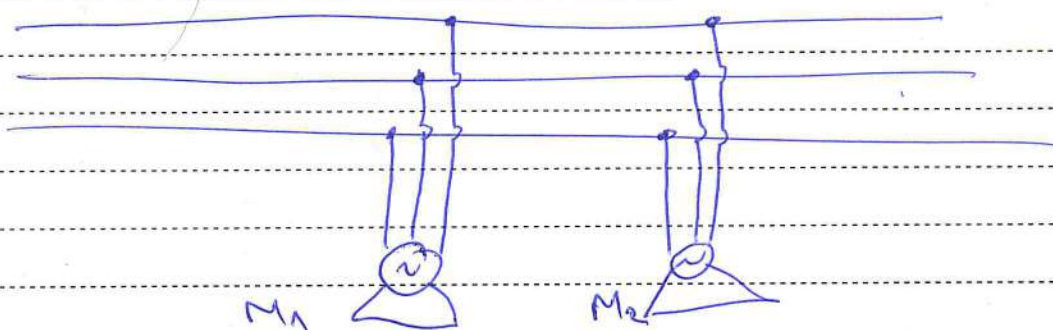
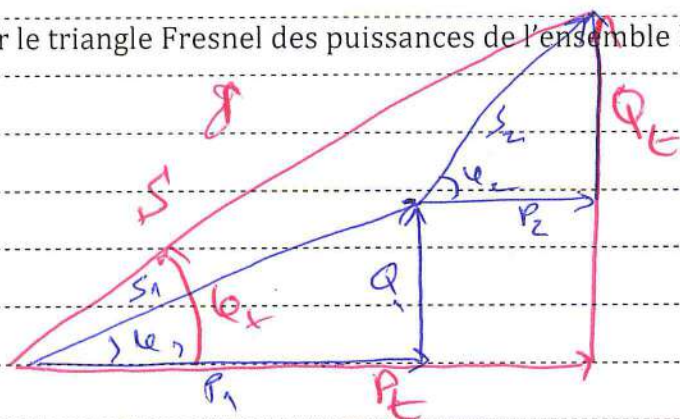


2. Calculer le courant en ligne quand  $M_1$  et  $M_2$  fonctionnent ensemble.



3. tracer le triangle Fresnel des puissances de l'ensemble  $M_1$  et  $M_2$ .



4. Déterminer la capacité des condensateurs pour relever le facteur de puissance global à 0,94 quand les deux moteurs fonctionnent ensemble.

$$FP = \frac{P}{S} = \frac{13}{15.8} = 0.822$$

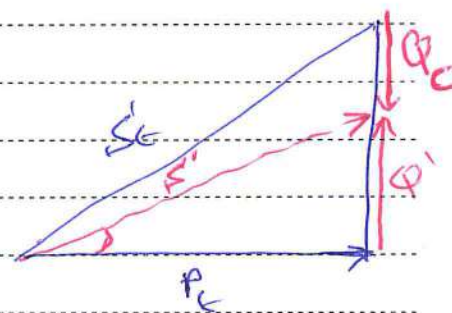
$$\cos \varphi' = 0.94 \Rightarrow \varphi' = 0.348 \text{ rad}$$

$$\cos \varphi = 0.822 \Rightarrow \varphi = 0.605 \text{ rad}$$

$$C_D = \frac{P_t \cdot (\tan \varphi - \tan \varphi')}{3 U^2 \omega}$$

$$C_D = \frac{13000 \cdot (\tan 0.605 - \tan 0.348)}{3 \cdot 400^2 \cdot 314}$$

$$\Rightarrow C_D = 28.35 \mu F$$



**EMD1**

**Exercice 01 (08 pts)**

On s'intéresse aux régimes transitoire d'un MCC à excitation indépendante à flux constant et inductance d'induit négligeable

On donne  $K=1,27 \text{ V.s.rad}^{-1}$ ;  $R_a=3,4 \Omega$ ,  $U_n=220 \text{ V}$ ,  $J=0,015 \text{ kg.m}^2$ ;  $f=2,57.10^{-3} \text{ N.m.s.rad}^{-1}$ .

On soumet le moteur à un échelon de tension de 0 à  $U_a=U_n$  à vide.

1. Ecrire l'équation différentielle vérifiée par la vitesse sous la forme **(02,5 pts)**:

$$\tau \frac{dn}{dt} + n = K_1$$

$n$ : la vitesse de la machine en **tr/min**

$\tau$  et  $K_1$  des constantes à calculer

- Que représentent  $\tau$  et  $K_1$  ? **(01 pt)**

2. Déterminer l'expression de la vitesse  **$n$**  en considérant son régime transitoire. **(1,5 pts)**

3. Calculer le temps de réponse à 3% de la vitesse permanente  **$tr_{03\%}$**  **(01,5 pt)**

4. Tracer l'allure de  $n(t)$ . Préciser sur la courbe le régime transitoire et le régime permanent **(01,5 pts)**

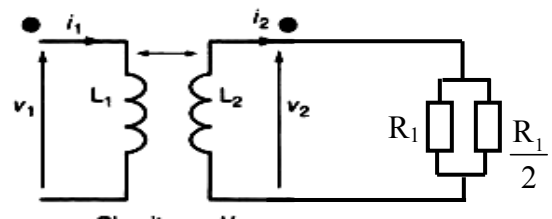
**Exercice 02 (06 pts)**

On considère un transformateur monophasé qui alimente deux résistances en parallèles  $R_1$  et  $R_2$

Soit le modèle du transformateur donné par les équations

suivantes :

$$\begin{cases} v_1 = L_1 \frac{di_1}{dt} - M \frac{di_2}{dt} \\ v_2 = M \frac{di_1}{dt} - L_2 \frac{di_2}{dt} \end{cases}$$



On donne :

$L_1=0.023 \text{ H}$ ,  $L_2=0.19 \text{ H}$ ,  $M=0,04 \text{ H}$  et  $R_1=100 \Omega$

$$v_1(t) = 220\sqrt{2} \sin(2\pi \cdot 50 \cdot t)$$

1. Ecrire les expressions des tensions  $v_1$  et  $v_2$  sous forme complexe **(01,5 pt)**

2. Démontrer que l'équation différentielle vérifiée par le courant  $i_2$  au secondaire peut être écrite sous la forme **(02,5 pts)**:

$$\tau \frac{di_2}{dt} + i_2 = V_{22} = V_{M22} \sin(2\pi \cdot 50 \cdot t)$$

-  $\tau$  et  $V_{M22}$  des constante à déterminer

3. Déterminer l'expression du régime **permanent** du courant  $i_2(t)$  durant son évolution. **(02 pts)**

**Exercice 03 (05 points)**

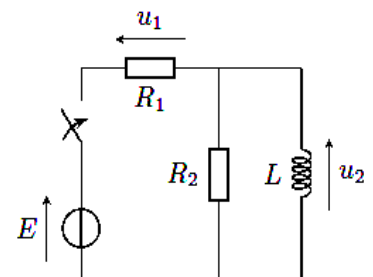
Considérons le circuit ci-contre, dans lequel l'interrupteur, ouvert depuis très longtemps, est fermé à  $t = 0$ . Le générateur est supposé idéal.

1. Montrer que l'équation différentielle vérifiée par  $u_2$  pour  $t > 0$  s'écrit comme suit **(02,5 pts)**:

$$\left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) \frac{du_2}{dt} + \frac{R_1}{L} u_2 = 0$$

2. Calculer l'expression de la constante du temps  $\tau$  **(01,5 pt)**

3. Déterminer les expressions à  $t = 0^+$  des tensions  $u_1$  et  $u_2$  **(02 pts)**



*Bon courage*

Exercice 01

1)  $ED = ?$ ,  $C_r = 0$ ,  $L_a = 0$

$$U_a = U_n = R_a i_a' + K \Omega \quad (1)$$

$$C_{em} = K i_a = J \frac{d\Omega}{dt} + f \Omega \quad (2)$$

$$\Omega = \frac{p \pi n}{60}$$

$$(3) \rightarrow i_a = \frac{\pi J}{30 K} \frac{dn}{dt} + \frac{f \pi}{K 30} n \quad (3)$$

(3) dans (1)

$$\left( \frac{R_a J}{R_a f + K^2} \right) \frac{dn}{dt} + n = \frac{30 \cdot K U_n}{R_a f \pi + K^2 \pi}$$

$$\tau = \frac{R_a J}{R_a f + K^2} \approx 0,031 s$$

$$K_1 = \frac{30 \cdot K \cdot U_n}{R_a f \pi + K^2 \pi} \approx 1646,1 \text{ tr/min}$$

$\tau$ : constante du temps

$K_1$ : vitesse limite

2)  $n(t) = ?$

$$n(t) = A e^{-\frac{t}{\tau}} + 1646,1$$

$n(0) = 0 \rightarrow A = -1646,1$

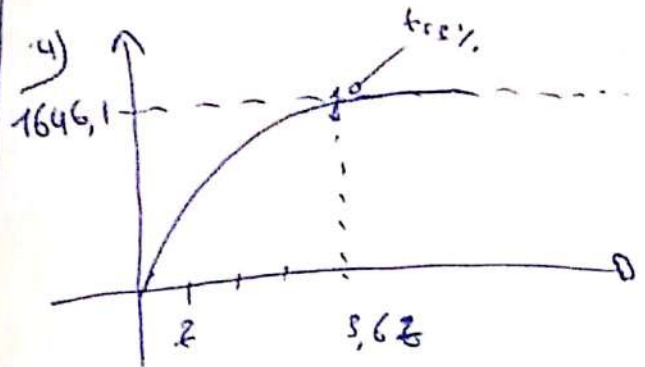
$$n(t) = -1646,1 e^{-\frac{t}{0,031}} + 1646,1$$

3)  $t_{r3\%}$

$$\frac{n_g - n(t)}{n_g} = 0,03$$

$$e^{-\frac{t}{\tau}} = 0,97$$

$$t_r \approx 0,11 s \approx 3,6 \%$$



Exercice 02

1)  $\bar{V}_1 \rightarrow \bar{V}_2 = ?$

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} \rightarrow j\omega \\ \bar{U}_1 = jL_1 \omega \bar{I}_1 - jM \omega \bar{I}_2 \quad (1) \\ \bar{U}_2 = jM \omega \bar{I}_1 - jL_2 \omega \bar{I}_2 \quad (2) \end{cases}$$

2)  $ED = ?$

$$\bar{I}_2 = \frac{Req}{jM\omega} \bar{I}_1 + \frac{L_2}{M} \bar{I}_1 \quad (3)$$

(3) dans (1), donne:

$$\left( \frac{L_1 L_2 - M^2}{L_1 Req} \right) j\omega \bar{I}_1 + \bar{I}_1 = \frac{M}{L_1 Req} U_1(t) \quad (4)$$

$j\omega \rightarrow \frac{d}{dt} \Rightarrow (4) \text{ devient}$

$$\left( \frac{L_1 L_2 - M^2}{L_1 Req} \right) \frac{di_1}{dt} + i_1(t) = \frac{M}{L_1 Req} u_1(t)$$

$$\tau = \frac{L_1 L_2 - M^2}{L_1 Req} \approx 0,0036 s$$

$$U_{M22} = \frac{M}{L_2 Req} \cdot 220 V \approx 16,2 A$$



$$i(t) = ?$$

$$i(t) = I_m \sin(314t + \varphi_p) = \frac{1}{\sqrt{2}} e^{j\varphi_p}$$

$$\frac{d\bar{i}}{dt} + \bar{i} \frac{R}{L} = 16,9 e^{j(0)}$$

$$\Rightarrow \|\bar{i}\| = \frac{16,9}{\sqrt{(R/L)^2 + 1}} = 10,7 A$$

$$\varphi_p = 0 - \arctan\left(\frac{R/L}{1}\right) = -41,3^\circ$$

$$i_p(t) = 10,6 \sin(314t - 41,3^\circ)$$

Exercice 03

1) Demonstration de l'ED

$$\begin{cases} \bar{U} = E = U_1 + U_2 \\ 0 = \frac{dU_1}{dt} + \frac{dU_2}{dt} \end{cases}$$

$$i = i_1 + i_2$$

$$\frac{U_1}{R_1} = \frac{U_2}{R_2} + \int \frac{U_2}{L} dt$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \frac{dU_1}{R_1 dt} = \frac{dU_2}{R_2 dt} + \frac{U_2}{L} \\ \frac{dU_1}{dt} = -\frac{dU_2}{dt} \end{cases}$$

après arrangement, on aura:

$$\left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) \frac{dU_2}{dt} + \frac{R_1}{L} U_2 = 0$$

$$2) R = ?$$

$$Z = \frac{(R_1 + R_2)}{\frac{R_1}{L}} = L \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

$$3) u_1(0^+), u_2(0^+)$$

$$i_1(0^-) = i_1(0^+) = 0$$

$$u_1(0^+) = R_1 i_1(0^+) = 0$$

$$u_2(0^+) = R_2 i_2(0^+)$$

$$i_1(0^+) = i_2(0^+)$$

$$i_2(0^+) = 0$$

$$i_1(0^+) = i_2(0^+) = \frac{E}{R_1 + R_2}$$

$$\Rightarrow u_1(0^+) = \frac{R_1}{R_1 + R_2} E$$

$$u_2(0^+) = \frac{R_2}{R_1 + R_2} E$$

**EMD1**

**Exercice 01 (08 pts)**

On s'intéresse aux régimes transitoire d'un MCC à excitation indépendante à flux constant et inductance d'induit négligeable

On donne  $K=1,27 \text{ V.s.rad}^{-1}$ ;  $R_a=3,4 \Omega$ ,  $U_n=220 \text{ V}$ ,  $J=0,015 \text{ kg.m}^2$ ;  $f=2,57.10^{-3} \text{ N.m.s.rad}^{-1}$ .

On soumet le moteur à un échelon de tension de 0 à  $U_a=U_n$  à vide.

1. Ecrire l'équation différentielle vérifiée par la vitesse sous la forme **(02,5 pts)**:

$$\tau \frac{dn}{dt} + n = K_1$$

$n$ : la vitesse de la machine en **tr/min**

$\tau$  et  $K_1$  des constantes à calculer

- Que représentent  $\tau$  et  $K_1$  ? **(01 pt)**

2. Déterminer l'expression de la vitesse  **$n$**  en considérant son régime transitoire. **(1,5 pts)**

3. Calculer le temps de réponse à 3% de la vitesse permanente  **$tr_{03\%}$**  **(01,5 pt)**

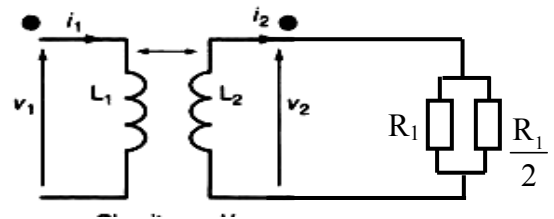
4. Tracer l'allure de  $n(t)$ . Préciser sur la courbe le régime transitoire et le régime permanent **(01,5 pts)**

**Exercice 02 (06 pts)**

On considère un transformateur monophasé qui alimente deux résistances en parallèles  $R_1$  et  $R_2$

Soit le modèle du transformateur donné par les équations suivantes :

$$\begin{cases} v_1 = L_1 \frac{di_1}{dt} - M \frac{di_2}{dt} \\ v_2 = M \frac{di_1}{dt} - L_2 \frac{di_2}{dt} \end{cases}$$



On donne :

$L_1=0.023 \text{ H}$ ,  $L_2=0.19 \text{ H}$ ,  $M=0,04\text{H}$  et  $R_1=100 \Omega$

$$v_1(t) = 220\sqrt{2} \sin(2.\pi.50.t)$$

1. Ecrire les expressions des tensions  $v_1$  et  $v_2$  sous forme complexe **(01,5 pt)**

2. Démontrer que l'équation différentielle vérifiée par le courant  $i_2$  au secondaire peut être écrite sous la forme **(02,5 pts)**:

$$\tau \frac{di_2}{dt} + i_2 = V_{22} = V_{M22} \sin(2.\pi.50.t)$$

-  $\tau$  et  $V_{M22}$  des constante à déterminer

3. Déterminer l'expression du régime **permanent** du courant  $i_2(t)$  durant son évolution. **(02 pts)**

**Exercice 03 (05 points)**

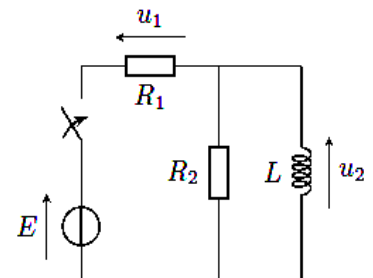
Considérons le circuit ci-contre, dans lequel l'interrupteur, ouvert depuis très longtemps, est fermé à  $t = 0$ . Le générateur est supposé idéal.

