

### Intérêt

La production de l'énergie électrique et son transport se fait généralement en triphasé

- Le transport de l'énergie en haute tension est plus économique d'où la nécessité d'employer des transformateurs élévateurs à la sortie de centrale de production
- et abaisseur tout proche des centres de consommation. En effet pour modifier la tension d'un système triphasé on peut choisir d'utiliser :

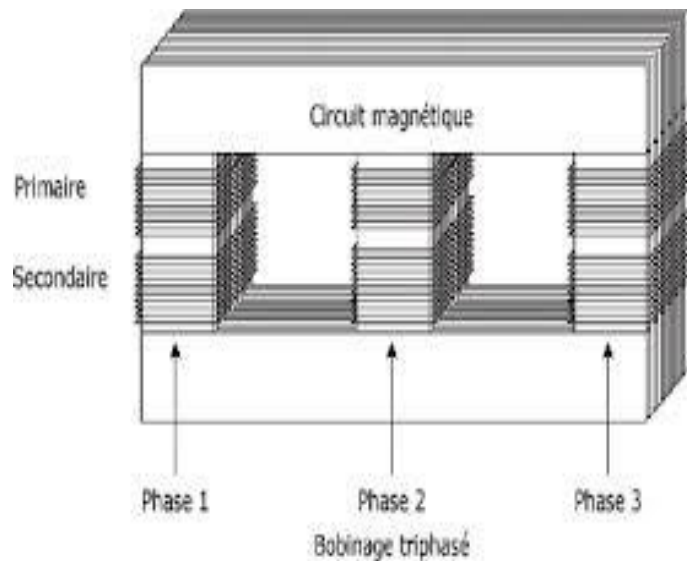


## Constitution du transformateur triphasé

Le circuit magnétique est formé de trois noyaux fermés par 2 culasses. Il est fabriqué en tôles Magnétiques feuilletées .chaque noyau porte :

- Un enroulement primaire
- Un ou plusieurs enroulements secondaires

### Transformateur triphasé à flux forcé



## GRANDEURS CARACTÉRISTIQUES D'UN TRANSFORMATEUR TRIPHASÉ

La plaque signalétique d'un transformateur triphasé porte, comme en monophasé, les valeurs nominales :

- de la puissance apparente nominale  $S_n$  ;
- des tensions primaires et secondaires composées, c'est à dire entre fils de ligne ; si le mode de connexion des enroulements n'est pas fixé on indiquera les valeurs nominales des tensions correspondant à chaque couplage possible. Exemple : Si une plaque porte :  $380V / 220V$  ,  $S_n = 4000VA$  ;  $50Hz$

Cela signifie que les enroulements sont prévus pour travailler sous les tensions normales suivantes :

Primaire : étoile  $U_{1n} = 400V$  ou triangle,  $U_{1n} = 230V$

Secondaire : étoile,  $U_{2n} = 230V$  ou triangle  $U_{2n} = 133V$

Au primaire :  $I_{1n} = \frac{S_n}{\sqrt{3}U_{1n}}$

Au secondaire :  $I_{2n} = \frac{S_n}{\sqrt{3}U_{2n}}$

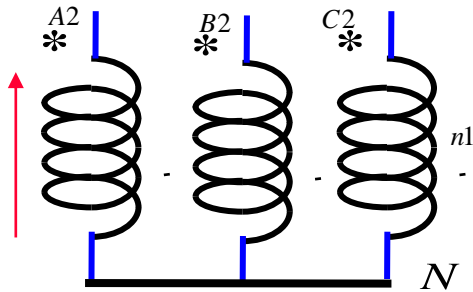
Rapport de transformation

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

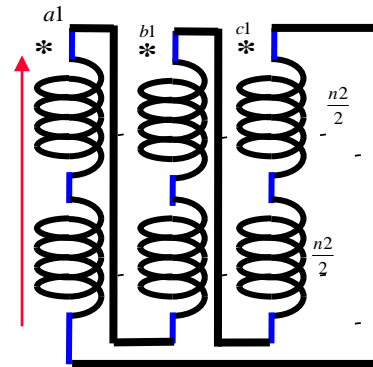
## 2- GROUPES DE COUPLAGE

Comme tout système triphasé, les enroulements primaires et secondaires peuvent être couplés en étoile ou en triangle

couplage étoile



couplage triangle



### Choix du couplage

Le choix du couplage repose sur plusieurs critères :

