Lycée technique Mohammedia

Sciences de l'ingénieur

Module A.D.C.

Activités

Nom : .....

2 STE ...

Année scolaire : 2023-2024

S - Chari

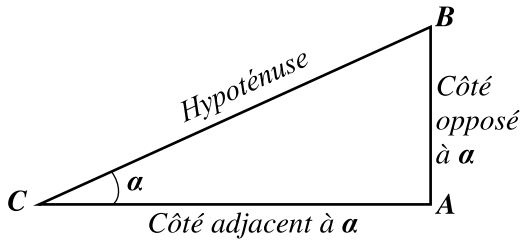
0 RELATIONS METRIQUES DANS LE TRIANGLE RECTANGLE — RAPPEL 1

Le théorème de Pythagore :

Dans un triangle rectangle, le carré de la longueur de l'hypoténuse est égal à la somme des carrés des longueurs des deux autres côtés.

*Si le triangle **ABC** est rectangle en **A**, alors on* $BC^2 = AB^2 + AC^2$

Relations trigonométriques



Définition :

*Soit **ABC** un triangle rectangle en **A**. On notera **α** l'angle ACB*

$$\cos\alpha = \frac{\text{Côté adjacent}}{\text{Hypoténuse}} = \frac{AC}{BC}$$

$$\sin\alpha = \frac{\text{Côté opposé}}{\text{Hypoténuse}} = \frac{AB}{BC}$$

$$\tan\alpha = \frac{\text{Côté opposé}}{\text{Côté adjacent}} = \frac{AB}{AC}$$

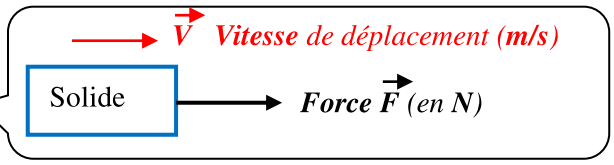
Quelques valeurs particulières :

Dans un triangle rectangle, il existe des mesures d'angles pour lesquelles les valeurs des sinus, cosinus et tangente sont connues :

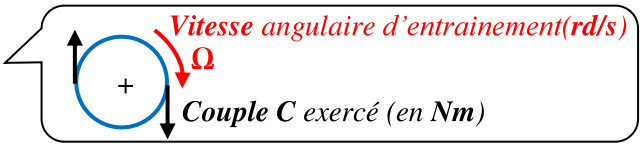
α (en degré)	0°	30°	45°	60°	90°
α (en radian)	0	π/6	π/4	π/3	π/2
cos α	1	√3/2	√2/2	1/2	0
sin α	0	1/2	√2/2	√3/2	1
tan α	0	√3/3	1	√3	

0 PUISSANCES MECANIQUES — RAPPEL 2

Puissance mécanique *(mouvement de translation) :* **P = F.V**



Puissance mécanique *(mouvement de rotation) :* **P = C.Ω**



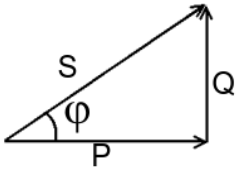
0 MULTIPLES / SOUS-MULTIPLES — RAPPEL 3

Préfixe	téra	giga	méga	kilo	hecto	déca	-	déci	centi	milli	micro	nano	pico
Symbole	T	G	M	k	h	da		d	c	m	µ	n	p
Facteur	10^{12}	10^{9}	10^{6}	10^{3}	10^{2}	10^{1}		10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-6}	10^{-9}	10^{-12}

Activité 0 — ***Rappels***

EXERCICE1 : *Relations métriques dans le triangle rectangle*

Le triangle rectangle ci-dessous représente le triangle de puissance :



1) *cos φ = ……* *sin φ = …….* *tan φ = …….*

2) *Donner **S** en fonction de **P** et **Q** :*

……

3) *Donner **Q** en fonction de **P** et **φ** :*

……

EXERCICE2 : *Rendement*

*Lors d'une transformation d'**énergie** par un **système**, il n'y a que deux formes d'énergies.*
***L'énergie consommée** (**absorbée**) est la forme d'énergie qui se transforme en **énergie utile**.*

Energie absorbée ou Puissance absorbée Pa ⇨ ***Système*** ⇨ ***Energie utile ou Puissance utile Pu***
→ *Pertes chaleur **p***

$$\eta = \frac{Pu}{Pa}$$

1) *Un récepteur absorbe une puissance de **1600 W** et la transforme en une puissance mécanique de **1480 W**. Déterminer les pertes puis le rendement **η** en pourcentage ?*

……

……

2) *Un moteur à courant continu absorbe un courant **I** de **6 A** sous une tension **U** de **400 V**. Déterminer la puissance du moteur ?*

……

*Sachant qu'il a un rendement **η** de **80 %**, calculer la puissance utile :*

……

3) *Un moteur de moulin à café absorbe une énergie **Wa** de **5,18 kJ** en **14 secondes**. Le rendement du moteur **η** est de **89 %**.*

*a. Calculer la puissance absorbée **Pa** et la puissance utile **Pu** du moteur :*

……

……

*b. Calculer l'énergie électrique absorbée **Wa** en **1 heure** de fonctionnement et les pertes thermiques **p** correspondantes :*

……

……

EXERCICE3 : *Conversion*

Transformer en utilisant les puissances de 10 :

3 J = …….. mJ	10 F = …….. μF	2 V = …….. mV
12 mW = …….. W	1 m² = …….. mm²	10 MΩ = …….. kΩ
0,2 mA = …….. A	10 μH = …….. H	10 kΩ = …….. Ω

Résumé du cours

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

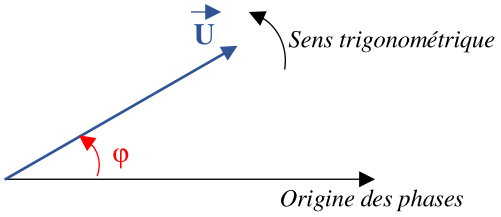
$$u(t) = \hat{U}\sin(\omega t + \varphi) = U\sqrt{2}\sin(\omega t + \varphi)$$ avec :

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



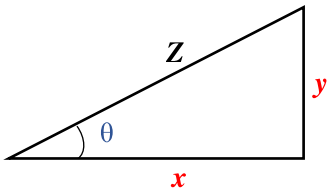
Représentation complexe

À toute grandeur sinusoïdale, on peut associer le nombre complexe noté **Z** que l'on peut exprimer :

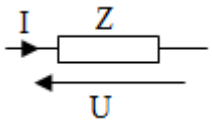
- Soit sous la forme algébrique (cartésienne ou rectangulaire) : **Z = x + jy**
- Soit sous la forme trigonométrique (ou polaire) : **Z = [Z ; θ]**

$Z = [Z, \theta] = Z\cos\varphi + j\,Z\sin\varphi$ et $Z = x + j.y = [\sqrt{x^2 + y^2}\ ;\ \theta = \tan^{-1}(y/x)]$

Où : **Z** module, **θ** argument, **x** partie réelle, **y** partie imaginaire



Loi d'ohm



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

En valeur efficace : $U = Z\,.\,I$

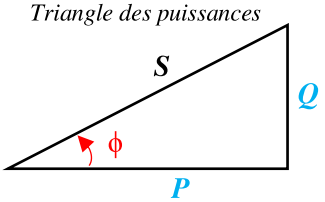
Z est l'impédance du récepteur en Ω, elle dépend de la nature de ce dernier :

Les dipôles élémentaires	Résistance R	Inductance L	Condensateur C
Impédance **Z** (Ω)	$Z = R$	$Z = L\omega$	$Z = 1/C\omega$
Tension efficace **U** (V)	$U = R.\,I$	$U = L\omega.\,I$	$U = I/C\omega$
Déphasage **φ**	0	π/2	- π/2
Puissance active **P** (W)	$P = UI = RI^2 = U^2/R$	$P = 0$	$P = 0$
Puissance réactive **Q**	$Q = 0$	$Q = UI = L\omega I^2 = U^2/L\omega$	$Q = -UI = -C\omega U^2 = -I^2/C\omega$
Puissance apparente **S**	$S = P$	$S = Q$	$S = -Q$

Les puissances et le facteur de puissance :

- **Active:** $P = U.\,I.\cos\varphi$
- **Réactive :** $Q = U.\,I.\sin\varphi$
- **Apparente:** $S = \sqrt{P^2 + Q^2} = U\,.\,I$

Triangle des puissances

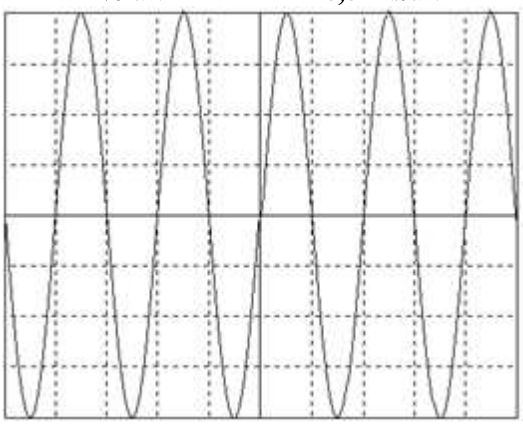


Un facteur de puissance **cos φ** faible entraine une augmentation du courant en ligne donc des pertes et une consommation davantage de l'énergie réactive.

Pour relever ce facteur on insère un condensateur **C** en parallèle avec la charge : $C = \dfrac{P(\tan\varphi - \tan\varphi')}{U^2\omega}$

Activité 1 — Tensions alternatives instantanées

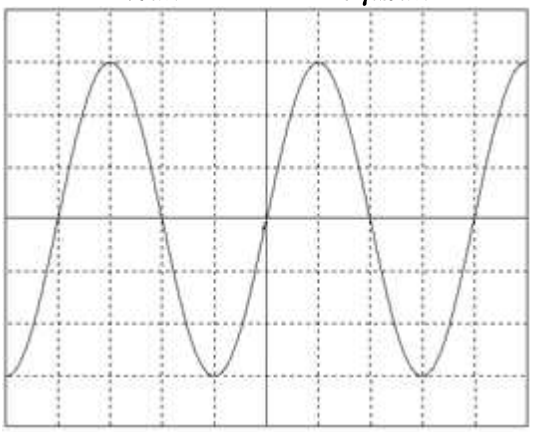
1 V/ div **0,5 ms/div**



U_{max} = …… U_{eff} = ……

T = …… f = ……

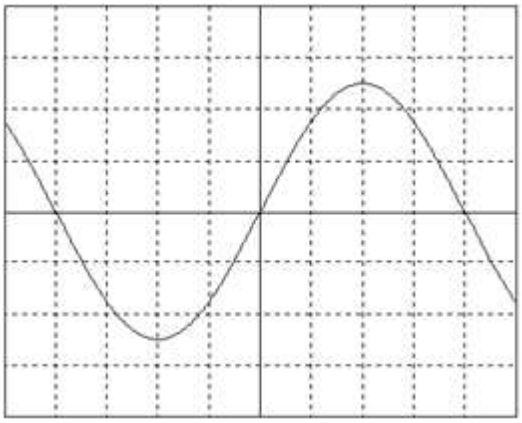
2 V/div **10 µs/div**



U_{max} = …… U_{eff} = ……

T = …… f = ……

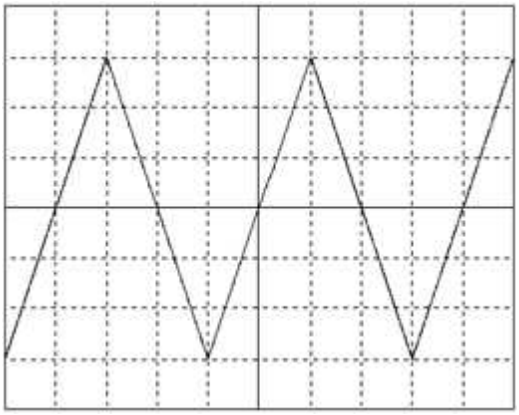
5 V/div **5 ms/div**



U_{max} = …… U_{eff} = ……

T = …… f = ……

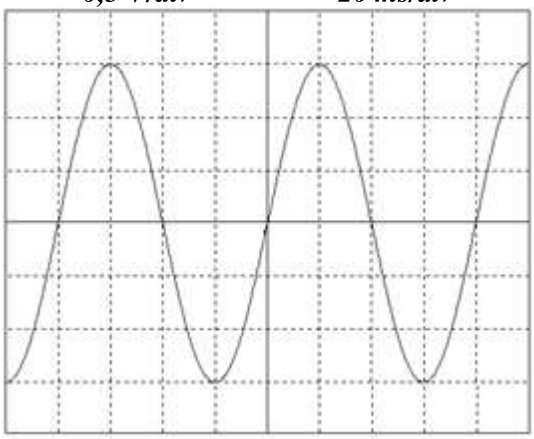
10 mV/div **1 ms/div**



Tension : …… U_{max} = ……

T = …… f = ……

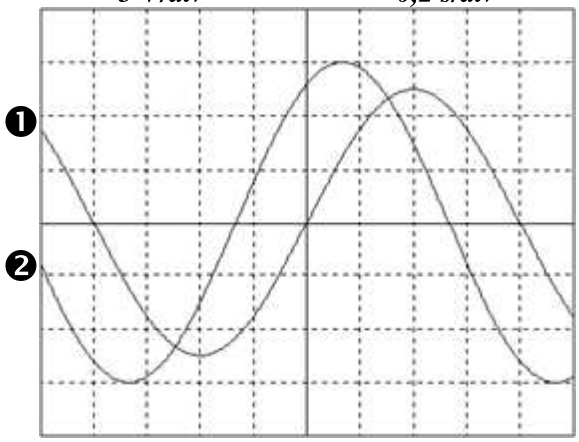
0,5 V/div **20 ms/div**



U_{max} = …… U_{eff} = ……

T = …… f = ……

3 V/div **0,2 s/div**



❶ $U_{1\,max}$ = …… U_1 = ……

T_1 = …… f_1 = ……

❷ $U_{2\,max}$ = …… U_2 = ……

T_2 = …… f_2 = ……

Déphasage : …… Soit φ = ……

Activité 2 — ***Régime monophasé***

EXERCICE1 : *Un générateur délivre une tension alternative sinusoïdale de fréquence* ***50 Hz****. Calculer sa période et sa pulsation.*

T *=…….* ***ω*** *=……..*

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

f *=……* ***ω*** *=…….*

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 *= ……*
φ *= ……°*

---------- ▶ Origine des phases

Déduire l'expression de $i(t) = i_1(t) + i_2(t) =$ *……..*

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 *= …….*
φ *= ……°*

---------- ▶ Origine des phases

$u(t) = u_1(t) + u_2(t) =$ *……*

EXERCICE 5 : *Soient les deux courants sinusoïdaux :*

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

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 = …….
φ = ……°

$i(t) = i_1(t) + i_2(t)$ =……..

EXERCICE 6 :

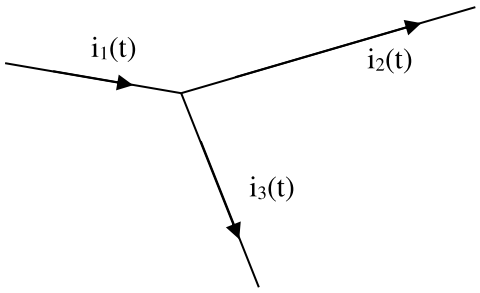
$i_1(t) = 4\sqrt{2}\sin(\omega t - \pi/3)$

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

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

2/ Calculer φ_{i_1/i_2}, φ_{i_2/i_3} *et* φ_{i_1/i_3}.

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



---------- ► Origine des phases

La méthode des nombres complexes.

$\underline{I_1}$ = ……

$\underline{I_2}$ = ……

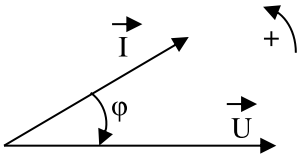
$\underline{I_3}$ = ……

Soit $i_3(t)$ = ……

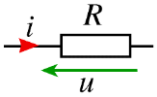
EXERCICE 7 : ***Loi d'Ohm en régime sinusoïdal***

On pose : $u(t) = U\sqrt{2}\sin\omega t$; $i(t) = I\sqrt{2}\sin(\omega t - \varphi)$ *et* $\varphi = (\vec{I}, \vec{U})$.

La loi d'ohm en valeur efficace s'exprime comme : $U = Z.I$



1) Résistor de résistance R



Sachant que la loi d'ohm en régime variable s'écrit : $u(t) = R.i(t)$.

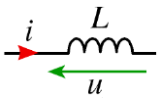
a/ *En exprimant cette loi et par identification déterminer l'impédance* Z_R *et* φ.

$u(t) = U\sqrt{2}\sin\omega t = R.i(t) = R\,I\sqrt{2}\sin(\omega t - \varphi)$ ↔ ……= ……

soit : $Z_R = \frac{U}{I} =$ …… *et* $\varphi =$ ……

b/ *Représenter les vecteurs de Fresnel de u(t) et i(t) :*

2) Bobine parfaite d'inductance ***L*** *(inductance s'exprime en* ***Henry H****)*



Sachant que la loi d'ohm en régime variable s'écrit :

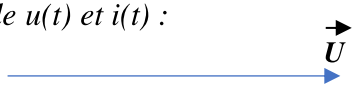
$$u(t) = L\frac{di(t)}{dt} = L(i)'$$

a/ *En exprimant cette loi et par identification déterminer l'impédance* $\mathbf{Z_L}$ *et* $\boldsymbol{\varphi}$.

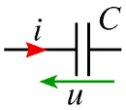
$u(t) = \mathbf{U}\sqrt{2}\sin \omega t = L.(i)' =$ ……

↔ …… *et* …… *Soit :* $Z_L = \frac{U}{I} =$ …… *et* $\varphi =$ ……

b/ *Représenter les vecteurs de Fresnel de u(t) et i(t) :*



3) Condensateur de capacité ***C*** *(capacité s'exprime en* ***Farad F****)*



Sachant que la loi d'ohm en régime variable s'écrit :

$$i(t) = C\frac{du(t)}{dt} = C(u)'$$

a/ *En exprimant cette loi et par identification déterminer l'impédance* $\mathbf{Z_C}$ *et* $\boldsymbol{\varphi}$.

$i(t) = \mathbf{I}\sqrt{2}\sin(\omega t - \varphi) = C.(u)' =$ ……

↔ …… *et* …… *Soit :* $Z_C = \frac{U}{I} =$ …… *et* $\varphi =$ ……

b/ *Représenter les vecteurs de Fresnel de u(t) et i(t) :*

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

Z = ……

EXERCICE 9 : *Au bornes d'une bobine d'inductance* ***L = 0,12 H*** *et de résistance* ***R = 12 Ω****, on applique une tension de valeur instantanée* ***u(t) = 170 sin (100πt).***

1) Déterminer pour cette tension :

a) *Sa fréquence* ***f*** = ……
b) *Sa période* ***T*** = ……
c) *Sa valeur efficace à l'unité près.* ***U*** = ……

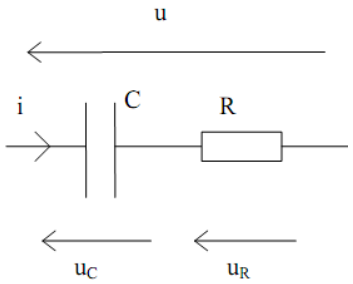
2) Déterminer (arrondir au centième) :

a) L'impédance de la bobine ***Z*** *= ……*

b) La valeur efficace de l'intensité du courant traversant la bobine ***I*** *= ……*

c) Le déphasage φ en radians entre la tension et l'intensité du courant. ***φ*** *= ……*

EXERCICE 10 : *On donne* ***U = 5 V, f = 10 kHz, R = 1 kΩ*** *et* ***C = 10 nF****.*



1/ *Calculer* ***Z, I, φ, U_R*** *et* ***U_C****.*

Z *= ……*

I = *……*

φ *= ……*

U_R *= ……*

U_C *= ……*

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

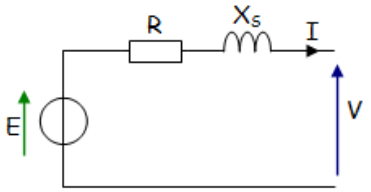
……

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

……

……

EXERCICE 11 :



Sachant que le modèle électrique d'un générateur est comme ci-après :

R = 0.5 Ω; X_S = 8 Ω; I = 5 A; V = 230 V; f = 50 Hz *et* ***φ = (I , V) = 30°****.*

1) Ecrire la loi de maille en déduire ***E = f (R, X_S, I et V)***

……

Déterminer, en utilisant la construction de Fresnel la valeur efficace de la f.é.m. ***E*** *(on négligera* ***R****) :*

Echelle : (1cm pour 23V)

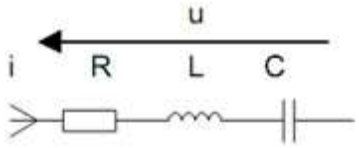
X_S .I = …….

V = ……

E = *……*

Origine des phases

EXERCICE 12 :



Sachant que : ***R = 440 Ω, C = 100 nF/63 V, L = 100 mH***
et ***U = 5 V*** *alternative de fréquence* ***1 KHz.***

1/ *Déterminer* ***Zeq***

……..

2/ *En déduire* $\varphi_{i/u}$.

……

EXERCICE 13 :

Une installation monophasée est alimentée par une source de tension ***U = 230 V - 50 Hz*** *comporte :*

- ***30*** *lampes de type* ***résistive*** *de* ***100W*** *chacune ;*
- ***2*** *moteurs de* ***2 kW*** *chacun, fonctionnant à pleine charge avec un facteur de puissance* $\cos \varphi_2 = 0{,}78$ *AR et un rendement* $\eta_2 = 0{,}80$.

Ces différents appareils fonctionnent simultanément.

1. *Calculer les puissances* P_{21} *active et* Q_{21} *réactive consommées par chaque moteur :*

……

……

2. *Quelles sont les puissances* ***P*** *active,* ***Q*** *réactive et* ***S*** *apparente consommées par l'installation ?*

	Puissance active (W)	*Puissance réactive (VAR)*	*Puissance apparente (VA)*
30 *lampes*	P_1 = ……..	Q_1 =…….	S_1 =……
2 *moteurs*	P_2 =…….	Q_2 =…….	S_2 =…….
Installation	***P*** =…….	***Q*** =…….	***S*** =……

3. *Quel est son facteur de puissance* $\cos \varphi$ *?*

……

4. *Quelle est l'intensité efficace* ***I*** *du courant dans un fil de ligne ?*

……

5. *Quelle est la capacité* ***C*** *du condensateur à placer en parallèle avec l'installation pour relever le facteur de puissance à* $\cos \varphi' = 0{,}93$ *?*

……

6. *Quelle est avec ce facteur de puissance, la nouvelle intensité* ***I'*** *de courant en ligne ?*

……

EXERCICE 14 :

Une installation, alimentée sous ***U= 230 V*** *efficace et de fréquence* ***f = 50 Hz****, comprend :*

- ***Récepteur 1*** *:* $P_1 = 1{,}2$ ***KW*** *;* ***Q1 = 2 KVAR*** *;*
- ***Récepteur 2*** *:* $P_2 = 2{,}5$ ***KW*** *;* ***Q2 = 1,8 KVAR*** *;*
- ***Récepteur 3*** *: Moteur asynchrone de puissance utile* $Pu_3 = 1{,}2$ ***kW*** *; de rendement* $\eta_3 = 80\%$ *et de facteur de puissance* $\cos \varphi_3 = 0{,}84$ *;*
- ***Récepteur 4*** *: Radiateur électrique (charge résistive) de puissance* $P_4 = 1{,}8$ ***KW*** *;*

***1-** Déterminer, lorsque tous les appareils sont sous tension la puissance active **P**, la puissance réactive **Q**, la puissance apparente **S** de cette installation. Compléter le tableau ci-dessous :*

	Puissance active (W)	*Puissance réactive (VAR)*	*Puissance apparente (VA)*
Récepteur 1	P_1 = ……	Q_1 =……	S_1 =……
Récepteur 2	P_2 =……	Q_2 =……	S_2 =……
Récepteur 3	P_3 =……	Q_3 =……	S_3 =……
Récepteur 4	P_4 =……	Q_4 =……	S_4 =……
Installation	**P** =……	**Q** =……	**S** =……

***2-** En déduire le facteur de puissance **cos φ** et l'intensité **I**.*

……

……

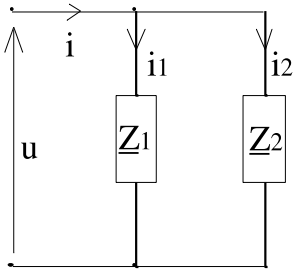
***3-** On désire relever le facteur de puissance à **cos φ' = 1**, déterminer la valeur de la puissance réactive **Qc** que doit fournir un condensateur placé en parallèle avec l'installation.*

……

***4-** En déduire la valeur de la capacité du condensteur.*

……

Activité 3 — *Exercices Régime monophasé*



***EXERCICE 1** : Le courant **i** à une valeur efficace de **I = 6 A** et il est en retard de **30°** par rapport à **u**. Le courant i_1 à une valeur efficace de I_1 **= 2,5 A** et il est en avance de **45°** 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 φ_2. (Valeur efficace et phase d'i_2) :*

Résultat :
I_2 = ….
φ = ……°

●----------► *Origine des phases*

$i_2(t)$ =……

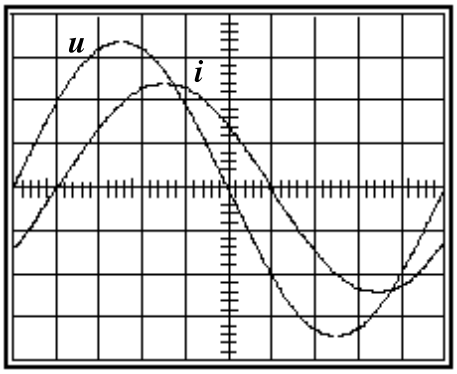
EXERCICE 2 : *On relève avec l'oscilloscope la tension aux bornes d'un dipôle (**10V/div**) et le courant qui le traverse (**0,5A/div**). Base de temps (**1ms/div**)*

***1/** Déterminer les valeurs maximales **Û**, **Î** et en déduire les valeurs efficaces **U** et **I**.*

Û = ……. **Î =** ……

U = …… *I =* …….

***2/** Déterminer le déphasage **φ** entre le courant **I** et la tension **U**.*



……

……

***3/** Préciser le signe du **φ** et la nature de dipôle (en cochant la bonne réponse)*

☐ *Si I est en retard sur U → **φ > 0*** ☐ *Si I est en avance sur U → **φ < 0***

☐ *Dipôle capacitif* ☐ *Dipôle inductif*

***4/** Déterminer l'impédance **Z** du circuit*

…….

***5/** 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 V- 50 Hz**.*

- ***Récepteur 1** : Moteur inductif de puissance utile **Pu_1 = 600 W**, de rendement **η_1 =0,75** et de facteur de puissance **cos φ_1 = 0,7**.*
- ***Récepteur 2** : Des lampes absorbant **P_2 = 500 W**.*

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

	Puissance active (W)	*Puissance réactive (VAR)*	*Puissance apparente (VA)*
Récepteur 1	P_1 = ……	Q_1 = ……	S_1 = ……
Récepteur 2	P_2 = ……	Q_2 = ……	S_2 = ……
Installation	**P** = ……	**Q** =……	**S** = ……

……

……

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

……

EXERCICE 4 : *Un atelier comporte 3 récepteurs en parallèle. Il est alimenté par le réseau :* **$U = 230V - 50Hz$**.

- ***Récepteur 1*** *: Moteur inductif de puissance utile* **$Pu_1 = 600W$**, *de rendement* **$\eta_1 = 0,75$** *et de facteur de puissance* **$\cos \varphi_1 = 0,8$**.
- ***Récepteur 2*** *: Récepteur capacitif (***$Q_2 < 0$***) d'impédance* **$Z_2 = 115\ \Omega$** *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* ***P*** *active,* ***Q*** *réactive et* ***S*** *apparente consommées par l'ensemble,*

	Puissance active (W)	*Puissance réactive (VAR)*	*Puissance apparente (VA)*
Récepteur 1	P_1 = ……	Q_1 = ……	S_1 = ……
Récepteur 2	P_2 = ……	Q_2 = ……	S_2 = ……
Récepteur 3	P_3 = …… = ……..	Q_3 = …… = ……	S_3 = ……
Installation	***P*** = ……	***Q*** =……	***S*** = ……

2/ *Calculer le courant total* ***I*** *et le facteur de puissance* ***cos φ***.

……

……

……

3/ *Calculer la capacité* ***C*** *du condensateur nécessaire pour relever le facteur de puissance de l'ensemble à* ***cos φ'***= *1.*

……

EXERCICE 5 : *Un moteur a une puissance utile* **$Pu = 2.2\ KW$** *et un rendement* **$\eta = 0.92$**. *Son facteur de puissance est* **$\cos \varphi = 0.75$**. *Calculer :*

1 *– ses puissances* ***P*** *active,* ***Q*** *réactive et* ***S*** *apparente,*

……

……

……

2 *– l'intensité* ***I*** *absorbée sous* ***230 V -50 Hz.***

……

On branche en dérivation sur son alimentation un condensateur de capacité **$C = 50\ \mu F$**. *Calculer :*

3 *– la puissance réactive* ***Qc*** *du condensateur,*

……

4 *– la nouvelle puissance réactive* ***Q'*** *de l'ensemble,*

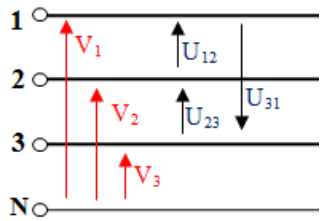
……

5 *– la nouvelle intensité* ***I'*** *absorbée.*

……

Résumé du cours

Réseau triphasé équilibré



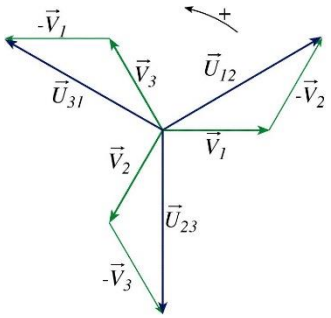
Les tensions V_1, V_2 *et* V_3 *entre phase et neutre sont appelés* ***tensions simples :***

$V_1 = V_2 = V_3 = V$

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

$U_{12} = U_{23} = U_{31} = U$

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



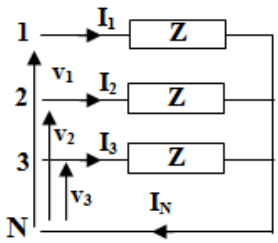
Récepteur triphasé équilibrés

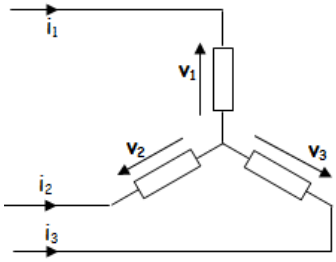
Montage étoile

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

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

$P = 3\,VI\cos\varphi = \sqrt{3}\,U\,I\cos\varphi$,
$Q = 3VI\sin\varphi = \sqrt{3}U\,I\sin\varphi$,
$S = 3\,V\,I = \sqrt{3}\,U\,I$.



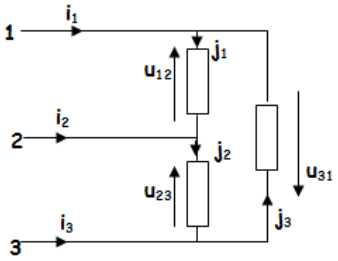


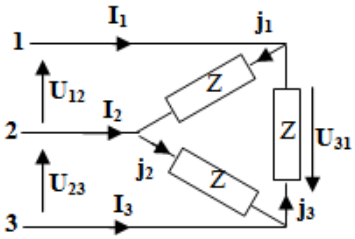
Montage triangle

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

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

$P = 3\,U\,j\cos\varphi = \sqrt{3}\,U\,I\cos\varphi$,
$Q = 3\,U\,J\sin\varphi = \sqrt{3}\,U\,I\sin\varphi$,
$S = 3\,U\,J = \sqrt{3}\,U\,I$.



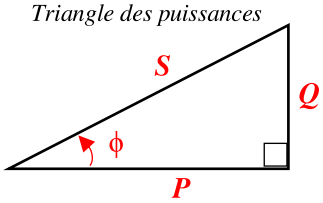


Les puissances

Quel que soit le couplage du récepteur :

- ***Puissance active :*** $P = \sqrt{3}.U.I.\cos\varphi$
- ***Puissance réactive :*** $Q = \sqrt{3}.U.I.\sin\varphi$
- ***Puissance apparente :*** $S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{3}.U.I$

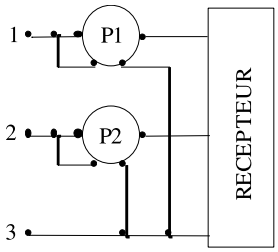
Triangle des puissances



Mesure de puissance : méthode des 2 wattmètres

$P_1 = U.\,I.\cos(\varphi - \pi/6)$
$P_2 = U.\,I.\cos(\varphi + \pi/6)$

Où $\begin{cases} P = P_1 + P_2 \\ Q = \sqrt{3}\,(P_1 - P_2) \end{cases}$



Relèvement du facteur de puissance cos φ

Calcul de capacités en triangle :

$$C_\Delta = \frac{P(\tan\varphi - \tan\varphi')}{3\omega U^2}$$

Calcul de capacités en étoile :

$$C_Y = \frac{P(\tan\varphi - \tan\varphi')}{3\omega V^2}$$

Couplage des moteurs triphasés

Couplage étoile (Y) *: Un moteur est couplé en* ***étoile*** *quand chacun de ses trois enroulements est soumis à la* ***tension simple*** *du réseau.*

Couplage triangle (Δ) *: Un moteur est couplé en* ***triangle*** *quand chacun de ses trois enroulements est soumis à la* ***tension composée*** *du réseau.*

Activité 4 — ***TD : système triphasé***

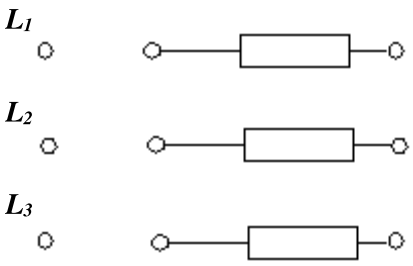
EXERCICE 1 : *Chaque élément chauffant d'un radiateur triphasé doit avoir **400 V** à ses bornes. Le réseau d'alimentation est de **230/400V-50 Hz**. La puissance absorbée par ce radiateur est de **P = 3 kW**.*

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 **I** dans chacun des fils de ligne.*



……

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

……

*5/ Calculer la puissance réactive **Q** 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 :

……

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

……

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

……

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

……

*5/ La puissance apparente **S.***

……

*6/ La puissance active absorbée **P**.*

……

*7/ La puissance réactive **Q**.*

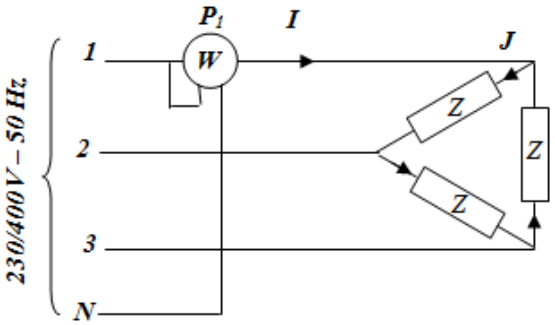
……

EXERCICE 3 : *Un récepteur triphasé équilibré est couplé en triangle et alimenté par un réseau 230/400V - 50 Hz. On mesure la puissance P_1 reçue pour une phase par ce récepteur.*

*1/ L'intensité efficace du courant dans une branche du triangle est **J = 2,78 A**. quels calibres d'intensités et de tension doit-on utiliser pour faire la mesure de P_1*

Les calibres du wattmètre sont :

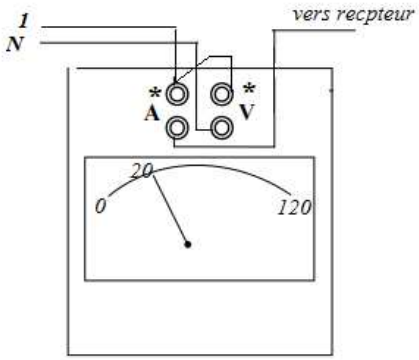
- *Le courant* ***: 1A ; 3A ; 10A ;***
- *La tension :* ***480V ; 240V ; 120V*** *et* ***60V.***



Choix du calibre de courant : ……..

Choix du calibre de tension : ……

2/ *Déviation du wattmètre est de* ***L = 20 divisions****, il en comporte* ***120*** *au total (échelle). En déduire la valeur de la puissance* P_1.



Calibre du wattmètre : ……

……

……

3/ *En déduire la puissance active* ***P*** *consommée par ce récepteur*

……

4/ *Quel est le facteur de puissance* ***cos φ*** *de ce récepteur ?*

……

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 kW ; Q = 45 KVAR.***

1/ Calculer le facteur de puissance ***cos φ*** *global de l'installation*

……

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

……

3/ La capacité ***C*** *de chacun des condensateurs, montés en triangle, permettant de relever le facteur de puissance à* ***cos φ' = 0,90***

……

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

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

……

2/ *Calculer le facteur de puissance* ***cos φ*** *du moteur.*

……

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

……

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

……

EXERCICE 6 : *Une installation triphasée alimentée sous une tension triphasée :* ***230V/400V - 50 Hz*** *comprend :*

- *Un ensemble de tubes fluorescents se comportant comme un récepteur inductif de facteur de puissance* $\cos \varphi_1 = 0,85$ *absorbant au total* $P_1 = 4$ **kW**.
- ***20*** *moteurs identiques triphasés, chacun de puissance utile* $Pu_2 = 0,6$ **kW** *et de rendement* $\eta_2 = 0,75$ *et de facteur de puissance* $\cos \varphi_2 = 0,8$.

1/ *Déterminer la puissance active* P_2 *des* ***20*** *moteurs*

……

2/ *Déterminer les puissances active* ***P****, réactive* ***Q*** *et apparente* ***S*** *de l'installation.*

……

……

……

3/ *Calculer l'intensité du courant en ligne* ***I*** *et le facteur de puissance* $\cos \varphi$.

……

……

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* ***C*** *de l'un des trois condensateurs à brancher en triangle sur la ligne pour relever le facteur de puissance à* $\cos \varphi' = 1$.

……

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

- *Moteur* M_1 *: puissance absorbée :* $P_1 = 3$ **kW** *; facteur de puissance* $\cos \varphi_1 = 0,8$ *;*
- *Moteur* M_2 *: puissance absorbée :* $P_2 = 2,1$ **kW** *; facteur de puissance* $\cos \varphi_2 = 0,75$ *;*
- *Moteur* M_3 *: puissance absorbée :* $P_3 = 3$ **kW** *; facteur de puissance* $\cos \varphi_3 = 0,86$.

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 =* ……	*Q =* ……

Soit : S = ……

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

$\cos \varphi =$ ……

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

I = ……

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_1 *et* P_2.

……

……

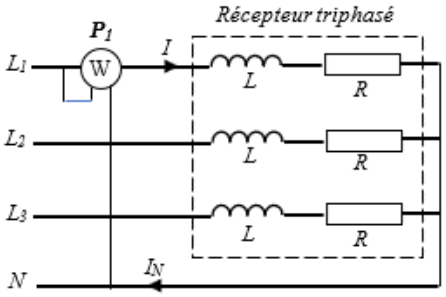
……

……

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 = ……

EXERCICE 8 : *Un récepteur triphasé est formé de trois bobines identiques. Chaque bobine est représentée par une inductance* **L = 0,10 H** *en série avec une résistance* **R = 40 Ω**. *Les trois éléments sont alimentés par un réseau triphasé équilibré* **230 V/400 V - 50 Hz**.



1/ Quel est le couplage des bobines ?

……

2/ Déterminer l'intensité du courant I_N *traversant le fil neutre.*

……

3/ Déterminer la valeur efficace de la tension aux bornes d'une des trois bobines

……

4/ Calculer l'impédance **Z** *d'une bobine.*

……

5/ Calculer le déphasage φ *de l'intensité* **I** *par rapport à la tension* **V** *d'une bobine.*

……

La puissance indiquée par le wattmètre sur le montage est P_1. *On prend pour valeur efficace de l'intensité traversant une bobine* **I = 4,52 A** *et un déphasage de* **38°**. *Calculer pour le récepteur triphasé :*

6/ le facteur de puissance

……

*7/ la puissance apparente **S***

……

*8/ la puissance active **P***

……

*9/ la puissance réactive **Q***

……

10/ Donner l'indication P_1 du wattmètre.

……

*11/ On veut relever le facteur de puissance du système à **cos φ' = 0,95**. Pour cela, on couple en triangle trois condensateurs identiques **C**. Quelle est la nouvelle valeur **Q'** de la puissance réactive de l'ensemble "installation + condensateurs " ?*

……

12/ En déduire la capacité d'un des condensateurs

……

EXERCICE 9 : *On lit sur la plaque signalétique d'un moteur ci-dessous :*

MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE
50 Hz; 380V/660 V; I_Δ = 5.9 A; I_Y = 3.4 A
cos φ_N = 0,85; η_N = 0,90
P_N = 3,0 kW; n_N = 1440 tr/min

*On dispose d'un réseau : **220 V/ 380 V ; 50 Hz**.*

1. *Que signifient ces indications concernant le réseau d'alimentation ?*

……

……

2. *Que doit être le couplage du moteur pour branchement sur le réseau disponible ?*

……

3. *Quelle sera alors l'intensité du courant en ligne appelé en régime nominal ?*

……

4. *Quelle est la puissance active absorbée ?*

……

5. *Quelle est la fréquence de rotation, en **tr/min**, au régime nominal ?*

……

EXERCICE 10 : *Une installation triphasée équilibrée est alimentée par un réseau triphasé équilibré délivrant des tensions entre phases de valeur efficace **U = 400 V** et de fréquence **50 Hz**.*

1- Représenter le schéma permettant la mesure de la puissance active absorbée par la méthode des deux wattmètres.

2- *Lorsque l'installation fonctionne à vide, on relève les indications suivantes :* $P_1 = +1500$ **W** *pour le premier wattmètre et* $P_2 = -500$ **W** *pour le second wattmètre. Calculer la puissance active absorbée par l'installation.*

……

3- *En charge, l'installation absorbe une puissance active* **P = 5 kW**, *avec un facteur de puissance* $\cos\varphi = 0{,}7$ *inductif.*

a. *Calculer la valeur efficace de l'intensité des courants en ligne appelés par l'installation.*

……

b. *Calculer la puissance réactive absorbée par l'installation.*

……

4- *Pour la même installation, on veut relever le facteur de puissance de l'installation à* $\cos\varphi' = 0.96$ *à l'aide de trois condensateurs montés en triangle.*

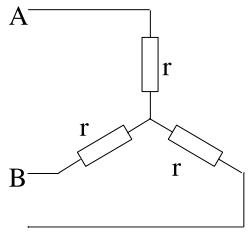
a. *Calculer la capacité C de chacun des condensateurs.*

……

b. *Calculer alors la nouvelle valeur efficace de l'intensité des courants en ligne.*

……

EXERCICE 11 : *Pertes joules dans un enroulement triphasé*



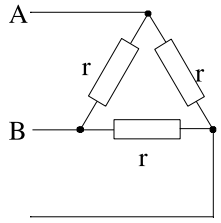
1. *Exprimer* R_{AB} *en fonction de* **r** *:*

……

2. *Exprimer les pertes joules* **Pj** *en fonction de* **r** *et* **I** *puis en fonction de* R_{AB} *et* **I**.

……

……



1. *Exprimer* R_{AB} *en fonction de* **r** *:*

……

2. *Exprimer les pertes joules* **Pj** *en fonction de* **r** *et* **I** *puis en fonction de* R_{AB} *et* **I**.

……

……

3. *Comparer les expressions et conclure :*

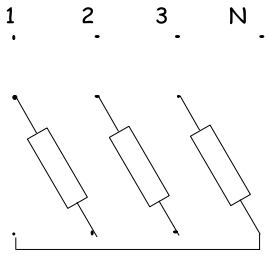
……

EXERCICE 12 : *On branche sur le réseau* **220/380 V- 50 Hz** *trois récepteurs monophasés identiques inductifs (bobines) d'impédance* $Z = 50\ \Omega$ *et de facteur de puissance* $\cos\varphi = 0{,}8$.

1. *Les impédances sont couplées en étoile sur le réseau.*

a. *Compléter le schéma de câblage ci-contre.*

b. *Calculer les courants en ligne* **I** *et les puissances* P_Y *active et* Q_Y *réactive.*



……

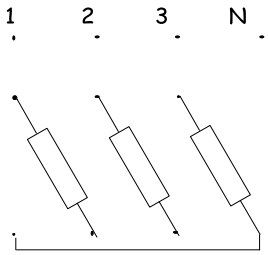
……

……

2. *Les impédances sont couplées en triangle sur le réseau.*

a. *Compléter le schéma de câblage ci-contre.*

b. *Calculer les courants en ligne* ***I*** *et les puissances* $\boldsymbol{P_\Delta}$ *active et* $\boldsymbol{Q_\Delta}$ *réactive.*



……

……

……

c. *Calculer le rapport des puissances actives :* $\boldsymbol{P_\Delta / P_Y}$ *et conclure.*

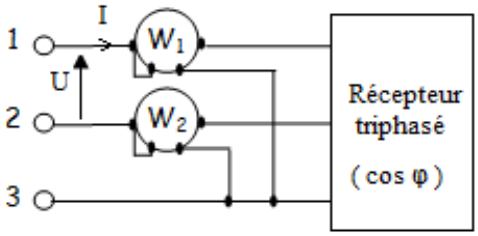
……

……

……

EXERCICE 13 : *Méthode des deux wattmètres*

- *Le wattmètre* W_1 *indique la puissance* P_{13}
- *Le wattmètre* W_2 *indique la puissance* P_{23}

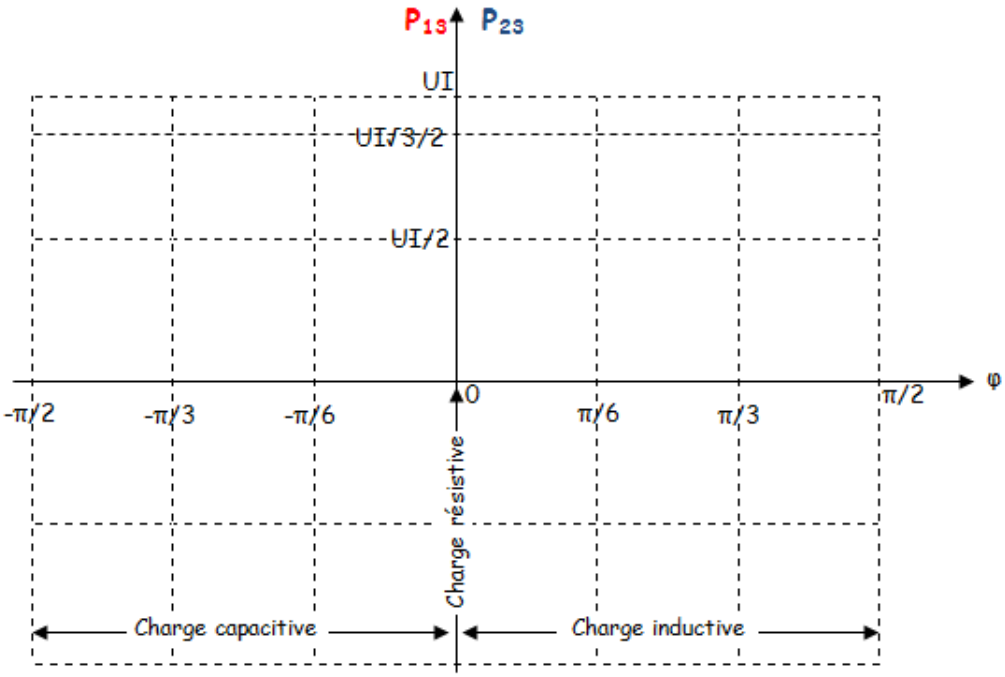


1/ Donner les expressions de P_{13} *et* P_{23} *en fonction de U, I et* φ *:*

……

……

2/ Tracer l'évolution de $\boldsymbol{P_{13}}$ *et* $\boldsymbol{P_{23}}$ *en fonction de* $\boldsymbol{\varphi}$ *sur le graphe ci-dessous :*



3/ Conclure en comparant P_{13} *et* P_{23} *pour chaque type de charge :*

- *Charge résistive* ($\varphi = 0$) → P_{13} …… P_{23}
- *Charge inductive* ($0 < \varphi \leq \pi/2$) → P_{13} …… P_{23} *et* P_{23} *peut être* ……..
- *Charge capacitive* ($-\pi/2 \leq \varphi < 0$) → P_{13} …… P_{23} *et* P_{13} *peut être* ……..

Activité 5

TP1 : Mesure de puissance en triphasé

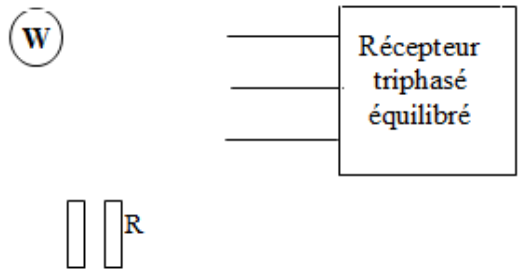
*Le réseau **230/400V**, **50 Hz** permet d'alimenter un moteur asynchrone **230V/400V** à vide supposé parfaitement équilibré. On dispose d'un **ampèremètre**, d'un **voltmètre** et d'un **wattmètre**.*

***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.

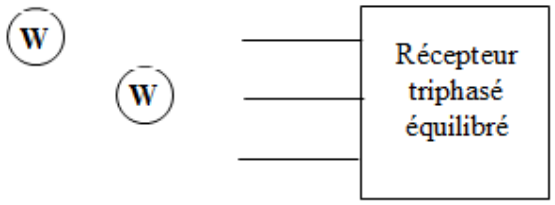


b- Mesurer P1, que représente cette valeur ? Déduire P de la charge triphasée

……

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 φ** :*

***P** = ……*

***Q** = ……*

***cos φ** = ……*

3. Comparer et conclure

……

……

Résumé du cours

Constitution du réseau national :

Le réseau national est constitué de nombreuses centrales interconnectées entre elles pour assurer une bonne continuité de service et une grande stabilité de réseau.

Intérêt d'utiliser la Haute Tension pour le transport :

L'avantage d'utiliser la Haute Tension est d'abaisser le courant en ligne et donc de diminuer les pertes par effet Joule et la section des conducteurs.

Postes HTA/BT :

L'utilisation de la haute tension nécessite de créer des postes HTA dans lesquels sont raccordées les arrivées HT et les sorties en BT.

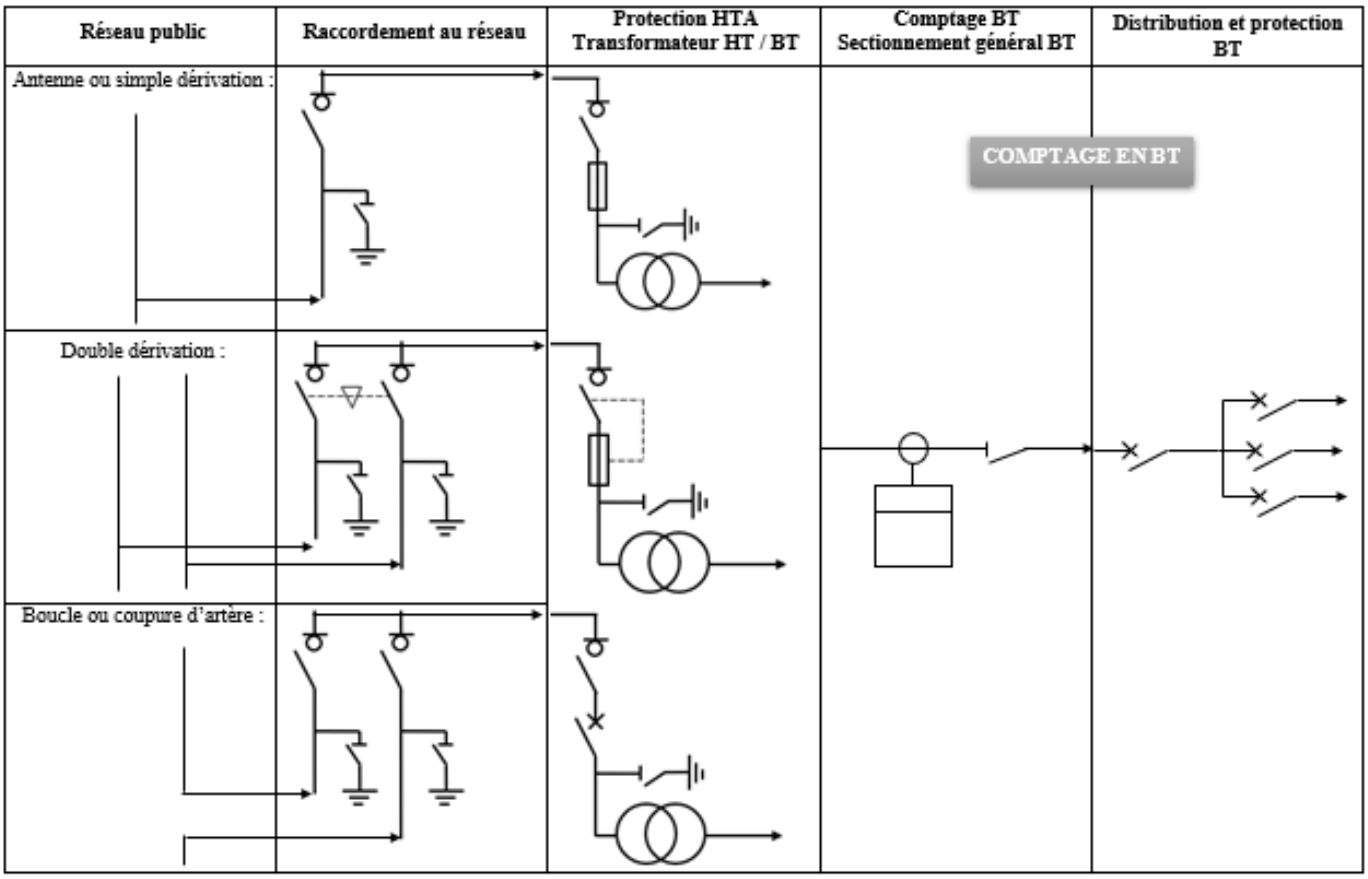
Ces postes se décomposent en 3 parties :

- ***Les cellules d'arrivée*** *qui dépendent de la nature de l'alimentation (antenne, boucle ou double dérivation).*
- ***Les cellules de comptage****, dans le cas de* ***comptage en HT****.*
- ***Les cellules protection transformateurs****.*
- ***Les cellules de départ*** *ou cellules particulières (contacteur, commande de condensateurs, ...)*

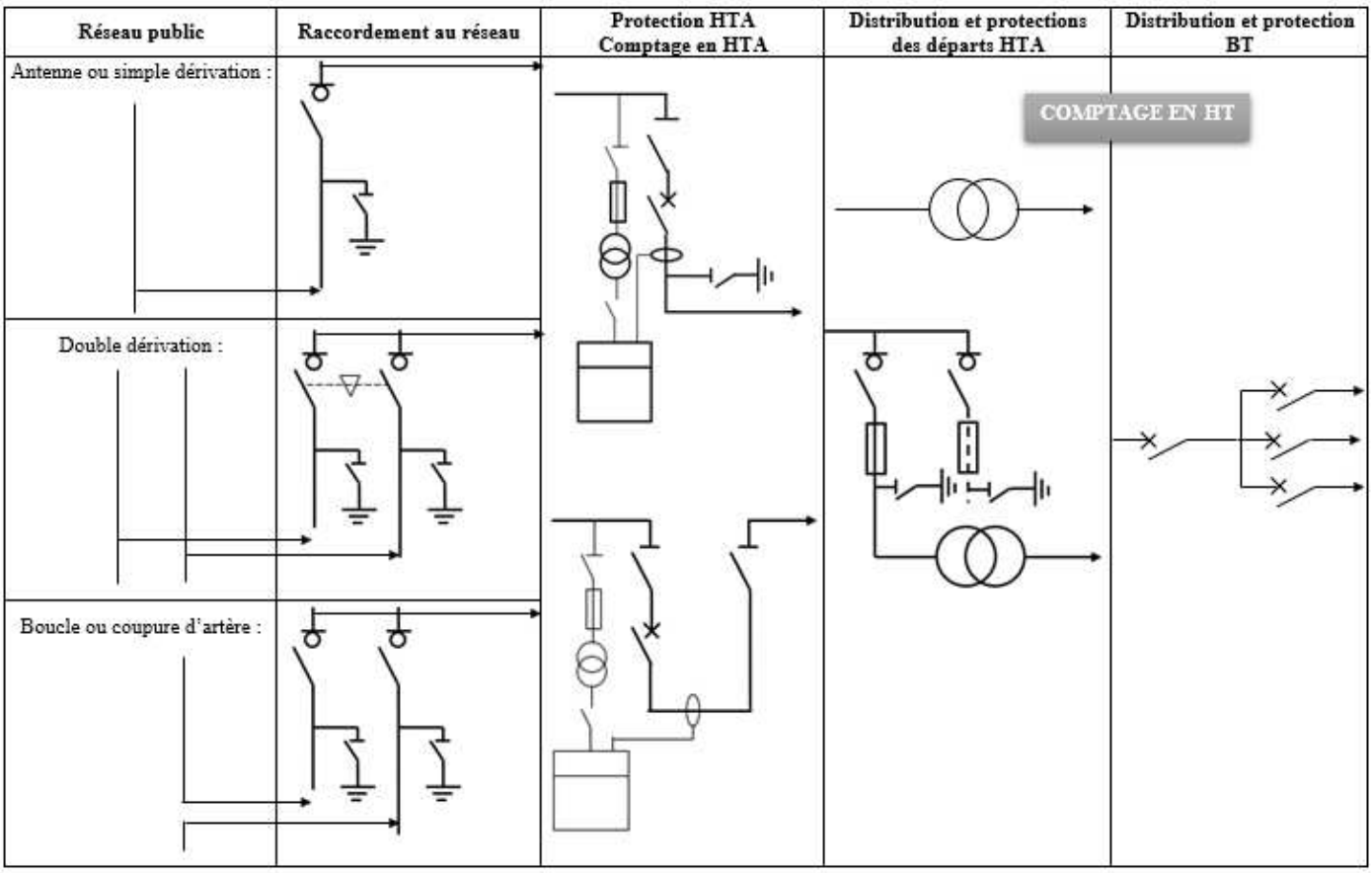
Structure des postes

Vous trouvez ci-dessous la structure de ces postes (comptage BT ou HT) avec les 3 arrivées possibles.

Structure des postes (comptage BT) avec les 3 arrivées possibles



Structure des postes (comptage HT) avec les 3 arrivées possibles



Activité 6 — ***TD : Réseau électrique 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			

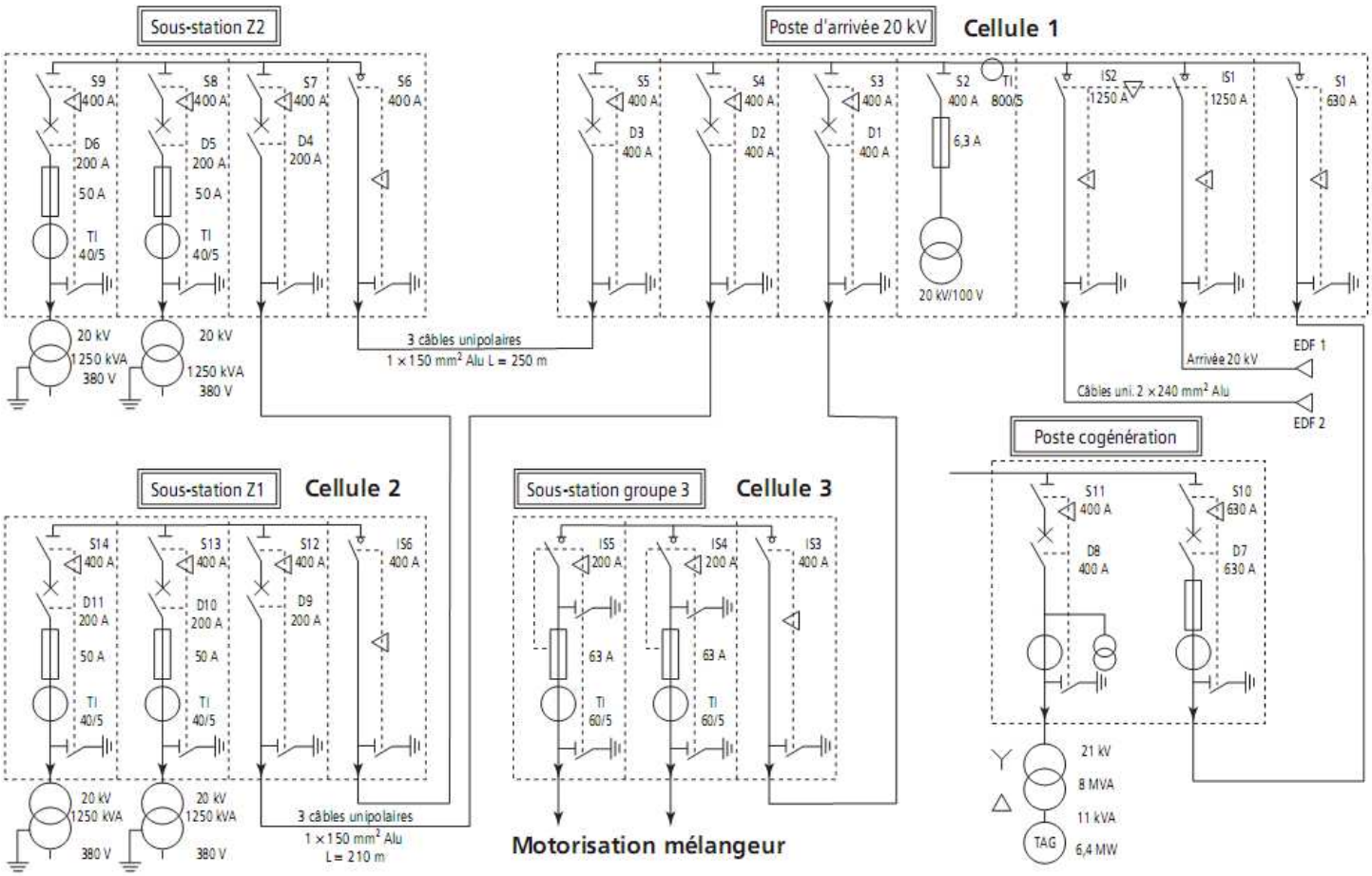
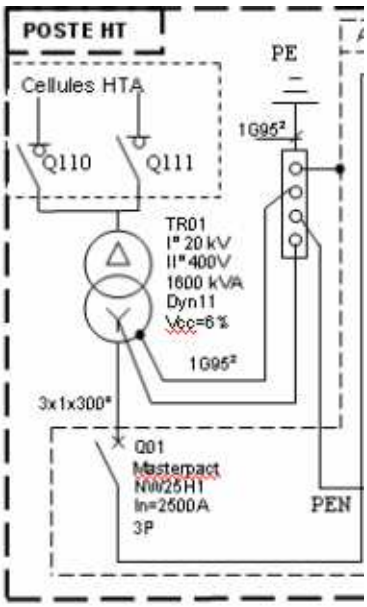


Fig1 : Schéma général de la distribution électrique HTA/BT

EXERCICE 2 : *(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≤……

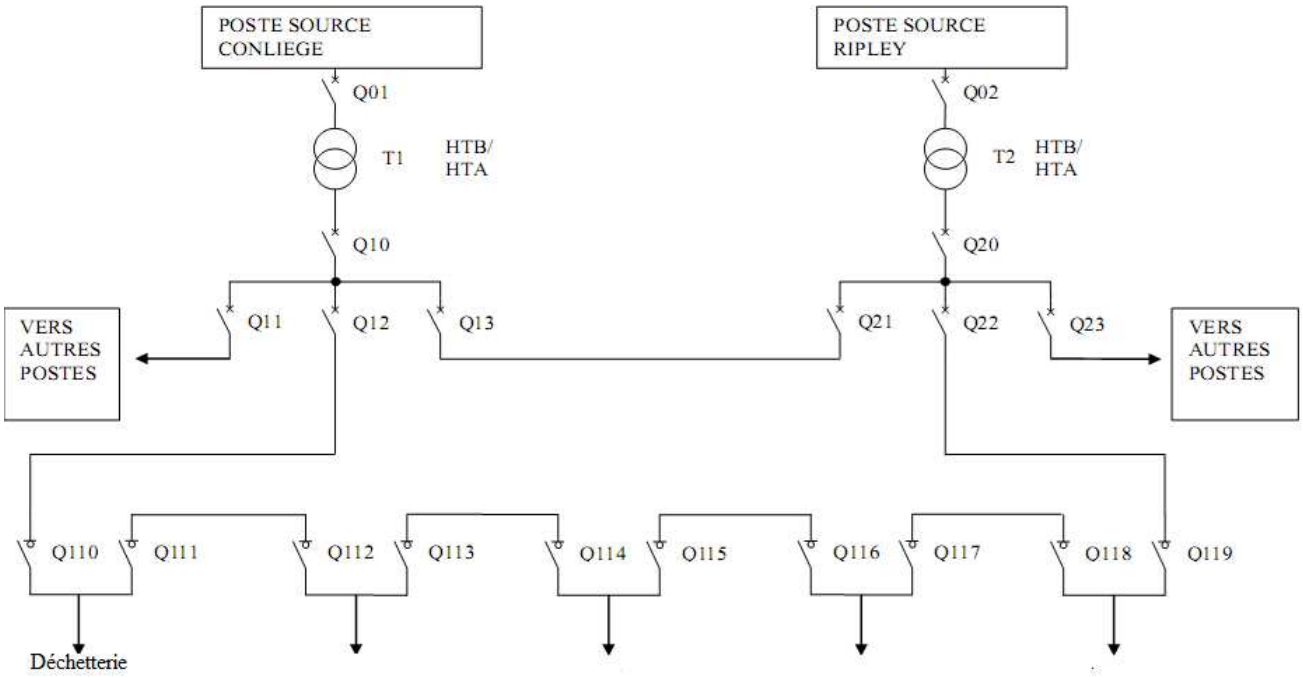
……..<HTB

3/ *En fonctionnement normal, les appareils sont dans les positions données dans le tableau 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.

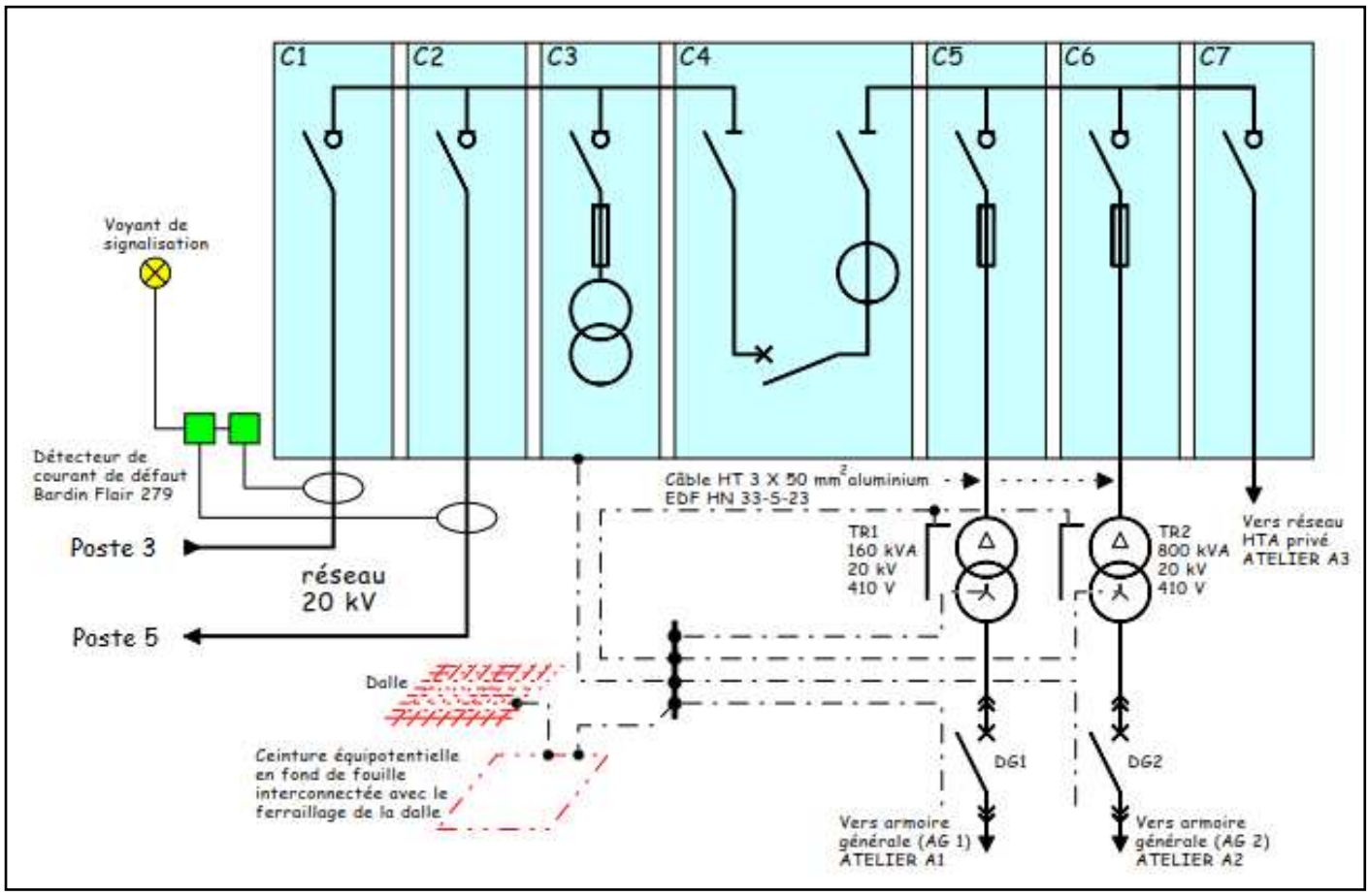
	Q10	Q12	Q13	Q20	Q21	Q22	Q110	Q111	Q112	Q113	Q114	Q115	Q116	Q117	Q118	Q119
normal	**1**	**1**	**1**	**0**	**1**	**1**	**1**	**1**	**1**	**1**	**1**	**0**	**0**	**1**	**1**	**1**
défaut																



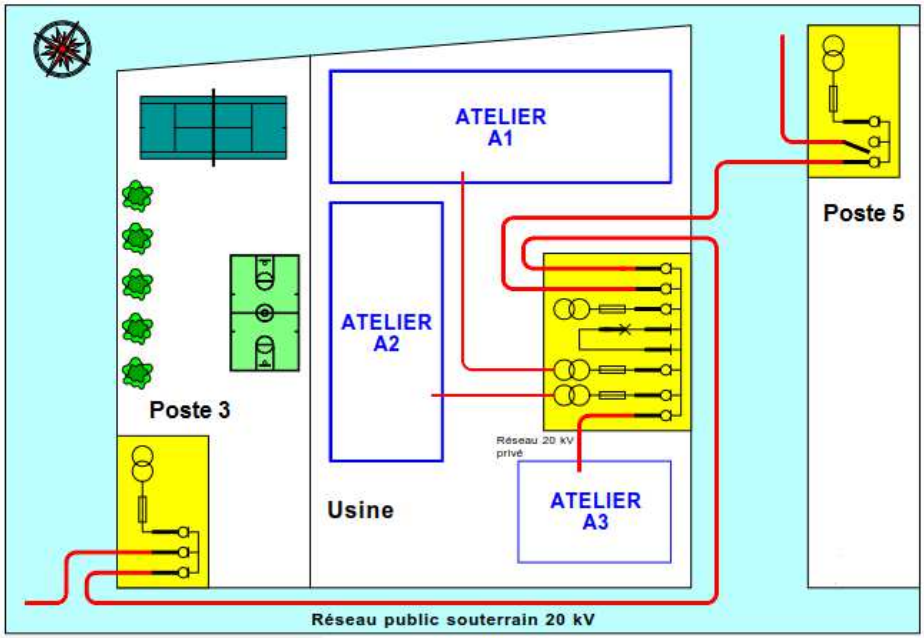
EXERCICE 3 : Etude de la distribution HTA/BTA d'une usine de fabrication de tuyaux en PVC

Les unités de production de cette usine comprennent 60 presses à injecter allant de 35 à 240 tonnes pour les plus importantes.

Le poste de livraison à comptage HT de cette usine (figure ci-dessous) est une installation électrique raccordée au réseau de distribution publique sous une tension nominale de ***20 kV****. Ce poste comprend* ***deux*** *transformateurs HTA/BTA et un départ HTA privé. Le courant assigné de l'équipement moyenne tension du poste est inférieur à* ***400 A****.*

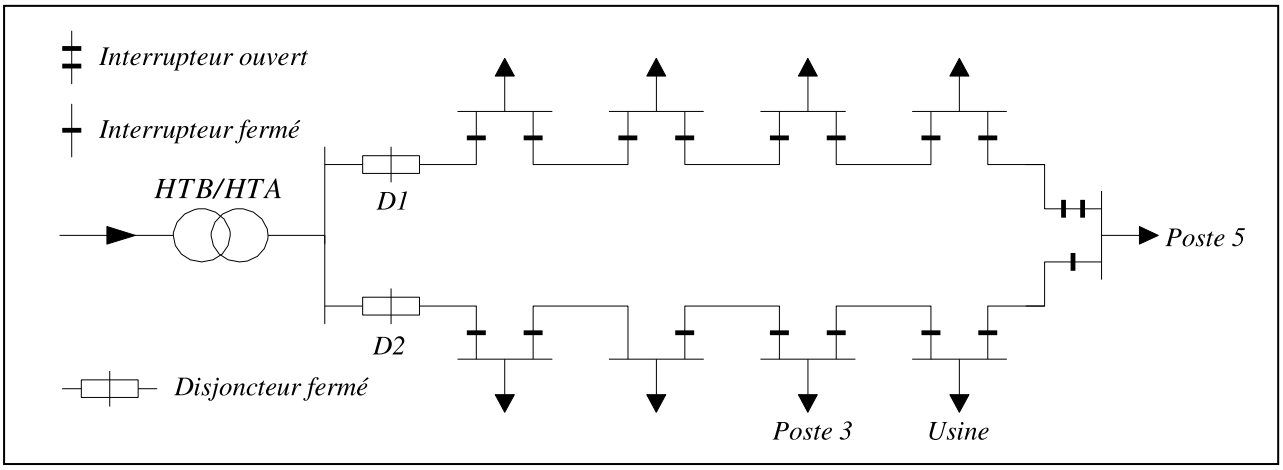


Poste de livraison de l'usine – Schéma unifilaire HTA/BTA



Poste de livraison de l'usine – Schéma de situation

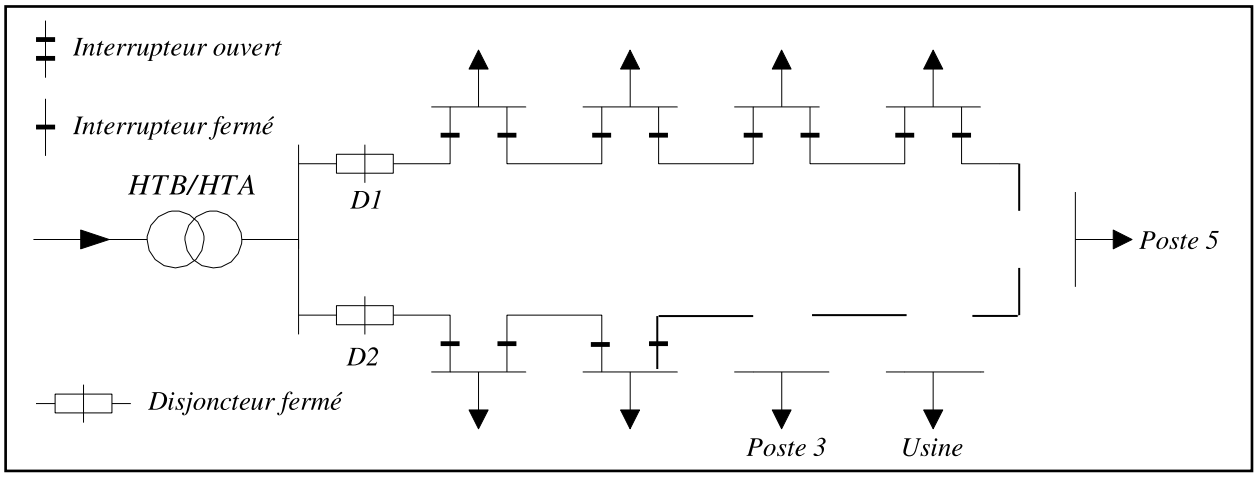
*L'usine est desservie en tension de **20 kV** selon la structure ci-dessous :*



1. *Préciser le type de cette structure :*

……

2. *Un défaut (sectionnement du câble souterrain dû à un engin mécanique de terrassement) se produit entre les postes de livraison 3 et de l'usine. Sur le schéma ci-dessous, on demande :*
   - ***a)*** *D'indiquer par une croix l'emplacement du défaut.*
   - ***b)*** *De compléter (figure ci-dessous) le détail des postes de livraison manquant en respectant la symbolisation afin :*
     - *D'isoler le tronçon défectueux ;*
     - *D'assurer l'apport en énergie pour l'ensemble des clients.*



3. *Le poste de livraison de l'usine est constitué de cellules modulaires de la gamme* ***SM6*** *de chez Schneider. A l'aide des documents ressources* ***DRES 1***, ***DRES 2*** *et* ***DRES 3***, *compléter le tableau de la page suivante.*

	CELLULES			
Caractéristiques	*C1 ou C2 ou C7*	*C3*	*C4*	*C5 ou C6*
Type				
Fonction				
Tension assignée (kV 50/60 Hz)				
Courant assigné de la cellule Ia (A)				
Courant de courte durée maximal admissible (kAeff – 1s)				

4. *A l'aide du document technique DRES 1, compléter la désignation ci-dessous relative à la cellule* ***C6****:*

Cellule ***SM6*** *: …….*

5. *Etude de la cellule* ***C5*** *(cellule de protection du transformateur* ***TR1****)*

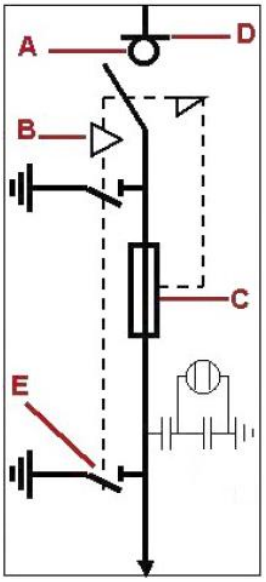
a) *A l'aide du document* ***DRES 4***, *préciser le calibre des fusibles* ***HTA*** *Soléfuse destinés à assurer la protection du transformateur* ***TR1*** *(côté primaire).*

…….

b) *Indiquer la référence exacte de ces trois fusibles HTA avec percuteur (Document* ***DRES 4****).*

…….

c) *Aspect technologique : choisir le symbole graphique se rapportant à chaque désignation.*



Sectionneur

☐ A ☐ B ☐ C ☐ D ☐ E

Fusible

☐ A ☐ B ☐ C ☐ D ☐ E

Verrouillage mécanique

☐ A ☐ B ☐ C ☐ D ☐ E

Interrupteur

☐ A ☐ B ☐ C ☐ D ☐ E

Sectionneur de mise à la terre

☐ A ☐ B ☐ C ☐ D ☐ E

Des cellules pour toutes les fonctions

Application

La **gamme SM6** est composée d'unités fonctionnelles utilisées **jusqu'à 24 kV** pour la réalisation des tableaux MT :

- Des postes MT/BT de **distribution publique**
- Des postes MT de **livraison** ou de **répartition** mixtes ou privés.