1. Montrer que l'équation différentielle vérifiée par  $u_2$  pour  $t > 0$  s'écrit comme suit **(02,5 pts)**:

$$\left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) \frac{du_2}{dt} + \frac{R_1}{L} u_2 = 0$$

2. Calculer l'expression de la constante du temps  $\tau$  **(01,5 pt)**

3. Déterminer les expressions à  $t = 0^+$  des tensions  $u_1$  et  $u_2$  **(02 pts)**



*Bon courage*

Exercice 01

1)  $ED = ?$ ,  $C_r = 0$ ,  $L_a = 0$

$$U_a = U_n = R_a i_a' + K \Omega \quad (1)$$

$$C_{em} = K i_a = J \frac{d\Omega}{dt} + f \Omega \quad (2)$$

$$\Omega = \frac{p \pi n}{60}$$

$$(3) \rightarrow i_a = \frac{\pi J}{30 K} \frac{dn}{dt} + \frac{f \pi}{K 30} n \quad (3)$$

(3) dans (1)

$$\left( \frac{R_a J}{R_a f + K^2} \right) \frac{dn}{dt} + n = \frac{30 \cdot K U_n}{R_a f \pi + K^2 \pi}$$

$$\tau = \frac{R_a J}{R_a f + K^2} \approx 0,031 s$$

$$K_1 = \frac{30 \cdot K \cdot U_n}{R_a f \pi + K^2 \pi} \approx 1646,1 \text{ tr/min}$$

$\tau$ : constante du temps

$K_1$ : vitesse limite

2)  $n(t) = ?$

$$n(t) = A e^{-\frac{t}{\tau}} + 1646,1$$

$n(0) = 0 \rightarrow A = -1646,1$

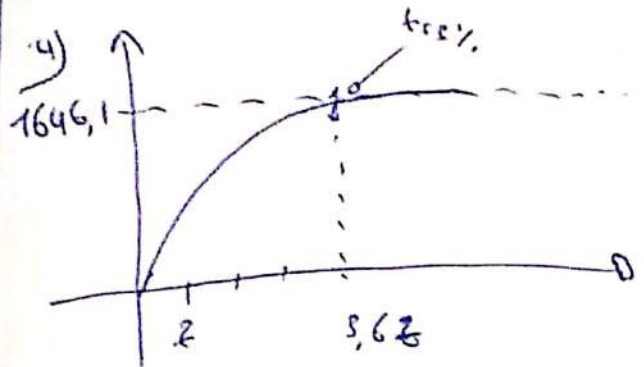
$$n(t) = -1646,1 e^{-\frac{t}{0,031}} + 1646,1$$

3)  $t_{r3\%}$

$$\frac{n_g - n(t)}{n_g} = 0,03$$

$$e^{-\frac{t}{\tau}} = 0,97$$

$$t_r \approx 0,11 s \approx 3,6 \%$$



Exercice 02

1)  $\bar{V}_1 \rightarrow \bar{V}_2 = ?$

$$\frac{d}{dt} \rightarrow j\omega$$

$$\bar{U}_1 = j L_1 \omega \bar{I}_2 - j M \omega \bar{I}_2 \quad (1)$$

$$\bar{U}_2 = j M \omega \bar{I}_1 - j L_2 \omega \bar{I}_2 \quad (2)$$

2)  $ED = ?$

$$\bar{I}_2 = \frac{R_{eq}}{j M \omega} \bar{I}_2 + \frac{L_2}{M} \bar{I}_2 \quad (3)$$

(3) dans (1), donne:

$$\left( \frac{L_1 L_2 - M^2}{L_1 R_{eq}} \right) j \omega \bar{I}_2 + \bar{I}_2 = \frac{M}{L_1 R_{eq}} U_1(t) \quad (4)$$

$j\omega \rightarrow \frac{d}{dt} \Rightarrow (4) \text{ devient}$

$$\left( \frac{L_1 L_2 - M^2}{L_1 R_{eq}} \right) \frac{di_2}{dt} + i_2(t) = \frac{M}{L_1 R_{eq}} u_1(t)$$

$$\tau = \frac{L_1 L_2 - M^2}{L_1 R_{eq}} \approx 0,0036 s$$

$$U_{M22} = \frac{M}{L_1 R_{eq}} \cdot 220 V \approx 16,2 A$$



$$i(A) = ?$$

$$i(A) = I_m \sin(314t + \varphi_p) = \frac{1}{\sqrt{2}} e^{j\varphi_p}$$

$$\frac{d\bar{i}_p}{dt} + \bar{i}_p = 16,9 e^{j(0)}$$

$$\Rightarrow \|\bar{i}_p\| = \frac{16,9}{\sqrt{(wL)^2 + 1}} = 10,7 A$$

$$\varphi_p = 0 - \arctan\left(\frac{wL}{1}\right) = -41,3^\circ$$

$$i_p(t) = 10,6 \sin(314t - 41,3^\circ)$$

Exercice 03

1) Demonstration de l'ED

$$\begin{cases} \bar{U} = E = U_1 + U_2 \\ 0 = \frac{du_1}{dt} + \frac{du_2}{dt} \end{cases}$$

$$i = i_1 + i_2$$

$$\frac{U_1}{R_1} = \frac{U_2}{R_2} + \int \frac{U_2}{L} dt$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \frac{du_1}{R_1 dt} = \frac{du_2}{R_2 dt} + \frac{U_2}{L} \\ \frac{du_1}{dt} = -\frac{du_2}{dt} \end{cases}$$

après arrangement, on aura:

$$\left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) \frac{du_2}{dt} + \frac{R_1}{L} U_2 = 0$$

$$2) R = ?$$

$$Z = \frac{\left(\frac{R_1 + R_2}{R_2}\right)}{\frac{R_1}{L}} = L \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)$$

$$3) u_1(0^+), u_2(0^+)$$

$$i_1(0^-) = i_1(0^+) = 0$$

$$u_1(0^+) = R_1 i_1(0^+) = 0$$

$$u_2(0^+) = R_2 i_2(0^+)$$

$$\begin{cases} i_1(0^+) = i_2(0^+) \\ i_1(0^+) = 0 \end{cases}$$

$$i_1(0^+) = 0$$

$$i_1(0^+) = i_2(0^+) = \frac{E}{R_1 + R_2}$$

$$\Rightarrow u_1(0^+) = \frac{R_1}{R_1 + R_2} E$$

$$u_2(0^+) = \frac{R_2}{R_1 + R_2} E$$

**Examen**

**Exercice 01 (05 points)**

Soit le système de la figure ci-contre

On néglige la phase de démarrage. Calculer:

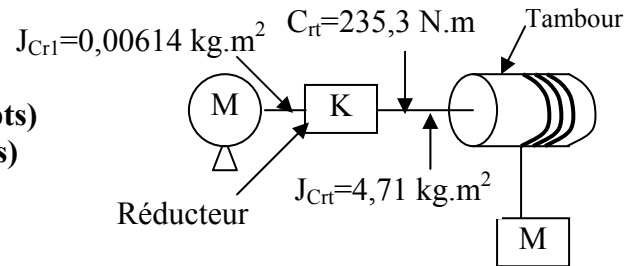
1. Le rayon du tambour et la masse de la charge **M** (02pts)
2. Le rapport du réducteur si il est supérieur à 1 . (1,5 pts)
3. Le couple charge sur l'axe moteur. (01,5 pts)

$J_{Cr1}$ : L'inertie de la charge sur l'axe moteur

$J_{Cr2}$ : L'inertie de la charge sur l'axe du tambour

$C_{rt}$ : Couple charge sur l'axe du tambour

$\eta_T = 0,85$  et  $\eta_R = 0,95$   $g=10 \text{ m/s}^2$



**Problème (15 points)**

Soit l'installation de la figure ci-contre

**Gravité :  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$**

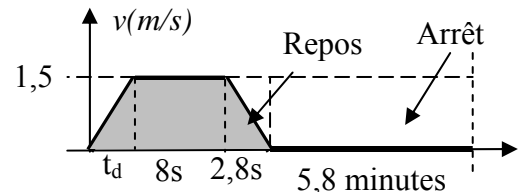
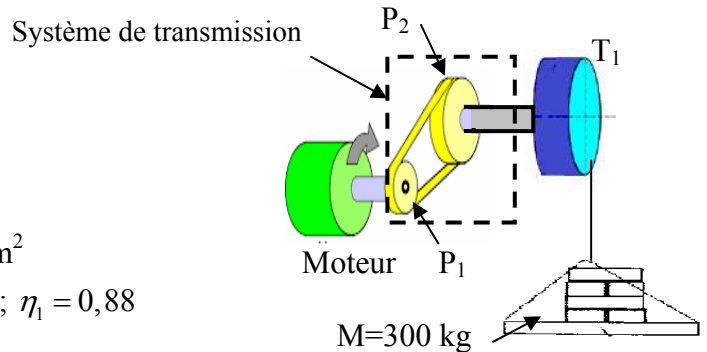
**Tambour  $T_1$  :**  $\eta_{T1} = 0,84$ ,  $D_{T1} = 0,5 \text{ m}$ ,  $J_{T1} = 0,3 \text{ kg.m}^2$

**Poulie  $P_1$  :**  $\omega_1$  (rad/s);  $J_1 = 0,0008 \text{ kg.m}^2$ ;  $D_1 = 0,04 \text{ m}$ ;  $\eta_1 = 0,88$

**Poulie  $P_2$  :**  $\omega_2$  (rad/s);  $D_2 = 0,44 \text{ m}$ ;  $J_2 = 0,12 \text{ kg.m}^2$

**Fonctionnement :**

L'allure de la vitesse durant un cycle de fonctionnement a la caractéristique ci-contre.



**Partie 1 (08 points)**

Calculer:

1. Le rapport de transmission  $\frac{\omega_2}{\omega_1}$  du système de transmission (01,5 pts)
2. Le moment d'inertie du système de transmission sur l'arbre moteur (01,5 pts)
3. Le moment d'inertie total sur l'arbre moteur en fonction de moment d'inertie du moteur  $J_m$  (01 pts)
4. Le temps de démarrage  $t_d$  (01,5 pts)

**On donne:** FDM=2,56 %

5. La force  $F$  exercée sur le câble pendant la phase de démarrage (01 pts)
6. Le couple charge sur l'arbre moteur (01,5 pt)

**Partie2 (07 points)**

1. Calculer la vitesse de rotation du moteur requise en tours/minutes (01 pt)
2. Faire votre premier choix. Justifier (01,5 pt)
  - Prendre en considération le critère d'achat suivant: **"Plus la puissance nominale augmente plus le coût augmente aussi"**
3. Calculer le couple délivré par le moteur durant la phase de démarrage (01,5 pts)
4. Calculer le couple moyen du moteur choisi donné par le constructeur (01 pt).
  - Votre choix est il bon ou mauvais? Pourquoi? (0,5 pts)
  - **Refaire le choix si nécessaire jusqu'à la vérification de la condition de démarrage vis à vis le couple de démarrage**
5. Calculer le temps de démarrage du moteur choisi (01 pt)
6. Votre choix est il bon ou non vis à vis le temps de démarrage requis? Justifier (0,5 pt).

Bonne chance



## Annexe

Le couple moyen du moteur donné par le constructeur est:

$$C_{e_{dem}} = \frac{C_n \times (K_t + 2)}{3} \quad \text{avec } K_t = \frac{C_d}{C_n}$$

$C_d / C_n$  est le même rapport  $M_d / M_n$  mentionné dans les tableaux suivants

Type	Puissance nominale à 50 Hz $P_N$ kW	Vitesse nominale $N_N$ min <sup>-1</sup>	Couple nominal $C_N$ Nm	Intensité nominale $I_N(400V)$ A	*Facteur de puissance $\cos \varphi$	* Rendement $\eta$ %	Courant démarrage / Courant nominal $I_D / I_N$	Couple démarrage / Couple nominal $M_D / M_N$	Couple maximal / Couple nominal $M_M / M_N$	Puissance apparente nominale $kVA_N$	** Courbe de couple N°	Moment d'inertie J kg.m <sup>2</sup>
LS 132 M	4	985	39.6	9.4	0.75	82	6.7	2.6	2.6	6.5	7	0.0517
LS 132 M	5.5	970	54.2	12.9	0.75	82	6.9	3.1	3	8.9	6	0.0595
LS 160 M	7.5	987	74.1	16.1	0.79	85.2	4.7	1.5	2.1	11.1	7	0.084
LS 160 L	11	967	108.7	23.3	0.79	86.3	4.6	1.6	2.1	16.1	7	0.126
LS 180 L	15	872	147.4	30.1	0.81	88.7	6.8	2.3	2.8	20.8	7	0.191
LS 200 LT	18.5	970	182.2	37.0	0.81	89.0	6.4	2.4	2.8	25.7	7	0.237

Type	Puissance nominale à 50 Hz $P_N$ kW	Vitesse nominale $N_N$ min <sup>-1</sup>	Couple nominal $C_N$ Nm	Intensité nominale $I_N(400V)$ A	*Facteur de puissance $\cos \varphi$	* Rendement $\eta$ %	Courant démarrage / Courant nominal $I_D / I_N$	Couple démarrage / Couple nominal $M_D / M_N$	Couple maximal / Couple nominal $M_M / M_N$	Puissance apparente nominale $kVA_N$	** Courbe de couple N°	Moment d'inertie J kg.m <sup>2</sup>
LS 160 L	11	720	146	25.6	0.72	86.0	3.8	1.4	1.9	17.8	8	0.205
LS 200 L	15	725	197.7	32.9	0.75	87.7	4.4	1.6	2.1	22.8	8	0.27
LS 225 ST	18.5	725	243.8	42.4	0.72	87.5	4.2	1.6	2.1	29.4	8	0.33
LS 225 MR	22	725	289.9	51.9	0.70	87.4	4.4	1.8	2.3	36.0	8	0.4

Type	Puissance nominale à 50 Hz $P_N$ kW	Vitesse nominale $N_N$ min <sup>-1</sup>	Couple nominal $C_N$ Nm	Intensité nominale $I_N(400V)$ A	*Facteur de puissance $\cos \varphi$	* Rendement $\eta$ %	Courant démarrage / Courant nominal $I_D / I_N$	Couple démarrage / Couple nominal $M_D / M_N$	Couple maximal / Couple nominal $M_M / M_N$	Puissance apparente nominale $kVA_N$	** Courbe de couple N°	Moment d'inertie J kg.m <sup>2</sup>
LS 160 MP	11	1455	72.2	21.1	0.85	88.5	7.7	2.8	3.4	14.6	8	0.039
LS 160 LR	15	1450	98.8	29.1	0.84	88.8	7.5	2.9	3.3	18.6	8	0.047
LS 160 MT	18.5	1450	121.9	35.4	0.84	89.7	7.4	2.9	3.3	24.6	1	0.065
LS 180 LR	22	1460	145	42.1	0.84	89.7	7.4	3.2	3.5	29.2	1	0.098
LS 200 LT	30	1480	196.3	55.0	0.87	90.5	6.8	2.7	2.8	38.1	2	0.151

Exercice 1

1) A et M

$$\begin{cases} C_F = \frac{F \cdot R}{J_T} \\ J_{\text{rot}} = \frac{M R^2}{J_T} \end{cases} \rightarrow F = M \cdot g$$

AN

$$\rightarrow R = 0,8 \text{ m} \\ M = 100 \text{ kg}$$

2) K = ?

$$K^2 = \frac{J_{\text{rot}}}{J_{\text{cm}}} = 900$$

$$\Rightarrow K = 30$$

3)  $C_m = ?$

$$C_m = \frac{C_F}{J_T \cdot K} = 9,23 \text{ N.m}$$

Exercice 2

1)  $\frac{\omega_2}{\omega_1} = ?$

$$\frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_2} = 0,08$$

2)  $J_{\text{sys}} = ?$

$$J_{\text{sys}} = J_{P_2} + \frac{J_{P_2}}{R_2} \cdot K^2 = 0,0017$$

$$K = \frac{\omega_2}{\omega_1}$$

$$\begin{aligned} 3) J_T &= J_m + J_{\text{sys}} + \frac{J_T}{J_{\text{sys}}} \cdot K^2 + \\ &+ \frac{M R^2}{J_T \cdot J_{\text{sys}}} \cdot K^2 \end{aligned}$$

AN

$$J_T = J_m + 0,166$$

4)  $t_d = ?$

$$FDM = \frac{t_d + 8}{t_d + 8 + 2,8 + 5,860} = 0,951$$

$$t_d = 4,915$$

5) F = ?

$$\begin{cases} F = mg + ma \\ a = \frac{v}{t_d} \end{cases} \rightarrow F = 3315 \text{ N}$$

6)  $C_m = ?$

$$C_m = \frac{F \cdot R}{J_T \cdot J_{\text{sys}}} \cdot K = 89,69$$

Partie 2

1)  $\omega_m = ?$   $N_m = \frac{60 \omega_m}{2\pi}$

$$\omega_1 = \frac{v}{R} = 6 \text{ rad/s} \rightarrow N_m = 716 \text{ tr}$$

$$\frac{\omega_2}{\omega_1} = K = \frac{\omega_T}{\omega_m}$$

$$\omega_m = \frac{6}{0,08}$$

2) premier choix

$$Ls180L \begin{cases} P_n = 12 \text{ kW} > P_{ch} \\ N_n = 720 \text{ tr/min} > N_{ch} \\ Q_n = 146 \text{ N.m} > C_m \end{cases}$$