- La charge nécessite la présence du neutre. Le secondaire doit être connecté en étoile
- Le fonctionnement est déséquilibré. Le secondaire doit être couplé en zigzag
- Pour les forts courants, on préfère le couplage triangle

## Remarque

On convient de repérer les bornes comme suit :

le **primaire** est désigné par une lettre **Majuscule**

le **secondaire** par une lettre **minuscule**

- Y : couplage étoile primaire ;
- y : couplage étoile secondaire ;
- D : couplage triangle primaire ;
- d : couplage triangle secondaire ;

On obtient ainsi 6 couplages possibles entre primaire et secondaire :

Y-y : étoile –étoile

Y-d : étoile-triangle

Y-z : étoile-zigzag

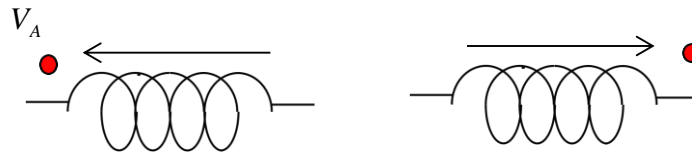
D-y : triangle- étoile

D-d : triangle –triangle

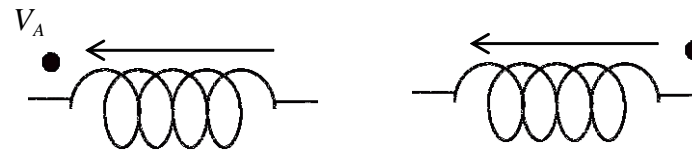
D-z: triangle-zigzag

### 3- INDICE HORAIRE

Tensions homologues en phase



Tensions homologues en opposition de phase



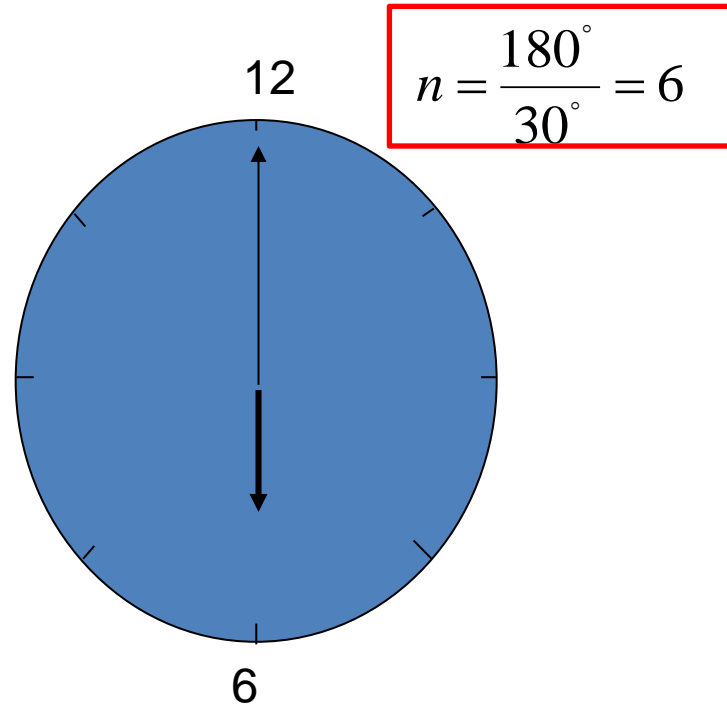
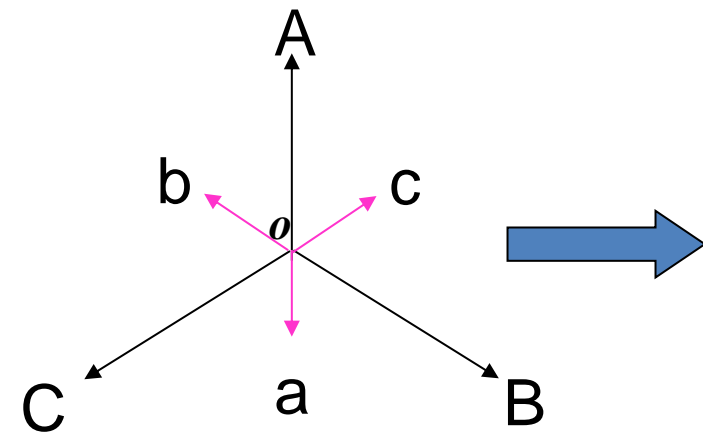
### 3- INDICE HORAIRE

L'indice horaire indique le déphasage entre tension simple primaire et tension simple secondaire

L'indice horaire est défini comme

$$n = \frac{\theta}{30^\circ}$$

Si  $\vec{OA}$  est la grande aiguille (minutes) d'une montre,  $\vec{Oa}$  à la petite aiguille (heures) de cette montre, ici la montre affiche 6 heures, d'où  $Y_{y_6}$ .