Cette gamme est constituée de **cellules modulaires** à pas réduit, équipées d'appareillage à coupure dans le SF6 :

- Interrupteur-sectionneur
- Disjoncteur Fluarc SF6
- Contacteur Rollarc
- Sectionneur.

Conçues pour des installations intérieures, les cellules SM6 bénéficient de **dimensions réduites** :

- Largeurs 375 mm à 750mm
- Hauteur 1600 mm
- Profondeur au sol 840 mm

Au-delà de ses performances techniques, la gamme SM6 satisfait aux exigences imposées par la protection des personnes et la sécurité des matériels.

Normes

Les cellules de la gamme SM6 répondent aux recommandations, normes et spécifications suivantes :

- Recommandations **IEC 298, 265, 129, 64, 420, 56.**
- Normes **UTE NF C13-100, C13-200, C64-130, C64-160**.
- specifications **EDF HN 64-S-41, 64-S-43**.

Désignation d'une cellule

Les cellules SM6 sont identifiées par un symbole indiquant :

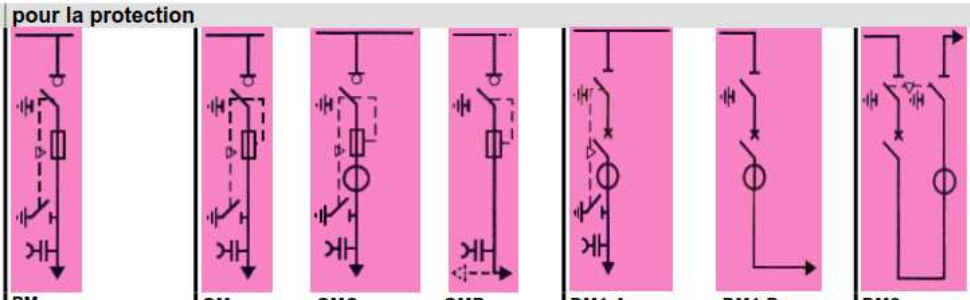
- **Le type** (IM ; QM ; DM1 ; CM ; DM2 ; …)
- **Le courant assigné** de l'appareil (400 ou 630 A)
- **La tension assignée** (7,2 ; 12 ; 17,5 ; 24 kV)
- **Le courant de courte durée** maximal admissible (12,5 ; 16 ; 20 ; 25 kAeff - 1s)

Exemple

Cellule SM6 : **IM 400 - 24 - 12,5**

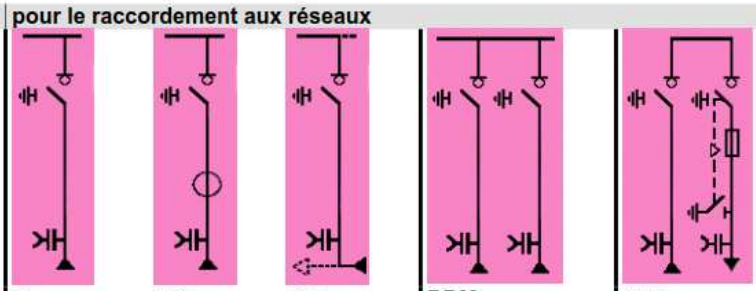
- **IM** désigne une cellule "arrivée" ou "départ" par interrupteur sans TC.
- **400** désigne le courant assigné (400 A)
- **24** désigne la tension assignée (24 kV)
- **12,5** désigne le courant de courte durée maximal admissible (12,5 kAeff - 1s)

cellule SM6 — pour la protection

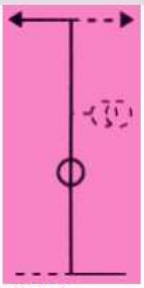
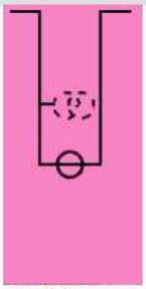


Type Largeur (mm)		**PM** 375				**QM** 375			**QMC** 625	**QMB** 375	**DM1-A** 750			**DM1-D** 750	**DM2** 750			
fonction		Interrupteur fusibles associés				Combiné interrupteur fusibles (sans TC)			Combiné interrupteur fusibles (avec TC)	Combiné interrupteur fusibles (départ droite ou gauche)	Disjoncteur simple sectionnement			Disjoncteur simple sectionnement (départ droite ou gauche)	Disjoncteur double sectionnement (départ droite ou gauche)			
Tension assignée (kV 50/60 Hz)		**7,2**	**12**	**17,5**	**24**	**7,2**	**12**	**17,5**	**24**		**7,2**	**12**	**17,5**	**24**	**7,2**	**12**	**17,5**	**24**
Niveau d'isolement																		
kVeff – 1min	isolement	20	28	38	50	20	28	38	50		20	28	38	50	20	28	38	50
	sectionnement	23	32	45	60	23	32	45	60		23	32	45	60	23	32	45	60
kV choc 1,2/50µs	isolement	60	75	95	125	60	75	95	125		60	75	95	125	60	75	95	125
	sectionnement	70	85	110	145	70	85	110	145		70	85	110	145	70	85	110	145
Calibre du jeu de barre (A)	400	■	■	■	■	■	■	■	■		■	■	■	■	■	■	■	■
	630	■	■	■	■	■	■	■	■		■	■	■	■	■	■	■	■
	1250	■	■	■	■	■(3)	■(3)	■(3)	■(3)									
Courant assigné de la cellule la (A)	50																	
	200	■	■	■	■	■	■	■	■									
	250																	
	400										■	■	■	■	■	■	■	■
	630										■	■	■	■	■	■	■	■
	1250										■	■	■	■				
Courant de courte durée maximal Admissible Ith (kAeff – 1s) Pour la (A)	50																	
	200	25	25	20	20	25	25	20	20									
	250																	
	400										12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5
	630										25	20	20		25	20	20	16
	1250										25	25	20	20				
Pouvoir de coupure maximal de l'appareil	en réseau (kAeff)	25	25	20	20	25	25	20	20		25	25	20	20	25	25	20	20
	de transfo à vide (A)	16	16	16	16	16	16	16	16		16	16	16	16	16	16	16	16
	de câbles à vide (A)	25	25	25	25	25	25	25	25		25	25	25	25	25	25	25	25
Pouvoir de fermeture de l'appareil	en réseau (kAeff)	62,5	62,5	50	50	62,5	62,5	50	50		2,5 Ith				50	50	50	40
	de transfo à vide (A)	40	40	40	40	40	40	40	40		40	40	40	40	40	40	40	40
	de câbles à vide (A)	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5		62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5

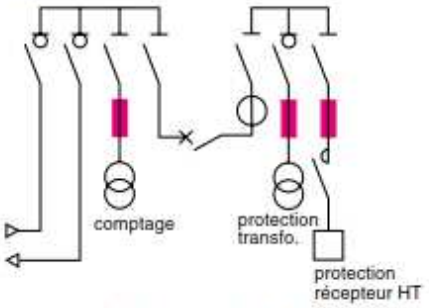
cellule SM6 — pour le raccordement aux réseaux



Type Largeur (mm)		**IM** 375			**IMC** 500	**IMB** 375	**DDM** 750	**APM** 750
fonction		Arrivée ou départ (sans TC)			Arrivée ou départ (avec TC)	départ (droite ou gauche)	Arrivée en double dérivation (spécif. EDF)	Arrivée en antenne
Tension assignée (kV 50/60 Hz)		**7,2**	**12**	**17,5**	**24**		**24**	**24**
Niveau d'isolement								
kVeff – 1min	isolement	20	28	38	50		50	38
	sectionnement	23	32	45	60		60	45
kV choc 1,2/50µs	isolement	60	75	95	125		125	95
	sectionnement	70	85	110	145		145	110
Calibre du jeu de barre (A)	400	■	■	■	■		■	■
	630	■	■	■	■		■	■
	1250	■(3)	■(3)	■(3)	■(3)			
Courant assigné de la cellule la (A)	50							
	200							■
	250							
	400	■	■	■	■		■	
	630	■	■	■	■			
	1250							
Courant de courte durée maximal Admissible Ith (kAeff – 1s) Pour la (A)	50							12,5
	200							
	250							
	400	12,5	12,5	12,5	12,5		12,5	
	630	25	25	20	20			
	1250							
Pouvoir de coupure maximal de l'appareil	en réseau (kAeff)	0,63	0,63	0,63	0,63		0,63	12,5
	de transfo à vide (A)	16	16	16	16		16	16
	de câbles à vide (A)	25	25	25	25		25	25
Pouvoir de fermeture de l'appareil	en réseau (kAeff)	2,5 Ith					1,6	31,5
	de transfo à vide (A)	40	40	40	40		40	40
	de câbles à vide (A)	62,5	62,5	62,5	62,5		62,5	

cellule SM6			**pour le COMPTAGE MT**							
										
	Type		**CM**		**CM2**		**GBC-A**		**GBC-B**	
	Largeur (mm)		375		500		750		750	
	fonction		**Transfo de tension** (réseau à neutre à la terre).)		**Transfo de tension** (réseau à neutre isolé)		**Mesure de courant et/ou de tension** (départ à droite ou à gauche)		**Mesure de courant et/ou de tension**	
Tension assignée (kV 50/60 Hz)			**7,2**	**12**	**17,5**	**24**	**7,2**	**12**	**17,5**	**24**
Niveau d'isolement										
kVeff – 1min	isolement		20	28	20	28	38	50	20	28
	sectionnement		23	32	23	32	45	60	23	32
kV choc 1,2/50µs	isolement		60	75	60	75	95	125	60	75
	sectionnement		70	85	70	85	110	145	70	85
Calibre du jeu de barre (A)		400	■	■	■	■	■	■	■	■
		630	■	■	■	■	■	■	■	■
		1250	■	■	■	■	■	■	■	■
Courant assigné de la cellule Ia (A)		50	■	■	■	■				
		200								
		250								
		400					■	■	■	■
		630					■	■	■	■
		1250					■	■	■	■
Courant de courte durée maximal Admissible Ith (kAeff – 1s)	Pour Ia (A)	50	25	25	20	20				
		200								
		250								
		400					12,5	12,5	12,5	12,5
		630					25	25	20	20
		1250					25	25	20	20
Pouvoir de coupure maximal de l'appareil	en réseau (kAeff)									
	de transfo à vide (A)									
	de câbles à vide (A)									
Pouvoir de fermeture de l'appareil	en réseau (kAeff)									
	de transfo à vide (A)									
	de câbles à vide (A)									

Choix des Fusibles HTA Soléfuse



Exemple d'installation avec comptage HTA, conforme à la norme UTE C13-100

Présentation

Les Soléfuse sont des fusibles à haut pouvoir de coupure, limiteurs de courant, utilisés sur les réseaux HTA 7,2 à 32 kV.
Ils sont destinés à réaliser la protection :
- des transformateurs
- des réseaux de distribution
- des récepteurs haute tension contre les défauts importants pouvant survenir, soit :
  - sur les circuits HTA
  - sur les circuits BT, en cas de défaillance de protection BT ou d'incident en amont de ces protections.

Prévus pour une utilisation en intérieur, ils sont ou non munis d'un percuteur servant d'indicateur de fusion.

Description

Les fusibles Soléfuse comportent :
- une enveloppe en composite (tissu de verre imprégné) évitant, grâce à son excellente tenue, tout risque de fragmentation lors de la coupure ou de la manutention
- des éléments fusibles (ruban d'argent pur)
- un garnissage de sable de silice
- un percuteur fourni en option.

L'optimisation de leur conception apporte un progrès important dans la protection des installations par :
- d'excellentes caractéristiques de fusion du ruban d'argent pur
- la parfaite extinction de l'arc obtenu par le fort pouvoir d'absorption thermique du sable de silice
- le montage de l'élément fusible soudé sur les calottes d'extrémités et l'homogénéité du garnissage de sable de silice.

Normes

Les fusibles Soléfuse répondent aux exigences des normes internationales suivantes :
- CEI 282-1 787
- UTE C 64-200, C 64-210
- les essais de vieillissement des fusibles sont effectués suivant la norme CEI 644.

Caractéristiques électriques

Les fusibles Soléfuse répondent intégralement à la norme UTE C 64-210 qui fixe notamment le niveau de surtension à :
- 75 kV crête pour Un = 24 kV, et
- 38 kV crête pour Un = 12 kV.

Calibres (A) et références des fusibles (1)

Référence du fusible

tension nominale (kV)	tension de service (kV)	calibre (A)	pouvoir de coupure (kA eff.)	$I^2 \times t$ max. (A^2s)	réf. sans percuteur	réf. avec percuteur
7,2	≤ 6,6	16	50	3×10^4		**55810**
		31,5	50	7×10^4		**55812**
		63	50	2×10^5		**55814**
		125	50	7×10^5		**55818**
12	10-11	100	50	5×10^5		**55834**
17,5	13,8-15	80	40	$3,6 \times 10^5$		**55838**
24	20-22	6,3	30	7×10^3	**55840**	**55850**
		16	30	3×10^4	**55842**	**55852**
		31,5	30	7×10^4	**55844**	**55854**
		43	30	10^5	**55846**	**55856**
		63	30	2×10^5	**55848**	**55858**
36	30-33	6,3	20	7×10^3		**55866**
		16	20	3×10^4		**55868**
		31,5	20	7×10^4		**55870**

(1) Autres calibres : nous consulter.

Fusibles Soléfuse/ norme UTE pour protection transformateur (calibre en A)

Choix du calibre fusible

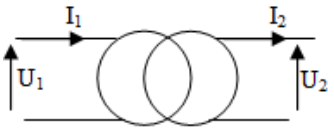
Tension de service (kV)	Tension nominale (kV)	Puissance transformateur (kVA)														
		25	50	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600
3	7,2	16	16	31,5	63	63	63	80	100	100	125					
3,3	7,2	16	16	31,5	31,5	63	63	80	80	100	125					
4,16	7,2	6,3	16	31,5	31,5	31,5	63	63	80	80	100	125				
5,5	7,2	6,3	16	16	31,5	31,5	31,5	63	63	63	80	100	125			
6	7,2	6,3	16	16	31,5	31,5	31,5	63	63	63	80	100	100	125		
6,6	7,2	6,3	16	16	16	31,5	31,5	31,5	63	63	80	80	100	125		
10	12	6,3	6,3	16	16	16	31,5	31,5	31,5	43	43	63	80	80	100	
11	12	6,3	6,3	16	16	16	16	31,5	31,5	31,5	43	63	63	80	100	
13,8	17,5/24	6,3	6,3	16	16	16	16	16	31,5	31,5	31,5	43	63	63	80	
15	17,5/24	6,3	6,3	16	16	16	16	16	31,5	31,5	31,5	43	43	63	80	80
20	24	6,3	6,3	6,3	6,3	16	16	16	16	31,5	31,5	43	43	63	63	
22	24	6,3	6,3	6,3	6,3	16	16	16	16	16	31,5	31,5	31,5	43	43	63
30	36			6,3	6,3	6,3	16	16	16	16	16	31,5	31,5	31,5		

4 TRANSFORMATEUR MONOPHASE ALIMENTER

Résumé du cours

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

Avec $S_N = U_{1N}.I_{1N} = U_{2N}.I_{2N}$ → $I_{2N} = \frac{S_N}{U_{2N}}$ *et* $I_{1N} = \frac{S_N}{U_{1N}}$



Formule de Boucherot :

$$U_1 = 4,44.B_{max}.s.N_1.f \quad et \; U_{20} = 4,44.B_{max}.s.N_2.f$$

Rapport de transformation :

$$m = \frac{U_{20}}{U_1} = \frac{I_{1CC}}{I_{2CC}}$$

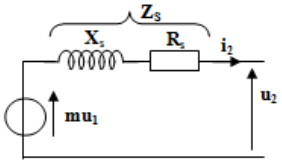
Détermination des éléments R_S et X_S :

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}.

$$R_S = \frac{P_{1CC}}{I_{2CC}^2} \; ; \; Z_S = \frac{m\,U_{1CC}}{I_{2CC}} \quad et \quad X_S = \sqrt{Z_S^2 - R_S^2}$$

Modèle équivalent



Chute de tension ΔU_2 :

$$\Delta U_2 = R_S.I_2.\cos\varphi_2 + X_S.I_2.\sin\varphi_2$$

Soit en valeur efficace : $U_2 = U_{20} - \Delta U_2$

Rendement du transformateur :

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

Avec : Pertes cuivre = $R_S\,I_2^2$

Pertes fer = P_{10}

Activité 7 — TD : Transformateur monophasé

EXERCICE 1 : *Soit un transformateur parfait* **400 V/230 V- 50 Hz** *de puissance apparente nominale* **S = 2 kVA**.

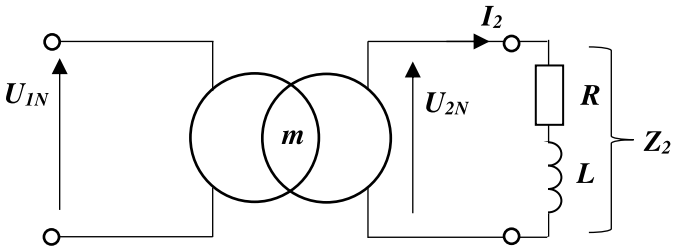
1. *Calculer les courants nominaux* I_{1N}, I_{2N} *et le rapport de transformation* **m**.

……

……

……

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



……

……

……

……

……

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 *:* $U_1 = 230$ V, $U_{20} = 130$ V, $I_{10} = 0,5$ A, $P_{10} = 75$ W.

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

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

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

……

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

……

3. *Déterminer :*

3.1. *Les pertes dans le fer* P_{fer}.

……

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

……

4. *Calculer le rendement* η *du transformateur pour le fonctionnement nominal.*

……

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* $U_{1N} = 5$ kV, *on relève :* $U_{20} = 400$ V, $P_{10} = 500$ W *et* $I_{10} = 0,5$ A.
- *Essai en court-circuit sous* $U_{1CC} = 280$ V *on relève :* $P_{1CC} = 500$ W *et* $I_{2CC} = 50$ A.

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

……

2. *Déterminer le rapport de transformation* **m**.

……

3. *Calculer les éléments* R_S *et* X_S *du schéma équivalent du transformateur vu du secondaire.*

……

……

……

4. *Essai en charge : On prendra* $R_S = 0.2\ \Omega$, $X_S = 0.4\ \Omega$, $U_2 = 380$V, $I_2 = 50$ A *et* $\cos \varphi_2 = 0.8$.

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

……

……

4.2. *Calculer ce rendement* η.

……

EXERCICE 4 : *Un transformateur monophasé* ***110 V/220 V, 50 Hz*** *a donné les essais suivants :*

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

1. *Calculer le rapport de transformation* m.

……

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

……

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.*

……

……

……

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

5. *Déterminer la tension au secondaire* U_2.

……

……

6. *Calculer le rendement du transformateur* η.

……

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* η_{max} $(P_{fer} = P_{cuivre})$

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

……

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

……

EXERCICE 5 : *Les essais d'un transformateur monophasé* ***220 V/24 V, 50 Hz, 200 VA*** *sont les suivants :*

- *Essai en continu au primaire :* $U_{1C} = 6\ V$; $I_{1C} = 0,96\ A$.
- *Essai à vide :* $U_1 = 220\ V$, $P_{10} = 6\ W$, $I_{10} = 0,11\ A$ *et* $U_{20} = 24\ V$.
- *Essai en court - circuit :* $I_{2CC} = I_{2N}$, $P_{1CC} = 11\ W$, $I_{1CC} = 0,91\ A$ *et* $U_{1CC} = 20\ V$.

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 cet essai : le rapport de transformation **m** ; les pertes par effet Joule à vide $\boldsymbol{Pj_{10}}$; les pertes dans le fer $\boldsymbol{P_{fer}}$ et montrer que $\boldsymbol{P_{10} = P_{fer}}$.*

……

……

……

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

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

……

……

……

***6**- Le transformateur, alimenté au primaire sous la tension nominale, débite un courant $\boldsymbol{I_2 = 8{,}3\ A}$ dans une charge inductive de facteur de puissance **0,8**. Déterminer graphiquement (<u>Echelle : 1 cm pour 2 V</u>) la tension secondaire $\boldsymbol{U_2}$ en charge et en déduire la valeur de la chute de tension secondaire en charge $\boldsymbol{\Delta U2}$. Vérifier ces résultats par le calcul.*

----------► I_2

7- Calculer le rendement η de ce transformateur.

……

EXERCICE 6 : *Un transformateur monophasé comporte* $N_1 = 800$ *spires et* $N_2 = 400$ *spires au secondaire. Le primaire est alimenté sous une tension* $U_1 = 440$ **V**, **50 Hz**. *On fait débiter le secondaire dans un récepteur de résistance* $R = 8\ \Omega$ *et d'inductance* $L = 0{,}019$ **H** *sous une tension* $U_2 = 215$ **V**

1. *Calculer la tension secondaire à vide puis la chute de tension* ΔU_2 *en charge :*

……

……

2. *Calculer l'impédance* Z_2 *du récepteur et l'intensité* I_2 *du courant qui la traverse :*

……

……

3. *Quelles sont les puissances* P_2 *active et* Q_2 *réactive consommées au secondaire ?*

……

……

Pour déterminer le rendement de ce transformateur, on fait les essais suivants :

- *Essai à vide, le primaire étant alimenté sous* $U_1 = 440$ **V**, *on trouve* $P_{10} = 200$ **W**.
- *Essai en court-circuit, l'intensité du courant débité par le secondaire étant celle trouvée à la question* **2**. *On trouve* $P_{1CC} = 124$ **W**

4. *Calculer la puissance* P_1 *absorbée par le transformateur. Quel est son rendement* η *?*

……

……

Activité 8 — *Exercices à résoudre : Transformateur monophasé*

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

Les essais suivants ont été réalisés :

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

1 – Calculer le rapport de transformation **m**.

……

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

……

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 $U_{1N} = 2200\ V$. *La valeur efficace de l'intensité du courant au secondaire est* $I_{2N} = 100\ A$ *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 et en déduire U_2.

……

……

6 – Calculer les puissances active P_2 *et réactive* Q_2 *au secondaire du transformateur.*

……

……

7 – Calculer le rendement η *du transformateur.*

……

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

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

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

1**- Le transformateur est alimenté sous* U_{1N}, *la section du noyau est* $S = 380\ cm^2$, *le champ magnétique* ***B maximale *dans le noyau vaut* $1,2\ T$, *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* $R_S = 11\ m\Omega$ *et* $X_S = 16\ m\Omega$. *Le transformateur débite* $I_2 = 210\ A$ *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 question 4. Calculer ensuite le rendement pour la même charge.

……

……

EXERCICE 3 : *Un transformateur de commande et de signalisation monophasé a les caractéristiques suivantes :* ***230 V/ 24 V ; 50 Hz ;630 VA ; 11,2 kg****.*

1- *Les pertes totales à charge nominale sont de* ***Pt = 54,8 W****. Calculer le rendement nominal du transformateur pour* $\cos \varphi_2 = 1$ *et* $\cos \varphi_2 = 0,3$.

……

……

……

2- *Calculer le courant nominal au secondaire* I_{2N}.

……

3- *Les pertes à vide (pertes fer) sont de* $P_{fer} = 32,4$ **W**.

En déduire les pertes Joule ***Pj*** *à charge nominale.*

……

En déduire R_S*, la résistance des enroulements ramenée au secondaire.*

……

4- *La chute de tension au secondaire pour* $\cos \varphi_2 = 0,6$ *(inductif) est de* ***3,5 %*** *de la tension nominale (*$U_{2N} = 24$ **V***). En déduire* X_S*, la réactance de fuite ramenée au secondaire.*

……

……

5- *Un court-circuit a lieu à* ***15 mètres*** *du transformateur.*
Le câble de ligne en cuivre a une section de $s = 1,5\ mm^2$.

5-1- Calculer sa résistance totale ***R*** *sachant que la résistivité du cuivre est :* $\rho = 0,027\ \Omega mm^2/m$.

……

5-2- Calculer le courant de court-circuit I_{2CC}.
Faire l'application numérique (on pourra prendre $R_S = 30\ m\Omega$ *et* $X_S = 15\ m\Omega$*).*

……

……

Activité 9

TP2 : Transformateur monophasé

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 =……Ω ; Au secondaire : R_2 =……Ω.

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 = ……

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

P_{J0} = ……

Comparer $\boldsymbol{P_{J0}}$ *et* $\boldsymbol{P_{10}}$ *: ……*

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

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.*

$\boldsymbol{R_S}$ **=** ……

Z_S **=** ……

$\boldsymbol{X_S}$ **=** ……

4. Prédétermination d'un fonctionnement en charge

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

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

$\boldsymbol{\Delta U_2}$ = ……

$\boldsymbol{U_2}$ = ……

42- *calculer le rendement η du transformateur.*

$\boldsymbol{\eta}$ = ……

5 TRANSFORMATEUR TRIPHASE ALIMENTER

Résumé du cours

Plaque signalétique du transformateur

Elle indique les principales caractéristiques et branchements du transformateur, plus particulièrement :

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

Couplage :

	Couplages		
	Etoile	**Triangle**	**Zigzag**
Côté HT	**Y**	**D**	
Côté BT	**y**	**d**	**z**

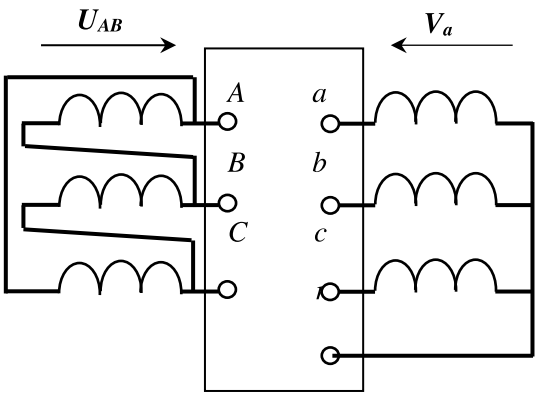
Rapport de transformation :

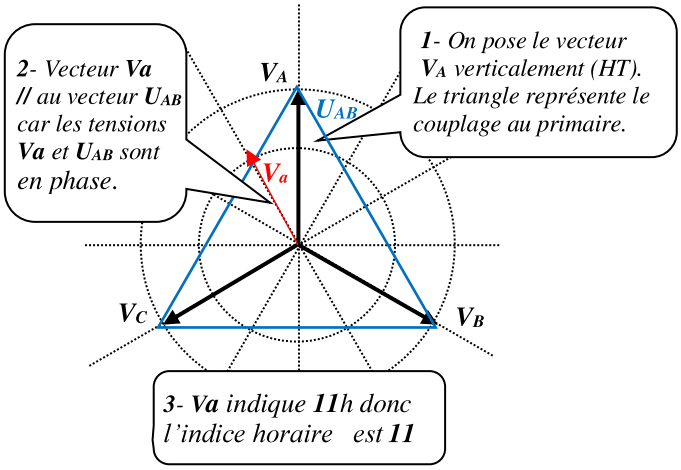
	Dd ou Yy	Dy ou Yz	Yd	Dz
$M = \frac{U_{ab0}}{U_{AB}}$	$M = \frac{N_2}{N_1}$	$M = \sqrt{3}.\frac{N_2}{N_1}$	$M = \frac{1}{\sqrt{3}}.\frac{N_2}{N_1}$	$M = 3.\frac{N_2}{N_1}$

Indice horaire :

Déphasage θ *= retard d'une tension BT sur son homologue HT.*

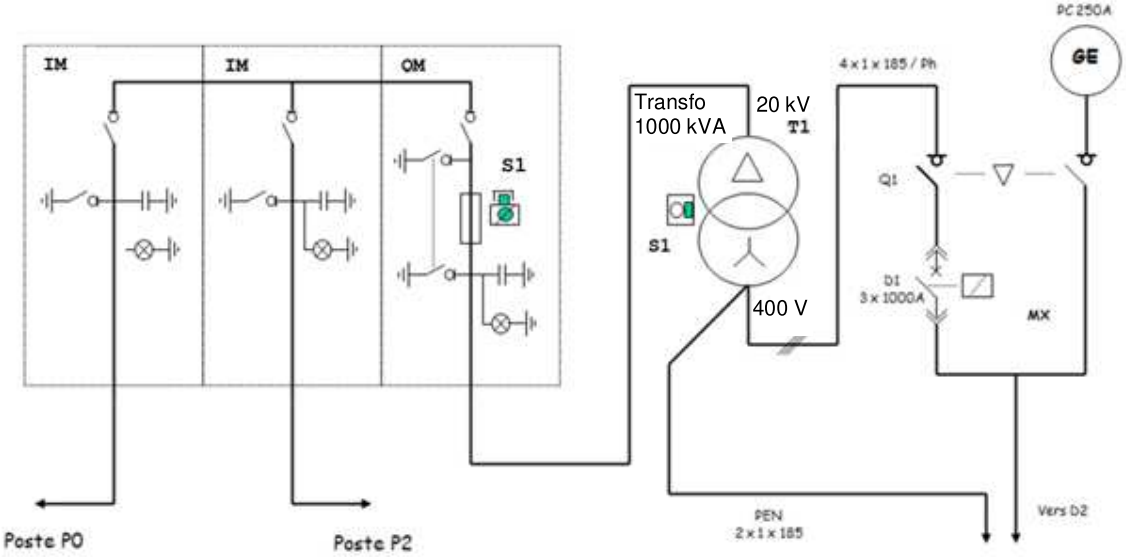
L'indice horaire ***I*** *est :* ***I = θ / 30°*** ***donc*** $0 \leq I \leq 11$ *(entier).*

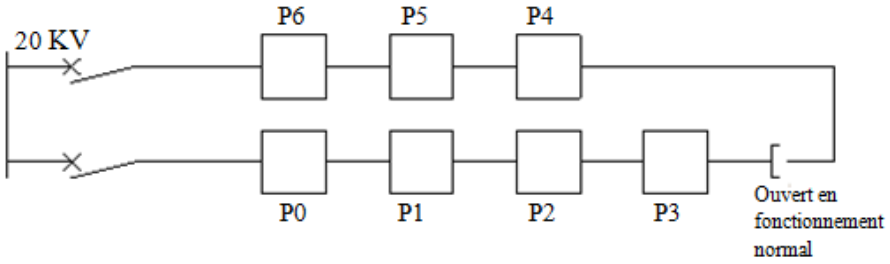




Activité 10 — TD : Transformateur triphasé

EXERCICE 1 : *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* ☐

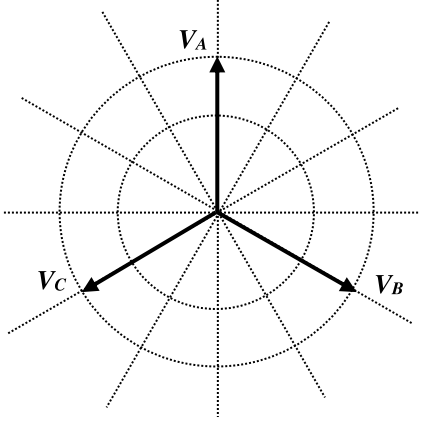
2) *Identification des caractéristiques électriques du transformateur* ***T1*** *:*

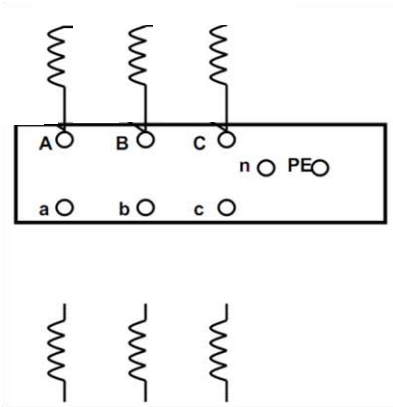
Valeur de la tension assignée au Primaire	……
Valeur de la tension assignée au Secondaire	……
Valeur de la puissance Apparente Assignée	……

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 :*





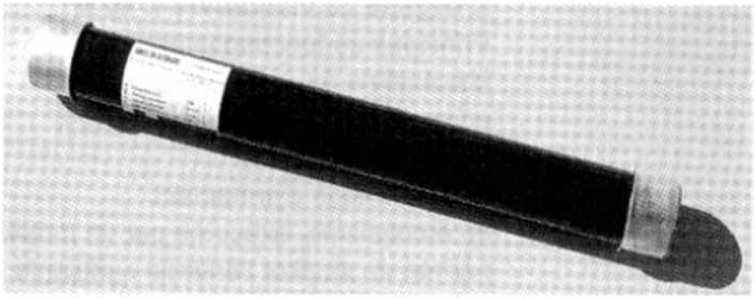
5) *Définir le type et le calibre des fusibles nécessaires à la protection du transformateur. (A partir du document ci-dessous) :*

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	Type	Puissance nominale du transformateur											
		100kVA	125 kVA	160kVA	200 kVA	250 kVA	315kVA	400 kVA	500 kVA	630 kVA	800 kVA	1000 kVA	1250 kVA
kV		A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
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

EXERCICE 2 **:** *En vous aidant des indications de la plaque signalétique du transformateur ci-dessous,*

1. *Donner les caractéristiques électriques suivantes de ce transformateur :*

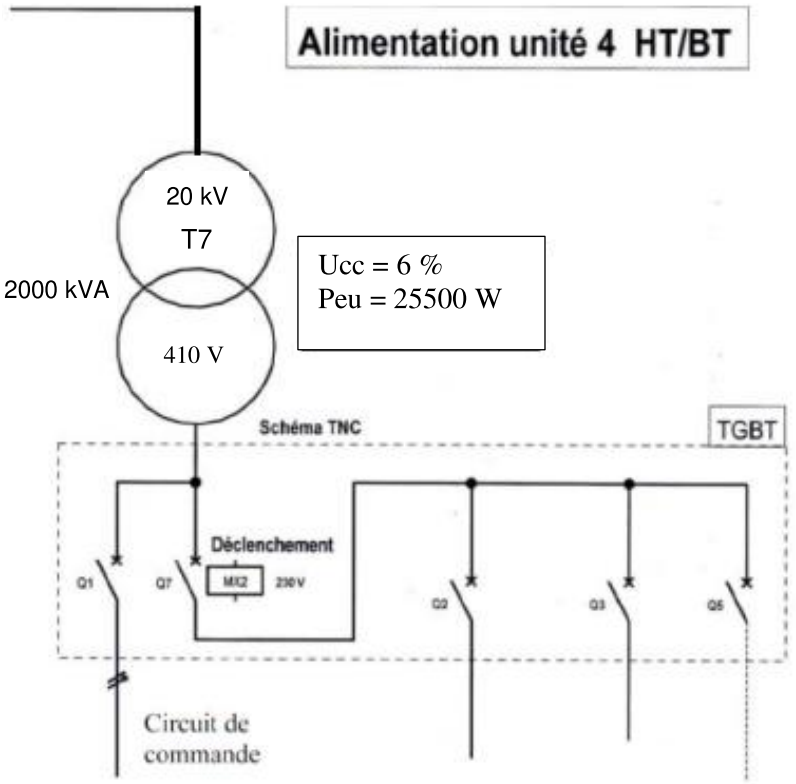
- *Tension secondaire (BT) : …….*
- *Tension maxi au primaire (HT) : …….*
- *Puissance apparente : …….*
- *Courant nominal au primaire : …….*
- *Courant nominal au secondaire : …….*
- *Refroidissement par sec ou par fluide : …….*

2. *Couplages du transformateur*

- *Le primaire doit être couplé en …….*
- *Le secondaire doit être couplé en …….*
- *Le neutre est sorti au …….*
- *L'indice horaire est de ……*

EXERCICE 3 :

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 **Sn** (kVA) :*

  ……

- *Tension primaire U_1 (kV) :*

  ……

- *Tension secondaire U_{20} (à vide) (V) :*

  ……

- *Tension de court-circuit **Ucc%** :*

  ……

- *Pertes dues à la charge **Peu** (W) :*

  ……..

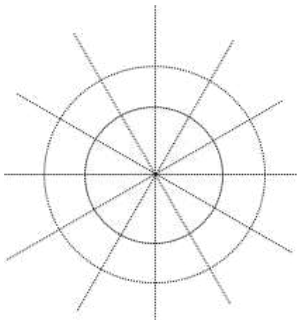
2) *Calculer le courant nominal au secondaire du transformateur (prendre U_{20}).*

……

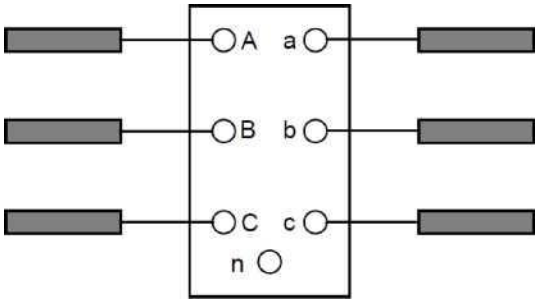
3) *Le transformateur **T7** est désigné par **Dyn1**. Indiquer la signification de chaque terme :*

D	……
y	……
n	……
1	……

4) *Représenter ci-dessous sur le diagramme vectoriel, la tension secondaire Va par rapport à la tension primaire VA.*



5) *Déduire le schéma de câblage des enroulements*



EXERCICE 4 : *On donne les schémas des enroulements et les représentations vectorielles aux figures : 1 et 2 de deux transformateurs triphasés.*

1. ***Dessiner** sur la figure1 la représentation vectorielle « horaire » ;*
2. ***Tracer** sur la figure2 le schéma des couplages ;*
3. ***Indiquer** pour chaque transformateur sa désignation ;*

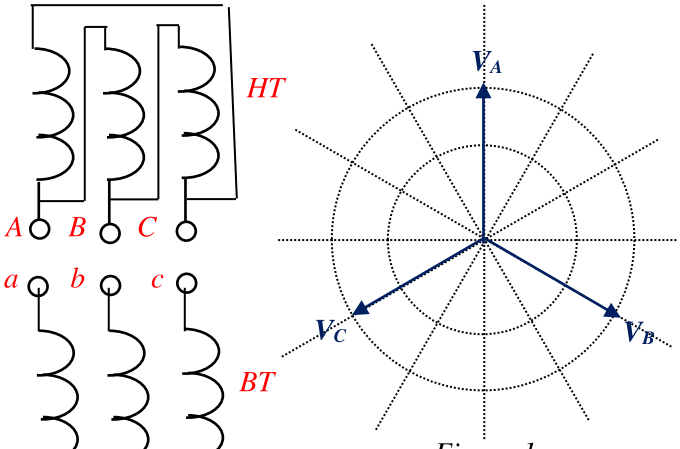


Figure 1

……

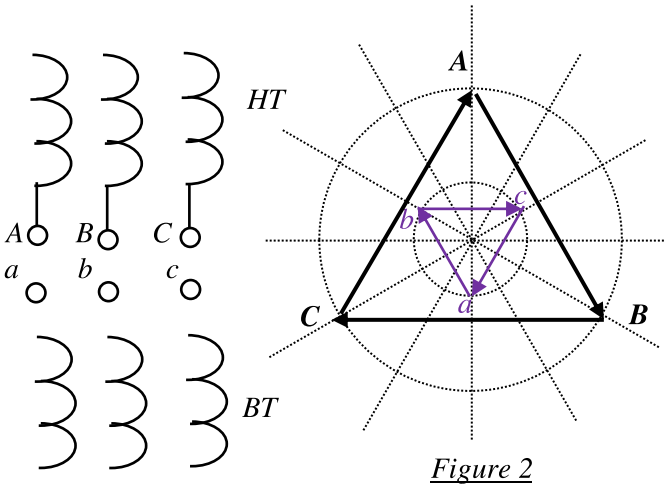


Figure 2

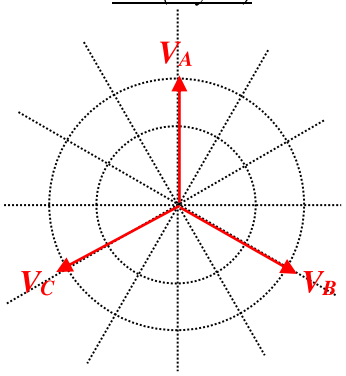
……

La mise en parallèle est-elle possible ……

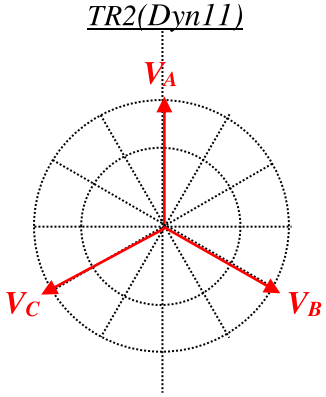
EXERCICE 5 : *On désire faire marcher en parallèle deux transformateurs TR1 et TR2 respectivement* ***Dyn7*** *et* ***Dyn11****.*

1- *Décoder les couplages et compléter le diagramme des tensions primaires et secondaires de chaque transformateur :*

TR1(Dyn7)



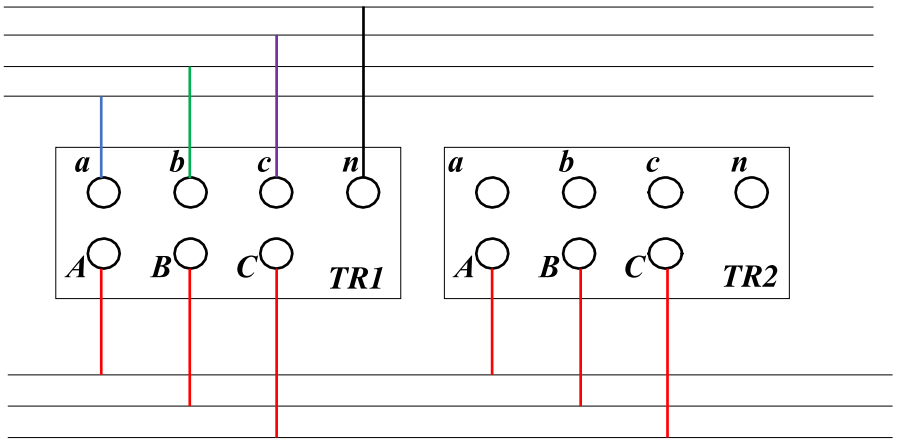
TR2(Dyn11)



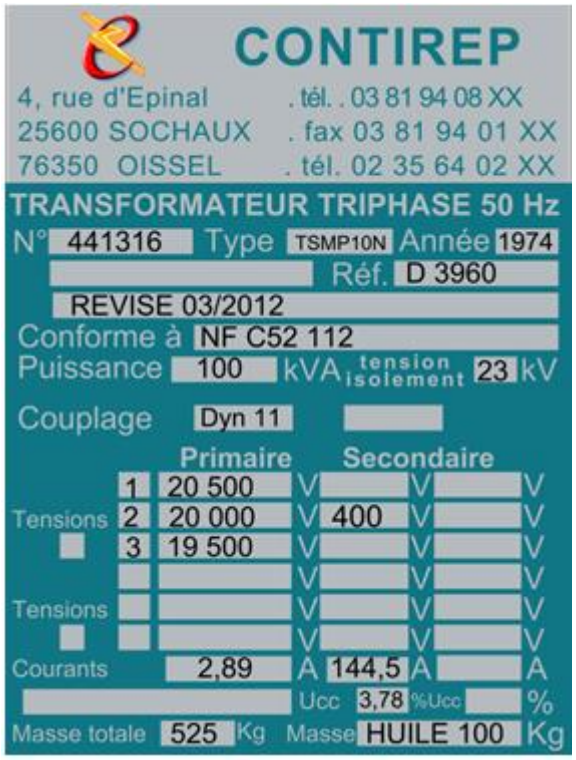
2- *Donner les conditions de mise en parallèle de deux transformateurs :*

• …… • …… • ……	• …… • …… • ……

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



EXERCICE 6 : *Voici la plaque signalétique d'un transformateur de distribution (ci-dessous).*



1. *Donner la tension au secondaire du transformateur*

   …….

2. *Si le transformateur est en position 2, donner sa tension au primaire*

   …….

3. *La tension au primaire étant de 20 kV, calculer son rapport de transformation*

   …….

4. *Donner le couplage du transformateur*

   …….

5. *Donner sa tension de court-circuit en %*

   …….

6. *Quel est le courant nominal au primaire ?*

   …….

7. *Quel est le courant nominal au secondaire ?*

   …….

8. *Nous souhaitons augmenter la puissance disponible à* ***200 kVA****, entourer le transformateur que nous devons choisir. Justifier votre réponse. Voici la documentation technique des transformateurs triphasés Minera Refroidissement naturel type ONAN.*

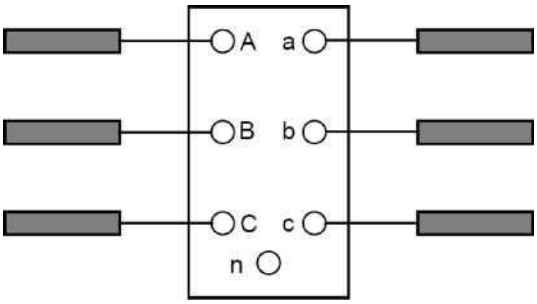
Puissance assignée (kVA)		**50**	**100**	**160**	**250**	**315**	**400**	**500**	**630**	**800**	**1000**	**1250**	**1600**	**2000**	**2500**
Tension assignée	Primaire	15 ou 20 kV													
	Secondaire à vide	410 V entre phases. 237 entre phases et neutre													
Niveau d'isolement assigné au primaire		17.5 kV pour 15 kV. 24 kV pour 20 kV													
Réglage (hors tension)		± 2.5% et/ou ± 5%													
Couplage		Yzn 11 (version 50 kVA uniquement). Dyn 11													
Tension de court-circuit (%)		4	4	4	4	4	4	4	4	6	6	6	6	6	6

Justification : ……

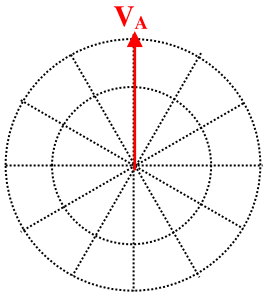
9. *Donner la signification complète d'un refroidissement ONAN*

O : ……
N : ……
A : ……
N : ……

10. *Réaliser les couplages sur le schéma ci-dessous :*



11. *Représenter le déphasage de la tension simple secondaire et primaire.*



6 PROTECTION DES PERSONNES ET DES BIENS — ALIMENTER

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	*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**.* *Cette tension est potentiellement dangereuse car elle peut être supérieure à la tension limite **U_L = 50 V.*** ***La coupure de l'installation est obligatoire dès l'apparition du défaut***	*La protection est assurée par un **dispositif différentie à courant résiduel DDR**.* *La sensibilité de ce **DDR** dépend de la **tension limite de sécurité (U_L)** et de la **résistance de la prise de terre** de l'installation **(R_U)** :* $I_{\Delta N} \leq \frac{U_L}{R_U}$
TN	*Un défaut d'isolement se traduit par un **court-circuit**.* *Le courant de défaut n'est limité que par **la résistance des conducteurs.*** ***La coupure de l'installation est obligatoire dès l'apparition du défaut***	*La coupure est assurée par les protections contre les **surintensités** soit :* • *Pour un disjoncteur :* $I_{magnétique} < \frac{0,8\ x\ V.S_{ph}}{\rho.l.(1+m)}$ avec $m = \frac{S_{ph}}{S_{ph}}$ • *Pour un fusible :* $I_{fusion} < \frac{0,8\ x\ V.S_{ph}}{\rho.l.(1+m)}$
IT	***En cas de premier défaut d'isolement** :* • *Le courant **est nul** ou **très faible**.* • *La tension de contact **n'est pas dangereuse** pour les personnes.* • *La coupure **n'est pas automatique*** ***Si un deuxième défaut apparaît avant l'élimination du premier défaut**,* • *Un courant de **court-circuit** s'établit entre phase ou entre phase et neutre.* • ***La coupure de l'installation est obligatoire dès l'apparition du deuxième défaut.***	***Premier défaut** :* *Il doit être signalé par le **contrôleur permanent d'isolement (CPI)**.* ***Deuxième défaut :*** *La coupure est assurée par les protections contre les **surintensités.*** • *Masses séparées : protection par dispositif différentiel : Régime **TT**.* • *Masses communes : protection contre les surintensités : Régime **TN.***

Temps de coupure maximal des protections

*Il faut vérifier que les dispositifs de protection réagissent en un temps **tf inférieur** à celui imposé par la norme **tc** :*

Temps maximal de coupure tc 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 maximal de coupure tc des protections (Régime 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
220 - 230	**0,4**	**0,2**
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***
La surcharge	*Elévation de l'intensité de **1 à 10 In** d'un circuit due par exemple à une surabondance des récepteurs*	*Echauffement lent et progressif des parties actives, des masses métalliques, des isolants.*	• ***Relais thermique,*** • ***Fusible,*** • ***Déclencheur thermique du disjoncteur.***
Le court-circuit	*Elévation brutale de l'intensité de **10 à 1000 In** 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).*	• ***Déclencheur magnétique du disjoncteur,*** • ***Fusible.***
La surtension	*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.*	• ***Limiteur de surtension,*** • ***Relais de surtension*** • ***Parafoudre.***
La baisse ou le manque de tension	*Chute de tension, trop importante dans un réseau, déséquilibre d'un réseau triphasé de distribution.*	*Mauvais fonctionnement des récepteurs*	• ***Relais à minimum de tension,*** • ***Alimentation autonome.***

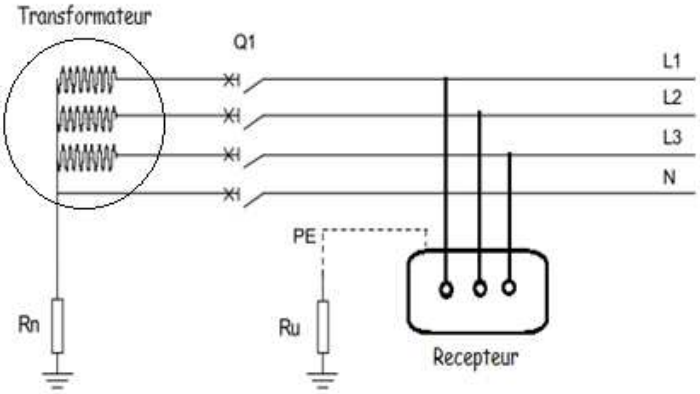
Tout dispositif de protection doit à la fois détecter la perturbation et couper le circuit qui est à l'origine de cette perturbation.

Activité 11 — ***TD : Protection des personnes et des biens***

EXERCICE 1 :

Soit une installation triphasée dont les données sont les suivantes :

- *Réseau 230/400 V.*
- *Rn = 5 Ω, Ru = 10 Ω.*
- *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 (Rd = 0 Ω) 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 ***Id*** *:*

……

4- Une personne touche la carcasse du récepteur et le sol, en déduire la tension de contact ***Uc*** *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 ?

……

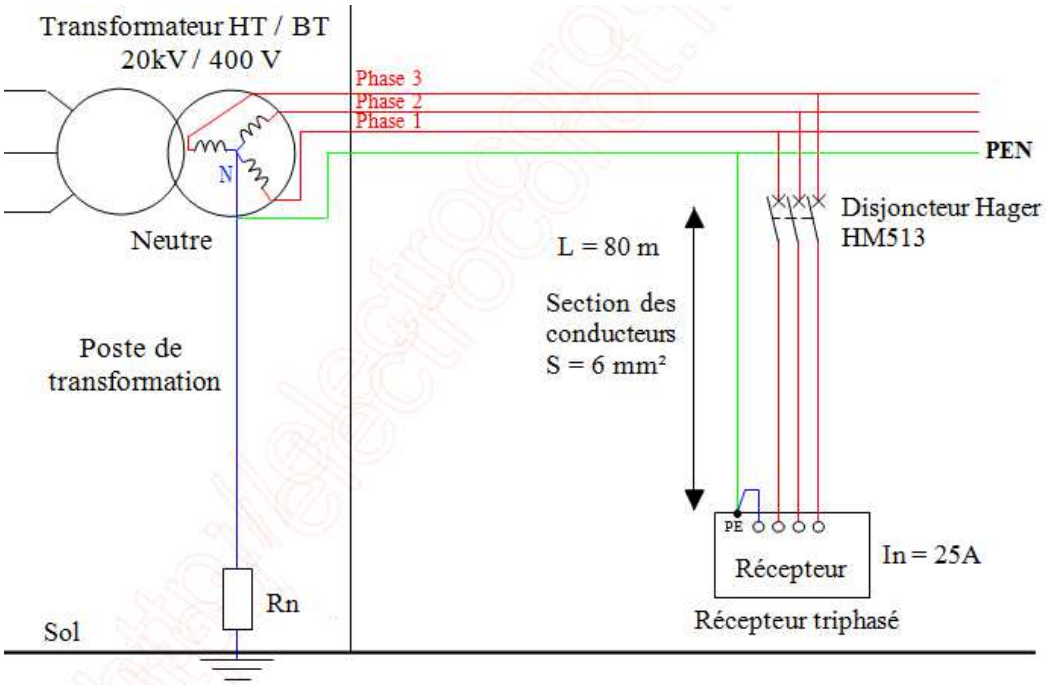
7- Quel est l'appareil à rajouter pour assurer la protection des personnes ?

……

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** mm² en **cuivre.***
- *Résistivité du cuivre est **ρ= 22,5. 10^{-3} $\Omega mm^2/m$**.*
- *Courant nominal absorbé par le récepteur = **25 A***
- *Référence du disjoncteur de protection (calibre **In = 25 A**) : **HAGER MM 513***
- *Local Sec*

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

……

*2- Donner la signification des lettres de ce **S.L.T** :*

……	……	……
…… ……	…… ……	…… ……

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

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

4- Calculer les résistances des conducteurs R_{ph} et R_{pe} prises en compte dans la boucle de défaut :

……

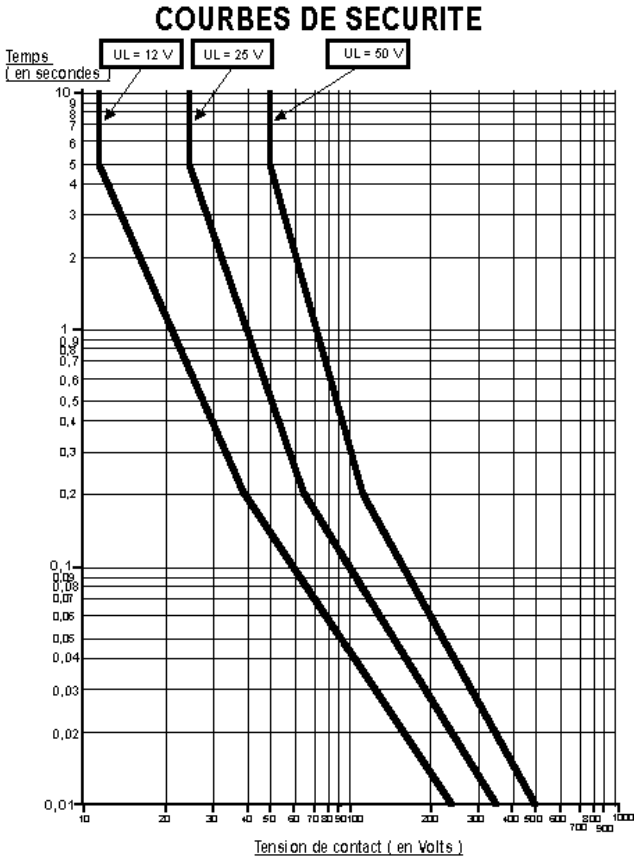
*5- Calculer la valeur du courant **Id** de défaut. (On se place dans le cas des hypothèses simplificatrices que prévoit la norme c'est-à-dire on considère uniquement le départ terminal et **20 %** de chute de tension au niveau du départ terminal)*

……

6- *Calculer la tension de contact Uc :*

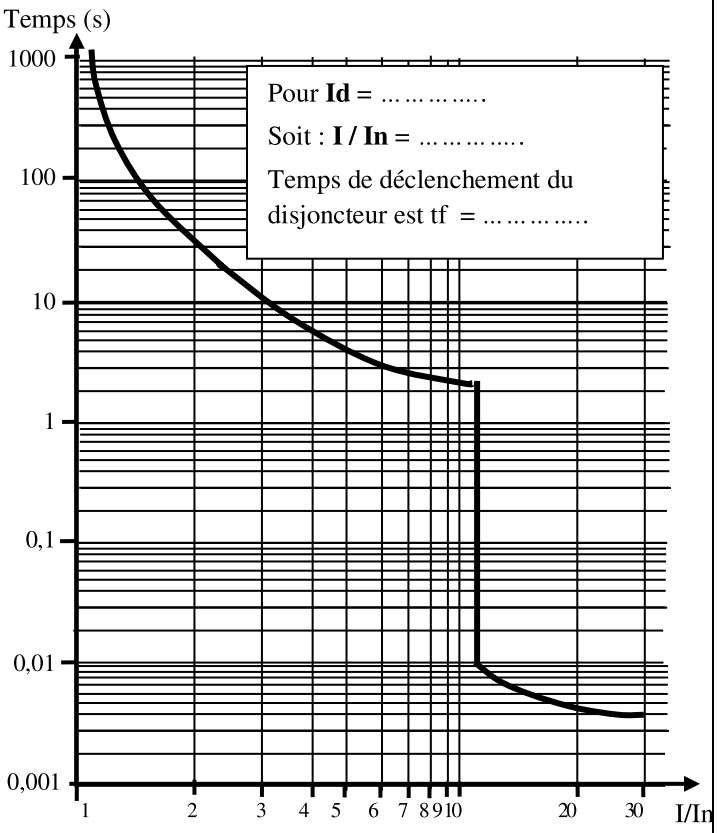
……

7- *Quel est le temps maximal **tc** admissible d'après les courbes de sécurité ?*



*Le dispositif de protection devra éliminer le défaut en moins de **tc =** ……..*

COURBE DE DECLENCHEMENT
du disjoncteur HAGER MM 513



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

tf = ……..

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- *Calculer les nouvelles résistances des conducteurs R_{ph} et R_{pe} prises en compte dans la boucle de défaut :*

……

2- *Calculer le courant de défaut **Id** :*

……

3- *Calculer la tension de contact **Uc** :*

……

4- *Quel est le temps le maximum admissible **tc** d'après les courbes de sécurité ?*

……

5- *Au bout de combien de temps **tf** le disjoncteur Hager HM513 va déclencher ?*

……

6- *La sécurité des personnes est-elle assurée et pourquoi ?*

……

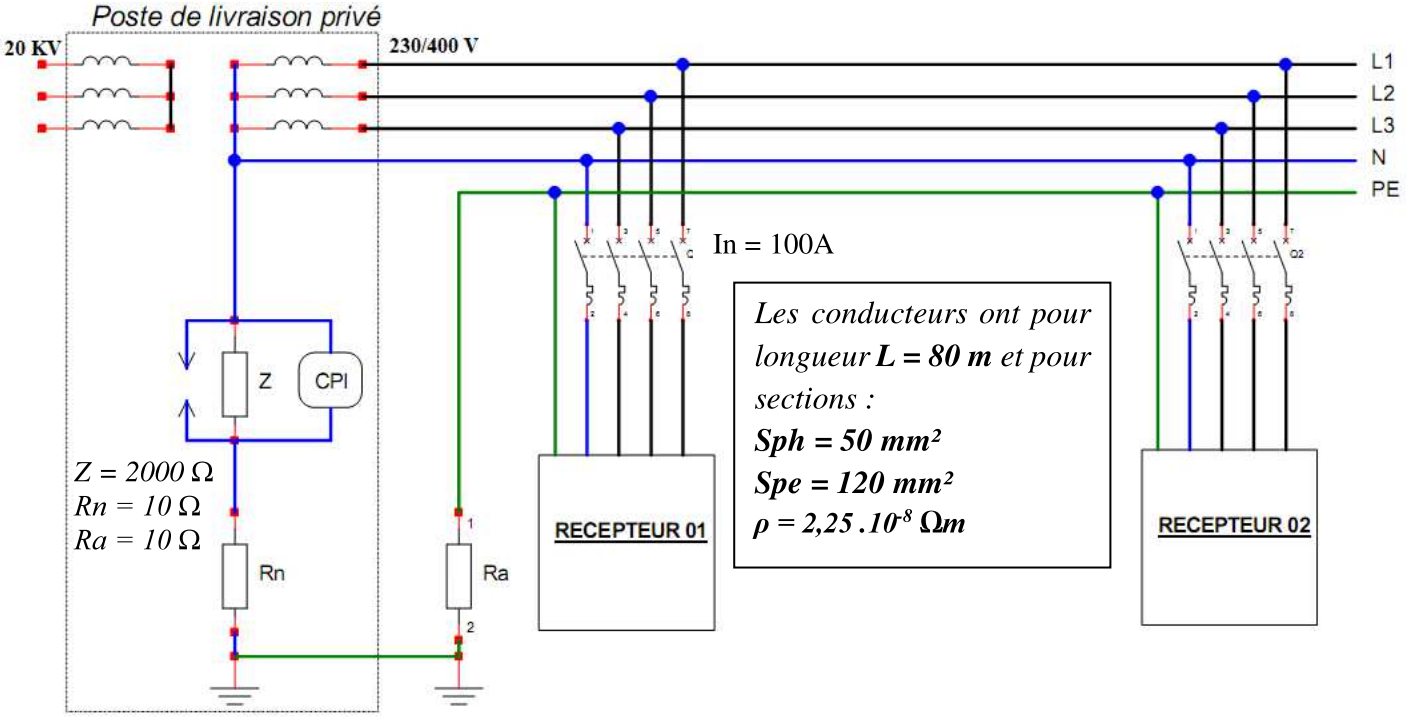
……

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

……

EXERCICE 4 : *Soit le schéma de liaison à la terre suivant :*

Un défaut d'isolement se produit entre ***la phase 3*** *et la carcasse du* ***récepteur 01*** *située dans un* ***local sec****.*



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* ***Id*** *et la tension de contact* ***Uc****.*

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

……

……

*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 **Id** et la tension de contact **Uc** sur le récepteur 01.*

*7- Calculer successivement le courant de défaut **Id** et la tension de contact **Uc***

……

……

8- Cette tension est-elle dangereuse ? Pourquoi ?

……

9- Que se passerait-t-il s'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 : $\boldsymbol{L_{max}} = \frac{0{,}8\,.U.S_{ph}}{\rho(1+m)I_{mag}}$.

……

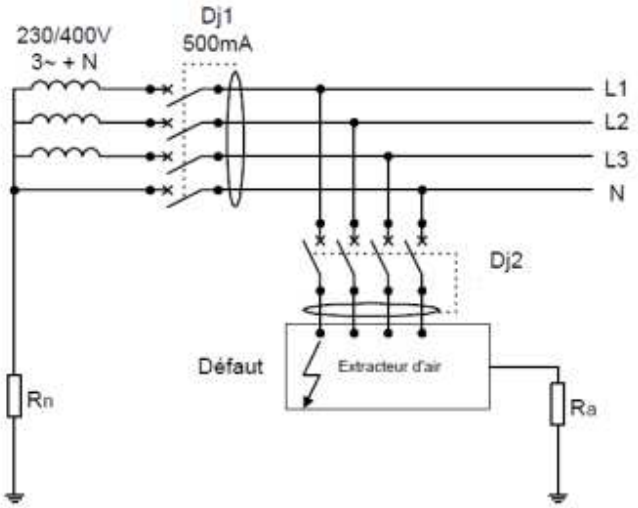
11- Que faut-il faire si le câble installé est trop grand ?

……

Activité 12

Exercices : Protection des personnes et des biens

EXERCICE 1 : *Le schéma de distribution et d'alimentation de l'installation électrique d'un extracteur d'air est le suivant :*



Rn = 10 Ω *: résistance du neutre.* ***Ra = 500 Ω*** *: résistance de la prise de terre.*

1. *De quel type de liaison à la terre s'agit-il ?*

   ……

2. *Un défaut franc apparaît entre **la phase 1** et **la masse métallique**. Faire apparaître sur le schéma ci-dessus, la boucle de défaut.*

*3. Calculer le courant de défaut **Id***

……

*4. Calculer la tension de contact **Uc**. Est-elle dangereuse ? Pourquoi ?*

……

……

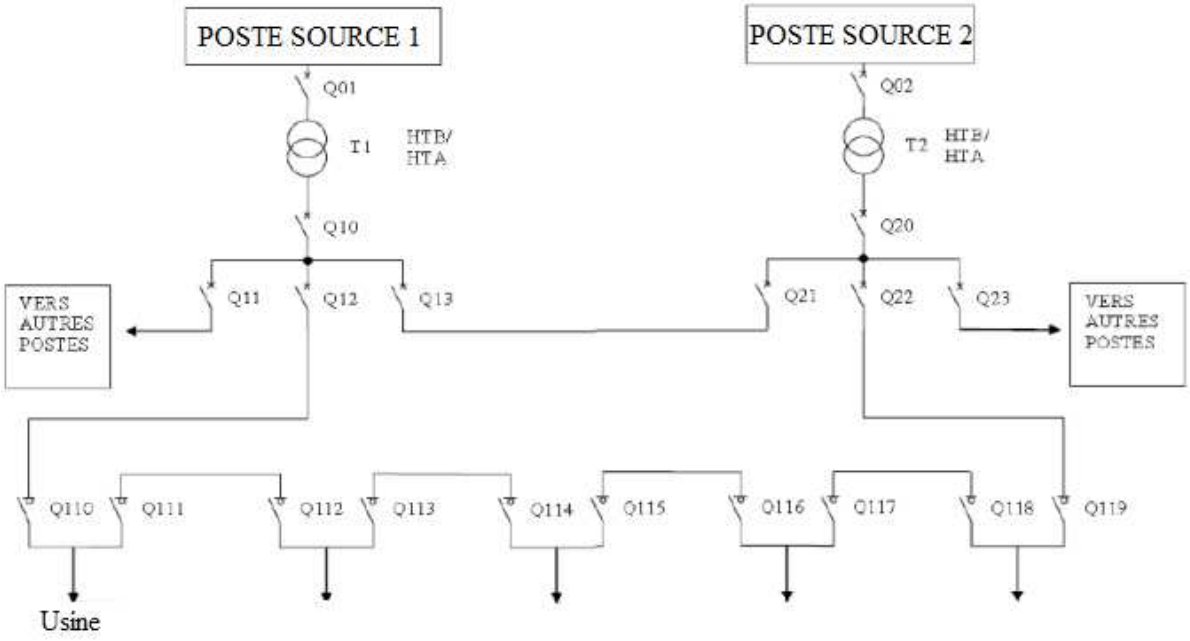
*5. Calculer **IΔn** la sensibilité du différentiel sachant que la tension limite est U_L **= 50V**.*

……

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

……

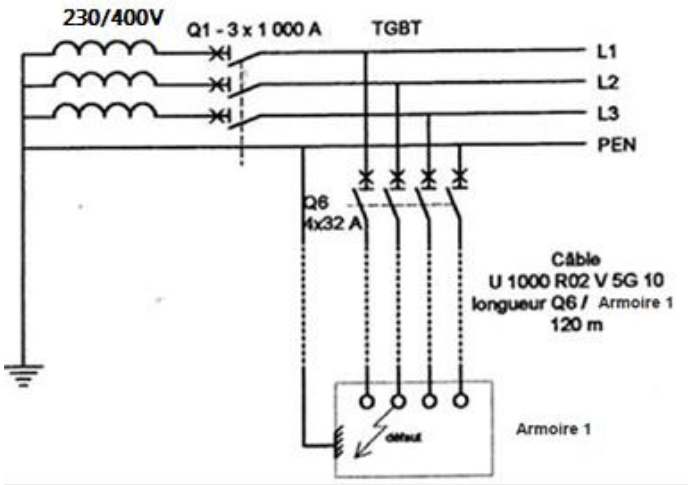
EXERCICE 2 : *L'extrait du schéma de l'alimentation HT d'une usine de fabrication de produits industriels est comme ci-dessous :*



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

Réseau simple dérivation ☐ *Réseau double dérivation* ☐ *Réseau coupure d'artère* ☐

*2) 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 (section ***s = 10 mm²****) et il mesure* ***120 m*** *de longueur. Calculer la résistance d'un conducteur de ce câble (****ρ =2,25.10⁻³ Ωmm²/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) Cette tension est-elle dangereuse ? Répondre par OUI ou NON.

……

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

……

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

……

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.

……

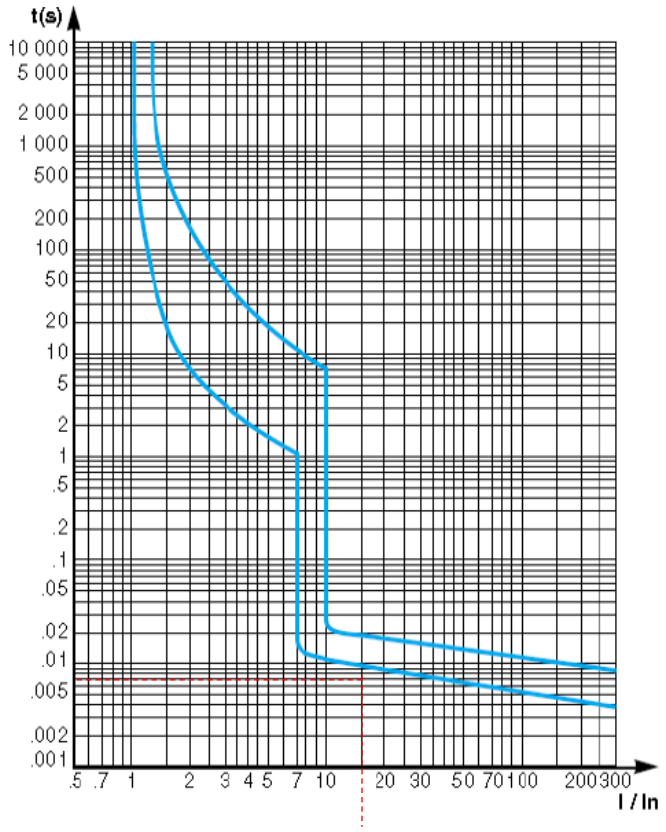
13) La protection des personnes est-elle assurée et pourquoi ?

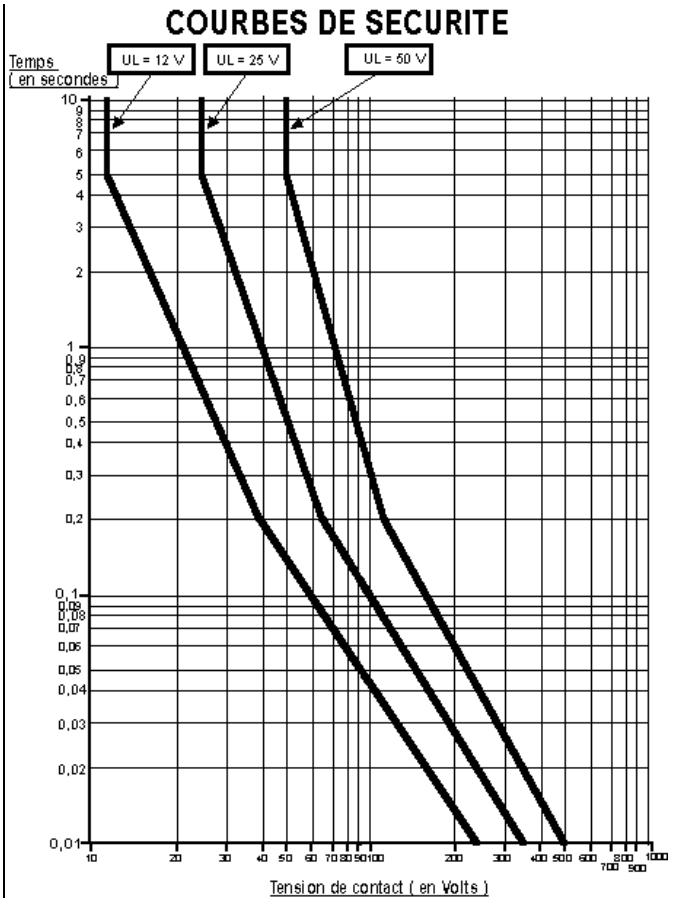
……

*14) Calculer la longueur du câble au-delà de laquelle la protection des personnes n'est plus assurée par dispositif de protection tel que Q6 (avec **Imag = 10 In**).*

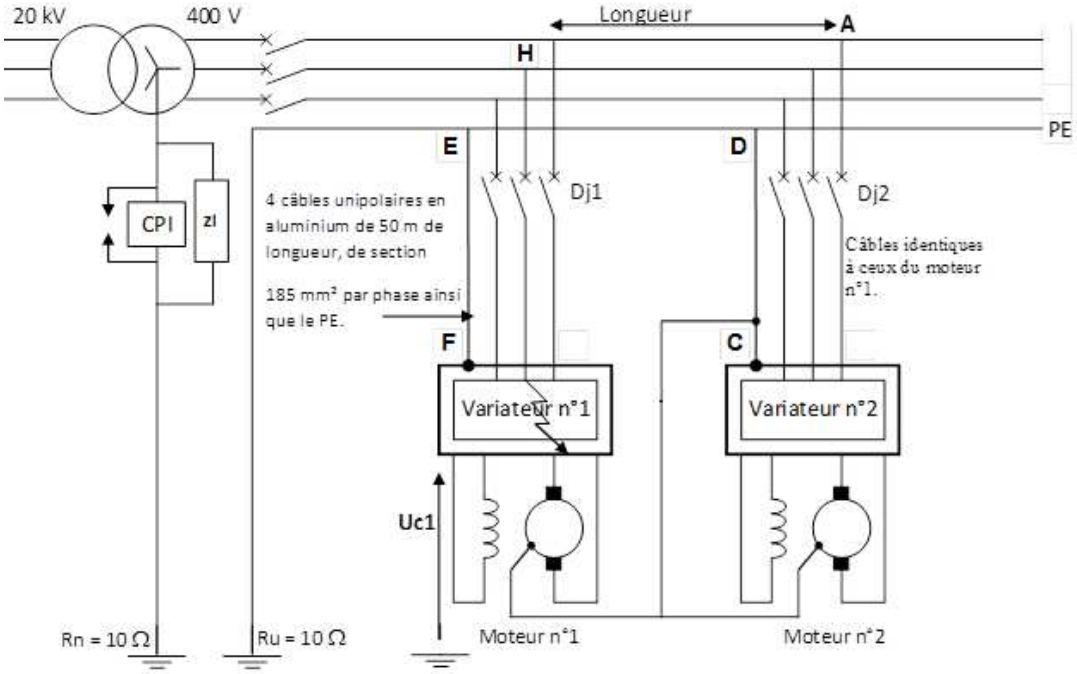
……

Courbe de déclenchement du 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.

