

Transformateur monophasé Equations générales de fonctionnement

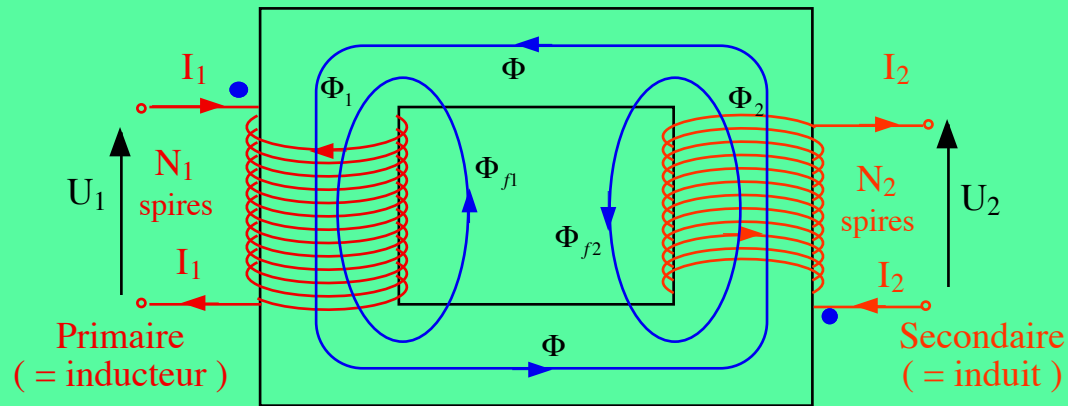


Schéma de principe

$$\begin{aligned}
 u_1 &= R_1 i_1 + l_1 \frac{di_1}{dt} + N_1 \frac{d\Phi}{dt} \\
 -u_2 &= R_2 i_2 + l_2 \frac{di_2}{dt} + N_2 \frac{d\Phi}{dt} \\
 N_1 i_1 + N_2 i_2 &= \mathcal{R} \Phi
 \end{aligned}$$

Rapport de transformation :

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

$$m = \frac{M\omega}{\|R_1 + jL_1\omega\|} \approx \frac{M}{L_1} \quad \text{si } R_1 \ll L_1\omega \quad \text{et} \quad = \sqrt{\frac{L_2}{L_1}} \quad \text{si le couplage est parfait}$$

Transformateur monophasé Transformateur parfait

- R1 et R2 tendent vers 0
- Pas de fuites magnétiques $\Phi_1 = \Phi_2 = \Phi$
- Le circuit magnétique est parfait donc sa réluctance est nulle
- Pas de pertes fer

Equations :

$$u_1 = N_1 \frac{d\Phi}{dt}$$

$$-u_2 = N_2 \frac{d\Phi}{dt}$$

$$N_1 i_1 + N_2 i_2 = 0$$

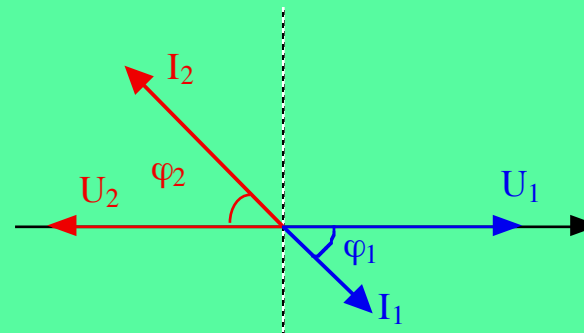
Rapport de transformation :

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

Soit en valeurs efficaces :