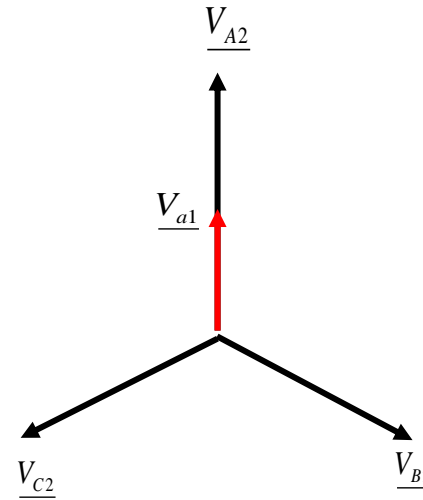
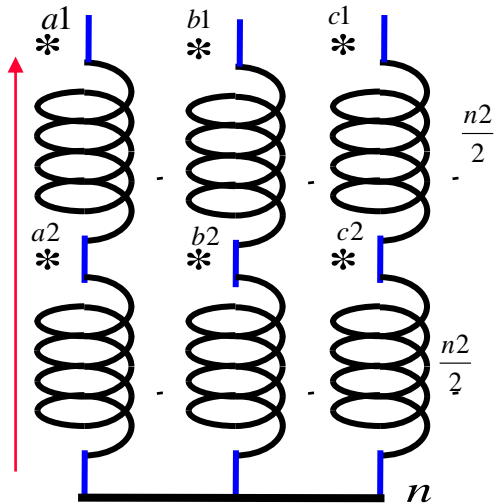
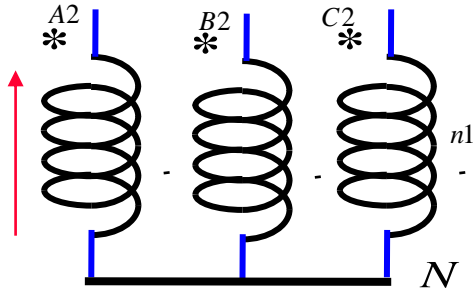
La tension secondaire  $V_a$  est en retard d'un angle  $\theta$  sur la tension primaire  $V_A$ , et on écrit:

$$\overline{V}_a = m e^{-j\pi} \overline{V}_A$$

## EXEMPLE

Les couplages les plus fréquemment rencontrés sont les suivants :