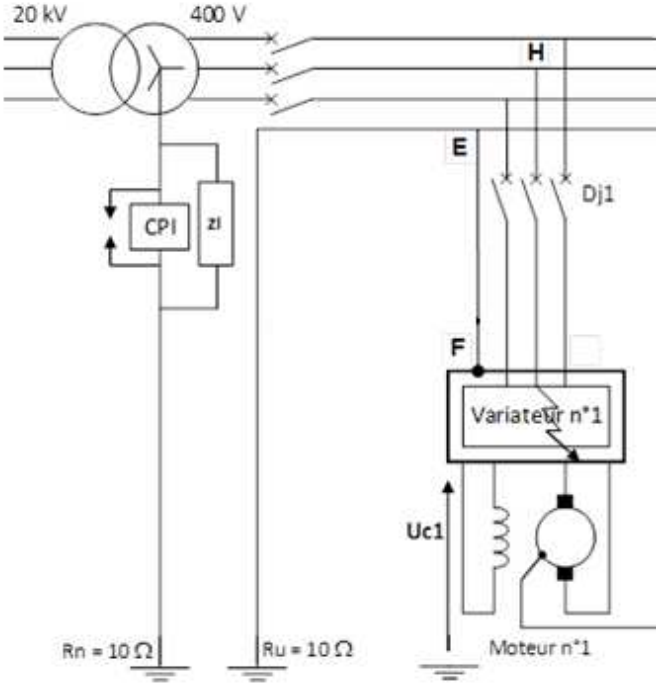
1) Définir, en justifiant votre réponse, le régime de neutre de l'installation, donner la signification des deux lettres de ce régime de neutre. ……

Lettres	***Signification des lettres***
……	……
……	……

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* ***Zi = 5000 Ω***

……

……

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.*

……

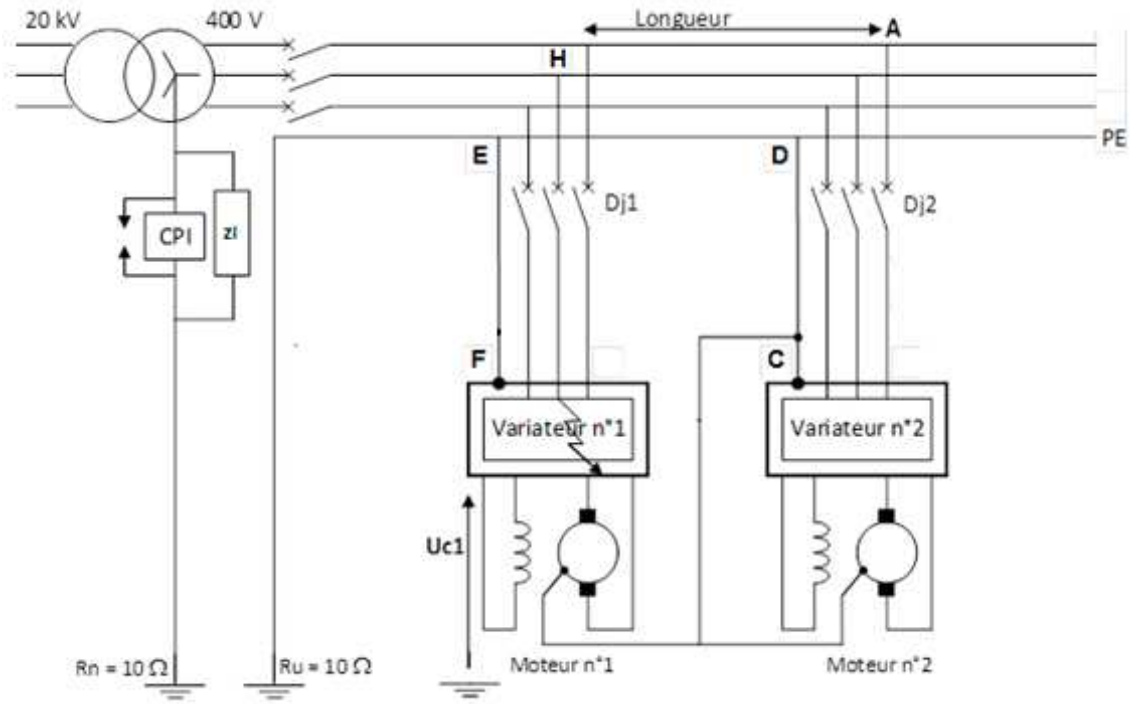
……

6) Comment est signalé le premier défaut ? Que doit faire le service d'entretien ?

……

……

7) 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****.*



*8) Calculer la valeur du courant de défaut **Id2**, sachant que les longueurs **HA** et **DE** sont négligées et que* $\rho_{aluminium} = 36.10^{-3}\ \Omega.mm^2/m$.

……

*9) Calculer les valeurs des tensions **Uc1** en faisant un schéma électrique équivalent de la boucle du défaut.*

……

10) La protection des lignes moteurs est effectuée par 2 disjoncteurs (Dj1 et Dj2).
*Les disjoncteurs choisis sont des disjoncteurs **DPX** de calibre **In =320 A** et dont la courbe de déclenchement est fournie ci-dessous. Sachant que **Ir** (réglage du thermique) = **In**, calculer les valeurs minimum et maximum possibles pour le réglage du magnétique.*

……

*11) D'après la courbe de fonctionnement de ces disjoncteurs, déterminer le temps **tf** de déclenchement des appareils de protection lors de l'apparition de ces 2 défauts (tracé à effectuer sur la courbe).*

……

……

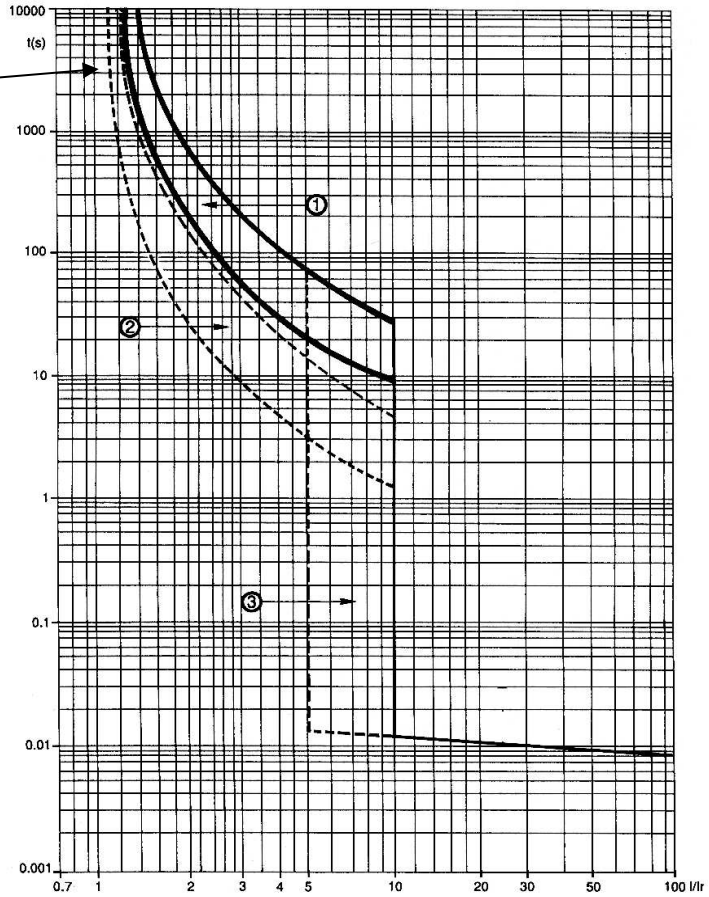
*12) L'installation étant dans un local sec, la sécurité des personnes est-elle assurée dans le cas où l'opérateur entre en contact avec l'un des 2 variateurs (déterminer **tc** courbes de sécurité).*

……

……

……

Disjoncteur de puissance DPX 400
In = 250 / 320 / 400 A
Courbes de fonctionnement



à θ ambiant = 40°C

I = courant réel
Ir = 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)

Résumé du cours

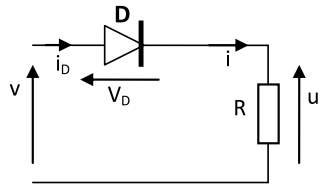
Classification des convertisseurs statiques

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

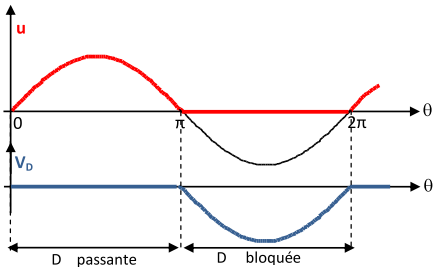


Grandeurs caractéristiques

Valeur moyenne de u : $u_{moy} = \frac{V.\sqrt{2}}{\pi}$

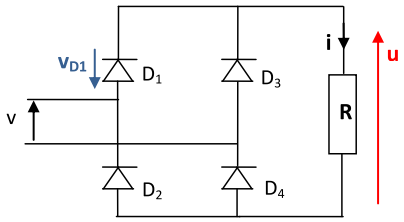
Valeur efficace de u : $U = \frac{V.\sqrt{2}}{2}$

Tension maximale supportée par la diode : $V_{Dmax} = V.\sqrt{2}$



Redresseur monophasé- double alternance

Schéma de montage PD2



Grandeurs caractéristiques

Valeur moyenne de u : $u_{moy} = \frac{2.V.\sqrt{2}}{\pi}$

Valeur efficace de u : $U = V$

Tension maximale supportée par la diode : $V_{Dmax} = V.\sqrt{2}$

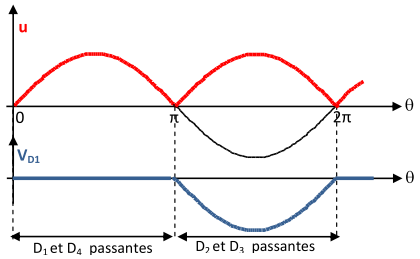
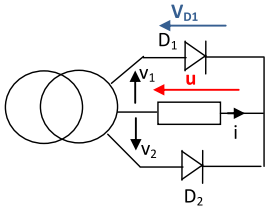


Schéma de montage P2

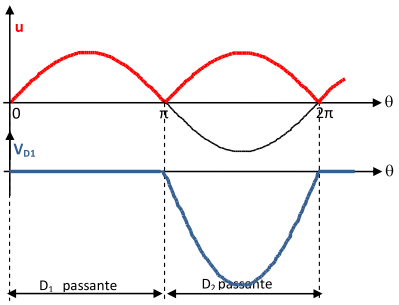


Grandeurs caractéristiques

Valeur moyenne de u : $u_{moy} = \frac{2.V.\sqrt{2}}{\pi}$

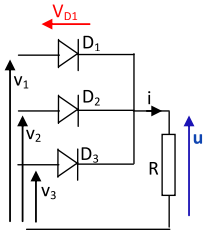
Valeur efficace de u : $U = V$

Tension maximale supportée par la diode : $V_{Dmax} = 2.V.\sqrt{2}$



Redresseur triphasé

Schéma de montage P3



Grandeurs caractéristiques

Valeur moyenne de u :

$$u_{moy} = \frac{3.\sqrt{3}.V.\sqrt{2}}{2.\pi}$$

Tension maximale supportée par la diode : $V_{Dmax} = \sqrt{3}.V.\sqrt{2}$

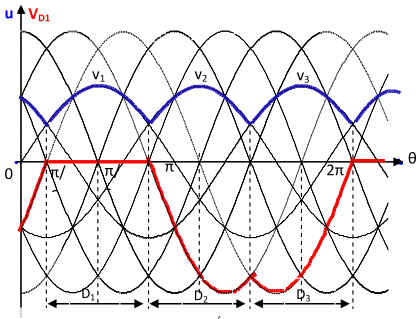
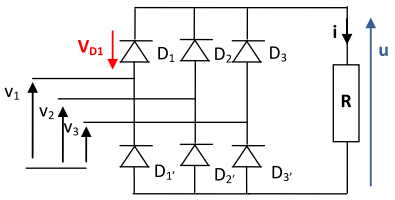


Schéma de montage PD3

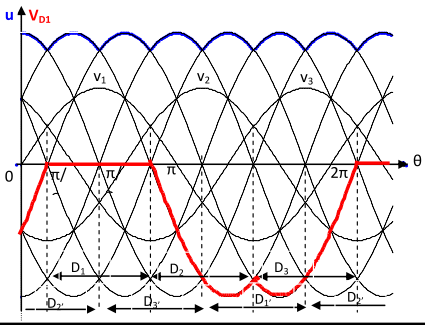


Grandeurs caractéristiques

Valeur moyenne de u :

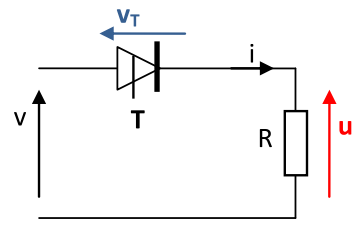
$$u_{moy} = \frac{3.\sqrt{3}.V.\sqrt{2}}{\pi}$$

Tension maximale supportée par la diode : $v_{Dmax} = \sqrt{3}.V.\sqrt{2}$



Redresseurs à thyristors monophasés *(Redresseur commandé - simple alternance)*

Schéma de montage



α = l'angle de retard à l'amorçage

Grandeurs caractéristiques

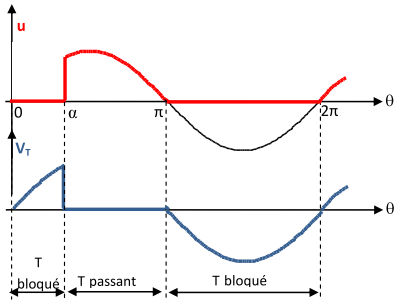
Valeur moyenne de u :

$$u_{moy} = \frac{V.\sqrt{2}}{\pi}\left(\frac{1+\cos\alpha}{2}\right)$$

Valeur efficace de u :

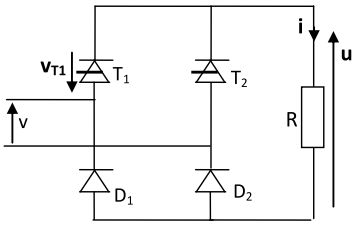
$$U = \frac{V.\sqrt{2}}{2}\sqrt{1-\frac{\alpha}{\pi}+\frac{\sin 2\alpha}{2\pi}}$$

Tension maximale supportée par le thyristor : $v_{Tmax} = V.\sqrt{2}$



Redresseur commandé - double alternance – pont mixte

Schéma de montage



Grandeurs caractéristiques

Valeur moyenne de u :

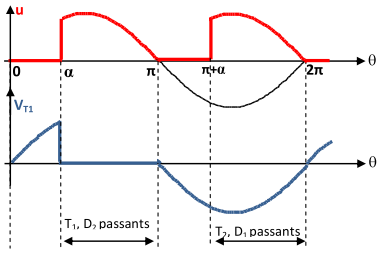
$$u_{moy} = \frac{2V.\sqrt{2}}{\pi}\left(\frac{1+\cos\alpha}{2}\right)$$

Valeur efficace de u :

$$U = V\sqrt{1-\frac{\alpha}{\pi}+\frac{\sin 2\alpha}{2\pi}}$$

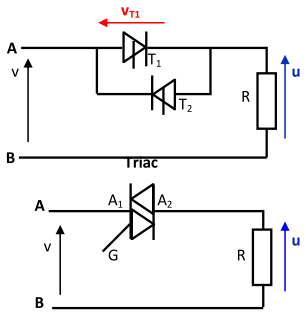
Tension maximale supportée par le thyristor : $v_{Tmax} = v_{Dmax} = V.\sqrt{2}$

Courbes



Gradateur monophasé : *Commande par la phase*

Schéma de montage



Grandeurs caractéristiques

Valeur moyenne de la tension u :

$u_{moy} = 0$ *(tension alternative)*

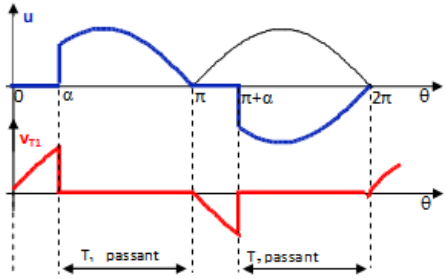
Valeur efficace de la tension u

$$U = V\sqrt{1-\frac{\alpha}{\pi}+\frac{\sin 2\alpha}{2\pi}}$$

Tension maximale supportée par les éléments

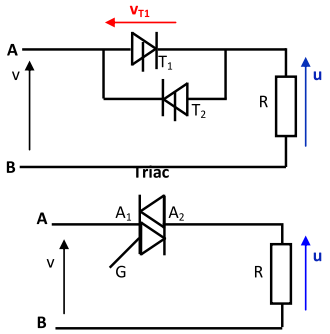
$$v_{Tmax} = V.\sqrt{2}$$

Courbes



Commande par train d'ondes

Schéma de montage



Grandeurs caractéristiques

Valeur moyenne de la tension u :
Soit $u_{moy} = 0$ *(tension alternative)*

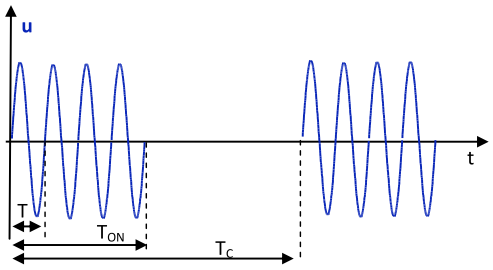
Valeur efficace de la tension u

$U = V.\sqrt{\alpha}$ *Avec* $\alpha = \frac{T_{ON}}{T_C}$

Tension maximale supportée par les éléments

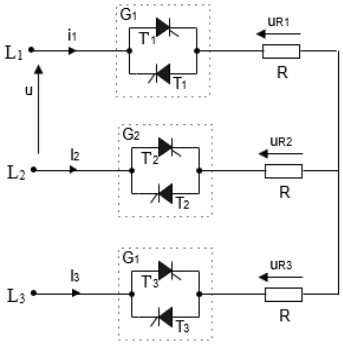
$$v_{T1max} = v_{T2max} = V.\sqrt{2}$$

Courbes

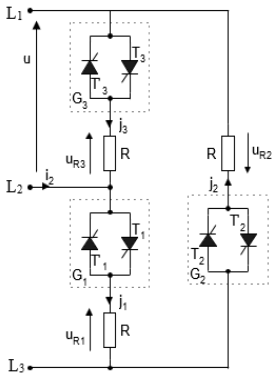


Gradateur triphasé *est formé de 3 gradateurs monophasés couplés en étoile ou en triangle*

Montage étoile



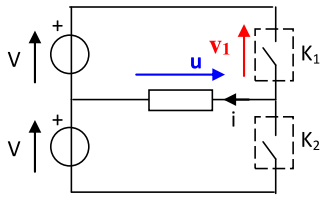
Montage triangle



Onduleur autonome monophasé

Onduleur en demi-pont à deux interrupteurs – commande symétrique

Schéma de montage



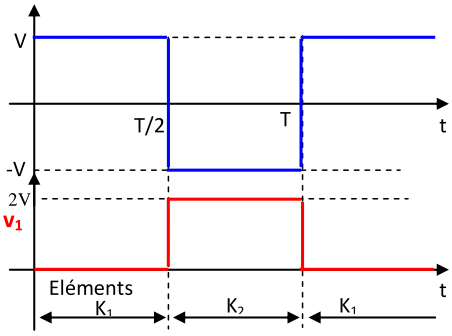
Grandeurs caractéristiques

Valeur moyenne de u : $u_{moy} = 0$

(Tension alternative)

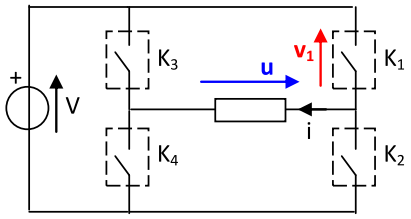
Valeur efficace de u : $U = V$

Tension maximale supportée par les interrupteurs : $v_1 = 2.V$



*Onduleur en pont à quatre interrupteurs - **commande symétrique***

Schéma de montage



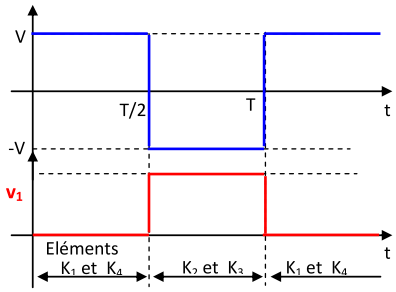
Grandeurs caractéristiques

Valeur moyenne de u : $u_{moy} = 0$

(Tension alternative)

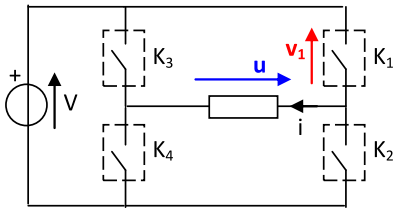
Valeur efficace de u : $U = V$

Tension maximale supportée par les interrupteurs : $v_1 = V$



*Onduleur en pont à quatre interrupteurs - **commande décalée***

Schéma de montage



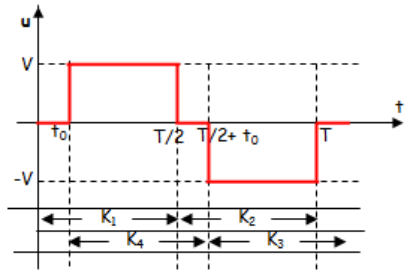
Grandeurs caractéristiques

Valeur moyenne de u : $u_{moy} = 0$

(Tension alternative)

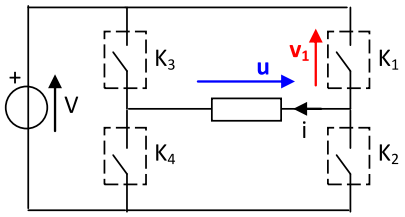
Valeur efficace de u : $U = V\sqrt{1 - \frac{2t_0}{T}}$

Tension maximale supportée par les interrupteurs : $v_1 = V$

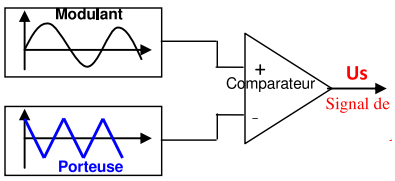


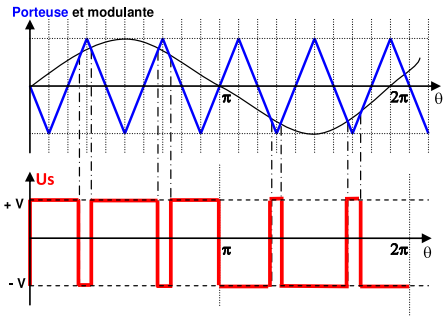
*Onduleur en pont à quatre interrupteurs - **Commande par modulation de largeur d'impulsion : MLI***

Schéma de montage



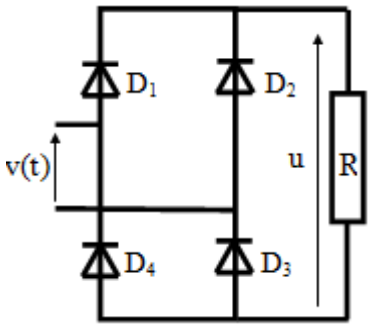
Principe de commande MLI du bras $K_1 – K_2$





Activité 13 — TD : Convertisseurs statiques

EXERCICE 1 : *On branche entre phase et neutre le montage redresseur suivant :*



1. *Déterminer pour cette tension* ***v(t) = 230√2 sin 100πt*** *:*

   La valeur efficace : ***V =*** ……

   La valeur moyenne : ***< v > =*** ……

   La valeur maximale : ***Vmax =*** ……

   La fréquence : ***f =*** ……

   La période : ***T =*** ……

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****.*

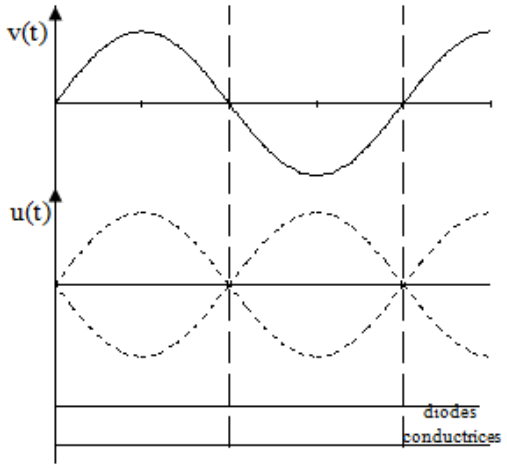
4. *Calculer la valeur moyenne* ***<u>*** *de la tension aux bornes de la charge :*

……

5. *Calculer la valeur de la résistance* ***R*** *:*

……

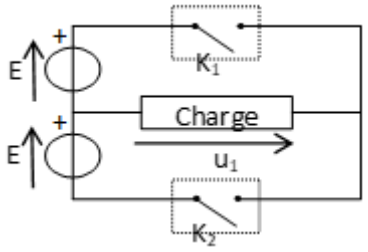
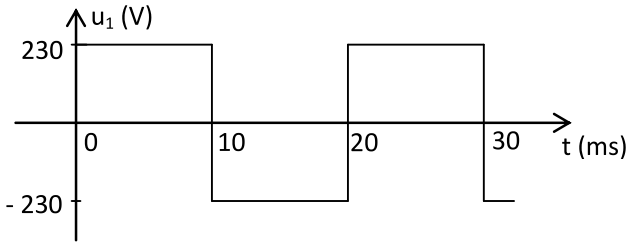
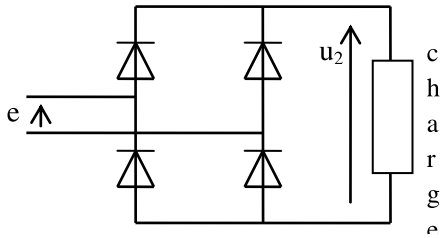
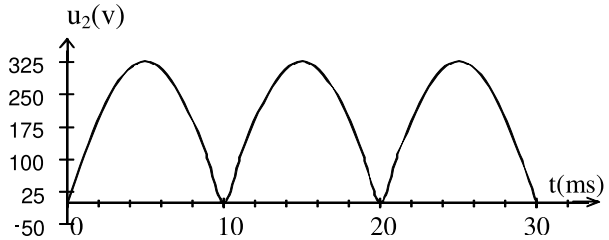
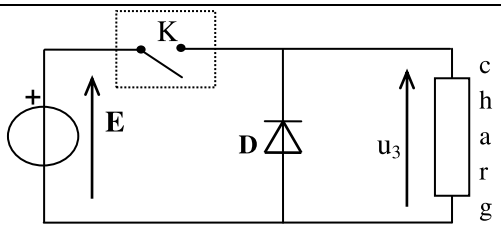
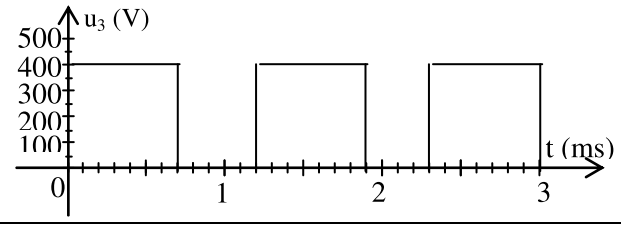
6. *Dessiner l'allure de* ***u(t)****.*



EXERCICE 2 **:** *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.

	Schéma de principe	***Allure de la tension de sortie***
Convertisseur n°1		
Convertisseur n°2		
Convertisseur n°3		

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 **e(t)** ?*

……

*4) Quelle est la valeur efficace **E** de la tension d'entrée e(t) ?*

……

C. Convertisseur n°3

1) Quel est le nom de ce convertisseur ?

……

2) Quelle est la conversion réalisée ?

……

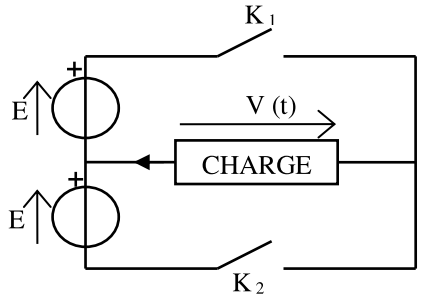
3) Quelle est la valeur du rapport cyclique α ?

……

4) Quelle est la valeur moyenne u_{3moy} de la tension $u_3(t)$?

……

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



E = 127 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 ?

……

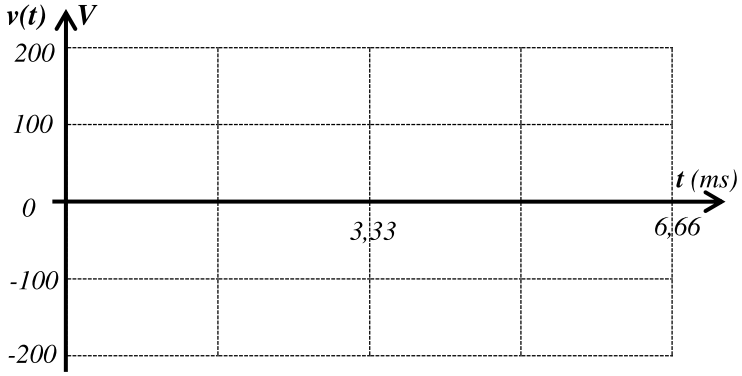
2) a - Quelle est la valeur de v(t) quand K_1 est fermé et que K_2 est ouvert ?

……

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 **T = 3,33 ms**.*



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

……

EXERCICE 4 : *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 Ω**.*
*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.*

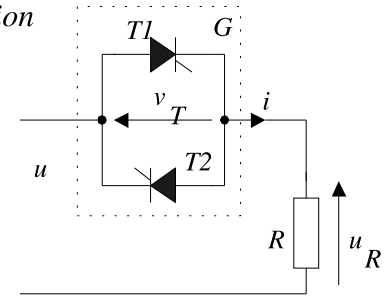


Figure 1

1. *On amorce le thyristor **T1** lorsque ωt = α.*

1.1. *Représenter la tension u_R dans l'intervalle [0,π], pour **α = π/4** (document ci-contre).*
*Quel est l'état du thyristor **T1** à ωt = π ?*
……

2. *On amorce le thyristor T2 lorsque ωt = π + α.*

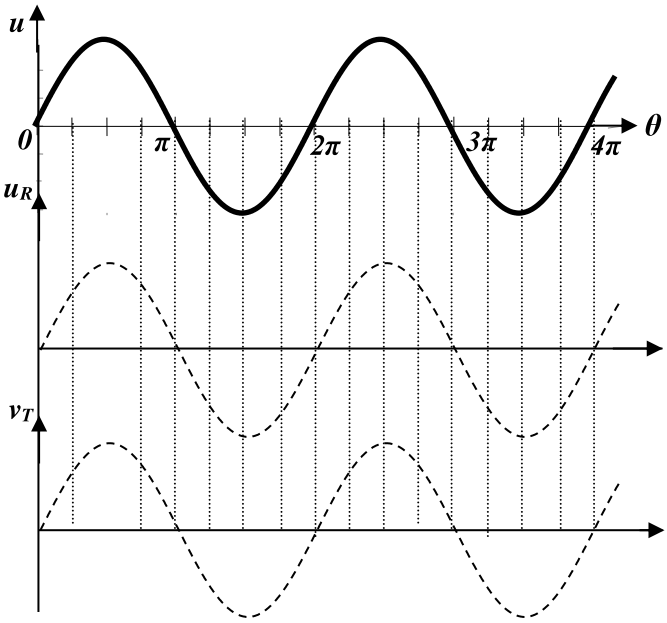
*Représenter la tension u_R dans l'intervalle [π,2π], pour **α = π/4**.*
*Quel est l'état du thyristor **T2** à ωt = 2π ?*
……

3. *Que vaut la valeur moyenne u_{Rmoy} de la tension u_R ?*

……

4. *Calculer la puissance **P** dissipée dans **R** pour **α = π/4**.*

……



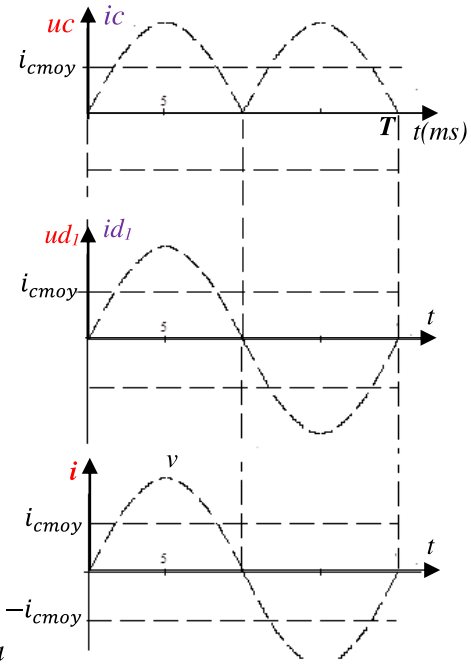
……

……

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

EXERCICE 5 : *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 Ω**. Le courant est parfaitement lissé : **ic = ic$_{moy}$ = 2A**.*

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



2) *Tracer* ***uc(t)*** *(sortie du pont) et* ***ic(t)*** *[graphe n°1]. Préciser les intervalles de conduction des diodes.*

3) *Calculer* $\boldsymbol{uc_{moy}}$ *et* ***E****.*

……

……

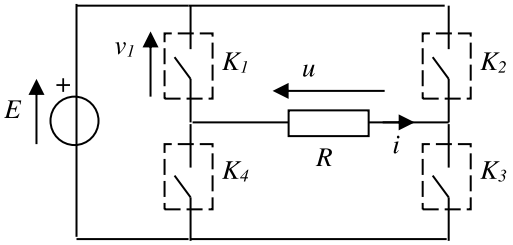
4) *Tracer les graphes de* ***id1(t)*** *et* ***ud1(t)*** *[graphes n°2] (courant dans la diode et tension à ses bornes)*

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

……

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

	$0 - \alpha$	$\alpha - \pi$	$\pi - \pi+\alpha$	$\pi+\alpha - 2\pi$
K_1	F	F	O	O
K_2	F	O	O	F
K_3	O	F	F	O
K_4	O	O	F	F



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

- *La charge est une résistance* ***R = 100 Ω****.*
- ***α*** *désigne l'angle de décalage, il vaut* ***π/3****.*

1 - Tracer sur le document réponse ***u****,* ***i*** *et* $\boldsymbol{v_1(t)}$*.*

2 – Déterminer $\boldsymbol{i_{moy}}$ *valeur moyenne de i(t).*

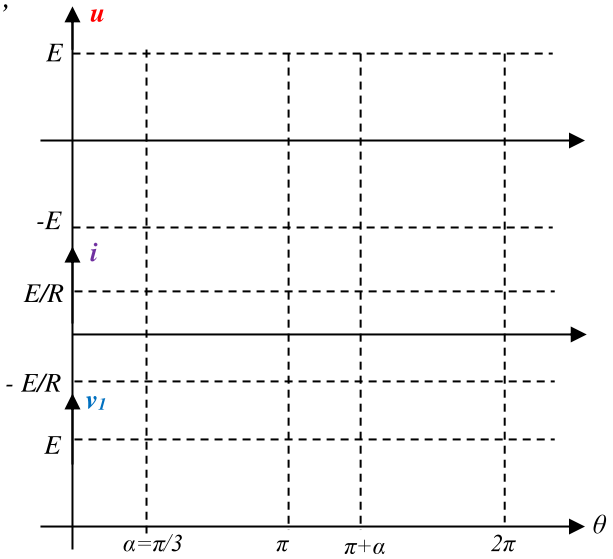
……

3 – Déterminer ***I*** *valeur efficace de i(t) en fonction de* ***E****,* ***R*** *et* ***α****.*

……

……

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



……

EXERCICE7 : *Un récepteur résistif de résistance* ***R = 20 Ω*** *est relié, par l'intermédiaire d'un dispositif redresseur, à un réseau délivrant la tension* $\boldsymbol{v = 220\sqrt{2}\cos\theta}$ *(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 **α** pour qu'un ampèremètre magnétoélectrique (valeur moyenne) disposé en série avec **R** indique **4A** ?*

……

1.2. Quelle est alors l'indication d'un ampèremètre ferromagnétique (valeur efficace) 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 t_0 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**.*

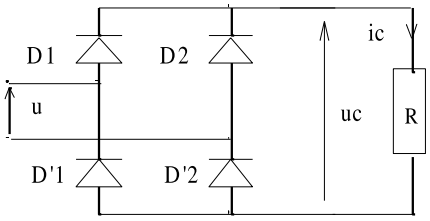
……

Activité 13

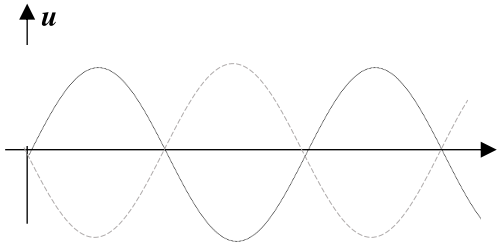
Exercices : Convertisseurs statiques

EXERCICE 1 : *Soit le montage redresseur en pont alimenté par une source alternative de tension **U = 48 V – 50 Hz**.*

*1) Préciser les conductions des diodes et la relation entre **uc** et **u** dans chaque intervalle (tableau ci-dessous). Tracer **uc(t)***



	0 - π	**π - 2π**
Diodes passantes	……	……..
$u_C = f(u)$	……..	……..



*2) Donner les expressions de la valeur moyenne et de la valeur efficace de **uc** en fonction **U**. Calculer ces valeurs.*

……

……

3) Quel type d'appareil doit-on utiliser pour mesurer ces 2 valeurs ?

……

……

……

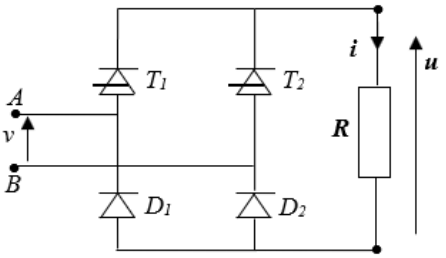
……

EXERCICE 2

Un pont mixte monophasé soumis à la tension $v = V\sqrt{2}\cos 100\pi t$ *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 *?*

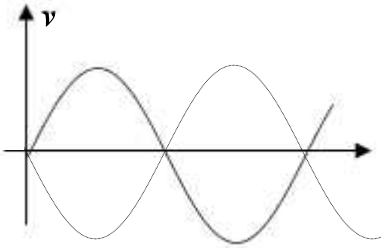
……

3) V *ayant la valeur précédemment calculée,* α *prend maintenant la valeur* $\pi/4$

a/ Quelle est, durant une période de v, la durée Δt *de conduction de chacun des thyristors ?*

……

b/ Représenter, en fonction du temps, pour une période de v, *le graphe de la tension* u *alimentant la charge* R.



c/ Calculer la valeur moyenne i_{moy} *de l'intensité du courant* i *dans* R.

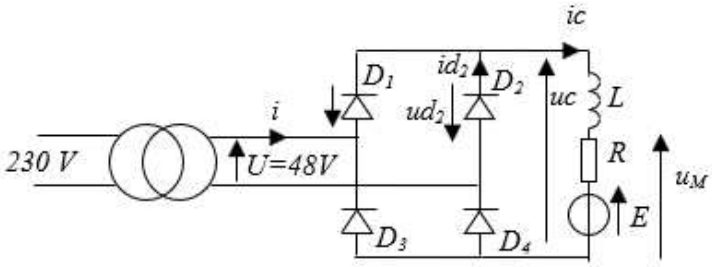
……

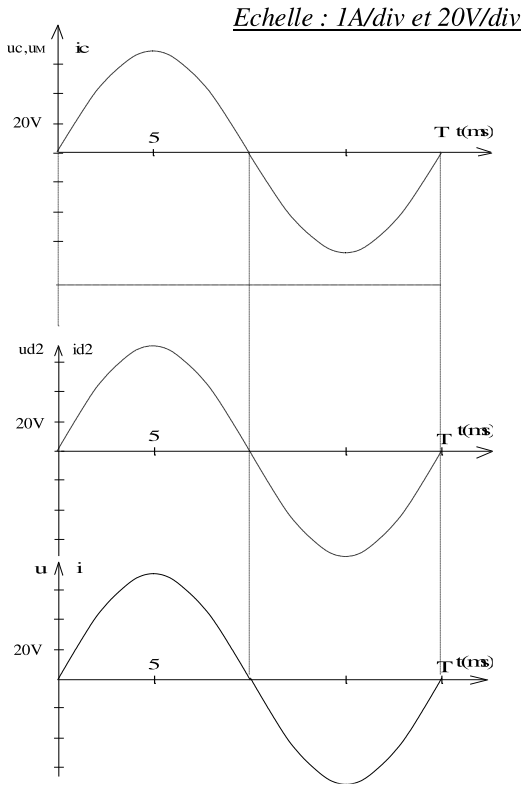
EXERCICE 3 :

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 : $i_c = I_c = i_{c\,moy} = 2\ A$.

La tension représentée sur les différents graphes ci-contre est u(t).





1) Tracer uc(t), ic(t) et $u_M(t)$ *(aux bornes de la charge). Préciser dans chaque intervalle la conduction des diodes et la relation entre uc(t) et u(t).*

2) Calculer u_{cmoy}, P_c *(puissance dans la charge) et* E.

……

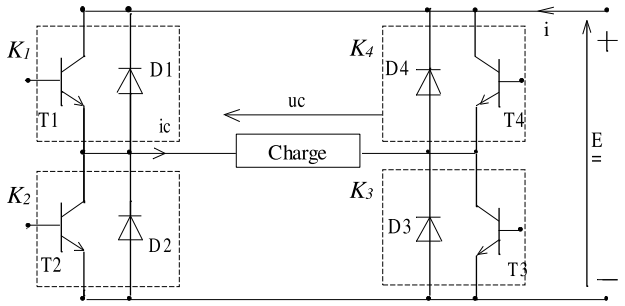
*3) Tracer les graphes de **id₂(t)** et **ud₂(t)** (courant dans la diode D_2 et tension à ses bornes)*

*4) Préciser pour chaque intervalle la relation entre **i** et **ic**. Tracer le graphe **i(t)**. (Courant d'alimentation du pont). Calculer la valeur efficace de ce courant.*

……

EXERCICE 4 :

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



*1) On a relevé la tension **uc(t)** aux bornes de la charge et l'intensité **ic(t)** du courant qui la traverse (figure 1). Déterminer la période **T** puis la fréquence **f** de la tension délivrée par l'onduleur.*

……

……

*2) Quelle est la valeur efficace **Uc** de la tension uc(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 **Ic = 0,9 A**. Calculer la puissance active consommée par la charge.*

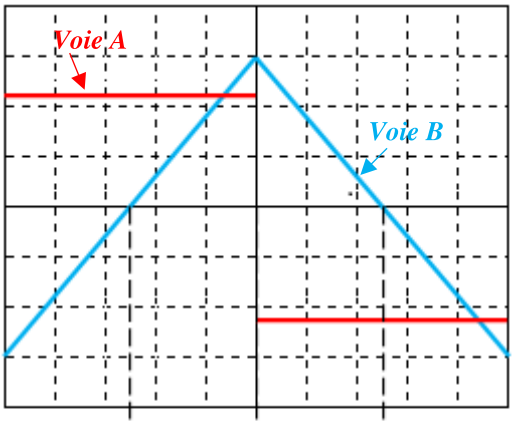
……

……

4) En utilisant les oscillogrammes de uc(t) et ic(t), compléter le tableau 1.

5) Exprimer i(t) en fonction de ic(t) lorsque uc(t) > 0 et lorsque uc(t) < 0, compléter le tableau 2.

6) Utiliser la question précédente pour tracer i(t) sur la figure 2.



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

Figure 1

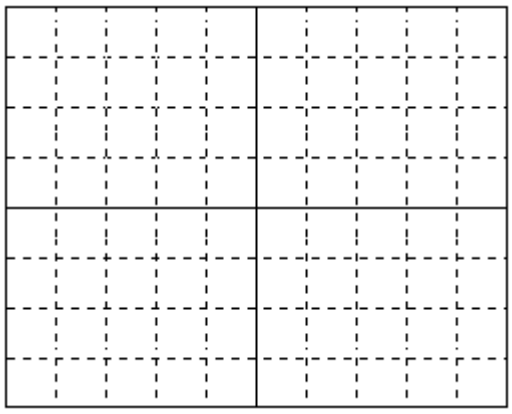


Figure 2

Tableau 1

	Interrupteurs commandés
	Eléments passants
	Signe de la puissance

Tableau 2

uc(t) > 0	*uc(t) < 0*
……..	……

EXERCICE 5 : *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 ms****. On donne :* ***E = 230 V****.*

1) *Citer un composant permettant de réaliser cet interrupteur électronique.*

……

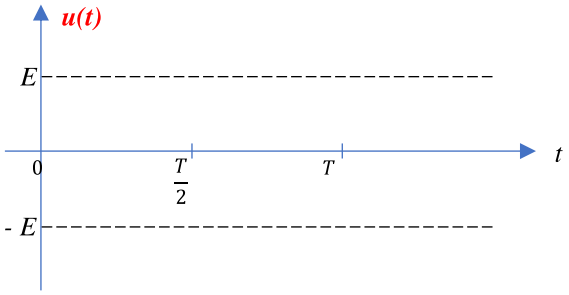
2) *On commande les interrupteurs de la façon suivante :*

- *$0 < t < T/2$: 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 6 : *Un gradateur d'énergie à train d'ondes alimente, sous une tension sinusoïdale* ***U = 230 V*** *et de fréquence* ***f = 50 Hz****, la résistance d'un four de valeur* ***R = 20 Ω****.*
La commande possède une période ***T_1*** *de* ***2 secondes****.*
Cette commande alimente la résistance durant un temps ***t_1*** *égal à* ***1,5 seconde****.*

1) Calculer le rapport cyclique ***a****.*

……..

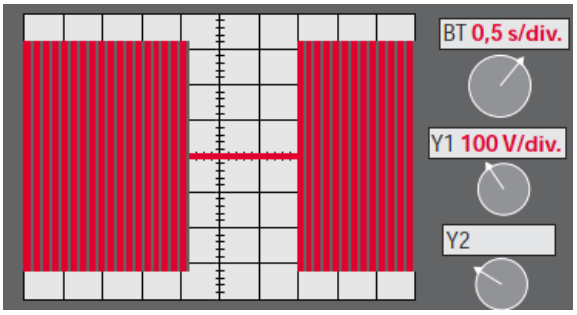
2) Calculer la puissance nominale ***Pn*** *de chauffe du four.*

……..

3) Calculer la puissance moyenne ***P_{moy}*** *de chauffe obtenue.*

……..

EXERCICE 7 : *Un gradateur d'énergie par trains d'ondes alimente un four de résistance* ***R = 11,5 Ω*** *sous la tension sinusoïdale de valeur efficace* ***U = 230 V/50 Hz****. Le relevé oscillographique est donné ci-dessous.*



1. Quel est le temps de conduction ***t_1*** *?*

……..

2. Quelle est la durée du cycle ***T_C*** *?*

……..

3. Calculer le rapport cyclique ***a***

……..

4. Calculer la tension ***U_R*** *aux bornes de la résistance.*

……..

5. Calculer la puissance moyenne ***P_{moy}*** *du four fonctionnant dans ces conditions.*

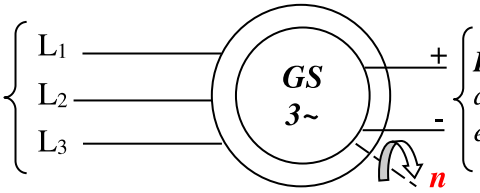
……..

8 MACHINE SYNCHRONE CONVERTIR

Résumé du cours

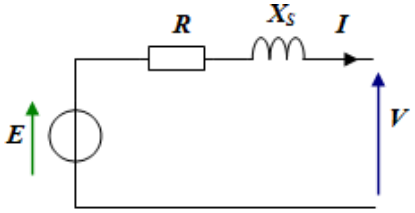
Principe

Stator : *constitué de 3 enroulements produisant un système de f.é.m. triphasé équilibré et de fréquence* $f = p.n$.



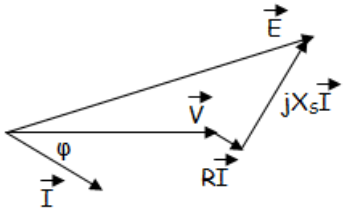
Rotor : *constitué d'électroaimants alimentés en courant continu et entrainé à la vitesse de rotation* n.

Modèle équivalent électrique d'une phase de l'alternateur

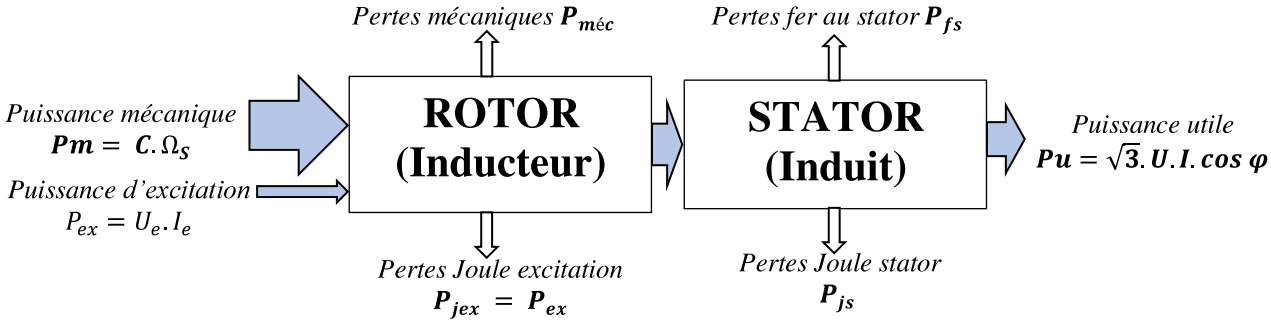


$$\underline{E} = \underline{V} + R\underline{I} + jX_S\underline{I}$$

Diagramme vectoriel



Bilan des puissances

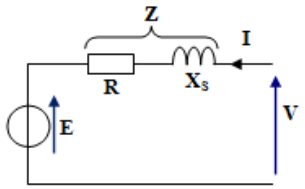


- $P_{js} = 3.r.I^2(Y) = 3.r.J^2(\Delta) = \frac{3}{2}R.I^2$ ($\forall$ couplage) Avec r : résistance d'une phase.
  R : résistance entre deux bornes du stator.
- Rendement : $\eta = \frac{Pu}{Pa} = \frac{Pu}{Pu+\sum pertes} = \frac{\sqrt{3}.U.I.\cos\varphi}{(\sqrt{3}.U.I.\cos\varphi) + P_{js} + P_{jex} + P_{fs} + P_{méc}}$

Réversibilité : Moteur synchrone triphasé

La machine synchrone couplée sur le réseau tourne à la vitesse de synchronisme $n_S = \frac{f}{p}$

Schéma équivalent, équation :



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

Puissance et Rendement :

- Puissance absorbée : $P = \sqrt{3}\ U\ I \cos\varphi$
- Puissance utile : $Pu = Pa - \Sigma pertes$
- Rendement : $\eta = Pu / P$

Activité 13 — TD : Machine synchrone

EXERCICE 1 : *Un* ***alternateur monophasé*** *doit fournir une tension* ***230V-50Hz*** *pour remplacer le réseau Lydec en cas de coupure dépassant quelques minutes.*

1. A quelle vitesse ***n*** *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 A*** *sous* ***U = 220 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_{mot} **= 15,9 N.m** *à la vitesse de rotation calculée à la* ***question 1*** *:*

……

EXERCICE 2 **:** *La plaque signalétique d'un alternateur triphasé indique :* **S = 110 kVA** *;* **6 pôles** *;* **U = 5500 V** *et* **n = 1000 tr/mn.**

Le stator est couple en ***étoile*** *et la mesure à chaud de la résistance entre deux phases a donné :* **Ra = 4 Ω**.
On relève au cours d'un essai à vide à 1000 tr/min :

Ie(A)	***10***	***20***	***30***	***40***	***45***
E(v)	***1150***	***2300***	***3400***	***4400***	***4600***

En court-circuit, pour **Ie = 20 A**, *on mesure* **Icc = 19 A** *; avec :*

- ***Ie*** *: intensité en ligne du courant d'excitation ;*
- ***E*** *: f.é.m. aux bornes d'un enroulement de l'induit ;*
- ***Icc*** *: intensité en ligne du courant de court-circuit.*

Calculer :

1. *La fréquence* ***f*** *des f.é.m. induites ;*

……

2. *La résistance* ***R*** *d'une phase de l'induit ;*

……

3. *L'intensité efficace* ***In*** *du courant nominal en ligne ;*

……

4. *La réactance synchrone* ***Xs*** *d'un enroulement, en supposant le circuit magnétique non saturé.*

……

……

5 - l'alternateur débite son courant nominal, sous **U = 5500 V**, *dans une charge triphasée inductive de facteur de puissance* **cos φ = 0,8**. *Déterminer graphiquement à l'aide du diagramme synchrone (vectoriel) la valeur efficace de la f.é.m.* **E** *d'une phase. En déduire l'intensité* **Ie** *du courant d'excitation.*
On négligera la résistance des enroulements du stator. (Echelle conseillé : **1 cm = 280 V***)*
On calcule d'abord :

V = ……

$X_S.I$ = ……

Echelle : 1 cm = 280 V

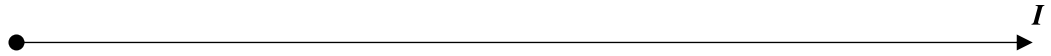
$\vec{V}$ → …… cm

$Xs.\vec{I}$ → …… cm

cos φ = 0,8 → φ = ….°

Etapes :
1/ On prend I comme origine des phases.
2/ On trace Xs.I perpendiculaire à I.
3/ On trace une droite // à I passant par l'extrémité du vecteur Xs.I.
*4/ On trace V déphasé de **φ** par rapport à la droite en pointillé.*
*5/ La somme des 2 vecteurs donne **E**.*
***E** mesure ……. cm*

*Soit : **E =** ……*



*Pour Ie = 40 A → E = 4400 V et pour **E =** ……. → **Ie** = ... / ..... = ……*

***EXERCICE 3**: Le rotor d'un alternateur tourne à **n = 1500 tr/min**. La mesure des résistances à chaud a donné : **r = 30 Ω** pour l'inducteur et **Ra = 1 Ω** entre deux phases de l'induit. Le stator est couple en **étoile**.*

1. *Quel doit être le nombre de pôles de l'inducteur pour que la fréquence des f.é.m. induites soit **f = 50 Hz** ?*

……

2. *A **n = 1500 tr/min** on relève :*
   - *A vide :*

***Ie** (A)*	***1***	***2***	***2,5***	***3***	***4***	***5***
***E** (v)*	***140***	***280***	***340***	***360***	***370***	***375***

   - *En court-circuit : Pour **Ie = 2 A**, **Icc = 38 A** ;*

*Avec **Ie** : intensité du courant d'excitation délivrée par une source continue indépendante ;*

***E** : f.é.m. induite entre le neutre et une borne de phase ;*

***Icc** : intensité du courant de court-circuit.*

*Dans la suite du problème on maintient constants : **Ie = 2,5 A** et **n= 1500 tr/min**.*

*Le flux maximal sous chaque pôle vaut Φ_{max}**= 19 mWb** et le coefficient de Kapp **K= 2,25** ; Calculer :*

*21- le nombre total **N** de conducteur de l'induit ;*

……

*22- la réactance synchrone **Xs** d'une phase.*

……

……

3. *En charge, l'alternateur débite un courant en ligne **I = 20 A** dans une charge triphasée équilibrée inductive de facteur de puissance **cos φ = 0,8**.*

*31- Déterminer, à l'aide du diagramme synchrone, la valeur efficace de la tension composée **U**.*
*(Echelle conseillé : **1 cm = 34 V**)*

$\vec{E} = \vec{V} + Xs.\vec{I} + R.\vec{I}$

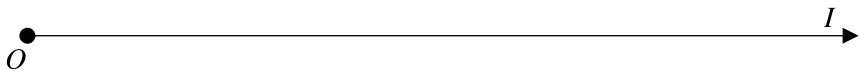
Pour Ie = 2,5 A → E = …….. V
R.I = …… ……
X_S.I = …… ……
*cos φ = 0,8 → **φ =** …….*

Echelle : 1 cm = 34 V

$\vec{E}$ → …… cm
$R.\vec{I}$ → …… cm
$Xs.\vec{I}$ → …… cm

Etapes :
*1/ On prend **I** comme origine des phases.*
*2/ On trace **R.I** en phase avec **I**.*
*3/ On trace **Xs.I** perpendiculaire à **I**.*
*4/ On trace une droite // à **I** passant par l'extrémité du vecteur **Xs.I**.*
*5/ On trace la direction de **V** déphasé de **φ** par rapport à la droite en pointillé.*
*6/ On trace un arc de cercle de rayon **E** et de centre O.*
*7/ l'intersection de cet arc avec la direction de **V** donne la valeur de **V**.*
V mesure …….. cm

V = …… *Soit* ***: U =*** ……



*32- Les pertes constantes s'élevant à **pc = 300 W**, calculer le rendement de l'alternateur pour cette charge.*

……

……

……

……

c – Calculer le moment du couple que doit fournir le moteur d'entraînement du rotor.

……

……

EXERCICE 4 **:** *Le rotor d'un alternateur triphasé,* ***50 Hz****, tourne à la vitesse de* ***750 tr/min****. Son stator comporte* ***120 encoches*** *régulièrement réparties, chacune d'elles contient* ***4 conducteurs****. Toutes les encoches sont utilisées, les trois enroulements sont couplés en* ***étoile*** *et leur* ***résistance est négligée*** *; le coefficient de Kapp est* ***2,14****. On donne le flux par pôle en fonction de l'excitation :*

Ie (A)	*8*	*10*	*11,8*	*15,4*	*17*	*20*	*26*	*34*
Φ (mWb)	*50*	*61*	*70*	*85*	*90*	*97*	*105*	*108*

L'alternateur débite un courant ***I = 150 A*** *dans une* ***charge purement inductive*** *sous la tension* ***U= 962 V*** *entre fils de ligne avec une excitation* ***Ie = 15,4 A****.*

1. *Quelle est le nombre de pôles de l'alternateur ?*

……

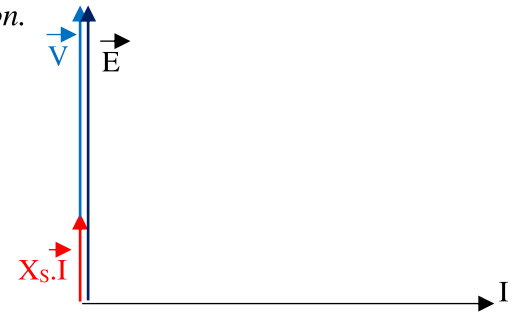
2. *Quelle est la tension à vide pour* ***Ie = 15,4 A*** *?*

……

3. *Calculer la réactance synchrone par phase pour cette excitation.*

Comme la charge est purement inductive, le diagramme vectoriel montre que V, E, et X_S.I sont en phase donc :
E = *……* ***(1)***

(1) *Donne :* X_S = ……



EXERCICE 5 : *L'alternateur, triphasé, couplé en étoile, comporte* ***26 pôles*** *et doit fournir entre phases une tension de fréquence* ***50 Hz*** *et de valeur efficace* ***U = 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* ***Ie*** *et à fréquence de rotation nominale* n_N *peut être assimilée à une droite d'équation :* ***E = 10,7.Ie****, avec* ***E*** *en (V) et* ***Ie*** *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 ***Ie = 434 A*** *a donné* ***Icc = 2000 A****.*
l. calculer la vitesse de rotation ***n*** *de l'alternateur en* ***tr/s***

……

2. calculer la réactance synchrone ***Xs*** *par phase*

……

……

……

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

V = ……
Xs.I = ……
cos φ = 0,9 → φ = ……°

Echelle : 1 cm = 500 V

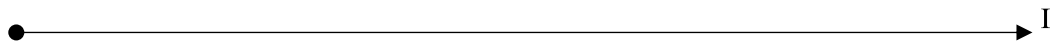
$\vec{V}$ → ……. *cm*
$Xs.\vec{I}$ → …… *cm*

Etapes :
*1/ On prend **I** comme origine des phases.*
*2/ On trace **Xs.I** perpendiculaire à **I**.*
*3/ On trace une droite // à **I** passant par l'extrémité du vecteur **Xs.I**.*
*4/ On trace **V** déphasé de **φ** par rapport à la droite en pointillé.*
*5/ la résultante des 2 vecteurs donne **Es**.*
***Es** mesure …….. cm*

*Soit : **Es =** ……..*

*On sait que : **E = 10,7. Ie***

soit : Ie = ⋯ …… ……



*4. La résistance de l'enroulement du rotor étant **Re = 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**.*

On calcule d'abord les pertes joule stator Pjs = ……

et les pertes joule excitation Pje = ……

Finalement le rendement est η = ……

……

***EXERCICE 6 :** On considère un **alternateur monophasé** (circuit magnétique non saturé), ayant les caractéristiques suivantes :*

- *Tension d'induit **U = 400 V** ;*
- *Vitesse de rotation **N = 1000 tr/min** ;*
- *Fréquence **f = 50 Hz** ;*
- *Résistance d'induit **r = 0,02 Ω**.*

*Lorsque le courant d'excitation vaut **9 A**, la tension à vide est égale à **420 V**. De plus, pour un courant d'excitation de **5 A**, l'alternateur débite un courant de court-circuit de **307 A** (Icc est proportionnel à Ie).*

1) Déterminer le nombre de pôles de l'alternateur.

……

*2) Détermination de la réactance synchrone **Xs**.*

……

……

*3) Le facteur de puissance de l'installation étant de **0,9**, trouver la f.é.m. **E** nécessaire pour alimenter le réseau sous une tension **U = 380 V**, l'alternateur débitant un courant **I = 120 A**.*

E = ……

U = ……
Xs.I = …….
r.I = ……
cos φ = 0,9 → φ = ……°

r.I → …… cm .
U → ……. cm
Xs.I → ……. cm

Echelle : 1 cm = 38 V

Etapes :
1/ On prend I comme origine des phases.
2/ On trace Xs.I perpendiculaire à I.
3/ On trace une droite // à I passant par l'extrémité du vecteur Xs.I.
4/ On trace V déphasé de 26° par rapport à la droite en pointillé.
5/ La résultante des 3 vecteurs donne E.
*E mesure ……. **cm***
*Soit : **E =** …….*

*4) En déduire le courant d'excitation **Ie** correspondant (on considère que la courbe **E(Ie)** est **linéaire** entre **380** et **450 V**).*

…….

*5) Le rotor consomme le courant **Ie** sous une tension de **Ue = 17 V**, et les **pertes constantes** sont égales à **700 W**. Calculer pour les conditions des questions **3)** et **4)**, la puissance utile ainsi que le rendement*

***Pu** = …….*

On calcule les pertes joule stator Pjs = …….

et les pertes joule excitation Pje = …….

…….

EXERCICE 7 : Compensateur synchrone *:*

*Les compteurs d'énergie active et réactive installés sur le tableau d'alimentation d'une usine indiquent respectivement **P = 13750 KWh** et **Q = 16500 kVARh** pour une journée.*

1. *Quel est le facteur de puissance moyen de cette usine ?*

…….

2. *On veut relever jusqu'à **cos φ' = 0,85** le facteur de puissance moyen par l'emploi d'une machine synchrone surexcitée (compensateur synchrone) fonctionnant à vide. Si on néglige en première approximation la puissance active absorbée par cette machine, quelle devra être la puissance apparente ?*

D'abord il faut calculer la puissance réactive nécessaire que doit fournir la machine synchrone pour relever le cos φ :

…….

…….

3. *En supposant que la machine considérée absorbe une puissance active égale à **6,5 %** de sa puissance réactive, quelle est exactement la puissance apparente du compensateur synchrone à installer ?*

…….

Exercices : Machine synchrone

EXERCICE 1 : Machine synchrone réversible d'une centrale hydroélectrique

Principe de fonctionnement :

Une machine hydraulique (turbine ou pompe) est accouplée à une machine synchrone qui peut fonctionner en alternateur ou en moteur.
Aux heures de pointes le groupe turbine-alternateur fournit de l'énergie au réseau.
Aux heures creuses le groupe moteur-pompe permet de remonter l'eau du bassin aval vers le bassin amont.

Caractéristiques de la machine synchrone :

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

Le circuit magnétique n'étant pas saturé, la force électromotrice à vide entre phases ***E*** *est proportionnelle au courant d'excitation* ***Ie*** *selon la relation :* ***E = 500.Ie*** *(**E** en **V** et **Ie** en **A**)*
La caractéristique de court-circuit correspond à la relation : ***Icc = 300.Ie*** *(**Icc** et **Ie** en **A**)*

I. Calculs préliminaires. *Calculer :*

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

……

2. *Le nombre de paires de pôles **p** :*

……

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

Pour Ie = 50 A, l'essai à vide donne une f.é.m. par enroulement : $Es = \frac{E}{\sqrt{3}} =$ …….

……

4. *La réactance cyclique synchrone **Xs** de chaque enroulement.*

*Pour **Ie = 50 A**, l'essai à vide donne :* ***Es =*** ……

et l'essai en court-circuit donne : I_{CC} **=** ……

Soit ……

II. Fonctionnement en alternateur.

L'alternateur fonctionne dans les conditions suivantes :

- *Intensité du courant d'excitation :* ***Ie = 50 A***
- *Facteur de puissance du réseau :* ***cos φ = 0,9*** *(φ > 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 **I** du courant d'induit.*

Equation en tension est : $\underline{V} = \underline{E}s - Xs.\underline{I}$ *, il faut chercher graphiquement Xs.I et déduire I.*

$V =$ …… ……

$Es =$ …… ……

$\cos\varphi = 0,9 \rightarrow \varphi =$ …… °

Echelle : 1 cm = 1000 V

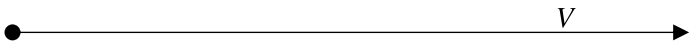
$\vec{V} \rightarrow$ …… cm

$\vec{E} \rightarrow$ …… cm

A partir du diagramme on tire :

$\vec{Xs.I}$ = …… cm → Valeur de Xs.I = ……

I = ……



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 kV****.*
- *Puissance absorbée par l'induit :* ***P = 120 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 φ*** *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 **Es** par enroulement puis le courant d'excitation **Ie**.*

Equation en tension est : $\underline{Es} = \underline{V} - Xs.\underline{I}$, il faut chercher graphiquement Es et déduire Ie.

$V =$ …… ……

$Xs.I =$ …… ……

$\cos\varphi = 1 \rightarrow \varphi =$ …… °

Echelle : 1 cm = 800 V

$\vec{V} \rightarrow$ …… cm

$Xs.\vec{I} \rightarrow$ …… cm

*Soit : **Es =** ……*

*On sait que : **E = 500. Ie***

soit : Ie = …… ……

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

$Pu = Pa - \sum pertes =$ …… ……

$Pu =$ …… ……

EXERCICE 2 : *Un alternateur possède un stator monté en **étoile**. Son rotor tourne à la vitesse de **1500 tr/min**. La fréquence est de **50 Hz**. La résistance d'une phase est **R = 0.8 Ω**. On a relevé la caractéristique à vide :*

Ie (A)	0	0,25	0,4	0,5	0,75	1	1,25	1,5	1,75	2	3
E (V)	10	86	131	156	192	213	226	240	252	262	305

***E** : fém. d'un enroulement*

*Un essai en court-circuit a donné **Ie = 0,5 A** et **Icc = 48 A**.*

*1. Calculer la réactance synchrone d'induit **Xs**.*

*Pour **Ie = 0,5 A**, l'essai à vide donne : **E =** …… et l'essai en court-circuit donne : **Icc =** ……*

……

*2. L'alternateur débite dans un récepteur inductif dont le facteur de puissance est **0.8**, un courant de **30 A** en ligne sous une tension de **380 V** entre phases. Quelle est l'intensité du courant d'excitation ?*

$V =$ ……

$Xs.I =$ ……

$R.I =$ ……

$\cos\varphi = 0{,}8 \rightarrow \varphi =$ …… °

Echelle : 1 cm = 24 V

$\vec{V} \rightarrow$ …… cm

$Xs.\vec{I} \rightarrow$ …… cm

$R.\vec{I} \rightarrow$ ……cm

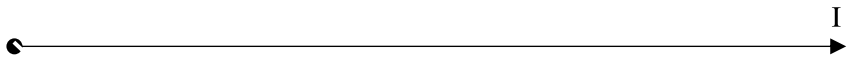
E mesure …….. cm
Soit : ***E =*** *……*
Donc : ***Ie =*** *……*

3. *Donner la valeur de la tension simple* ***V*** *à la sortie de l'alternateur dans le fonctionnement suivant :*
   I = 17,65 A*;* ***cos φ = 0.6*** *(charge capacitive);* ***Ie = 1 A****.*

V = ……
Ie = 1 A → E = …… (tableau E(Ie))
Xs.I = ……
R.I = ……
cos φ = 0,6 → φ = ……°

Echelle : 1 cm = 20 V

$\vec{V}$ *→ …… cm*
$\vec{Xs.I}$ *→ …… cm*
$\vec{R.I}$ *→ …… cm*



E → 10,65 cm
Xs.I → 2,8 cm
R.I → 0,7 cm

V mesure …… cm
Soit : ***V =*** *……*

EXERCICE 3 : *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 (**cos φ = 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 (**Ie** est l'intensité du courant d'excitation ; **E** la valeur efficace de la tension entre phases) :*

Ie (A)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
E (V)	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 ***Ie = 40 A****, un courant dans les enroulements du stator d'intensité* I_{cc} ***= 2,5 kA****.*
1/ *Quel est le nombre de pôles du rotor ?*
2/ *Calculer la réactance synchrone* X_S *de l'alternateur lorsqu'il n'est pas saturé ? On supposera* X_S *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 4 : *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 : ***Sn = 3,2 kVA****.*
La tension entre phases a pour valeur efficace : ***Un = 220 V*** *et pour fréquence* ***50 Hz****.*
Le relevé de la caractéristique à vide ***E(Ie)*** *à fréquence de rotation nominale a fourni les résultats suivants :*
*(**Ie** : intensité du courant d'excitation ; **E** : tension efficace mesurée entre deux bornes)*

E (V)	0	40	80	120	160	200	240	260
Ie (A)	0	0,10	0,20	0,30	0,40	0,52	0,72	0,90

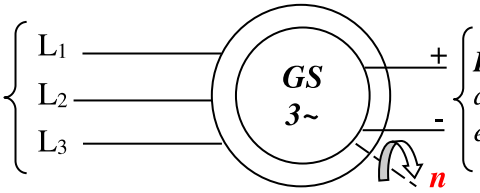
Pour un courant d'excitation ***Ie = 0,40 A****, un essai en court-circuit a montré que le courant dans un enroulement statorique a pour intensité efficace* I_{cc} ***= 8 A****. La résistance du stator est négligeable.*
1. *Quel est le nombre de pôles du rotor ?*
2. *Calculer l'intensité efficace* I_n *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 A*** *dans une charge inductive de facteur de puissance* ***cos φ = 0,5****. L'intensité du courant d'excitation étant réglée à la valeur* ***Ie = 0,9 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.*

8 MACHINE SYNCHRONE CONVERTIR

Résumé du cours

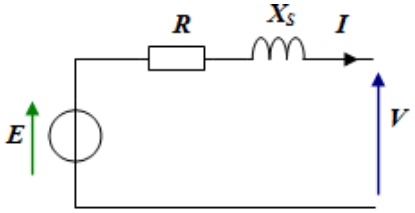
Principe

Stator : *constitué de 3 enroulements produisant un système de f.é.m. triphasé équilibré et de fréquence* $f = p.n$.



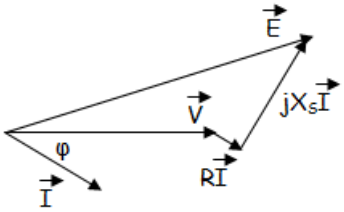
Rotor : *constitué d'électroaimants alimentés en courant continu et entrainé à la vitesse de rotation* ***n***.

Modèle équivalent électrique d'une phase de l'alternateur

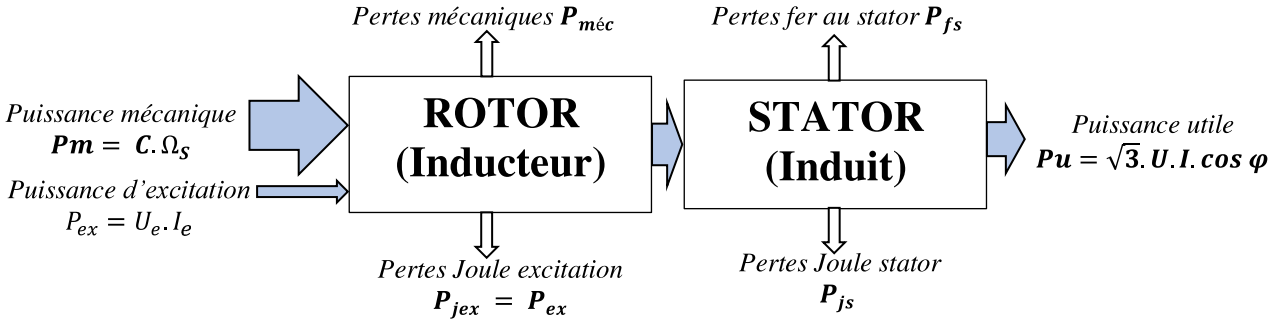


$$\underline{E} = \underline{V} + R\underline{I} + jX_S\underline{I}$$

Diagramme vectoriel



Bilan des puissances

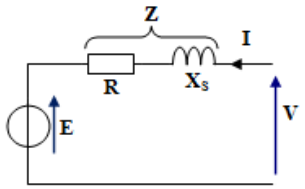


- $P_{js} = 3.r.I^2(Y) = 3.r.J^2(\Delta) = \frac{3}{2}R.I^2$ ($\forall$ couplage) Avec ***r*** *: résistance d'une phase.*
  R *: résistance entre deux bornes du stator.*
- *Rendement :* $\eta = \frac{Pu}{Pa} = \frac{Pu}{Pu+\sum pertes} = \frac{\sqrt{3}.U.I.\cos\varphi}{(\sqrt{3}.U.I.\cos\varphi) + P_{js} + P_{jex} + P_{fs} + P_{méc}}$

Réversibilité : Moteur synchrone triphasé

La machine synchrone couplée sur le réseau tourne à la vitesse de synchronisme $n_S = \frac{f}{p}$

Schéma équivalent, équation :



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

Puissance et Rendement :

- *Puissance absorbée :* $P = \sqrt{3}\ U\ I \cos\varphi$
- *Puissance utile :* $Pu = Pa - \Sigma pertes$
- *Rendement :* $\eta = Pu / P$

Activité 13 — TD : Machine synchrone

EXERCICE 1 : *Un* ***alternateur monophasé*** *doit fournir une tension* ***230V-50Hz*** *pour remplacer le réseau Lydec en cas de coupure dépassant quelques minutes.*

1. A quelle vitesse ***n*** *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 A*** *sous* ***U = 220 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_{mot} **= 15,9 N.m** *à la vitesse de rotation calculée à la* ***question 1*** *:*

……

EXERCICE 2 **:** *La plaque signalétique d'un alternateur triphasé indique :* **S = 110 kVA** *;* **6 pôles** *;* **U = 5500 V** *et* **n = 1000 tr/mn.**

Le stator est couple en ***étoile*** *et la mesure à chaud de la résistance entre deux phases a donné :* **Ra = 4 Ω**.
On relève au cours d'un essai à vide à 1000 tr/min :

Ie(A)	***10***	***20***	***30***	***40***	***45***
E(v)	***1150***	***2300***	***3400***	***4400***	***4600***

En court-circuit, pour **Ie = 20 A**, *on mesure* **Icc = 19 A** *; avec :*

- ***Ie*** *: intensité en ligne du courant d'excitation ;*
- ***E*** *: f.é.m. aux bornes d'un enroulement de l'induit ;*
- ***Icc*** *: intensité en ligne du courant de court-circuit.*

Calculer :

1. *La fréquence* ***f*** *des f.é.m. induites ;*

……

2. *La résistance* ***R*** *d'une phase de l'induit ;*

……

3. *L'intensité efficace* ***In*** *du courant nominal en ligne ;*

……

4. *La réactance synchrone* ***Xs*** *d'un enroulement, en supposant le circuit magnétique non saturé.*

……

……

5 - l'alternateur débite son courant nominal, sous **U = 5500 V**, *dans une charge triphasée inductive de facteur de puissance* **cos φ = 0,8**. *Déterminer graphiquement à l'aide du diagramme synchrone (vectoriel) la valeur efficace de la f.é.m.* **E** *d'une phase. En déduire l'intensité* **Ie** *du courant d'excitation.*
On négligera la résistance des enroulements du stator. (Echelle conseillé : **1 cm = 280 V***)*
On calcule d'abord :

V = ……

$X_S.I$ = ……

Echelle : 1 cm = 280 V

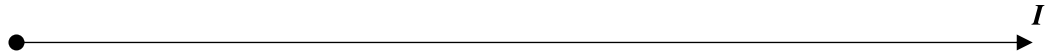
$\vec{V}$ → …… cm

$Xs.\vec{I}$ → …… cm

cos φ = 0,8 → φ = ….°

Etapes :
1/ On prend I comme origine des phases.
2/ On trace Xs.I perpendiculaire à I.
3/ On trace une droite // à I passant par l'extrémité du vecteur Xs.I.
*4/ On trace V déphasé de **φ** par rapport à la droite en pointillé.*
*5/ La somme des 2 vecteurs donne **E**.*
***E** mesure ……. cm*

*Soit : **E =** ……*



*Pour Ie = 40 A → E = 4400 V et pour **E =** ……. → **Ie** = ... / ..... = ……*

***EXERCICE 3**: Le rotor d'un alternateur tourne à **n = 1500 tr/min**. La mesure des résistances à chaud a donné : **r = 30 Ω** pour l'inducteur et **Ra = 1 Ω** entre deux phases de l'induit. Le stator est couple en **étoile**.*

1. *Quel doit être le nombre de pôles de l'inducteur pour que la fréquence des f.é.m. induites soit **f = 50 Hz** ?*

……

2. *A **n = 1500 tr/min** on relève :*
   - *A vide :*

***Ie** (A)*	***1***	***2***	***2,5***	***3***	***4***	***5***
***E** (v)*	***140***	***280***	***340***	***360***	***370***	***375***

   - *En court-circuit : Pour **Ie = 2 A**, **Icc = 38 A** ;*

*Avec **Ie** : intensité du courant d'excitation délivrée par une source continue indépendante ;*

***E** : f.é.m. induite entre le neutre et une borne de phase ;*

***Icc** : intensité du courant de court-circuit.*

*Dans la suite du problème on maintient constants : **Ie = 2,5 A** et **n= 1500 tr/min**.*

*Le flux maximal sous chaque pôle vaut Φ_{max}**= 19 mWb** et le coefficient de Kapp **K= 2,25** ; Calculer :*

*21- le nombre total **N** de conducteur de l'induit ;*

……

*22- la réactance synchrone **Xs** d'une phase.*

……

……

3. *En charge, l'alternateur débite un courant en ligne **I = 20 A** dans une charge triphasée équilibrée inductive de facteur de puissance **cos φ = 0,8**.*

*31- Déterminer, à l'aide du diagramme synchrone, la valeur efficace de la tension composée **U**.*
*(Echelle conseillé : **1 cm = 34 V**)*

$\vec{E} = \vec{V} + Xs.\vec{I} + R.\vec{I}$

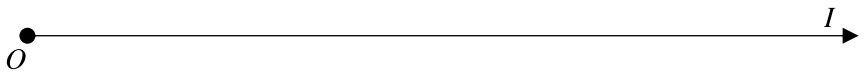
Pour Ie = 2,5 A → E = …….. V
R.I = …… ……
X_S.I = …… ……
*cos φ = 0,8 → **φ =** …….*

Echelle : 1 cm = 34 V

$\vec{E}$ → …… cm
$R.\vec{I}$ → …… cm
$Xs.\vec{I}$ → …… cm

Etapes :
*1/ On prend **I** comme origine des phases.*
*2/ On trace **R.I** en phase avec **I**.*
*3/ On trace **Xs.I** perpendiculaire à **I**.*
*4/ On trace une droite // à **I** passant par l'extrémité du vecteur **Xs.I**.*
*5/ On trace la direction de **V** déphasé de **φ** par rapport à la droite en pointillé.*
*6/ On trace un arc de cercle de rayon **E** et de centre O.*
*7/ l'intersection de cet arc avec la direction de **V** donne la valeur de **V**.*
V mesure …….. cm

V = …… *Soit* ***: U =*** ……



*32- Les pertes constantes s'élevant à **pc = 300 W**, calculer le rendement de l'alternateur pour cette charge.*

……

……

……

……

c – Calculer le moment du couple que doit fournir le moteur d'entraînement du rotor.

