

الصفحة	<p>الامتحان الوطني الموحد للبكالوريا</p> <p>الدورة الاستدراكية 2024</p> <p>-الموضوع-</p>	<p>المملكة المغربية</p> <p>وزارة التربية الوطنية والتعليم الأولي والرياضة</p> <p>المركز الوطني للتقويم والامتحانات</p>
1		
14		
***	PPPPPPPPPPPPPPPPPPPP-PPPP	RS 214A

4h	مدة الإنجاز	اختبار توليفي في المواد المهنية (الجزء الأول) - الفترة الصباحية	المادة
10	المعامل	شعبة الهندسة الكهربائية مسلك الصيانة الصناعية	الشعبة والمسلك

Microstation hydroélectrique

☞ Le sujet comporte au total 14 pages.

☞ Le sujet comporte :

- Pages 02 à 08 (feuilles jaunes) : Socle du sujet et Document ressources ;
- Pages 09 à 14 (feuilles blanches) : Documents réponses.

☞ Le sujet traite 2 domaines principaux :

A- DOMAINE PRINCIPAL D'AUTOMATISME (sur 10 points) :

- Systèmes Automatisés.
- Programmation des API.

B- DOMAINE PRINCIPAL D'ÉLECTROTECHNIQUE (sur 30 points) :

- Moteurs et génératrices à C.A. et à C.C.
- Commande électronique des moteurs.

☞ N.B :

- ☞ Les domaines A et B sont indépendants et peuvent être traités dans un ordre quelconque après lecture des paragraphes 1 et 2 (page 2).
- ☞ La numérotation des questions est continue : de la question 1 (Q1) à la question 25 (Q25).
- ☞ Toutes les réponses doivent être rédigées sur les documents réponses.
- ☞ Si l'espace réservé à la réponse à une question vous est insuffisant, utilisez votre feuille de rédaction en y indiquant le numéro de la question concernée.

- Les pages portant en haut la mention document réponses doivent être obligatoirement jointes à la copie du candidat même si elles ne comportent aucune réponse ;
- Le sujet est noté sur 40 points ;
- Aucun document n'est autorisé ;
- Sont autorisées les calculatrices non programmables.

1. PRÉSENTATION DU SYSTÈME

Le système, objet de l'étude, est une microstation hydroélectrique (microcentrale) de production d'énergie électrique basée sur l'utilisation de la force hydraulique de l'eau.

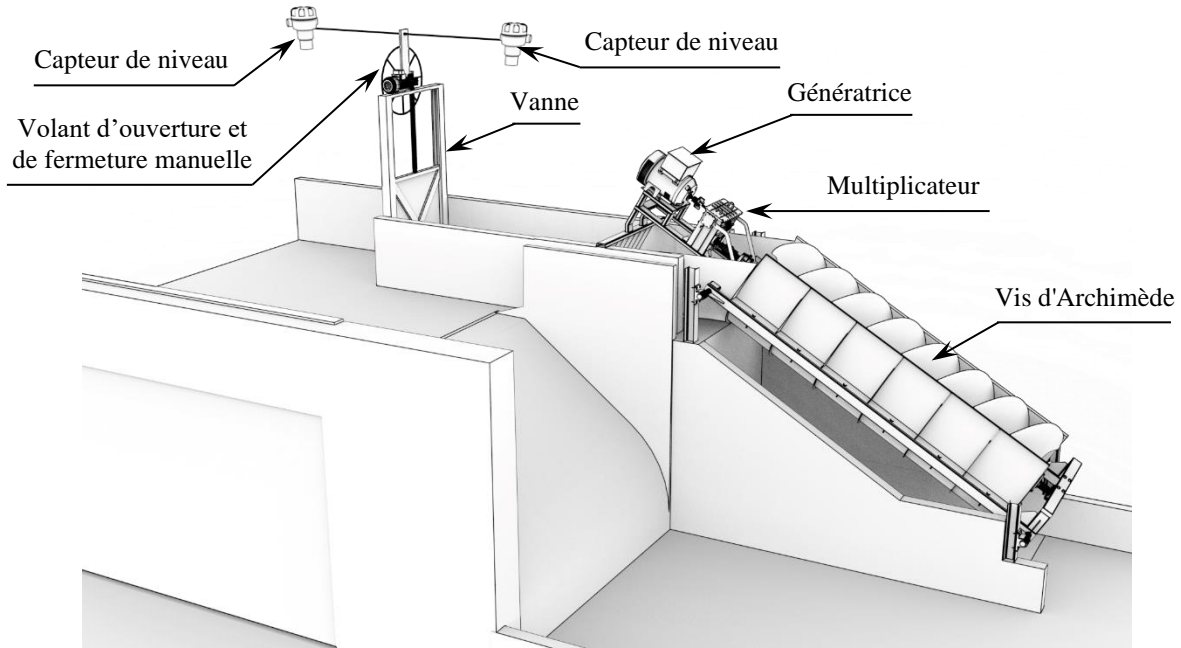


Figure 1 : Aspect d'une microstation hydroélectrique

2. DESCRIPTION FONCTIONNELLE DU SYSTÈME

La microstation hydroélectrique (**figure 1**) est constituée principalement des éléments suivants :

- Une **vanne** qui régule le débit d'eau. Elle est commandée par un moteur à courant continu **M1** associé à un réducteur de vitesse mécanique ;
- Une **vis d'Archimède** ou vis hydrodynamique récupère l'énergie hydraulique du fluide et la convertit en énergie mécanique ;
- Un **multiplicateur** de vitesse augmente la vitesse de rotation de l'arbre en sortie de la vis avant l'accouplement à la génératrice. En effet, les vis d'Archimède ont des vitesses de rotation généralement très faibles ;
- Une **génératrice** convertit l'énergie mécanique de la vis d'Archimède en énergie électrique ;
- Une **armoie électrique** contient :
 - Les appareils de commande, de protection et de signalisation (marche, arrêt, voyants...).
 - Un redresseur, un onduleur et un transformateur pour adapter la valeur efficace et la fréquence des tensions en sortie de la génératrice au réseau ;
 - Un **Automate Programmable Industriel (A.P.I)** qui gère le fonctionnement de la vanne.
- **Deux capteurs** de niveau à ultrason ;
- **Un volant** d'ouverture et de fermeture manuelle de la vanne en cas d'urgence.

A- DOMAINE PRINCIPAL D'AUTOMATISME (sur 10 points)

COMMANDE DE LA VANNE

La vanne est actionnée par le moteur **M1** associé à un réducteur de vitesse mécanique. Pour obtenir la puissance de consigne, le niveau d'eau à l'entrée de la vis doit être ajusté à une hauteur de **2,5 m** en agissant sur le niveau d'ouverture de la vanne.

L'installation (**Figure 2** ci-dessous) est équipée de deux capteurs de niveau à ultrason, intégrés dans des cartes électroniques :

- ✓ Le premier capteur se situe à l'entrée de la vanne, il fournit une information de type TOR : **U1**.
 - ☞ **U1 = 1** si le niveau d'eau à l'entrée de la vanne $\geq 2,5 \text{ m}$.
- ✓ Le deuxième capteur se situe à l'entrée de la vis d'Archimède ; il fournit trois informations de type TOR : **U2, U3** et **U4**.
 - ☞ **U2 = 1** si le niveau d'eau à l'entrée de la vis est $\geq 2,625 \text{ m}$, soit $2,5 \text{ m} + 5 \%$;
 - ☞ **U3 = 1** si le niveau d'eau à l'entrée de la vis est $\leq 2,375 \text{ m}$, soit $2,5 \text{ m} - 5 \%$;
 - ☞ **U4 = 1** si le niveau d'eau à l'entrée de la vis est $= 2,5 \text{ m}$.

