

Lycée technique Mohammedia

*Sciences de l'ingénieur*

**Module : A.D.C.**

**Activités**

**Année scolaire : 2015-2016**

Nom : .....

**Classe : 2 STE ....**

Courant alternatif monophasé

Résumé du cours

L'expression instantanée d'une tension alternative sinusoïdale s'écrit :

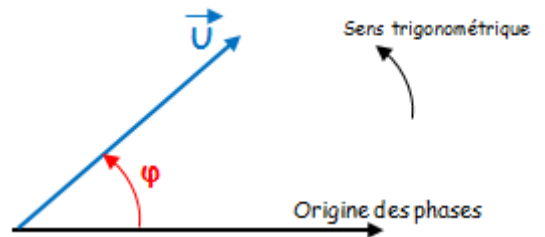
$u(t) = \hat{U} \cdot \sin(\omega t + \varphi) = U\sqrt{2} \sin(\omega t + \varphi)$ . Avec :

- $\hat{U} = U\sqrt{2}$  est la **valeur maximale** ou **amplitude** de  $u$ .
- $U$  est la **valeur efficace** de  $u$ .
- $\omega$  est la **pulsation** ou **vitesse angulaire** en rad/s :  $\omega = 2\pi \cdot f = 2\pi/T$  avec  $f = 1/T$  : **fréquence en Hertz** et  $T$  **période en seconde (s)**.
- $\omega t + \varphi$  est la **phase** à l'instant  $t$  exprimée en radian.
- $\varphi$  est la **phase à l'origine (t=0)**.

Représentation de Fresnel

Toute grandeur sinusoïdale (tension ou courant) sera représentée par un **vecteur de longueur sa valeur efficace** et d'**angle sa phase à l'origine**.

|   |                            |
|---|----------------------------|
| Grandeur sinusoïdale                        | Vecteur de Fresnel associé |
| $u(t) = U\sqrt{2} \sin(\omega t + \varphi)$ | $\vec{U}$                  |
| Valeur efficace : $U$                       | Norme : $\ \vec{U}\  = U$  |
| Phase à l'origine : $\varphi$               | Angle $\varphi$            |



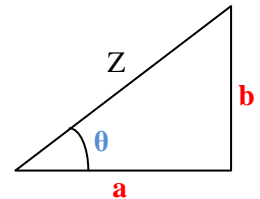
Représentation complexe

À toute grandeur sinusoïdale, on peut associer le nombre complexe noté Z (lettre majuscule soulignée) que l'on peut exprimer :

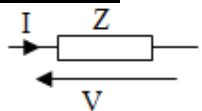
- soit sous la forme algébrique (cartésienne ou rectangulaire) :  $\underline{Z} = a + jb$
- soit sous la forme trigonométrique (ou polaire) :  $\underline{Z} = [Z ; \theta]$

$\underline{Z} = [Z, \theta] = Z \cos \varphi + j Z \sin \varphi$  et  $Z = a + jb = [\sqrt{a^2 + b^2} ; \theta = \arctg(b/a)]$

où :  $Z$  module,  $\theta$  argument,  $a$  partie réelle,  $b$  partie imaginaire



Loi d'ohm



$v(t) = V\sqrt{2} \sin \omega t$

$i(t) = I\sqrt{2} \sin(\omega t - \varphi)$

En valeur efficace :  $V = Z \cdot I$

$Z$  est l'impédance du récepteur en  $\Omega$ , elle dépend de la nature de ce dernier :

| Les Dipôles élémentaires | Relation instantanée | Tension efficace      | Déphasage $\varphi$ |
|--------------------------|----------------------|-----------------------|---------------------|
| Résistance R             | $u = R \cdot i$      | $U = R \cdot I$       | 0                   |
| Inductance L             | $u = L di/dt$        | $U = L\omega \cdot I$ | $\pi/2$             |
| Condensateur C           | $u = C di/dt$        | $U = I/C\omega$       | $-\pi/2$            |

Les puissances :

- Active :  $P = V \cdot I \cdot \cos \varphi$
- Réactive :  $Q = V \cdot I \cdot \sin \varphi$
- Apparente :  $S = \sqrt{P^2 + Q^2} = V \cdot I$

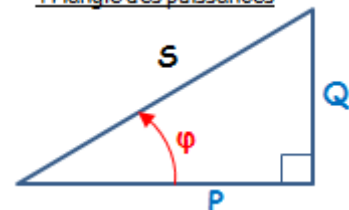
Un facteur de puissance  $\cos \varphi$  faible entraîne :

- une augmentation du courant en ligne donc des pertes,
- une consommation davantage de l'énergie réactive.

Pour relever ce facteur on insère un condensateur C en parallèle avec la charge.

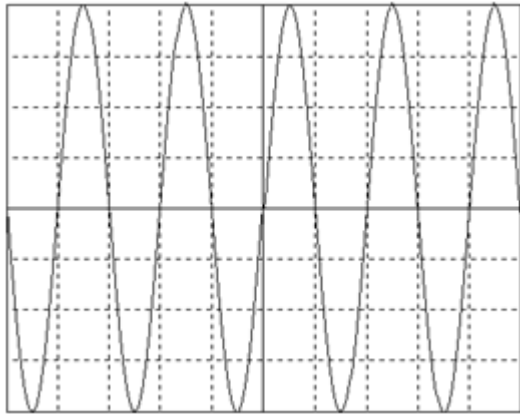
Calcul de C :  $C = P(\tan \varphi - \tan \varphi') / V^2 \omega$

Triangle des puissances



ACTIVITE 1 : TENSIONS ALTERNATIVES

1 V/div 0,5 ms/div



Tension : .....

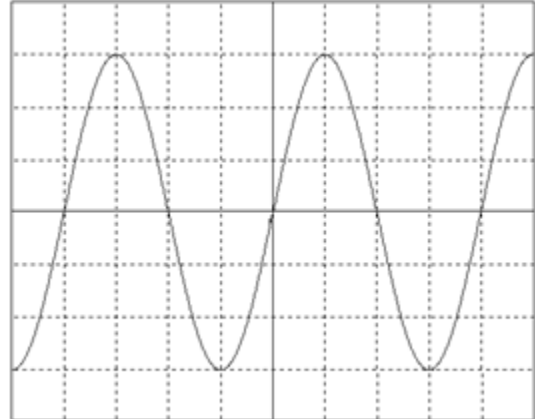
$U_{eff} =$  .....

$T =$  .....

$U_{max} =$  .....

$f =$  .....

2 V/div 10  $\mu$ s/div



Tension .....

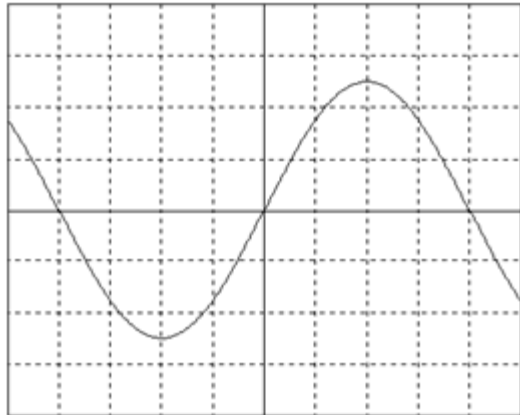
$U =$  .....

$T =$  .....

$U_{max} =$  .....

$f =$  .....

5 V/div 5 ms/div



Tension : .....

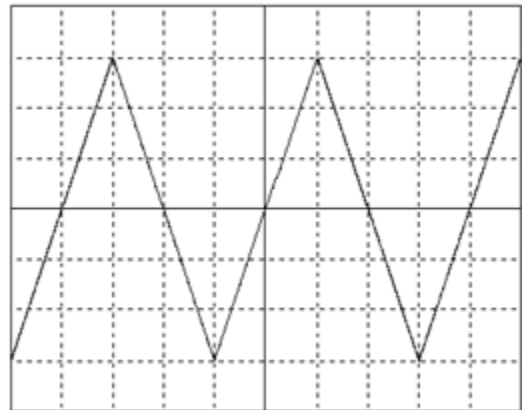
$U =$  .....

$T =$  .....

$U_{max} =$  .....

$f =$  .....

10 mV/div 1 ms/div



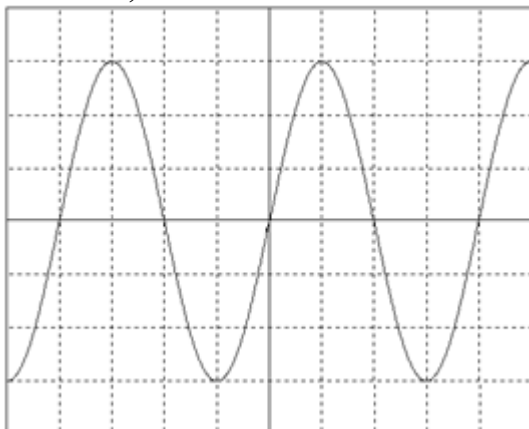
Tension .....

$T =$  .....

$U_{max} =$  .....

$f =$  .....

0,5 V/div 20 ms/div



Tension .....

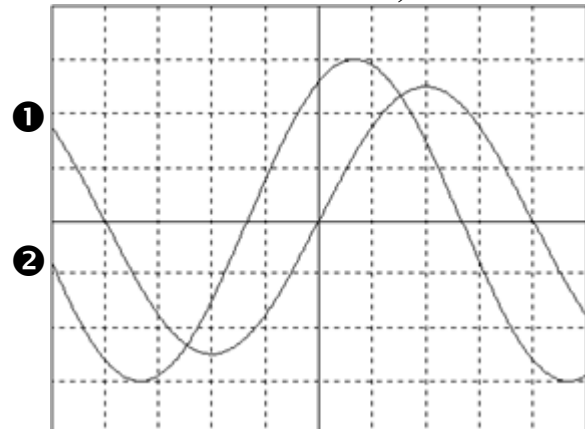
$U_{max} =$  .....

$T =$  .....

$U =$  .....

$f =$  .....

3 V/div 0,2 s/div



1 {  $U =$  .....

1 {  $T =$  .....

$U_{max} =$  .....

$f =$  .....

2 {  $U =$  .....

2 {  $T =$  .....

$U_{max} =$  .....

$f =$  .....

Déphasage  $\varphi =$  .....

**ACTIVITE 2 : REGIME MONOPHASE**

**EXERCICE 1** : Un générateur délivre une tension alternative sinusoïdale de fréquence 50 Hz. Calculer sa période et sa pulsation.

T = .....

$\omega$  = .....

**EXERCICE 2** : Un générateur délivre une tension alternative sinusoïdale de période 4 ms. Calculer sa fréquence et sa pulsation.

f = .....

$\omega$  = .....

**EXERCICE 3**

Pour les intensités sinusoïdales :  $i_1(t) = 2\sqrt{2} \sin(100\pi t + \pi/2)$  et  $i_2(t) = 3\sqrt{2} \sin(100\pi t - \pi/6)$   
Représenter les vecteurs de Fresnel sur un même axe. Echelle : (1 cm pour 0,5 A)

Résultat :

I = .....

$\varphi$  = .....°

-----> Origine des phases

Déduire l'expression de  $i(t) = i_1(t) + i_2(t) = \dots\dots\dots$

**EXERCICE 4** : Soient les deux tensions :  $u_1(t) = 12\sqrt{2} \sin(200\pi t)$  et  $u_2(t) = 8\sqrt{2} \sin(200\pi t + \pi/3)$

En utilisant la représentation de Fresnel, déterminer l'expression de la tension  $u(t) = u_1(t) + u_2(t)$ .

Echelle : (1 cm pour 2 V)

Résultat :

U = .....

$\varphi$  = .....°

-----> Origine des phases

$u(t) = u_1(t) + u_2(t) = \dots\dots\dots$

**EXERCICE 5 :** Soient les deux courants sinusoïdaux :

$$i_1(t) = 5\sqrt{2} \sin(100\pi t) \quad \text{et} \quad i_2(t) = 7\sqrt{2} \sin(100\pi t - \pi/6)$$

Déterminer, en utilisant la construction de Fresnel l'expression de  $i(t) = i_1(t) + i_2(t)$ .

Echelle : (1cm pour 1A)

-----► Origine des phases

*Résultat :*  
 $I = \dots\dots\dots$   
 $\varphi = \dots\dots^\circ$

$i(t) = i_1(t) + i_2(t) = \dots\dots\dots$

**EXERCICE 6 :** Une bobine est vendue avec les caractéristiques suivantes :  $R = 6,8 \Omega$  ;  $L = 0,23 \text{ H}$ .  
 Calculer son impédance  $Z$  si on l'utilise sous une tension alternative sinusoïdale de fréquence 50 Hz.

$Z = \dots\dots\dots$

**EXERCICE 7 :** Au bornes d'une bobine d'inductance  $L = 0,12 \text{ H}$  et de résistance  $R = 12 \Omega$ , on applique une tension de valeur instantanée  $u(t) = 170 \sin(100\pi t)$ .

1) Déterminer pour cette tension :

- a) sa fréquence  $f = \dots\dots\dots$
- b) sa période  $T = \dots\dots\dots$
- c) sa valeur efficace à l'unité près.  $U = \dots\dots\dots$

2) Déterminer (arrondir au centième) :

- a) l'impédance de la bobine  $Z = \dots\dots\dots$
- b) la valeur efficace de l'intensité du courant traversant la bobine  $I = \dots\dots\dots$
- c) le déphasage  $\varphi$  en radians entre la tension et l'intensité du courant.  $\varphi = \dots\dots\dots$

**EXERCICE 8**

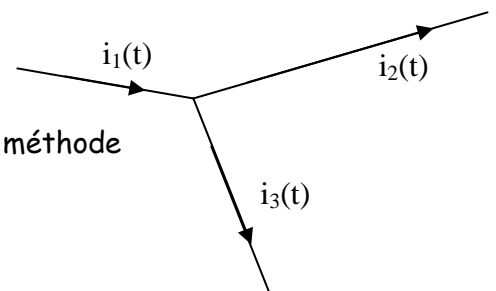
$$i_1(t) = 4\sqrt{2} \sin(\omega t - \pi/3)$$

$$i_2(t) = 2\sqrt{2} \sin(\omega t - 5\pi/6)$$

1/ Déterminer  $i_3(t)$  par la méthode des vecteurs de Fresnel et par la méthode des nombres complexes.

2/ Calculer  $\varphi_{i_1/i_2}$ ,  $\varphi_{i_2/i_3}$  et  $\varphi_{i_1/i_3}$ .

**La méthode des vecteurs de Fresnel. Echelle : (1cm pour 1A)**



-----► Origine des phases

La méthode des nombres complexes.

$\underline{I}_1 = \dots\dots\dots$

$\underline{I}_2 = \dots\dots\dots$

$\underline{I}_3 = \dots\dots\dots$

Soit  $i_3(t) = \dots\dots\dots$

$\varphi_{i_1/i_2} = \dots\dots\dots$ ,  $\varphi_{i_2/i_3} = \dots\dots\dots$  et  $\varphi_{i_1/i_3} = \dots\dots\dots$

**EXERCICE 9 :** On donne  $U = 5 \text{ V}$ ,  $f = 10 \text{ kHz}$ ,  $R = 1 \text{ k}\Omega$  et  $C = 10 \text{ nF}$ .

1/ Calculer  $Z$ ,  $I$ ,  $\varphi$ ,  $U_R$  et  $U_C$ .

$Z = \dots\dots\dots$

$I = \dots\dots\dots$

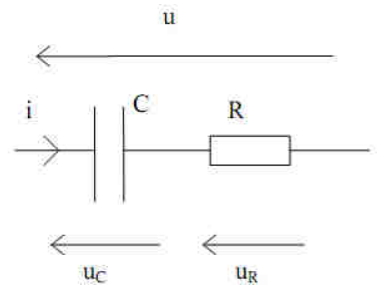
$\varphi = \dots\dots\dots$

$U_R = \dots\dots\dots$

$U_C = \dots\dots\dots$

2/ Comparer  $U$  et  $U_R + U_C$ . Commentaires ?

3/ Pour quelle fréquence a-t-on  $U_C = U_R$  ?



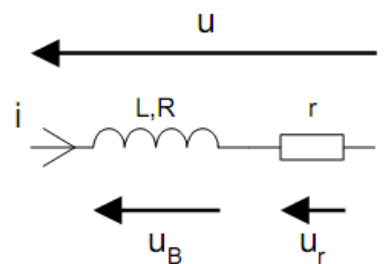
**EXERCICE 10 :** Une bobine réelle est équivalente à une résistance R en série avec une inductance L. On la branche en série avec une résistance  $r = 8 \Omega$ .

On donne :  $f = 50 \text{ Hz}$ ,  $U = 14 \text{ V}$ ,  $U_B = 8 \text{ V}$  et  $U_r = 8 \text{ V}$ .

1/ Calculer I.

2/ Construction de Fresnel :

a) Construire  $\vec{U}_r$ ,  $\vec{U}_B$  et  $\vec{U}$ . Déduire  $\varphi_{u/i}$  et  $\varphi_{uB/i}$ .



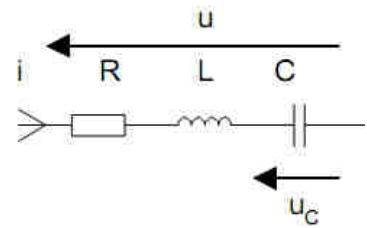
-----> I

b) A partir de  $\vec{U}_B$  construire :  $\vec{U}_R$  et  $\vec{U}_L$   
 En déduire R et L.

**EXERCICE 11 :**

Sachant que :  $R = 440 \Omega$ ,  $C = 1 \text{ nF}/63 \text{ V}$ ,  $L = 100 \text{ mH}$  et  $U = 5 \text{ V}$ .

1/ Déterminer  $Z_{eq}$ .



En déduire  $Z_{eq}$  et  $\phi$  u/i.

2/ Quand u et i sont en phase on dit qu'il y a résonance.  
 Que vaut alors  $Z_{eq}$  ?

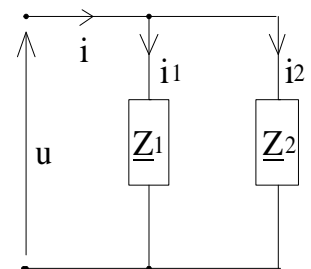
A quelle pulsation  $\omega_0$  a lieu la résonance ?

**ACTIVITE 3 : EXERCICES REGIME MONOPHASE**

**EXERCICE 1 :** Le courant i à une valeur efficace de  $I = 8 \text{ A}$  et il est en avance de  $30^\circ$  par rapport à u. Le courant  $i_1$  à une valeur efficace de  $I_1 = 5 \text{ A}$  et il est en retard de  $45^\circ$  par rapport à u.

1/ Donner la relation entre les courants. Déterminer les vecteurs de Fresnel représentants i et  $i_1$

2/ Placer les vecteurs de Fresnel représentants i et  $i_1$  (1A/cm) sur un diagramme vectoriel et en déduire  $I_2$  et  $\phi_2$ . (valeur efficace et phase d' $i_2$ ).



**EXERCICE 2 :** On relève avec l'oscilloscope la tension aux bornes d'un dipôle (10V/div) et le courant qui le traverse (0,5A/div). Base de temps (1ms/div)

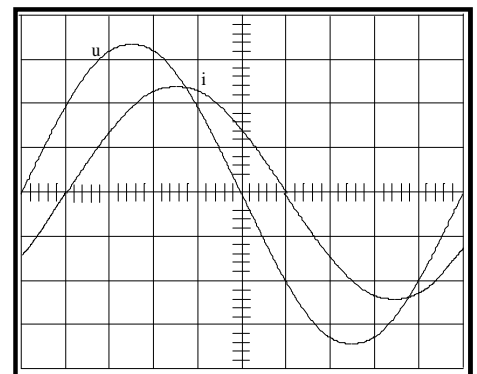
1/ Déterminer les valeurs maximales  $\hat{U}$ ,  $\hat{I}$  et en déduire les valeurs efficaces U et I.

2/ Déterminer le déphasage  $\phi$  entre le courant et la tension. Préciser le sens. Que peut-on dire du circuit ?

3/ Déterminer l'impédance complexe du circuit

4/ Déterminer la période et la fréquence de u et i.

5/ Ecrire les valeurs instantanées de u et i.



**EXERCICE 3 :** Un atelier comporte 2 récepteurs en parallèle. Il est alimenté par le réseau :

$U = 230 \text{ V} - 50 \text{ Hz}$ .

- Récepteur 1 : Moteur inductif de puissance utile  $P_{u1} = 600 \text{ W}$ , de rendement  $\eta_1 = 0,75$  et de facteur de puissance  $\cos \phi_1 = 0,7$ .
- Récepteur 2 : Des lampes absorbant  $P_2 = 500 \text{ W}$ .

1/ Calculer la puissance active, réactive, le courant total et le facteur de puissance de l'ensemble (On présentera les résultats dans un tableau).

2/ Calculer la capacité C du condensateur nécessaire pour relever le facteur de puissance de l'ensemble à  $\cos \phi' = 1$ .

**EXERCICE 4 :** Un atelier comporte 2 récepteurs en parallèle. Il est alimenté par le réseau :  
 $U=230V - 50Hz$ .

- Récepteur 1 : Moteur inductif de puissance utile  $P_{u1} = 600W$ , de rendement  $\eta_1 = 0,75$  et de facteur de puissance  $\cos \varphi_1 = 0,8$ .
- Récepteur 2 : Récepteur capacitif ( $Q < 0$ ) d'impédance  $Z_2 = 110 \Omega$  et de facteur de puissance  $\cos \varphi_2 = 0,9$ .
- Récepteur 3 : Un four électrique absorbant  $P_3 = 0,8 KW$ .

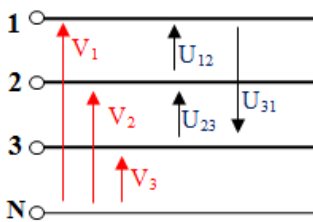
1/ Calculer les puissances active et réactive consommées par l'ensemble et le courant total. (On présentera les résultats dans un tableau).

2/ Calculer la capacité  $C$  du condensateur nécessaire pour relever le facteur de puissance de l'ensemble à  $\cos \varphi' = 1$ .

### Régime triphasé

#### Résumé du cours

##### Réseau triphasé équilibré:



Les tensions  $V_1, V_2$  et  $V_3$  entre phase et neutre sont appelés **tensions simples** :  $V_1=V_2=V_3=V$

Les tensions  $U_{12}, U_{23}$  et  $U_{31}$  entre phases sont appelées **tensions composées** :  $U_{12}=U_{23}=U_{31}=U$

Soit :  $U=\sqrt{3}V$

##### Récepteur triphasé équilibrés :

###### Montage étoile :

$Z=[Z, \varphi]$  ;  $I_1=I_2=I_3=I$  avec  $I=V/Z$

$I_N = 0$ , on peut supprimer le fil neutre.

$P = 3 V I \cos \varphi = \sqrt{3} U I \cos \varphi$ ,

$Q = 3 V I \sin \varphi = \sqrt{3} U I \sin \varphi$ ,

$S = 3 V I = \sqrt{3} U I$ .

###### Montage triangle :

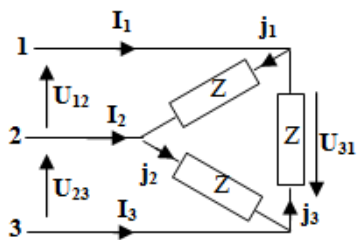
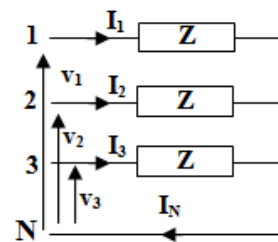
$J_{12} = J_{23} = J_{31} = J$  et  $J = U/Z$

$I_1 = I_2 = I_3 = I$  et  $I = \sqrt{3} J$

$P = 3 U J \cos \varphi = \sqrt{3} U I \cos \varphi$ ,

$Q = 3 U J \sin \varphi = \sqrt{3} U I \sin \varphi$ ,

$S = 3 U J = \sqrt{3} U I$ .



##### Puissances : méthode des 2 wattmètres :

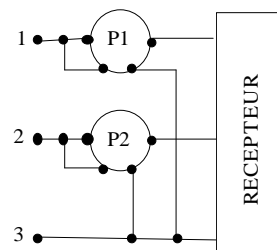
$P_1 = U \cdot I \cdot \cos(\varphi - \pi/6)$

$P_2 = U \cdot I \cdot \cos(\varphi + \pi/6)$

ou

$P = P_1 + P_2$

$Q = \sqrt{3} (P_1 - P_2)$



##### Relèvement du $\cos \varphi$ :

Capacités en triangle :

$$C = \frac{P (\operatorname{tg} \varphi - \operatorname{tg} \varphi')}{3\omega U^2}$$

Capacités en étoile :

$$C = \frac{P (\operatorname{tg} \varphi - \operatorname{tg} \varphi')}{3\omega V^2}$$



**ACTIVITE 4 : SYSTEME TRIPHASE**

**EXERCICE 1 :** Chaque élément chauffant d'un radiateur triphasé doit avoir **400 V** à ses bornes. Le réseau d'alimentation est de **230/400 V**.

La puissance absorbée par ce radiateur est de **3 kW**.

1/ Quel type de couplage doit-on réaliser ?

.....

2/ Le dessiner sur la figure ci-contre et indiquer la connexion au réseau d'alimentation.

3/ Déterminer la valeur efficace de l'intensité du courant dans chacun des fils de ligne.

.....

4/ Déterminer la valeur de la résistance de chaque élément chauffant.

.....

5/ Calculer la puissance réactive de ce radiateur.

.....

**EXERCICE 2 :** Sur la plaque signalétique d'un moteur triphasé on lit **400V/690V**. On utilise un réseau **230/400V - 50 Hz**. On donne pour chaque enroulement du moteur l'impédance **Z = 46,5 Ω** et le déphasage **φ = 36°**. Calculer :

1/ le facteur de puissance du moteur :

cos φ = .....

2/ Quel doit être le couplage des enroulements du moteur sur le réseau.

.....

3/ La valeur efficace J des courants circulant dans les enroulements.

J = .....

4/ La valeur efficace I des courants circulant en ligne.

I = .....

5/ La puissance apparente S

S = .....

6/ La puissance active absorbée P.

P = .....

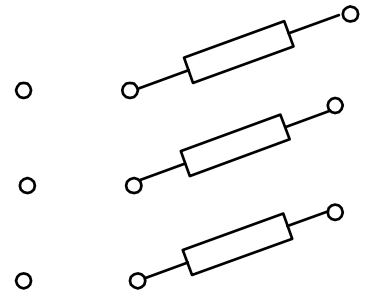
7/ La puissance réactive Q.

Q = .....

**EXERCICE 3 :** Un récepteur triphasé équilibré est couplé en triangle et alimenté par un réseau **230/400V, 50 Hz**. On mesure la puissance **P<sub>1</sub>** reçue pour une phase par ce récepteur.

1/ L'intensité efficace du courant dans une branche du triangle est égale à **2,78 A**. quels calibres d'intensités et de tension doit-on utiliser pour faire la mesure de **P<sub>1</sub>** sachant que le wattmètre possède les calibres suivants :

- **1A ; 3A ; 10A** pour le courant
- **480V ; 240V ; 120V et 60V** pour la tension.



Calibre d'intensité = .....

Calibre de tension = .....

2/ La déviation du wattmètre est de 20 divisions, il en comporte 120 au total. en déduire la valeur de la puissance  $P_1$ .

$P_1 =$  .....

3/ En déduire la puissance active consommée par ce récepteur.

$P =$  .....

4/ Quel est le facteur de puissance de ce récepteur ?

$\cos \varphi =$  .....

**EXERCICE 4 :** Une installation industrielle est alimentée par un réseau triphasé 230V/400V, 50 Hz. Les puissances active et réactive de l'installation sont respectivement :  $P = 55 \text{ kW}$  ;  $Q = 45 \text{ KVAR}$

1/ Calculer le facteur de puissance global de l'installation

$\cos \varphi =$  .....

2/ La valeur efficace de l'intensité du courant de ligne

$I =$  .....

3/ La capacité de chacun des condensateurs, montés en triangle, permettant de relever le facteur de puissance à 0,90

$C =$  .....

**EXERCICE 5 :** Sur la plaque signalétique d'un moteur triphasé on lit : 400 V/690 V. Ce moteur triphasé est alimenté par un réseau triphasé 400 V, 50 Hz absorbe une puissance active de 3 kW. Chaque fil de ligne est parcouru par un courant d'intensité efficace  $I = 6,5 \text{ A}$ .

1/ Quel doit être le couplage du moteur sur le réseau ?

2/ Calculer le facteur de puissance du moteur.

$\cos \varphi =$  .....

3/ Calculer la capacité de chacun des trois condensateurs qui, montés en triangle, permettent d'obtenir un facteur de puissance de 0,93.

$C =$  .....

4/ Calculer alors la nouvelle valeur efficace de l'intensité du courant dans les fils de ligne.

$I' =$  .....

**EXERCICE 6 :** Une installation triphasée 230V/400V, 50 Hz alimente :

- Un ensemble de tubes fluorescents se comportant comme un récepteur inductif de facteur de puissance  $\cos \varphi_r = 0,85$  absorbant au total 4 KW.
- 20 moteurs identiques triphasés, chacun de puissance utile 0,6 KW et de rendement 0,75 et de facteur de puissance  $\cos \varphi_m = 0,8$ .

1/ Déterminer la puissance active des 20 moteurs

$P_M = \dots\dots\dots$

2/ Déterminer les puissances actives, réactives et apparentes de l'ensemble.

$P = \dots\dots\dots$

$Q = \dots\dots\dots$

$S = \dots\dots\dots$

3/ Calculer l'intensité du courant en ligne et le facteur de puissance.

$I = \dots\dots\dots$

4/ Les tubes doivent être alimentés sous une tension de 230V. Comment doit-on les coupler ?

.....

5/ Les moteurs portent l'indication suivante 230V/400V. Comment doit-on les coupler

.....

6/ Calculer la capacité de l'un des trois condensateurs à brancher en triangle sur la ligne pour relever le facteur de puissance à 0,9.

$C = \dots\dots\dots$

**EXERCICE 7 :** Un réseau triphasé 230 V - 400 V, 50 Hz alimente trois moteurs triphasés équilibrés dont les caractéristiques sont les suivantes :

- moteur  $M_1$  : puissance absorbée :  $P_1 = 3 \text{ kW}$  ; facteur de puissance  $\cos \varphi_1 = 0,8$  ;
- moteur  $M_2$  : puissance absorbée :  $P_2 = 2 \text{ kW}$  ; facteur de puissance  $\cos \varphi_2 = 0,75$  ;
- moteur  $M_3$  : puissance absorbée :  $P_3 = 3 \text{ kW}$  ; facteur de puissance  $\cos \varphi_3 = 0,85$ .

1/ Calculer les puissances active, réactive et apparente fournies totales

|              | Puissance active P (W) | Puissance réactive Q (VAR) |
|--------------|------------------------|----------------------------|
| Moteur $M_1$ | 3000                   | .....                      |
| Moteur $M_2$ | .....                  | .....                      |
| Moteur $M_3$ | .....                  | .....                      |
| L'ensemble   | $P = \dots\dots\dots$  | $Q = \dots\dots\dots$      |

Soit :  $S = \dots\dots\dots$

2/ Calculer la valeur du facteur de puissance dans ces conditions.

$\cos \varphi = \dots\dots\dots$

3/ Calculer la valeur efficace de l'intensité du courant dans les fils de ligne

$I = \dots\dots\dots$

4/ Pour mesurer la puissance active totale absorbée par cette installation, on utilise la méthode des 2 wattmètres :

a) Donner le schéma de montage.

b) Calculer alors les indications portées par les wattmètres  $P_{13}$  et  $P_{23}$ .

.....

.....

.....

.....

5/ On veut relever le facteur de puissance à  $\cos \varphi' = 0,98$ . On branche en tête de l'installation une batterie de condensateurs couplés en triangle. Calculer la valeur de la capacité  $C$  d'un condensateur.

$C =$  .....

**ACTIVITE 5 : TP1 MESURE DES PUISSANCES EN TRIPHASE**

Le réseau 230/400V, 50 Hz permet d'alimenter un moteur asynchrone 230V/400V à vide supposé parfaitement équilibré. On dispose d'un ampèremètre, d'un voltmètre et d'un wattmètre.

1- Quel doit être le couplage du moteur ?

.....

**1. Méthode avec un seul Wattmètre :**

a- Compléter le schéma du montage ci-contre permettant de mesurer la puissance active.

b- Mesurer  $P_1$ , que représente cette valeur ? Déduire  $P$  de la charge triphasée

.....

.....



**2. Méthode des deux wattmètres :**

a- Compléter le schéma ci- contre et rappeler les résultats de la méthode pour une charge équilibrée.

b- Mesurer  $P_{13}, P_{23}$ .

$P_{13} =$  .....  $P_{23} =$  .....

c- Déduire  $P, Q$  et  $\cos \varphi$  :

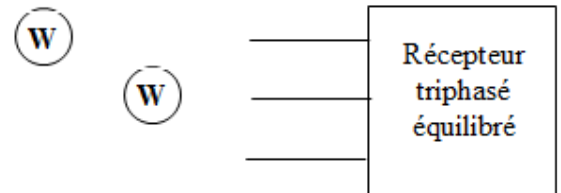
$P =$  .....  $Q =$  .....

$\cos \varphi =$  .....

**3. Comparer et conclure**

.....

.....



EXTRAITS DES EXAMENS BAC

**BAC 2009 S-NORMALE (Système de galvanisation): Relevé éventuel du facteur de puissance :**

On désire vérifier s'il est nécessaire de relever le facteur de puissance de l'installation. Celui-ci doit être normalement supérieur à 0.8 ( $\cos \varphi > 0,8$ ). On suppose que seuls les récepteurs M1, M2 et Rch fonctionnent en même temps. Pour cela, on demande de :

| Élément | Désignation                                   | Caractéristiques  |
|---------|---|---|
| M1      | Moteur d'agitation                            | 3~, Puissance absorbée = 180 W, 1350 tr/mn, $\cos \varphi = 0,68$ , couplage Y, 380 V     |
| M2      | Moteur de déplacement horizontal              | 3~, Puissance absorbée = 550 W, 1450 tr/mn, $\cos \varphi = 0,75$ , couplage Y, 380 V     |
| M3      | Moteur de déplacement vertical double vitesse | 3~, Puissance absorbée = 450 W, 900/600 tr/min, $\cos \varphi = 0,80$ , couplage Y, 380 V |
| Rch     | Résistances de chauffage                      | 3~, Puissance absorbée = 4000 W, couplage Y, 380 V  |

1. Compléter le tableau ci-dessous :

|     | P(W) | Q(VAR) | S(VA) |
|-----|------|--------|-------|
| M1  |      |        |       |
| M2  |      |        |       |
| Rch |      |        |       |
| Pt= |      | Qt=    | St=   |

2. En déduire le facteur de puissance  $\cos \varphi$  :

3. Conclure en justifiant votre réponse :

**BAC 2011 S-RATTRAPAGE (Système de manutention et de pesage de sable): Amélioration du facteur de puissance de l'installation :**

L'installation électrique de l'entreprise peut être considérée comme un récepteur triphasé équilibré de tension  $U = 400 \text{ V} - 50 \text{ Hz}$  et dont la mesure de la puissance active par la méthode des deux wattmètres a donné :  $P_1 = 26 \text{ kW}$  et  $P_2 = 8 \text{ kW}$ .

Sachant que la puissance réactive est donnée par la relation :  $Q = \sqrt{3} (P_1 - P_2)$

1.1- Calculer les puissances active  $P_t$ , réactive  $Q_t$  et apparente  $S_t$  de l'installation :

1.2- Déduire des résultats précédents le facteur de puissance  $\cos \varphi$  de l'installation :

1.3- Déterminer la valeur de la capacité  $C$  (en  $\mu\text{F}$ ) de chacun des trois condensateurs, à brancher en triangle à l'entrée de cette installation, pour relever le facteur de puissance  $\cos \varphi$  à  $\cos \varphi' = 0,96$  :

**BAC 2012 S-NORMALE (Système de gestion d'une serre): Etude de L'aérotherme**

L'aérotherme est constitué essentiellement :

- de trois résistances chauffantes ;
- d'un moteur asynchrone monophasé ;
- d'une hélice pour la ventilation de la chaleur dégagée par les trois résistances.

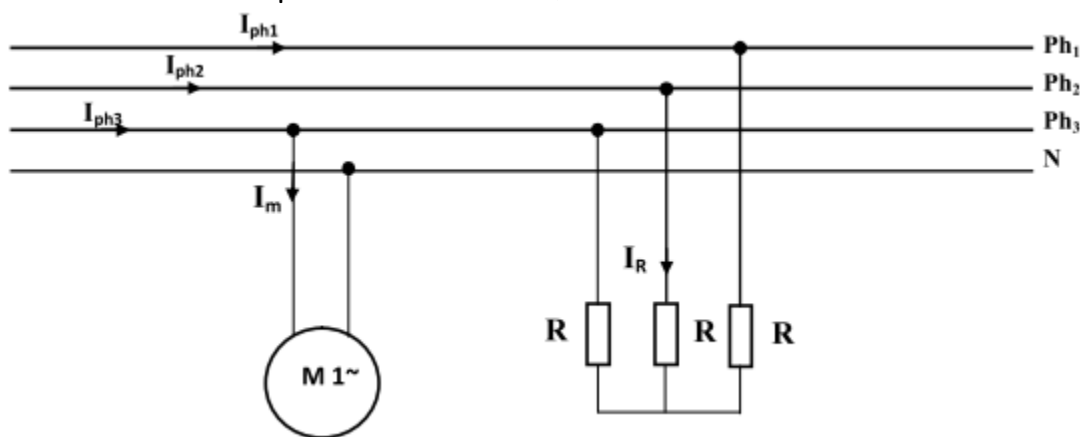
Dans le but d'appréhender le comportement énergétique de l'aérotherme, on propose d'étudier son fonctionnement dans les deux modes : étoile et triangle.

Etude du moteur de l'aérotherme :

La plaque signalétique du moteur asynchrone monophasé porte les indications suivantes:

$$P = 1KW, V = 230 V, \cos \varphi = 0,85, \text{rendement} = 0,8$$

Le moteur est branché entre la phase 3 et le neutre, comme ci-dessous :



1. Calculer la puissance nominale  $P_a$  absorbée par le moteur :

2. Calculer le courant  $I_m$  absorbé par le moteur :

3. Calculer la puissance réactive  $Q$  consommée par le moteur :

4. Calculer sa puissance apparente  $S$  :

Etude des résistances chauffantes de l'aérotherme :

Sachant que l'on dispose d'une source triphasée avec neutre 230-400V, les trois résistances de l'aérotherme peuvent être montées en étoile ou en triangle, on relève sur leur plaque signalétique :  $R = 10 \Omega$ , (On rappelle que la mise en marche ou l'arrêt de l'aérotherme est assurée par le microcontrôleur, toutefois le couplage en étoile ou en triangle est manuel).

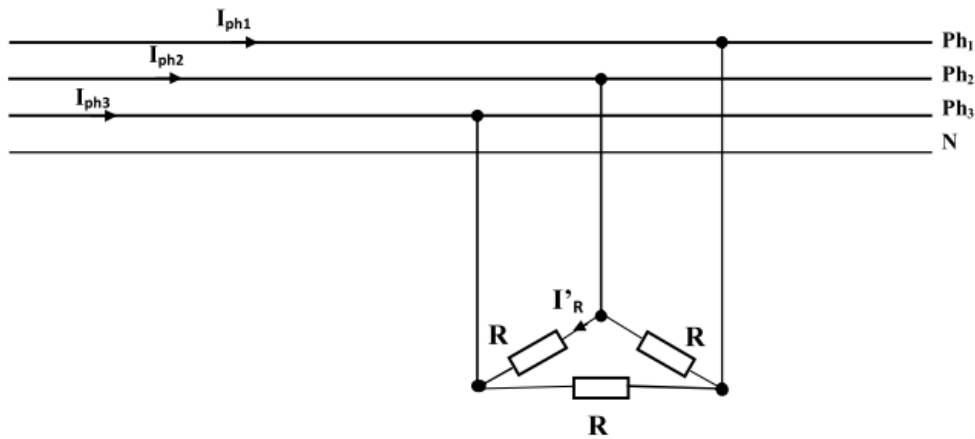
Les résistances sont groupées en étoile:

1. Déterminer la valeur du courant  $I_R$  :

2. Déterminer la puissance thermique  $P_{\text{étoile}}$  consommée par l'ensemble des résistances chauffantes :

3. Calculer le courant  $I_{ph1}$  dans la phase 1 :

Quand la puissance thermique dissipée est insuffisante les résistances sont alors couplées en triangle, comme indiqué ci-dessous :



4. Déterminer la valeur du courant  $I'_R$  :

5. Déterminer la puissance thermique  $P_{\text{Triangle}}$  consommée par l'ensemble des résistances chauffantes :

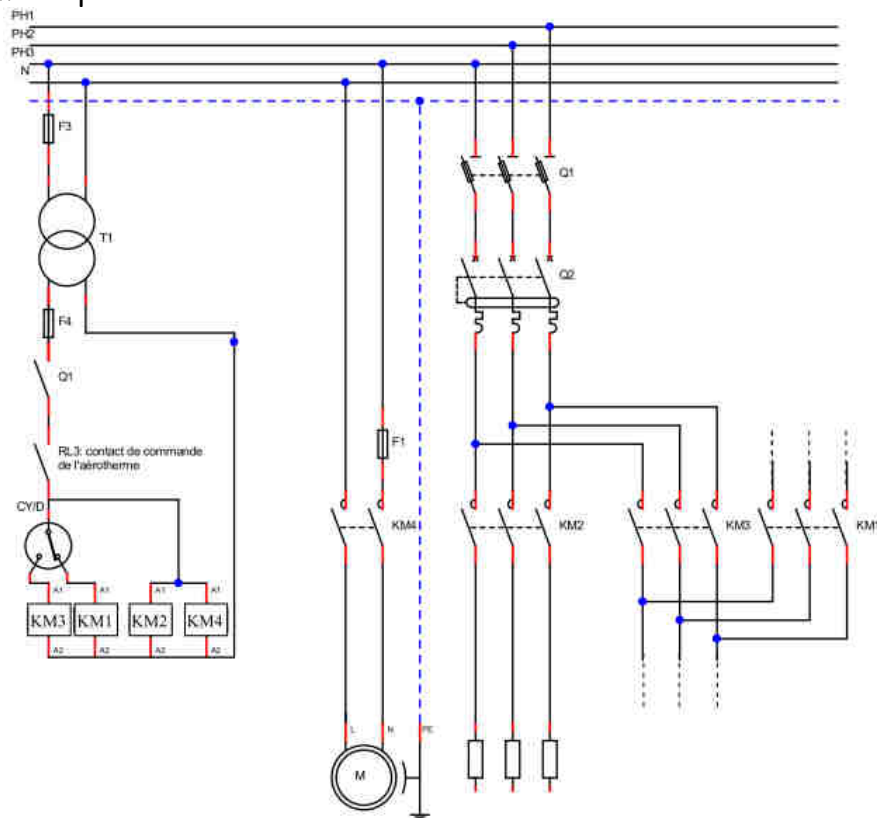
6. Sachant que  $P_{\text{étoile}}$  vaut 15870 W, déterminer le rapport  $P_{\text{Triangle}}/P_{\text{Etoile}}$  :

7. Conclure.

Câblage des résistances chauffantes et du moteur

Le passage de l'étoile au triangle est assuré manuellement par le commutateur « C Y/D »

Compléter le schéma de puissance ci-dessous :



**BAC 2014 S-NORMALE (Suiveur solaire à deux axes): Etude énergétique**

Calcul de la consommation du système suiveur :

Le suiveur, lors du déplacement du module photovoltaïque, absorbe de l'énergie électrique ; on souhaite connaître le pourcentage de cette consommation par rapport à l'énergie produite par le module photovoltaïque par jour d'ensoleillement.

Dans le cas d'un module photovoltaïque de  $90 \text{ m}^2$ , équipé d'un suiveur et produisant, en moyenne,  $128 \text{ kWh}$  par jour, l'énergie consommée par le suiveur pendant une année est de  $100 \text{ kWh}$ .

1. Calculer l'énergie  $W$  consommée par le suiveur pendant un (1) jour, en considérant une consommation uniforme pendant 365 jours :

2. Calculer, en pourcent (%), le rapport entre l'énergie  $W$  consommée par le suiveur et l'énergie électrique ( $W_p$ ) produite par le module photovoltaïque par jour d'ensoleillement. Commenter succinctement le résultat obtenu au niveau de la consommation propre du suiveur :

Relèvement du facteur de puissance du suiveur :

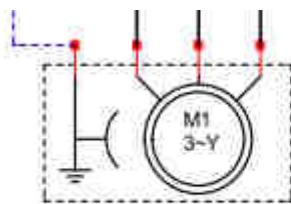
Le réseau triphasé  $230\text{V} - 400\text{V}$ ,  $50 \text{ Hz}$  alimente les deux moteurs triphasés équilibrés dont les caractéristiques sont les suivantes :

- Moteur M1 (moteur pour azimuth) : Puissance utile :  $P_{u1} = 0,25 \text{ kW}$  ; rendement :  $\eta_1 = 69 \%$  ; facteur de puissance :  $\cos \varphi_1 = 0,65$  ;
- Moteur M2 (moteur zénith) : Puissance utile :  $P_{u2} = 0,75 \text{ kW}$  ; rendement :  $\eta_2 = 70\%$  ; facteur de puissance :  $\cos \varphi_2 = 0,77$  ;

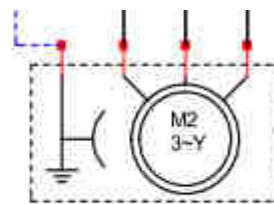
La consommation de l'énergie réactive par les deux moteurs du suiveur augmente le courant appelé et donc augmente les pertes par effet joule, d'où l'intérêt de relever le facteur de puissance.

3. Quelle relation existe-t-il entre la tension composée  $U$  et la tension simple  $V$  en triphasé ?

4. Comment sont couplés les enroulements statoriques des deux moteurs M1 et M2 ?



Moteur d'azimut



Moteur de zénith

5. L'intérêt de relever le facteur de puissance d'un récepteur triphasé est de :

- Augmenter la puissance de la charge ;
- Diminuer la puissance de la charge ;
- Diminuer le courant appelé et donc réduire les pertes par effet joule ;
- Aucun intérêt.

Réécrire la ou les bonnes réponses :

6. Calculer La puissance active  $P_1$  et la puissance réactive  $Q_1$  consommées par le moteur M1 :

7. Calculer La puissance active  $P_2$  et la puissance réactive  $Q_2$  consommées par le moteur M2.



Dans le cas où Les deux moteurs fonctionnent simultanément :

8. Calculer les puissances active P, réactive Q et apparente S absorbées par les deux moteurs :

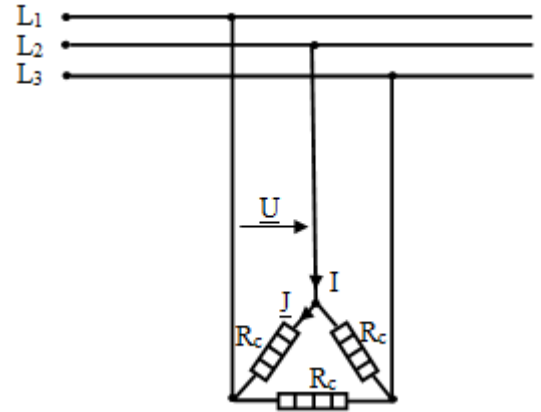
9. En déduire la valeur efficace I de l'intensité totale du courant en ligne, ainsi que le facteur de puissance total  $\cos \varphi$  :

10. On veut ramener ce facteur de puissance  $\cos \varphi$  à 0,86 ; relever sur l'abaque de la figure ci-dessous la puissance réactive à fournir au réseau.

| 21.5.6. PUISSANCE RÉACTIVE kVar A INSTALLER PAR kW POUR ÉLEVER LE FACTEUR DE PUISSANCE   |                |   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |     |
|--|----------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|
| — Les condensateurs améliorent le FACTEUR DE PUISSANCE uniquement sur la partie de l'installation située en amont de leur point de raccordement, ils seront répartis au plus près des principaux appareils consommateurs d'énergie réactive. |                |   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |     |
| avant compensation   |                | puissance du condensateur en kVar à installer par kW de charge pour relever le facteur de puissance ( $\cos \varphi$ ) ou la $\tan \varphi$ à une valeur donnée |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |     |
|  |                | $\tan \varphi$  | 0,75  | 0,59  | 0,48  | 0,46  | 0,43  | 0,40  | 0,36  | 0,33  | 0,29  | 0,25  | 0,20  | 0,14  | 0,0 |
| $\tan \varphi$   | $\cos \varphi$ | $\cos \varphi$  | 0,80  | 0,86  | 0,90  | 0,91  | 0,92  | 0,93  | 0,94  | 0,95  | 0,96  | 0,97  | 0,98  | 0,99  | 1   |
| 2,29   | 0,40           | 1,557   | 1,691 | 1,805 | 1,832 | 1,861 | 1,895 | 1,924 | 1,959 | 1,998 | 2,037 | 2,085 | 2,146 | 2,288 |     |
| 2,22   | 0,41           | 1,474   | 1,625 | 1,742 | 1,769 | 1,798 | 1,831 | 1,840 | 1,896 | 1,935 | 1,973 | 2,021 | 2,082 | 2,225 |     |
| 2,16   | 0,42           | 1,413   | 1,561 | 1,681 | 1,709 | 1,738 | 1,771 | 1,800 | 1,836 | 1,874 | 1,913 | 1,961 | 2,022 | 2,164 |     |
| 2,10   | 0,43           | 1,356   | 1,499 | 1,624 | 1,651 | 1,680 | 1,713 | 1,742 | 1,778 | 1,816 | 1,855 | 1,903 | 1,964 | 2,107 |     |
| 2,04   | 0,44           | 1,290   | 1,441 | 1,558 | 1,585 | 1,614 | 1,647 | 1,677 | 1,712 | 1,751 | 1,790 | 1,837 | 1,899 | 2,041 |     |
| 1,98   | 0,45           | 1,230   | 1,384 | 1,501 | 1,532 | 1,561 | 1,592 | 1,628 | 1,659 | 1,695 | 1,737 | 1,784 | 1,846 | 1,988 |     |
| 1,93   | 0,46           | 1,179   | 1,330 | 1,446 | 1,473 | 1,502 | 1,533 | 1,567 | 1,600 | 1,636 | 1,677 | 1,725 | 1,786 | 1,929 |     |
| 1,88   | 0,47           | 1,130   | 1,278 | 1,397 | 1,425 | 1,454 | 1,485 | 1,519 | 1,532 | 1,588 | 1,629 | 1,677 | 1,758 | 1,881 |     |
| 1,83   | 0,48           | 1,076   | 1,228 | 1,343 | 1,370 | 1,400 | 1,430 | 1,464 | 1,497 | 1,534 | 1,575 | 1,623 | 1,684 | 1,826 |     |
| 1,78   | 0,49           | 1,030   | 1,179 | 1,297 | 1,326 | 1,355 | 1,386 | 1,420 | 1,453 | 1,489 | 1,530 | 1,578 | 1,639 | 1,782 |     |
| 1,73   | 0,50           | 0,982   | 1,232 | 1,248 | 1,276 | 1,303 | 1,337 | 1,369 | 1,403 | 1,441 | 1,481 | 1,529 | 1,590 | 1,732 |     |
| 1,69   | 0,51           | 0,936   | 1,087 | 1,202 | 1,230 | 1,257 | 1,291 | 1,323 | 1,357 | 1,395 | 1,435 | 1,483 | 1,544 | 1,686 |     |
| 1,64   | 0,52           | 0,894   | 1,043 | 1,160 | 1,188 | 1,215 | 1,249 | 1,281 | 1,315 | 1,353 | 1,393 | 1,441 | 1,502 | 1,644 |     |
| 1,60   | 0,53           | 0,850   | 1,000 | 1,116 | 1,144 | 1,171 | 1,205 | 1,237 | 1,271 | 1,309 | 1,349 | 1,397 | 1,458 | 1,600 |     |
| 1,56   | 0,54           | 0,809   | 0,959 | 1,075 | 1,103 | 1,130 | 1,164 | 1,196 | 1,230 | 1,268 | 1,308 | 1,356 | 1,417 | 1,559 |     |
| 1,52   | 0,55           | 0,769   | 0,918 | 1,035 | 1,063 | 1,090 | 1,124 | 1,156 | 1,190 | 1,228 | 1,268 | 1,316 | 1,377 | 1,519 |     |
| 1,48   | 0,56           | 0,730   | 0,879 | 0,996 | 1,024 | 1,051 | 1,085 | 1,117 | 1,151 | 1,189 | 1,229 | 1,277 | 1,338 | 1,480 |     |
| 1,44   | 0,57           | 0,692   | 0,841 | 0,958 | 0,986 | 1,013 | 1,047 | 1,079 | 1,113 | 1,151 | 1,191 | 1,239 | 1,300 | 1,442 |     |
| 1,40   | 0,58           | 0,665   | 0,805 | 0,921 | 0,949 | 0,976 | 1,010 | 1,042 | 1,076 | 1,114 | 1,154 | 1,202 | 1,263 | 1,405 |     |
| 1,37   | 0,59           | 0,618   | 0,768 | 0,884 | 0,912 | 0,939 | 0,973 | 1,005 | 1,039 | 1,077 | 1,117 | 1,165 | 1,226 | 1,368 |     |
| 1,33   | 0,60           | 0,584   | 0,733 | 0,849 | 0,878 | 0,905 | 0,939 | 0,971 | 1,005 | 1,043 | 1,083 | 1,131 | 1,192 | 1,334 |     |
| 1,30   | 0,61           | 0,549   | 0,699 | 0,815 | 0,843 | 0,870 | 0,904 | 0,936 | 0,970 | 1,008 | 1,048 | 1,096 | 1,157 | 1,299 |     |
| 1,27   | 0,62           | 0,515   | 0,665 | 0,781 | 0,809 | 0,836 | 0,870 | 0,902 | 0,936 | 0,974 | 1,014 | 1,062 | 1,123 | 1,265 |     |
| 1,23   | 0,63           | 0,483   | 0,633 | 0,749 | 0,777 | 0,804 | 0,838 | 0,870 | 0,904 | 0,942 | 0,982 | 1,030 | 1,091 | 1,233 |     |
| 1,20   | 0,64           | 0,450   | 0,601 | 0,716 | 0,744 | 0,771 | 0,805 | 0,837 | 0,871 | 0,909 | 0,949 | 0,997 | 1,058 | 1,200 |     |
| 1,17   | 0,65           | 0,419   | 0,569 | 0,685 | 0,713 | 0,740 | 0,774 | 0,806 | 0,840 | 0,878 | 0,918 | 0,966 | 1,027 | 1,169 |     |
| 1,14   | 0,66           | 0,388   | 0,538 | 0,654 | 0,682 | 0,709 | 0,743 | 0,775 | 0,809 | 0,847 | 0,887 | 0,935 | 0,996 | 1,138 |     |
| 1,11   | 0,67           | 0,358   | 0,508 | 0,624 | 0,652 | 0,679 | 0,713 | 0,745 | 0,779 | 0,817 | 0,857 | 0,905 | 0,966 | 1,108 |     |
| 1,08   | 0,68           | 0,329   | 0,478 | 0,595 | 0,623 | 0,650 | 0,684 | 0,716 | 0,750 | 0,788 | 0,828 | 0,876 | 0,937 | 1,079 |     |
| 1,05   | 0,69           | 0,299   | 0,449 | 0,565 | 0,593 | 0,620 | 0,654 | 0,686 | 0,720 | 0,758 | 0,798 | 0,840 | 0,907 | 1,049 |     |
| 1,02   | 0,70           | 0,270   | 0,420 | 0,536 | 0,564 | 0,591 | 0,625 | 0,657 | 0,691 | 0,729 | 0,769 | 0,811 | 0,878 | 1,020 |     |
| 0,99   | 0,71           | 0,242   | 0,392 | 0,508 | 0,536 | 0,563 | 0,597 | 0,629 | 0,663 | 0,701 | 0,741 | 0,783 | 0,850 | 0,992 |     |
| 0,96   | 0,72           | 0,213   | 0,364 | 0,479 | 0,507 | 0,534 | 0,568 | 0,600 | 0,634 | 0,672 | 0,712 | 0,754 | 0,821 | 0,963 |     |
| 0,94   | 0,73           | 0,186   | 0,336 | 0,452 | 0,480 | 0,507 | 0,541 | 0,573 | 0,607 | 0,645 | 0,685 | 0,727 | 0,794 | 0,936 |     |
| 0,91   | 0,74           | 0,159   | 0,309 | 0,425 | 0,453 | 0,480 | 0,514 | 0,546 | 0,580 | 0,618 | 0,658 | 0,700 | 0,767 | 0,909 |     |
| 0,88   | 0,75           | 0,132   | 0,282 | 0,398 | 0,426 | 0,453 | 0,487 | 0,519 | 0,553 | 0,591 | 0,631 | 0,673 | 0,740 | 0,882 |     |
| 0,86   | 0,76           | 0,105   | 0,255 | 0,371 | 0,399 | 0,426 | 0,460 | 0,492 | 0,526 | 0,564 | 0,604 | 0,652 | 0,713 | 0,855 |     |
| 0,83   | 0,77           | 0,079   | 0,229 | 0,345 | 0,373 | 0,400 | 0,434 | 0,466 | 0,500 | 0,538 | 0,578 | 0,620 | 0,687 | 0,829 |     |

**BAC 2015 S-NORMALE (Système de traitement thermique): Etude du système de chauffage à pleine puissance :**

On admet que le schéma équivalent du système de chauffage à pleine puissance est celui de la Figure ci-contre :



1. Donner l'expression de la puissance totale  $P_t$  dissipée dans les trois résistances en fonction de la tension  $U$  et de la résistance  $R_c$  :

2. Déduire la valeur de la résistance  $R_c$  sachant que la puissance totale  $P_t$  est de **40 kW** sous une tension  $U = 400 V$  :

3. Calculer les valeurs efficaces des courants  $J$  et  $I$  :

Quelle est la valeur de la puissance réactive totale  $Q_t$  absorbée par ces résistances ?

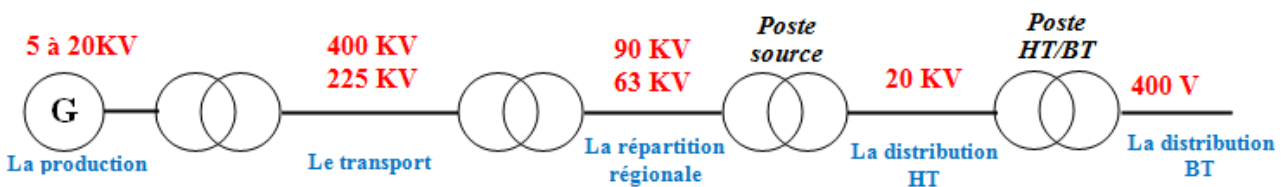
**Réseau national**

**Résumé du cours**

Le réseau national assure l'alimentation en énergie électrique à tous les consommateurs qui sont répartis sur l'ensemble du territoire.

**Organisation du réseau :**

- Production de l'énergie électrique (centrales électrique).
- Le grand transport et l'interconnexion :
  - Le transport se fait en THT (THB) pour réduire les pertes par effet joule dans la résistance de la ligne.
  - L'interconnexion assure la continuité de service si une centrale est en défaillance.
- La répartition : a pour rôle « d'aiguiller » l'énergie des lieux de production vers les gros clients.
- La distribution : c'est la fourniture d'énergie électrique aux « petits » utilisateurs terminaux.

