

**Exercice 01 Transformateur (04 points):**

L'étude d'un transformateur monophasé a donné les résultats suivants :

Mesure des résistances des enroulements:  $R_1 = 0,007 \Omega$  et  $R_2 = 0,2 \Omega$

Essai à vide :  $U_1 = U_{1n} = 240V$  ;  $U_{20} = 2300 V$  ;  $I_{10} = 1,0 A$  et  $P_{10} = 275 W$ .

Essai en court-circuit :  $U_{1CC} = 4 V$  ;  $I_{2CC} = 20 A$ .

- Montrer que les pertes Joule à vide sont négligeables devant  $P_{10}$ .
- Calculer la valeur de la puissance absorbée en court circuit  $P_{1cc}$ .
- Déterminer  $L_S$  (l'inductance équivalente ramenée au secondaire) si la fréquence est de  $50 Hz$ .
- Utilisant la relation approximative de Kapp, déterminer la tension aux bornes du secondaire lorsqu'il débite un courant  $I_2 = 18 A$  dans une charge inductive de facteur de puissance  $0,4$ .
- Quel est alors le rendement

**Exercice 02 : Génératrice à courant continu (05 Points)**

Une machine à courant continu à aimants permanents est utilisée en génératrice, entraînée par un ensemble mécanique à la vitesse  $N_n = 3000$  tr/min. La tension nominale de la génératrice est  $U_n = 220V$ , la puissance nominale (mécanique)  $P_n = 20kW$  et le rendement nominal  $\eta = 0,8$

- 1) Nommer et dessiner les parties principales de cette génératrice à courant continu.
- 2) Que se passera-t-il si la vitesse est augmentée de 20 %
- 3) Représenter un schéma équivalent de la génératrice et de sa charge (utiliser une convention adaptée).
- 4) Calculer la valeur du courant nominal de la génératrice.
- 5) Si on néglige les pertes collectives de la machine. Calculer la puissance dissipée sous forme de chaleur dans l'induit. En déduire la valeur de la résistance d'induit.
- 6) Calculer la puissance électromagnétique.
- 7) calculer le couple de freinage exercé par l'induit sur le système d'entraînement.

**Exercice 03 : Moteur asynchrone (03 Points)**

Un moteur asynchrone triphasé de  $3 kW$  a les indications de la plaque signalétique suivantes:

- $50 Hz$ ,
- $400 V$ ,
- $6 A$ ,
- $1450$  tr/min,
- $\cos\phi = 0,8$ .
- Déterminer le mode de couplage de la machine sur le réseau  $230/400V$

Calculer :

- La vitesse de synchronisme, de glissement en [tr/min] et en [rad/s]
- Le nombre de pôles
- Le glissement.
- La fréquence des courants rotoriques
- La somme des pertes et le rendement du moteur

T2

correction du contrôle N° 01

S4

EXO 01 Transformateur monophasé (05 Points):

$$R_1 = 0,007 \Omega, R_2 = 0,2 \Omega$$

$$\text{a vide : } U_1 = V_{1n} = 240V, U_{20} = 2300V, I_{20} = 1A, P_{10} = 275W$$

$$\text{en cc : } U_{2cc} = 4V, I_{2cc} = 20A$$

$$1) P_{T0} = R_1 I_{20}^2 + R_2 I_{20}^2 = 0,007 \times 1^2 + 0,2 \times 1^2 = 0,207W \ll 275W = P_{10} \Rightarrow P_{10} = P_{T0}$$

$$P_{2cc} = R_s \cdot I_{2cc}^2 \quad / \quad R_s = \frac{R_1}{a^2} + R_2 = R_1 m^2 + R_2 \quad \Rightarrow R_s = 0,85 \Omega$$

$$a = \frac{V_1}{V_{20}} = \frac{240}{2300} = 0,104$$

$$P_{1cc} = 0,85 \times (20)^2 = 337,15W$$

$$X_s = L_s \omega = L_s \times 2\pi f$$

$$X_s = \sqrt{\left(\frac{V_{2cc}/a}{I_{2cc}}\right)^2 - R_s^2} = 1,72 \Omega \Rightarrow L_s = \frac{1,72}{2\pi \times 50} = 5,5mH$$

$$\Delta V = V_{20} - V_2 = R_s I_2 \cos \varphi_2 + X_s I_2 \sin \varphi_2$$

$$\Rightarrow V_2 = (0,85 \times 0,4 + 1,72 \times 0,916) 18 + V_{20} = 2270V$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + \sum P_{\text{pertes}}} = \frac{V_2 I_2 \cos \varphi_2}{V_2 I_2 \cos \varphi_2 + P_{sch} + P_{perch}}$$

$$\left. \begin{array}{l} P_{sch} \rightarrow I_{2ch}^2 \\ P_{scc} \rightarrow I_{2cc}^2 \end{array} \right\} \Rightarrow P_{sch} = P_{scc} \cdot \frac{I_{2ch}^2}{I_{2cc}^2} = 275,4W$$

$$P_{perch} = P_{T0} \text{ parce que } V_{20} = V_{1ch}$$

$$\eta = \frac{2270 \times 18 \times 0,4}{2270 \times 18 \times 0,4 + 275,4 + 275} = 0,97 = 97\%$$



Durée 1h30

Questions de cours (06 points)

Cocher la (ou les) bonne(s) réponse(s) pour les questions ci-dessous:

1. *Un flux alternatif à travers un circuit magnétique provoque :*
- Des pertes par hystérésis
    - Des FEMs de vitesse
    - Des pertes par effet joule
  - Des pertes par courants induits
    - Des FEMs de transformation
    - Une force de Laplace
2. *Dans une machine asynchrone, la fréquence des courants rotoriques est :*
- Supérieur à la fréquence statorique
  - Inférieur à la fréquence statorique
    - Egale à la fréquence statorique
3. *La chute de tension provoquée par un transformateur :*
- Dépend de la tension d'alimentation
  - De la nature de la charge
  - Du courant dans la charge
    - Elle est nulle pour une charge à caractère selfique
6. *Dans une machine à courant continu, un courant s'établit dans le bobinage induit par :*
- Interaction entre le courant et le champ magnétique
  - Un flux constant traversé par un circuit fermé
    - Un flux variable traversant le circuit inducteur
7. *Lorsqu'un électroaimant est mis en rotation près d'une bobine fixe, la force électromotrice induite est appelée :*
- fem de transformation
  - fem de vitesse
    - fem de conversion
8. *La loi de Laplace nous dit qu'une force s'établit par :*
- Variation du champ magnétique inducteur devant le bobinage induit
  - Interaction entre courant et induction magnétique
    - L'attraction magnétique entre les pôles statoriques et rotoriques
9. *Donner l'équivalent magnétique des grandeurs électriques suivant (01points) :*

• f.e.m	0,25	$F_{mm}$
• le courant	0,25	$\Phi$
• la perméabilité	0,25	$\mu$
• la reluctance	0,25	$R$

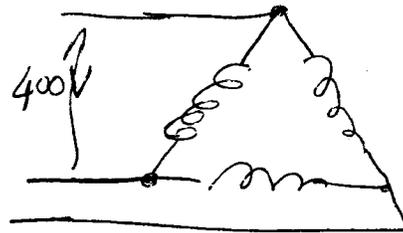
# Correction EXO 03 (03 Points) (Machine asynchrone)

$P_u = 3 \text{ kW}$ ,  $f = 50 \text{ Hz}$ ,  $N = 1450 \text{ tr/min}$   $\cos \phi = 0,8$ ,  $I_u = 6 \text{ A}$

S: 400 V par bobine

lam: 230/400

$\Rightarrow$  couple  $\Delta$



$N = 1450 \text{ tr/min} \Rightarrow N_s = 1500 \text{ tr/min} \Rightarrow \omega_s = \frac{1500 \times 2\pi}{60} = 157 \text{ [rad/s]}$

$N_g = N_s - N = 50 \text{ tr/min}$

$\omega_g = \frac{50 \times 2\pi}{60} = 5,2 \text{ rad/s}$

$N_s = \frac{f \times 60}{P} \Rightarrow P = \frac{f \times 60}{N_s} = 2 \text{ paires de pôles}$