3)  $C_m = ?$

$$\begin{aligned} C_m &= J_T \frac{\Omega_g - 0}{t_d - 0} + C_{m1} \\ &= 112,7 \text{ N.m} \end{aligned}$$

$$J_T = J_m + 0,166$$

4)  $C_{mc} = ?$

$$C_{mc} = \frac{C_n (K_p + 2)}{3}$$

$K_p = \frac{C_d}{C_n} \rightarrow C_{mc} = 165,47 \mu m$

le choix est bon, car

$$C_{mc} > C_m$$

5)  $t_{dm} = ?$

$$t_d = J_r \cdot \frac{\Omega_d}{C_a}$$

$J_r = J_m + 0,166$

$$C_a = C_{mc} - C_{r1}$$

$$\Rightarrow t_{dm} = 0,37 s$$

6) le choix est bon car:

$$t_{dm} < t_{d \text{ calculée}}$$

$$0,37 < 1,21 s$$



**Examen**

**Exercice 01 (05 points)**

Soit le système de la figure ci-contre

On néglige la phase de démarrage. Calculer:

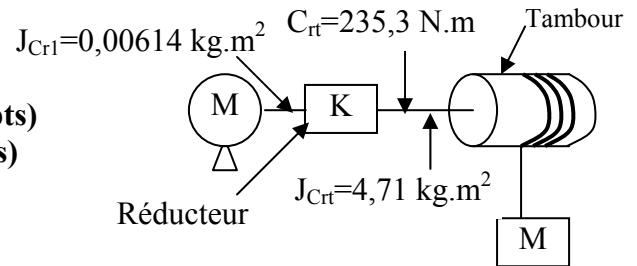
1. Le rayon du tambour et la masse de la charge **M** (02pts)
2. Le rapport du réducteur si il est supérieur à 1. (1,5 pts)
3. Le couple charge sur l'axe moteur. (01,5 pts)

$J_{Cr1}$ : L'inertie de la charge sur l'axe moteur

$J_{Cr2}$ : L'inertie de la charge sur l'axe du tambour

$C_{rt}$ : Couple charge sur l'axe du tambour

$\eta_T = 0,85$  et  $\eta_R = 0,95$   $g=10 \text{ m/s}^2$



**Problème (15 points)**

Soit l'installation de la figure ci-contre

**Gravité :  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$**

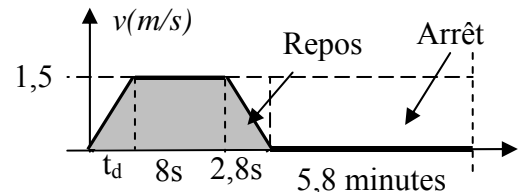
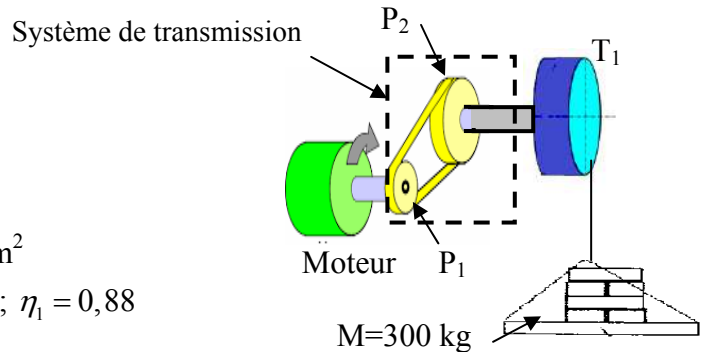
**Tambour  $T_1$  :**  $\eta_{T1} = 0,84$ ,  $D_{T1} = 0,5 \text{ m}$ ,  $J_{T1} = 0,3 \text{ kg.m}^2$

**Poulie  $P_1$  :**  $\omega_1$  (rad/s);  $J_1 = 0,0008 \text{ kg.m}^2$ ;  $D_1 = 0,04 \text{ m}$ ;  $\eta_1 = 0,88$

**Poulie  $P_2$  :**  $\omega_2$  (rad/s);  $D_2 = 0,44 \text{ m}$ ;  $J_2 = 0,12 \text{ kg.m}^2$

**Fonctionnement :**

L'allure de la vitesse durant un cycle de fonctionnement a la caractéristique ci-contre.



**Partie 1 (08 points)**

Calculer:

1. Le rapport de transmission  $\frac{\omega_2}{\omega_1}$  du système de transmission (01,5 pts)
2. Le moment d'inertie du système de transmission sur l'arbre moteur (01,5 pts)
3. Le moment d'inertie total sur l'arbre moteur en fonction de moment d'inertie du moteur  $J_m$  (01 pts)
4. Le temps de démarrage  $t_d$  (01,5 pts)

**On donne:** FDM=2,56 %

5. La force  $F$  exercée sur le câble pendant la phase de démarrage (01 pts)
6. Le couple charge sur l'arbre moteur (01,5 pt)

**Partie2 (07 points)**

1. Calculer la vitesse de rotation du moteur requise en tours/minutes (01 pt)
2. Faire votre premier choix. Justifier (01,5 pt)
  - Prendre en considération le critère d'achat suivant: **"Plus la puissance nominale augmente plus le coût augmente aussi"**
3. Calculer le couple délivré par le moteur durant la phase de démarrage (01,5 pts)
4. Calculer le couple moyen du moteur choisi donné par le constructeur (01 pt).
  - Votre choix est il bon ou mauvais? Pourquoi? (0,5 pts)
  - **Refaire le choix si nécessaire jusqu'à la vérification de la condition de démarrage vis à vis le couple de démarrage**
5. Calculer le temps de démarrage du moteur choisi (01 pt)
6. Votre choix est il bon ou non vis à vis le temps de démarrage requis? Justifier (0,5 pt).

Bonne chance

## Annexe

Le couple moyen du moteur donné par le constructeur est:

$$C_{e_{dem}} = \frac{C_n \times (K_t + 2)}{3} \quad \text{avec } K_t = \frac{C_d}{C_n}$$

$C_d / C_n$  est le même rapport  $M_d / M_n$  mentionné dans les tableaux suivants

Type	Puissance nominale à 50 Hz $P_N$ kW	Vitesse nominale $N_N$ min <sup>-1</sup>	Couple nominal $C_N$ Nm	Intensité nominale $I_N(400V)$ A	*Facteur de puissance $\cos \varphi$	* Rendement $\eta$ %	Courant démarrage / Courant nominal $I_D / I_N$	Couple démarrage / Couple nominal $M_D / M_N$	Couple maximal / Couple nominal $M_M / M_N$	Puissance apparente nominale $kVA_N$	** Courbe de couple N°	Moment d'inertie J kg.m <sup>2</sup>
LS 132 M	4	985	39.6	9.4	0.75	82	6.7	2.6	2.6	6.5	7	0.0517
LS 132 M	5.5	970	54.2	12.9	0.75	82	6.9	3.1	3	8.9	6	0.0595
LS 160 M	7.5	987	74.1	16.1	0.79	85.2	4.7	1.5	2.1	11.1	7	0.084
LS 160 L	11	967	108.7	23.3	0.79	86.3	4.6	1.6	2.1	16.1	7	0.126
LS 180 L	15	872	147.4	30.1	0.81	88.7	6.8	2.3	2.8	20.8	7	0.191
LS 200 LT	18.5	970	182.2	37.0	0.81	89.0	6.4	2.4	2.8	25.7	7	0.237

Type	Puissance nominale à 50 Hz $P_N$ kW	Vitesse nominale $N_N$ min <sup>-1</sup>	Couple nominal $C_N$ Nm	Intensité nominale $I_N(400V)$ A	*Facteur de puissance $\cos \varphi$	* Rendement $\eta$ %	Courant démarrage / Courant nominal $I_D / I_N$	Couple démarrage / Couple nominal $M_D / M_N$	Couple maximal / Couple nominal $M_M / M_N$	Puissance apparente nominale $kVA_N$	** Courbe de couple N°	Moment d'inertie J kg.m <sup>2</sup>
LS 160 L	11	720	146	25.6	0.72	86.0	3.8	1.4	1.9	17.8	8	0.205
LS 200 L	15	725	197.7	32.9	0.75	87.7	4.4	1.6	2.1	22.8	8	0.27
LS 225 ST	18.5	725	243.8	42.4	0.72	87.5	4.2	1.6	2.1	29.4	8	0.33
LS 225 MR	22	725	289.9	51.9	0.70	87.4	4.4	1.8	2.3	36.0	8	0.4

Type	Puissance nominale à 50 Hz $P_N$ kW	Vitesse nominale $N_N$ min <sup>-1</sup>	Couple nominal $C_N$ Nm	Intensité nominale $I_N(400V)$ A	*Facteur de puissance $\cos \varphi$	* Rendement $\eta$ %	Courant démarrage / Courant nominal $I_D / I_N$	Couple démarrage / Couple nominal $M_D / M_N$	Couple maximal / Couple nominal $M_M / M_N$	Puissance apparente nominale $kVA_N$	** Courbe de couple N°	Moment d'inertie J kg.m <sup>2</sup>
LS 160 MP	11	1455	72.2	21.1	0.85	88.5	7.7	2.8	3.4	14.6	8	0.039
LS 160 LR	15	1450	98.8	29.1	0.84	88.8	7.5	2.9	3.3	18.6	8	0.047
LS 160 MT	18.5	1450	121.9	35.4	0.84	89.7	7.4	2.9	3.3	24.6	1	0.065
LS 180 LR	22	1460	145	42.1	0.84	89.7	7.4	3.2	3.5	29.2	1	0.098
LS 200 LT	30	1480	196.3	55.0	0.87	90.5	6.8	2.7	2.8	38.1	2	0.151

Exercice 1

1) A et M

$$\begin{cases} C_F = \frac{F \cdot R}{J_T} \\ J_{\text{rot}} = \frac{M R^2}{J_T} \end{cases} \rightarrow F = M \cdot g$$

AN

$$\rightarrow R = 0,8 \text{ m} \\ M = 100 \text{ kg}$$

2) K = ?

$$K^2 = \frac{J_{\text{rot}}}{J_{\text{cm}}} = 900$$

$$\Rightarrow K = 30$$

3)  $C_m = ?$

$$C_m = \frac{C_F}{J_T \cdot K} = 9,23 \text{ N.m}$$

Exercice 2

1)  $\frac{\omega_2}{\omega_1} = ?$

$$\frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_2} = 0,08$$

2)  $J_{\text{sys}} = ?$

$$J_{\text{sys}} = J_{P_2} + \frac{J_{P_2}}{R_2} \cdot K^2 = 0,0017$$

$$K = \frac{\omega_2}{\omega_1}$$

$$\begin{aligned} 3) J_T &= J_m + J_{\text{sys}} + \frac{J_T}{J_{\text{sys}}} \cdot K^2 + \\ &+ \frac{M R^2}{J_T \cdot J_{\text{sys}}} \cdot K^2 \end{aligned}$$

AN

$$J_T = J_m + 0,166$$

4)  $t_d = ?$

$$FDM = \frac{t_d + 8}{t_d + 8 + 2,8 + 5,860} = 0,951$$

$$t_d = 4,915$$

5) F = ?

$$\begin{cases} F = mg + ma \\ a = \frac{v}{t_d} \end{cases} \rightarrow F = 3315 \text{ N}$$

6)  $C_m = ?$

$$C_m = \frac{F \cdot R}{J_T \cdot J_{\text{sys}}} \cdot K = 89,69$$

Partie 2

1)  $\omega_m = ?$   $N_m = \frac{60 \omega_m}{2\pi}$

$$\omega_1 = \frac{v}{R} = 6 \text{ rad/s} \rightarrow N_m = 716 \text{ tr}$$

$$\frac{\omega_2}{\omega_1} = K = \frac{\omega_T}{\omega_m}$$

$$\omega_m = \frac{6}{0,08}$$

2) premier choix

$$Ls180L \begin{cases} P_n = 12 \text{ kW} > P_{ch} \\ N_n = 720 \text{ tr/min} > N_d \\ Q_n = 146 \text{ N.m} > C_m \end{cases}$$

3)  $C_m = ?$

$$\begin{aligned} C_m &= J_T \frac{\Omega_g - 0}{t_d - 0} + C_{m1} \\ &= 112,7 \text{ N.m} \end{aligned}$$

$$J_T = J_m + 0,166$$



4)  $C_{mc} = ?$

$$C_{mc} = \frac{C_n (K_p + 2)}{3}$$

$K_p = \frac{C_d}{C_n} \rightarrow C_{mc} = 165,47 \mu m$

le choix est bon, car

$$C_{mc} > C_m$$

5)  $t_{dm} = ?$

$$t_d = J_r \cdot \frac{\Omega_d}{C_a}$$

$J_r = J_m + 0,166$

$$C_a = C_{mc} - C_{r1}$$

$$\Rightarrow t_{dm} = 0,37 s$$

6) le choix est bon car:

$$t_{dm} < t_{d \text{ calculée}}$$

$$0,37 < 1,21 s$$

## Questions

\* (Choisir la bonne réponse aux questions 1, 2)

1) Tout écart entre la production programmée et la consommation se traduit par: *(03 points)*

- une variation de la fréquence?
- une variation de la tension?
- une variation de la puissance réactive?

2) Le réglage secondaire assure le réglage. *(03 points)*

- fréquence-puissance active?
- tension-puissance réactive?

3) Quelles sont les contraintes à respecter sur les ouvrages de réseau de transport pour une bonne conduite production-transport? *(07 points)*

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

4) Quelles sont les données relative fournir a l'opérateur système pour chaque groupe de production? *(07 points)*

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

## Réponses

- 1) Tout écart entre la production programmée et la consommation se traduit par:
  - une variation de la fréquence? (3<sup>pts</sup>)
- 2) Le réglage secondaire assure le réglage:
  - fréquence-puissance active? (3<sup>pts</sup>)
- 3)- Quelles sont les contraintes à respecter sur les ouvrages de réseau de transport pour une bonne conduite production-transport ? (07 points)

Parmi les contraintes sur les ouvrages de réseau dont le respect doit être assuré par une conduite adéquate du système production- transport, on notera surtout :

  - Le respect d'une tension maximale en régime permanent pour éviter tout risque d'amorçage (420kV sur le réseau dit à 400 kV) ; (2.5<sup>pts</sup>)
  - La garantie d'une valeur maximale du courant de court-circuit (fonction du pouvoir de coupure des disjoncteurs concernés, en général 40 kA ou 63 kA en 400 kV) ; (2.5<sup>pts</sup>)
  - Enfin, le respect d'un courant maximal dans les conducteurs pour éviter tout échauffement excessif (2.0<sup>pts</sup>)
- 4) Quelles sont les données relative fournir a l'opérateur système pour chaque groupe de production? (7pts)
  - capacités nominale (MVA et MW) (1.25<sup>ts</sup>)
  - tension nominale (kv) (1<sup>pts</sup>)
  - type de groupe(1<sup>pts</sup>) et mode de fonctionnement (0.5<sup>pts</sup>)
  - réactance sub-transitoire directe(%)(1.5<sup>pts</sup>)
  - capacité nominale(0.5<sup>pts</sup>), tension(0.5<sup>pts</sup>) et impédance du transformateur de groupe(0.75<sup>pts</sup>)





Nom : .....Prénom : .....

## Examen de techniques de haute tension Durée : 1H30

### Exercice 01 : Générateur de haute tension continue (6,5 points)

Pour générer une tension continue, on utilise un doubleur de Latour alimenté par un transformateur d'essai.

1. Donner le schéma de principe de ce générateur continu.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2. Explique le principe de fonctionnement d'un tel générateur continu.

.....

.....

.....

.....

.....

3. Quelles sont les avantages et les inconvénients de ce générateur continu ?

.....

.....

.....

.....

## Exercice 02 : Câble de haute tension (07 points)

Un câble de haute tension (figure 1) est constitué d'un conducteur cylindrique central de rayon  $R_1 = 10$  mm soumis à une tension  $U = 10$  kV et d'un conducteur extérieur de rayon  $R_3 = 25$  mm mis à la terre.

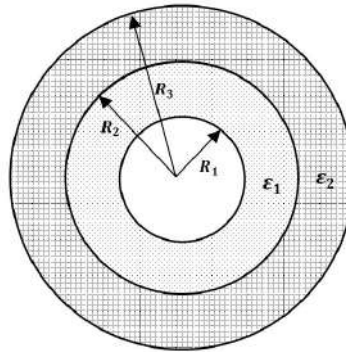


FIGURE 1 – Coupe d'un câble de haute tension.

L'isolation entre les deux conducteurs est constituée de deux isolants dont les caractéristiques sont regroupées dans le tableau ci-dessous :

Isolant	Rigidité diélectrique $E_r$ (kV/cm)	Permittivité relative $\varepsilon_r$	Épaisseur $d$ (mm)
Isolant 1	90	4	10
Isolant 2	120	2,4	5

TABLE 1 – Caractéristiques des isolants.

- Déterminer les champs électriques  $E_1(r)$  et  $E_2(r)$  au niveau des deux isolants.

.....

.....

.....

.....

.....

- Calculer les valeurs maximales des champs électriques  $E_{1max}$  et  $E_{2max}$  dans les deux isolants.

.....

.....

.....

.....

3. Est-ce que l'isolation peut supporter les champs appliqués ? Justifier.

.....

.....

4. Calculer les tensions  $U_1$  et  $U_2$  aux bornes des deux isolants.

.....

.....

.....

.....

### Exercice 03 : Mesure de la valeur crête de la la tension alternative (6,5 points)

Le circuit de Chubb et Fortescue présenté sur la figure 2 est utilisé pour mesurer la valeur crête  $U_{max}$  d'une tension alternative de fréquence  $f = 50$  Hz. La capacité  $C$  est égale à 250 pF.