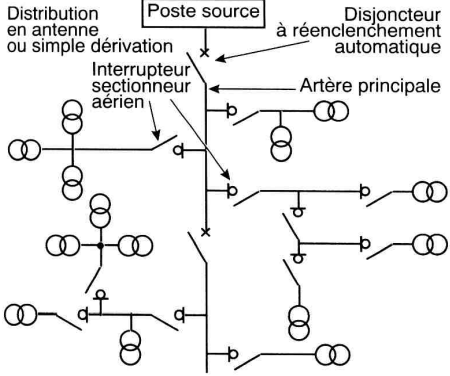
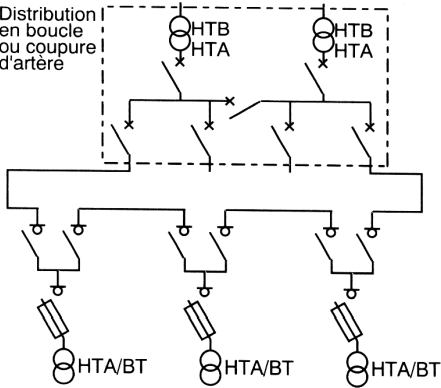
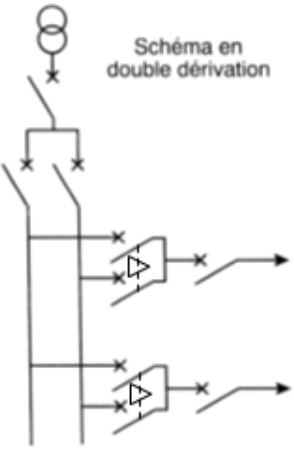


**Les postes de transformation**

Un poste HTA/BT comporte essentiellement :

- une ou deux cellules d'arrivée selon le type d'alimentation
- une ou plusieurs cellules de protection
- une cellule de comptage selon le type de comptage (HT ou BT)
- un ou plusieurs transformateurs

L'alimentation des postes HT/BT

| Alimentation en antenne  | Alimentation en coupure d'artère   | Alimentation en double dérivation  |
|--|--|--|
| <p>À partir d'un <b>poste-source</b> alimenté par le réseau de transport d'énergie, une artère principale du 20 kV dessert des postes de transformation 20kV/400V.</p> | <p>Tous les postes HTA/BT sont branchés <b>en dérivation</b> sur une boucle ouverte en un point dit point de coupure, proche du milieu de la boucle. Tous les appareils de coupure de l'artère sont fermés, sauf un.</p> | <p>Chaque poste est alimenté par deux câbles avec permutation automatique en cas de manque de tension sur l'une des deux arrivées.</p> |
|    |    |   |

**ACTIVITE 6 : RESEAU NATIONAL**

**EXERCICE 1 (Analyse de schéma électrique)**

Une usine Michelin comporte trois secteurs de fabrication :

1. **Confection de la gomme** : fabrication des mélanges et réalisation des tissus métalliques. Une partie de ces produits est destinée à l'usine elle-même, le reste de la production est envoyé aux autres usines du groupe.
2. **Génie civil** : fabrication de pneus pour engins de chantiers, celle-ci ne concerne que les petites et moyennes tailles.
3. **Tourisme/camionnette** : confection de pneumatiques pour l'automobile.

Se reporter à la présentation de l'usine Michelin, et en particulier à l'atelier de confection de la gomme.

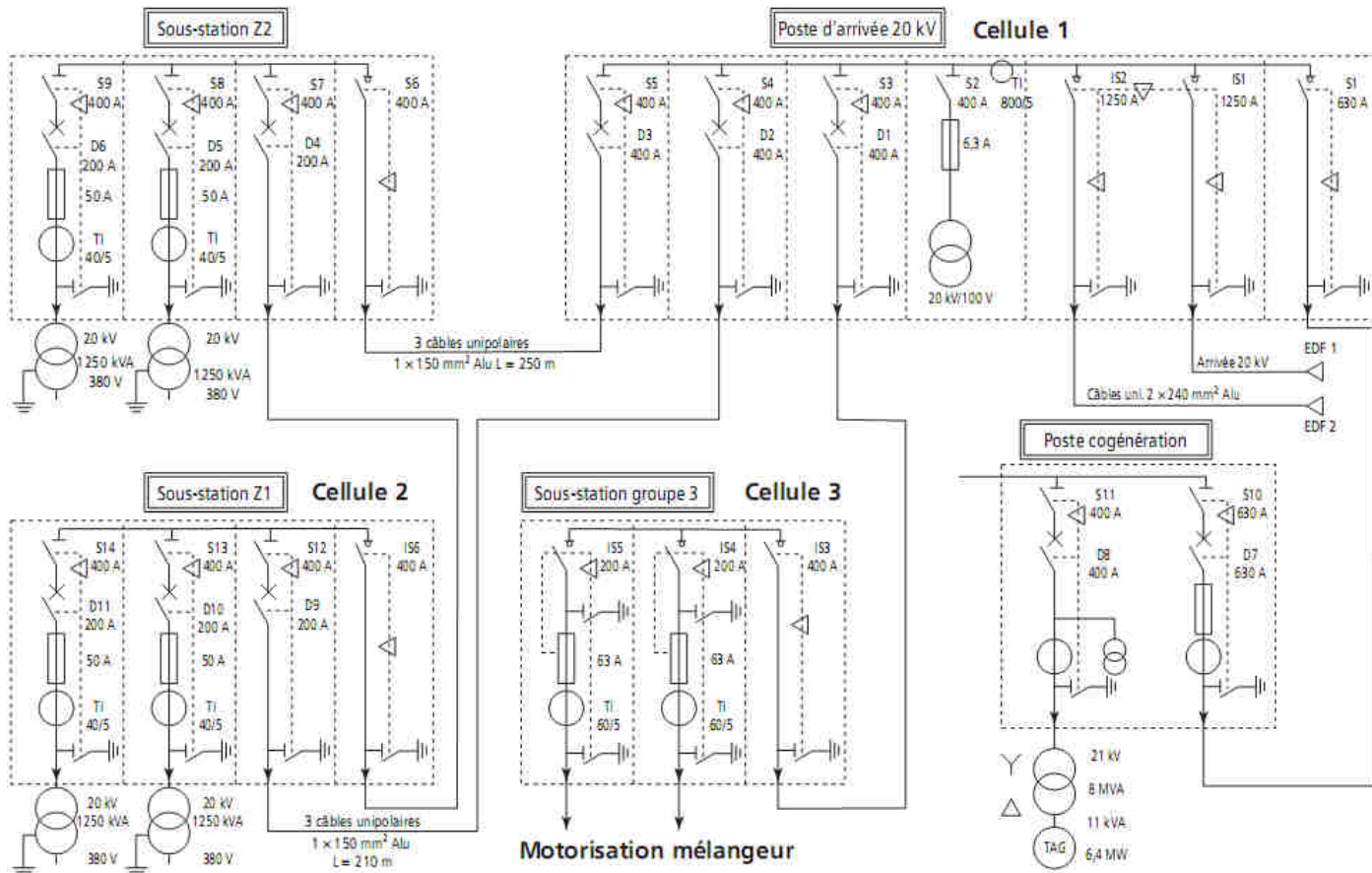
Cet atelier est alimenté par le réseau HTA, il comprend (fig.1) :

- la sous-station Z1 ;
- la sous-station Z2 ;
- la sous-station du groupe 3 (motorisation du mélangeur interne).

Identifier les différents types d'alimentation (remplir le tableau en cochant la case correspondante).

| Type d'alimentation   | Antenne | Boucle | Double dérivation |
|-----------------------|---------|--------|-------------------|
| Poste d'arrivée 20 kV |         |        |                   |
| Sous-station Z1       |         |        |                   |
| Sous-station Groupe 3 |         |        |                   |

Fig1 : Schéma général de la distribution électrique HTA/BT



**EXERCICE 1 :** Extrait schéma de boucle haute tension

La distribution électrique haute tension de l'usine d'incinération d'une déchetterie est comme ci-dessous :

1/ Identifier le type de réseau de distribution (cocher la bonne réponse).

Réseau simple dérivation

Réseau double dérivation

Réseau coupure d'artère

2/ Indiquer quelles sont les limites des domaines de tension HTA et HTB en alternatif.

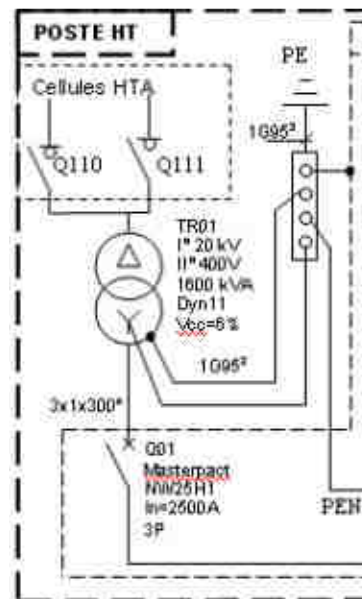
.....<HTA<.....

.....<HTB

3/ En fonctionnement normal, les appareils sont dans les positions données dans les tableaux ci-dessous.

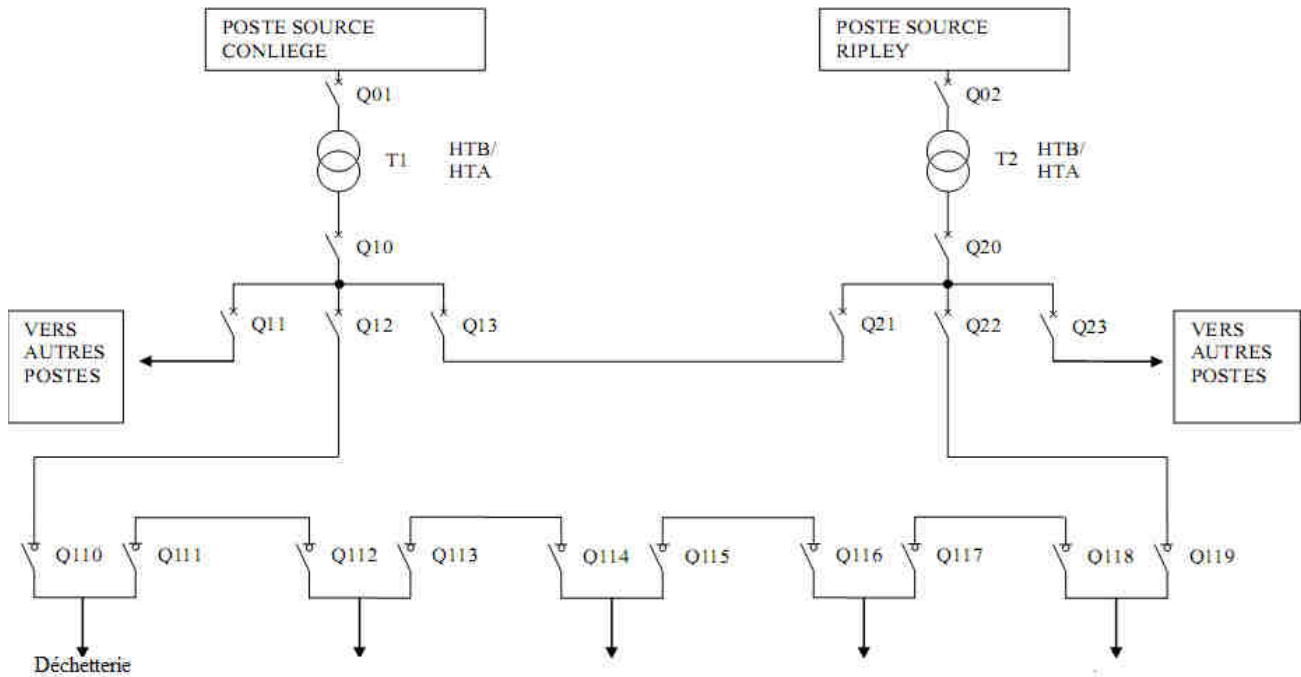
Un défaut survient dans le câble de liaison entre Q12 et Q110. Indiquer la position des appareils afin de garantir la continuité de service.

0 = appareil de protection ouvert 1 = appareil de protection fermé.



|        |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|        | Q10 | Q12 | Q13 | Q20 | Q21 | Q22 | Q110 | Q111 | Q112 | Q113 | Q114 | Q115 | Q116 | Q117 | Q118 | Q119 |
| normal | 1   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 0    | 0    | 1    | 1    | 1    |
| défaut |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |





### Transformateur monophasé

#### Résumé du cours :

Valeurs nominales données par le constructeur :  $U_{1N}$ ,  $U_{2N}$  et  $S_N$ .

Avec  $S_N = U_{1N} \cdot I_{1N} = U_{2N} \cdot I_{2N}$

#### Formule de Boucherot :

$U_1 = 4.44 B_{max} N_1 S f$  et  $U_2 = 4.44 B_{max} N_2 S f$

#### Détermination des éléments $R_s$ et $X_s$ :

A partir des essais :

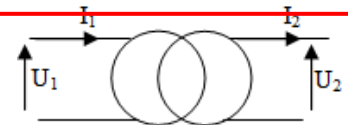
- A vide : transfo alimenté sous  $U_1$ , on mesure  $U_{20}$  et  $P_{10}$ .
- En court-circuit : (pour  $I_{2cc} = I_{2N}$ ) on mesure  $U_{1cc}$  et  $P_{1cc}$ .

$$R_s = P_{1cc} / I_{2cc}^2 ; Z_s = m U_{1cc} / I_{2cc} \text{ et } X_s = \sqrt{Z_s^2 - R_s^2}$$

#### Chute de tension $\Delta U_2$

$$\Delta U_2 = R_s \cdot I_2 \cdot \cos \varphi_2 + X_s \cdot I_2 \cdot \sin \varphi_2$$

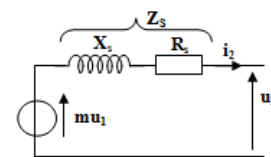
Soit  $U_2 = U_{20} - \Delta U_2$



#### Rapport de transformation :

$$m = U_{20}/U_1 = I_{1cc}/I_{2cc} = N_2/N_1$$

#### Modèle équivalent



#### Rendement du transformateur :

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{U_2 \cdot I_2 \cdot \cos \varphi_2}{U_2 \cdot I_2 \cdot \cos \varphi_2 + P_{10} + R_s \cdot I_2^2}$$

Avec : Pertes cuivre =  $R_s I_2^2$

Pertes fer =  $P_{10}$

### ACTIVITE 7 : TRANSFORMATEUR MONOPHASE

**EXERCICE 1** : Soit un transformateur parfait 400V/230V- 50 Hz de puissance apparente nominale  $S = 2 \text{ KVA}$ .

1. Calculer les courants nominaux  $I_{1N}$ ,  $I_{2N}$  et le rapport de transformation  $m$ .

$$I_{1N} = \dots\dots\dots I_{2N} = \dots\dots\dots$$

$$m = \dots\dots\dots$$

2. La charge inductive est constituée d'une résistance  $R=20 \Omega$  en série avec une inductance  $L=50 \text{ mH}$ . Calculer l'impédance de la charge  $Z_2$  et son facteur de puissance  $\cos \varphi_2$ . En déduire les courants  $I_1$  et  $I_2$  du transformateur et la puissance active fournie  $P_2$ .

$$Z_2 = \dots\dots\dots \quad \cos \varphi_2 = \dots\dots\dots$$

$$I_1 = \dots\dots\dots \quad I_2 = \dots\dots\dots$$

$$P_2 = \dots\dots\dots$$

**EXERCICE 2 :**

On veut déterminer le rendement d'un transformateur monophasé par la méthode des pertes séparées. Pour cela, trois essais sont réalisés.

Essai à vide :  $U_1 = 230 \text{ V}$ ,  $U_{20} = 130 \text{ V}$ ,  $I_{10} = 0,5 \text{ A}$ ,  $P_{10} = 75 \text{ W}$ .

Essai en court-circuit :  $U_{1cc} = 20 \text{ V}$ ,  $I_{2cc} = 10 \text{ A}$ ,  $P_{1cc} = 110 \text{ W}$ .

Essai avec une charge résistive pour un fonctionnement nominal :  $U_1 = 230 \text{ V}$ ,  $U_2 = 120 \text{ V}$ ,  $I_2 = 10 \text{ A}$ .

1. Calculer le rapport de transformation  $m$  du transformateur.

$$m = \dots\dots\dots$$

2. Quel est le facteur de puissance à vide  $\cos \varphi_{10}$  ?

$$\cos \varphi_{10} = \dots\dots\dots$$

3. Déterminer :

3.1. Les pertes dans le fer  $P_{\text{fer}}$ .

$$P_{\text{fer}} = \dots\dots\dots$$

3.2. Les pertes par effet Joule  $P_j$  pour le fonctionnement nominal.

$$P_j = \dots\dots\dots$$

4. Calculer le rendement  $\eta$  du transformateur pour le fonctionnement nominal.

$$\eta = \dots\dots\dots$$

**EXERCICE 3 :**

Sur la plaque signalétique d'un transformateur monophasé on relève : **5000 V/400 V, 50 Hz et S= 20 KVA**. On réalise les essais suivants :

- Essai à vide sous  $U_{1N} = 5 \text{ KV}$ , on relève :  $U_{20} = 400 \text{ V}$ ,  $P_{10} = 500 \text{ W}$  et  $I_{10} = 0,5 \text{ A}$ .
- Essai en court-circuit sous  $U_{1cc} = 280 \text{ V}$  on relève :  $P_{1cc} = 500 \text{ W}$  et  $I_{2cc} = 50 \text{ A}$ .

1. Quelles sont les valeurs efficaces des courants nominaux  $I_{1N}$  et  $I_{2N}$ .

$$I_{1N} = \dots\dots\dots \quad I_{2N} = \dots\dots\dots$$

2. Déterminer le rapport de transformation  $m$ .

$$m = \dots\dots\dots$$

3. Calculer les éléments  $R_s$  et  $X_s$  du schéma équivalent du transformateur vu du secondaire.

$$R_s = \dots\dots\dots$$

$$Z_s = \dots\dots\dots$$

$$X_s = \dots\dots\dots$$

4. Essai en charge : On prendra  $R_s = 0.2 \Omega$ ,  $X_s = 0.4 \Omega$ ,  $U_2 = 380 \text{ V}$ ,  $I_2 = 50 \text{ A}$  et  $\cos \varphi_2 = 0.8$ .

4.1. Calculer  $U_{20}$  en utilisant la relation approchée  $\Delta U_2 = R_s I_2 \cos \varphi_2 + X_s I_2 \sin \varphi_2$ .

$$\Delta U_2 = \dots\dots\dots$$

$$U_{20} = \dots\dots\dots$$

4.2. Calculer ce rendement  $\eta$ .

$\eta = \dots\dots\dots$

**EXERCICE 4 :**

Un transformateur monophasé 110 V/220 V, 50 Hz a donné les essais suivants :

- **Essai à vide** :  $U_1 = 110 \text{ V} - U_{20} = 220 \text{ V} - I_{10} = 3 \text{ A} - P_{10} = 67 \text{ W}$ .
- **Essai en court-circuit** :  $U_{1cc} = 7 \text{ V} - I_{1cc} = 20 \text{ A} - P_{1cc} = 105 \text{ W}$ .

1. Calculer le rapport de transformation  $m$ .

$m = \dots\dots\dots$

2. Calculer le facteur de puissance à vide  $\cos \varphi_{10}$ .

$\cos \varphi_{10} = \dots\dots\dots$

3. Donner le modèle équivalent du transformateur vu des bornes du secondaire.

.....

.....

.....

.....

4. Calculer les grandeurs  $R_S, Z_S$  et  $X_S$  ramenées au secondaire.

$R_S = \dots\dots\dots$

$Z_S = \dots\dots\dots$

$X_S = \dots\dots\dots$

Le primaire est soumis à la tension nominale  $U_{1N} = 110 \text{ V}$ . La valeur efficace de l'intensité du courant au secondaire est  $I_2 = 10 \text{ A}$  sur une charge inductive avec un  $\cos \varphi_2 = 0,8$ .

5. Déterminer la tension au secondaire  $U_2$ .

$\dots\dots\dots$

$U_2 = \dots\dots\dots$

6. Calculer le rendement du transformateur  $\eta$ .

$\eta = \dots\dots\dots$

Le transformateur débite toujours sur une charge inductive dont le facteur de puissance reste constant et égal à 0,8. On désire obtenir le rendement maximal  $\eta_{\max}$  ( $P_{\text{fer}} = P_{\text{cuivre}}$ )

7. Calculer la valeur efficace de l'intensité du courant au secondaire  $I_2$ .

.....

8. Déterminer ce rendement  $\eta_{\max}$  si la valeur efficace  $U_2 = 209 \text{ V}$ .

$\eta_{\max} = \dots\dots\dots$

**ACTIVITE 8 : EXERCICES TRANSFORMATEUR MONOPHASE**

**EXERCICE 1 :** Le primaire d'un transformateur monophasé est alimenté par une tension sinusoïdale de valeur efficace  $U_1 = 2200 \text{ V}$  et de fréquence  $f = 50 \text{ Hz}$ .

Les essais suivants ont été réalisés :

- Essai à vide :  $U_{10} = 2200 \text{ V}, U_{20} = 220 \text{ V}, I_{10} = 1 \text{ A}$  et  $P_{10} = 550 \text{ W}$
- Essai en court-circuit :  $U_{1cc} = 150 \text{ V}, I_{2cc} = 100 \text{ A}$  et  $P_{1cc} = 750 \text{ W}$

- 1 - Calculer le rapport de transformation
- 2 - Calculer le facteur de puissance à vide.
- 3 - Donner le modèle équivalent du transformateur vu des bornes du secondaire.
- 4 - Calculer les grandeurs  $R_S$  et  $X_S$ .

Pour une charge nominale, on a relevé la valeur efficace de la tension au  $U_{1N} = 2200 \text{ V}$ . La valeur efficace de l'intensité du courant au secondaire est  $I_{2N} = 100 \text{ A}$  sur une charge inductive avec un  $\cos \varphi_{2N} = 0,8$ .

- 5 - A l'aide de la formule approchée, déterminer la chute de tension au secondaire.
- 6 - Calculer les puissances active et réactive au secondaire du transformateur.
- 7 - Calculer le rendement du transformateur.

**EXERCICE 2 :** Un transformateur monophasé de puissance apparente nominale  $S_n = 27,6 \text{ kVA}$ , de tension primaire nominale  $U_{1N} = 8,6 \text{ kV}$ , fonctionne à la fréquence  $f = 50 \text{ Hz}$ .

On mesure dans un essai à vide, sous tension primaire nominale, la tension secondaire  $U_{20} = 132 \text{ V}$  et la puissance absorbée  $P_{10} = 133 \text{ W}$ .

On mesure dans un essai en court-circuit :  $U_{1cc} = 289 \text{ V}$ ,  $P_{1cc} = 485 \text{ W}$  et  $I_{2cc} = 210 \text{ A}$

1- Le transformateur est alimenté sous  $U_{1N}$ , la section du noyau est  $S = 380 \text{ cm}^2$ , le champ magnétique  $B$  maximale dans le noyau vaut  $1,2 \text{ T}$ , quel est le nombre de spires  $N_1$  de l'enroulement primaire ?

2- Calculer le rapport de transformation  $m$ .

3- Essai en court-circuit.

a- Montrer que les pertes fer sont négligeables, dans cet essai, en supposant qu'elles sont proportionnelles au carré de la tension d'alimentation.

b- D'après les valeurs mesurées, calculer les éléments ramenés au secondaire  $R_S$  et  $X_S$ .

4- On suppose dans cette question que  $R_S = 11,0 \text{ m}\Omega$  et  $X_S = 18 \text{ m}\Omega$ . Le transformateur débite  $I_2 = 210 \text{ A}$  sur une charge inductive de facteur de puissance  $\cos \varphi_2 = 0,75$ . Déterminer la tension secondaire  $U_2$ .

5- Déduire des essais à vide et en court-circuit, les pertes fer et les pertes joules, pour la charge du question4-. Calculer ensuite le rendement pour la même charge.

**EXERCICE 3 :** Les essais d'un transformateur monophasé  $220 \text{ V}/24 \text{ V}$ ,  $50 \text{ Hz}$ ,  $200 \text{ VA}$  sont les suivants :

- Essai en continu au primaire :  $U_1 = 6 \text{ V}$  ;  $I_1 = 0,95 \text{ A}$ .
- Essai à vide :  $U_1 = 220 \text{ V}$ ,  $P_{10} = 6 \text{ W}$ ,  $I_{10} = 0,11 \text{ A}$  et  $U_{20} = 24 \text{ V}$ .
- Essai en court - circuit :  $I_{2cc} = I_{2N}$ ,  $P_{1cc} = 11 \text{ W}$ ,  $I_{1cc} = 0,91 \text{ A}$  et  $U_{1cc} = 20 \text{ V}$ .

1- Calculer la résistance de l'enroulement du primaire  $R_1$ .

2- Proposer un montage permettant de réaliser l'essai à vide.

3- En déduire de cette essai : le rapport de transformation  $m$  ; les pertes par effet Joule à vide  $P_{j10}$  ; les pertes dans le fer  $P_{fer}$  et montrer que  $P_{10} = P_{fer}$ .

4- Proposer un montage permettant de réaliser l'essai en court - circuit.

5- En déduire de cette essai : Les pertes par effet Joule en court - circuit (peut- on négliger les pertes dans le fer ?) ; la résistance  $R_S$  et la réactance  $X_S$  des enroulements ramenés au secondaire ; le modèle équivalent vu du secondaire.

6- Le transformateur, alimenté au primaire sous la tension nominale, débite un courant  $I_2 = 8,3 \text{ A}$  dans une charge inductive de facteur de puissance  $0,8$ . Déterminer graphiquement la tension secondaire  $U_2$  en charge et en déduire la valeur de la chute de tension secondaire en charge  $\Delta U_2$ . Vérifier ces résultats par le calcul.

7- Calculer le rendement  $\eta$  de ce transformateur.



**ACTIVITE 9 : TP2 TRANSFORMATEUR MONOPHASE**

Transformateur étudié : un transformateur abaisseur de tension dont la plaque signalétique indique : 220V/24V ; 100 VA ; 50 Hz.

**1. Mesure de résistance des enroulements**

Utiliser un multimètre numérique pour mesurer directement la résistance des enroulements :

- au primaire :  $R_1 = \dots\dots\dots\Omega$
- au secondaire :  $R_2 = \dots\dots\dots\Omega$ .

**2. Etude à vide**

21- Donner le schéma du montage de l'essai à vide permettant de mesurer  $U_1$ ,  $U_{20}$ ,  $P_{10}$  et  $I_{10}$ .

|          |          |          |
|----------|----------|----------|
| $I_{10}$ | $P_{10}$ | $U_{20}$ |
| .....    | .....    | .....    |

22- Calculer le rapport de transformation à vide m.

$m = \dots\dots\dots$

23- Pour  $U_1 = 220 V$ , calculer les pertes à vide  $P_{J0}$  dissipées par effet Joule.

$P_{J0} = \dots\dots\dots$

Comparer  $P_{J0}$  et  $P_{10}$  : .....

24- Prévoir la valeur des pertes magnétiques à vide si la tension  $U_1$  est ramenée à la valeur  $U_{1cc}$ .

**3. Etude en court-circuit**

31- Donner le schéma du montage de l'essai en court-circuit permettant de mesurer  $U_{1cc}$ ,  $P_{1cc}$  et  $I_{2cc}$ .

On rappelle que la manipulation est effectuée sous tension primaire réduite.

.....  
 .....  
 .....

|                    |           |           |
|--------------------|-----------|-----------|
| $I_{2cc} = I_{2N}$ | $P_{1cc}$ | $U_{1cc}$ |
| .....              | .....     | .....     |

32- A partir de cet essai, déterminer les valeurs des paramètres  $R_s$  et  $X_s$  du modèle de Thévenin du transformateur.

$R_s = \dots\dots\dots$

$Z_s = \dots\dots\dots$

$X_s = \dots\dots\dots$

**4. Prédétermination d'un fonctionnement en charge**

On donne  $U_1 = 220 V$ ,  $I_2 = 4 A$  et  $\cos \varphi_2 = 1$

41- Rappeler la relation approchée exprimant  $\Delta U_2$  en fonction de  $R_s$ ,  $X_s$ ,  $\cos \varphi_2$  et  $\sin \varphi_2$ . Evaluer la valeur de la tension  $U_2$  pour cette charge. Comparer la valeur trouvée à celle figurant sur la plaque signalétique.

$\Delta U_2 = \dots\dots\dots$

$U_2 = \dots\dots\dots$

42- calculer le rendement  $\eta$  du transformateur.

$\eta =$  .....

**EXTRAITS DES EXAMENS BAC**

**BAC 2009 S-NORMALE (Système de galvanisation): Chute de tension dans le transformateur:**

Pour avoir un fonctionnement normal du circuit de commande, la chute de tension  $\Delta U$  au secondaire du transformateur T ne doit pas dépasser **3V**. On désire vérifier si cette condition est respectée. Le circuit de commande des récepteurs M1, M2, M3 et Rch est alimenté par ce transformateur dont les caractéristiques sont : 200 VA,  $U_1 = 220$  V,  $U_2=24$  V,  $f=50$  Hz. On a effectué les essais suivants :

- L'essai à vide de ce transformateur sous  $U_1 = 220$  V a donné les résultats suivants :  $I_{10}=0,15$  A,  $U_{20}=25$  V et  $P_{10}=2,8$  W ;
- L'essai en court-circuit de ce transformateur sous  $U_{1CC} = 14$  V a donné les résultats suivants :  $I_{1CC}=0,95$  A et  $P_{1CC}=9$  W.

1. Calculer le rapport de transformation à vide :

.....

2. Calculer le facteur de puissance à vide :

.....

3. Dans l'approximation de Kapp :

a- Calculer la résistance ramenée au secondaire  $R_s$  :

.....

b- Calculer la réactance ramenée au secondaire  $X_s$  :

.....

.....

4. En charge normale, le transformateur alimenté sous  $U_1 = 220$  V débite un courant  $I_2 = 6$  A dans l'ensemble du circuit de commande, considéré comme une charge inductive de  $\cos \varphi_2 = 0,85$ .

a- Calculer la chute de tension  $\Delta U$  :

.....

b- Conclure.

.....

**BAC 2009 S-RATTRAPAGE (Alimentation électrique de secours): Calcul des paramètres du transformateur :**

On se propose de calculer quelques paramètres du transformateur alimentant l'ASI statique.

Le transformateur monophasé "T" a pour caractéristiques : 230/55 V - 50 Hz - 1,1 kVA, le flux maximal qui circule dans le circuit magnétique est  $\Phi_{max} = 3,3$  mWb.

1. Calculer le rapport de transformation  $m$  :

.....

2. Déterminer les nombres de spires  $N_1$  au primaire et  $N_2$  au secondaire :

.....

.....

3. Calculer le courant nominal  $I_{2N}$  au secondaire :

.....

**BAC 2011 S-NORMALE (positionneur d'antenne parabolique didactisé): Etude du transformateur:**

Le moteur est alimenté par le transformateur à travers un montage redresseur et un pont en H (non représenté). Caractéristiques du transformateur : 240 V/24 V, 50 HZ ;

On a effectué sur le transformateur les essais suivants :

| Essai à vide   | Essai en court circuit   |
|--|--|
| $U_1 = U_{1n} = 240 \text{ V}$ ; $I_{10} = 0,2 \text{ A}$ ; $U_{20} = 24 \text{ V}$ ; $P_{10} = 8 \text{ W}$ | $U_{1cc} = 18 \text{ V}$ ; $I_{2cc} = 10 \text{ A}$ ; $P_{1cc} = 15 \text{ W}$ |

1. Déterminer le rapport de transformation  $m$  :

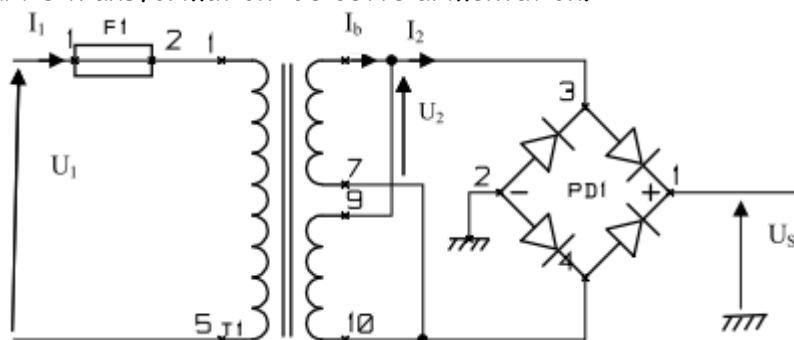
2. Représenter, dans l'approximation de Kapp, le schéma équivalent du transformateur vu du secondaire :

3. Calculer les grandeurs  $R_s$ ,  $Z_s$  et  $X_s$  éléments du transformateur ramenés au secondaire :

4. Le transformateur, alimenté sous sa tension primaire nominale, débite un courant de 10 A dans une charge inductive avec un facteur de puissance de 0,90. Pour  $R_s = 0,15 \Omega$  ,  $X_s = 0,1 \Omega$ , déterminer la tension obtenue au secondaire, en utilisant l'expression approchée de la chute de tension au secondaire :

**BAC 2012 S-RATTRAPAGE (store automatisée): Etude du transformateur**

Les circuits électroniques du système sont alimentés sous une tension continue  $V_{cc}=12\text{V}$ . On se propose d'étudier la partie transformation de cette alimentation.



Nomenclature :

- T1 : Transformateur 230V/2x15V - 1,8VA - Type EI 30/15,5;
- PD1 : Pont de diodes série RB-1,5A boîtier rond ;
- F1 : Fusible temporisé F1 T/FST 100 mA.

On suppose que le transformateur est parfait :

1. Comment sont montés les enroulements au secondaire du transformateur :

2. Calculer le courant nominal  $I_1$  au primaire du transformateur :

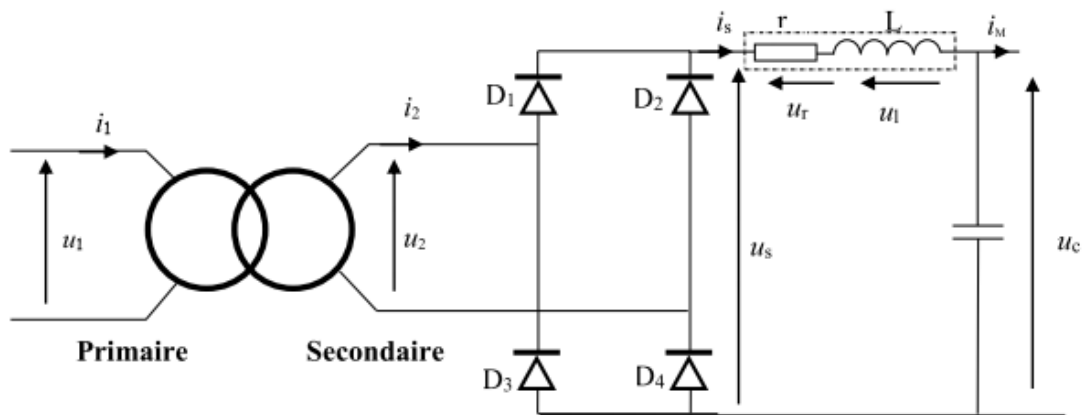
3. Calculer le courant nominal  $I_2$  au secondaire du transformateur :

4. Calculer le courant nominal  $I_b$  dans un enroulement du secondaire :

5. Calculer le rapport de transformation  $m$  :

**BAC 2013S-NORMALE (Éolienne): Etude du transformateur:**

L'alternateur alimente le primaire d'un transformateur monophasé que l'on se propose d'étudier ici.



Les essais sur le transformateur monophasé ont donné :

- A vide :  $U_1 = 230 \text{ V}$ ,  $50 \text{ Hz}$  (tension nominale du primaire) ;  $U_{20} = 26 \text{ V}$  ;  $P_{10} = 10 \text{ W}$  et  $I_{10} = 0,2 \text{ A}$ .
- La méthode volt-ampèremétrique en continu au primaire :  $E = 7,5 \text{ V}$  ;  $I_C = 1,5 \text{ A}$ .
- En court-circuit :  $U_{1CC} = 40 \text{ V}$  ;  $P_{1CC} = 20 \text{ W}$  ;  $I_{2CC} = I_{2N} = 12 \text{ A}$ .

1. Déterminer le rapport de transformation  $m$  et le nombre de spires  $N_2$  du secondaire si l'on compte 500 spires au primaire :

À l'aide des résultats de l'essai en continu :

2. Calculer la résistance  $R_1$  de l'enroulement primaire :

À l'aide des résultats de l'essai à vide, calculer :

3. les pertes par effet joule à vide  $P_{j0}$  :

4. les pertes dans le fer  $P_f$  :

À l'aide des résultats de l'essai en court-circuit :

5. Calculer la résistance  $R_s$  des enroulements ramenée au secondaire :

6. Calculer la réactance  $X_s$  des enroulements ramenée au secondaire :

7. Donner le modèle équivalent du transformateur vu du secondaire :

**BAC 2013 S-RATTRAPAGE (Système de conditionnement et d'emballage de brioches): Etude du transformateur de commande :**

Pour adapter la tension d'alimentation du réseau au circuit de commande, on utilise un transformateur dont les caractéristiques sont : 230 V/ 24 V - 50 Hz ; 630 VA.

Le nombre de spires du primaire est  $N_1 = 345$  et la section utile du circuit magnétique est  $S = 25 \text{ cm}^2$ .

- Essai à vide :  $U_1 = 230 \text{ V}$  ;  $U_{20} = 24,9 \text{ V}$  ;  $I_{10} = 0,55 \text{ A}$  et  $P_{10} = 28,2 \text{ W}$ .
- Essai en court-circuit :  $U_{1CC} = 10 \text{ V}$  ;  $I_{2CC} = 25,3 \text{ A}$  et  $P_{1CC} = 26,6 \text{ W}$ .

1- Calculer la valeur du champ magnétique maximale  $B_{\text{max}}$  (on rappelle que :  $U = 4,44 \cdot B_{\text{max}} \cdot f \cdot N \cdot S$ ) :

.....

2- Calculer le rapport de transformation  $m$  et en déduire le nombre de spires  $N_2$  du secondaire :

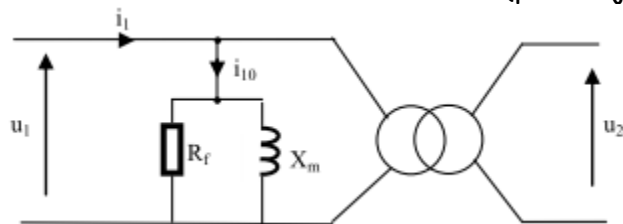
.....

.....

3- Quelle est la valeur du facteur de puissance  $\cos \varphi_{10}$  à vide ?

.....

4- Le schéma équivalent au transformateur à vide est le suivant (pertes joule négligeables) :



4.1- Quelle est la valeur de la résistance  $R_f$  :

.....

4.2- Calculer la réactance magnétisante  $X_m$  :

.....

.....

5- Donner la valeur du courant nominal  $I_{2N}$  dans le secondaire :

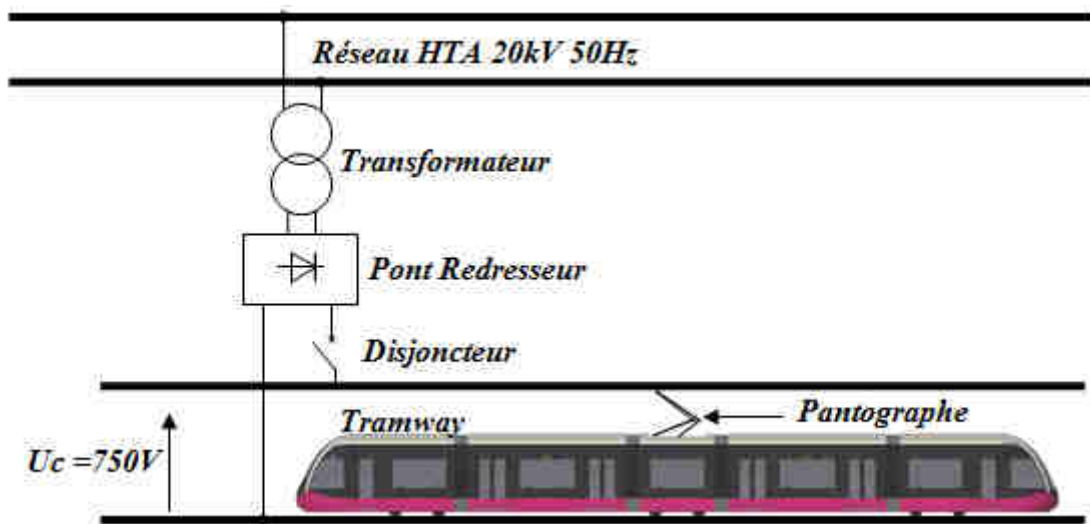
.....

6- Sous la tension  $U_{2N} = 24 \text{ V}$ , calculer la valeur du rendement  $\eta$  lorsque le transformateur débite le courant nominal  $I_{2N}$  dans une charge inductive de facteur de puissance  $\cos \varphi_2 = 0,6$  :

.....

**BAC 2015 S-RATTRAPAGE (Système2 : Alimentation électrique du Tramway): Etude du transformateur d'alimentation:**

La tension continue **750 V** est produite à partir du réseau monophasé **20 kV ; 50 Hz**. Le schéma de principe de cette alimentation par ligne aérienne de contact (LAC) est représenté ci-dessous :



On relève sur la plaque signalétique du transformateur :  
**20 kV / 590 V ; 50 Hz ; 1000 kVA.**

Les essais à vide et en court-circuit ont donné :

| Essai à vide sous tension primaire nominale   | Essai en court-circuit sous tension primaire réduite  |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <math>U_{1V} = 20 \text{ kV}</math>; <math>U_{2V} = 590\text{V}</math>;</li> <li>▪ <math>I_{1V} = 0,240 \text{ A}</math>; <math>P_{1V} = 1750 \text{ W}</math>.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <math>U_{1cc} = 1190 \text{ V}</math>; <math>P_{1cc} = 11,6 \text{ kW}</math>; <math>I_{2cc} = 1695 \text{ A}</math>.</li> </ul> |

1. Le transformateur est un convertisseur : (Choisir la bonne réponse)

- a. Alternatif - Alternatif ;
- b. Alternatif - Continu ;
- c. Continu - Continu.

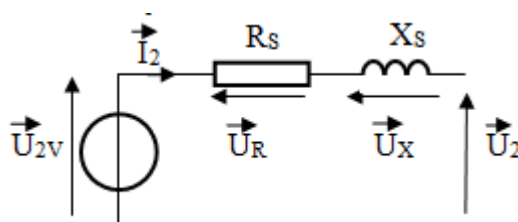
2. Lorsque la valeur efficace  $U_2$  (secondaire) est inférieure à la valeur efficace  $U_1$  (primaire). (Choisir la bonne réponse) :

- a. Le transformateur est abaisseur de tension ;
- b. Le transformateur est élévateur de tension ;
- c. Le transformateur n'est ni élévateur ni abaisseur de tension.

3. Calculer le rapport de transformation  $m$  :

4. Quelles sont les valeurs efficaces des courants nominaux  $I_{1N}$  et  $I_{2N}$  ?

Soit le schéma équivalent ci-dessous du transformateur vu du secondaire :



5. Que représentent  $U_{2V}$ ,  $R_S$  et  $X_S$  ?

.....

.....

.....

6. Calculer les valeurs de  $R_S$  et  $X_S$  :

.....

.....

.....

7. Exprimer  $\vec{U}_{2V}$  en fonction de  $\vec{U}_2$ ,  $\vec{U}_R$  et  $\vec{U}_X$ .

### Transformateur triphasé

#### Résumé du cours :

##### Principaux paramètres de la plaque signalétique

- La puissance apparente ou assignée :  $S = \sqrt{3} \cdot U \cdot I$ .
- Tension et intensité au primaire.
- Tension et intensité au secondaire.
- Tension de court-circuit :  $U_{cc} \% = 100 U_{1cc} / U_1$
- Couplage.
- Classe thermique et échauffement.
- Refroidissement

##### Couplage :

|         | Couplages |          |          |
|---------|-----------|----------|----------|
|         | Etoile    | Triangle | zigzag   |
| Côté HT | <b>Y</b>  | <b>D</b> |          |
| Côté BT | <b>y</b>  | <b>d</b> | <b>z</b> |

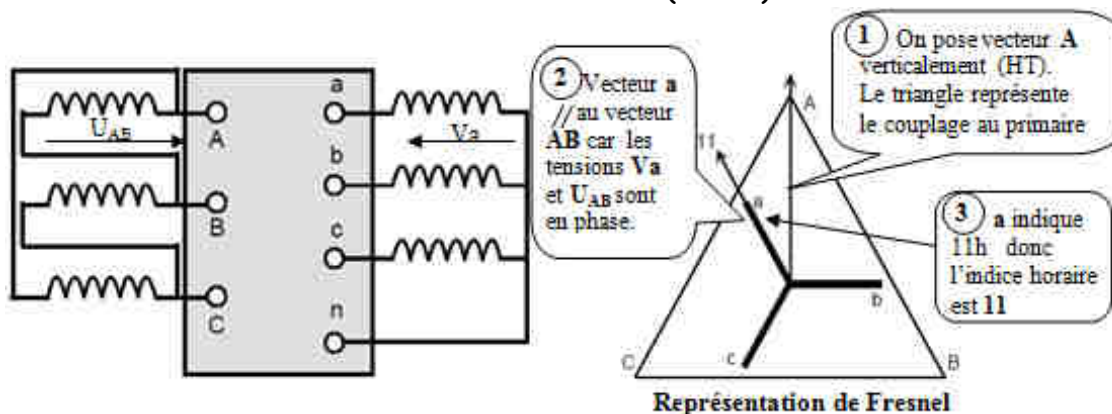
##### Rapport de transformation :

|                         | Dd ou Yy    | Dy                         | Yd ou Yz                       |
|-------------------------|-------------|----------------------------|--------------------------------|
| $M = U_{ab} / U_{AB} =$ | $N_2 / N_1$ | $\sqrt{3} \cdot N_2 / N_1$ | $1 / \sqrt{3} \cdot N_2 / N_1$ |

##### Indice horaire :

**Déphasage  $\theta$**  = retard d'une tension BT sur son homologue HT.

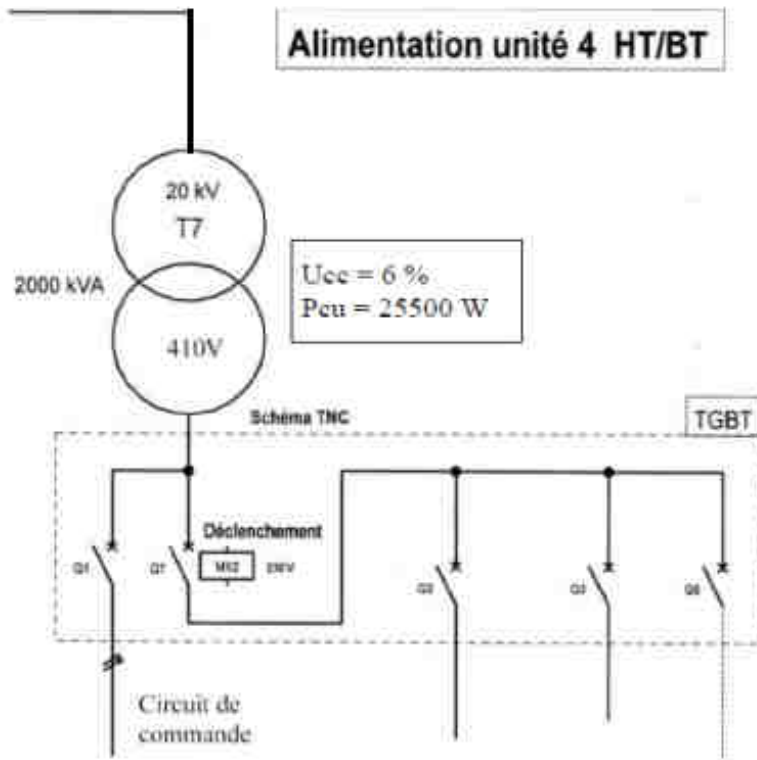
L'indice horaire **I** est :  $I = \theta / 30^\circ$  donc  $0 \leq I \leq 11$  (entier).



ACTIVITE 10 : TRANSFORMATEUR TRIPHASE

EXERCICE 1 :

L'alimentation électrique de l'unité 4 d'une usine de fabrication mécanique est représentée comme ci-dessous :



1) Rechercher les caractéristiques du transformateur T7

| Puissance nominale $S_n$ (KVA) | Tension primaire $U_1$ (KV) | Tension secondaire $U_{20}$ (à vide) (V) | Tension de court-circuit $U_{cc}\%$ | Pertes dues à la charge $P_{cu}$ (W) |
|--------------------------------|-----------------------------|--|-------------------------------------|--------------------------------------|
| .....                          | .....                       | .....                                    | .....                               | .....                                |

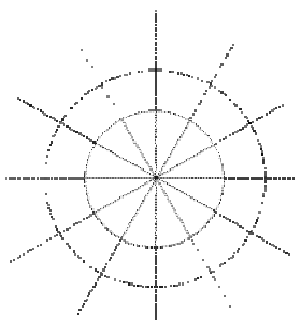
2) Calculer le courant nominal au secondaire du transformateur (prendre  $U_{20}$ ).

$I_{2N} =$  .....

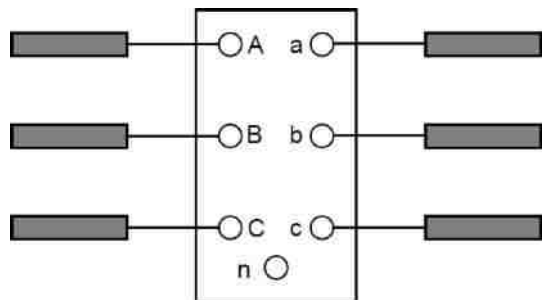
3) Le transformateur T7 est désigné par Dyn1. Indiquer la signification de chaque terme :

| D     | y     | n     | 1     |
|-------|-------|-------|-------|
| ..... | ..... | ..... | ..... |

4) Représenter ci-dessous sur le diagramme vectoriel, la tension secondaire  $V_a$  par rapport à la tension primaire  $V_A$ .



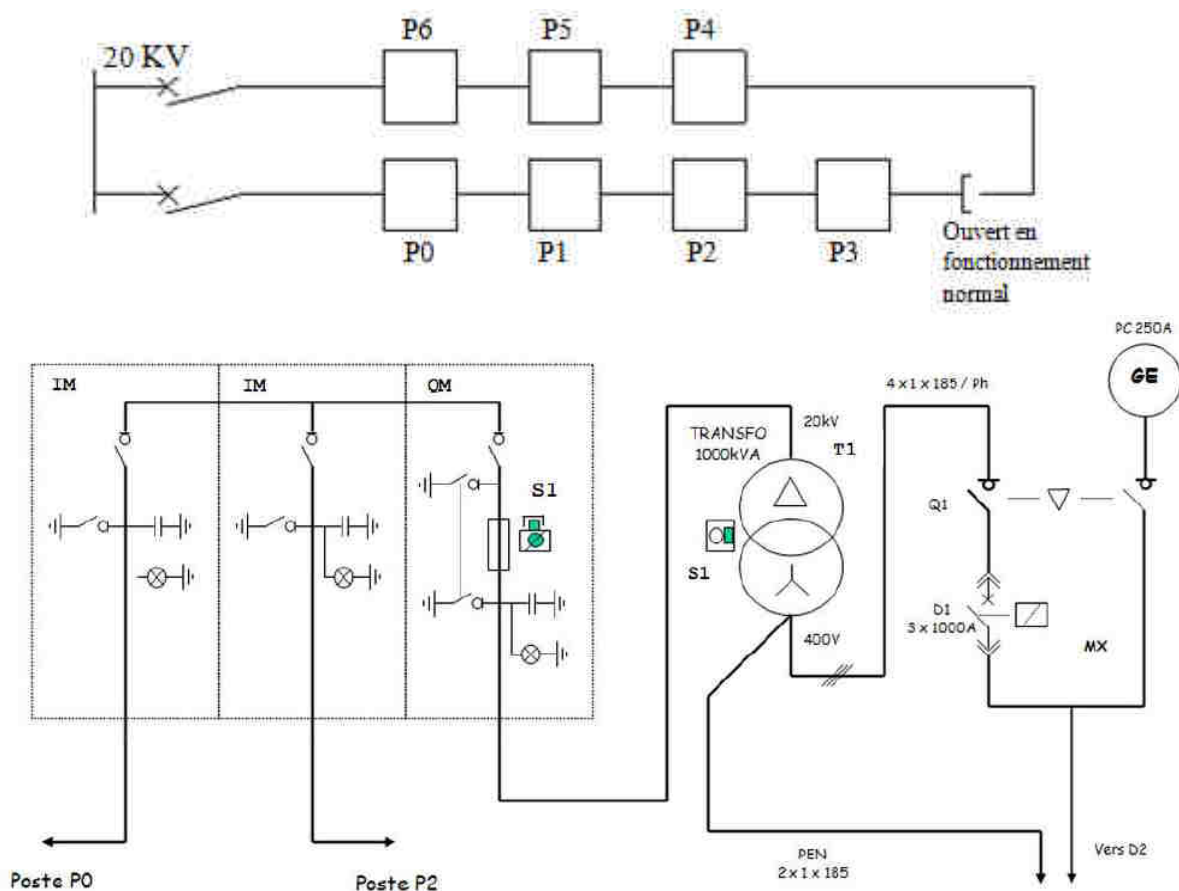
Déduire le schéma de câblage des enroulements





**EXERCICE 2 :**

Le raccordement au réseau HTA du poste P1 à comptage BT d'un Lycée est réalisé par l'intermédiaire de 2 interrupteurs dans un réseau comme ci-dessous :



1) Identifier le type de réseau de distribution (cocher la bonne réponse).

Réseau simple dérivation

Réseau double dérivation

Réseau coupure d'artère

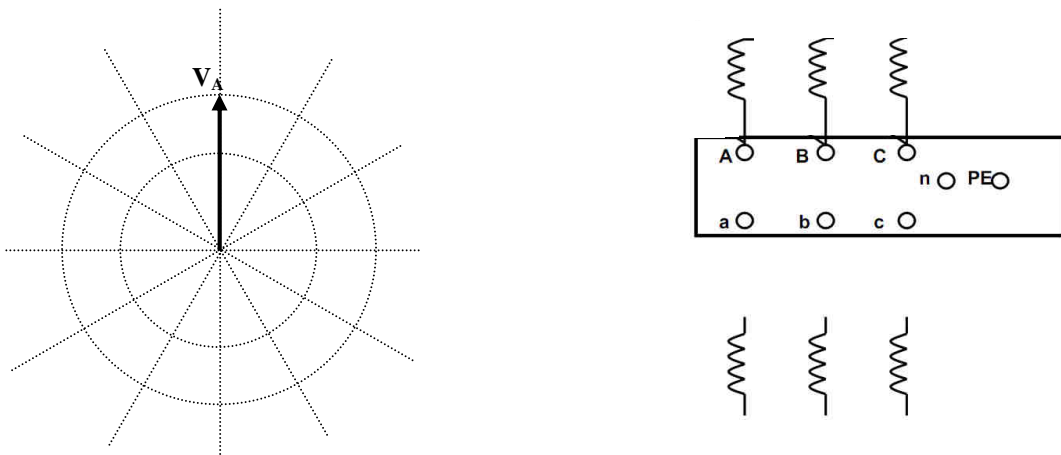
2) Identification des caractéristiques électriques du transformateur T1 :

|   |       |
|---|-------|
| Valeur de la tension assignée au Primaire   | ..... |
| Valeur de la tension assignée au Secondaire | ..... |
| Valeur de la puissance Apparente Assignée   | ..... |

3) La désignation du transformateur T1 est Dyn11. Donner la signification de chacune des lettres :

|    |       |
|----|-------|
| D  | ..... |
| y  | ..... |
| n  | ..... |
| 11 | ..... |

4) Compléter, sur le plan ci-dessous, la représentation de la plaque à bornes du transformateur :



5) Définir le type et le calibre des fusibles nécessaires à la protection du transformateur. (A partir du doc ci-dessous) : Type : ..... Calibre : .....

**Transformateur HTA - Fusibles de protection**



**Choix des fusibles**

**Normes**

Le FLUOKIT M 24 utilise les fusibles normalisés suivant la norme UTE C 64-110, UTE C64-200, UTE C 64-203, de 6,3 à 63 A pour la protection de transformateurs de puissance. Le tableau de choix ci-après est établi selon la norme NFC 13 100.

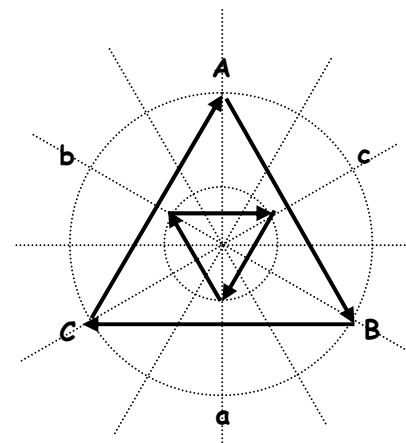
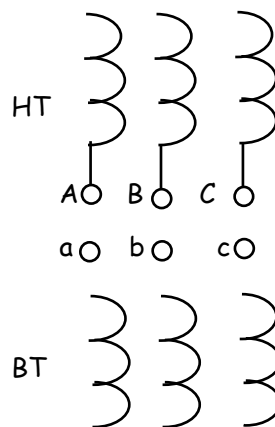
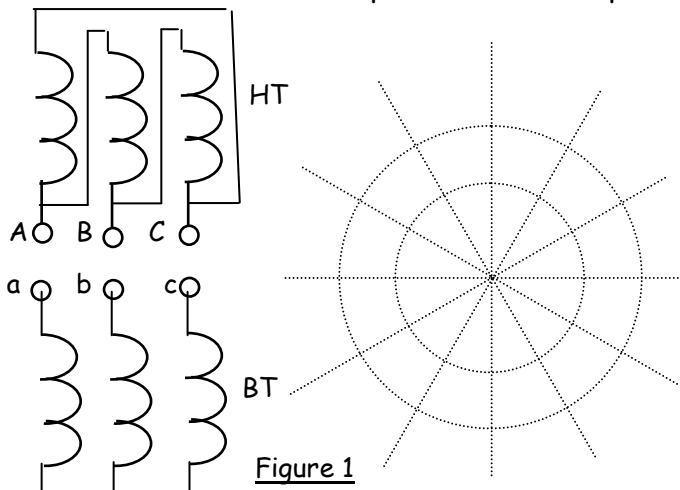


**Choix des fusibles (en Ampères)**

| Tension<br>kV | Type | Puissance nominale du transformateur |         |         |         |         |         |         |         |         |         |          |          |
|---------------|------|--------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|
|               |      | 100 kVA                              | 125 kVA | 160 kVA | 200 kVA | 250 kVA | 315 kVA | 400 kVA | 500 kVA | 630 kVA | 800 kVA | 1000 kVA | 1250 kVA |
| 5,5           | FN4  | 32                                   | 32      | 63      | 63      | 63      | 63      | 63      |         |         |         |          |          |
| 10            | FN4  | 16                                   | 16      | 32      | 32      | 32      | 63      | 63      | 63      | 63      |         |          |          |
| 15            | FN6  | 16                                   | 16      | 16      | 16      | 16      | 43      | 43      | 43      | 43      | 43      | 63       |          |
| 20            | FN6  | 6,3                                  | 6,3     | 16      | 16      | 16      | 16      | 43      | 43      | 43      | 43      | 43       | 63       |

**ACTIVITE 11 : EXERCICES TRANSFORMATEUR TRIPHASE**

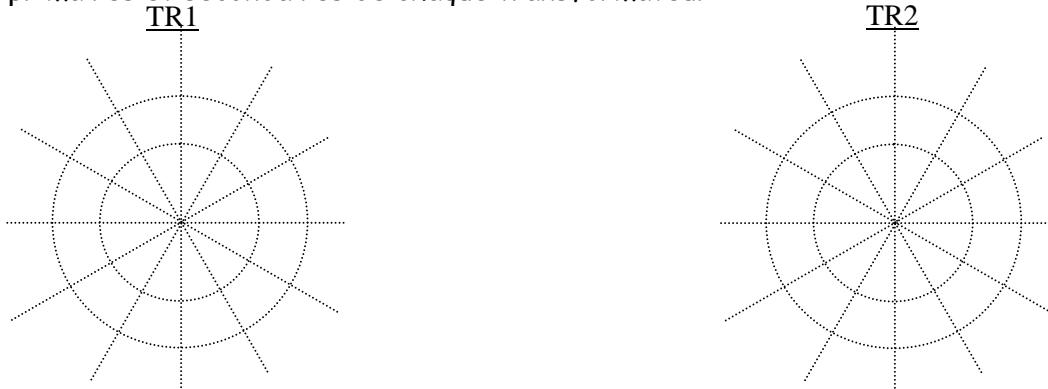
**EXERCICE 1 :** On donne les schémas des enroulements et les représentations vectorielles aux figures : 1 et 2 de deux transformateurs triphasés. **Dessiner** pour la figure1 la représentation vectorielle « horaire », **tracer** pour la figure2 le schéma des couplages et **indiquer** pour chaque transformateur l'indice horaire; la mise en parallèle est-elle possible?



