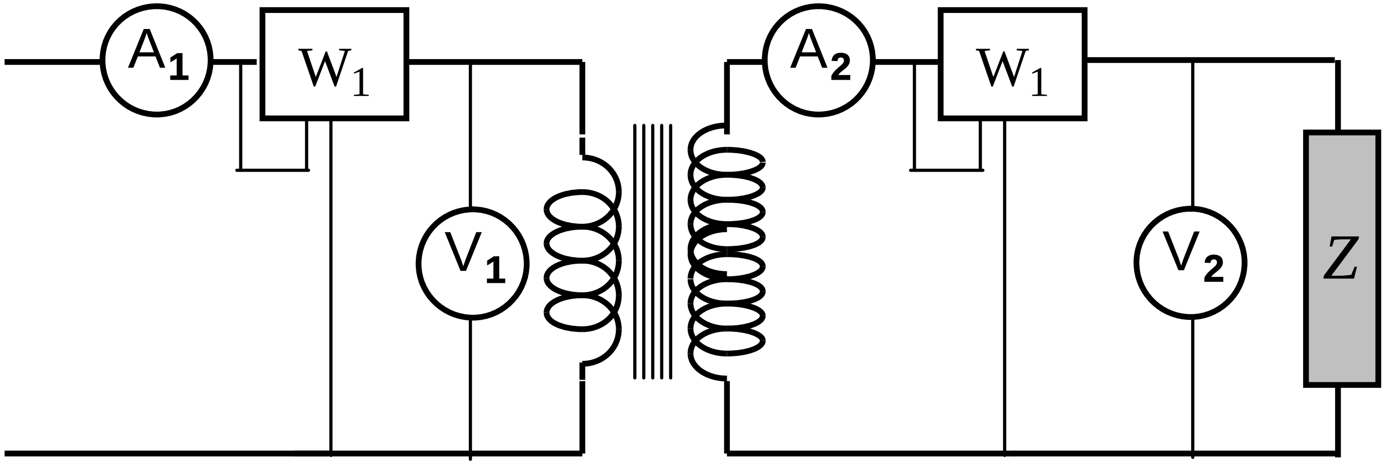
$$\varepsilon\,\% = \frac{U_1/m - U_2}{U_1/m}\,100$$

Sa rendement:

$$\eta\,\% = \frac{P_2}{P_1}\,100$$

3.2. Essais

Essai en charge



Mais pour les ***transformateurs de grandes puissances***, **il n'est pas possible de trouver les charges adéquates**. On procède alors autrement.

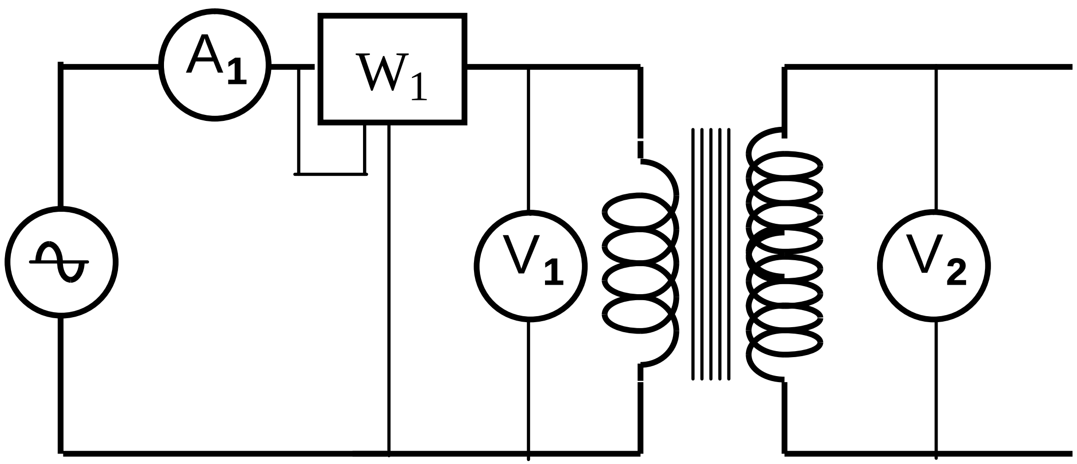
Essai à vide

Le primaire est alimenté sous ***la tension nominale*** $U_{1,n}$

le secondaire est ***ouvert*** ⇨ $\vec{I}_2 = 0$ ⇨

$$\vec{U}_1 = -\vec{E}_1 \quad \& \quad \vec{E}_2 = \vec{U}_{2,0} \quad ⇨ \quad \vec{U}_{20} = -\frac{\vec{U}_1}{m} \Rightarrow \boxed{m}$$