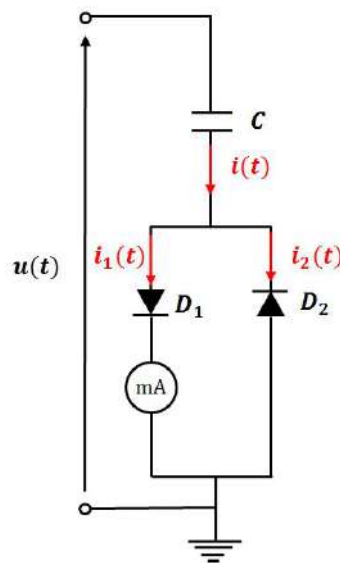


FIGURE 2 – Circuit de Chubb et Fortescue.

1. Expliquer brièvement le principe de la mesure.

.....

.....

.....

.....

2. Tracer l'allure des courants  $i(t)$  et  $i_1(t)$ .

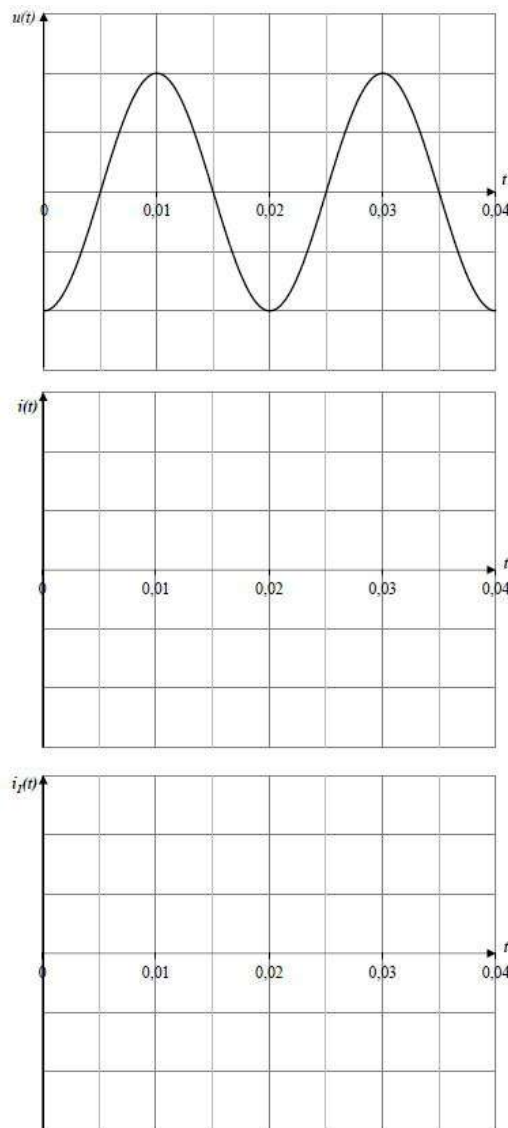


FIGURE 3 – Allures des courants  $i(t)$  et  $i_1(t)$  et de la tension  $u(t)$ .

3. Déterminer l'expression de la valeur moyenne du courant  $i_1(t)$  en fonction de  $U_{max}$  et  $f$ .

.....

.....

.....

4. Calculer la valeur de  $U_{max}$  pour un courant moyen mesuré  $I_1 = 2 \text{ mA}$ .

.....

**Bon courage**



## Corrigé type de l'examen de techniques de haute tension

### Exercice 01 : Générateur de haute tension continue (6,5 points)

Pour générer une tension continue, on utilise un doubleur de Latour alimenté par un transformateur d'essai.

- Donner le schéma de principe de ce générateur continu. (1,5 pts)

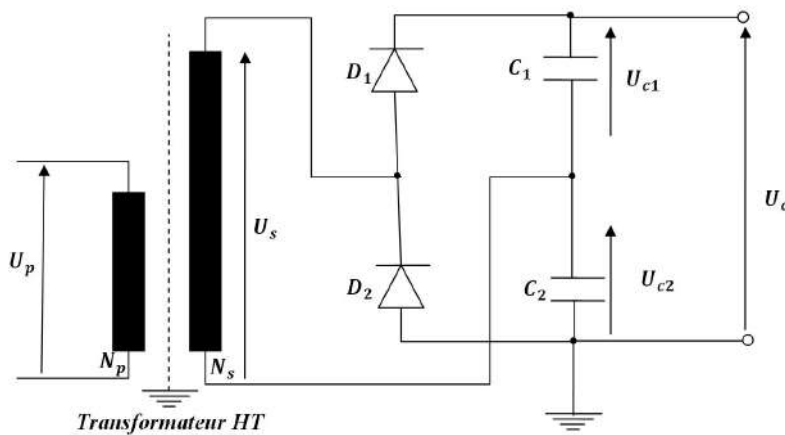


FIGURE 4 – Circuit de Chubb-Fortescue.

- Explique le principe de fonctionnement d'un tel générateur continu.

- Le condensateur  $C_1$  se charge à travers la diode  $D_1$  à la valeur crête  $U_{smax}$  pendant l'alternance positive ; (1,5 pts)
- Pendant l'alternance négative, le condensateur  $C_2$  se charge à travers la diode  $D_2$  à la valeur crête  $U_{smax}$ . (1,5 pts)

Donc, la tension  $U_c$  sera égale à  $2U_{smax}$ .

- Quelles sont les avantages et les inconvénients de ce générateur continu ?

- Inconvénient** : le doubleur utilise un transformateur dont les deux bornes du secondaire sont isolées de la terre :
  - L'une est soumise à la tension  $U_c$  complète ;
  - L'autre soumise à la moitié de la tension  $U_c$ .

Par conséquent, l'isolation entre le primaire et le secondaire du transformateur est dimensionnée pour la pleine tension  $U_c$ . (1,5 pts)

- Avantage** : les deux condensateurs du doubleur de Latour sont dimensionnés pour la moitié de la tension  $U_c$ . (0,5 pts)

## Exercice 02 : Câble de haute tension (07 points)

Un câble de haute tension (figure 1) est constitué d'un conducteur cylindrique central de rayon  $R_1 = 10$  mm soumis à une tension  $U = 10$  kV et d'un conducteur extérieur de rayon  $R_3 = 25$  mm mis à la terre.

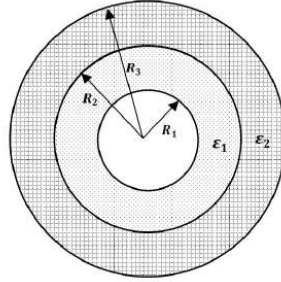


FIGURE 5 – Coupe d'un câble de haute tension.

L'isolation entre les deux conducteurs est constituée de deux isolants dont les caractéristiques sont regroupées dans le tableau ci-dessous :

Isolant	Rigidité diélectrique $E_r$ (kV/cm)	Permittivité relative $\epsilon_r$	Épaisseur $d$ (mm)
Isolant 1	90	4	10
Isolant 2	120	2,4	5

TABLE 2 – Caractéristiques des isolants.

- Déterminer les champs électriques  $E_1(r)$  et  $E_2(r)$  au niveau des deux isolants.

$$E_1(r) = \frac{V}{r\epsilon_{r1} \left[ \frac{1}{\epsilon_{r1}} \ln \left( \frac{R_2}{R_1} \right) + \frac{1}{\epsilon_{r2}} \ln \left( \frac{R_3}{R_2} \right) \right]} \quad R_1 < r < R_2 \quad (1 \text{ pt})$$

$$E_2(r) = \frac{V}{r\epsilon_{r2} \left[ \frac{1}{\epsilon_{r1}} \ln \left( \frac{R_2}{R_1} \right) + \frac{1}{\epsilon_{r2}} \ln \left( \frac{R_3}{R_2} \right) \right]} \quad R_2 < r < R_3 \quad (1 \text{ pt})$$

- Calculer les valeurs maximales des champs électriques  $E_{1max}$  et  $E_{2max}$  dans les deux isolants.

$$E_{1max} = E_1(R_1) = \frac{V}{R_1\epsilon_{r1} \left[ \frac{1}{\epsilon_{r1}} \ln \left( \frac{R_2}{R_1} \right) + \frac{1}{\epsilon_{r2}} \ln \left( \frac{R_3}{R_2} \right) \right]} = 9,39 \text{ kV/cm} \quad (1,5 \text{ pts})$$

$$E_{2max} = E_2(R_2) = \frac{V}{R_2\epsilon_{r2} \left[ \frac{1}{\epsilon_{r1}} \ln \left( \frac{R_2}{R_1} \right) + \frac{1}{\epsilon_{r2}} \ln \left( \frac{R_3}{R_2} \right) \right]} = 7,82 \text{ kV/cm} \quad (1,5 \text{ pts})$$

- Est-ce que l'isolation peut supporter les champs appliqués ? Justifier.

L'isolation du câble supportera les champs appliqués car  $E_{r1} > E_{1max}$  et  $E_{r2} > E_{2max}$ . (1 pt)

- Calculer les tensions  $U_1$  et  $U_2$  aux bornes des deux isolants.

$$U_1 = E_{1max} R_1 \ln \frac{R_2}{R_1} = 6,51 \text{ kV} \quad (1,5 \text{ pts})$$

$$U_2 = E_{2max} R_2 \ln \frac{R_3}{R_2} = U - U_1 = 3,49 \text{ kV} \quad (1,5 \text{ pts})$$

### Exercice 03 : Mesure de la valeur crête de la la tension alternative (6,5 points)

Le circuit de Chubb et Fortescue présenté sur la figure 2 est utilisé pour mesurer la valeur crête  $U_{max}$  d'une tension alternative de fréquence  $f = 50$  Hz. La capacité  $C$  est égale à 250 pF.

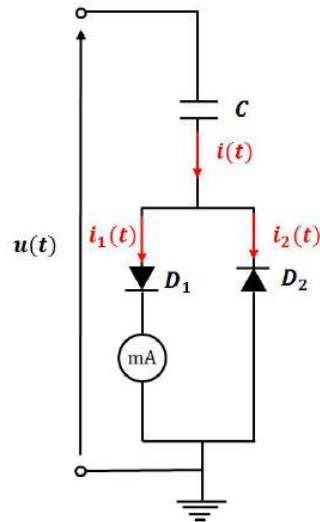
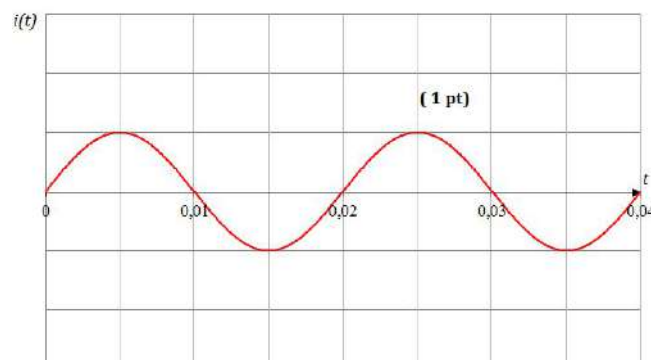
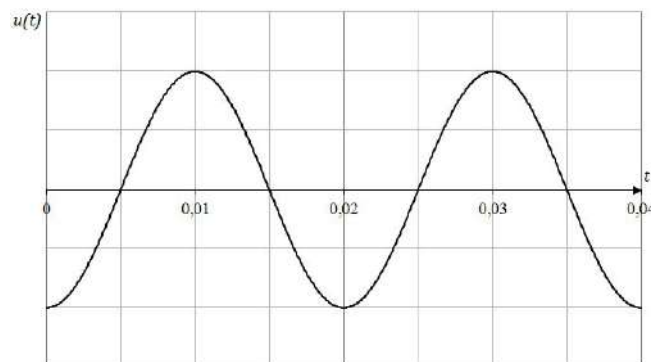


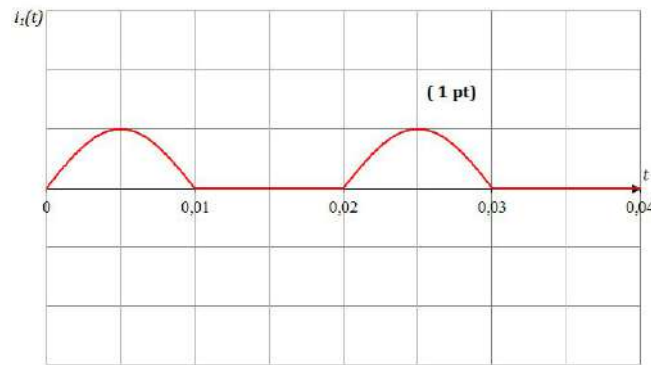
FIGURE 6 – Circuit de Chubb et Fortescue.

1. Expliquer brièvement le principe de la mesure.

La valeur crête de la tension alternative est déduite à partir du courant moyen mesuré par le milliampèremètre. (1 pt)

2. Tracer l'allure des courants  $i(t)$  et  $i_1(t)$ .





3. Déterminer l'expression de la valeur moyenne du courant  $i_1(t)$  en fonction de  $U_{max}$  et  $f$ .

$$I_1 = \frac{1}{T} \int_0^{T/2} i_1(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^{T/2} C \frac{du(t)}{dt} dt = \frac{1}{T} \int_0^{T/2} C du(t)$$

$$I_1 = \frac{C}{T} [u(T/2) - u(0)] = 2Cf U_{max} \quad (1,5 \text{ pts})$$

4. Calculer la valeur de  $U_{max}$  pour un courant moyen mesuré  $I_1 = 2 \text{ mA}$ .

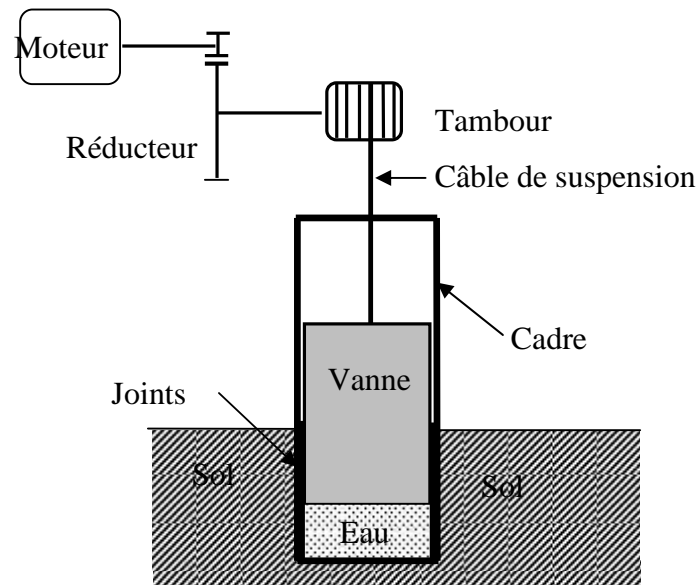
$$U_{max} = \frac{I_1}{2Cf} = 80 \text{ kV} \quad (2 \text{ pts})$$



## Les schémas doivent être tracés à la règle sinon .....

### Exercice N°1 : (4pts)

Une vanne levante en acier inoxydable a une hauteur  $H=1.4\text{ m}$ , une largeur  $L=0.9\text{ m}$  et une épaisseur  $E=2\text{ cm}$ . Cette vanne contrôle le débit d'eau qui alimente une turbine d'une centrale hydraulique. La vanne est soulevée par un moteur asynchrone via un tambour de diamètre  $D = 40\text{ cm}$  à une vitesse de  $0.9\text{ m/s}$ . Le moteur entraîne le tambour via un réducteur de vitesse comme le montre la figure ci-dessous.

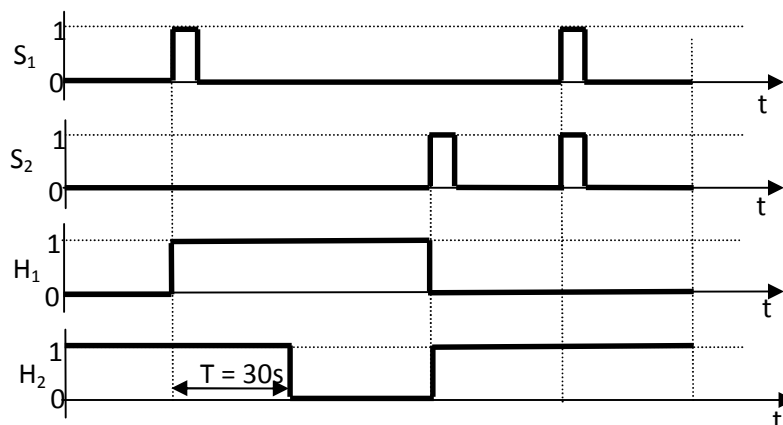


1. Calculer la puissance de levage et la vitesse de rotation du tambour.
2. En déduire la puissance utile du moteur si le rendement du tambour-réducteur est de 70%.
3. Calculer le rapport de réduction si le moteur tourne à sa vitesse nominale  $N = 1450\text{ tr/mn}$ .
4. Choisir le moteur si le réseaux est de  $3 \times 380\text{ V}, 50\text{ Hz}$

On donne : -  $g=10\text{ m/s}^2$ .  $\rho_{\text{acier}} = 8000\text{ Kg/m}^3$ .

### Exercice N°2 : (4pts)

On commande deux lampes  $H_1$  et  $H_2$  à l'aide de deux boutons poussoirs  $S_1$  normalement ouvert au repos et  $S_2$  normalement fermé au repos selon le chronogramme ci-dessous.