……

……

EXERCICE 4 **:** *Le rotor d'un alternateur triphasé,* ***50 Hz****, tourne à la vitesse de* ***750 tr/min****. Son stator comporte* ***120 encoches*** *régulièrement réparties, chacune d'elles contient* ***4 conducteurs****. Toutes les encoches sont utilisées, les trois enroulements sont couplés en* ***étoile*** *et leur* ***résistance est négligée*** *; le coefficient de Kapp est* ***2,14****. On donne le flux par pôle en fonction de l'excitation :*

Ie (A)	*8*	*10*	*11,8*	*15,4*	*17*	*20*	*26*	*34*
Φ (mWb)	*50*	*61*	*70*	*85*	*90*	*97*	*105*	*108*

L'alternateur débite un courant ***I = 150 A*** *dans une* ***charge purement inductive*** *sous la tension* ***U= 962 V*** *entre fils de ligne avec une excitation* ***Ie = 15,4 A****.*

1. *Quelle est le nombre de pôles de l'alternateur ?*

……

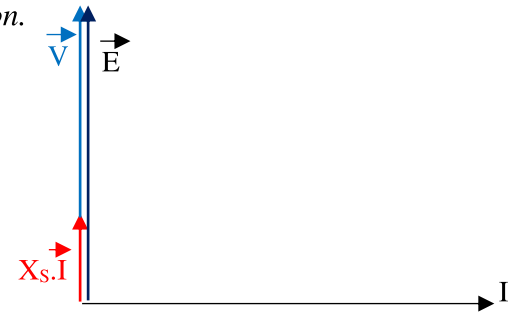
2. *Quelle est la tension à vide pour* ***Ie = 15,4 A*** *?*

……

3. *Calculer la réactance synchrone par phase pour cette excitation.*

Comme la charge est purement inductive, le diagramme vectoriel montre que V, E, et X_S.I sont en phase donc :
E = *……* ***(1)***

(1) *Donne :* X_S = ……



EXERCICE 5 : *L'alternateur, triphasé, couplé en étoile, comporte* ***26 pôles*** *et doit fournir entre phases une tension de fréquence* ***50 Hz*** *et de valeur efficace* ***U = 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* ***Ie*** *et à fréquence de rotation nominale* n_N *peut être assimilée à une droite d'équation :* ***E = 10,7.Ie****, avec* ***E*** *en (V) et* ***Ie*** *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 ***Ie = 434 A*** *a donné* ***Icc = 2000 A****.*
l. calculer la vitesse de rotation ***n*** *de l'alternateur en* ***tr/s***

……

2. calculer la réactance synchrone ***Xs*** *par phase*

……

……

……

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

V = ……
Xs.I = ……
cos φ = 0,9 → φ = ……°

Echelle : 1 cm = 500 V

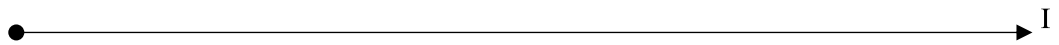
$\vec{V}$ → ……. *cm*
$Xs.\vec{I}$ → …… *cm*

Etapes :
*1/ On prend **I** comme origine des phases.*
*2/ On trace **Xs.I** perpendiculaire à **I**.*
*3/ On trace une droite // à **I** passant par l'extrémité du vecteur **Xs.I**.*
*4/ On trace **V** déphasé de **φ** par rapport à la droite en pointillé.*
*5/ la résultante des 2 vecteurs donne **Es**.*
***Es** mesure …….. cm*

*Soit : **Es =** ……..*

*On sait que : **E = 10,7. Ie***

soit : Ie = ⋯ …… ……



*4. La résistance de l'enroulement du rotor étant **Re = 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**.*

On calcule d'abord les pertes joule stator Pjs = ……

et les pertes joule excitation Pje = ……

Finalement le rendement est η = ……

……

***EXERCICE 6 :** On considère un **alternateur monophasé** (circuit magnétique non saturé), ayant les caractéristiques suivantes :*

- *Tension d'induit **U = 400 V** ;*
- *Vitesse de rotation **N = 1000 tr/min** ;*
- *Fréquence **f = 50 Hz** ;*
- *Résistance d'induit **r = 0,02 Ω**.*

*Lorsque le courant d'excitation vaut **9 A**, la tension à vide est égale à **420 V**. De plus, pour un courant d'excitation de **5 A**, l'alternateur débite un courant de court-circuit de **307 A** (Icc est proportionnel à Ie).*

1) Déterminer le nombre de pôles de l'alternateur.

……

*2) Détermination de la réactance synchrone **Xs**.*

……

……

*3) Le facteur de puissance de l'installation étant de **0,9**, trouver la f.é.m. **E** nécessaire pour alimenter le réseau sous une tension **U = 380 V**, l'alternateur débitant un courant **I = 120 A**.*

E = ……

U = ……
Xs.I = …….
r.I = ……
cos φ = 0,9 → φ = ……°

r.I → …… cm .
U → ……. cm
Xs.I → ……. cm

Echelle : 1 cm = 38 V

Etapes :
1/ On prend I comme origine des phases.
2/ On trace Xs.I perpendiculaire à I.
3/ On trace une droite // à I passant par l'extrémité du vecteur Xs.I.
4/ On trace V déphasé de 26° par rapport à la droite en pointillé.
5/ La résultante des 3 vecteurs donne E.
*E mesure ……. **cm***
*Soit : **E =** …….*

*4) En déduire le courant d'excitation **Ie** correspondant (on considère que la courbe **E(Ie)** est **linéaire** entre **380** et **450 V**).*

…….

*5) Le rotor consomme le courant **Ie** sous une tension de **Ue = 17 V**, et les **pertes constantes** sont égales à **700 W**. Calculer pour les conditions des questions **3)** et **4)**, la puissance utile ainsi que le rendement*

***Pu** = …….*

On calcule les pertes joule stator Pjs = …….

et les pertes joule excitation Pje = …….

…….

EXERCICE 7 : Compensateur synchrone *:*

*Les compteurs d'énergie active et réactive installés sur le tableau d'alimentation d'une usine indiquent respectivement **P = 13750 KWh** et **Q = 16500 kVARh** pour une journée.*

1. *Quel est le facteur de puissance moyen de cette usine ?*

…….

2. *On veut relever jusqu'à **cos φ' = 0,85** le facteur de puissance moyen par l'emploi d'une machine synchrone surexcitée (compensateur synchrone) fonctionnant à vide. Si on néglige en première approximation la puissance active absorbée par cette machine, quelle devra être la puissance apparente ?*

D'abord il faut calculer la puissance réactive nécessaire que doit fournir la machine synchrone pour relever le cos φ :

…….

…….

3. *En supposant que la machine considérée absorbe une puissance active égale à **6,5 %** de sa puissance réactive, quelle est exactement la puissance apparente du compensateur synchrone à installer ?*

…….

Exercices : Machine synchrone

EXERCICE 1 : Machine synchrone réversible d'une centrale hydroélectrique

Principe de fonctionnement :

Une machine hydraulique (turbine ou pompe) est accouplée à une machine synchrone qui peut fonctionner en alternateur ou en moteur.
Aux heures de pointes le groupe turbine-alternateur fournit de l'énergie au réseau.
Aux heures creuses le groupe moteur-pompe permet de remonter l'eau du bassin aval vers le bassin amont.

Caractéristiques de la machine synchrone :

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

Le circuit magnétique n'étant pas saturé, la force électromotrice à vide entre phases ***E*** *est proportionnelle au courant d'excitation* ***Ie*** *selon la relation :* ***E = 500.Ie*** *(**E** en **V** et **Ie** en **A**)*
La caractéristique de court-circuit correspond à la relation : ***Icc = 300.Ie*** *(**Icc** et **Ie** en **A**)*

I. Calculs préliminaires. *Calculer :*

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

……

2. *Le nombre de paires de pôles **p** :*

……

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

Pour Ie = 50 A, l'essai à vide donne une f.é.m. par enroulement : $Es = \frac{E}{\sqrt{3}} =$ …….

……

4. *La réactance cyclique synchrone **Xs** de chaque enroulement.*

*Pour **Ie = 50 A**, l'essai à vide donne :* ***Es =*** ……

et l'essai en court-circuit donne : I_{CC} **=** ……

Soit ……

II. Fonctionnement en alternateur.

L'alternateur fonctionne dans les conditions suivantes :

- *Intensité du courant d'excitation :* ***Ie = 50 A***
- *Facteur de puissance du réseau :* ***cos φ = 0,9*** *(φ > 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 **I** du courant d'induit.*

Equation en tension est : $\underline{V} = \underline{E}s - Xs.\underline{I}$ *, il faut chercher graphiquement Xs.I et déduire I.*

$V =$ …… ……

$Es =$ …… ……

$\cos\varphi = 0,9 \rightarrow \varphi =$ …… °

Echelle : 1 cm = 1000 V

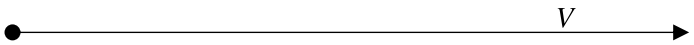
$\vec{V} \rightarrow$ …… cm

$\vec{E} \rightarrow$ …… cm

A partir du diagramme on tire :

$\vec{Xs.I}$ = …… cm → Valeur de Xs.I = ……

I = ……



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 kV****.*
- *Puissance absorbée par l'induit :* ***P = 120 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 φ*** *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 **Es** par enroulement puis le courant d'excitation **Ie**.*

Equation en tension est : $\underline{Es} = \underline{V} - Xs.\underline{I}$, il faut chercher graphiquement Es et déduire Ie.

$V =$ …… ……

$Xs.I =$ …… ……

$\cos\varphi = 1 \rightarrow \varphi =$ …… °

Echelle : 1 cm = 800 V

$\vec{V} \rightarrow$ …… cm

$Xs.\vec{I} \rightarrow$ …… cm

*Soit : **Es =** ……*

*On sait que : **E = 500. Ie***

soit : Ie = …… ……

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

$Pu = Pa - \sum pertes =$ …… ……

$Pu =$ …… ……

EXERCICE 2 : *Un alternateur possède un stator monté en **étoile**. Son rotor tourne à la vitesse de **1500 tr/min**. La fréquence est de **50 Hz**. La résistance d'une phase est **R = 0.8 Ω**. On a relevé la caractéristique à vide :*

Ie (A)	0	0,25	0,4	0,5	0,75	1	1,25	1,5	1,75	2	3
E (V)	10	86	131	156	192	213	226	240	252	262	305

***E** : fém. d'un enroulement*

*Un essai en court-circuit a donné **Ie = 0,5 A** et **Icc = 48 A**.*

*1. Calculer la réactance synchrone d'induit **Xs**.*

*Pour **Ie = 0,5 A**, l'essai à vide donne : **E =** …… et l'essai en court-circuit donne : **Icc =** ……*

……

*2. L'alternateur débite dans un récepteur inductif dont le facteur de puissance est **0.8**, un courant de **30 A** en ligne sous une tension de **380 V** entre phases. Quelle est l'intensité du courant d'excitation ?*

$V =$ ……

$Xs.I =$ ……

$R.I =$ ……

$\cos\varphi = 0{,}8 \rightarrow \varphi =$ …… °

Echelle : 1 cm = 24 V

$\vec{V} \rightarrow$ …… cm

$Xs.\vec{I} \rightarrow$ …… cm

$R.\vec{I} \rightarrow$ ……cm

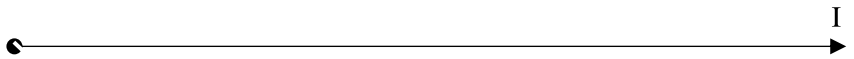
E mesure …….. cm
Soit : ***E =*** *……*
Donc : ***Ie =*** *……*

3. *Donner la valeur de la tension simple* ***V*** *à la sortie de l'alternateur dans le fonctionnement suivant :*
   I = 17,65 A*;* ***cos φ = 0.6*** *(charge capacitive);* ***Ie = 1 A****.*

V = ……
Ie = 1 A → E = …… (tableau E(Ie))
Xs.I = ……
R.I = ……
cos φ = 0,6 → φ = ……°

Echelle : 1 cm = 20 V

$\vec{V}$ *→ …… cm*
$\vec{Xs.I}$ *→ …… cm*
$\vec{R.I}$ *→ …… cm*



E → 10,65 cm
Xs.I → 2,8 cm
R.I → 0,7 cm

V mesure …… cm
Soit : ***V =*** *……*

EXERCICE 3 : *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 (**cos φ = 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 (**Ie** est l'intensité du courant d'excitation ; **E** la valeur efficace de la tension entre phases) :*

Ie (A)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
E (V)	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 ***Ie = 40 A****, un courant dans les enroulements du stator d'intensité* I_{cc} ***= 2,5 kA****.*
1/ *Quel est le nombre de pôles du rotor ?*
2/ *Calculer la réactance synchrone* X_S *de l'alternateur lorsqu'il n'est pas saturé ? On supposera* X_S *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 4 : *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 : ***Sn = 3,2 kVA****.*
La tension entre phases a pour valeur efficace : ***Un = 220 V*** *et pour fréquence* ***50 Hz****.*
Le relevé de la caractéristique à vide ***E(Ie)*** *à fréquence de rotation nominale a fourni les résultats suivants :*
*(**Ie** : intensité du courant d'excitation ; **E** : tension efficace mesurée entre deux bornes)*

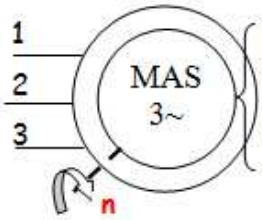
E (V)	0	40	80	120	160	200	240	260
Ie (A)	0	0,10	0,20	0,30	0,40	0,52	0,72	0,90

Pour un courant d'excitation ***Ie = 0,40 A****, un essai en court-circuit a montré que le courant dans un enroulement statorique a pour intensité efficace* I_{cc} ***= 8 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 A*** *dans une charge inductive de facteur de puissance* ***cos φ = 0,5****. L'intensité du courant d'excitation étant réglée à la valeur* ***Ie = 0,9 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.*

Résumé du cours

Constitution

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

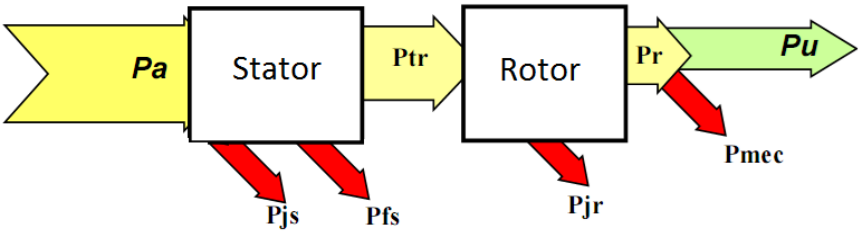


Rotor, sous l'action du champ tournant, crée des courants rotoriques engendrant des forces et un couple électromagnétique. Il existe 2 types de rotor : *rotor à cage* et *rotor bobiné*.

Caractéristiques

- *Glissement :* $g = (ns - n)/ns$
- *Vitesse :* $n = ns\,(1-g)$
- *Couple :* $Cu = f(n)$ *est une droite dans sa partie utile :* $Cu = k.g = a.n + b$ $(a<0)$.
- *Point de fonctionnement - Equilibre :* $n = c^{te} \Rightarrow Cu = Cr$ *intersection de Cu (n) et Cr (n).*

Bilan des puissances et Rendement



- *Puissance absorbée :* $Pa = \sqrt{3}\, U\, I \cos\varphi$
- *Pertes joule dans le stator :* $pjs = 3.r.I^2(Y) = 3.r.J^2(\Delta) = 3/2.\ R.\ I^2$ ($\forall$ *couplage*). { *r : résistance d'un enroulement* ; *R : résistance entre phases* }
- *Puissance transmise au rotor :* $Ptr = Pa - pjs - pfs = Ce.\Omega s$
- *Pertes joules au rotor :* $pjr = g\ Ptr$
- *Pertes dites constantes :* $Pc = pfs + pm$
- *Puissance utile :* $Pu = Cu.\Omega = Pa - \Sigma pertes$
- *Rendement :* $\eta = Pu/Pa = (Pa - pjs - pfs - pjr - pm)\ /\ Pa.$

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 étoile-triangle

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.*

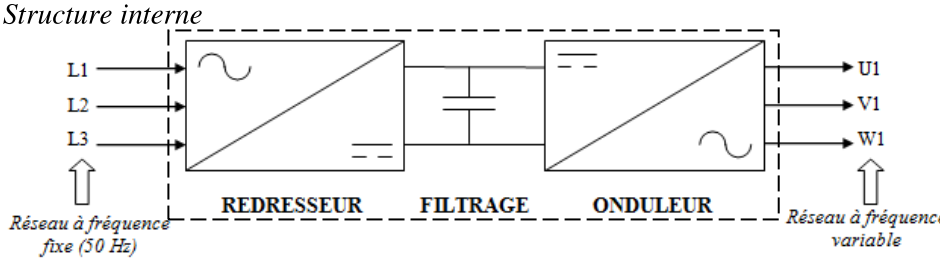
Inconvénient *: le couple au démarrage est également divisé par* **3**.

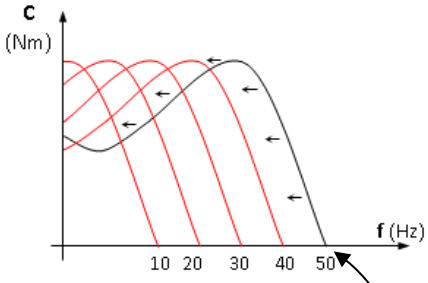
Démarrage par gradateur de tension (démarreur électronique)

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.

Variateurs industriels pour moteur asynchrone

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*

Couple à U/f = cte

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

Activité 15

TD : Moteur asynchrone

EXERCICE 1 : *Un moteur asynchrone triphasé porte sur sa plaque signalétique les indications suivantes :*

- *Tensions* ***220 V/380 V ; 50 Hz****.*
- *Puissance mécanique :* ***13 kW*** *;*
- *Rendement :* ***0,83*** *;*
- *Facteur de puissance :* ***0,80*** *;*
- *Fréquence de rotation :* ***1410 tr/min****.*

Les trois enroulements du moteur fonctionnent normalement sous une tension de ***220 V****.*

1. Quel type de couplage du stator doit-on effectuer pour obtenir un fonctionnement avec :

- *Une alimentation* ***127 V/220 V, 50 Hz*** *?*

  …….

- *Une alimentation* ***220 V/380 V, 50 Hz*** *?*

  …….

2. Le moteur fonctionne sur le secteur ***220 V/380 V, 50 Hz****. Définir et calculer :*

2.1. Les puissances active ***P*** *et réactive* ***Q*** *;*

……

……

2.2. L'intensité en ligne ***I*** *;*

……

2.3. Le nombre de pôles et le glissement ***g*** *;*

Pour ***f = 50 Hz***

p	*1*	*2*	*3*	*4*	….
ns *(tr/min)*	…..	…..	…..	…..	……

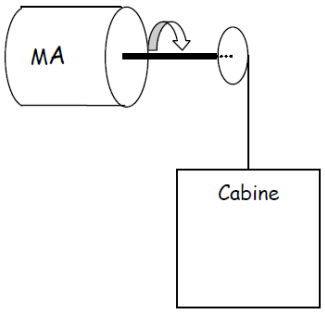
n = 1410 *est légèrement inférieure à* ***ns =*** *……. donc* ***p =*** *… soit ……*

g = ……

2.4. Le moment du couple utile ***Cu****.*

……

EXERCICE 2 : *L'énergie de l'ascenseur est fournie par un moteur asynchrone triphasé alimenté par le réseau* ***U = 400V/50Hz****, il absorbe un courant* ***I = 50 A*** *et tourne à une vitesse de* ***n = 1450 tr/min****.*
Sur la plaque signalétique on peut lire que le facteur de puissance est ***cos φ = 0,86*** *et qu'il possède* ***2 paires de pôle****. En mesurant avec un ohmmètre entre* ***2*** *bornes du stator on trouve une résistance* ***R = 0,15 Ω****. Les pertes fer au stator sont de* ***Pfs = 500 W****, 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* ***V = 4 m/s****, le treuil à un rendement de* $\eta_T = 0,75$.



Déterminer :

1. *La vitesse de synchronisme* ***ns*** *:*

   ……

2. *Le glissement* ***g*** *:*

   ……

3. *Les pertes joules au stator* ***Pjs*** *:*

   ……

4. *La puissance absorbée* ***P****:*

   ……

5. *La puissance transmise au rotor* ***Ptr*** *:*

   ……

6. *Les pertes joules au rotor **Pjr** :*

……

7. *La puissance utile **Pu** :*

……

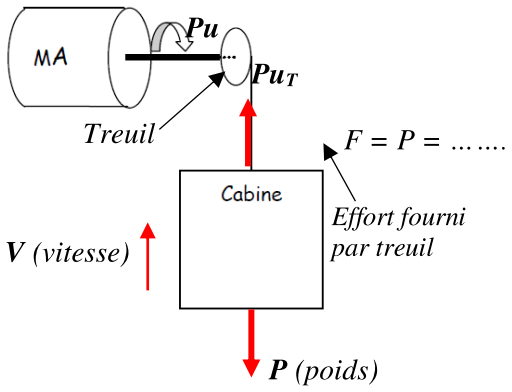
8. *Le couple utile **Cu** :*

……

9. *Le rendement du moteur η_m :*

……

10. *La charge soulevée par le treuil **M** :*



Rendement du treuil est :

…… *On prendra pour pesanteur* $g_p = 10\ m/s^2$

Soit :

……

Donc la masse est :

……

EXERCICE 3 : *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 A** ;*
- *Puissance électrique absorbée : **P = 3,25 kW** ;*
- *Vitesse de rotation : **n = 1420 tr/min**.*
- *Le rendement du moteur est **η = 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 **ns**.*

……

3. *Le glissement **g**.*

……

4. *Le facteur de puissance **cos φ** du moteur.*

……

5. *La puissance mécanique **Pu** fournie.*

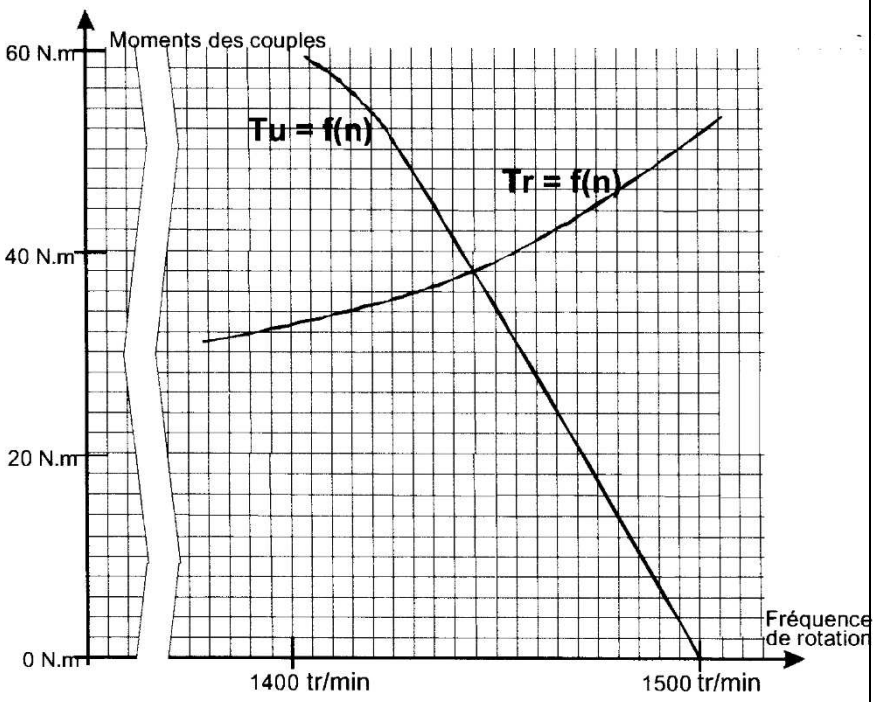
……

6. *Le moment du couple utile **Cu** du moteur.*

……

EXERCICE 4 : *Un moteur asynchrone est branché sur le réseau triphasé* ***230/400 V ; 50 Hz.***

La figure ci-après donne les caractéristiques mécaniques du moteur, ***Tu = f(n)*** *de la charge mécanique entraînée,* ***Tr = f(n)****.*



2) Déterminer graphiquement les valeurs de la vitesse ***n*** *de rotation et du moment du couple utile* ***Tu*** *du moteur asynchrone lorsqu'il entraîne sa charge.*

……

3) Calculer le glissement ***g*** *du rotor sachant que le stator comporte* ***2 paires de pôles****.*

……

4) Montrer que la puissance mécanique utile fournie par le moteur est égale à ***Pu = 5750 W****.*

……

Des essais ont permis d'évaluer les pertes de puissances lorsque la machine entraîne sa charge : pertes joule au stator ***Pjs = 262 W****, pertes fer au stator* P_{fs} ***= 155 W****, pertes joule au rotor* P_{jr}***=225W*** *et pertes mécaniques* P_m ***= 155 W****.*

5) Calculer pour ce fonctionnement : la puissance électrique absorbée ***Pa*** *par le moteur.*

……

6) Calculer le rendement ***η*** *du moteur.*

……

7) En déduire l'intensité ***I*** *du courant de ligne appelé par ce moteur sachant que son facteur de puissance est* ***cos φ = 0,75****.*

……

EXERCICE 5 : *L'éolienne permet d'alimenter plusieurs récepteurs dont un moteur asynchrone qui entraîne une pompe. Le réseau* ***130 V/230 V****,* ***50 Hz*** *alimente le moteur asynchrone triphasé de* ***1,1 kW*** *dont la plaque signalétique est donnée ci-contre :*

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

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 ?

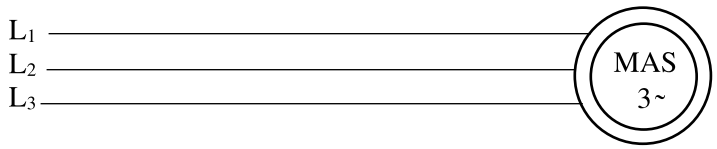
……

……

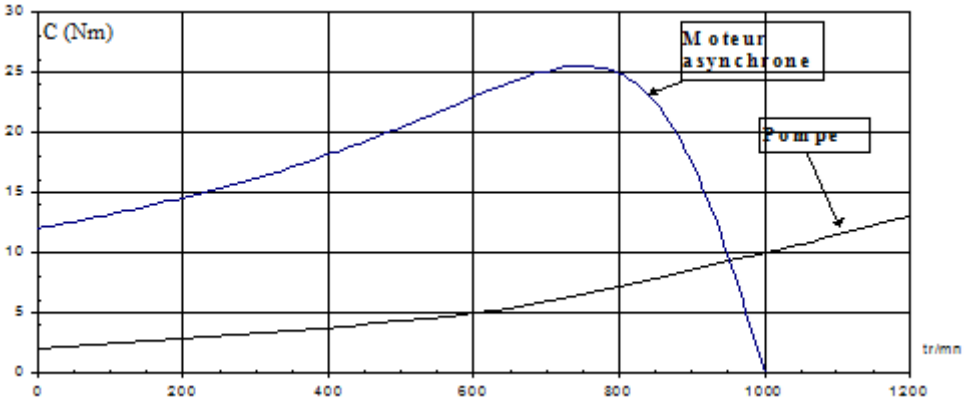
3. Calculer la puissance active absorbée par le moteur au régime nominal.

……

4. Quels composants peut-on ajouter pour améliorer le facteur de puissance de ce récepteur ? compléter le schéma (ci-dessous) de branchement de ces composants permettant de conserver la charge équilibrée :



5. Les caractéristiques mécaniques du moteur et de la pompe sont données sur la figure 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 6 : *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 Ω****.*
L'essai nominal a donné les résultats suivants : ***g = 6 %****,* ***P = 12,3 KW*** *et* ***Q = 8,83 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 ***Pfs = Pmec = 550 W****, déterminer :*

5. les pertes par effet Joule rotoriques ***Pjr*** *:*

……

6. la puissance utile ***Pu*** *et le moment du couple utile* ***Cu*** *:*

……

……

7. le rendement ***η*** *:*

……

*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 = ns** ; **Cu = 0**) et (**n = n_N** ; **Cu = Cu_N**).*

*8. Déterminer la fréquence de rotation **n** du groupe moteur et charge :*

Équation de la caractéristique de la charge	*Équation de la caractéristique du moteur*
Cr = a'.n + b' il faut déterminer a' et b'	*Cm = a.n + b il faut déterminer a et b*
Les 2 points de la droite donnent le système suivant :	*Les 2 points de la droite donnent le système suivant :*
{ ……	{ ……
……	……
……	……
……	……
……	……
……	……

Le point de fonctionnement est l'intersection des 2 droites c.à.d. ***Cm = Cr***

……

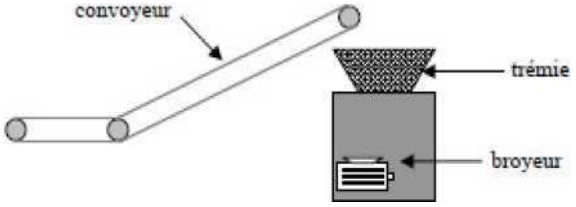
9. Déterminer la valeur du couple utile :

……

10. Calculer la puissance utile développée par le moteur :

……

EXERCICE 7 : *Pour le traitement de ses copeaux d'acier, un atelier mécanique utilise un broyeur. Les copeaux d'acier sont acheminés vers la trémie du broyeur grâce à un convoyeur (tapis roulant). Dans ce sujet, on s'intéresse dans un premier temps au convoyeur, puis au broyeur*



Étude du convoyeur

Le convoyeur est entraîné par un moteur asynchrone triphasé â cage équipé d'un réducteur de vitesse.
*La vitesse d'avance **v** du convoyeur en fonction de la vitesse de rotation **n** du moteur est donnée par la relation : **$v = 3{,}75.10^{-4}.n$** (avec **v** en **ms^{-1}** et n en **$tr.min^{-1}$**).*

*Le moteur asynchrone est alimenté par un variateur de vitesse fournissant un réseau triphasé de tensions de fréquence **f** réglable. Le fonctionnement du variateur est dit â **U/f constant**.*

Partie A : Moteur asynchrone

*Parmi les indications portées sur la plaque signalétique du moteur, on peut lire : **230V/400V** ; **50 Hz** ; **3 kW** ; **1430 $tr.min^{-1}$** ; **cos φ = 0,82** (facteur de puissance)*

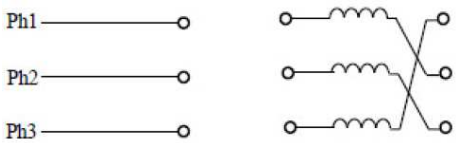
I - *Caractéristiques du moteur en fonctionnement nominal*

*Dans un premier temps, le moteur asynchrone étudié est alimenté directement par un réseau triphasé **230 V-50 Hz**.*

1.1. *Déterminer, en le justifiant, le couplage du moteur. Représenter le branchement du moteur sur la figure*

.....

.....



1.2. *Déterminer, en justifiant la réponse, la fréquence de synchronisme **ns** et le nombre de pôles du moteur.*

……

……

1.3. *Calculer le glissement **g** pour le fonctionnement nominal.*

……

1.4. *Calculer le moment du couple utile **Tu** pour le fonctionnement nominal.*

……

1.5. *Essai en charge nominale*

*En laboratoire, la méthode des deux wattmètres lors d'un essai en charge nominale a donné les résultats suivants : le premier wattmètre a mesuré **P_1 = 2497 W** et le second **P_2 = 1063 W**.*

1.5.1. *Compléter le schéma de principe de la méthode des deux wattmètres sur la figure ci-dessous :*

1.5.2. *Calculer la puissance active **P_a** absorbée par le moteur en régime nominal ainsi que son rendement **η** :*

……

……

1.5.3. *Montrer que la valeur efficace nominale de l'intensité du courant en ligne **I = 10,9 A**. Quelle est la valeur efficace nominale de l'intensité du courant qui traverse un enroulement ?*

……

……

2 - *Bilan des puissances*

*La mesure à chaud de la résistance entre deux bornes du stator couplé a donné : **R = 0,90 Ω**. Les pertes magnétiques (ou pertes dans le fer) au stator ont été évaluées à **Pfs = 100 W**.*

On négligera les pertes magnétiques dans le rotor.

Pour le fonctionnement nominal, calculer :

2.1. *Les pertes par effet Joule au stator **Pjs** :*

……

2.2. *La puissance transmise au rotor **Ptr** :*

……

2.3. *Les pertes par effet Joule au rotor **Pjr** :*

……

2.4. *Les pertes mécaniques **pm** :*

……

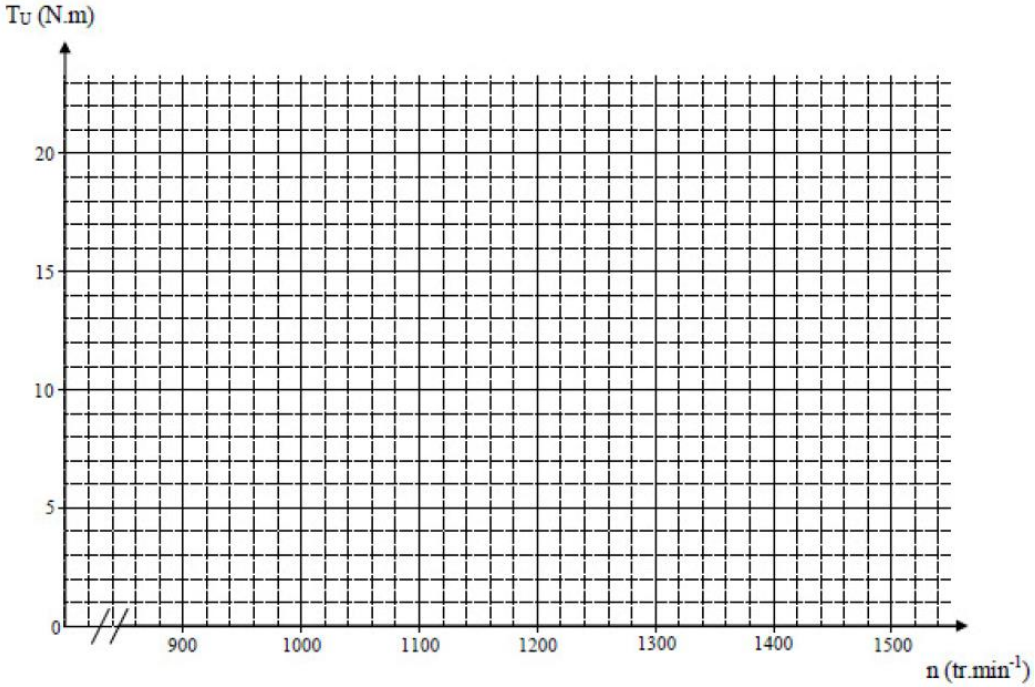
3 - *Moteur alimenté par le variateur*

*Le moteur est maintenant alimenté par le variateur qui permet de régler la fréquence en maintenant le rapport **U/f constant**. Pour une fréquence **f = 50 Hz**, la tension efficace entre phases est **U = 230 V**.*

*On rappelle que dans un fonctionnement à **U/f** constant, la partie utile de la caractéristique mécanique du moteur **Tu(n)** est assimilable à un segment de droite se déplaçant parallèlement à lui- même lorsque la fréquence du réseau d'alimentation change.*

*Le moment du couple résistant exercé par la charge est constant (indépendant de la vitesse de rotation) et égal à : **Tr =17 N.m***

3.1. *Tracer sur le document ci-dessous la caractéristique mécanique **Tr(n)** de la charge :*



3.2. *La fréquence est réglée à **50 Hz**.*

3.2.1. *Tracer sur le document ci-dessus la caractéristique mécanique **Tu(n)** du moteur pour la fréquence nominale de **50 Hz** (on prendra comme point de fonctionnement nominal : **Tn = 20 N.m** et **n = 1430 tr/min** ; on supposera qu'à vide il tourne à la vitesse de synchronisme).*

3.2.2. *Déterminer la vitesse de rotation **n** du moteur et en déduire la vitesse d'avance **v** du convoyeur.*

……

……

3.3. *Réglage de la vitesse du convoyeur*

3.3.1. *Calculer la valeur **n'** de la vitesse de rotation du moteur pour avoir **v' = 0,36 m/s** :*

……

3.3.2. *Placer le point de fonctionnement désiré sur le document ci-dessus puis tracer la caractéristique mécanique **Tu(n)** correspondante.*

3.3.3. *En déduire la fréquence **f'** d'alimentation à imposer :*

……

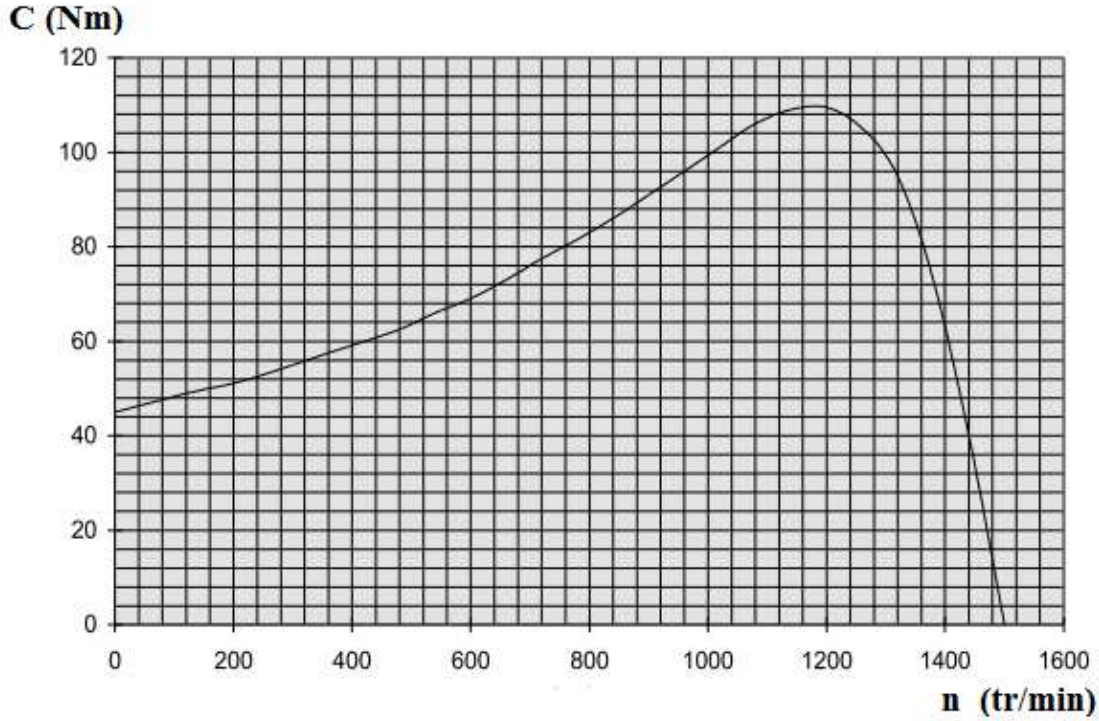
3.3.4. *Calculer la valeur efficace de la tension entre phases **U'** dans ces conditions*

……

EXERCICE 8 : *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* ***Cr = 40 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 Ω.***

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 vitesse de rotation de synchronisme* ***ns*** *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.*

……

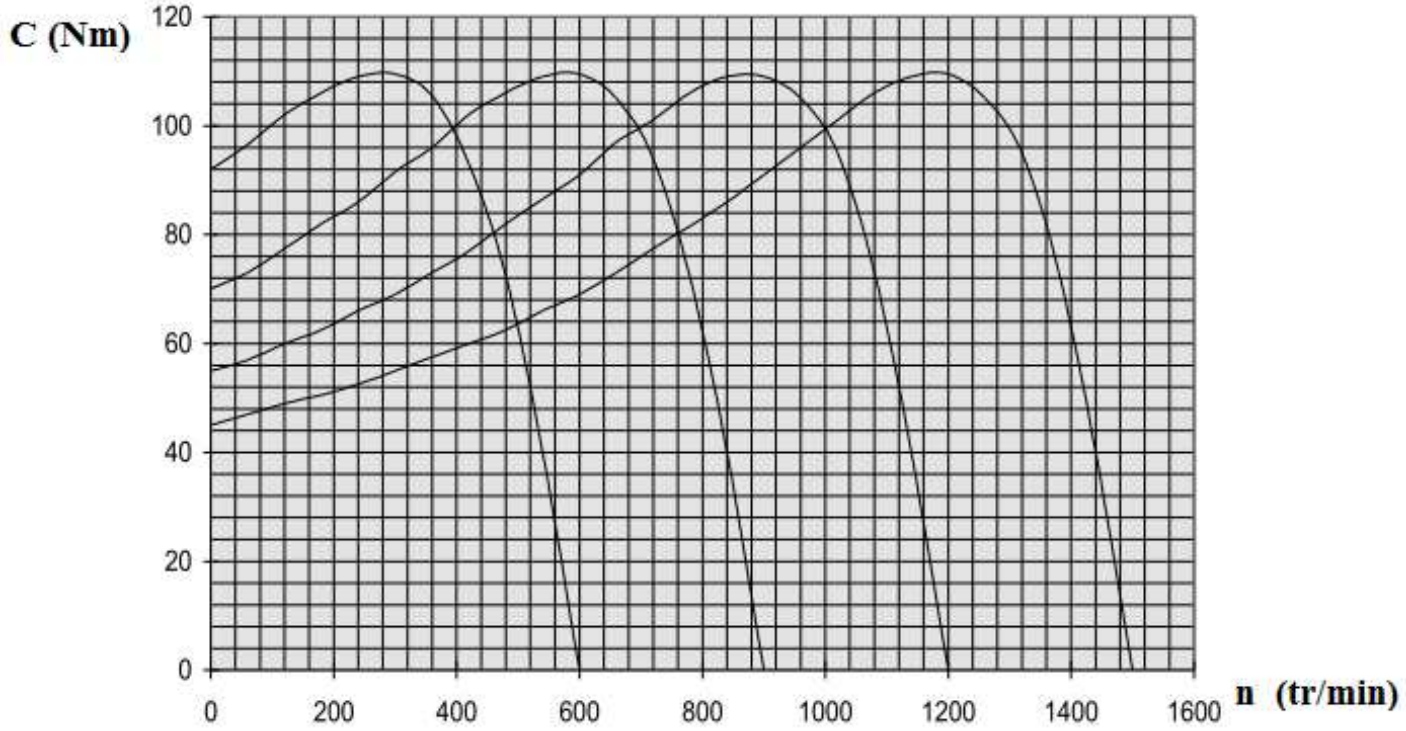
7. *Calculer la puissance absorbée par le moteur, son rendement et son facteur de puissance.*

……

……

……

II. *On se propose de faire varier la fréquence de rotation du moteur de façon à réaliser le point de fonctionnement suivant :* ***C = 40 N.m ; n = 1140 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 = 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 N.m ; n = 1140 tr/min) ?*

……

……

2. *Calculer le glissement.*

……

3. *Quelle doit être la valeur de la tension d'alimentation ?*

……

……

……

Activité 16

Exercices : Moteurs asynchrones

EXERCICE 1 : *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 :

- ***Tu*** *le moment du couple utile d'un moteur ;*
- ***Tr*** *le moment du couple résistant d'un ventilateur ;*
- ***n*** *la fréquence de rotation de chaque groupe moteur-ventilateur.*

La caractéristique ***Tu = 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 Tr = f(n) d'un ventilateur passe par les points suivants :

n (tr/min)	*1400*	*1425*	*1450*	*1475*	*1500*
Tr (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 <=> 10 tr/min*** *et* ***1 cm <=> 1 Nm***
2- *Déduire des résultats précédents la puissance utile* ***Pu*** *d'un moteur et son glissement* ***g****.*
3- *Pour le point de fonctionnement déterminé ci-dessus, le facteur de puissance de l'installation est* ***cos φ = 0,77*** *et la valeur efficace de l'intensité du courant en ligne est* ***I = 5,6 A.*** *Calculer la puissance absorbée* ***P*** *par chaque moteur et son rendement* ***η****.*

EXERCICE 2 : *Un moteur asynchrone à rotor bobiné et à bagues est alimenté par un réseau triphasé* ***50 Hz****,* ***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 tr/min***, $P_1 = 14481$ **W**, $P_2 = 5519$ **W** *et* ***I = 38,5 A.***

Sachant que les pertes mécaniques sont constantes ***Pm = 700 W*** *:*
1) Calculer les pertes Joule au stator Pjs_0 *lors de cet essai à vide. En déduire les pertes fer au stator* ***Pfs*** *(que l'on supposera constante dans la suite du problème).*

2) Calculer les puissances ***P*** *active et* ***Q*** *réactive totales absorbées par le moteur. En déduire le facteur de puissance* ***cos φ*** *lorsqu'on charge le moteur.*

3) Calculer la fréquence ***fr*** *des courants rotoriques. Que peut-on dire sur les pertes fer au rotor* ***Pfr*** *?*

4) Faire un bilan de puissance et calculer les pertes Joule au stator ***Pjs*** *et la puissance transmise* ***Ptr****. En déduire les pertes Joule rotor* ***Pjr****. Calculer la valeur efficace* ***Ir*** *des courants rotoriques.*

5) Calculer la puissance utile ***Pu*** *et le rendement* ***η*** *du moteur lors de cet essai.*

6) Calculer le couple utile ***Cu****.*

10 MOTEURS PAS A PAS CONVERTIR

Résumé du cours

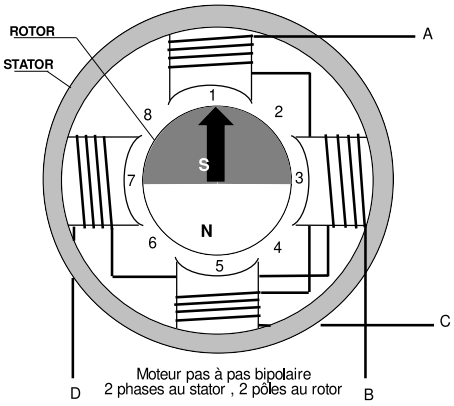
*Un moteur pas à pas est un **actionneur** qui transforme une **information numérique** sous forme de train d'impulsions en un nombre équivalent de **pas angulaire** de caractère incrémental.*

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.*



Types d'alimentation du moteur

Alimentation unipolaire ($K_1 = 1$)

*Les enroulements sont à point milieu. Les bornes sont toujours alimentées par **une polarité de même signe**.*

Alimentation bipolaire ($K_1 = 2$)

*Les enroulements du stator n'ont pas de point milieu. Chaque borne de chaque enroulement est alimentée par **une polarité positive puis négative.***

Types de commande du moteur pas à pas

Commande symétrique :

- ***Pas entier*** *: On alimente **les phases séparément une à une**. ($K_2 = 1$)*
- ***Pas entier (couple maximal) :*** *On alimente **les deux bobines en même temps**. Le flux résultant est suivant la bissectrice. ($K_2 = 1$).*

Commande asymétrique :

- ***Demi-pas :*** *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 *: $N_p = m \cdot p \cdot K_1 \cdot K_2$*

- ***m*** *: nombre de phases au stator.*
- ***p*** *: nombre de paires de pôles au rotor.*

Angle de pas :

$$\theta° = \frac{360°}{N_p}$$

Fréquence :

f = nombre de pas / seconde

Vitesse de rotation en tr/s :

$$n = \frac{f}{N_p}$$

Activité 16 — TD : Moteurs pas à 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 **pas entier**. Calculer :*

*1) Le nombre de pas par tour **Np** :*

.....

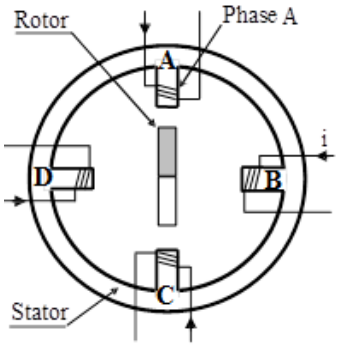
*2) Déterminer l'angle de pas **θ** en degré puis en radian.*

.....

EXERCICE 2 : *Un moteur pas à pas à aiment permanant 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*



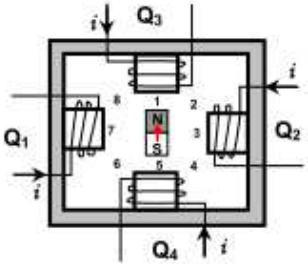
*2) Indiquer le mode de commutation du moteur **pas entier** ou **demi-pas** ?*

.....

*3) Déterminer le nombre de phases **m**, le nombre de paires de pôles **p** du rotor et le nombre de pas par tour **Np**?*

.....

EXERCICE 3 : *Soit le moteur pas à pas suivant.*



*1°) Déterminer le nombre de phases **m** et le nombre de paires de pôles **p** du rotor*

.....

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 mode de commutation : **pas entier** ou **demi-pas***

.....

*4°) Déterminer le nombre de pas par tour (**Np**)*

.....

EXERCICE 4 : *Un moteur pas à pas à aiment permanant ayant les caractéristiques suivantes :*
*Stator : **8 phases** ; Rotor : **24 pôles** ; Commutation : **pas entier** ; Angle de pas **θ = 3°,75**.*

*1°/ Calculer le nombre de pas par tour **Np** :* .....

*2°/ Déterminer le type de moteur (**unipolaire** ou **bipolaire**) avec justification.*

.....

*3°/ Déterminer le nombre de pas **N** à effectuer pour que le rotor tourne de **375°**.*

.....

*4°/ Sachant que le moteur effectue **100 pas/s.***

*4-1 Déterminer la fréquence **f** du signal d'horloge du circuit de commande du moteur pas à pas.*

.....

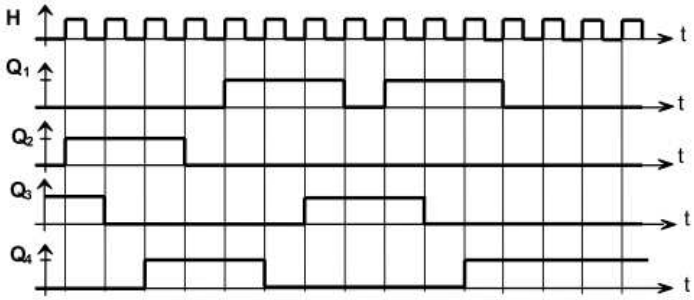
*4-2 Calculer le temps **t** en (**s**) mis pour que le rotor décrive un angle de **3000°**.*

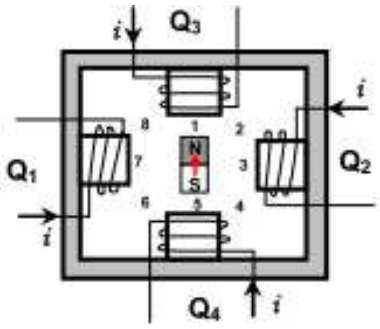
.....

*4-3 Calculer la vitesse **n** du moteur en **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 : .....

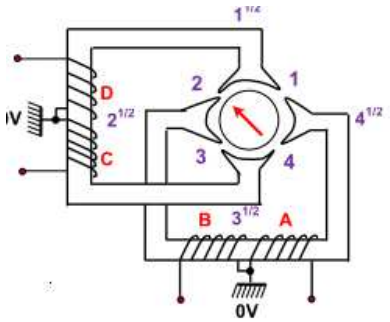
4- Le pas angulaire : .....

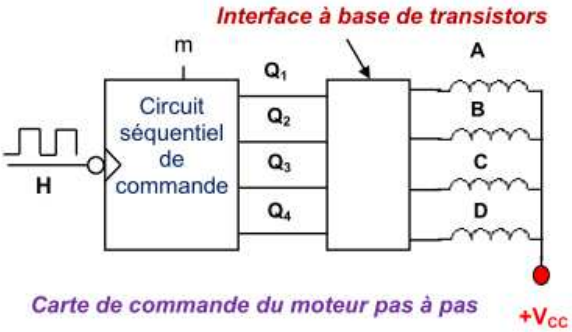
5- Les positions prisent par le rotor : (1) .....

6- En déduire le mouvement réalisé par le moteur : .....

Activité 17 — *Exercices : Moteurs pas à pas*

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 B 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 pas entier*** *et* ***sens horaire***.

	D	***C***	***B***	***A***	*Position du rotor*	*Phases excitées*
Position initial	*1*	*0*	*1*	*0*	*2*	*B-D*
1ere impulsion						
2ème impulsion						
3ème impulsion						
4ème impulsion						

*4) Ecrire l'expression donnant le nombre de pas par tour (**Np/t**) en fonction du nombre de phases, du nombre de paires de pôles et des coefficients **K1** et **K2** :*

.....

*5) Donner en justifiant la valeur de **K1** :*

.....

*6) Donner en justifiant la valeur de **K2** :*

.....

*7) En déduire le nombre de pas par tour (**Np**) :*

.....

*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 demi-pas** et sens **antihoraire**.*

	D	***C***	***B***	***A***	*Position du rotor*	*Phases excitées*
Position initial	*1*	*0*	*1*	*0*	*2*	*B-D*
1ere impulsion						
2ème impulsion						
3ème impulsion						
4ème impulsion						
5ème impulsion						
6ème impulsion						
7ème impulsion						
8ème impulsion						

*11) Donner en justifiant la valeur de **K1**.*

.....

*12) Donner en justifiant la valeur de **K2***

.....

*13) En déduire le nombre de pas par tour (**Np**).*

.....

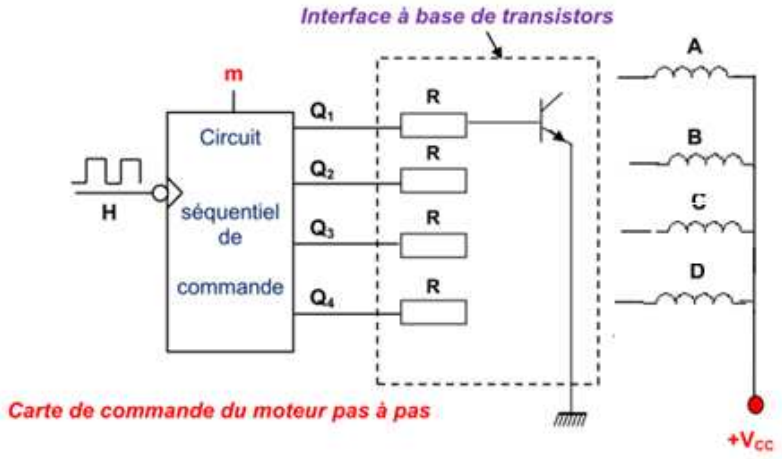
*14) En déduire le **pa**s angulaire en Degré*

.....

*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



11 VERINS HYDRAULIQUES — CONVERTIR

Résumé du cours

Pression :

Formule classique : ***p = F/S*** *avec :* ***p*** *est en [**Pa**] ;* ***F*** *est en [**N**] et* ***S*** *est en [**m²**]*

Formule pratique : ***p = F/S*** ***p*** *est en [**bar**] ;* ***F*** *est en [**daN**] et* ***S*** *est en [**cm²**]*

Débit :

Formule classique : ***V = Q /S*** *avec :* ***V*** *est en [**m/s**] ;* ***Q*** *est en [**m³/s**] et* ***S*** *est en [**m²**]*

Formule pratique : ***V = Q / (0.06. S)*** ***V*** *est en [**cm/s**] ;* ***Q*** *est en [**L/min**] et* ***S*** *est en [**cm²**]*

Travail utile : ***W = F . d*** *avec* ***W*** *est en [**j**] ;* ***F*** *est en [**N**] et* ***d*** *est en [**m**]*

Puissance mécanique (utile) : $P_U = F.V$ *avec* P_U *est en [**W**] ;* ***F*** *est en [**N**] et* ***V*** *est en [**m/s**]*

Puissance hydraulique (dépensée) : $P_A = Q.\,p$ *avec* P_A *est en [**W**] ;* ***Q*** *est en [**m³/s**] et* ***p*** *est en [**Pa**]*

Rendement :

$$\eta = \frac{\text{Energie utile}}{\text{Energie dépensée}} = \frac{W\ \text{utile}}{W\ \text{dépensée}} = \frac{\text{Puissance utile}}{\text{Puissance dépensée}}$$

Activité 18

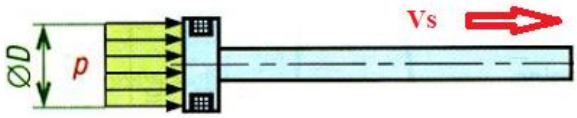
TD : Vérins hydrauliques

EXERCICE1 : *Le vérin suivant à un piston de* ***10 cm*** *de diamètre* ***D*** *et une tige de* ***5 cm*** *de diamètre* ***d****.*

Il reçoit un débit ***Q*** *de* ***24 L/min*** *et une pression* ***p*** *possible de* ***100 bars****.*

1) *Calculer la vitesse de sortie* ***Vs*** *et la vitesse de rentrée* ***Vr*** *du vérin en cm/s :*

Calcul de la vitesse de sortie ***Vs*** *de la tige (cm/s)*



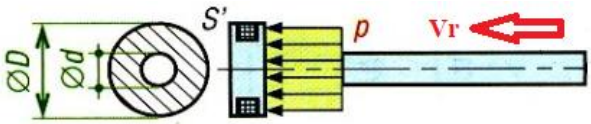
La surface sous pression est la surface du piston ***S*** *:*

.....

La vitesse de sortie ***Vs*** *est :*

.....

Calcul de la vitesse de rentrée ***Vr*** *de la tige (cm/s)*



La surface sous pression est la surface annulaire ***S'*** *:*

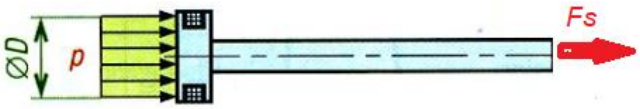
.....

La vitesse de rentrée ***Vr*** *est :*

.....

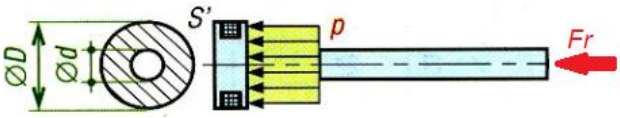
2) *Calculer en* ***Newton*** *la force disponible le vérin sortit et le vérin rentré :*

La force développée ***Fs*** *quand la tige sort*



.....

La force développée ***Fr*** *quand la tige rentre*



.....

3) *Mêmes questions (1 et 2) pour un débit de* ***12 L/min****.*

La vitesse de sortie ***Vs*** *de la tige (cm/s) :*

.....

La force développée ***Fs*** *quand la tige sort :*

.....

La vitesse de rentrée ***Vr*** *de la tige (cm/s) :*

.....

La force développée ***Fr*** *quand la tige rentre :*

.....

Remarque :

.....

.....

EXERCICE 2 :

*1/ Calculer la pression **p** de service pour alimenter un vérin tirant une charge de **10.000 daN** à la vitesse **V** de **5 cm/s** ayant un rendement **η** de **88%** sachant que le débit de la pompe est **Q = 400 cm³/s**.*

.....

*2/ Déterminer le diamètre **D** du piston si celui de la tige est **d = 30mm**.*

*Il faut d'abord calculer la surface sous pression **S'** lorsque la tige du vérin rentre :*

On sait que : ……..

.....

EXERCICE 3 : *Un vérin hydraulique, dont le but est de soulever une charge, a un rendement **η** de **90 %**, le débit **Q** du circuit est de **12 L/min** pour une pression **p** de service de **150 bars**. Calculer :*

1. *La puissance hydraulique P_{hy} du vérin :*

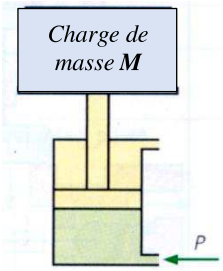
Conversion : 1 bar = 10^5 Pa *1 L = 1 dm^3 = 10^{-3} m^3*

.....

2. *Déterminer la puissance mécanique utilisée en bout de tige du vérin :*

.....

3. *Sachant que la vitesse **Vs** de sortie du vérin est de **30 m/min**, que sa course **d** est de **300 mm** et que **g = 9,81 m/s²**.*



*31. Convertir la vitesse **Vs** en cm/s :*

.....

*32. Calculer la surface sous pression **S** lorsque la tige du vérin sort :*

.....

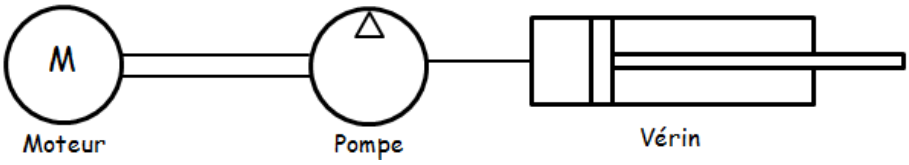
33. Calculer la force développée par le vérin pour soulever la masse M :

.....

*34. Déterminer la valeur de la masse **M** à soulever.*

.....

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 Pa_p par la pompe :

.....

2- La documentions technique de l'automatisme fournit les informations suivantes :

- *Couse utile de la tige : **280 mm***
- *Vitesse de la tige : **14 mm/s***
- *Diamètre de la tige : **70 mm***
- *Diamètre du piston : **100 mm***
- *Pression hydraulique : **17 bars**.*

21- La plaque signalétique ci-dessus caractérise l'un des éléments de l'ensemble moteur-pompe-vérin. Indiquer cet élément :

.....

*22- Calculer, en s, le temps **t** mis par le portail pour s'ouvrir totalement :*

.....

*23- Sachant que la section **S** du piston est de **0,00785 m²**, calculer en **m³/s**, le débit volumique **Q** du fluide pendant la sortie de la tige :*

On sait que : .....

soit .....

24- 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 :

.....

SEV4 : Facteur de puissance/ Transformateur/ Protection :

Tâche 1 : **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 φ > 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/min, **cos φ_1 = 0,68**, couplage **Y** , 380 V
M2	Moteur de déplacement horizontal	3~, Puissance absorbée = **550 W**, 1450 tr/min, **cos φ_2 = 0,75**, couplage **Y**, **380 V**
M3	Moteur de déplacement vertical double vitesse	3~, Puissance absorbée = **450 W**, 900/600 tr/min, **cos φ_3 = 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)
Moteur M1	P_1 =……	……	……
Moteur M2	P_2 =……	……	……
Résistances	P_4 =……	……	……
	Pt =……	**Qt** =……	**St** =……

2. En déduire le facteur de puissance **cos φ** :

……

3. Conclure en justifiant votre réponse :

……

Tâche 2 : **Chute de tension dans le transformateur**

*Pour avoir un fonctionnement normal du circuit de commande, la chute de tension **ΔU** 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} = 0,15A**, **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 **Rs** :

   ……

b- *Calculer la réactance ramenée au secondaire* ***Xs*** *:*

……

……

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** φ_2 **= 0,85**.

a- *Calculer la chute de tension* ΔU *:*

……

b- *Conclure.*

……

Tâche 3 *:* ***Choix du disjoncteur***

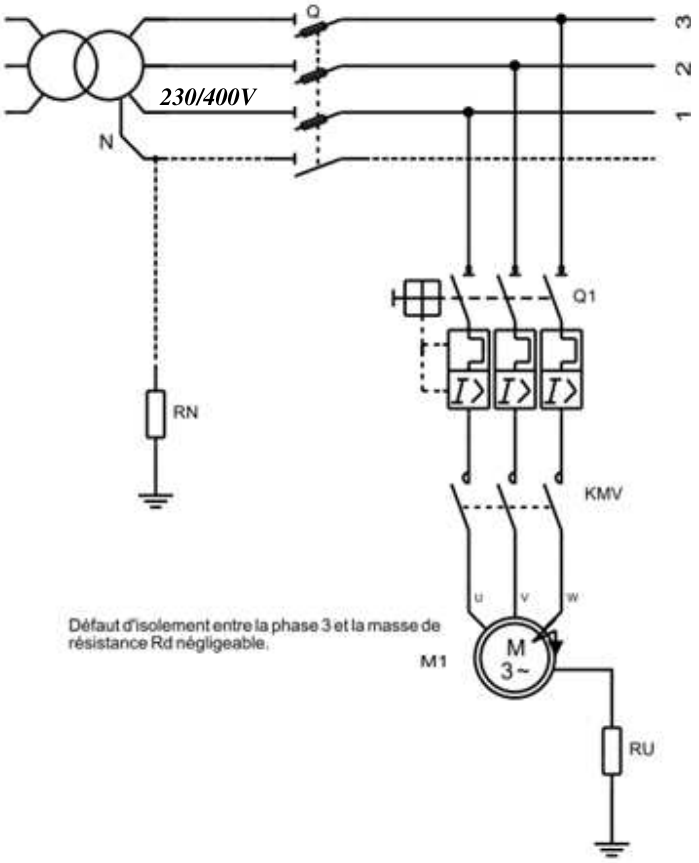
Le régime du neutre adopté est le régime TT. 0n veut choisir le disjoncteur différentiel, sachant que le moteur M1 se trouve dans un local sec. Pour cela, on suppose qu'un défaut d'isolement s'est produit entre la phase 3 et la masse métallique du moteur. On rappelle que pour un local sec la tension de sécurité limite est ***VL=50 V****.*

1- *Expliquer la signification des lettres TT :*

……

……

2- *Tracer le schéma électrique équivalent de défaut :*



3- *Calculer le courant de défaut Id, sachant que* ***RN =10 Ω***, ***RU=20 Ω*** *et* ***Rd=0 Ω*** *:*

……

4- *Calculer la tension* ***Uc*** *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* ***Id*** *pour la tension limite* ***VL*** *:*

……

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

Disjoncteur	***Sensibilité : IΔn***
Disjoncteur haute sensibilité	*6 ; 12 ; 30mA*
Disjoncteur moyenne sensibilité	*0,1 ; 0,3 ; 0,5 ; 1A*
Disjoncteur faible sensibilité	*3 ; 5 ; 10 ; 20A.*

……

SEV2 : Vérification du choix de la machine synchrone :

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

Tâche : **Étude de l'alternateur**

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

1. *Calculer le nombre de pôles :*

……

2. *Déterminer la valeur du courant nominale* ***In*** *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 :*

……

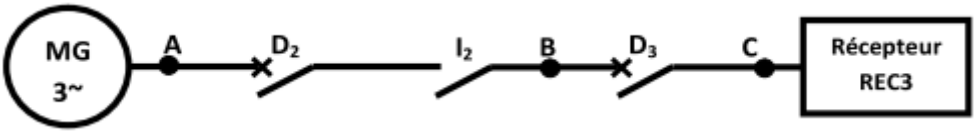
……

Alternateurs de type LSA 46.2 - 50 Hz – 1500 tr.min^{-1}

Puissances KVA/KW – cos φ = 0.8																					
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.				1ph.	3 ph.				1ph.	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	
46.2 M3	kVA	180	180	180	160	104	168	168	168	146	97	195	195	195	175	110	203	203	203	180	114
	kW	144	144	144	128	83	134	134	134	116	78	756	156	156	140	88	762	762	162	144	91
46.2 M5	kVA	200	200	200	175	116	184	184	184	160	108	214	214	214	190	123	223	223	223	200	127
	kW	160	16.	160	140	93	147	147	147	128	86	171	171	171	152	98	178	178	178	160	102
46.2 L6	kVA	250	250	240	205	141	217	217	217	190	131	254	260	254	225	150	266	275	266	237	156
	kW	200	200	192	164	113	174	174	174	152	105	203	208	203	180	120	213	220	213	190	125
46.2 L9	kVA	280	280	280	215	154	250	250	250	195	142	290	290	290	240	165	300	300	300	250	170
	kW	224	224	224	172	123	200	200	200	156	114	232	232	232	192	132	240	240	240	200	136
46.2 VL12	kVA	315	315	300	260	187	276	276	260	230	170	327	327	310	285	200	341	341	325	300	208
	kW	252	252	240	208	150	221	221	208	184	136	262	262	248	228	160	273	273	260	240	766

SEV3 : Étude de la protection :

Tâche : **Choix du disjoncteur D_3**



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

In *: 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 φ = 0,86*** *:*

……

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

……

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 Icc 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 Icc 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)

SEV4 : Étude du transformateur :

*On se propose de calculer quelques paramètres du transformateur alimentant l'**A.S.I.** statique.*

Tâche** : **Calcul des paramètres du transformateur

*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 Φ_{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 :*

……

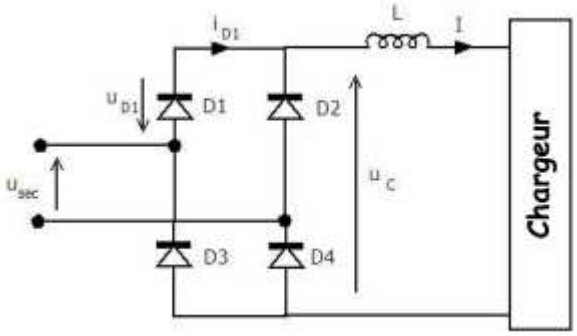
……

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

……

SEV6 : Étude du pont du redresseur :

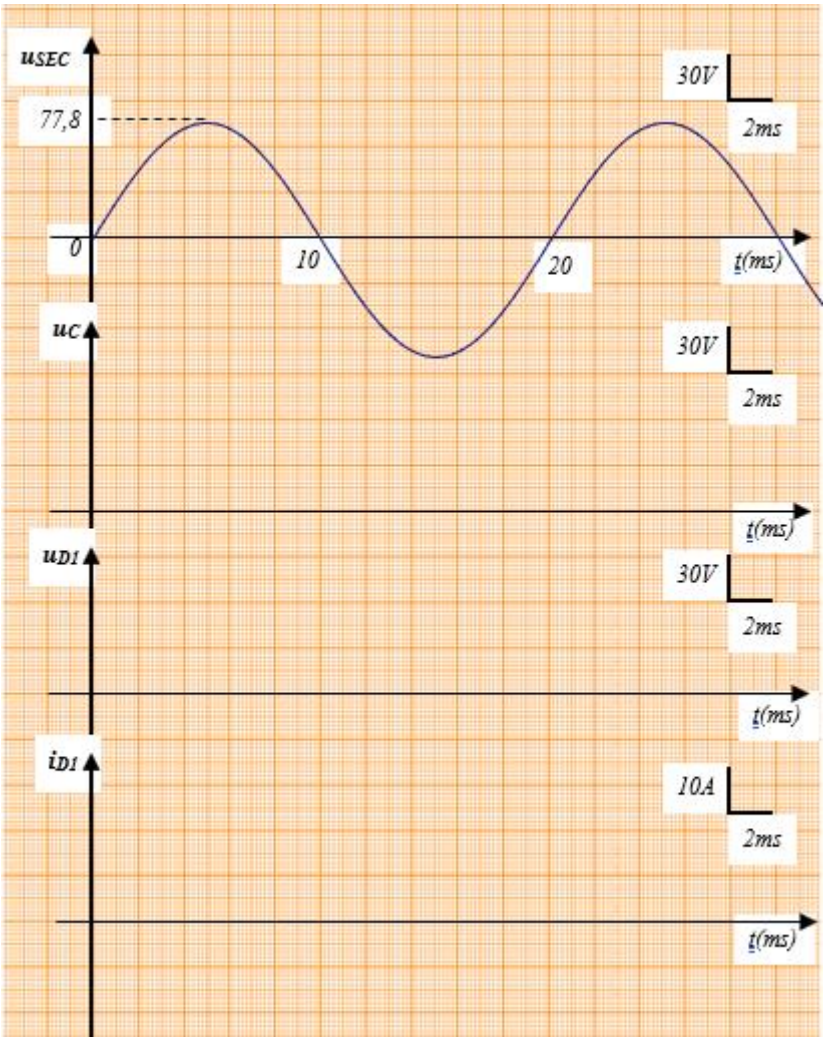
L'étude du pont redresseur exige la connaissance des caractéristiques générales du chargeur. En effet pour un fonctionnement normal, le chargeur nécessite une tension continue à courant constant.
On se propose donc de déterminer la valeur de la tension moyenne redressée à l'entrée du chargeur et de représenter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

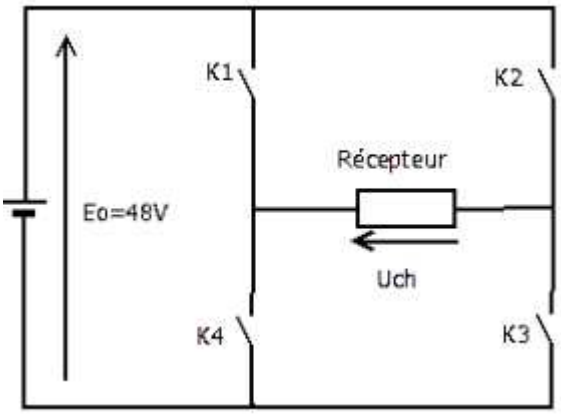
……

……

SEV8 : Étude 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 :

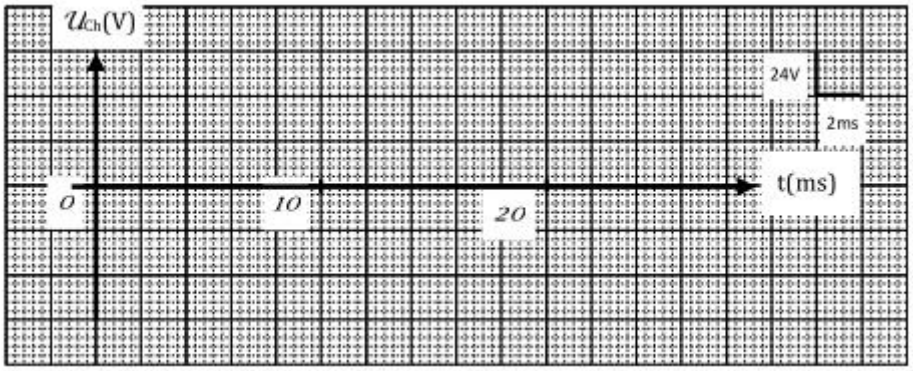
- *La tension d'alimentation* $E_0 = 48$ *V.*
- *Le récepteur est supposé résistif.*
- *Les interrupteurs sont commandés électroniquement.*
- *La période T de commande est fixée à 20 ms.*
- *K1, K2, K3 et K4 sont commandés de la façon suivante :*
  - *Entre 0 et 10 ms, les interrupteurs K1 et K3 sont fermés, K2 et K4 sont ouverts ;*
  - *Entre 10 et 20 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 Uch (t) en fonction de* E_0 *:*

0 <t < 10 ms	10 <t < 20 ms

*2. Sur document (ci-dessous), représenter la tension **Uch (t)** pour une période **T**.*

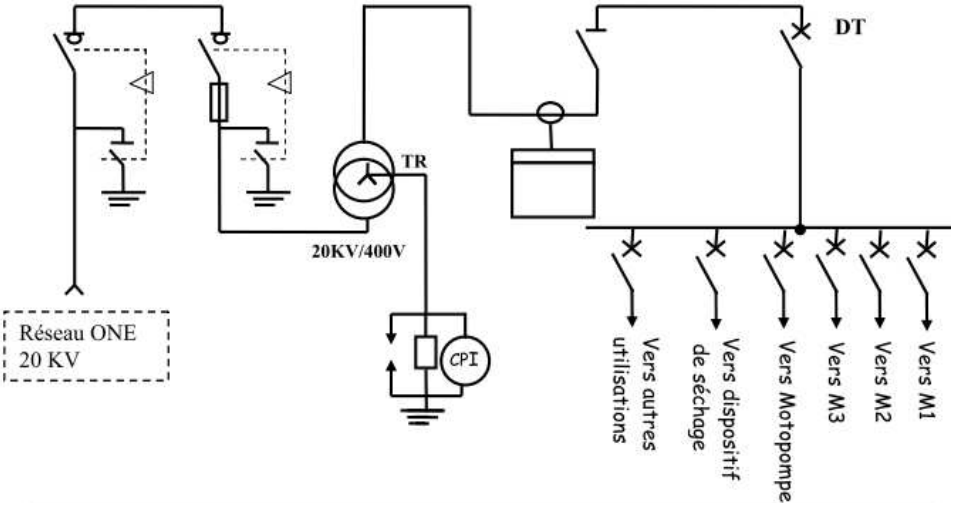


Extrait bac 2010 Session Normale	***Système de lavage automatique de véhicules***

SEV3 : Alimentation électrique et motorisation :

Tâche1** : **Etude du poste d'alimentation

Le système de lavage est alimenté à partir d'un poste de distribution MT/BT (ci-dessous).



