



مكتب التكوين المهني وإنعاش الشغل

Office de la Formation Professionnelle et de la Promotion du Travail

Direction de la Recherche et de l'Ingénierie de la Formation : Division Examens



Examen National de Fin d'année

Session de juin 2019

Examen de Fin de Formation (Corrigé)

<u>Filière</u>	<i>Automatisation et Instrumentation Industrielle</i>	<u>Variante</u>	<i>Principale</i>		
<u>Niveau</u>	<i>TS</i>	<u>Durée</u>	<i>5 Heures</i>	<u>Barème</u>	<i>/40</i>

Consignes et Conseils aux candidats :

- Les parties sont indépendantes et peuvent être traitées dans un ordre quelconque après lecture du sujet.
- 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.
- Aucun document n'est autorisé.
- Sont autorisées les calculatrices non programmables.

Détail du Barème :

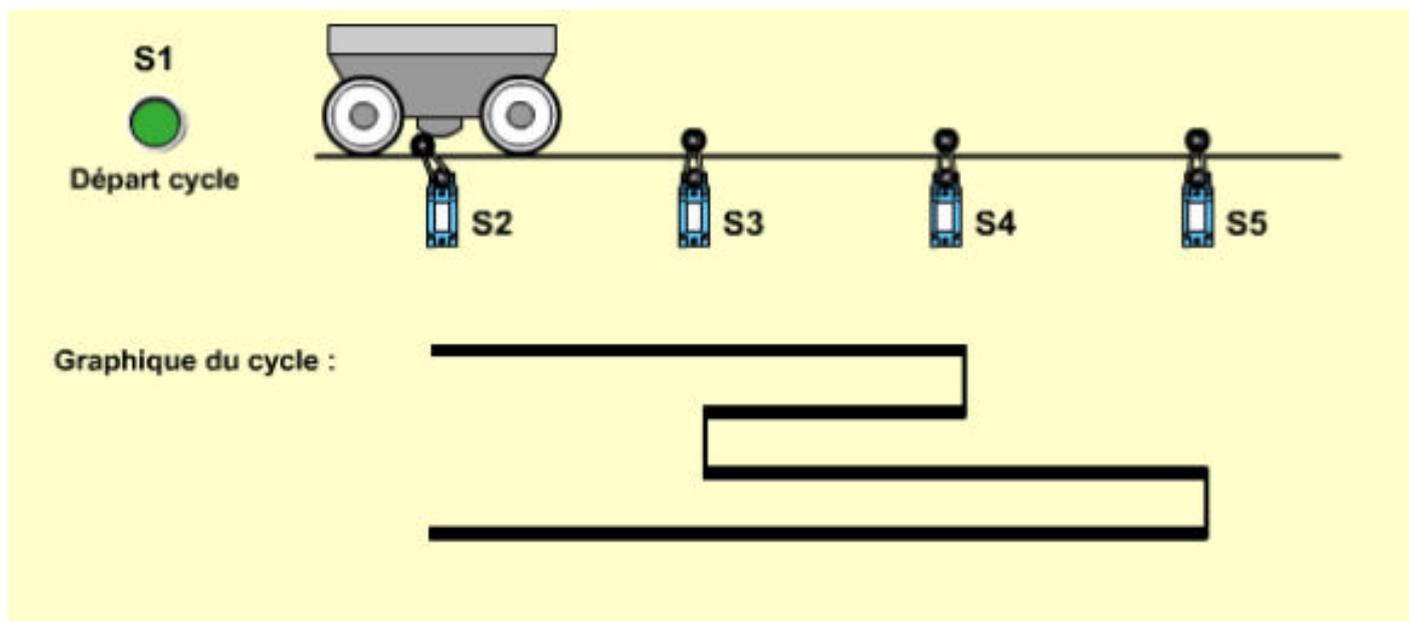
Question	Barème
1.1	/2
1.2	/2
1.3	/2
1.4	/2
1.5	/2
2.1.1	/1
2.1.2	/1
2.2.1	/0.25
2.2.2	/0.25
2.2.3	/0.25
2.2.4	/0.25
2.3	/2
3.1	/0.5
3.2	/0.5
3.3	/0.5
3.4	/1
3.5	/0.5
3.6	/0.5
3.7.1	/0.5

Question	Barème
3.7.2	/0.5
3.7.3	/0.5
4.1	/0.5
4.2	/0.5
4.3	/0.5
4.4	/0.5
4.5	/0.5
4.6	/0.5
4.7	/2
5.1.1	/1
5.1.2	/1
5.1.3	/0.5
5.2.1	/0.5
5.2.2	/2
5.2.3	/0.5
5.2.4	/2
5.2.5	/0.5
6.1	/1
6.2	/2

Question	Barème
6.3	/3
6.4	/1
Total	/40

Partie I : Automate Programmable : (10 points)

Soit le procédé industriel suivant :



Cahier de charge :

- Ce wagonnet (chariot) doit aller chercher des produits aux endroits matérialisés par les capteurs S4, S3 et S5 puis revenir à son point de départ.
- À la position S4, le wagonnet doit attendre 5s puis continuer sur son chemin.
- chaque nouvel appui sur S1 relance un nouveau cycle si wagonnet à la position S2.
- Le wagonnet doit réaliser 3 cycles.

