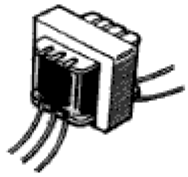
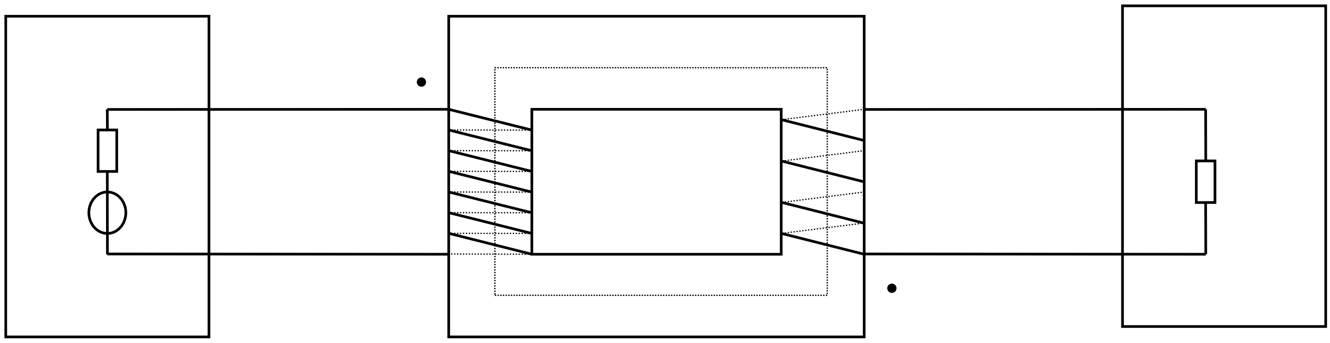
1. Description



représentation simplifiée

le primaire le secondaire



générateur circuit magnétique fermé récepteur

si $U_2 < U_1$:

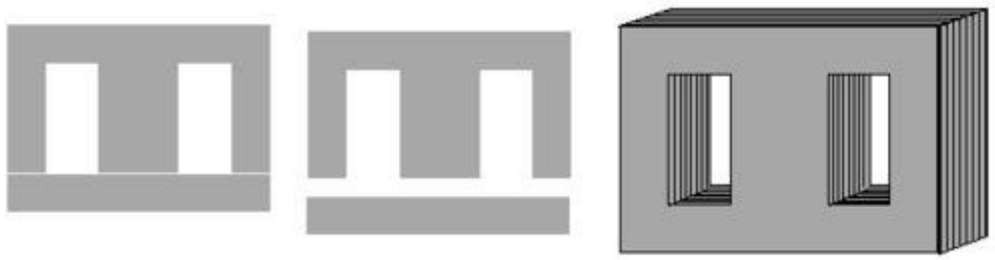
le primaire est formé **de conducteurs en cuivre fins**
le secondaire est reconnaissable par **des fils plus épais**

applications :

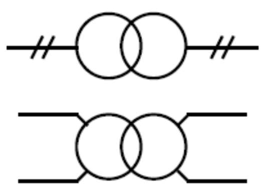
si $U_2 > U_1$:

si $U_2 = U_1$:

le circuit magnétique : un empilement de tôles en E pour atténuer les courants induits



symboles graphiques



Les bornes homologues sont les points (•) inscrits à côté des enroulements.

Des courants entrant par les bornes homologues produisent dans le circuit magnétique des flux de même sens. La conséquence est que :
les tensions repérées avec leurs pointes de flèches sur les bornes homologues sont en phase (ce qui permet le repérage de ces bornes homologues).

2. Le transformateur idéal : parfait pour les courants et les tensions

2.1. Le transformateur est parfait pour les tensions

au primaire la f.é.m. induite vaut : $e_1 = -N_1\frac{d\Phi}{dt} = -u_1$,

au secondaire la f.é.m. induite vaut : $e_2 = -N_2\frac{d\Phi}{dt} = +u_2$

d'où, en faisant le rapport des tensions, $\frac{u_2}{u_1} = -\frac{e_2}{e_1} = -\frac{N_2}{N_1} = -m$

et pour les **valeurs efficaces** : $\boxed{\frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1}}$

AN : Un transformateur 230 V / 12 V a 1000 spires au primaire

au secondaire N_2 =

2.2. m_V le rapport de transformation à vide est le rapport du nombre de spires

en **valeurs efficaces** : $\boxed{m_V = \frac{U_{2V}}{U_1} = \frac{N_2}{N_1}}$

AN : m_V =

2.3. Le transformateur est parfait pour les courants $\frac{i_1}{i_2} = -\frac{N_2}{N_1} = -m$

les **valeurs efficaces** : $\boxed{m_V = \frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1}}$

AN : on produit un courant I_2 en chargeant le transformateur 230 V / 12 V avec une lampe purement résistante de 100 W, 12 V.