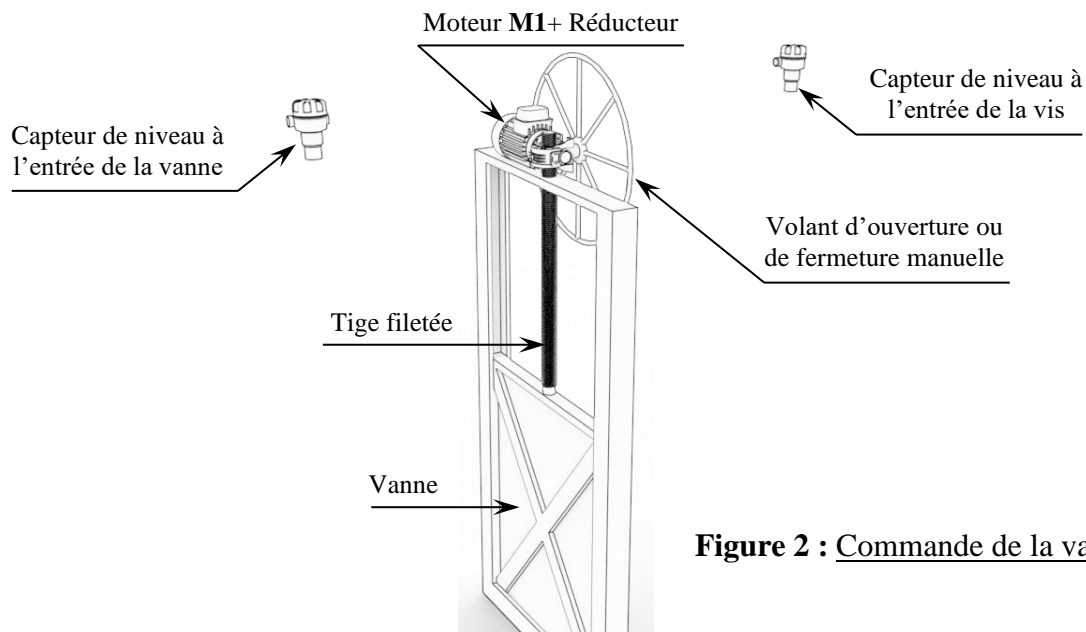
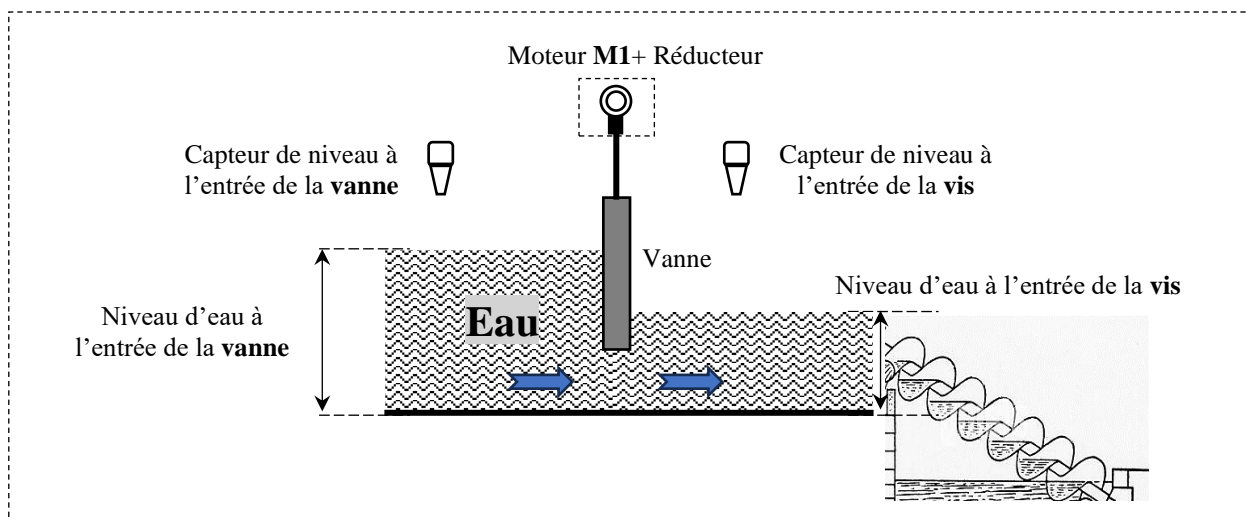
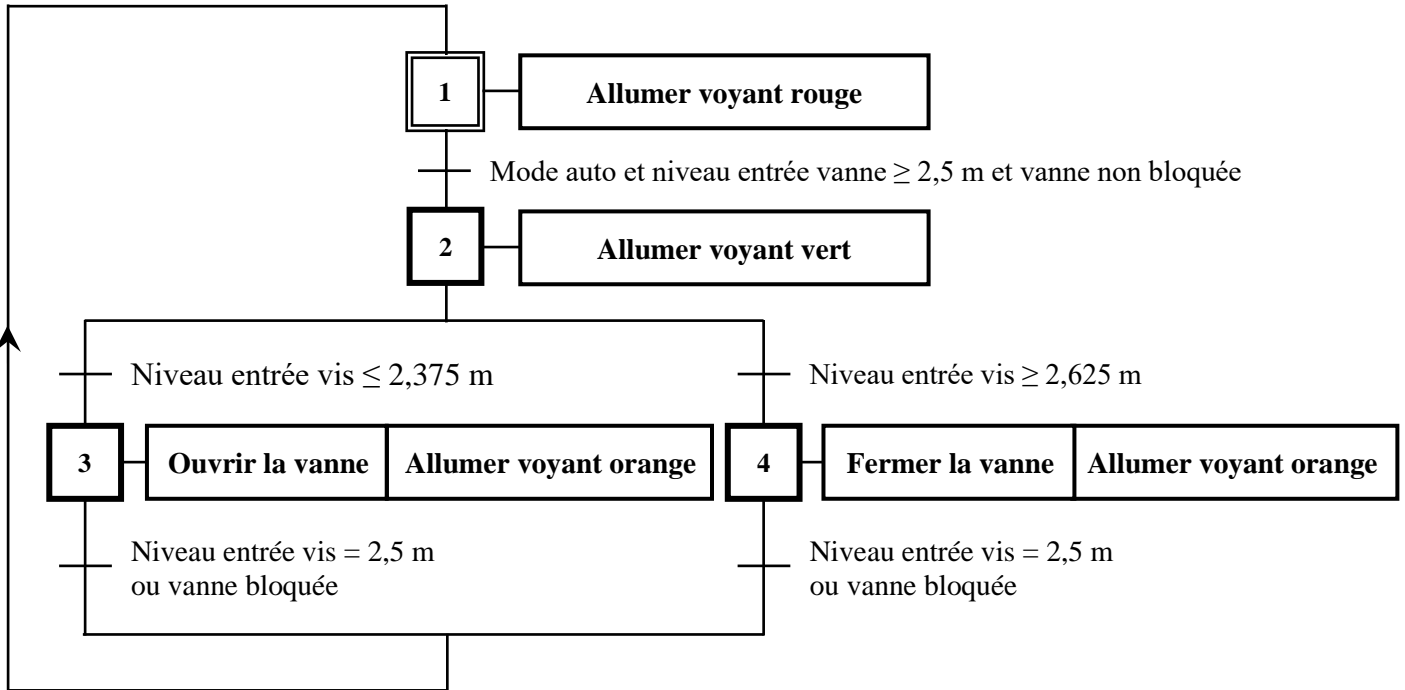


Figure 2 : Commande de la vanne

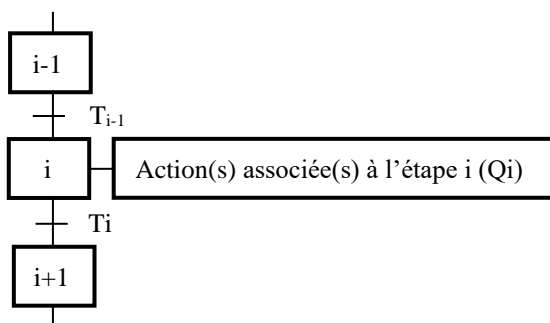
GRAF CET FONCTIONNEL

La vanne possède deux modes de fonctionnement :

- ☞ **Mode semi-automatique** : L'ouverture et la fermeture de la vanne sont commandées par des boutons poussoirs. L'automate programmable industriel (API) est alors déconnecté du système.
- ☞ **Mode automatique** : L'ouverture et la fermeture de la vanne sont commandées par l'automate programmable industriel (API), selon le cycle décrit par le grafcet fonctionnel suivant :



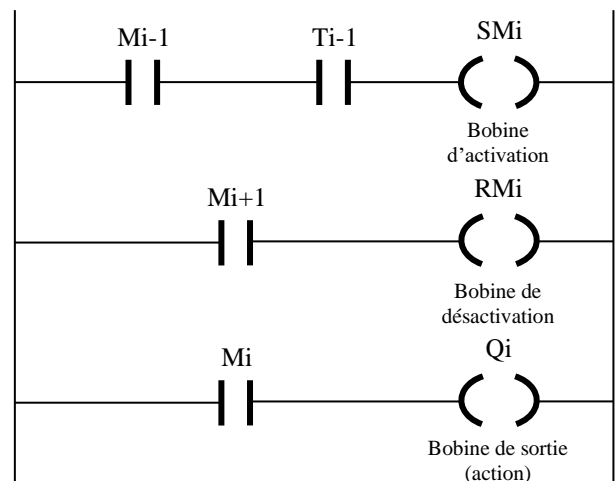
RAPPEL DU PRINCIPE DE TRADUCTION D'UN GRAFCET EN LADDER



L'étape i est matérialisée par une case mémoire M_i .

L'étape i est :

- **Activée** par l'étape $i-1$ et la réceptivité T_{i-1} ;
- **Désactivée** par l'étape $i+1$.



En vous aidant :

- Du Grafcet fonctionnel du système et de la démarche de traduction d'un Grafcet en langage LADDER donnés ci-dessus ;
- De la configuration matérielle de l'A.P.I. donnée en page 08.

Q1- Compléter le Grafcet point de vue **commande** du système.

2,5 pts

Q2- Compléter le Grafcet point de vue **API**.

2,5 pts

Q3- Compléter le programme **Ladder** correspondant.

5 pts

B- DOMAINE PRINCIPAL D'ÉLECTROTECHNIQUE (sur 30 points)

B.1- ÉTUDE DE L'UNITÉ DE PRODUCTION

Le diagramme de blocs fonctionnel de l'unité de production de la microstation hydroélectrique est fourni sur la **Figure 3**, page 10.

Q4- Sur ce diagramme de blocs, indiquer la nature d'énergie aux points **A**, **B**, **C** et **D** (mécanique, électrique ou hydraulique).

1pt

Q5- Calculer la vitesse de rotation N_v (en **tr/min**) de la vis hydrodynamique et calculer sa puissance P_v (en **kW**).

2 pts

B.2- ÉTUDE DE LA GÉNÉRATRICE SYNCHRONÉ TRIPHASÉE

La vis d'Archimède entraîne, à travers un multiplicateur, le rotor de la génératrice synchrone triphasée.

Sur sa plaque signalétique sont portées les indications suivantes :

Génératrice synchrone triphasée

1000 tr/min

$S_N = 51 \text{ kVA}$

$\cos \varphi = 0,82$

Rendement $\eta_g = 93\%$

230/400 V - 50 Hz

Q6- Déterminer le nombre de pôles de la génératrice.

1 pt

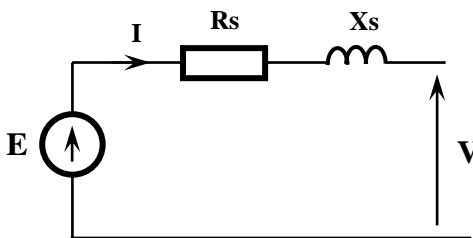
Q7- Calculer les courants de ligne :

1,5 pt

✓ I_Y pour le couplage étoile ;

✓ I_Δ pour le couplage triangle.

On donne ci-dessous le schéma équivalent de l'induit entre phase et neutre :



R_s : Résistance de l'enroulement statorique.

X_s : Réactance synchrone de la génératrice.

Q8- A partir du schéma équivalent, donner l'équation de la f.é.m. induite \vec{E} en fonction de \vec{V} , \vec{I} , R_s et X_s . 1 pt

Q9- Compléter le diagramme vectoriel correspondant à cette équation.

0,75 pt

L'impédance synchrone de la génératrice est $Z_s = 3,5 \Omega$ et la résistance d'un enroulement statorique est $R_s = 0,4 \Omega$.

Q10- Calculer la réactance synchrone X_s en Ω .

0,75 pt

A la vitesse de rotation nominale, la caractéristique à vide est assimilable à une droite d'équation : $E = K \cdot I_e$, avec :

- I_e : intensité du courant d'excitation (en A) ;
- E : f.é.m. induite à vide (en V) ;
- K : constante.

La caractéristique à vide passe par le point : $I_e = 2 \text{ A}$; $E = 180 \text{ V}$.

Q11- Calculer la constante K et préciser son unité.

0,5 pt

Q12- L'induit est couplé en étoile. A vide on mesure une tension entre phases $U = 400 \text{ V}$. Déterminer la valeur efficace E de la f.é.m. induite. En déduire le courant d'excitation I_e .

1 pt

B.3- ETUDE DU MOTEUR M1 DE LA VANNE DE RÉGULATION

Le moteur **M1** permettant l'ouverture ou la fermeture de la vanne de régulation est un moteur à courant continu à aimant permanent dont les indications de la plaque signalétique sont :

- Tension nominale $U = 48 \text{ V}$;
- Puissance utile $P_u = 0,23 \text{ kW}$;
- Courant nominal absorbé $I = 6 \text{ A}$.

Les pertes fer sont identiques aux pertes mécaniques ; soit $P_f = P_m$.