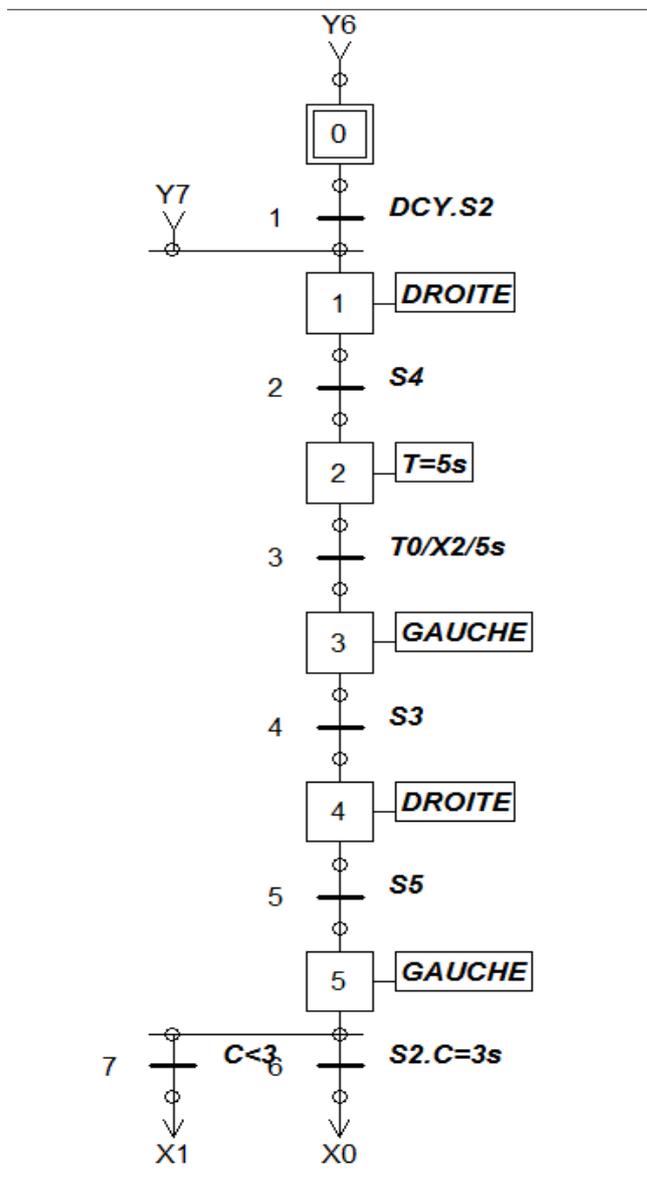
Travail demandé :

- 1.1 Etablir le grafcet du système de point de vue Partie opérative. (2Pts)
- 1.2 Etablir un tableau d'affectation des entrées sorties. (2Pts)
- 1.3 Rétablir le grafcet de point de vue partie automate SLC5/03. (2Pts)
- 1.4 Etablir les équations d'enclenchement (d'activation) et de RAZ (Désactivation) de toutes les étapes ainsi que les actions associées aux étapes. (2Pts)
- 1.5 Ecrire le ladder correspondant aux équations de la question 4. (2Pts)

Corrigé Partie I (10 Pts)

- 1.1 Grafcet de point de vue partie commande (2Pts)

Session	Examen de :	Filière	Epreuve de	Variante	Page
Juin 2019	Fin de Formation	AII	Théorique		Page 2 14



1.2 Tableau d'affectation des entrées sorties

(4Pts)

Entrées	Sorties	Bits internes
Dcy = I : 0/0	Droite(KM1) = O : 1/0	X0 = B100
S2 = I : 0/1	Gauche(KM2) = O : 1/1	X1 = B101
S3 = I : 0/2		X2 = B102
S4 = I : 0/3		X3 = B103
S5 = I : 0/4		X4 = B104
		X5 = B105

1.3 Grafcet de point de vue automate

(4Pts)

Il suffit de remplacer chaque symbole du grafcet de la question 1 par son équivalent du tableau de la question 2.

1.4 Les équations des étapes $X_i = CA(X_i) + \overline{CD}(X_i) \cdot X_i$

(2Pts)

Session	Examen de :	Filière	Epreuve de	Variante	Page
Juin 2019	Fin de Formation	AII	Théorique		Page 3 14

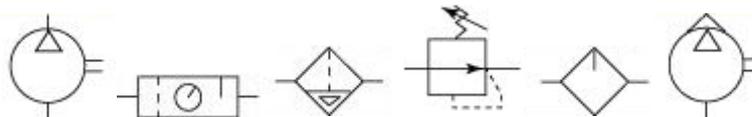
Etape	Action	Conditions d'activation et de désactivation
0		$X0 = X5.S2.C + PS + X0.\bar{X1}$
1	$X1 = \text{Droite(KM1)}$	$X1 = X0.Dcy.S2 + X5.\bar{C} + X1.\bar{X2}$
2	$X2 = (T4: 0 = 5s)$	$X2 = X1.S4 + X2.\bar{X3}$
3	$X3 = \text{Gauche(KM2)}$	$X3 = X2.(T4: 0 \cdot DN) + X3.\bar{X4}$
4	$X4 = \text{Droite(KM1)}$	$X4 = X3.S3 + X4.\bar{X5}$
5	$X5 = \text{Gauche(KM2)}$	$X5 = X4.S5 + X5.\bar{X0} + X5.\bar{X1}$

Partie II : Pneumatique et hydraulique (5points)

2.1 Donner les noms des composants suivants :

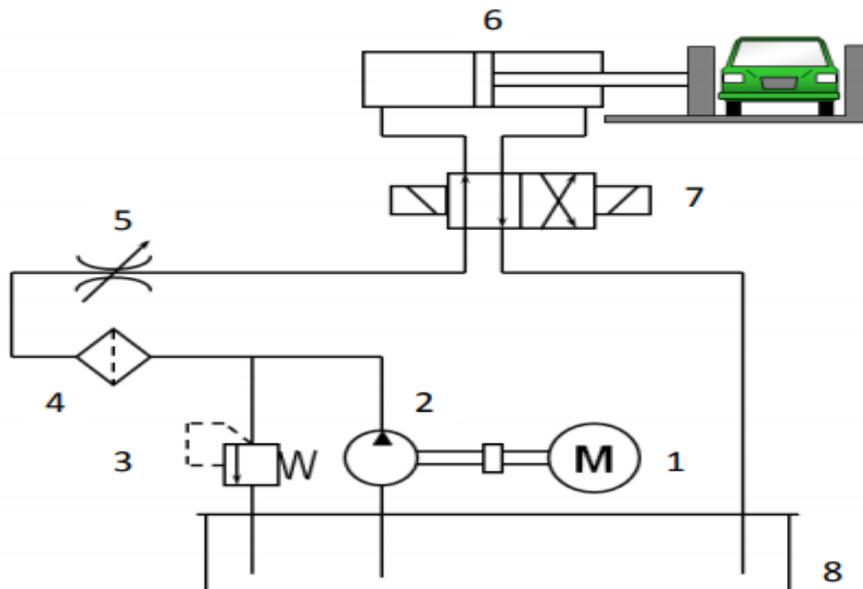
2.1.1 Pneumatiques :

(1 Pt)



2.1.2 hydraulique ci-dessous :

(1 Pt)



2.2 La section du piston d'un vérin double effet étant de 28.26 cm^2 la pression de service est de 5 bars.

Calculer :

2.2.1 la force de poussée.