I_2 = alors I_1 =

2.4. Le transformateur est idéal s'il est parfait pour les tensions et les courants

En **valeurs efficaces** : $\boxed{\frac{U_2}{U_1} = \frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} = m_V}$

AN : on produit un courant I_2 en chargeant le transformateur 230 V / 12 V avec une lampe purement résistante de 100 W, 12 V.

m_V =

2.5. La puissance apparente nominale S_n

Le transformateur idéal n'a pas de pertes et transfert toute l'énergie reçue du primaire au secondaire :

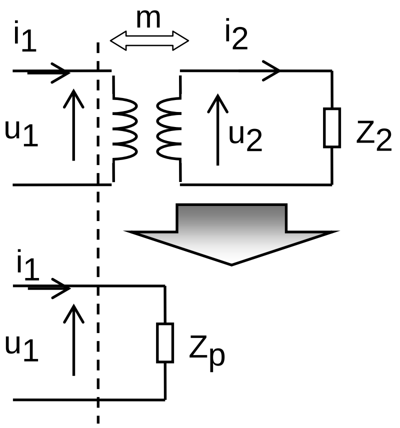
$\frac{U_2}{U_1} = \frac{I_1}{I_2}$ puis en faisant le produit en croix $U_1 . I_1 = U_2 . I_2$ donc $\boxed{\mathbf{S = U_1 . I_1 = U_2 . I_2}}$

AN : le transformateur 230 V / 12 V a comme **puissance apparente nominale** S_n = 50 VA.

Sachant que $\mathbf{S_n = U_{1n} . I_{1n} = U_{2n} . I_{2n}}$ on a donc

I_{1n} = lorsque I_{2n} =

2.6. Impédance ramenée au primaire



$\underline{U}_1$ =

$\underline{Z}_p$ =

AN : on produit un courant I_2 en chargeant le transformateur 230 V / 12 V avec une lampe purement résistante de 100 W, 12 V.

m_V = Z_2 =

d'où Z_p =

3. Cas où le transformateur n'est parfait que pour les tensions

3.1. Formule de Boucherot

Pour une inductance la f.é.m. vaut $e = - N \frac{d\Phi}{dt}$.

Si elle est alimentée par une tension sinusoïdale, le flux produit peut s'écrire
$\Phi = \Phi_{max} \sin \omega t$.

On en déduit la valeur efficace des f.é.m. :

au primaire : $U_1 = E_1 = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} . B_{max} . N_1 . f . S$ (remarque : $\frac{2\pi}{\sqrt{2}} = 4,44$)

au secondaire : $U_2 = E_2 = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} . B_{max} . N_2 . f . S$

AN : pour un transformateur 230 V / 12 V, 50 Hz, un champs magnétique maximal de 1,2 T et une section du circuit magnétique de 5 cm^2, calculer les nombres de spires

$N_1 =$

$N_2 =$

solutions : 1725 spires et 90 spires

3.2. Le courant au primaire; à vide et en charge

le flux Φ est le même en charge qu'à vide, les ampères tours ne changent pas, d'où

$$\boldsymbol{\mathfrak{R}\,\Phi = N_1 i_{1V} = N_1 i_1 + N_2 i_2}$$

$\mathfrak{R}$ est la réluctance du circuit magnétique .

On en déduit : $i_1 = i_{1V} - m\, i_2$

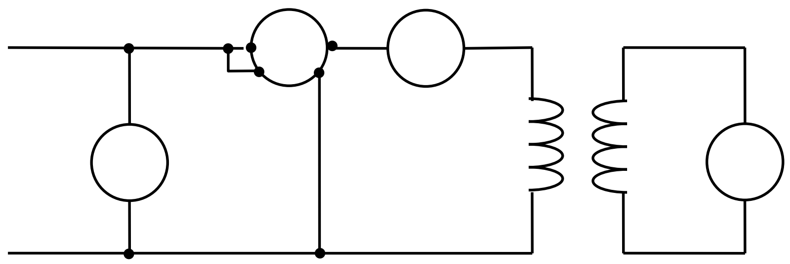
et en régime sinusoïdal **:** $\boldsymbol{\underline{I}_1 = \underline{I}_{1V} - m\, \underline{I}_2}$

diagramme vectoriel

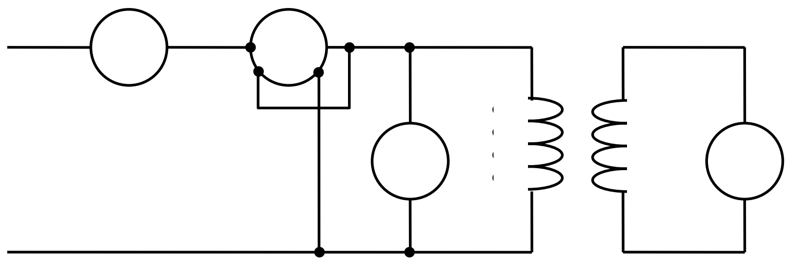
4. Le transformateur réel

4.1. La plaque signalétique : 5 000 V / 230 V - 50 Hz - 80 kVA
les **valeurs nominales** (préconisées par le fabricant) sont donc

