

## Travaux Dirigés En Circuits et Syst. Elect.

### Série V: Transformateur Monophasé

#### EXERCICE N°1:

Un transformateur monophasé de 3kVA est alimenté sous 400V-50Hz. Le secondaire comporte 316 spires et produit une tension de 230V. Calculer :

- Q.1. Le nombre de spires du primaire.
- Q.2. L'intensité des courants primaire et secondaire.

#### EXERCICE N°2:

On effectue un essai en court-circuit sur un transformateur réel.

- Q.1. Donner le schéma équivalent électrique de fonctionnement du transformateur au secondaire.
- Q.2. Pourquoi la tension primaire est-elle réduite ?
- Q.3. Ecrire la relation entre  $R_s$ ,  $X_s$  et la tension primaire  $V_{1cc}$  et le courant de court-circuit secondaire  $I_{2cc}$ .
- Q.4. Exprimer la puissance active dissipée en fonction de  $R_s$  et du courant de court-circuit secondaire  $I_{2cc}$ .
- Q.5. En déduire la méthode de mesure donnant  $R_s$  et  $X_s$ .

#### EXERCICE N°3:

Les essais d'un transformateur monophasé ont donné les résultats suivants. On se place dans l'hypothèse de Kapp (c.à d. que l'on néglige le courant magnétisant).

Essai à vide :  $U_{10} = 10 \text{ kV}$  et  $U_{20} = 230 \text{ V}$

Essai en court-circuit :  $U_{1cc} = 600 \text{ V}$ ,  $I_{2cc} = 500 \text{ A}$ ,  $P_{1cc} = 1750 \text{ W}$

- Q.1. Déterminer les valeurs des éléments du schéma équivalent du transformateur ainsi que le rapport de transformation
- Q.2. Quelle est la valeur efficace de la tension secondaire lorsque ce secondaire débite un courant d'intensité  $I_2 = 400 \text{ A}$  dans un circuit inductif dont le facteur de puissance est  $\cos \varphi = 0,8$  ? On supposera que le primaire est alimenté sous une tension  $U_1 = 10 \text{ kV}$ .

#### EXERCICE N°4:

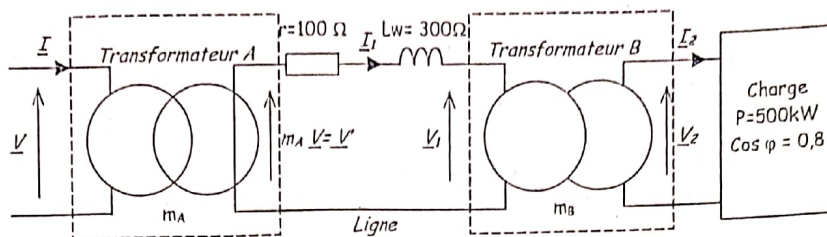
Un transformateur monophasé porte les indications suivantes sur sa plaque signalétique :

$S_n = 2 \text{ 200VA}$ , rendement 95%, Primaire  $V_{1n} = 220\text{V}$ , Secondaire  $V_{2n} = 127\text{V}$

- Q.1. Calculer le courant primaire nominal :  $I_{1n}$
- Q.2. Calculer le courant secondaire nominal :  $I_{2n}$
- Q.3. Le rendement est précisé pour une charge absorbant le courant nominal sous tension secondaire nominale et présentant un facteur de puissance  $\cos \varphi = 0,8$ . Calculer la valeur des pertes dans le transformateur dans ces conditions.
- Q.4. Représenter un schéma équivalent ramené au secondaire du transformateur en faisant apparaître les éléments classiques exposés dans le cours.
- Q.5. En supposant qu'au régime nominal les pertes sont uniformément réparties entre pertes fer et pertes Joules, calculer alors la valeur de tous les éléments résistifs du schéma.
- Q.6. La tension secondaire à vide de ce transformateur vaut  $V_0 = 133\text{V}$ . Calculer alors le rapport de transformation :  $m$ . En utilisant la formule simplifiée donnant la chute de tension  $\Delta V_2 = V_0 - V_2$  au point nominal, calculer la valeur de l'inductance de fuite ramenée au secondaire du transformateur.
- Q.7. En utilisant toujours la formule de la question 6, calculer la valeur de la tension secondaire correspondant à une charge absorbant la moitié du courant secondaire nominal, toujours avec un  $\cos \varphi = 0,8 \text{ AR}$ .
- Q.8. Calculer alors le rendement du transformateur lorsqu'il débite sur une charge absorbant la moitié du courant nominal, toujours avec un  $\cos \varphi = 0,8$ .