(0.25 Pt)

2.2.2 Le diamètre de la tige si la force d'attraction représente 80% de celle de poussée.

(0.25 Pt)

2.2.3 Le débit d'air que reçoit le vérin en sortie de la tige s'il fait 5 s pour une sortie de 20cm.

(0.25 Pt)

2.2.4 La force de poussée qu'aura le vérin si la pression a chuté de 10%.

(0.25Pt)

2.3 On désire commander deux vérins double effet dont les conditions suivantes :

L'impulsion sur le bouton poussoir **BP** entrain :

✓ Sortie de A (A^+).

Session	Examen de :	Filière	Epreuve de	Variante	Page
Juin 2019	Fin de Formation	AII	Théorique		Page 4 14

- ✓ Sortie de B (B⁺).
 - ✓ Rentrée de A (A⁻)
 - ✓ Rentrée de B (B⁻).
- Les sorties des vérins sont réglable
- Le retour des vérins s'effectuent rapidement en utilisant des soupapes d'échappement rapide.

Elaborer le schéma de commande de ce cahier de charge.

(2 Pts)

Notez bien que Les distributeurs sont bistables, et la commande est pneumatique sans séquenceur.

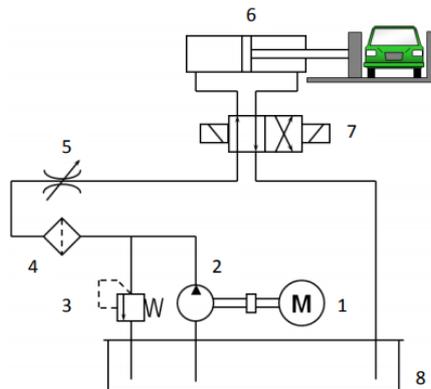
Corrigé Partie II

2.1 Noms des différents symboles pneumatiques et hydrauliques :

2.1.1 (1 Pt)

Compresseur	Pompe à vide
Unité de conditionnement d'air	
	Le filtre, le manodétendeur et le lubrificateur
	Le filtre et le séparateur d'eau
	Réducteur de pression
	Le lubrificateur

2.1.2 (1 Pt)



1. Le moteur électrique
2. Pompe à cylindrée fixe à un sens de flux
3. Limiteur de pression
4. Filtre
5. Etrangleur variable bidirectionnel
6. Vérin à double effet à simple tige
7. Distributeur 4/2 à commande électrique
8. Réservoir avec conduites au dessus du niveau

2.2 La section du piston d'un vérin double effet étant de 28.26 cm² la pression de service est de 5 bars.

Calculer :

2.2.1 Force de poussée :

(0.25 Pt)

$$F = P \cdot S = P \cdot \frac{\pi D^2}{4} \quad \text{donc } F=3134.61 \text{ daN}$$

2.2.2 Le diamètre de la tige si la force d'attraction représente 80% de celle de poussée. (0.25 Pt)

$$F_{\text{attraction}} = P \cdot S = P \cdot \pi \cdot \left(\frac{D^2 - d^2}{4} \right) \quad \rightarrow d=12.63 \text{ cm}$$

2.2.3 Le débit d'air que reçoit le vérin en sortie de la tige s'il fait 5 s pour une sortie de 20cm.

Q=S.V (S : section et V : vitesse) (0.25 Pt)

$$V=20/5 \quad 4 \text{ cm/s} \quad \text{et la section} \quad S=\frac{\pi D^2}{4}=626.92 \text{ cm}^2 \quad \text{donc le débit} \quad Q=2507.69 \text{ cm}^3/\text{s}$$

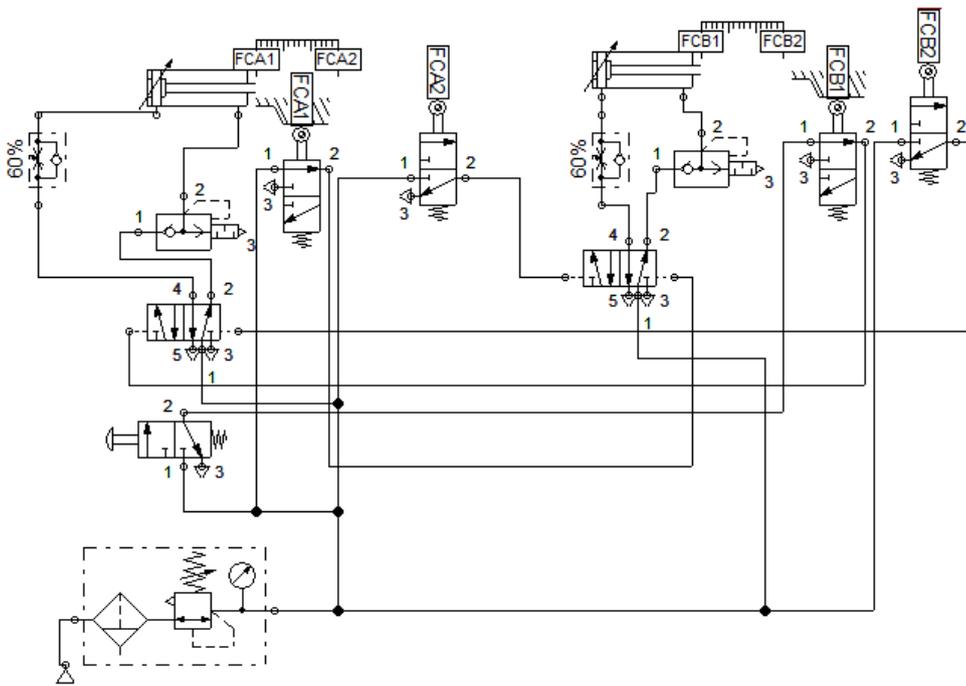
2.2.4 La force de poussée qu'aura le vérin si la pression a chuté de 10%.