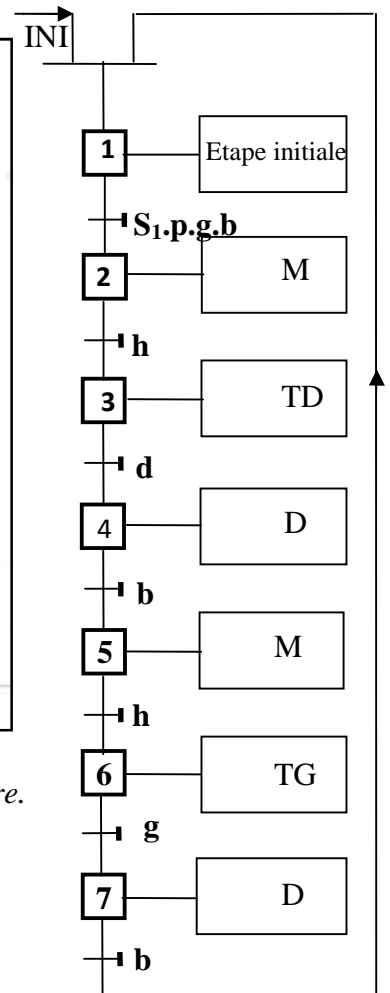
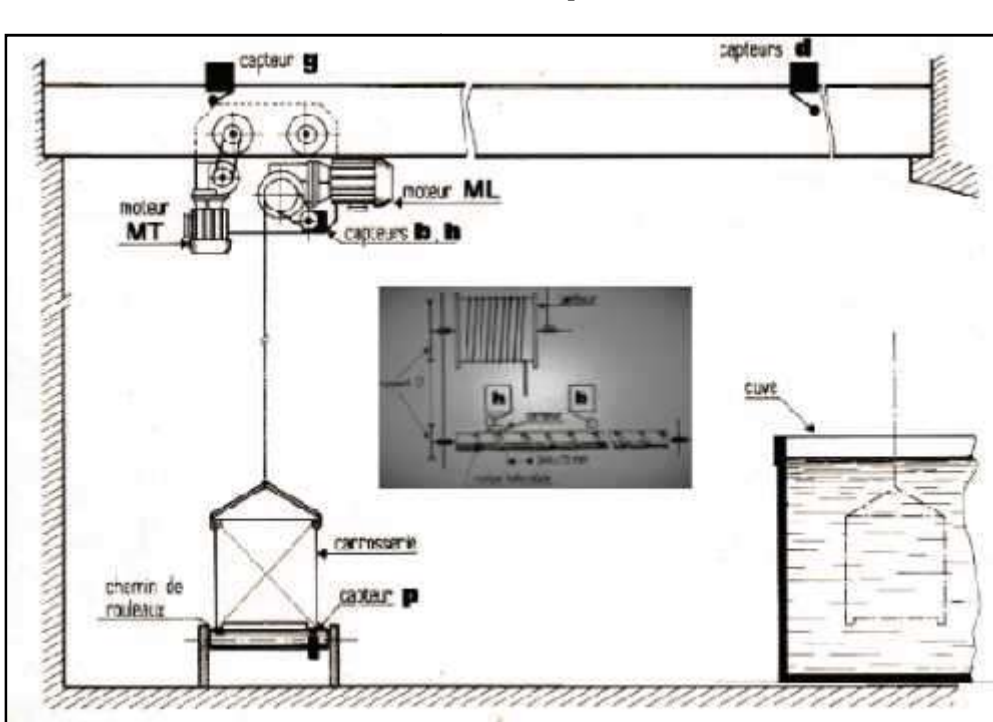
Etablir le schéma de commande de ces deux lampes.

### Problème : (12 pts)

Il s'agit dans ce poste de plonger les carrosseries des machines à laver dans une cuve de peinture d'apprêt avant émaillage.

#### 1. Description du poste :

1. Les carrosseries des machines sont poussées à la main sur les chemins de rouleaux.
2. L'accrochage et le décrochage sur le dispositif se fait manuellement.
3. Le départ du cycle est enclenché par l'appui sur un bouton poussoir  $S_1$ .
4. La figure ci-dessous représente l'allure du mécanisme réel dans son état initial.
5. La translation est assurée par un chariot se déplaçant sur une poutre en I et commandé par un moteur MT. Ce moteur est protégé contre les surcharges par relais thermique  $F_1$ .
6. La montée et la descente sont assurées par un moteur ML à réducteur et un tambour sur lequel s'enroule un câble. Ce moteur est équipé d'un électro frein à manque de courant et protégé contre les surcharges par un relais thermique  $F_2$ .
7. l'ensemble des deux moteurs est isolé par un seul sectionneur



#### 2. Fonctionnement:

Le fonctionnement du poste est décrit par le diagramme fonctionnel ci-contre.

#### 3. Travail demandé:

1. Etablir le schéma puissance sachant que les moteurs sont triphasés à cage et à démarrage direct.
2. Par tâtonnement, établir le schéma de commande.

#### Indications:

Les capteurs p, b, h, g et d désignent respectivement la présence de la carrosserie sur les rouleaux, les positions basse, haute, à gauche et à droite de la carrosserie.

M: Montée, D: Descente, TD: Translation à droite, TG: Translation à gauche.

*Bon courage*

# PUISSANCES NORMALISEES

PUISSANCES NORMALISEES		COURANTS (A)							
		TRIPHASE 50/60Hz						MONO	CONTINU
kW	HP	220V	380V	415V	440V	500V	660V	220	220
0.37	0.5	1.8	1.03			1	0.6	3.12	2.28
0.55	0.75	2.75	1.6			1.21	0.9	4.76	3.31
0.75	1	3.5	2	2	1.68	1.5	1.1	6.01	4.29
1.1	1.5	4.4	2.6	2.5	2.37	2	1.5	7.6	6.35
1.5	2	6	3.5	3.5	3.06	2.6	2	10.4	8.25
2.2	3	8.7	5	5	4.42	3.8	2.8	15.1	12.3
3	4	11.5	6.6	6.5	5.77	5	3.8	20	16.3
4	5.5	14.5	8.5			6.5	4.9	25.1	21.6
5.5	7.5	20	11.5	11	10.4	9	6.6	34.6	29.2
7.5	10	27	15.5	14	13.7	12	8.9	16.8	38.4
10	13.5	35	20			15	11.5	60	52
11	15	39	22	21	20.1	17	12.7	68	57
15	20	52	30	28	26.5	23	17.3	90	76
18.5	25	64	37	35	32.8	28.5	21.3	111	94
22	30	75	44	40	39	33	25.4	130	113
30	40	103	60	55	51.5	45	34.6	178	150
37	50	126	72.5	66	64	55	41.8	218	186
45	0	147	85	80	76.3	65	49	254	221
55	75	182	105			80	60.6	315	276
75	100	239	138	135	125	105	79.6	414	364
90	125	295	170	165	156	129	98	511	450
110	150	356	05	200	186	156	118	617	540
132	175	425	245	230	216	187	141	710	630
160	220	520	300			228	173	900	791
200	270	640	370			281	214	1108	971
220	300	710	408	385		310	235	1230	1079
250	350	823	475	450		360	274	1426	1259
315	430	1000	584			442	337	1728	1547

## Exercice N°1

1°- Calcul de la puissance de levage

$$P_e = M g v \quad (0,5)$$

Calculons  $M$ :  $f = \frac{M}{E} \Rightarrow M = f \cdot E \quad (0,5)$  mais  $E = H \cdot L \cdot E$

AN:

$$E = 1,2 \cdot 0,6 \cdot 0,02 = 0,0144 \text{ m}^3$$

$$M = 0,0144 \cdot 8000 = 115,2 \text{ Kg}$$

$$P_e = 115,2 \cdot 10 \cdot 0,9 = 1036,8 \text{ W} \quad (0,5)$$

b) Vitesse de rotation du tambour

$$v = \Omega r \cdot R \Rightarrow \Omega r = \frac{v}{R} \quad (0,5) \text{ AN: } \Omega r = \frac{0,9}{0,2} = 4,5 \text{ rad s}^{-1} \quad (0,5)$$

2° Puissance utile du moteur

$$\eta = \frac{P_e}{P_{um}} \Rightarrow P_{um} = \frac{P_e}{\eta} \quad (0,5) \text{ AN: } P_{um} = \frac{1036,8}{0,7} = 1481,14 \text{ W} \quad (0,5)$$

3° Calcul du rapport de réduction  $TR$

$$\lambda = \frac{\Omega_r}{\Omega_m} \quad \Omega_m = 2\pi \cdot N = 2\pi \cdot 1450/60 = 151,8 \text{ rad s}^{-1}$$

$$\lambda = \frac{4,5}{151,8} = 0,0297 \quad \text{soit } \frac{1}{\lambda} = 33,7 \quad (0,5)$$

4° choix du moteur:

$$220/380 \text{ V; } 6/3 \text{ fA}$$

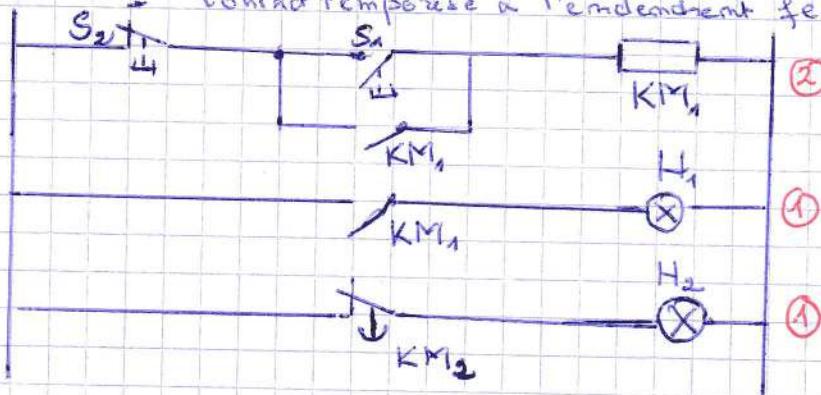
$$P_u = 1,5 \text{ kW}$$

$$N_N = 1450 \text{ tr/min} \quad (0,5)$$

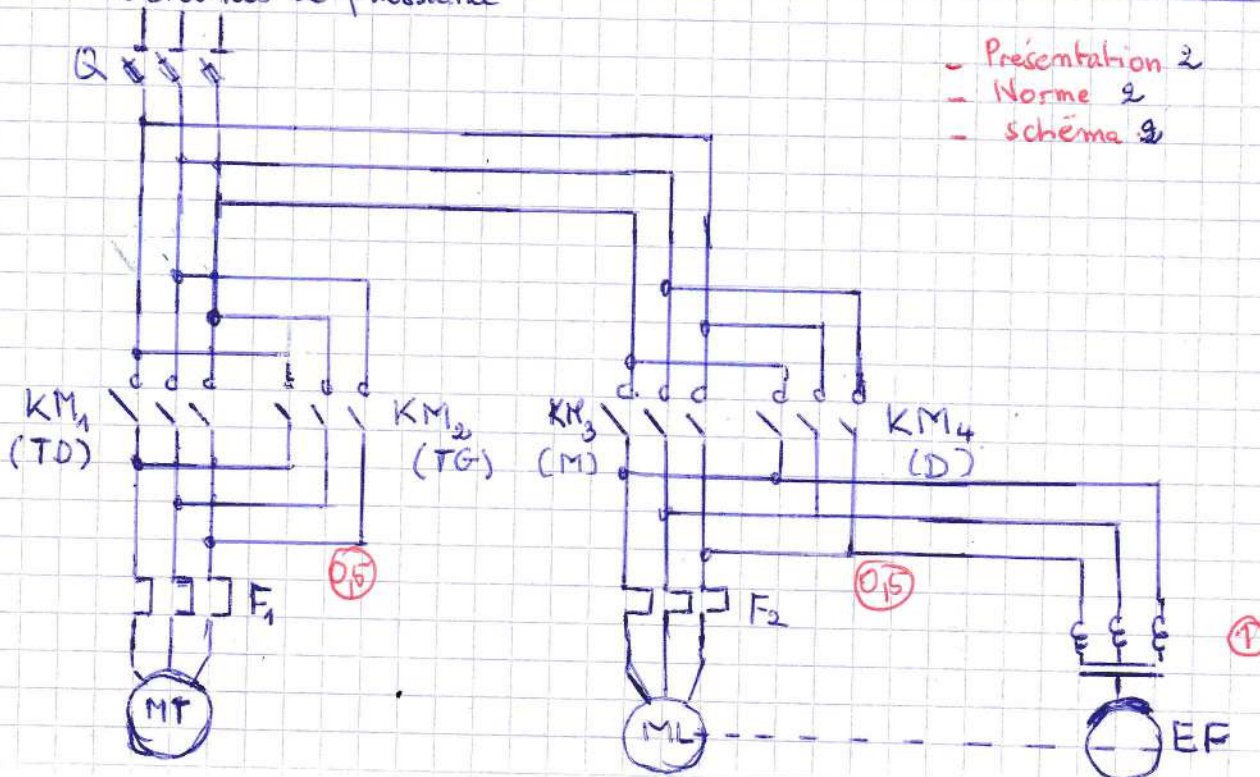
## Exercice N°2

d'après le chronogramme on a:

- Fonction même temps dont la priorité est donnée à l'arrêt
- Contact temporisé à l'endement fermé au repos.

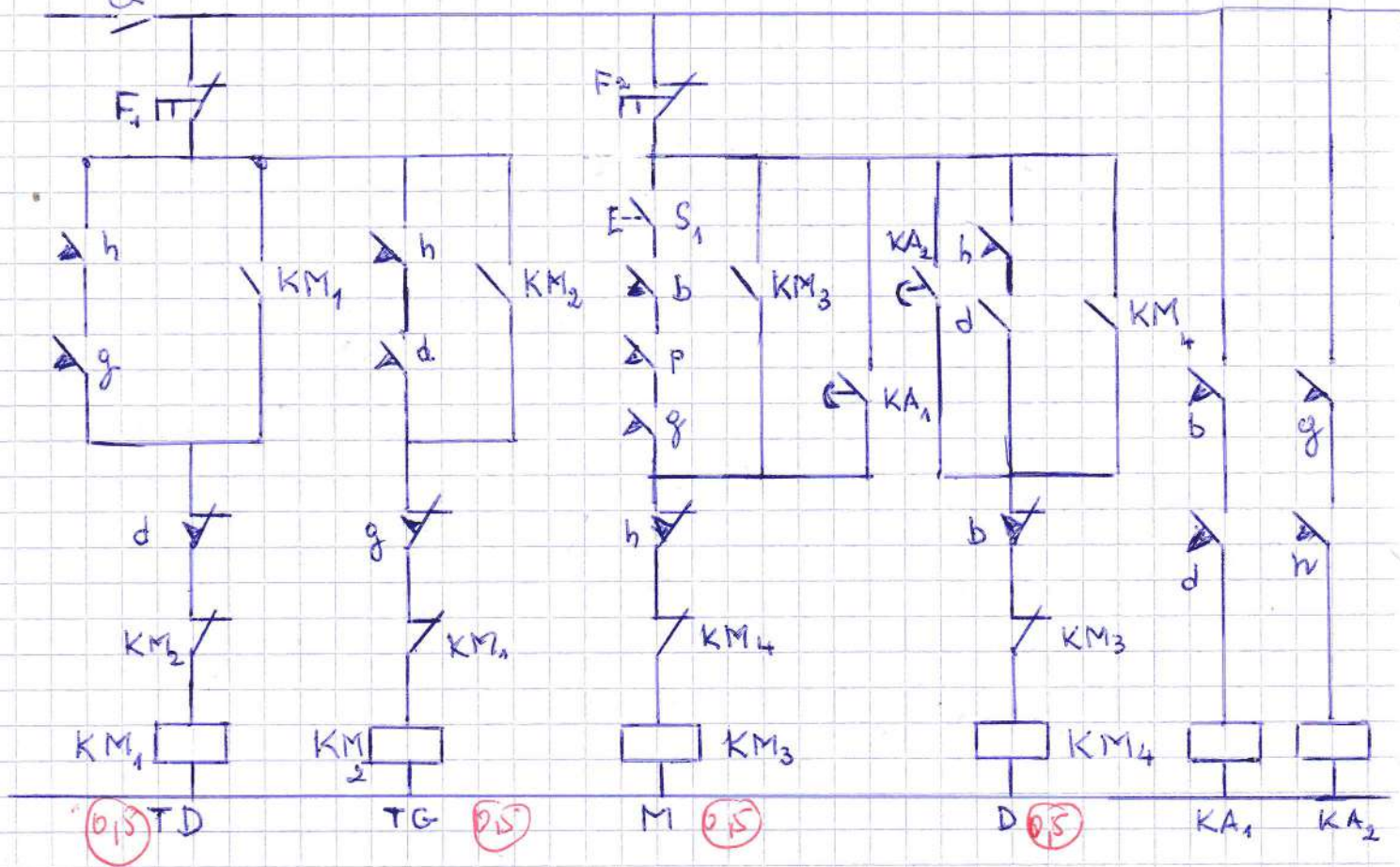


- schéma de puissance





# Q - Circuit de commande



Présentation 2  
Norme 2  
Schéma 2

Choisissez la ou les bonnes réponses

**Enseignant: Taibi Djamel**

1- La solution RT-LAB exploite une technologie temps-réel exclusive développée par :

- ☐ Opal-RT    ☐ Opel-RT    ☐ Apple-RT

2- Le temps pendant lequel une tâche est traitée par l'ordinateur est appelé :

- ☐ Temps d'exécution    ☐ Temporisation    ☐ Temps réel    ☐ Temps d'attente

3- La régulation Tout Ou Rien (TOR). Elle est utilisée quand

- ☐ la dynamique du système est très courte.    ☐ la dynamique du système est très lente.  
☐ l'erreur statique du système est très petit.    ☐ l'erreur statique du système est très grand.