### EXERCIE N°5:

Un ensemble de distribution d'énergie électrique sous tension sinusoïdale à 50Hz est représenté en schéma monophasé équivalent, sur la figure ci-dessous. Les transformateurs représentés sont considérés comme parfaits et les rapports de transformations connus :  $m_B = 2.10^{-3}$  et  $m_A = 100$ .



Les éléments d'imperfection des transformateurs et de la ligne sont ramenés à la résistance  $r$  et à l'inductance  $l$ . La charge consomme, par phase, une puissance de 500 kW sous 230 V et avec un facteur de puissance  $\cos \phi = 0,8$ .

Q.1. Calculer la valeur du courant  $I_2$ .

Q.2. En déduire la valeur du courant  $I_1$  et calculer la valeur de  $V_1$ .

Q.3. Représenter un diagramme de Fresnel faisant apparaître toutes les grandeurs de la maille centrale.

Q.4. Calculer alors la valeur de la tension  $V'$  en faisant une hypothèse de colinéarité des tensions  $V_1$  et  $V'$ .

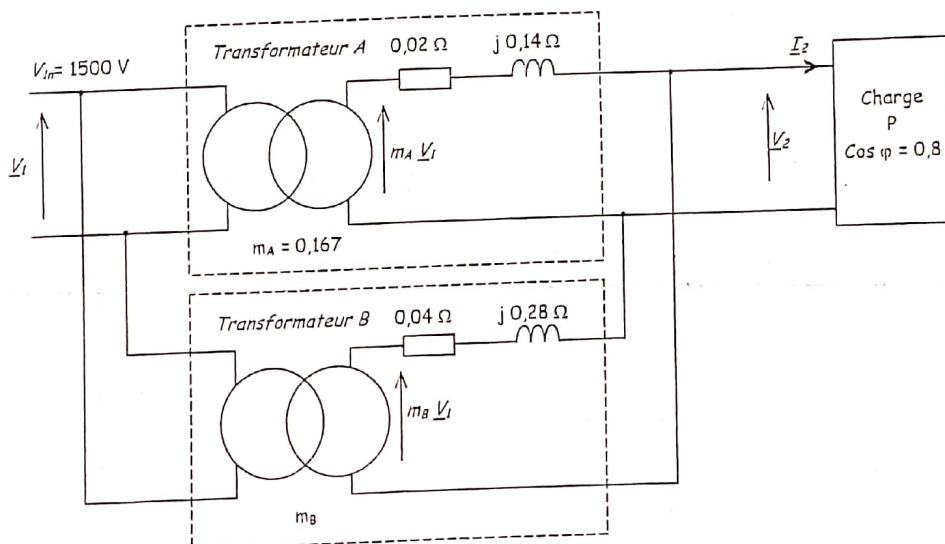
Q.5. En déduire la valeur de la tension  $V$  nécessaire à assurer 230 V en bout de ligne.

Q.6. Reprendre les deux dernières questions en faisant un bilan de puissances actives et réactives.

Conclure sur l'hypothèse faite à la question 4.

### EXERCIE N°6:

Afin d'alimenter une charge demandant plus de puissance que ne peut en fournir un transformateur A, on associe à celui-ci un transformateur B en parallèle. Le schéma de la figure ci-dessous fait apparaître cette mise en parallèle ainsi que les éléments d'imperfections des deux transformateurs (les éléments correspondants au fonctionnement à vide ne sont pas pris en compte dans cet exercice)



On notera que les deux transformateurs présentent les puissances apparentes nominales suivantes :  $S_{An} = 24 \text{ kVA}$  et  $S_{Bn} = 12 \text{ kVA}$ .



Q.1. Quelle relation doit exister entre les rapports de transformation  $m_A$  et  $m_B$  pour qu'aucun transformateur ne débite de courant à vide, c'est-à-dire lorsque la charge n'est pas présente sur cette installation ?

Q.2. Calculer les courants primaires nominaux  $I_{A1n}$  et  $I_{B1n}$ .

Q.3. En déduire les courants secondaires nominaux  $I_{A2n}$  et  $I_{B2n}$ .