$\Rightarrow 2P = 4 \text{ pôles}$

$g = \frac{N_s - N}{N_s} \times 100 = 0,033 = 3,3\%$

$f_r = g \times f_s = 0,033 \times 50 = 1,65 \text{ Hz}$

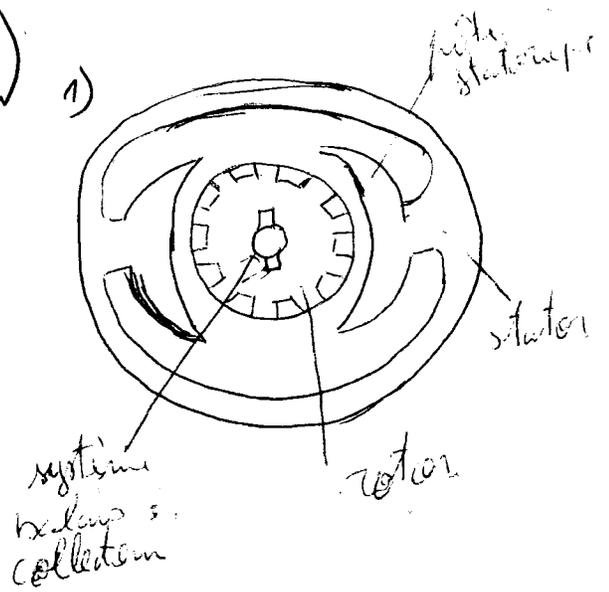
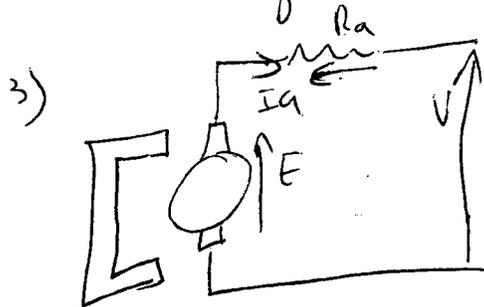
$\Sigma \text{ Pertes} = P_a - P_u$  /  $P_a = \sqrt{3} \times U_u \times I_u \times \cos \phi$   
 $= 3325,5 \text{ W}$

$\Sigma \text{ Pertes} = 3325,5 - 3000 = 325,5 \text{ W}$

$\eta = \frac{P_u}{P_a} = \frac{3000}{3325,5} = 0,902 \text{ ou } 90\%$

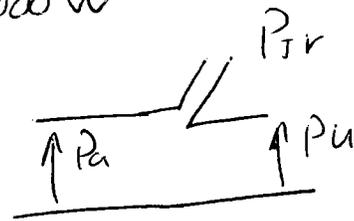
Correction Ex002 (06 Points) (MCC) 1)

2) si la vitesse augmente de 20%,  
la Fem augmente de 20% aussi



4)  $I_{an} = ?$   $P_a = 20000 \text{ W}$ ,  $\eta = 0.8$   
 $P_u = V_a I_a = P_a \eta = 0.8 \cdot 20000 = 16000 \text{ W}$

$I_n = \frac{16000}{220} = 72.72 \text{ A}$



5)  $P_c$  négligeable  $\Rightarrow P_{jr} = P_a - P_u$

$P_{jr} = 20000 - 16000 = 4000 \text{ W}$

$R_a = \frac{P_{jr}}{I_a^2} = 0.76 \Omega$

$P_{em} = P_a$  (pas de pertes collectives)

$P_{em} = 20000 \text{ W}$

$C_{em} = \frac{P_{em}}{\omega} = \frac{20000}{314} = 63.7 \text{ Nm}$

$\omega = \frac{2\pi N}{60} = 314 \text{ rad/s}$

**Cours :**

- 1 a- Citer les étapes de fabrication d'un capteur de pression piézorésistif ?
- 1 b- Justifier l'emplacement des jauges dans le capteur de pression piézorésistif ?
- 1 c- Donner une application médicale d'un capteur de pression piézorésistif ?
- 1 d- Quel est le capteur utilisé pour détecter un objet en plastique , expliquer son principe de fonctionnement ?
- 1 e- Expliquer le principe de fonctionnement du transformateur différentiel LVDT pour l'utiliser comme un capteur de déplacement ?
- 1 f- Expliquer le principe de fonctionnement d'un capteur de déplacement à base de transformateur double bobine, puis dessiner la mise en forme du signal avant et après la détection ?
- 1 g- Citer deux utilisations d'un capteur a effet HALL ?

**Exercice N°1**

On dispose d'un codeur absolu qui peut détecter 256 positions angulaires :

- a- Déduire le nombre de pistes et le nombre de pair émetteur/récepteur constituant ce capteur
- b- A quelle position angulaire se situe un objet qui se trouve dans la position 100 ( on prend comme repère l'axe horizontal

**Exercice N°2 :**

Pour mesurer la température corporelle d'un patient nous avons utilisé le montage de mesure de température par thermocouple type K son pouvoir thermoélectrique est  $40.4 \mu V/^{\circ}C$  , avec les cordons de compensations (C, D, E ,F,G et H)

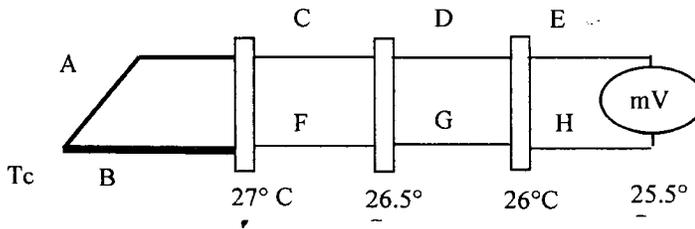


Figure 1

- a- A quelle condition peut on utiliser ce montage pour mesurer  $T_c$  ?
- b- Déduire les différentes F.E.M de PELTIER , THOMSON et celle de Seebeck ?
- c- On a mesuré par le Millivoltmètre  $484.8 \mu V$  , Déduire la température  $T_c$  , quelle est l'état de santé du patient?

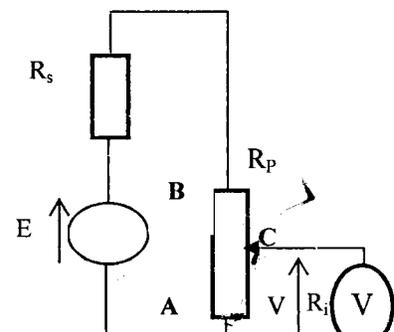
**Exercice N°2 :**

On considère un capteur de déplacement type potentiométrique ayant les caractéristiques suivants :

Résistance totale  $R_p = 10k\Omega$  et une sensibilité  $\frac{\Delta R}{\Delta X} = 100\Omega /mm$  ,  $R_s = 2 k\Omega$  ,  $E = 10V$  (on suppose que la résistance interne de l'appareil de mesure  $R_i \rightarrow \infty$ )

- a- L'extrémité A de ce potentiomètre est considéré comme position zéro ,calculer la tension V
- b- Le curseur C se déplaçant de  $\Delta X$ , on a mesuré par le Voltmètre 5V, calculer le déplacement  $\Delta X$  ? (Figure 2)

**Figure 2**

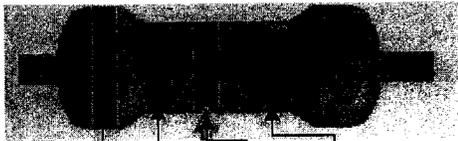


**Durée : 1h30**

**Contrôle : Technologie des Composants Electroniques (TCE)**

**Partie 1** (5 Points)

1. Donner la valeur exacte de ces résistances.



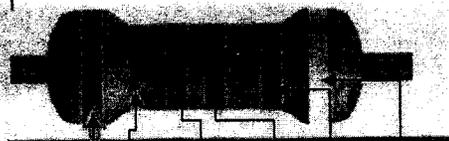
Violet orange Rouge argenté

$R1 = 7,30 \text{ k}\Omega$   
 $7300 \Omega \pm 10\%$



Jaune, Vert, Bleu, Marron, Doré

$R2 = 4560 = 4,56 \text{ k}\Omega$   
 $= 5\% \pm 288$



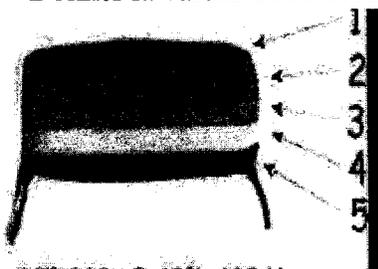
Rouge, Jaune, Vert, Marron, Violet, Blanc

$R3 = 2,45 \text{ k}\Omega$

2. Calculer la résistance équivalente.  
 $= R1 \text{ en série avec } R2 = 1,86 \times 10^3$   
 $R3 \text{ en parallèle avec } R1 = 1,88 \times 10^3$

**Partie 2 :** (5 Points)

- Donner la définition d'un condensateur C et son unité.
- Quelle est la différence entre un condensateur céramique et un condensateur chimique.
- Donner la valeur de ce condensateur.