**EXERCICE 2 :**

On désire faire marcher en parallèle deux transformateurs TR1 et TR2 respectivement Dyn7 et Dyn11.

1- Décoder les couplages, donner la définition de l'indice horaire et compléter le diagramme des tensions primaires et secondaires de chaque transformateur :



2- Donner les conditions de mise en parallèle de deux transformateurs :

.....

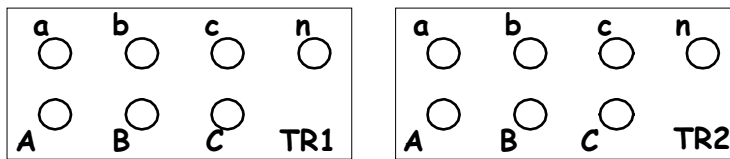
.....

3- En complétant le schéma ci-dessous, réaliser la mise en parallèle des transformateurs TR1 et TR2

.....

.....

.....



.....

.....

.....

**EXTRAITS DES EXAMENS BAC**

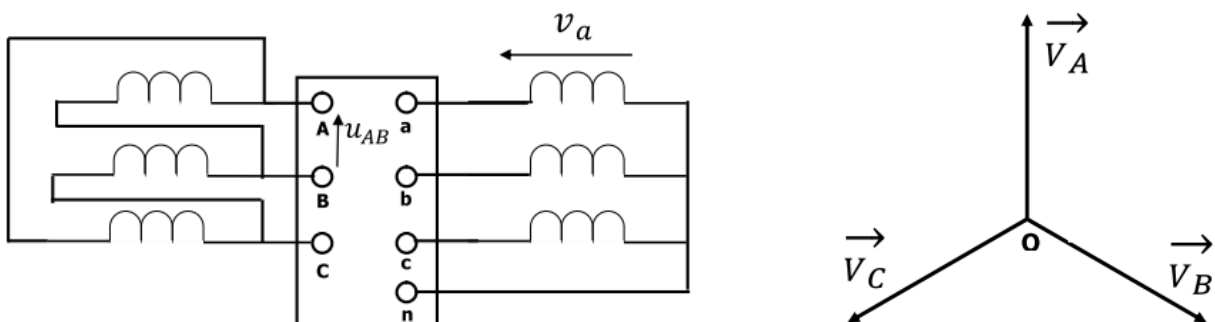
**BAC 2010S-NORMALE (Système de lavage automatique de véhicules): Etude du transformateur triphasé:**

Le système de lavage est alimenté à partir d'un poste de distribution MT/BT.

Les caractéristiques du transformateur triphasé du poste de distribution sont :

- Puissance apparente nominale :  $S_N = 50 \text{ KVA}$  ;
- Tension nominale au primaire :  $U_{1N} = 20 \text{ KV} - 50 \text{ Hz}$  ;
- Tension nominale au secondaire  $U_{2N} = 400 \text{ V}$ .

2.1- Sur le document ci-dessous :



a- Identifier le couplage des enroulements du transformateur :

.....

b- Compléter le diagramme vectoriel des tensions et en déduire l'indice horaire du transformateur :

.....

2.2- Déterminer la valeur nominale du courant primaire en ligne ; en déduire alors la valeur nominale du courant dans un enroulement primaire :

.....

.....

2.3- La tension secondaire à vide entre phases est :  $U_{20} = 410 \text{ V}$ . Calculer le rapport de transformation  $M$  :

.....

### Protection des personnes et des biens

#### Résumé du cours

#### Protection des personnes

Les schémas de liaison à la terre (régime de neutre) assurent une protection des personnes contre les contacts indirects.

|    | Danger potentiel en cas de défaut d'isolement   | Principe de protection   |
|----|---|--|
| TT | <p>Lors d'un défaut d'isolement, un courant de défaut circule par la terre et une tension de contact apparaît entre les masses métalliques et le sol.</p> <p><i>Cette tension est potentiellement dangereuse car elle peut être supérieure à la tension limite <math>U_L = 50 \text{ V}</math>.</i></p> <p><i>La coupure de l'installation est obligatoire dès l'apparition du défaut</i></p>   | <p>La protection est assurée par un <b>dispositif différentiel</b>.</p> <p>La sensibilité de ce DDR dépend de la tension limite de sécurité et de la résistance de la prise de terre de l'installation (<math>R_a</math>) : <math>I\Delta_N = U_L/R_u</math></p>   |
| TN | <p>Un défaut d'isolement se traduit par un <b>court-circuit</b>.</p> <p>Le courant de défaut n'est limité que par la <b>résistance des conducteurs</b>.</p> <p><i>La coupure de l'installation est obligatoire dès l'apparition du défaut</i></p>   | <p>Il faut vérifier que les dispositifs de protection réagissent en un temps <b>inférieur</b> à celui imposé par la norme, soit :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>pour un disjoncteur : <math>I_{magnétique} &lt; 0,8.V.S_{ph} / \rho.l.(1+m)</math> ou</li> <li>pour un fusible : <math>I_{fusion} &lt; 0,8.V.S_{ph} / \rho.l.(1+m)</math> avec <math>m = S_{ph}/S_{pe}</math></li> </ul>  |
| IT | <p>En cas de défaut d'isolement :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>le courant est nul ou très faible.</li> <li>la tension de contact n'est pas dangereuse pour les personnes.</li> </ul> <p><i>La coupure n'est pas automatique</i></p> <p>Si un deuxième défaut apparaît avant l'élimination du premier défaut, un courant de <b>court-circuit s'établit entre phase ou entre phase et neutre</b>.</p> <p><i>La coupure de l'installation est obligatoire dès l'apparition du deuxième défaut.</i></p> | <p><b>Premier défaut :</b></p> <p><i>Il doit être détecté par le <b>contrôleur permanent d'isolement (CPI)</b>.</i></p> <p><b>Deuxième défaut :</b></p> <p>la coupure est assurée par les <b>protections contre les surintensités</b>.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Masses séparées : protection par dispositif différentiel : Régime <b>TT</b>.</li> <li>Masses communes : protection contre les surintensités : Régime <b>TN</b>.</li> </ul> |

| Temps de coupure maximal des DDR (régime TT) |                                 |
|--|---------------------------------|
| Tension alternative de contact présumé       | Temps de coupure maximal en (s) |
| $50V < U_0 \leq 120V$                        | 0,3                             |
| $120V < U_0 \leq 230V$                       | 0,2                             |
| $230V < U_0 \leq 400V$                       | 0,07                            |
| $U_0 > 400V$                                 | 0,04                            |

| Temps de coupure maximal des protections (TN et IT) |                               |             |
|---|-------------------------------|-------------|
| Tension nominale $U_0$                              | Temps de coupure maximal en s |             |
|   | $U_L = 50V$                   | $U_L = 25V$ |
| 120 - 127   | 0,8                           | 0,35        |
| <b>220 - 230</b>                                    | <b>0,4</b>                    | <b>0,2</b>  |
| 380 - 400   | 0,2                           | 0,06        |
| > 400   | 0,1                           | 0,02        |

### Protection électrique des matériels

Les défauts les plus courants sont :

- Surintensité par surcharge.
- Surintensité par court-circuit.
- Surtension.
- Baisse ou manque de tension.

|  | Définition   | Conséquences  | Moyens de protection   |
|--|--|---|--|
| <u>La surcharge</u>                      | Elévation de l'intensité de <b>1 à 10 <math>I_n</math></b> d'un circuit due par exemple à une surabondance des récepteurs  | Echauffement lent et progressif des parties actives, des masses métalliques, des isolants.  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Relais thermique,</li> <li>• Fusible,</li> <li>• déclencheur thermique du disjoncteur.</li> </ul> |
| <u>Le court-circuit</u>                  | Elévation brutale de l'intensité de <b>10 à 1000 <math>I_n</math></b> dans un circuit due à une liaison accidentelle de deux points de potentiel différents (phase et neutre). | Arc électrique, échauffement important pouvant entraîner la fusion des parties actives (soudure des contacts, projection de particule). | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Déclencheur magnétique du disjoncteur,</li> <li>• fusible.</li> </ul>                             |
| <u>La surtension</u>                     | Augmentation soudaine et importante de la tension due par exemple à un coup de foudre, à un contact entre HTA et BTA.  | Claquage des isolants avec pour conséquence des court-circuits éventuels.   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• limiteur de surtension,</li> <li>• relais de surtension</li> <li>• parafoudre.</li> </ul>         |
| <u>La baisse ou le manque de tension</u> | chute de tension, trop importante dans un réseau, déséquilibre d'un réseau triphasé de distribution.   | Mauvais fonctionnement des récepteurs   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Relais à minimum de tension,</li> <li>• alimentation autonome.</li> </ul>                         |

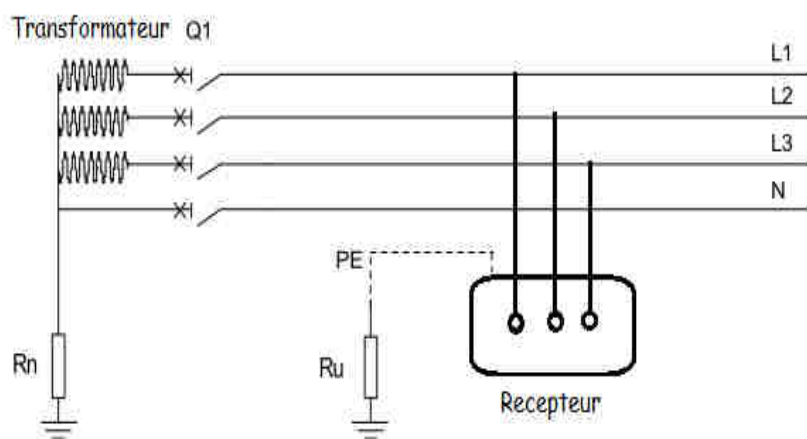
Tout dispositif de protection doit à la fois détecter la perturbation et couper le circuit qui est à l'origine de cette perturbation.

## ACTIVITE 12 : TD PROTECTION DES PERSONNES ET DES BIENS

### EXERCICE 1 :

Soit une installation triphasée dont les données sont les suivantes :

- Réseau 230 V/400 V .
- $R_n = 5 \Omega$ ,  $R_u = 10 \Omega$ .
- Q1 : Disjoncteur magnétothermique de calibre 8A C60N courbe C.



1- D'après le schéma ci- dessus, déterminer le type de schéma des liaisons à la terre de l'installation, Identification du S.L.T : .....

| Lettres | Signification des lettres |
|---------|---------------------------|
| .....   | .....                     |
| .....   | .....                     |

Un défaut franc apparaît entre la phase 3 et la masse du récepteur.

2- Proposer un schéma modélisant la boucle du courant de défaut :

3- En déduire la valeur du courant  $I_d$  :

4- Une personne touche la carcasse du récepteur et le sol, en déduire la tension de contact  $U_c$  à laquelle est soumise la personne :

5- Rappeler les valeurs des tensions limites en local sec, humide et très mouillé.

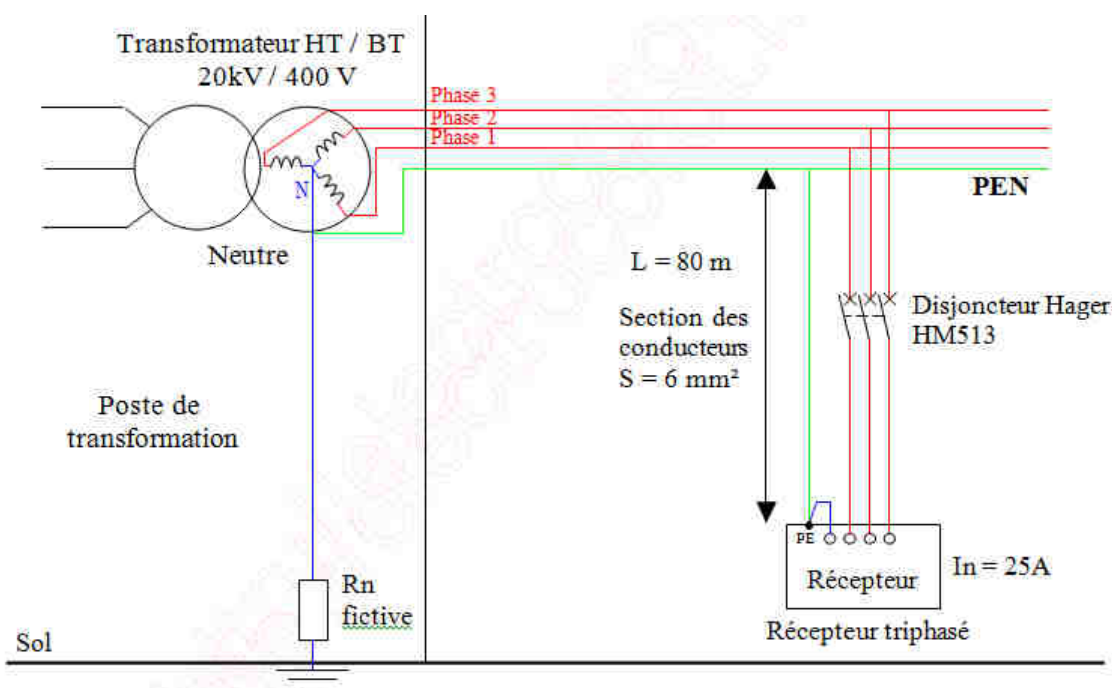
- Local sec : .....
- Local humide : .....
- Local mouillé : .....

6- Y-a-t-il danger pour la personne sachant que le local est humide ?

7- Quel est l'appareil à rajouter pour assurer la protection des personnes ?

8- Calculer la valeur de réglage du dispositif de protection dans un local sec.

**EXERCICE 2:** Soit le schéma de liaison à la terre suivant :





- Longueur du câble : **80 mètres**
- Section des conducteurs : **6 mm<sup>2</sup> en cuivre**
- Courant nominal absorbé par le récepteur = **25 A**
- référence du disjoncteur de protection (calibre 25 A) : **HAGER MM513**
- Local Sec

1- Quel est le schéma de liaison à la terre ?

2- Un défaut d'isolement apparaît sur la phase 2, tracer le courant de défaut Id (schéma ci-dessus) :

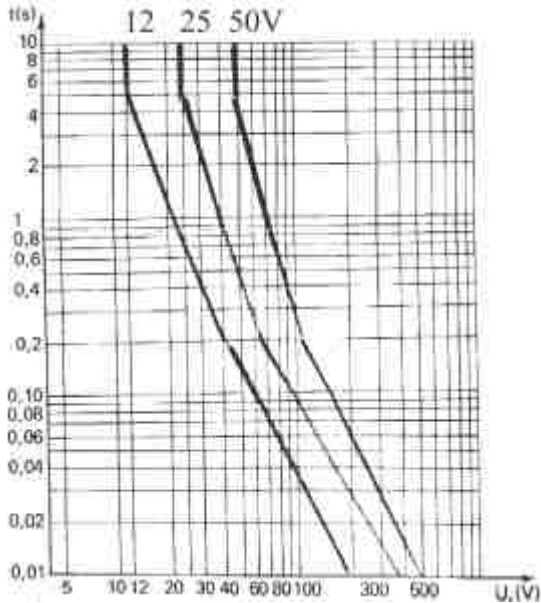
3- Calculer de la longueur l du conducteur entre la phase et le conducteur PEN :

4- Calculer de résistance du conducteur sachant que la résistivité du cuivre est  $\rho = 22,5 \cdot 10^{-3} \Omega \text{mm}^2 / \text{m}$  :

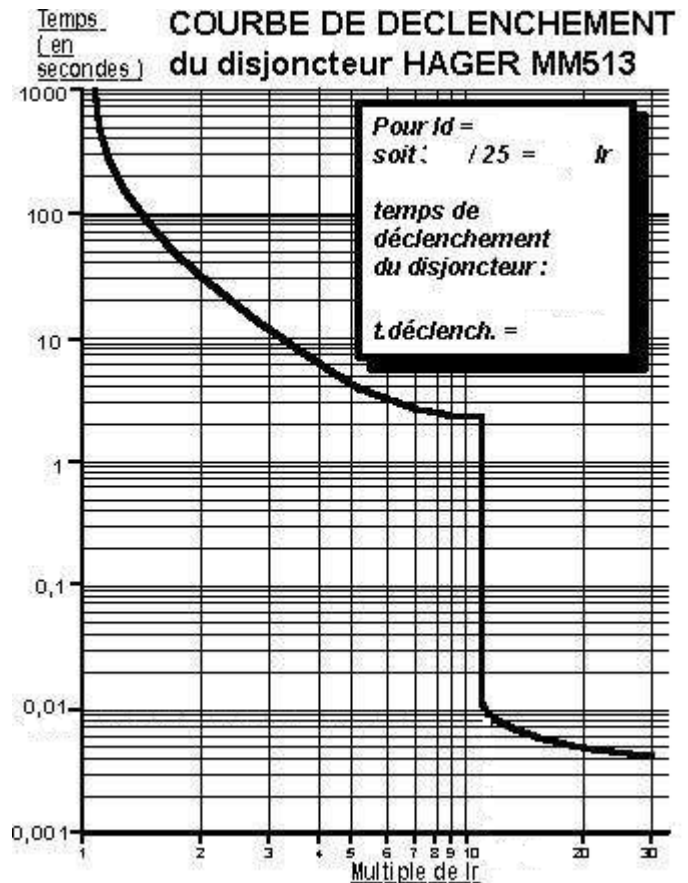
5- Calculer le courant de défaut Id :

6- Calculer la tension de contact Uc :

7- Quel est le temps le maximum admissible d'après les courbes de sécurité ?



Le dispositif de protection devra éliminer le défaut en moins de .....ms.



8- Au bout de combien de temps le disjoncteur Hager HM513 va déclencher ?

9- La sécurité des personnes est-elle assurée et pourquoi ?

**EXERCICE 3:** Nous reprendrons les mêmes caractéristiques que l'exercice 2 avec une longueur de câble différente. La longueur du câble est maintenant de **300 mètres**.

1- Quel est le schéma de liaison à la terre ?

2- Un défaut d'isolement apparaît sur la phase 2, tracer le courant de défaut  $I_d$  (schéma ci-dessus) :

3- Calculer de la longueur  $l$  du conducteur entre la phase et le conducteur PEN :

4- Calculer de résistance du conducteur sachant que la résistivité du cuivre est  $\rho = 22,5 \cdot 10^{-3} \Omega \text{mm}^2/\text{m}$  :

5- Calculer le courant de défaut  $I_d$  :

6- Calculer la tension de contact  $U_c$  :

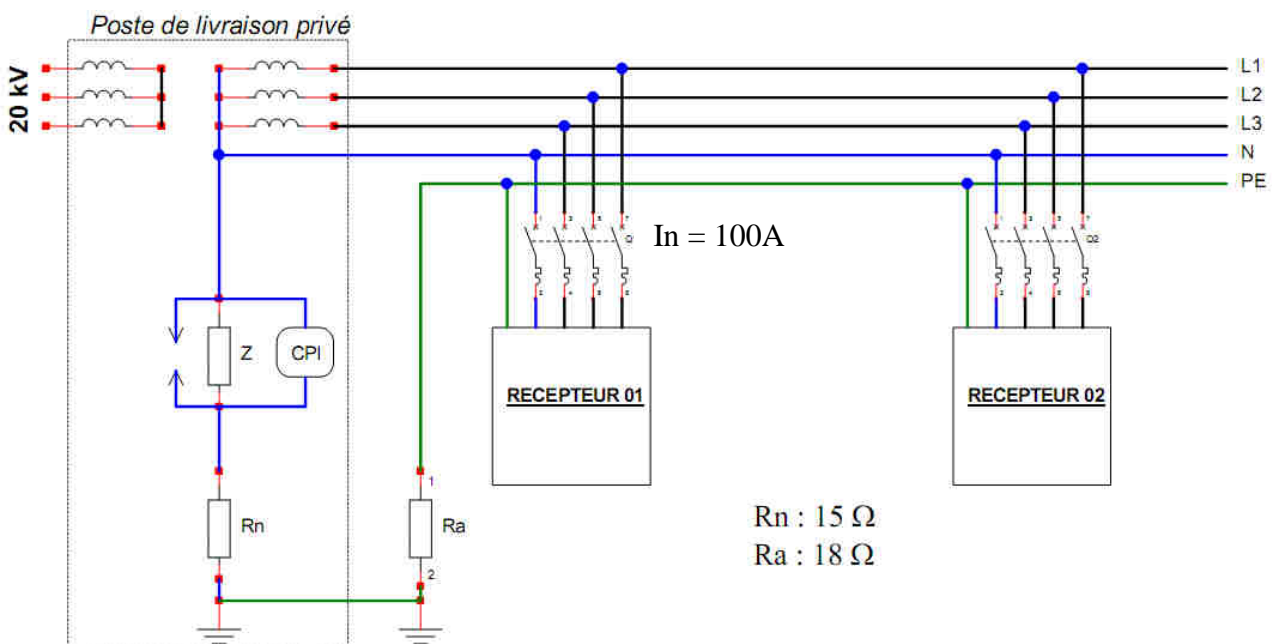
7- Quel est le temps le maximum admissible d'après les courbes de sécurité ?

8- Au bout de combien de temps le disjoncteur Hager HM513 va déclencher ?

9- La sécurité des personnes est-elle assurée et pourquoi ?

10- Quelle solution proposez-vous pour assurer la protection des personnes ?

**EXERCICE 4:** Un défaut d'isolement se produit entre la **phase 3** et la carcasse du **récepteur 01** située dans un **local sec**. Les conducteurs entre le transformateur et les récepteurs ont une longueur de **80 m** et de section **50 mm<sup>2</sup>** pour la phase et **120 mm<sup>2</sup>** pour le conducteur de protection (PE). La méthode de calcul impose que la tension appliquée à la boucle de défaut est égale à **0,8 fois la tension d'alimentation** du poste de transformation, ceci étant dû à la chute de tension entraînée par le courant de court-circuit. L'impédance **Z = 2000 Ω**.





1- D'après le schéma de l'installation ci-dessus déterminer le type de schéma des liaisons à la terre de l'installation, Identification du S.L.T : .....

| Lettres | Signification des lettres |
|---------|---------------------------|
| .....   | .....                     |
| .....   | .....                     |

2- Tracer sur le document ci-dessus le circuit du courant du premier défaut (en bleu).

3- Dessiner le schéma équivalent de la boucle de défaut. En y faisant apparaître le courant  $I_d$  et la tension de contact  $U_c$ .

4- Calculer successivement le courant de défaut et la tension de contact. Que constatez-vous ?

$I_d =$  .....

$U_c =$  .....

5- Tracer sur le document ci-dessus (le schéma de l'installation) le circuit du courant du deuxième défaut entre la carcasse du **récepteur 02** et la **phase 1** (en rouge).

6- Dessiner le schéma équivalent de la boucle de défaut. En y faisant apparaître le courant  $I_d$  et la tension de contact  $U_c$  sur le récepteur 01.

7- Calculer successivement le courant de défaut et la tension de contact.

$I_d =$  .....

$U_c =$  .....

8- Cette tension est-elle dangereuse ? Pourquoi ?

.....  
 .....

9- Que se passerait-t-il si il y avait un défaut entre la carcasse et le neutre pour le deuxième défaut?

.....  
 .....

10- Calculer la longueur maximale du câble sachant que le magnétique du disjoncteur déclenche à **7.In**.

Rappel la formule utilisée est la suivante :  $I_{max} = 0,8.U.S_{ph} / 2.\rho(1+m)I_{magn}$  et  $\rho = 2,25 .10^{-8} \Omega m$ .

.....  
 .....

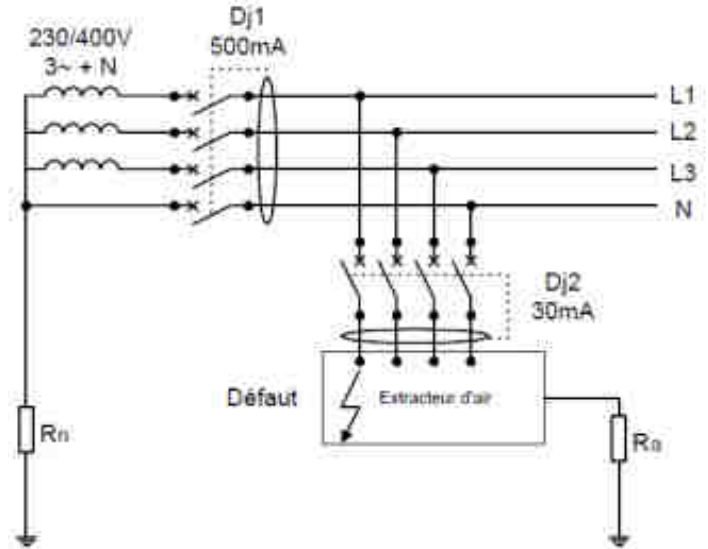
11- Que faut-il faire si le câble installé est trop grand ?

.....  
 .....

**ACTIVITE 11 : EXERCICES PROTECTION DES PERSONNES ET DES MATERIELS**

**EXERCICE1** : Le schéma de distribution et d'alimentation de l'installation électrique d'un extracteur d'air est le suivant :

$R_n = 10\Omega$  : résistance du neutre  
 $R_a = 500\Omega$  : résistance de la prise de terre



1- De quel type de liaison à la terre s'agit-il ? Un défaut franc apparaît entre la phase et la masse métallique.

2- Faire apparaître sur votre schéma, la boucle de défaut.

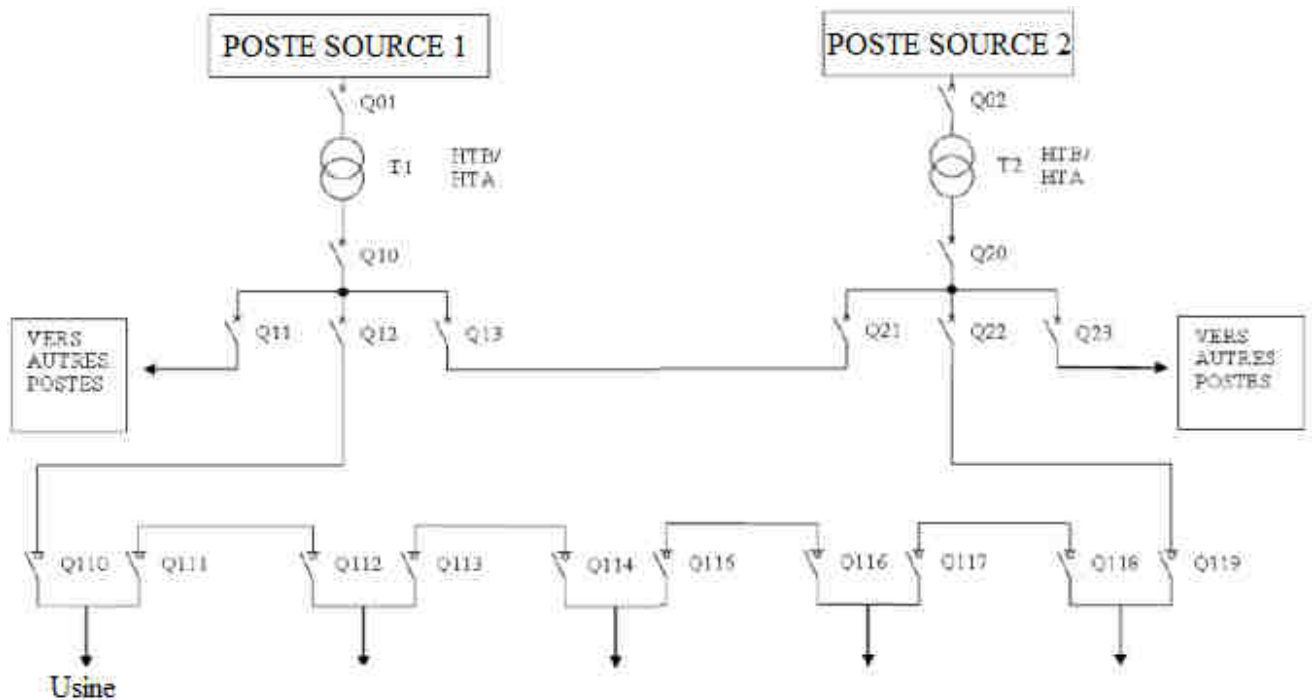
3- Calculer le courant de défaut  $I_d$

4- Calculer la tension de contact  $U_c$ . Est-elle dangereuse ? Pourquoi ?

5- Calculer la sensibilité du différentiel sachant que la tension limite de la TBT est  $U_L = 50V$ .

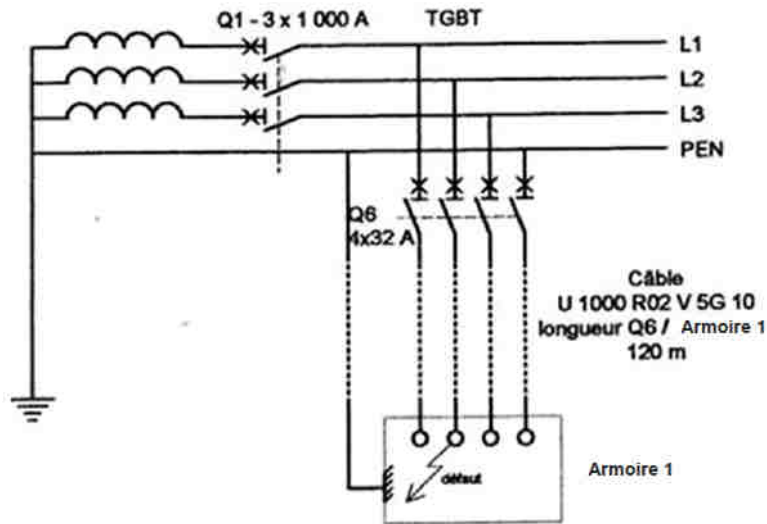
6- Choisir alors la sensibilité du différentiel  $Dj2$  à partir des valeurs standardisées (30mA, 100mA, 500mA, 1A).

**EXERCICE2** : L'extrait du schéma de l'alimentation HT d'une usine de fabrication de produits industriels est comme ci-dessous :



1) Déterminer la structure de distribution de cette usine :

2) Suite à un défaut constaté entre la masse de l'armoire 1 et la phase n° 2, comme indiqué sur le schéma ci-dessous :



a) D'après ce schéma, déterminer le schéma de liaison à la terre de l'installation et donner la signification de chacune des lettres.

b) Quel est l'avantage de ce type de schéma ? (1 seule réponse à cocher)

- Pas de déclenchement au premier défaut
- Nécessité d'un personnel électricien qualifié
- Economies de matériel (conducteurs, nombre de pôles des appareils, ...)

3) Surligner sur le schéma ci-dessus la boucle parcourue par le courant de défaut :

4) Le câble qui alimente l'armoire 1 depuis le poste de distribution est du type U1000R2V 5G10 et il mesure **120m** de longueur. Calculer la résistance d'un conducteur de ce câble ( $\rho = 1,6 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot m$ ).

5) Dessiner le schéma équivalent de la boucle parcourue par le courant de défaut.

6) A partir du schéma équivalent calculer le courant de défaut et la tension de contact.

7) Dans un réseau TN, en quel type de défaut se transforme un défaut d'isolement ?

8) Quel type d'appareil peut protéger contre ce type de défaut ?

9) Cette tension est-elle dangereuse ? Répondre par OUI ou NON.

10) Relever sur le schéma les caractéristiques de l'appareil Q6 :

|                 |  |
|-----------------|--|
| Type d'appareil |  |
| Nombre de pôles |  |
| Calibre         |  |

11) D'après la courbe de sécurité, quel doit être le temps maximal de déclenchement du dispositif de protection ?

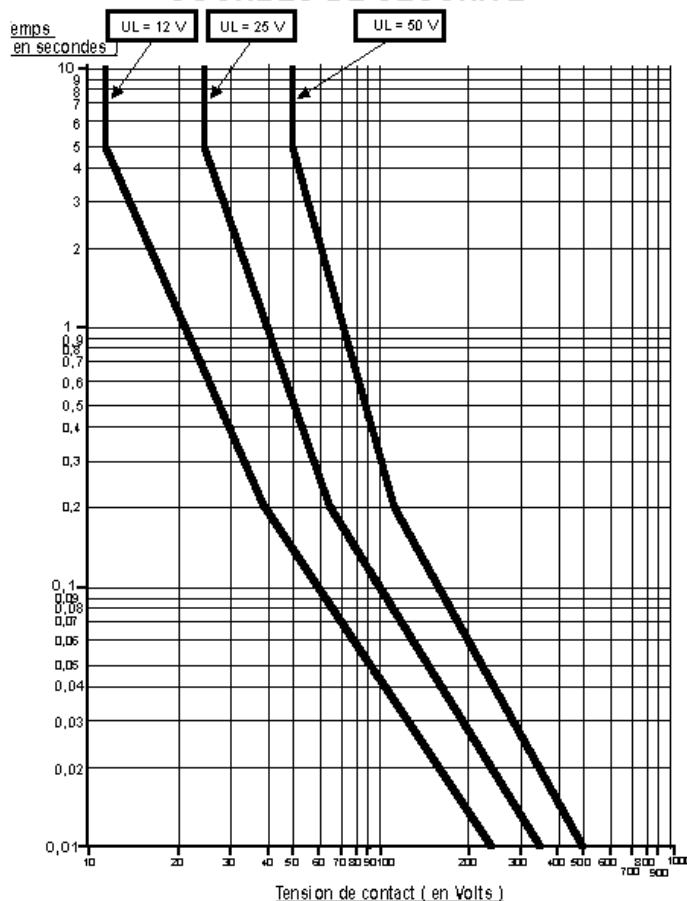
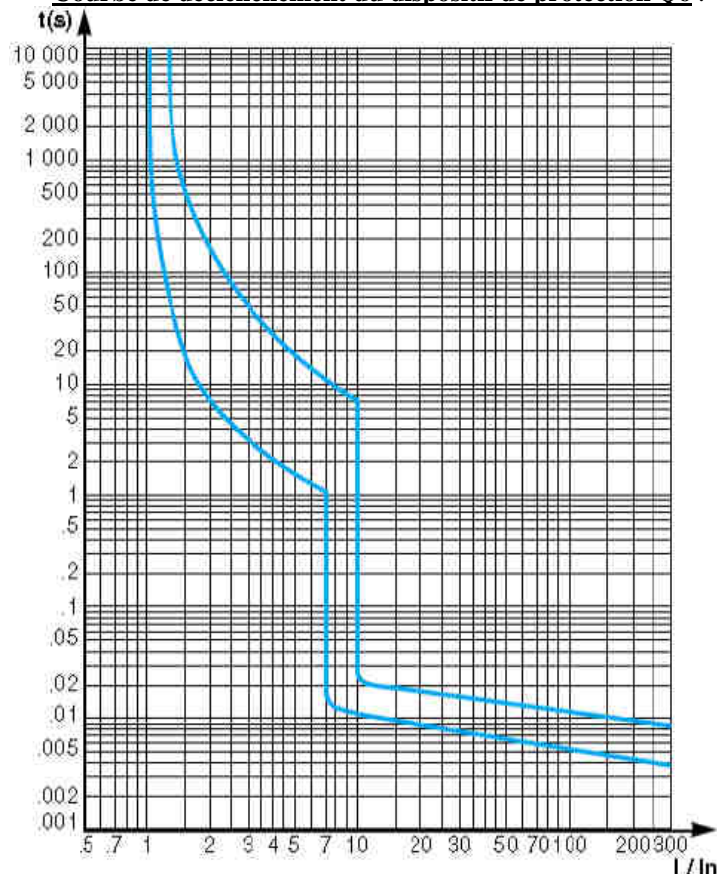
12) Relever sur la courbe de déclenchement, le temps que va mettre le dispositif de protection pour déclencher.

13) La protection des personnes est-elle assurée ? Répondre par OUI ou NON.

14) Calculer la résistance la longueur de câble au-delà de laquelle la protection des personnes n'est plus assurée par dispositif de protection tel que Q6 (avec  $\rho = 1,6 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot m$ ).

COURBES DE SECURITE

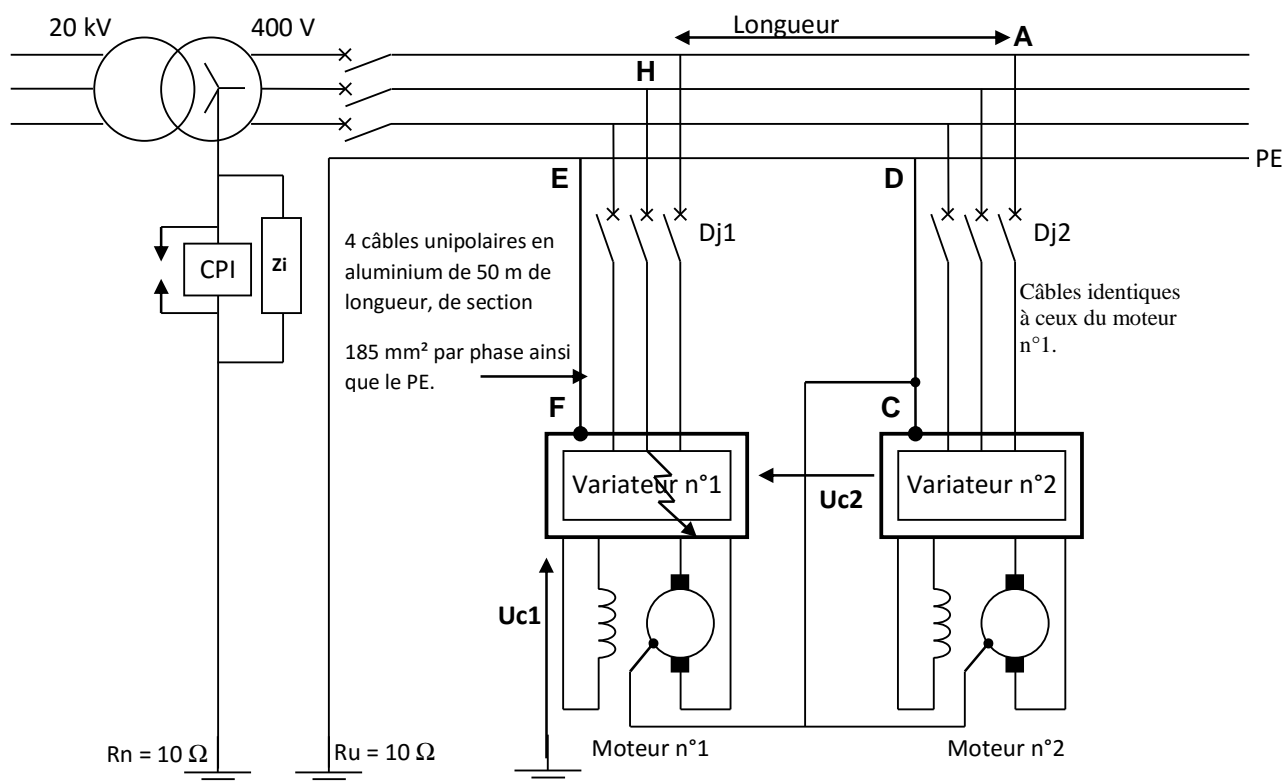
Courbe de déclenchement du dispositif de protection Q6 :



**EXERCICE 3 :** Le système étudié est le portique de levage pour la construction de bateaux dans un chantier naval. Ce portique possède 3 mouvements :

- Translation du portique sur 2 rails,
- Déplacement radial de la cabine,
- Levage (600 tonnes).

L'étude portera sur les 2 moteurs de levage ainsi que leurs circuits d'alimentation et de protection. L'installation électrique des 2 moteurs est réalisée conformément au schéma ci-dessous.



- 1) Définir, en justifiant votre réponse, le régime de neutre de l'installation, donner la signification des 2 lettres de ce régime de neutre.
- 2) Préciser le principal avantage de ce régime de neutre dans une installation électrique.
- 3) La phase 2 du variateur n°1 entre en contact accidentellement avec son capot de protection, créant ainsi un premier défaut. Dessiner en **bleu** le parcours du courant de défaut Id1.
- 4) Calculer la valeur du courant de défaut Id1 sachant que l'impédance d'isolement est  $Z_i = 5\,000\ \Omega$ .
- 5) Calculer la valeur de la tension de contact Uc1. Indiquer s'il y a un danger ou pas dans ce cas de figure pour les hommes.
- 5) Comment est signalé le premier défaut ? Que doit faire le service d'entretien ?
- 6) Le premier défaut persistant, la phase 1 du variateur n°2 entre en contact accidentellement avec son capot de protection, créant ainsi le second défaut. Dessiner en **rouge** le parcours du courant de défaut Id2.
- 7) Calculer la valeur du courant de défaut Id2, sachant que les longueurs HA et DE sont négligées et que  $\rho_{\text{aluminium}} = 36\ \text{m}\Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$  ou  $\rho_{\text{aluminium}} = 36 \times 10^{-3}\ \Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$ .
- 8) Calculer les valeurs des tensions Uc1 et Uc2 en faisant apparaître la méthode de calcul.
- 9) La protection des lignes moteurs est effectuée par 2 disjoncteurs (Dj1 et Dj2). Le courant en ligne lors du levage en charge est de 320 A et le rapport  $I_{\text{démarrage}} / I_n$  est de 2.5 lors des phases d'accélération. Quel devra être le seuil de déclenchement minimum du magnétique si on ne va que celui-ci déclenche pendant une utilisation normale (lors des phases d'accélération).  
Les disjoncteurs choisis sont des disjoncteurs DPX de calibre  $I_n = 320\ \text{A}$  et dont la courbe de déclenchement est fournie ci-dessous. Sachant que  $I_r$  (réglage du thermique) =  $I_n$ , calculer les valeurs minimum et maximum possibles pour le réglage du magnétique. Précisez alors à quelle valeur vous régleriez ce magnétique.
- 11) D'après la courbe de fonctionnement de ces disjoncteurs, déterminer le temps de déclenchement des appareils de protection lors de l'apparition de ces 2 défaut d'isolation (tracé à effectuer sur la courbe).
- 12) L'installation étant dans un local sec, la sécurité des personnes est-elle assurée dans le cas où l'opérateur entre en contact avec les 2 variateurs (il n'a vraiment pas de chance).

**Disjoncteur de puissance DPX 400**

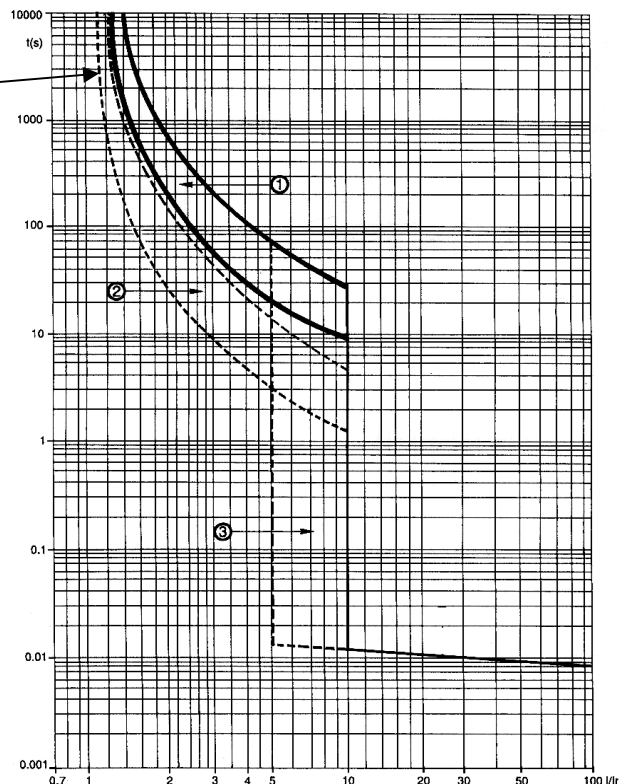
**$I_n = 250 / 320 / 400\ \text{A}$**

**Courbes de fonctionnement**



à  $\theta_{\text{ambiant}} = 40^\circ\text{C}$

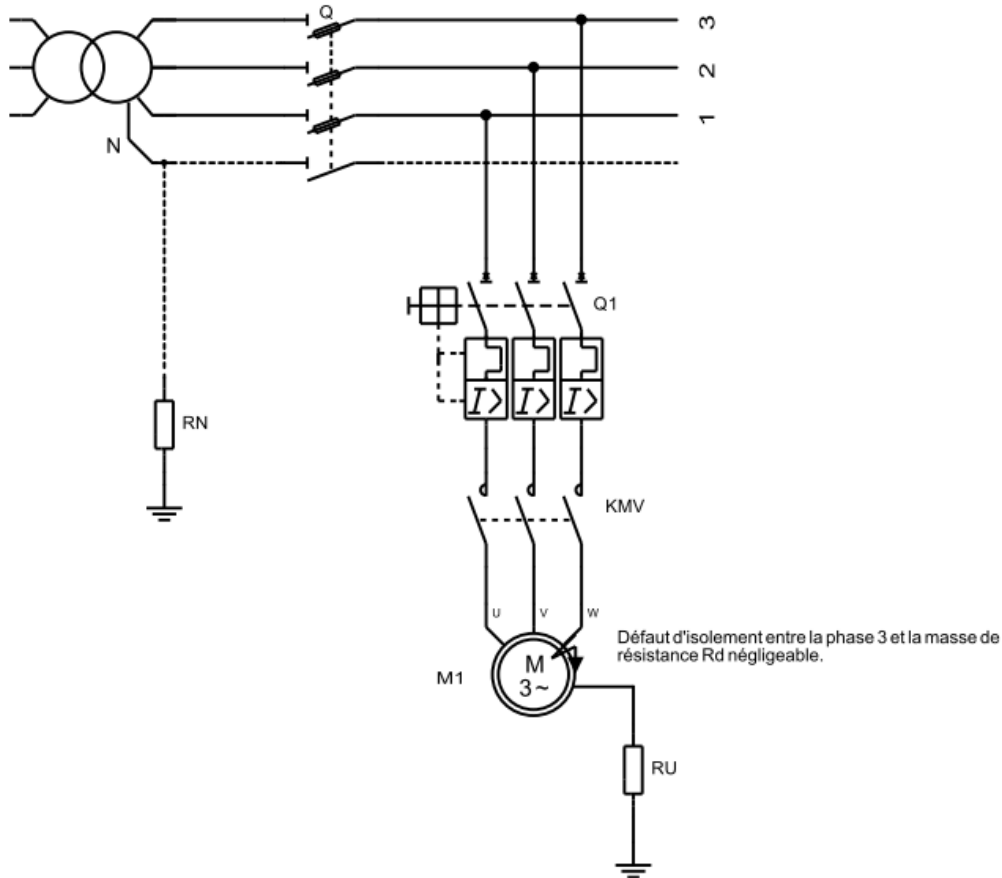
- l = courant réel
- $I_r$  = courant maxi de réglage du déclencheur thermique
- ① = zone de déclenchement thermique à froid
- ② = zone de déclenchement thermique à chaud (en régime)
- ③ = déclenchement magnétique (réglage mini à maxi)



EXTRAITS DES EXAMENS BAC

**BAC 2009 S-NORMALE (Système de galvanisation): Choix du disjoncteur :**

Le régime du neutre adopté est le régime TT. On veut choisir le disjoncteur différentiel, sachant que le moteur M1 se trouve dans un local sec. Pour cela, on suppose qu'un défaut d'isolement s'est produit entre la phase 3 et la masse métallique du moteur. On rappelle que pour un local sec la tension de sécurité limite est  $V_L=50\text{ V}$ .



1- Expliquer la signification des lettres TT :

.....

.....

2- Tracer le schéma électrique équivalent de défaut :

3- Calculer le courant de défaut  $I_d$ , sachant que  $R_N = 10\ \Omega$ ,  $R_U = 20\ \Omega$  et  $R_d = 0\ \Omega$  :

.....

4- Calculer la tension  $U_c$  de contact entre la masse métallique du moteur et la terre :

.....

5- Cette tension présente-t-elle un danger ? Justifier votre réponse ?

.....



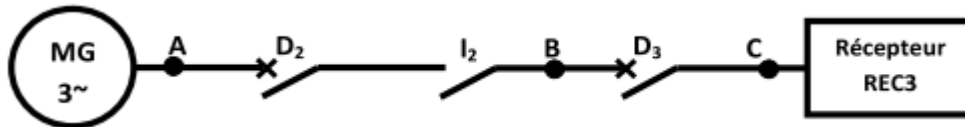
6- Calculer le courant  $I_d$  pour la tension limite  $V_L$  :

7- Choisir parmi la liste proposée (ci-dessous) le disjoncteur de sensibilité convenable.

| Disjoncteur                     | Sensibilité : $I\Delta n$ |
|---------------------------------|---------------------------|
| Disjoncteur haute sensibilité   | 6 ; 12 ; 30mA             |
| Disjoncteur moyenne sensibilité | 0,1 ; 0,3 ; 0,5 ; 1A      |
| Disjoncteur faible sensibilité  | 3 ; 5 ; 10 ; 20A.         |

**BAC 2009 S-RATTRAPAGE (Alimentation électrique de secours): Choix du disjoncteur D3**

On se propose de faire le choix du disjoncteur D3.



Le courant de court-circuit  $I_{CC0}$  au point A est donné par la formule:  $I_{CC0} = 100. (I_n / X'd)$  ; avec :

$I_n$  : courant nominal débité par l'alternateur ;  $X'd$ : réactance transitoire exprimée en %.

1. Pour  $X'd = 13,5\%$ , Calculer le courant de court-circuit  $I_{CC0}$  au point A :

2. Calculer le courant nominal du récepteur triphasé REC3 dont les caractéristiques sont : 45 kW -400 V -  $\cos \varphi = 0,86$  :

3. Préciser la référence du disjoncteur D3, sachant que  $I_{CC}$  au point C est égal à 3kA.

**Fiche technique pour le choix des disjoncteurs**

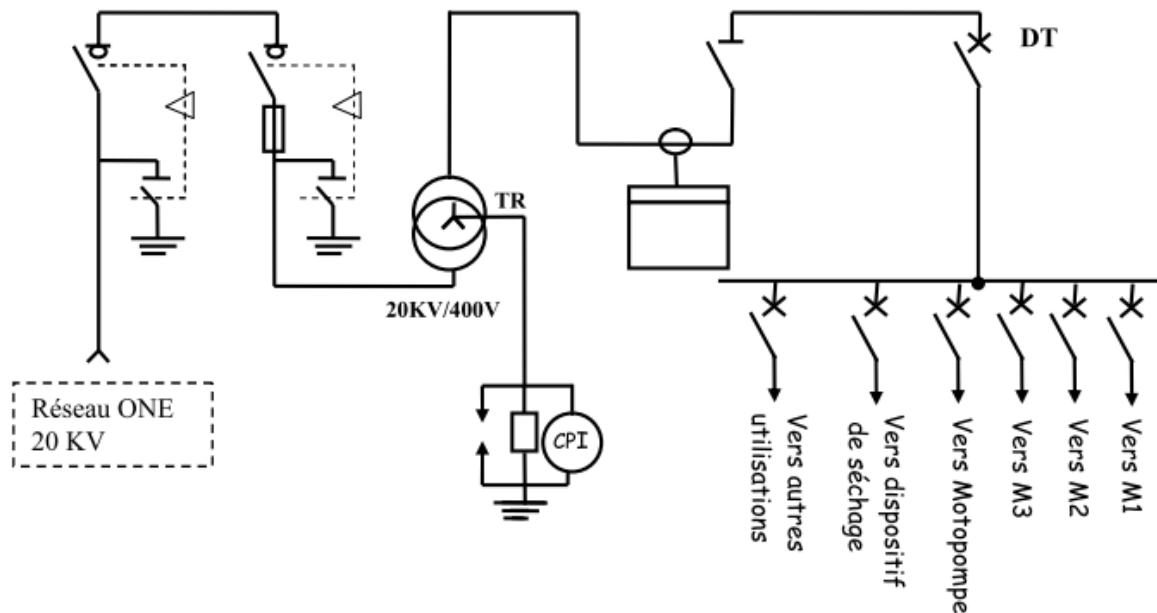
|                                     |             | C60N      | C60L 25 A | C60L 32-40A | C60L 50-53A | NC100H     | C161N      | C250N      |
|-------------------------------------|-------------|-----------|-----------|-------------|-------------|------------|------------|------------|
| Courant assigné (A)                 |             | 63 à 40°C | 63 à 40°C | 63 à 40°C   | 63 à 40°C   | 100 à 40°C | 160 à 40°C | 250 à 40°C |
| Tension assignée d'emploi (V)       | CA 50/60 Hz | 400       | 415       | 415         | 415         | 415        | 690        | 690        |
|                                     | CC          | 250       | 250       | 250         | 250         | 250        | 500        | 500        |
| Tension d'isolement UI (V)          |             | 500       | 500       | 500         | 500         | 500        |            |            |
| Nombre de pôles                     |             | 1 2-3-4   | 1 2-3-4   | 1 2-3-4     | 1 2-3-4     | 1 2-3-4    | 3-4        | 3-4        |
| Pouvoir de coupure $I_{cc CA}$ (kA) | 130 V       | 20        | 50        | 50          | 50          |            |            |            |
|                                     | 230 V       |           |           |             |             |            | 85         | 85         |
|                                     | 240 V       | 10 20     | 25 50     | 20 40       | 15 30       |            | 85         | 85         |
|                                     | 415 V       | 3 10      | 6 25      | 5 20        | 4 15        | 4 10       | 25         | 35         |
|                                     | 440 V       | 6         | 20        | 15          | 10          | 6          | 22         | 30         |
|                                     | 690 V       |           |           |             |             |            | 8          | 8          |
| Pouvoir de coupure $I_{cc CC}$ (kA) | 60 V        | 15 (1p)   | 25 (1p)   | 25 (1p)     | 25 (1p)     |            | 50 (2p)    | 50 (2p)    |
|                                     | 125 V       | 20 (2p)   | 30 (2p)   | 30 (2p)     | 30 (2p)     | 30(2p)     | 50 (2p)    | 50 (2p)    |
|                                     | 125 V       | 30 (3p)   | 50 (3p)   | 50 (3p)     | 50 (3p)     | 40 (3p)    | 50 (2p)    | 50 (2p)    |
|                                     | 250 V       | 40 (4p)   | 60 (4p)   | 60 (4p)     | 60 (4p)     | 20 (4p)    | 50 (2p)    | 50 (2p)    |
|                                     | 500 V       |           |           |             |             |            | 50 (4p)    | 50 (4p)    |

**BAC 2010S-NORMALE (Système de lavage automatique de véhicules): Etude du poste d'alimentation :**

Le système de lavage est alimenté à partir d'un poste de distribution MT/BT.

1.1- Donner le type d'alimentation de ce poste :

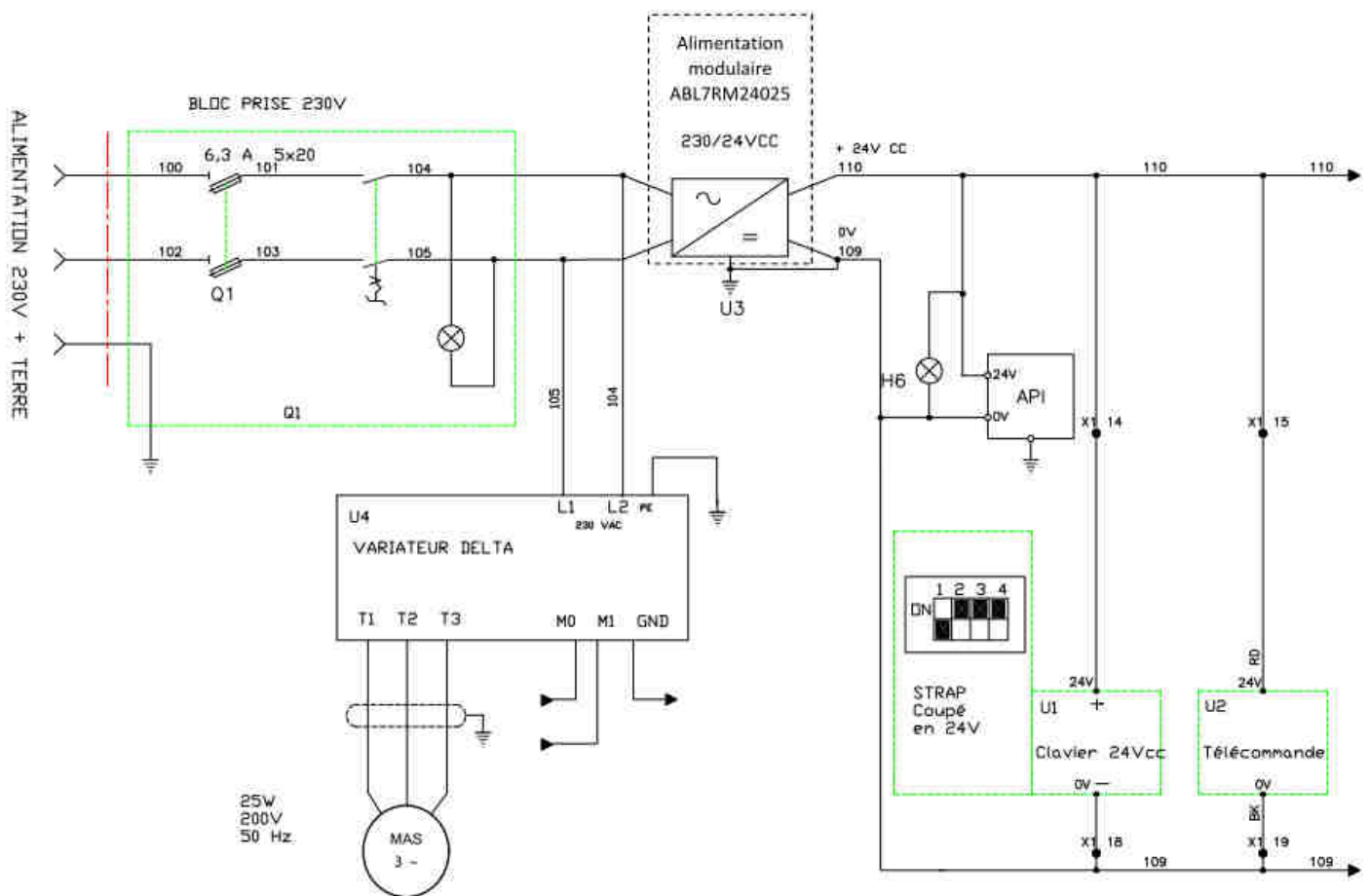




1.2- Identifier le régime de neutre utilisé. Citer deux avantages de ce régime.

**BAC 2010s-RATTRAPAGE (Barrière de parking): Alimentation modulaire:**

On désire identifier les caractéristiques électriques de l'alimentation modulaire du circuit de commande dont la référence est : ABL7RM24025 (ci-dessous) :



1. Indiquer la nature des tensions (continue ou alternative) à l'entrée et à la sortie de l'alimentation et leurs valeurs :

Pourquoi une tension de 24V à la sortie de l'alimentation ?

