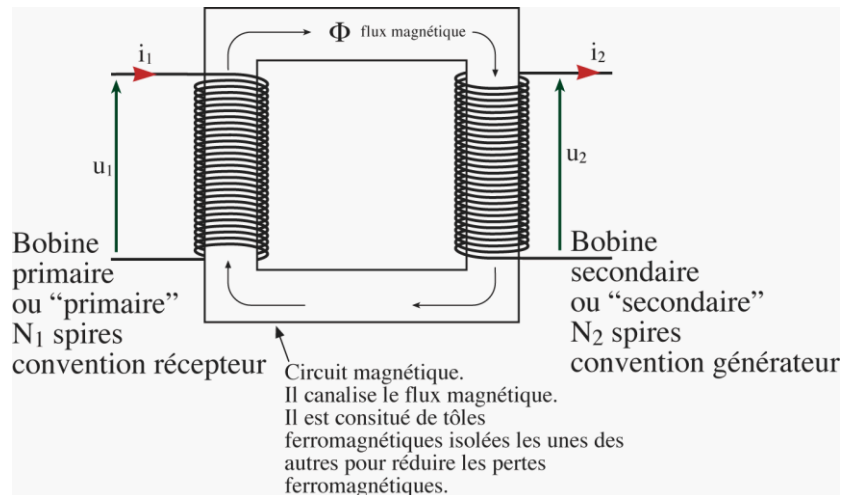


# Le Transformateur Monophasé

## 1 Présentation

### 1.1 Schéma



### 1.2 Principe de fonctionnement

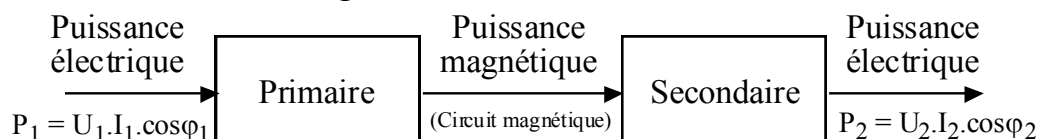
**Loi de Faraday** : une variation de flux à travers une spire crée une f.é.m.  $e$ . Inversement une f.é.m.  $e$  dans une spire crée une variation de flux à travers celle-ci.

$$e = - \frac{d\phi}{dt}$$

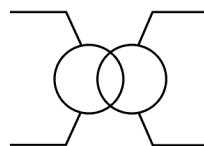
C'est ce phénomène qui est exploité dans le transformateur.

On alimentant le primaire d'un transformateur sous une tension alternative, on crée un champ magnétique variable dans le circuit magnétique celui-ci est transformé par le bobinage secondaire pour produire un F.E.M.

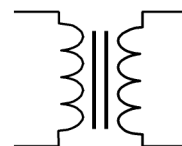
### 1.3 Transformation d'énergie



### 1.4 Symboles



ou



## 2 Transformateur parfait

Parfait : il n'y a aucune perte ; le rendement est de 100%

On définit **le rapport de transformation  $m$**  par : 
$$m = \frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1}$$

si  $m > 1$ , le transformateur est élévateur de tension ;

si  $m < 1$ , le transformateur est abaisseur de tension.

de plus 
$$m = \frac{U_2}{U_1} = \frac{I_1}{I_2}$$

Comme le transformateur est parfait :  $P_1 = P_2$  ;  $Q_1 = Q_2$  ;  $S_1 = S_2$  ; et  $\varphi_1 = \varphi_2$ .

**Remarque :** en observant les valeurs instantanées  $u_1(t)$  et  $u_2(t)$ , on constate qu'elles sont en opposition de phase. C'est-à-dire que lorsque  $u_1$  est maximum,  $u_2$  est minimum.  $m = -u_2/u_1$