Q.4. Calculer alors la tension secondaire nominale  $V_{2n}$  de chaque transformateur en utilisant la formule classique donnant la chute de tension secondaire. Commenter ce résultat. Que se passerait-il si ces deux résultats n'étaient pas identiques.

Q.5. Calculer la valeur du courant total secondaire  $I_{2n}$  que présente cette installation. Calculer alors la puissance apparente nominale de cette association de transformateurs.

Q.6. Calculer le rendement du système sur une charge absorbant le courant nominal avec un facteur de puissance de 0.8.

Q.7. Calculer la valeur du courant débité par chaque transformateur pour un courant  $I_2 = I_{2n}/2$ .

#### EXERCICE N°7:

Soit un transformateur monophasé 20KVA ; 2400 V/240V ; 50Hz. Les paramètres de transformateur sont:

-Résistance primaire  $r_1=2,7\Omega$

-Réactance primaire  $x_1=5\Omega$

-Résistance secondaire  $r_2=0,027\Omega$

-Réactance secondaire  $x_2=0,05\Omega$

- Résistance de circuit magnétique  $R_m=3800\Omega$

- Réactance de circuit magnétique  $X_m=27000\Omega$

Q.1. Calculer le facteur de puissance à vide ainsi que le courant absorbé  $I_0$ .

Q.2. Sachant que la tension secondaire  $V_{20}=248V$ .

a. Déterminer le rapport de transformation  $m$ .

b. Calculer la résistance ramenée au secondaire  $R_s$  ainsi que la réactance ramenée au secondaire  $X_s$ .

Q.3. Une charge inductive est connectée au secondaire avec un facteur de puissance  $\cos \varphi = 0.8$ . Au primaire on mesure une tension  $V_1=2400V$  ;  $I_1=8.33A$  et une puissance  $P_1=16930W$

a. Déterminer la tension aux bornes de la charge  $V_2$ .

b. En déduire dans ce cas le rendement du transformateur.

c. Calculer les valeurs de  $R$  et  $L$  de la charge.

Q.4. Un condensateur  $C$  est placé en parallèle pour augmenter le facteur de puissance à 1

a. Calculer les nouvelles valeurs de  $V_2$  et  $I_2$ .

b. Déterminer le rendement dans ce cas.

#### EXERCICE N°9:

Sur un transformateur monophasé, on a effectué les essais suivants:

A vide :  $U_{10} = U_{1n} = 220 V$ , 50 Hz ;  $U_{20} = 44 V$  ;  $P_0 = 80 W$  ;  $I_0 = 1 A$ .

En court-circuit :  $U_{1cc} = 40 V$  ;  $P_{1cc} = 250 W$  ;  $I_{2cc} = 100 A$  (courant nominal secondaire).

Q.1. Calculer le rapport de transformation à vide  $m$  et déduire le nombre de spires au secondaire  $N_2$ , si  $N_1=500$  spires.

Q.2. Déterminer le facteur de puissance à vide, la résistance  $R_m$  et la réactance  $X_m$

Q.3. Représenter le schéma équivalent du transformateur en court-circuit vu du secondaire. En déduire les valeurs  $R_s$  et  $X_s$  caractérisant l'impédance interne.

Q.4. Pour quel courant du secondaire, le rendement du transformateur est maximal.

Q.5. Le transformateur alimente une charge constituée par une résistance  $R$  en série avec une inductance  $L$  ayant un facteur de puissance 0.8.

a. Calculer la tension aux bornes de la charge (on suppose que le rendement est maximal).

b. En déduire ce rendement est maximal.

c. Déterminer les valeurs de  $R$  et  $L$ .

### EXERCIE N°10:

Une série de mesures sur un transformateur monophasé a permis d'établir les caractéristiques suivantes : Tensions à vide :  $U_{1n}=21\text{KV}$  ;  $U_{20}=380\text{V}$

Impédances : -primaire :  $r_1=61\Omega$  ;  $x_1=141\Omega$  -secondaire :  $r_2=0,02\Omega$  ;  $x_2=0,04\Omega$

La puissance nominale, indiquée sur la plaque signalétique est :  $S_n=76\text{KVA}$

Le transformateur, alimenté au primaire sous tension de  $21\text{KV}$ - $50\text{Hz}$ , débite un courant nominal au secondaire avec un facteur de puissance  $\cos \varphi = 0,8$ .