2. D'après le document constructeur ci-dessous, indiquer les protections électriques intégrées dans cette alimentation :

## Caractéristiques

## Alimentations

Alimentations pour circuits de contrôle à courant continu

Alimentations réglées modulaires Phaseo

### Caractéristiques techniques

| Type d'alimentation   | ABL 7RM1202    | ABL 7RM2401   | ABL 7RM24025 |
|-----------------------|----------------|---|--------------|
| Certifications        | UL - CSA - TÜV |   |              |
| Conformité aux normes | Sécurité       | IEC/EN 60950-1 - IEC/EN 61131-2/A11                   |              |
|                       | CEM            | IEC/EN 61000-6-2 (IEC/EN 61000-6-1), IEC/EN 61000-6-3 |              |

### Circuit d'entrée

|                                |                     |                         |                         |
|--------------------------------|---------------------|-------------------------|-------------------------|
| Signalisation par DEL          | Non                 |                         |                         |
| Tensions d'entrée              | Valeurs nominales   | V                       | - 100...240             |
|                                | Valeurs admissibles | V                       | - 85...264              |
| Fréquences admissibles         | Hz                  | 47...63                 |                         |
| Rendement sous charge nominale |                     | > 80%                   | > 84%                   |
| Courant de consommation        | A                   | 0,5 (100 V)/0,3 (240 V) | 0,6 (100 V)/0,4 (240 V) |
| Courant à la mise sous tension | A                   | < 20                    | < 90 pendant 1 ms       |
| Facteur de puissance           | 0,6                 |                         |                         |

### Circuit de sortie

|                            |   |                            |          |
|----------------------------|---|----------------------------|----------|
| Signalisation par DEL      | DEL verte   |                            |          |
| Tension de sortie nominale | V   | = 12                       | = 24     |
| Courant de sortie nominal  | A   | 1,9                        | 1,3      |
| Précision                  | Tension de sortie                                   | Ajustable de 100 à 120 %   |          |
|                            | Régulation de ligne et charge                       | ± 4 %                      |          |
|                            | Ondulation résiduelle - bruit                       | mV                         | 200      |
| Microcoupures              | Temps de maintien pour I max et I <sub>se</sub> min | ms                         | > 10     |
|                            | Protections   | Contre les courts-circuits |          |
| Protections                | Contre les surcharges à froid                       | < 1,7 In                   | < 1,6 In |
|                            | Contre les sous-tensions                            | V                          | < 10,5   |
|                            |   |                            | < 19     |

### Caractéristiques fonctionnelles

|                                       |                               |  |  |
|---------------------------------------|-------------------------------|--|--|
| Raccordements                         | En entrée                     | mm <sup>2</sup>  | Bornes à vis 1 x 2,5 ou 2 x 1,5          |
|                                       | En sortie                     | mm <sup>2</sup>  | Bornes à vis 1 x 2,5 ou 2 x 1,5          |
| Ambiance                              | Température de stockage       | °C   | - 25...+ 70                              |
|                                       | Température de fonctionnement | °C   | - 20...+ 55                              |
|                                       | Humidité relative maximale    |  | 95 %                                     |
|                                       | Degré de protection           |  | IP 20                                    |
|                                       | Vibrations                    |  | IEC/EN 61131-2, IEC/EN 80068-2-6 test Fc |
| Position de fonctionnement            | Vertical                      |  |  |
| Couplages                             | Série                         | Non  |  |
|                                       | Parallèle                     | Oui (références identiques)  |  |
| Tenue diélectrique                    | Entrée/sortie                 | 3000 VAC/50 Hz/1 mn  |  |
| Classe de protection selon VDE 0105 1 | Classe II sans PE             |  |  |
| Fusible d'entrée incorporé            | Oui (non interchangeable)     |  |  |
| Émission                              | Conduit/rayonné               | IEC/EN 61000-6-3, EN 55011, EN 55022 ClB                                     |  |
| Immunités                             | Décharges électrostatiques    | IEC/EN 61000-6-2 (norme générique), IEC/EN 61000-4-2 (4 kV contact/8 kV air) |  |
|                                       | Électromagnétique             | IEC/EN 61000-4-3 level 3 (10 V/m)  |  |
|                                       | Perturbations conduites       | IEC/EN 61000-4-4 level 3 (2 kV), IEC/EN 61000-4-6 (10 V)                     |  |
|                                       | Perturbations secteur         | IEC/EN 61000-4-11  |  |

3. Quelle est la protection électrique utilisée en amont de cette alimentation ?

4. Proposer un autre moyen de protection à la place du fusible.

**BAC 2011s-NORMALE (Positionneur d'antenne parabolique): Nature des protections:**

L'alimentation livrée avec le positionneur est une alimentation stabilisée linéaire de référence PS 613, dont les caractéristiques sont données dans le tableau ci-dessous.

|                                 |   | PS603 / PS613 |            |  |
|---------------------------------|---|---------------|------------|--|
| Tension d'entrée                | 230Vac ±10%   |               |            |  |
| Tension de sortie               | 0-30V   | 12V           | 5V         |  |
| Courant de sortie               | 3A  | 1A            | 1A         |  |
| Régulation de charge            | tension constante: $\leq 1 \times 10^{-4} + 1mV$<br>courant constant: $\leq 1 \times 10^{-3} + 6mA$ | $\leq 2\%$    | $\leq 2\%$ |  |
| Limitation de courant           | 10mA-3,2A   | 1,2A-1,6A     | 1,2A-1,6A  |  |
| ondulation résiduelle et bruit  | tension constante: $\leq 2mV$<br>courant constant: $\leq 5mA$                                       |               |            |  |
| Protection                      | limitation de courant et protection contre courts-circuits  |               |            |  |
| Précision indicateur de tension | $\leq 10mV$   |               |            |  |
| Précision indicateur de courant | $\leq 5mA$  |               |            |  |
| Fusible                         | F1,6AL 250 (référence FF1,6N)   |               |            |  |
| Temps d'emploi                  | 8 heures en continu sans surcharge ou court-circuit   |               |            |  |

1. Quels sont les types des protections utilisées ?

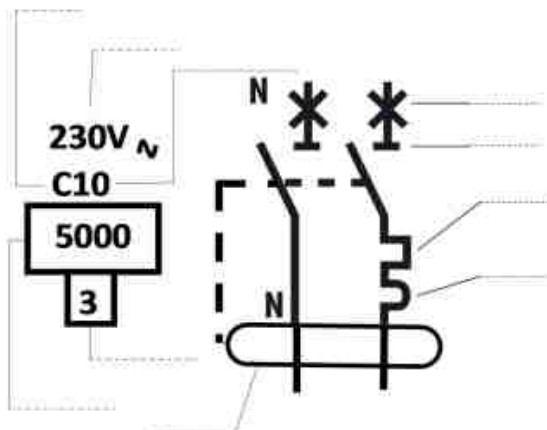
2. Préciser le domaine de limitation ou le calibre des protections utilisées.

| Protection par :               |            | Domaine | Calibre |
|--------------------------------|------------|---------|---------|
| Fusible                        |            |         | .....   |
| Moyen de limitation de courant | 0~30V (3A) | .....   |         |
|                                | 12V (1A)   | .....   |         |
|                                | 5V (1A)    | .....   |         |

**BAC 2012s-RATTRAPAGE (Store automatisé): Protection de l'installation:**

Le branchement électrique du store nécessite une alimentation en énergie électrique conforme à la norme NF C 15-100 et NF C 14-100. On assure sa protection par un disjoncteur différentiel calibre : 10A, sensibilité : 30mA

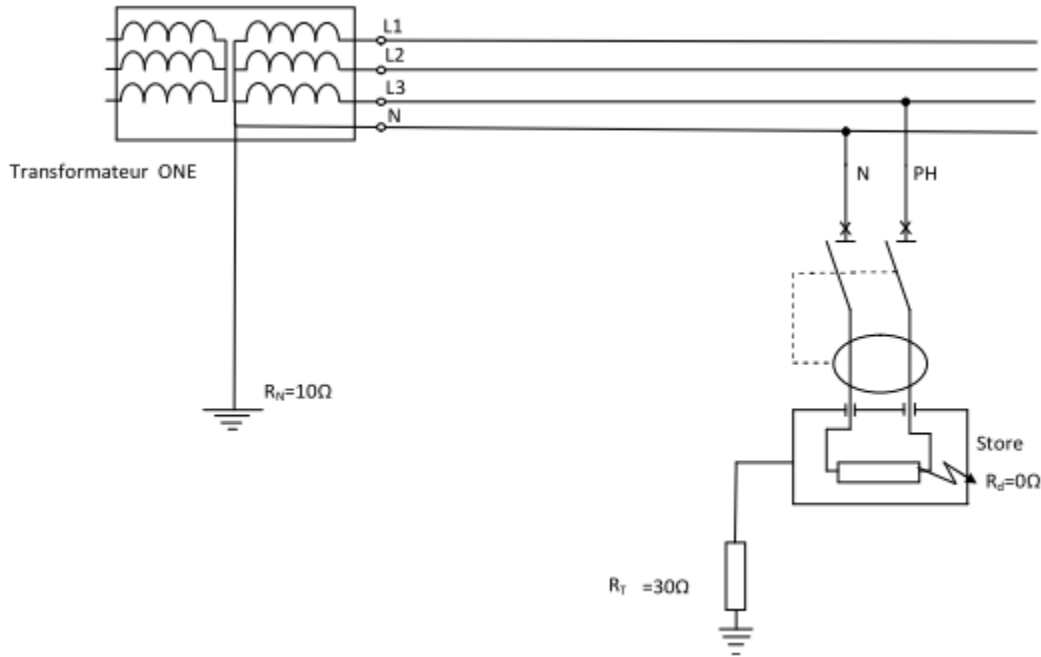
1. Compléter le document ci-dessous en insérant le numéro correspondant de chaque élément proposé à sa place :



**Éléments proposés**

1. Déclenchement différentiel
2. Coupure automatique
3. Classe de limitation
4. Tension assignée (nominale)
5. Pouvoir de coupure
6. Déclenchement magnétique
7. Sectionnement
8. Intensité assigné (nominale)
9. Type de courbe
10. Déclenchement thermique

2. Une masse métallique du store est mise accidentellement sous tension suite à un défaut d'isolement. En considérant la figure représentée et en supposant que la résistance du défaut est faible :



- De quel régime du neutre s'agit-il ? .....
- Représenter sur le schéma le chemin du courant de défaut  $I_d$ .
- Déterminer la valeur de ce courant de défaut : .....
- A quelle tension  $U_c$  est soumise la personne qui touche la masse métallique du store ? .....
- Le disjoncteur déclenche-t-il ? Pourquoi ? .....

### Convertisseurs statiques

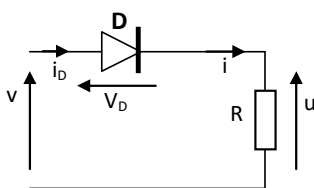
#### Résumé du cours

| Convertisseurs          | Conversion assurée      | Interrupteur          |
|-------------------------|-------------------------|-----------------------|
| Redresseur à diodes     | Alternatif - continu    | Diodes                |
| Redresseur à thyristors | Alternatif - continu    | Thyristors-diodes     |
| Onduleur autonome       | Continu alternatif -    | Thyristors-transistor |
| Hacheur série           | Continu -continu        | Thyristors-transistor |
| Gradateur               | Alternatif - alternatif | Thyristors-triacs     |

#### Redresseurs à diodes (redresseurs non commandés)

##### Redresseur monophasé- simple alternance-

###### Schéma de montage



###### Grandeurs caractéristiques

Valeur moyenne de  $u$  :

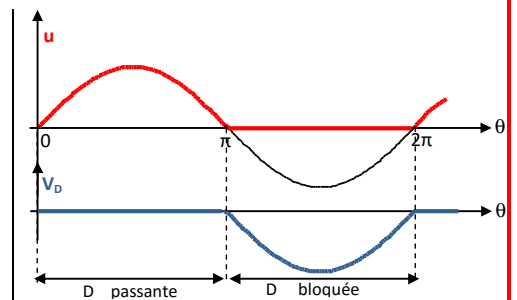
$$U_{moy} = \frac{\sqrt{2}}{\pi} V$$

Valeur efficace de  $u$  :

$$U = \frac{\sqrt{2}}{2} V$$

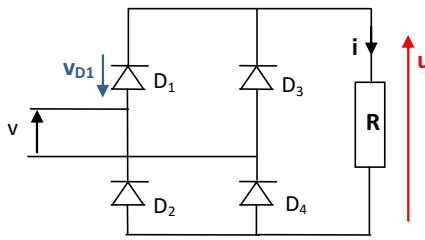
Tension maximale supportée par la diode :

$$V_{Dmax} = \sqrt{2} V$$



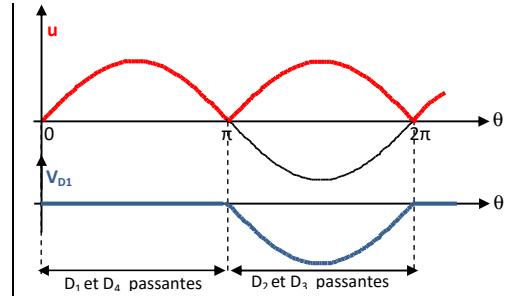
**Redresseur monophasé- double alternance-**

**Schéma de montage PD2**

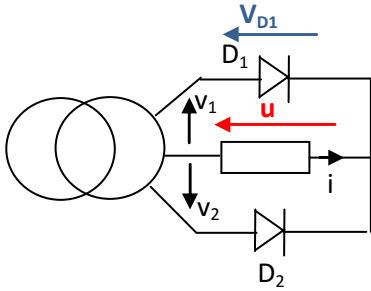


**Grandeurs caractéristiques**

Valeur moyenne de u :  
 $u_{moy} = 2\sqrt{2}V/\pi$   
 Valeur efficace de u :  
 $U = V$   
 Tension maximale supportée par la diode :  
 $V_{Dmax} = \sqrt{2}V$

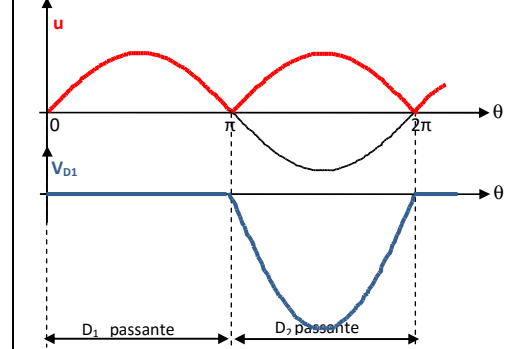


**Schéma de montage P2**



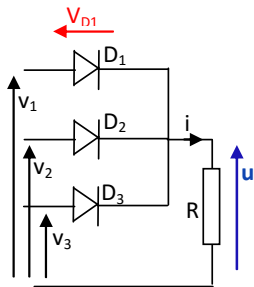
**Grandeurs caractéristiques**

Valeur moyenne de u :  
 $u_{moy} = 2\sqrt{2}V/\pi$   
 Valeur efficace de u :  
 $U = V$   
 Tension maximale supportée par la diode :  
 $V_{Dmax} = 2\sqrt{2}V$



**Redresseur triphasé**

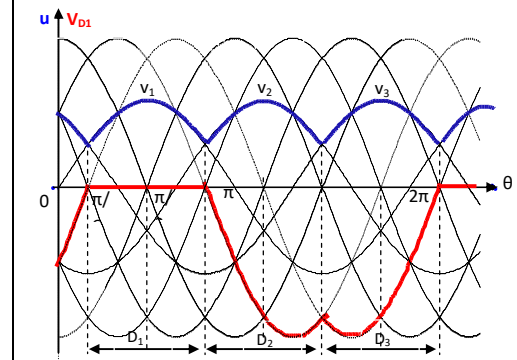
**Schéma de montage P3**



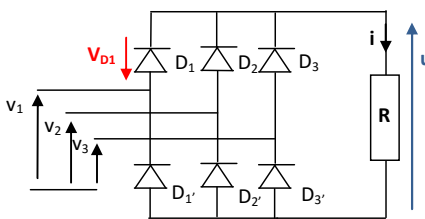
1, 2 et 3 système triphasé équilibré

**Grandeurs caractéristiques**

Valeur moyenne de u :  
 $u_{moy} = 3\sqrt{3} \sqrt{2}V/2\pi$   
 Valeur efficace de u :  
 $U = \sqrt{3}V [1 + (\sin 2\pi/3) / 2\pi/3]$   
 Tension maximale supportée par la diode :  
 $V_{Dmax} = \sqrt{3} \cdot \sqrt{2}V$



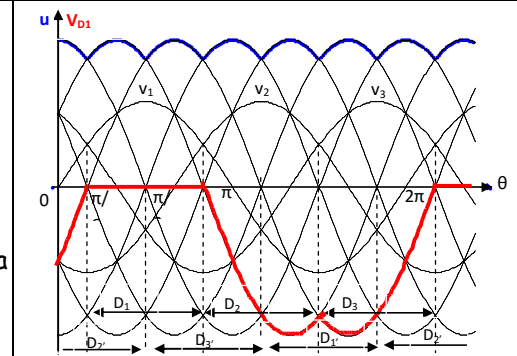
**Schéma de montage PD3**



1, 2 et 3 système triphasé équilibré

**Grandeurs caractéristiques**

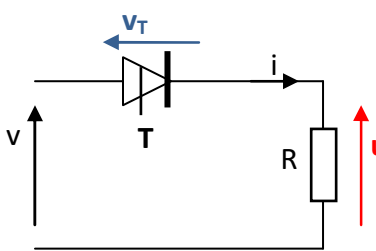
Valeur moyenne de u :  
 $u_{moy} = 3\sqrt{3}\sqrt{2}V/\pi$   
 Valeur efficace de u :  
 $U = \sqrt{3}V [1 + (\sin \pi/3) / \pi/3]$   
 Tension maximale supportée par la diode :  
 $V_{Dmax} = \sqrt{3} \cdot \sqrt{2}V$



**Redresseurs à thyristors monophasés (redresseurs commandés)**

**Redresseur commandé - simple alternance-**

**Schéma de montage**

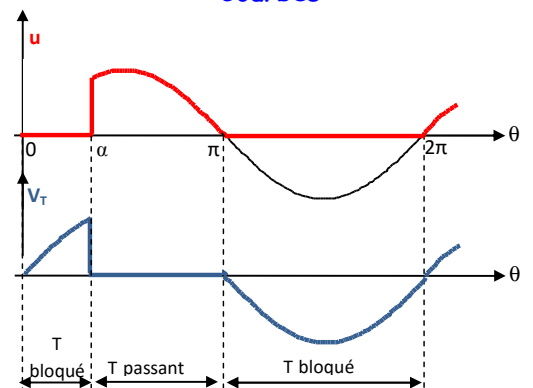


$\alpha =$  l'angle de retard à l'amorçage

**Grandeurs caractéristiques**

Valeur moyenne de u :  
 $u_{moy} = \sqrt{2}V/\pi \cdot (1 + \cos \alpha)/2$   
 Valeur efficace de u :  
 $U = \sqrt{2}V/2 \cdot \sqrt{(1 - \alpha/\pi + \sin 2\alpha/2\pi)}$   
 Tension maximale supportée par le thyristor :  
 $V_{Tmax} = \sqrt{2}V$

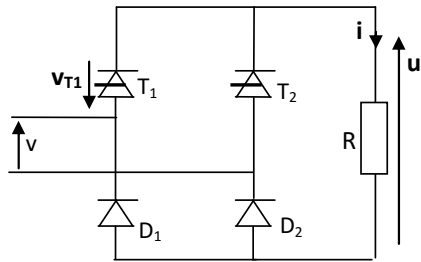
**Courbes**





Redresseur commandé - double alternance - pont mixte

Schéma de montage



$\alpha =$  l'angle de retard à l'amorçage

Grandeurs caractéristiques

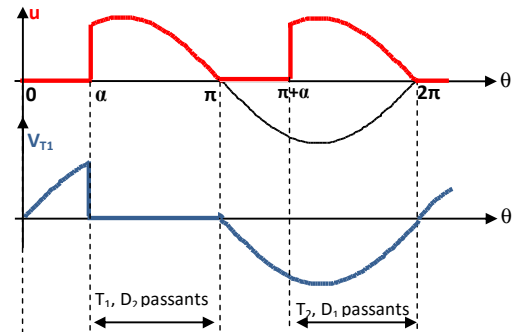
Valeur moyenne de  $u$  :  
 $U_{moy} = 2V\sqrt{2}/\pi \cdot (1 + \cos \alpha)/2$

Valeur efficace de  $u$  :  
 $U = V \cdot \sqrt{(1 - \alpha/\pi + \sin 2\alpha/2\pi)}$

Tension maximale supportée par le thyristor :

$V_{Tmax} = V_{Dmax} = V\sqrt{2}$

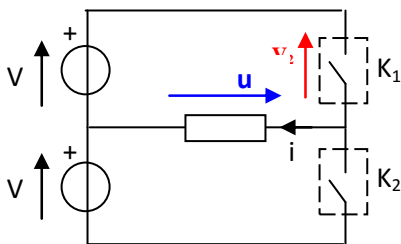
Courbes



Onduleur autonome monophasé

Onduleur en demi-pont à deux interrupteurs - commande symétrique

Schéma de montage



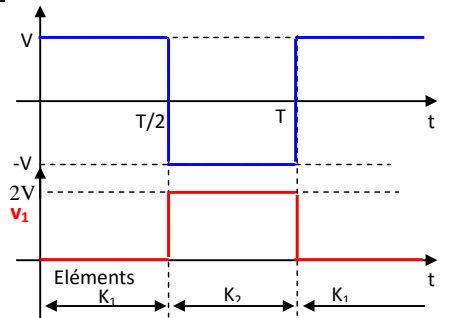
Grandeurs caractéristiques

Valeur moyenne de  $u$  :  
 $\bar{u} = 0$  (tension alternative)

Valeur efficace de  $u$  :  
 $U = V$

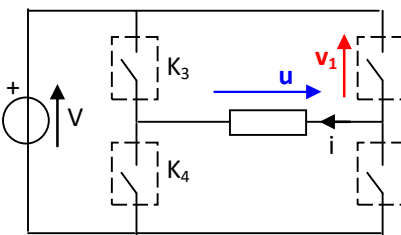
Tension maximale supportée par les interrupteurs :

$v_1 = 2V$



Onduleur en pont à quatre interrupteurs - commande symétrique

Schéma de montage



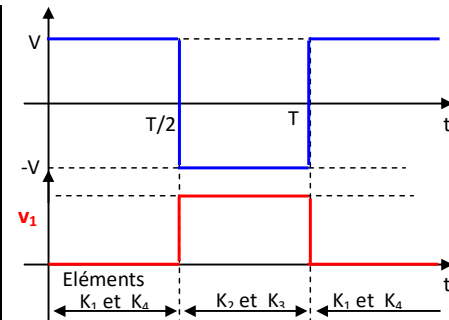
Grandeurs caractéristiques

Valeur moyenne de  $u$  :  
 $\bar{u} = 0$  (tension alternative)

Valeur efficace de  $u$  :  
 $U = V$

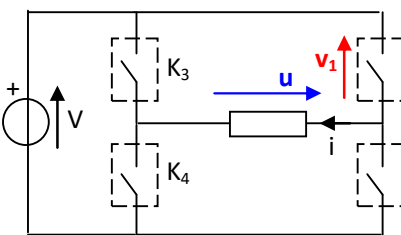
Tension maximale supportée par les interrupteurs :

$v_1 = V$



Onduleur en pont à quatre interrupteurs - commande décalée

Schéma de montage



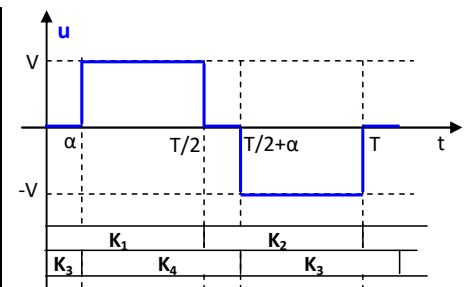
Grandeurs caractéristiques

Valeur moyenne de  $u$  :  
 $\bar{u} = 0$  (tension alternative)

Valeur efficace de  $u$  :  
 $U = V\sqrt{(1 - 2\alpha/2\pi)}$

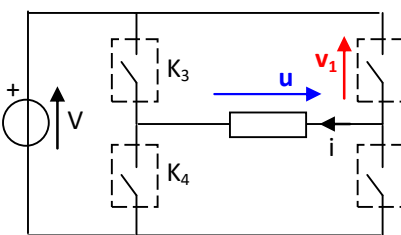
Tension maximale supportée par les interrupteurs :

$v_1 = V$

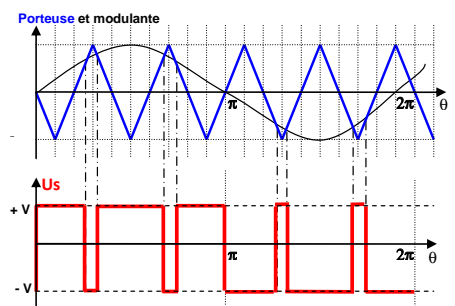
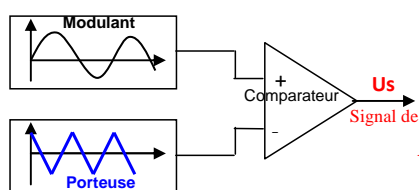


Onduleur en pont à quatre interrupteurs - Commande par modulation de largeur d'impulsion : MLI

Schéma de montage



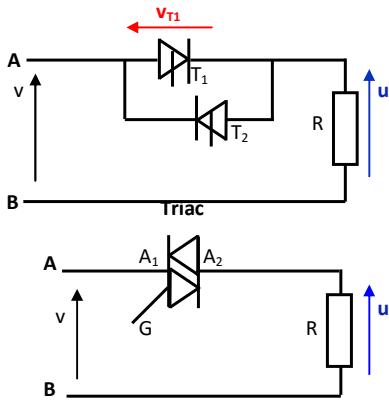
Principe de commande MLI du bras  $K_1 - K_2$



**Gradateur monophasé**

**Commande par la phase**

**Schéma de montage**



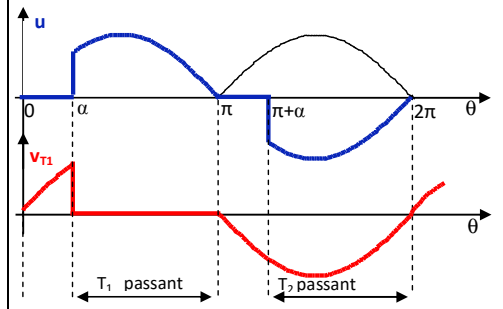
**Grandeurs caractéristiques**

Valeur moyenne de la tension  $u$  :  
 $\bar{u} = 0$  (tension alternative)

Valeur efficace de la tension  $u$   
 $U = V \cdot \sqrt{1 - \alpha/\pi + \sin 2\alpha/2\pi}$

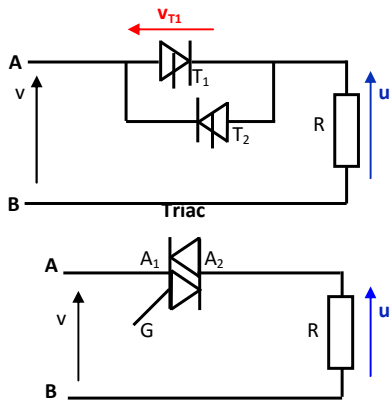
Tension maximale supportée par les éléments  
 $V_{Tmax} = V\sqrt{2}$

**Courbes**



**Commande par train d'ondes**

**Schéma de montage**



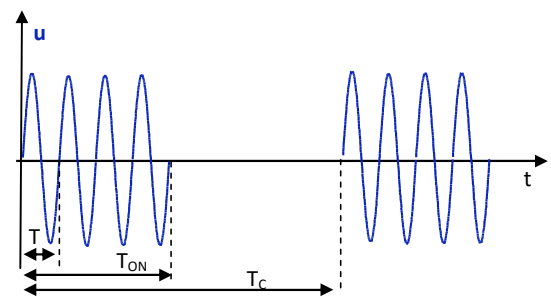
**Grandeurs caractéristiques**

Valeur moyenne de la tension  $u$  :  
 Soit  $\bar{u} = 0$  (tension alternative)

Valeur efficace de la tension  $u$   
 $U = V \cdot \sqrt{\alpha}$  avec  $\alpha = T_{ON}/T_c$

Tension maximale supportée par les éléments  
 $V_{T1max} = V_{T2max} = V\sqrt{2}$

**Courbes**



**ACTIVITE 12 : TD : CONVERTISSEURS STATIQUES**

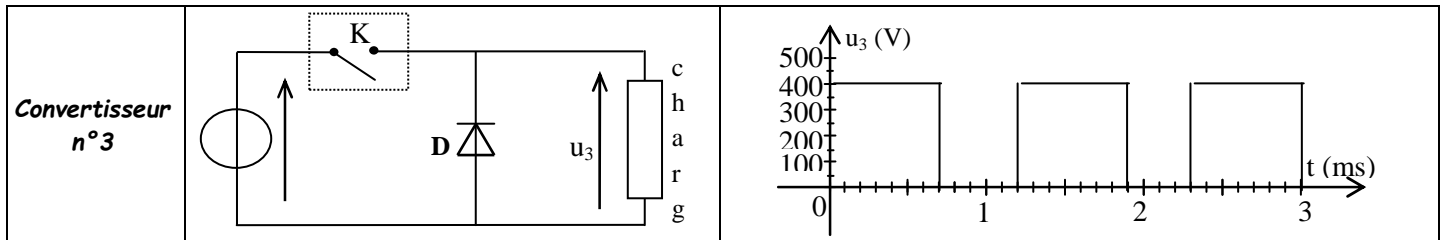
**EXERCICE 1** : On dispose, dans l'atelier, de trois convertisseurs statiques :

- un hacheur série,
- un onduleur autonome,
- un redresseur non commandé.

Le tableau ci-dessous donne, pour chacun des convertisseurs, le schéma de principe et l'allure de la tension de sortie pour un fonctionnement sur charge inductive.

|                          | <b>Schéma de principe</b> | <b>Allure de la tension de sortie</b> |
|--------------------------|---------------------------|---------------------------------------|
| <b>Convertisseur n°1</b> |                           |                                       |
| <b>Convertisseur n°2</b> |                           |                                       |





**A. Convertisseur n°1**

1) Quel est le nom de ce convertisseur ?

2) Quelle est la conversion réalisée ?

3) Quelle est la fréquence de la tension  $u_1(t)$  ?

4) Quelle est la valeur de la tension E délivrée par chacune des sources de tension ?

**B. Convertisseur n°2**

1) Quel est le nom de ce convertisseur ?

2) Quelle est la conversion réalisée ?

3) Quelle est la pulsation de la tension d'entrée  $v(t)$  ?

4) Quelle est la valeur efficace de la tension d'entrée  $v(t)$  ?

**C. Convertisseur n°3**

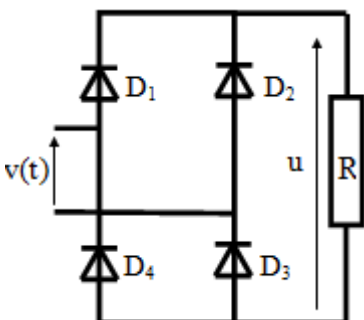
1) Quel est le nom de ce convertisseur ?

2) Quelle est la conversion réalisée ?

3) Quelle est la valeur du rapport cyclique ?

4) Quelle est la valeur moyenne de la tension  $u_3(t)$  ?

**EXERCICE2 :** On branche entre phase et neutre le montage redresseur suivant :



1. Déterminer pour cette tension  $v(t) = 230\sqrt{2} \sin 100\pi t$  :

la valeur efficace : .....

la valeur moyenne : .....

la valeur maximale : .....

la fréquence : .....

la période : .....

2. De quel type de redresseur s'agit-il ? (mono alternance ou double alternance ; commandé ou non commandé ?)

.....

3. Indiquer sur un schéma le sens réel du courant  $i(t)$  circulant dans la charge. La valeur moyenne de l'intensité de ce courant est de 5A.

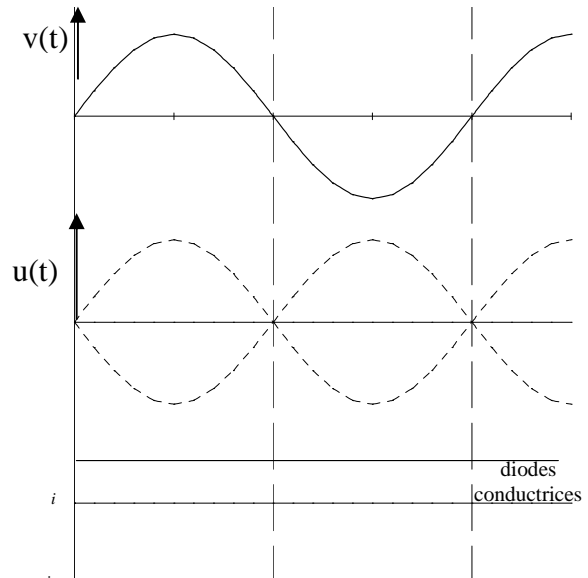
4. Calculer la valeur moyenne  $\langle u \rangle$  de la tension aux bornes de la charge :

.....

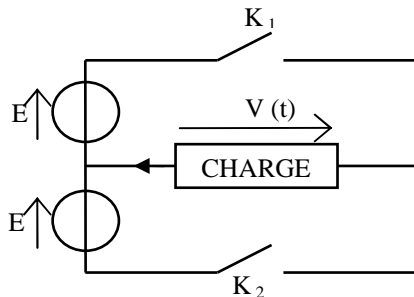
5. Calculer la valeur de la résistance R :

.....

6. Dessiner l'allure de  $u(t)$ .



**EXERCICE 3 :** Le schéma suivant représente le modèle simplifié d'une partie de l'onduleur :



$E = 127 \text{ V}$ .

$K_1$  et  $K_2$  sont des interrupteurs parfaits.

- Entre 0 et  $T/2$  :  $K_1$  fermé et  $K_2$  ouvert
- Entre  $T/2$  et  $T$  :  $K_1$  ouvert et  $K_2$  fermé.

La charge est inductive.

$T$  désigne la période de fonctionnement des interrupteurs.

1) Quel type de conversion de l'énergie électrique effectue un onduleur ?

.....

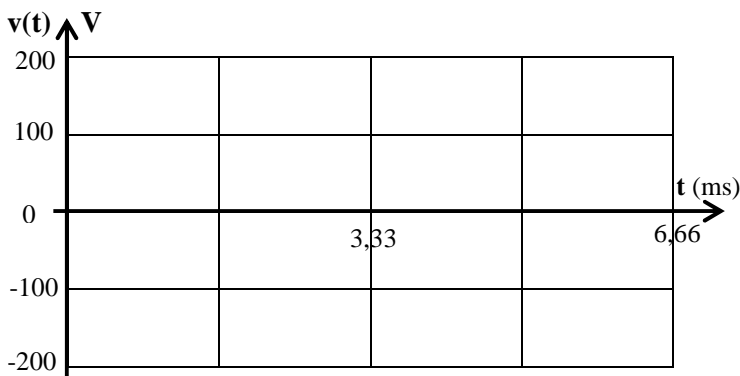
2) a - Quelle est la valeur de  $v(t)$  quand  $K_1$  est fermé et que  $K_2$  est ouvert ?

.....

b - Quelle est la valeur de  $v(t)$  quand  $K_2$  est fermé et que  $K_1$  est ouvert ?

.....

3) Représenter l'évolution de la tension  $v(t)$  sur la figure ci-dessous, si la période de fonctionnement des interrupteurs est de 3,33 ms.



4) Quelle est la valeur efficace de  $v(t)$  ?

.....

**EXERCICE 4 :**

Un montage en pont à diodes est alimenté par un transformateur 220/24V. La charge est constituée d'un moteur de fém.  $E$  et de résistance  $r = 2 \Omega$ . Le courant est parfaitement lissé :  $i_c = i_{c_{moy}} = 2A$ .

1) Donner le schéma du montage. Numéroter les diodes.

2) Tracer  $u_c(t)$  (sortie du pont) et  $i_c(t)$  [graphe n°1].

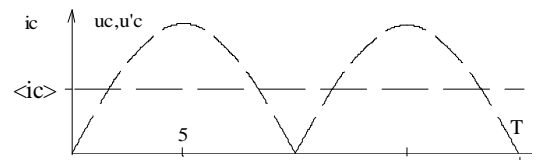
Préciser les intervalles de conduction des diodes.

3) Calculer  $u_{c_{moy}}$  et  $E$ .

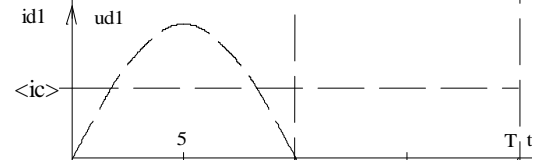
4) Tracer les graphes de  $i_{d1}(t)$  et  $u_{d1}(t)$  [graphes n°2] (courant dans la diode et tension à ses bornes)

5) Tracer le graphe  $i(t)$ . (courant d'alimentation du pont) [graphes3]. Calculer la valeur efficace de ce courant.

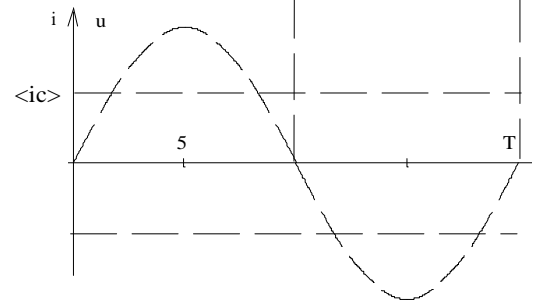
Caractéristiques pour la charge.



Caractéristiques des diodes.



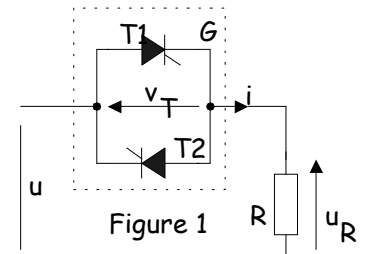
Caractéristiques de l'alimentation.



**EXERCICE 5 :** On considère le montage représenté figure 1 où  $u$  est une tension sinusoïdale de valeur efficace  $U = 380 V$  et de fréquence  $f = 50 Hz$ .

Le gradateur  $G$  est formé de deux thyristors que l'on suppose parfaits :

- tension nulle aux bornes d'un thyristor à l'état passant,
- courant de maintien nul.



La charge est constituée par une résistance  $R = 10 \Omega$ .

On désigne par  $u_R$  la tension à ses bornes, par  $i$  le courant qui la traverse et par  $v_T$  la tension aux bornes des thyristors.

1. On amorce le thyristor T1 lorsque  $\omega t = \alpha$ .

1.1. Représenter la tension  $u_R$  dans l'intervalle  $[0, \pi]$ , pour  $\alpha = \pi/4$  (document ci-contre).

Quel est l'état du thyristor T1 à  $\omega t = \pi$  ?

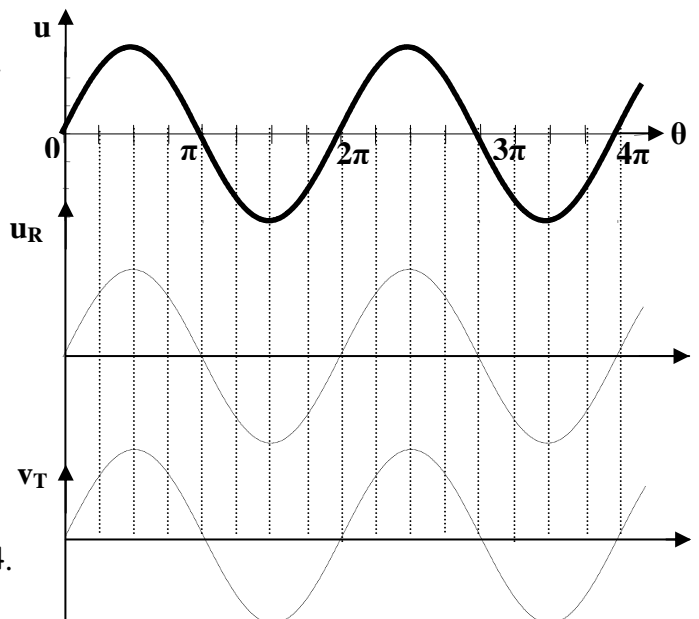
2. On amorce le thyristor T2 lorsque  $\omega t = \pi + \alpha$ .

Représenter la tension  $u_R$  dans l'intervalle  $[\pi, 2\pi]$ , pour  $\alpha = \pi/4$ .

Quel est l'état du thyristor T2 à  $\omega t = 2\pi$  ?

3. Que vaut la valeur moyenne de la tension  $u_R$  ?

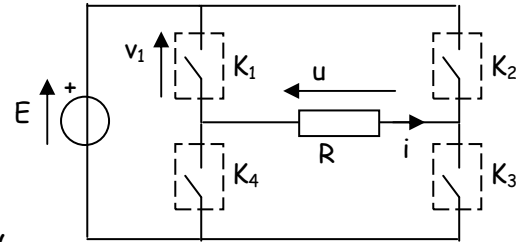
4. Calculer la puissance dissipée dans  $R$  pour  $\alpha = \pi/4$ .



5. Représenter la tension  $v_T$  sur le document réponse.

**EXERCICE 6 :** Un onduleur est constitué de quatre interrupteurs électroniques commandés. Le chronogramme indique les états fermés (F) et ouvert (O) des interrupteurs

|    | 0 - $\alpha$ | $\alpha$ - $\pi$ | $\pi$ - $\pi + \alpha$ | $\pi + \alpha$ - $2\pi$ |
|----|--------------|------------------|------------------------|-------------------------|
| K1 | F            | F                | O                      | O                       |
| K2 | F            | O                | O                      | F                       |
| K3 | O            | F                | F                      | O                       |
| K4 | O            | O                | F                      | F                       |



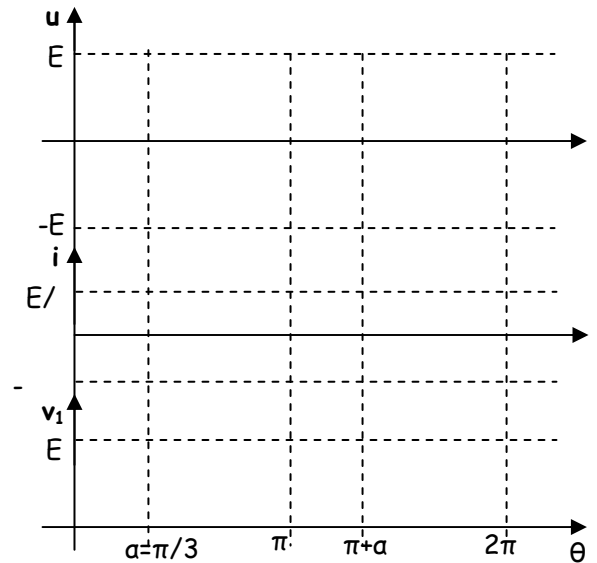
E est une source de tension continue parfaite de valeur 200 V,

- la charge est une résistance  $R = 100 \Omega$ .
- $\alpha$  désigne l'angle de décalage, il vaut  $\pi/3$ .

- 1 - Tracer sur le document réponse  $u$ ,  $i$  et  $v_1(t)$ .
- 2 - Déterminer la valeur moyenne de  $i(t)$ .

- 3 - Déterminer la valeur efficace de  $i(t)$  en fonction de E, R et  $\alpha$ .

- 4 - Calculer la valeur moyenne de la puissance fournie à la charge la puissance fournie par la source E.



**EXERCICE 7 :** Un récepteur résistif de résistance  $R = 20 \Omega$  est relié, par l'intermédiaire d'un dispositif redresseur, à un réseau délivrant la tension  $v = 220\sqrt{2} \cos \theta$  (avec  $\theta = 100\pi t$ ).

1. Le dispositif redresseur est d'abord un simple thyristor Th.

- 1.1. Quel doit être l'angle de retard à la conduction  $\alpha$  pour qu'un ampèremètre magnétoélectrique disposé en série avec R indique 4 A ?

- 1.2. Quelle est alors l'indication d'un ampèremètre ferromagnétique inséré dans le circuit ?

2. On remplace le thyristor précédent par un pont mixte.

2.1. Donner le schéma de montage :

- 2.2. Calculer, en millisecondes, le retard à la conduction des thyristors pour que la valeur moyenne du courant  $i$  dans R soit encore égale à 4 A.

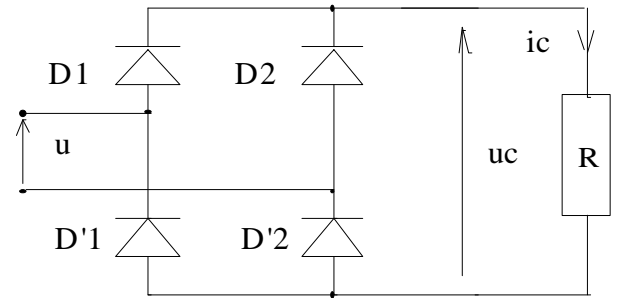
2.3. Calculer la puissance fournie à R.

**ACTIVITE 13 : EXERCICES CONVERTISSEURS STATIQUES**

**EXERCICE 1 :**

Montage redresseur en pont.  $U = 48V - 50Hz$

- 1) Préciser les conductions des diodes et la relation entre  $u_c$  et  $u$  dans chaque intervalle. Tracer  $u_c(t)$
- 2) Donner les expressions de la valeur moyenne et de la valeur efficace de  $u_c$  en fonction  $U$ . Calculer ces valeurs.
- 3) Quel type d'appareil doit-on utiliser pour mesurer ces 2 valeurs ?



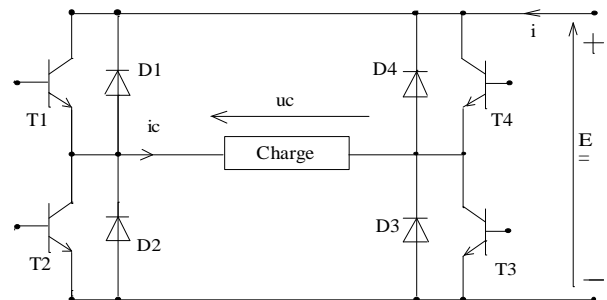
**EXERCICE 2**

Un pont mixte monophasé soumis à la tension  $v = \sqrt{2} \cos 100\pi t$  débite dans une résistance  $R = 100 \Omega$ .

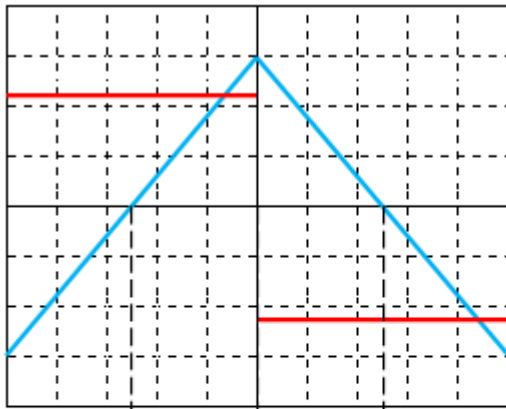
- 1) Lorsque  $v_A > v_B$ , expliquer pourquoi le thyristor  $T_1$  s'amorce lorsqu'il reçoit une impulsion de gâchette.
- 2) On veut obtenir dans R un courant  $i$  tel que  $i_{moy} = 3 A$  lorsque  $\alpha = 0$  (angle de retard à la conduction des thyristors  $T_1$  et  $T_2$ ). Quelle valeur doit-on donner à  $V$  ?
- 3)  $V$  ayant la valeur précédemment calculée,  $\alpha$  prend maintenant la valeur  $\pi/4$ 
  - a/ Quelle est, durant une période de  $v$ , la durée de conduction de chacun des thyristors ?
  - b/ Représenter, en fonction du temps, pour une période de  $v$ , le graphe du courant dans la charge R.
  - c/ Calculer la valeur moyenne de l'intensité du courant dans R.

**EXERCICE 6 :**

On considère l'onduleur de la figure ci-dessous qui alimente une charge inductive équivalente l'association en série d'une résistance  $R = 100 \Omega$  avec une bobine parfaite d'inductance  $L$ . On donne  $E = 220 V$ . Les interrupteurs électroniques sont considérés parfaits.



- 1) On a relevé la tension  $u_c(t)$  aux bornes de la charge et l'intensité  $i_c(t)$  du courant qui la traverse (figure 1). Déterminer la période puis la fréquence de la tension délivrée par l'onduleur.
- 2) Quelle est la valeur efficace  $U_c$  de la tension  $u_c(t)$  (aucune démonstration n'est exigée) ?
- 3) Des deux éléments  $R$  et  $L$ , quel est celui qui consomme de la puissance active ? La valeur efficace de l'intensité du courant dans la charge est  $I_c = 0,9 A$ . Calculer la puissance active consommée par la charge.
- 4) En utilisant les oscillogrammes de  $u_c(t)$  et  $i_c(t)$ , compléter le tableau 1.
- 5) Exprimer  $i(t)$  en fonction de  $i_c(t)$  lorsque  $u_c(t) > 0$  et lorsque  $u_c(t) < 0$ .
- 6) Utiliser la question précédente pour tracer  $i(t)$  sur la figure 2.



Calibres :  
 Voie A : 100V/div  
 Voie B : 50mV/div  
 Base de temps :  
 20µs/div

Figure 1

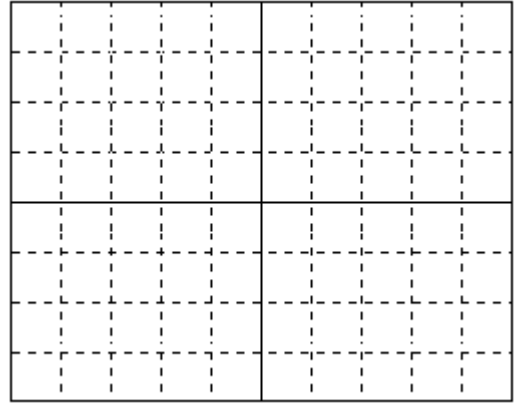


Figure 2

|  |                         |
|--|-------------------------|
|  | Interrupteurs commandés |
|  | Éléments passants       |
|  | Signe de la puissance   |

Tableau 1

**EXERCICE 4 :** Afin de faire varier la vitesse du moteur asynchrone, on alimente chaque phase de celui-ci par l'intermédiaire d'un onduleur demi pont. La commande des interrupteurs est périodique, de période  $T = 20 \text{ ms}$ . On donne :  $E = 230 \text{ V}$ .

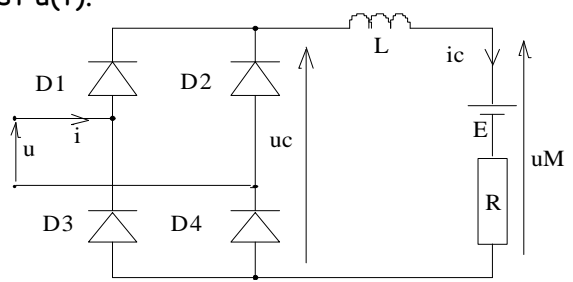
- 1) Citer un composant permettant de réaliser cet interrupteur électronique.
- 2) On commande les interrupteurs de la façon suivante : -  $0 < t < T/2$  :  $K_1$  fermé et  $K_2$  ouvert ;  
 -  $T/2 < t < T$  :  $K_2$  fermé et  $K_1$  ouvert.

Tracer  $u(t)$  en précisant les échelles utilisées.

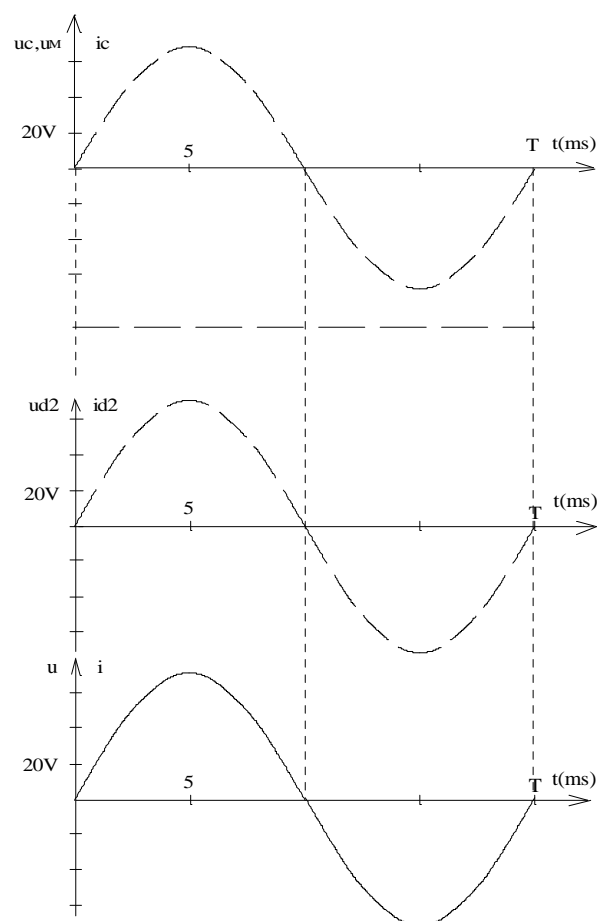
- 3) Calculer la valeur efficace  $U$  de la tension  $u(t)$ .

**EXERCICE 2 :**

Un montage en pont à diodes est alimenté par un transformateur 220/48V. La charge est constituée d'un moteur de f.é.m.  $E$  et de résistance  $R = 2 \Omega$ . Le courant est parfaitement lissé :  $i_c = I_c = i_{c\text{moy}} = 2 \text{ A}$ . La tension représentée sur les différents graphes ci-contre est  $u(t)$ .



- 1) Tracer  $u_c(t)$ ,  $i_c(t)$  et  $u_M(t)$  (aux bornes de la charge). Préciser dans chaque intervalle la conduction des diodes et la relation entre  $u_c(t)$  et  $u(t)$ .
- 2) Calculer  $u_{c\text{moy}}$ ,  $P_c$  (puissance dans la charge) et  $E$ .
- 3) Tracer les graphes de  $i_{d2}(t)$  et  $u_{d2}(t)$  (courant dans la diode  $D_2$  et tension à ses bornes)
- 4) Préciser pour chaque intervalle la relation entre  $i$  et  $i_c$ . Tracer le graphe  $i(t)$ . (courant d'alimentation du pont). Calculer la valeur efficace de ce courant.



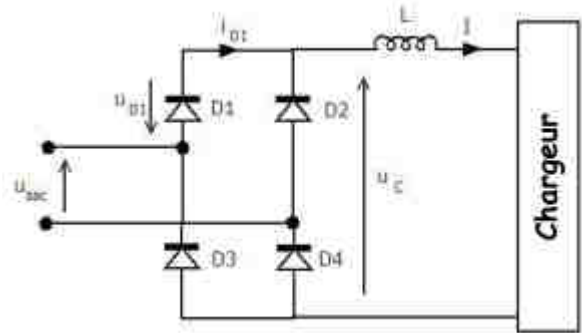
Echelle: 1A/div et 20V/div



EXTRAITS DES EXAMENS BAC

**BAC 2009 S-RATTRAPAGE** (Alimentation électrique de secours): Etude du pont du redresseur :

L'étude du pont redresseur exige la connaissance des caractéristiques générales du chargeur. En effet pour un fonctionnement normal, le chargeur nécessite une tension continue à courant constant. On se propose donc de déterminer la valeur de la tension moyenne redressée à l'entrée du chargeur et de représenter les formes des signaux.

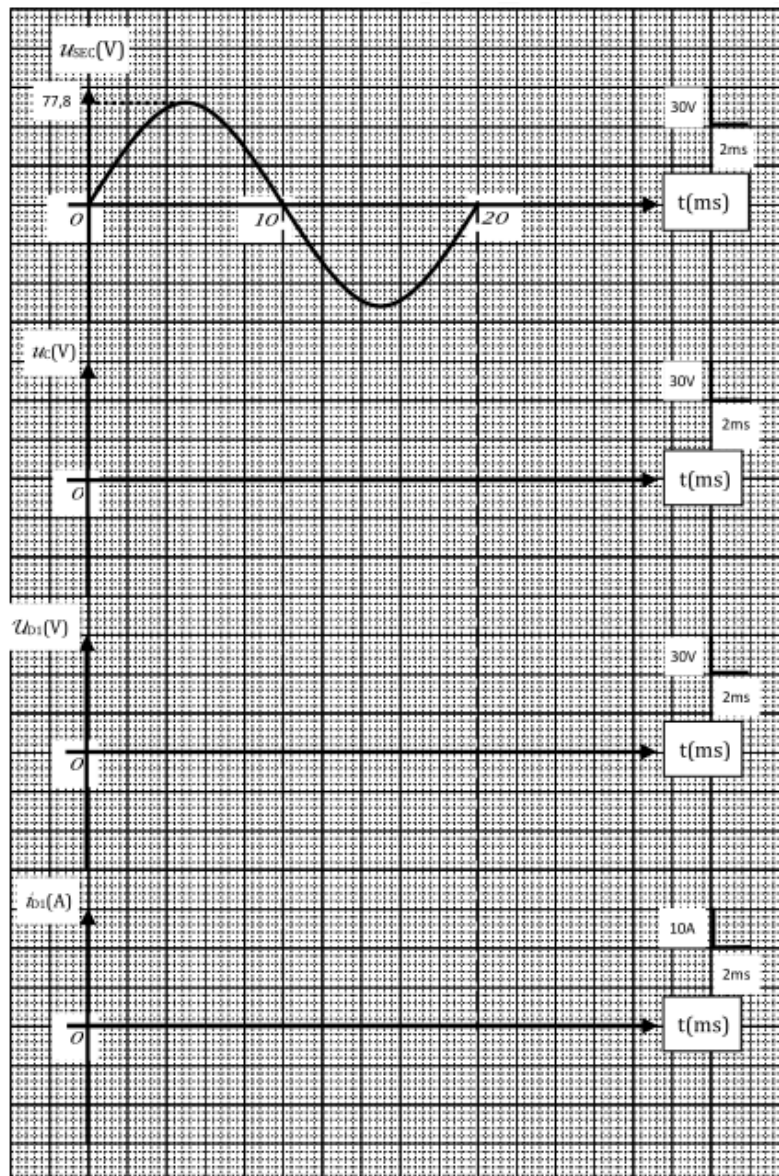


La bobine de lissage est supposée parfaite et son inductance  $L$  est suffisamment grande pour que le courant  $I$  soit constant et égal à 20 A.

Le schéma de principe du montage est donné ci-dessus :

- Les diodes sont supposées parfaites.
- $u_{sec}$  est la tension au secondaire du transformateur  $T$  ;
- $u_{D1}$  est la tension aux bornes de la diode  $D_1$  ;
- $i_{D1}$  est le courant qui la traverse.

1. Représenter les chronogrammes des tensions  $u_c(t)$ ,  $u_{D1}(t)$  et du courant  $i_{D1}(t)$  :



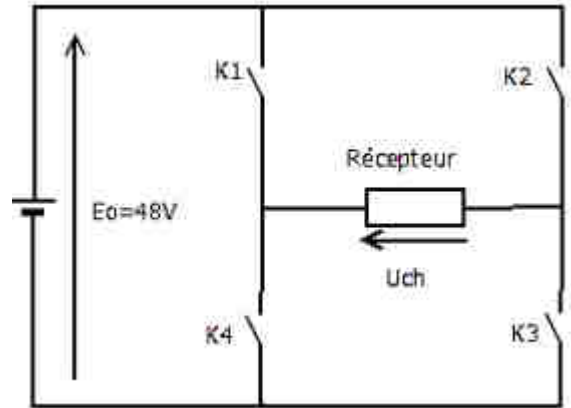


2. Calculer la valeur moyenne de la tension  $u_c(t)$  et donner sa fréquence  $f$  en (Hz) :

**BAC 2009 S-RATTRAPAGE (Alimentation électrique de secours): Etude du principe de l'onduleur:**

On se propose dans un premier temps d'étudier le principe de l'onduleur autonome monophasé dont le schéma de principe est donné ci-contre :

- La tension d'alimentation  $E_0 = 48 \text{ V}$ .
- Le récepteur est supposé résistif.
- Les interrupteurs sont commandés électroniquement.
- La période  $T$  de commande est fixée à  $20 \text{ ms}$ .
- $K1, K2, K3$  et  $K4$  sont commandés de la façon suivante :
  - entre  $0$  et  $10 \text{ ms}$ , les interrupteurs  $K1$  et  $K3$  sont fermés,  $K2$  et  $K4$  sont ouverts ;
  - entre  $10$  et  $20 \text{ ms}$ , les interrupteurs  $K2$  et  $K4$  sont fermés,  $K1$  et  $K3$  sont ouverts.