### 3 Transformateur réel

#### 3.1 Rapport de transformation

Le rapport de transformation se mesure à vide (pas de charge,  $I_2=0$ )

$$m = \frac{U_{20}}{U_1} = \frac{N_2}{N_1}$$

#### 3.2 Transformateur en charge

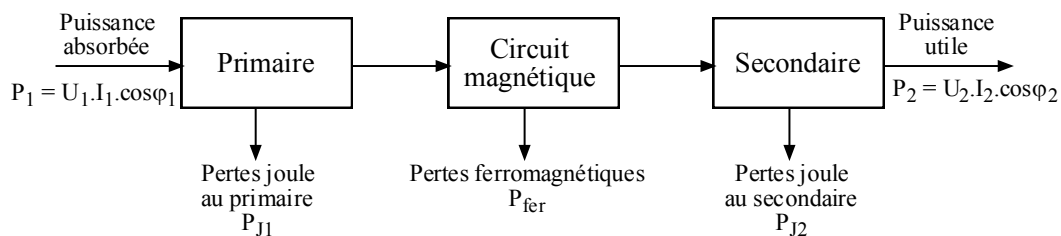
On constate une chute de tension : Plus  $I_2$  augmente (la charge augmente) plus  $U_2$  diminue. Cette dernière observation vient du fait d'une chute de tension provoquée par la résistance et l'inductance des bobinages primaires et secondaires  $\Delta U = R_s \cdot I_2 \cos \varphi_2 + X_s I_2 \sin \varphi_2$

Avec

$R_s = R_2 + m^2 R_1$  Résistance du bobinage ramenée au secondaire

$X_s = X_2 + m^2 X_1$  Réactance du bobinage ramenée au secondaire

#### 3.3 Bilan énergétique



Les pertes fer sont dues à l'hystérésis du matériau ferromagnétique et aux courants de Foucault. Les pertes fer sont proportionnelles à  $B_{\max}^2$  -donc à  $U_1^2$ - et à la fréquence  $f$

Bilan des puissances : 
$$P_1 = P_{j1} + P_{j2} + P_{fer} + P_2$$

#### 3.4 Limitation des pertes fer

Pour réduire les pertes par hystérésis, il faut choisir un matériau ferromagnétique avec un cycle d'hystérésis le plus étroit possible.

Pour réduire les pertes par courants de Foucault, le noyau est feuilleté. C'est-à-dire qu'il est constitué de tôles vernies, donc isolées les unes des autres. La taille des boucles de courant de Foucault est alors limitée par l'épaisseur de la tôle. Plus les boucles sont petites, plus les pertes sont réduites.

#### 3.5 Rendement

$$\eta = \frac{P_{\text{utilisée}}}{P_{\text{absorbée}}} = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + P_{fer} + P_J}$$

ou

$$\eta = \frac{P_1 - P_{fer} - P_J}{P_1}$$

$$P_J = P_{j1} + P_{j2}$$

Le rendement varie en fonction des conditions d'utilisation du transformateur. Le meilleur rendement s'obtiendra pour les grandeurs d'utilisation nominales indiquées sur la plaque signalétique du transformateur.

Les bons transformateurs de fortes puissances peuvent atteindre un rendement supérieur à 99%.

#### 4. Formule de Boucherot

$$\begin{aligned} E_1 &= 4,44 \cdot N_1 \cdot \hat{\Phi} \cdot f \\ E_2 &= 4,44 \cdot N_2 \cdot \hat{\Phi} \cdot f \\ \text{avec: } \hat{\Phi} &= \hat{B} \cdot S \end{aligned}$$

$E_1$  : valeur efficace de la fem induite au primaire (en volts)

$E_2$  : « « « au secondaire

$S$  : section du circuit magnétique (en  $m^2$ )

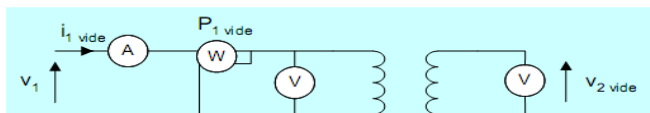
$\hat{B}$  : champ magnétique maximal (en tesla)

#### 5- Essais d'un transformateur

##### 5-1- Essai avec secondaire à vide

L'essai à vide permet de mesurer :

- Le rapport de transformation  $m$
- Les pertes fer



$$P_1 = p_{\text{Fer}} + p_{\text{Joule}} + P_2$$

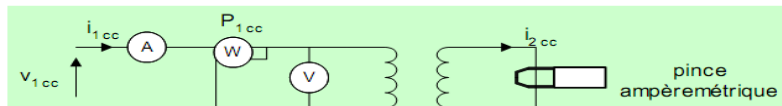
$$\text{A vide : } P_2 = 0 \text{ W}$$

$$p_{\text{Joule}} = R_1 I_{1v}^2 + 0 : \text{négligeable car } I_{1v} \text{ négligeable}$$

$$p_{\text{Fer}} \approx P_{1\text{vide}}$$

##### 5-2- Essai avec secondaire en court-circuit

L'essai en court-circuit permet de mesurer les pertes Joule.