Q.1. Déterminer les valeurs des éléments du schéma équivalent du transformateur ainsi que le rapport de transformation.

Q.2. Déterminer la chute de tension  $\Delta V_2$  et la tension en charge  $V_2$  du transformateur

Q.3.a. Les bornes de sortie du secondaire sont mises en court-circuit franc, calculer le courant de court-circuit  $I_{2cc}$ .

b. A quelle valeur  $U_{1cc}$  faut-il réduire la tension primaire pour limiter en court-circuit, le courant circulant au secondaire à la valeur  $I_{2cc}=I_{2n}$ .

Q.4. Calculer la valeur de  $P_{1cc}$ .

### EXERCIE N°11:

Etude du transformateur, alimentation  $25\text{ kV}$ , monophasée,  $50\text{ Hz}$  (figure 1).

Le primaire est alimenté à partir du réseau  $25\text{ kV}$ ,  $50\text{ Hz}$ , et le secondaire est constitué de quatre enroulements considérés comme identiques, débitant le même courant dans des charges identiques.

Sa puissance apparente totale est de  $5,76\text{ MVA}$ .

Des essais ont donné les résultats suivants :

Essai vide :  $U_{10} = U_{1n} = 25,0\text{ kV}$  ;  $U_{20} = 1,60\text{ kV}$  (par enroulement)

Essai en court-circuit, les enroulements secondaires sont tous en court-circuit :

$U_{1cc}$  vaut  $37\%$  de  $U_{1n}$ ,  $I_{2cc} = 900\text{ A}$  (par enroulement),  $P_{1cc} = 120\text{ kW}$ .

On néglige le courant primaire absorbé à vide.

Q.1. Quelle est la valeur de  $m$ , rapport de transformation par enroulement ?

Q.2. Quelle est l'intensité du courant nominal  $I_{2n}$  pour un enroulement secondaire ?

Le schéma équivalent vu de chaque enroulement secondaire est donné figure 2 :

Q.3.  $P_{1cc}$  représente la puissance totale absorbée au primaire lorsque les quatre secondaires sont en court-circuit. Donner l'expression de  $P_{1cc}$ , en fonction de  $R_s$  et de  $I_{2cc}$ , valeur efficace commune aux quatre courants de court-circuit. En déduire la valeur de  $R_s$ .

Q.4. Calculer  $Z_s$ , la valeur de l'impédance ramenée au secondaire pour chaque enroulement et en déduire  $X_s = L_s\omega$  puis  $L_s$ .

Q.5. Que signifient les points sur la figure 1 ? Citer une méthode expérimentale permettant de les repérer.

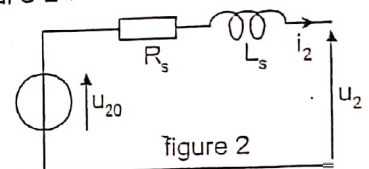
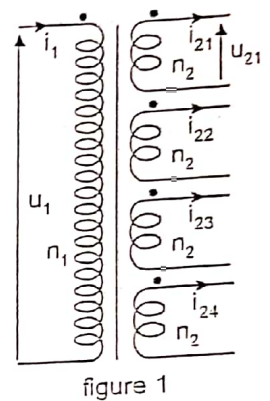
Pour la suite, nous négligerons la résistance  $R_s$  devant  $L_s\omega$  et nous prendrons  $L_s=2,1\text{mH}$  ( $L_s\omega=0,66\Omega$ )

Q.5. Combien valent la valeur efficace  $U_2$  de la tension  $u_2$  et le déphasage  $\delta$  de  $u_2$  par rapport à  $u_{20}$  lorsque les trois conditions suivantes sont réalisées :

- $U_{20}$  vaut  $1,6\text{ kV}$
- $I_{2k} = 689\text{ A}$  ( $k = 1, 2, 3, 4$ )
- le déphasage de  $i_{2k}$  par rapport à  $u_{20}$  est nul.

(On peut utiliser un diagramme de Fresnel représentant les vecteurs associés aux grandeurs étudiées).

Q.5. Que valent alors le courant  $I_1$  et le facteur de puissance au primaire lorsque les grandeurs électriques des quatre enroulements secondaires sont dans les conditions décrites en 6.