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

……

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

……

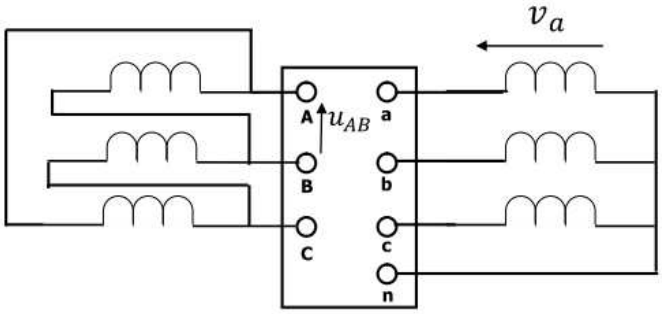
……

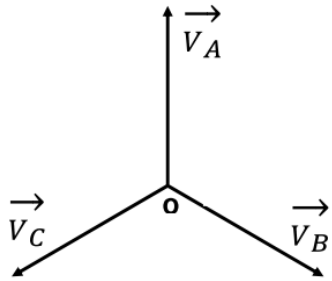
<u>Tâche2</u> : Etude du transformateur triphasé

Les caractéristiques du transformateur triphasé du poste de distribution sont :

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

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 : $U_{20} = 410\ V$. *Calculer le rapport de transformation M :*

……

<u>Tâche3</u> : Etude du moteur M2

Le moteur asynchrone triphasé ***M2*** *entraine 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 *Pu* *kW*	Vitesse nominale N_N min^{-1}	Moment nominal M_N *Nm*	Intensité nominale I_N (400V) *A*	Facteur de puissance *Cos φ* *100%*	Rendement *η* *100%*	Courant de démarrage / Courant nominal I_D/I_N	Masse *IM B3* *kg*
LS 56 M	0.09	1400	0.6	0.30	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		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	1300	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	4.0	7.3
LS 71 L	0.55	1400	3.8	1.62	0.7	70	4.8	8.3
LS 80 L	0.59	1410	3.8	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 60 L	0.9	1425	6	2.44	0.73	73	5.8	10.0
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	78.8	5.3	13.5
LS 90 L	1.8	1438	12	4	0.82	80.1	6	15.2
LS 100 L	2.2	1436	14.7	4.8	0.81	81	5.0	20
LS 100 L	3	1437	20.1	6.5	0.81	82.6	6	22.5
LS 112 M	4	1438	28.8	8.3	0.83	84.2	7.1	24.0
LS 132 S	5.5	1447	36.7	11.1	0.83	85.7	6.3	36.5
LS 132 M	7.5	1451	40.4	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	98	28.8	0.84	89.4	7.5	66
LS 180 MT	18.5	1456	121	35.2	0.84	90.3	7.6	100

Extrait bac 2010
Session Rattrapage

Système didactisé d'une barrière de parking

Le système, objet de l'étude, est une maquette à échelle réduite d'une barrière destinée à contrôler l'accès à un parking de stationnement de véhicules.

SEV3 : Etude de la chaîne d'énergie :

Tâche1** : **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 :

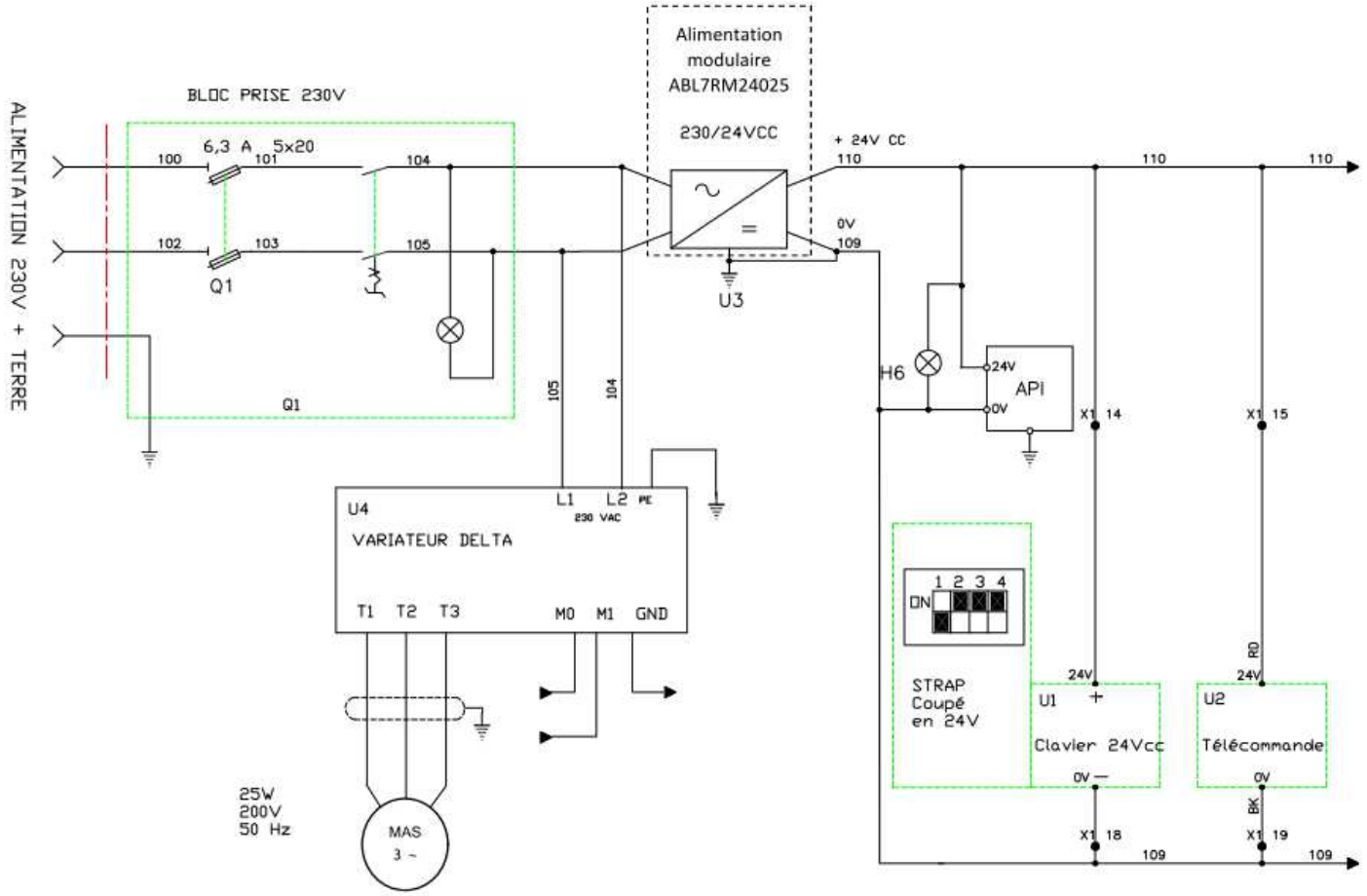
……

……

*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 :

……

……

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

……

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

……

Caractéristiques

Alimentations

Alimentations pour circuits de contrôle à courant continu

Alimentations régulées 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		IEC/EN 60950-1
	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)	1,2 (120 V)/0,7 (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	2,5
Précision	Tension de sortie		Ajustable de 100 à 120 %		
	Régulation de ligne et charge		± 4 %	± 3 %	
	Ondulation résiduelle - bruit	mV	200	250	200
Microcoupures	Temps de maintien pour I maxi et Ue mini	ms	> 10		
Protections	Contre les courts-circuits		Permanente/Protection thermique		
	Contre les surcharges à froid		< 1,7 In	< 1,6 In	< 1,4 In
	Contre les sous-tensions	V	< 10,5	< 19	
Caractéristiques fonctionnelles					
Raccordements	En entrée	mm²	Bornes à vis 1 x 2,5 ou 2 x 1,5		
	En sortie	mm²	Bornes à vis 1 x 2,5 ou 2 x 1,5		
Ambiance	Température de stockage	°C	- 25...+ 70		- 40...+ 70
	Température de fonctionnement	°C	- 20...+ 55		
	Humidité relative maximale		95 %		
	Degré de protection		IP 20		
	Vibrations		IEC/EN 61131-2, IEC/EN 60068-2-6 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 0106 1			Classe II sans PE		
Fusible d'entrée incorporé			Oui (non interchangeable)		
Émission	Conduit/rayonné		IEC/EN 61000-6-3, EN 55011, EN 55022 Cl.B		
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		

<u>Tâche2</u>** : **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 ?

……

2. *Sur lequel de ces paramètres le variateur de vitesse agit-il dans le cas du système de la barrière ?*

……

3. *Comment inverser le sens de rotation d'un moteur asynchrone ?*

……

<u>Tâche3</u> : 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 :*

……

……

……

……

RoHS

Moteur asynchrone

25 W

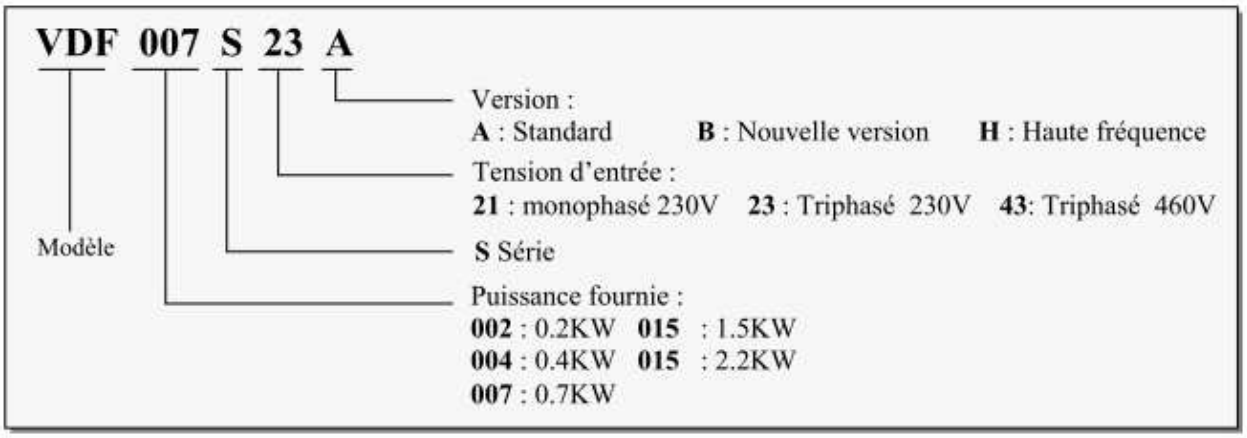
(Gearhead sold separately)

Spécifications – Régime nominal RoHS

Model Upper Model Name : Pinion Shall Type Lower Model Name () : Round Shall Type		Puissance Nominale en sortie	Tenson	Fréquence	Courant absorbé	Couple démarrage	Coupe normal	Vitesse nominale
Lead Wire Type Otmerwon	Terminal Box Type Dimension	W	V	Hz	A	mN.m	mN.m	tr/min
TP 4IK25GN-AW2J (4IK25A-AW2J)	4IK25GN-AW2TJ (4IK25A-AW2TJ)	25	Monophasé 100	50	0.51	130	205	1200
				00	0.52	120	170	1450
TP 4IK25GN-AW2U (4IK25A-AW2U)	4IK25GN-AW2TU (4IK25A-AW2TU)	25	Monophasé 110	60	0.46	120	170	1450
			Monophasé 115					
TP 4IK25GN-CW2J (4IK25A-CW2J)	4IK25GN-CW2TJ (4IK25A-CW2TJ)	25	Monophasé 200	50	026	120	205	1200
				60			170	1450
TP 4IK25GN-CW2E (4IK25A-CW2E)	4IK25GN-CW2TE (4IK25A-CW2TE)	25	Monophasé 220	50	027	110	205	1200
				60	0.23		170	1450
			Monophasé 230	50	027	120	205	1200
				60	023		170	1450
TP 4IK25GN-SW2 (4IK25A-SW2)	4IK25GN-SW2T (4IK25A-SW2T)	25	Triphasé 200	50	023	240	190	1300
				60	021	160	160	A: Standard
			Triphasé 220	60	021	160	160	1600
			Triphasé 230	60	022	160	160	1600
TP	4IK25GN-UT4* (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.

<u>Explication plaque signalétique du Modèle :</u>



*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 :

……

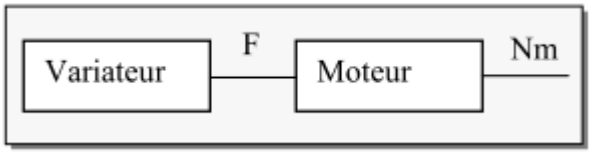
c. Le choix du variateur est-il convenable ? Justifier votre réponse :

……

<u>Tâche4</u> : Réglage de la fréquence du variateur

*3. On donne la vitesse du moteur **Nm = 150 tr/mn**, qui correspond à un temps de montée ou de descente de la barrière.*

*A quelle valeur de la fréquence **F** faut-il alors régler le variateur, sachant que le glissement **g** à cette fréquence est **g = 0,01** :*



……

……

SEV3 : Etude de l'alimentation du positionneur :

Tâche1 : Nature des protections

L'alimentation livrée avec le positionneur est une alimentation stabilisée linéaire de référence ***PS613****, 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 déchargé	Tension constante : < $1x10^{-4}$ + 1mV Courant constant : < $1x10^{-3}$ + 6mA	≤2%	≤2%
Limitation de courant	10mA - 3.2A	1.2A - 1.6A	1.2A - 1.6A
Ondulation résiduelle et bruit	Tension constante : ≤2mV Courant constant : ≤5mA		
Protection	Limitation de courant et protection contre court-circuits		
Précision indicateur de tension	≤10mV		
Précision indicateur de courant	≤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 ?*

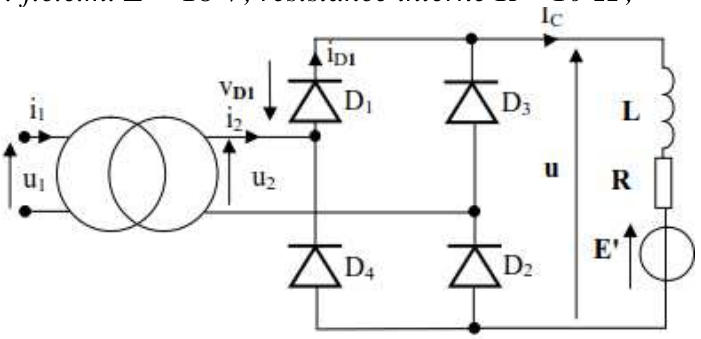
……

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)	……	

Tâche2 : Etude du transformateur

L'alimentation stabilisée simplifiée et sa charge sont représentées par le schéma ci-contre :
Le moteur est alimenté par le transformateur à travers un montage redresseur et un pont en H (non représenté).
Caractéristiques du transformateur : ***240/24 V, 50 Hz*** *;*
Caractéristiques du moteur : f.c.é.m. ***E'= 18 V****, résistance interne* ***R = 10 Ω*** *;*

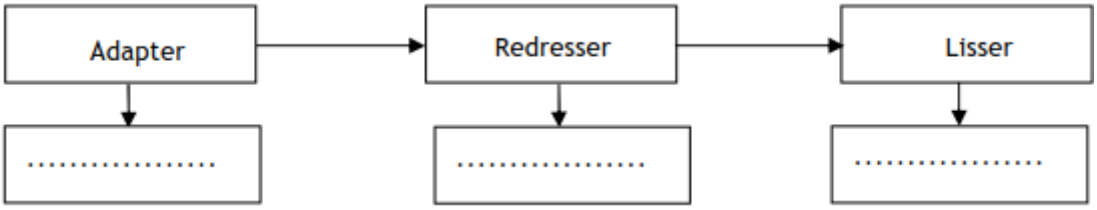


Bobine de lissage ***L*** *: suffisamment grande pour considérer le courant IC constant.*
Les Diodes supposées parfaites.

On a effectué sur le transformateur les essais suivants :

Essai à vide	***Essai en court-circuit***
$U_1 = U_{1n} = 240$ V ; $I_{10} = 0.2$ A ; $U_{20} = 24$ V et $P_{10} = 8$ W	$U_{1CC} = 18$ V ; $I_{2CC} = 10$ A et $P_{1CC} = 15$ W

1. *Indiquer la solution constructive correspondante à chacune des fonctions.*



2. *Déterminer le rapport de transformation **m** :*

……

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

4. *Calculer les grandeurs R_S, Z_S et X_S éléments du transformateur ramenés au secondaire :*

……

……

……

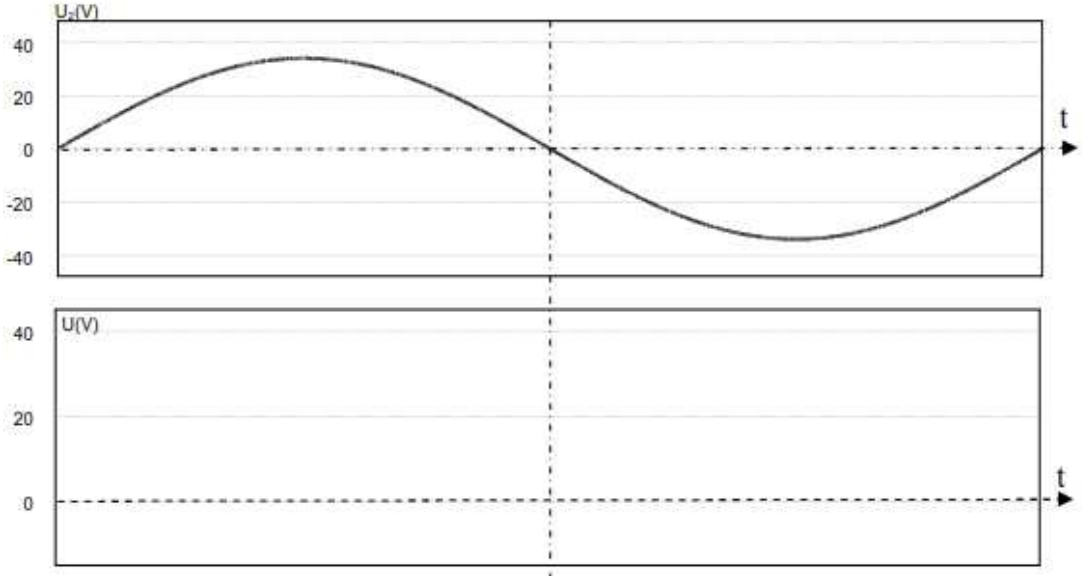
5. *Le transformateur, alimenté sous sa tension primaire nominale, débite un courant de **10 A** dans une charge inductive avec un facteur de puissance de **0,90**. Pour $R_S = 0{,}15\ \Omega$, $X_S = 0{,}1\ \Omega$, déterminer la tension obtenue au secondaire, en utilisant l'expression approchée de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

……

……

<u>Tâche3</u> : Etude du montage redresseur

1. *Représenter la tension **u(t)** de sortie du pont redresseur*

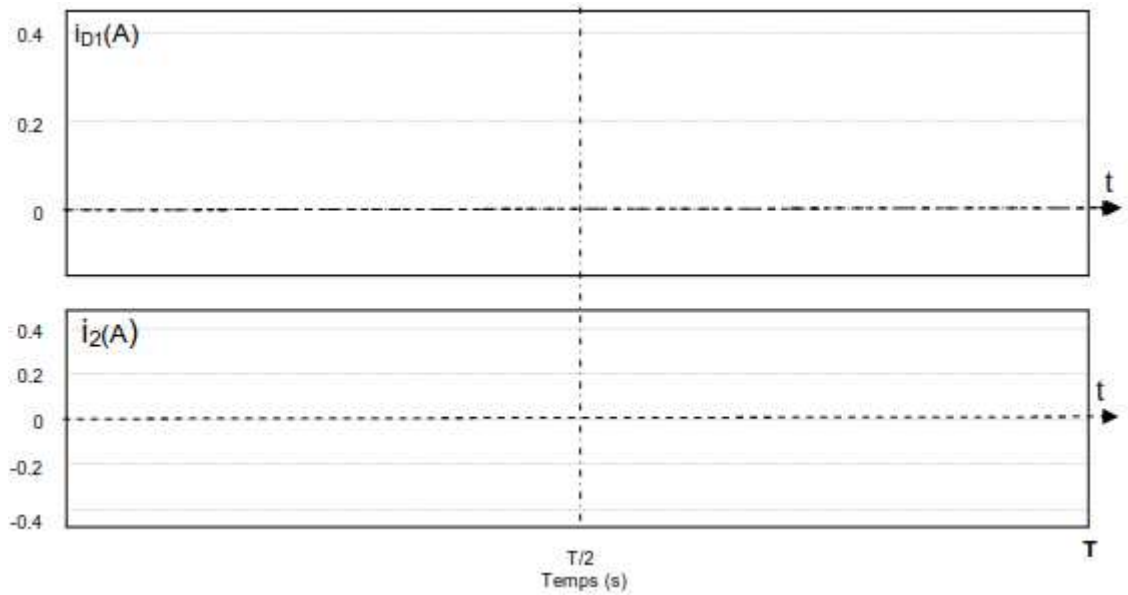


2. *La valeur efficace de* u_2 *vaut* $U_2 = 24$ **V**. *Calculer la valeur moyenne* U_{moy} *(expression de la tension moyenne de sortie du pont est :* $2U_2\sqrt{2}/\pi$*) et en déduire l'intensité moyenne* I_{moy} *du courant de charge dans le moteur.*

……

……

3. *Représenter le courant* $i_2(t)$ *au secondaire du transformateur et le courant* $i_{D1}(t)$ *dans la diode* D_1.



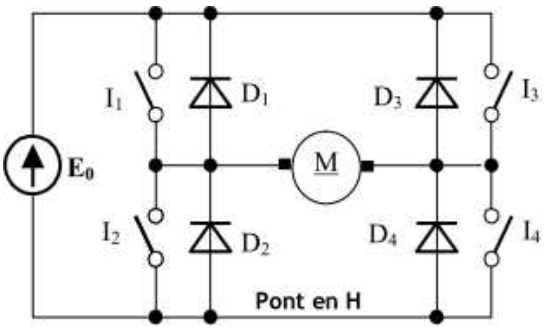
SEV4 : Distribution de l'énergie électrique :

Tâche : **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	Sens 1
.....	.....	.....	.....	Sens 2

Extrait bac 2011 Session Rattrapage	Système de manutention et de pesage de sable

SEV4 : Alimentation électrique et motorisation :

Tâche1 : **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 V - 50 Hz** *et dont la mesure de la puissance active par la méthode des deux wattmètres a donné :* $P_1 = 26$ **kW** *et* $P_2 = 8$ **kW**.
Sachant que la puissance réactive est donnée par la relation : $Q = \sqrt{3}\,(P_1 - P_2)$

1.1- *Calculer les puissances active* ***Pt****, réactive* ***Qt*** *et apparente* ***St*** *de l'installation :*

……

……

……

1.2- *Déduire des résultats précédents le facteur de puissance* ***cos φ*** *de l'installation :*

……

1.3- *Déterminer la valeur de la capacité* ***C*** *(en* ***µF****) de chacun des trois condensateurs, à brancher en triangle à l'entrée de cette installation, pour relever le facteur de puissance* ***cos φ*** *à* ***cos φ' = 0,96*** *:*

……

……

<u>Tâche2</u>: 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 $P_N = 2,2\ kW$ *;* $U = 400\ V$ *; le rendement* $\eta = 81\%$ *;* $\cos\varphi = 0,81$ *;* $N = 1436\ tr/mn$ *;* $M_N = 14,7\ Nm$ *;*

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* $M'_D = K^2.M_D$ *:*

……

……

b- Calculer la puissance absorbée nominale Pa_N *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 *:*

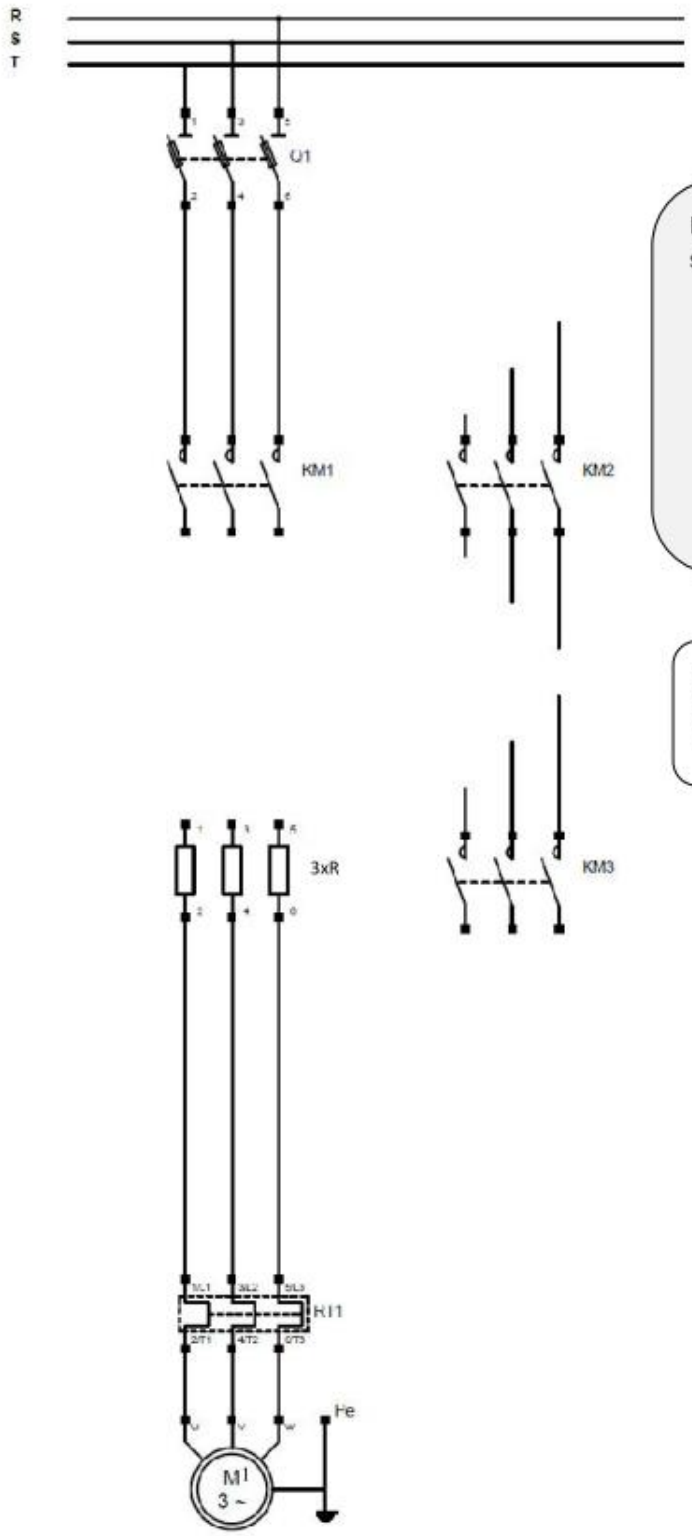
……

……

2- Au démarrage, le couple résistant de la charge est $M_R = 17\ Nm$*. 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 :

- **1er temps : Alimenter le stator sous une tension réduite par insertion d'une résistance dans chaque phase.**
- **2ème temps : Alimenter le stator par la pleine tension du réseau en court-circuitant les résistances.**

KM_1 : Contacteur du sens 1 ;
KM_2 : Contacteur du sens 2 ;
KM_3 : Contacteur du court-circuit des résistances.

SEV3 : Étude 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.

Tâche1 : Etude du moteur de l'aérotherme

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

P = 1KW, V =230 V, cos φ =0,85, rendement = 0,8.

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

1. *Calculer la puissance nominale **Pa** absorbée par le moteur :*

……

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

……

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

……

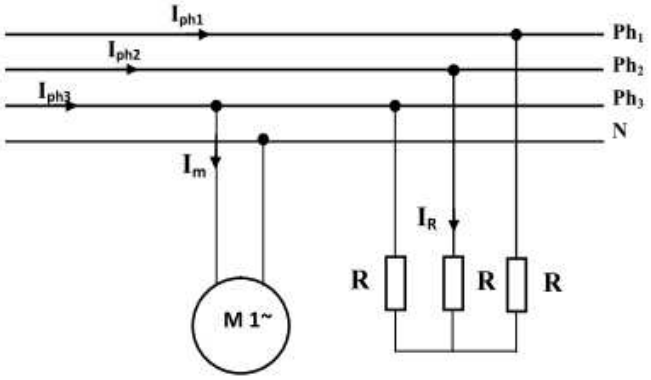
4. *Calculer sa puissance apparente **S** :*

……

Tâche2 : 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 Ω**, (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 :



5. *Déterminer la valeur du courant I_R :*

……

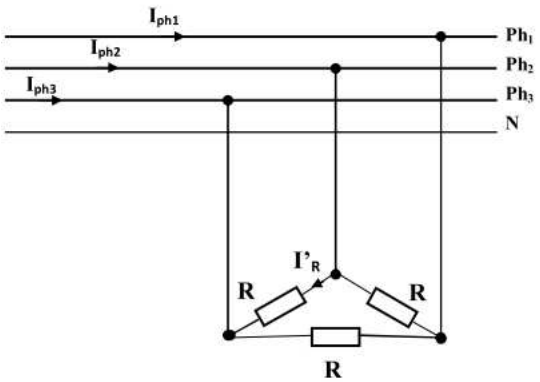
6. *Déterminer la puissance thermique $P_{étoile}$ consommée par l'ensemble des résistances chauffantes :*

……

1. *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 :



2. *Déterminer la valeur du courant* I'_R *:*

……

3. *Déterminer la puissance thermique* $P_{triangle}$ *consommée par l'ensemble des résistances chauffantes :*

……

4. *Sachant que* $P_{étoile}$ *vaut* ***15870 W****, déterminer le rapport* $P_{Triangle}/P_{Etoile}$ *:*

……

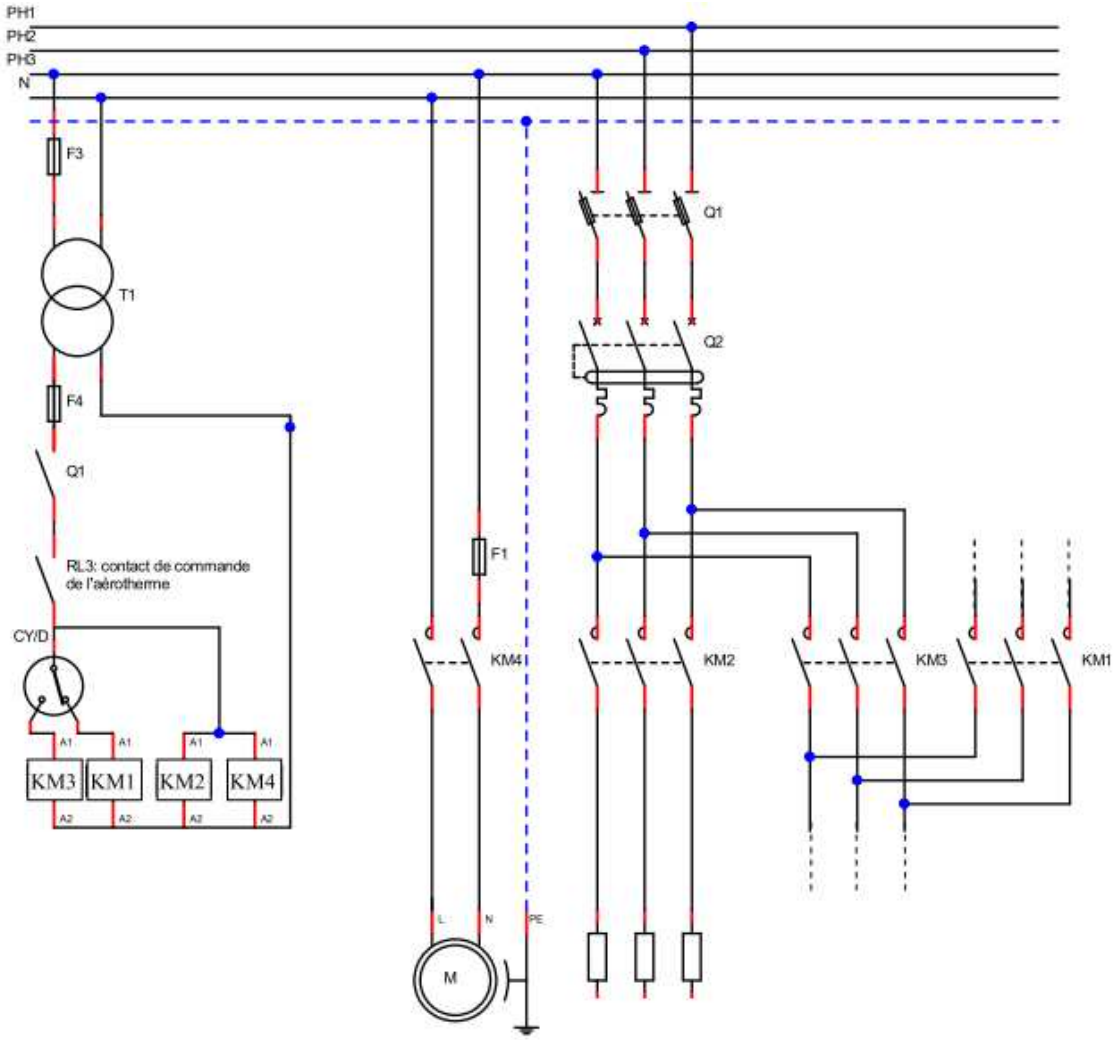
5. *Conclure.*

……

……

<u>Tâche3</u> : Câblage des résistances chauffantes et du moteur

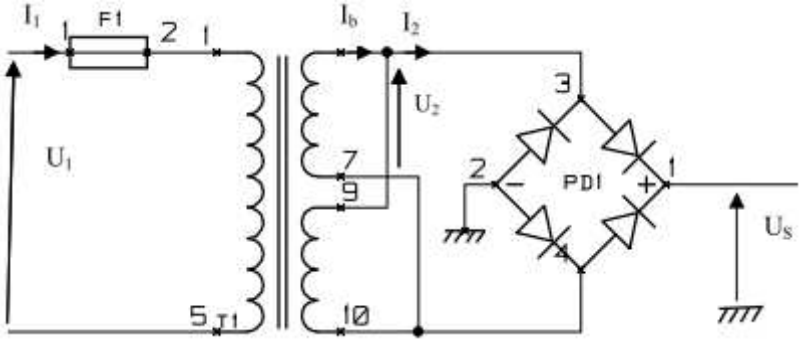
Le passage de l'étoile au triangle est assuré manuellement par le commutateur « C Y/D »
Compléter le schéma de puissance ci-dessous :



SEV3 : Alimentation et câblage du store:

*Les circuits électroniques du système sont alimentés sous une tension continue **Vcc = 12 V**. On se propose d'étudier la partie transformation et redressement de cette alimentation.*

Tâche1 : Etude du transformateur



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 :*

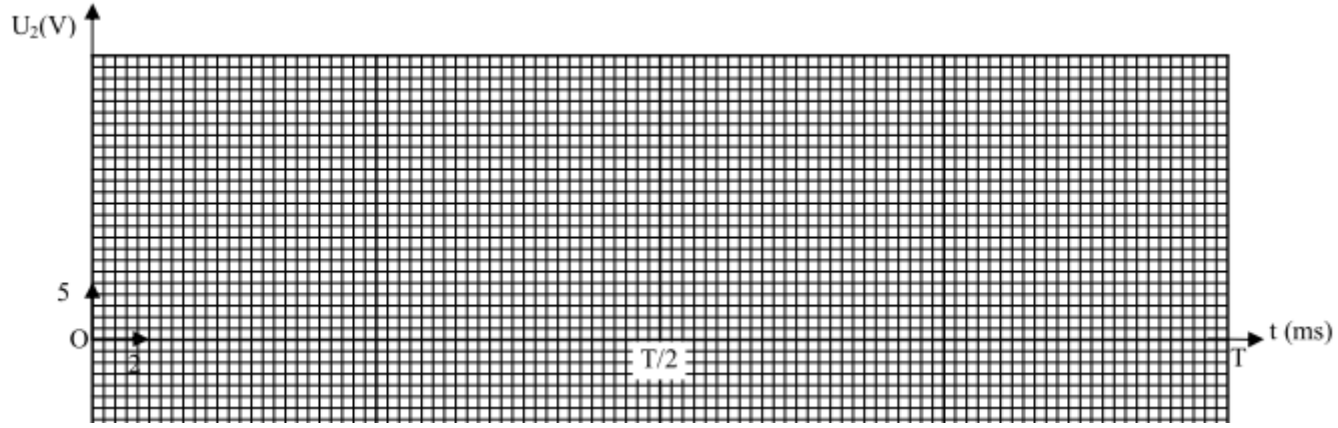
……

5. *Calculer le rapport de transformation **m** :*

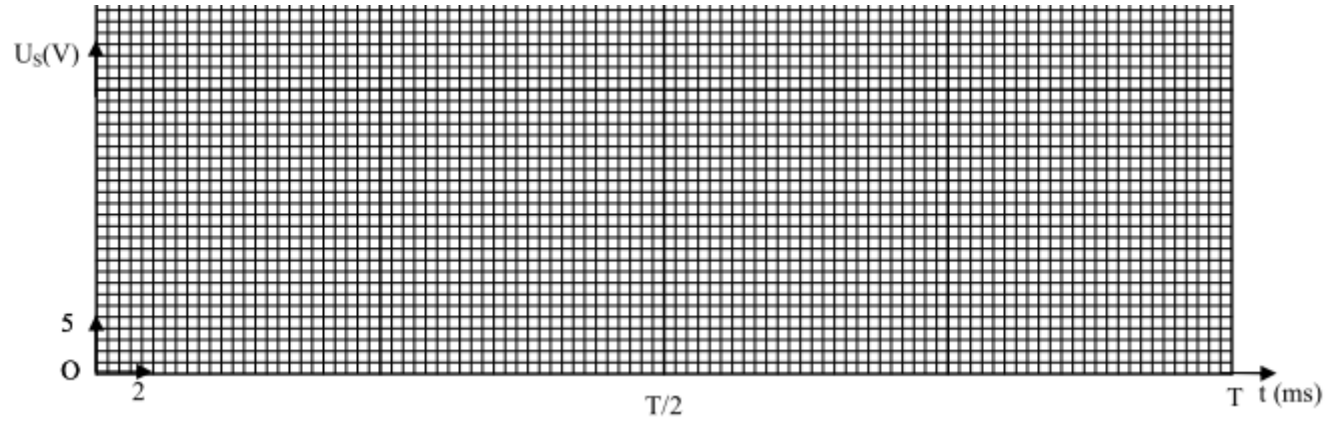
……

Tâche2 : Etude du redressement

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



2. *Représenter la tension $U_S(t)$.*



3. *Calculer la valeur moyenne U_{smoy} et la valeur efficace U_{sef} de la tension us.*

……

……

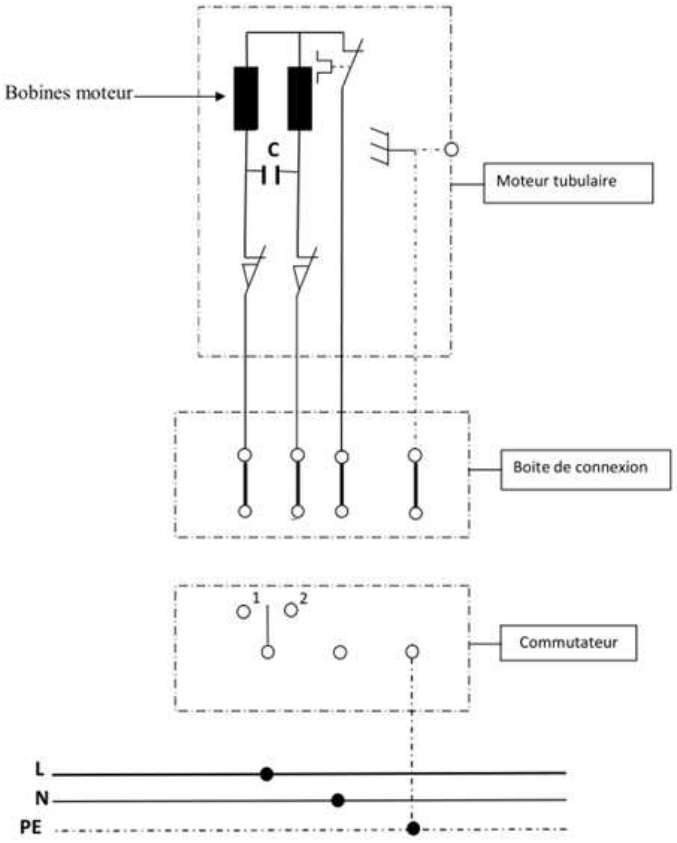
<u>Tâche3</u> : Câblage du store

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 ?*

……

……

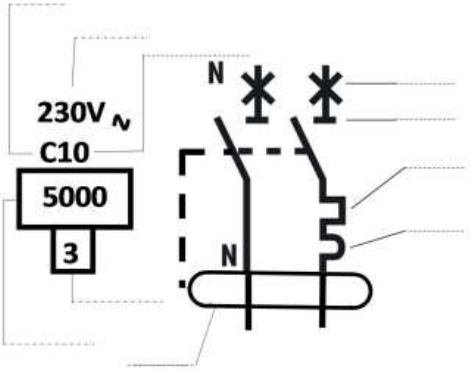
3. *Expliquer comment le sens de rotation du moteur est inversé suivant les positions 1 et 2 du commutateur :*

Position du Commutateur	*Explications*
1	…… ……
2	…… ……

<u>Tâche 4</u> : 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 : ***10 A****, sensibilité :* ***30 mA****.*

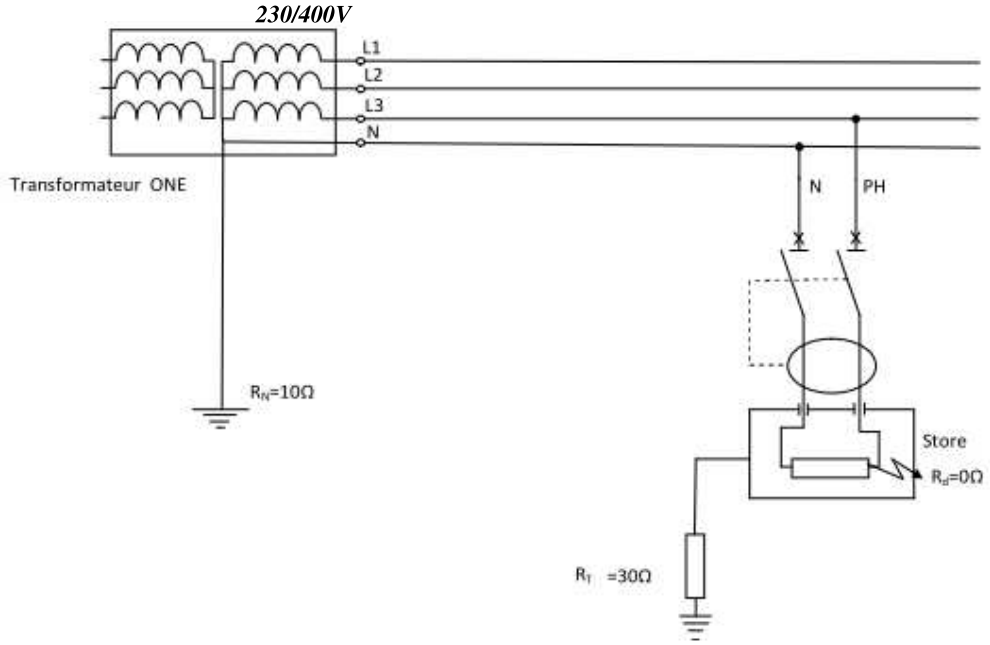
1. Compléter le document ci-dessous en insérant le numéro correspondant de chaque élément proposé à sa place :



<u>Éléments proposés</u>

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 :



a) De quel régime du neutre s'agit-il ?

……

b) Représenter sur le schéma le chemin du courant de défaut Id.

c) Déterminer la valeur de ce courant de défaut :

……

d) A quelle tension U_C est soumise la personne qui touche la masse métallique du store ?

……

e) Le disjoncteur déclenche-t-il ? Pourquoi ?

……

Extrait bac 2013 Session Normale	***Éolienne (Aérogénérateur)***

SEV3 : Etude énergétique

Tâche1 : Etude de l'alternateur

*Les pales de l'éolienne entrainent, 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 kVA ; 230/400V ; 50 Hz ; N_N =1000 tr/min.

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

……

2) Calculer le courant statorique nominal I_N :

……

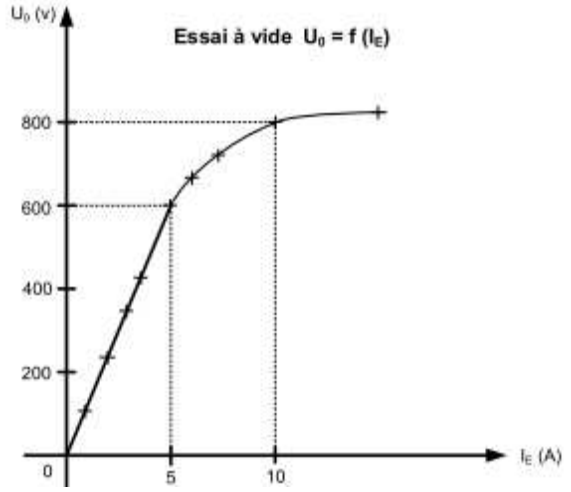
*3) Calculer le nombre de paires de pôles **p** :*

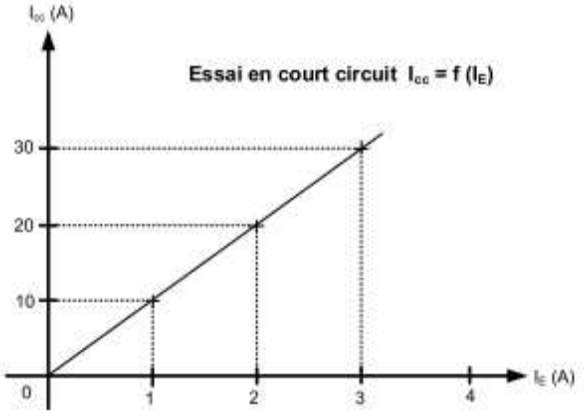
……

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

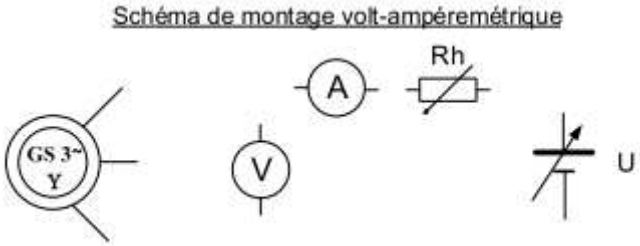
- *La mesure de la résistance à chaud aux bornes du stator **R = 0,6 Ω**, par la méthode voltampèremétrique.*
- *À vide $U_0 = f(I_E)$ avec U_0 =tension entre phases de l'alternateur et en court-circuit $Icc = f(I_E)$ à la vitesse nominale N_N = 1000 tr/min.*

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





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



*5) Calculer la résistance **Rs** d'un enroulement du stator :*

……

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 $I_{CC} = f(I_E)$:

……

……

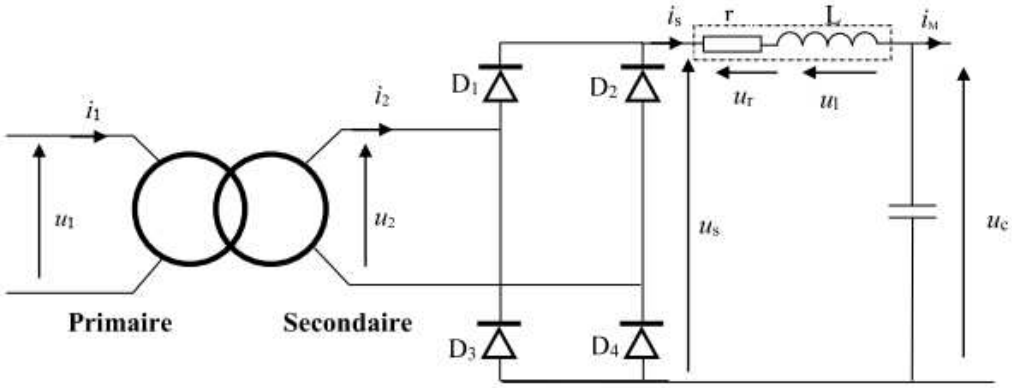
6) Pour $\mathbf{I_{CC} = I_N}$ calculer l'impédance synchrone $\mathbf{Z_S}$ d'une phase du stator, puis la réactance $\mathbf{X_S}$:

……

……

<u>Tâche2</u> : 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 :

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

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 $\mathbf{R_1}$ de l'enroulement primaire :*

……

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

3. *Les pertes par effet joule à vide $\mathbf{P_{j0}}$:*

……

4. *Les pertes dans le fer* ***Pf*** *:*

……

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

5. *Calculer la résistance* $\boldsymbol{R_S}$ *des enroulements ramenée au secondaire :*

……

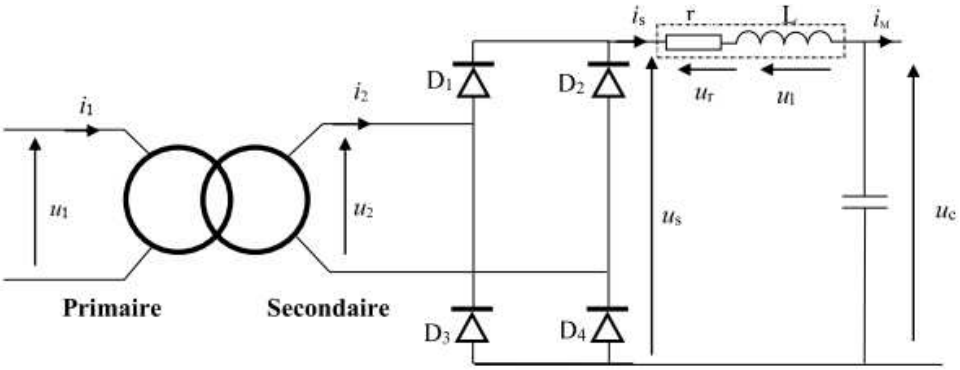
6. *Calculer la réactance* $\boldsymbol{X_S}$ *des enroulements ramenée au secondaire :*

……

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

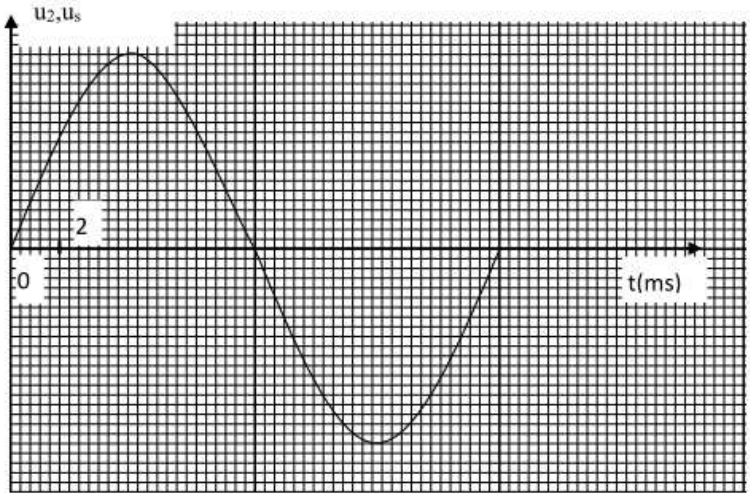
<u>Tâche3</u> : Etude du redresseur

La résistance ***r*** *de la bobine vaut* ***0,50 Ω*** *et son inductance L a une valeur suffisante pour que l'intensité is soit quasiment constante, on notera donc* ***is = Is****. Le condensateur a une capacité de valeur suffisante pour que la tension u c soit quasiment constante ; on notera donc* ***uc = Uc****.*



Pour le fonctionnement envisagé on a : ***Uc = 17 V*** *et* ***Is = 10 A*** *; on suppose que les diodes du pont redresseur sont idéales.*

1. *Représenter le graphe de la tension us :*



2. *Déterminer la fréquence f de la tension de sortie us :*

……

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

3. *Donner la relation liant U_{smoy} à Uc, Is et r :*

……

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

……

……

Extrait bac 2013 Session Rattrapage	**Etude d'un système de conditionnement et d'emballage de brioches**

***SEV2:* Analyse énergétique**

***Tâche1* : Etude énergétique du moteur**

Les caractéristiques du moteur asynchrone triphasé sont : $\mathbf{P_N = 0,75\ kW}$; $\mathbf{N_N = 1400\ tr/min}$; $\boldsymbol{\eta = 0,7}$; $\boldsymbol{\cos\varphi = 0,77}$; *Nombre de pôles* **: 4 ; f = 50 Hz**.

Le moteur est alimenté sous une tension composée U = 400 V - 50 Hz et chaque enroulement statorique est conçu pour être soumis à une tension de 230 V en fonctionnement nominal.

1- *Quel est le couplage des enroulements statoriques ?*

……

2- *Quelle est la vitesse de synchronisme* $\mathbf{N_S}$ *(tr/min) ?*

……

3- *Donner (en %) la valeur du glissement* **g** *:*

……

4- *Calculer la valeur de la puissance active* $\mathbf{P_a}$ *absorbée par le moteur :*

……

5- *Quelle est la valeur du courant* $\mathbf{I_N}$ *absorbé par le moteur ?*

……

6- *Quelle est la valeur de l'ensemble des pertes* $\mathbf{p_t}$ *dissipées dans le moteur ?*

……

7- *Déterminer la puissance réactive* $\mathbf{Q_a}$ *absorbée du moteur :*

……

8- *Calculer alors la puissance apparente* **S** *:*

……

***Tâche2* : 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

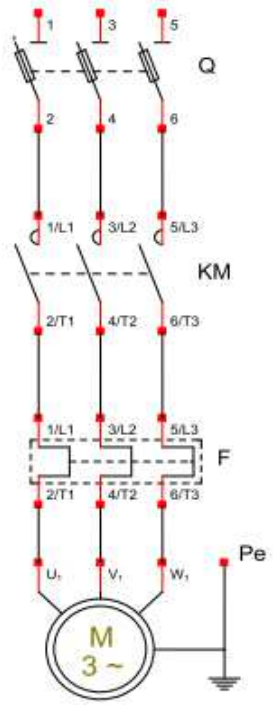


***Tableau n° 1** à compléter :*

Repère	*Nom*	*Fonction*
Q	…… ……	…… …… ……
KM	…… ……	…… …… ……
F	…… ……	…… …… ……

***Tâche3** : 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 cm².

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

1- Calculer la valeur du champ magnétique maximale B_{max} *(on rappelle que : U = 4,44. B_{max} .f.N.s) :*

……

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

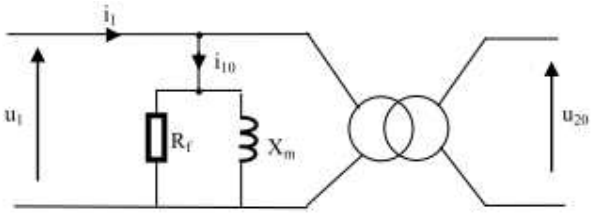
……

……

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 :*

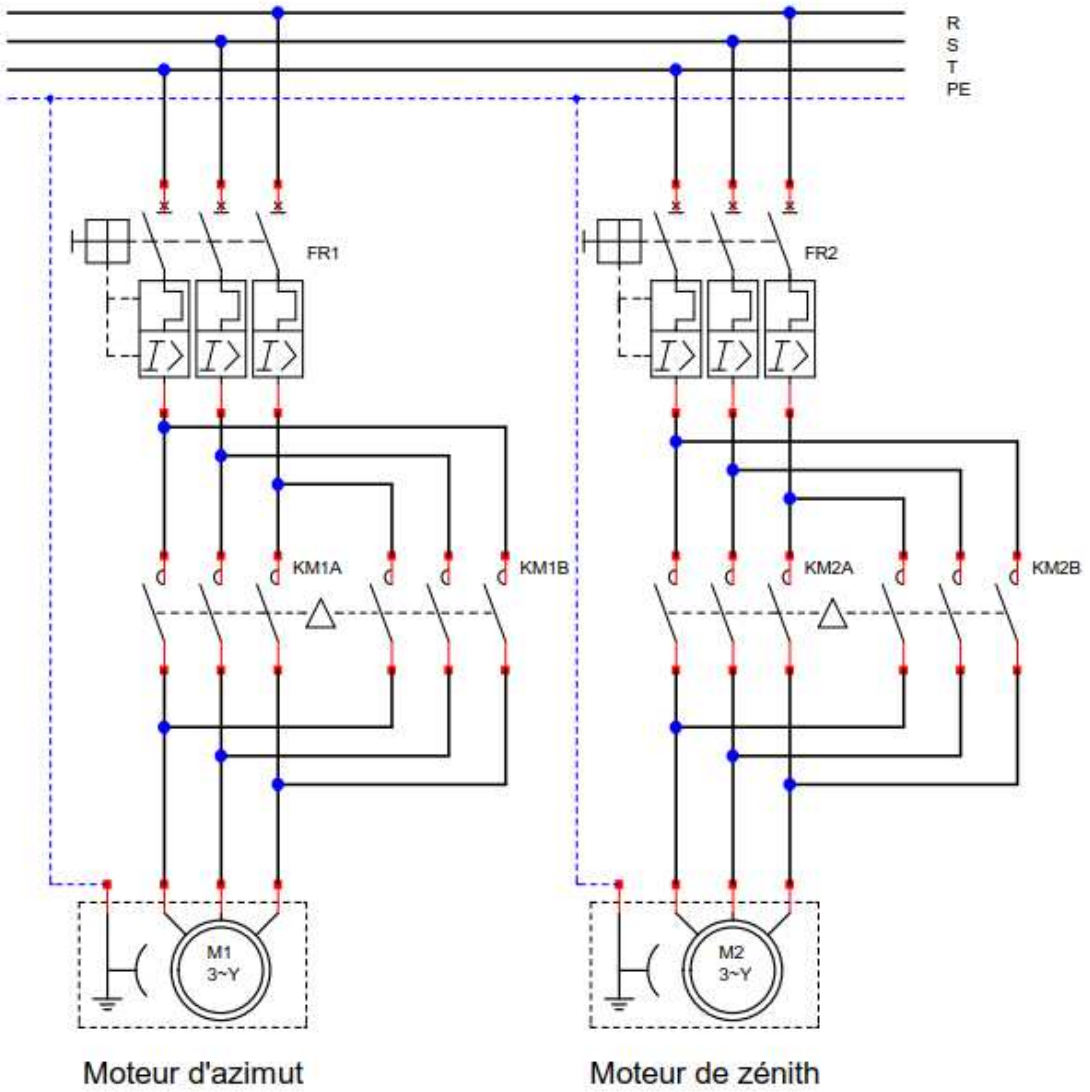
……

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

……

SEV3: Etude énergétique

Toutes les questions de la SEV 3 seront traitées autour du schéma électrique du suiveur Figure ci-dessous d'où l'intérêt de garder devant soi ce schéma lors des réponses aux questions.



Tâche1 : Calcul de la consommation du système suiveur

Le suiveur, lors du déplacement du module photovoltaïque, absorbe de l'énergie électrique ; on souhaite connaitre 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 m²**, équipé d'un suiveur et produisant, en moyenne, **128 kWh** par jour, l'énergie consommée par le suiveur pendant une année est de **100 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 :*

……

……

<u>Tâche2</u> : Relèvement du facteur de puissance du suiveur :

*Le réseau triphasé **230/400V**, **50 Hz** alimente les deux moteurs triphasés équilibrés dont les caractéristiques sont les suivantes :*

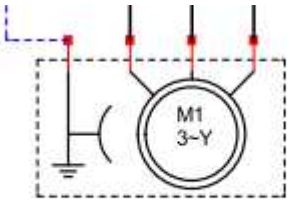
- *Moteur **M1** (moteur pour azimut) : Puissance utile : $\mathbf{Pu_1 = 0,25\ kW}$; rendement : $\boldsymbol{\eta_1 = 69\ \%}$; facteur de puissance : $\mathbf{cos\varphi_1 = 0,65}$;*
- *Moteur **M2** (moteur zénith) : Puissance utile : $\mathbf{Pu_2 = 0,75\ kW}$; rendement : $\boldsymbol{\eta_2 = 70\%}$; facteur de puissance : $\mathbf{cos\ \varphi_2 = 0,77}$;*

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.

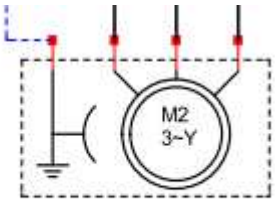
3. *Quelle relation existe-t-il entre la tension composée **U** et la tension simple **V** en triphasé ?*

……

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 :*

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

   Réécrire la ou les bonnes réponses :

……

6. *Calculer La puissance active $\mathbf{P_1}$ et la puissance réactive $\mathbf{Q_1}$ consommées par le moteur **M1** :*

……

……

7. *Calculer La puissance active $\mathbf{P_2}$ et la puissance réactive $\mathbf{Q_2}$ 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 $\mathbf{cos\ \varphi}$:*

……

……

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

……

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 φ) ou la tan φ à une valeur donnée**													
		tan φ	**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 φ	**cos φ**	**cos φ**	**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	2.22S
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	1.8S5	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
1.90	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		0.902	1.232	1.248	1.276	1.303	1.337	1.369	1.403	1,441	1.401	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	1.03S	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	0.666	0.781	0.809	0.836	0.870	0.902	0.936	0.974	1.014	1.062	1.123	1.266
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	1.007	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	0.6/9	0,713	0.746	0.779	0.817	0.857	0.905	0.986	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	0.300	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

<u>Tâche 3</u> : Validation de la protection du moteur M2

Les deux moteurs du suiveur sont protégés par deux disjoncteurs magnétothermiques. On veut vérifier si la protection est justifiée au niveau des courants de démarrage et des surcharges prolongées.

11. *Un disjoncteur magnétothermique protège contre :*

    a- les surtensions ;

    b- les surcharges ;

    c- les court-circuits ;

    d- les contacts directs.

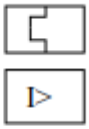
Réécrire la ou les bonnes réponses.

……

Les références des disjoncteurs magnétothermiques ***classe 10*** *choisis par le concepteur sont :*
3RV1011-OKA1 *pour le moteur* ***M1*** *et* ***3RV1011-1CA1*** *pour le moteur* ***M2****. (Voir tableau ci-dessous).*

12. *Noter la plage du déclencheur thermique, le courant de court-circuit et le pouvoir de coupure à côté de chaque symbole.*

Disjoncteur **3RV1011-OKA1**

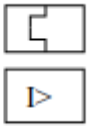


.....

.....

I_{CU} .....

Disjoncteur **3RV1011-1CA1**



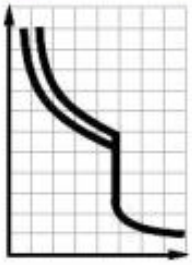
.....

.....

I_{CU} .....

Tableau de sélection et références de commande

CLASS 10, sans/avec blocs de contacts auxiliaires



Courant assigné I_n A	Convient pour moteurs triphasés[1]) avec P kW	Domaine de réglage déclencheurs thermiques A	déclen-cheurs instantanés $I>$ A	Pouvoir de cou-pure sous AC 400 V I_{cu} kA	CL	Raccordement p borne à vis N° de réf. GP 101
Taille S00						
0,16	0,04	0,11 – 0,16	2,1	100	▶	**3RV10 11-0AA1**
0,2	0,06	0,14 – 0,2	2,6	100	▶	**3RV10 11-0BA1**
0,25	0,06	0,18 – 0,25	3,3	100	▶	**3RV10 11-0CA1**
0,32	0,09	0,22 – 0,32	4,2	100	▶	**3RV10 11-0DA1**
0,4	0,09	0,28 – 0,4	5,2	100	▶	**3RV10 11-0EA1**
0,5	0,12	0,35 – 0,5	6,5	100	▶	**3RV10 11-0FA1**
0,63	0,18	0,45 – 0,63	8,2	100	▶	**3RV10 11-0GA1**
0,8	0,18	0,55 – 0,8	10	100	▶	**3RV10 11-0HA1**
1	0,25	0,7 – 1	13	100	▶	**3RV10 11-0JA1**
1,25	0,37	0,9 – 1,25	16	100	▶	**3RV10 11-0KA1**
1,6	0,55	1,1 – 1,6	21	100	▶	**3RV10 11-1AA1**
2	0,75	1,4 – 2	26	100	▶	**3RV10 11-1BA1**
2,5	0,75	1,8 – 2,5	33	100	▶	**3RV10 11-1CA1**
3,2	1,1	2,2 – 3,2	42	100	▶	**3RV10 11-1DA1**
4	1,5	2,8 – 4	52	100	▶	**3RV10 11-1EA1**
5	1,5	3,5 – 5	65	100	▶	**3RV10 11-1FA1**
6,3	2,2	4,5 – 6,3	82	100	▶	**3RV10 11-1GA1**
8	3	5,5 – 8	104	50	▶	**3RV10 11-1HA1**
10	4	7 – 10	130	50	▶	**3RV10 11-1JA1**
12	5,5	9 – 12	156	50	▶	**3RV10 11-1KA1**

13. *Quel est le mode de démarrage de chacun des deux moteurs ?*

……

……

14. *Donner le courant de démarrage* I_D *du moteur M2 de zénith (Voir tableau ci-dessous) :*

……

IP 55 - 50 Hz - Classe F - 230 V Δ / 400 V Y - S1								
4 pôles 1500 min⁻¹	Puissance Nominale à 50 Hz	Vitesse nominale	Couple nominal	Intensité nominale	Facteur de puissance	Rendement	Courant démarrage / Courant nominal	Masse
Type	P_N (kW)	N_N min^{-1}	C_N (N.m)	I_N (400V) A	Cos φ	η (%)	I_D / I_N	IM B3 (kg)
LS 71 L	0.25	1425	1.7	0.8	0.65	69	4.6	6.4
LS 71 L	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	1400	3.8	1.6	0.74	67	4.4	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

15. *Est-ce que ce courant déclenche le relais magnétique du disjoncteur ? Pourquoi ?*

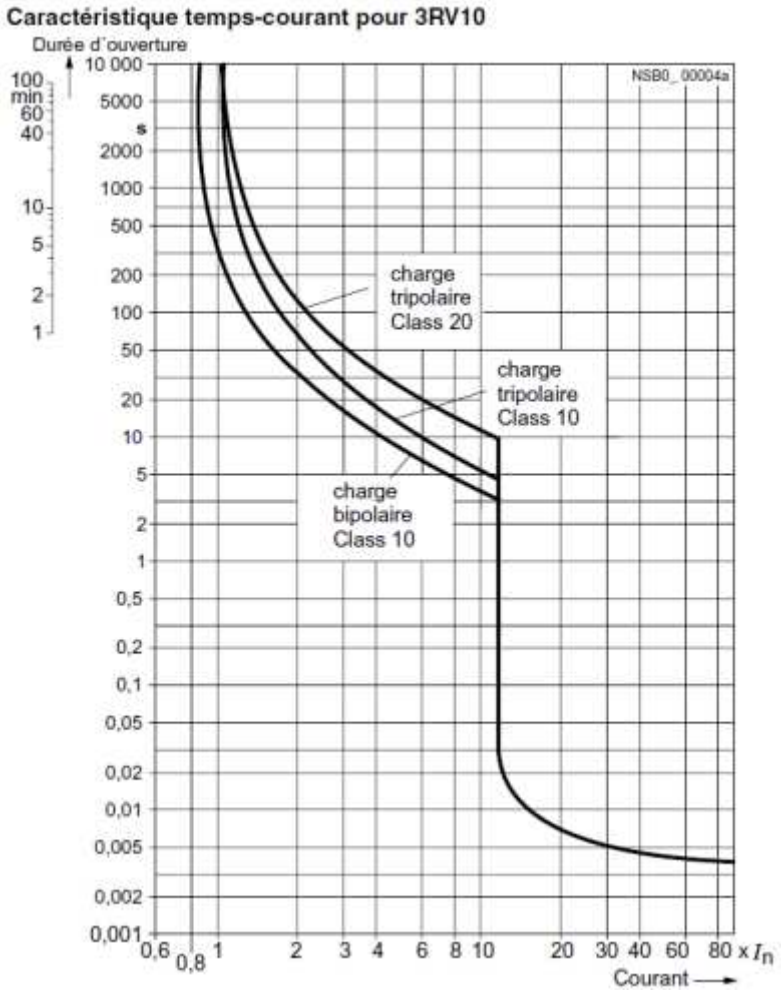
……

……

16. *Supposons un courant de surcharge* ***I_S*** *égal à* ***15 A*** *sur* ***M2*** *et dure* ***cinq secondes*** *; relever sur le graphe « caractéristique temps-courant » figure ci-dessous, le temps minimal de déclenchement du relais thermique du disjoncteur et conclure.*

……

……



SEV3 : Motorisation du convoyeur

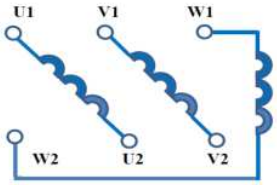
Tâche 1 : Etude du bilan des puissances du moteur M_2

Les caractéristiques du moteur M 2 sont :

- *Tension : 230 / 400 V – 50 Hz ;*
- *Rotor à cage ;*
- *n_N = 1430 tr/min – 4 pôles ;*
- *C_N = 10 Nm ;*
- *I_N = 3,6 A ;*
- *cos φ = 0,81.*

1- Le moteur est alimenté à partir d'un réseau triphasé de tension U = 400 V – 50 Hz. Préciser le couplage des enroulements statoriques et compléter alors le schéma de raccordement de la plaque à bornes (ci-contre) :

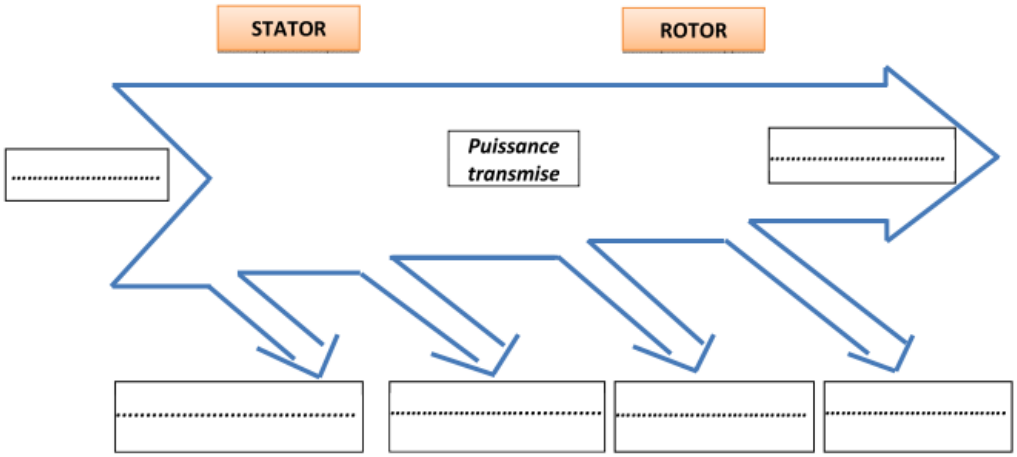
Plaque à bornes :



Couplage des enroulements :

……

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 Ω** :*

……

*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 :

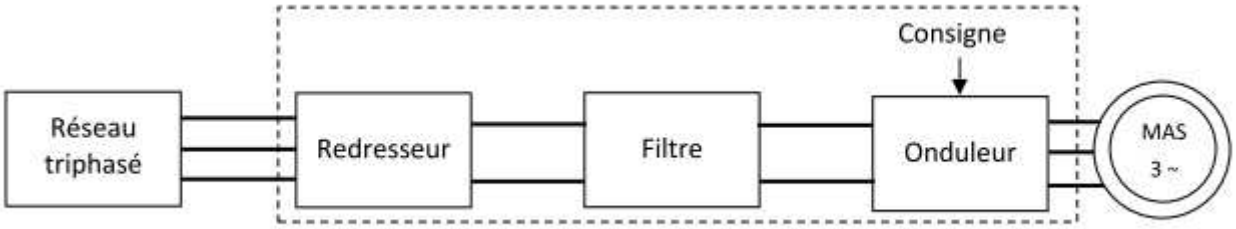
……

7- Quelle est alors la valeur du rendement η_{m2} du moteur ?

……

Tâche 2 : Etude du variateur de vitesse

*Pour ajuster la cadence (nombre de savonnettes par heure), un opérateur fait varier la vitesse du moteur M_2 du convoyeur à bande en agissant sur un potentiomètre de référence Pr (consigne). En plus, pour assurer les performances optimales du moteur M_2, il s'impose que le rapport **U/f** soit constant. Le schéma synoptique du variateur est le suivant :*



Variateur de vitesse

1- En utilisant le document Ressource ci-dessous et les caractéristiques du moteur M2 (prendre la puissance utile du moteur Pu = 1,5 kW), donner la référence du variateur de vitesse qui convient :

……

Références

Variateurs de vitesse Altivar 71

Variateurs UL Type 12/IP 54 avec Vario

ATV 71E5D11N4

Variateurs UL Type 12/IP 54 avec Vario et filtre CEM classe A integré

Tension d'alimentation triphasée : 380...480 V 50/60 Hz

Moteur		Réseau				Altivar 71					
Puissance indiquée sur plaque *(1)*		Courant de ligne maxi *(2)*		Puissance apparente	Icc ligne présumé maxi	Courant maximal permanent In *(1)*		Courant transitoire maxi pendant		Référence *(3)*	Masse
		380 V	480 V	380 V		380 V	460 V	60 s	2 s		
kW	HP	A	A	kVA	kA	A	A	A	A		kg
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 71E5U15N4	12,400
2,2	3	8,2	7,1	5,4	5	5,8	4,8	8,7	9,6	ATV 71E5U22N4	12,400
3	–	10,7	9	7	5	7,8	6,2	11,7	12,9	ATV 71E5U30N4	13,400
4	5	14,1	11,5	9,3	5	10,5	7,6	15,8	17,3	ATV 71E5U40N4	13,400
5,5	7,5	20,3	17	13,4	22	14,3	11	21,5	23,6	ATV 71E5U55N4	16,400

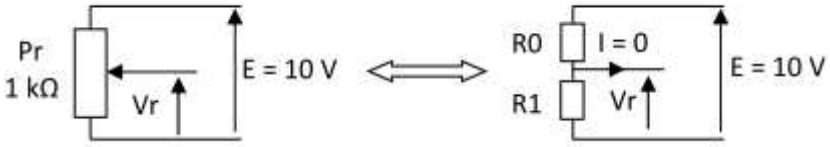
2- La tension Vr de consigne de vitesse est réglée par le potentiomètre de référence Pr.