- Bleu
- Gris
- Jaune
- Blanc
- Marron

$6800 \times 10^4 \text{ pF } 10\%$   
 $100 \text{ V}$

- Donner l'équation de charge d'un condensateur à travers une résistance R et calculer le temps de charge sachant  $R = 30 \text{ k}\Omega$  et  $C = 20 \text{ nF}$ .
- Expliquer l'utilisation d'un condensateur comme filtre passe bas ou passe haut

**Partie 3 :** (4 Points)

- Donner le schéma équivalent d'une diode passante et bloquée en continue et régime petit signaux

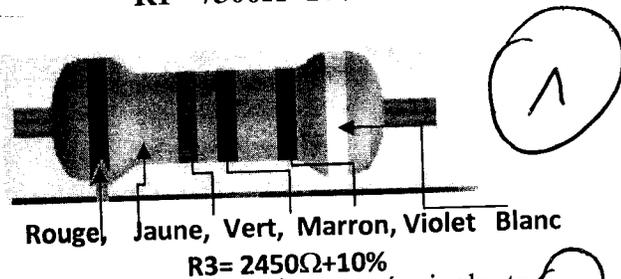
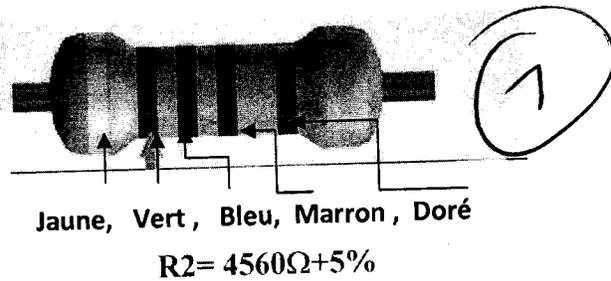
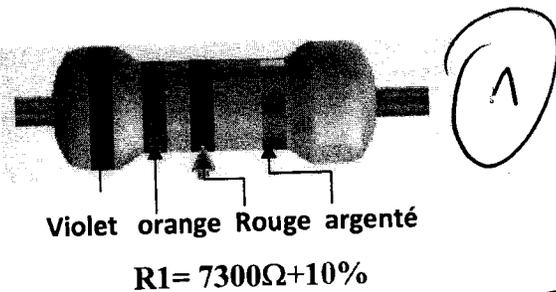
Université Frères Mentouri Constantine  
 Faculté des Sciences de la technologie  
 Département Tronc Commun ST  
 2<sup>ème</sup> Année : Semestre 4  
 Filière Electronique ELN

**Durée : 1h30**

**Contrôle : Technologie des Composants Electroniques (TCE)**

**Partie 1 : 5(points)**

1. Donner la valeur exacte de ces résistances.



2. Calculer la résistance équivalente

R1 en série avec R2 = 11,8k $\Omega$

R3 en parallèle avec R1 = 1,88K $\Omega$

**Partie 2 :**

1. Donner la définition d'un condensateur C et son unité.

R1 : Un condensateur est formé de deux armatures métalliques séparées par un isolant, le diélectrique. Quand on applique une tension continue entre les bornes du condensateur (qui sont reliées aux armatures), des charges + et - vont s'accumuler les unes en face des autres de chaque côté de l'isolant. On dit que le condensateur s'est chargé. Si ensuite on ôte la source de tension et que l'on connecte le condensateur sur une résistance, les charges vont s'écouler jusqu'à leur annulation. Le condensateur se décharge.

La constante C est caractéristique du condensateur. On l'appelle capacité et on l'exprime en farads (symbole F). On emploie plutôt les sous-multiples de cette unité : le microfarad (un millionième de farad), symbole  $\mu F$ , le nanofarad (un millième de microfarad), symbole nF et le picofarad (un millième de nanofarad), symbole pF. Le nom de farad vient du physicien anglais M. Faraday.

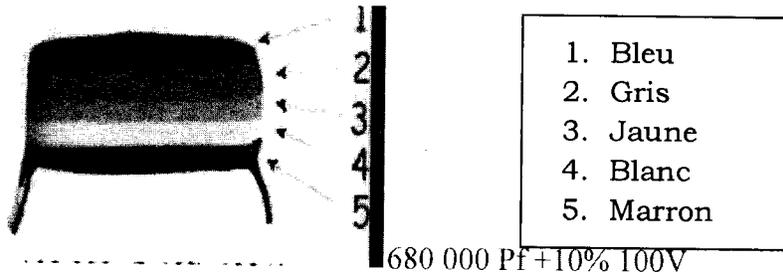
2. Quelle est la différence entre un condensateur céramique et un condensateur chimique. Tout d'abord, les condensateurs céramique sont surtout destinés à une utilisation en hautes fréquences. Les pertes peuvent être importantes en particulier aux fréquences basses. Les valeurs s'échelonnent entre 1 pF et 100 nF environ. La précision est en général médiocre : 20 % est une valeur courante. Il existe cependant des séries plus précises. Les condensateurs

(5 Points)

céramique seront surtout utilisés dans des applications où la valeur exacte de la capacité n'a pas d'importance.

Pour les fortes valeurs de capacité, on fait appel aux condensateurs électrolytiques à l'aluminium, plus simplement appelés condensateurs chimiques. On trouve ces composants pour des capacités comprises entre 1  $\mu\text{F}$  et quelques millifarads, voire parfois quelques dizaines de millifarads. Les condensateurs chimiques ne peuvent être utilisés qu'aux basses fréquences. Ils sont polarisés : un mauvais sens de branchement peut amener l'explosion du composant.

3. Donner la valeur de ce condensateur.



680 000 Pf +10% 100V

4. Donner l'équation de charge d'un condensateur à travers une résistance R et calculer le temps de charge sachant  $R = 30\text{K}\Omega$  et  $C = 20\text{Nf}$ .

La solution générale de l'équation différentielle s'écrit :  $u_C(t) = A \cdot e^{-\frac{t}{RC}} + E$   
 A est une constante qui dépend des conditions initiales.

Ici, à  $t = 0$ , le condensateur est déchargé, donc :  $u_C(0) = 0 = A \cdot e^{-0} + E$  d'où  $A = -E$   
 Compte tenu des conditions initiales imposées par l'expérience, la solution est :

$$u_C(t) = E \cdot (1 - e^{-\frac{t}{RC}})$$

On retrouve l'allure prévue. En particulier, au bout d'un temps long :  $u_C(\infty) = E$

$\tau = 30 \cdot 10^4 \times$

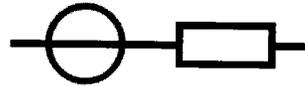
5. Expliquer l'utilisation d'un condensateur comme filtre passe bas ou passe haut

La variation de l'impédance d'un condensateur avec la fréquence est exploitée dans les filtres. Ces circuits permettent d'éliminer certaines composantes d'un signal et d'en conserver d'autres (celles qui appartiennent à la bande passante du filtre). Le condensateur laisse facilement passer les composantes de hautes fréquences (son impédance est alors faible) mais s'oppose au passage des composantes de basses fréquences (son impédance est alors élevée). Ainsi, suivant le branchement du ou des condensateurs, on peut favoriser les fréquences basses, moyennes ou hautes et réaliser un filtre passe bas, passe-bande ou passe-haut. Par exemple, on sépare les aigus (fréquences élevées) et les graves (fréquences basses) à la sortie d'un amplificateur audio. Les bobines viennent renforcer l'effet des condensateurs

**Partie 3 :**

1. Donner le schéma équivalent d'une diode passante et bloquée en continue et régime petit signaux

en continu

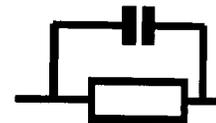
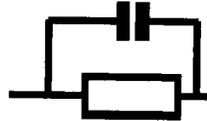