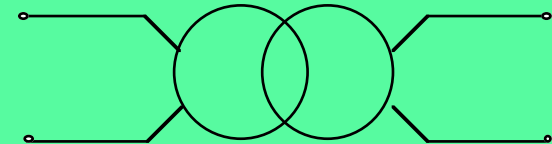
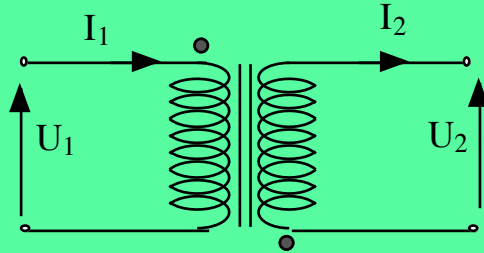
$$U_2 = m U_1 \text{ et } I_1 = m I_2$$

$$\varphi_1 = (\vec{I}_1; \vec{U}_1) = \varphi_2 = (\vec{I}_2; \vec{U}_2)$$



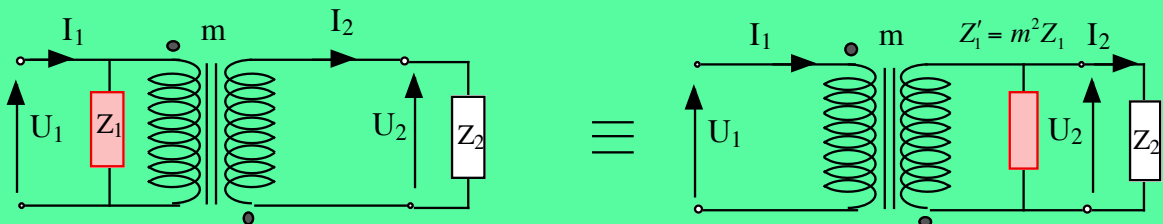
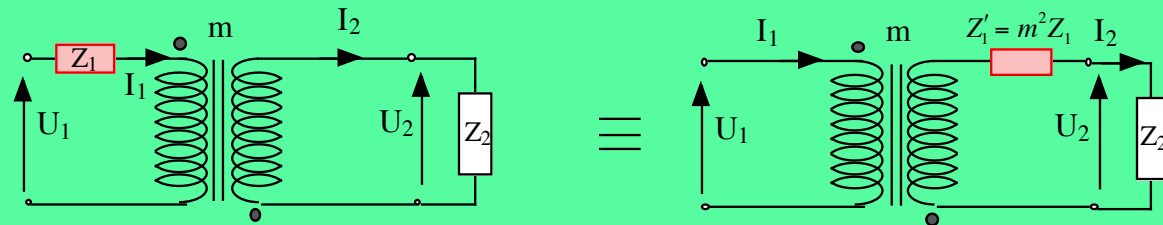
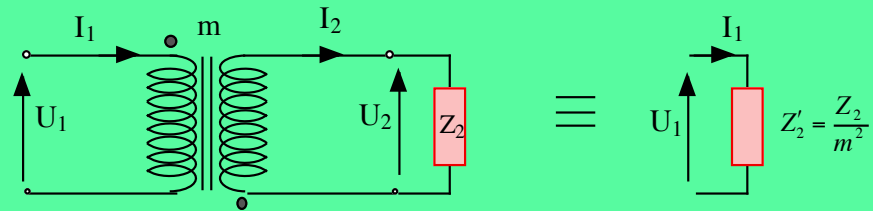
Transformateur monophasé Transformateur parfait

Symboles graphiques :



Transfert d'impédances :

*Secondaire vers primaire :
Division par m^2*



*Primaire vers secondaire :
multiplication par m^2*

Transformateur monophasé Modélisation

Le flux dans le circuit magnétique est imposé par la valeur de la *tension primaire* et par sa *fréquence* :

$$\hat{\Phi} = \frac{U_1 \sqrt{2}}{N_1 \omega}$$

Le fonctionnement se fait donc à $N_1 i_1 + N_2 i_2 = C^{te} = N_1 i_{10}$

Il y a des pertes fer et le circuit magnétique n'est pas parfait, il existe donc un courant à vide : $\vec{I}_1 = \vec{I}_{10} - m\vec{I}_2$

Les enroulements présentent une résistance et une inductance de fuite.