La résistance de l'induit est $R = 0,2 \Omega$.

Q13- Calculer la puissance P_a absorbée (en W) par le moteur **M1**, en déduire son rendement η en %.

1,5 pt

Q14- Calculer la f.é.m. E , puis calculer la puissance électromagnétique P_{em} .

1,5 pt

Q15- Calculer la puissance dissipée par effet Joule P_j et en déduire les pertes collectives P_c .

1,5 pt

Q16- En déduire les pertes fer P_f .

1 pt

À la suite d'un incident mécanique (blocage de la vanne, ...), le rotor du moteur se trouve bloqué.

Q17- Indiquer les principales conséquences d'un **blocage** (cocher les bonnes réponses).

1 pt

Q18- Calculer le courant I_B absorbé lors du blocage.

1 pt

B.4- COMMANDE MANUELLE DU MOTEUR M1

En mode semi-automatique, la vanne, entraînée par le moteur **M1**, est commandée par des boutons poussoirs dans les deux sens (ouverture et fermeture).

Le schéma d'installation correspondant est donné sur les figures 4 et 5 de la page 13.

Q19- Donner le nom et la fonction des éléments **S1**, **T1** et **P1** dans cette installation.

1,5 pt

Q20- Compléter le schéma de câblage du circuit de commande et du circuit de puissance.

3 pts

B.5- ÉTUDE DU PRINCIPE DE L'ONDULEUR

La vitesse de rotation de la vis n'étant pas stable, le couplage de la génératrice au réseau de distribution nécessite d'utiliser un convertisseur de puissance à deux étages AC/DC et DC/AC (figure 6)

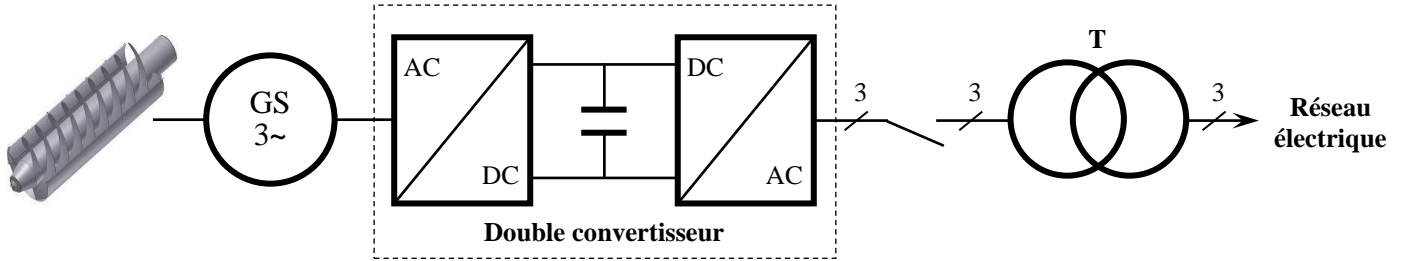
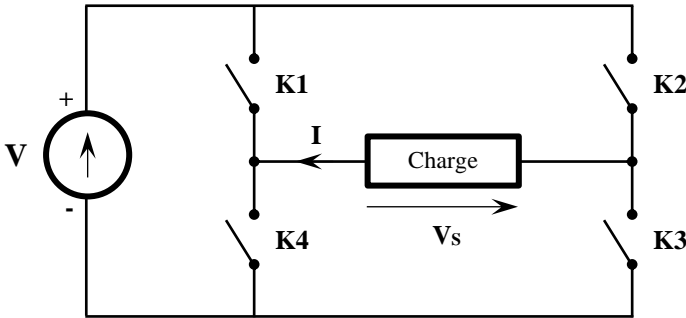


Figure 6 : structure électrique de la microcentrale hydroélectrique

Le convertisseur DC/AC est un onduleur triphasé à commande décalée. Pour des raisons de simplification, l'étude sera limitée à un onduleur monophasé (figure 7).



On donne pour l'onduleur monophasé :

- La période T de la commande est égale à 20 ms ;
- Les interrupteurs $K1$, $K2$, $K3$ et $K4$ sont supposés parfaits ;
- On désigne par αT l'angle de décalage des commandes ;
- V tension continue de 300 V .

Figure7: schéma de principe de l'onduleur monophasé

Commande des interrupteurs pour une période :

$0 < t \leq \alpha T$	$\alpha T < t \leq \frac{T}{2}$	$\frac{T}{2} < t \leq \frac{T}{2} + \alpha T$	$\frac{T}{2} + \alpha T < t \leq T$
$K1$ et $K2$ sont fermés, $K3$ et $K4$ sont ouverts	$K1$ et $K3$ sont ouverts, $K2$ et $K4$ sont fermés.	$K1$ et $K2$ sont ouverts, $K3$ et $K4$ sont fermés.	$K1$ et $K3$ sont fermés, $K2$ et $K4$ sont ouverts.

Q21-Citer un **type** de commande autre que la commande décalée.

1 pt

Q22-Citer un **composant électronique** pouvant matérialiser les interrupteurs.

1 pt

Sur le document réponse N° 06, on donne le schéma équivalent de l'onduleur et l'expression de la tension aux bornes de la charge $V_s(t)$ pour $0 < t \leq \alpha T$.

Q23- Compléter le schéma équivalent de l'onduleur pour $\alpha T < t \leq \frac{T}{2}$, en déduire la valeur numérique de V_s .

1,5 pt

Q24- Compléter le schéma équivalent de l'onduleur pour $\frac{T}{2} < t \leq \frac{T}{2} + \alpha T$ et $\frac{T}{2} + \alpha T < t \leq T$, en déduire la valeur numérique de V_s .

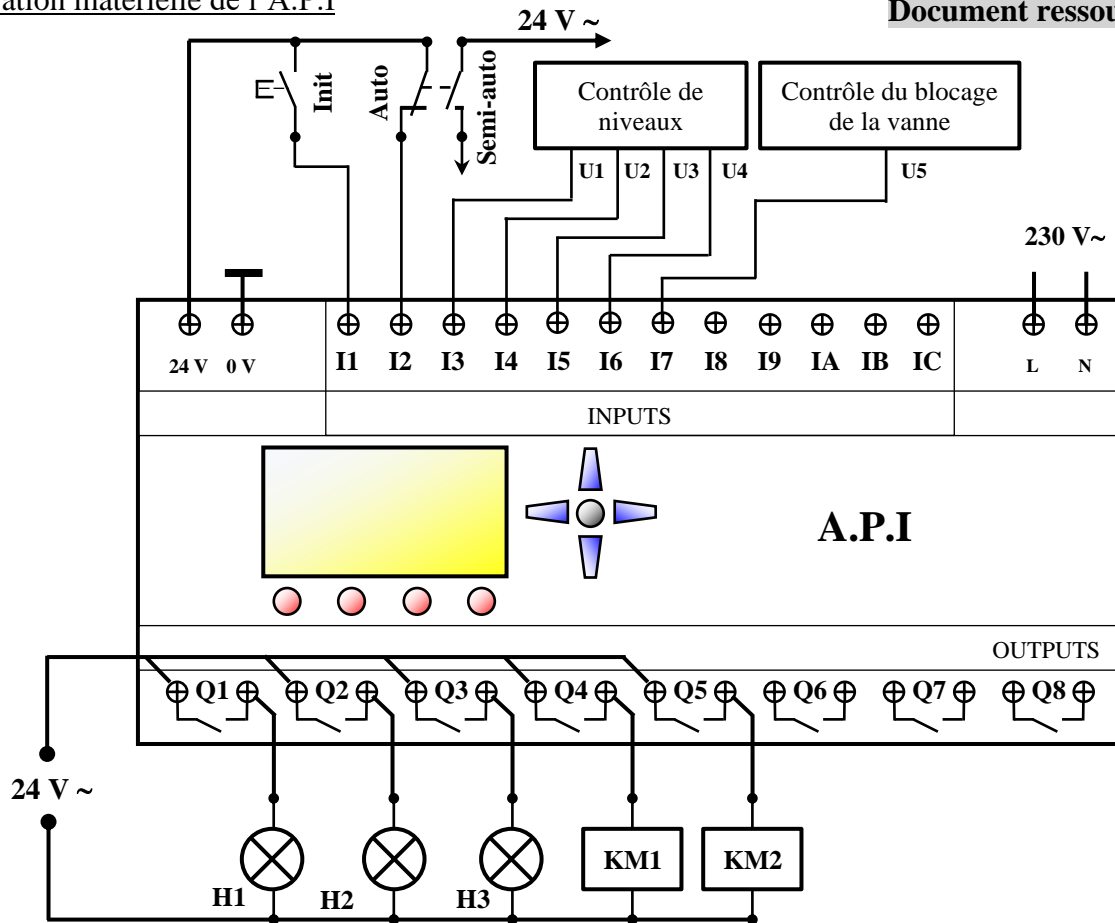
3 pts

Q25- Représenter l'allure de la tension $V_s(t)$ pour une période T .

2 pts

Configuration matérielle de l'A.P.I

Document ressources N° 01



Identification et affectation des sorties

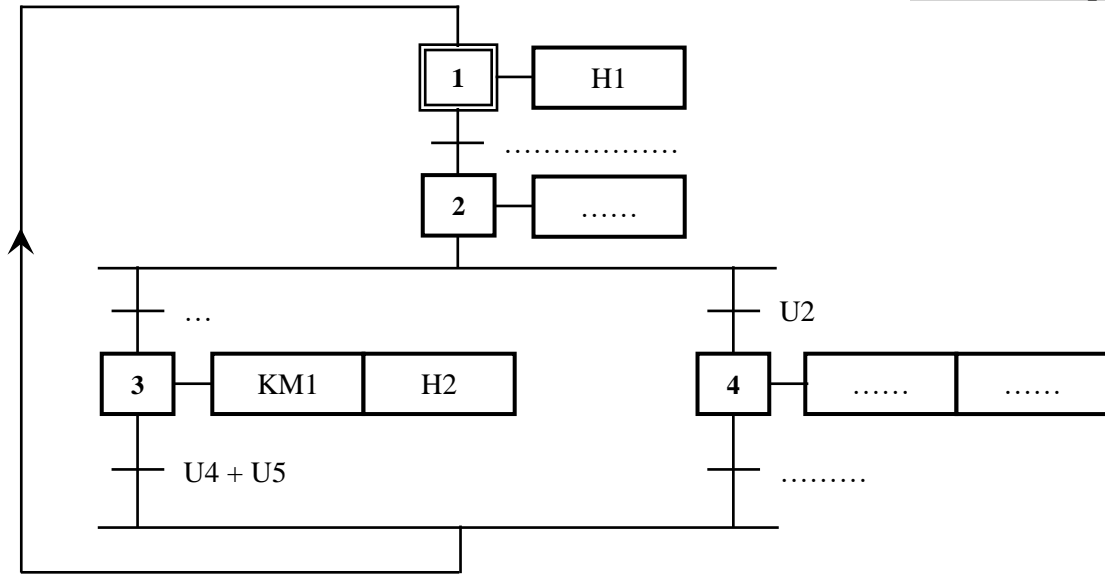
Messages	Voyants	Sorties API
Niveau entrée vanne < 2,5 m	Voyant rouge	H1
Vanne bloquée		
Mode semi-auto		
Régulation niveau entrée vis en cours	Voyant orange	H2
Niveau entrée vis = 2,5 m	Voyant vert	H3