$Yy_0$



$$\frac{V_{a1}}{n_2} = \frac{1}{n_1} (\underline{V}_{A2})^* e^{-j0^\circ}$$

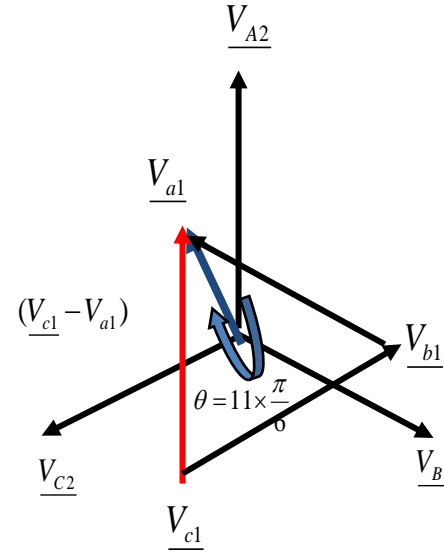
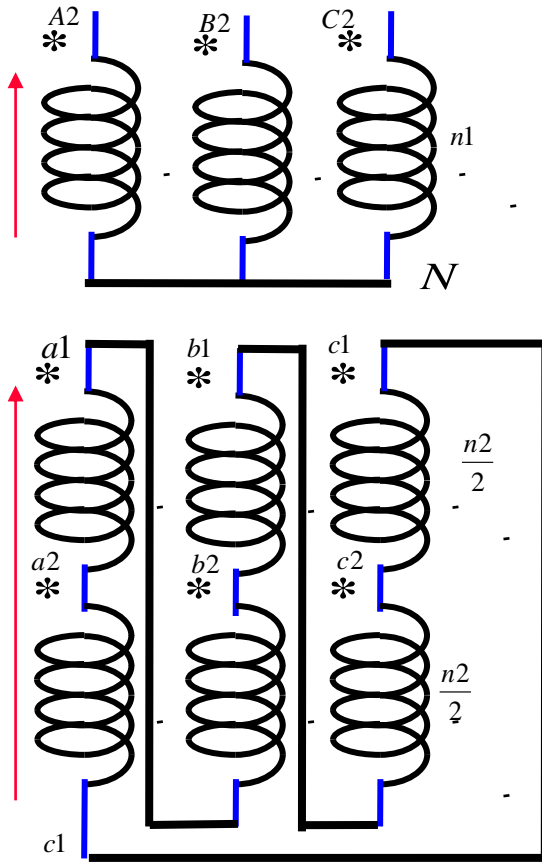
$$\underline{V}_{a1} = \frac{n_2}{n_1} * \underline{V}_{A2} * e^{-j0^\circ}$$

$$\frac{V_{a1}}{V_{A2}} = \frac{n_2}{n_1} e^{-j0^\circ} = m e^{-j\theta}$$

$$m = \frac{n_2}{n_1}$$

$$\theta = 0^\circ$$

$Yd_{11}$



$$\frac{(V_{c1} - V_{a1})}{n_2} = \frac{1}{n_1} (V_{A2})^* e^{-j0}$$

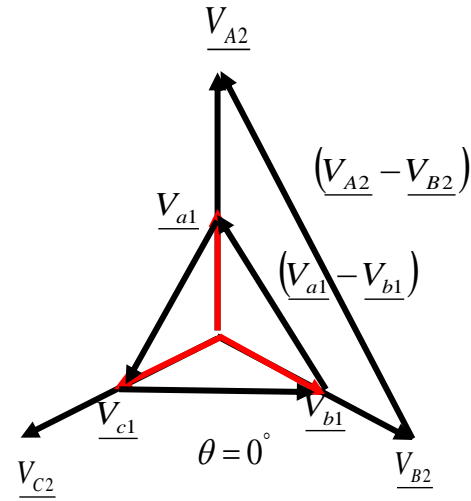
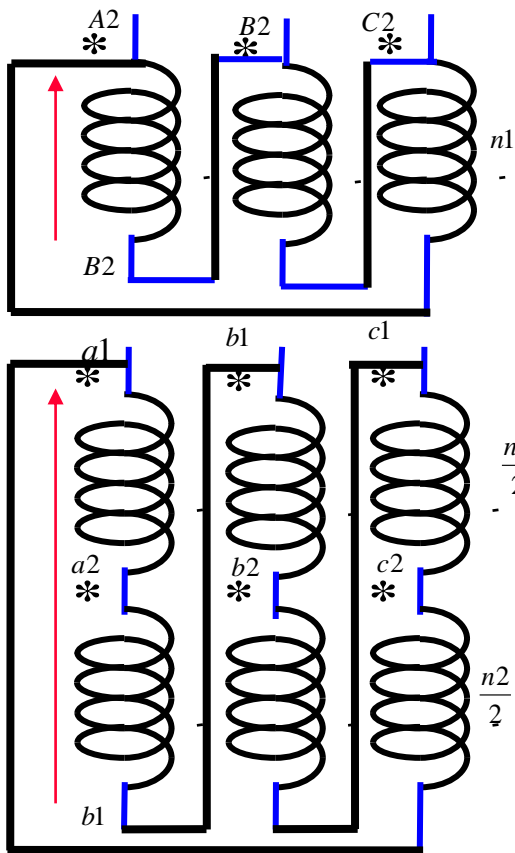
$$\sqrt{3} V_{a1} = \frac{n_2}{n_1} * V_{A2} * e^{-j11\frac{\pi}{6}}$$

$$\frac{V_{a1}}{V_{A2}} = \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{n_2}{n_1} e^{-j11\frac{\pi}{6}} = m e^{-j\theta}$$