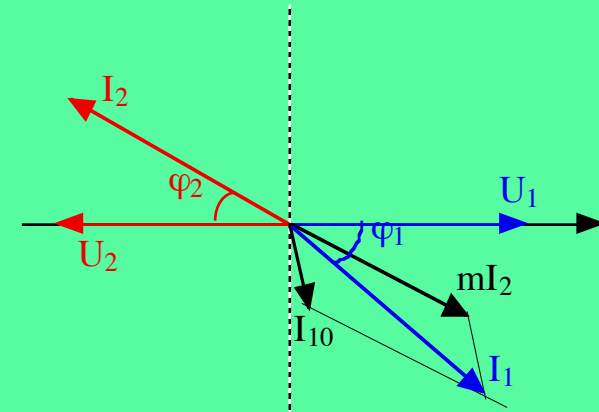
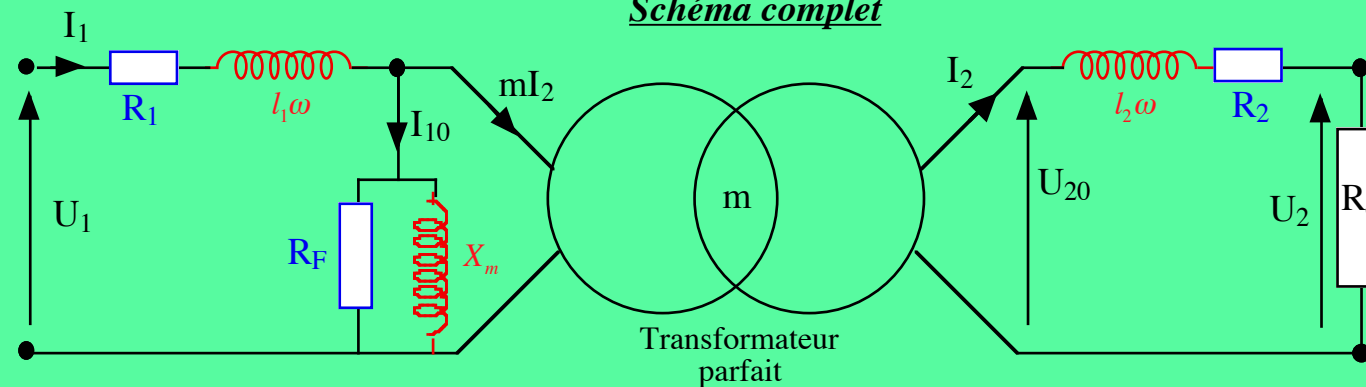
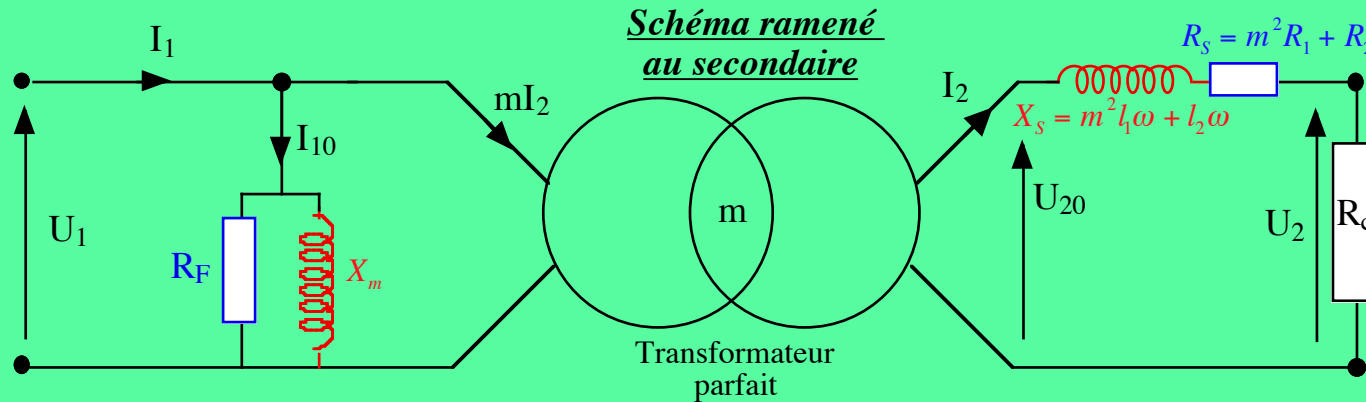