Actions	Actionneurs	Préactionneurs	Sorties API
Ouvrir la vanne	Moteur M1	Contacteurs	KM1
Fermer la vanne		KM2	

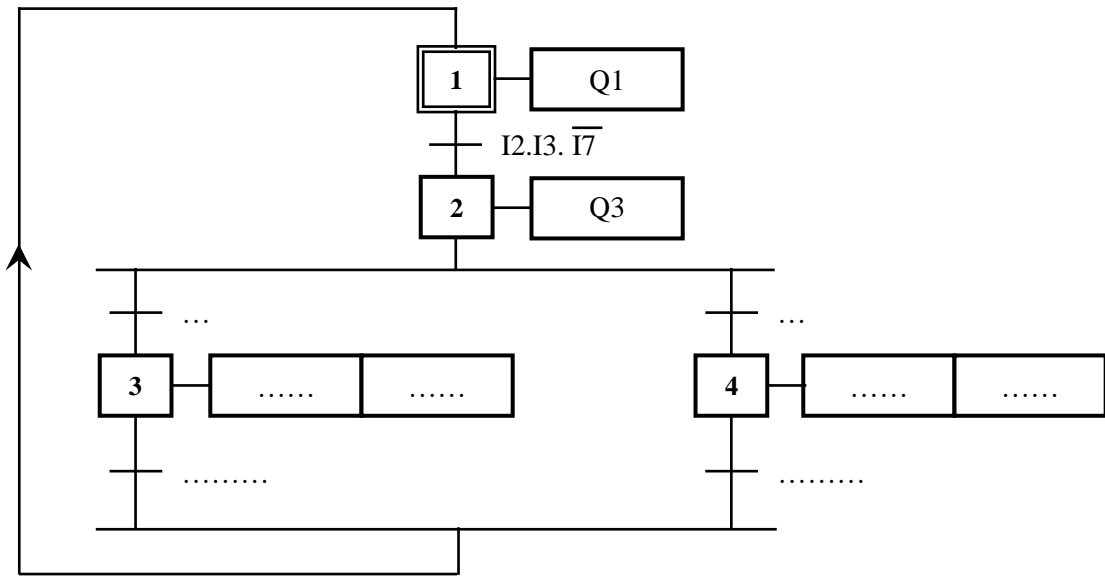
Identification et affectation des entrées

Consignes/Comptes rendus	Boutons/Capteurs		Entrées API
Initialisation	Bouton poussoir		Init
Mode automatique	Commutateur à 2 positions		Auto
Niveau entrée vanne $\geq 2,5$ m	Deux capteurs de niveau + Conditionneur	Signal TOR U1	U1
Niveau entrée vis $\geq 2,5$ m + 5 %		Signal TOR U2	U2
Niveau entrée vis $\leq 2,5$ m - 5 %		Signal TOR U3	U3
Niveau entrée vis = 2,5 m		Signal TOR U4	U4
Vanne bloquée		Chien de garde	Signal TOR U5

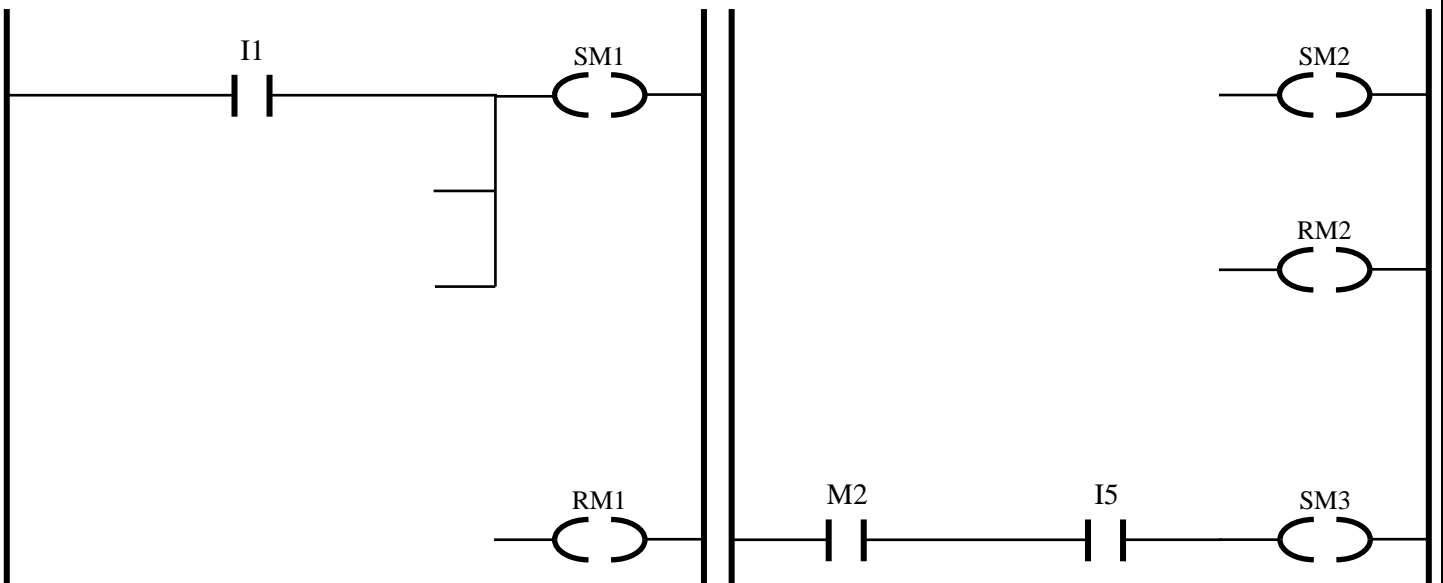
Q1- [2,5 pts]

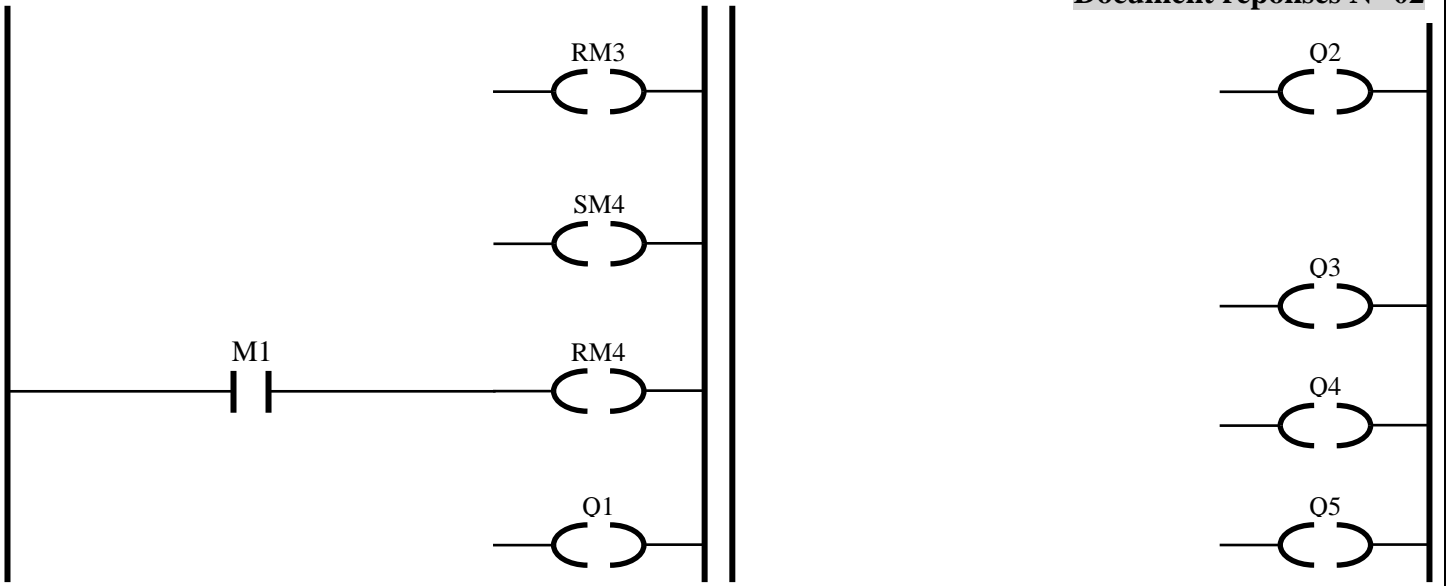


Q2- [2,5 pts]



Q3- [5 pts]





Q4- [1 pt]

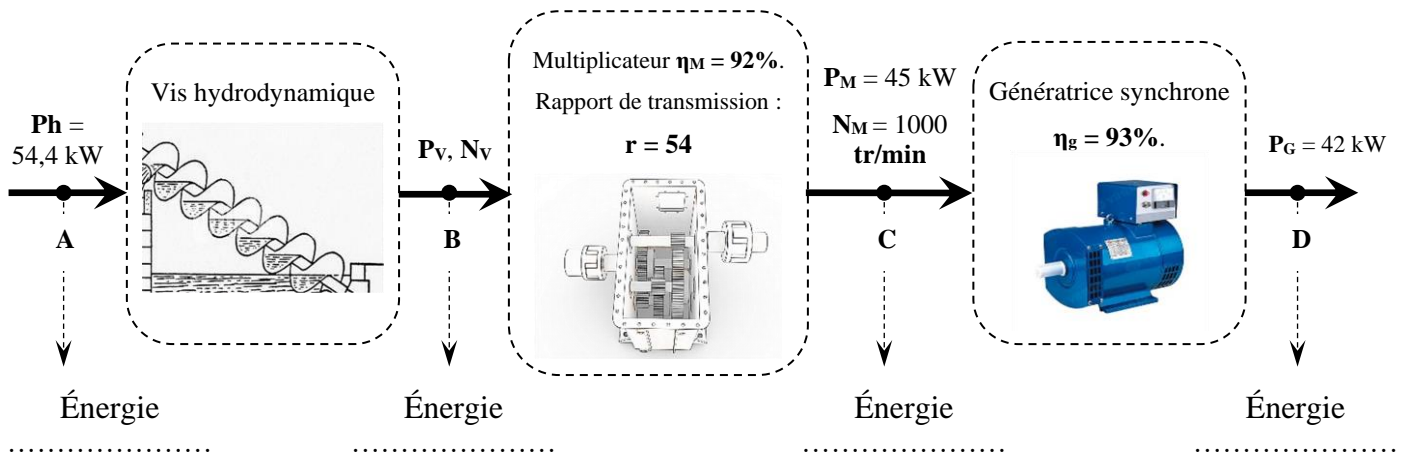


Figure 3 : Diagramme de blocs de l'unité de production

Q5- [2 pts]