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 Vr = 6 V :



2.1 - Calculer les valeurs des résistances R0 et R1 :

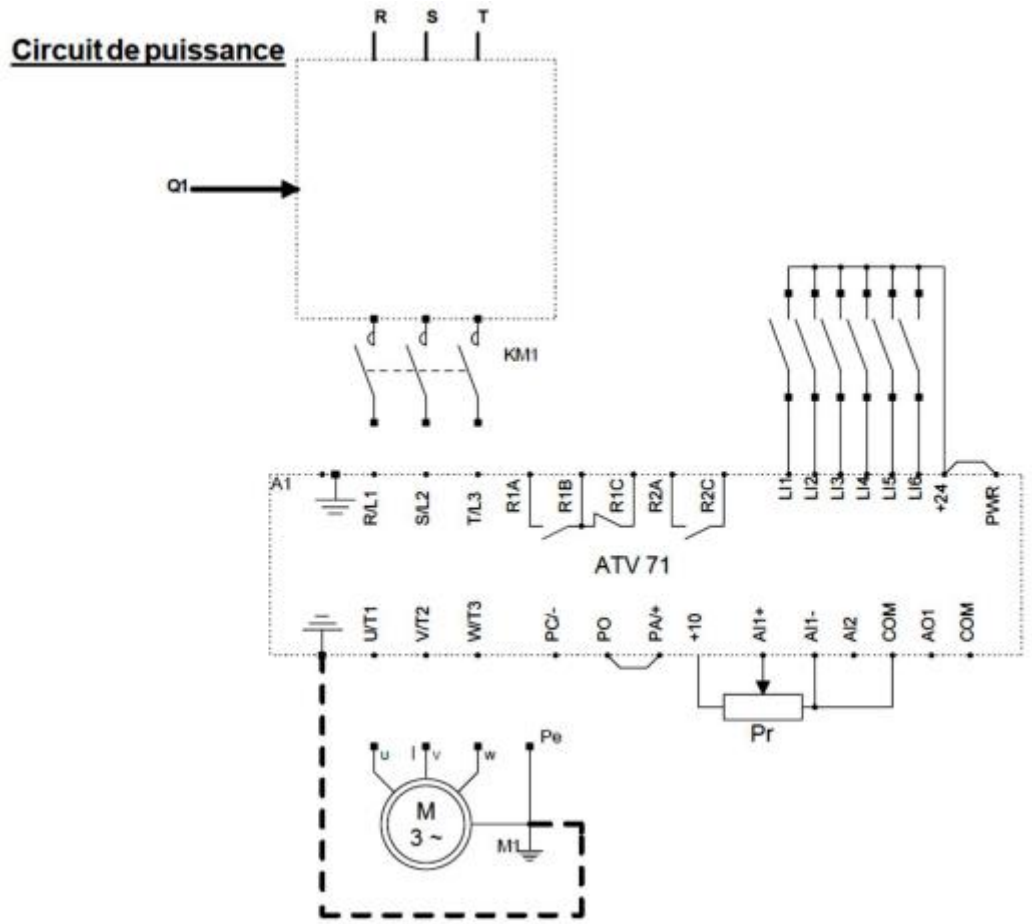
……

……

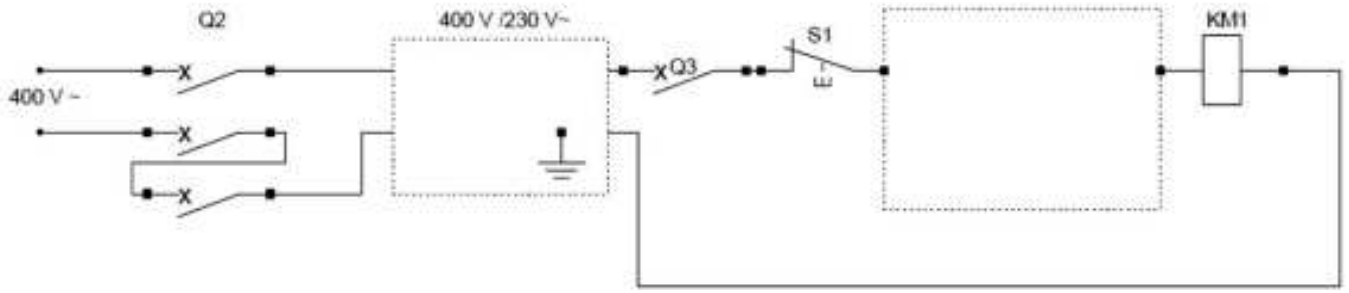
2.2 - Quelle est alors la vitesse de rotation nr (en tr/min) du moteur ?

……

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 :

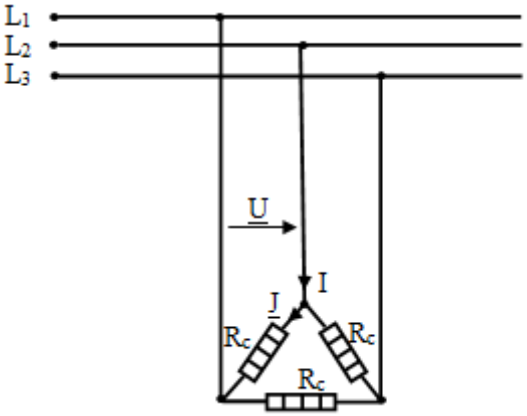


<u>*Nomenclature*</u>

Repère	***Désignation***	***Repère***	***Désignation***
Q1	*Disjoncteur moteur*	*KM1* *Km1*	*Bobine du contacteur* *Contact auxiliaire*
Q2	*Disjoncteur triphasé*	*Pr*	*Potentiomètre de référence*
Q3	*Disjoncteur mono*	*S1*	*Bouton poussoir affleurant "O"*
ATV71E5U15N4	*Variateur de vitesse*	*S2*	*Bouton poussoir affleurant "F"*
M3-	*Moteur asy.tri*	*a*	*Contact du relais de défaut du variateur*

SEV2 : Etude énergétique

Tâche7: 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 **Pt** dissipée dans les trois résistances en fonction de la tension **U** et de la résistance **Rc** :*

……

……

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** :*

……

……

4. *Quelle est la valeur de la puissance réactive totale Q_t absorbée par ces résistances ?*

……

Tâche8: 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 A** avec un facteur de puissance **cos φ = 0,8.***

- *La vitesse de rotation nominale est n_N **= 970 tr/min.***
- *Les enroulements statoriques sont couplés en triangle et chacun a une résistance **R = 0,8 Ω.***
- *Les pertes fer du stator sont P_{fs} **= 206 W** et les pertes mécaniques sont p_m **= 447 W.***

Calculer la valeur :

1. *De la vitesse de synchronisme **ns** (**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* η_{MV} *du moteur :*

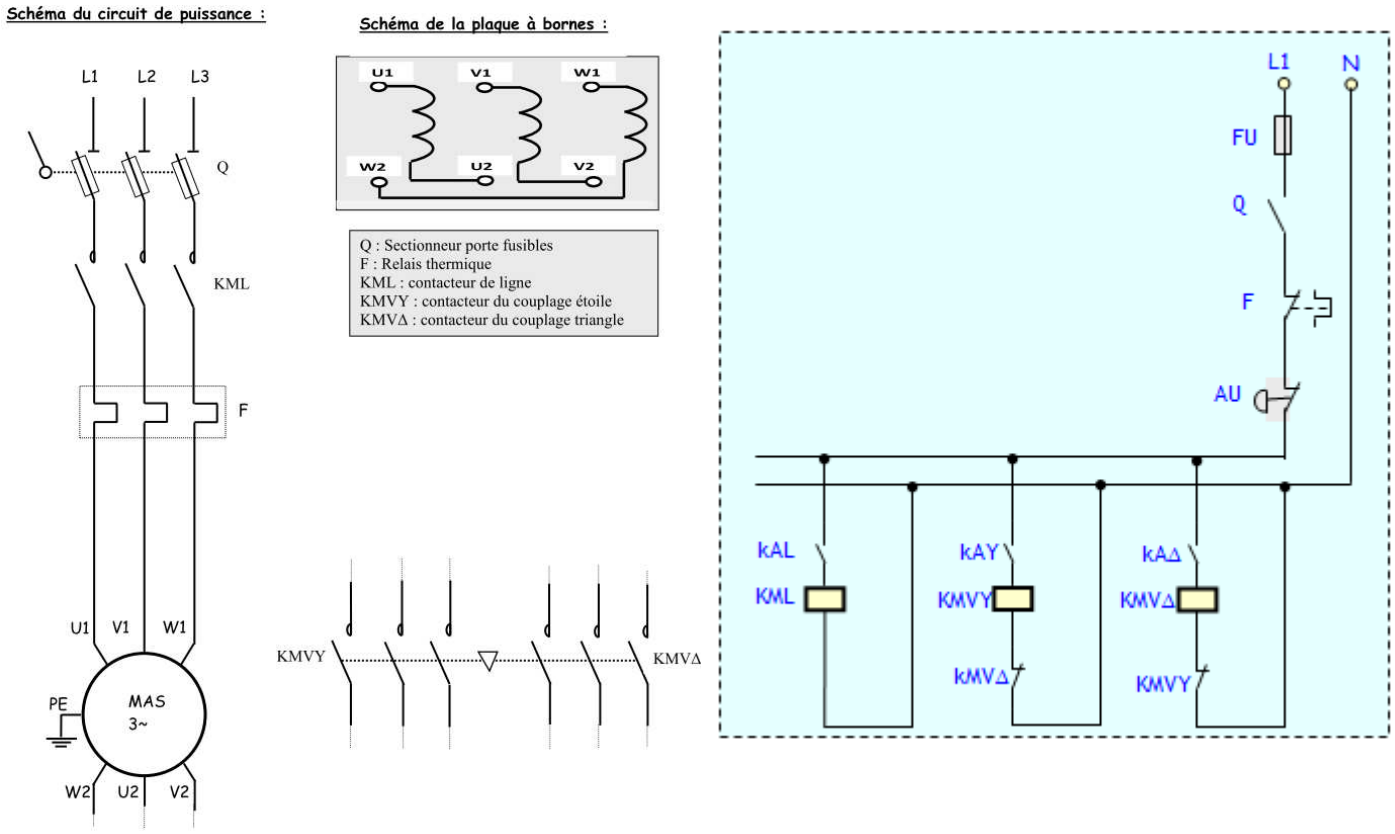
……

Tâche9: ***Etude du démarrage du moteur MV***

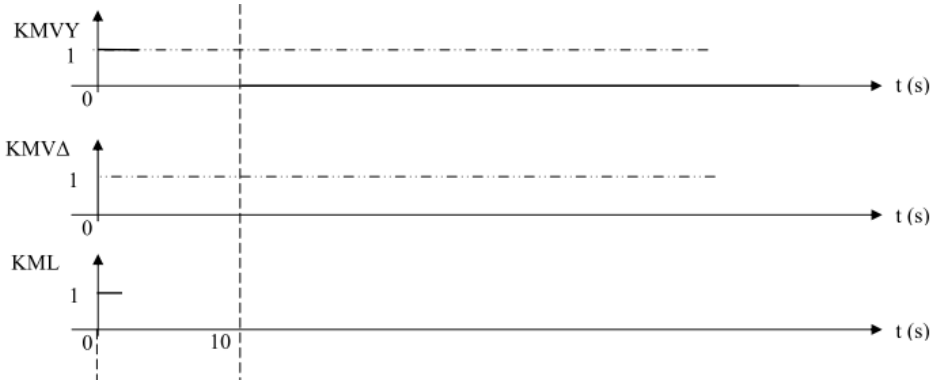
Pour réduire les pointes de courant à la mise sous tension du moteur MV, le mode de démarrage choisi est ***"ETOILE-TRIANGLE"****.*

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 ci-dessous) :

1. *Compléter le schéma du circuit de puissance (ci-dessous) en exploitant le schéma de la plaque à bornes du moteur.*



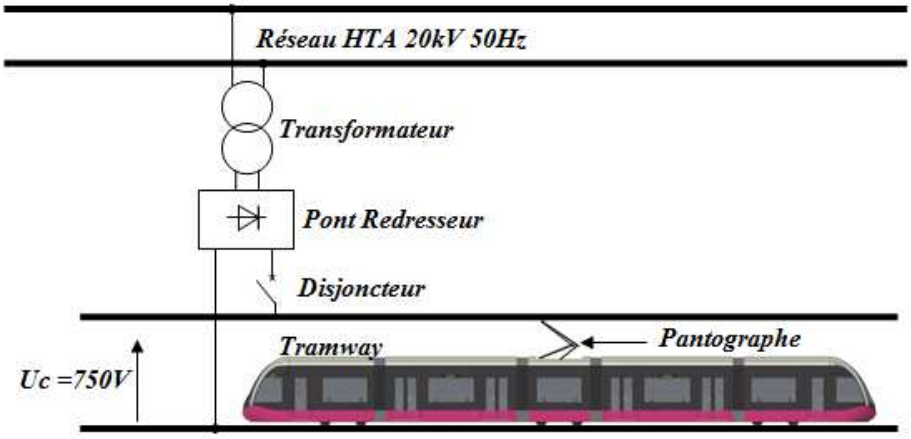
2. *Compléter les chronogrammes (ci-contre) correspondant au fonctionnement du moteur lors du démarrage* ***ETOILE-TRIANGLE.***



SEV3 : Etude de la chaîne énergétique du Tramway

Tâche 1 : 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-contre :*



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
▪ U_{1V} = 20 kV; U_{2V} = 590V; ▪ I_{1V} = 0,240 A; P_{1V} = 1750 W.	▪ U_{1cc} = 1190 V; P_{1cc} = 11,6 kW; I_{2cc} = 1695 A.

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** :*

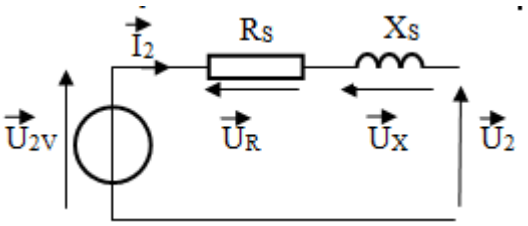
……

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

……

……

Soit le schéma équivalent ci-contre 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 *:*

……

……

……

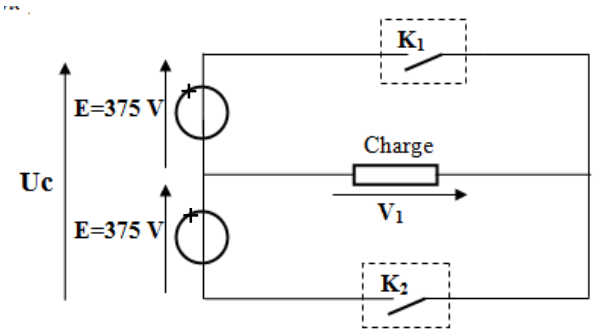
Exprimer $\vec{U}_{2V}$ *en fonction de* $\vec{U}_2$, $\vec{U}_R$ *et* $\vec{U}_X$ *:*

……

Tâche2: 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* **Uc** *tel que :*

E = Uc/2 = 375 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.*
- $f = 88$ *Hz*

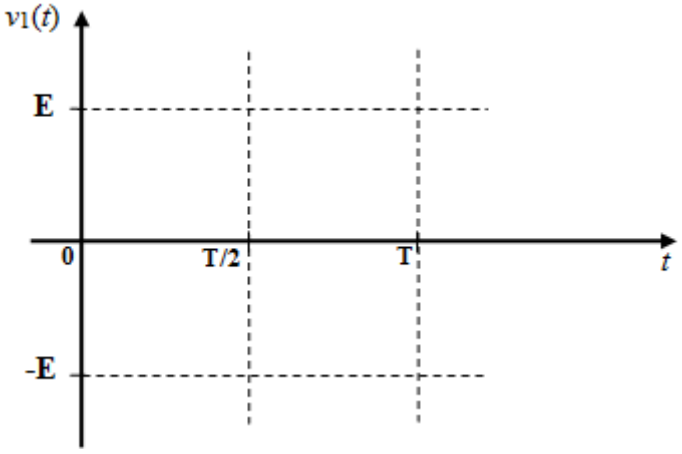
1. *Calculer la période* **T** *de la tension* $v_1(t)$ **:**

……

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* $v_1(t)$ *:*

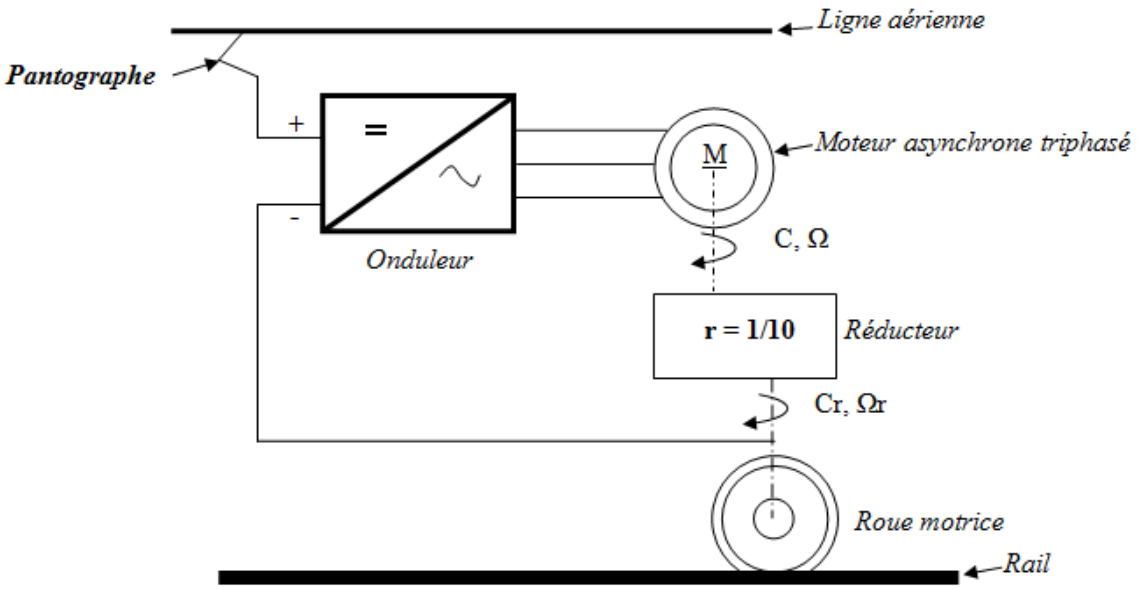
……

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

……

Tâche3: 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 :* $U_n = 585\ V$;
- ✓ *Fréquence statorique nominale :* $f_n = 88\ Hz$;
- ✓ *Vitesse nominale de rotation du rotor :* $N_n = 2610\ tr.min^{-1}$.

1. *Déterminer le nombre* **p** *de paires de pôles du moteur :*

……

2. *Pour le point nominal de fonctionnement* $N_n = 2610\ tr.mn^{-1}$ *: Calculer le glissement* g_n *:*

……

3. *La vitesse linéaire du tramway est liée à la vitesse angulaire* **Ω** *du rotor par la relation :*

$$V_{lin} = k.\Omega \text{ Avec } V_{lin} \text{ en } km.h^{-1} \text{ et } \Omega \text{ en } rad.\ s^{-1}.$$

Exprimer V_{lin} *en fonction de* **Ω**, *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 cm** *et* **r = 0.1** *:*

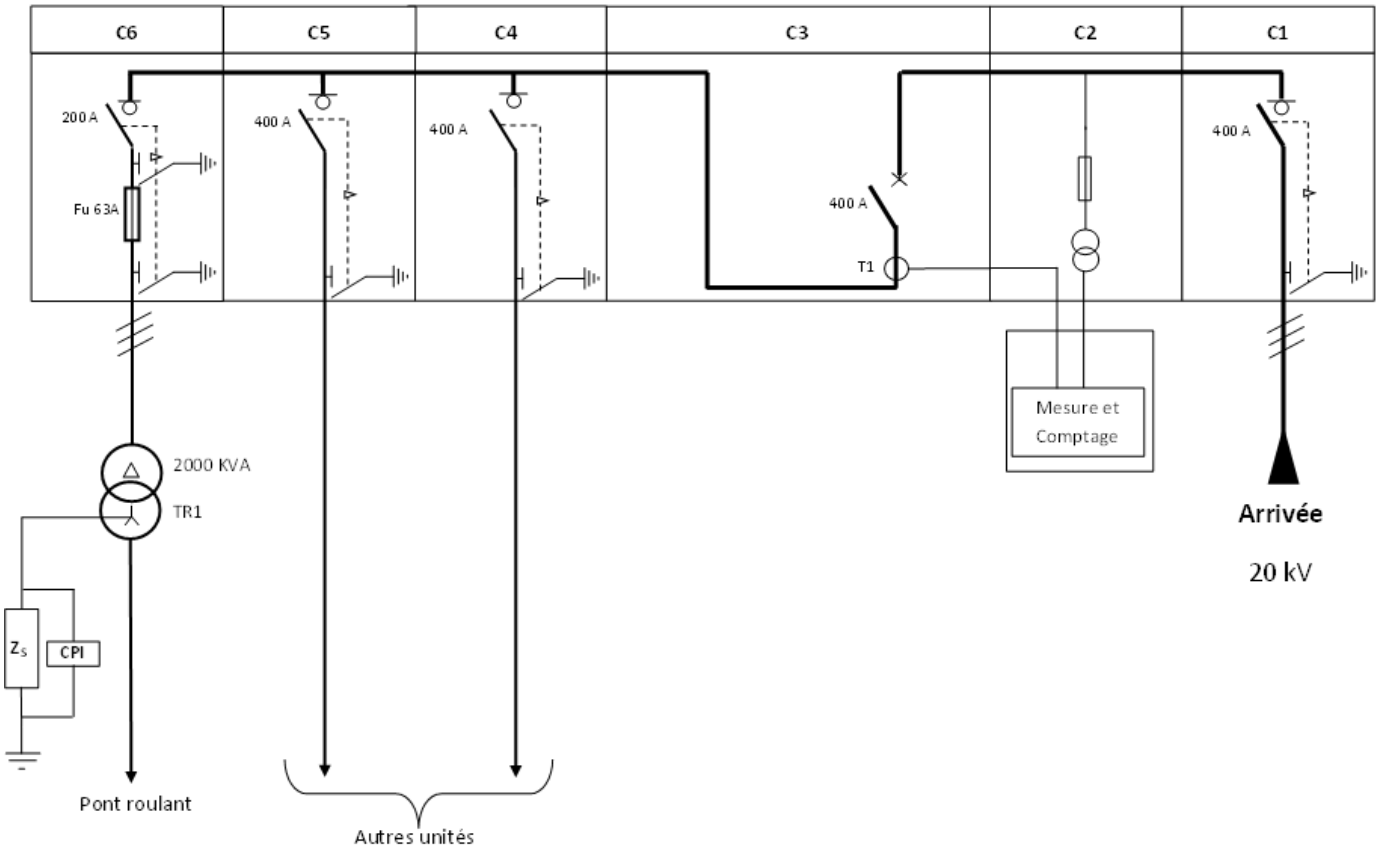
……

……

……

SEV2 : Etude énergétique

On se propose d'étudier une partie de l'alimentation électrique dont le schéma est comme ci-dessous :



Tâche 1 : Identification du réseau d'alimentation

1. *Identifier le type de structure de l'alimentation et préciser la tension de service côté HT :*

……

2. *Citer un avantage et un inconvénient de cette structure :*

……

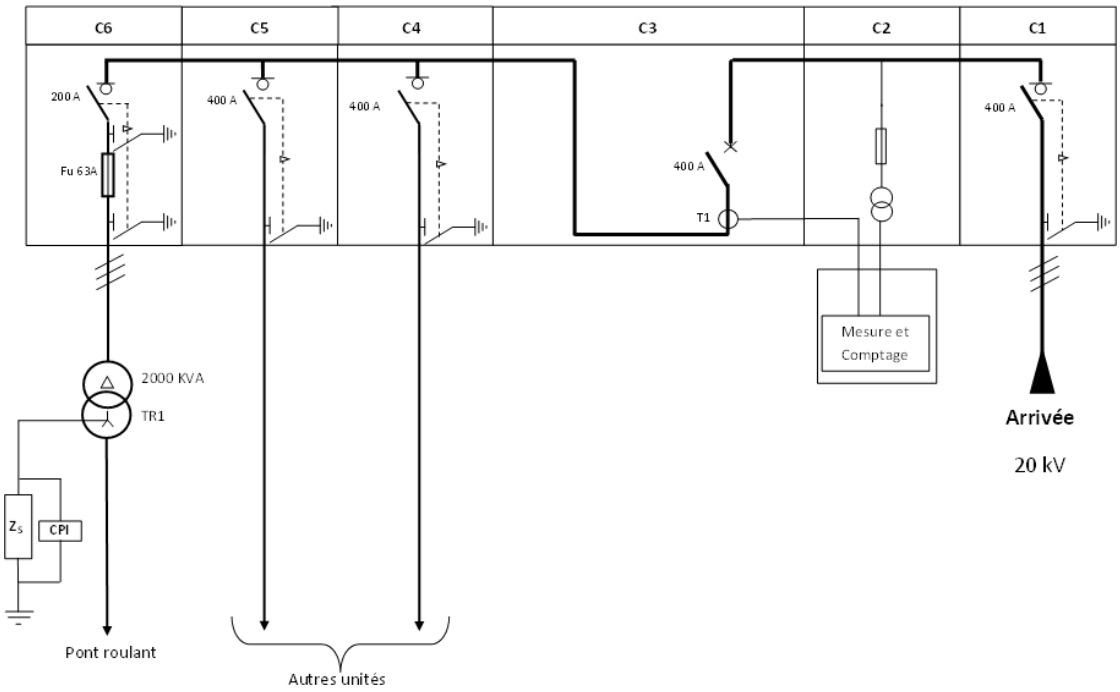
……

3. *Quel est le rôle de la cellule* **C2** *?*

……

Tâche 2 : Mise en évidence du danger de la tension de contact au cas où un deuxième défaut survient sans la suppression du premier défaut.

En vous aidant du schéma ci-dessous :

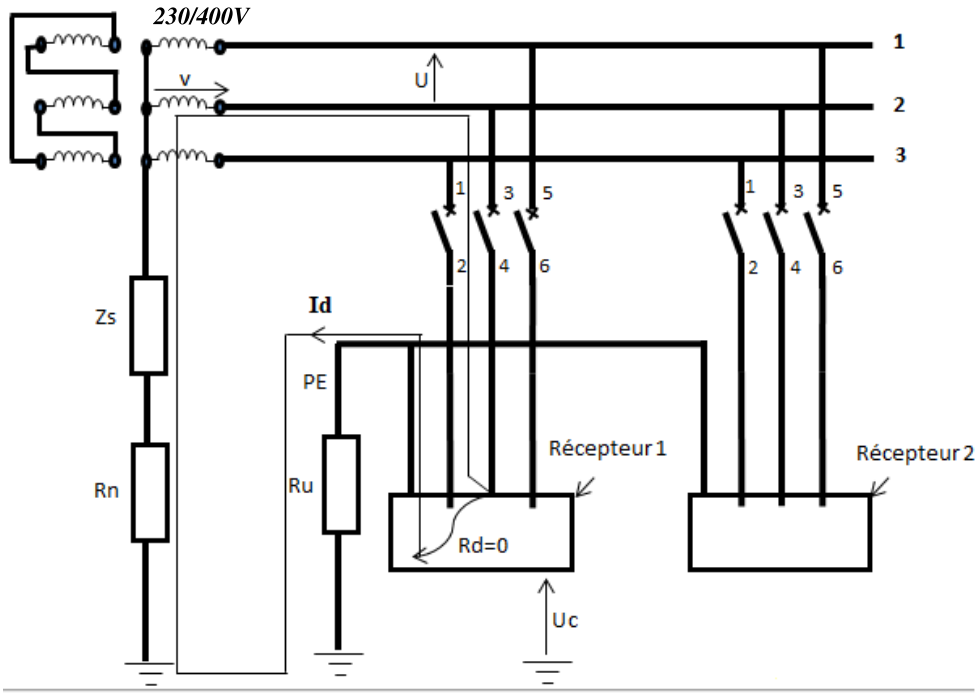


4. *Préciser le type du régime de neutre utilisé dans l'installation. Quel est le rôle du* ***CPI*** *?*

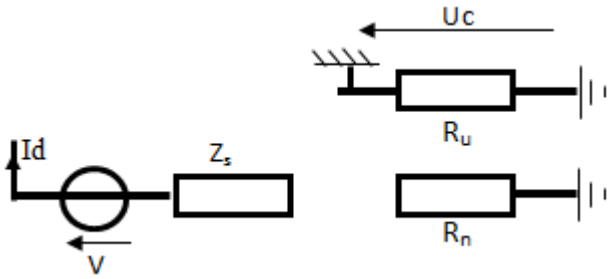
……

……

5. *Un défaut est survenu au niveau du* ***récepteur1*** *(ci-dessous) :*



6. *Compléter le schéma équivalent du circuit de défaut :*



7. *Donner l'expression de **Id** en fonction de **V**, R_n, R_u et Z_S :*

……

8. *Calculer la valeur de Id sachant que Rn = Ru = 10 Ω, Zs = 2500 Ω et V = 230 V :*

……

9. *En déduire la valeur de **Uc :***

……

10. *Sachant que la tension limite de sécurité U_L = **25 V**, la tension U_C est-elle dangereuse ? Justifier votre réponse :*

……

*Un deuxième défaut est survenu au niveau d'un **récepteur2** (phase **3** en contact direct avec la masse) avant la suppression du premier défaut :*

11. *Que devient le courant de défaut ? Cocher la bonne réponse :*

☐ *Courant nominal* ☐ *Courant de court-circuit* ☐ *Courant nul*

<u>Tâche 3 :</u> Étude du transformateur triphasé TR1

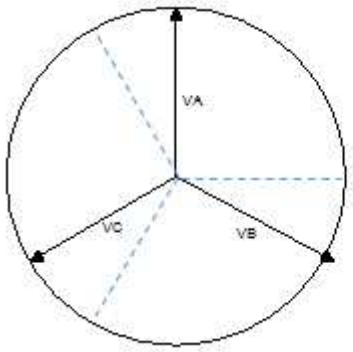
Le transformateur triphasé étudié a pour caractéristiques : ***2000 kVA ; 20 kV/400 V ; Dyn11 et Ucc = 6%.Un.***

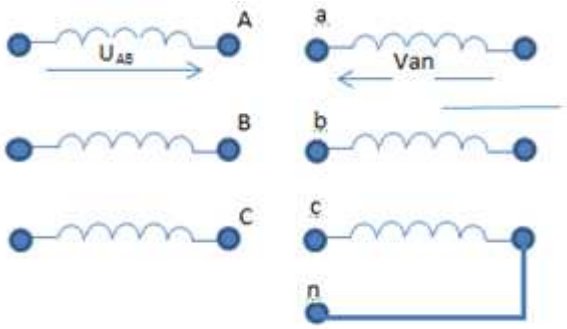
***Compléter** :*

12. *Le tableau (ci-dessous) en précisant la signification de chacune des caractéristiques :*

Caractéristique	***Signification***
2000 kVA	……
20 kV	……
400 V	……
D	……
y	……
n	……
11	……
Ucc	……

13. *Le diagramme des tensions et le schéma de couplage des enroulements primaires et secondaires.*

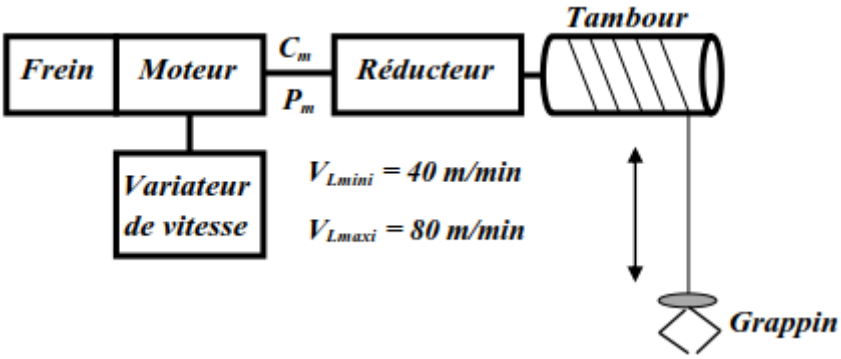




***Tâche 4 :* Motorisation du grappin**

Le problème à traiter se rapporte à la fonction technique qui permet de déplacer le grappin suivant l'axe Z.

L'étude mécanique préalable a donné : Pm = 59 kW ; Cm = 375 N.m ; V_{Lmaxi} = 80 m/min et V_{Lmini} = 40 m/min.
Avec :
***Pm** : la puissance mécanique maximale imposée par la charge ramenée sur l'arbre moteur.*
***Cm** : le couple mécanique maximal imposé par la charge ramenée sur l'arbre moteur.*
***V_L** : la vitesse de déplacement du grappin suivant l'axe Z.*



14. Quel élément assure-t-il la variation de vitesse ?

……

*15. À partir du tableau ci-dessous, donner la référence du moteur de levage et préciser, le couple nominal **Cn**, l'intensité nominale **I_N** absorbée et la vitesse de rotation nominale **N_N**.*

……

Moteurs asynchrones triphasés fermés – LS –Sélection

IP 55 – 50 Hz – Classe F – ΔT 80 K – 230 V Δ / 400 V Y – S1

4 pôles 1500 min⁻¹

	Puissance nominale 50 Hertz	Vitesse nominale	Moment nominal	Intensité nominale	Facteur de puissance	Rendement	Courant démarrage / Courant nominal	Masse
	P_N kW	N min^{-1}	C_N N.m	$I_{N\,400V}$ A	Cos φ 100%	η 100%	I_D / I_N	kg
LS 180 LR	22	1456	144	41,7	0,84	90,7	7,9	112
LS 200 LT	30	1460	196	56,3	0,84	91,5	6,6	165
LS 225 ST	37	1468	241	68,7	0,84	92,5	6,3	205
LS 225 MR	45	1468	293	83,3	0,84	92,8	6,3	235
LS 250 ME	55	1478	355	101	0,84	93,6	7	320
LS 280 SC	75	1478	485	137	0,84	94,2	7,2	380
LS 280 MD	90	1478	581	164	0,84	94,4	7,6	450
LS 315 SP	110	1484	708	197	0,85	94,8	7	670
LS 315 MP	132	1484	849	236	0,85	95	7,6	750

D'après la documentation Leroy Somer

16. Donner la référence (tableau ci-dessous) du variateur de vitesse permettant de moduler l'énergie du moteur de levage.

……

Variateurs de vitesse ATV 58

Applications à couple standard (120 % Cn)

Réseau			Moteur	Altivar 58			
courant de ligne		Icc maxi présumé	Puissance indiquée sur plaque	Courant de sortie perma-nent	Courant transitoire maxi	Puissance dissipée à la charge nominale	Référence à Compléter
à U mini A	à U maxi A		kW	A	A	W	
Tension d'alimentation 380...500 V 50/60 Hz triphasé							
51	41	22	22	44	55	630	ATV 58HD28N4
67	53	22	30	60	66	750	ATV 58HD33N4
82	66	22	37	72	90	910	ATV 58HD46N4
99	79	22	45	85	108	995	ATV 58HD54N4
121	97	22	55	105	127	1205	ATV 58HD64N4
160	130	22	75	138	157	1675	ATV 58HD79N4

D'après la documentation Schneider Electric

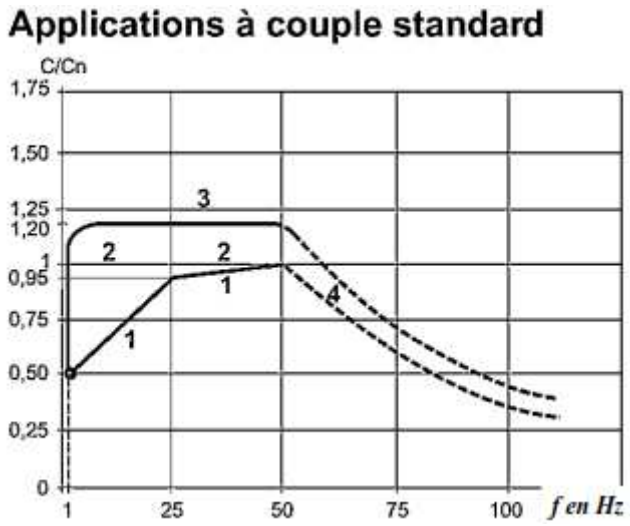
L'application proposée est du type « à couple standard » (tableau ci-dessus).

17. *La vitesse de rotation du moteur est considérée proportionnelle à la fréquence de la tension de sortie du variateur. Déterminer alors la fréquence minimale fmin de la tension qui correspond à la vitesse minimale de levage (50 Hz correspond à V_{LMAXI}).*

……
……

18. *Sachant que le moteur est de type auto-ventilé (courbe 1), déterminer à l'aide du document ci-dessous (caractéristiques de couple) le couple disponible que peut fournir le groupe moto-variateur à la fréquence 25 Hz, comparer ce couple avec le couple Cm et conclure.*

<u>Caractéristiques de couple (courbes typiques)</u>



*Les courbes ci-contre définissent le couple permanent et le surcouple transitoire disponibles, soit sur un moteur **auto-ventilé**, soit sur un moteur **motoventilé** ; la différence réside uniquement dans l'aptitude du moteur à fournir un couple permanent important en dessous de la moitié de la vitesse nominale*

***1** : Moteur auto-ventilé : couple utile permanent.*

***2** : Moteur motoventilé : couple utile permanent.*

***3** : Surcouple transitoire.*

***4** : Couple en survitesse à puissance constante.*

***C** : Couple à la fréquence f*

***Cn** : Couple à la fréquence 50 Hz*

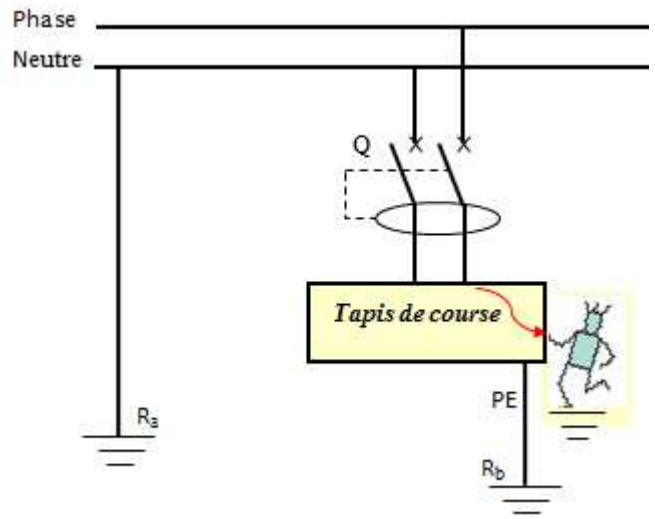
SEV2: Etude partielle de la chaîne énergétique

Tâche 4 : Motorisation Régime de neutre

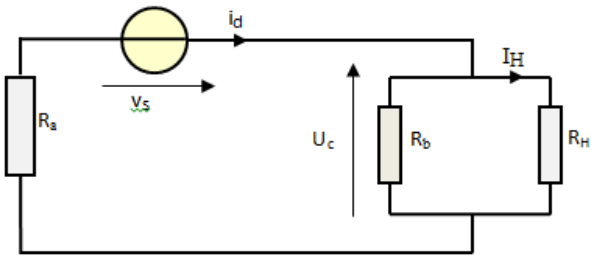
Le régime de neutre est imposé dans toute l'installation par le réseau de distribution basse tension.

Il s'agit d'un ***local sec*** *(on rappelle que la tension limite* U_L *est égale à* ***50 V****).*

Schéma de liaison à la terre :



Lors d'un défaut d'isolement, le schéma équivalent est le suivant :



Données :

Tension du réseau $V_S = 230\ V$; $R_a = 18\ \Omega$; $R_b = 20\ \Omega$ *et la résistance du corps humain* $R_H = 1500\ \Omega$.

1. *Préciser le type de schéma du régime de neutre employé* ***TT***, ***IT*** *ou* ***TN*** *:*

……

2. *Donner la signification de chaque lettre pour le type du régime employé :*

……

……

3. *Calculer la valeur de la tension de contact* U_c *et en déduire la valeur du courant* I_H *:*

……

……

4. *Est-il nécessaire de mettre hors tension l'installation ? Justifier votre réponse en comparant les valeurs des tensions* U_c *et* U_L *:*

……

5. *A partir du document* ***(Durée de coupure*** t_c***)*** *et pour le même local, déterminer la valeur de la durée maximale* t_c *de coupure autorisée pour cette tension de contact* U_c *:*

……

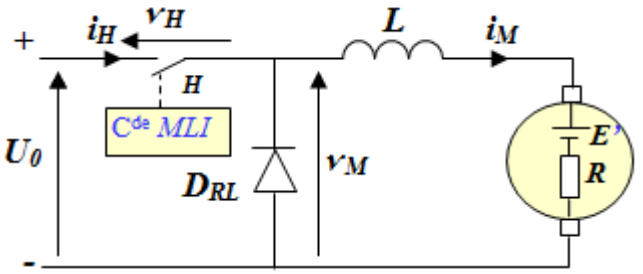
Durée de coupure t_c maximale autorisée par la norme NFC15-100

Tension de contact présumée (Volt)	Durée de coupure maximale du dispositif de protection (seconde)	
	Courant alternatif	Courant continu
25	5	5
50	0,48	5
75	0,30	2
90	0,25	0,80
110	0,18	0,50
150	0,12	0,25
230	0,05	0,06
280	0,02	0,02
Durée maximale de maintien de la tension de contact présumée dans des conditions normales **(U_L=25 V)**		

Tension de contact Présumée (Volt)	Durée de coupure maximale du dispositif de protection (seconde)	
	Courant alternatif	Courant continu
<50	5	5
50	5	5
75	0,60	5
90	0,45	5
120	0,34	5
150	0,27	1
220	0,17	0,40
280	0,12	0,30
350	0,08	0,20
500	0,04	0,10
Durée maximale de maintien de la tension de contact présumée dans des conditions normales **(U_L=50 V)**		

***Tâche2* : Variation de vitesse du moteur d'entraînement de la courroie mobile du tapis :**

*Cette variation de vitesse est assurée par **un hacheur série** dont la commande est réalisée par la carte à microcontrôleur suivant la technique **MLI.** Son schéma de principe est le suivant :*



Données :

*Tension continue : **U_0 = 300 V.***

*Résistance d'induit : **R = 1,1 Ω**.*

*F.c.é.m : **E' = 109 V.***

*i_M est le courant dans l'induit du moteur et sa valeur moyenne **I_M** est de l'ordre de **18 A.***

*Le courant $i_M(t)$ est périodique de période **T** et **l'inductance de lissage L** est suffisamment grande pour considérer la **conduction continue** (Les composants H et D_{RL} sont supposés parfaits).*

*Le hacheur **H** fonctionne comme suit :*

- ***$0 \le t \le \alpha T$** : H est fermé, **α** est le rapport cyclique avec **$\alpha = t_{on}/T$** et **$0 \le \alpha \le 1$** ;*
- ***$\alpha T \le t \le T$** : H est ouvert.*

1. *De quel type de conversion s'agit-il ?*

……

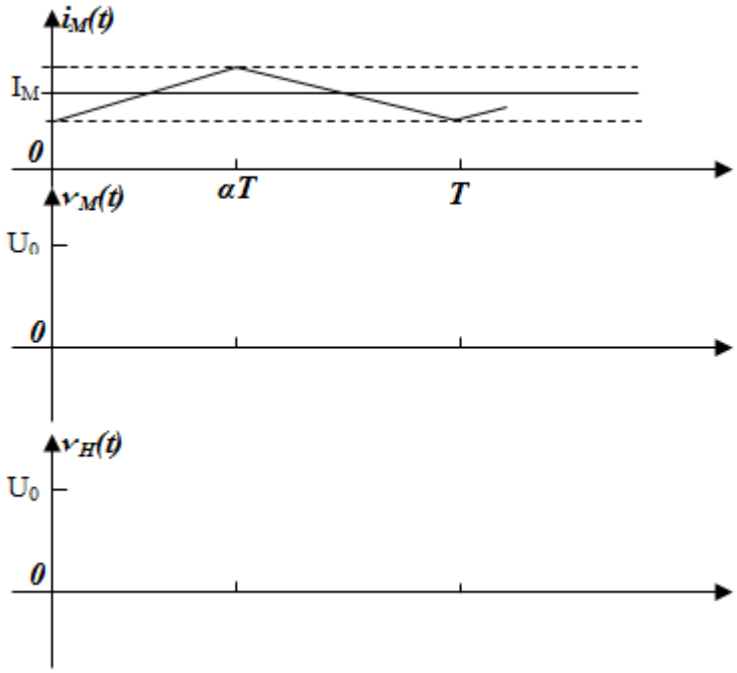
2. *Quel est le rôle de la diode de roue libre D_{RL} ?*

……

……

……

3. *Compléter les chronogrammes des tensions **$v_M(t)$** et **$v_H(t)$** :*



4. *Exprimer la valeur moyenne* V_M *de la tension* $v_M(t)$ *en fonction de* U_0 *et du rapport cyclique* α

……

5. *On suppose que le courant* $i_M(t)$ *est constant et est égal à* I_M*, montrer que la valeur moyenne* V_M *est donnée par l'expression* $V_M = E' + R.I_M$ *:*

……

6. *Quelle est la valeur du rapport cyclique* α *?*

……

<u>Tâche3</u> : Etude du moteur d'inclinaison

Le moteur associé au réducteur d'inclinaison est un moteur asynchrone monophasé, il possède ***2 pôles****, alimenté sous une tension* $V_S = 230\ V - 50\ Hz$.
Les normes en vigueur exigent un surdimensionnement du moteur pour garantir la longévité de ses performances en prenant $C_u = 0{,}312$ *Nm.*

1. *Calculer la vitesse de synchronisme* N_s *en tr/mn du moteur :*

……

2. *Donner alors la valeur du glissement* g *en %, sachant que la vitesse de rotation du moteur est* $N = 2750$ *tr/min :*

……

3. *Calculer la valeur de la puissance utile* P_u *:*

……

4. *En utilisant le document constructeur, préciser le* ***type*** *(référence) du moteur qui convient :*

……

5. *A partir de cette référence, calculer la valeur :*

……

   a) *De la puissance absorbée* P_a *par le moteur :*

……

   b) *Du courant de démarrage* I_D *sous la tension* $Vs = 230\ V$.

……

Document constructeur

A condensateur permanent (P) IP 55 - 50 Hz - Classe F - 230 V

2 pôles 3000 min⁻¹

Type	Puissance nominale à 50 Hz P_N kW	Vitesse nominale N_N min⁻¹	Intensité nominale I_N (230 V) A	Facteur de puissance Cos φ 100 %	Rendement η 100 %	Courant démarrage / Courant nominal I_D/I_N	Masse IM B3 kg
LS 56 P	0,09	2790	0,9	0,85	50	3,4	3,5
LS 63 P	0,12	2820	1	0,90	57	4	4
LS 63 P[1]	0,12	2820	1	0,90	57	4	4
LS 63 P	0,18	2820	1,4	0,90	62	4,5	4,5
LS 63 P[1]	0,18	2820	1,4	0,90	62	4,5	4,5
LS 71 P	0,25	2780	1,95	0,90	61	3,5	5,5
LS 71 P	0,37	2850	2,7	0,85	70	4,7	7
LS 71 P	0,55	2770	3,5	0,95	72	4,5	7,5
LS 80 P	0,75	2780	4,85	0,95	70	4,2	9
LS 80 P	1,1	2760	6,6	0,98	73	4,1	11
LS 90 P	1,1	2700	7,5	0,90	73	4,3	14
LS 90 P	1,5	2780	9,1	0,95	76	4,8	16,5

1. Moteur à pattes ou bride (ou pattes et bride) avec bout d'arbre différent de la norme (D : 14 j6 - E : 30 mm).

Document constructeur

A condensateur permanent (P) IP 55 - 50 Hz - Classe F - 230 V

4 pôles 1500 min⁻¹

Type	Puissance nominale à 50 Hz P_N kW	Vitesse nominale N_N min⁻¹	Intensité nominale I_N (230 V) A	Facteur de puissance Cos φ 100 %	Rendement η 100 %	Courant démarrage / Courant nominal I_D / I_N	Masse IM B3 kg
LS 56 P	0,06	1420	0,72	0,90	39	2,7	3,5
LS 63 P	0,09	1380	0,75	0,95	55	2,4	4
LS 63 P	0,12	1410	1	0,95	50	2,8	4,5
LS 63 P[1]	0,12	1410	1	0,95	50	2,8	4,5
LS 71 P	0,18	1430	1,8	0,75	57	3,9	6
LS 71 P	0,25	1430	2,1	0,80	63	4,3	6,5
LS 71 P	0,37	1410	2,8	0,85	66	4	7,5
LS 80 P	0,55	1370	4,2	0,85	67	3,6	8,5
LS 80 P	0,75	1370	5,4	0,85	69	3,9	10,5
LS 90 P	1,1	1420	7	0,95	71	5	16

1. Moteur à pattes ou bride (ou pattes et bride) avec bout d'arbre différent de la norme (D : 14 j6 - E : 30 mm).

A condensateur permanent (P) IP 55 - 50 Hz - Classe F - 230 V

6 pôles 1000 min⁻¹

Type	Puissance nominale à 50 Hz P_N kW	Vitesse nominale N_N min⁻¹	Intensité nominale I_N (230 V) A	Facteur de puissance Cos φ 100 %	Rendement η 100 %	Courant démarrage / Courant nominal I_D / I_N	Masse IM B3 kg
LS 71 P	0,12	930	1,15	0,95	48	3,1	7
LS 80 P	0,37	920	3	0,98	53	2,8	10

Extrait bac 2017
Session Normale

Système de pompage photovoltaïque (PPV)

SEV1 : Etude énergétique

Tâche 1 : Calcul de puissances

*Cette tâche consiste à calculer la puissance hydraulique moyenne **Ph** nécessaire pour déplacer un volume d'eau d'une hauteur manométrique totale **H**, et la puissance électrique quotidienne **Pe** fournie par les modules photovoltaïques.*
La puissance Ph nécessaire est donnée par la relation suivante :

$$\mathbf{P_h} = \frac{g.H.Q}{3,6}$$

P_h : puissance hydraulique en (W)
Q : débit d'eau en (m^3/h)
H: hauteur manométrique totale en (m)

4. *Calculer la valeur de la puissance **Ph** (en W) sachant que le débit d'eau est de **6,7 m³/h** et que la hauteur **H** est de **45 mètres** (prendre **g = 10 N.kg⁻¹**).*

……

*En fonctionnement nominal les rendements de la motopompe η_{mp} est de **60 %**, de l'onduleur η_{ond} est de **90 %** et du hacheur η_H est de **100 %**.*

On admet que $\mathbf{P_e} = \dfrac{\mathbf{P_h}}{\eta_{mp} \cdot \eta_H \cdot \eta_{Ond}}$

5. *Calculer la puissance électrique **Pe** (en W) correspondante.*

……

<u>Tâche 2</u> : Groupement des modules photovoltaïques

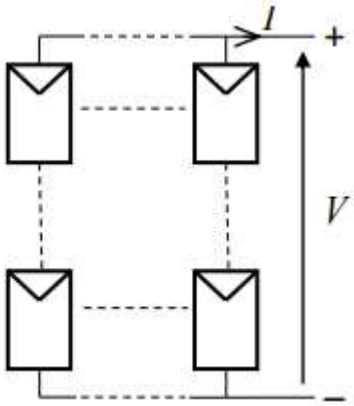
Le générateur photovoltaïque est constitué de plusieurs modules en silicium (figure ci-dessous) et les caractéristiques principales d'un seul module sont les suivantes :

- Puissance nominale : P_{MPV} = **150 W** ;
- Tension nominale : V_{MPV} = **34,5 V** ;
- Courant nominal : I_{MPV} = **4,35 A**.

MPV : Module Photovoltaïque

*Sachant que la puissance crête **Pc** fournie par tous les modules est de **3150 W** et on désire une tension de sortie **V** de **241,5 V**.*

6. *Calculer le nombre total **Nt** de modules constituant le générateur photovoltaïque. Afin de disposer de cette puissance, on doit utiliser une association mixte (associations série et parallèle) des modules (Voir figure ci-dessous).*



<u>Association mixte (série et parallèle) des modules photovoltaïques</u>

7. *Calculer le nombre N_S de modules à mettre en série dans une branche pour avoir une tension du générateur **V = 241,5 V**.*

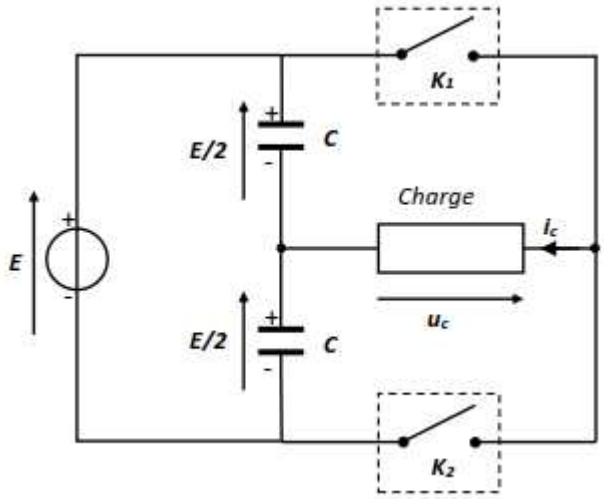
…….

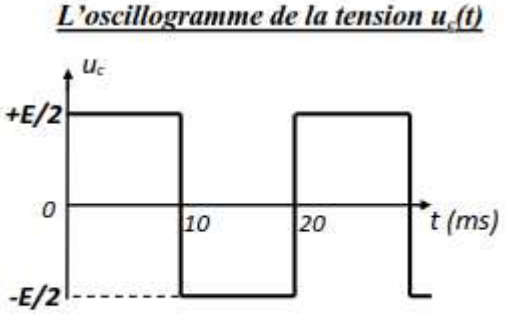
8. *Quel est alors le nombre **Np** de branches à mettre en parallèle ?*

…….

<u>Tâche 3</u> : Etude du principe de l'onduleur.

La motopompe est alimentée à partir d'un onduleur triphasé. Cependant, l'étude se limitera au principe d'un onduleur monophasé dont le schéma est représenté ci-dessous :





- *E est une tension continue issue du hacheur.*
- *K_1 et K_2 sont deux interrupteurs électroniques commandés à l'ouverture et à la fermeture.*
- *On appelle uc la tension aux bornes de la charge et ic l'intensité du courant dans la charge.*

*On considère l'oscillogramme de la tension **uc(t)** :*

9. *Cette tension est-elle : – alternative, – sinusoïdale, – continue ?*

……

10. *Donner sa valeur moyenne Uc_{moy}.*

……

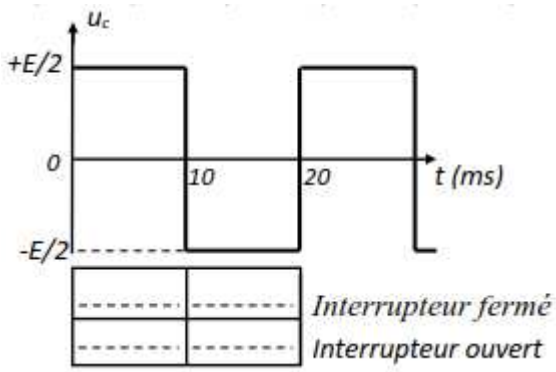
11. *Exprimer sa valeur efficace **Uc** en fonction de **E**.*

……

12. *Calculer la valeur de la fréquence **f** de cette tension.*

……

13. *Compléter le tableau des conductions des interrupteurs.*



14. *Proposer un montage à pont (4 interrupteurs) pour avoir une tension **uc(t)** de valeur efficace égale à **E**.*

<u>Tâche 4</u> : Détermination des caractéristiques de la motopompe

*La motopompe est un ensemble intégré constitué d'une pompe et d'un moteur asynchrone triphasé. Ce dernier est alimenté sous une tension entre phases **U = 220 V - 50 Hz** et possède **2 pôles**.*

La tension composée aux bornes de la motopompe dépend de l'ensoleillement ; pour un ensoleillement fort la motopompe fonctionne au point nominal.

En fonctionnement nominal, les caractéristiques du moteur sont :

- *Le courant nominal en ligne : I_N = **5,9 A** ;*
- *La vitesse de rotation nominale : N_N = **2800 tr/min** ;*
- ***P_N = 1,1 kW**;*
- ***Cos φ = 0,75**.*

15. *Calculer la vitesse de synchronisme N_S (en tr/min) et le glissement **g** (en %).*

……

……

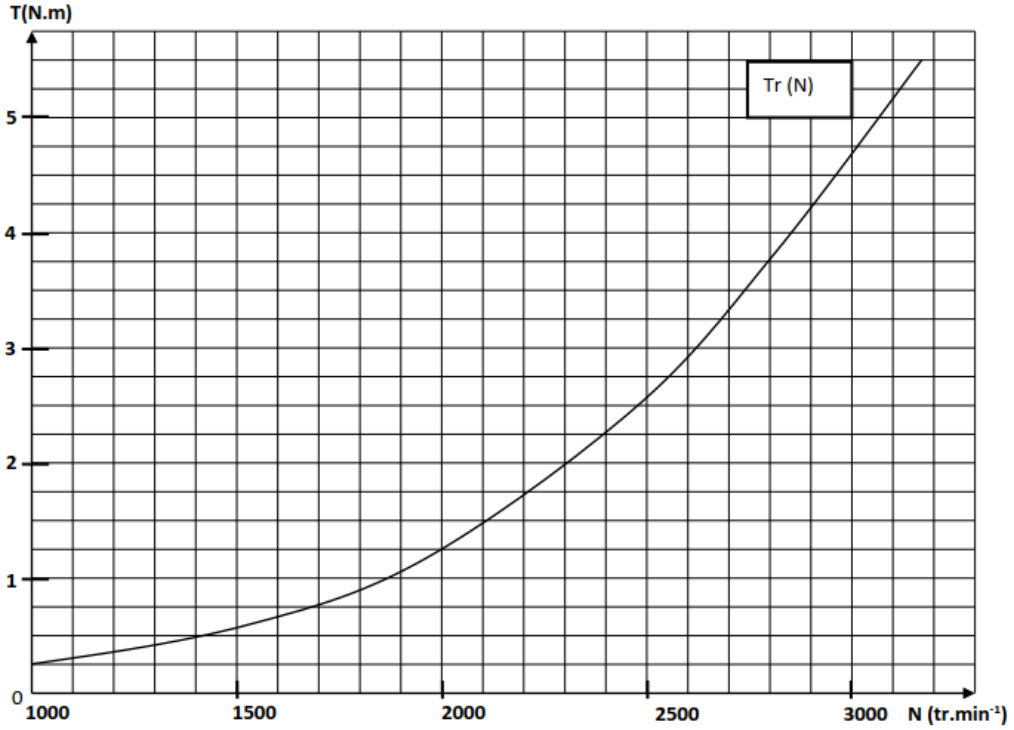
16. *Déterminer la valeur de la puissance absorbée **Pa**.*

……

17. *Quelle est la valeur du moment du couple utile* T_U *?*

……

18. *La caractéristique de moment du couple résistant* ***Tr(N)*** *de la pompe est tracée sur le document ci-dessous. Tracer la partie utile de la caractéristique* ***Tu(N)*** *du moteur asynchrone, sachant qu'elle peut être assimilée à une droite.*



<u>Tâche 5</u> : Calcul du débit pour une variation de l'ensoleillement

Pour maintenir le couple moteur disponible constant lorsque l'ensoleillement diminue, la fréquence de l'onduleur doit être réglée de façon à maintenir le rapport ***U/f*** *constant.*

Lors d'une diminution de l'ensoleillement, la tension diminue à ***U' = 183,5 V****.*

19. *Déterminer la nouvelle fréquence* ***f '*** *correspondante à la tension* ***U'****.*

……

20. *Déduire la nouvelle vitesse de synchronisme du moteur* N_S***'*** *en tr/min.*

……

21. *On rappelle que les caractéristiques* ***Tu(N)*** *sont parallèles entre elles pour différentes fréquences. Tracer alors sur le même graphe (ci-dessus) la nouvelle caractéristique couple-vitesse et en déduire la vitesse de rotation* ***N'****en tr/min.*

……

22. *Le débit de la pompe est proportionnel à la vitesse de rotation. Pour* ***N = 2800 tr/min*** *on a* $Q = 6,7\ m^3.h^{-1}$ *; calculer alors la nouvelle valeur du débit* ***Q'****.*

……

……

SEV2: Etude énergétique et protection

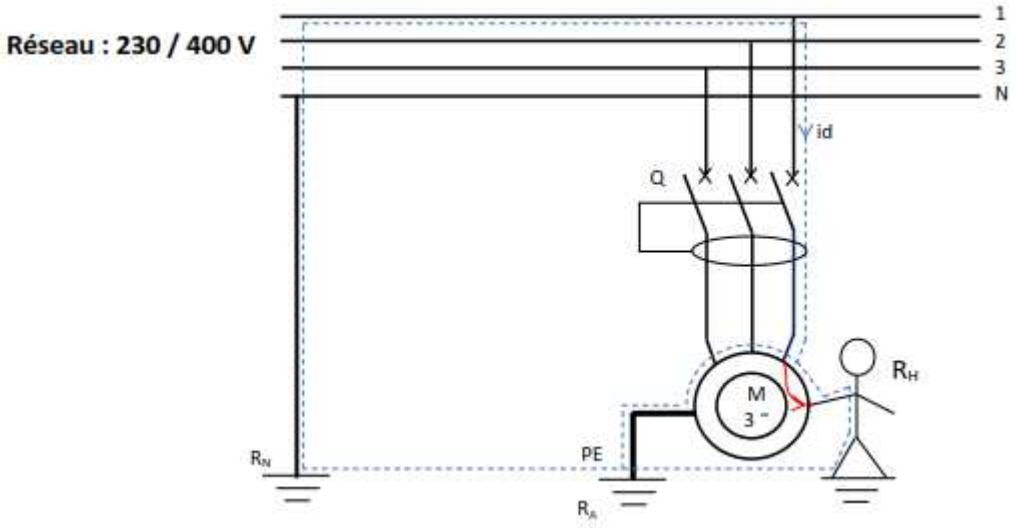
Dans le but d'assurer une protection rigoureuse des personnes par le choix du seuil auquel le DDR doit être réglé, de déterminer certaines caractéristiques des actionneurs assurant la montée et la descente des bras du pont élévateur et d'améliorer le facteur de puissance de toute l'installation, on vous demande de réaliser les tâches suivantes :

Tâche 1 : Sécurité et protection.

*Pour réaliser les travaux de réparation et d'entretien de véhicules on utilise le plus souvent des produits de nettoyage, de lubrification… Dans ces conditions l'atelier est classé comme local humide (**U_L = 25 Volts**).*

On se propose d'étudier la protection des personnes contre les contacts indirects.

*Le schéma de la figure ci-dessous représente un défaut d'isolement au niveau du moteur **M1** entre la **phase 1** et la masse.*



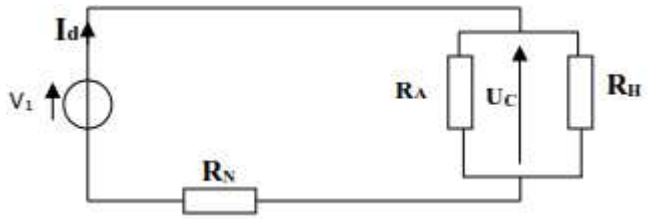
On donne :

- ***R_A** : résistance de la prise de terre des masses (**R_A = 10 Ω**) ;*
- ***R_N** : résistance de la prise de terre du neutre (**R_N = 5 Ω**) ;*
- ***R_H** : Résistance du corps humain (**1200 Ω**).*

1. *Préciser le type de régime de neutre utilisé dans l'installation.*

……

Le schéma équivalent du circuit de défaut est représenté ci-contre.



2. *Calculer la valeur du courant **I_d** et en déduire la tension **U_C**.*

……

……

3. *Cette tension **U_C** est–elle dangereuse ? Justifier votre réponse.*

……

4. *Calculer **IΔn** seuil auquel le DDR doit être réglé.*

……

<u>Tâche 2 :</u> Détermination des caractéristiques du moteur M_1.

*L'objectif est de déterminer les caractéristiques des actionneurs **M_1** et **M_2**.*

*On rappelle que la puissance mécanique nécessaire pour une colonne est de **2180 W** et que la tension du réseau est de **400V- 50Hz**.*

En utilisant le document constructeur (Tableau ci-dessous) :

CHOIX DU MOTEUR								
IP 55 - 50 Hz - Classe F - 230 V Δ / 400 V Y - S1								
4 pôles 1500 tr/min	Puissance Nominale à 50 Hz	Vitesse nominale	Couple nominal	Intensité nominale	Facteur de puissance	Rendement	Courant démarrage / Courant nominal	Masse
Type	P_N (kW)	N_N min-1	C_N (N.m)	I_N (400V) A	Cos φ	η (%)	I_D / I_N	IM B3 (kg)
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	78.5	5.3	13.5
LS 100 L	2.2	1436	14.7	4.8	0.81	81	6	20
LS 112 M	4	1438	26.8	8.3	0.83	84.2	7.1	24.9

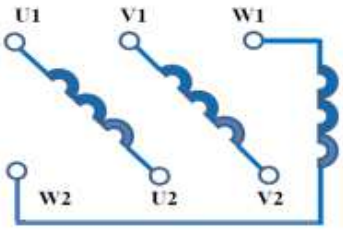
5. *Donner le type du moteur **M_1**.*

……

6. *Préciser le couplage des enroulements statoriques.*

……

7. *Compléter le schéma de couplage des enroulements.*



8. *Calculer, dans les conditions nominales, la puissance absorbée **Pa** du moteur **M_1**.*

……

9. *Sachant que la somme des pertes constantes et des Pertes Joules rotoriques (**$P_C + P_{Jr} = 417W$**), calculer alors les pertes Joules statoriques **P_{Js}**.*

……

10. *Calculer la valeur de la résistance **R** d'un enroulement statorique.*

……

<u>Tâche 3 :</u> Amélioration du facteur de puissance cos φ de l'installation.

Le relèvement du facteur de puissance de l'installation à une valeur optimale est parmi les mesures prises par le responsable de l'atelier pour rationaliser la consommation en énergie électrique.

*Sachant que les puissances consommées par toute l'installation **Pa = 15 kW**, **Qa = 14,45 kVar**. (Prendre deux chiffres après la virgule dans tous les calculs ci-dessous) :*

11. *Citer deux moyens à utiliser pour relever le facteur de puissance d'une installation.*

……

12. *Calculer le facteur de puissance* ***cos φ*** *de l'installation.*

……

13. *A partir du Tableau ci-dessous, calculer la puissance réactive à fournir au réseau pour relever le facteur de puissance de l'installation à* ***0,9****.*

……

Avant compensation		Puissance de condensateur en kVar à installer par kW de charge pour relever le facteur de puissance cos φ ou tan φ, à une valeur donnée.												
		tan φ	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 φ	cos φ	cos φ	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
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	1,007	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	0,82	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
0,80	0,78		0,053	0,202	0,319	0,347	0,374	0,408	0,440	0,474	0,512	0,552	0,594	0,661	0,803
0,78	0,79		0,026	0,176	0,292	0,320	0,347	0,381	0,413	0,447	0,485	0,525	0,567	0,634	0,776
0,75	0,80			0,150	0,266	0,294	0,321	0,355	0,387	0,421	0,459	0,499	0,541	0,608	0,750

14. *Déduire la valeur de la capacité de chacun des trois condensateurs montés en triangle permettant de fournir cette puissance réactive.*

……

……

Principe de la voiture électrique

SEV2: Etude énergétique et protection

*L'alimentation de la maquette est assurée par une batterie (tension **E = 24 V** continue). Le moteur asynchrone est alimenté par un variateur de vitesse triphasé **fig.5** :*

- *Tension nominale entre phases **U = 15 V** ;*
- *Courant maximal fourni par la batterie I_{Max} = **200A** ;*
- *Fréquence nominale **f = 123 Hz**.*

*Chaque phase est commandée par quatre interrupteurs électroniques **fig. 6**.*

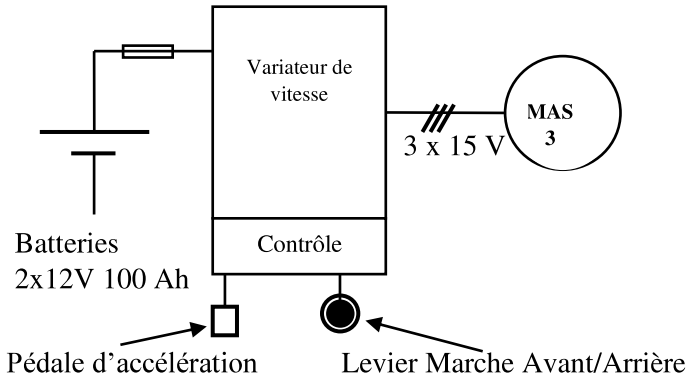


Fig.5

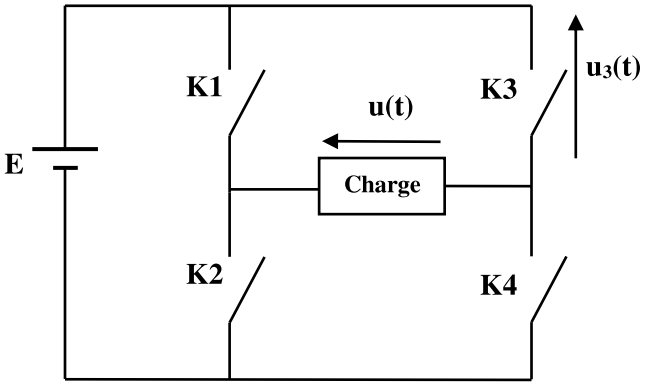


Fig.6

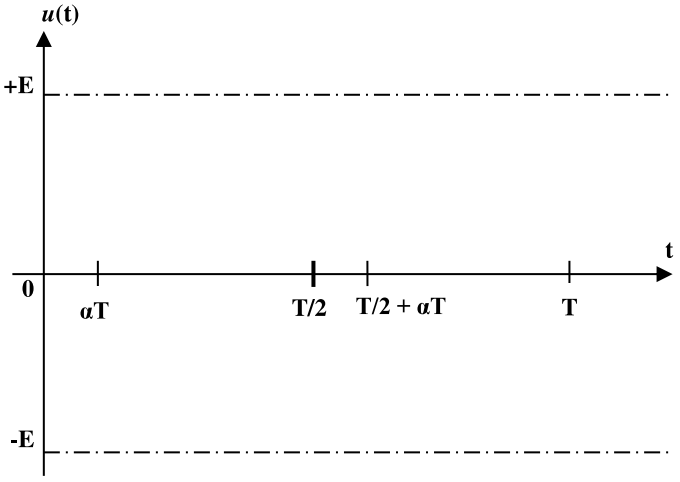
Le tableau ci-dessous indique les états de conduction des interrupteurs :

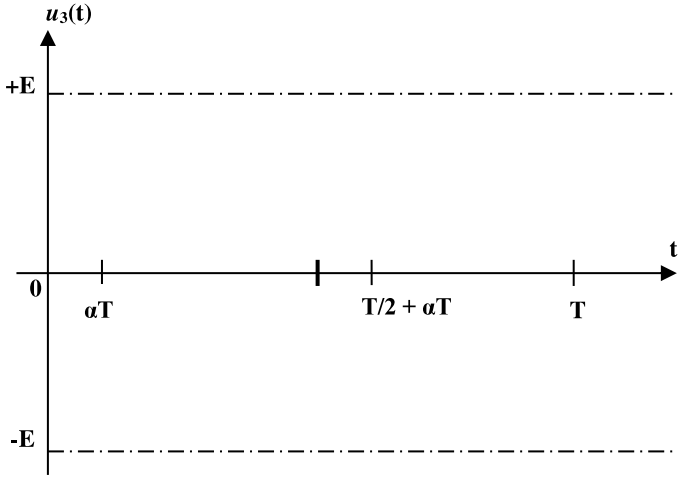
Interrupteurs	$0 < t < \alpha T$	$\alpha T < t < \frac{T}{2}$	$\frac{T}{2} < t < \frac{T}{2} + \alpha T$	$\frac{T}{2} + \alpha T < t < T$
K1	*Fermé*	*Fermé*	*Ouvert*	*Ouvert*
K2	*Ouvert*	*Ouvert*	*Fermé*	*Fermé*
K3	*Fermé*	*Ouvert*	*Ouvert*	*Fermé*
K4	*Ouvert*	*Fermé*	*Fermé*	*Ouvert*

Tâche 1 : Étude du variateur de vitesse

*Pour **α =1/10 et f** =* **123 Hz**

1) *Représenter en fonction du temps, pour une période **T,** la tension **u(t)** aux bornes de la charge et la tension **u₃(t)** aux bornes de l'interrupteur **K3**.*





2) *Calculer la valeur de la période **T** exprimée en **ms**.*

……

3) *Exprimer la valeur efficace* ***U*** *de la tension* ***u(t)*** *en fonction de* ***E*** *et* ***α****.*

……

4) *Déterminer, à partir du tableau de spécifications* (**ci-dessous**)*, la référence du variateur de vitesse.*

Tableau de spécifications : 1234/36/38 Controllers

Tension d'entrée nominale	**24V, 24–36 V, 36–48 V, 48–80 V**	
Fréquence du MLI	**10 kHz**	
Fréquence maximale de sortie	**300 Hz**	
Référence	**Tension Nominale de la batterie (Volts)**	**Courant Limite (Ampères)**
1234 -227X	**24**	**200**
-237X	**24**	**350**
-527X	**36–48**	**275**
1236 -44XX	**24–36**	**400**
-45XX	**24–36**	**500**
-53XX	**36–48**	**350**
-63XX	**48–80**	**300**
1238- 46XX	**24–36**	**650**
-54XX	**36–48**	**450**
-56XX	**36–48**	**650**
-65XX	**48–80**	**550**

……

Le schéma structurel du variateur de vitesse est donné ci-dessous.