Schéma complet

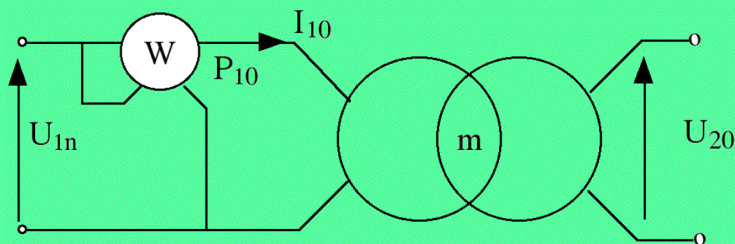


Transformateur monophasé Modélisation



Essai à vide sous $U_1 = U_{1n}$:

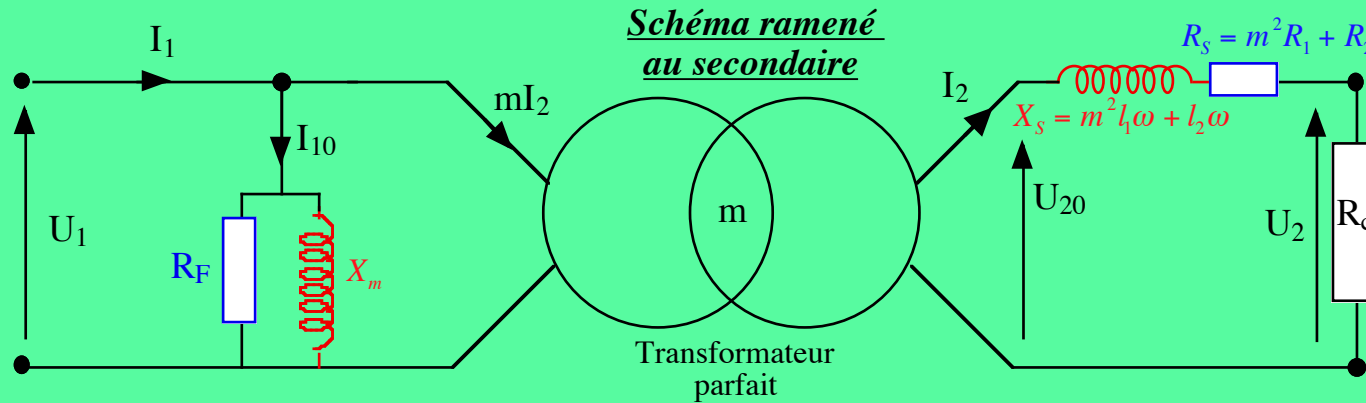
La mesure de la puissance active consommée P_{10} ,
du courant I_{10} et de la tension secondaire U_{20}
permet le calcul de R_F , de X_m et de m .



$$m = \frac{U_{20}}{U_1} ; R_F = \frac{U_1^2}{P_{10}}$$

$$X_m = \frac{U_1^2}{Q_{10}} = \frac{U_1^2}{P_{10} \tan \varphi_0}$$

Transformateur monophasé Modélisation

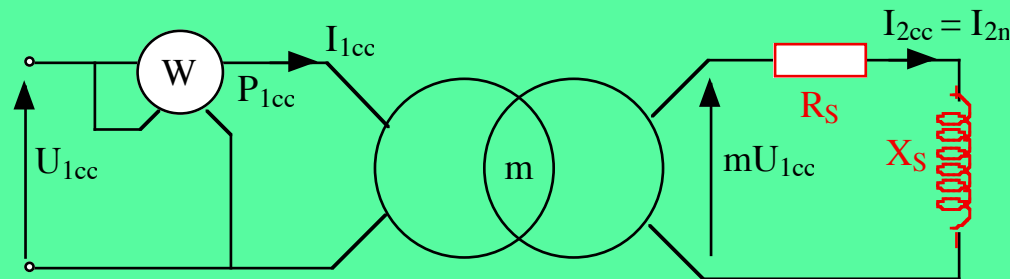


Essai en court-circuit :