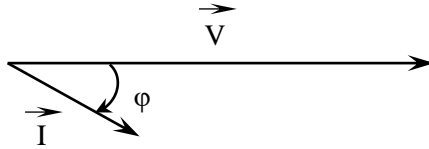
Q6- [1 pt]

Q7- [1,5 pt]

Document réponses N° 03

Q8- [1 pt]

Q9- [0,75 pt]



Q10- [0,75 pt]

Q11- [0,5 pt]

Q12- [1 pt]

Q13- [1,5 pt]

Q14- [1,5 pt]

Document réponses N° 04

Q15- [1,5 pt]

Q16- [1 pt]

Q17- [1 pt]

	Vrai	Faux
Augmentation brutale du courant absorbé
Diminution du couple électromagnétique
Augmentation de la f.é.m.
Surchauffe des enroulements

Q18- [1 pt]

Q19- [1,5 pt]

Élément	Nom	Fonction
S1
T1
P1

Q20- [3 pts]

Document réponses N° 05

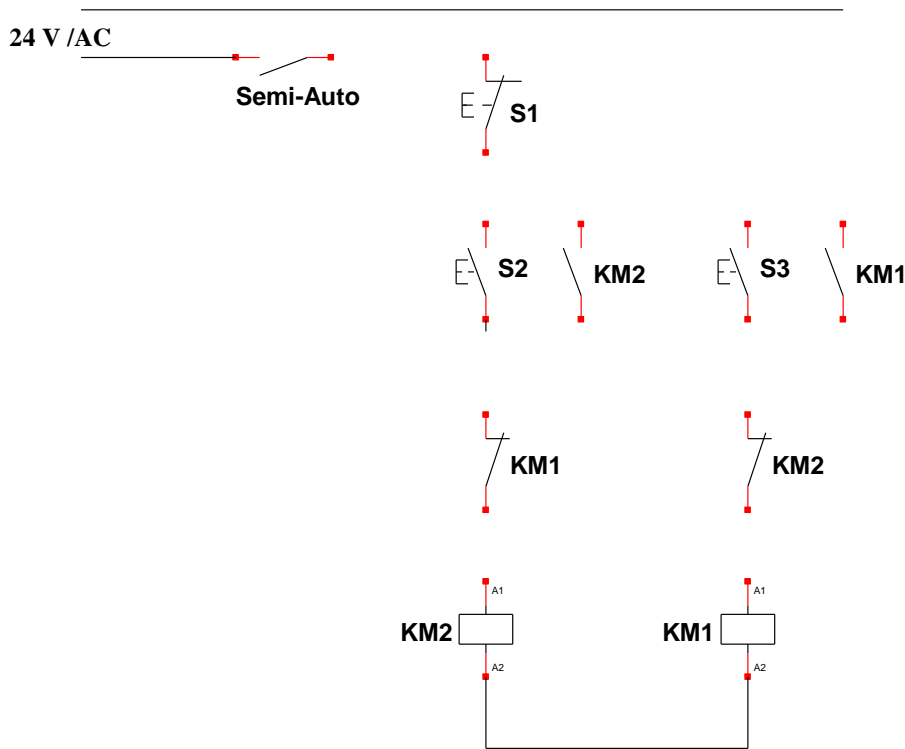


Figure 4 : Circuit de commande

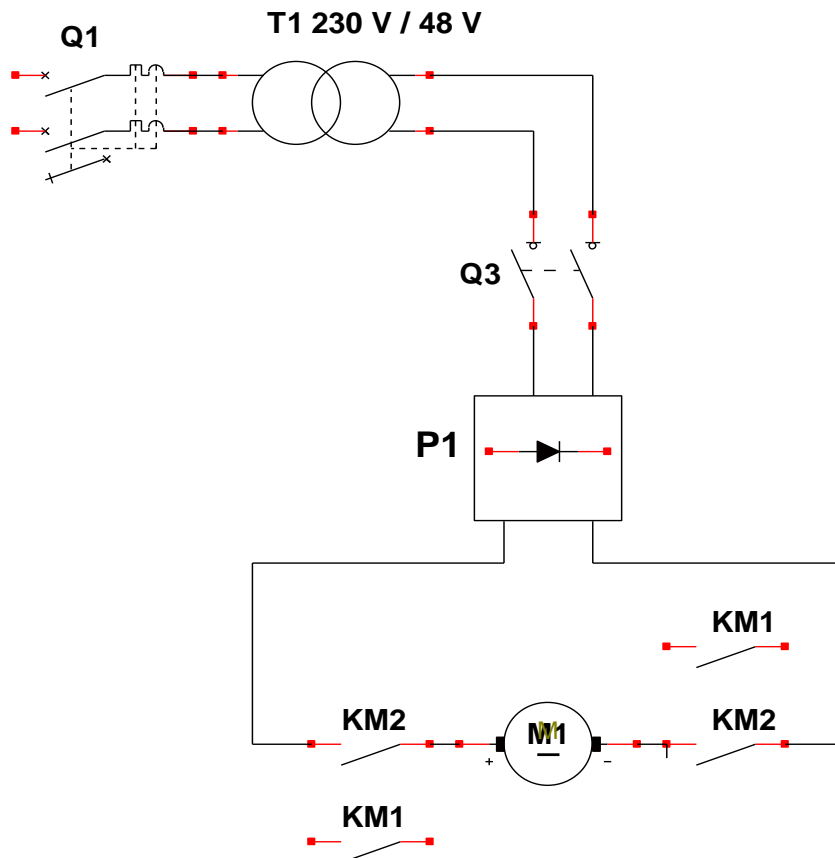


Figure 5 : Circuit de puissance

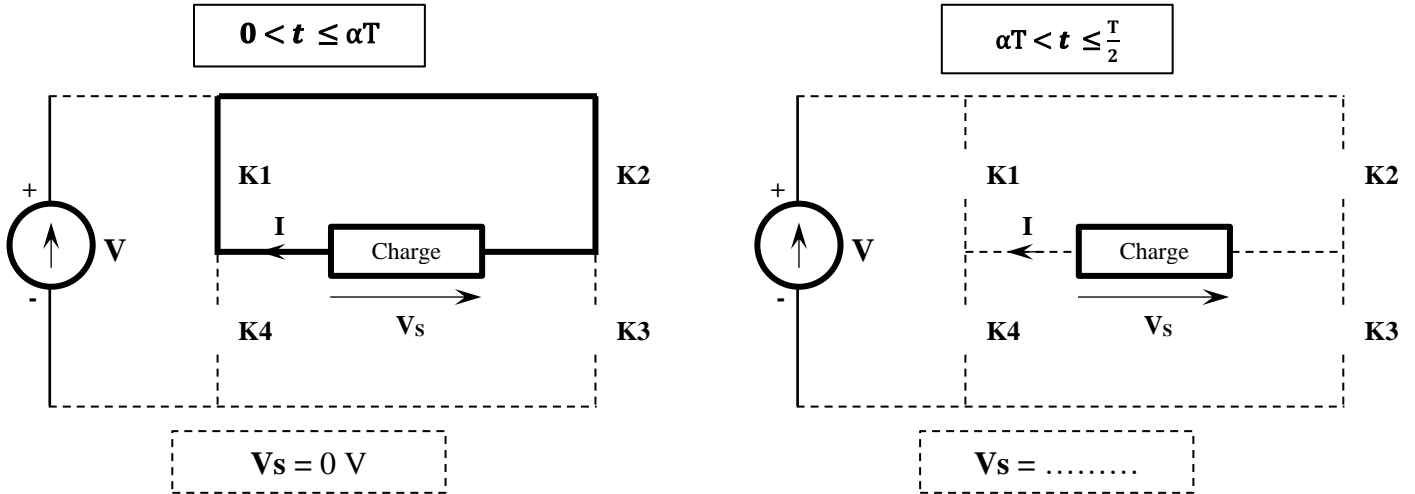
Q21- [1 pt]

.....

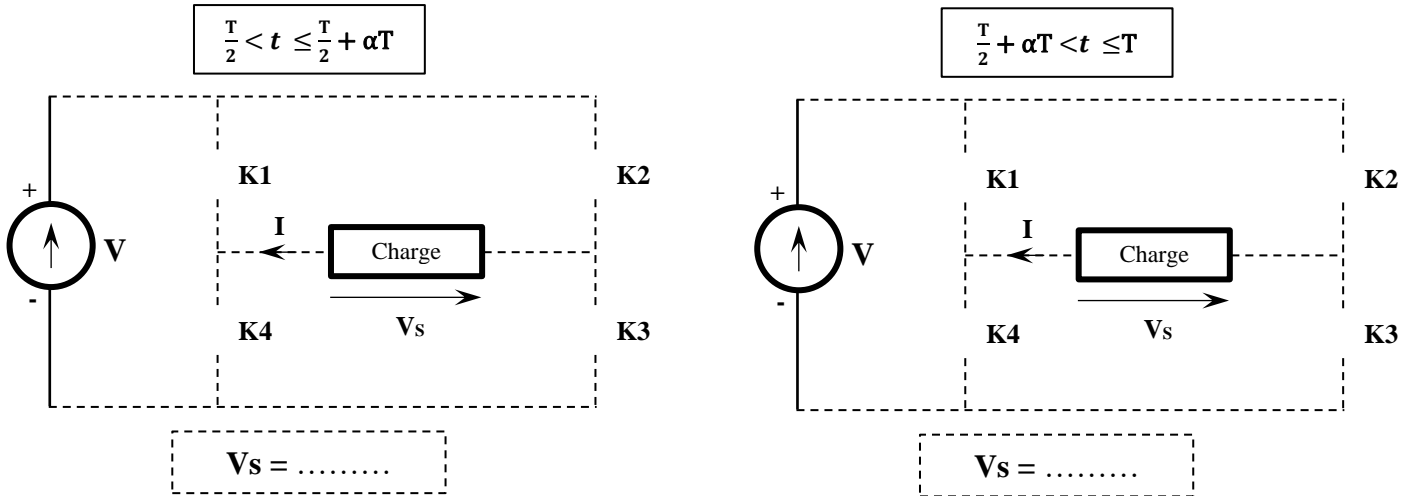
Q22- [1 pt]

.....