4- Quel microcontrôleur est utilisé dans Arduino Uno ?

- ☐ ATmega325p    ☐ ATmega328p  
☐ ATmega325s    ☐ AT91SAM3x8E

5- Que signifie le PWM ?

- ☐ Modulation d'onde d'impulsion    ☐ Gestion de la largeur de puissance  
☐ Modulation de largeur d'impulsion    ☐ Surveillance de la largeur d'impulsion

6- Quel type de données est transmis via TX & RX ?

- ☐ Données numériques    ☐ Données analogiques  
☐ Données TTL    ☐ Données PWM

7- Ce modèle Simulink présente :



- ☐ Une LED clignotante sur MATLAB    ☐ Un Servo Control sur Simulink sans connexion d'Arduino  
☐ Un Générateur d'impulsions dans Simulink    ☐ Une Connexion Simulink vers Arduino

8- Lorsque vous utilisez le mode externe (External mode):

- ☐ vous pouvez communiquer bi-directionnellement entre la carte Arduino et le PC.  
☐ vous pouvez télécharger un code supplémentaire sur la carte arduino pour permettre cette communication.  
☐ vous pouvez modifier les paramètres de simulation pendant que le système fonctionne.

9- Donner la fonction de transfert du régulateur PI

et quels sont l'intérêt de deux actions de ce régulateur .....

.....  
 .....

10- Quelles sont les étapes d'exécution du modèle sous simulateur RT-LAB (Real time – Laboratory)

1-.....2-.....3-.....4-.....

**11- Qu'est-ce qu'un système temps réel ?**

- ☐ Un système dont la correction dépend des valeurs des résultats produits et les délais dans lesquels les résultats sont produits
- ☐ Lorsque ce système est capable de contrôler un procédé physique à une vitesse adaptée à l'évolution du procédé contrôlé.
- ☐ Un système électronique autonome, souvent temps réel, généralisé pour plusieurs tâches

**12- Dans le simulateur RT-LAB, le ARTEMIS « Advanced Real-Time Electro »**

- ☐ Est un outil qui s'intègre au schéma bloc de Simulink
- ☐ Est un outil qui s'intègre au blocks et SimPowerSystem de Simulink

**13- Dans le simulateur RT-LAB, le RT□EVENTS, est pour :**

- ☐ améliorer l'efficacité et la précision des simulations des systèmes à temps discrets
- ☐ améliorer l'efficacité et la précision des simulations des systèmes à temps continu

**14- Le bloc « OpComm» dans un simulateur RT-LAB permet :**

- ☐ de lancer la simulation et de sauvegarder les courbes sous format .mat
- ☐ d'activer et de sauvegarder les informations de la communication entre la station de commande et les nœuds de calcul
- ☐ d'exécuter le modèle sous RT□LAB

**15- La validation temps réel dans un RT-LAB par interfaçage logiciel est un**

- ☐ Software In the Loop (SIL)
- ☐ Hardware In the Loop (HIL)
- ☐ Power In the Loop (PIL)

**16- L'Utilisation d'un pas fixe de simulation pour un simulateur temps réel, est pour objectif :**

- ☐ de Synchroniser les calculs et l'échantillonnage.
- ☐ pour répartir les tâches de calcul sur plusieurs processeurs afin d'optimiser le temps de calcul de l'ensemble pour préciser les résultats

**17- Le simulateur et le test temps réel vous permettent de :**

Tester le système de contrôle implémenté sur son hardware, même en cas d'indisponibilité du système physique

- ☐ Vrai
- ☐ Faux

**18- Un système temps réel est un système classique mais qui va plus vite**

- ☐ Vrai
- ☐ Faux

**19- C'est quoi l'échéance dans un système temps réel**

- ☐ qui est la date à laquelle la tâche doit avoir terminé son exécution
- ☐ Une tâche qui caractérisée par un temps de calcul

**20- Dans un schéma de commande numérique en temps réel pour l'asservissement de température d'une salle à l'aide de la carte Arduino UNO en utilisant MATLAB/SIMULINK.**

Que signifie les deux valeurs :

**255 :** .....

**1023 :** .....



Durée : 1 h

Corrigé type

Examen

Choisissez la ou les bonnes réponses

1- La solution RT-LAB exploite une technologie temps-réel exclusive développée par :

- ☒ Opal-RT ☐ Opel-RT ☐ Apple-RT

2- Le temps pendant lequel une tâche est traitée par l'ordinateur est appelé :

- ☒ Temps d'exécution ☐ Temporisation ☐ Temps réel ☐ Temps d'attente

3- La régulation Tout Ou Rien (TOR). Elle est utilisée quand

- ☐ la dynamique du système est très courte. ☒ la dynamique du système est très lente.  
☐ l'erreur statique du système est très petit. ☐ l'erreur statique du système est très grand.

4- Quel microcontrôleur est utilisé dans Arduino Uno ?

- ☐ ATmega325p ☒ ATmega328p ☐ AT91SAM3x8E  
☐ ATmega325s

5- Que signifie le PWM ?

- ☐ Modulation d'onde d'impulsion ☐ Gestion de la largeur de puissance  
☒ Modulation de largeur d'impulsion ☐ Surveillance de la largeur d'impulsion

6- Quel type de données est transmis via TX & RX ?

- ☐ Données numériques ☐ Données analogiques  
☒ Données TTL ☐ Données PWM

7- Ce modèle Simulink présente :



- ☐ Une LED clignotante sur MATLAB ☐ Un Servo Control sur Simulink sans connexion d'Arduino  
☐ Un Générateur d'impulsions dans Simulink ☒ Une Connexion Simulink vers Arduino

8- Lorsque vous utilisez le mode externe (External mode):

- ☒ vous pouvez communiquer bi-directionnellement entre la carte Arduino et le PC.  
☐ vous pouvez télécharger un code supplémentaire sur la carte arduino pour permettre cette communication.  
☒ vous pouvez modifier les paramètres de simulation pendant que le système fonctionne.

9- Donner la fonction de transfert du régulateur PI

et quels sont l'intérêt de deux actions de ce

régulateur .....  $C(s) = K_p + \frac{1}{T_i s}$  .....  $T_i = \frac{1}{K_i}$

10- Quelles sont les étapes d'exécution du modèle sous simulateur RT-LAB (Real time - Laboratory)

1- Edit 2- Compile 3- Execute 4- Interact



- 05  
X 11- Qu'est-ce qu'un système temps réel ?  
Un système dont la correction dépend des valeurs des résultats produits et les délais dans lesquels les résultats sont produits  
X 65  
Lorsque ce système est capable de contrôler un procédé physique à une vitesse adaptée à l'évolution du procédé contrôlé.  
Un système électronique autonome, souvent temps réel, généralisé pour plusieurs tâches

- 12- Dans le simulateur RT-LAB, le ARTEMIS « Advanced Real-Time Electro »  
Est un outil qui s'intègre au schéma bloc de Simulink  
X 65  
Est un outil qui s'intègre aux blocks et SimPowerSystem de Simulink

- 13- Dans le simulateur RT-LAB, le RT-EVENTS, est pour :  
X 65  
Améliorer l'efficacité et la précision des simulations des systèmes à temps discrets  
Améliorer l'efficacité et la précision des simulations des systèmes à temps continu

- 14- Le bloc « OpComm » dans un simulateur RT-LAB permet :  
de lancer la simulation et de sauvegarder les courbes sous format .mat  
X 65  
d'activer et de sauvegarder les informations de la communication entre la station de commande et les nœuds de calcul  
d'exécuter le modèle sous RT-LAB

- 05  
X 15- La validation temps réel dans un RT-LAB par interfacement logiciel est un  
Software In the Loop (SIL)  
Hardware In the Loop (HIL)  
Power In the Loop (PIL)

- 05  
X 16- L'Utilisation d'un pas fixe de simulation pour un simulateur temps réel, est pour objectif :  
de Synchroniser les calculs et l'échantillonnage.  
pour répartir les tâches de calcul sur plusieurs processeurs afin d'optimiser le temps de calcul de l'ensemble  
pour préciser les résultats

- 17- Le simulateur et le test temps réel vous permettent de :  
Tester le système de contrôle implémenté sur son hardware, même en cas d'indisponibilité du système physique  
X 05  
Vrai  
Faux

- 18- Un système temps réel est un système classique mais qui va plus vite  
Vrai  
X 05  
Faux

- 19- C'est quoi l'échéance dans un système temps réel  
X  
qui est la date à laquelle la tâche doit avoir terminé son exécution  
Une tâche qui est caractérisée par un temps de calcul

20- Dans un schéma de commande numérique en temps réel pour l'asservissement de température d'une salle à l'aide de la carte Arduino UNO en utilisant MATLAB/SIMULINK.

Que signifie les deux valeurs :

255 :  $2^8$  : 8 bits  $\Rightarrow$  le convertisseur A/N à 8 bits 01  
1023 :  $2^{10}$  : 10 bits  $\Rightarrow$  le convertisseur N/A à 10 bits 01

Choisissez la ou les bonnes réponses

**Enseignant: Taibi Djamel**

1- La solution RT-LAB exploite une technologie temps-réel exclusive développée par :

- ☐ Opal-RT    ☐ Opel-RT    ☐ Apple-RT

2- Le temps pendant lequel une tâche est traitée par l'ordinateur est appelé :

- ☐ Temps d'exécution    ☐ Temporisation    ☐ Temps réel    ☐ Temps d'attente

3- La régulation Tout Ou Rien (TOR). Elle est utilisée quand

- ☐ la dynamique du système est très courte.    ☐ la dynamique du système est très lente.  
☐ l'erreur statique du système est très petit.    ☐ l'erreur statique du système est très grand.

4- Quel microcontrôleur est utilisé dans Arduino Uno ?

- ☐ ATmega325p    ☐ ATmega328p  
☐ ATmega325s    ☐ AT91SAM3x8E

5- Que signifie le PWM ?

- ☐ Modulation d'onde d'impulsion    ☐ Gestion de la largeur de puissance  
☐ Modulation de largeur d'impulsion    ☐ Surveillance de la largeur d'impulsion

6- Quel type de données est transmis via TX & RX ?

- ☐ Données numériques    ☐ Données analogiques  
☐ Données TTL    ☐ Données PWM

7- Ce modèle Simulink présente :



- ☐ Une LED clignotante sur MATLAB    ☐ Un Servo Control sur Simulink sans connexion d'Arduino  
☐ Un Générateur d'impulsions dans Simulink    ☐ Une Connexion Simulink vers Arduino

8- Lorsque vous utilisez le mode externe (External mode):

- ☐ vous pouvez communiquer bi-directionnellement entre la carte Arduino et le PC.  
☐ vous pouvez télécharger un code supplémentaire sur la carte arduino pour permettre cette communication.  
☐ vous pouvez modifier les paramètres de simulation pendant que le système fonctionne.

9- Donner la fonction de transfert du régulateur PI

et quels sont l'intérêt de deux actions de ce

régulateur .....

.....

10- Quelles sont les étapes d'exécution du modèle sous simulateur RT-LAB (Real time – Laboratory)

1-.....2-.....3-.....4-.....

**11- Qu'est-ce qu'un système temps réel ?**

- ☐ Un système dont la correction dépend des valeurs des résultats produits et les délais dans lesquels les résultats sont produits
- ☐ Lorsque ce système est capable de contrôler un procédé physique à une vitesse adaptée à l'évolution du procédé contrôlé.
- ☐ Un système électronique autonome, souvent temps réel, généralisé pour plusieurs tâches

**12- Dans le simulateur RT-LAB, le ARTEMIS « Advanced Real-Time Electro »**

- ☐ Est un outil qui s'intègre au schéma bloc de Simulink
- ☐ Est un outil qui s'intègre au blocks et SimPowerSystem de Simulink

**13- Dans le simulateur RT-LAB, le RT-EVENTS, est pour :**

- ☐ améliorer l'efficacité et la précision des simulations des systèmes à temps discrets
- ☐ améliorer l'efficacité et la précision des simulations des systèmes à temps continu

**14- Le bloc « OpComm» dans un simulateur RT-LAB permet :**

- ☐ de lancer la simulation et de sauvegarder les courbes sous format .mat
- ☐ d'activer et de sauvegarder les informations de la communication entre la station de commande et les nœuds de calcul
- ☐ d'exécuter le modèle sous RT-LAB

**15- La validation temps réel dans un RT-LAB par interfaçage logiciel est un**

- ☐ Software In the Loop (SIL)
- ☐ Hardware In the Loop (HIL)
- ☐ Power In the Loop (PIL)

**16- L'Utilisation d'un pas fixe de simulation pour un simulateur temps réel, est pour objectif :**

- ☐ de Synchroniser les calculs et l'échantillonnage.
- ☐ pour répartir les tâches de calcul sur plusieurs processeurs afin d'optimiser le temps de calcul de l'ensemble pour préciser les résultats

**17- Le simulateur et le test temps réel vous permettent de :**

Tester le système de contrôle implémenté sur son hardware, même en cas d'indisponibilité du système physique

- ☐ Vrai
- ☐ Faux

**18- Un système temps réel est un système classique mais qui va plus vite**

- ☐ Vrai
- ☐ Faux

**19- C'est quoi l'échéance dans un système temps réel**

- ☐ qui est la date à laquelle la tâche doit avoir terminé son exécution
- ☐ Une tâche qui caractérisée par un temps de calcul

**20- Dans un schéma de commande numérique en temps réel pour l'asservissement de température d'une salle à l'aide de la carte Arduino UNO en utilisant MATLAB/SIMULINK.**

Que signifie les deux valeurs :

**255 :** .....

**1023 :** .....



Durée : 1 h

Corrigé type

Examen

Choisissez la ou les bonnes réponses

1- La solution RT-LAB exploite une technologie temps-réel exclusive développée par :

- ☒ Opal-RT ☐ Opel-RT ☐ Apple-RT

2- Le temps pendant lequel une tâche est traitée par l'ordinateur est appelé :

- ☒ Temps d'exécution ☐ Temporisation ☐ Temps réel ☐ Temps d'attente

3- La régulation Tout Ou Rien (TOR). Elle est utilisée quand

- ☐ la dynamique du système est très courte. ☒ la dynamique du système est très lente.  
☐ l'erreur statique du système est très petit. ☐ l'erreur statique du système est très grand.

4- Quel microcontrôleur est utilisé dans Arduino Uno ?

- ☐ ATmega325p ☒ ATmega328p ☐ AT91SAM3x8E  
☐ ATmega325s

5- Que signifie le PWM ?

- ☐ Modulation d'onde d'impulsion ☐ Gestion de la largeur de puissance  
☒ Modulation de largeur d'impulsion ☐ Surveillance de la largeur d'impulsion

6- Quel type de données est transmis via TX & RX ?

- ☐ Données numériques ☐ Données analogiques  
☒ Données TTL ☐ Données PWM

7- Ce modèle Simulink présente :



- ☐ Une LED clignotante sur MATLAB ☐ Un Servo Control sur Simulink sans connexion d'Arduino  
☐ Un Générateur d'impulsions dans Simulink ☒ Une Connexion Simulink vers Arduino

8- Lorsque vous utilisez le mode externe (External mode):

- ☒ vous pouvez communiquer bi-directionnellement entre la carte Arduino et le PC.  
☐ vous pouvez télécharger un code supplémentaire sur la carte arduino pour permettre cette communication.  
☒ vous pouvez modifier les paramètres de simulation pendant que le système fonctionne.

9- Donner la fonction de transfert du régulateur PI

et quels sont l'intérêt de deux actions de ce régulateur

$C(s) = K_p + \frac{1}{T_i s}$   
0,5  $K_p$ : pour accélérer la réponse. 0,5  $T_i$ : pour éliminer l'erreur statique.