(0.25 Pt)

Si la pression a chuté de 10% donc P=4.5bar

$$F=2821.15 \text{ daN}$$

Session	Examen de :	Filière	Epreuve de	Variante	Page
Juin 2019	Fin de Formation	AII	Théorique		Page 5 14



Partie III : Étude du moteur à courant continu (5Pts)

Un moteur à courant continu à excitation indépendante et constante a les caractéristiques Suivantes :

- tension d'alimentation de l'induit : $U = 160 \text{ V}$
- résistance de l'induit : $R = 0,2\Omega$

3.1 La fém. E du moteur vaut 150 V quand sa vitesse de rotation est $n = 1500 \text{ tr/min}$.

En déduire la relation entre E et n.

(0.5 Pt)

3.2 Déterminer l'expression de I (courant d'induit en A) en fonction de E.

(0.5 Pt)

3.3 Déterminer l'expression de T_{em} (couple électromagnétique en Nm) en fonction de I.

(0.5 Pt)

3.4 En déduire que : $T_{em} = 764 - 0,477.n$

(1 Pt)

3.5 On néglige les pertes collectives du moteur. Justifié qu'alors : T_u (couple utile) = T_{em}

(0.5 Pt)

3.6 Calculer la vitesse de rotation du moteur à vide.

(0.5 Pt)

3.7 Le moteur entraîne maintenant une charge dont le couple résistant varie Proportionnellement avec la vitesse de rotation (20 Nm à 1000 tr/min).

Calculer la vitesse de rotation du moteur en charge :

3.7.1 Par une méthode graphique

(0.5 Pt)

3.7.2 Par un calcul algébrique

(0.5 Pt)

3.7.3 En déduire le courant d'induit et la puissance utile du moteur.

(0.5 Pt)

Corrigé Partie III :

3.1 La fém. E du moteur vaut 150 V quand sa vitesse de rotation est $n = 1500 \text{ tr/min}$.

(0.5Pt)

L'excitation étant constante, E est proportionnel à n :

$E \text{ (en V)} = 0,1.n \text{ (tr/min)}$

Session	Examen de :	Filière	Epreuve de	Variante	Page
Juin 2019	Fin de Formation	AII	Théorique		Page 6 14

3.2 Déterminer l'expression de I (courant d'induit en A) en fonction de E. (0.5Pt)

$$I = (U - E)/R$$

3.3 Déterminer l'expression de Tem (couple électromagnétique en Nm) en fonction de I. (0.5Pt)

$$T_{em} = k\phi I$$

$$E = k\phi\Omega \text{ avec } \Omega \text{ en rad/s}$$

$$T_{em} \text{ (en Nm)} = 0,955 \cdot I \text{ (en A)}$$

3.4 En déduire que : $T_{em} = 764 - 0,477 \cdot n$ (1Pt)

$$T_{em} = k\phi I = k\phi (U - E)/R = k\phi (U - 0,1n)/R$$

$$T_{em} = 764 - 0,477 \cdot n$$

3.5 On néglige les pertes collectives du moteur. Justifier qu'alors : (0.5Pt)

$$T_u \text{ (couple utile)} = T_{em}$$

Le couple des pertes collectives est négligeable :

$$T_u = T_{em} - T_{\text{pertes collectives}} = T_{em}$$

3.6 Vitesse de rotation du moteur à vide. (0.5Pt)

$$T_u = 0$$

$$T_{em} = 0$$

$$n = 764/0,477 = 1600 \text{ tr/min}$$

Autre méthode : $E = U$ (à vide, $I = 0$ si on néglige les pertes collectives).

$$n = 160/0,1 = 1600 \text{ tr/min}$$

3.7 T_r (en Nm) = 0,02.n (en tr/min)

3.7.1 par méthode graphique : (0.5Pt)

On trace les droites $T_r(n)$ et $T_u(n)$.

L'intersection donne le point de fonctionnement.

3.7.2 par un calcul algébrique (0.5Pt)

Au point de fonctionnement : $T_u = T_r$

$$764 - 0,477 \cdot n = 0,02 \cdot n$$

$$n = 1536 \text{ tr/min}$$

Session	Examen de :	Filière	Epreuve de	Variante	Page
Juin 2019	Fin de Formation	AII	Théorique		Page 7 14

3.7.3 En déduire le courant d'induit et la puissance utile du moteur. **(0.5Pt)**

$$I = (U - E)/R = (U - 0,1n)/R = 32,2 \text{ A}$$

Autre méthode : $I = T_{em}/0,955 = 0,02.n/0,955 = 32,2 \text{ A}$

$$P_u = T_u.\Omega = (30,7 \text{ Nm}).(160,8 \text{ rad/s}) = 4,94 \text{ kW}$$

Autre méthode : $P_u = P_{em}$ (pas de pertes collectives) = $EI = (153,6 \text{ V}).(32,2 \text{ A}) = 4,94 \text{ kW}$

Partie IV : MAS (5pts)

Les essais d'un moteur asynchrone triphasé hexa polaire ont permis de réunir les résultats suivants :

- Essai en charge : $U = 230 \text{ V}$ $I = 50 \text{ A}$ $P_a = 16 \text{ kW}$ $n = 960 \text{ tr.min}^{-1}$.
- Essai à vide : $U_0 = 230 \text{ V}$ $I_0 = 17 \text{ A}$ $P_0 = 600 \text{ W}$.
- Mesure en courant continu : résistance entre deux bornes du stator $R = 0,1 \Omega$.

Calculer :

4.1 le glissement g ; **(0.5Pt)**

4.2 le facteur de puissance $\cos \varphi$ du moteur en charge ; **(0.5Pt)**

4.3 les pertes dans le fer du stator p_{fs} et les pertes mécaniques p_m si on admet qu'elles sont égales et que l'on néglige les pertes Joule dans l'essai à vide ; **(0.5Pt)**

4.4 les pertes par effet Joule au stator p_{Js} et au rotor p_{Jr} en charge. **(0.5Pt)**

4.5 la puissance utile P_u et le rendement η ; **(0.5Pt)**

4.6 le moment du couple électromagnétique T_{em} et le moment du couple utile T_u . **(0.5Pt)**

4.7 On veut démarrer un moteur asynchrone triphasé dans un sens de rotation en utilisant le démarrage étoile triangle. Dans un premier on démarre en étoile puis en triangle. **(2Pts)**

Réaliser les circuits de commande et de puissance.