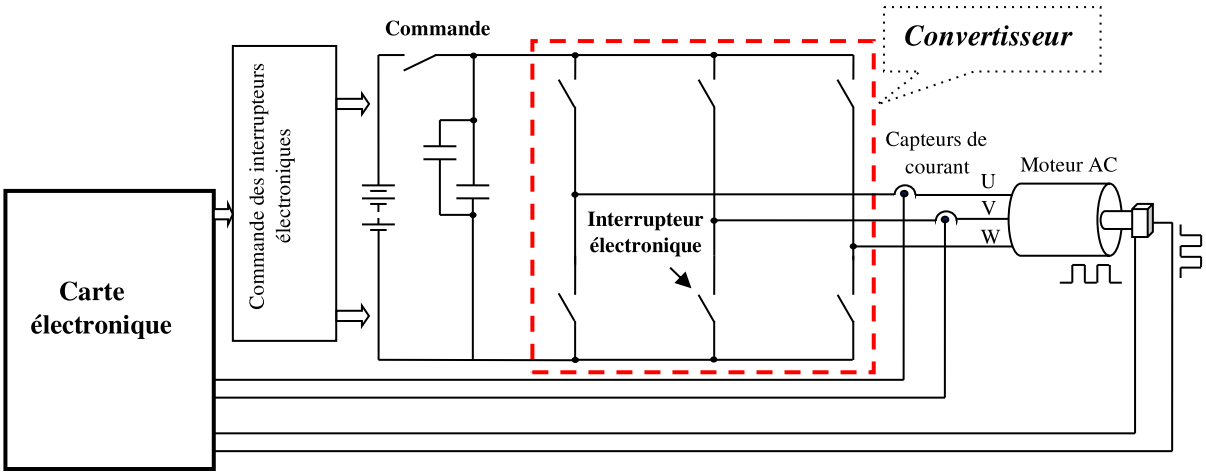


Schéma structurel du variateur de vitesse

5) *Mettre une croix (☒) dans la case qui correspond au* ***convertisseur*** *entouré en trait interrompu sur le schéma structurel ci-dessous.*

☐ *Gradateur* ☐ *Redresseur* ☐ *Hacheur* ☐ *Onduleur*

6) *Quelle est la conversion réalisée par ce convertisseur ?*

……

7) *Proposer un composant qui peut remplacer l'interrupteur électronique.*

……

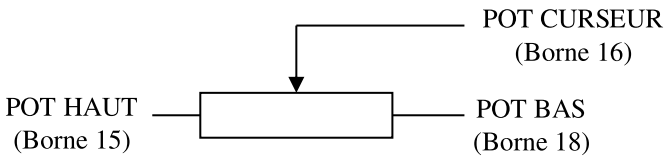
Tâche 2 : ***Raccordement du variateur à ses composants annexes***

Il est nécessaire d'assurer le raccordement du variateur à ses composants annexes. Une documentation-constructeur sur les différentes possibilités de connexion vous est fournie sur le tableau ***ci-dessous****.*
Le schéma de raccordement incomplet vous est fourni également ***ci-dessous****.*

Tableau de raccordement du variateur à ses composants annexes

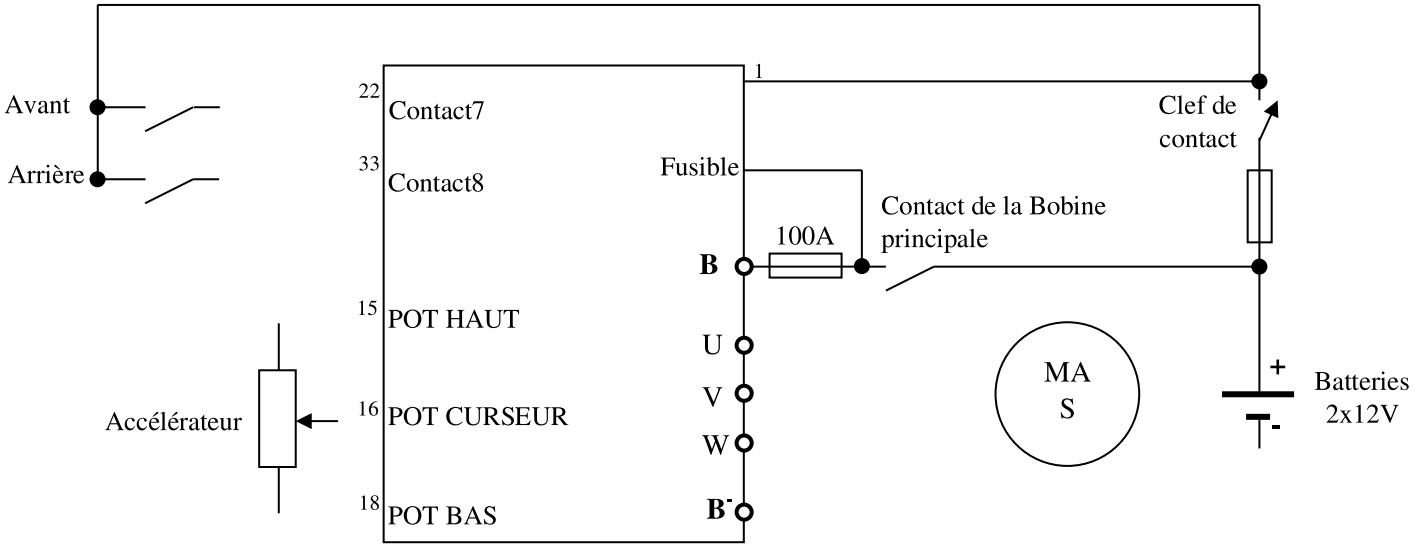
Borne	Type	Fonction
B+	Entrée	Connexion + batterie
B-	Entrée	Connexion - batterie
Fusible		Connexion fusible entre la batterie et la borne B+
U	Entrée/Sortie	Phase U moteur
V	Entrée/Sortie	Phase V moteur
W	Entrée/Sortie	Phase W moteur
Connexion des bornes de commande.		
Borne	**Nom**	**Description**
15	Pot Haut	Connexion tension haute du potentiomètre d'accélération
16	Pot curseur	Connexion curseur du potentiomètre d'accélération
18	Pot bas	Connexion tension basse du potentiomètre d'accélération
22	Contact 7	Sélection marche avant
33	Contact 8	Sélection marche arrière

Connexion du potentiomètre d'accélération



8) Représenter les connexions pour raccorder au variateur de vitesse : **[4 pts]**

- *le moteur asynchrone triphasé.*
- *la batterie.*
- *la pédale d'accélérateur électronique sachant que le montage est du type potentiométrique **3** fils.*
- *les contacts permettant de commander les sens **Avant** et **Arrière** de la maquette (la logique de commande est positive).*



Tâche 3 : Étude du moteur

*Le moteur de la maquette est de type asynchrone triphasé à cage. Ce moteur est associé à un variateur de vitesse électronique type **MLI**.*

Données techniques du moteur : Référence **DLGF90110**

*Puissance nominale : **1,7 kW***	*Vitesse nominale : **3500 tr/min***	*Rendement : **η= 85%***
*Tension : **15V/26V***	*Fréquence : **123 Hz***	*Facteur de puissance : **0,85***
C_M/C_N = **2,5**	C_D/C_N = **2,1**	

Avec : C_M = couple maximal, C_N = couple nominal, C_D = couple de démarrage.

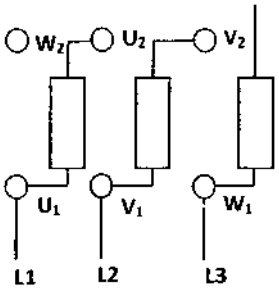
9) *Sachant que la vitesse de synchronisme* n_s *est de* ***3690 tr/min****, quel est alors le nombre de pôles du moteur ?*

……

10) *Préciser le couplage des enroulements du moteur (**U = 15V**). Justifier votre réponse.*

……

11) *Représenter sur le schéma le couplage des enroulements conformément à la réponse apportée à la question précédente.*



12) *À partir des données techniques fournies, calculer le couple nominal* C_N *du moteur.*

……

13) *Calculer le couple maximal* C_M*, le couple de démarrage* C_D *et la vitesse de synchronisme* Ω_s *en rad/s.*

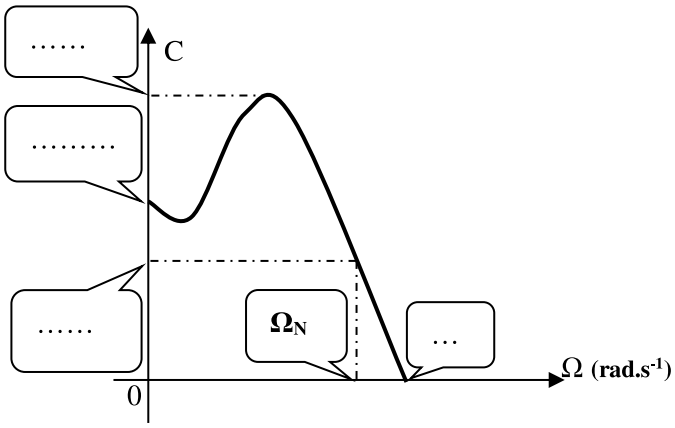
……

Au démarrage et dans les conditions extrêmes de fonctionnement, le couple résistant C_R *est de **40 N.m**.*

14) *Est-ce que le démarrage est possible ? Justifier votre réponse.*

……

On donne la caractéristique mécanique $C = f(\Omega)$ *lorsque le moteur est alimenté sous une tension nominale **U =15V** à fréquence nominale **f =123 Hz**.*



15) *Indiquer sur la caractéristique mécanique les points correspondant à* C_M, C_D, C_N *et* Ω_S.

Tâche 4 : Choix du fusible

*La protection de la ligne de puissance du moteur est assurée par un fusible de calibre **100 A**. La documentation technique donnant les courbes de fusion des fusibles vous est fournie ci-dessous, le courant maximal dans le circuit de puissance est de **120 A**.*

16) *Justifier à l'aide de la documentation technique que le fusible est bien choisi.*

……

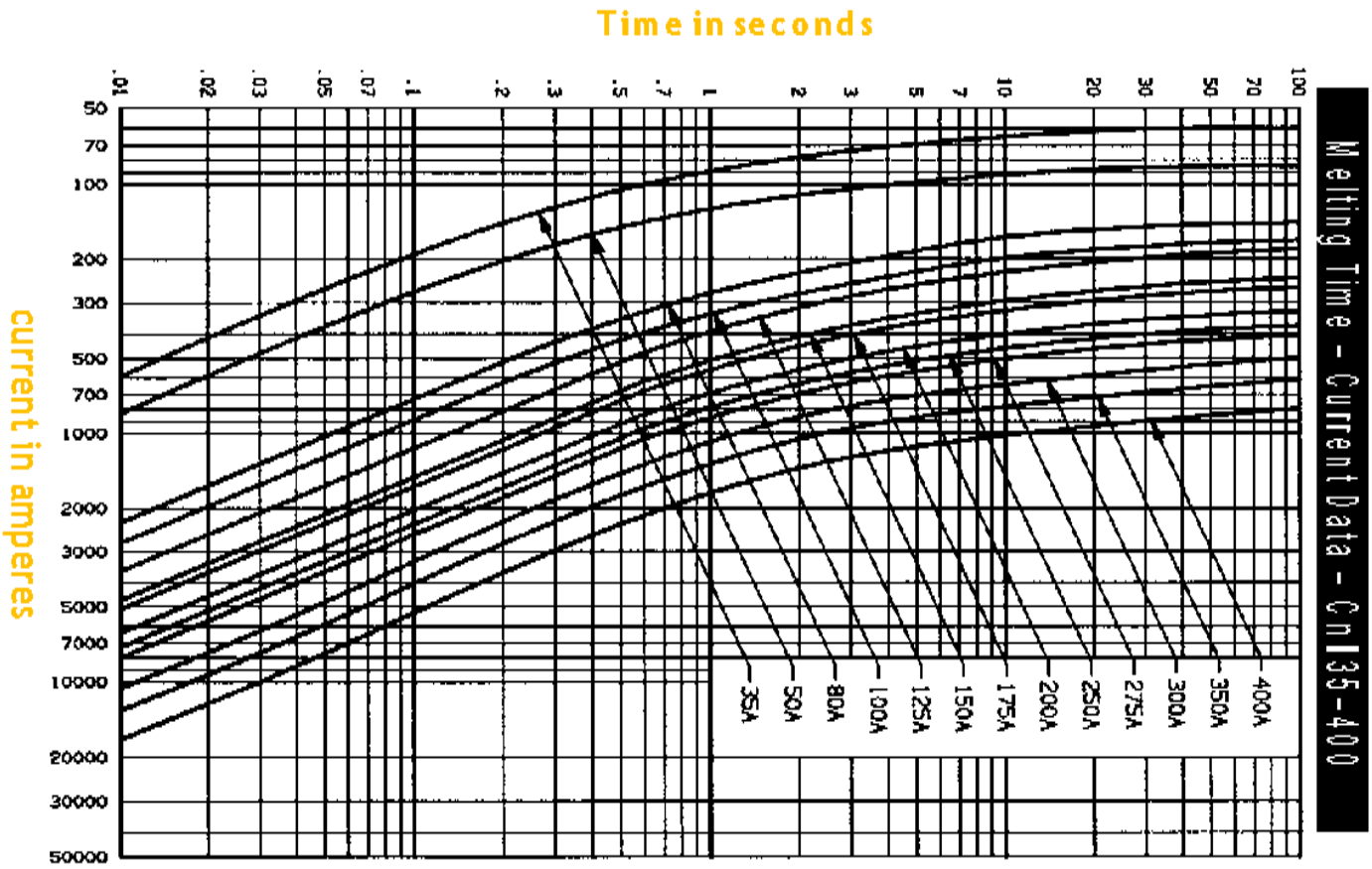
……

*Un défaut dans le circuit de puissance entraîne l'augmentation du courant de ligne à une valeur de **250** A.*

17) *Tracer sur les courbes le point de fusion correspondant ;*

18) *Déterminer le temps de réponse du fusible.*

……



Extrait bac 2018 Session Rattrapage	***Chariot de golf***

SEV2 : Etude énergétique

Tâche 1 : Étude de la batterie

*La batterie a une capacité **C** de **24 Ah** et fournit une tension E_{Bat} de **12 V**.*

1) *Calculer l'énergie maximale W_{max} (en **Wh**) disponible dans la batterie.*

……

2) *Pour une puissance **Pa** moyenne absorbée par le moteur de **57,6 W**, calculer (en heures) l'autonomie **t** de la batterie.*

……

3) *Sachant que le joueur de golf se déplace à une vitesse moyenne de **3 km/h,** déterminer la valeur de la distance **d** (en **km**) que peut assurer la batterie.*

……

Tâche 2 : Étude du chargeur de la batterie

La charge des batteries des chariots se fait dans un local de rangement et de maintenance à partir de prises de courant dédiées à cet effet.

On se propose d'étudier quelques éléments du chargeur de la batterie dont le schéma synoptique est le suivant :

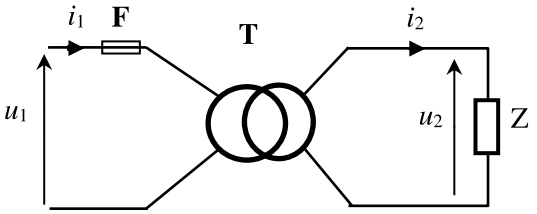
Réseau 230 V - 50 Hz → [*Protection*] → [*Transformation*] → [*Redressement*] → [*Régulation*] → *Vers batterie*

A : Étude du transformateur

*Le transformateur **T** a les caractéristiques suivantes :*

230 / 12 V - 50 Hz - S = 85 VA.

*Le nombre de spires au primaire est **N_1 = 500** spires.*



4) *Calculer le rapport de transformation **m**.*

……

5) *En déduire le nombre de spires au secondaire **N_2**.*

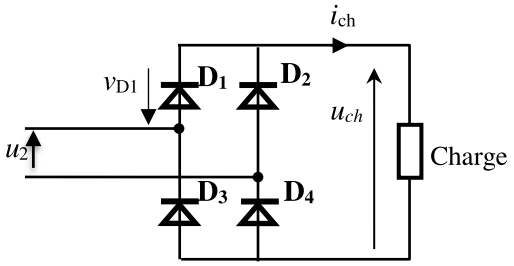
……

6) *Calculer la valeur du courant nominal **I_{2N}**.*

……

B : Étude du redressement

Pour simplifier cette étude, on suppose que la charge est purement résistive.



7) *Compléter le tableau ci-dessous en indiquant l'état de chaque diode (bloquée ou passante) suivant le signe de la tension **$u_2(t)$**.*

Diode	D_1	D_2	D_3	D_4
La tension $u_2(t) > 0$	……	……	……	……
La tension $u_2(t) < 0$	……	……	……	……

8) *Donner la valeur de la tension inverse maximale **V_{D1max}** que doit supporter la diode **D_1** à l'état bloqué.*

……

C : Étude de la protection

*On utilise un fusible **F** sous verre tubulaire à fusion retardée (fusible temporisé).*

9) *Calculer la valeur du courant nominal **I_{1N}** (en **mA**) au primaire du transformateur.*

……

10) *En utilisant le document **ci-dessous**, préciser le calibre et la référence du fusible de protection.*

……

11) *On admet qu'à la mise sous tension le transformateur nécessite, pendant un bref instant, un courant égal à **$4I_{1N}$** pour la magnétisation du noyau. Relever du document **ci-dessus** la durée de fusion (intervalle) sachant que le fusible est de type **lent**.*

……

Standards 19 Fusibles sous verre tubulaire

Fusion rapide

Contrairement aux fusibles retardés (ou temporisés), les fusibles à action rapide sont à utiliser lorsque la protection doit être active lors de tout dépassement du courant prévu. Ils ne permettent pas de supporter une surcharge passagère.

Fusion retardée

Les fusibles à fusion retardée, aussi appelés fusibles temporisés, sont à utiliser lorsque la charge nécessite un courant d'appel important comme les transformateurs ou lorsque le courant est susceptible de dépasser temporairement le courant normal.

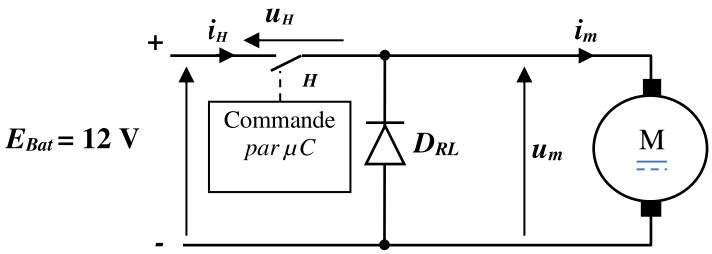
Calibre	Référence
50 mA	13.9791-10
100 mA	13.9792-10
150 mA	13.9794-10
200 mA	13.9795-10
250 mA	13.9796-10
315 mA	13.9797-10
400 mA	13.9798-10
500 mA	13.9799-10
630 mA	13.9800-10
800 mA	13.9801-10
1 A	13.9802-10
1,25 A	13.9803-10
1,6 A	13.9804-10
2 A	13.9805-10
2,5 A	13.9806-10
3,15 A	13.9807-10
4 A	13.8466-10
5 A	13.9808-10
6,3 A	13.9809-10
8 A	13.9810-10

Calibre	Référence
100 mA	13.9815-10
125 mA	13.9816-10
150 mA	13.8734-10
200 mA	13.9817-10
250 mA	13.9818-10
315 mA	13.9819-10
400 mA	13.8748-10
500 mA	13.9820-10
630 mA	13.9445-10
800 mA	13.8793-10
1 A	13.9821-10
1,25 A	13.9420-10
1,6 A	13.9421-10
2 A	13.9822-10
2,5 A	13.9424-10
3,15 A	13.9823-10
4 A	13.9145-10
5 A	13.9824-10
6,3 A	13.8494-10
8 A	13.9067-10

Durées de fusion de fusibles sous verre 20 x 5 mm				
Version	**Intensité de courant**			
	2,1 I_n	**2,75 I_n**	**4 I_n**	**10 I_n**
Rapide **32 - 100 mA** **125 mA - 6,3 A**	**< 30 min.** **<30 min.**	**10 - 500 ms** **50 ms - 2 s**	**3 - 100 ms 10 - 300 ms**	**< 20 ms** **< 20 ms**
Semi rapide **32 - 100 mA** **125 mA - 1,25 A** **1,6 -6,3A**	**< 2 min.** **< 2 min.** **< 30 min.**		**40 - 500 ms** **60 ms - 2 s** **60 ms - 2 s**	**5 - 30 ms** **20 - 70 ms** **5 - 70 ms**
Lent **32 - 100 mA** **125 mA - 6,3 A**	**< 2 min.** **< 2 min.**	**200 ms - 10 s** **600 ms - 10 s**	**40 ms - 3 s** **150 ms - 3 s**	**10--300 ms** **20 - 300 ms**
Très rapide	**1,1 In**	**2 In**	**4 In**	**10 In**
1,6 A - 10 A	**>1 h**	**< 2s**	**< 15 ms**	**< 2 ms**
Très lent **1 mA - 100 mA**	**1,5 I_n**	**2,1 I_n**	**4 In**	**10 I_n**
	>1h	**< 2 min.**	**4 - 20 s**	**1 - 4 s**

***Tâche 3* : Étude du hacheur**

*La variation de vitesse du moteur du chariot est assurée par un hacheur série dont la commande est réalisée par un microcontrôleur **PIC**. Le schéma de principe est le suivant :*



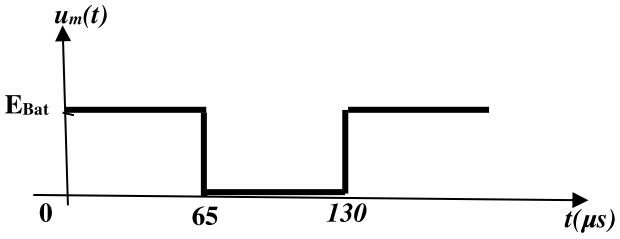
*Les éléments **H** et D_{RL} sont supposés parfaits. Le courant $i_m(t)$ est périodique de période **T** et de valeur moyenne $< i_m >$.*

Le hacheur fonctionne comme suit :

- $0 < t < \alpha T$: **H** *est fermé,* — α *: le rapport cyclique avec* $\alpha = t_{on} / T$ *et* $0 \leq \alpha \leq 1$ *;*
- $\alpha T < t < T$: **H** *est ouvert.* — t_{on} *: durée durant laquelle* **H** *est fermé*

Le rapport cyclique α *est variable et la période* **T** *est fixe.*

2) *À partir du chronogramme de la tension* $u_m(t)$ *suivant :*



*a) Calculer la fréquence **f** de hachage en* **Hz**.

……

b) Calculer le rapport cyclique α *(en %).*

……

3) *Exprimer la tension moyenne* U_{moy} *de* $u_m(t)$ *en fonction de* E_{Bat} *et* α*, puis calculer sa valeur en volts.*

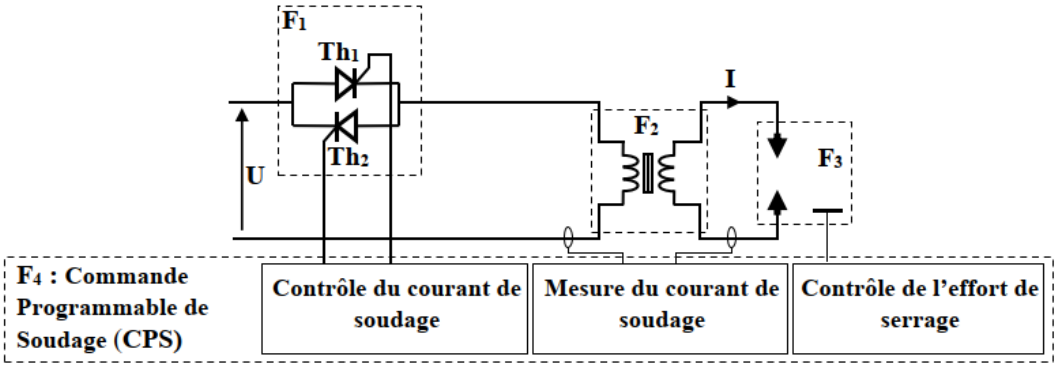
……

……

SEV2 : Etude énergétique

A. ETUDE DU CIRCUIT ELECTRIQUE DE SOUDAGE

*La structure matérielle du circuit électrique de soudage à **50 Hz** est représentée sur la figure ci-dessous.*



Cette structure comprend :

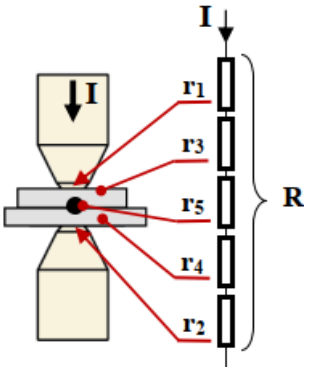
- ➢ *L'alimentation électrique : **U = 400 V** prise entre 2 phases ;*
- ➢ *Le modulateur d'énergie (F1) : gradateur monophasé à thyristors ;*
- ➢ *Le transformateur de soudage (F2) dont les paramètres sont donnés ci-dessous :*
  - *Valeur efficace de la tension primaire U_1 = **400 V** ;*
  - *Valeur efficace de la tension secondaire à vide U_{20} = **13,5 V** ;*
  - *L'intensité du courant secondaire ponctuellement admissible lors des essais (électrodes serrées) I_{2cc} = **23 kA**.*
- ➢ *Les électrodes (F3) : Une électrode fixe et une électrode mobile ;*
- ➢ *La Commande Programmable de Soudage « CPS » (F4) ; elle gère le réglage des intensités de soudage,*

Le cycle de soudage, l'effort de serrage, les informations de contrôle et de surveillance des défauts et la communication avec le robot de soudage.

Tâche 1 : Modélisation de la zone traversée par le courant de soudage

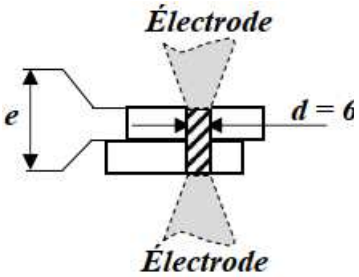
La résistance R entre électrodes (F3) se décompose en cinq éléments :

- ▪ $r_1 = r_2$ *: résistances des contacts des électrodes sur les tôles ;*
- ▪ $r_3 = r_4$ *: résistances ohmiques des tôles en fer ;*
- ▪ r_5 *: résistance du contact entre les deux tôles.*



*Le courant **I** est généré par un générateur de courant constant dont la valeur est régulée. On suppose que (voir figure ci-contre) :*

- *La totalité du courant I circule dans un tube de métal de diamètre **d = 6 mm**.*
- *L'épaisseur d'une tôle **e = 2 mm**.*
- *Le courant **I**, réglé à **10 kA**, est généré pendant une durée de **10 ms**.*
- *La résistivité du fer **ρ = 140.10-9 Ω.m** (valeur tenant compte de la variation importante de la température pendant l'échauffement).*

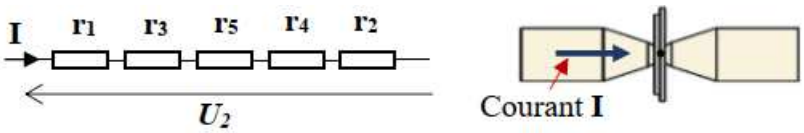


*Par application de la relation **R = ρ.LS** ; avec **ρ** la résistivité du métal en **Ω.m**, L la longueur en mètre et S la section en **m²** :*

1. *Calculer la valeur de la résistance ohmique r_3, en **μΩ**, de la tôle en fer pendant l'échauffement :*

……

Pour : $r_1 = r_2 = 20\ \mu\Omega$; $r_3 = r_4 = 10\ \mu\Omega$; $r_5 = 200\ \mu\Omega$



Le courant **I** *est réglé à* **10 kA**.

2. *Calculer la valeur efficace de la tension* U_2 *à appliquer entre les électrodes :*

……

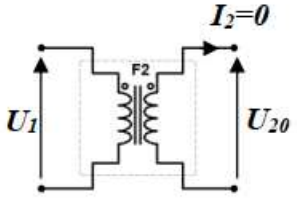
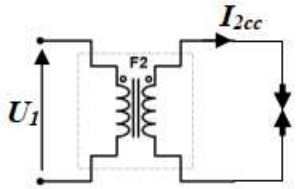
3. *Calculer l'énergie électrique* **E** *en Joules transformée par la résistance* r_5 *de contact pendant une impulsion de* **10 ms** *:*

……

<u>Tâche 2</u> : Modélisation de l'ensemble transformateur (F2)

La modélisation du transformateur (F2) s'effectue à partir de relevés lors :

- *D'un essai à vide sous tension primaire nominale ;*
- *D'un essai en court-circuit (électrodes serrées sans tôles).*

▶Essai à vide	▶Essai en court-circuit (électrodes serrées sans tôles)
$U_1 = 400$ V , $U_{20} = 13{,}5$ V	$U_1 = 400$ V , $I_{2cc} = 23$ kA
	

4. *Calculer le rapport de transformation* **m** *:*

……

5. *Calculer l'impédance équivalente* **Zs** *vue du secondaire du transformateur en* **mΩ** *:*

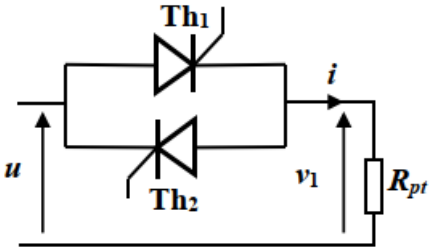
……

6. *En déduire l'impédance* **Zp** *(en Ω), du modèle équivalent de l'impédance* **Zs**, *ramenée au primaire du transformateur :*

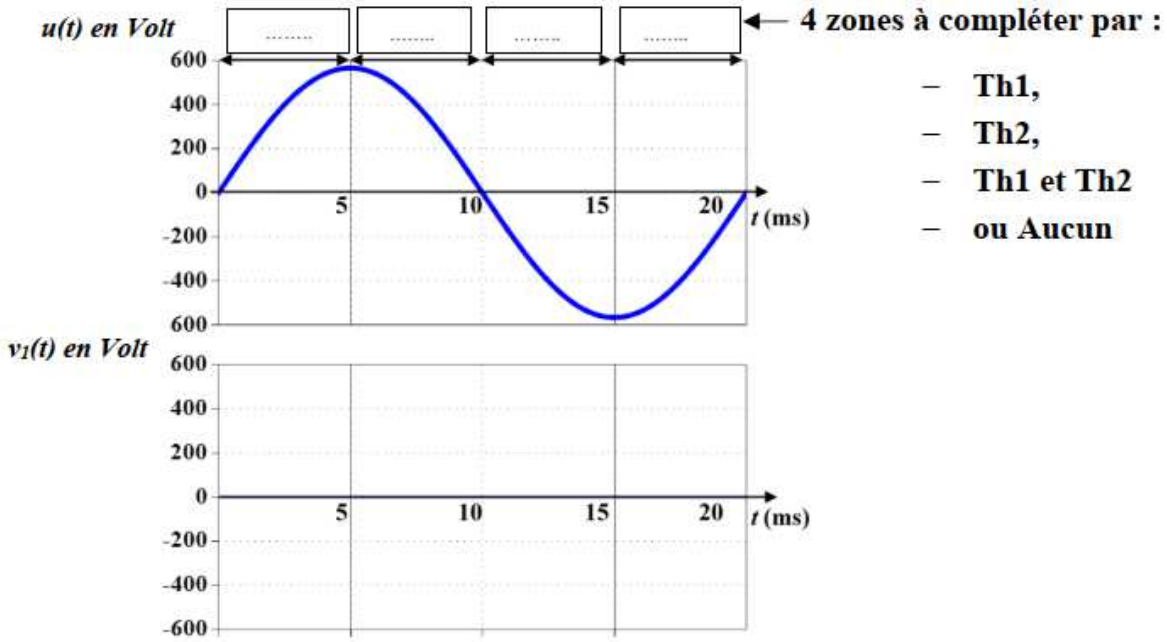
……

<u>Tâche 3</u> : Étude du gradateur (F1)

On donne le schéma du gradateur monophasé débitant sur le primaire du transformateur considéré comme une charge résistive pure **Rpt** *(effet de l'inductance négligé). Les thyristors sont amorcés avec un retard angulaire* $\alpha = \omega.t_0$ *par rapport aux passages à* **0** *de la tension u(t). On donne* **U = 400 V** *et* **Rpt = 0,73Ω**.



7. *Tracer le chronogramme de la tension* $v_1(t)$ *aux bornes de la résistance* **Rpt** *pour* $\alpha = \pi/2$ *et indiquer les intervalles de conduction des deux thyristors* Th_1 *et* Th_2.



8. *Sachant que* $V_{1eff} = U\sqrt{\left(1-\frac{\alpha}{\pi}\right)+\frac{sin2\alpha}{2\pi}}$ *, calculer la valeur efficace* I_{eff} *de* ***i(t)*** *pour* $\boldsymbol{\alpha = \pi/2}$ *:*

……

B. ÉTUDE DU MOTEUR M_6

La tête peut réaliser un tour complet autour de son axe. Son entraînement en rotation est effectué par un moteur ***M_6*** *« pas à pas » à travers un réducteur.*

Les caractéristiques du moteur pas à pas sont les suivantes :

- *Quatre phases A B C D ;*
- *Angle par pas :* ***1,8°*** *;*
- *Alimentation :* ***V = 12 V*** *;*
- *Résistance par phase :* ***r = 12 Ω*** *;*
- *Inductance par phase :* ***l = 56 mH****.*

Le schéma de câblage du moteur et les chronogrammes de sa commande sont représentés ci-dessous.

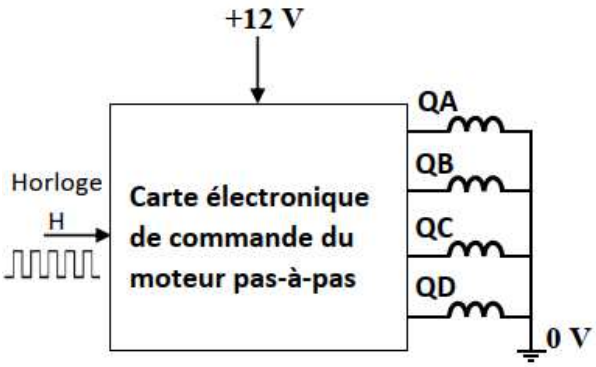
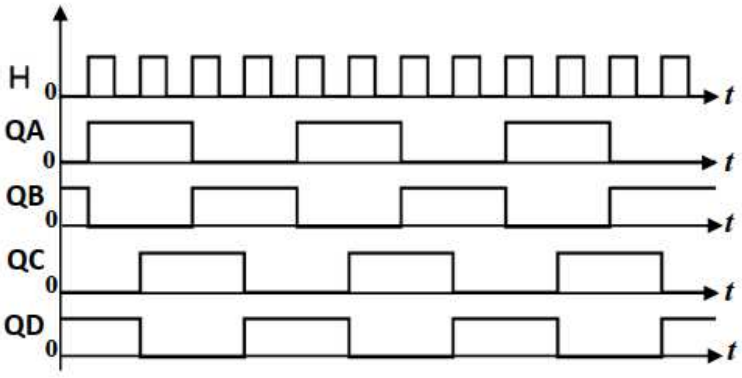


Schéma de câblage



chronogrammes de commande

9. *Quel est le mode de commande utilisé pour ce moteur : '**mode pas entier**' ou '**mode demi-pas**' ? Justifier votre réponse.*

……

……

10. *Calculer le nombre de pas* N_{PT} *pour un tour complet de son axe :*

……

11. *Calculer le courant **Ia** d'alimentation par phase (effet de l'inductance négligé) :*

……

*Sachant que l'horloge **H** a une fréquence f_H = **300 Hz** :*

12. *Déterminer la durée **t** (en s) d'un tour de l'axe du moteur :*

……

13. *En déduire la vitesse de rotation **n** (en tr/min) de l'axe du moteur :*

……

Extrait bac 2019 Session Rattrapage	***Système de traitement de l'eau d'une piscine à abri***

SEV2 : ***Etude partielle de la chaîne d'énergie***

Tâche 1 **: Étude de la pompe de circulation**

*La pompe de circulation d'eau est entrainée par un moteur asynchrone monophasé à **2 pôles** de type **LS 80 P** dont les caractéristiques nominales sont données sur la plaque signalétique ci-après :*

*L'alimentation du moteur est assurée par un réseau monophasé **230V – 50 Hz**.*

LS LOROY SOMER — MOT. 1 — LS 80 P — N° 35643 — kg 9

IP 55 — 40°C

V	Hz	tr/min	kW	cos φ	A
230	50	2760	1,1	0,98	6,6

Étude du moteur asynchrone au point de fonctionnement nominal :

1) *Donner la vitesse de rotation nominale **n** en tr/min du moteur et calculer sa vitesse de synchronisme **ns** en tr/min.*

……

……

2) *Calculer le glissement **g** du moteur.*

……

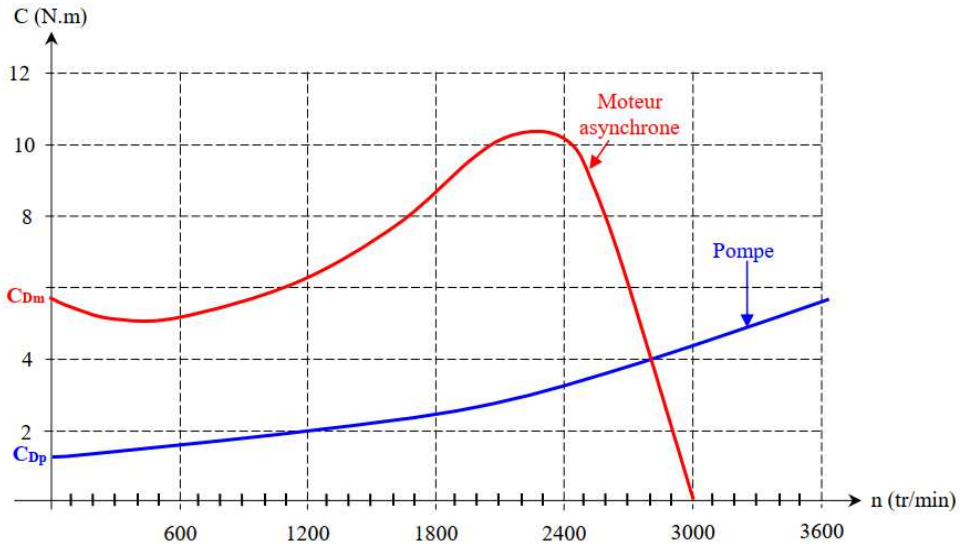
3) *Calculer la puissance absorbée **Pa**, en déduire le rendement **η** du moteur.*

……

……

Étude de l'ensemble moteur–pompe :

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



4) Quelle est la condition de démarrage du moteur en charge ?

……

5) Déterminer graphiquement la vitesse de rotation n_{mp} *de l'ensemble moteur pompe en régime permanent.*

……

6) Déterminer graphiquement le moment du couple résistant C_R *exercé par la pompe.*

……

7) Calculer alors la puissance ***Pu*** *fournie par le moteur.*

……

On désire changer le moteur associé à la pompe à fin d'augmenter le débit de circulation d'eau à ***25 m³/h****.*

En utilisant le tableau (ci-dessous) de correspondance entre débit et puissance de la pompe et le document constructeur moteur :

Tableau de correspondance entre débit et puissance de la pompe

Débit (m^3/h)	Puissance (KW)	Puissance (CV)
11	0,55	0,75
15,4	0,75	1
21,9	1,1	1,5
25	1,5	2
29	2,2	3

Document constructeur moteur monophasé

2 pôles 3000 min⁻¹

A condensateur permanent (P)
IP 55-50 Hz - Classe F-230 V

Type	Puissance nominale à 50 Hz P_N kW	Vitesse nominale N_N min^{-1}	Intensité nominale I_N (230V) A	Facteur de puissance Cos φ 100%	Rendement η 100%	Courant démarrage/ Courant nominal I_D / I_N	Masse IM B3 kg
LS 56 P	0,09	2790	0,9	0,85	50	3,4	3,5
LS 63 P	0,12	2820	1	0,90	57	4	4
LS 63 P	0,12	2820	1	0,90	57	4	4
LS 63 P	0,18	2820	1,4	0,90	62	4,5	4,5
LS 63 P	0,18	2820	1,4	0,90	62	4,5	4,5
LS 71 P	0,25	2780	1,95	0,90	61	3,5	5,5
LS 71 P	0,37	2850	2,7	0,85	70	4,7	7
LS 71 P	0,55	2770	3,5	0,95	72	4,5	7,5
LS 80 P	0,75	2780	4,85	0,95	70	4,2	9
LS 80 P	1,1	2760	6,6	0,98	73	4,1	11
LS 90 P	1,1	2700	7,5	0,90	73	4,3	14
LS 90 P	1,5	2780	9,1	0,95	76	4,8	16,5

8) Quelle est la puissance ***P'*** *en kW du nouveau moteur ?*

……

9) En déduire la référence (type) du nouveau moteur.

……

<u>Tâche 2</u> : Étude du transformateur alimentant les projecteurs LED d'éclairage de la piscine

Les projecteurs immergés dans la piscine sont alimentés par la tension U_2 disponible au secondaire d'un transformateur monophasé.

*Le primaire de ce transformateur est alimenté sous une tension nominale U_1 = **230 V**.*

On observe à l'aide d'un oscilloscope l'allure de la tension u_2 aux bornes du secondaire en charge

On donne ci-dessous (figure 3) l'oscillogramme de la tension u_2 :

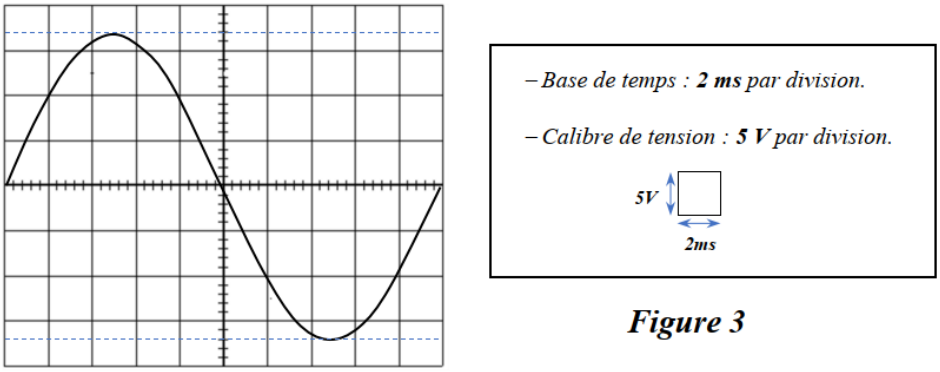


Figure 3

*10) Calculer la période **T**, la fréquence **f** et la pulsation **ω** de la tension u_2 aux bornes du secondaire.*

……

……

……

11) Calculer la valeur maximale U_{2max} et la valeur efficace U_2 de la tension u_2 aux bornes du secondaire.

……

……

*12) Calculer le rapport de transformation **m** en déduire s'il est abaisseur ou élévateur de tension.*

……

……

13) Justifier l'intérêt de l'utilisation de ce transformateur (cocher la bonne réponse).

☐ Sécurité des personnes ☐ Économie d'énergie ☐ Protection des projecteurs

<u>Tâche 3</u> : Protection des personnes contre les contacts indirects

L'installation est équipée d'une mise à la terre réalisée par un piquet planté proche du bassin (voir figure 1).
On propose une analyse du schéma de liaison à la terre afin de valider le choix de matériel assurant la sécurité des personnes.
La phase L_1 se met accidentellement en contact avec la carcasse de la pompe à chaleur (voir figure 4).

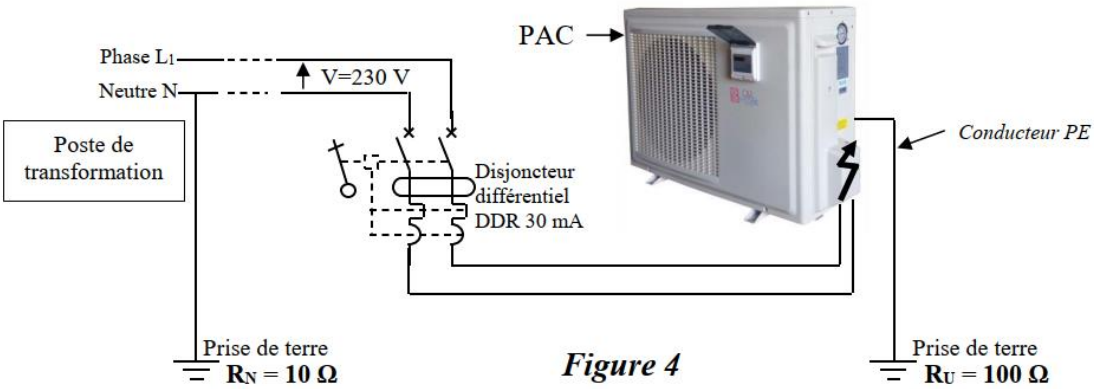


Figure 4

14) Préciser le type de schéma du régime de neutre choisi TT, IT ou TN.

……

15) Donner la signification de chaque lettre pour le type du régime choisi.

……

……

*On suppose que le conducteur **PE** est coupé au niveau de la pompe à chaleur **PAC** (figure 5) et que la tension limite de sécurité est U_L = 25 V.*

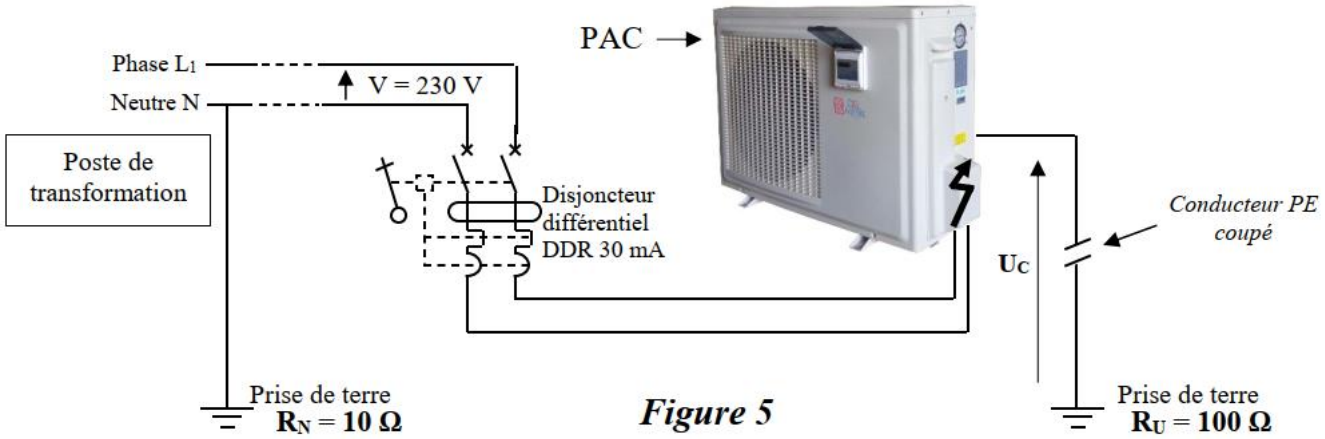


Figure 5

*On considère toujours que la phase **L1** est en contact avec la carcasse de la pompe à chaleur.*

*16) A quel potentiel est portée la masse de la **PAC** ? (Cocher la bonne réponse).*

☐ 0 V ☐ 230 V ☐ 400 V

*17) Que vaut alors la tension de contact **Uc** entre la carcasse et la terre ? (Cocher la bonne réponse).*

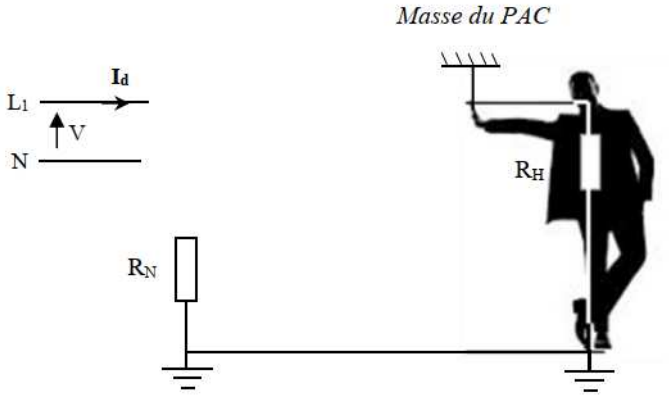
☐ 0 V ☐ 230 V ☐ 400 V

18) Cette tension de contact est-elle dangereuse ? Justifier votre réponse.

……

*Une personne, de résistance R_H = 2000 Ω, touche à main nue la masse de la **PAC**.*

19) Compléter alors le schéma électrique équivalent de la boucle de défaut et calculer le courant de défaut Id.



……

20) Que se passe-t-il au niveau du disjoncteur différentiel, sachant que sa sensibilité est de 30 mA ?

……

21) Conclure sur l'intérêt d'utiliser un disjoncteur différentiel de sensibilité 30 mA.

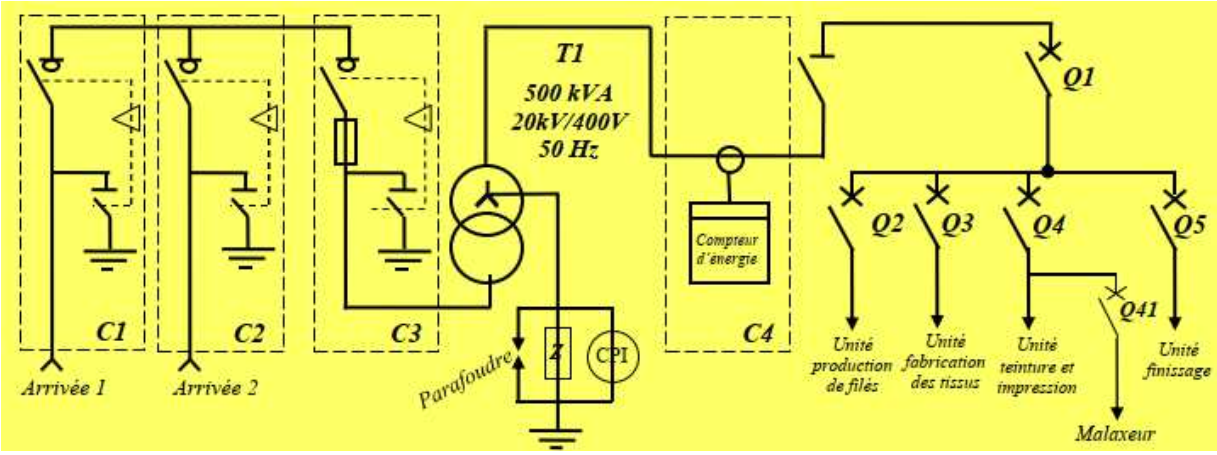
……

……

Extrait bac 2020 Session Normale	**Mélangeur industriel**

SEV2 : Etude partielle de la chaîne d'énergie

La distribution électrique de l'usine de textile dont fait partie le système étudié est représentée ci-dessous.



Tâche 1 : Identification de quelques éléments du réseau de distribution électrique

Q16- Identifier le type de réseau de distribution.

Antenne ☐ *Coupure d'artère* ☐ *Double dérivation* ☐

Q17- Donner le nom et la fonction de la cellule C3.

……

Tâche 2 : Étude du transformateur triphasé

On désire vérifier si le transformateur T1 de l'installation peut supporter une nouvelle unité de production, pour cela :

*Q18- Calculer la puissance apparente **S** de la nouvelle installation, si l'intensité au secondaire estimée pour l'ensemble des unités de production est : **I = 800 A**.*

……

*Q19- La puissance du transformateur **T1** est-elle suffisante (répondre par oui ou non) ? justifier votre réponse.*

☐ *Oui* ☐ *Non*

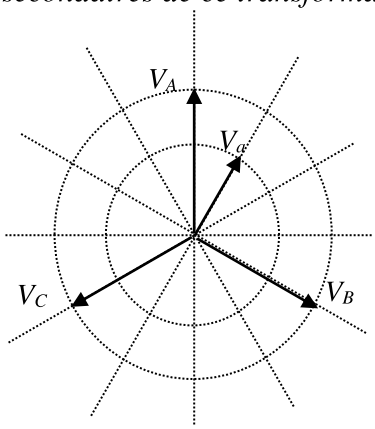
……

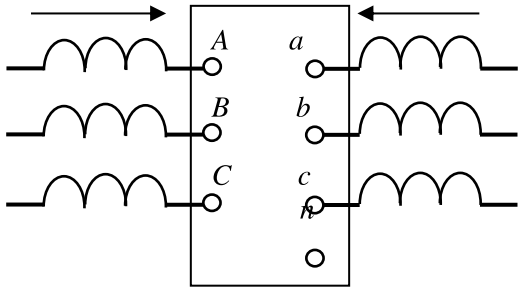
*Si non, choisir la puissance normalisée du nouveau transformateur **T2** à partir du tableau ci-dessous.*

Puissance assignée des transformateurs en kVA												
100	160	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500

……

*Q20- Le nouveau transformateur **T2** choisi a pour désignation **Dyn1**, compléter le diagramme des tensions primaires et secondaires de ce transformateur et réaliser les couplages de ses enroulements.*





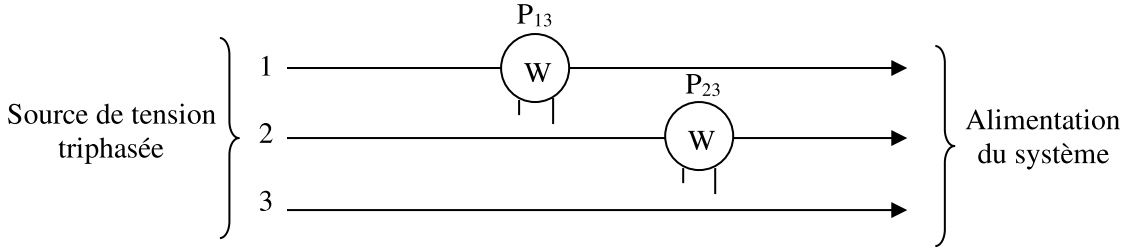
*Q21- On prévoit l'augmentation de la production de l'usine ce qui nous amènera à ajouter un nouveau transformateur **T3**, branché en parallèle avec T2. Parmi les transformateurs proposés, lequel est convenable ?*

☐ ***Yy6*** ☐ ***Dy11*** ☐ ***Dy5*** ☐ ***Dd0***

<u>Tâche 3</u> : Relèvement du facteur de puissance du malaxeur

Un meilleur rendement d'une installation électrique implique un facteur de puissance maximal (cos φ = 1). Pour déterminer le facteur de puissance du malaxeur, on a utilisé la méthode des deux Wattmètres. Les deux wattmètres ont donné les indications suivantes : **P_{13} = 6180 W** et **P_{23} = 4045 W**

Q22- Compléter le schéma du montage proposé.



*Q23- Calculer la puissance active **P** et de la puissance réactive **Q**.*

.....

.....

*Q24- Calculer la valeur du facteur de puissance **cos φ**.*

.....

*Q25- Calculer la capacité **C** des condensateurs qui, couplés en **triangle**, donneraient un facteur de puissance de l'ensemble de l'installation du système **cos φ' = 1**.*

.....

<u>Tâche 4</u> : Protection des personnes contre les contacts indirects

Le schéma de liaison à la terre retenu pour cette installation permet d'éviter des arrêts intempestifs lors de certaines phases du processus entraînant des surcoûts de production. On désire vérifier la protection des personnes en cas de défaut d'isolement sur le mélangeur.

Q26- Indiquer le type du régime de neutre retenu pour cette usine (TT ou IT ou TN) et préciser la signification de chaque lettre pour ce régime.

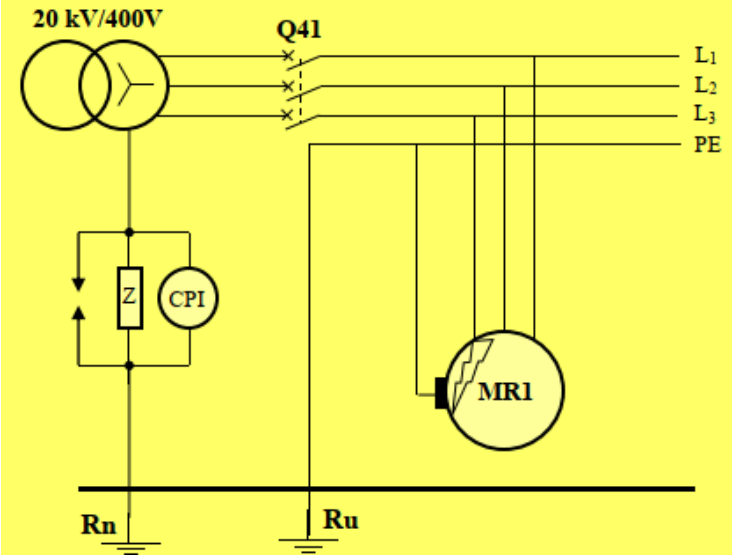
☐ TT ☐ TN ☐ IT

…	……
…	……

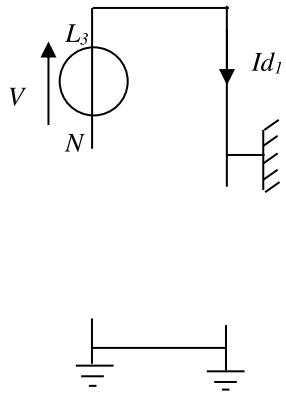
*Q27- Que signifie **C.P.I** ? Préciser sa fonction.*

C	……	**P**	……	**I**	……
Fonction	……				

Un défaut d'isolement apparaît entre la phase **3** et la masse métallique du motoréducteur **MR1** comme indiqué sur le schéma simplifié ci-dessous.
La tension limite de sécurité est $\mathbf{U_L = 50\ V}$.



Q28- Compléter le schéma équivalent du circuit de défaut.



*Q29- Sachant que **Rn = Ru = 20 Ω**, **Z = 4000 Ω** et **V = 230 V**, calculer le courant de défaut **Id1**.*

……

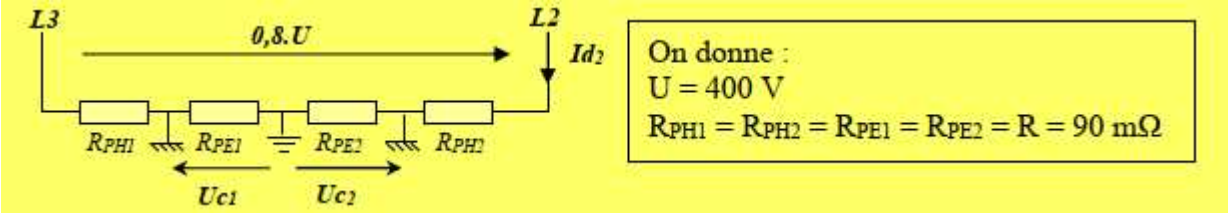
*Q30- Calculer la tension de contact **Uc1**. Est-elle dangereuse ? Pourquoi ?*

……

……

Le premier défaut n'est pas éliminé et un deuxième défaut survient entre la masse métallique du motoréducteur **MR2** du tapis et la phase 2.

Le schéma équivalent de la boucle de défaut faisant apparaître le courant Id2 et la tension de contact $\mathbf{Uc_2}$ sur le motoréducteur **MR2** est donné ci-dessous.



Q31- Calculer ce courant de défaut $\mathbf{Id_2}$.

.....

Q32- Calculer la tension de défaut $\mathbf{Uc_2}$.

.....

Q33- Cette tension $\mathbf{Uc_2}$ *est-elle dangereuse ? Pourquoi ?*

.....

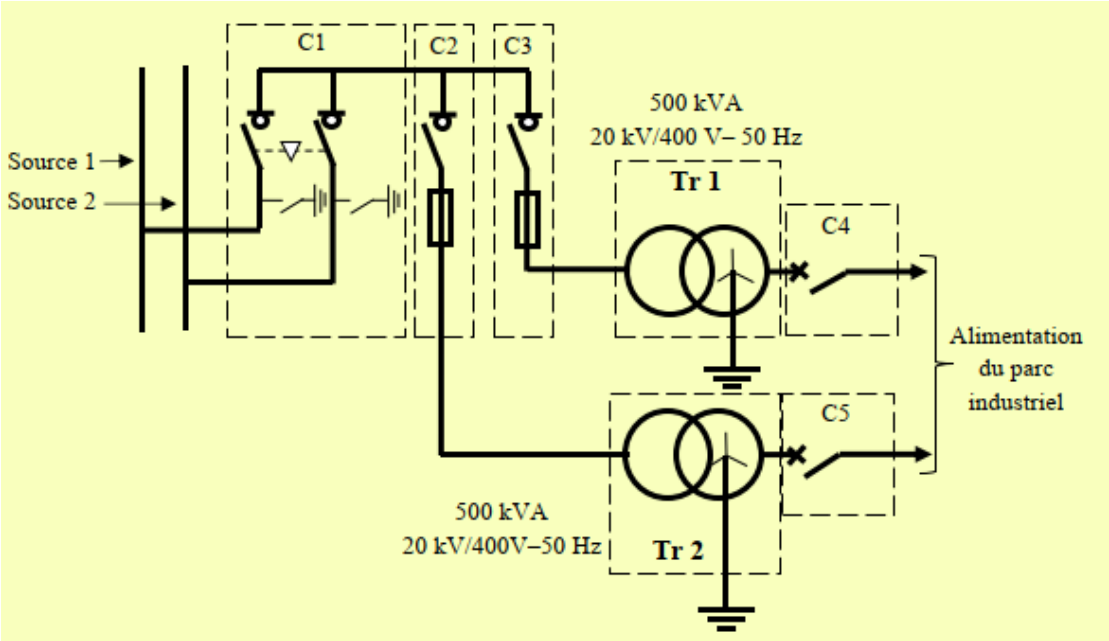
Extrait bac 2020 Session Rattrapage	***Système de manutention magnétique***

SEV2 : Etude partielle de la chaîne d'énergie

On se propose d'identifier la structure du réseau d'alimentation, étudier la protection des personnes et le transformateur triphasé et faire le bilan énergétique du parc.

Tâche 1 : Identification du réseau d'alimentation

On désire identifier la structure de l'alimentation du parc en se référant au schéma simplifié représenté ci-dessous :



Q1. Identifier le type de structure de l'alimentation et préciser la tension de service côté HTA.

.....

Q2. Citer un avantage de ce type de structure d'alimentation.

.....

Q3. Quel est le rôle de la cellule C2 ?

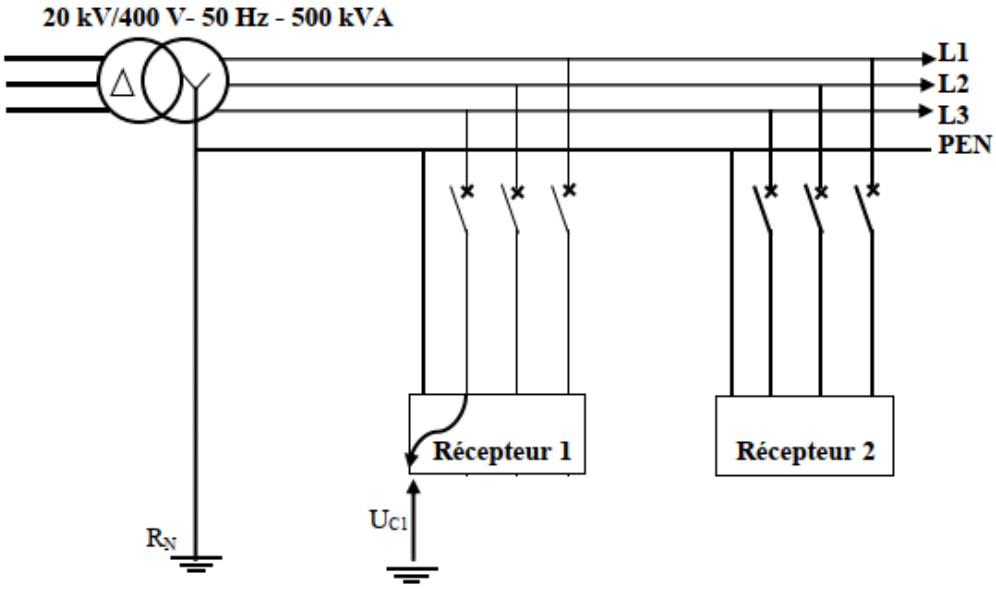
.....

<u>Tâche 2</u> : Étude de la protection des personnes

On se propose d'identifier le régime de neutre utilisé dans l'installation et d'évaluer son impact sur la protection des personnes. Le neutre côté basse tension est relié à la terre.

Q4. Identifier le régime de neutre utilisé (schéma ci-dessous) en cochant la bonne réponse.

☐ *TT* ☐ *TNC* ☐ *TNS* ☐ *IT*



Q5. Préciser la signification de ses initiales.

.....

.....

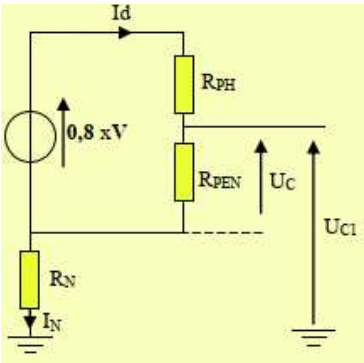
.....

Un défaut d'isolement survient entre la phase **L3** et la **masse du récepteur 1**.

*Q6. Tracer sur le schéma la boucle (schéma ci-dessous) du courant de défaut **Id**.*

La figure ci-contre représente le schéma électrique équivalent du défaut :
Avec :

- La résistance d'une phase R_{PH} = 40 mΩ ;
- La résistance du conducteur de protection R_{PEN} = 30 mΩ ;
- La tension limite de sécurité autorisée U_L = 50 V.



Q7. Montrer que $U_{C1} = U_C$.

.....

.....

*Q8. Calculer le courant de défaut **Id** (prendre V = 230 V).*

.....

Q9. Calculer alors la valeur de la tension de contact U_C.

.....

Q10. Cette tension est-elle dangereuse ? Justifier votre réponse.

.....

On change le conducteur de protection par un autre conducteur de résistance **R'_{PEN} = 10 mΩ**.

*Q11. Calculer la nouvelle valeur du courant de défaut **I'd**.*

.....

*Q12. Calculer alors la nouvelle valeur de la tension de contact **U'_C**.*

.....

Q13. Cette tension est-elle dangereuse ? Justifier votre réponse.

.....

Q14. Conclure.

.....

*Q15. Un deuxième défaut surgit entre la phase **L2** et la **masse du récepteur 2**. Préciser la nature du défaut dans l'installation en cochant la bonne réponse.*

☐ *Surcharge* ☐ *Court-circuit* ☐ *Surtension*

<u>Tâche 3</u> : Étude des transformateurs

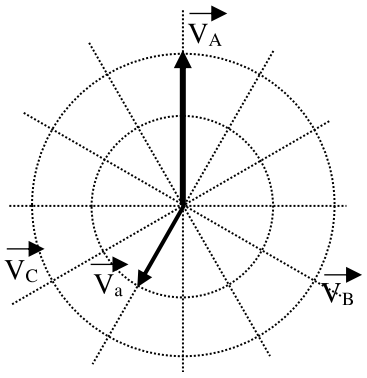
Les transformateurs **Tr1**, de désignation **Dyn7**, et **Tr2**, de désignation **Dyn11**, fonctionnent simultanément pour répondre au besoin énergétique de l'installation.

*Q16. Expliquer la désignation **Dyn7**.*

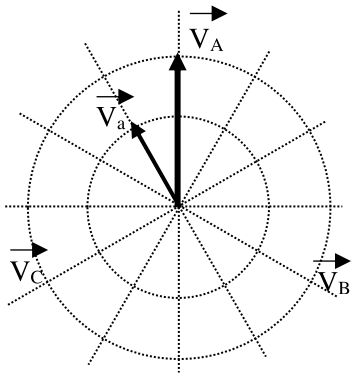
D	……
y	……
n	……
7	……

*Q17. Compléter les diagrammes des tensions composées au primaire et des tensions simples au secondaire de **Tr1** et de **Tr2**.*

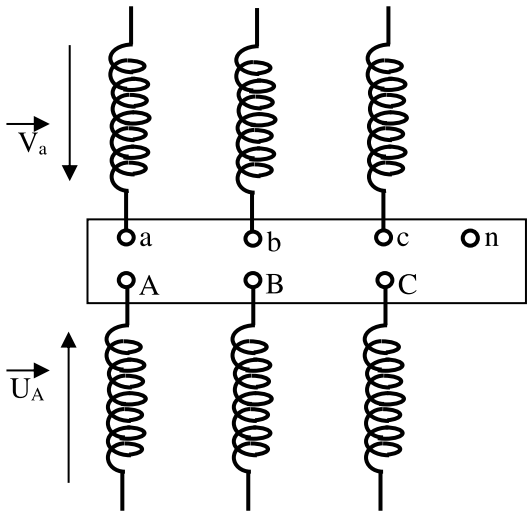
<u>Tr1 : Dyn 7</u>



<u>Tr2 : Dyn 11</u>



*Q18. Compléter le schéma de couplage des enroulements correspondant à **Tr2***



<u>Tâche 4</u> : Bilan énergétique de l'installation

On désire faire le bilan des puissances de l'ensemble de l'installation du parc, puis calculer le facteur de puissance **cos φ** correspondant, ensuite le relever si nécessaire, sachant que le fournisseur d'énergie impose un facteur de puissance supérieur ou égal à **0,9**.

L'installation comporte essentiellement :

- Des récepteurs inductifs : **P1 = 390 kW** ; **Q1 = 500 kVAR** ; (**400 V - 50 Hz**) ;
- Des récepteurs résistifs : **P2 = 440 kW** ; (**400 V - 50 Hz**) ;
- Des récepteurs purement capacitifs : **Q3 = - 10 kVAR** ; (**400 V - 50 Hz**).

*Q19. Calculer les puissances active totale **P** (kW), réactive totale **Q** (kVAR) et apparente totale **S** (kVA) de l'installation.*

.....

.....

.....

.....

*Q20. Calculer le facteur de puissance **cos φ** de l'installation.*

.....

*Q21. On désire relever le facteur de puissance de l'installation à **cos φ' = 0,96**, pour cela on branche en tête de l'installation une batterie de condensateurs couplés en triangle. Calculer la valeur de la capacité **C** d'un condensateur en **mF**.*

.....

.....

SEV2 : Etude énergétique

*L'hélice prélève une quantité de l'énergie cinétique des courants marins. La quantité d'énergie captée est définie par la surface **S** balayée par les pales de l'hélice (disque de captage) et par la vitesse **v** des courants marins (Figures 7 et 8). Cette quantité d'énergie captée est convertie en énergie mécanique. L'alternateur, couplé à l'hélice à travers un multiplicateur, convertit cette énergie mécanique en énergie électrique.*

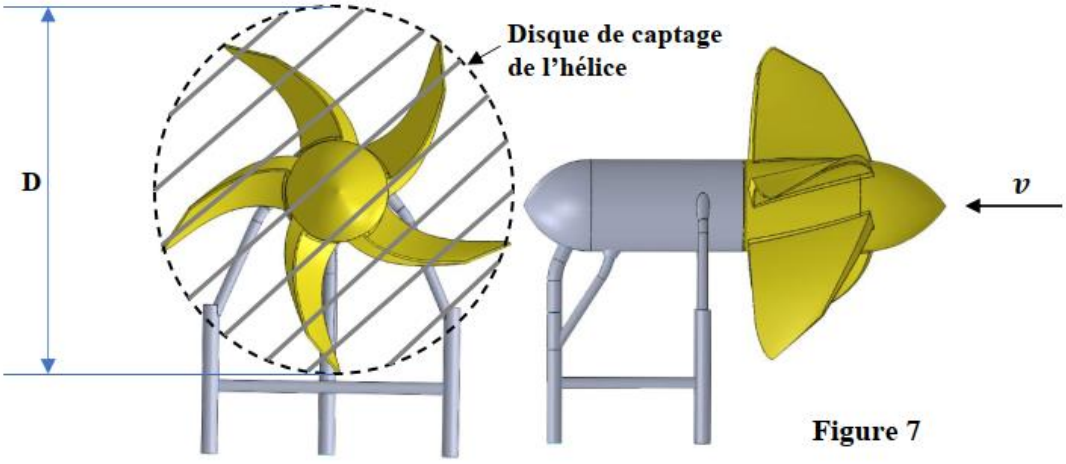


Figure 7

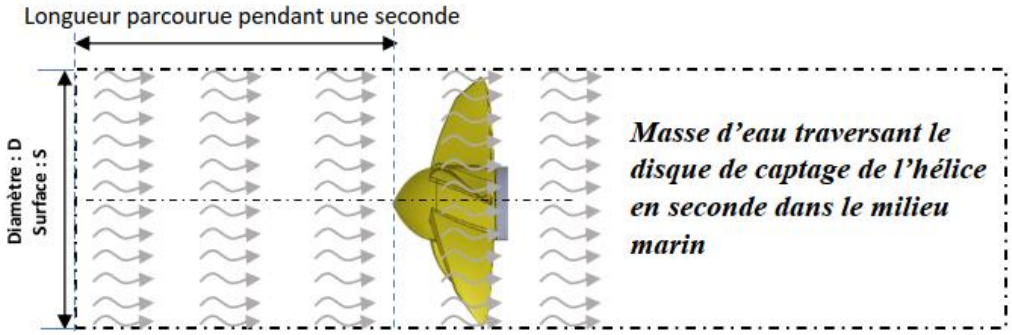


Figure 8

$P_m \approx 200.S.v^3$ avec P_m est la puissance mécanique en Watts, v en m/s, S en m^2

Tâche1 : Calcul d'énergie

*Le cahier des charges impose une puissance mécanique **Pm = 300 kW** pour un courant marin d'une vitesse **v = 2,5 m.s^{-1}**.*

*Q1. Calculer le diamètre de captage **D** en appliquant la formule simplifiée **Pm = 200. S. v^3***

.....

.....

*Q2. On considère une valeur moyenne de la vitesse des courants marins : **vm = 1 m.s^{-1}**. Calculer l'énergie mécanique moyenne **Wmoy**, en MWh, produite par l'hélice pendant une année. (1 année = 365 jours)*

.....

.....

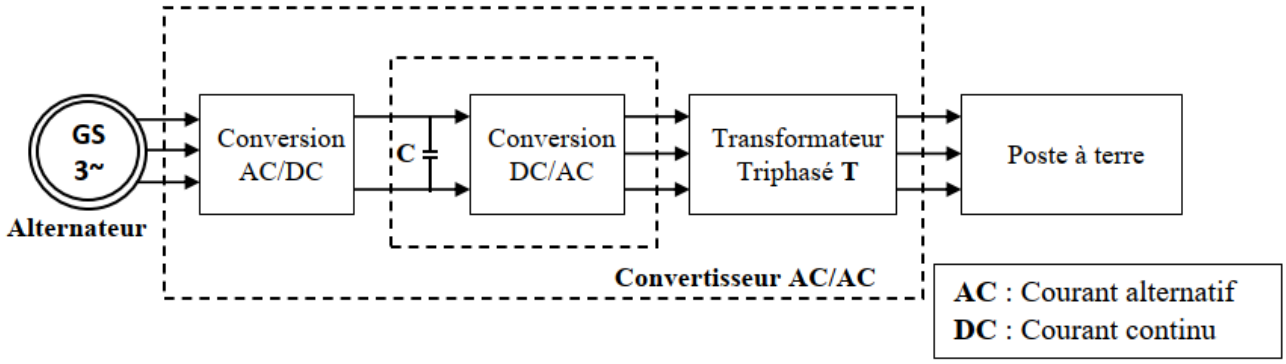
*Q3. En considérant que le rendement du multiplicateur **ηm = 98 %**, celui de l'alternateur **ηa = 95%** et celui du convertisseur AC/AC **ηc = 100 %**, calculer l'énergie électrique moyenne **We**, en MWh, produite par l'hydrolienne pendant une année.*

.....

.....

<u>Tâche 2</u> : Étude du convertisseur DC/AC

Le schéma synoptique de la partie électrique de l'hydrolienne est représenté par la figure ci-dessous.