10- Quelles sont les étapes d'exécution du modèle sous simulateur RT-LAB (Real time - Laboratory)

1- Edit 2- Compile 3- Execute 4- Interact

- 05 ☒ 11- Qu'est-ce qu'un système temps réel ?  
 Un système dont la correction dépend des valeurs des résultats produits et les délais dans lesquels les résultats sont produits  
☒ 06 ☒ Lorsque ce système est capable de contrôler un procédé physique à une vitesse adaptée à l'évolution du procédé contrôlé.  
☐ Un système électronique autonome, souvent temps réel, généralisé pour plusieurs tâches

- 12- Dans le simulateur RT-LAB, le ARTEMIS « Advanced Real-Time Electro »  
☐ Est un outil qui s'intègre au schéma bloc de Simulink  
☒ 07 Est un outil qui s'intègre aux blocks et SimPowerSystem de Simulink

- 13- Dans le simulateur RT-LAB, le RT-EVENTS, est pour :  
☒ 08 améliorer l'efficacité et la précision des simulations des systèmes à temps discrets  
☐ améliorer l'efficacité et la précision des simulations des systèmes à temps continu

- 14- Le bloc « OpComm » dans un simulateur RT-LAB permet :  
☐ de lancer la simulation et de sauvegarder les courbes sous format .mat  
☒ 09 d'activer et de sauvegarder les informations de la communication entre la station de commande et les nœuds de calcul  
☐ d'exécuter le modèle sous RT-LAB

- 04 ☒ 15- La validation temps réel dans un RT-LAB par interfacement logiciel est un  
☒ Software In the Loop (SIL)  
☐ Hardware In the Loop (HIL)  
☐ Power In the Loop (PIL)

- 04 ☒ 16- L'Utilisation d'un pas fixe de simulation pour un simulateur temps réel, est pour objectif :  
☒ de Synchroniser les calculs et l'échantillonnage.  
☐ pour répartir les tâches de calcul sur plusieurs processeurs afin d'optimiser le temps de calcul de l'ensemble  
☐ pour préciser les résultats

- 17- Le simulateur et le test temps réel vous permettent de :  
 Tester le système de contrôle implémenté sur son hardware, même en cas d'indisponibilité du système physique  
☒ Vrai 015  
☐ Faux

- 18- Un système temps réel est un système classique mais qui va plus vite  
☐ Vrai  
☒ Faux 016

- 19- C'est quoi l'échéance dans un système temps réel  
☒ qui est la date à laquelle la tâche doit avoir terminé son exécution  
☐ Une tâche qui caractérisée par un temps de calcul

20- Dans un schéma de commande numérique en temps réel pour l'asservissement de température d'une salle à l'aide de la carte Arduino UNO en utilisant MATLAB/SIMULINK.

Que signifie les deux valeurs :

255 :  $2^8$  : 8 bits  $\Rightarrow$  le convertisseur A/N à 8 bits 017  
 1023 :  $2^{10}$  : 10 bits  $\Rightarrow$  le convertisseur N/A à 10 bits 018



Choisissez la ou les bonnes réponses

**Enseignant: Taibi Djamel**

1- La solution RT-LAB exploite une technologie temps-réel exclusive développée par :

- ☐ Opal-RT    ☐ Opel-RT    ☐ Apple-RT

2- Le temps pendant lequel une tâche est traitée par l'ordinateur est appelé :

- ☐ Temps d'exécution    ☐ Temporisation    ☐ Temps réel    ☐ Temps d'attente

3- La régulation Tout Ou Rien (TOR). Elle est utilisée quand

- ☐ la dynamique du système est très courte.    ☐ la dynamique du système est très lente.  
☐ l'erreur statique du système est très petit.    ☐ l'erreur statique du système est très grand.

4- Quel microcontrôleur est utilisé dans Arduino Uno ?

- ☐ ATmega325p    ☐ ATmega328p  
☐ ATmega325s    ☐ AT91SAM3x8E

5- Que signifie le PWM ?

- ☐ Modulation d'onde d'impulsion    ☐ Gestion de la largeur de puissance  
☐ Modulation de largeur d'impulsion    ☐ Surveillance de la largeur d'impulsion

6- Quel type de données est transmis via TX & RX ?

- ☐ Données numériques    ☐ Données analogiques  
☐ Données TTL    ☐ Données PWM

7- Ce modèle Simulink présente :



- ☐ Une LED clignotante sur MATLAB    ☐ Un Servo Control sur Simulink sans connexion d'Arduino  
☐ Un Générateur d'impulsions dans Simulink    ☐ Une Connexion Simulink vers Arduino

8- Lorsque vous utilisez le mode externe (External mode):

- ☐ vous pouvez communiquer bi-directionnellement entre la carte Arduino et le PC.  
☐ vous pouvez télécharger un code supplémentaire sur la carte arduino pour permettre cette communication.  
☐ vous pouvez modifier les paramètres de simulation pendant que le système fonctionne.

9- Donner la fonction de transfert du régulateur PI

et quels sont l'intérêt de deux actions de ce régulateur .....

.....  
 .....

10- Quelles sont les étapes d'exécution du modèle sous simulateur RT-LAB (Real time – Laboratory)

1-.....2-.....3-.....4-.....

**11- Qu'est-ce qu'un système temps réel ?**

- ☐ Un système dont la correction dépend des valeurs des résultats produits et les délais dans lesquels les résultats sont produits
- ☐ Lorsque ce système est capable de contrôler un procédé physique à une vitesse adaptée à l'évolution du procédé contrôlé.
- ☐ Un système électronique autonome, souvent temps réel, généralisé pour plusieurs tâches

**12- Dans le simulateur RT-LAB, le ARTEMIS « Advanced Real-Time Electro »**

- ☐ Est un outil qui s'intègre au schéma bloc de Simulink
- ☐ Est un outil qui s'intègre au blocks et SimPowerSystem de Simulink

**13- Dans le simulateur RT-LAB, le RT□EVENTS, est pour :**

- ☐ améliorer l'efficacité et la précision des simulations des systèmes à temps discrets
- ☐ améliorer l'efficacité et la précision des simulations des systèmes à temps continu

**14- Le bloc « OpComm» dans un simulateur RT-LAB permet :**

- ☐ de lancer la simulation et de sauvegarder les courbes sous format .mat
- ☐ d'activer et de sauvegarder les informations de la communication entre la station de commande et les nœuds de calcul
- ☐ d'exécuter le modèle sous RT□LAB

**15- La validation temps réel dans un RT-LAB par interfaçage logiciel est un**

- ☐ Software In the Loop (SIL)
- ☐ Hardware In the Loop (HIL)
- ☐ Power In the Loop (PIL)

**16- L'Utilisation d'un pas fixe de simulation pour un simulateur temps réel, est pour objectif :**

- ☐ de Synchroniser les calculs et l'échantillonnage.
- ☐ pour répartir les tâches de calcul sur plusieurs processeurs afin d'optimiser le temps de calcul de l'ensemble pour préciser les résultats

**17- Le simulateur et le test temps réel vous permettent de :**

Tester le système de contrôle implémenté sur son hardware, même en cas d'indisponibilité du système physique

- ☐ Vrai
- ☐ Faux

**18- Un système temps réel est un système classique mais qui va plus vite**

- ☐ Vrai
- ☐ Faux

**19- C'est quoi l'échéance dans un système temps réel**

- ☐ qui est la date à laquelle la tâche doit avoir terminé son exécution
- ☐ Une tâche qui caractérisée par un temps de calcul

**20- Dans un schéma de commande numérique en temps réel pour l'asservissement de température d'une salle à l'aide de la carte Arduino UNO en utilisant MATLAB/SIMULINK.**

Que signifie les deux valeurs :

**255 :** .....

**1023 :** .....

Durée : 1 h

Corrigé type

Examen

Choisissez la ou les bonnes réponses

1- La solution RT-LAB exploite une technologie temps-réel exclusive développée par :

- ☒ Opal-RT ☐ Opel-RT ☐ Apple-RT

2- Le temps pendant lequel une tâche est traitée par l'ordinateur est appelé :

- ☒ Temps d'exécution ☐ Temporisation ☐ Temps réel ☐ Temps d'attente

3- La régulation Tout Ou Rien (TOR). Elle est utilisée quand

- ☐ la dynamique du système est très courte. ☒ la dynamique du système est très lente.  
☐ l'erreur statique du système est très petit. ☐ l'erreur statique du système est très grand.

4- Quel microcontrôleur est utilisé dans Arduino Uno ?

- ☐ ATmega325p ☒ ATmega328p ☐ AT91SAM3x8E  
☐ ATmega325s

5- Que signifie le PWM ?

- ☐ Modulation d'onde d'impulsion ☐ Gestion de la largeur de puissance  
☒ Modulation de largeur d'impulsion ☐ Surveillance de la largeur d'impulsion

6- Quel type de données est transmis via TX & RX ?

- ☐ Données numériques ☐ Données analogiques  
☒ Données TTL ☐ Données PWM

7- Ce modèle Simulink présente :



- ☐ Une LED clignotante sur MATLAB ☐ Un Servo Control sur Simulink sans connexion d'Arduino  
☐ Un Générateur d'impulsions dans Simulink ☒ Une Connexion Simulink vers Arduino

8- Lorsque vous utilisez le mode externe (External mode):

- ☒ vous pouvez communiquer bi-directionnellement entre la carte Arduino et le PC.  
☐ vous pouvez télécharger un code supplémentaire sur la carte arduino pour permettre cette communication.  
☒ vous pouvez modifier les paramètres de simulation pendant que le système fonctionne.

9- Donner la fonction de transfert du régulateur PI

et quels sont l'intérêt de deux actions de ce

régulateur .....  $C(s) = K_p + \frac{1}{T_i s}$  .....  
 $K_p$ : pour accélérer la réponse .....  $T_i = \frac{1}{K_i}$  .....  
 $K_i$ : pour éliminer l'erreur statique .....

10- Quelles sont les étapes d'exécution du modèle sous simulateur RT-LAB (Real time - Laboratory)

1- Edit ..... 2- Compile ..... 3- Execute ..... 4- Interact .....



- 11- Qu'est-ce qu'un système temps réel ?  
☒ Un système dont la correction dépend des valeurs des résultats produits et les délais dans lesquels les résultats sont produits  
☒ Lorsque ce système est capable de contrôler un procédé physique à une vitesse adaptée à l'évolution du procédé contrôlé.  
☐ Un système électronique autonome, souvent temps réel, généralisé pour plusieurs tâches

- 12- Dans le simulateur RT-LAB, le ARTEMIS « Advanced Real-Time Electro »  
☐ Est un outil qui s'intègre au schéma bloc de Simulink  
☒ Est un outil qui s'intègre aux blocks et SimPowerSystem de Simulink

- 13- Dans le simulateur RT-LAB, le RT-EVENTS, est pour :  
☒ améliorer l'efficacité et la précision des simulations des systèmes à temps discrets  
☐ améliorer l'efficacité et la précision des simulations des systèmes à temps continu

- 14- Le bloc « OpComm » dans un simulateur RT-LAB permet :  
☐ de lancer la simulation et de sauvegarder les courbes sous format .mat  
☒ d'activer et de sauvegarder les informations de la communication entre la station de commande et les nœuds de calcul  
☐ d'exécuter le modèle sous RT-LAB

- 15- La validation temps réel dans un RT-LAB par interfacement logiciel est un  
☒ Software In the Loop (SIL)  
☐ Hardware In the Loop (HIL)  
☐ Power In the Loop (PIL)

- 16- L'utilisation d'un pas fixe de simulation pour un simulateur temps réel, est pour objectif :  
☒ de synchroniser les calculs et l'échantillonnage.  
☐ pour répartir les tâches de calcul sur plusieurs processeurs afin d'optimiser le temps de calcul de l'ensemble  
☐ pour préciser les résultats

- 17- Le simulateur et le test temps réel vous permettent de :  
 Tester le système de contrôle implémenté sur son hardware, même en cas d'indisponibilité du système physique  
☒ Vrai  
☐ Faux

- 18- Un système temps réel est un système classique mais qui va plus vite  
☐ Vrai  
☒ Faux

- 19- C'est quoi l'échéance dans un système temps réel  
☒ qui est la date à laquelle la tâche doit avoir terminé son exécution  
☐ Une tâche qui est caractérisée par un temps de calcul

20- Dans un schéma de commande numérique en temps réel pour l'asservissement de température d'une salle à l'aide de la carte Arduino UNO en utilisant MATLAB/SIMULINK.

Que signifie les deux valeurs :

255 :  $2^8$  : 8 bits  $\Rightarrow$  le convertisseur A/N à 8 bits  
 1023 :  $2^{10}$  : 10 bits  $\Rightarrow$  le convertisseur N/A à 10 bits

## Examen

Enseignant: Taibi Djamel

### Exercice :

Le schéma ci-dessous représente la commande à flux orienté du moteur asynchrone.

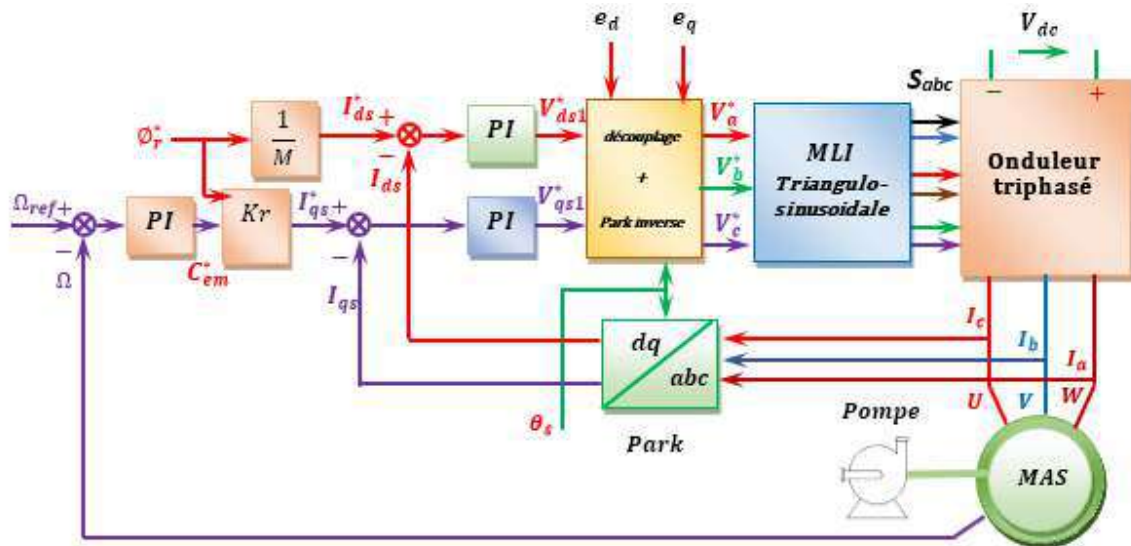


Figure 1 : Commande à flux orienté d'un moteur asynchrone

- 1- D'après le schéma de la **figure 1**, quel est le type de commande vectorielle appliquée ?
- 2- Ecrire les équations électriques et mécaniques (couple) du moteur asynchrone en régime dynamique dans un repère **d-q** avec les courants statoriques et les flux rotoriques comme variable d'état. Vous ferez apparaître les paramètres  $R_s$ ,  $L_m$ ,  $L_s$ ,  $T_r$  et  $\sigma$ .
- 3- Donner les équations des tensions statoriques après l'orientation du flux rotorique et faire une représentation du repère **d-q** (indiquer son orientation par rapport au  $\Phi_r$  en précisant les angles  $\theta_s$ ,  $\theta_r$  et  $\theta_{sl}$ ).
- 4- Tracer le schéma de principe de la technique **MLI triangulo-sinusoidale**.
- 5- Dessiner le contenu du bloc (**découplage + Park inverse**) et donner les termes de découplage par compensation  $e_d$  et  $e_q$ .
- 6- Que représente les régulateurs des courants  $I_{ds}$  et  $I_{qs}$  ?
- 7- Tracer le schéma bloc du calcul de l'angle d'orientation  $\theta_s$ .
- 8- Tracer le schéma bloc de réglage de la vitesse par régulateur **PI** et donner les expressions de ses gains en fonction de coefficient d'amortissement et de pulsation propre.
- 9- Modifier le schéma de la **figure 1** pour réaliser l'autre type de la commande à flux orienté d'un moteur asynchrone.