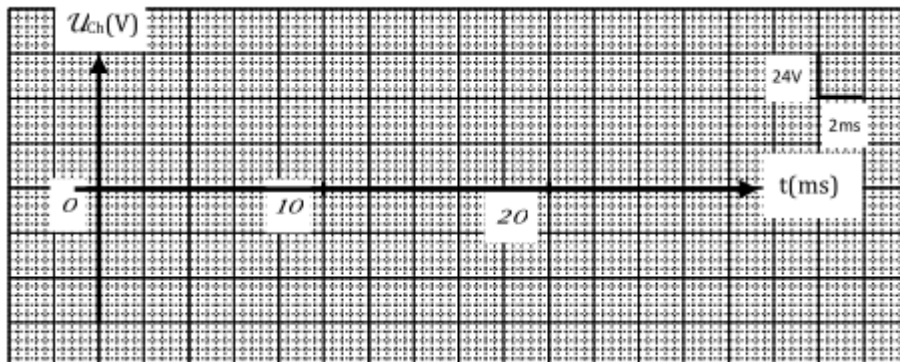


1. Donner le schéma équivalent du montage dans chaque intervalle de temps et exprimer  $U_{ch}(t)$  en fonction de  $E_0$  :

$0 < t < 10 \text{ ms}$

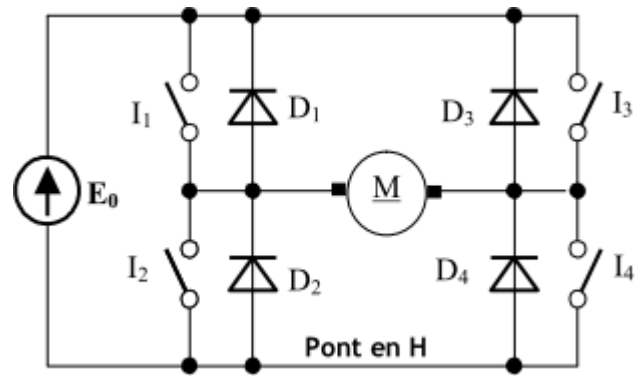
$10 < t < 20 \text{ ms}$

2. Sur document (ci-dessous), représenter la tension  $U_{ch}(t)$  pour une période  $T$ .



**BAC 2011S-NORMALE** (Positionneur d'antenne parabolique): Principe de fonctionnement du pont en H:

Pour la commande et l'inversion du sens de marche du moteur à courant continu, on utilise un pont en H (intégré au circuit PBL3717) dont le schéma de principe simplifié est représenté ci-contre.



$I_1$  à  $I_4$  sont des interrupteurs commandés.

Sachant que : Interrupteur fermé → "1";

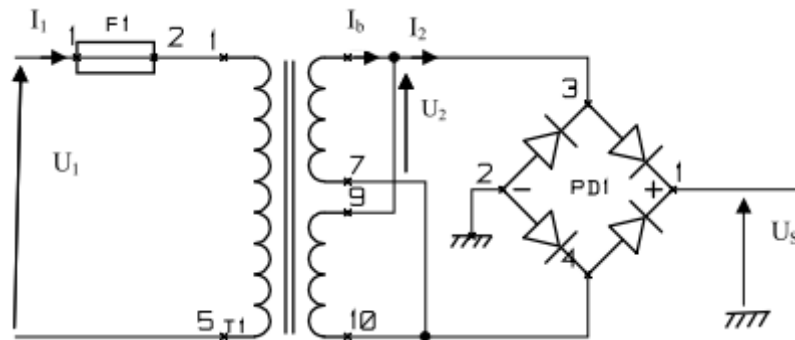
Interrupteur ouvert → "0"

Compléter le tableau ci-dessous :

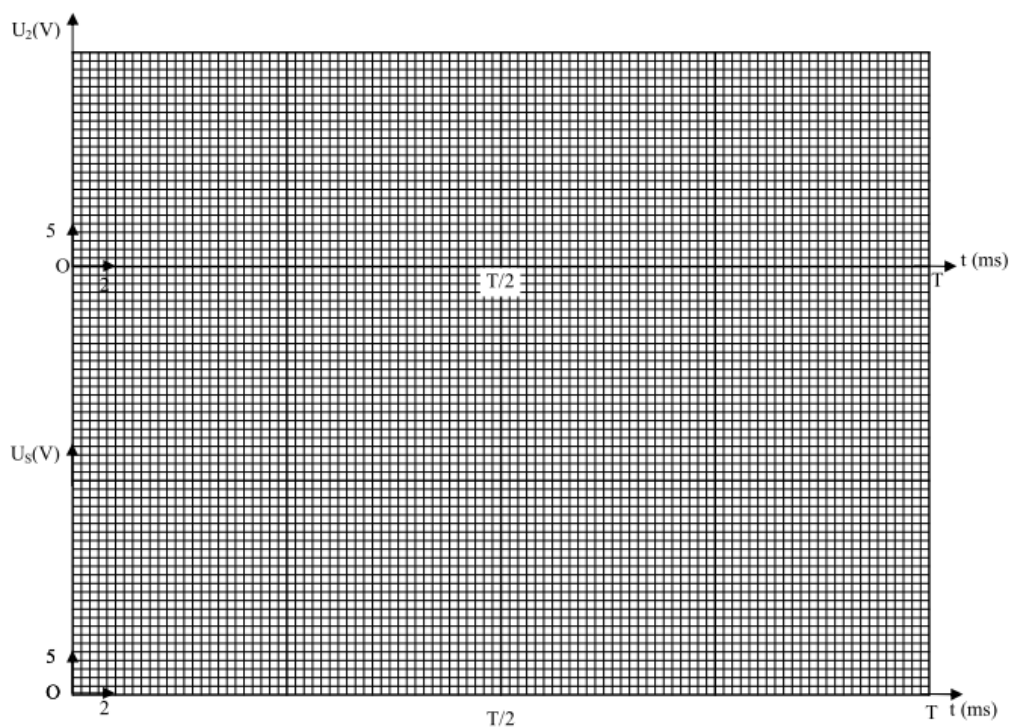
| $I_1$ | $I_2$ | $I_3$ | $I_4$ | Moteur |
|-------|-------|-------|-------|--------|
| 1     | ..... | 1     | ..... | Arrêt  |
| 1     | 0     | 0     | 1     | Sens1  |
| ..... | ..... | ..... | ..... | Sens2  |

**BAC 2012S-RATTRAPAGE** (Store automatisée): Etude du redressement:

Les diodes sont supposées parfaites. La charge du pont redresseur est supposée résistive de résistance R.



1. Représenter la tension  $U_2(t)$  à la sortie du transformateur
2. Représenter la tension  $U_s(t)$ .

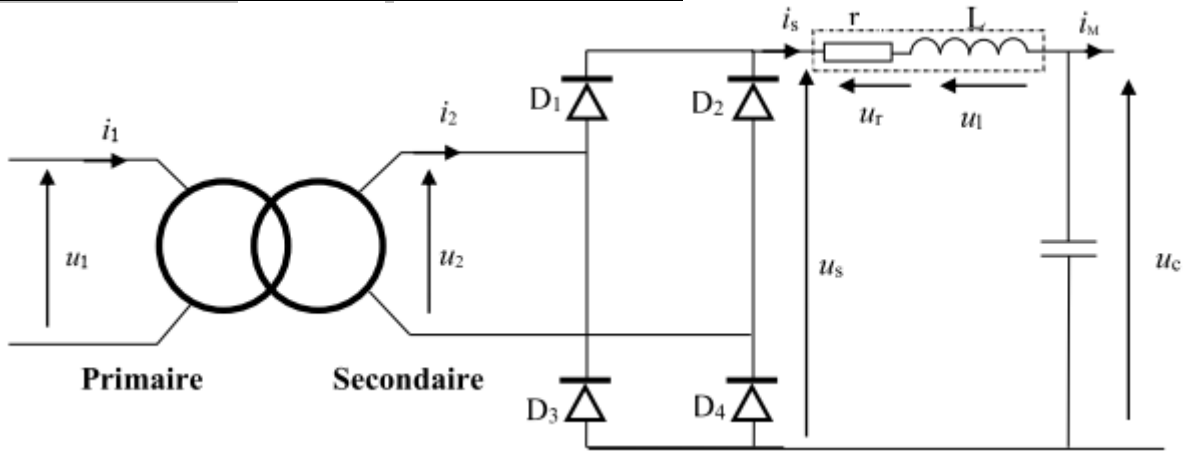


3. Calculer les valeurs moyenne  $U_{smoy}$  et efficace  $U_{sef}$  de la tension  $U_s$ .

.....

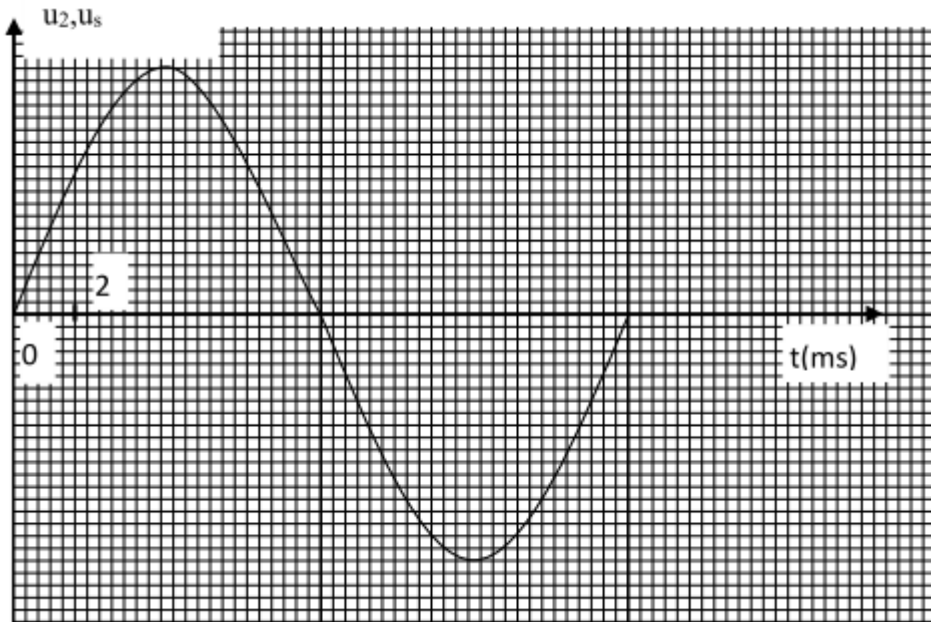
.....

**BAC 2013S-NORMALE (Éolienne): Etude du redresseur:**



La résistance  $r$  de la bobine vaut  $0,50 \Omega$  et son inductance  $L$  a une valeur suffisante pour que l'intensité  $i_s$  soit quasiment constante, on notera donc  $i_s = I_s$ . Le condensateur a une capacité de valeur suffisante pour que la tension  $u_c$  soit quasiment constante ; on notera donc  $u_c = U_c$ . Pour le fonctionnement envisagé on a :  $U_c = 17 \text{ V}$  et  $I_s = 10 \text{ A}$  ; on suppose que les diodes du pont redresseur sont idéales.

1. Représenter le graphe de la tension  $u_s$  :



2. Déterminer la fréquence  $f$  de la tension de sortie  $u_s$  :

.....

L'expression de la tension moyenne  $U_{smoy}$  en fonction de  $u_2$  est :  $\sqrt{2}U_2 \sqrt{2}/\pi$ .

3. Donner la relation liant  $U_{smoy}$  à  $U_c$ ,  $I_s$  et  $r$  :

.....

4. Calculer  $U_{smoy}$  et en déduire la valeur  $U_2$ .

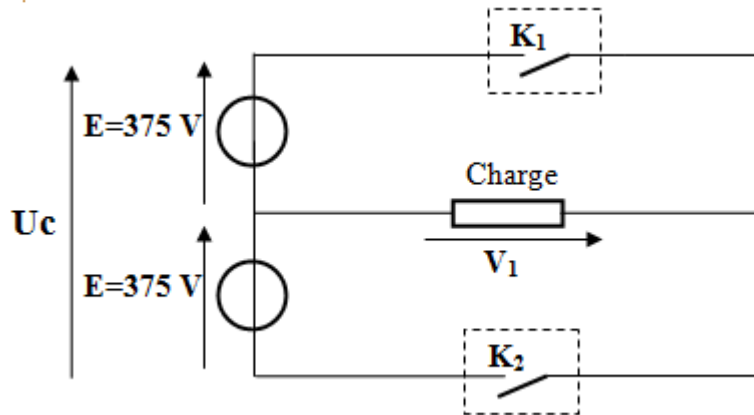
.....

.....

**BAC 2015 S- NORMALE (Système de traitement thermique): Etude de l'onduleur de tension :**

Afin de faire varier la vitesse du moteur asynchrone triphasé, on alimente celui-ci par l'intermédiaire d'un onduleur embarqué à bord du tramway. La charge correspond à un enroulement statorique du moteur asynchrone. La tension  $E$  est obtenue à partir du réseau continu  $U_c$  tel que :

$E = U_c/2 = 375 \text{ V}.$



On commande les interrupteurs de la façon suivante :

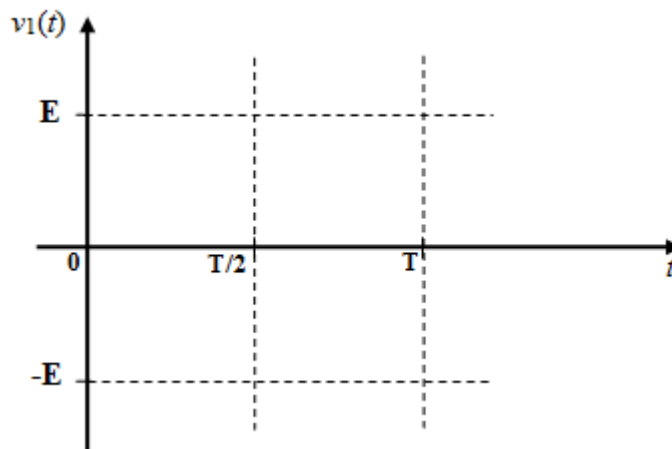
- $0 < t < T/2$  :  $K_1$  fermé et  $K_2$  ouvert.
- $T/2 < t < T$  :  $K_2$  fermé et  $K_1$  ouvert.
- $f = 88 \text{ Hz}$

1. Calculer la période  $T$  de la tension  $v_1(t)$  :

2. Quel type de conversion effectue un onduleur de tension ? (choisir la bonne réponse)

- a. Alternatif - Alternatif ;
- b. Alternatif - Continu ;
- c. Continu - Continu ;
- d. Continu-Alternatif.

3. Tracer l'allure de  $v_1(t)$  pour une période  $T$  :

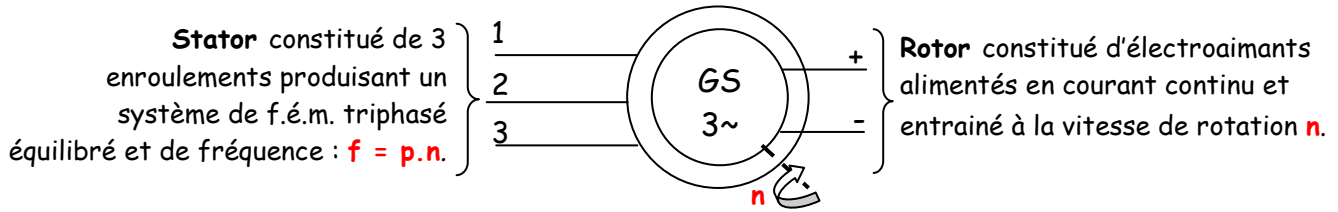


4. Calculer la valeur efficace  $V_1$  de la tension  $v_1(t)$  :

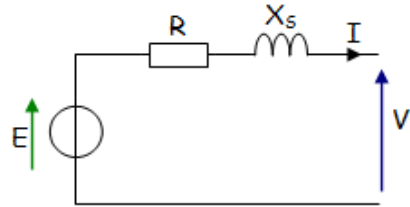
5. Quelle est la valeur moyenne  $V_{1\text{moy}}$  de la tension  $v_1(t)$  ?

## Machine synchrone (alternateur)

### Résumé du cours

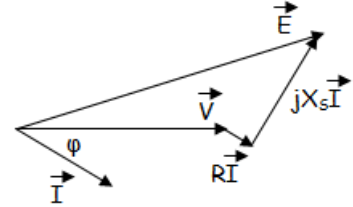


### Modèle équivalent électrique d'une phase de l'alternateur



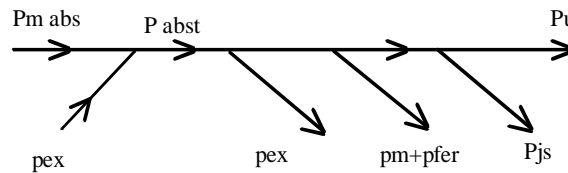
$$\underline{V} = \underline{E} - R\underline{I} - jX_s \underline{I}$$

### Diagramme vectoriel



### Bilan des puissances

- $P_u = \sqrt{3} U I \cos \varphi$
- $P_{abst} = P_u + \Sigma \text{ pertes} = P_u + p_{ex} + p_m + p_{fer} + p_{js}$  ou  $P_{abst} = P_m \text{ abs} + p_{ex}$
- $P_{abs}$  puissance mécanique absorbée  $P_{abs} = C_M \cdot \Omega$



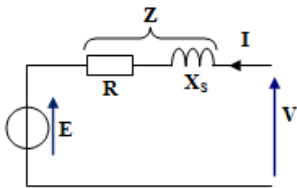
- $p_{js} = 3 \cdot r \cdot I^2(Y) = 3 \cdot r \cdot J^2(\Delta) = 3/2 \cdot R_{ab} \cdot I^2$  ( $\forall$  couplage)
- $p_{fs}$  : pertes fer et  $p_m$  : pertes mécaniques.
- $p_{ex}$  puissance absorbée par le circuit d'excitation et perdue par effet joule:  
 $p_{ex} = V_e \cdot I_{ex} = r_{ex} \cdot I_{ex}^2$
- Rendement :  $\eta = P_u / P_{abst}$

### Réversibilité : Moteur synchrone triphasé

La machine synchrone couplée sur le réseau tourne à la vitesse de synchronisme  $n = f/p$ .

### Schéma équivalent, équation :

### Puissance et Rendement :



$$\underline{V} = \underline{E} + \underline{Z} \underline{I}$$

- $P_a = \sqrt{3} U I \cos \varphi$
- $P_u = P_a - \Sigma \text{ pertes} = P_a - (p_{ex} + p_m + p_{fer} + p_{js})$
- Rendement :  $\eta = P_u / P_{abst}$

- Puissance apparente nominale :  $S_n = 170 \text{ MVA}$
- Tension entre phases :  $U = 15,5 \text{ kV}$
- Fréquence :  $f = 50 \text{ Hz}$
- Fréquence de rotation :  $n = 600 \text{ tr/min}$
- Couplage des enroulements en étoile.
- Pour chaque enroulement :  
 Nombre de conducteurs :  $N = 4200$   
 Résistance :  $R = 0,01 \Omega$

Le circuit magnétique n'étant pas saturé, la force électromotrice à vide entre phases  $E$  est proportionnelle au courant d'excitation  $I_e$  selon la relation :  $E = 500 \cdot I_e$  ( $E$  en V et  $I_e$  en A)  
 La caractéristique de court-circuit correspond à la relation :  $I_{cc} = 300 \cdot I_e$  ( $I_{cc}$  et  $I_e$  en A)

### I. Calculs préliminaires.

Calculer :

1. L'intensité  $I$  du courant d'induit nominal :

.....

2. Le nombre de paires de pôles :

.....

3. Le flux utile par pôle pour un courant d'excitation de 50 A, le coefficient de Kapp valant  $K = 2,22$

.....

4. La réactance cyclique synchrone  $X_s$  de chaque enroulement.

.....

.....

### II. Fonctionnement en alternateur.

L'alternateur fonctionne dans les conditions suivantes :

- Intensité du courant d'excitation :  $I_e = 44 \text{ A}$
- Facteur de puissance du réseau :  $\cos \varphi = 0,9$  ( $\varphi > 0$ )

1. Représenter le modèle équivalent de chaque enroulement (on négligera la résistance devant la réactance).

2. Construire le diagramme synchrone et en déduire l'intensité du courant d'induit.

3. Calculer la puissance fournie au réseau et le rendement de l'alternateur sachant que l'ensemble des pertes mécaniques, ferromagnétiques et d'excitation valent 2,8 MW.

.....

.....

**III. Fonctionnement en moteur synchrone.**

La machine synchrone fonctionne en moteur dans les conditions suivantes :

- Tension d'alimentation du réseau :  $U = 15,5 \text{ kV}$ .
- Puissance absorbée par l'induit :  $P = 120 \text{ MW}$ .
- Intensité du courant d'excitation telle que l'intensité  $I$  du courant d'induit soit minimale.

1. Dans ces conditions le facteur de puissance  $\cos \varphi$  est égal à 1, Calculer  $I$ .

.....

2. Représenter le modèle équivalent de chaque enroulement. (On négligera la résistance devant la réactance).

3. Construire le diagramme synchrone et en déduire la force électromotrice par enroulement puis le courant d'excitation.

4. Calculer la puissance utile et le couple utile du moteur. On admettra que les pertes autres que par effet Joule dans l'induit valent encore 2,8 MW.

.....

.....

**EXERCICE 2 :**

Un **alternateur monophasé** doit fournir une tension 230V-50Hz pour remplacer le réseau Lydec en cas de coupure dépassant quelques minutes.

1. A quelle fréquence de rotation, en tr/min, doit tourner le rotor de cette machine s'il comporte 2 pôles ?

.....

2. Pendant une coupure Lydec, l'alternateur débite une intensité efficace  $I = 27 \text{ A}$  sous  $U = 220 \text{ V}$  en 50 Hz, avec un facteur de puissance égal à 0,8.



2.1. Calculer la puissance apparente de l'alternateur dans ces conditions :

.....

2.2. Calculer la puissance active utile et la puissance réactive fournies par cette machine :

.....

2.3. En déduire le rendement de l'alternateur si le moteur diesel lui fournit un couple de moment  $C_{\text{mot}} = 15,9 \text{ N.m}$  à la fréquence de rotation calculée à la question 1:

.....

### EXERCICE 3 :

L'alternateur, triphasé, couplé en étoile, comporte **26 pôles** et doit fournir entre phases une tension de fréquence **50 Hz** et de valeur efficace **5650 V** quel que soit le courant appelé en ligne.

Pour simplifier cette étude, on admettra que la machine est non saturée et que la caractéristique interne (tension entre phases à vide **E** en fonction du courant d'excitation **I<sub>e</sub>** et à fréquence de rotation nominale **n<sub>N</sub>** peut être assimilée à une droite d'équation :

**E = 10,7 . I<sub>e</sub>**, avec E en (V) et I<sub>e</sub> en (A).

Une mesure à chaud en courant continu a permis de déterminer la résistance d'un enroulement du stator **R = 5,4 mΩ**.

Un essai en court-circuit à courant d'excitation **I<sub>e</sub> = 434 A** a donné **I<sub>cc</sub> = 2000 A**.

1. calculer la fréquence de rotation n de l'alternateur en tr/s

.....

2. calculer la réactance synchrone par phase

.....

3. Déterminer la valeur à donner au courant I<sub>e</sub> (on négligera la résistance des enroulements du stator) pour **I = 3330 A** dans une charge inductive de **cosφ = 0,9**.

4. La résistance de l'enroulement du rotor étant **R<sub>e</sub> = 0,136 Ω**, et la somme des pertes dans le fer et mécaniques valant **420 kW**, calculer le rendement pour la charge nominale définie à la question 3.

.....

.....

## ACTIVITE 15 : EXERCICES MACHINE SYNCHRONE

**EXERCICE 1** : Un alternateur triphasé tourne à la fréquence de rotation **n = 750 tr/mn**. Son stator comporte **120 encoches** régulièrement réparties, chacune d'elles contient **4 conducteurs actifs**.

Toutes les encoches sont utilisées. Les trois enroulements sont couplés en étoile, leur résistance est négligeable; la fréquence des tensions produites est **50 Hz**. Le coefficient de Kapp est égal à **K = 2,14**.

Le circuit magnétique de la machine est tel que, dans la zone utile, l'amplitude  $\Phi$  du flux embrassé à vide par une spire, varie linéairement en fonction du courant d'excitation **I<sub>e</sub>**.

La courbe représentative de la fonction  $\Phi(I_e)$  est une portion de droite passant par l'origine et le point de coordonnées : **I<sub>e</sub> = 15,4 A;  $\Phi$  = 0,085 Wb**.

L'alternateur débite dans une charge purement inductive, sous une tension efficace de **962 V** entre fils de ligne.

On donne : intensité du courant d'excitation **I<sub>e</sub> = 15,4 A**, intensité efficace du courant dans l'induit **I = 150 A**.

- 1/ Déterminer le nombre de pôles de l'alternateur.
- 2/ Quelle est la tension efficace à vide, entre deux bornes de l'alternateur, pour un courant d'excitation d'intensité **I<sub>e</sub> = 15,4 A** ?
- 3/ Calculer la réactance synchrone **X<sub>s</sub>** de l'alternateur
- 4/ L'alternateur débite un courant d'intensité **I = 80 A** dans une charge de nature inductive dont le facteur de puissance vaut **0,8**. L'intensité du courant d'excitation reste égale à **15,4 A**. Calculer la tension entre bornes de l'alternateur. Quelle est la puissance fournie à la charge ?
- 5/ Reprendre la question précédente, avec les mêmes valeurs numériques, si la charge est de nature capacitive, en gardant la même hypothèse de non saturation.

**EXERCICE 2** : Un alternateur triphasé dont les enroulements du stator sont couplés en étoile, fournit en charge normale, un courant d'intensité efficace **I = 200 A** sous une tension efficace entre phases **U = 5 kV** lorsque la charge est inductive (**cosφ = 0,87**).

La résistance d'un enroulement du stator est égale à **r = 0,20Ω**. La fréquence de rotation de la roue polaire est **n' = 750 tr/mn**. Le courant et la tension ont pour fréquence **f = 50 Hz**.

L'ensemble des pertes dites "constantes" et par effet Joule dans le rotor atteint **55 kW**.

Un essai à vide, à la fréquence de rotation nominale, a donné les résultats suivants (**I<sub>e</sub>** est l'intensité du courant d'excitation ; **E** la valeur efficace de la tension entre phases) :

|                          |   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|--------------------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <b>I<sub>e</sub> (A)</b> | 0 | 10    | 20    | 30    | 40    | 50    | 60    | 70    | 80    | 90    | 100   |
| <b>E (V)</b>             | 0 | 1 050 | 2 100 | 3 150 | 4 200 | 5 200 | 5 950 | 6 550 | 7 000 | 7 300 | 7 500 |

Un essai en court-circuit a donné, pour un courant d'excitation d'intensité **I<sub>e</sub> = 40 A**, un courant dans les enroulements du stator d'intensité **I<sub>cc</sub> = 2,5 kA**.

- 1/ Quel est le nombre de pôles du rotor ?
- 2/ Calculer la réactance synchrone **X<sub>s</sub>** de l'alternateur lorsqu'il n'est pas saturé ? On supposera **X<sub>s</sub>** constante dans la suite du problème.
- 3/ En déduire la f.é.m. synchrone **E** au point nominal
- 4/ Quelle est la puissance nominale de l'alternateur ?
- 5/ Déterminer le rendement au point de fonctionnement nominal.

**EXERCICE 3** : Un alternateur triphasé, dont les enroulements statoriques sont couplés en étoile, est entraîné à sa fréquence de rotation nominale **n' = 1500 tr/mn**.

Sa puissance apparente nominale est : **S<sub>n</sub> = 3,2 kVA**.

La tension entre phases a pour valeur efficace : **U<sub>n</sub> = 220 V** et pour fréquence **50 Hz**.

Le relevé de la caractéristique à vide **E(I<sub>e</sub>)** à fréquence de rotation nominale a fourni les résultats suivants : (**I<sub>e</sub>** : intensité du courant d'excitation ; **E** : tension efficace mesurée entre deux bornes)

|                          |   |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------------------|---|------|------|------|------|------|------|------|
| <b>E (V)</b>             | 0 | 40   | 80   | 120  | 160  | 200  | 240  | 260  |
| <b>I<sub>e</sub> (A)</b> | 0 | 0,10 | 0,20 | 0,30 | 0,40 | 0,52 | 0,72 | 0,90 |

Pour un courant d'excitation  $I_e = 0,40 \text{ A}$ , un essai en court-circuit a montré que le courant dans un enroulement statorique a pour intensité efficace  $I_{cc} = 8 \text{ A}$ . La résistance du stator est négligeable.

1. Quel est le nombre de pôles du rotor ?
2. Calculer l'intensité efficace  $I_n$  du courant nominal que peut débiter l'alternateur.
3. Déterminer la réactance synchrone  $X_s$  de l'alternateur quand celui-ci n'est pas saturé.
4. L'alternateur débite un courant d'intensité efficace  $I = 8,4 \text{ A}$  dans une charge inductive de facteur de puissance  $\cos \varphi = 0,5$ . L'intensité du courant d'excitation étant réglée à la valeur  $I_e = 0,9 \text{ A}$ , estimer la tension entre phases.
5. On suppose que l'estimation précédente correspond à la réalité. On mesure la puissance absorbée par la charge en utilisant la méthode des deux wattmètres. Donner le schéma du montage.

### EXTRAITS DES EXAMENS BAC

#### BAC 2009 S-RATTRAPAGE (Alimentation électrique de secours): Etude de l'alternateur :

L'objectif est de justifier le choix du modèle de l'alternateur en se référant aux principaux paramètres électriques.

Les caractéristiques de l'alternateur sont: 300 kVA - 400/230V - 50 Hz - 1500 tr/mn - rendement : 93 %.

1. Calculer le nombre de pôles :

2. Déterminer la valeur du courant nominale  $I_n$  débité par l'alternateur sachant que les enroulements du stator sont couplés en étoile :

3. L'alternateur de référence LSA 46.2 L9 est-il convenable? Indiquer les paramètres pris en considération :

#### Alternateurs de type LSA 46.2 - 50 Hz - 1500 tr.min<sup>-1</sup>

##### Puissances

| Service       |     | Continu / 40 °C |      |      |       | Continu / 40 °C |      |      |       | Secours / 40 °C |      |      |       | Secours / 27 °C |      |      |       |      |      |      |      |
|---------------|-----|-----------------|------|------|-------|-----------------|------|------|-------|-----------------|------|------|-------|-----------------|------|------|-------|------|------|------|------|
| Classe / T° K |     | H / 125° K      |      |      |       | F / 105° K      |      |      |       | H / 150° K      |      |      |       | H / 163° K      |      |      |       |      |      |      |      |
| Phase         |     | 3 ph.           |      |      | 1 ph. | 3 ph.           |      |      | 1 ph. | 3 ph.           |      |      | 1 ph. | 3 ph.           |      |      | 1 ph. |      |      |      |      |
| Y             |     | 380V            | 400V | 415V | 440V  | Δ Δ             | 380V | 400V | 415V  | 440V            | Δ Δ  | 380V | 400V  | 415V            | 440V | Δ Δ  | 380V  | 400V | 415V | 440V | Δ Δ  |
|               | Δ   | 220V            | 230V | 240V |       | 230V            | 220V | 230V | 240V  |                 | 230V | 220V | 230V  | 240V            |      | 230V | 220V  | 230V | 240V |      | 230V |
| YY            |     |                 |      |      | 220V  |                 |      |      |       | 220V            |      |      |       |                 | 220V |      |       |      |      |      | 220V |
|               | kVA | 180             | 180  | 180  | 160   | 104             | 168  | 168  | 168   | 146             | 97   | 195  | 195   | 195             | 175  | 110  | 203   | 203  | 203  | 180  | 114  |
| 46.2 M3       | kW  | 144             | 144  | 144  | 128   | 83              | 134  | 134  | 134   | 116             | 78   | 156  | 156   | 156             | 140  | 88   | 162   | 162  | 162  | 144  | 91   |
|               | kVA | 200             | 200  | 200  | 175   | 116             | 184  | 184  | 184   | 160             | 108  | 214  | 214   | 214             | 190  | 123  | 223   | 223  | 223  | 200  | 127  |
| 46.2 M5       | kW  | 160             | 160  | 160  | 140   | 93              | 147  | 147  | 147   | 128             | 86   | 171  | 171   | 171             | 152  | 98   | 178   | 178  | 178  | 160  | 102  |
|               | kVA | 250             | 250  | 240  | 205   | 141             | 217  | 217  | 217   | 190             | 131  | 254  | 260   | 254             | 225  | 150  | 266   | 275  | 266  | 237  | 156  |
| 46.2 L6       | kW  | 200             | 200  | 192  | 164   | 113             | 174  | 174  | 174   | 152             | 105  | 203  | 208   | 203             | 180  | 120  | 213   | 220  | 213  | 190  | 125  |
|               | kVA | 280             | 280  | 280  | 215   | 154             | 250  | 250  | 250   | 195             | 142  | 290  | 290   | 290             | 240  | 165  | 300   | 300  | 300  | 250  | 170  |
| 46.2 L9       | kW  | 224             | 224  | 224  | 172   | 123             | 200  | 200  | 200   | 156             | 114  | 232  | 232   | 232             | 192  | 132  | 240   | 240  | 240  | 200  | 136  |
|               | kVA | 315             | 315  | 300  | 260   | 187             | 276  | 276  | 260   | 230             | 170  | 327  | 327   | 310             | 285  | 200  | 341   | 341  | 325  | 300  | 208  |
| 46.2 VL12     | kW  | 252             | 252  | 240  | 208   | 150             | 221  | 221  | 208   | 184             | 136  | 262  | 262   | 248             | 228  | 160  | 273   | 273  | 260  | 240  | 166  |

#### BAC 2013S-NORMALE (Éolienne): Etude de l'alternateur :

Les pales de l'éolienne entraînent, à travers un multiplicateur, le rotor de l'alternateur triphasé. Ce dernier alimente un réseau électrique autonome de 400V sur lequel sont branchés :

- Des appareils électriques de moyenne puissance (électroménagers et électroniques) ;
- Une unité de stockage d'énergie de secours.

L'alternateur choisi possède les caractéristiques suivantes sur sa plaque signalétique :

$S_N = 16 \text{ kVA}$  ;  $230/400\text{V}$  ;  $50 \text{ Hz}$  ;  $N_N = 1000 \text{ tr/min}$ .

1) Donner le mode de couplage de l'alternateur :

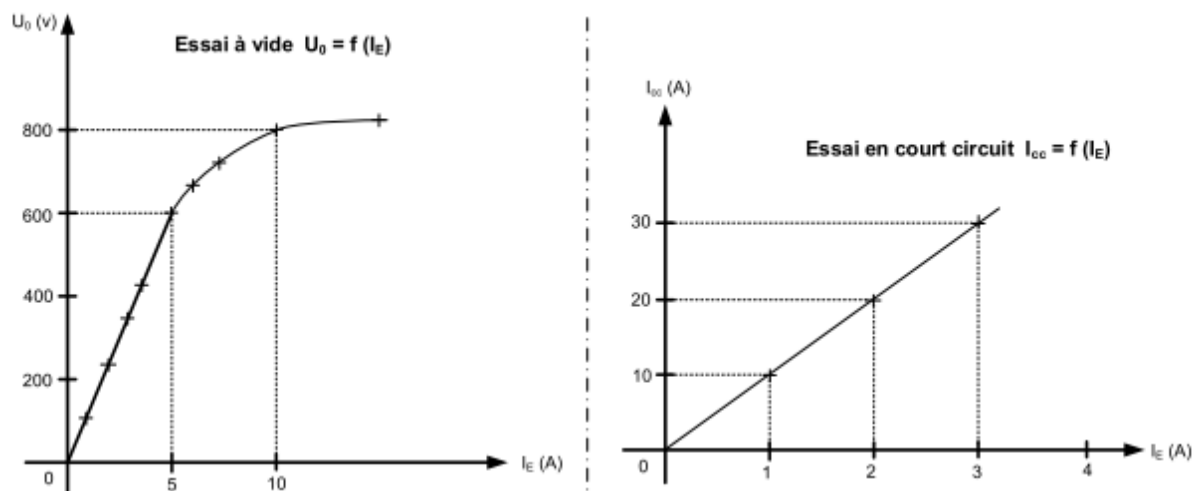
2) Calculer le courant statorique nominal  $I_N$  :

3) Calculer le nombre de paires de pôles  $p$  :

Pour établir le modèle équivalent d'une phase de l'alternateur, on a procédé aux essais suivants :

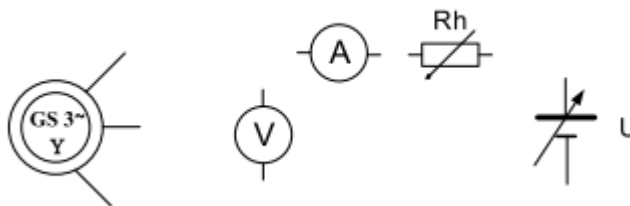
- La mesure de la résistance à chaud aux bornes du stator  $R = 0,6 \Omega$ , par la méthode voltampèremétrique.
- À vide  $U_0 = f(I_E)$  avec  $U_0$  = tension entre phases de l'alternateur et en court-circuit  $I_{cc} = f(I_E)$  à la vitesse nominale  $N_N = 1000 \text{ tr/min}$ .

Les graphes correspondants à ces essais sont représentés en page suivante.



4) Pour mesurer la résistance  $R$  compléter le schéma de montage :

Schéma de montage volt-ampéremétrique



5) Calculer la résistance  $R_s$  d'un enroulement du stator :

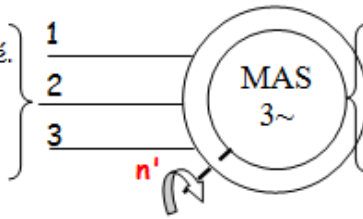
6) À partir des courbes des essais à vide (sur la partie linéaire) et en court-circuit, donner les expressions des fonctions  $U_0 = f(I_E)$  et  $I_{cc} = f(I_E)$  :

7) Pour  $I_{cc} = I_N$  calculer l'impédance synchrone  $Z_S$  d'une phase du stator, puis la réactance  $X_S$  :

Moteur asynchrone

Résumé du cours

**Stator** alimenté par le réseau triphasé. Il crée un champ tournant à la vitesse de synchronisme  $n = f/p$ . Il est couplé en étoile ou en triangle.



**Rotor**, sous l'action du champ tournant, crée des courants rotoriques engendrant des forces et un couple électromagnétique. Il existe 2 types de rotor : rotor à cage et rotor bobiné.

Caractéristiques :

- Glissement :  $g = (n - n')/n$
- Vitesse:  $n' = n (1-g)$
- Fréquences des courants rotoriques:  $fr = g.f$
- Caractéristique à vide : la vitesse à vide est voisine du synchronisme  $n_0 \sim n = f/p$  et  $P_0 = pm + pjs_0 + pfs$
- Couple:  $Cu=f(n')$  est une droite dans sa partie utile :  $Cu = k.g = a.n + b$  ( $a < 0$ ).
- Point de fonctionnement - Equilibre :  $n'=cte \Rightarrow Cu = Cr$  intersection de  $Cu(n')$  et  $Cr(n')$ .

Bilan des puissances :

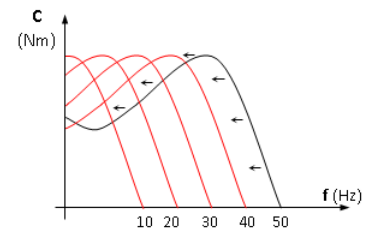
- Puissance absorbée :  $Pa = \sqrt{3} U I \cos \varphi$
- Pertes joule dans le stator :  $pjs = 3.r.I^2(\gamma) = 3.r.J^2(\Delta) = 3/2.R.I^2$  ( $\forall$  couplage).
- Puissance transmise au rotor :  $Ptr = Pa - pjs - pfs = Ce.\Omega$
- pertes joules au rotor :  $pjr = g Ptr$
- Pertes dites constantes :  $Pc = pfs + pm$
- Puissance utile :  $Pu = Cu.\Omega' = Pa - \Sigma$  pertes

Rendement :

- $\eta = Pu/Pa = (Pa - pjs - pfs - pjr - pm) / Pa$ .

Couple à  $U/f = cte$

Les caractéristiques du couple moteur pour différentes fréquences d'alimentation opèrent une translation sur la gauche.

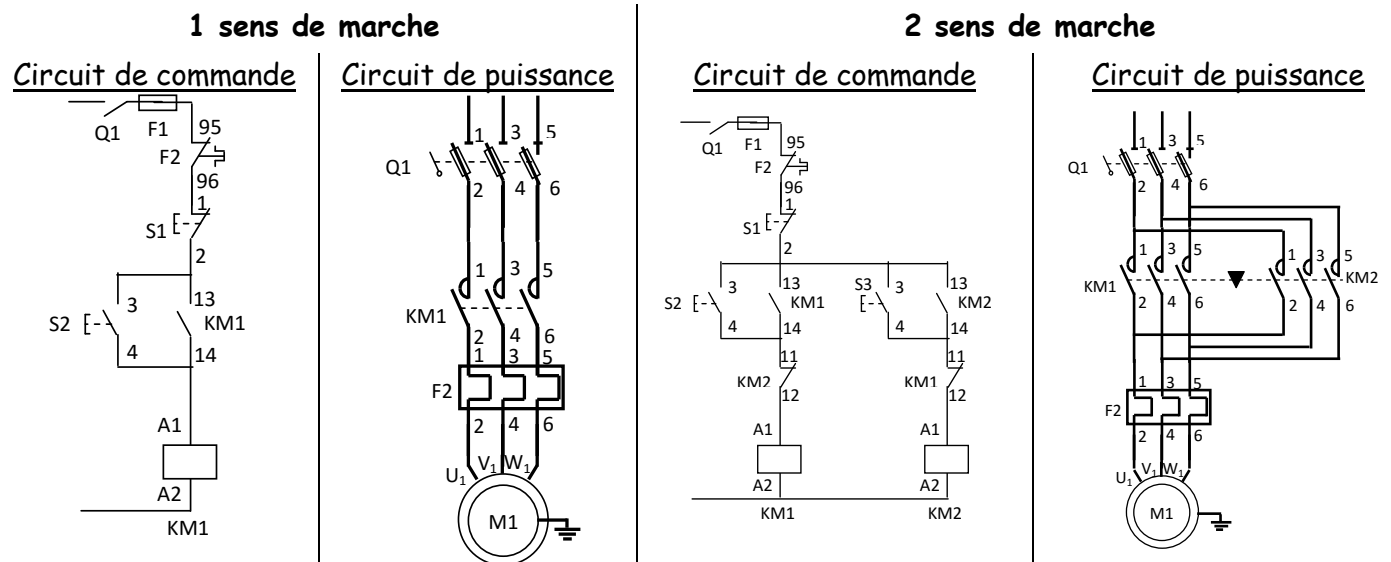


Démarrage des moteurs asynchrones triphasés :

Le moteur possède un fort couple de démarrage, mais il a l'inconvénient d'absorber de 4 à 8  $I_N$ . Pour réduire cet appel de courant on dispose de différents procédés de démarrage:

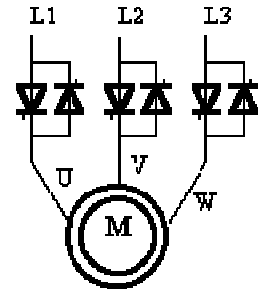
Démarrage direct :

Ce mode de démarrage le plus simple dans lequel le stator est directement couplé sur le réseau.



Démarrage par gradateur de tension (démarreur électronique) :

Le moteur asynchrone triphasé est alimenté par l'intermédiaire d'un gradateur qui provoque la montée progressive de la tension. On peut réduire l'intensité de démarrage à une valeur précise en agissant sur l'angle de commande des thyristors.



Choix d'un démarreur progressif

Le choix d'un variateur se fait essentiellement en fonction :

- Du réseau d'alimentation : tension d'alimentation : monophasé ou triphasé.
- De la puissance utile du moteur à commander.

Démarrage étoile-triangle :

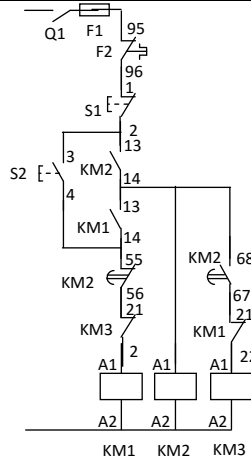
Principe

Ce mode de démarrage consiste à coupler le stator en étoile pendant le démarrage, puis à rétablir le couplage en triangle

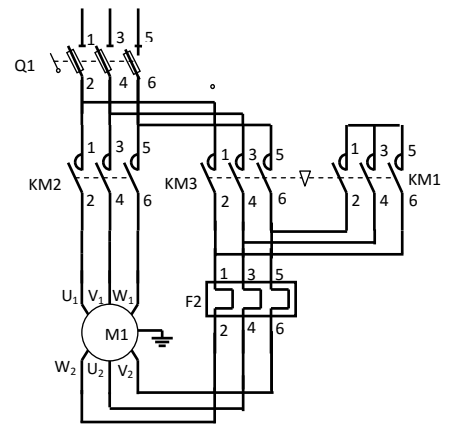
Il se fait en 2 temps :

- **Premier temps** : l'intensité absorbée est divisée par 3.
- **Second temps** : 2 à 3 secondes après, on bascule en triangle puis on y reste.
- **Inconvénient** : le couple au démarrage est également divisé par 3.

Circuit de commande



Circuit de puissance



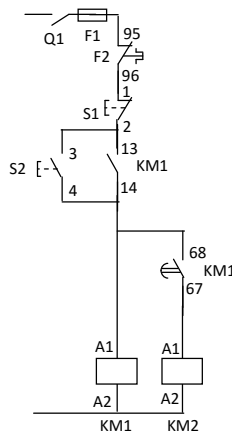
Démarrage statorique :

Principe

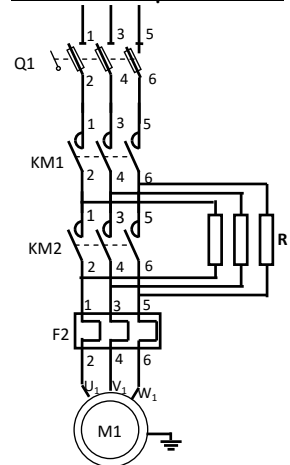
Ce mode de démarrage consiste à insérer :

- Dans un premier temps, des **résistances en série** avec l'enroulement statorique afin de limiter les courants statoriques et ainsi réduire l'appel d'intensité.
- Dans un deuxième temps on **court-circuite ces résistances**. Le démarrage est terminé.

Circuit de commande



Circuit de puissance



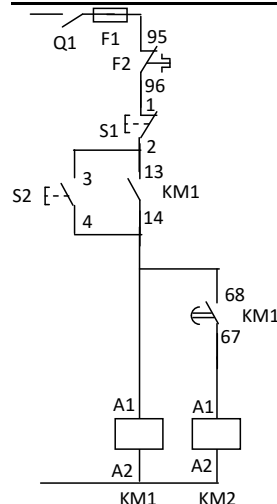
Démarrage rotorique

Principe

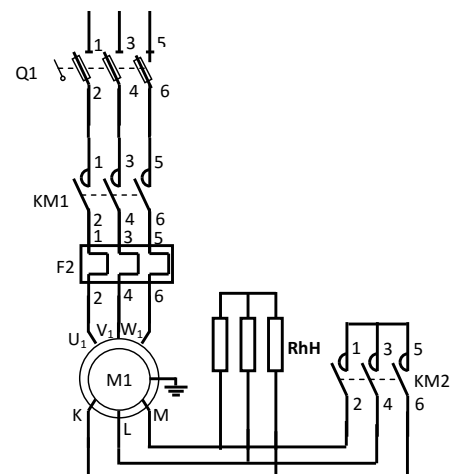
Ce démarrage a l'avantage, si les résistances sont bien choisit, de démarrer avec le **couple maximal** du moteur pour un courant de démarrage relativement faible. Il consiste à insérer :

- Dans un premier temps, des **résistances en série** avec l'enroulement rotorique afin de limiter les courants rotoriques et ainsi réduire l'appel d'intensité.
- Dans un deuxième temps on **court-circuite** les enroulements rotoriques. Le démarrage est terminé.

Circuit de commande



Circuit de puissance

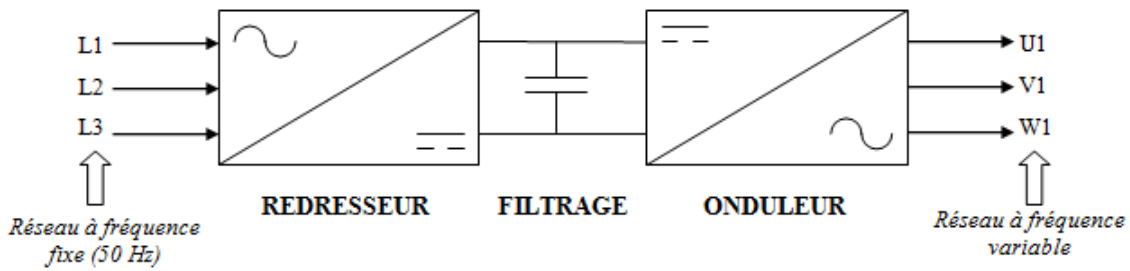




### Variateurs industriels pour moteur asynchrone

Les moteurs asynchrones : leur vitesse est proportionnelle à la fréquence d'alimentation.

#### Structure interne



- Un **redresseur** (monophasé ou triphasé) permettant d'élaborer une source de tension continue.
- Un **circuit de filtrage** (permettant l'obtention d'un signal pratiquement continu).
- Un **onduleur triphasé autonome** qui recrée à partir de la tension continue fixe un réseau de tension alternative triphasé de fréquence et de tension variable.

#### Fonctions d'un variateur:

- ✓ **Démarrage** (avec contrôle de l'accélération)
- ✓ **Inversion du sens de rotation**
- ✓ **Freinage** (avec contrôle de la décélération)
- ✓ Choix de **plusieurs vitesses de rotation**
- ✓ **Variation de vitesse** avec consigne analogique
- ✓ **Surveillance du moteur** (courant moteur, échauffement)
- ✓ **Contrôle du couple** moteur (contrôle vectoriel de flux).

#### Choix du variateur

Le choix d'un variateur se fait essentiellement en fonction :

- **Du réseau d'alimentation** : tension d'alimentation, système monophasé ou triphasé
- **De la puissance utile du moteur à commander**

## ACTIVITE 16 : TD MACHINE ASYNCHRONE

**EXERCICE 1 :** L'énergie de l'ascenseur est fournie par un moteur asynchrone triphasé alimenté par le réseau 400V/50Hz, il absorbe un courant de 50A et tourne à une vitesse de 1450 tour/min.

Sur la plaque signalétique on peut lire que le facteur de puissance est de 0,86 et qu'il possède 2 paires de pôle. En mesurant avec un ohmmètre entre 2 bornes du stator on trouve une résistance de  $0,15\Omega$ . Les pertes fer au stator sont de 500W, on négligera les pertes mécaniques dans le moteur ainsi que les pertes fer au rotor. Ce moteur entraîne un treuil qui soulève une charge à la vitesse de 4m/s, le treuil à un rendement de 0,75.

Déterminer :

1. La vitesse de synchronisme :

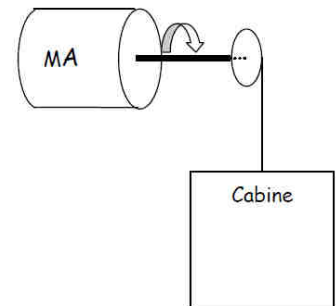
.....

2. Le glissement :

.....

3. Les pertes joules au stator :

.....



4. Les pertes joules au rotor :

.....

5. Le rendement du moteur :

.....

6. Le couple utile :

.....

7. La charge soulevée par le treuil :

.....

.....

**EXERCICE 2 :** L'éolienne permet d'alimenter plusieurs récepteurs dont un moteur asynchrone qui entraîne une pompe. Le réseau 130V/230V, 50 Hz alimente le moteur asynchrone triphasé de 1,1 kW dont la plaque signalétique est donnée ci-contre :

1. Déterminer le couplage des enroulements du stator.

.....

2. Quelle est la valeur efficace de l'intensité du courant traversant un enroulement au régime nominal ?

.....

3. Calculer la puissance active absorbée par le moteur au régime nominal.

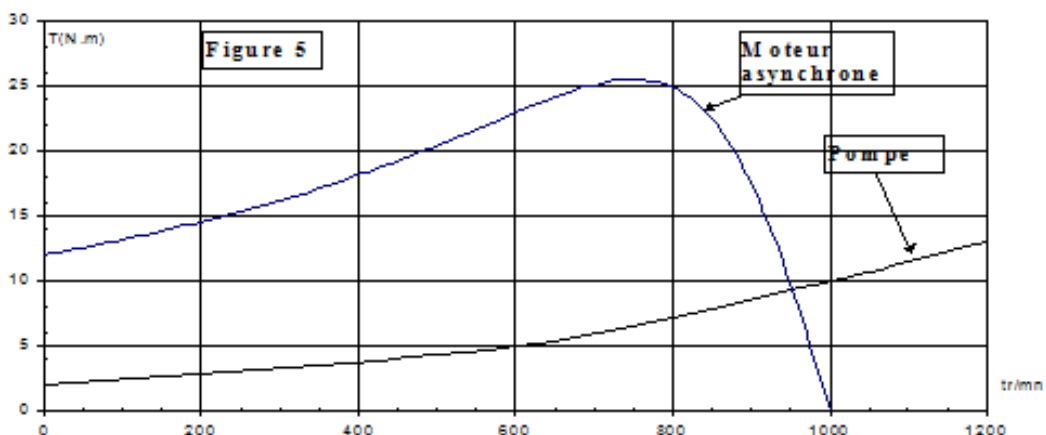
.....

|                    |    |                   |      |       |     |
|--------------------|----|-------------------|------|-------|-----|
| Mot.3 LS 80LT      |    |                   |      |       |     |
| N°5188565 BJ 017kg |    |                   |      |       |     |
| IP 55I cl F        |    |                   | 40°C |       | S1  |
| V                  | Hz | min <sup>-1</sup> | kW   | cos φ | A   |
| Δ 230              | 50 | 935               | 1,1  | 0,78  | 4,8 |
| Y 400              |    |                   |      |       | 2,8 |
| Made in France     |    |                   |      |       |     |

4. Quels composants peut-on ajouter pour améliorer le facteur de puissance de ce récepteur ?

Proposer un schéma de branchement de ces composants permettant e conserver la charge équilibrée :

5. Les caractéristiques mécaniques du moteur et de la pompe sont données sur la figure 5 ci-dessous :



5.1. Déterminer la fréquence de rotation du moteur et calculer le glissement :

.....

5.2. Déterminer le moment du couple exercé par la pompe.

.....

**EXERCICE 3 :** Un moteur asynchrone triphasé hexapolaire est alimenté par un réseau triphasé : 230/400 V - 50 Hz. La résistance mesurée à chaud entre deux bornes du stator couplé est  $R = 0,8 \Omega$ . L'essai nominal a donné les résultats suivants :  $g = 6 \%$ ,  $P_a = 12,3 \text{ KW}$  et  $Q = 8,83 \text{ KVAR}$ . Déterminer :

1. le facteur de puissance :

.....

2. l'intensité efficace du courant en ligne :

.....

3. les pertes statoriques par effet Joule :

.....

4. la fréquence de rotation :

.....

Sachant que les pertes statoriques dans le fer et les pertes mécaniques sont égales et valent 550 W, déterminer :

5. les pertes par effet Joule rotoriques :

.....

6. la puissance utile et le moment du couple utile :

.....

7. le rendement :

.....

Le moteur entraîne une charge mécanique dont la caractéristique peut être assimilée à une droite passant par les points (690 tr/min ; 60 Nm) et (1000 tr/min ; 40 Nm).

On assimilera la partie utile de la caractéristique du moteur à une droite passant par les points ( $n' = n$  ;  $T_u = 0$ ) et ( $n = n_N$  ;  $T_u = T_{uN}$ ).

8. Déterminer la fréquence de rotation du groupe moteur et charge :

.....

.....

9. Déterminer la valeur du couple utile :

.....

10. Calculer la puissance utile développée par le moteur :

.....

**EXERCICE 4 :** Un moteur asynchrone à rotor bobiné possède **4 pôles**. Il est couplé en **étoile**. Dans tout le problème, il entraîne une machine lui imposant un couple constant de moment  **$C_r = 40 \text{ N.m}$** .

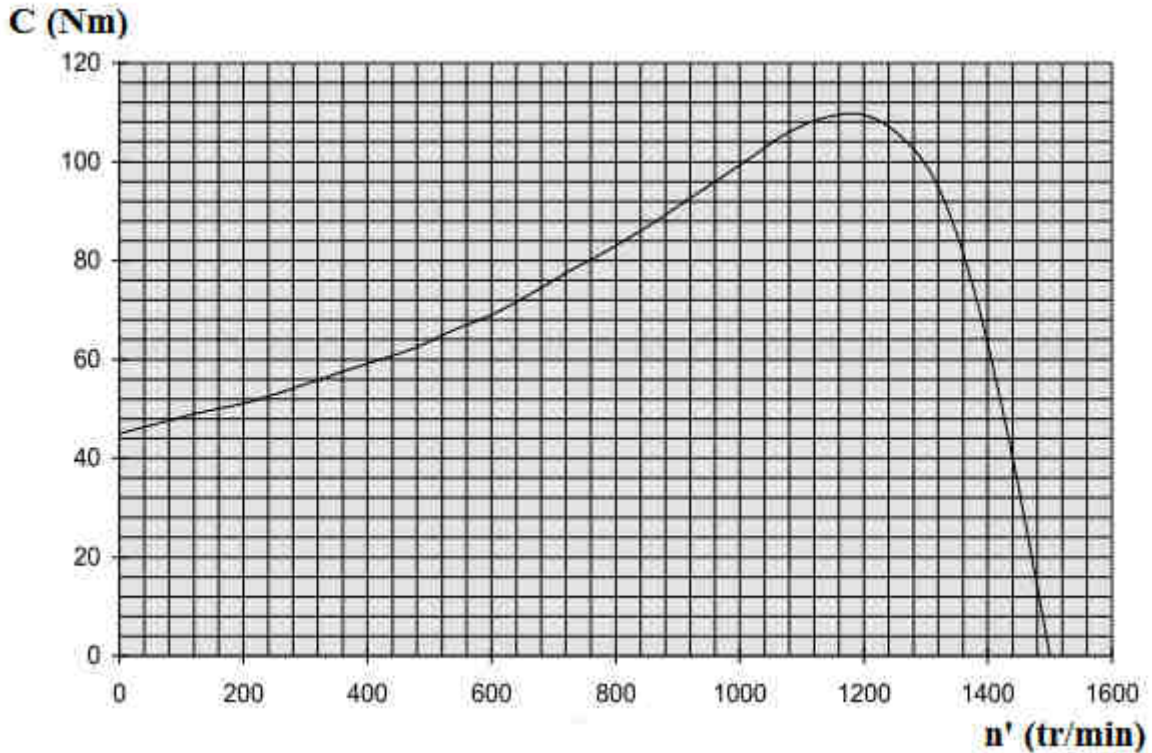
Les pertes mécaniques sont suffisamment faibles pour que l'on puisse les négliger devant les autres puissances mises en jeu et considérer que le couple utile est égal au couple électromagnétique.

La résistance de chaque enroulement du stator est  $r = 0,5 \Omega$ .