Puissance à vide:



$$\left.\begin{array}{l} P_0 = R_1 I_0^2 + P_F \\ I_o \ll I_{2,n} \end{array}\right\} ⇨$$

$$\boxed{P_0 = P_F}$$

Ce sont les pertes dans le fer dues:. $\left\{\begin{array}{l}\text{à l'hystérésis et} \\ \text{aux courants de Foucault.}\end{array}\right.$

Essai en court-circuit

Le **secondaire** est ***court-circuité*** sur un ampèremètre.

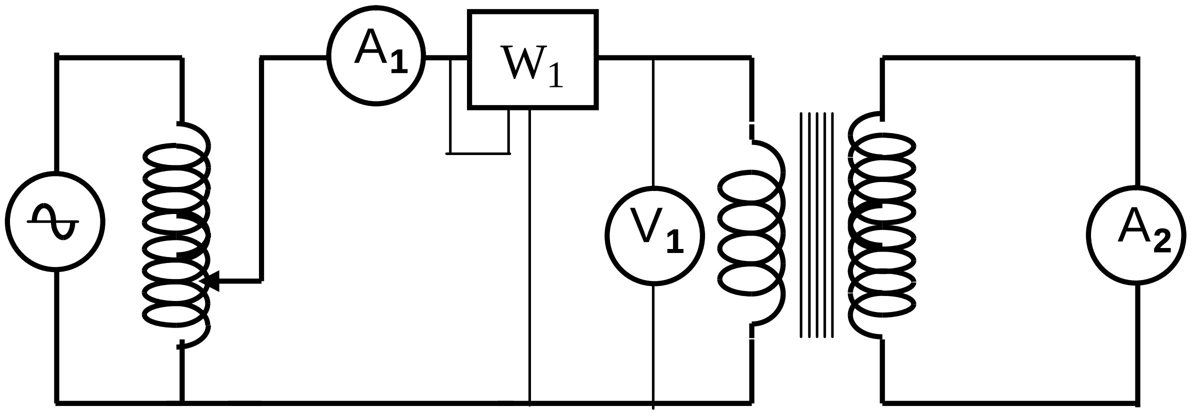
Le **primaire** est alimenté sous une ***tension réduite*** : $U_{1,cc} \ll U_{1,n}$

réglée de façon que: $I_{2,cc} = I_{2,n}$

Pertes en court-circuit $P_{cc} = R_1 I_1^2 + R_2 I_2^2 \; P_{F,cc} = P_J + P_{F,cc}$

$P_{F,cc}$ proportionnel à

B_M^2 à $U_{1,cc}^2$



$\Rightarrow P_{F,cc} \ll P_J$

$$\boxed{P_{cc} = R_1 I_1^2 + R_2 I_2^2 = P_J}$$

On pose $P_J = R \; I_2^2$

3. 3. Rendement du transformateur.

Lorsque le secondaire d'un transformateur est relié à une charge, il débite sur celle-ci un courant I_2 sous une tension U_2 que l'on peut considérer ici, ***à la chute de tension près***, comme constante : $\Rightarrow$ $\boxed{U_2 \# U_1/m}$

Puissance absorbée par la charge: $P_2 = U_2 I_2 \cos\varphi_2$

Puissance absorbée au primaire: $P_1 = P_2 + p$

Pertes

$$p = P_J + P_F$$

Pertes Joule : déterminées à partir de l'essai en court-circuit

Pertes fer : déterminées à partir de l'essai à vide

Rendement

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_1 + P_J + P_F} \Longrightarrow \eta = \frac{U_2 I_2 \cos\varphi_2}{U_2 I_2 \cos\varphi_2 + R I_2^2 + P_F}$$