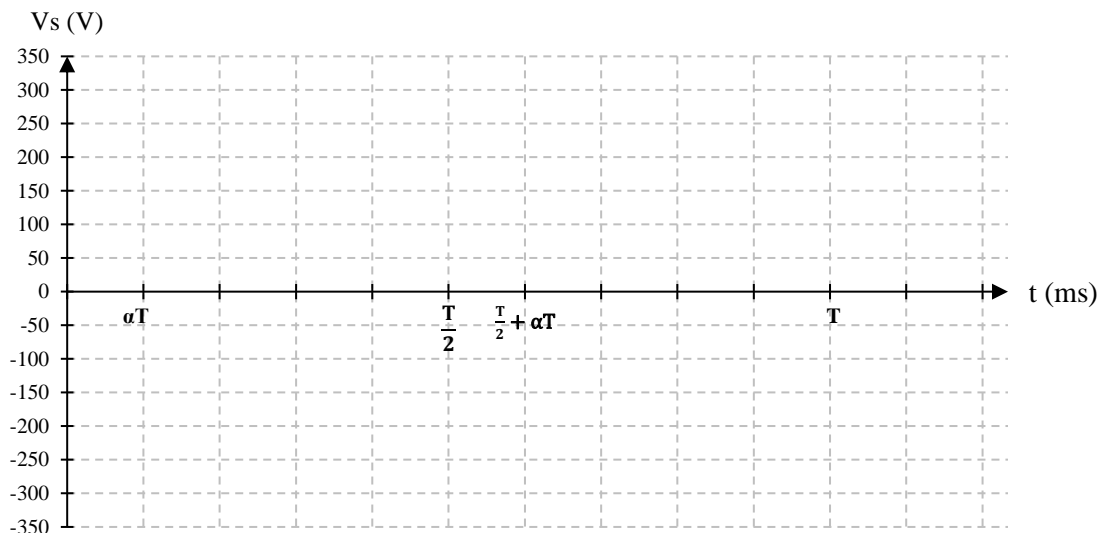
Q23- [1,5 pt]



Q24- [3 pts]



Q25- [2 pts]



الصفحة

1

7

***|

الامتحان الوطني الموحد للبكالوريا
المسالك المصنفة
الدورة الاستعمارية 2024

المملكة المغربية
وزارة التربية الوطنية
والتعليم الأولي والرياضة
المركز الوطني للتقويم والامتحانات

PPPPPPPPPPPPPPPPPP-PPPP

مخاض الإجابة

RR 214A

4h

مدة الإنجاز

اختبار توليقي في المواد المهنية (الجزء الأول) - الفترة الصباحية

المادة

10

المعامل

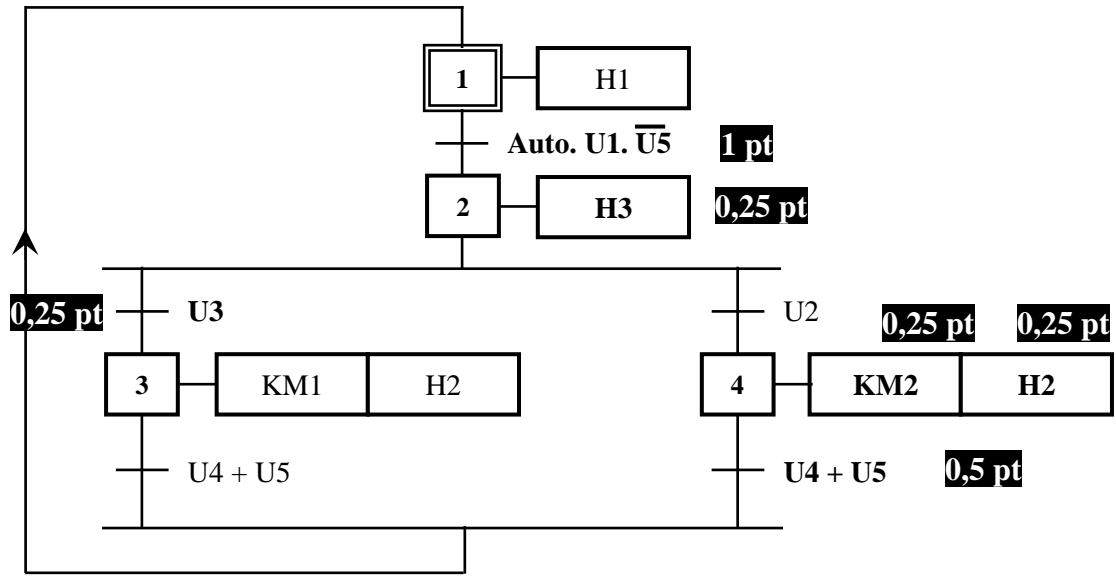
شعبة الهندسة الكهربائية مسلك الصيانة الصناعية