Diode passante



Diode bloquée

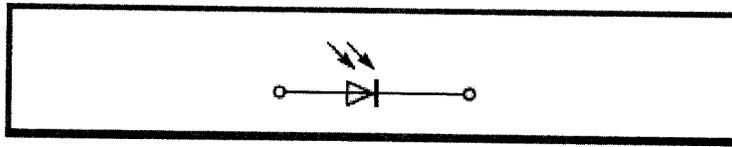
en petits signaux  
haute fréquence



1

2. Quelle est la différence entre une photodiode et une diode électroluminescence. donner leurs symboles.

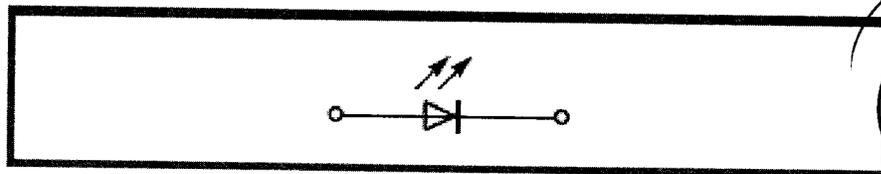
Le courant inverse d'une jonction n'est pas tout à fait nul : il existe un courant de fuite. Ce dernier augmente sensiblement lorsque l'on éclaire la jonction. Ce phénomène est exploité dans les photodiodes : ce sont simplement des diodes au silicium dont la jonction peut être éclairée. On les représente par leur symbole normalisé On polarise la photodiode en inverse



0,5

Figure 4.10 - Symbole normalisé d'une photodiode.

L'effet inverse est obtenu avec les diodes électroluminescentes(LED, *light-emitting diode*). Ce sont des composants qui émettent de la lumière quand un courant les parcourt. Ils sont utilisés comme voyants lumineux. Ces diodes ne sont pas constituées de silicium, mais d'autres matériaux semi-conducteurs, composés de l'arséniure de gallium. De ce fait, la tension présente à leurs bornes lorsqu'elles sont conductrices n'est pas 0,6 V ; elle vaut de 1,6 V à 2,5 V suivant la couleur de la lumière émise. La chute de tension est d'autant plus élevée que la longueur d'onde est faible. On peut par exemple obtenir 1,6 V pour le rouge, 2,2 V pour le jaune et 2,3 V pour le vert (avec un courant de 10 mA). On les représente par leur symbole

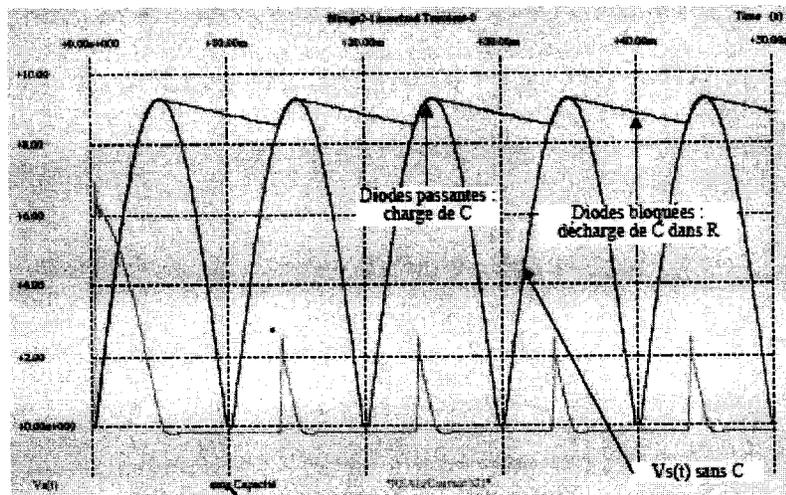
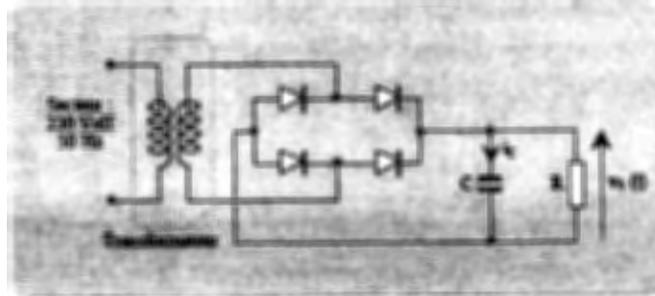


0,5

Figure 4.12 - Symbole normalisé d'une diode électroluminescente.

normalisé

3. Donner le nom de ce circuit et le signal de sortie U l'allure du signal de sortie. L'utilisation de 4 diodes permet l'emploi d'un transformateur conventionnel. Ce montage constitue le pont de Graëtz. Il est commercialisé sous la forme d'un dispositif compact muni de 4 bornes. Pendant chaque alternance 2 diodes sont conductrices : la chute de tension dans le pont vaut 2 fois la tension seuil



**Partie 4 :**

(4 Points)

Donner la constitution d'un transistor bipolaire.

Un transistor est formé d'un barreau de semi-conducteur dans lequel on a créé deux jonctions. On obtient ainsi trois zones dopées de façons différentes. Deux variantes apparaissent suivant la nature des dopages (P ou N) : le transistor NPN (*figure 5.1*) et le

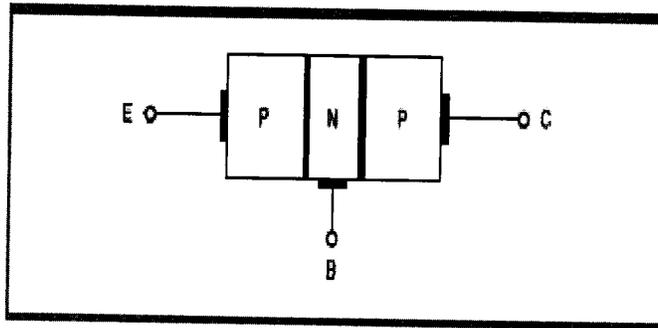


Figure 5.2 - Constitution de principe d'un transistor PNP.

transistor PNP (figure 5.2).

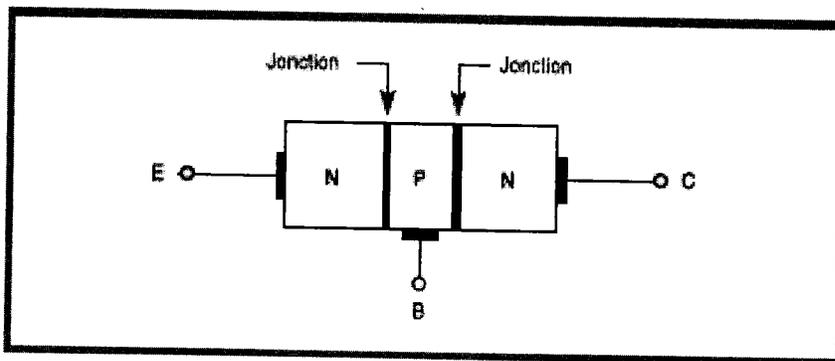
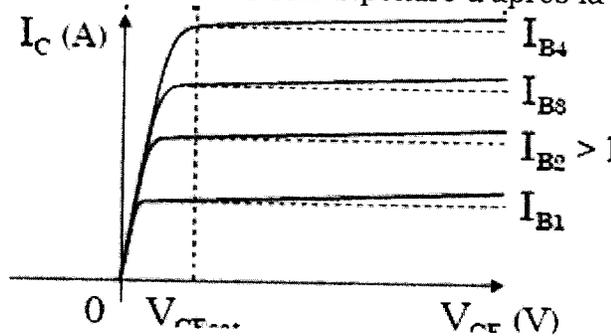


Figure 5.1 - Constitution de principe d'un transistor NPN.