$$m = \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{n_2}{n_1}$$

$$\theta = 11 * \frac{\pi}{6}$$

$Dd_0$



$$\frac{(V_{a1} - V_{b1})}{n_2} = \frac{1}{n_1} (V_{A2} - V_{B2}) * e^{-j0^\circ}$$

$$\sqrt{3} V_{a1} = \frac{n_2}{n_1} * \sqrt{3} V_{A2} * e^{-j0^\circ}$$

$$\frac{V_{a1}}{V_{A2}} = \frac{n_2}{n_1} e^{-j0^\circ} = m e^{-j\theta}$$

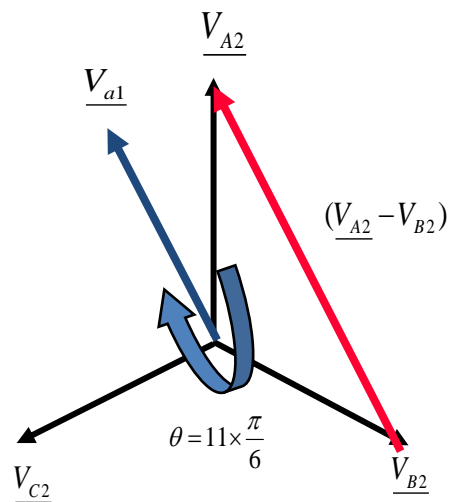
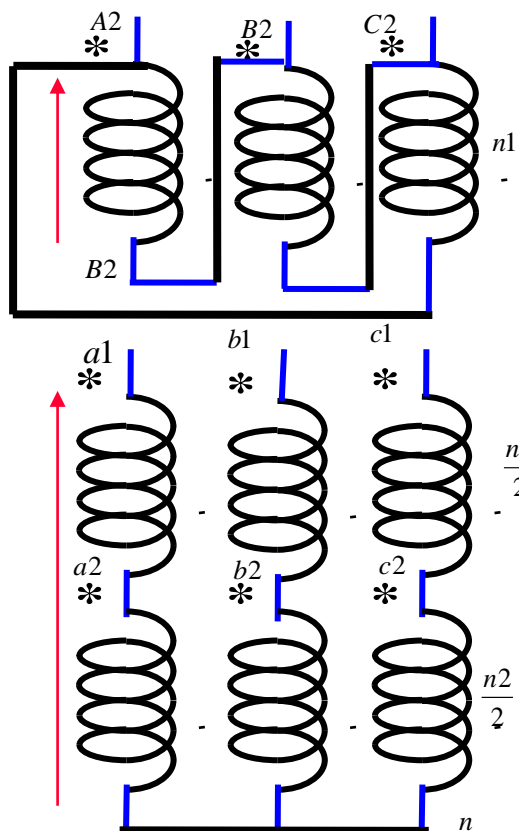
$$m = \frac{n_2}{n_1}$$

$$\theta = 0^\circ$$

Exercice 1.6 : Déterminez le rapport de transformation et l'indice horaire du transformateur ci-dessous (Figure 4). Donnez son appellation.

### Exercice 1.6

$Dy_{11}$



$$\frac{V_{a1}}{n_2} = \frac{1}{n_1} (V_{A2} - V_{B2}) * e^{j0}$$

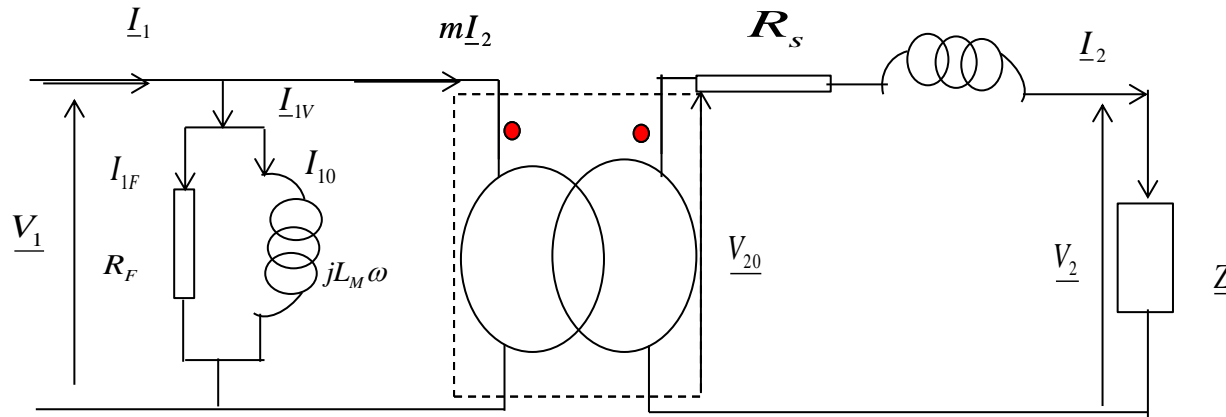
$$V_{a1} = \frac{n_2}{n_1} \sqrt{3} * V_{A2} * e^{-j11\frac{\pi}{6}}$$