4.2. l'essai **à vide**



4.3. l'essai en court-circuit **sous tension réduite**



4.4. le **modèle électrique équivalent d'une bobine à noyau de fer**

L est l'inductance de la bobine R représente la résistance de l'enroulement en cuivre
R_f correspond aux pertes "fer" (par hystérésis et par courants de Foucault)

ℓ est l'inductance représentant **les fuites de flux magnétique**

5. Le transformateur dans l'approximation de KAPP

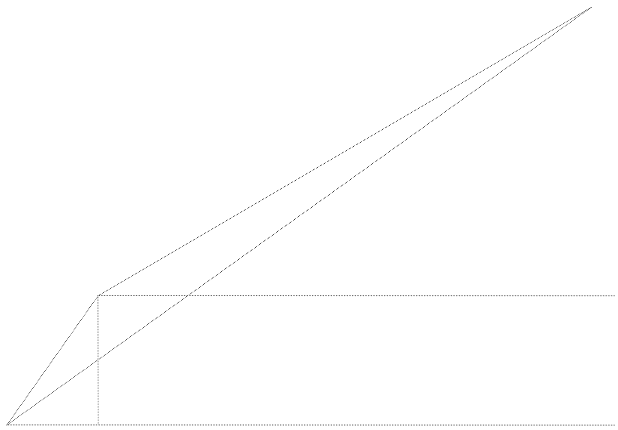
5.1. les **hypothèses de Kapp** :
le transformateur est parfait pour les courants, d'où $\underline{I}_{1V} = 0$ et $\boldsymbol{\underline{I}_1 = - m\, \underline{I}_2}$

5.2. le modèle électrique équivalent du transformateur

5.3. la réduction au secondaire

$$\boxed{\underline{U}_2 = \underline{U}_{2V} - \underline{I}_2 (R_S + j\, X_S)}$$

5.4. le diagramme de Kapp



5.5. détermination des paramètres R_S et X_S par un essai en court-circuit (voir § 4.3.)
P_{1cc} correspond aux pertes par effet Joule de tout le transformateur d'où :

$$\boxed{R_S = \frac{P_{1cc}}{I_{2cc}^2}}$$

La f.é.m. au secondaire produit à travers Z_S le courant I_{2cc}, d'où : $\boxed{Z_S = \frac{m_V\, U_{1cc}}{I_{2cc}}}$

On en déduit la réactance X_S : $\boxed{X_S = \sqrt{Z_S^2 - R_S^2}}$

5.6. la formule approchée de la chute de tension

$$\boxed{\Delta U_2 = R_S\, I_2 \cos \varphi_2 + X_S\, I_2 \sin \varphi_2}$$

6. Le rendement d'un transformateur

La mesure directe de P_1 et de P_2 n'est pas utilisée;

les pertes étant faibles le **rendement** $\rho = \frac{P_2}{P_1} =$

La **méthode des pertes séparées** consiste à mesurer

- par un essai à vide les pertes fer F : $P_{1V} = F + R_1 \cdot I_{1V}^2 \approx F$

- par un essai en court-circuit sous tension réduite les pertes cuivres,
telle que I_{2cc} soit le courant pour lequel on désire calculer le rendement,
on mesure $P_{1cc} \approx R_S \cdot I_{2cc}^2$.
En effet, sous tension réduite, le flux est réduit et comme les pertes fer sont proportionnelles au carré du champ magnétique, elles sont très faibles par rapport aux pertes cuivres.

- d'où **le rendement** $\rho = \frac{P_2}{P_2 + \text{les pertes}} = \frac{U_2 I_2 \cos\varphi_2}{U_2 I_2 \cos\varphi_2 + F + C}$.

On constate que le **rendement** du transformateur est **maximal lorsque F = C**.

7. Les transformateurs spéciaux

7.1. l'autotransformateur

On démontre qu'à dimensions égales,
un autotransformateur peut transmettre plus de puissance qu'un transformateur.

7.2. Les transformateurs de mesures

7.2.1. le transformateur de courant ou T.I.

Il est interdit d'ouvrir le secondaire d'un transformateur de courant en charge

7.2.2. le transformateur de tension ou T.U.

7.3. le transformateur d'impulsions