Expliquer le mode de fonctionnement du transistor bipolaire d'après la figure

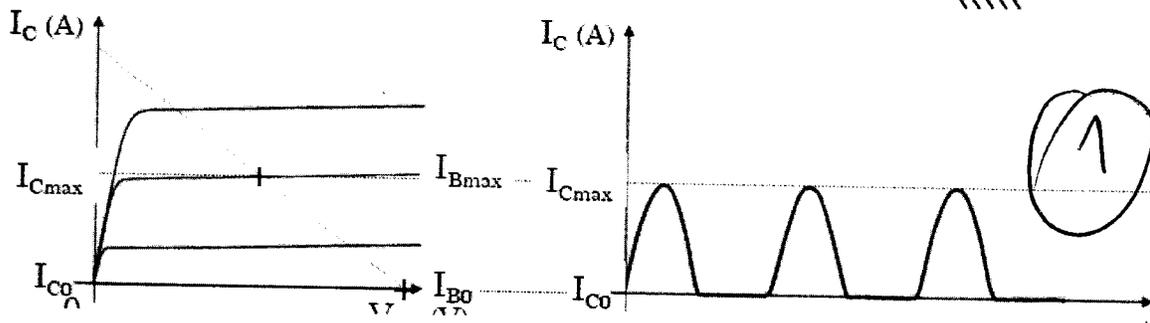
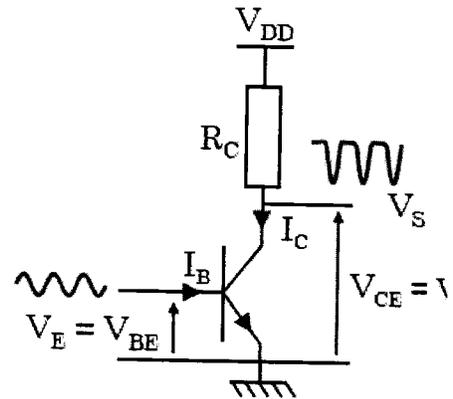


a.

Donner le principe de fonctionnement d'un amplificateur classe B.

## VI.1. Définition et principe de fonctionnement

- L'amplificateur de classe B n'amplifie que la moitié du signal d'entrée.
- Il crée beaucoup de distorsion mais a un rendement bien meilleur que le classe A avec en théorie 78.5 %.
- Le point de repos se situe à la limite du blocage du transistor



Donner le principe de fonctionnement d'un push pull.

## VI.2. Amplificateur push-pull

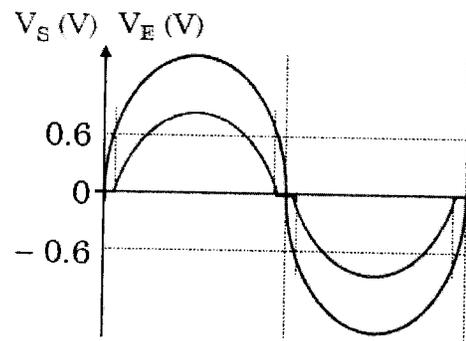
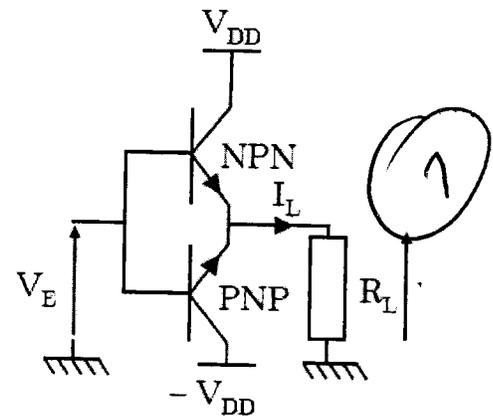
- Les deux transistors ont le même gain  $\beta$ .
- Amplificateur de puissance et non de tension
- Si  $V_E = 0$ , les deux transistors sont bloqués et  $V_S = 0$ .
- Si  $V_E > 0.6$  V, le transistor NPN est en régime linéaire et le PNP est bloqué :

$$V_S = V_E - 0.6.$$

- Si  $V_E < -0.6$  V, le transistor PNP est en régime linéaire et le NPN est bloqué.

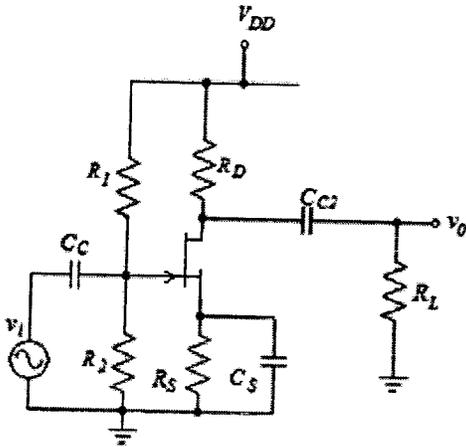
$$V_S = V_E + 0.6.$$

- Distorsion pour les faibles valeurs de  $V_E$ .
- Saturation de  $V_S$  si  $|V_E| > V_{DD}$ .



## Contrôle

**Note:** Choisir trois exercices sur quatre (même note), la question de cours est facultative.



### Exercice 1:

Soit l'amplificateur à JFET canal N.  $V_{DD} = 20\text{ V}$ ,  $R_1 = R_2 = 1\text{ M}\Omega$  et  $R_L = 10\text{ k}\Omega$ .

Le JFET a les paramètres suivants:  $I_{DSS} = 20\text{ mA}$ ,  $V_{DS} = 6\text{ V}$  et  $V_P = 4\text{ V}$ .

- Quel est le type de polarisation et le type du montage?

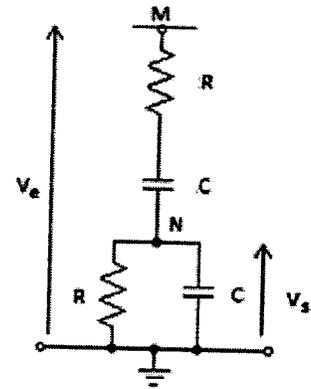
Déterminer: - la tension  $V_{GS}$  si  $I_D = 18\text{ mA}$ .

- la transconductance  $g_m$  en donnant son expression et sa valeur.

- la tension  $V_{DSsat}$  et dans quelle zone fonctionne ce JFET?

### Exercice 2:

1- Trouver la fonction de transfert  $B = V_S/V_e$  du circuit de la figure ci-contre.

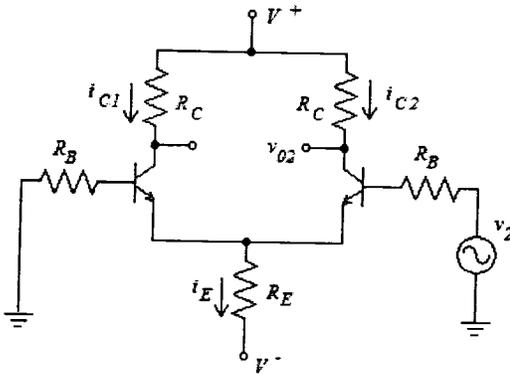


2- Donner la condition de déphasage nul. Quelle est la valeur de la fonction de transfert B, dans ce cas? Calculer la fréquence f, pour  $R = 10\text{ k}\Omega$ ,  $C = 47\text{ nF}$ .

4- Que représente ce circuit?

5- Placer cette branche dans le pont de Wien et expliquer pourquoi ce choix?

6- Quelles sont les valeurs de  $R_1$  et  $R_2$ , pour qu'il ait oscillations?



### Exercice 3:

Soit l'amplificateur différentiel polarisé avec  $V^+ = +15\text{ V}$  et  $V^- = -15\text{ V}$ ,

$R_B = 100\text{ k}\Omega$ ,  $R_C = 47\text{ k}\Omega$ ,  $R_E = 68\text{ k}\Omega$ ,  $v_2 = 0.5\text{ mV}$  et  $\beta = 200$ .

1- Trouver le gain différentiel, le gain en mode commun et le taux de rejet en mode commun (CMRR) en dB pour une entrée différentielle ( $v_2 - v_1$ ), sachant que

$$h_{11} = r = \frac{25\text{ mV}}{I_C}$$

### Exercice 4:

Soit l'amplificateur de puissance ci-contre.

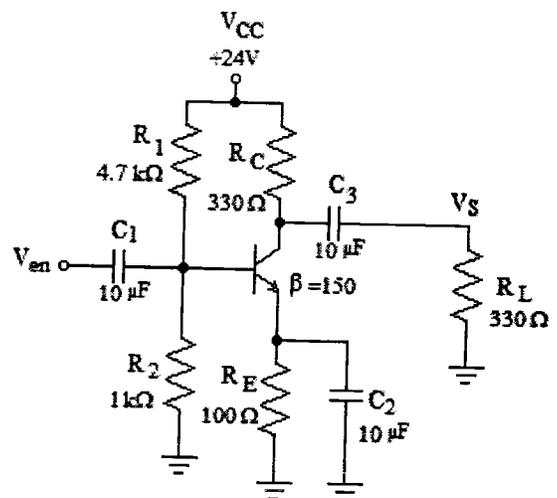
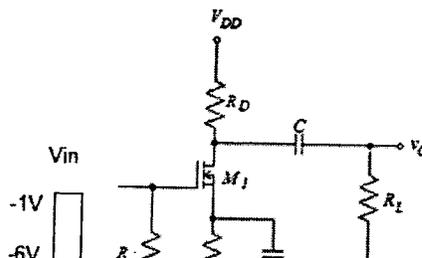
- Quel est le type de l'amplificateur?