# \*\* TD 5 : Transformateur monophasé \*\*

## Exercice n°1:

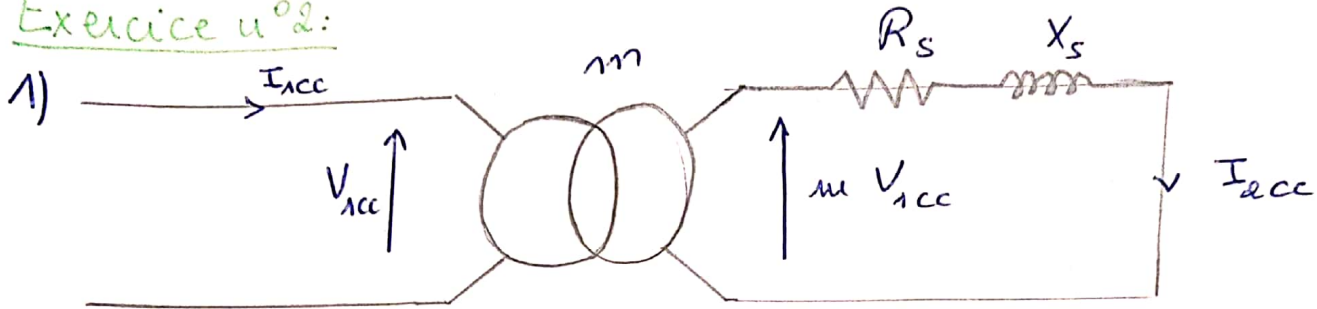
$$1) \frac{N_2}{N_1} = \frac{V_2}{V_1} \Rightarrow N_2 = \frac{N_1 V_2}{V_1} = \frac{316 \times 400}{230} = 182$$

$$2) S = V \cdot I$$

$$\Rightarrow I_1 = \frac{S}{V_1} = \frac{3 \cdot 10^3}{400} = 7,5 \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{S}{V_2} = \frac{3 \cdot 10^3}{316} = 13,04 \text{ A}$$

## Exercice n°2:



2) La tension primaire est réduite pour ne pas dépasser le courant nominale secondaire

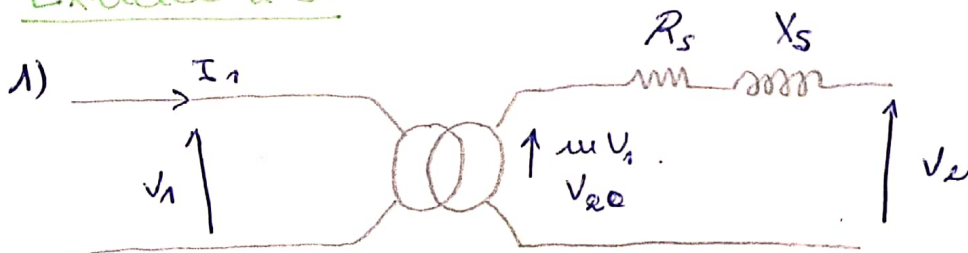
$$3) m V_{1cc} = (R_s + j X_s) I_{2cc}$$

$$4) P_{1cc} = R_s \cdot I_{2cc}^2$$

$$5) Z_s = \frac{m V_{1cc}}{I_{2cc}} \text{ avec } X_s = \sqrt{Z_s^2 - R_s^2}$$

$$X_s = \frac{Q_{1cc}}{I_{1cc}^2} \text{ avec } Q_{1cc} = \sqrt{S_{1cc}^2 - P_{1cc}}$$

## Exercice n°3:



$R_s, X_s, m?$

$$m = \frac{U_{20}}{U_{10}} = \frac{230}{10 \cdot 10^3} = 0,023$$

$$R_s = \frac{P_{acc}}{I_{acc}^2} = \frac{1750}{(500)^2} = 0,007 \Omega$$

$$Z_s = \frac{m V_{acc}}{I_{acc}} = \frac{0,023 \times 600}{500} = 0,0276 \Omega$$