I. Le moteur est alimenté par un réseau de tension composée  $380 V - 50 Hz$ .

Dans ces conditions :

- il absorbe un courant d'intensité :  $I = 14,5 A$  ;
- les pertes magnétiques sont :  $P_{fs} = 150 W$  ;
- la caractéristique du couple  $C$  (en N.m) en fonction de la fréquence de rotation  $n'$  (en tr/min) est donnée figure ci-dessous :



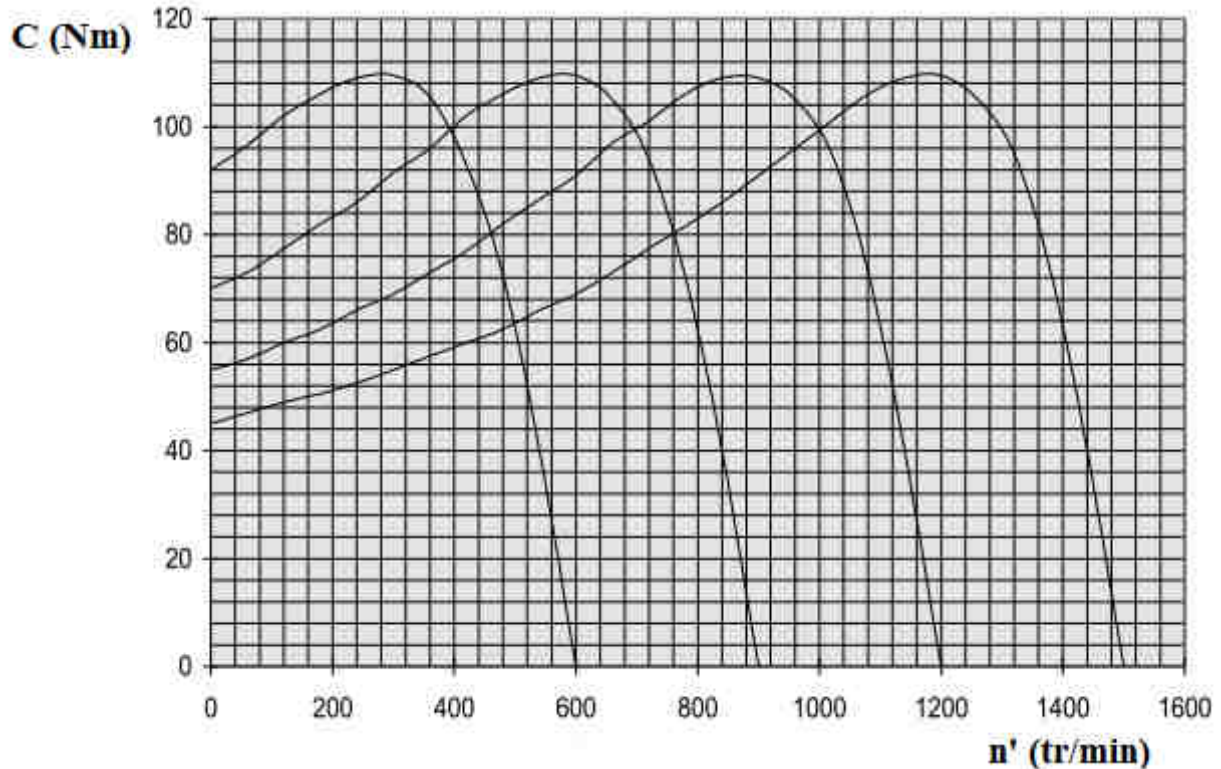
1. Dire pourquoi on peut réaliser le démarrage direct du moteur en charge.  
.....
2. Quelle est la fréquence de rotation de synchronisme en tr/min ?  
.....
3. Utiliser la caractéristique  $C(n')$  de la figure ci-dessus pour trouver la fréquence de rotation en charge. En déduire la valeur du glissement.  
.....  
.....
4. Calculer la puissance utile du moteur.  
.....
5. Calculer le rendement du rotor et les pertes par effet Joule au rotor. (On rappelle que le couple électromagnétique ou couple transmis au rotor est égal au couple utile).  
.....  
.....
6. Calculer les pertes par effet Joule au stator.  
.....

7. Calculer la puissance absorbée par le moteur, son rendement et son facteur de puissance.

II. On se propose de faire varier la fréquence de rotation du moteur de façon à réaliser le point de fonctionnement suivant :  $C = 40 \text{ N.m}$  ;  $n' = 1140 \text{ tr/min}$

On fait varier la fréquence  $f$  du réseau d'alimentation, de même que la tension  $V$  aux bornes de chaque enroulement du moteur, en imposant le rapport  $V/f = \text{constante}$ .

Les caractéristiques  $C(n')$  avec  $f$  comme paramètre sont données figure ci-dessous :



1. Quelle doit être la fréquence  $f$  pour réaliser le même point de fonctionnement que ci-dessus ( $C = 40 \text{ N.m}$  ;  $n' = 1140 \text{ tr/min}$ ) ?

2. Calculer le glissement.

3. Quelle doit être la valeur de la tension d'alimentation ?

### ACTIVITE 17 : EXERCICES MACHINE ASYNCHRONE

**EXERCICE 1 :** Une pompe est entraînée par un moteur asynchrone triphasé tétrapolaire, alimenté par un secteur triphasé 50 Hz entre les phases duquel on mesure une tension de 380V.

On effectue un essai en charge et on obtient les résultats ci-dessous :

- intensité du courant en ligne :  $I = 6,25 \text{ A}$  ;
- puissance électrique absorbée :  $P = 3,25 \text{ kW}$  ;
- fréquence de rotation :  $n = 1420 \text{ tr/min}$ .
- Le rendement du moteur est alors de 0,82.

Les trois enroulements du moteur fonctionnent normalement sous une tension de 220V.

1. Préciser et justifier le couplage des enroulements sur le secteur.

Calculer :

2. La fréquence de synchronisme  $n_s$ .
3. Le glissement  $g$ .
4. Le facteur de puissance du moteur.
5. La puissance mécanique fournie.
6. Le moment du couple utile du moteur.

**EXERCICE 2 :** On désire assurer la ventilation d'un parking souterrain à l'aide de plusieurs ventilateurs. Chaque ventilateur est actionné par un moteur asynchrone triphasé, possédant deux paires de pôles, et alimenté par un système de tensions triphasées 220V/380V ; 50 Hz. Les moteurs sont identiques.

On désigne par :

- $T_u$  le moment du couple utile d'un moteur ;
- $T_r$  le moment du couple résistant d'un ventilateur ;
- $n$  la fréquence de rotation de chaque groupe moteur-ventilateur.

La caractéristique  $T_u = f(n)$  d'un moteur est une portion de droite passant par deux points dont les coordonnées sont (1425 tr/min, 20 Nm) et (1500 tr/min, 0 Nm).

La caractéristique  $T_r = f(n)$  d'un ventilateur passe par les points suivants :

|              |      |      |      |      |      |
|--------------|------|------|------|------|------|
| $n$ (tr/min) | 1400 | 1425 | 1450 | 1475 | 1500 |
| $T_r$ (Nm)   | 14,8 | 15,1 | 15,8 | 16,7 | 17,9 |

1- Déterminer graphiquement les coordonnées du point de fonctionnement d'un ensemble moteur-ventilateur. Echelles proposées : 1 cm  $\Leftrightarrow$  10 tr/min et 1 cm  $\Leftrightarrow$  1 Nm

2- Déduire des résultats précédents la puissance utile d'un moteur et son glissement.

3- Pour le point de fonctionnement déterminé ci-dessus, le facteur de puissance de l'installation est  $\cos \varphi = 0,77$  et la valeur efficace de l'intensité du courant en ligne est  $I = 5,6$  A. Calculer la puissance absorbée par chaque moteur et son rendement.

**EXERCICE 3 :**

Un moteur asynchrone triphasé porte sur sa plaque signalétique les indications suivantes :

- tensions entre phases 220V/380V ; 50Hz.
- puissance mécanique : 13 kW ;
- rendement : 0,82 ;
- facteur de puissance : 0,80 ;
- fréquence de rotation : 1410 tr/min.

Les trois enroulements du moteur fonctionnent normalement sous une tension peu différente de 220V.

1. Quel type de couplage du stator doit-on effectuer pour obtenir un fonctionnement avec :

- une alimentation 127V/220V, 50 Hz ?
- une alimentation 220V/380V, 50 Hz ?

2. Le moteur fonctionne sur le secteur 220V/380V, 50 Hz. Définir et calculer :

- 2.1. Les puissances active et réactive ;
- 2.2. L'intensité en ligne ;
- 2.3. Le nombre de pôles et le glissement ;
- 2.4. Le moment du couple utile.



**EXERCICE 3 :** Un moteur asynchrone à rotor bobiné et à bagues est alimenté par un réseau triphasé 50Hz, 220V/380V. Le couplage de l'enroulement stator est en triangle, celui du rotor est en étoile. En mesurant à chaud la résistance entre 2 bornes on trouve au stator  $R_s = 0,267 \Omega$  et au rotor  $R_r = 0,1 \Omega$ .

Un essai à vide a été effectué sur cette machine. Le moteur tourne pratiquement à la vitesse de synchronisme ( $n = 1500$  tr/min).

La méthode des 2 wattmètres indique :  $P_1 = 2200$  W,  $P_2 = - 700$  W et  $I_0$  (courant de ligne) = 20 A.

Un essai en charge est effectué à l'aide d'une charge mécanique, les courants absorbés étant alors équilibrés. On a les résultats suivants :

$$n' = 1450 \text{ tr/min} \qquad P_1 = 14481 \text{ W} \qquad P_2 = 5519 \text{ W} \qquad I = 38,5 \text{ A.}$$

Sachant que les pertes mécaniques sont constantes et égales à 700 W :

- 1) Calculer les pertes Joule au stator lors de cet essai à vide. En déduire les pertes fer au stator  $P_{fs}$  (que l'on supposera constante dans la suite du problème).
- 2) Calculer les puissances active et réactive totales absorbées par le moteur. En déduire le facteur de puissance lorsqu'on charge le moteur.
- 3) Calculer la fréquence des courants rotoriques. Que peut-on dire sur les pertes fer au rotor  $P_{fr}$ ?
- 4) Faire un bilan de puissance et calculer les pertes Joule au stator et la puissance transmise. En déduire les pertes Joule rotor  $P_{jr}$ . Calculer la valeur efficace des courants rotoriques.
- 5) Calculer la puissance utile  $P_u$  et le rendement du moteur lors de cet essai.
- 6) Calculer le couple utile  $C_u$ .

### EXTRAITS DES EXAMENS BAC

#### BAC 2010S-NORMALE (Système de lavage automatique de véhicules): Etude du moteur M2 :

Le moteur asynchrone triphasé M2 entraîne les rouleaux par l'intermédiaire d'un réducteur.

L'ensemble (réducteur, rouleaux) présente un couple résistant  $C_R = 36,3$  Nm.

1- En utilisant le tableau ci-dessous, donner :

a- le couple utile nominal  $C_{UN}$  :

.....

b- la puissance utile nominale  $P_{UN}$  :

.....

c- le type (la référence) du moteur :

.....

2- Calculer :

a- le glissement en régime nominal  $g$  (en %) :

.....

b- la puissance absorbée nominale  $P_{aN}$  :

.....

c- le courant de démarrage  $I_D$  sous une tension de 400 V :

.....

## MOTEURS ASYNCHRONES TRIPHASES A CAGE FERMES TYPES LS - 4 POLES

Protections thermiques à ouverture PTO  
IP 55 - 50 Hz - Classe F - 230 / 400 V - S1

| Type      | Puissance nominale à 50 Hz | Vitesse nominale           | Moment nominal | Intensité nominale | Facteur de puissance | Rendement | Courant démarrage / Courant nominal | Masse       |
|-----------|----------------------------|----------------------------|----------------|--------------------|----------------------|-----------|-------------------------------------|-------------|
|           | $P_N$<br>kW                | $N_N$<br>min <sup>-1</sup> | $M_N$<br>N.m   | $I_N$ (400 V)<br>A | cos φ<br>100%        | η<br>100% | $I_D / I_N$                         | MM B3<br>kg |
| LS 06 M   | 0,09                       | 1400                       | 0,6            | 0,39               | 0,6                  | 55        | 3,2                                 | 4           |
| LS 63 M   | 0,12                       | 1380                       | 0,8            | 0,44               | 0,7                  | 56        | 3,2                                 | 4,8         |
| LS 63 M'  | 0,12                       | 1375                       | 0,8            | 0,44               | 0,77                 | 56        | 3                                   | 4,8         |
| LS 63 M   | 0,18                       | 1390                       | 1,2            | 0,64               | 0,65                 | 62        | 3,7                                 | 5           |
| LS 63 M'  | 0,18                       | 1410                       | 1,2            | 0,62               | 0,75                 | 63        | 3,7                                 | 5           |
| LS 63 M   | 0,25                       | 1390                       | 1,7            | 0,85               | 0,65                 | 65        | 4                                   | 5,5         |
| LS 63 M'  | 0,25                       | 1390                       | 1,7            | 0,85               | 0,65                 | 65        | 4                                   | 5,5         |
| LS 71 M   | 0,25                       | 1425                       | 1,7            | 0,8                | 0,65                 | 69        | 4,6                                 | 6,4         |
| LS 71 M   | 0,37                       | 1420                       | 2,5            | 1,06               | 0,7                  | 72        | 4,9                                 | 7,3         |
| LS 71 L   | 0,55                       | 1400                       | 3,8            | 1,62               | 0,7                  | 70        | 4,8                                 | 8,3         |
| LS 80 L   | 0,55                       | 1410                       | 3,6            | 1,42               | 0,76                 | 73,4      | 4,5                                 | 8,2         |
| LS 80 L   | 0,75                       | 1400                       | 5,1            | 2,01               | 0,77                 | 70        | 4,5                                 | 9,3         |
| LS 80 L   | 0,9                        | 1425                       | 6              | 2,44               | 0,73                 | 73        | 5,8                                 | 10,9        |
| LS 90 S   | 1,1                        | 1429                       | 7,4            | 2,5                | 0,84                 | 76,8      | 4,8                                 | 11,5        |
| LS 90 L   | 1,5                        | 1428                       | 10             | 3,4                | 0,82                 | 78,6      | 5,3                                 | 13,6        |
| LS 90 L   | 1,8                        | 1436                       | 12             | 4                  | 0,82                 | 80,1      | 6                                   | 15,2        |
| LS 100 L  | 2,2                        | 1436                       | 14,7           | 4,8                | 0,81                 | 81        | 5,9                                 | 20          |
| LS 100 L  | 3                          | 1437                       | 20,1           | 6,5                | 0,81                 | 82,6      | 6                                   | 22,5        |
| LS 112 M  | 4                          | 1438                       | 26,8           | 8,3                | 0,83                 | 84,2      | 7,1                                 | 24,9        |
| LS 132 S  | 5,5                        | 1447                       | 36,7           | 11,1               | 0,83                 | 85,7      | 6,3                                 | 36,5        |
| LS 132 M  | 7,5                        | 1451                       | 49,4           | 15,2               | 0,82                 | 87        | 7                                   | 54,7        |
| LS 132 M  | 9                          | 1455                       | 59,3           | 18,1               | 0,82                 | 87,7      | 6,9                                 | 59,9        |
| LS 160 MP | 11                         | 1454                       | 72,2           | 21                 | 0,86                 | 88,4      | 7,7                                 | 70          |
| LS 160 LR | 15                         | 1453                       | 96             | 28,8               | 0,84                 | 89,4      | 7,5                                 | 86          |
| LS 180 MT | 18,5                       | 1450                       | 121            | 35,2               | 0,84                 | 90,3      | 7,6                                 | 100         |

**BAC 2010s - RATTRAPAGE (Barrière de parking):** Variation de vitesse d'un moteur asynchrone:

1. Représenter le schéma bloc d'un variateur de vitesse pour moteur asynchrone (pont redresseur, condensateurs de filtrage, et onduleur) et expliquer brièvement le rôle de chaque élément :

2. Sur quels paramètres faut-il agir pour varier la vitesse de rotation d'un moteur asynchrone ?

.....

3. Sur lequel de ces paramètres le variateur de vitesse agit-il dans le cas du système de la barrière ?

.....

4. Comment inverser le sens de rotation d'un moteur asynchrone ?

.....

**BAC 2010s-RATTRAPAGE (Barrière de parking): Moteur asynchrone triphasé et variateur de vitesse:**

On désire justifier le choix du variateur de vitesse de référence VFD002L21B à partir des spécifications du moteur de référence : 4IK25GN-SW2T.

1. Relever dans le document ci-dessous les données du moteur (la Puissance utile nominale, la tension d'alimentation, le courant absorbé, le couple de démarrage, le couple nominal, la vitesse nominale) pour une fréquence de 50 Hz et calculer le glissement nominal :

.....

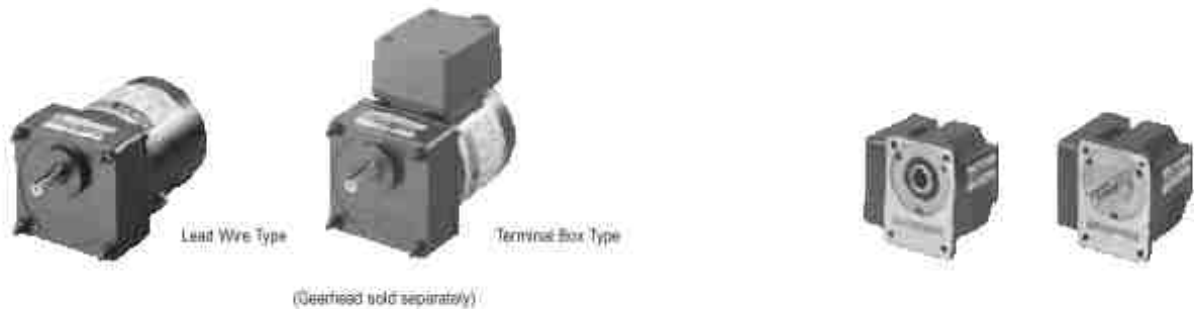
.....

.....

.....



**Moteur asynchrone  
25 W**



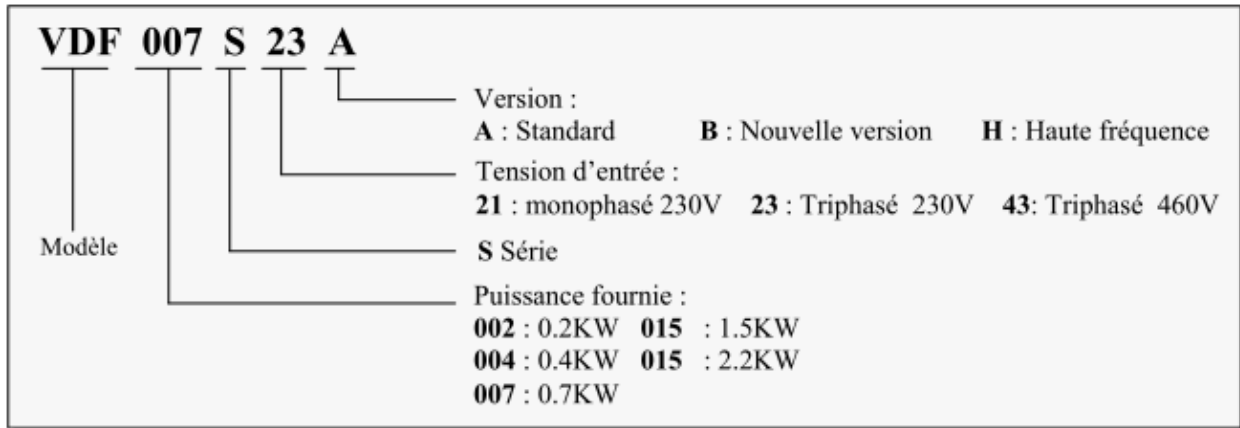
**Spécifications – Régime nominal**



| Model<br>Upper Model Name: Pinion Shaft Type<br>Lower Model Name ( ): Round Shaft Type |                                | Puissance<br>Nominale<br>en sortie<br>W | Tension<br>V  | Fréquence<br>Hz | Courant<br>absorbé<br>A | Couple<br>démarrage<br>mN.m | Couple nominal<br>mN.m | Vitesse<br>nominale<br>tr/min |
|--|--------------------------------|---|---------------|-----------------|-------------------------|-----------------------------|------------------------|-------------------------------|
| Lead Wire Type<br>Dimension  | Terminal Box Type<br>Dimension |   |               |                 |                         |                             |                        |                               |
| TP   | 4IK25GN-AW2J<br>(4IK25A-AW2J)  | 25                                      | Monophasé 100 | 50              | 0.51                    | 130                         | 205                    | 1200                          |
|  |                                |   |               | 60              | 0.52                    | 120                         | 170                    | 1450                          |
| TP   | 4IK25GN-AW2U<br>(4IK25A-AW2U)  | 25                                      | Monophasé 110 | 60              | 0.48                    | 120                         | 170                    | 1450                          |
|  |                                |   | Monophasé 115 |                 |                         |                             |                        |                               |
| TP   | 4IK25GN-CW2J<br>(4IK25A-CW2J)  | 25                                      | Monophasé 200 | 50              | 0.28                    | 120                         | 205                    | 1200                          |
|  |                                |   |               | 60              |                         |                             | 170                    | 1450                          |
| TP   | 4IK25GN-CW2E<br>(4IK25A-CW2E)  | 25                                      | Monophasé 220 | 50              | 0.27                    | 110                         | 205                    | 1200                          |
|  |                                |   |               | 60              |                         |                             | 0.23                   | 170                           |
|  |                                |   | Monophasé 230 | 50              | 0.27                    | 120                         | 205                    | 1200                          |
|  |                                |   |               | 60              | 0.23                    | 170                         | 1450                   |                               |
| TP   | 4IK25GN-SW2<br>(4IK25A-SW2)    | 25                                      | Triphasé 200  | 50              | 0.23                    | 240                         | 190                    | 1300                          |
|  |                                |   |               | 60              | 0.21                    | 160                         | 160                    | A: Standard                   |
|  |                                |   |               | Triphasé 220    | 60                      | 0.21                        | 160                    | 160                           |
|  |                                |   | Triphasé 230  | 60              | 0.22                    | 160                         | 160                    | 1600                          |
| TP   | 4IK25GN-UT4*<br>(4IK25A-UT4*)  | 25                                      | Triphasé 400  | 50              | 0.12                    | 240                         | 190                    | 1300                          |

2. La figure ci-dessous donne un exemple explicatif d'une plaque signalétique d'un variateur de vitesse de référence VFD 007 S 23 A.

Explication plaque signalétique du Modèle :



Donner pour le variateur VFD 002 L 21 B :

a. La puissance maximale qu'il peut fournir à un moteur asynchrone :

.....

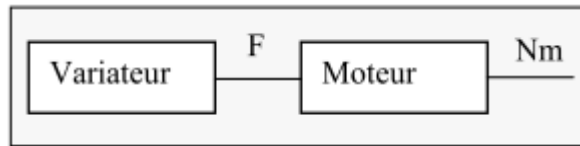
b. La tension d'alimentation à l'entrée :

.....

c. Le choix du variateur est-il convenable ? Justifier votre réponse :

.....

3. On donne la vitesse du moteur  $N_m = 150 \text{ tr/mn}$ , qui correspond à un temps de montée ou de descente de la barrière. A quelle valeur de la fréquence faut-il alors régler le variateur, sachant que le glissement  $g$  à cette fréquence est  $g=0,01$  :



.....

.....

**BAC 2011 S-RATTRAPAGE (Système de manutention et de pesage de sable): Etude du démarrage du moteur M1 :**

Dans le but de réduire le courant de démarrage, on réalise un démarrage par élimination de résistances statoriques pour le moteur asynchrone triphasé **M1**.

Le moteur utilisé est de type : **LS 100L**.

Ses caractéristiques sont : Puissance utile  $P_N = 2,2 \text{ kW}$  ;  $U = 400 \text{ V}$  ; le rendement  $\eta = 81\%$  ;

$\cos \varphi = 0,81$  ;  $N = 1436 \text{ tr/mn}$  ;  $M_N = 14,7 \text{ Nm}$  ;

Le rapport de courant :  $I_D/I_N = 5,9$  ; le rapport de couple :  $M_D/M_N = 2$ . ( $I_D$  : courant de démarrage ;  $M_D$  : couple de démarrage).

1- Au démarrage, on souhaite réduire le rapport de couple à  $M'_D/M_N = 1,2$ .

a- Calculer le coefficient **K** sachant que  $M'_D = K^2 \cdot M_D$  :

.....

b- Calculer la puissance absorbée nominale  $P_{aN}$  du moteur ; en déduire le courant nominal  $I_N$  :

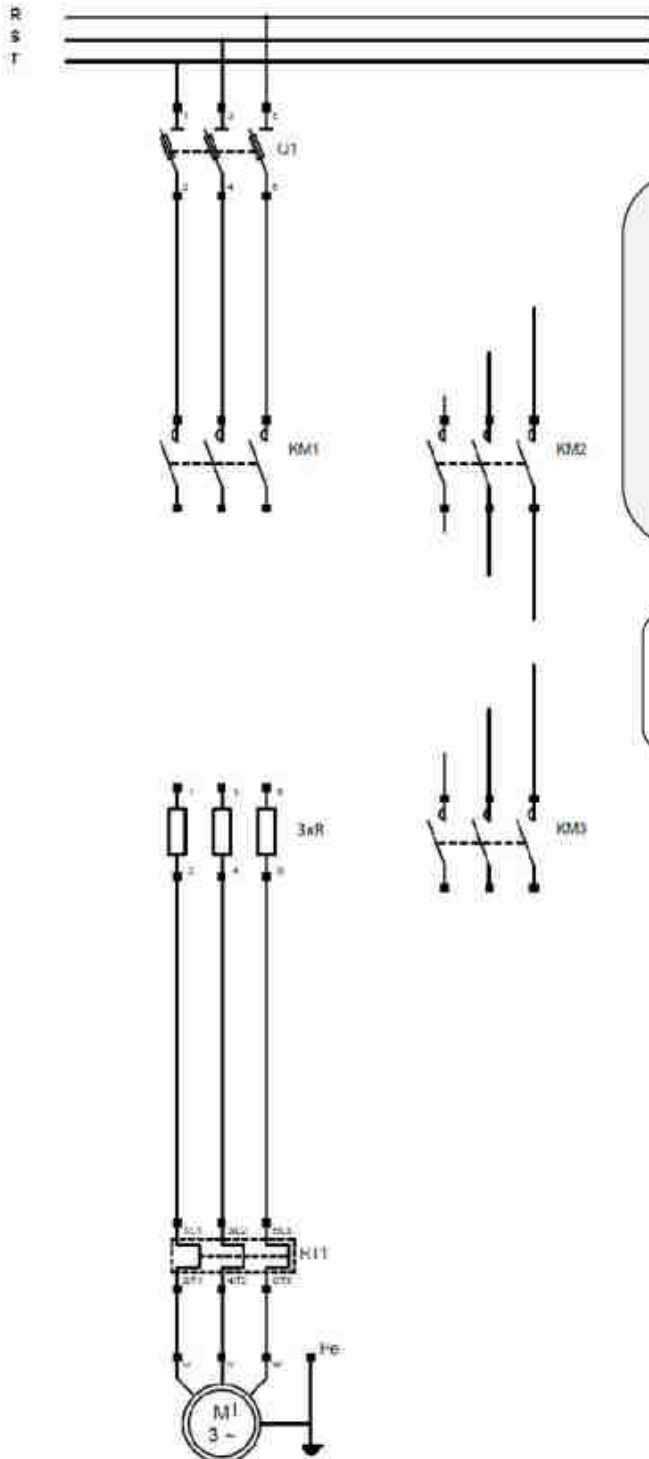
.....

.....

c- Sachant que  $K = U'_D / U = I'_D / I_D$ , calculer alors la tension  $U'_D$  et le courant  $I'_D$  :

2- Au démarrage, le couple résistant de la charge est  $M_R = 17 \text{ Nm}$ . Le moteur peut-il démarrer ? Justifier votre réponse :

3- Sur le document ci-dessous, compléter le schéma du circuit de puissance du moteur **M1** illustrant les deux sens de marche et le démarrage par élimination de résistances statoriques en deux temps.



Le démarrage par élimination de résistances statoriques s'effectue en deux temps :

- 1<sup>er</sup> temps : Alimenter le stator sous une tension réduite par insertion d'une résistance dans chaque phase.
- 2<sup>ème</sup> temps : Alimenter le stator par la pleine tension du réseau en court-circuitant les résistances.

KM<sub>1</sub> : Contacteur du sens 1 ;  
 KM<sub>2</sub> : Contacteur du sens 2 ;  
 KM<sub>3</sub> : Contacteur du court-circuit des résistances.

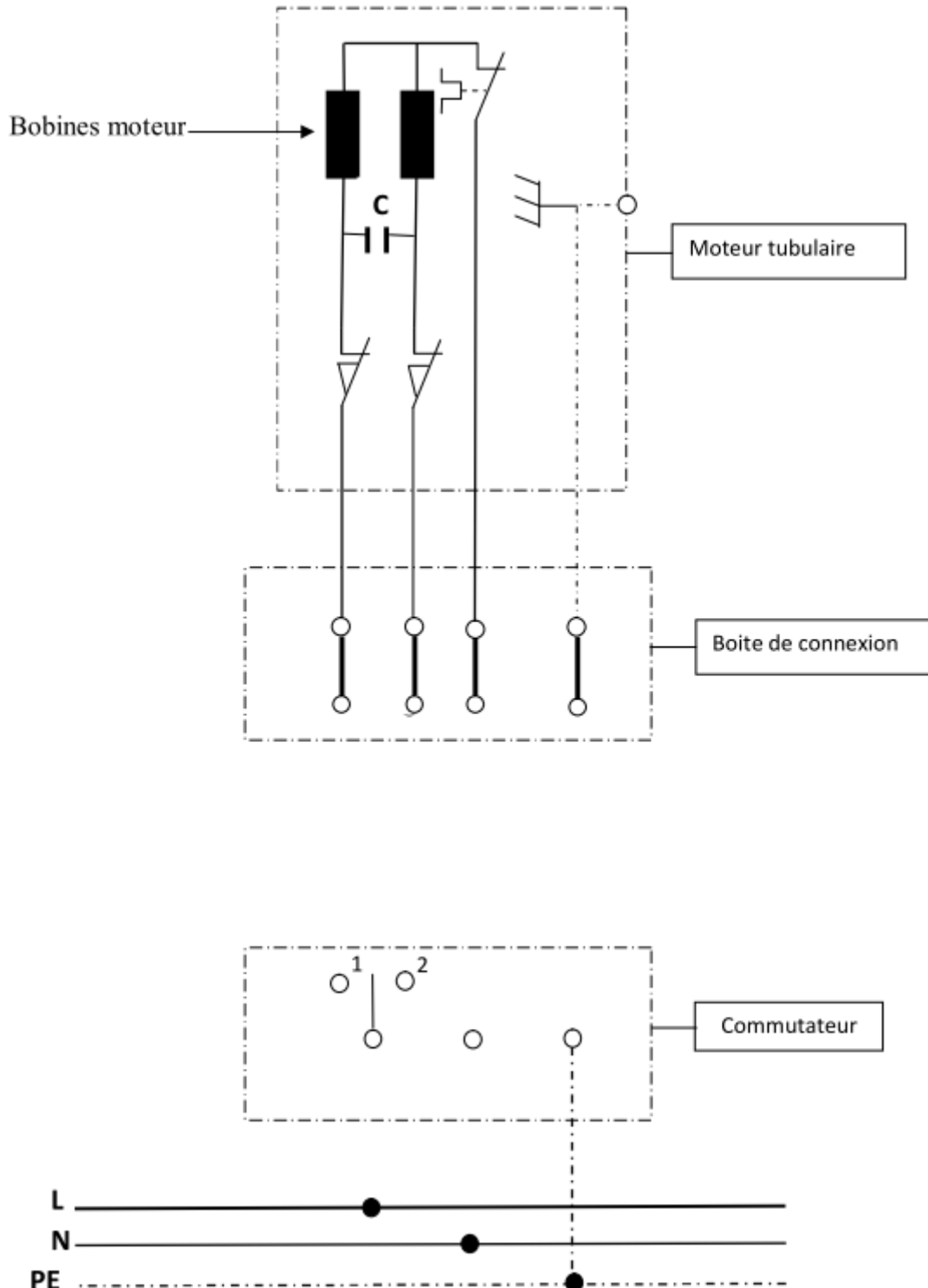
**BAC 2012 S-RATTRAPAGE (store automatisée): Câblage du store :**

Le store est actionné par un moteur tubulaire asynchrone monophasé (type LT50). Ce dernier dispose des éléments suivants :

- Un moteur électrique pour fournir le couple mécanique ;
- Un réducteur pour obtenir une vitesse d'enroulement adaptée (une dizaine de tours par minute) ;
- Un frein qui permet de maintenir la charge à l'arrêt ;
- Un dispositif de gestion des fins de course qui mémorise les points d'arrêt haut et bas et coupe automatiquement l'alimentation du moteur lorsque ces points sont atteints.

Dans le but de tester le fonctionnement de ce moteur tubulaire, on effectue la manipulation suivante : on commande le moteur du store à l'aide d'un commutateur à trois positions (montée, arrêt, descente).

1. Compléter le schéma du moteur tubulaire (ci-dessous):





2. Quel est le rôle du condensateur C ?

.....

.....

3. Expliquer comment le sens de rotation du moteur est inversé suivant les positions 1 et 2 du commutateur :

Position du  
Commutateur

Explications

1

.....

.....

.....

2

.....

.....

**BAC 2013 S-RATTRAPAGE (Système de conditionnement et d'emballage de brioches): Etude énergétique du moteur:**

Les caractéristiques du moteur asynchrone triphasé sont :

- $P_N = 0,75 \text{ kW}$  ;
- $N_N = 1400 \text{ tr/min}$  ;
- $\eta = 0,7$  ;
- $\cos \varphi = 0,77$  ;
- Nombre de pôles : 4 ;
- $f = 50 \text{ Hz}$ .

Le moteur est alimenté sous une tension composée  $U = 400 \text{ V} - 50 \text{ Hz}$  et chaque enroulement statorique est conçu pour être soumis à une tension de  $230 \text{ V}$  en fonctionnement nominal.

1- Quel est le couplage des enroulements statoriques ?

.....

2- Quelle est la vitesse de synchronisme  $N_s$  (tr/min) ?

.....

3- Donner (en %) la valeur du glissement  $g$  :

.....

4- Calculer la valeur de la puissance active  $P_a$  absorbée par le moteur :

.....

5- Quelle est la valeur du courant  $I_N$  absorbé par le moteur ?

.....

6- Quelle est la valeur de l'ensemble des pertes  $p_t$  dissipées dans le moteur ?

.....

7- Déterminer la puissance réactive  $Q_a$  absorbée du moteur :

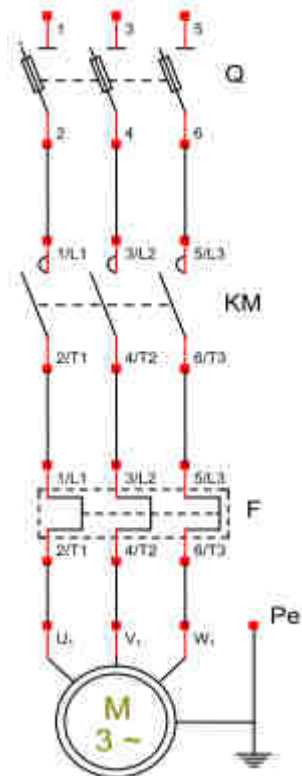
8- Calculer alors la puissance apparente  $S$  :

**BAC 2013 S-RATTRAPAGE (Système de conditionnement et d'emballage de brioches): Fonctions des appareillages :**

Le schéma du circuit de puissance du moteur représenté ci-dessous illustre un démarrage direct à un seul sens de marche. A partir de ce schéma, compléter le tableau n°1.

Circuit de puissance

Tableau n° 1 à compléter :



| Repère | Nom   | Fonction |
|--------|-------|----------|
| Q      | ..... | .....    |
| Q      | ..... | .....    |
| Q      | ..... | .....    |
| KM     | ..... | .....    |
| KM     | ..... | .....    |
| KM     | ..... | .....    |
| F      | ..... | .....    |
| F      | ..... | .....    |
| F      | ..... | .....    |

**BAC 2014 S-RATTRAPAGE (Système de fabrication du savon): Etude du bilan des puissances du moteur M2:**

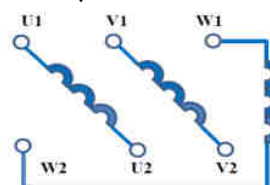
Les caractéristiques du moteur M 2 sont :

- Tension : 230 / 400 V - 50 Hz ;
- Rotor à cage ;
- $n_N = 1430 \text{ tr/min}$  - 4 pôles ;
- $C_N = 10 \text{ Nm}$  ;
- $I_N = 3,6 \text{ A}$  ;
- $\cos \varphi = 0,81$ .

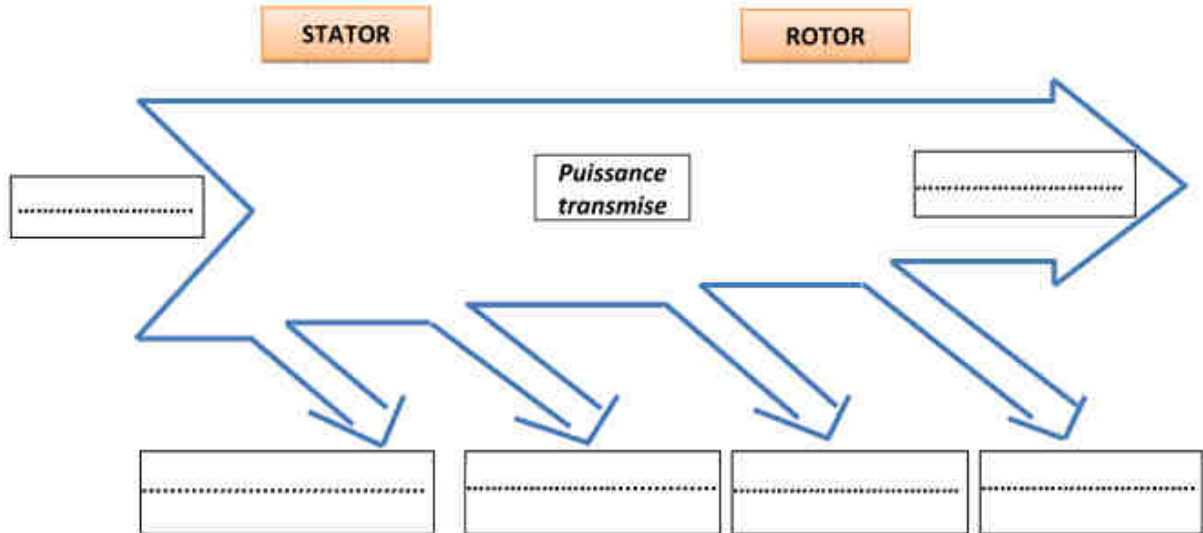
1- Le moteur est alimenté à partir d'un réseau triphasé de tension  $U = 400 \text{ V} - 50 \text{ Hz}$ . Préciser le couplage des enroulements statoriques et compléter alors le schéma de raccordement de la plaque à bornes (ci-dessous):

Couplage des enroulements :

Plaque à bornes :



2- Compléter le schéma (ci-dessous) illustrant le bilan des puissances du moteur (les pertes fer rotoriques sont supposées négligeables) :



3- Calculer la puissance absorbée  $P_a$  par le moteur :

4- Déterminer les pertes Joule statoriques  $P_{JS}$  sachant que la résistance d'une phase est  $R = 3,5 \Omega$  :

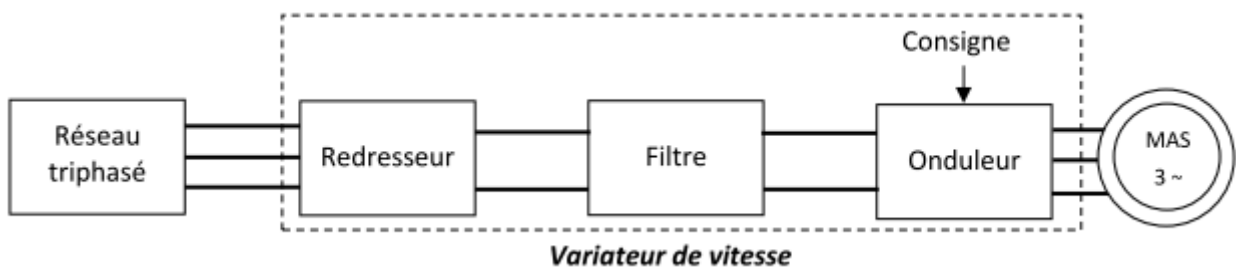
5- Calculer la puissance transmise  $P_{TR}$  sachant que les pertes fer  $P_{fS}$  dans le stator sont de 151 W (on admet que les pertes mécaniques  $P_{mec}$  et les pertes fer  $P_{fS}$  dans le stator sont égales) :

6- Calculer la valeur des pertes Joule  $P_{JR}$  dans le rotor et donner alors la valeur des pertes totales  $P_{tot}$  dans le moteur :

7- Quelle est alors la valeur du rendement  $\eta_{m2}$  du moteur ?

**BAC 2014 S-RATTRAPAGE (Système de fabrication du savon): Etude du variateur de vitesse :**

Pour ajuster la cadence (nombre de savonnettes par heure), un opérateur fait varier la vitesse du moteur M2 du convoyeur à bande en agissant sur un potentiomètre de référence  $P_r$  (consigne). En plus, pour assurer les performances optimales du moteur M2, il s'impose que le rapport  $U/f$  soit constant. Le schéma synoptique du variateur est le suivant :



1- En utilisant le document Ressource ci-dessous et les caractéristiques du moteur M2 (prendre la puissance utile du moteur  $P_u = 1,5 \text{ kW}$ ), donner la référence du variateur de vitesse qui convient :

Références

# Variateurs de vitesse

## Altivar 71

### Variateurs UL Type 12/IP 54 avec Vario



#### Variateurs UL Type 12/IP 54 avec Vario et filtre CEM classe A intégré

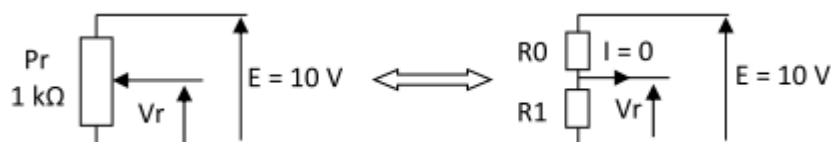
Tension d'alimentation triphasée : 380...480 V 50/60 Hz

| Moteur                            |     | Réseau                    |       |                                  |    | Altivar 71                       |     |                                  |      | Référence (3) | Masse  |
|-----------------------------------|-----|---------------------------|-------|----------------------------------|----|----------------------------------|-----|----------------------------------|------|---------------|--------|
| Puissance indiquée sur plaque (1) |     | Courant de ligne maxi (2) |       | Puissance apparente présumé maxi |    | Courant maximal permanent In (1) |     | Courant transitoire maxi pendant |      |               |        |
| kW                                | HP  | 380 V                     | 480 V | 380 V                            |    | 380 V                            |     | 460 V                            |      |               | kg     |
|                                   |     | A                         | A     | kVA                              | kA | A                                | A   | A                                | A    |               |        |
| 0,75                              | 1   | 3,7                       | 3     | 2,4                              | 5  | 2,3                              | 2,1 | 3,5                              | 3,8  | ATV 71E5075N4 | 12,400 |
| 1,5                               | 2   | 5,8                       | 5,3   | 3,8                              | 5  | 4,1                              | 3,4 | 6,2                              | 6,8  | ATV 71E5015N4 | 12,400 |
| 2,2                               | 3   | 8,2                       | 7,1   | 5,4                              | 5  | 5,8                              | 4,8 | 8,7                              | 9,6  | ATV 71E5022N4 | 12,400 |
| 3                                 | -   | 10,7                      | 9     | 7                                | 5  | 7,8                              | 6,2 | 11,7                             | 12,9 | ATV 71E5030N4 | 13,400 |
| 4                                 | 5   | 14,1                      | 11,5  | 9,3                              | 5  | 10,5                             | 7,6 | 15,8                             | 17,3 | ATV 71E5040N4 | 13,400 |
| 5,5                               | 7,5 | 20,3                      | 17    | 13,4                             | 22 | 14,3                             | 11  | 21,5                             | 23,6 | ATV 71E5055N4 | 16,400 |
| 7,5                               | 10  | 27                        | 22,2  | 17,8                             | 22 | 17,6                             | 14  | 26,4                             | 29   | ATV 71E5075N4 | 16,400 |
| 11                                | 15  | 36,6                      | 30    | 24,1                             | 22 | 27,7                             | 21  | 41,6                             | 45,7 | ATV 71E5011N4 | 18,700 |
| 15                                | 20  | 48                        | 39    | 31,6                             | 22 | 33                               | 27  | 49,5                             | 54,5 | ATV 71E5015N4 | 29,400 |
| 18,5                              | 25  | 45,5                      | 37,5  | 29,9                             | 22 | 41                               | 34  | 61,5                             | 67,7 | ATV 71E5018N4 | 29,400 |
| 22                                | 30  | 50                        | 42    | 32,9                             | 22 | 48                               | 40  | 72                               | 79,2 | ATV 71E5022N4 | 33,700 |
| 30                                | 40  | 66                        | 56    | 43,4                             | 22 | 66                               | 52  | 99                               | 109  | ATV 71E5030N4 | 44,800 |
| 37                                | 50  | 84                        | 69    | 55,3                             | 22 | 79                               | 65  | 118,5                            | 130  | ATV 71E5037N4 | 44,800 |
| 45                                | 60  | 104                       | 85    | 68,5                             | 22 | 94                               | 77  | 141                              | 155  | ATV 71E5045N4 | 67,400 |
| 55                                | 75  | 120                       | 101   | 79                               | 22 | 116                              | 96  | 174                              | 191  | ATV 71E5055N4 | 67,400 |
| 75                                | 100 | 167                       | 137   | 109,9                            | 22 | 160                              | 124 | 240                              | 264  | ATV 71E5075N4 | 67,400 |

2- La tension Vr de consigne de vitesse est réglée par le potentiomètre de référence Pr.  
On admet que la vitesse du moteur est proportionnelle à la tension Vr :

- Vr = 0 V pour une vitesse nulle ;
- Vr = 10 V pour la vitesse nominale de 1430 tr/min.

Le schéma équivalent du potentiomètre Pr est le suivant :

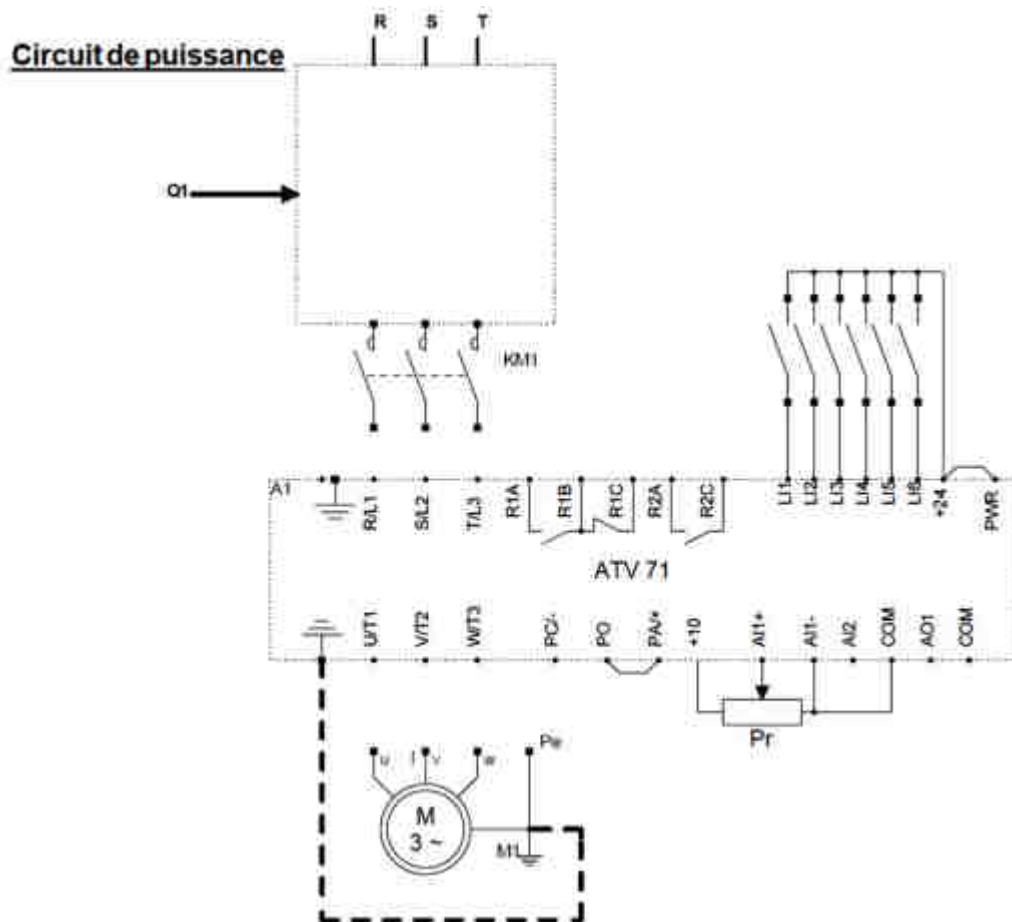


Sachant que la tension  $V_r = 6 \text{ V}$  :

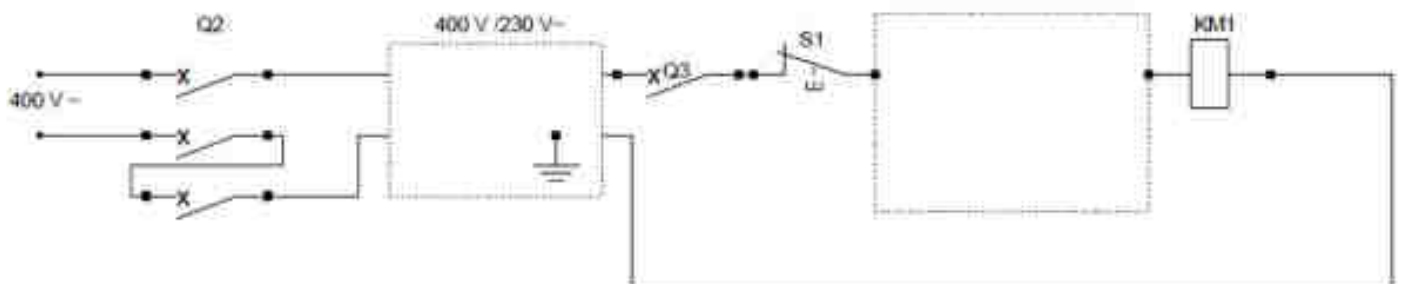
2.1 - Calculer les valeurs des résistances  $R_0$  et  $R_1$  :

2.2 - Quelle est alors la vitesse de rotation  $n_r$  (en tr/min) du moteur ?

3- Compléter le schéma du circuit de puissance en utilisant un disjoncteur magnétothermique Q1 et en raccordant le variateur de vitesse au moteur :



4- Compléter le schéma du circuit de commande simplifié qui doit être alimenté sous une tension monophasée de 230 V - 50 Hz, sachant que l'équation logique de la sortie KM1 est :



Nomenclature

| <u>Repère</u> | <u>Désignation</u>   | <u>Repère</u> | <u>Désignation</u>                          |
|---------------|----------------------|---------------|---|
| Q1            | Disjoncteur moteur   | KM1<br>Km1    | Bobine du contacteur<br>Contact auxiliaire  |
| Q2            | Disjoncteur triphasé | Pr            | Potentiomètre<br>de référence               |
| Q3            | Disjoncteur mono     | S1            | Bouton poussoir<br>affleurant "0"           |
| ATV71E5U15N4  | Variateur de vitesse | S2            | Bouton poussoir<br>affleurant "F"           |
| M3~           | Moteur asy.tri       | a             | Contact du relais<br>de défaut du variateur |

**BAC 2015 S- NORMALE (Système de traitement thermique): Etude du système de ventilation:**

Le ventilateur est entraîné par un moteur triphasé **MV** qui est alimenté par une tension de **400 V-50 Hz** ; ce dernier possède **6 pôles** et absorbe un courant nominal  $I_N = 15,5 \text{ A}$  avec un facteur de puissance  $\cos \varphi = 0,8$ .

- La vitesse de rotation nominale est  $n_N = 970 \text{ tr/min}$ .
- Les enroulements statoriques sont couplés en triangle et chacun a une résistance  $R = 0,8 \Omega$ .
- Les pertes fer du stator sont  $P_{fs} = 206 \text{ W}$  et les pertes mécaniques sont  $p_m = 447 \text{ W}$ .

Calculer la valeur :

1. de la vitesse de synchronisme  $n_s$  (en tr/min) et le glissement  $g$  (en %) :

.....

.....

2. de la puissance active  $P_a$  absorbée par le moteur :

.....

3. des pertes par effet Joule  $P_{Js}$  dans le stator :

.....

4. de la puissance électromagnétique  $P_{Tr}$  transmise au rotor :

.....

5. des pertes par effet Joule  $P_{Jr}$  dans le rotor :

.....

6. du couple électromagnétique  $C_e$  :

.....

7. du rendement  $\eta_{MV}$  du moteur :

.....

**BAC 2015 S- NORMALE (Système de traitement thermique): Etude du démarrage du moteur MV:**

Pour réduire les pointes de courant à la mise sous tension du moteur **MV**, le mode de démarrage choisi est "ETOILE-TRIANGLE".



Le moteur MV démarre en étant couplé en étoile pendant une durée de 10 secondes.

Après écoulement de cette durée, il est couplé automatiquement en triangle. (Voir schéma ci-contre) :

1. Compléter le schéma du circuit de puissance en exploitant le schéma de la plaque à bornes du moteur.
2. Compléter les chronogrammes correspondant au fonctionnement du moteur lors du démarrage ETOILE-TRIANGLE.

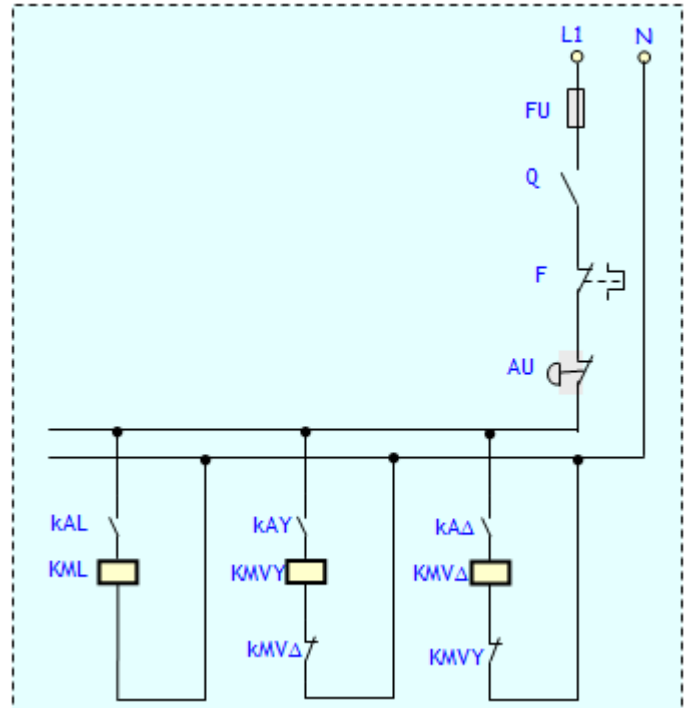


Schéma du circuit de puissance à compléter :

Schéma du circuit de puissance :

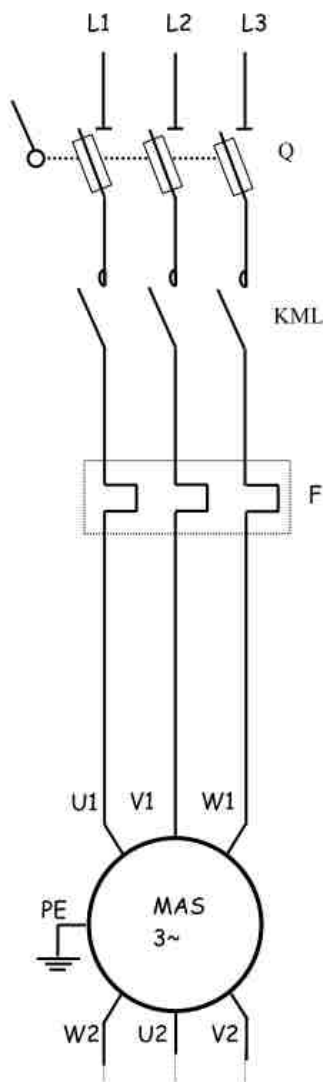
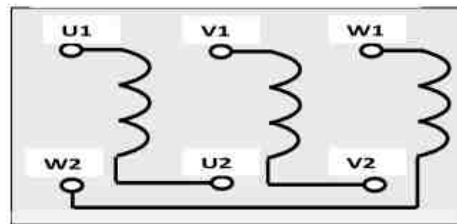
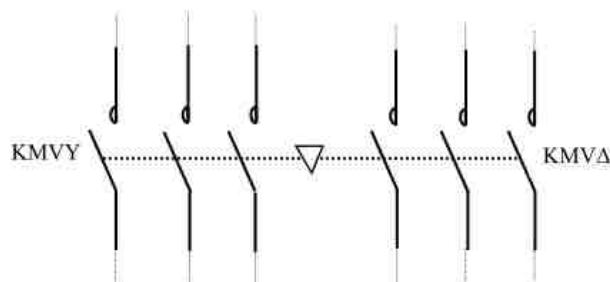


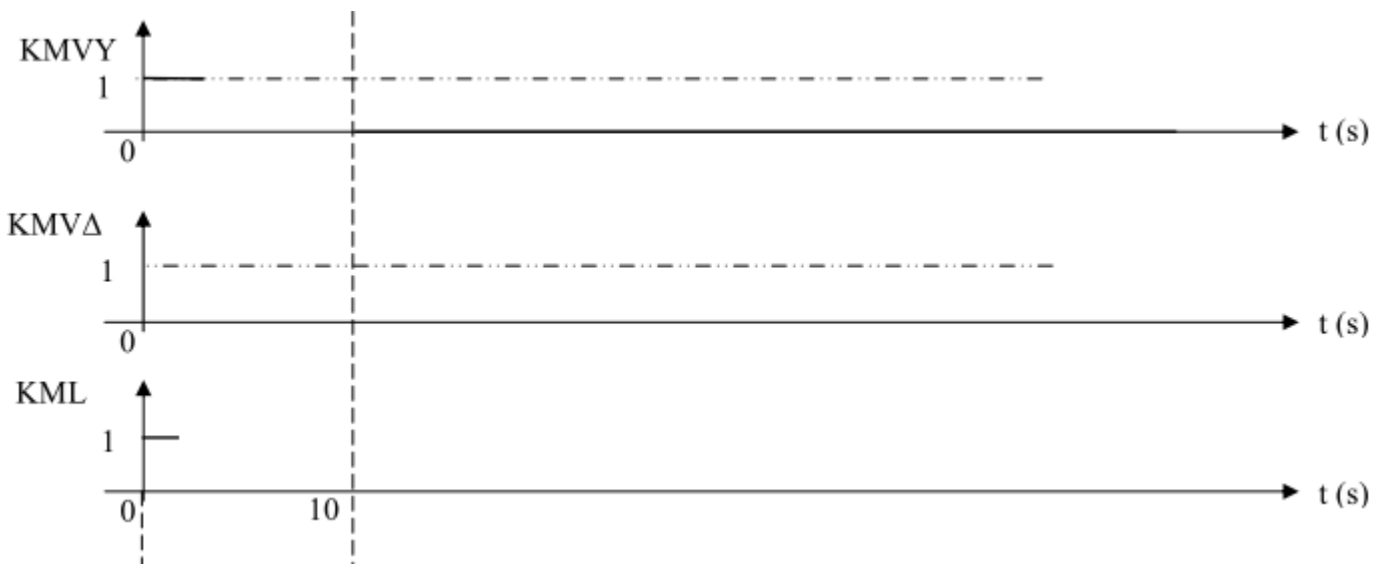
Schéma de la plaque à bornes :



Q : Sectionneur porte fusibles  
 F : Relais thermique  
 KML : contacteur de ligne  
 KMVY : contacteur du couplage étoile  
 KMVA : contacteur du couplage triangle

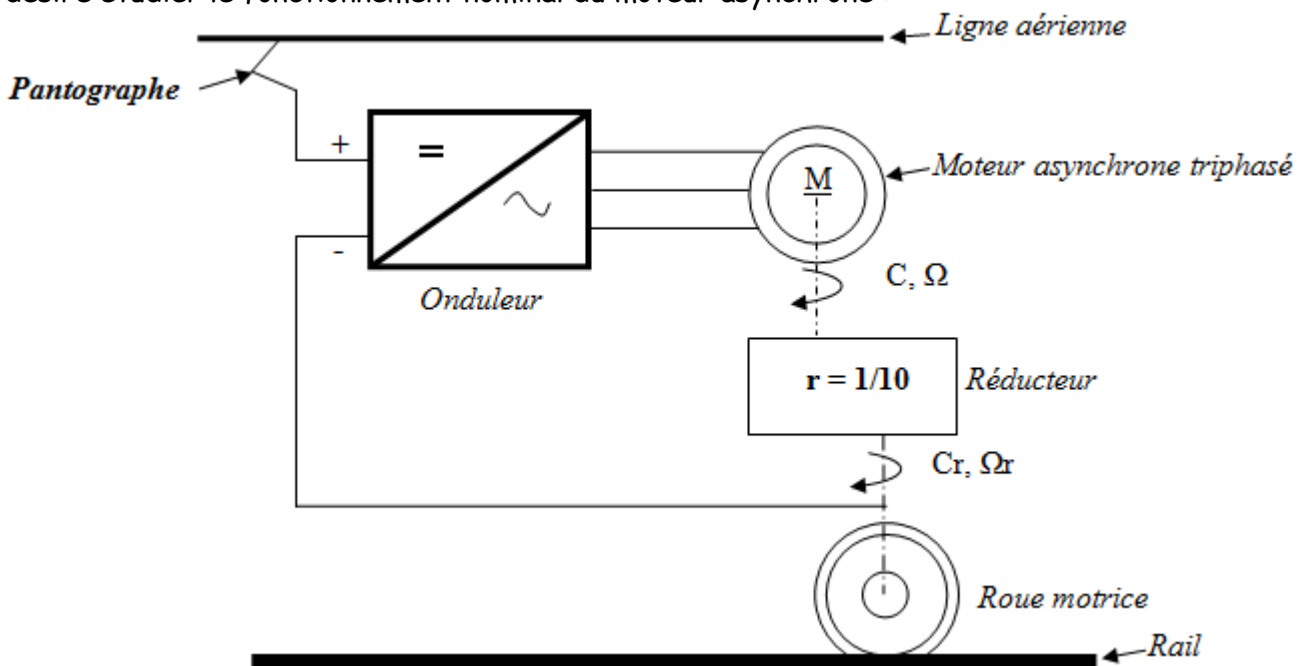


Chronogrammes à compléter :



BAC 2015 S-RATTRAPAGE (Système2 : Alimentation électrique du Tramway): Etude d'un moteur de traction:

On désire étudier le fonctionnement nominal du moteur asynchrone :



Il s'agit d'un moteur asynchrone triphasé à rotor à cage dont les enroulements statoriques sont couplés en étoile.