- Déterminer la puissance dissipée par le transistor, la puissance de sortie (en alternatif) et le rendement.

### Question de cours:

Soit le montage par la grille d'un MOSFET canal N.

Commenter ce montage et justifier la réponse.

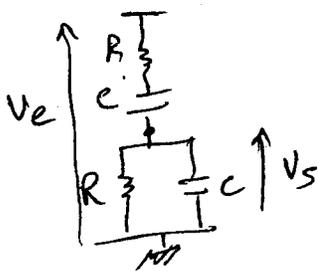


# Corrige' - type.

## Exercice 1:

- Polarisation: par diviseur de tension (1)
- Montage: JFET en source commune. (0,5)
- $I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_{GSoff}}\right)^2 \Rightarrow V_{GS} = \left(1 - \sqrt{\frac{I_D}{I_{DSS}}}\right) V_{GSoff}$ . (0,75)
- $V_{GS} = \left(1 - \sqrt{\frac{18}{20}}\right) (-4) = -0,20 V$  (0,8)
- avec  $V_{GSoff} = -V_p = -4V$  (0,25)
- $g_m = \frac{\partial I_D}{\partial V_{GS}} = -\frac{2 I_{DSS}}{V_{GSoff}} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_{GSoff}}\right)$  (1)
- $= -\frac{2 \cdot 20 \cdot 10^{-3}}{(-4)} \left(1 - \frac{(-0,205)}{(-4)}\right) = 9,48 mS$  (0,5)
- $V_{DSSsat} = V_{GS} - V_{GSoff} = -0,2 - (-4) = 3,8V$
- $V_{DS} = 6V > V_{DSSsat} \Rightarrow$  zone active ou de saturation (0,2)

## Exercice 2:



$$B = \frac{V_s}{V_e} = \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} \quad (0,25)$$

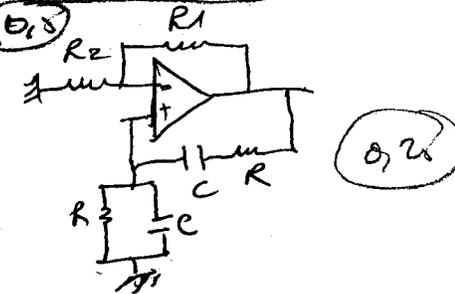
$$Z_1 = R + \frac{1}{j\omega C} = \frac{j\omega RC + 1}{j\omega C} \quad (0,25)$$

$$Z_2 = \frac{R \cdot \frac{1}{j\omega C}}{R + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{R}{j\omega RC + 1} \quad (0,25)$$

$$B = \frac{\frac{R}{j\omega RC + 1}}{\frac{j\omega RC + 1}{j\omega C} + \frac{R}{j\omega RC + 1}} = \frac{j\omega RC}{(j\omega RC + 1)^2 + j\omega RC} = \frac{j\omega RC}{1 - R^2 C^2 \omega^2 + 3j\omega RC} \quad (1)$$

- Condition de déphasage nul:  $\varphi(B) = 0 \Rightarrow \varphi(\text{Num}) - \varphi(\text{Denom}) = 0$
- or  $\varphi(\text{Num}) = \frac{\pi}{2}$  (imag. pur)  $\Rightarrow \varphi(\text{Denom})$  doit être  $\frac{\pi}{2}$  (0,25)
- Réel (Denom) = 0  $\Rightarrow 1 - R^2 C^2 \omega^2 = 0 \Rightarrow \omega = \frac{1}{RC}$  et  $f = \frac{1}{2\pi RC}$
- Dans ce cas  $B = \frac{j\omega RC}{3j\omega RC} = \frac{1}{3}$  et  $f = \frac{1}{2\pi \cdot 10 \cdot 10^{-3} \cdot 47 \cdot 10^{-9}} = 338,63 Hz$  (0,25)
- Ce circuit représente un circuit avance-retard qui est une

ou branche de l'oscillateur de Wien. (0,5)  
Elle est reliée à l'entrée non-inverseuse car  $\varphi = 0$ .



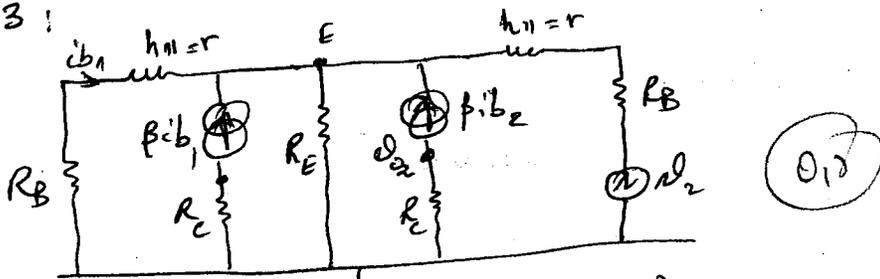
Conditions d'oscillation

$\varphi = 0 \rightarrow ok$

$A_v \cdot B = 1 \rightarrow A_v = \frac{1}{B} = 3$  (0,5)

or  $A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{R_1 + R_2}{R_2} = 1 + \frac{R_1}{R_2} = 3 \Rightarrow \frac{R_1}{R_2} = 2 \Rightarrow R_1 = 2R_2$

Exercice 3 :



$$v_{o1} = 0 = (R_B + h_{11}) i_{b1} + (\beta + 1) R_E (i_{b1} + i_{b2}) \quad (1)$$

$$v_{o2} = (R_B + h_{11}) i_{b2} + (\beta + 1) R_E (i_{b1} + i_{b2})$$

$$v_{o1} + v_{o2} = v_{o2} = \frac{(R_B + h_{11})(i_{b1} + i_{b2}) + 2(\beta + 1) R_E (i_{b1} + i_{b2})}{1} \quad (0,5)$$

$$v_{o2} - v_{o1} = v_{o2} = (R_B + h_{11})(i_{b2} - i_{b1}) \quad (0,5)$$

$$i_{b2} - i_{b1} = \frac{v_{o2}}{R_B + h_{11}} \quad (0,5)$$

$$i_{b1} + i_{b2} = \frac{v_{o2}}{(R_B + h_{11}) + 2(\beta + 1) R_E} \quad (0,5)$$

$$2i_{b2} = \frac{v_{o2}}{R_B + h_{11}} + \frac{v_{o2}}{(R_B + h_{11}) + 2(\beta + 1) R_E} \quad (0,5)$$

$$i_{b2} = \frac{v_{o2}}{2(R_B + h_{11})} + \frac{v_{o2}}{2[R_B + h_{11} + 2(\beta + 1) R_E]} \quad (0,5)$$

$$v_{o2} = -\beta R_C i_{b2} = -\beta R_C \left[ \frac{v_{o2}}{2(R_B + h_{11})} + \frac{v_{o2}}{2[R_B + h_{11} + 2(\beta + 1) R_E]} \right] \quad (0,5)$$

$$A_d = \frac{v_{o2}}{v_{o2} - v_{o1}} = -\frac{\beta R_C}{2(R_B + h_{11})} = -47$$

$$A_{mc} = \frac{v_{o2}}{\frac{v_{o2} + v_{o1}}{2}} = -\frac{\beta R_C}{R_B + h_{11} + 2(\beta + 1) R_E} = -0,345$$

$$h_{11} = \frac{25 \text{ mV}}{I_C} \Rightarrow -v_{o2} + R_B \frac{I_C}{\beta} + V_{BE} + 2R_E I_C + V^- = 0$$

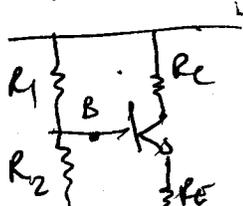
$$I_C = \frac{0,5 \cdot 10^{-3} + 15 - 0,7}{(0,5 + 2 \times 68) 10^3} = 0,105 \text{ mA} \Rightarrow h_{11} = 238,09 \Omega \quad (0,75)$$

$$\text{CMRR}_{dB} = 20 \log \frac{A_d}{A_{mc}} = 42,67 \quad (0,25)$$

Exercice 4 :