La mesure de la puissance active consommée P_{1cc} , pour $U_1 = U_{1cc}$ telle que $I_{2cc} = I_{2n}$ permet le calcul des valeurs de R_s et de X_s .

$$R_s = \frac{P_{1cc}}{I_{2n}^2} ; X_s = \sqrt{Z_s^2 - R_s^2}$$

$$Z_s = \sqrt{R_s^2 + X_s^2} = \frac{mU_{1cc}}{I_{2cc}}$$



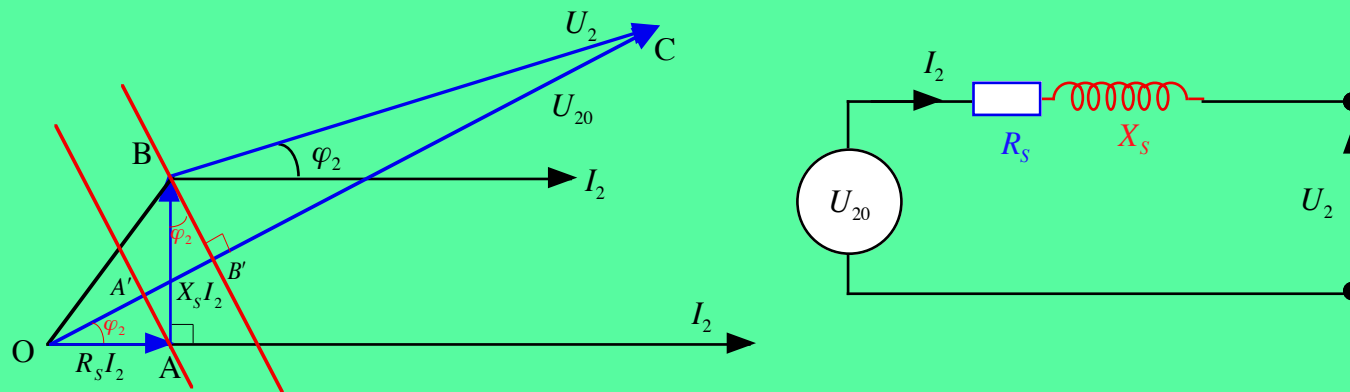
Transformateur monophasé Chute de tension en charge

Il s'agit de la différence des valeurs efficaces :

$$\Delta U = U_{20} - U_2$$

Soit en valeur relative en % :