Caractéristiques nominales du moteur :

- ✓ Tension nominale entre phases :  $U_n = 585 \text{ V}$
- ✓ fréquence statorique nominale :  $f_n = 88 \text{ Hz}$
- ✓ Vitesse nominale de rotation du rotor :  $N_n = 2610 \text{ tr.min}^{-1}$

1. Déterminer le nombre  $p$  de paires de pôles du moteur :

.....

2. Pour le point nominal de fonctionnement  $N_n = 2610 \text{ tr.mn}^{-1}$  : Calculer le glissement  $g_n$  :

.....

3. La vitesse linéaire du tramway est liée à la vitesse angulaire  $\Omega$  du rotor par la relation :

$$V_{lin} = k \cdot \Omega \text{ Avec } V_{lin} \text{ en km.h}^{-1} \text{ et } \Omega \text{ en rad. s}^{-1}.$$

Exprimer  $V_{lin}$  en fonction de  $\Omega$ , du diamètre  $D$  de la roue motrice et du rapport de réduction  $r$  du réducteur. En déduire la valeur de la constante  $k$  sachant que  $D = 51 \text{ cm}$  et  $r = 0.1$  :

.....

.....

.....

## Moteurs pas à pas

### Résumé du cours

Un moteur pas à pas est un **actionneur** qui transforme une **information numérique** sous forme de train d'impulsions en un nombre équivalent de **pas angulaire** de caractère incrémental.

### Différents types de moteurs pas à pas :

Il existe trois types :

- *moteurs à aimant permanent*
- *moteurs à réluctance variable*
- *moteurs hybrides*

### Moteurs à aimant permanent

Le rotor est un aimant permanent solidaire de l'axe du moteur et pouvant tourner entre les pôles du stator supportant les bobines (**phases**) du stator.

Les moteurs à aimant permanent se subdivisent en deux types :

### Le moteur unipolaire ( $K_1 = 1$ )

C'est un moteur à deux phases statoriques avec point milieu. Chaque **demi-bobine est appelée phase**. Ce qui donne **quatre phases**.

### Le moteur bipolaire ( $K_1 = 2$ )

C'est un moteur à **deux phases** statoriques sans point milieu.

### Alimentation des phases du moteur pas à pas

**Mode 1** : On alimente les **phases séparément une à une**. ( $K_2 = 1$ )

**Mode 2** : On alimente les **deux bobines en même temps**. Le flux résultant est suivant la bissectrice.

( $K_2 = 1$ )

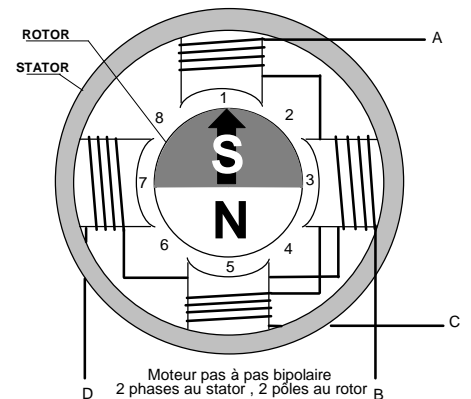
**Mode 1-2** : Dans ce mode, on alimente successivement **une bobine puis deux bobines** et ainsi de suite.

( $K_2 = 2$ )

### Détermination du $N^{bre}$ de pas/tour :

$$N^{bre} \text{ de pas/tour} = m \cdot p \cdot K_1 \cdot K_2$$

- **m** : nombre de phases au stator.
- **p** : nombre de paires de pôles au rotor.



## ACTIVITE 18 : EXERCICES MOTEUR PAS A PAS

**EXERCICE 1** : Un moteur pas à pas à aimant permanent ayant les caractéristiques suivantes : 4 phases au stator, deux pôles au rotor, il est bipolaire et sa commande est en mode 1.

Calculer :

1) Le nombre de pas par tour  $N_p/tr$  :

.....

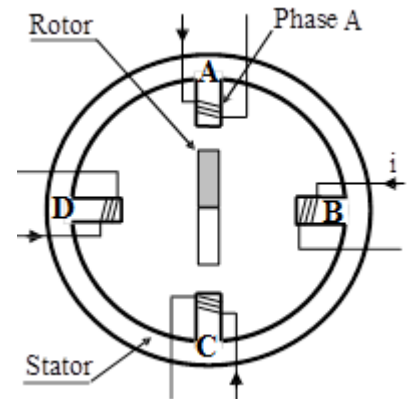
2) Déterminer l'angle d'un pas en degré puis en radian.

.....

**EXERCICE 2 :** Un moteur pas à pas à aimant permanent fait 4 pas dans le sens horaire.

1) Compléter le tableau suivant relatif à un tour du rotor dans le sens horaire pour une commande unipolaire ?

| Phases alimentées | Position du rotor |
|-------------------|-------------------|
| A - B             | 1                 |
|                   | 2                 |
|                   | 3                 |
|                   | 4                 |



2) Indiquer le type de commutation du moteur mode1 ou mode2 ?

.....

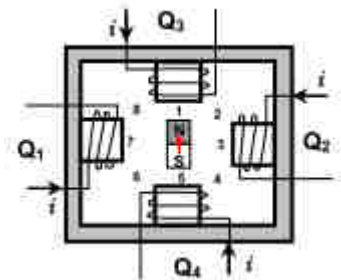
3) Déterminer le nombre de phases  $m$ , le nombre de paire de pôle du rotor et le nombre de pas par tour  $N_p/t$  ?

$m = \dots\dots\dots$        $p = \dots\dots\dots$        $N_p/t = \dots\dots\dots$

**EXERCICE 3 :** Soit le moteur pas à pas suivant.

1) Déterminer le nombre de phases  $m$  et le nombre de paire de pôle du rotor  $p$

$m = \dots\dots\dots$        $p = \dots\dots\dots$



2) Compléter le tableau suivant :

| Phases excitées |    |    |    | Position |
|-----------------|----|----|----|----------|
| Q1              | Q2 | Q3 | Q4 |          |
| 0               | 0  | 1  | 0  | 1        |
|                 |    |    |    | 2        |
|                 |    |    |    | 3        |
|                 |    |    |    | 4        |
|                 |    |    |    | 5        |
|                 |    |    |    | 6        |
|                 |    |    |    | 7        |
|                 |    |    |    | 8        |

3) Quel est le type de la commutation : mode1, mode2 ou mode 1-2

.....

4°) Déterminer le nombre de pas par tour ( $N_p/t$ )

$N_p/t = \dots\dots\dots$

**EXERCICE 4 :** Un moteur pas à pas à aimant permanent ayant les caractéristiques suivantes :

Stator : 8 phases ; Rotor : 24 pôles ; Commutation : mode1 ; Pas angulaire :  $3^\circ,75$ .

1°/ Calculer le nombre de pas par tour.

$N_p/tr = \dots\dots\dots$

2°/ Déterminer le type de commutation avec justification.

.....

3°/ Déterminer le nombre de pas  $N_p$  à effectuer pour que le rotor tourne de  $375^\circ$ .

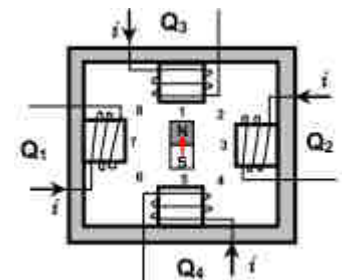
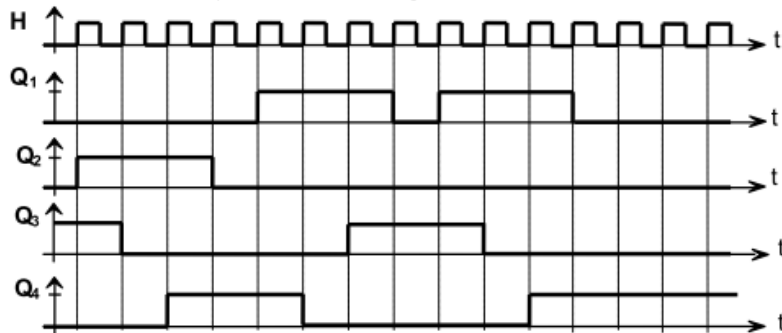
4°/ Sachant que le moteur effectue  $100 \text{ pas/s}$ .

4-1 Déterminer la fréquence  $f$  du signal d'horloge du circuit de commande du moteur pas à pas.

4-2 Calculer le temps  $t$  en (s) mis pour que le rotor décrive un angle de  $3000^\circ$ .

4-3 Calculer la vitesse  $n$  du moteur en  $\text{tr/min}$ .

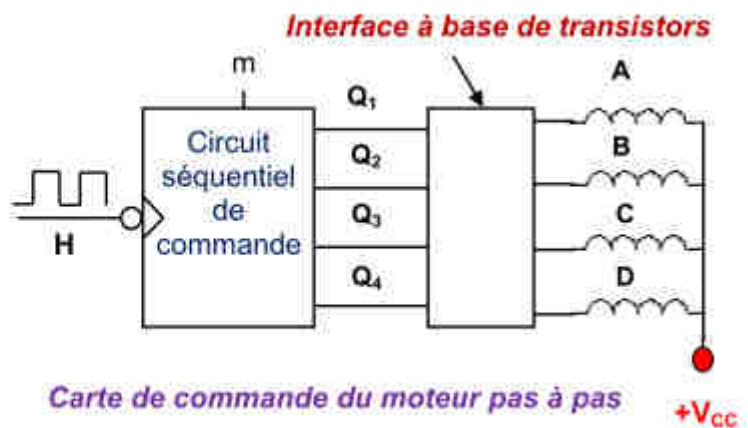
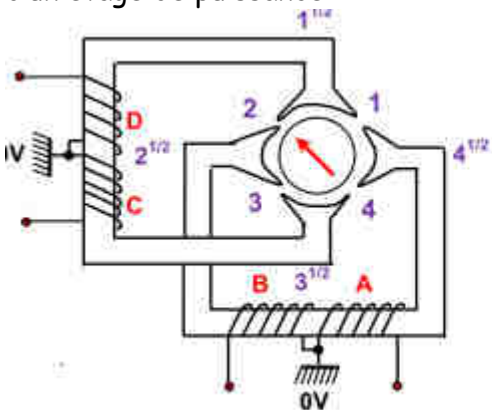
**EXERCICE 5 :** Le fonctionnement d'un moteur pas à pas à aimant permanent, représenté par le schéma ci-contre, est décrit par les chronogrammes ci-dessous :



A partir du schéma et des chronogrammes déterminer :

- 1- Le nombre de phases : .....
- 2- Le mode d'alimentation : .....
- 3- Le type de commutation : .....
- 4- Le pas angulaire : .....
- 5- Les positions prises par le rotor : (1), .....
- 6- En déduire le mouvement réalisé par le moteur : .....

**EXERCICE 6 :** Un moteur pas à pas à aimant permanent est commandé par un circuit séquentiel muni d'un étage de puissance :



À la position initiale les deux phases A et D sont alimentées.

- 1) Déterminer le nombre de phases :
- 2) Compléter le tableau de commutation du moteur pas à pas représenté ci-dessous :

$m = 0$  Sens1 : Alimentation unipolaire, mode 1 et sens horaire.

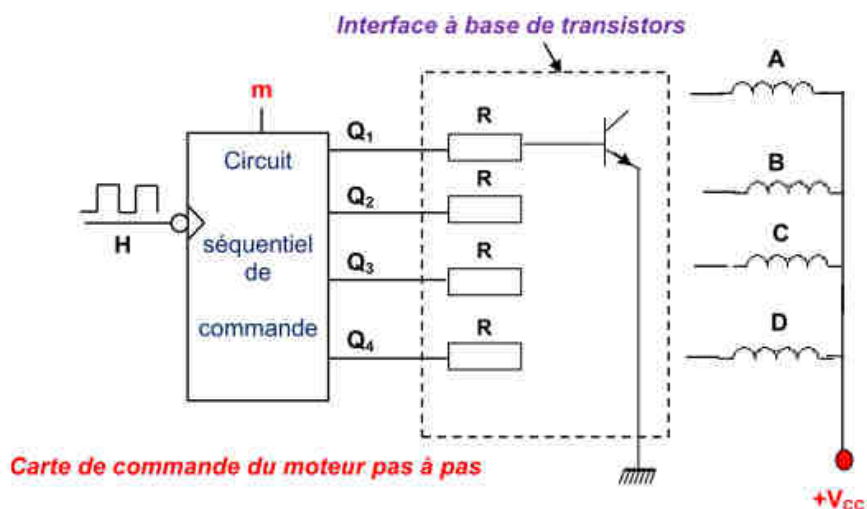
|                            | D | C | B | A | Position du rotor | Phases excitées |
|----------------------------|---|---|---|---|-------------------|-----------------|
| Position initial           | 1 | 0 | 0 | 1 | 2                 | B-D             |
| 1 <sup>ère</sup> impulsion |   |   |   |   |                   |                 |
| 2 <sup>ème</sup> impulsion |   |   |   |   |                   |                 |
| 3 <sup>ème</sup> impulsion |   |   |   |   |                   |                 |
| 4 <sup>ème</sup> impulsion |   |   |   |   |                   |                 |

- 4) Ecrire l'expression donnant le nombre de pas par tour ( $N_p/t$ ) en fonction du nombre de phases, du nombre de paires de pôles et des coefficients  $K_1$  et  $K_2$ .
- 5) Donner en justifiant la valeur de  $K_1$ .
- 6) Donner en justifiant la valeur de  $K_2$ .
- 7) En déduire le nombre de pas par tour ( $N_p/t$ ).
- 8) En déduire le pas angulaire en degré et en radian.
- 9) Sachant que la fréquence d'horloge vaut 10 Hz, calculer le temps nécessaire pour que le moteur fait 10 tours.
- 10) Compléter le tableau de commutation du moteur pas à pas représentés ci-dessous :

Si  $m=1$  Sens2 : Alimentation unipolaire, mode 1-2 et sens antihoraire.

|                            | D | C | B | A | Position du rotor | Phases excitées |
|----------------------------|---|---|---|---|-------------------|-----------------|
| Position initial           | 1 | 0 | 0 | 1 | 2                 | B-D             |
| 1 <sup>ère</sup> impulsion |   |   |   |   |                   |                 |
| 2 <sup>ème</sup> impulsion |   |   |   |   |                   |                 |
| 3 <sup>ème</sup> impulsion |   |   |   |   |                   |                 |
| 4 <sup>ème</sup> impulsion |   |   |   |   |                   |                 |
| 5 <sup>ème</sup> impulsion |   |   |   |   |                   |                 |
| 6 <sup>ème</sup> impulsion |   |   |   |   |                   |                 |
| 7 <sup>ème</sup> impulsion |   |   |   |   |                   |                 |
| 8 <sup>ème</sup> impulsion |   |   |   |   |                   |                 |

- 11) Donner en justifiant la valeur de  $K_1$ .
- 12) Donner en justifiant la valeur de  $K_2$ .
- 13) En déduire le nombre de pas par tour ( $N_p/t$ ).
- 14) En déduire le pas angulaire en Degré
- 15) Sachant que la fréquence d'horloge vaut 2 Hz, calculer le temps nécessaire pour que le moteur fait 20 tours.
- 16) Compléter le schéma de l'interface à base de transistors





Vérins hydrauliques

Résumé du cours

Pression :

Formule classique :  $p = F/S$

avec : p est en [Pa] ; F est en [N] et S est en [m<sup>2</sup>]

Formule pratique :  $p = F/S$

p est en [bar] ; F est en [daN] et S est en [cm<sup>2</sup>]

Débit :

Formule classique :  $V = Q/S$

avec : V est en [m/s] ; Q est en [m<sup>3</sup>/s] et S est en [m<sup>2</sup>]

Formule pratique :  $V = Q / (0.06 \times S)$

V est en [cm/s] ; Q est en [L/min] et S est en [cm<sup>2</sup>]

Travail utile :  $W = F \times d$

avec W est en [J] ; F est en [N] et d est en [m]

Puissance mécanique (utile) :  $P_U = F \cdot V$

avec P<sub>U</sub> est en [W] ; F est en [N] et V est en [m/s]

Puissance hydraulique (dépensée) :  $P_A = Q \cdot p$

avec P<sub>A</sub> est en [W] ; Q est en [m<sup>3</sup>/s] et p est en [Pa]

Rendement :

$$\eta = \frac{\text{Energie utile}}{\text{Energie dépensée}} = \frac{W \text{ utile}}{W \text{ dépensée}} = \frac{\text{Puissance utile}}{\text{Puissance dépensée}}$$

**ACTIVITE 18 : EXERCICES MOTEUR PAS A PAS**

**EXERCICE 1 :** Le vérin suivant à un piston de **10 cm** de diamètre et une tige de **5 cm** de diamètre. Il reçoit un débit de **24 L/min** et une pression possible de **100 bars**.

1. Calculer la vitesse de sortie et la vitesse de rentrée du vérin en cm/s :

.....

.....

2. Calculer en N la force disponible le vérin sortit et le vérin rentré :

.....

.....

3. Même question pour un débit de 12 L/min.

.....

.....

**EXERCICE 2 :** Calculer la pression de service pour alimenter un vérin tirant une charge de **10.000 daN** à la vitesse de **5 cm/s** ayant un rendement de **88%** sachant que le débit de la pompe est **Q = 400 cm<sup>3</sup>/s**. Déterminer le diamètre D du piston si celui de la tige est d = 30mm.

.....

.....

**EXERCICE 3 :** Un vérin hydraulique, dont le but est de soulever une charge, a un rendement de **90 %**, le débit du circuit est de **12 L/min** pour une pression de service de **150 bars**. Calculer :

1. La puissance hydraulique P<sub>hy</sub> du vérin en utilisant les 2 formules vues dans la leçon :

.....

.....

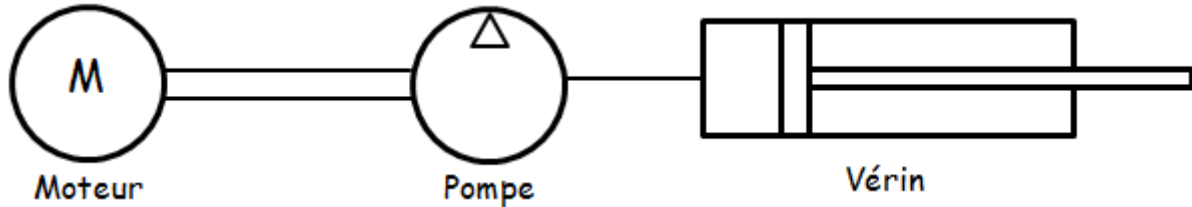
2. Déterminer la puissance mécanique utilisée en bout de tige du vérin :

.....

.....

3. Sachant que la vitesse de sortie du vérin est de  $30 \text{ m/min}$ , que sa course est de  $300 \text{ mm}$  et que  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ , déterminer la valeur de la masse à soulever ainsi que la quantité d'énergie utilisée.

**EXERCICE 4:** L'automatisme électromécanique d'un portail battant est composé d'un ensemble moteur-pompe-vérin schématisé ci-dessous.



Les pertes entre les systèmes, moteur-pompe et pompe-vérin, sont négligeables.

Le vérin actionne l'ouverture du portail. Pour une sortie de tige maximale (appelée course utile, le portail est totalement ouvert).

- 1- La plaque signalétique du moteur porte les indications suivantes :

Alimentation monophasée 230V, 50Hz  
 Puissance utile 220W  
 $\eta = 0,9$   
 $\cos \varphi = 0,86$

A l'aide des indications ci-dessus, préciser la puissance absorbée par la pompe :

- 2- La documentation technique de l'automatisme fournit les informations suivantes :

Course utile de la tige : 280 mm  
 Vitesse de la tige : 14 m/s  
 Diamètre de la tige : 70 mm  
 Diamètre du piston : 100 mm  
 Pression hydraulique : 17 bars.

- a- La plaque signalétique ci-dessus caractérise l'un des éléments de l'ensemble moteur-pompe-vérin. Indiquer cet élément :

- b- Calculer, en s, le temps mis par le portail pour s'ouvrir totalement :

- c- Sachant que la section du piston est de  $0,00785 \text{ m}^2$ , calculer en  $\text{m}^3/\text{s}$ , le débit volumique du fluide pendant la sortie de la tige:

- d- Montrer que la puissance hydraulique du vérin est de 187W :

3 - Calculer le rendement de la pompe pour que le système moteur-pompe soit compatible avec le vérin utilisé :

TD de révision

TD 1 : GROUPE ELECTROGENE

Un groupe électrogène est constitué d'un alternateur triphasé entraîné par un moteur diesel.

L'alternateur alimente un petit atelier comportant :

- 12 lampes à incandescence de 100 W chacune ;
- 3 radiateurs de 1 kW chacun ;
- un moteur électrique triphasé dont les caractéristiques sont :
  - ✓ Puissance utile :  $P_{mu}=2 \text{ kW}$
  - ✓ Rendement :  $\eta =0,75$
  - ✓ Facteur de puissance :  $\cos \varphi_m = 0,70$

La valeur efficace de la tension aux bornes de l'induit de l'alternateur est maintenue constante par un régulateur de tension qui agit sur le courant inducteur  $i_e$  (roue polaire de l'alternateur). Cette régulation est assurée par un système d'asservissement qui intervient sur le courant d'excitation d'intensité  $i_{eg}$  de la génératrice. Cette dernière alimente la roue polaire de l'alternateur. Le schéma de l'ensemble est représenté comme ci-dessous :

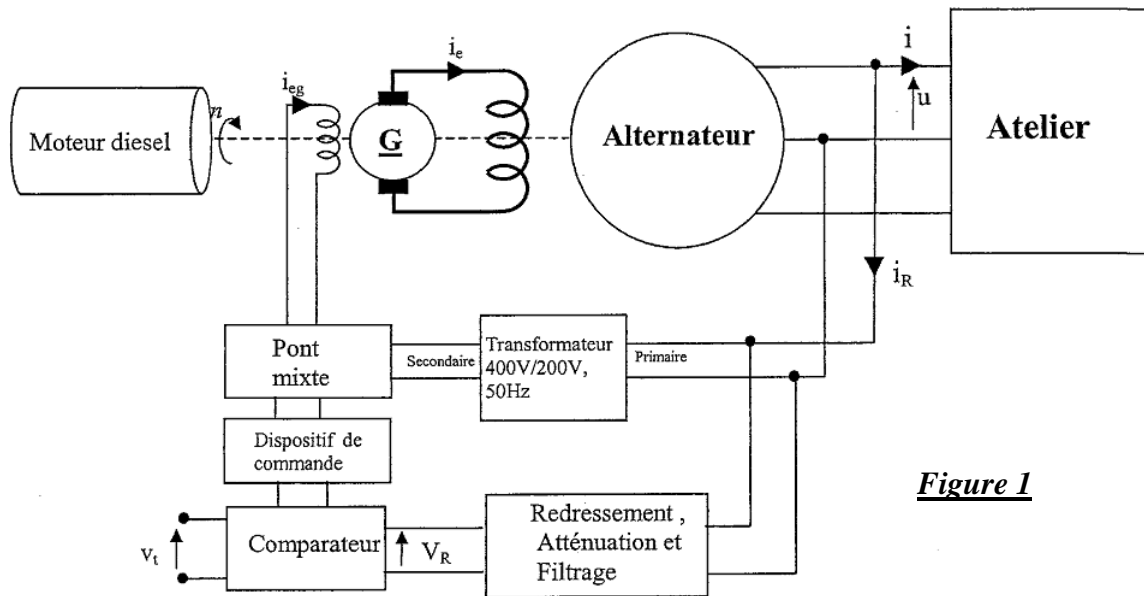


Figure 1

I- Etude du système triphasé alimentant l'atelier

L'alternateur délivre un système de tensions triphasées (230V/400V, 50Hz) supposé équilibré. Calculer les puissances active et réactive absorbées par chaque élément de l'atelier.

|            | Puissance active (W) | Puissance réactive (VAR) |
|------------|----------------------|--------------------------|
| Lampes     |                      |                          |
| Radiateurs |                      |                          |
| Moteur     |                      |                          |
| Atelier    |                      |                          |

1) En déduire les puissances active totales  $P$  et réactive totales  $Q$  absorbées par l'atelier.

.....

.....

2) Calculer la puissance apparente totale  $S$  absorbée.

.....

3) Calculer l'intensité efficace  $I$  du courant en ligne absorbé par l'installation.

.....

4) Calculer le facteur de puissance  $\cos \varphi$  de cette installation.

.....

II- Etude de l'alternateur

Dans cette partie, on néglige le courant d'intensité  $i_R$  fourni par le dispositif de régulation. De ce fait l'alternateur, couplé en étoile, délivre un système triphasé équilibré de courants pour alimenter l'atelier.

Les caractéristiques sont :

- ✓  $n = 1500 \text{ tr/min}$  ;
- ✓  $I = 9,3 \text{ A}$  ;
- ✓  $U = 400 \text{ V}$  ;
- ✓  $\cos \varphi = 0,91$  (charge inductive).

La résistance à chaud d'un enroulement du stator est :  $R_s = 0,7 \Omega$ .  
L'ensemble des pertes atteint 1 kW (y compris les pertes par effet Joule).

Un essai à vide de l'alternateur, à la fréquence de rotation nominale, a montré que sa caractéristique  $U_v = f(I_e)$  est une droite passant par l'origine et par le point d'abscisse  $I_e = 2 \text{ A}$  et d'ordonnée  $U_v = 100 \text{ V}$  ( $U_v$  étant la valeur efficace de la tension entre phases).

Lors d'un essai en court-circuit, on a mesuré  $I_{cc} = 15 \text{ A}$  pour  $I_e = 2 \text{ A}$ .

1) Calculer le nombre de paires de pôles de cette machine.

.....

2) Donner le schéma équivalent d'une phase statorique quand l'alternateur est en court-circuit. Calculer l'impédance synchrone  $Z$  de l'alternateur. En déduire sa réactance synchrone  $X_s$  (on supposera  $X_s = 3.80 \Omega$  constante dans la suite du problème).

3) Pour le fonctionnement nominal :

a) Déterminer la relation vectorielle entre les tensions.

.....

b) Tracer le diagramme vectoriel d'une phase et déterminer graphiquement la valeur de la f.é.m.  $E_s$  (prendre  $i$  comme référence des phases).

5) En déduire l'intensité  $I_e$  du courant d'excitation correspondant.

6) Calculer le rendement  $\eta$  de l'alternateur.

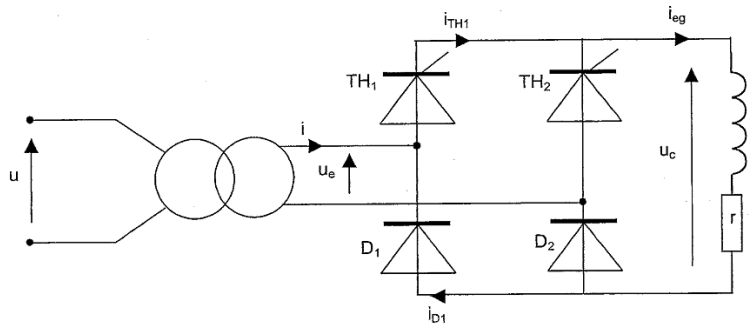
7) Calculer le moment du couple développé par le moteur diesel.

III- Etude du pont mixte

Le pont mixte permet d'alimenter l'inducteur de la génératrice par un courant continu d'intensité réglable. La valeur efficace de la tension d'entrée de ce pont est  $U_e = 200V$ . Le transformateur, supposé parfait, est alimenté au primaire par une tension de valeur efficace  $U = 400V$ .

Les thyristors et les diodes sont supposés parfaits.

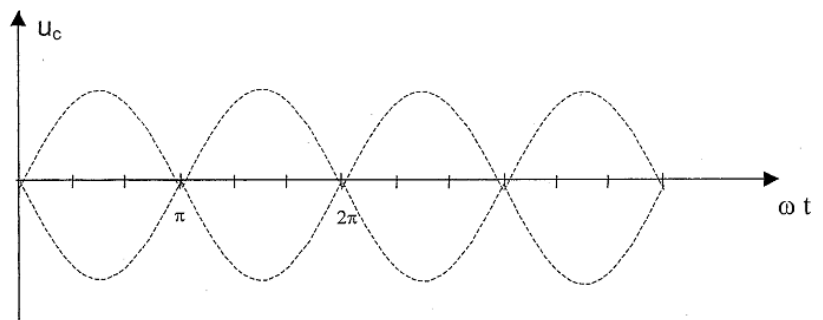
La commande des gâchettes des thyristors n'est pas représentée.



1) Calculer le rapport de transformation  $m$  du transformateur.

2) Pour un angle de retard à l'amorçage  $\alpha = \pi/3$ , indiquer les intervalles de conduction des thyristors et des diodes.

|             |               |                |                 |
|-------------|---------------|----------------|-----------------|
| $0 - \pi/3$ | $\pi/3 - \pi$ | $\pi - 4\pi/3$ | $4\pi/3 - 2\pi$ |
| .....       | .....         | .....          | .....           |

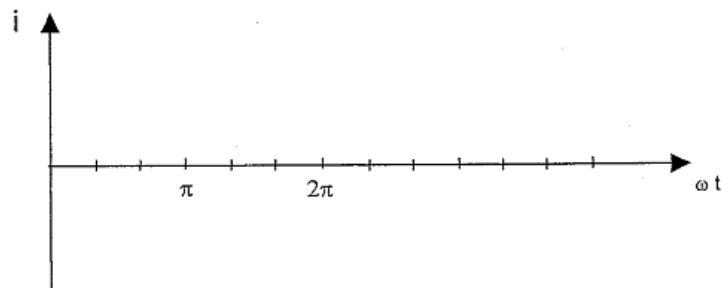


Représenter graphiquement la tension  $u_c$ .

3) Calculer la valeur moyenne  $u_{c_{moy}}$  de la tension  $u_c$ , sachant que :

$$u_{c_{moy}} = (2U_{c_{max}}/\pi).(1+ \cos \alpha)/2$$

4) On suppose que l'intensité du courant dans la charge est constante,  $I_{eg} = i_{eg_{moy}} = 1,5 A$ . Pour  $\alpha = \pi/3$ , représenter graphiquement le courant  $i$  dans le secondaire du transformateur

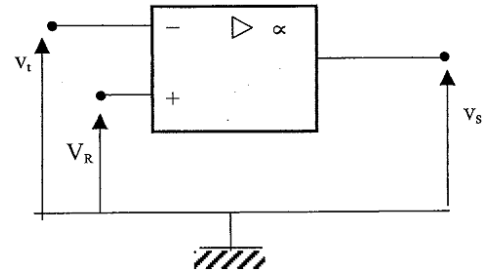


5) Comment peut-on faire varier  $i_{eg_{moy}}$ ? Justifier votre réponse.

IV- Etude du comparateur

Pour régler l'angle du retard à l'amorçage, on utilise un montage comparateur à amplificateur opérationnel (figure ci-contre). La tension continue  $V_R$  à la sortie du redresseur est comparée à une tension triangulaire  $v_t$  de fréquence  $f = 50$  Hz et évoluant de 0 à 10V (document ci-dessous).

L'amplificateur est supposé parfait. Il est alimenté sous :  $V_{CC}^+ = 10$  V et  $V_{CC}^- = 0$  V.



1) Le fonctionnement de ce montage est non linéaire. Expliquer pourquoi.

2) Quelles sont les valeurs de  $v_s$  pour  $v_t > V_R$  et pour  $v_t < V_R$  ?

3) Tracer sur le document ci-dessous les chronogrammes de  $v_s$  pour  $V_R = 2$  V et pour  $V_R = 8$  V.

**TD 2 : SOCIETE DE BOISSON**

Une société de boisson décide de moderniser son unité d'embouteillage en automatisant cette dernière. Le tapis roulant permettant de transporter les bouteilles vers les différents postes (remplissage, mise du bouchon, étiquetage) doit être entraîné via un réducteur par un moteur électrique dont on asservira la vitesse afin d'optimiser la production.

1- Etude d'un réseau triphasé

Le réseau dont dispose l'usine d'embouteillage est un réseau triphasé 400 V - 50 Hz.

1. Que valent les tensions efficaces composée  $U$  et simple  $V$  pour ce réseau ?

2. Citer un type d'appareil permettant la mesure de ces tensions.

3. Quelle est la pulsation  $\omega$  de ce réseau ?

4. Une tension simple de ce réseau, appelée  $v_1$ , peut s'écrire sous la forme  $v_1 = \sqrt{2} \cos \omega t$ . Ecrire les expressions des deux autres tensions (instantanées) simples  $v_2$  et  $v_3$  de ce réseau sachant que ces tensions  $v_1$ ,  $v_2$  et  $v_3$  forment un système triphasé équilibré direct.

2- Etudes d'un moteur asynchrone triphasé

Pour entraîner le tapis roulant transportant les bouteilles, on utilise un moteur asynchrone triphasé à cage associé à un réducteur. La plaque signalétique de ce moteur porte les indications suivantes : 230/400 V; 50 Hz; 1,9 /1,1 A; 390 W; 1400 tr/min ;  $\cos \varphi_n = 0,76$

1. Le réseau disponible est tel que  $U = 400$  V et  $V = 230$  V. Quel doit être le couplage des enroulements du moteur ?

2. Déterminer pour ce moteur :

a. le nombre de pôles ;

b. le glissement nominal  $g_N$  ;



c. la puissance active nominale  $P_N$  reçue ;

d. le rendement nominal  $\eta_N$  ;

e. le moment  $C_{UN}$  du couple utile nominal.

3. Donner l'allure de la caractéristique mécanique de ce moteur asynchrone fonctionnant sous tension et fréquence nominales sachant que le rapport  $C_{UD}/C_{UN} = 1,85$  et le rapport  $C_{Umax}/C_{UN} = 2,4$  ;  $C_{UD}$  désigne le moment du couple de démarrage et  $C_{Umax}$  le moment du couple maximal. On indiquera sur cette caractéristique, le point **N** correspondant au fonctionnement nominal et le point **V** correspondant au fonctionnement à vide.

4. Afin de limiter l'appel de courant lors du démarrage d'un moteur asynchrone, on peut procéder à un démarrage étoile - triangle (à la mise sous tension le système de démarrage impose un couplage des enroulements en étoile puis, au bout d'un certain temps, il les couple en triangle). Cette solution est-elle envisageable ici ? Justifier votre réponse.

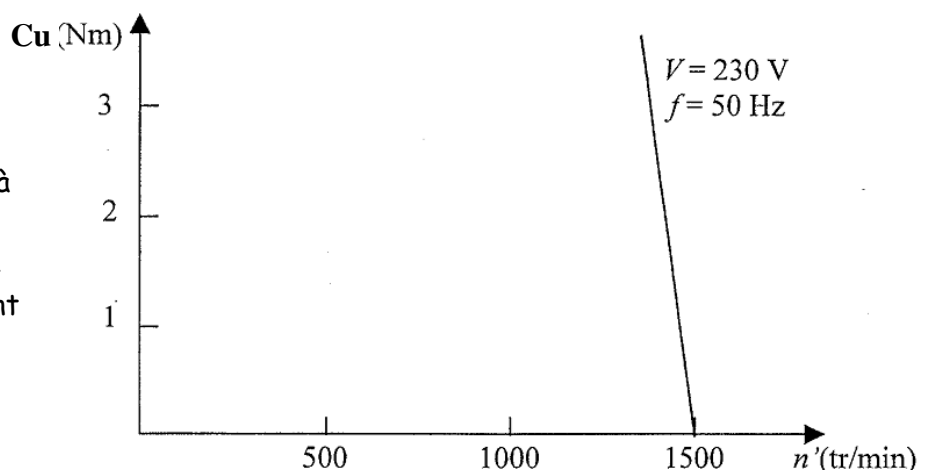
### 3- Etude du variateur de vitesse pour moteur asynchrone

1. Montrer que la fréquence de rotation  $n'$  (tr/min) d'un moteur asynchrone est égale à :  $n' = 60 \cdot (1-g) \cdot f / p$  où  $g$  désigne le glissement,  $f$  la fréquence du réseau électrique et  $p$  le nombre de paires de pôles de ce moteur.

2. Sachant que le glissement  $g$  ne peut évoluer que faiblement (de 0 à 10%), en déduire la grandeur que l'on doit faire varier pour obtenir une large variation de la fréquence de rotation  $n'$  d'un moteur asynchrone.

3. Le variateur de vitesse utilisé fait non seulement varier la fréquence électrique du réseau alimentant le moteur mais aussi la tension efficace simple  $V$  de manière à ce que le rapport  $V/f$  reste constant.

a. Les zones utiles des caractéristiques mécaniques se déplacent, dans ce fonctionnement, parallèlement à elles-mêmes. Compléter ci-dessous en y faisant apparaître la caractéristique correspondant à  $f = 20$  Hz.



b. Compléter le tableau donné ci-dessous :

|             |      |      |       |      |
|-------------|------|------|-------|------|
| n (tr/min)  | 1500 | .... | ..... | 200  |
| f (Hz)      | 50   | 20   | ..... | .... |
| V(en volts) | 230  | .... | 46    | .... |

c. La fréquence **50 Hz** correspond au traitement de **2000 bouteilles** à l'heure. En supposant que le rapport entre le nombre de bouteilles sur le tapis et la fréquence de la tension d'alimentation reste constant, quelle doit être la fréquence en sortie du variateur pour traiter **1500 bouteilles** par heure ?

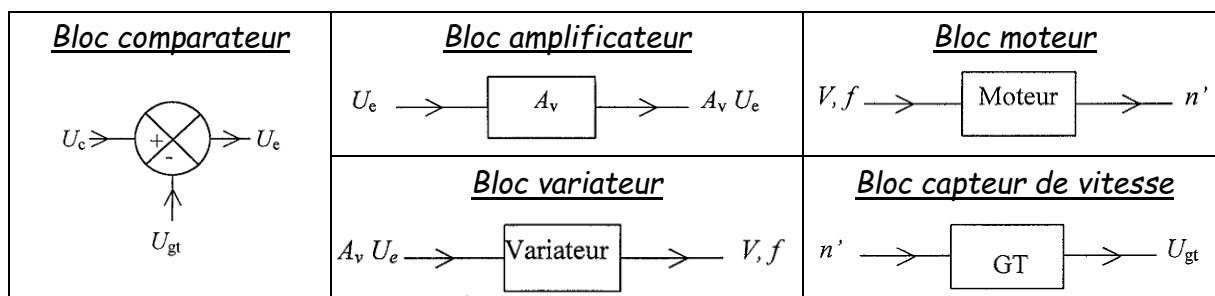
.....  
n' (tr/min)

**4 - Etude de l'asservissement de vitesse**

On veut asservir la vitesse du moteur asynchrone. A cet effet on doit « capter » la vitesse de rotation du moteur et la transformer en une tension électrique continue. Pour ce faire, on utilise une génératrice tachymétrique qui est une petite machine à courant continu à aimants permanents fonctionnant à vide.

1. Rappeler l'expression de la force électromotrice d'une machine à courant continu et montrer que cette formule justifie le fait de prendre cette machine comme capteur de vitesse de rotation.

2. La figure ci-dessous représente des blocs fonctionnels. Faire un schéma fonctionnel de l'asservissement de vitesse en utilisant ces blocs.

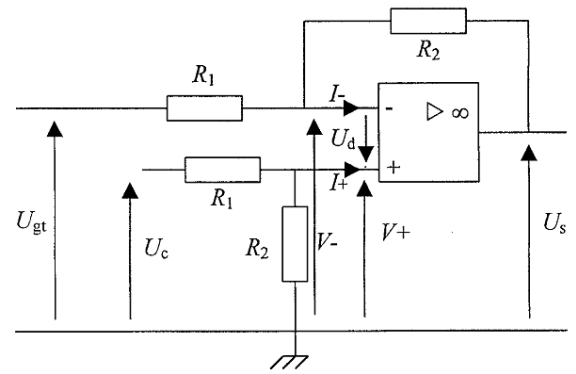


3. Sur le schéma fonctionnel obtenu au 2, indiquer où se trouve la chaîne directe (ou d'action) et la chaîne de retour (ou de réaction).

4. Le bloc comparateur a deux tensions d'entrées :  $U_c$  (tension de consigne) et  $U_{gt}$  (tension délivrée par la génératrice tachymétrique) et une tension de sortie  $U_e$  (tension d'erreur). Quelle relation existe-t-il entre  $U_c$ ,  $U_{gt}$  et  $U_e$  ?

**5- Etude d'un montage à amplificateur opérationnel**

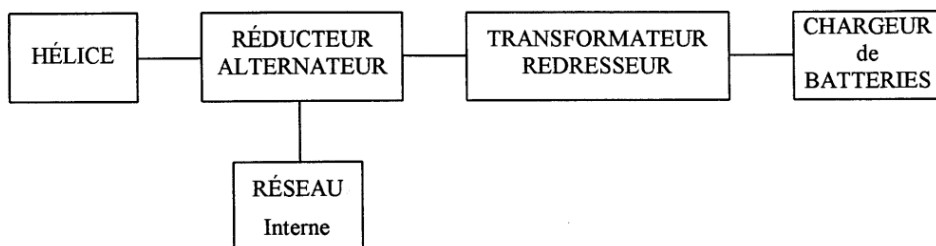
On considère le montage dont le schéma est donné ci-dessous. Ce montage a deux tensions d'entrées  $U_c$  et  $U_{gt}$ . Pour la résolution du problème, on considérera l'amplificateur opérationnel (AO) comme parfait.



1. Rappeler ce que valent les intensités d'entrée  $I^+$  et  $I^-$  d'un A.O.P idéal.  
.....
  2. Rappeler ce que vaut la tension  $U_d = V^+ - V^-$  d'un AOP idéal en régime linéaire.  
.....
- L'AOP du montage étudié peut fonctionner en régime linéaire. Justifier cette affirmation.  
.....
3. Exprimer  $V^+$  en fonction de  $U_c$ ,  $R_1$  et  $R_2$ .  
.....
  4. Démontrer la relation suivante  $V^- = (R_2 U_{gt} + R_1 U_s) / (R_1 + R_2)$ .  
.....  
.....  
.....
  5. En admettant un fonctionnement linéaire de l'AOP, déterminer la relation donnant  $U_s$  en fonction de  $U_c$ ,  $U_{gt}$ ,  $R_1$  et  $R_2$ .  
.....
  6. Que devient la relation précédente avec  $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$  et  $R_2 = 22 \text{ k}\Omega$  ?  
.....
  7. Quelle fonction réalise ce montage ?  
.....
  8. A quel(s) bloc(s) fonctionnel(s) du dispositif de l'exercice 4 correspond le montage à AOP étudié ?  
.....

**TD3 : SYSTEME DE PRODUCTION D'ENERGIE ELECTRIQUE**

On se propose d'étudier le système de production d'énergie électrique éolienne suivant :



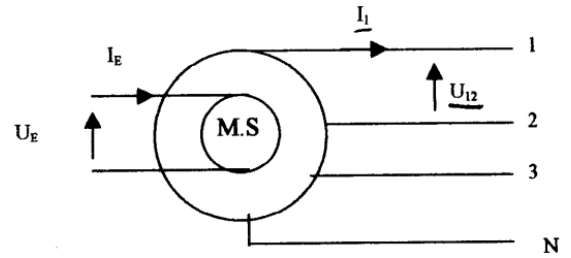
**Partie A: Etude de l'alternateur**

1. La plaque signalétique de la machine synchrone triphasée utilisée comme alternateur dans le dispositif étudié, comporte les indications suivantes :

**16 kVA, 230 V/400 V, 50 Hz,**

a. Cette machine devant pouvoir être couplée à un réseau triphasé (400 V- 50Hz),

préciser en justifiant votre réponse, le seul couplage possible pour les enroulements du stator.



b. L'alternateur est relié aux pâles de l'hélice par l'intermédiaire d'un réducteur de rapport de transformation  $k = n_s/n_H = 2,5$  (où  $n_s$  est la vitesse de rotation de l'alternateur et  $n_H$  la vitesse de rotation de l'hélice). Sachant que l'hélice tourne à une vitesse constante de **400 tr/min**, calculer la vitesse nominale  $n_s$ , de l'alternateur, ainsi que son nombre de pôles.

c. Calculer l'intensité efficace nominale  $I_N$  du courant dans un enroulement du stator.

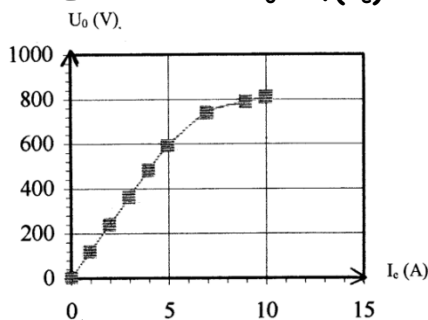
2. La machine est utilisée en alternateur autonome. Le stator est couplé en étoile. La résistance mesurée à chaud entre deux bornes du stator est :  $R = 0,60 \Omega$ . Le rotor est entraîné à la vitesse de rotation nominale de l'alternateur

**$n = 1000 \text{ tr/min}$ .**

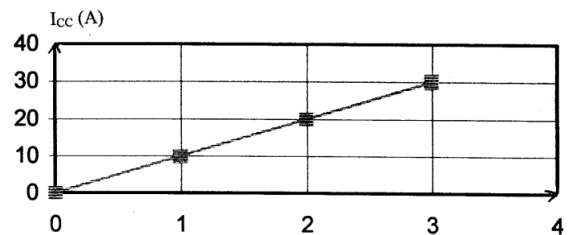
a. Calculer la résistance  $R_s$  d'un enroulement du stator, en justifiant votre réponse.

Les résultats des essais à vide et en court-circuit, ont été regroupés sous formes de courbes :

**Essai à vide  $U_0 = f(I_e)$**



**Essai en court-circuit  $I_{cc} = f(I_e)$**



b. En analysant les courbes, préciser le coefficient de proportionnalité entre  $U_0$  et  $I_e$  pour la partie linéaire de la caractéristique à vide. Donner ensuite la relation entre  $I_{cc}$  et  $I_e$ . Calculer l'impédance synchrone  $Z_s$  du modèle équivalent d'une phase du stator, puis la réactance synchrone  $X_s$  correspondante.

c. Donner le modèle équivalent d'une phase du stator.

3. L'alternateur alimente maintenant un réseau (400V/690V ; 50 Hz) interne à une petite entreprise. L'installation électrique de cette usine est équivalente à une charge triphasée équilibrée pour l'alternateur. On donne :

- la puissance active consommée par cette entreprise  $P = 12 \text{ kW}$
- le facteur de puissance  $\cos \varphi = 0,75$  (inductif)

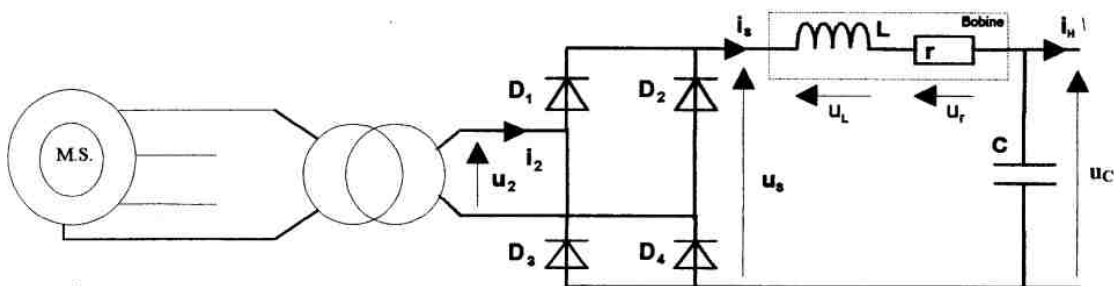
a. Donner la puissance réactive  $Q$  consommée par cette usine.

b. En déduire la puissance apparente  $S$  de cette usine.

c. Donner l'intensité du courant  $I$  en ligne.

**Partie B : Etude de l'ensemble transformateur redresseur**

Dans cette partie, on ne considérera qu'un seul enroulement du stator de l'alternateur. Celui-ci alimentera le primaire d'un transformateur monophasé que l'on se propose d'étudier ici, ainsi qu'un dispositif permettant de redresser et de filtrer la tension transformée. Le dispositif est le suivant



La plaque signalétique du transformateur donne les indications suivantes : 230VA, 230V/25,3V, 50 Hz.

**I. Étude du transformateur**

Les différents essais réalisés sur le transformateur ont donnés les résultats suivants :

| Essai en continu                          | Essai à vide   | Essai en court-circuit  |
|---|--|---|
| Au primaire :<br>$U = 6,0V$ et $I = 1,0A$ | $U_{10} = 230 \text{ V}$<br>$I_{10} = 0,11 \text{ A}$<br>$U_{20} = 25,3 \text{ V}$<br>$P_{10} = 6,9 \text{ W}$ | $I_{2CC} = I_{2N}$<br>$U_{1CC} = 20 \text{ V}, 50 \text{ Hz}$<br>$P_{1CC} = 11 \text{ W}$ |

1. Calculer les intensités  $I_{1N}$  et  $I_{2N}$  des courants nominaux primaires et secondaires.

2. On rappelle l'expression  $U_{20} = 4,44 \cdot N_2 \cdot f \cdot B_{\max} \cdot S$

Sachant que la section du circuit magnétique est  $S = 10 \text{ cm}^2$ , et que le nombre de spires au secondaire est  $N_2 = 150$  spires, donner la valeur du champ magnétique maximal dans le fer.

3. À l'aide de l'essai en continu calculer la résistance  $R_1$ .

4. À l'aide des résultats de l'essai à vide calculer

a. les pertes par effet joule à vide  $P_{j0}$

.....

b. les pertes dans le fer  $P_{fer}$ ;

.....

c. le facteur de puissance à vide  $\cos \varphi_{10}$

.....

4 À l'aide de l'essai en court-circuit avec  $I_{2cc} = I_{2N} = 9,1 \text{ A}$ , calculer :

a. la résistance  $R_s$  des enroulements ramenée au secondaire,

.....

b. la réactance  $X_s$  des enroulements ramenée au secondaire.

.....

c. Donner un modèle équivalent du transformateur vu du secondaire.

## II. Etude du Redresseur et du Filtre

La résistance  $r$  de la bobine vaut  $0,50 \Omega$  et son inductance  $L$  a une valeur suffisante pour que l'intensité  $i_s$  soit quasiment constante on notera donc  $i_s = I_s$ . Le condensateur a une capacité de valeur suffisante pour que la tension  $u_c$  soit quasiment constante on notera donc  $u_c = U_c$   
 Pour le fonctionnement envisagé on a  $U_c = 18,5 \text{ V}$  et  $I_s = 8,2 \text{ A}$ .

1. Sur la figure1 ci-dessous, représenter la tension  $u_s$  et indiquer les diodes conductrices sur l'axe  $0, t$ .

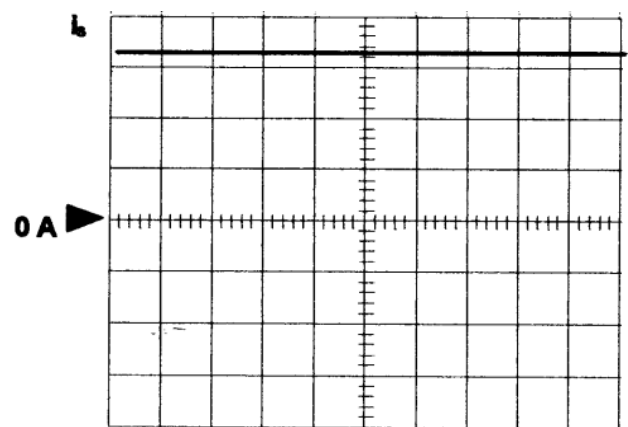
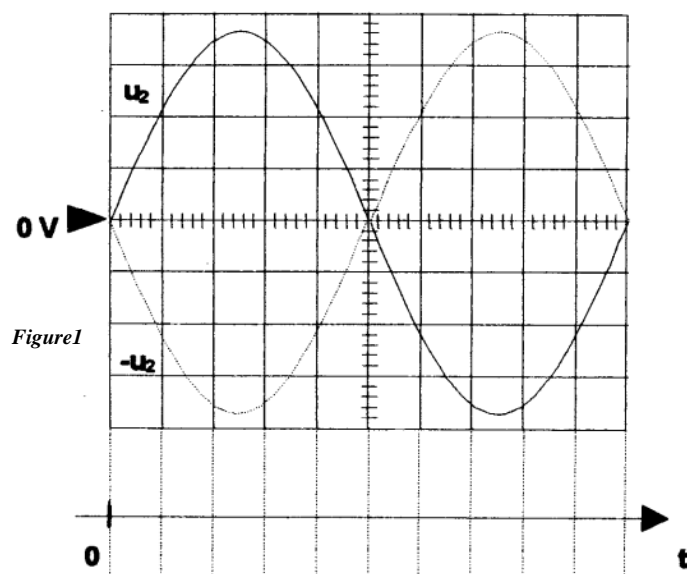


Figure2



2. Sachant que la base de temps est de 2 ms/div. sur l'oscillogramme, calculer la fréquence de la tension de sortie  $u_s$ .

3. On suppose que les diodes du pont redresseur sont idéales : l'expression de la tension moyenne  $u_s$  en fonction de  $U_2$  est alors :  $\bar{u}_s = 2U_2\sqrt{2}/\pi$ .

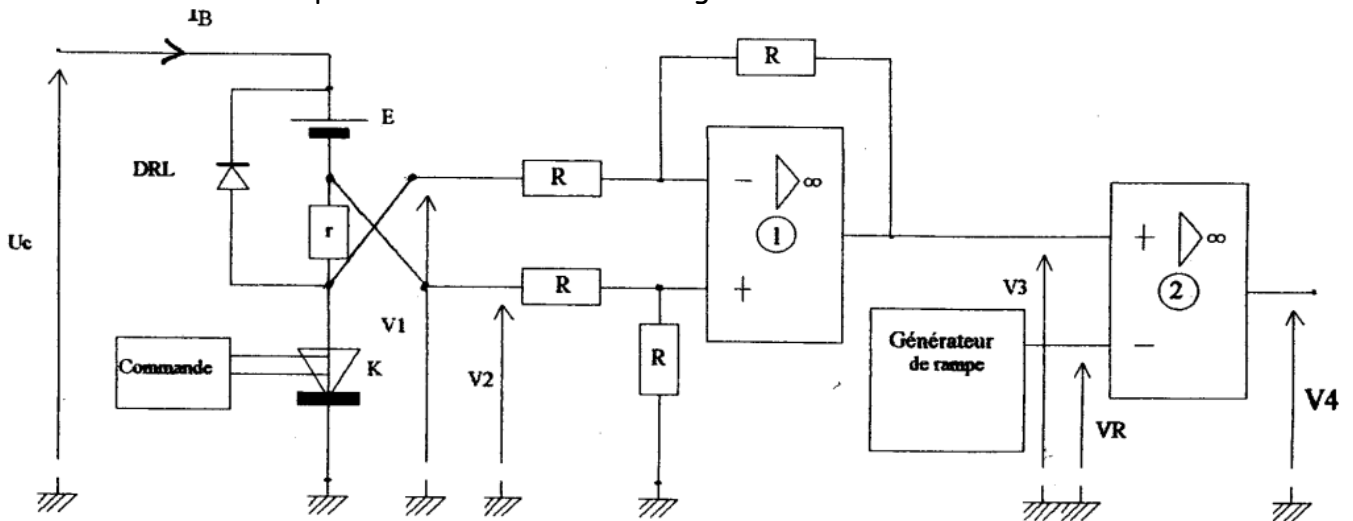
a. Donner la relation liant  $\bar{u}_s$  à  $U_c$ ,  $I_s$  et  $r$ .

b. Calculer  $\bar{u}_s$  et en déduire  $U_2$ .

4. Sur la figure 2 ci-dessus, représenter l'intensité  $i_2$  Déterminer sa valeur efficace  $I_2$ .

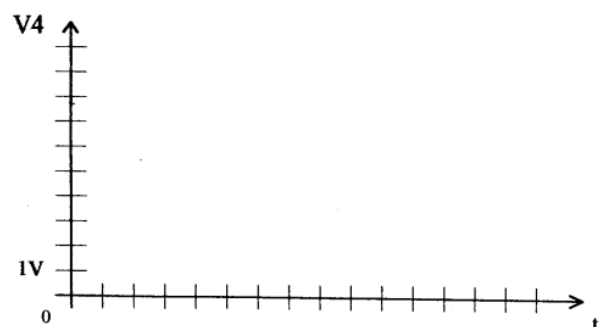
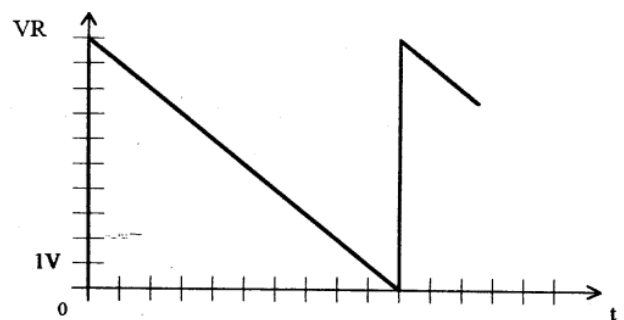
### 3. Étude du chargeur de batteries

La charge des batteries se fait par l'intermédiaire d'un hacheur La commande varie suivant la valeur de l'intensité du courant dans les batteries. Plus la batterie est faible et plus le courant qui la traverse est élevé. Cette partie est relative au montage ci-dessous.