La figure 11ci-dessous représente le schéma de principe du convertisseur DC/AC et son modèle équivalent. Le transistor de puissance (IGBT) est équivalent à un interrupteur commandé

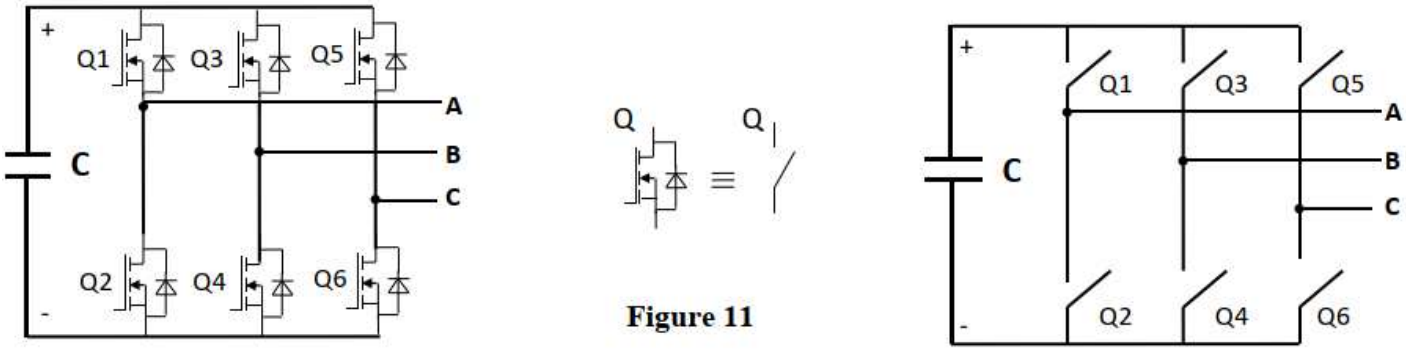


Figure 11

*Le convertisseur **DC/AC**, objet de l'étude, utilise la commande en **M.L.I**.*

Principe de la commande en M.L.I du convertisseur DC/AC

*La modulation de largeur d'impulsion (**M.L.I**) est une technique de commande permettant de générer une tension quasi-sinusoïdale par découpage d'une tension continue.*

*Un signal sinusoïdal **Vsin** de référence et de fréquence définie **fu** est comparé à un signal triangulaire **Vtri** de fréquence **fv** ; avec **fv >> fu**.*

Génération analogique du signal M.L.I

*La tension continue récupérée aux bornes du condensateur **C** est transformée, par le convertisseur, en une tension alternative sinusoïdale de fréquence **50 Hz**. Le signal de commande **Vcom** des transistors de puissance (**IGBT**) est obtenue par comparaison du signal triangulaire **Vtri** au signal sinusoïdal **Vsin**. La largeur de **Vcom** varie alors au rythme de l'amplitude du signal sinusoïdal selon le principe suivant :*

Si $V_{tri} > V_{sin}$
Alors $V_{com} = 0$ Logique
Sinon $V_{com} = 1$ Logique

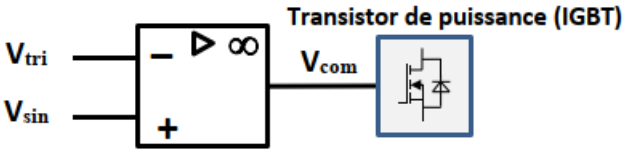


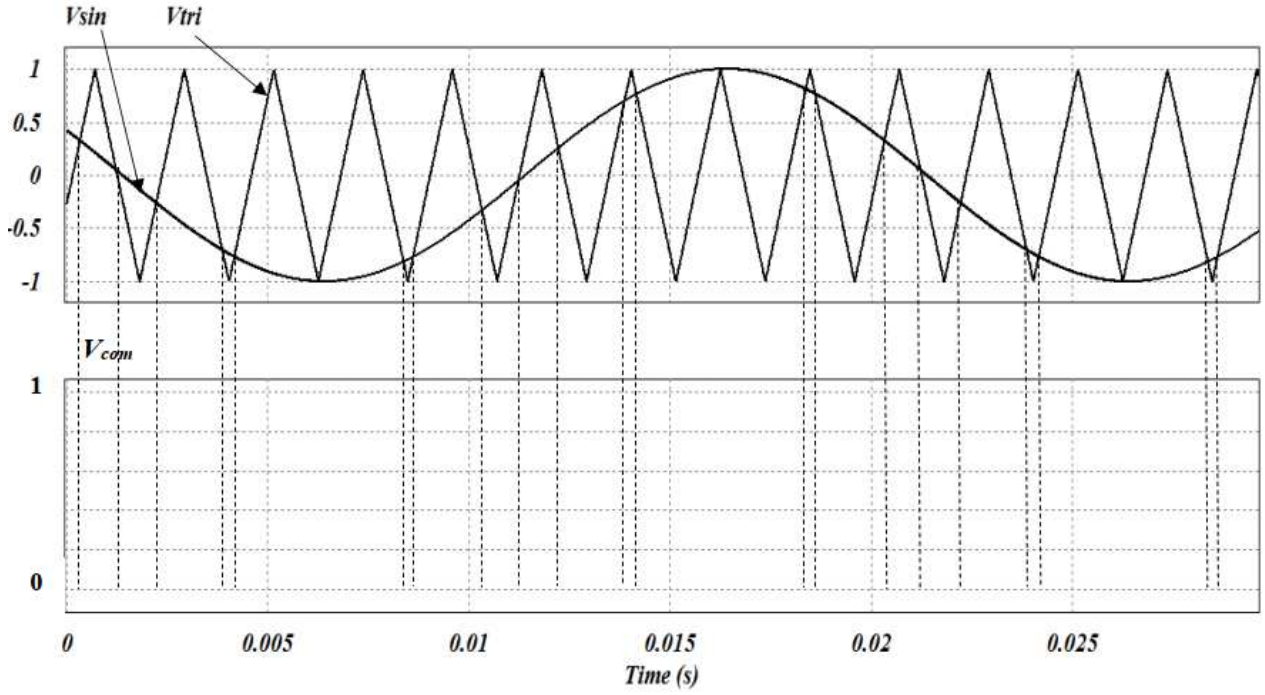
Tableau de commande de la M.L.I

*Le tableau, ci-dessous, représente les états des interrupteurs (**1** = fermé, **0** = ouvert) correspondant aux valeurs de tensions attendues en **A**, **B**, **C**. Les états des interrupteurs pour la sortie V_{AB} et V_{BA} sont reportés sur le tableau.*

Q4. Compléter ce tableau pour les autres sorties.

	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6
V_{AB}	1	0	0	1	0	0
V_{BA}	0	1	1	0	0	0
V_{BC}	…	…	…	…	…	…
V_{CB}	…	…	…	…	…	…
V_{AC}	…	…	…	…	…	…
V_{CA}	…	…	…	…	…	…

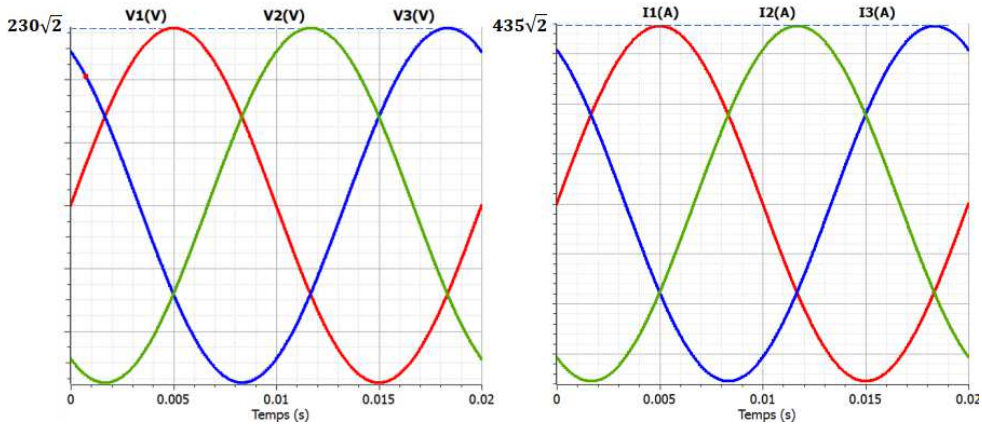
*Q5. Compléter le chronogramme de la sortie **Vcom**.*



<u>Tâche 3 :</u> Calcul de la puissance produite

*Les chronogrammes du figure 12, représentent les courants et les tensions triphasés obtenus en sortie du convertisseur **DC/AC**,*

Figure 12 : courants et tensions en sortie du convertisseur



*Q6. Relever la valeur de la période **T** du signal et calculer sa fréquence **f**.*

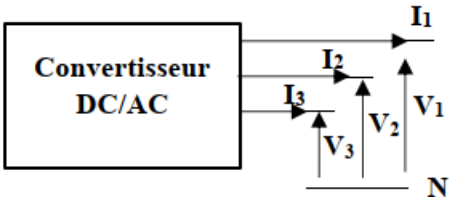
.....

.....

Le calcul de la puissance en sortie du convertisseur triphasé est donné par l'expression :

$\mathbf{P = 3.V.I.\cos\varphi}$, avec :

- ***V*** : valeur efficace de la tension ***v(t)*** entre phase et neutre ;
- ***I*** : valeur efficace du courant ***i(t)*** par phase ;
- ***φ*** : retard du courant ***i(t)*** par rapport à la tension ***v(t)***.



*Q7. Déduire, à partir du graphe figure.12, le facteur de puissance **cosφ** et calculer la puissance électrique **P** en sortie du convertisseur triphasé.*

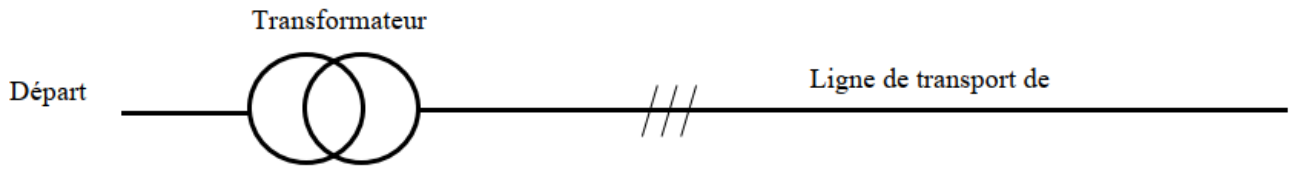
.....

.....

.....

Tâche 4 : Étude du transformateur T

*Après production au niveau de l'hydrolienne, l'électricité fournie est transportée à haute tension sur une distance de **15 km** par des câbles puis utilisée à domestique à basse tension.*



Caractéristiques électriques du transformateur T :

Puissance assignée	**S = 500 kVA**
Fréquence (*f*)	**50 Hz**
Tension assignée au primaire	**400 V**
Tension assignée au secondaire	**10 kV**
Couplage des enroulements	**Dy11**

Q8. Quel est l'intérêt du transport de l'énergie électrique en haute tension ?

.....

.....

Q9. Utilise-t-on un transformateur abaisseur ou élévateur de tension à la sortie d'une centrale électrique ?

.....

Q10. Calculer le rapport de transformation M et relever l'indice horaire du transformateur

.....

.....

.....

*Le transformateur triphasé dont le secondaire est couplé en triangle, est alimenté au primaire sous une tension de **400 V**.*

Q11. Compléter le tableau des tensions au primaire et au secondaire du transformateur.

	Couplage	Tension (en Volt)	
		Simple	Composée
Au primaire	**y**	.....	.....
Au secondaire	**D**		.....

*La puissance apparente du transformateur étant **S = 500 kVA** :*

Q12. Compléter le tableau des intensités nominales des courants I_1 et I_2 de lignes au primaire et au secondaire du transformateur.

	Couplage	Courant dans un enroulement (en Ampère)	
		Formule	Application numérique
Au primaire	**y**	J_1 = ...	.....
Au secondaire	**D**	J_2 = ...	.....

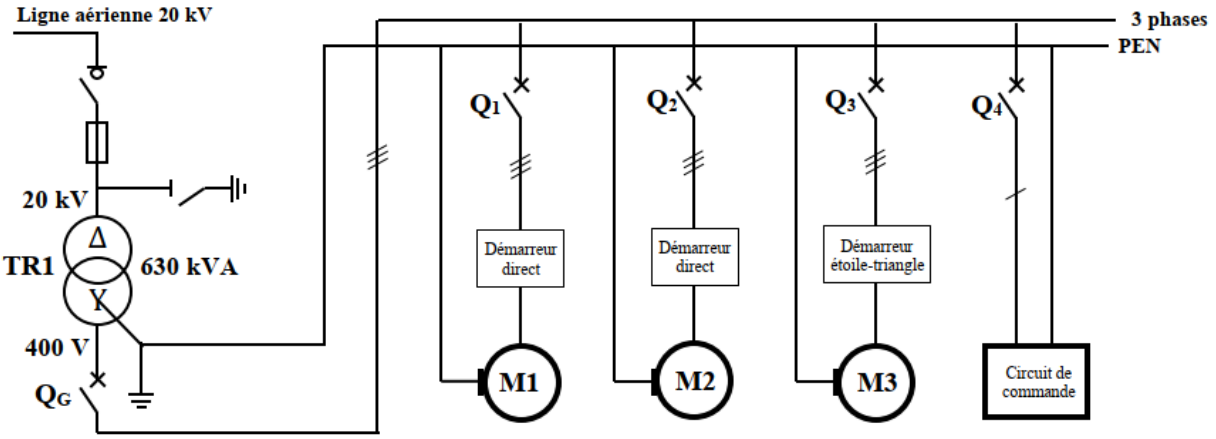
	Couplage	Courant de ligne (en Ampère)	
		Formule	Application numérique
Au primaire	**y**	I_1 = ...	.....
Au secondaire	**D**	I_2 = ...	.....

Q13. Compléter le tableau des intensités nominales des courants J_1 et J_2 dans les enroulements primaire et secondaire du transformateur.

Extrait bac 2021 Session Rattrapage	**Station de concassage**

SEV2 : Etude partielle de la chaîne d'énergie

Le schéma simplifié de la distribution électrique de la station de concassage est représenté ci-dessous:



Tâche 1 : Étude de la distribution électrique

***Q1-** Identifier le **type de réseau** de distribution de la station.*

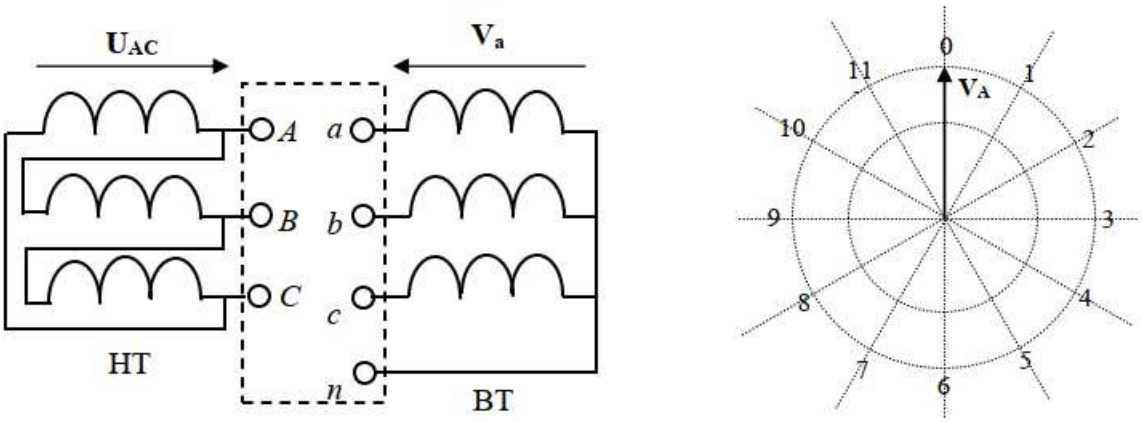
☐ Simple dérivation ☐ Coupure d'artère ☐ Double dérivation

Q2- *Identifier les* ***caractéristiques*** *électriques du transformateur triphasé* ***TR1****.*

Valeur de la tension assignée au primaire	.....
Valeur de la tension assignée au secondaire	.....
Valeur de la puissance apparente assignée	.....

On donne ci-dessous, le schéma de couplage des enroulements et la représentation vectorielle incomplète du transformateur ***TR1****.*

Q3- *Compléter cette représentation vectorielle, en déduire l'****indice horaire*** *du transformateur* ***TR1****.*



L'indice horaire : .....

Tâche 2 : Relèvement du facteur de puissance

On donne ci-dessous les caractéristiques des principaux récepteurs de l'installation :

Récepteurs	Caractéristiques
Moteur **M1**	Moteur asynchrone triphasé : 230V/400V – 50 Hz ; Puissance absorbée **P1** = 8720 W ; **cosφ₁** = 0,85.
Moteur **M2**	Moteur asynchrone triphasé : 230V/400V – 50 Hz ; Puissance absorbée **P2** = 10230 W ; **cosφ₂** = 0,85.
Moteur **M3**	Moteur asynchrone triphasé : 400V/690V – 50 Hz ; Puissance utile P_{U3} = 37000 W ; $\cos\varphi_3$ = 0,84 ; η_3 = 0,925
Circuit de commande et signalisation	Puissance absorbée **P4** = 800 W Puissance réactive absorbée **Q4** = 300 VAR

Le réseau d'alimentation du système est un **réseau triphasé de tension U = 400 V - 50 Hz.**

Q4- *Quel doit être le* ***couplage*** *des enroulements du moteur* ***M3*** *?*

.....

Q5- *Calculer les puissances absorbées réactives* ***Q1*** *et* ***Q2*** *des moteurs* ***M1*** *et* ***M2****.*

.....

.....

.....

Q6- *Calculer les puissances absorbées* ***P3*** *active et* ***Q3*** *réactive du moteur* ***M3****.*

.....

.....

.....

Q7- *Calculer les puissances **P** active, **Q** réactive et **S** apparente consommées par le système en complétant le tableau proposé et en déduire le courant en ligne **I** de toute l'installation.*

.....

.....

.....

Q8- *Calculer alors la valeur du **facteur** de puissance **cos φ** de l'installation.*

.....

.....

*On veut relever le facteur de puissance de l'installation à **cos φ'= 0,95** par insertion d'une batterie de condensateurs couplés en triangle.*

Q9- *Donner la valeur de la capacité **C** d'un condensateur.*

.....

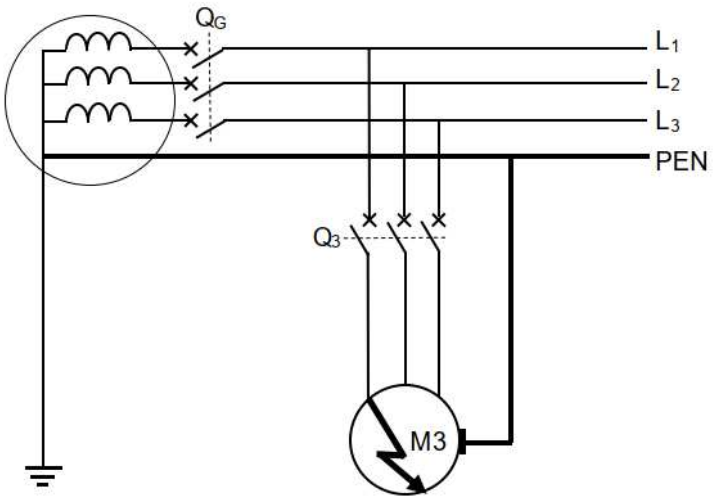
.....

<u>Tâche 3 : protection des personnes</u>

*Un défaut d'isolement s'est produit entre la phase **L1** et la masse du moteur **M3** du concasseur.*

Q10- *Identifier le régime du neutre de l'installation et tracer, sur le schéma proposé, la boucle parcourue par le **courant de défaut** en considérant que **QG** et **Q3** sont fermés.*

☐ TT ☐ TNC ☐ TNS ☐ IT



Q11- *Quelle est la nature du **défaut** ?*

☐ Courant de fuite ☐ Surcharge ☐ Court-circuit

Q12- *Calculer le courant de défaut **Id** sachant que la tension de la boucle est **Vb = 184 V** et l'impédance de la boucle de défaut est **Zd = 0,14 Ω**.*

.....

.....

Q13- *Calculer la tension de défaut sachant qu'elle est égale à **Ud = 0,5.Vb**.*

.....

Q14- *Cette tension est-elle dangereuse ? Répondre par **oui** ou **non**. **Justifier** votre réponse ?*

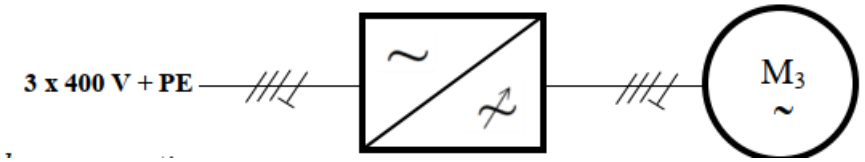
.....

Q15- *Quel* ***déclencheur*** *du disjoncteur* ***Q3*** *agira lors de l'apparition de ce défaut ?*

☐ Déclencheur magnétique ☐ Déclencheur thermique

<u>Tâche 4 : Démarreur du moteur M3 du concasseur</u>

Afin de réduire les perturbations sur le réseau à chaque démarrage du concasseur, la solution technologique retenue serait de remplacer le démarreur étoile-triangle par un démarreur progressif à angle de phase. Ce démarreur utilise un convertisseur statique comme ci-dessous :



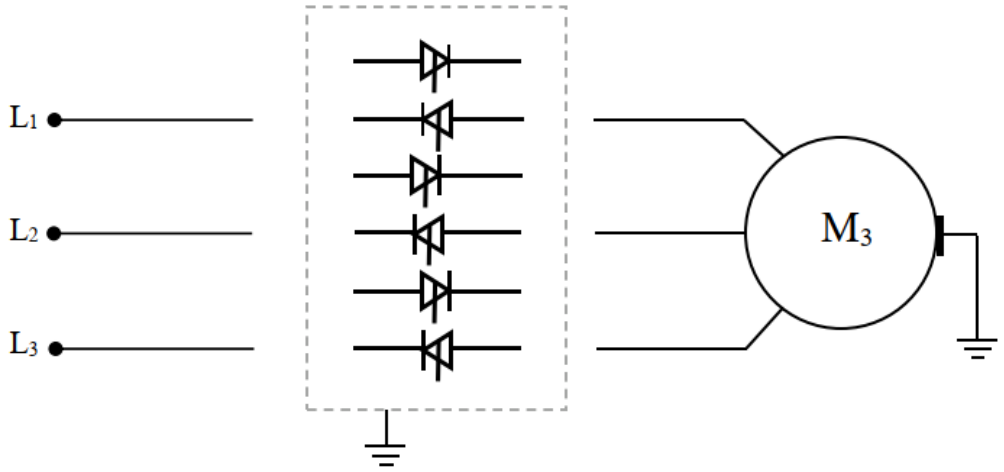
Q16- *Donner le* ***nom*** *de ce convertisseur.*

.....

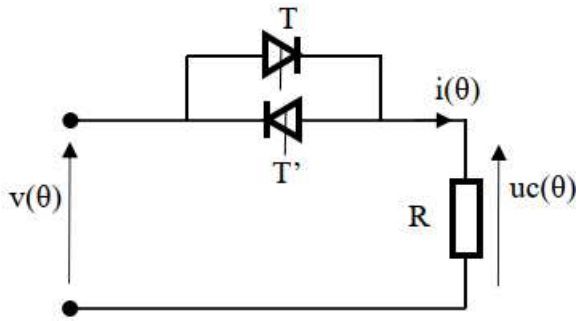
Q17- *Quelle est la* ***conversion*** *réalisée par le convertisseur ?*

.....

Q18- *Compléter le schéma de câblage des thyristors de la partie de puissance.*



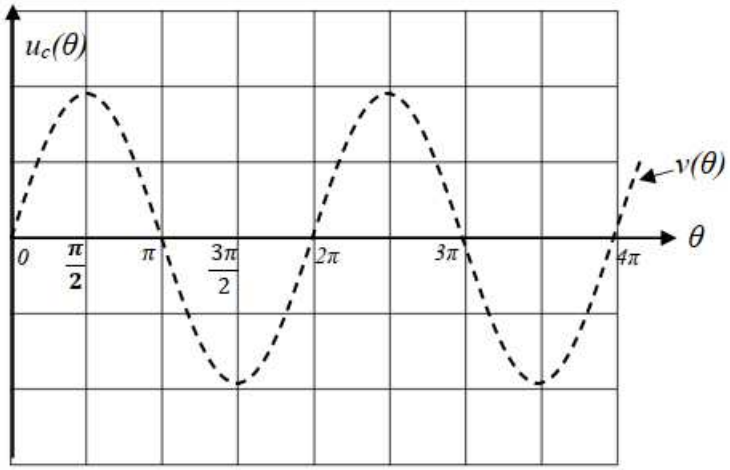
On se propose d'étudier ce convertisseur triphasé qui est constitué de trois gradateurs monophasés.
L'étude sera faite sur un seul gradateur monophasé dont le schéma est donné comme ci-dessous :



- *Les thyristors* ***T*** *et* ***T'*** *sont supposés parfaits (Interrupteurs ouverts à l'état bloqué et fermés à l'état passant).*
- *Les thyristors sont amorcés avec un retard angulaire* ***α*** *par rapport aux passages par* ***0*** *de la tension réseau v(θ).*
- ***V = 230 V – 50 Hz.***
- *La charge est une résistance.*

Sachant que la commande du gradateur amorce les thyristors ***T*** *et* ***T'*** *avec un retard angulaire* $\alpha = \frac{\pi}{2}$*:*

Q19- *Représenter la tension* ***uc(θ)*** *sur le document réponses.*



Q20- *Quelle est la valeur* ***moyenne <uc>*** *de la tension uc(θ) ?* ***justifier*** *votre réponse.*

.....

Q21- *Calculer la valeur* ***efficace Uc*** *de la tension uc(t), sachant que* $\boldsymbol{Uc = V\sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{2}}}$

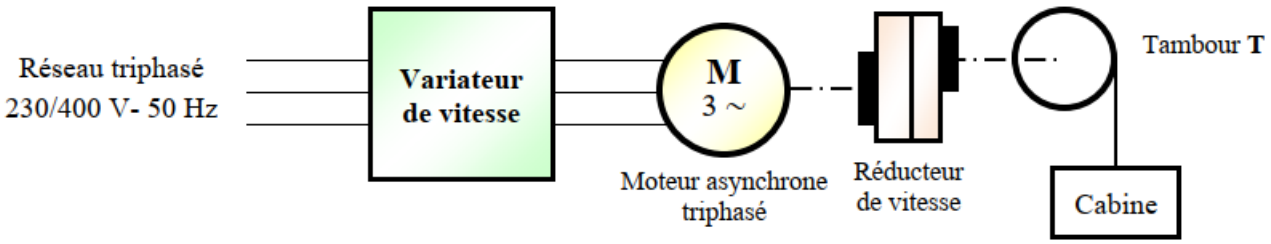
.....

.....

Extrait bac 2022 Session Normale	***Monte-charge***

SEV2 : Etude partielle de la chaîne d'énergie

Le tambour ***T*** *sur lequel s'enroule le câble supportant la cabine du monte-charge est entraîné par un moteur asynchrone triphasé* ***M*** *associé au réducteur* ***R****.*
Le stator de la machine est alimenté par un variateur de vitesse.



Tâche 1 : Étude du moteur asynchrone M

La plaque signalétique du moteur comporte les indications suivantes :

230 V / 400 V- 50Hz		16,28 A / 9,40 A
4 kW	960 tr/min	Cos φ = 0,76

Q.1 *Pour* ***f = 50 Hz****, la valeur efficace de la tension entre phases à la sortie du variateur vaut* ***400 V****. Quel doit être le couplage du moteur ?*

Étude du moteur, alimenté sous U = 400 V – 50 Hz, au point de fonctionnement nominal :

Q.2 *- Déterminer la fréquence de synchronisme* $\boldsymbol{n_s}$ *en tr/min sachant que le moteur possède* ***6 pôles****.*

……

Q.3 *- Calculer le glissement* $\boldsymbol{g_N}$ *en % du moteur.*

……

Q.4 *- Calculer la puissance **P** absorbée en W.*

……..

Q.5 *- Calculer le rendement **η** du moteur.*

……..

Q.6 *- Montrer que le couple utile nominal du moteur* $\mathbf{Cu_N = 39{,}78\ Nm}$.

……..

La charge entraînée par le moteur présente un couple résistant constant **Cr = 36 N.m**.
La caractéristique mécanique du moteur $\mathbf{C_u(n)}$ est assimilable à une droite de la forme **Cu = a.n + b** et passant par les points (**n = ns** ; **Cu = 0**) et ($\mathbf{n = n_N}$; $\mathbf{Cu = Cu_N}$). Déterminer :

Q.7 *- Les coefficients **a** et **b** en précisant leurs unités.*

……..

……..

……..

……..

Q.8 *- La vitesse de rotation **n** en tr/min du groupe moteur-charge.*

……..

……..

<u>Étude du fonctionnement à fréquence réglable</u> :

Le moteur étant alimenté à **U/f** constant.
La vitesse du moteur lors du ralentissement de la cabine est $\mathbf{n_1 = 570\ tr/min}$ avec un glissement $\mathbf{g_1 = 5\ \%}$.

Q.9 *- Calculer la vitesse de synchronisme* $\mathbf{ns_1}$ *en tr/min du moteur.*

……..

……..

Q.10 *- En déduire la fréquence* $\mathbf{f_1}$ *d'alimentation à imposer.*

……..

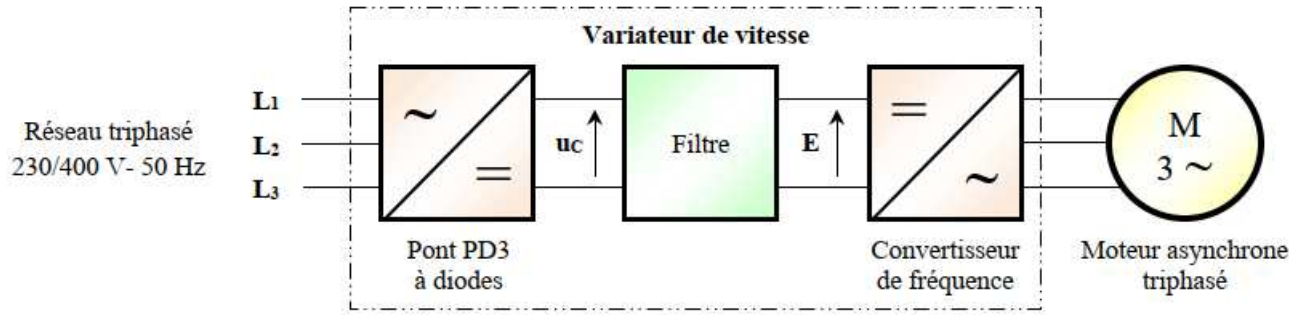
Q.11 *- Calculer la valeur efficace de la tension entre phases* $\mathbf{U_1}$ *dans ces conditions.*

……..

<u>Tâche 2 : Étude du variateur de vitesse</u>

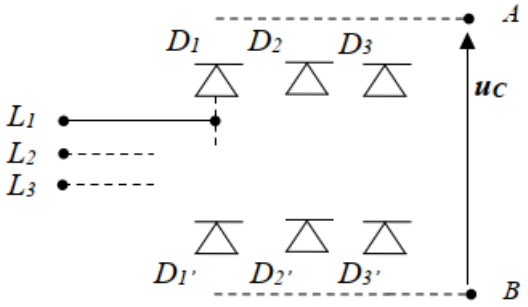
Le variateur de vitesse est constitué principalement de (figure ci-dessous) :

- Un pont redresseur à diodes PD3 ;
- Un filtre ;
- Un convertisseur de fréquence (onduleur).

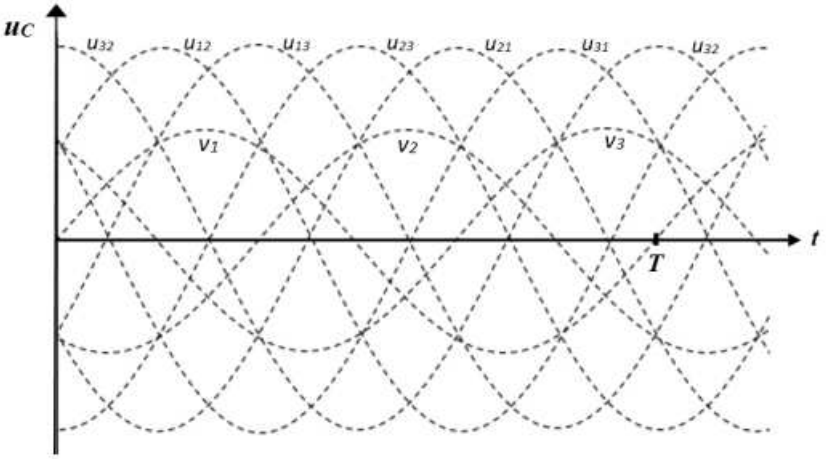


Le convertisseur alternatif-continu est un pont triphasé **PD3** (6 diodes) ;

Q.12 - *Compléter son **schéma** de montage.*



Q.13 - *Représenter, en fonction du temps, pour une période **T**, le **graphe** de la tension **$u_C(t)$**.*



Q.14 - *Déterminer la fréquence **f'** de la tension **$u_C(t)$**.*

……..

La tension du réseau ainsi redressée est ensuite filtrée pour devenir quasiment continue de valeur **E** à l'entrée de l'onduleur.

Q.15 - *Donner le **type** du filtre utilisé.*

☐ Passe-bande ☐ Passe-bas ☐ Passe-haut

Le convertisseur de fréquence est un onduleur autonome triphasé. Dans cette partie, on s'intéressera à l'étude de l'alimentation d'un enroulement du moteur dont le schéma de montage est représenté par la figure ci-dessous :

- K_1, K_2, K_3 et K_4 sont des interrupteurs électroniques parfaits.
- La charge est inductive

On commande les interrupteurs durant une période **T = 20 ms** de la façon suivante :

- $0 < t \leq T/2$: K_1, K_4 fermés et K_2, K_3 ouverts ;
- $T/2 < t \leq T$: K_2, K_3 fermés et K_1, K_4 ouverts.

Q.16 - *Quel type de conversion est réalisé par l'onduleur ?*

……..

Q.17 - *Quel type de commande est utilisé dans cet onduleur ?*

☐ Symétrique ☐ Décalée ☐ M.L.I.

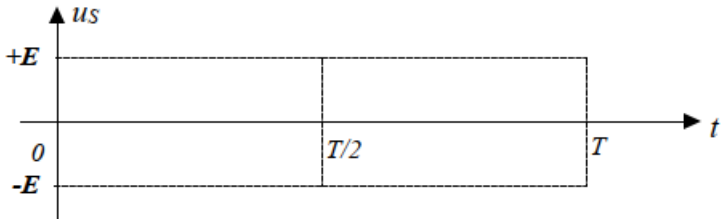
Q.18 - *Citer un composant électronique permettant de réaliser un des interrupteurs.*

……..

Q.19 - *Déterminer la fréquence **f** de la tension délivrée par l'onduleur.*

……..

Q.20 - *Représenter, en fonction du temps, pour une période **T**, le graphe de la tension **$u_S(t)$**.*



Q.21 - *Donner la valeur efficace **U_S** de la tension **$u_S(t)$** en fonction **E**.*

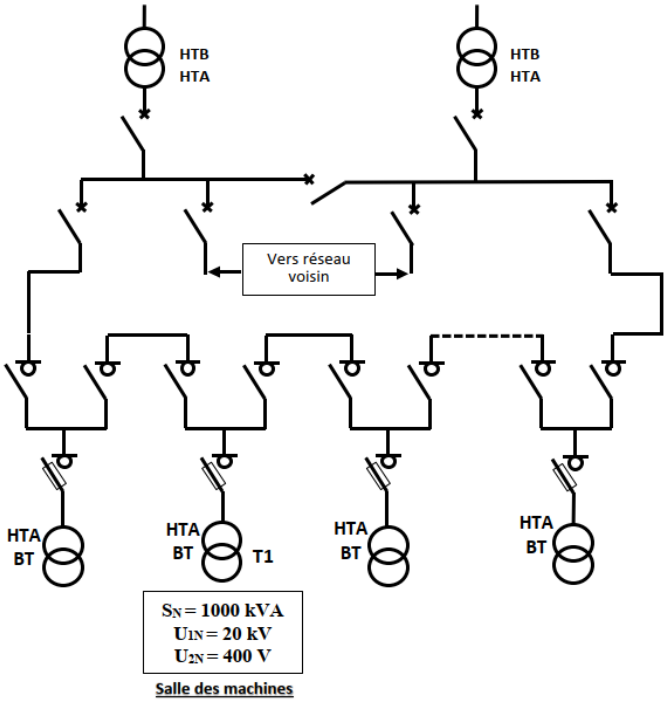
……..

Extrait bac 2022 Session Rattrapage	***Ascenseur à bateaux à plan incliné***

SEV2 : Chaîne d'énergie

Tâche 1 : Étude du schéma d'alimentation de la salle des machines

La salle des machines est alimentée par le réseau **HTA** comme le montre le document ci-dessous :



Q.1) *Identifier la structure du réseau de distribution et préciser la tension de service côté **HTA** ;*

Identification du réseau de distribution (Cocher la bonne réponse)		Valeur de la tension de service côté HTA
Réseau simple dérivation		……
Réseau double dérivation		
Réseau coupure d'artère		

Q.2) *Citer un avantage et un inconvénient de cette structure.*

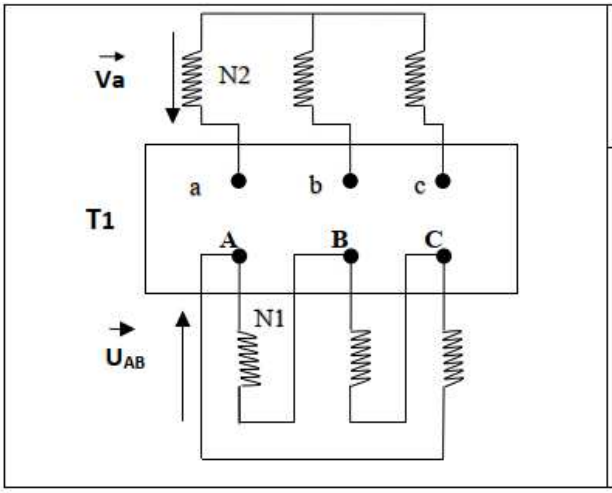
Avantage	Inconvénient
…… ……	…… ……

Tâche 2 : Étude du transformateur T1 (HTA/BT) d'alimentation de la salle des machines

Le transformateur **T1** est alimenté au primaire par le réseau **HTA** comme le montre figure ci-dessus **:**

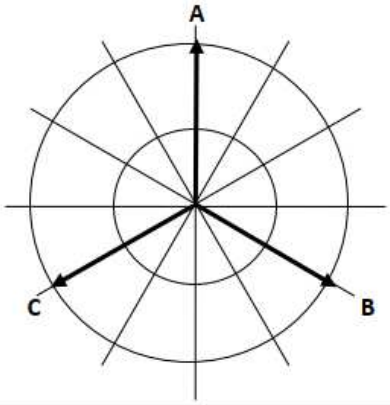
Ce transformateur présente les caractéristiques suivantes : $\mathbf{S_N = 1000\ kVA}$, $\mathbf{U_{1N} = 20\ kV}$, $\mathbf{U_{2N} = 400\ V}$.

Q.3) *Identifier le couplage des enroulements du transformateur **T1*** ;



Identification du couplage des enroulements du transformateur T1
Couplage au primaire : ……   Couplage au secondaire : ……

Q.4) *Compléter le diagramme vectoriel des tensions (Tracer* $\underline{U}_{AB} = \underline{V}_A - \underline{V}_B$, $\underline{U}_{BC}$, $\underline{U}_{CA}$, $\underline{V}_a$, $\underline{V}_b$ *et* $\underline{V}_c$*) en déduire l'indice horaire **I** du transformateur*

Diagramme vectoriel des tensions du transformateur T1	Indice horaire du transformateur
	……

La tension secondaire à vide entre phases est supposée égale à $\mathbf{U_{2N}}$; soit $\mathbf{U_{20} = U_{2N} = 400\ V}$.

Q.5) *Calculer la valeur nominale du courant secondaire* $\boldsymbol{I_{2N}}$ *;*

……..

Q.6) *Exprimer le rapport de transformation* $M = \frac{U_{ab0}}{U_{AB}}$ *en fonction de , avec* $m = \frac{N_2}{N_1}$ *; calculer alors M et m.*

……..

……..

Tâche 3 : Ajout d'un second transformateur T2

Une évolution de l'ascenseur à bateau doit être envisagée pour s'adapter au trafic fluvial, la station décide de s'agrandir. Pour satisfaire les besoins énergétiques de la nouvelle installation, on ajoute un second transformateur **T2** de puissance apparente **S2 = 630 kVA**.

Q.7) *Indiquer la désignation du transformateur **T2** parmi les propositions suivantes* :

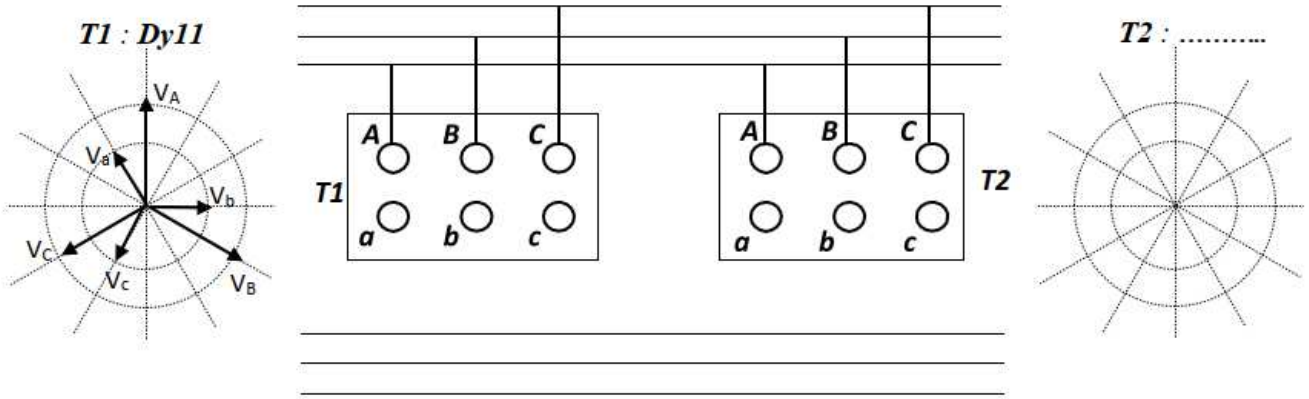
☐ **Yy6** ☐ **Dy7** ☐ **Dy1** ☐ **Dd10**

Q.8) *Donner les conditions de mise en parallèle de deux transformateurs ;*

Cocher les bonnes réponses

	Alimentation des 2 transformateurs par le même réseau.
	Même rapport de transformation.
	Même couplage au primaire.
	Rapport de puissance au plus égal à 2
	Les tensions de court-circuit égales à 10 % près
	Même mode de refroidissement
	Mêmes indices horaires ou indices compatibles.

Q.9) *Compléter le schéma de raccordement des deux transformateurs **T1** et **T2** et le diagramme vectoriel du transformateur **T2**.*



Tâche 4 : Étude du moteur asynchrone de traction

Le moteur de traction est un moteur asynchrone à cage d'écureuil qui présente les caractéristiques suivantes : **90 kW** ; **230V/400V** ; **50 Hz** ; **4 pôles**.

Q.10)*Sachant qu'il est alimenté par une ligne triphasée en **400 V**, quel doit être le couplage des bobines statoriques ? justifier votre réponse*

……..

Q.11)*Calculer la fréquence de synchronisme **ns** (en **tr/min**).*

……..

En marche nominale, le glissement vaut **g = 2 %,**

Q.12)*Calculer la fréquence de rotation **n** (en **tr/min**) ;*

……..

……..

Q.13)*Quelle est alors la valeur du couple utile **Cu** (en **N.m**) ?*

……..

Le moteur est très puissant, pour le régime nominal on peut négliger ses pertes statoriques et mécaniques,

Q.14)*Calculer la puissance électrique absorbée **Pa** (en **kW**) ;*

……..

……..

Q.15)*Calculer l'intensité **I** du courant statorique si le facteur de puissance est de **0,85***

……..

……..

SEV2 : Étude partielle de la chaine d'énergie

Pour économiser l'énergie, le moteur de l'escalier mécanique doit fonctionner à vitesse variable selon les deux modes de fonctionnement suivants :

• Mode normal : fonctionnement à pleine charge à la vitesse normale **V1 = 0,6 m/s** ;

• Mode veille : fonctionnement lors des phases de non-utilisation à la vitesse de veille **V2 = 0,28 m/s**.

Ces deux modes de fonctionnement nécessitent l'utilisation d'un variateur de vitesse.

Tâche 1 : Étude du moteur d'entrainement

La plaque signalétique du moteur asynchrone triphasé porte les caractéristiques nominales suivantes :

- Tensions : **230 V/400 V** ;
- Puissance utile : **11 kW** ;
- Nombre de pôles : **4**.

Q.1- *Sachant que le moteur est couplé sur un réseau triphasé de tension composée* ***U = 400 V - 50 Hz****, déterminer le mode de couplage du moteur sur ce réseau.*

……..

La charge à déplacer (escalier et personnes) impose au moteur un couple résistant $\mathbf{C_R = 70\ N.m}$ supposé constant pour les deux modes de fonctionnement (mode normal et mode veille).

Pour le fonctionnement en mode normal (grande vitesse), le variateur alimente le moteur par une tension $\mathbf{U_1 = U = 400\ V}$ et une fréquence $\mathbf{f_1 = f = 50\ Hz}$.

Q.2- *Tracer la caractéristique mécanique du couple résistant* $\boldsymbol{C_R(n)}$*. En déduire graphiquement la vitesse de rotation* $\boldsymbol{n_1}$ ***en tr/min*** *du moteur.*

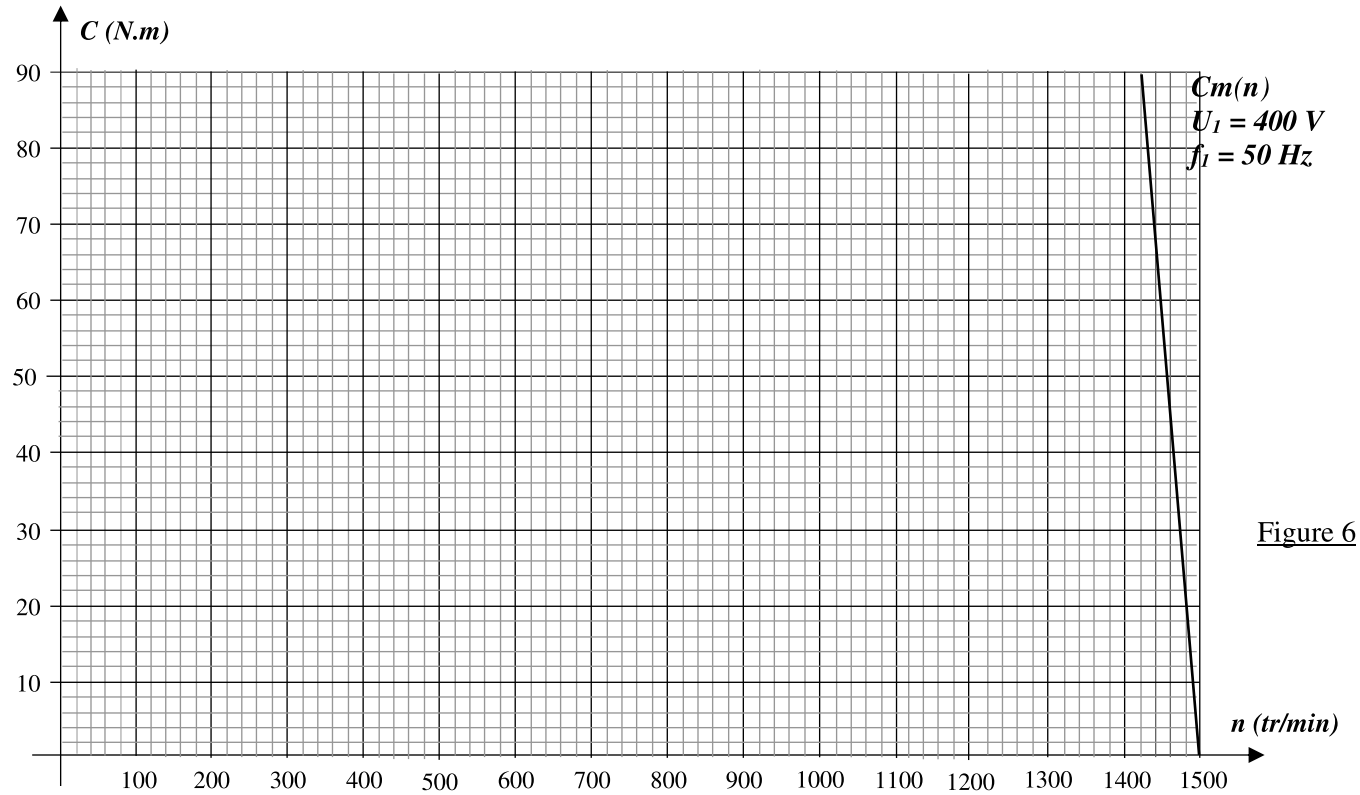


Figure 6

Le variateur agit sur la fréquence **f** de la source triphasée et la valeur efficace de la tension composée **U** tout en conservant le rapport **U/f** constant. On a ainsi, les caractéristiques mécaniques parallèles les unes aux autres.

En mode veille (petite vitesse), la vitesse de rotation du moteur est $\mathbf{n_2 = 690\ tr/min}$ correspondant à $\mathbf{V_2 = 0,28\ m/s}$.

***Q.3**- Tracer la caractéristique mécanique du moteur, en mode veille, sur le même repère de la **question 2**. En déduire la vitesse de synchronisme **n_{S2} en tr/min**.*

……..

***Q.4**- Calculer la fréquence f2 fournie par le variateur, en déduire la valeur efficace de la tension composée U_2 correspondante.*

……..

……..

Tâche 2 : Étude du variateur de vitesse

Le variateur de vitesse utilisé est de la gamme Altivar ATV31.

***Q.5**- En se référant au document ressources ci-dessous, choisir la référence de ce variateur.*

Variateur de vitesse Altivar 31

Variateurs avec radiateurs (gamme de fréquence de 0.5 à 500Hz)										
Moteur		Réseau				Altivar 31				
Puissance indiquée sur plaque *(1)*		Courant de ligne *(2)*		Puissance apparente	Icc ligne présumé maxi (4)	Courant nominal	Courant transitoire maxi pendant 60 s	Puissance dissipée à charge nominale	Références (5)	Masse
		à U1	à U2 (3)			4 kHz				
kW	***HP***	**A**	**A**	**kVA**	**kA**	**A**	**A**	**W**		**kg**
Tension d'alimentation triphasée : 380...500 V 50/60 Hz, avec filtres CEM intégrés										
0.37	*0.5*	2.2	1.7	1.5	5	1.5	2.3	32	**ATV 31H037N4** *(6)*	1.8
0.55	*0.75*	2.8	2.2	1.8	5	1.9	2.9	37	**ATV 31H055N4** *(6)*	1.8
0.75	*1*	3.6	2.7	2.4	5	2.3	3.5	41	**ATV 31H075N4** *(6)*	1.8
1.1	*1.5*	4.9	3.7	3.2	5	3	4.5	48	**ATV 31HU11N4** *(6)*	1.8
1.5	*2*	6.4	4.8	4.2	5	4.1	6.2	61	**ATV 31HU15N4** *(6)*	1.8
2.2	*3*	8.9	6.7	5.9	5	5.5	8.3	79	**ATV 31HU22N4** *(6)*	3.1
3	-	10.9	8.3	7.1	5	7.1	10.7	125	**ATV 31HU30N4** *(6)*	3.1
4	*5*	13.9	10.6	9.2	5	9.5	14.3	150	**ATV 31HU40N4** *(6)*	3.1
5.5	*7.5*	21.9	16.5	15	22	14.3	21.5	232	**ATV 31HU55N4** *(6)*	6.5
7.5	*10*	27.7	21	18	22	17	25.5	269	**ATV 31HU75N4** *(6)*	6.5
11	*15*	37.2	28.4	25	22	27.7	41.6	397	**ATV 31HD11N4** *(6)*	11
15	*20*	48.2	36.8	32	22	33	49.5	492	**ATV 31HD15N4** *(6)*	11

Référence du variateur	ATV ……

Le variateur de vitesse est préprogrammé en mode 4 vitesses. Ces 4 vitesses sont sélectionnées par les entrées logiques **LI3** et **LI4** :

- Vitesse 1 (SP1 = consigne sur l'entrée AI1) si les entrées **LI3** et **LI4** sont désactivées ;
- Vitesse 2 (SP2) de 25 Hz si l'entrée **LI3** est activée (reliée à 24 V) ;
- Vitesse 3 (SP3) de 50 Hz si l'entrée **LI4** est activée (reliée à 24 V) ;
- Vitesse 4 (SP4) de 60 Hz si les entrées **LI3** et **LI4** sont activées (reliées à 24 V).

Le choix du sens de marche du moteur est sélectionné par les entrées logiques **LI1** et **LI2** (voir figure 7) :

- Sens de marche avant si l'entrée **LI1** est activée (reliée à 24 V) ;
- Sens de marche arrière si l'entrée **LI2** est activée (reliée à 24 V).

Les grandeurs caractéristiques de l'escalier mécanique sont données dans le tableau ci-dessous :

Mode de fonctionnement	Vitesse de déplacement	Fréquence de variateur
Mode normale (grande vitesse)	V_1 = 0,6 m/s	f_1 = **50** Hz
Mode veille (petite vitesse)	V_2 = 0,28 m/s	f_2 = **25** Hz

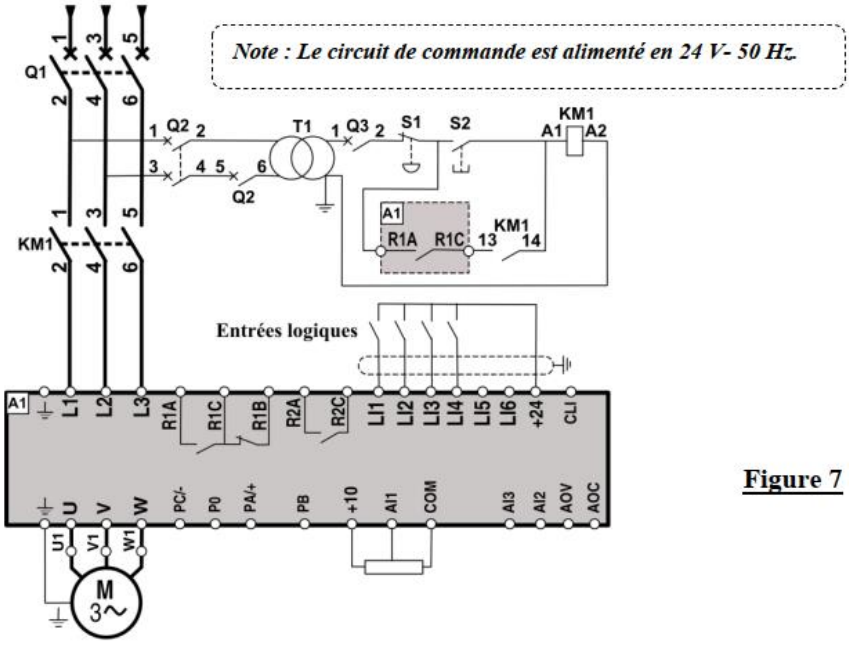


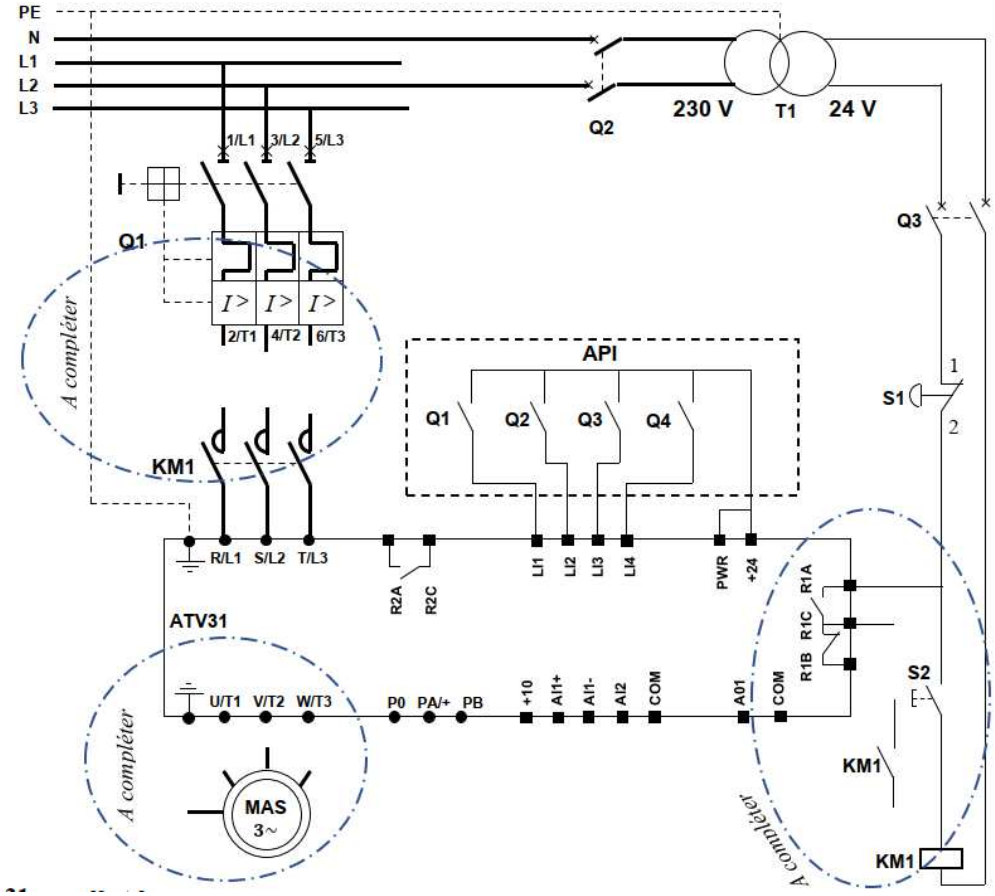
Figure 7

Q.6- *Pour le sens de marche avant, compléter l'état logique des entrées LI1, LI2, LI3 et LI4 du variateur ATV31 en fonction des modes de fonctionnement.*

- Entrée activée : 1 logique
- Entrée désactivée : 0 logique

	Entrées variateur ATV 31			
	LI1	LI2	LI3	LI4
Grande vitesse	……	……	……	……
Petite vitesse	……	……	……	……

Q.7- *Compléter le schéma de câblage du variateur en se rapportant à la figure 7.*



***Q.8**- En utilisant les documents ressources ci-dessous, faire le choix du disjoncteur Q1 et du contacteur KM1.*

Appareillage de protection et de commande

Départ-moteur pour variateur ATV 31H

Variateur de vitesse Référence	Puissance *(2)* normalisée des moteurs 4 pôles 50/60 Hz *(1)*		Disjoncteur (2)		ICC Ligne présumé maxi	Contacteur *(3)* Référence de base à compléter par le repère de la tension *(4)*
			Référence	Calibre		
	kW	***HP***		**A**	**kA**	
Tension d'alimentation triphasée : 380...500 V						
ATV 31H037N4	0,37	*0,5*	**GV2 L07**	2,5	5	**LC1 K0610..**
ATV 31H055N4	0,55	*0,75*	**GV2 L08**	4	5	**LC1 K0610..**
ATV 31H075N4	0,75	*1*	**GV2 L08**	4	5	**LC1 K0610..**
ATV 31HU11N4	1,1	*1,5*	**GV2 L10**	6,3	5	**LC1 K0610..**
ATV 31HU15N4	1,5	*2*	**GV2 L14**	10	5	**LC1 K0610..**
ATV 31HU22N4	2,2	*3*	**GV2 L14**	10	5	**LC1 K0610..**
ATV 31HU30N4	3	-	**GV2 L16**	14	5	**LC1 K0610..**
ATV 31HU40N4	4	*5*	**GV2 L16**	14	5	**LC1 K0610..**
ATV 31HU55N4	5,5	*7,5*	**GV2 L22**	25	22	**LC1 D09..**
ATV 31HU75N4	7,5	*10*	**GV2 L32**	32	22	**LC1 D18..**
ATV 31HD11N4	11	*15*	**NS80HMA**	50	22	**LC1 D32..**
ATV 31HD15N4	15	*20*	**NS80HMA**	50	22	**LC1 D32..**

(1) Les valeurs exprimées en HP sont conformes au NEC (National Electrical Code).
(2) NS80HMA : produit commercialisé sous la marque Merlin Gerin.
(3) Composition des contacteurs :
LC1-K06 : 3 pôles + 1 contact auxiliaire "F"
LC1-D09/D18/D32/D40 : 3 pôles + 1 contact auxiliaire "F" + 1 contact auxiliaire "O"

(4) Tensions du circuit de commande usuelles.

Circuit de commande en courant alternatif

	Volts ~	**24**	**48**	**110**	**220**	**230**	**240**
LC1-K	50/60 Hz	**B7**	**E7**	**F7**	**M7**	**P7**	**U7**
	Volts ~	**24**	**48**	**110**	**220/230**	**230**	**230/240**
LC1-D	50 Hz	**B5**	**E5**	**F5**	**M5**	**P5**	**U5**
	60 Hz	**B6**	**E6**	**F6**	**M6**	**-**	**U6**
	50/60 Hz	**B7**	**E7**	**F7**	**M7**	**P7**	**U7**

Disjoncteur Q1	……

Contacteur KM1	……

<u>Tâche 3 : Étude du transformateur de circuit de commande</u>

Le circuit de commande et de signalisation du système est alimenté par l'intermédiaire d'un transformateur monophasé dont les tensions nominales sont : **230 V/ 24 V- 50 Hz**.
Le transformateur délivre au secondaire un courant nominal I2 = 25 A.

***Q.9**- Calculer la puissance apparente S_2 pour une tension au secondaire U_{2N} = 24 V.*

……..

……..

***Q.10**- Choisir alors la puissance **S** du transformateur qui convient parmi les propositions suivantes :*

160 VA	250 VA	400 VA	630 VA	1000 VA	1600 VA

S = ……..

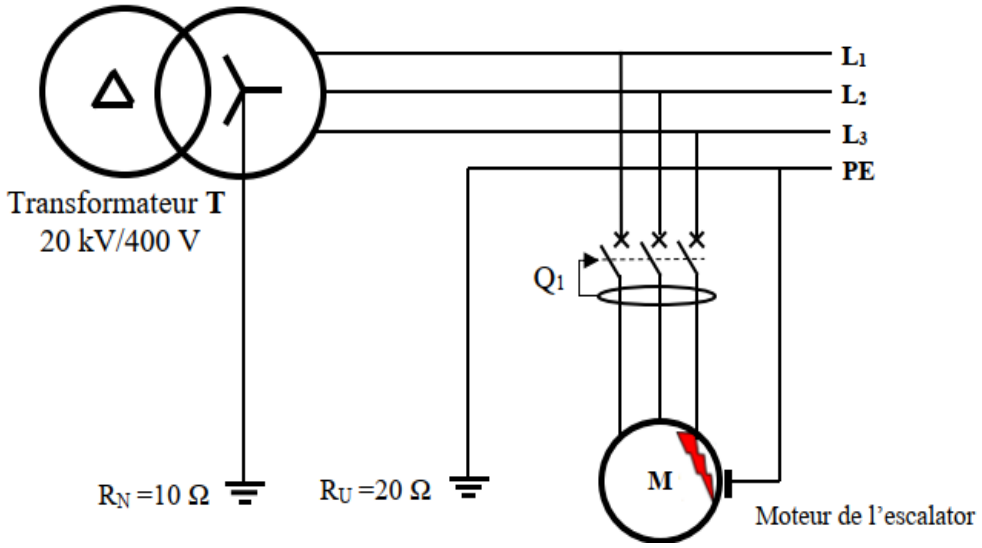
***Q.11**- Sachant que la puissance fournie par ce transformateur est **P_2 = 550 W** et ses pertes totales sont **P_{pt} = 50 W**, calculer en **%** son rendement nominal **η**.*

……..

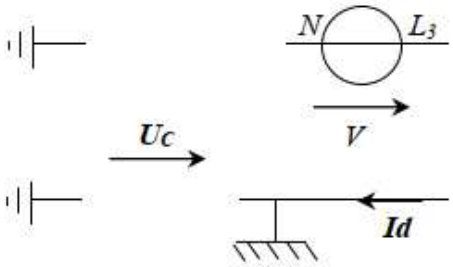
……..

Tâche 4 : Protection des personnes contre les contacts indirects

Pour assurer la protection des personnes contre les contacts indirects, on insère dans l'installation électrique de l'escalator un dispositif différentiel **Q1** de sensibilité **IΔn = 500 mA** et le régime de neutre adopté est **TT**. Un défaut d'isolement apparaît entre **la phase 3** et **la masse** métallique du moteur **M** comme indiqué sur le schéma simplifié ci-dessous. La tension limite de sécurité est **UL = 50 V**.



***Q.12**- Compléter le schéma équivalent du circuit de défaut.*



***Q.13**- Sachant que **R_N = 10 Ω**, **R_U = 20 Ω** et **V = 230 V**, calculer le courant de défaut **Id**.*

……..

……..

***Q.14**- Calculer la tension de contact **U_C**. Est-elle dangereuse ? Pourquoi ?*

……..

……..

***Q.15**- Le dispositif différentiel **Q1** déclenchera-t-il ? Justifier.*

……..

……..

Extrait bac 2023 Session Rattrapage	***STATION D'EPURATION DES EAUX USEES (STEP)***

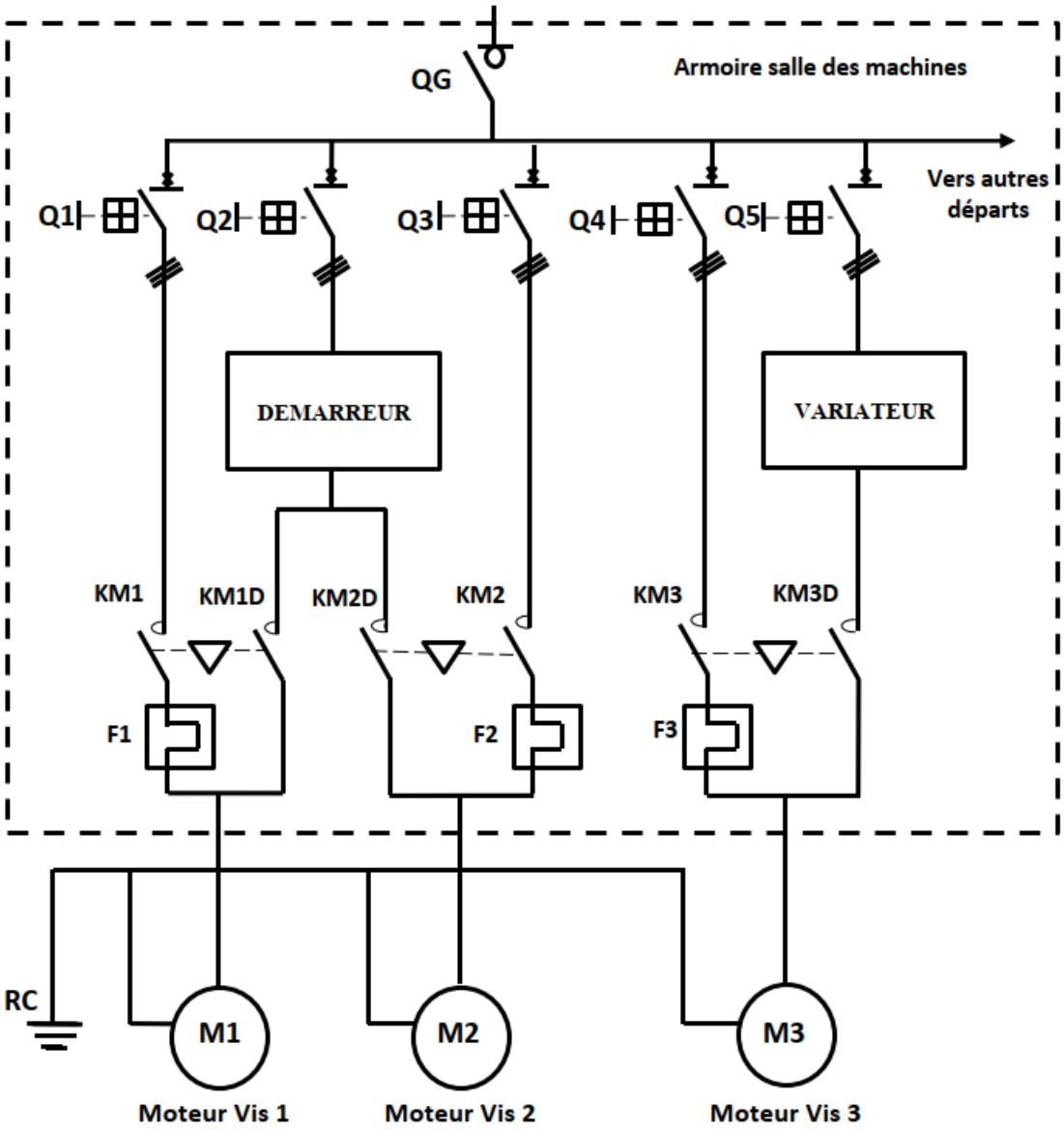
SEV 2 : ÉTUDE DE LA CHAINE D'ENERGIE DE L'UNITE DE RELEVAGE

L'unité de relevage est équipée de trois vis d'Archimède (**V1**, **V2**, **V3**) chacune d'elle est entrainée par un moteur asynchrone triphasé de type LS 280 MD de puissance utile **Pn = 90 kW**.

Pour s'adapter aux variations du débit d'arrivée, le fonctionnement est le suivant :

- ➢ Fonctionnement en continu d'une vis **V1** à vitesse nominale si le débit est normal.
- ➢ La vis **V2** est en réserve en cas de défaillance de la vis **V1**.
- ➢ Un démarreur électronique est utilisé pour diminuer les contraintes de torsion sur les vis **V1** ou **V2** pendant le démarrage.
- ➢ Pour régler le débit de refoulement, le moteur **M3** entrainant la vis **V3** est commandé par un variateur de vitesse.

La figure ci-dessous représente l'installation électrique de l'unité de relevage.



<u>Tâche 1 : Démarrage direct du moteur M1</u>

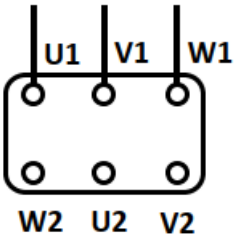
M1 est un moteur asynchrone triphasé à cage de type LS 280 MD dont les caractéristiques sont :
2p = 4 pôles ; **Pn = 90 kW** ; **Nn = 1478 tr/min** ; **230 / 400V** ; **In** (400 V) = **165 A** ; **cos φ = 0,8** ;
Rendement **η = 93,8 %** ; **Id / In = 7,6** ; **Cd / Cn = 3** ; **Cm / Cn = 3**

Le réseau est triphasé de tensions entre phases **U = 400 V - 50 Hz**.

Q.1) *Préciser comment doit être couplé le moteur. Justifier votre réponse et compléter la représentation de la plaque à bornes avec les barrettes de couplage.*

……..

……..



Q.2) *Calculer le couple nominal* ***Cn*** *du moteur d'entrainement d'une vis.*

……..

……..

Q.3) *Préciser les valeurs du couple de démarrage* ***Cd*** *et du couple maximal* ***Cm****.*

……..

……..

<u>Tâche 2 : Alimentation du moteur M1 par un démarreur électronique</u>

Dans le cas d'un démarrage direct, sous la tension nominale d'une phase **V**, le moteur absorbe le courant **Id** et développe un couple **Cd**.

Q.4) *Calculer le courant au démarrage* ***Id*** *du moteur dans le cas d'un démarrage direct sur le réseau.*

……..

……..

Au démarrage avec le démarreur, sous la tension d'une phase **V'**, le moteur absorbe le courant **Id'** et développe un couple **Cd'**. On suppose que la réduction de couple pendant le démarrage est égale au rapport du carré des courants **Cd'/Cd = (Id'/Id)^2**.

Le démarreur est réglé pour avoir une limitation du courant à **Id' = 3.In**.

Q.5) *Calculer le nouveau couple de démarrage* ***Cd'****.*

……..

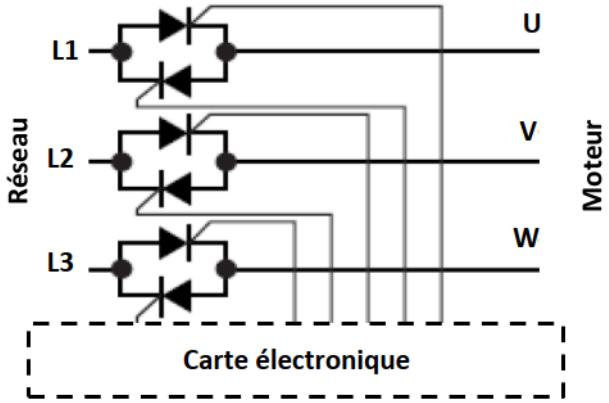
……..

Le moteur asynchrone triphasé est alimenté par le démarreur électronique dont le schéma de principe est donné ci-dessous :

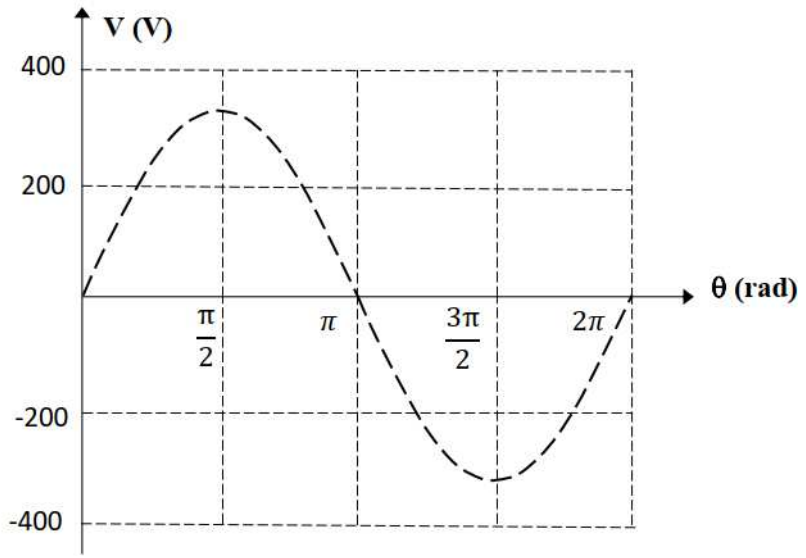
Ce démarreur électronique est constitué de :

- Trois paires de thyristors montés en tête-bêche mis en série sur les phases statoriques du moteur.
- Une carte électronique de contrôle réalisant la commande de phase des thyristors, la surveillance et la protection de l'ensemble démarreur-moteur.

Supposons que les enroulements du moteur sont purement résistifs.



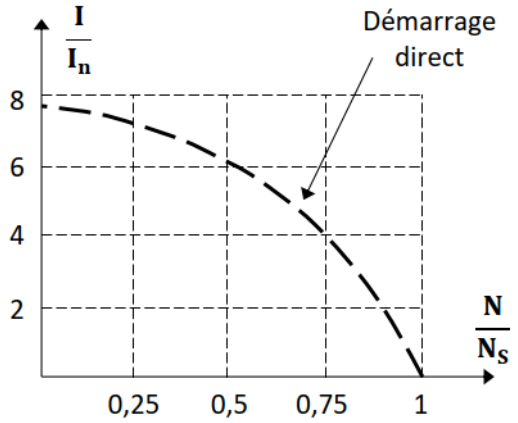
Q.6) *Dessiner la forme de la tension d'une phase du moteur pour un retard à l'amorçage de* ***π/2****.*



<u>Tâche 3 : Étude du variateur de vitesse</u>

M3 est un moteur asynchrone triphasé **tétrapolaire** alimenté par un variateur électronique de vitesse.
Le variateur est réglé pour avoir une limitation du courant à **2.In** et fonctionne en mode **U/f** constant. La vis d'Archimède tourne à une vitesse telle que la vitesse de synchronisme du moteur **M3** est **N's = 600 tr/min** qui correspond à une fréquence **f '** du variateur.
On admet que le glissement reste sensiblement identique à sa valeur nominale **g = 1,46 %**.

Q.7) *Compléter la courbe* ***I/In = f (N/NS)*** *ci-dessous en traçant l'évolution du courant dans le moteur en présence du variateur.*



Q.8) *Calculer la vitesse rotorique* ***N'****(en tr/min).*

……..

……..

Q.9) *Quelle doit être la nouvelle fréquence* ***f '*** *qui correspond à cette vitesse ?*

……..

……..

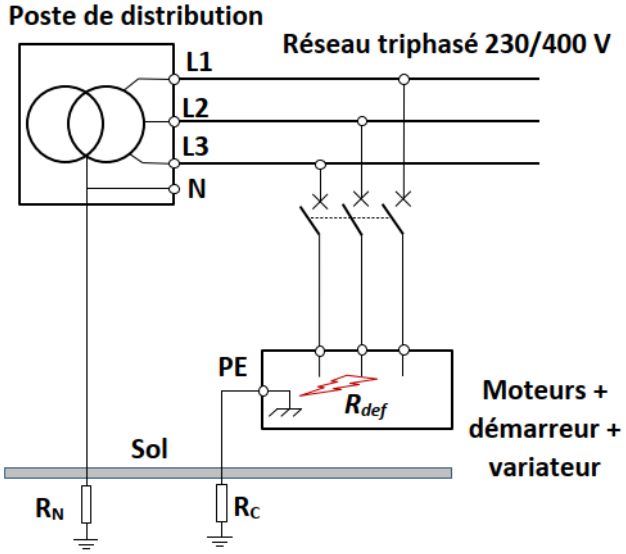
Q.10) *Quelle est dans ces conditions la valeur de la tension* ***U'*** *d'alimentation du moteur ?*

……..

……..

Tâche 4 : Schéma de liaison à la terre TT

Les équipements électriques en particulier le variateur de vitesse, les moteurs asynchrones et toute l'installation de raccordement avec le réseau triphasé, sont placés dans un environnement très humide. On admet que le régime T.T a été retenu pour cette installation (voir schéma ci-contre) :



Q.11) *Définir la notion de contact indirect et indiquer les mesures de protection mises en œuvre dans ce schéma de liaison à la terre pour protéger les personnes de ce type de défaut.*

……..

……..

Un défaut d'isolement provoque un contact électrique entre la phase **L2** et le châssis du moteur **M1**. La résistance de ce contact est égale à $\mathbf{R_{def} = 4\ \Omega}$. On donne la résistance Neutre/Terre, $\mathbf{R_N = 10\ \Omega}$ et la résistance châssis/Terre, $\mathbf{R_C = 30\ \Omega}$. On note $\mathbf{U_{def}}$ la tension de défaut qui apparaîtra sur le châssis du moteur.

Q.12) *Compléter le circuit électrique équivalent qui montre l'écoulement du courant de défaut,* $\boldsymbol{I_{def}}$.

……..

……..

Q.13) *Calculer la tension de défaut,* $\boldsymbol{U_{def}}$.

……..

……..

Un opérateur touche à main nue la carcasse du moteur, sujet de défaut d'isolement.

Q.14) *Compléter le nouveau circuit électrique équivalent puis calculer l'intensité de courant électrique,* ***Ir****, qui traverse le corps de l'opérateur sachant que ce dernier a une résistance* ***Rr = 1200 Ω****. (Prendre la valeur* $\boldsymbol{U_{def}}$ *de la question* ***Q13)****.*

……..

……..

Q.15) *Cette valeur d'intensité, présente-t-elle un réel danger pour l'opérateur ? (****Ir doit-être inférieur à 20 mA****). Justifier votre réponse*

……..

……..