- Amplificateur de puissance classe A. (0,5)
- Puissance dissipée par le transistor  $P_D = V_{CEQ} \cdot I_{CQ}$ . (1)

En statique



$$V_B = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC} = 4,21 \text{ V}$$

$$V_B \approx V_{BE} + R_E I_E \approx V_{BE} + R_E I_C$$

$$I_C = \frac{V_B - V_{BE}}{R_E} = \frac{4,21 - 0,7}{0,1} = 35,1 \text{ mA}$$

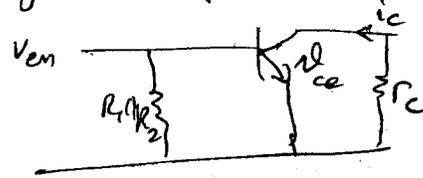
$$V_{CC} \approx (R_C + R_E) I_{CQ} + V_{CEQ} \Rightarrow V_{CEQ} = V_{CC} - (R_C + R_E) I_{CQ}$$

$$= 24 - (430) 35,1 \cdot 10^{-3}$$

$$\approx 8,9 \text{ V.} \quad (0,18)$$

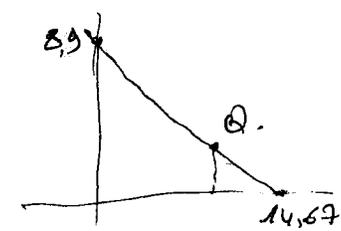
$$P_D = 35 \cdot 10^{-3} \times 8,9 = 311,5 \text{ mW.} \quad (0,28)$$

En dynamique:



$$r_c = R_C \parallel R_L \approx \frac{330 \cdot 330}{330 + 330} = 165 \Omega \quad (0,17)$$

$$v_{ce} = -r_c i_c = -r_c (I_{CT} - I_{CQ}) = v_{ceT} - V_{CEQ}$$



$$I_{CT} = I_{CQ} - \frac{v_{ceT}}{r_c} + \frac{V_{CEQ}}{r_c}$$

$$I_{CT \text{ sat}} = I_{CQ} + \frac{V_{CEQ}}{r_c} = 8,9 \text{ mA.} \quad (0,15)$$

$$V_{ce \text{ blocage}} = I_{CT} r_c + V_{CEQ} = 14,675 \text{ V.}$$

Q est proche du blocage  $\Rightarrow$  HP =  $I_{CQ} V_{CEQ} = 5,97 \text{ mW} < 8,9 \text{ mW}$ .

•  $P_{out} = r_c \frac{I_{CQ}^2}{2} = 0,101 \text{ W} = 101 \text{ mW.} \quad (0,28)$

• Puissance fournie

$$P_f = V_{CC} (I_{CQ} + I_P) = V_{CC} \left( I_{CQ} + \frac{V_{CEQ}}{R_1 + R_2} \right) = 0,94 \text{ W} \quad (0,28)$$

ou  $P_f \approx V_{CC} I_{CQ} = 0,84 \text{ W}$

• le rendement  $\eta \%$

$$\eta \% = \frac{P_{out}}{P_f} \times 100 = 10,74 \% \quad (0,28) \quad (\text{ou } 12 \%)$$

Question de cours:  $(2 \text{ pts})$

Ce circuit ne peut être applicable pour un MOSFET à enrichissement car  $0 < v_{th} \leq V_{GS}$ .

**Contrôle Semestriel 2017**

**Question de cours : (8 points)**

Expliquer l'avantage et l'inconvénient des méthodes de modulation analogique suivantes :

- A – Modulation AM à double bande latérale à porteuse supprimée.
- B – Modulation AM à double bande latérale avec porteuse
- C – Modulation AM à bande latérale unique BLU.
- D – Modulation en fréquence FM

**Attention !**

On ne demande pas de reproduire par cœur et sans compréhension la description de ces méthodes. Limitez-vous de répondre sous la forme

Avantage = .....

Inconvénient = .....

toute réponse inutilement surchargée sera pénalisée

**Exercice 1 : (6 points)**

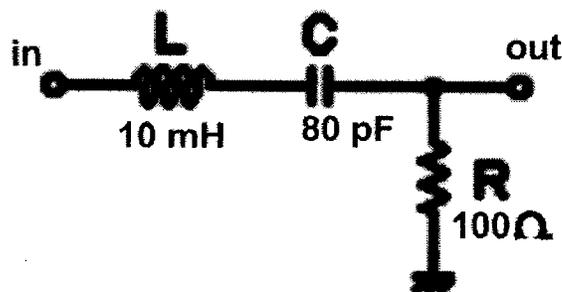
Soit un signal sinusoïdal basse fréquence  $x(t) = \cos(2\pi Ft)$   
 où  $F = 1 \text{ kHz}$

A - Donner l'expression du signal modulé en amplitude à double bande latérale et à porteuse supprimée  $s(t)$

B – Déduisez le spectre  $S(f)$  de ce signal modulé, et donner sa représentation graphique dans le cas où la fréquence de la porteuse  $f_0 = 100 \text{ kHz}$

**Exercice 2 : (6 points)**

A) Expliquer quel est le type et quel est l'ordre du filtre de la figure suivante



B) Calculer les fréquences de coupure à -3dB

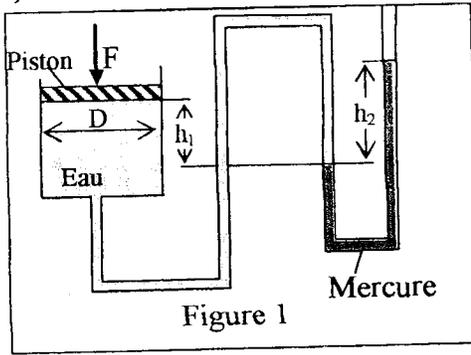
C) Tracer la réponse en amplitude sur un diagramme bi-logarithmique pour  $f$  variant de **100 kHz à 1 MHz** ( $10^5 \text{ Hz}$  à  $10^6 \text{ Hz}$ )

Contrôle de l'hydraulique et pneumatique  
 Partie 1: MDF

**Exercice 1 :** Un piston de masse négligeable et de diamètre  $D=30\text{cm}$  est situé dans un cylindre contenant de l'eau (figure 1). Un manomètre est connecté au cylindre.

- Pour  $h_1=60\text{mm}$  et  $h_2=100\text{mm}$ , calculer la force  $F$  appliquée sur le piston.

La densité du mercure est  $d_M=13.6$  (Recopier la figure 1)

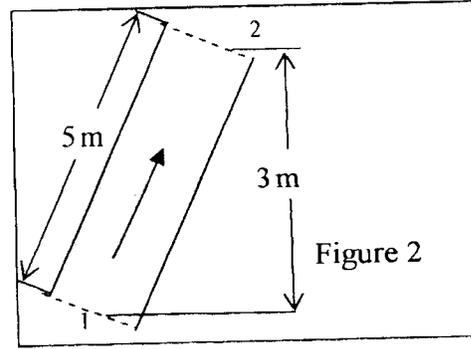


**Exercice 2:** De l'eau circule dans une conduite de section carrée de côté  $a=6\text{cm}$  avec un débit de  $113\text{ l/s}$  (voir figure 2). La différence de pression entre 1 et 2 est  $p_1-p_2=46\text{ kPa}$ .

- 1- Calculer la perte de charge linéaire entre 1 et 2.
- 2- **Déduire**, de la question précédente, le coefficient de frottement.
- 3- Quel est la valeur du débit pour que le régime d'écoulement soit laminaire?