الشعبة والمسلك

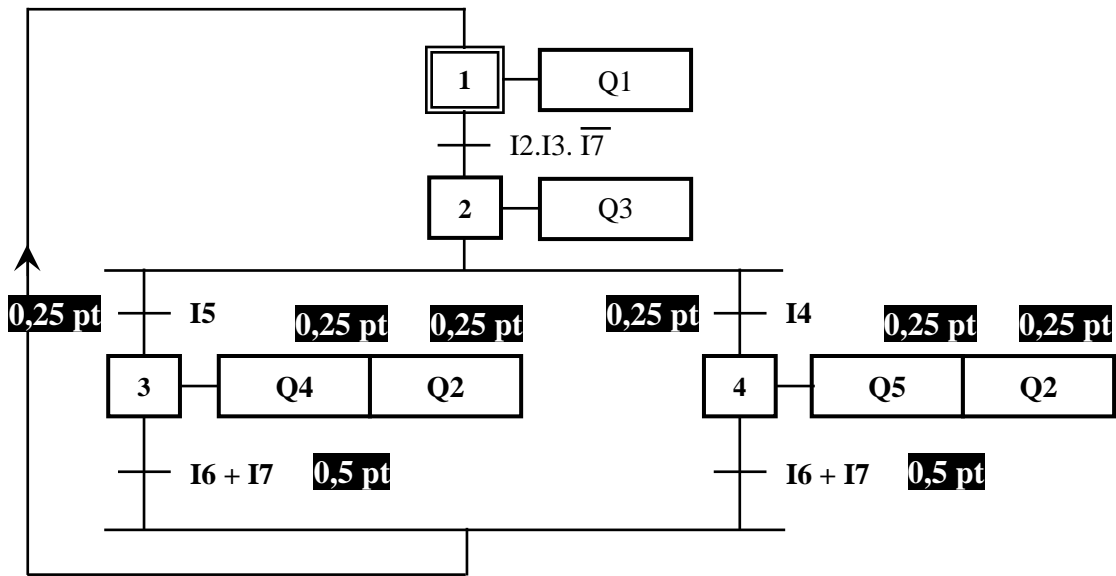
Microstation hydroélectrique

Éléments de correction

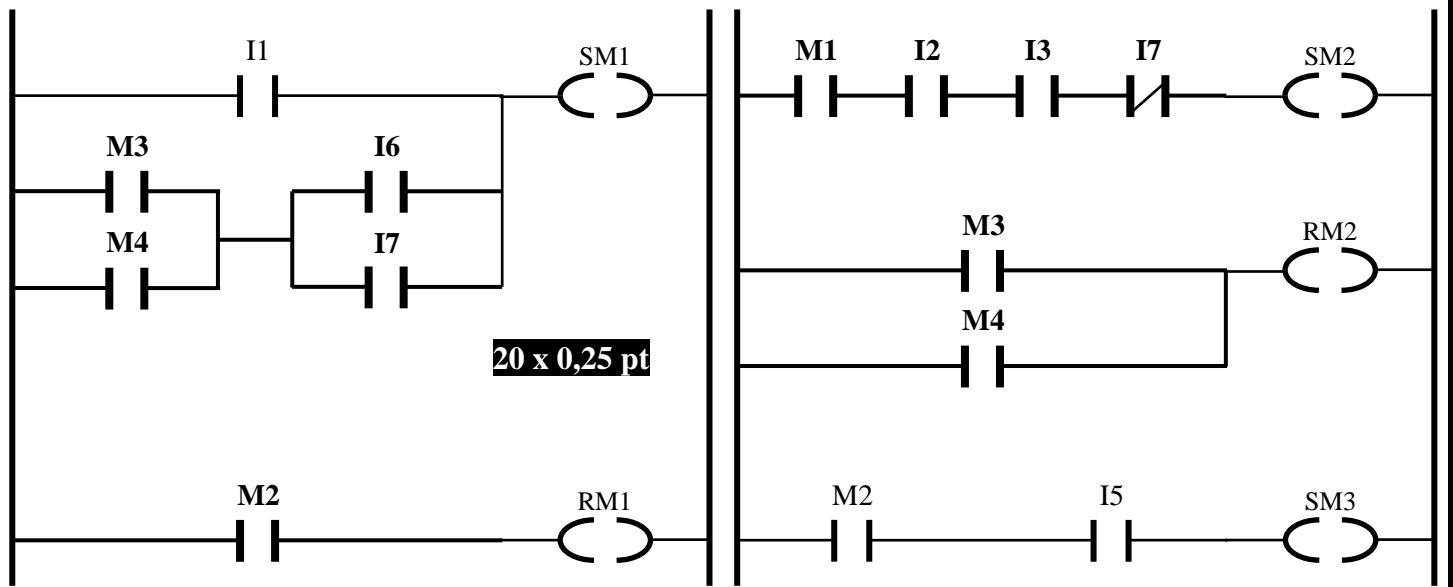
Q1-

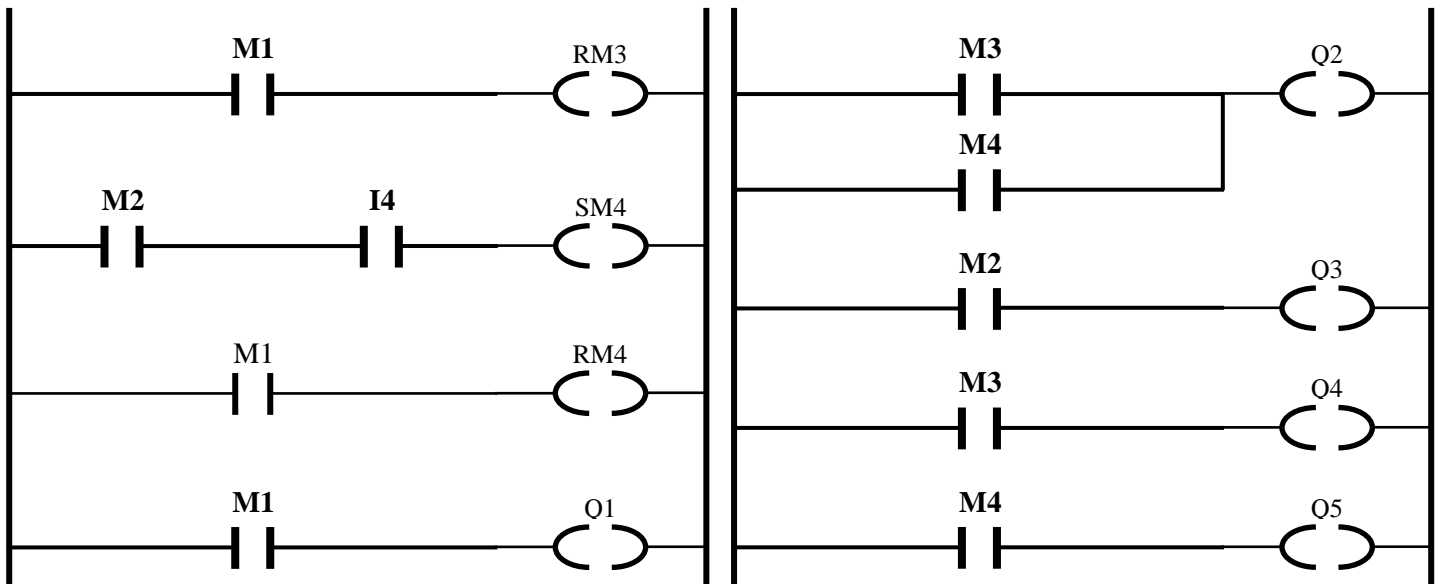


Q2-



Q3-





Q4-

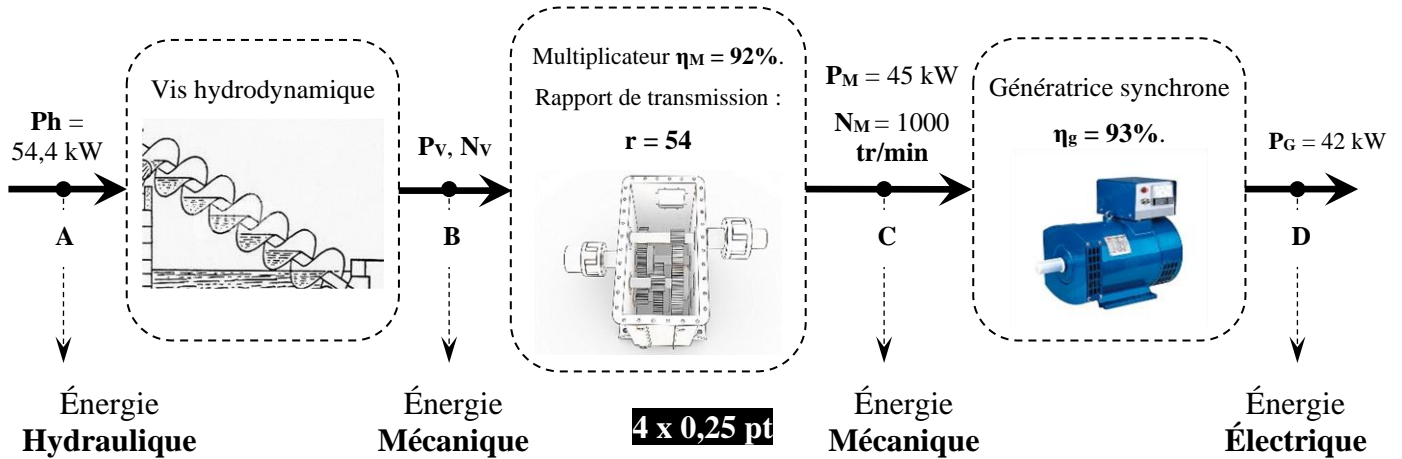


Figure 3 : Diagramme de blocs de l'unité de production

Q5-

$$r = \frac{N_M}{N_V} \rightarrow N_V = \frac{N_M}{r} \quad \mathbf{0,75 \text{ pt}}$$

$$\text{A.N: } N_V = \frac{1000}{54} \rightarrow N_V = 18,52 \text{ tr/min} \quad \mathbf{0,25 \text{ pt}}$$

$$\eta_M = \frac{P_M}{P_V} \rightarrow P_V = \frac{P_M}{\eta_M} \quad \mathbf{0,75 \text{ pt}}$$

$$\text{A.N: } P_V = \frac{4500}{0,92} \rightarrow P_V = 48,91 \text{ KW} \quad \mathbf{0,25 \text{ pt}}$$

Q6-

$$N = \frac{60.f}{p} \rightarrow p = \frac{60.f}{N} \quad \mathbf{0,75 \text{ pt}}$$

$$\text{A.N: } p = \frac{60.50}{1000} \rightarrow p = 3$$

(3 paires de pôles = 6 pôles)

0,25 pt

Q7-

$$S_N = \sqrt{3} \cdot U \cdot I_Y \rightarrow I_Y = \frac{S_N}{\sqrt{3} \cdot U} \quad \mathbf{0,5 \text{ pt}}$$

$$\text{A.N: } I_Y = \frac{51000}{\sqrt{3} \cdot 400} \rightarrow I_Y = 73,61 \text{ A} \quad \mathbf{0,25 \text{ pt}}$$

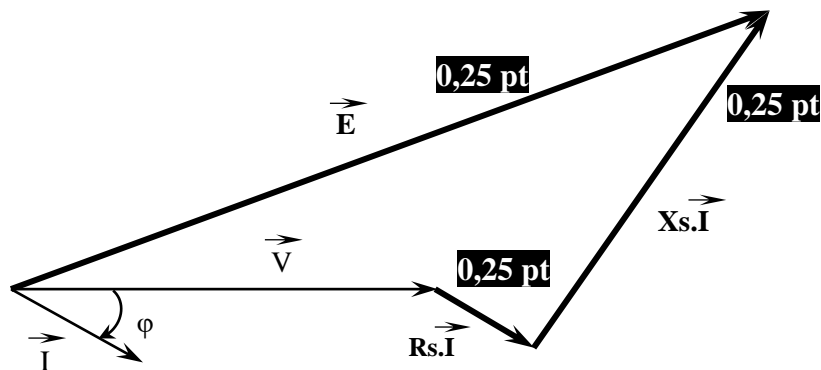
$$S_N = \sqrt{3} \cdot V \cdot I_{\Delta} \rightarrow I_{\Delta} = \frac{S_N}{\sqrt{3} \cdot V} \quad \mathbf{0,5 \text{ pt}}$$

$$\text{A.N: } I_{\Delta} = \frac{51000}{\sqrt{3} \cdot 230} \rightarrow I_{\Delta} = 128,02 \text{ A} \quad \mathbf{0,25 \text{ pt}}$$

Q8-

$$\vec{E} = \vec{V} + R_s \cdot \vec{I} + X_s \cdot \vec{I} \quad \mathbf{1 \text{ pt}}$$

Q9-



Q10-

$$Z_S^2 = R_S^2 + X_S^2 \rightarrow X_S^2 = Z_S^2 - R_S^2 \rightarrow X_S = \sqrt{Z_S^2 - R_S^2} \quad \mathbf{0,5 \text{ pt}}$$

$$\text{A.N: } X_S = \sqrt{3,5^2 - 0,4^2} \rightarrow X_S = 3,48 \Omega \quad \mathbf{0,25 \text{ pt}}$$

Q11-

$$E = f(I_e) \text{ s'écrit sous la forme : } E = K \cdot I_e \text{ donc } K = \frac{E}{I_e} \quad \mathbf{0,25 \text{ pt}}$$

$$\text{A.N: } K = \frac{180}{2} \rightarrow K = 90 \text{ V/A} \quad \mathbf{0,25 \text{ pt}}$$

Q12-

$$\text{A vide } I = 0, \text{ donc } E = V = \frac{U}{\sqrt{3}} \quad \mathbf{0,25 \text{ pt}} \quad \text{A.N: } E = \frac{400}{\sqrt{3}} \rightarrow E \approx 230 \text{ V} \quad \mathbf{0,25 \text{ pt}}$$

$$E = 90 \cdot I_e \text{ donc } I_e = \frac{E}{90} \quad \mathbf{0,25 \text{ pt}}$$

$$\text{A.N: } I_e = \frac{230}{90} \rightarrow I_e = 2,56 \text{ A} \quad \mathbf{0,25 \text{ pt}}$$

Q13-

$$P_a = U \cdot I \quad \mathbf{0,5 \text{ pt}}$$

$$\text{A.N: } P_a = 48.6 \rightarrow P_a = 288 \text{ W} \quad \mathbf{0,25 \text{ pt}}$$

$$\eta = \frac{P_u}{P_a} \quad \mathbf{0,5 \text{ pt}}$$

$$\text{A.N: } \eta = \frac{230}{288} \rightarrow \eta = 79,86 \% \quad \mathbf{0,25 \text{ pt}}$$

Q14-

$$E = U - R \cdot I \quad \mathbf{0,5 \text{ pt}}$$

$$\text{A.N: } E = 48 - 0,2 \cdot 6 \rightarrow E = 46,8 \text{ V} \quad \mathbf{0,25 \text{ pt}}$$

$$P_{em} = E \cdot I \quad \mathbf{0,5 \text{ pt}}$$

$$\text{A.N: } P_{em} = 46,8 \cdot 6 \rightarrow P_{em} = 280,8 \text{ W} \quad \mathbf{0,25 \text{ pt}}$$

Q15-

$$P_j = R \cdot I^2 \quad \mathbf{0,5 \text{ pt}}$$

$$\text{A.N: } P_j = 0,2 \cdot 6^2 \rightarrow P_j = 7,2 \text{ W} \quad \mathbf{0,25 \text{ pt}}$$

$$P_C = P_a - P_u - P_j \text{ Ou } P_C = P_{em} - P_u \quad \mathbf{0,5 \text{ pt}}$$

$$\text{A.N: } P_C = 288 - 230 - 7,2 \rightarrow P_C = 50,8 \text{ W} \quad \mathbf{0,25 \text{ pt}}$$

Q16-

$$P_C = P_f + P_m \text{ et } P_m = P_f \rightarrow P_C = 2 \cdot P_f \rightarrow P_f = \frac{P_C}{2} \quad \mathbf{0,75 \text{ pt}}$$

$$\text{A.N: } P_f = \frac{50,8}{2} \rightarrow P_f = 25,4 \text{ W} \quad \mathbf{0,25 \text{ pt}}$$

Q17-

	Vrai	Faux	
Augmentation brutale du courant absorbé	X		$\mathbf{0,25 \text{ pt}}$
Diminution du couple électromagnétique		X	$\mathbf{0,25 \text{ pt}}$
Augmentation de la f.é.m.		X	$\mathbf{0,25 \text{ pt}}$
Surchauffe des enroulements	X		$\mathbf{0,25 \text{ pt}}$