$$\frac{V_{a1}}{V_{A2}} = \frac{n_2}{n_1} \sqrt{3} e^{-j11\frac{\pi}{6}} = m e^{-j\theta}$$

$$m = \sqrt{3} \frac{n_2}{n_1}$$

$$\theta = 11 * \frac{\pi}{6}$$

## Schéma équivalent du transformateur monophasé



$$m = \frac{U_{20}}{U_1} \quad R_F = \frac{U_1^2}{P_{1V}} \quad L_M \omega = \frac{U_1^2}{Q_{1V}} \quad Q_{1V} = \sqrt{S_{1V}^2 - P_{1V}^2} \quad S_{1V} = \sqrt{3} U_1 I_{1V}$$

$$R_s = \frac{P_{cc}}{3 \times I_{2cc}^2} \quad l_s \omega = \frac{Q_{cc}}{3 \times I_{2cc}^2} \quad Q_{cc} = \sqrt{S_{1cc}^2 - P_{cc}^2} \quad S_{1cc} = \sqrt{3} U_{1cc} I_{1cc}$$

La chute de tension

$$\Delta U_2 = \sqrt{3} (R_s I_2 \cos \varphi_2 + l_s \omega I_2 \sin \varphi_2)$$

Le rendement

$$\eta = \frac{P_{sortie}}{P_{entrée}} = \frac{\sqrt{3} U_2 I_2 \cos \varphi_2}{\sqrt{3} U_2 I_2 \cos \varphi_2 + P_{1v} + 3 \times R_s \times I_{2cc}^2}$$

## Questions de cours

Q1. La désignation des couplages s'effectue par un groupe de deux lettres et un nombre. Lesquelles ?

R1. La première lettre en majuscule indique le côté PRIMAIRE.  
La deuxième lettre en minuscule indique le SECONDAIRE.  
Le chiffre indique l'indice du couplage.

Q2. Soit un transformateur Exemple :  $Dy_5$ , Donner la signification de chacune des lettres et chiffre.

R2. Couplage primaire en triangle, couplage secondaire en étoile, déphasage  $5 \times 30 = 150^\circ$ , donc indice 5.

Q3. Indiquer les conditions pour la mise en parallèle de transformateurs

R3. Des couplages avec des indices horaires compatibles (notion de groupe)  
Des tensions de court-circuit égales à 10% près  
Une différence des tensions secondaires inférieure à 0.4 %.

**Exercice 2.6.** Un transformateur triphasé présente les caractéristiques nominales suivantes :

50 Hz ; 20000V/400 V ; 150000 VA. Deux essais réalisés sur ce transformateur ont donné :

A vide:  $U_1=20000V$ ;  $I_{10}=0,43 A$ ;  $P_{1V} = 2000 W$ ;  $U_{20} = 420 V$

En court-circuit:  $U_{1cc}=1000V$ ;  $I_{2cc}=206A$ ;  $P_{cc}=1500W$

Dessinez le schéma équivalent monophasé du transformateur avec l'hypothèse de Kapp en donnant les

valeurs de :  $m = \frac{U_{20}}{U_1}$ ;  $R_F = \frac{U_1^2}{P_{1V}}$ ;  $L_M \omega = \frac{U_1^2}{Q_{1V}}$ ;  $R_s = \frac{P_{cc}}{3 \times I_{2cc}^2}$ ;  $l_s \omega = \frac{Q_{cc}}{3 \times I_{2cc}^2}$ . Le transformateur

alimente une charge triphasée équilibrée. On relève au secondaire :  $P_2 = 12600W$ ;  $I_2 = 196A$

Calculez la puissance active au primaire  $P_1$  ainsi que le rendement  $\eta$  du transformateur pour ce point de fonctionnement.