Corrigé partie V

4.1 - $g = 4 \%$ **(0.5Pt)**

4.2 $\cos \varphi = 0,80$ **(0.5Pt)**

4.3 $p_{fs} = p_m = 300 \text{ W}$ car $p_{js} = 0$ **(0.5Pt)**

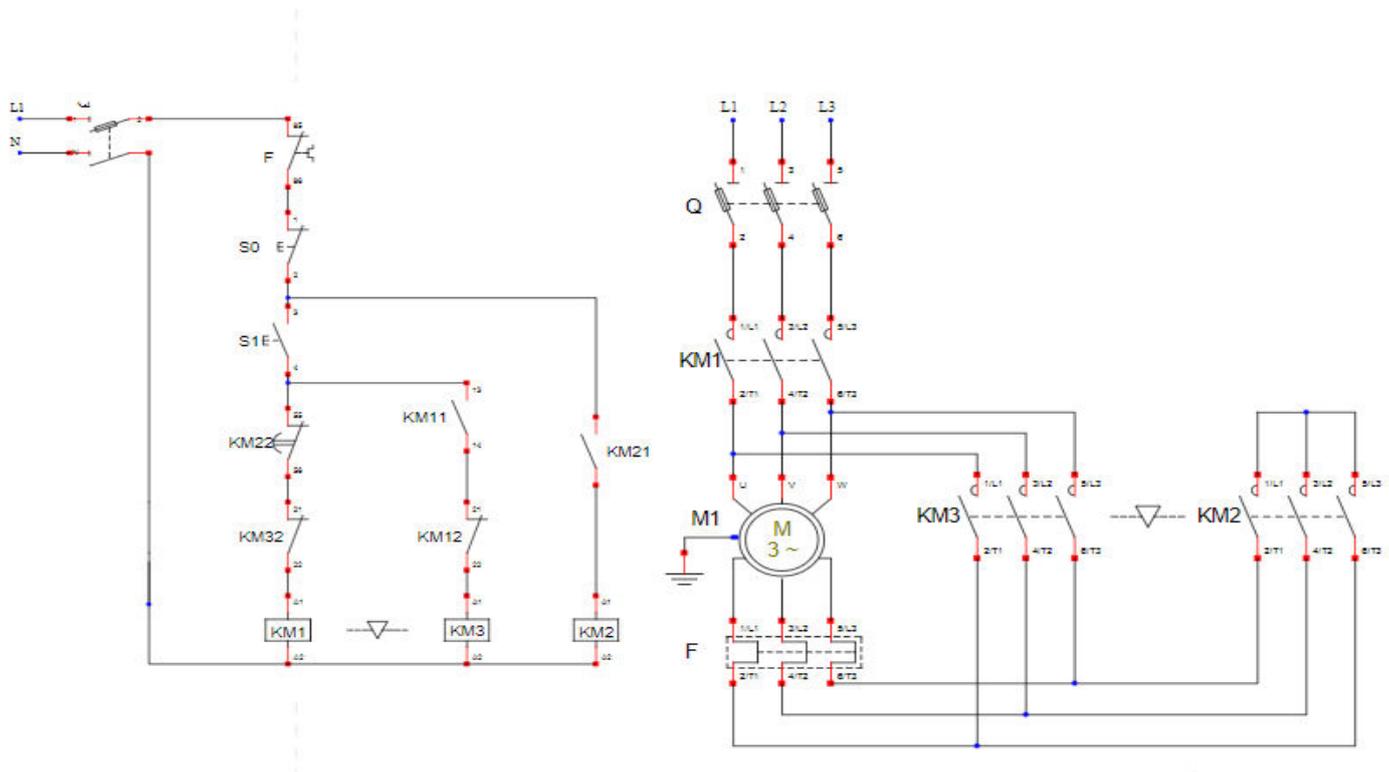
4.4 $p_{js} = 3/3 R \cdot I^2$ $p_{js} = 375 \text{ W}$ $p_{JR} = g P_t$ donc $P_t = P_a - p_{Js} - p_{fs}$ $P_t = 15325 \text{ W}$ $p_{JR} = 613 \text{ W}$ **(0.5Pt)**

4.5 $P_u = P_t - p_{JR} - p_m$ $P_u = 14412 \text{ W}$ $\eta = 90 \%$ **(0.5Pt)**

4.6 $T_{em} \approx 146 \text{ Nm}$ $T_u \approx 143 \text{ Nm}$ **(0.5Pt)**

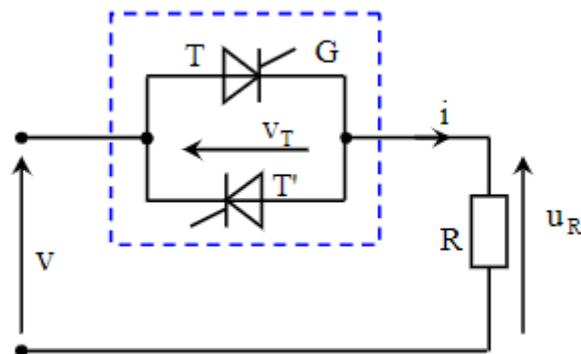
4.7 Circuits de commande et de puissance : **(2Pts)**

Session	Examen de :	Filière	Epreuve de	Variante	Page
Juin 2019	Fin de Formation	AII	Théorique		Page 8 14



Partie V : Commande Electronique des Machines Electriques (8Points)

5.1 On considère le montage représenté par la figure suivante où v est une tension sinusoïdale de valeur efficace $V=400V$ et de fréquence $f=50\text{ Hz}$.



La tension d'aimantation est donnée par : $v(\theta)=V \sqrt{2} \cdot \sin(\theta)$, avec $\theta = \omega t$.