Q18-

$$U = E + R \cdot I \text{ Moteur bloqué } \rightarrow \text{vitesse } n = 0 \rightarrow E = 0 \text{ V}$$

$$U = R \cdot I_B \rightarrow I_B = \frac{U}{R} \quad \mathbf{0,75 \text{ pt}}$$

$$\text{A.N: } I_B = \frac{48}{0,2} \rightarrow I_B = 240 \text{ A} \quad \mathbf{0,25 \text{ pt}}$$

Q19-

Élément	Nom	Fonction
S1	Bouton poussoir $\mathbf{0,25 \text{ pt}}$	Mettre hors tension le moteur $\mathbf{0,25 \text{ pt}}$
T1	Transformateur $\mathbf{0,25 \text{ pt}}$	Abaisser la valeur efficace de la tension du réseau $\mathbf{0,25 \text{ pt}}$
P1	Pont redresseur $\mathbf{0,25 \text{ pt}}$	Convertir la tension alternative en tension continue $\mathbf{0,25 \text{ pt}}$

Q20-

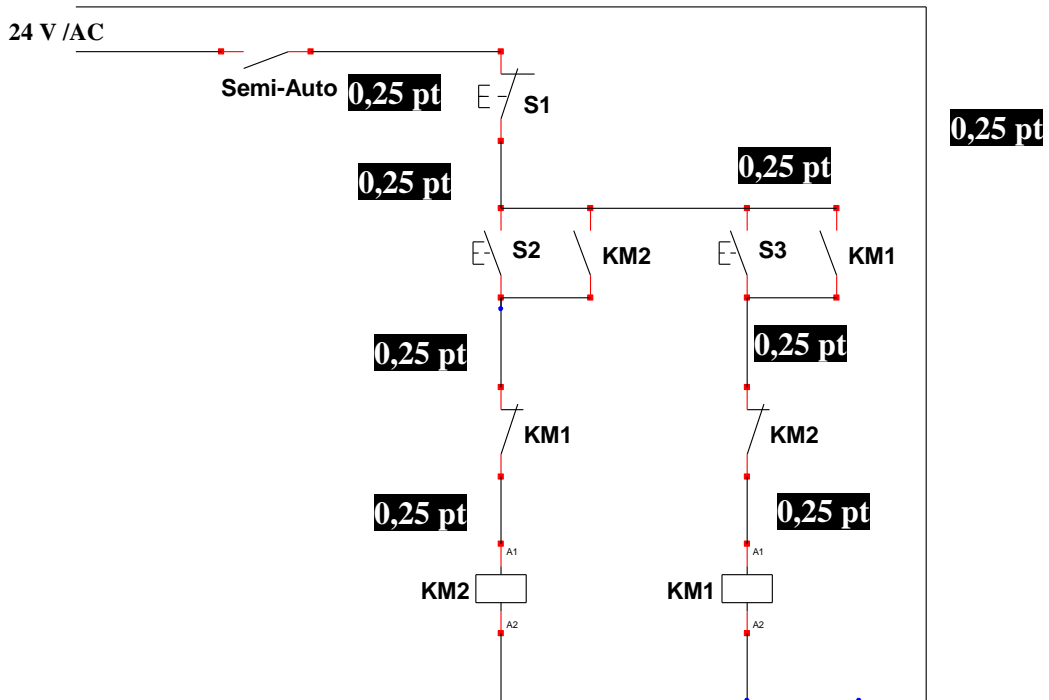


Figure 4 : circuit de commande

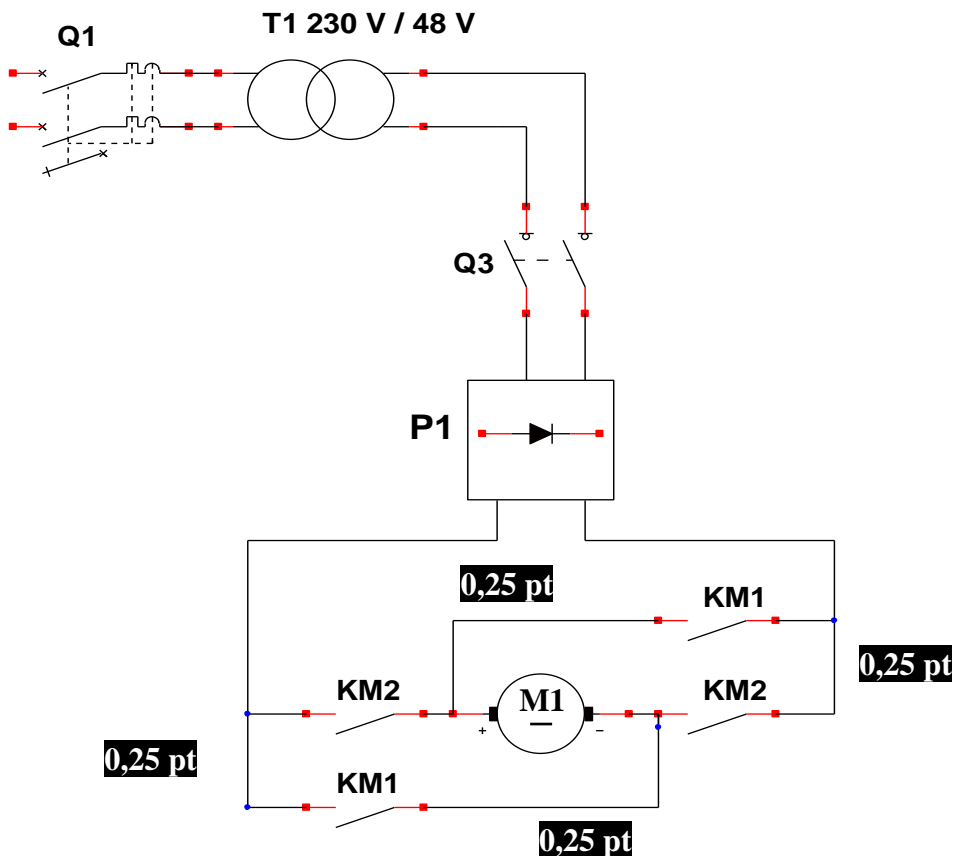


Figure 5 : circuit de puissance

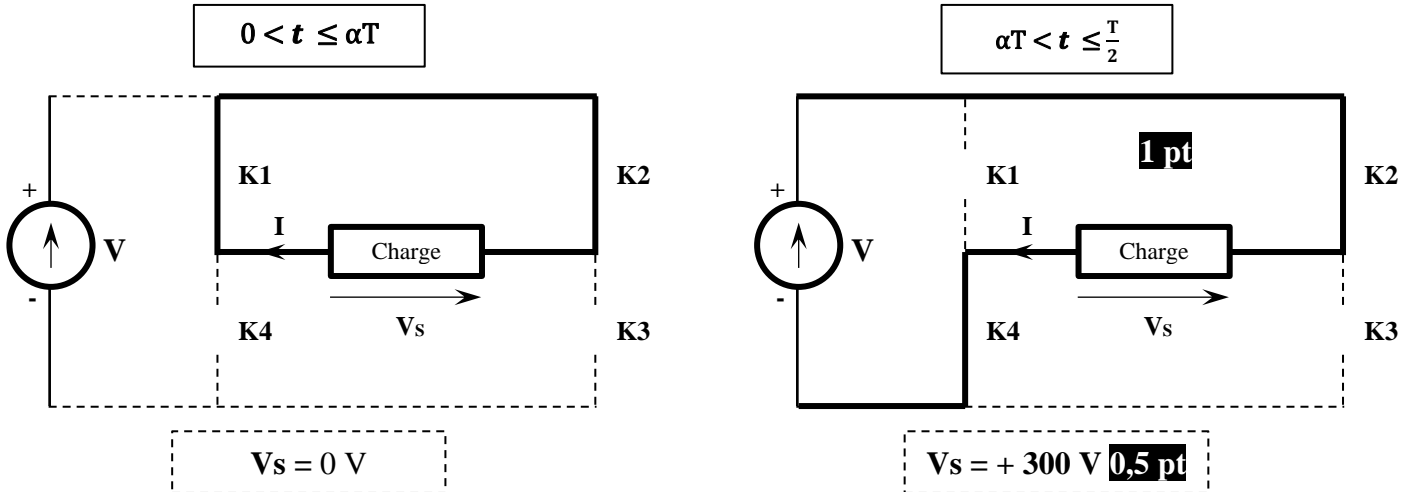
Q21-

Commande symétrique (ou autre solution valide) **1 pt**

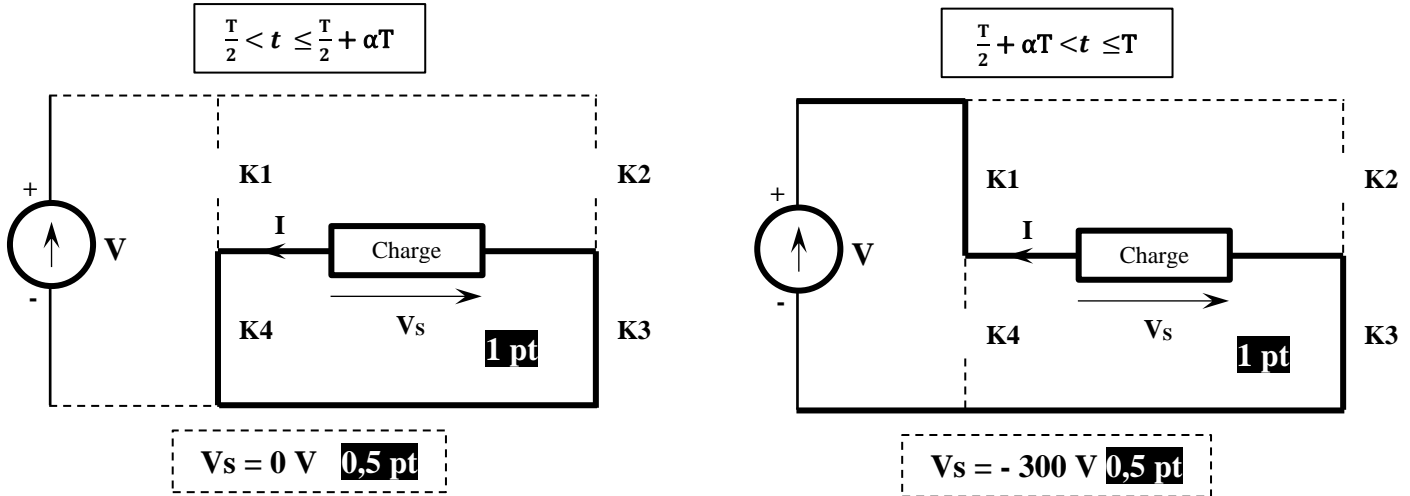
Q22-

Transistor (ou autre solution valide) **1 pt**

Q23-



Q24-



Q25-