Les amplificateurs utilisés ici sont considérés comme parfaits et sont alimentés sous la tension unique 0 - 10 V. L'amplificateur opérationnel n°1 fournit la tension  $V_3 = V_2 - V_1$

1. Indiquer le régime de fonctionnement de l'amplificateur opérationnel n°2, en déduire la valeur de  $V_4$ , tension de commande du hacheur, en fonction de la tension différentielle d'entrée  $V_d = V_3 - V_R$ .



2. Pour  $V_3 = 8,0 V$ , tracer la forme de la tension de commande  $V_4$ , sur la figure ci-contre :

3. Quand l'interrupteur commandé  $K$  est fermé, quelle est la valeur de  $V_1$  ? En déduire la valeur de  $V_2$ . Sachant que  $r = 1,0 \Omega$  quel est alors la valeur de l'intensité  $I_B$  du courant dans la batterie en supposant celui-ci parfaitement constant ?

.....

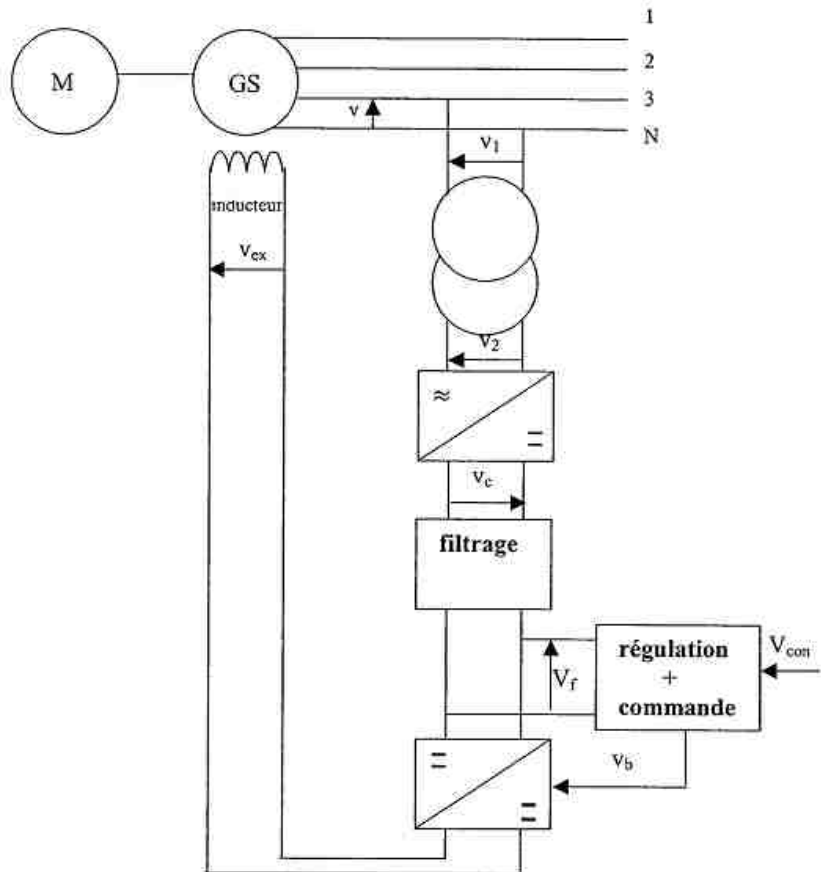
.....

.....

**TD4 : ETUDE D'UNE ALIMENTATION DE SECOURS ET DE SA REGULATION**

Un groupe électrogène de secours comprend :

- un moteur thermique tournant à vitesse constante,
  - un alternateur triphasé autonome :
- 230/400 V - 50 Hz - 100 kVA.**



Le synoptique de l'ensemble est comme ci-dessous.

**Partie A : Etude de l'alternateur**

L'alternateur, dont l'induit est couplé en **étoile**, tourne à sa fréquence nominale  $n = 1000 \text{ tr/min}$ . La fréquence  $f$  des tensions produites est de **50Hz**.

Les caractéristiques de l'inducteur de l'alternateur sont : résistance  $R_{ex} = 1,50 \Omega$  ; inductance  $L_{ex} = 375 \text{ mH}$ .

Pour déterminer les caractéristiques de l'induit de l'alternateur, on a réalisé les essais suivants.

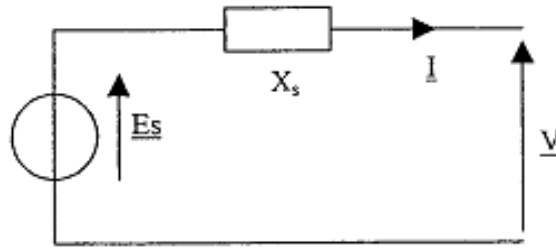
**A vide** : on a relevé, à vitesse nominale, la caractéristique  $E_v = f(I_{ex})$  assimilée à une droite passant par l'origine et le point (**5A; 140V**).  $I_{ex}$  est le courant inducteur.  $E_v$  est la valeur efficace de la tension à vide aux bornes d'un enroulement.  $E_v = E_s$  ( $E_s$  : f.é.m. synchrone de l'alternateur).

**En court-circuit** : on a relevé, à vitesse nominale, la caractéristique  $I_{cc} = f(I_{ex})$  qui est une droite passant par l'origine et le point (**5A ; 130A**).  $I_{cc}$  est la valeur efficace de l'intensité du courant de court-circuit.

**En continu** : Par une méthode voltampèremétrique, on a relevé aux bornes d'un enroulement de l'induit une tension  $V_i = 4,50V$  lorsque qu'un courant d'intensité  $I_i = 150A$  y circule.

Dans toute la partie A, on notera  $V$  la valeur efficace de la tension simple en sortie de l'alternateur et  $I$  la valeur efficace de l'intensité du courant en ligne débité par l'induit de l'alternateur.

Le modèle électrique équivalent simplifié d'une phase de l'induit est donné ci-contre. Pour établir ce modèle, on a négligé la résistance interne de l'induit.



1/ Donner la relation liant  $E_s$ ,  $V$ ,  $I$  et  $X_s$  :

.....

2/ Calculer la réactance synchrone  $X_s$  de l'induit :

.....

3/ L'alternateur alimente, sous une tension simple  $V$  de  $230 V$ , une installation inductive triphasée, de facteur de puissance  $0,80$ , qui absorbe un courant  $I$  de  $150 A$ .

a/ En construisant le diagramme vectoriel de Fresnel, déterminer la valeur de la f.é.m. synchrone  $E_s$ . On prendra  $X_s = 1,08 \Omega$ . On prendra pour échelle  $1 cm$  pour  $20 V$ .

.....

b/ En déduire la valeur du courant d'excitation  $I_{ex}$  nécessaire pour avoir le fonctionnement désiré.

.....

c/ Quelle est la puissance  $P$  reçue par la charge ?

.....

d/ Quel essai permet de déterminer la valeur de la résistance d'un enroulement de l'induit ? Calculer la valeur  $R_i$  de cette résistance. En déduire les pertes joules  $P_j$  dans l'induit.

.....

e/ Quelle est la puissance  $P_a$  absorbée par l'alternateur en considérant les pertes constantes  $P_c$  égales à  $1 kW$  ? En déduire le rendement  $\eta$  de l'alternateur.

.....

f/ Que vaut le moment du couple  $C_e$  exercé par le moteur thermique ?

.....

**PARTIE B : Etude du redressement et du transformateur**

Dans cette partie, on suppose que l'inducteur de l'alternateur est directement alimenté par le redresseur (*figure 2*).

On suppose dans cette partie que la valeur de l'intensité du courant d'excitation  $I_e$  est maximale, constante et égale à  $i_e(t) = I_{ex} = 16A$ . La tension  $V_1$  est égale à  $230 V$ .  $R_{ex}$  vaut  $1,5 \Omega$ .

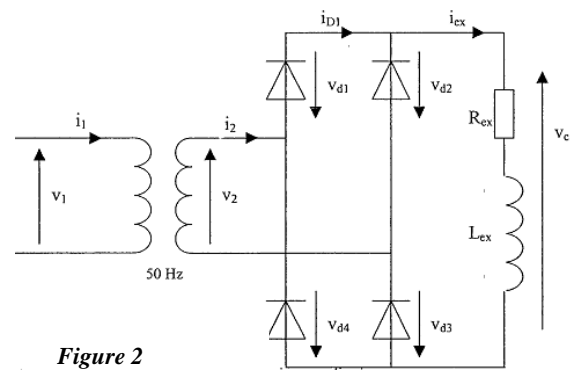
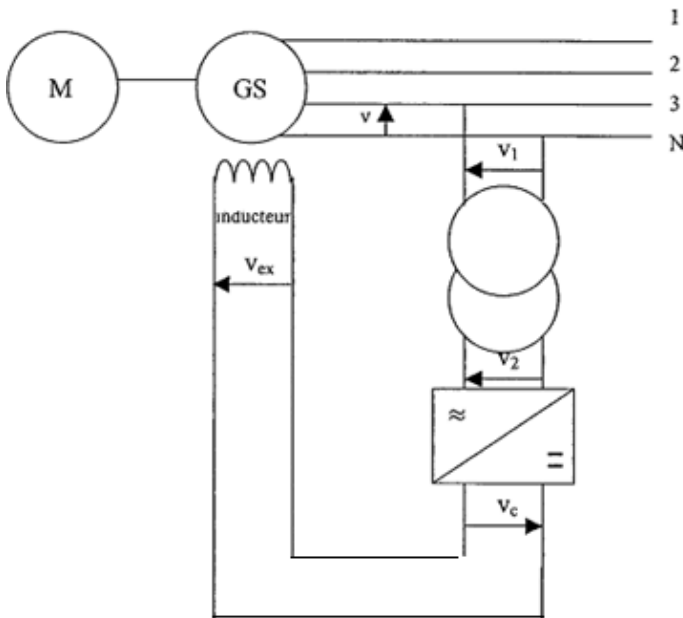


Figure 2

1/ Donner la relation liant  $v_c(t)$ ,  $i_{ex}(t)$ ,  $L_{ex}$  et  $R_{ex}$ .

2/ En déduire la relation liant  $v_{c_{moy}}$  à  $I_{ex}$  et  $R_{ex}$ . Calculer la valeur de  $v_{c_{moy}}$ .

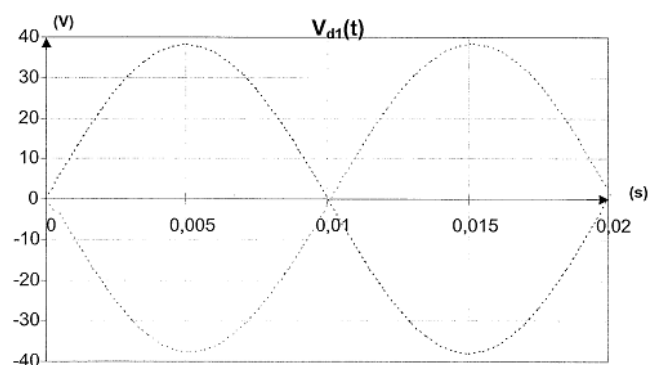
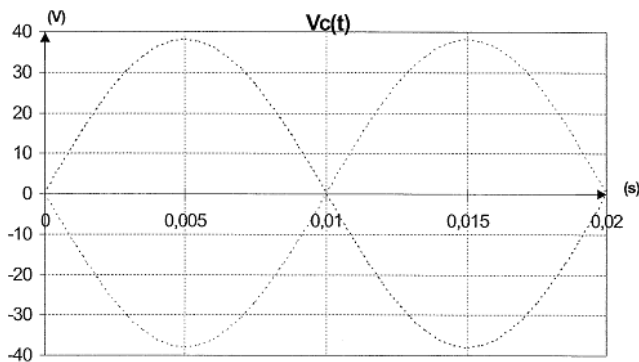
3/ Représenter  $v_c(t)$  et  $v_{D1}(t)$  sur le document réponse 1.

Remarque : les courbes en pointillés représentent  $v_2(t)$  et  $-v_2(t)$ .

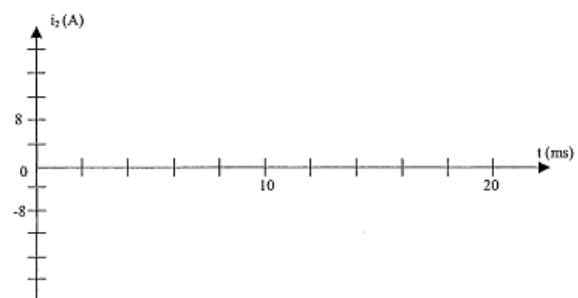
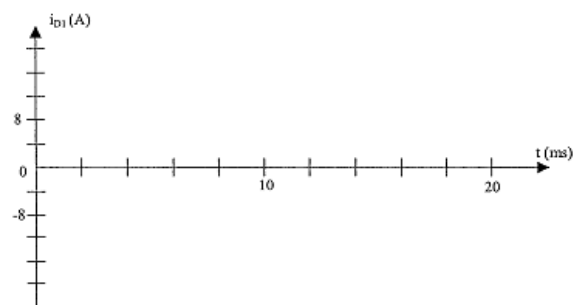
4/ Pour  $v_{c_{moy}} = 24V$ , calculer la valeur efficace  $V_2$  de la tension à l'entrée du pont. On rappelle que  $v_{c_{moy}} = 2V_{MAX}/\pi$ .

5/ Représenter  $i_2(t)$  et  $i_{D1}(t)$  sur le document réponse 2.  $i_{D1}(t)$  et  $i_2(t)$  sont-ils des signaux alternatifs ? Justifier votre réponse.

Partie B (document réponse 1)



Partie B (document réponse 2)



**PARTIE C : Etude du hacheur**

Pour faire varier le courant d'excitation, on insère un convertisseur continu-continu qui permet de faire varier la tension moyenne aux bornes de l'inducteur. La tension  $V_f = 24 \text{ V}$  est obtenue par filtrage de la tension  $v_c$  étudiée dans la partie B. L'interrupteur du hacheur est commandé par la tension  $v_b$  qui permet la régulation (voir figure 3). La diode et le transistor sont supposés parfaits.

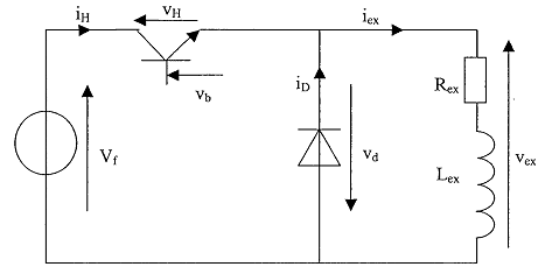


Figure 3

**Remarque :** Le courant d'excitation,  $i_{ex}(t)$ , non constant, est représenté sur le document réponse 3.

1/ Quelle est la valeur  $T$  de la période. En déduire la fréquence  $f$ .

2/ Le transistor est passant de 0 à 2 ms. Déterminer le rapport cyclique  $\alpha$ .

3/ Donner la relation liant  $i_{ex}(t)$ ,  $i_H(t)$  et  $i_D(t)$ . Tracer  $i_H(t)$  et  $i_D(t)$  sur le document réponse 3.

4/ On rappelle que l'ondulation de  $i_{ex}(t)$  est donnée par :  $\Delta i_{ex} = (i_{ex \max} - i_{ex \min})/2 = \alpha(1 - \alpha)V_f / (2L_{ex}.f)$ . Déterminer la valeur de l'inductance  $L_{ex}$  de l'inducteur.

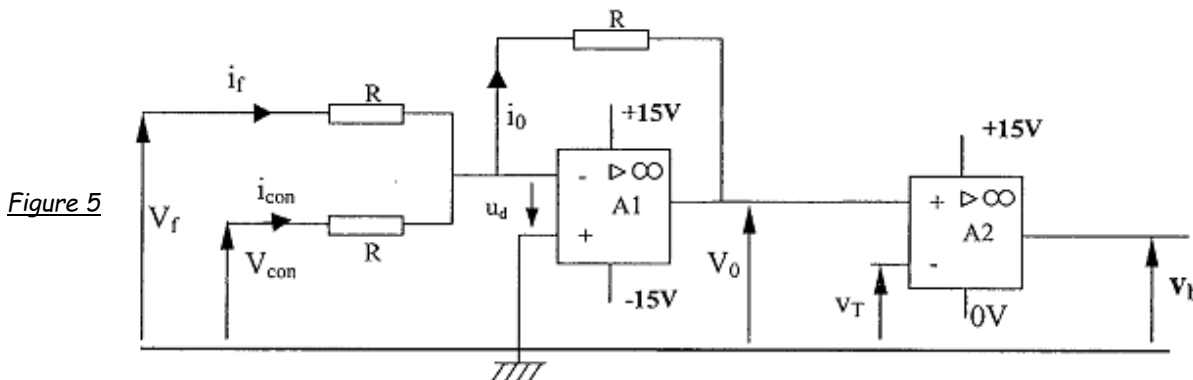
**PARTIE D : Etude de la commande du hacheur**

On souhaite obtenir une tension,  $V = 230 \text{ V}$ , en sortie de l'alternateur, la plus stable possible quel que soit le courant débité dans la charge. Pour cela, on modifie automatiquement le courant d'excitation  $i_{ex}(t)$ , en agissant sur la tension  $v_b$ , donc sur le rapport cyclique  $\alpha$ .

Cette commande est donnée figure 5, voir ci-dessous :  $V_{con}$  est une tension de consigne prééglée.  $V_f$  est la tension continue à l'entrée du hacheur qui dépend de la tension de sortie de l'alternateur.  $v_b$  est la tension de commande de l'interrupteur du hacheur. Elle permet de faire varier le rapport cyclique de ce dernier.

$v_T$  est un signal triangulaire, en dents de scie, non étudié.

Les A.o.p sont supposés parfaits.  $+V_{sat}$  et  $-V_{sat}$  correspondent, respectivement, aux tensions d'alimentation positive et négative des A.o.p.



**Remarque :** l'amplificateur **A2** est alimenté en  $+15\text{V}$  ;  $0\text{V}$ .

1/ Etude de **A1**.

a/ Quel est le régime de fonctionnement de **A1** ? En déduire la tension à l'entrée inverseuse de **A1**, que l'on notera  $V_-$ .

b/ Exprimer  $V_0$  en fonction de  $V_f$ ,  $V_{con}$ .

2/ Etude de A2.

a/ Quel est le régime de fonctionnement de A2 ?

b/ Exprimer la tension différentielle  $u_d$  en fonction de  $V_0$  et de  $V_T$ .

c/ Pour  $u_d > 0$ , quelle est la valeur de  $v_b$  ?

d/ Pour  $u_d < 0$ , quelle est la valeur de  $v_b$  ?

Le tracé de  $v_T(t)$  est donné sur le document réponse 4.

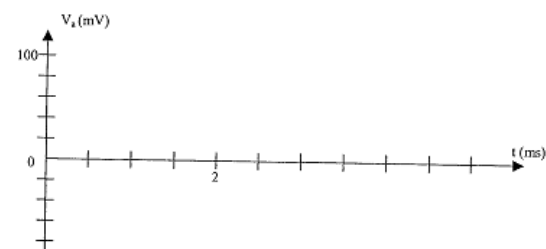
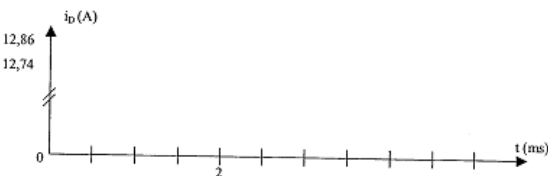
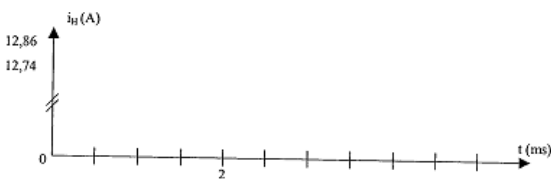
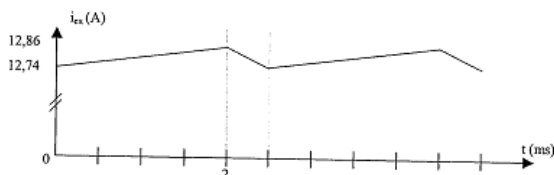
e/ Pour  $V_0 = 4 V$ , tracer l'allure de  $v_b(t)$  sur le document réponse 4.

3/ Le fonctionnement désiré est tel que pour  $V_F = 24 V$ . On obtient un courant inducteur de  $12,5 A$ . Dans ces conditions  $V_0$  est égale à  $5,6 V$ .

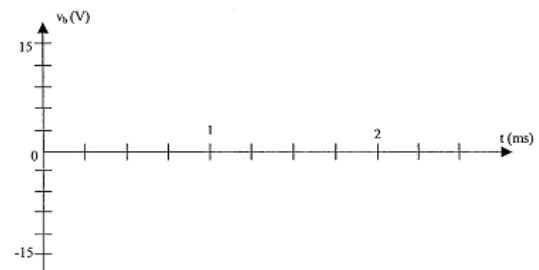
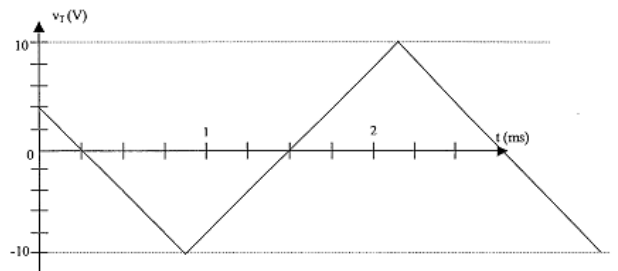
a/ Déterminer le rapport cyclique  $\alpha$  sachant que celui-ci est donné par la relation suivante, où  $V_{Tmax}$  représente la valeur maximale de  $v_T(t)$  :  $\alpha = 0,5.(V_0/V_{Tmax}) + 0,5$

b/ Déterminer la valeur de la tension de consigne  $V_{con}$ .

**Partie C (document réponse 3)**



**Partie D (document réponse 4)**

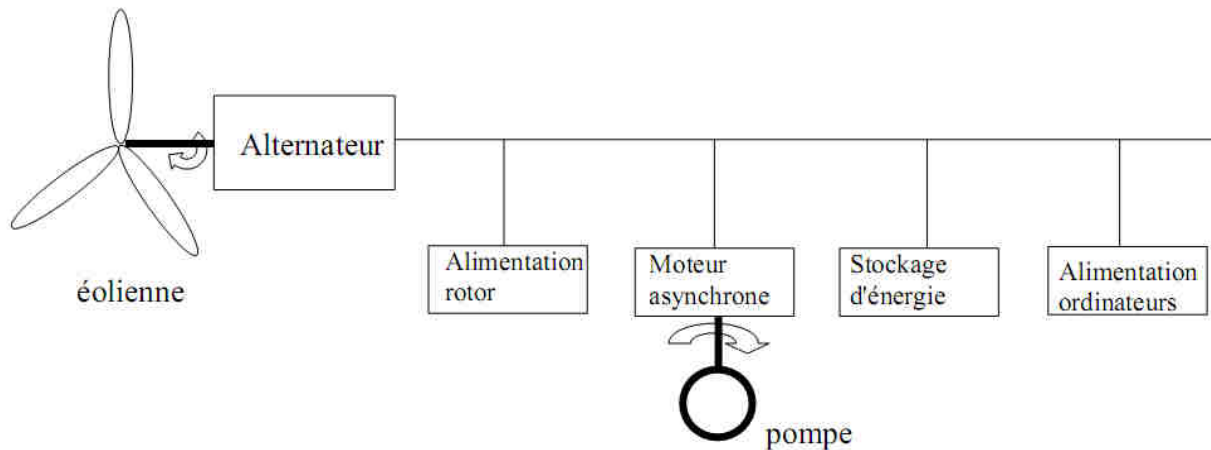




**TD5 : RESEAU EOLIEN AUTONOME**

On se propose d'étudier certains éléments constitutifs d'un réseau éolien autonome.

Les pales de l'éolienne entraînent le rotor d'un alternateur triphasé qui alimente un réseau électrique **400 V** sur lequel sont branchés :



- l'alimentation du rotor de l'alternateur,
- un moteur asynchrone associé à une pompe,
- une unité de stockage d'énergie,
- l'alimentation des ordinateurs.

**Partie A: Alternateur**

1. Quelle conversion d'énergie réalise un alternateur ?

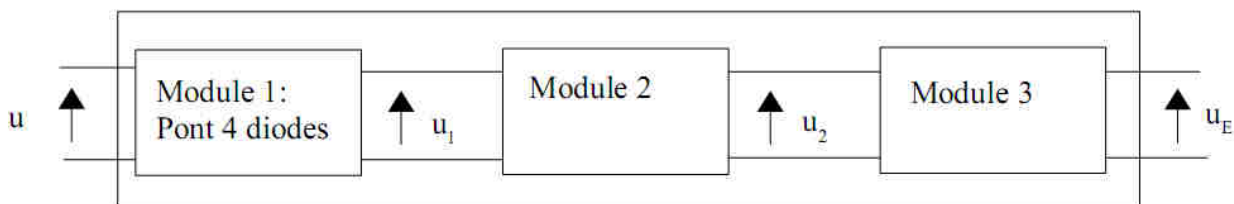
2. Sur la plaque signalétique de l'alternateur triphasé on peut lire : **8 kVA ; 230V/400V ; 50 Hz.**

a. On désire que la tension entre phases de l'alternateur soit de **400 V**. Comment coupez-vous les enroulements du stator ?

b. Calculer l'intensité efficace nominale du courant de ligne.

c. La vitesse de rotation du rotor (ou roue polaire) de l'alternateur est de **1000 tr/min (f = 50 Hz)**. Quel est son nombre de pôles ?

3. La tension  $u_E$  d'alimentation du rotor (fortement inductif) est une tension de valeur moyenne réglable obtenue à la sortie d'un convertisseur branché entre deux phases de l'alternateur. Ce convertisseur est composé de 3 modules.



**31. Module 1**

a. Quelle est la fonction du module 1 ?

b. L'allure de  $u$  étant donnée, représenter en concordance de temps sur le document ci-dessous l'allure de  $u_1$  (on se place dans le cas d'une conduction ininterrompue et les diodes sont considérées parfaites).

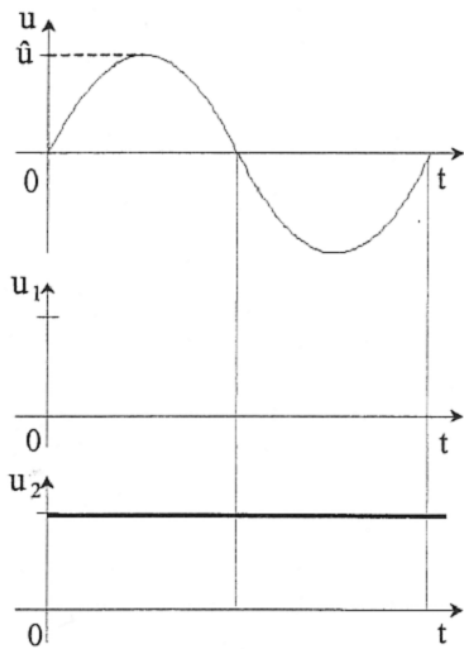
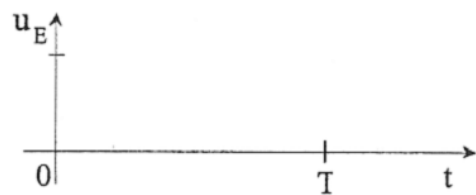


Figure 1



**32. Module 2**

La tension  $u_2$  étant une tension d'amplitude pratiquement constante, quelle est la fonction du **module 2** ?

33. A partir de la tension  $u_2$ , on désire obtenir une tension  $u_E$  de valeur moyenne réglable à l'aide du **module 3**.

a. Quelle est la fonction du **module 3** ?

b. Donner un schéma de principe d'un montage permettant la réalisation de cette fonction.

c. Donner un exemple d'interrupteur électronique commandé pouvant être utilisé dans ce montage.


d. Qu'appelle-t-on rapport cyclique d'un signal créneau ?

e. Représenter  $u_E$  si le rapport cyclique est de  $2/3$ . (Figure 1)

4. Le courant d'excitation circulant dans les enroulements du rotor (fortement inductif) doit être d'intensité  $i_E$  réglable. Quelle est la nature du courant d'excitation ?

**Partie B : Moteur asynchrone**

La plaque signalétique du moteur asynchrone entraînant la pompe est donnée ci-contre :

|  |    |              |     |              |       |
|--|----|--------------|-----|--------------|-------|
|  |    | MOT. LS 90 L |     | N°7345 BJ kg |       |
|  |    | IP 55 LcL.F  |     | 40°C         |       |
| V  | Hz | tr/min       | kW  | $\phi$       | A     |
| ○ 400<br>690   | 50 | 1400         | 1,5 | 0,9          | 2,6 ○ |

1. Le réseau électrique auquel est relié ce moteur est un réseau **400 V**. Comment doit-on coupler les enroulements statoriques du moteur ?

.....

2. Calculer le nombre de paires de pôles du moteur.

.....

3. Calculer le glissement nominal.

.....

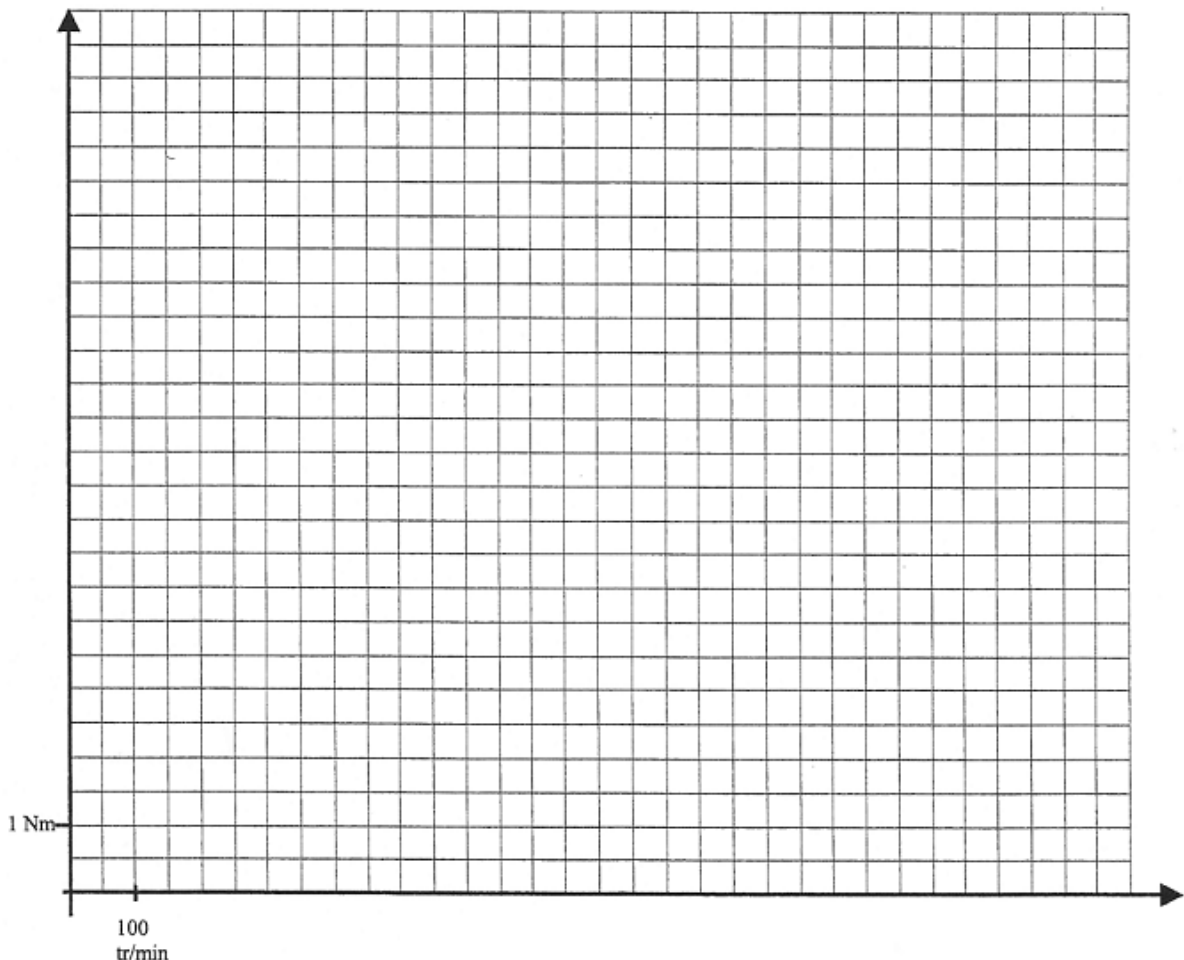
4. Calculer le rendement du moteur au point de fonctionnement nominal.

.....

5. Déterminer le moment  $C_{UN}$  du couple utile nominal.

.....

6. La partie utile de la caractéristique mécanique du moteur  $C_u(n')$  est assimilable à une droite. On admettra que la fréquence de rotation à vide est égale à celle de synchronisme. Sur le document réponse (page 3/4), tracer cette partie utile.



7. Les résultats d'un essai pour déterminer la caractéristique  $C_r$  ( $n'$ ) de la pompe sont donnés dans le tableau ci-dessous :

|               |     |     |      |      |      |      |
|---------------|-----|-----|------|------|------|------|
| $n'$ (tr/min) | 200 | 550 | 1000 | 1200 | 1350 | 1500 |
| $C_r$ (N.m)   | 1   | 2   | 4    | 5    | 6    | 7    |

a. Tracer cette caractéristique sur le même système d'axes que celle du moteur. (Document réponse ci-dessus)

b. En déduire la fréquence de rotation du groupe et le moment du couple moteur.

### Partie C : Stockage de l'énergie

Il est nécessaire de stocker de l'énergie dans des batteries d'accumulateurs pour remplacer l'éolienne en cas d'insuffisance de vent. Les batteries utilisées ont une tension de **48 V**. Avant de convertir la tension alternative en une tension continue pour charger les batteries d'accumulateurs, il est donc nécessaire d'utiliser un transformateur abaisseur, le réseau de l'alternateur étant un réseau **400 V**. On utilise le transformateur monophasé suivant branché entre 2 phases du réseau de sortie de l'alternateur : **500 VA ; 400V/50 V ; 50 Hz**

Pour étudier ce transformateur on a effectué **3** essais :

- un **essai à vide** sous tension nominale :  $U_{20} = 50 \text{ V}$  ;  $P_{10} = 20 \text{ W}$  ; On néglige les pertes par effet Joule dans l'essai à vide.
- un **essai en court-circuit** pour  $I_{2CC} = I_{2N} = 10 \text{ A}$  ;  $U_{1CC} = 40 \text{ V}$  ;  $P_{1CC} = 30 \text{ W}$ .
- un **essai en charge** nominale :  $U_2 = 49 \text{ V}$  ;  $P_2 = 450 \text{ W}$ .

1. Calculer le rapport de transformation.

2. Représenter le modèle de Thévenin vu du secondaire (secondaire à vide).

3. A l'aide de l'essai en court-circuit, déterminer la résistance et la réactance des enroulements ramenées au secondaire.

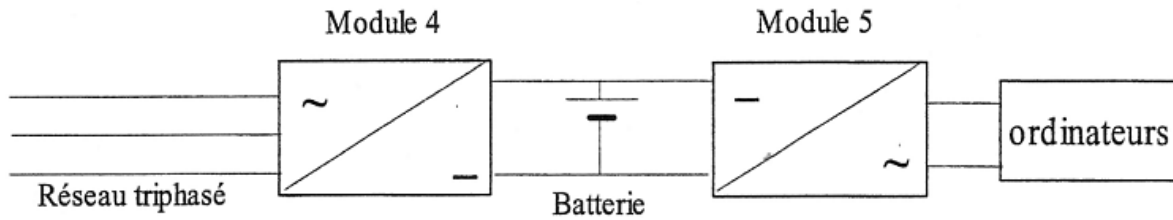
4. Pour le fonctionnement en charge étudié, calculer le rendement du transformateur.

### Partie D : Alimentation des ordinateurs

Pour des raisons de sécurité, l'alimentation des ordinateurs (monophasé **230 V-50 Hz**) ne peut être interrompue. Ils ne peuvent donc être branchés directement sur le réseau.

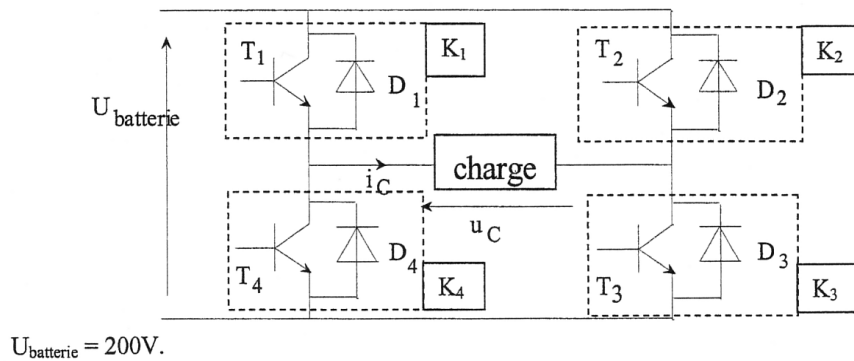
Les ordinateurs seront reliés au réseau par l'intermédiaire d'une batterie d'accumulateurs de tension  $U_{\text{Batterie}} = 200 \text{ V}$ .

En cas d'incident technique ou de panne de vent, la batterie assure l'alimentation pendant la durée nécessaire.



1. Quel est le nom du **module 5** ?

2. Pour obtenir une tension la plus proche d'une sinusoïde, ce module est souvent très sophistiqué, nous allons donc étudier le modèle simplifié ci-contre :



**Aucune connaissance sur l'onduleur à quatre interrupteurs n'est nécessaire pour traiter ce qui suit.**

Les blocs  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$  et  $K_4$  (voir schéma précédent) sont des interrupteurs électroniques ; ils doivent permettre le passage du courant dans les deux sens.

Chaque interrupteur est constitué d'un transistor et d'une diode montée en antiparallèle.

Ils sont commandés périodiquement (période  $T = 20 \text{ ms}$ ) de sorte que :

- Sur l'intervalle  $[0 ; T/2]$  :  $K_1$  et  $K_3$  sont fermés et  $K_2$  et  $K_4$  ouverts.
- Sur l'intervalle  $[T/2 ; T]$  :  $K_2$  et  $K_4$  sont fermés et  $K_1$  et  $K_3$  sont ouverts.

a. Les interrupteurs sont considérés comme parfaits. Qu'est-ce que cela signifie ?

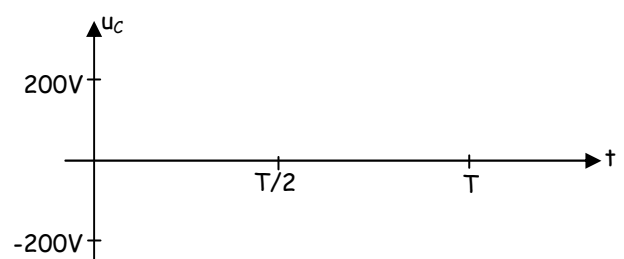
b. Pourquoi met-on des diodes en antiparallèle sur les transistors de chacun des interrupteurs ?

3. Étude de la tension  $u_c$

a. Sur  $[0 ; T/2]$ , quelle est la relation entre  $u_c$  et  $U_B$  ? Même question sur  $[T/2 ; T]$ .

b. Représenter l'allure de la tension  $u_c$ .

c. Quelle est la valeur efficace  $U_c$  de la tension  $u_c(t)$  ?



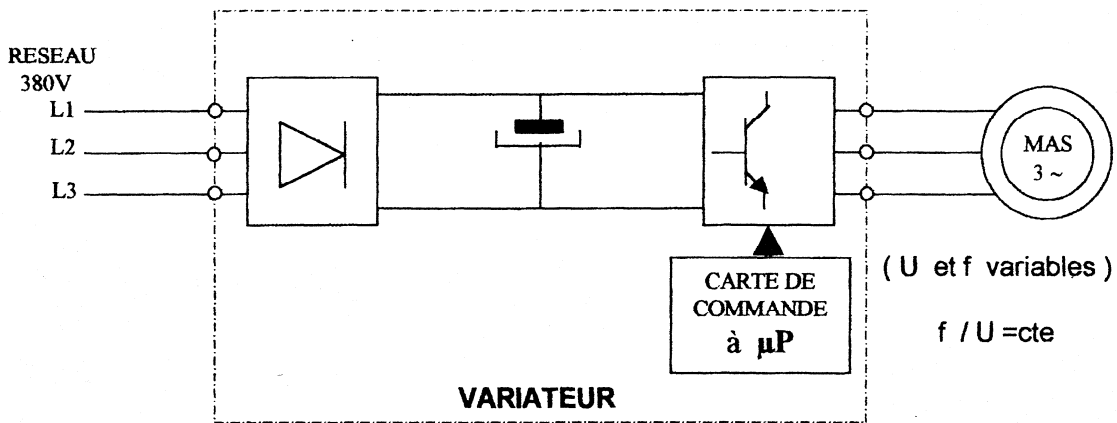
**TD6 : UNITE D'USINAGE**

Une unité d'usinage à commande numérique comporte :

- Une table munie d'un plateau en fonte qui coulisse sur un bâti glissière fixe.
- Un système d'accouplement mécanique.
- Un moteur asynchrone triphasé à cage dont la vitesse est régulée par l'intermédiaire d'un variateur électronique à base de redresseur et d'onduleur, piloté par une carte à microprocesseur ( $\mu P$ ) qui assure les fonctions de commande, de dialogue, de protection et de sécurité.

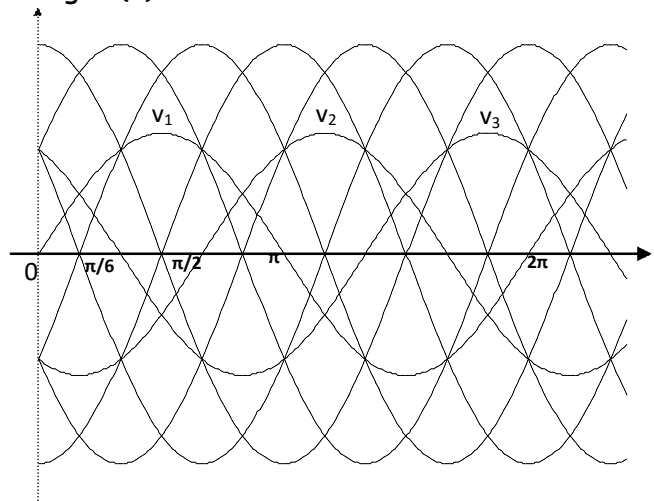


On donne ci-après le schéma de principe du variateur :



1) Dessiner le schéma de montage du redresseur ; c'est un PD3.

2) Sur le doc ci-dessous tracer, en fonction du temps, l'allure de la tension redressée aux bornes de la charge  $u(t)$



3) Calculer la valeur de la tension moyenne  $u_{moy}$  de la tension  $u(t)$  sachant qu'elle est égale à  $(3\sqrt{3}V\sqrt{2})/\pi$  et que  $V = 230V$ .

4) Dans les conditions d'usinage les plus défavorables, le couple moteur nécessaire à la coupe vaut  $C = 19 \text{ Nm}$  pour une vitesse de rotation de l'arbre du moteur  $n' = 1435 \text{ tr/min}$ . Calculer :  
 a/ la puissance utile  $P_U$ .



b/ la fréquence de synchronisme  $n$  et le nombre de pôles si la fréquence d'alimentation est  $f = 50$  Hz.

c/ En déduire le glissement  $g$  :

A partir des documents DRES1 et DRES2 pages 4 et 5 :

b/ déterminer

b-1/ Le type du moteur à utiliser.

|                |         |
|----------------|---------|
| Type du moteur | LS..... |
|----------------|---------|

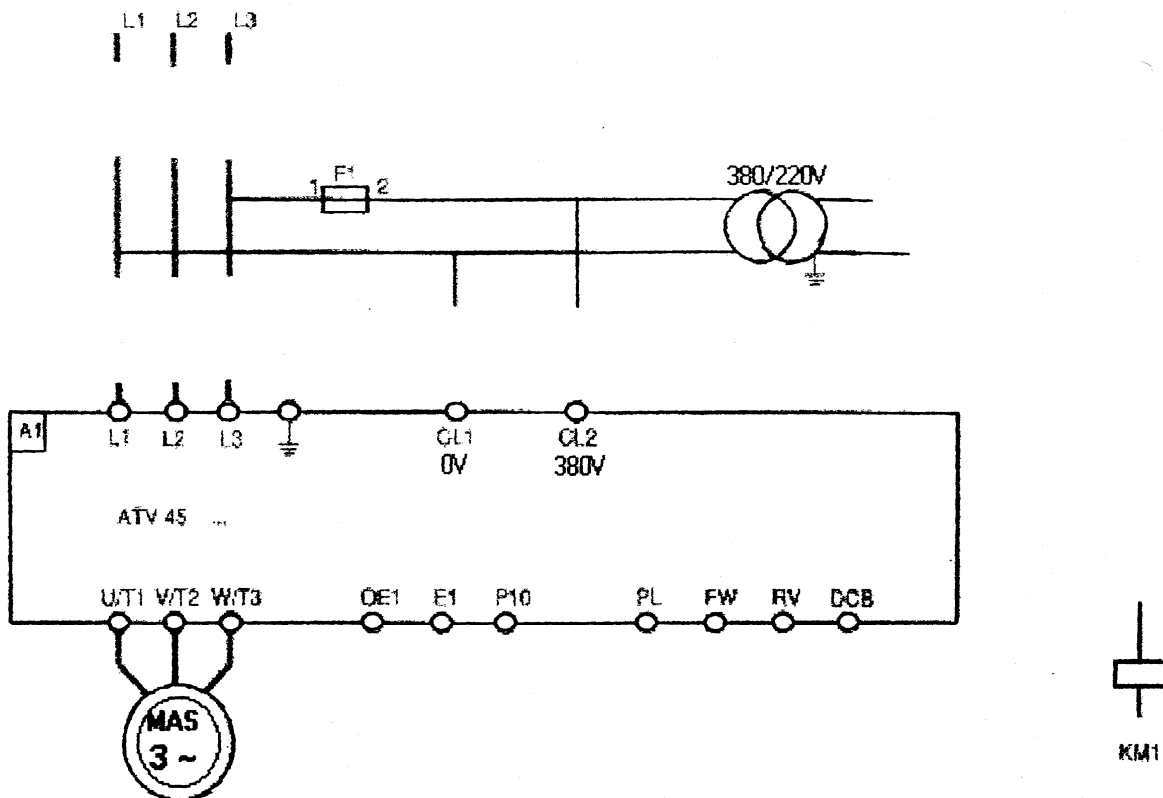
b-2/ En déduire la référence complète du variateur de vitesse dans la gamme ATV-45 du type ALTIVAR

|                                   |             |
|-----------------------------------|-------------|
| Référence du variateur de vitesse | ATV-45..... |
|-----------------------------------|-------------|

5) Sur doc ci-dessous, compléter le schéma des circuits de commande et de puissance (moteur +ALTIVAR) en respectant la désignation de l'appareillage.

**Circuit de puissance**

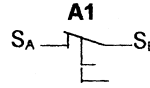
**Circuit de commande**



**DESIGNATION DE L'APPAREILLAGE :**

- S1 : bouton poussoir de mise en marche.
- S2 : bouton poussoir d'arrêt.
- Q1 : sectionneur-porte fusibles (3 pôles principaux + 1 pôle auxiliaire).
- KM1 : contacteur de ligne (220V).
- F2 : fusible de protection du circuit de commande.
- A1 : pôles auxiliaires du relais thermique, (voir remarque ci-dessous)

Remarque :

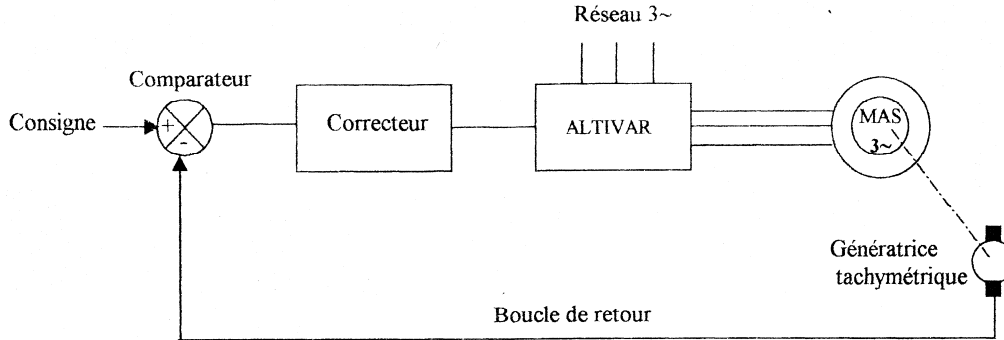


NB : Le relais thermique est intégré dans l'ALTIVAR.

5) A partir du document DRES2 page 5, faire le choix de l'appareillage électrique (sectionneur, contacteur, fusibles).

|             |       |
|-------------|-------|
| Contacteur, | ..... |
| Fusibles    | ..... |
| Sectionneur | ..... |

7) Le schéma de principe de la régulation du système est le suivant :



a/ Par quoi est caractérisé :

Un système régulé :

Un système asservi :

b/ Etablir le diagramme bloc de notre système régulé.

c/ On admet que les fonctions de transfert des éléments de ce système sont:

- Correcteur :  $F_1(p) = k_1$
- ALTIVAR :  $F_2(p) = k_2$
- Moteur asynchrone :  $F_3(p) = k_3 / (1 + Tp)$
- Génératrice tachymétrique :  $F_4(p) = k_4$

NB :  $k_1, k_2, k_3$  et  $k_4$  sont des constantes.

T est la constante mécanique du moteur asynchrone,

c1/ Déterminer la fonction de transfert en boucle ouverte  $F_{BO}(p)$ .

c2/ Déterminer la fonction de transfert en boucle fermée  $F_{BF}(p)$ .

## DRES 01

### Moteur LEROY SOMER asynchrone triphasé fermé pour variation de vitesse série LS

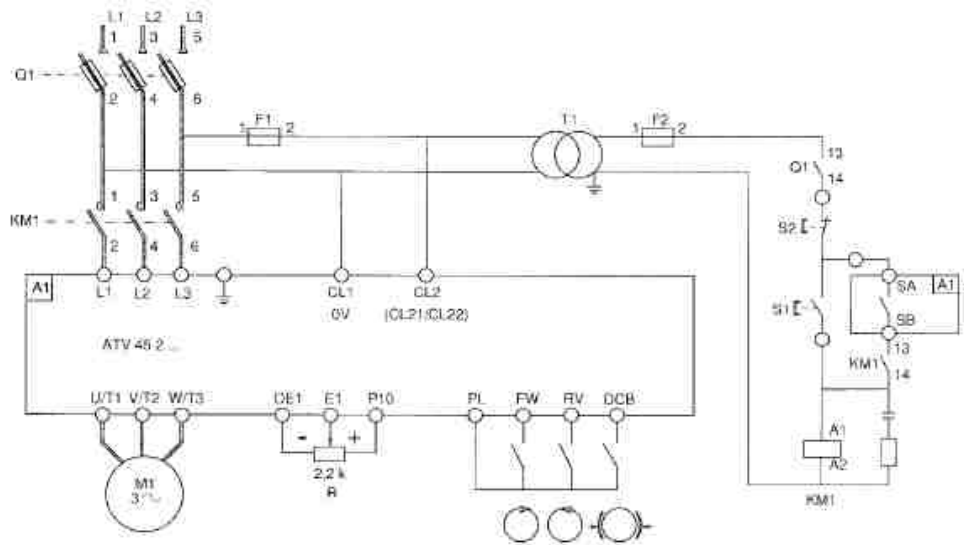
| <b>DONNÉES CONSTRUCTEUR</b> |                 |           |       |                 |                            |                |             |
|-----------------------------|-----------------|-----------|-------|-----------------|----------------------------|----------------|-------------|
| Type                        | Puissance<br>kw | Intensité |       | Couple<br>Md/Mn | Caractéristiques en charge |                | Masse<br>kg |
|                             |                 | In/380V   | Id/In |                 | Rendement $\eta$ 4/4       | cos $\phi$ 4/4 |             |
| LS 56 L                     | 0,09            | 0,38      | 2,89  | 1,80            | 0,54                       | 0,67           | 4           |
| LS 63 L (E)                 | 0,12            | 0,43      | 2,79  | 2,00            | 0,55                       | 0,80           | 4,8         |
| LS 63 L (E)                 | 0,18            | 0,60      | 3,50  | 2,10            | 0,63                       | 0,78           | 5           |
| LS 71 L                     | 0,25            | 0,82      | 3,90  | 1,80            | 0,61                       | 0,75           | 6,4         |
| LS 71 L                     | 0,37            | 1,1       | 4,36  | 1,85            | 0,67                       | 0,76           | 7,3         |
| LS 80 L1                    | 0,55            | 1,65      | 3,9   | 1,80            | 0,66                       | 0,76           | 9           |
| LS 80 L2                    | 0,75            | 2         | 4,3   | 1,85            | 0,69                       | 0,80           | 10,5        |
| LS 80 L3                    | 0,9             | 2,4       | 5,2   | 2,80            | 0,73                       | 0,77           | 11,5        |
| LS 90 S1                    | 1.1             | 2,7       | 4,9   | 2,00            | 0,74                       | 0,83           | 14          |
| LS 90 L2                    | 1,5             | 3,6       | 5,5   | 2,20            | 0,77                       | 0,82           | 15          |
| LS 90 L3                    | 1.8             | 4,3       | 5,4   | 2,10            | 0,77                       | 0,83           | 17          |
| LS 100 L1                   | 2,2             | 5,2       | 5,3   | 2,40            | 0,78                       | 0,82           | 21          |
| LS 100 L2                   | 3               | 7         | 6,1   | 2,60            | 0,80                       | 0,82           | 23          |
| LS 112 M1                   | 4               | 9,1       | 6,2   | 2,40            | 0,82                       | 0,81           | 28          |
| LS 132 S30                  | 5,5             | 12        | 6,2   | 2,40            | 0,81                       | 0,85           | 45          |
| LS 132 M1                   | 7,5             | 15,8      | 7     | 2,50            | 0,85                       | 0,85           | 56          |
| LS 132 M2                   | 9               | 18,6      | 8,2   | 2,60            | 0,85                       | 0,86           | 62          |
| LS 160 M                    | 11              | 22        | 5     | 2,10            | 0,87                       | 0,87           | 80          |
| LS 160 L                    | 15              | 29,3      | 5,8   | 2,40            | 0,89                       | 0,86           | 97          |
| LS 180 MT                   | 18,5            | 36,4      | 5,8   | 2,50            | 0,885                      | 0,87           | 113         |
| LS 180 L                    | 22              | 44,1      | 5,5   | 2,40            | 0,89                       | 0,85           | 135         |
| LS 200 LT                   | 30              | 60        | 6,3   | 2,50            | 0,895                      | 0,85           | 170         |
| LS 225 ST                   | 37              | 72        | 6,4   | 2,70            | 0,905                      | 0,86           | 210         |
| LS 225 M                    | 45              | 85,5      | 6     | 2,70            | 0,91                       | 0,86           | 275         |
| LS 250 M                    | 55              | 106       | 6,6   | 2,70            | 0,92                       | 0,86           | 315         |
| LS 280 ST                   | 75              | 145       | 7     | 3,10            | 0,92                       | 0,85           | 400         |
| LS 280 M                    | 90              | 173       | 7     | 3,10            | 0,925                      | 0,85           | 565         |
| LS 315 ST                   | 110             | 211       | 7,4   | 3,40            | 0,93                       | 0,85           | 685         |

Gamme des moteurs asynchrones triphasés fermés LS 220/380 V - 50 Hz - IP  
 Rotor à cage - Appel de courant réduit.  
 Classe des isolants : B.  
 Fréquence de rotation : 1500 tr/min-1 (4 pôles).

**DRES 02**

**ALTIVAR<sup>®</sup> series 45 2**

Recommended circuit diagram



ATV-452075 (N) to D30 (N) 380/415 V (N : 440/500 V)

|     |                        |               |               |               |            |               |               |               |               |               |             |               |               |
|-----|------------------------|---------------|---------------|---------------|------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-------------|---------------|---------------|
| M1  | Motor (kW / HP)        | 0,75/1        | 1,5/2         | 2,2/3         | 3/4        | 4/5,5         | 5,5/7,5       | 7,5/10        | 11/15         | 15/20         | 18,5/25     | 22/30         | 30/40         |
| A1  | <b>ALTIVAR ATV-452</b> | <b>075(N)</b> | <b>U15(N)</b> | <b>U22(N)</b> | <b>U30</b> | <b>U40(N)</b> | <b>U55(N)</b> | <b>U75(N)</b> | <b>D11(N)</b> | <b>D15(N)</b> | <b>D18N</b> | <b>D22(N)</b> | <b>D30(N)</b> |
| Q1  | Isolator               | LS1-D2531A65  |               |               |            |               |               |               | GK1-EK        | DK1-FB        | DK1-GB      |               |               |
|     | + 3 fuses type gl DF2- | CN04          | CN06          | CN10          | CN12       | CN16          | CN20          | CN25          | EN40          | FN50          | FN63        | FN80          | FN100         |
| KM1 | Contactor LC1-D        | 0910**        | 0910**        | 0910**        | 0910**     | 1210**        | 1810**        | 2510**        | 3210**        | 4011**        | 5011**      | 6511**        | 8011**        |
|     | Suppressor             | LA4-DA2U      |               |               |            |               |               |               |               |               |             |               |               |
| T1  | Transformer            | 63 VA         |               |               |            |               | 100 VA        |               |               | 160 VA        |             |               |               |

ATV-452D37 (N) to D90 (N) 380/415 V (N : 440/500 V)

|     |                        |                |  |                |  |                |  |                |  |
|-----|------------------------|----------------|--|----------------|--|----------------|--|----------------|--|
| M1  | Motor (kW / HP)        | 37 / 50        |  | 55 / 75        |  | 75 / 100       |  | 90 / 125       |  |
| A1  | <b>ALTIVAR ATV-452</b> | <b>D37 (N)</b> |  | <b>D55 (N)</b> |  | <b>D75 (N)</b> |  | <b>D90 (N)</b> |  |
| Q1  | Isolator               | DK1-HC         |  | DK1-HC         |  | DK1-JC         |  | DK1-JC         |  |
|     | + 3 fuses type gl      | DF2-GN1121     |  | DF2-GN1161     |  | DF2-HN1201     |  | DF2-HN1251     |  |
| KM1 | Contactor + coil       | LC1-D8011**    |  | LC1-F115       |  | LC1-F150       |  | LC1-F185       |  |
|     | Suppressor             | LA4-DA2U       |  | LX1-FF***      |  | LX1-FF***      |  | LX1-FG***      |  |
| T1  | Transformer            | 160 VA         |  | 250 VA         |  | 250 VA         |  | 400 VA         |  |

Equipment required, all ratings, all models

|       |               |  |
|-------|---------------|--|
| F1    | Fuse type aM  | DF2-CA02   |
| F2    | Fuse type gl* | DF2-CN02, DF2-CN04 for D55 (N), D75 (N) and D90 (N) (if 220 V control) |
|       | Fuse carriers | DF6-AB10   |
| R     | Potentiometer | SZ1-RV1202   |
| S1-S2 | Push-buttons  | XB2-B***   |

\* or GB2-C\*\*\* circuit breaker