$$X_s = \sqrt{(0,0276)^2 - (0,007)^2} = 0,0267 \Omega$$

2)  $\cos \varphi_2 = 0,8$  ,  $U_1 = 10 \text{ kV}$

$$V_2 = ?$$

$$\Delta V_2 = V_{20} - V_2$$

$$= R_s I_2 \cos(\varphi_2) + X_s I_2 \sin(\varphi_2)$$

$$= 0,007 \times 400 \times 0,8 + 0,0267 \times 400 \times 0,6$$

$$= 8,64 \text{ V}$$

$$V_2 = V_{20} - \Delta V$$

$$= 230 - 8,64$$

$$= 221,36 \text{ V}$$

#### Exercice n°4.

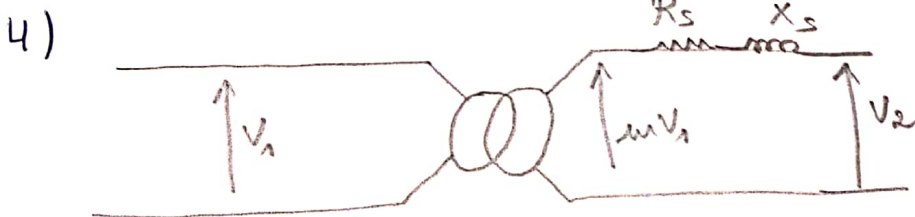
1)  $S_u = V_{1u} \times I_{1u} \Rightarrow I_{1u} = \frac{S_u}{V_{1u}} = \frac{2200}{220} = 10 \text{ A}$

2)  $S_u = V_{2u} \times I_{2u} \Rightarrow I_{2u} = \frac{S_u}{V_{2u}} = \frac{2200}{122} = 17,32 \text{ A}$

3)  $P_2 = S_u \cos(\varphi) = 2200 \times 0,8 = 1760 \text{ W}$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \Rightarrow P_1 = \frac{P_2}{\eta} = \frac{1760}{0,95} = 1852,63 \text{ W}$$

or  $P_1 = P_2 + P_{\text{perte}} \Rightarrow P_{\text{perte}} = P_2 - P_1 = 185,63 - 1760 = 92,63 \text{ W}$



5)  $P_j = P_f = \frac{P_{\text{perte}}}{2} = \frac{92,63}{2} = 46,315 \text{ W}$

$$P_j = R_1 I_1^2 + R_2 I_2^2 = R_p I_1^2 = R_s I_2^2 \Rightarrow R_s = \frac{P_j}{I_2^2} = \frac{46,315}{17,32^2} = 0,15 \Omega$$

$$V_{20} = 133 \text{ V}$$

(3)

$$m = \frac{V_{20}}{V_1} = \frac{133}{220} = 0,6$$

$$\Delta V_2 = V_{02} - V_2 = R_s I_2 \cos(\varphi_2) + X_s I_2 \sin(\varphi_2)$$

$$\Rightarrow X_s = \frac{\Delta V_2 - R_s I_2 \cos(\varphi_2)}{I_2 \sin(\varphi_2)} = \frac{(133 - 127) - 0,15 \times 17,32 \times 0,8}{17,32 \times 0,6}$$

$$X_s = 0,377 \Omega$$

$$\begin{aligned} 4) \quad \Delta V_2 &= V_{02} - V_2 = R_s \frac{I_{2m}}{2} \cos(\varphi_2) + X_s \frac{I_{2m}}{2} \sin(\varphi_2) \\ &= 0,15 \times \frac{17,32}{2} \times 0,8 + 0,377 \times \frac{17,32}{2} \times 0,6 \\ &= 3 \text{ V} \end{aligned}$$

$$V_2 = V_{02} - \Delta V_2 = 133 - 3 = 130 \text{ V}$$

$$8) P_2 = V_2 I_2 \cos(\varphi) = 130 \times \frac{17,32}{2} \times 0,8 = 900,64 \text{ W}$$

$$P_f = 46,315 \text{ W}$$

$$P_J = R_s I_2'^2 = 0,15 \times \left(\frac{17,32}{2}\right)^2 = 11,25 \text{ W}$$

$$P_1 = P_2 + P_f + P_J = 900,64 + 46,315 + 11,25 = 958,205 \text{ W}$$

$$\eta' = \frac{P_2}{P_1} = \frac{900,64}{958,205} = 0,94 \rightarrow 94\%$$

### Exercice n°5:

$$1) P_2 = V_2 I_2 \cos(\varphi_2)$$

$$\Rightarrow I_2 = \frac{P_2}{V_2 \cos(\varphi_2)} = \frac{500 \times 10^3}{230 \times 0,8} = 2717,39 \text{ A}$$

$$2) I_1 = m_B I_2 = 2 \times 10^{-3} \times 2717,39 = 5,43 \text{ A}$$

$$V_1 = \frac{V_2}{m} = \frac{230}{2 \times 10^{-3}} = 115000 \text{ V}$$