Le gradateur G est formé de deux thyristors que l'on suppose parfaits : La charge est constituée par une résistance $R=10\Omega$. On désigne par u_R la tension à ses bornes, par i le courant qui la traverse et par v_T la tension aux bornes des thyristors. On amorce le thyristor (T) à $(\omega t = \alpha)$

5.1.1 Représenter la tension u_R dans l'intervalle $[0, 2\pi]$, pour $\alpha = \frac{\pi}{6}$ (1Pt)

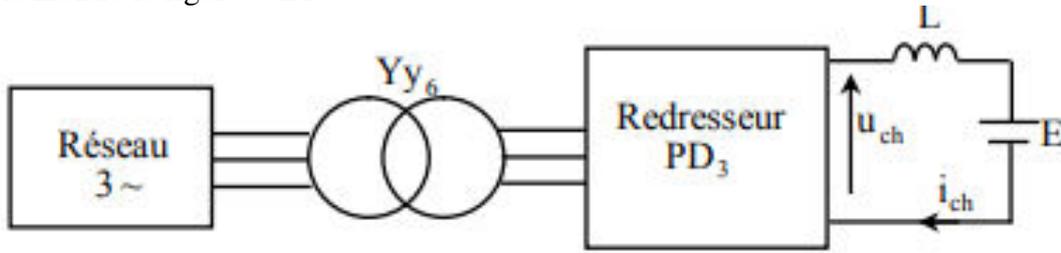
5.1.2 Exprimer la valeur efficace U_R de u_R en fonction de α et V et montrer que l'on a :

$$U_R = V \cdot \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin(2\alpha)}{2\pi}} \quad (1Pt)$$

5.1.3 Calculer la puissance dissipée dans R pour $\alpha = \frac{\pi}{6}$ (0.5Pt)

Session	Examen de :	Filière	Epreuve de	Variante	Page
Juin 2019	Fin de Formation	AII	Théorique		Page 9 14

5.2 Un transformateur triphasé (Yy6) supposé parfait est alimenté par le secteur 400V/230V-50Hz. Le secondaire est relié à un redresseur à diodes de type PD3. Le secondaire alimente une charge de type (L, E), comme le montre la figure contre :



On admet que la tension E est constante et égale à 250V. Tous les éléments considérés sont parfaits. Le courant dans la charge vaut ($i_{ch} = I = 15A$). La tension simple secondaire est notée par V.

5.2.1 Dessiner le transformateur et le montage PD3 conformément aux données de l'énoncée, (0.5Pt)

5.2.2 Tracer l'allure de la tension de charge (u_{ch}), ainsi que la tension (V_{D3}) aux bornes de la diode D3, en déduire la valeur moyenne de (u_{ch}) en fonction de la tension V, (2Pts)

5.2.3 Justifier l'égalité $=E$, (0.5Pt)

5.2.4 Tracer l'allure du courant dans la première phase, en déduire sa valeur efficace, (2Pt)

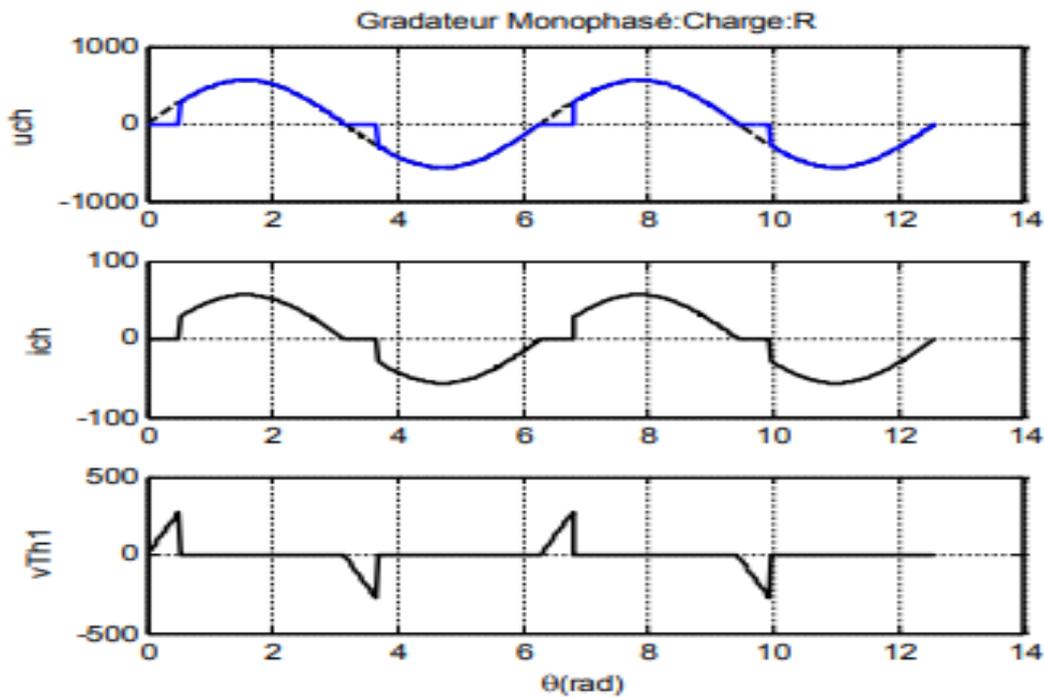
5.2.5 Déterminer alors la puissance apparente S_n du transformateur. (0.5Pt)

Corrigé Partie VI

5.1

5.1.1 La tension u_R

(1pt)



5.1.2 Tension efficace

(1pt)

$$U_R = V \cdot \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin(2\alpha)}{2\pi}} = 400 \cdot \sqrt{1 - \frac{1}{6} + \frac{\sqrt{3}}{4\pi}} = 394V$$

5.1.3 Puissance :

(0.5pt)