01 Commande Vectorielle Indirecte en tension. 05

02

$$\begin{cases} \frac{di_{ds}}{dt} = -\left(\frac{R_s}{\sigma L_s} + \frac{L_m^2}{\sigma L_s L_r T_r}\right) i_{ds} + \omega_s i_{qs} + \frac{L_m}{\sigma L_s L_r T_r} \tau_{dr} + \omega_r \frac{L_m}{\sigma L_s L_r} \tau_{qr} + \frac{1}{\sigma L_s} v_{ds} \\ \frac{di_{qs}}{dt} = -\omega_s i_{ds} + \left(\frac{R_s}{\sigma L_s} + \frac{L_m^2}{\sigma L_s L_r T_r}\right) i_{qs} - \omega_r \frac{L_m}{\sigma L_s L_r} \tau_{dr} + \frac{L_m}{\sigma L_s L_r T_r} \tau_{qr} + \frac{1}{\sigma L_s} v_{qs} \\ \frac{d\tau_{dr}}{dt} = \frac{L_m}{T_r} i_{ds} - \frac{1}{T_r} \tau_{dr} + (\omega_s - \omega_r) \tau_{qr} \\ \frac{d\tau_{qr}}{dt} = \frac{L_m}{T_r} i_{qs} - (\omega_s - \omega_r) \tau_{dr} - \frac{1}{T_r} \tau_{qr} \end{cases}$$

03

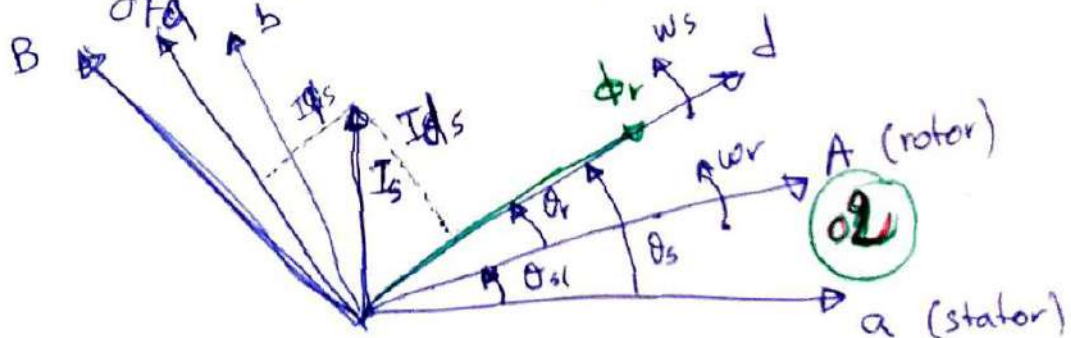
$$C_e = \frac{3}{2} p \frac{L_m}{L_r} (\phi_{dr} \tau_{qs} - \phi_{qr} \tau_{ds})$$

03 les équations des tensions après l'orientation du flux:

Pour une Commande Vectorielle, on a:  $\tau_{dr} = \phi_r^*$ ,  $\tau_{qr} = 0$

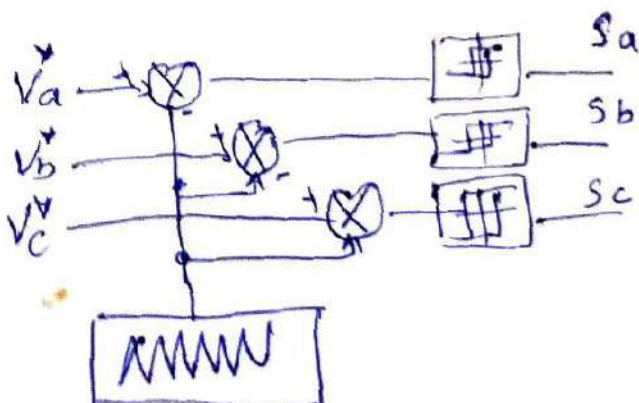
$$\begin{cases} v_{ds} = \sigma L_s \frac{di_{ds}}{dt} + \left(R_s + \frac{L_m^2}{L_r T_r}\right) i_{ds} - \sigma L_s \omega_s i_{qs} - \frac{L_m}{L_r T_r} \phi_r^* \\ v_{qs} = \sigma L_s \frac{di_{qs}}{dt} + \sigma L_s \omega_s i_{ds} + \left(R_s + \frac{L_m^2}{L_r T_r}\right) i_{qs} + \omega_r \frac{L_m}{L_r} \phi_r^* \end{cases}$$

01 01



orientation du flux rotorique:

04 schéma de principe de la technique MLI (triangulo-sinusoidal)



①

⑤

## Schéma bloc (découplage + Park inverse)

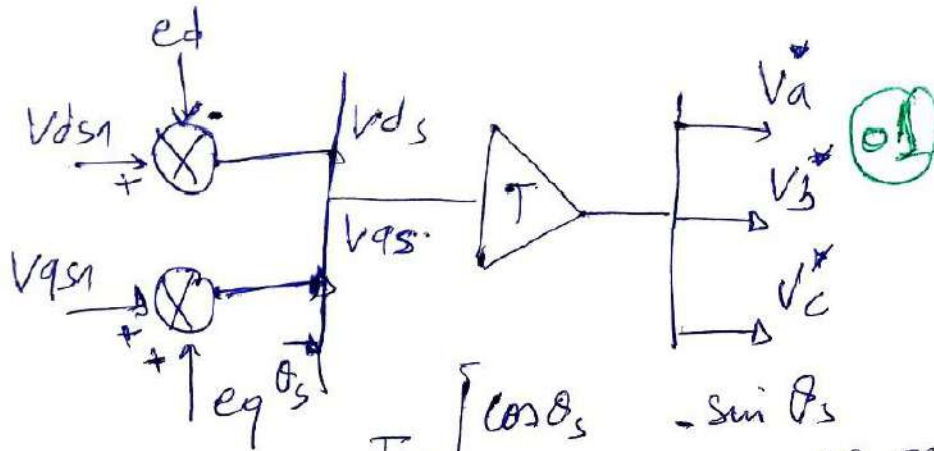
D'après les équations de tension, on a :

$$V_{ds} = \left(R_s + \frac{L_m^2}{L_r T_r}\right) i_{ds} + \sigma L_s \frac{di_{ds}}{dt} - \left(\sigma L_s \omega_s i_{qs} + \frac{L_m}{L_r T_r} \phi_r\right) \quad (01)$$

$$V_{qs} = \left(R_s + \frac{L_m^2}{L_r T_r}\right) i_{qs} + \sigma L_s \frac{di_{qs}}{dt} + \left(\sigma L_s \omega_s i_{ds} + \omega_s \frac{L_m}{L_r} \phi_r\right)$$

donc : les termes de découplage sont :

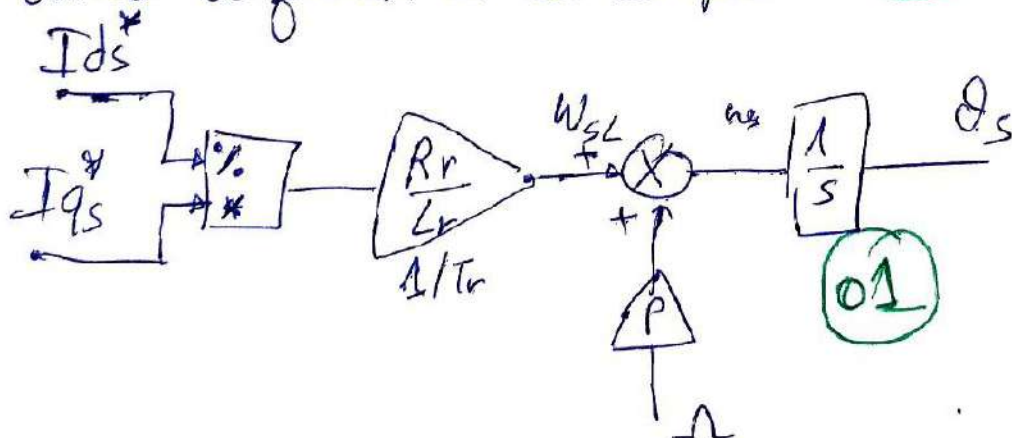
$$\begin{cases} e_d = \sigma L_s \omega_s i_{qs} + \frac{L_m}{L_r T_r} \phi_r \\ e_q = \sigma L_s \omega_s i_{ds} + \omega_s \frac{L_m}{L_r} \phi_r \end{cases} \quad \begin{cases} V_{ds1} = \left(R_s + \frac{L_m^2}{L_r T_r}\right) i_{ds} + \sigma L_s \frac{di_{ds}}{dt} \\ V_{qs1} = \left(R_s + \frac{L_m^2}{L_r T_r}\right) i_{qs} + \sigma L_s \frac{di_{qs}}{dt} \end{cases}$$



$$T = \begin{bmatrix} \cos \theta_s & -\sin \theta_s \\ \cos(\theta_s - \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\theta_s - \frac{2\pi}{3}) \\ \cos(\theta_s - \frac{4\pi}{3}) & -\sin(\theta_s - \frac{4\pi}{3}) \end{bmatrix} \quad (05)$$

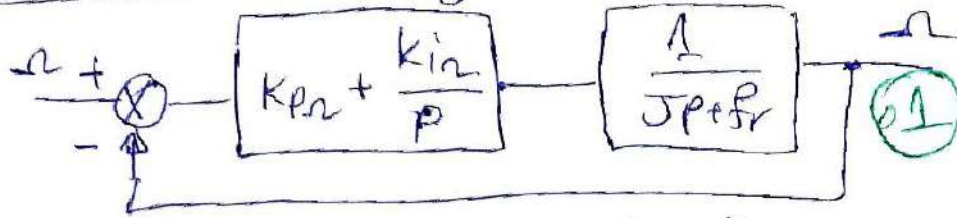
⑥ Les régulateurs  $i_{ds}^*$  et  $i_{qs}^*$  assurent la régulation des courants statoriques ( $i_{ds}$  et  $i_{qs}$ ) et le découplage entre le flux et le couple. (04)

⑦





## 08 Schema bloc de réglage de la vitesse PI



$$FTBO : = \left( \frac{K_{Pr} p + K_{Ir}}{p} \right) \cdot \left( \frac{1}{Js + f_r} \right)$$

$$FTBF = \frac{\frac{K_{Pr} p + K_{Ir}}{p(Js + f_r)}}{1 + \frac{K_{Pr} p + K_{Ir}}{p(Js + f_r)}} = \frac{K_{Pr} p + K_{Ir}}{p(Js + f_r) + K_{Pr} p + K_{Ir}}$$

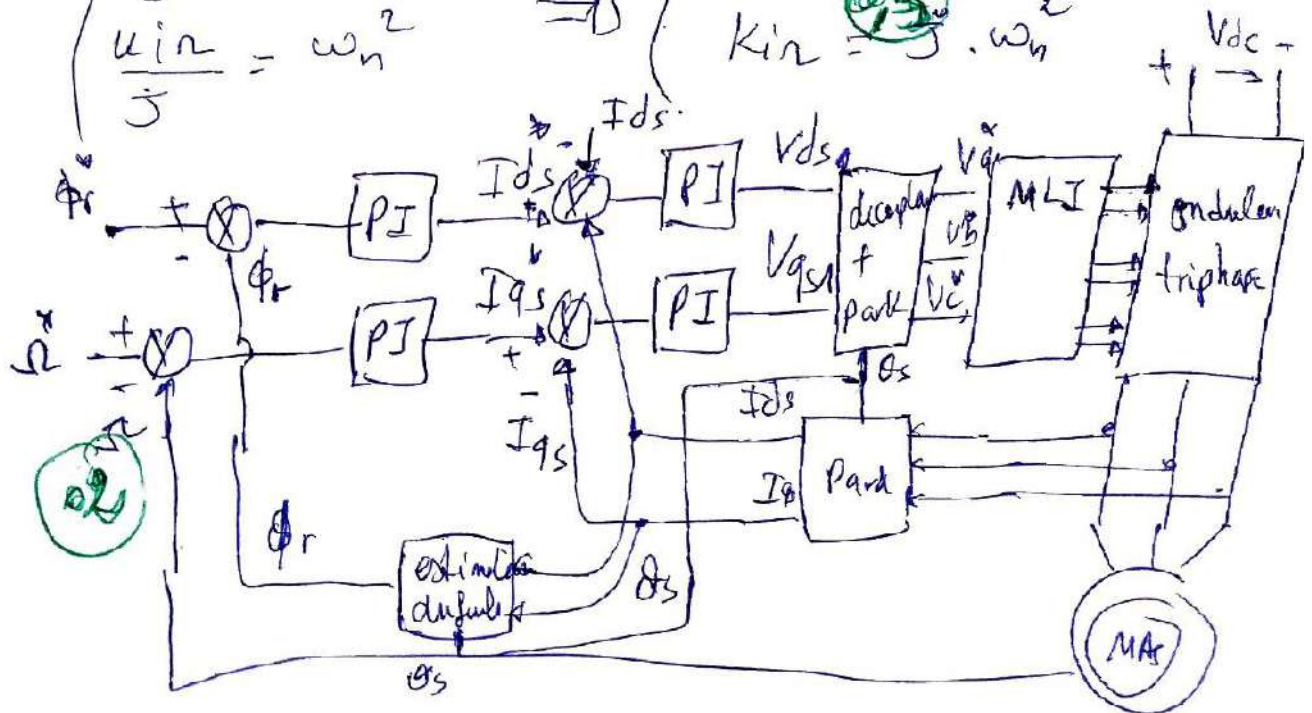
$$= \frac{K_{Pr} p + K_{Ir}}{Js^2 + (f_r + K_{Pr})s + K_{Ir}} = \frac{\frac{1}{J}(K_{Pr} p + K_{Ir})}{s^2 + \left(\frac{f_r + K_{Pr}}{J}\right)s + \frac{K_{Ir}}{J}}$$

Par identification avec un système de deuxième ordre on a :

$$FTBF_{2^{eme}} = \frac{\omega_n^2}{p^2 + 2\zeta\omega_n p + \omega_n^2}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \frac{f_r + K_{Pr}}{J} = 2\zeta\omega_n \\ \frac{K_{Ir}}{J} = \omega_n^2 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} K_{Pr} = 2\zeta\omega_n J - f_r \\ K_{Ir} = J \cdot \omega_n^2 \end{cases}$$

09





**Examen**  
**Réseaux Electriques Industriels**  
**Durée 01H30**

Nom :	Prénom :	Note :

**Question de cours**

1. Que signifie un régime IT, et dans quel cas doit-on l'utiliser ? Que signifie un régime TN, et dans quel cas doit-on l'utiliser ?

① { I: le neutre est relié ou isolé à la terre par une impédance.  
T: la masse métallique du récepteur reliée à la terre.

① { T: le neutre du transf. est relié à la terre.  
N: la masse métallique du récepteur reliée au neutre du transfo.

- ⑥.5 2. Dans quelle condition le régime TN est autorisé.

10 mm<sup>2</sup> pour les sections en cuivre

⑥.5 16 mm<sup>2</sup> pour les " " Aluminium

- ⑧ 3. Quels sont les perturbations affectant les réseaux industriels

les variations de l'amplitude de fréquence  
variations de l'amplitude  
les modifications de la forme d'onde  
les dissymétries du système triphasé

- ③ 4. Quels sont les niveaux de protection contre les surtensions

1<sup>er</sup> niveau de protection

2<sup>e</sup> niveau de protection

3<sup>e</sup> niveau de protection



### Exercice 01 :

Soit une installation triphasée dont les données sont les suivantes :

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

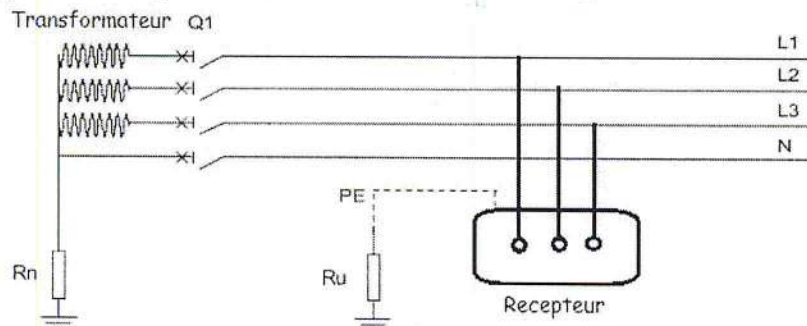


Figure 1- Schéma du régime SLT de l'installation électrique.

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 : Expliquer ?

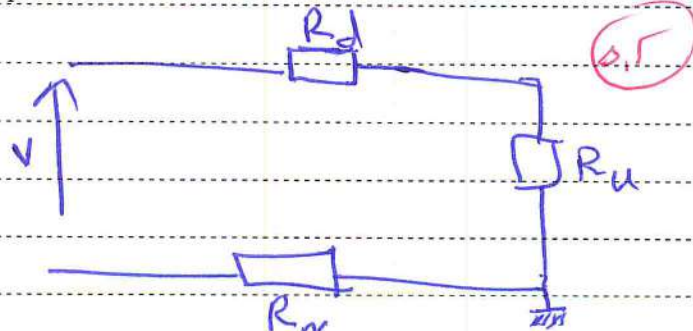
schéma des liaisons à la terre : TT

T: le neutre du transfo. relié à la terre.

$T$ : la masse de la machine reliée à la terre.

Un défaut franc ( $R_d = 4 \Omega$ ) apparaît entre la phase 3 et la masse du récepteur.

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



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

$$I_d = \frac{V}{R_d + R_s + R_L} = 0 \quad I_d = \frac{230}{4 + 10 + 5}$$

$$= \boxed{I_d = 12,10 \text{ A}}$$





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

$$U_c = \frac{R_u // R_h}{(R_u // R_h) + R_d + R_{\text{sol}}} V \Rightarrow U_c = 120,4 V$$

5- Calculer alors l'intensité  $I_c$  qui traverse la personne qui touche la carcasse de la machine  $R_h = 1000 \Omega$ .

$$U_c = R_h \cdot I_c \Rightarrow I_c = \frac{U_c}{R_h} = \frac{120,4}{1000} \Rightarrow I_c = 0,12$$

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

$$U_c = 120 V > U_L = 25 V$$

$\Rightarrow$  oui la personne est en danger de mort.

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

DDR

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

$$R_a \times I_{\Delta n} \leq U_L \Rightarrow I_{\Delta n} \leq \frac{U_L}{R_a}$$

$$\Rightarrow I_{\Delta n} \leq \frac{25}{10} \Rightarrow I_{\Delta n} \leq 2,5 A$$

### Exercice 02 :

Une installation alimentée par le réseau 230/400V 50Hz comporte deux moteurs  $M_1$  et  $M_2$  tels que :  $P_1 = 8 \text{ kW}$ ,  $P_2 = 5 \text{ kW}$ ,  $\cos \varphi_1 = 0,85$ ,  $\cos \varphi_2 = 0,78$  et de rendement 85% pour les deux moteurs. Ils sont couplés en triangle sur le réseau.

1. Faire un schéma de couplage de l'ensemble moteurs et compensation

$$I_t = I_1 + I_2, I_b = \frac{S}{\sqrt{3}} \text{ avec } S = \sqrt{P_t^2 + Q_t^2}$$

$$P_t = P_1 + P_2 = 8 + 5 = 13 \text{ kW}$$

$$Q_t = Q_1 + Q_2 = P_1 \tan \varphi_1 + P_2 \tan \varphi_2 = 8,97 \text{ kVAR}$$

$$S = \sqrt{13^2 + 8,97^2} = 15,8 \text{ kVA} \Rightarrow I_t = 22,8 A$$