$$\Delta u = \frac{U_{20} - U_2}{U_{20}}$$



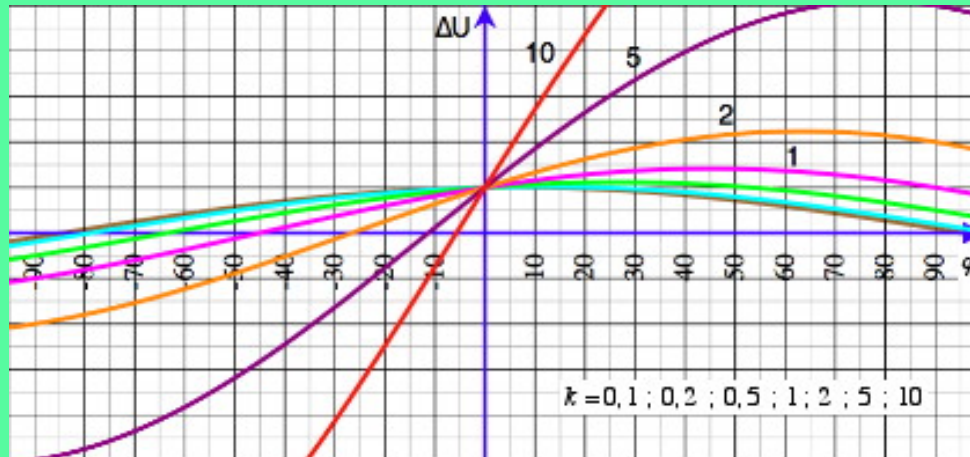
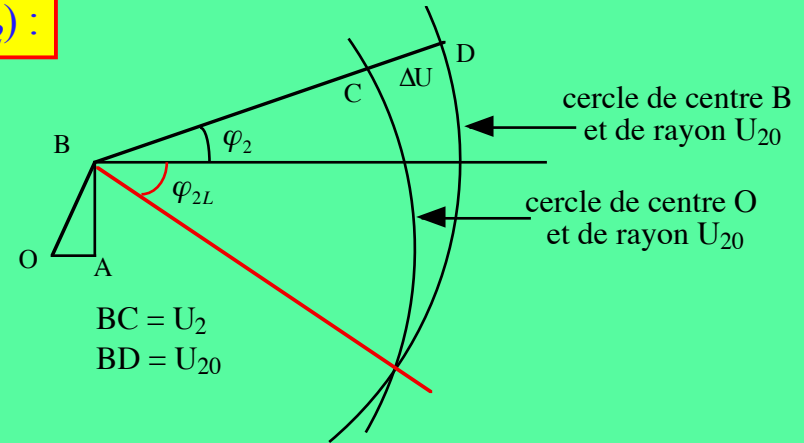
Expression approchée :

$$\Delta U = R_S I_2 \cos \varphi_2 + X_S I_2 \sin \varphi_2$$

Transformateur monophasé Chute de tension en charge

Variations de ΔU en fonction de la charge (I_2 et φ_2) :

$$\tan \varphi_{2L} = -\frac{R_s}{X_s}$$



Pour I_2 fixé et selon $k = \frac{X_s}{R_s}$,
si les fuites sont importantes donc
(X_s grand), on constate :

$$\Delta U \gg R_s I_2 \text{ si } \varphi_2 \text{ élevé}$$

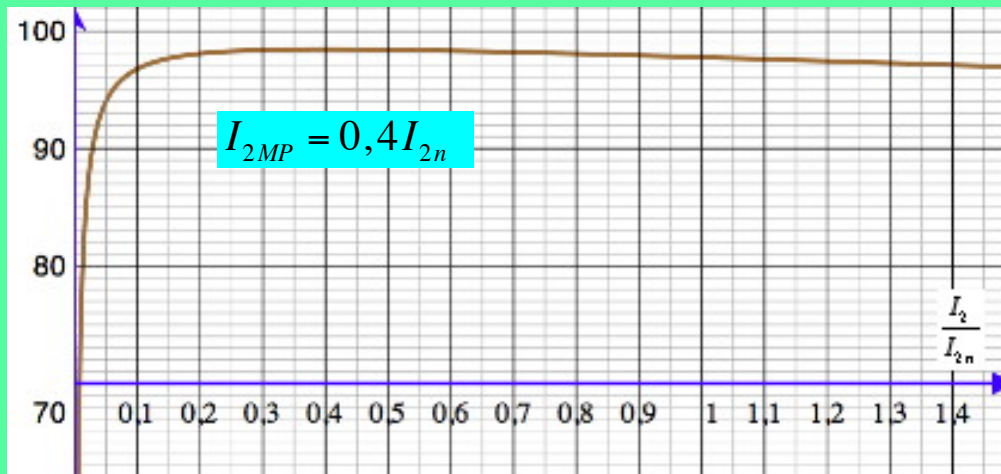
$$\Delta U = R_s I_2 (\cos \varphi_2 + k \sin \varphi_2) \text{ en fonction de } \varphi$$

Transformateur monophasé Rendement

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + P_{\text{pertes}}} = \frac{U_2 I_2 \cos \varphi_2}{U_2 I_2 \cos \varphi_2 + P_{\text{fer}} + R_S I_2^2}$$