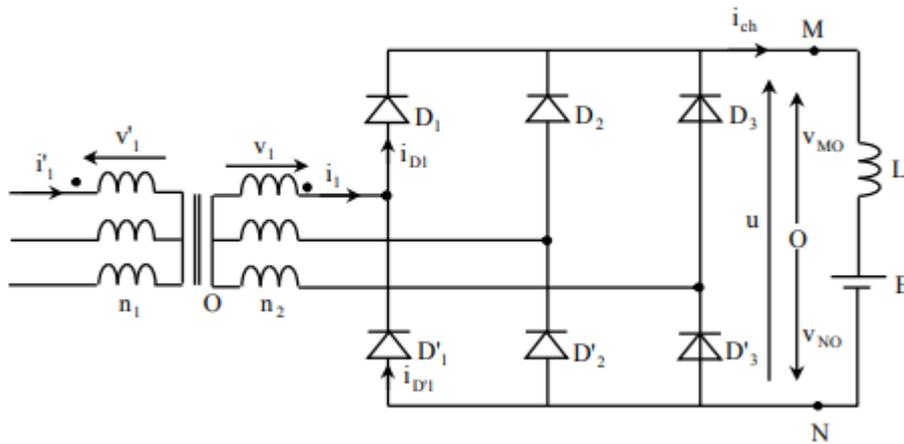
$$P = \frac{U_R^2}{R} = 16 \cdot 10^3 \cdot \left(1 - \frac{1}{6} + \frac{\sqrt{3}}{4\pi}\right) = 15.54kW$$

Session	Examen de :	Filière	Epreuve de	Variante	Page
Juin 2019	Fin de Formation	AII	Théorique		Page 10 14

5.2 :

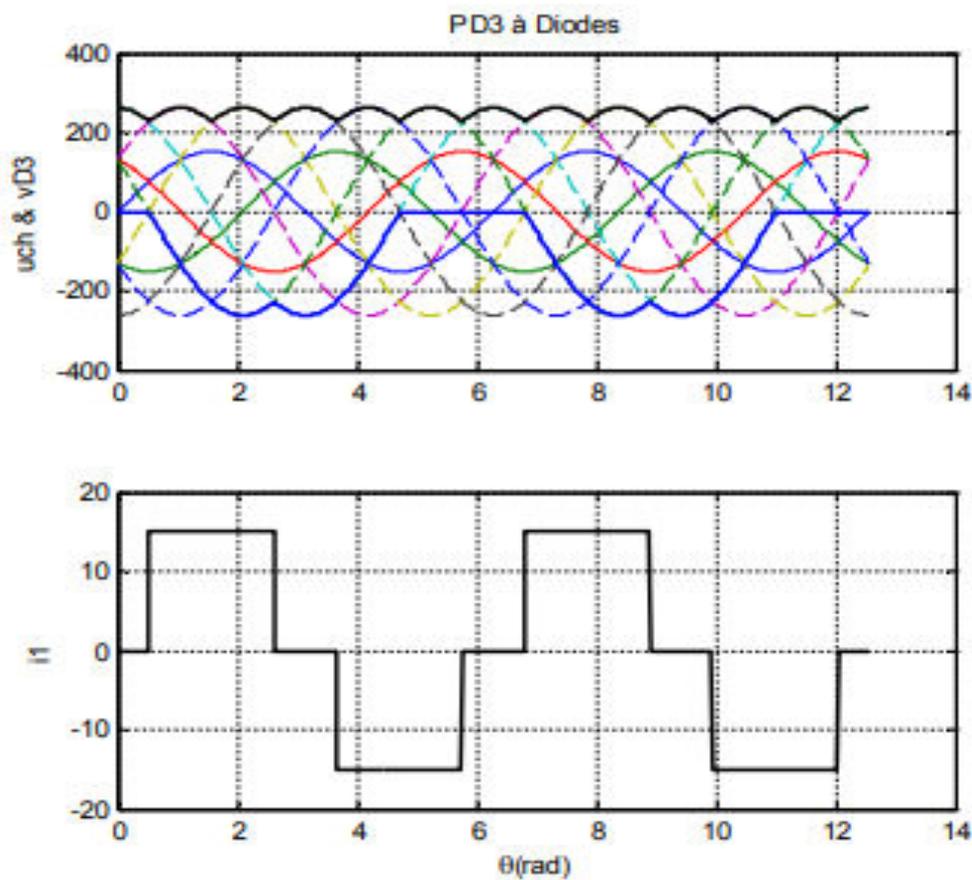
5.2.1 Montage PD à diodes

(0.5pt)



5.2.2 Allures : u_{ch} , v_{D3} et i_1

(2pt)



La tension moyenne de charge

$$\langle u_{ch} \rangle = \frac{3\sqrt{6}}{\pi} V$$

5.2.3 Le courant de charge est constant par conséquent on peut écrire que :

(0.5pt)

$$\langle u_{ch} \rangle = E$$

Session	Examen de :	Filière	Epreuve de	Variante	Page
Juin 2019	Fin de Formation	AII	Théorique		Page 11 14

5.2.4 Courant efficace :

(2pts)