### Exercice 2.6.

$$m = \frac{U_{20}}{U_1} = 0,021 \quad R_F = \frac{U_1^2}{P_{1V}} = 200k\Omega \quad L_M \omega = \frac{U_1^2}{Q_{1V}} \cong 27k\Omega$$

$$R_s = \frac{P_{cc}}{3 \times I_{2cc}^2} = 11,7m\Omega \quad l_s \omega = \frac{Q_{cc}}{3 \times I_{2cc}^2} = 57,6m\Omega$$

$$P_1 = P_2 + P_{1V} + 3 \times R_s \times I_2^2 = 129,948kW$$

$$\eta = \frac{\sqrt{3}U_2 I_2 \cos \varphi_2}{\sqrt{3}U_2 I_2 \cos \varphi_2 + P_{1V} + 3 \times R_s \times I_{2cc}^2} = 0,79$$

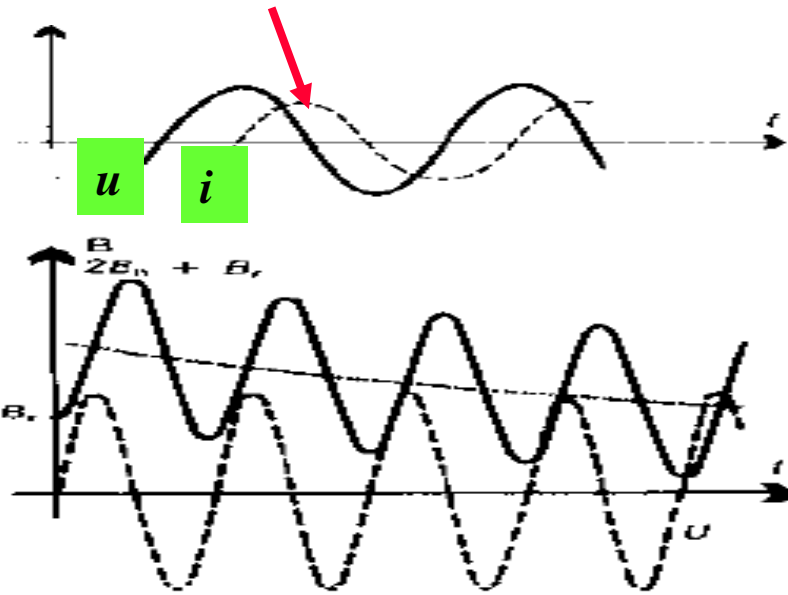
**Transformateur triphasé 250 MVA, 735 kV**



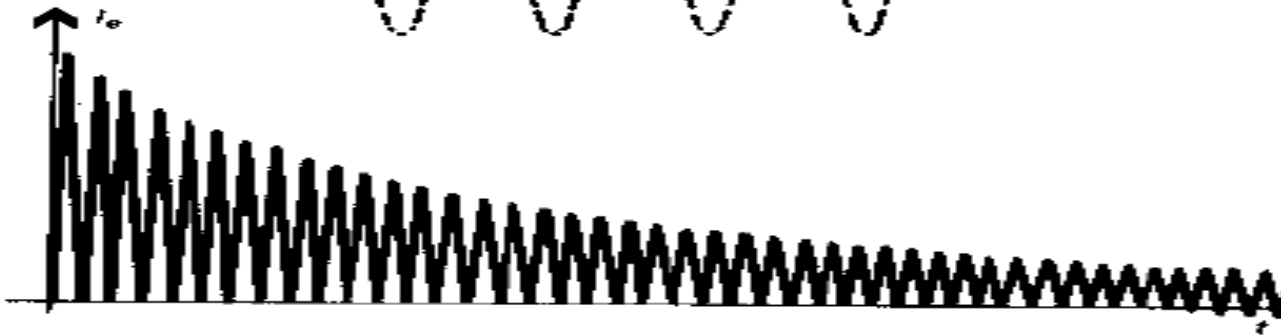
***Transformateur triphasé 450 MVA, 380 kV***



Le cas le plus défavorable est  
l'enclenchement sous tension nulle



La forme de ce courant  
résulte de la courbe du flux  
magnétique à partir des  
valeurs de la tension  
appliquée.



**FIN**