On montre que le rendement est maximum pour l'égalité des pertes Joule et des pertes fer, soit pour un courant secondaire :

$$I_{2MP} = \sqrt{\frac{P_{\text{fer}}}{R_S}}$$



La décroissance est très lente au delà de I_{2MP}

Cas particuliers :

Sur charge résistive avec $I_2 = I_{2n}$

$$\eta = \frac{S_n - P_{1cc}}{S_n + P_{10}}$$

Rendement maximum sur charge

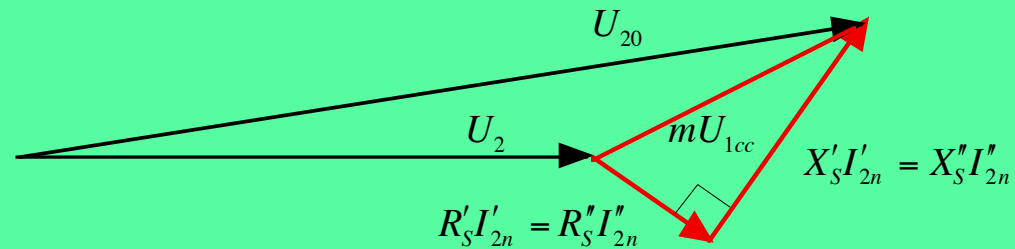
résistive :

$$\eta = \frac{U_{2n} I_{2MP} - P_{10}}{U_{2n} I_{2MP} + P_{10}}$$

Transformateur monophasé Couplage de transformateurs en parallèle

Conditions à réaliser :

- mêmes U_{1n} si même réseau primaire
- mêmes U_{20} et mêmes U_2
- mêmes triangles de Kapp au courants nominaux

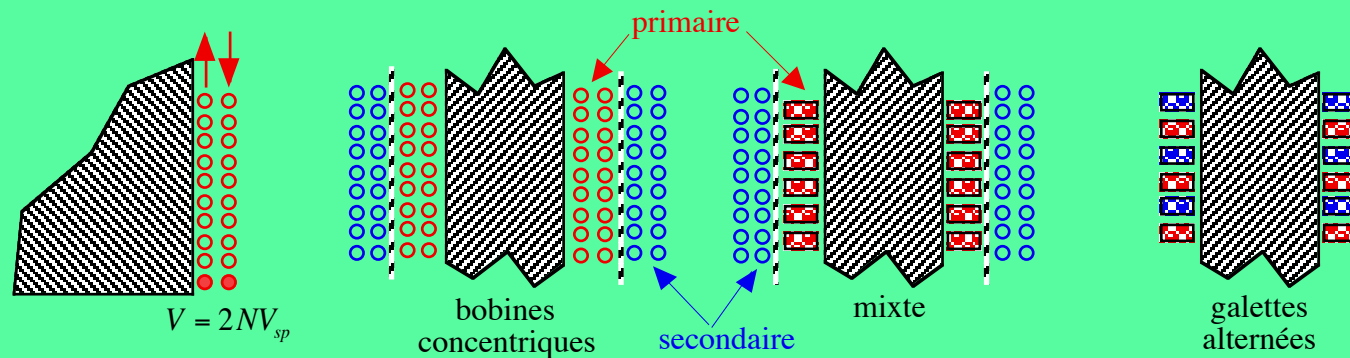


Possible si les puissances ne sont pas trop éloignées

Transformateur monophasé Aspects technologiques

Circuit magnétique : - isolation galvanique des tôles entre elles
- utiliser des tôles qui minimisent les pertes fer (tôles au Si à cristaux orientés)
- limiter les entrefers parasites
(précision des découpes et des empilages, bon serrage des tôles entre elles).

Bobinages : Selon les tensions mises en œuvre, plusieurs techniques sont utilisées pour garantir l'isolation des bobines entre elles et avec les masses.



Refroidissement : A l'air libre ou en cuve, convection naturelle ou forcée avec simples ventilateurs ou circuit d'huile sous pression.