$$(i)_{\text{eff}} = I_1 = I \sqrt{\frac{2}{3}} = 12.25 \text{ A}$$

5.2.5 Puissance apparente : On calcule la tension efficace :

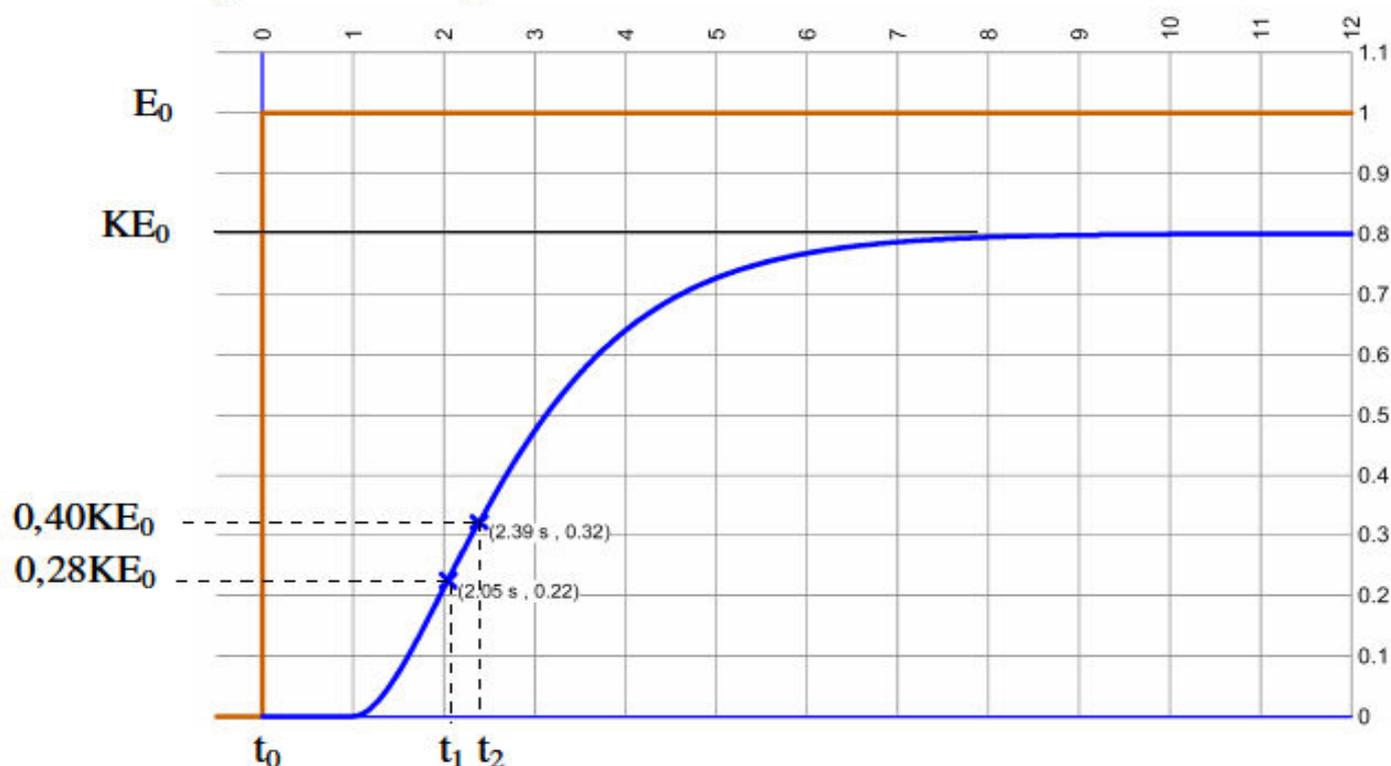
(0.5)

$$(v_1)_{\text{eff}} = V = \frac{\pi}{3\sqrt{6}} \cdot (u_{\text{ch}})_{\text{moy}} = 106.9 \text{ V}$$

Par la suite la puissance apparente est donnée par : $S = 3VI = 3.93 \text{ KVA}$

Partie VI : Régulation (7pts)

Soit la réponse d'un système en boucle ouverte ci-contre :



Déterminer K le gain statique du système en boucle ouverte

(1pt)

6.1 Déterminer les constantes T et τ (T : retard, et τ constante du temps)

(2pt)

6.2 On se basant sur le tableau ci-dessous, trouver les valeurs des trois coefficients (K_p , T_i , T_d) de correcteur

PID Mixte

(3pt)

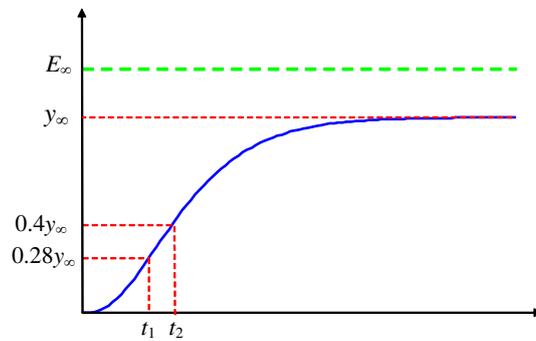
6.3 Dessiner le schéma bloc du système bouclé.

(1pt)

Corrigé :

$$H(s) = \frac{ae^{-T_r s}}{1 + \tau s}$$

Session	Examen de :	Filière	Epreuve de	Variante	Page
Juin 2019	Fin de Formation	AII	Théorique		Page 12 14



Paramètres du modèle :

$$a = \frac{y_{\infty}}{E_{\infty}}$$

$$\tau = 5.5(t_2 - t_1)$$

$$T_r = 2.8t_1 - 1.8t_2$$

Correcteur	P	PI	PID série	PID mixte
Paramètres			$K_c \frac{(1+T_i s)(1+T_d s)}{T_i s}$	$K_c \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right)$
K_c	$\frac{0,8\tau}{aT_r}$	$\frac{0,8\tau}{aT_r}$	$\frac{0,85\tau}{aT_r}$	$\frac{1}{1,2a} \left(\frac{\tau}{T_r} + 0,4 \right)$
T_i		τ	τ	$\tau + 0,4T_r$
T_d			$0,4T_r$	$\frac{\tau T_r}{T_r + 2,5\tau}$

6.4 Le paramètre
K= 0.8.

(1pt)

6.1 Le retard et la constante du temps :

(2pt)

$$\tau = 5.5(t_2 - t_1)$$

$$\tau = 1.87$$

$$T = 2.8.t_1 - 1.8.t_2$$

$$T = 0.04$$

Session	Examen de :	Filière	Epreuve de	Variante	Page
Juin 2019	Fin de Formation	AII	Théorique		Page 13 14

6.2 PID Mixte : $K_c \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right)$

(3pt)

$$K_c = \frac{1}{1.2K} \left(\frac{\tau}{T} + 0.4 \right)$$

$$T_i = \tau + 0.4T$$

$$T_d = \frac{\tau \cdot T}{T + 2.5\tau}$$

Application numérique :

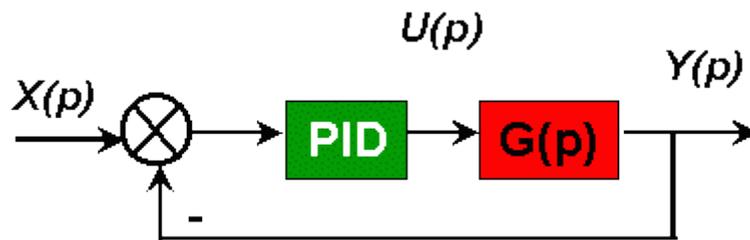
$$K_c = 49.114$$

$$T_i = 1.886$$

$$T_d = 0.015$$

6.3 Schéma bloc :

(1pt)



Session	Examen de :	Filière	Epreuve de	Variante	Page
Juin 2019	Fin de Formation	AII	Théorique		Page 14 14