$$P_1 = p_{\text{Fer}} + p_{\text{Joule}} + P_2$$

$$\text{En court-circuit : } P_2 = 0 \text{ W (car } V_2 = 0 \text{ V)}$$

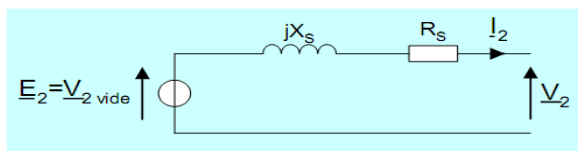
L'essai se fait **sous tension primaire réduite** ( $V_{1cc} \ll V_{1N}$ ).

Les pertes fer sont proportionnelles à  $V_1^2$  donc elles sont négligeables.

$$p_{\text{Joule}} \approx P_{1cc}$$

#### 6- Modèle de Thévenin ramené au secondaire

Vu du secondaire, le modèle électrique d'un transformateur est :

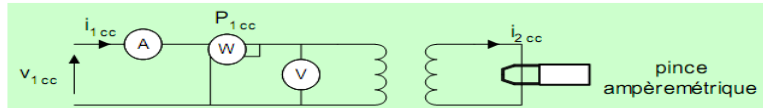


$R_s$  : résistance des enroulements, ramenée au secondaire

$X_s$  : réactance des fuites magnétiques, ramenée au secondaire

- Détermination expérimentale des éléments du schéma équivalent

Essai en court-circuit :



$$P_{\text{Joule}} \approx P_{1\text{CC}}$$

Loi de Joule :

$$R_s = \frac{P_{1\text{CC}}}{I_{2\text{CC}}^2}$$

Impédance interne  $Z_s$  :

$$Z_s = \frac{m \cdot V_{1\text{CC}}}{I_{2\text{CC}}}$$

$m$  est obtenu par l'essai à vide.

Réactance  $X_s$  :

$$\underline{Z}_s = R_s + jX_s \Rightarrow Z_s = \sqrt{R_s^2 + X_s^2}$$

$$X_s = \sqrt{Z_s^2 - R_s^2}$$

- Prédétermination du fonctionnement en charge

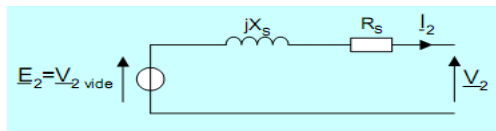


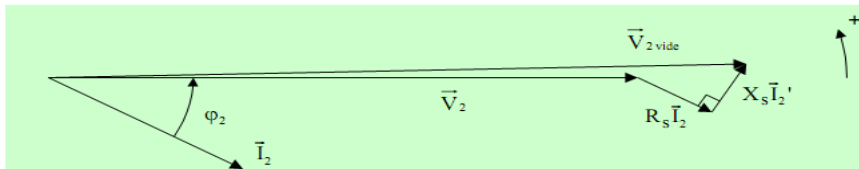
Diagramme vectoriel

Loi des branches :

$$\underline{V}_2 = \underline{V}_{2\text{vide}} - R_s \underline{I}_2 - jX_s \underline{I}_2$$

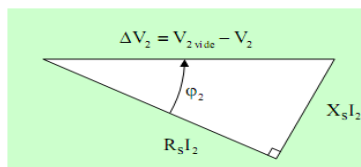
ou :

$$\vec{V}_2 = \vec{V}_{2\text{vide}} - R_s \vec{I}_2 - X_s \vec{I}_2'$$



En pratique :  $R_s I_2$  et  $X_s I_2 \ll V_2$ .

On peut faire l'approximation suivante :



Formule approchée de la chute de tension au secondaire :

$$\Delta V_2 \approx (R_s \cos \varphi_2 + X_s \sin \varphi_2) \cdot I_2$$

La chute de tension :

- est proportionnelle au courant débité
- dépend de la nature de la charge (facteur de puissance)