La viscosité de l'eau est  $10^{-6}\text{ m}^2/\text{s}$

**التمرين 1** مكبس ذو كتلة مهملة و قطر  $D=30\text{cm}$  موجود في اسطوانة تحتوي على ماء (الشكل 1) المانومتر متصل بالاسطوانة. من اجل  $h_1=60\text{mm}$  و  $h_2=100\text{mm}$  احسب القوة  $F$  المطبقة على المكبس. كثافة الزئبق  $d_M=13.6$  (اعد رسم الشكل)



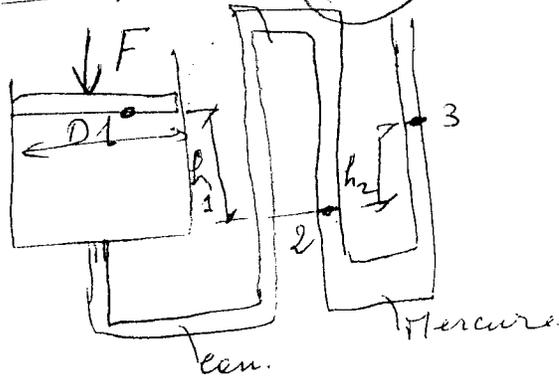
**التمرين 2** الماء يسيل داخل انبوب ذو مقطع مربع طول ضلعه

$a=6\text{cm}$  يتدفق  $113\text{ l/s}$ . الفرق في الضغط بين 1 و 2 هو  $p_1-p_2=46\text{kPa}$ .

- 1- احسب الضياع في الحمولة الخطي بين 1 و 2.
- 2- استنتج من السؤال السابق معامل الاحتكاك.
- 3- ما هي قيمة التدفق كي يكون سيلان المائع صفائحي لزوجة الماء  $10^{-6}\text{ m}^2/\text{s}$

Corrigé du Contrôle de  
hydraulique et pneumatique.  
MDF

Exo 1: Calculer la force F appliquée  
sur le piston. (4,5)



on a:  $F = p \cdot A = \frac{\pi D^2}{4} \cdot P_p$  (0,5)  
 où  $P_p$  est p: piston.  
Calculer  $P_1$ :

on applique l'éq de l'hydrostatique  
 entre 1 et 2, 2 et 3:

$P_1 - P_2 = \rho_e g (z_2 - z_1)$  (0,5)  
 $P_2 - P_3 = \rho_M g (z_3 - z_2)$  (0,5)

$P_1 - P_3 = \rho_e g (z_2 - z_1) + \rho_M g (z_3 - z_2)$  (0,5)

$P_1 = P_p + P_{atm}$  (0,25)

$P_3 = P_{atm}$  (0,25)

$z_3 - z_2 = h_2$  (0,5)

on trouve:

$P_p - P_{atm} - P_{atm} = (\rho_M h_2 - \rho_e h_2) g$

$P_p = (13600 \times 0,1 - 1000 \times 0,06) \times 9,81$

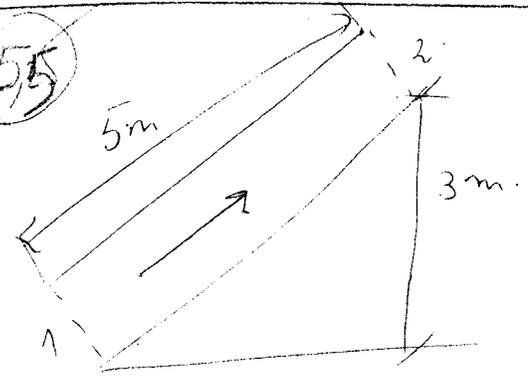
$P_p = 12.753 \text{ Pa}$  (0,5)

donc:

$F = \frac{\pi}{4} \cdot (0,3)^2 \cdot 12.753$

$F = 904,45 \text{ N}$  (0,5)

Exo 2 (5,5)



1 - Calculer la perte de charge linéaire:  
 on applique l'éq de Bernoulli entre 1 et 2.

$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\rho g} + z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\rho g} + z_2 + \Delta H_l$  (0,5)

$V_1 = V_2$  (m conducte) (0,5)

$\frac{P_1 - P_2}{\rho g} + z_1 - z_2 = \Delta H_l$  (0,25)

donc:  $\Delta H_l = \frac{46 \cdot 10^3}{10^3 \cdot 9,81} + (-3m) = 1,7m = \Delta H_l$  (0,5)

- Déduire le coeff. de frottement:  $\lambda$ .

ona:

$$\Delta H_f = \lambda \frac{V^2}{2g} \cdot \frac{L}{D_H} \quad (0,5)$$

donc:

$$\lambda = \frac{\Delta H_f \cdot 2g \cdot D_H}{V^2 \cdot L} \quad (0,25)$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{a^2} = \frac{113 \times 10^{-3}}{(0,06)^2} = 31,39 \text{ m/s} \quad (0,5)$$

$$D_H = 4 \frac{A}{Per} = 4 \cdot \frac{a^2}{4a} = a = 0,06 \text{ m.} \quad (0,5)$$

$$L = 5 \text{ m.}$$

donc:

$$\lambda = 1,7 \cdot \frac{2 \times 9,81}{(31,39)^2} \cdot \frac{0,06}{5}$$

$$\lambda = 4 \times 10^{-4} \quad (0,25)$$

.. Valeur du débit pour que l'écoulement soit laminaire:  $(0,5)$

Écoulement laminaire donc  $Re < 2300$

$$Re = \rho \frac{V \cdot D_H}{\mu} = \frac{V \cdot D_H}{\nu} \quad (0,5)$$

$$\text{ona: } V = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{a^2} \quad (0,25)$$

$$D_H = a \quad (0,25)$$

alors

$$Q < 2300 \cdot a \cdot \nu$$

$$Q < 2300 \cdot 0,06 \times 10^{-6}$$

$$Q < 0,138 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q < 0,138 \text{ l/s} \quad (0,25)$$

**EXAMEN " SYSTEMES ASSERVIS "**

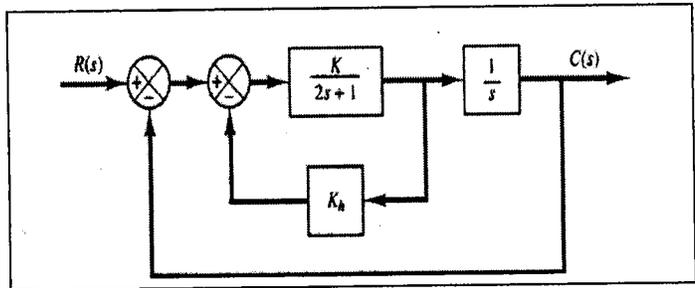
**Exercice 1: (11 pts)**

- (1) Démontrer les théorèmes de la valeur finale et de la valeur initiale.
- (2) Montrer que la réponse d'un système linéaire est sinusoïdale s'il subit une entrée sinusoïdale.
- (3) Etudier la stabilité par la table de ROUTH des équations caractéristiques suivantes :
  - (a)  $S^4 + 2s^3 + 10s^2 + 20s + 5 = 0$  ; (b)  $S^4 + 25s^3 + 15s^2 + 20s + k = 0$  ; (c)  $s^3 + (k+2)s^2 + 2ks + 10 = 0$  ;
- (4) Calculer l'angle d'arrivée  $\varphi_1(z = j)$  du lieu des pôles de la fonction  $G(s) = \frac{(p+j)(p-j)}{p(p+1)}$ .
- (5) Calculer l'angle de départ  $\theta_1(p = -1 - j)$  du lieu des pôles de la fonction  $G(s) = \frac{(s+2)}{(s+1+j)(s+1-j)}$ .
- (6) Tracer, à main levée, l'allure du diagramme de BODE des fonctions suivantes pour  $T1 > T2 > 0$  :
  - (a)  $G(s) = \frac{T_1s+1}{T_2s+1}$  ; (b)  $G(s) = \frac{T_1s-1}{T_2s+1}$  ; (c)  $G(s) = \frac{-T_1s+1}{T_2s+1}$

**Exercice 2: (3 pts)**

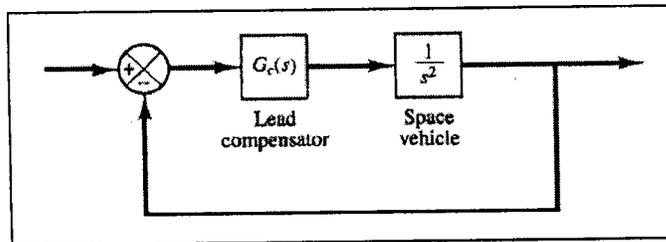
Soit le système de commande de la figure suivante.  
 Calculer les valeurs de K et  $K_h$  pour satisfaire les spécifications suivantes :

- Facteur d'amortissement de 0.5 ,
- temps d'établissement  $(4/\sigma) \leq 2$  sec
- constante de l'erreur de vitesse  $K_v \geq 50 \text{ sec}^{-1}$
- avec  $0 < K_h < 1$ .



**Exercice 3: (3 pts)**

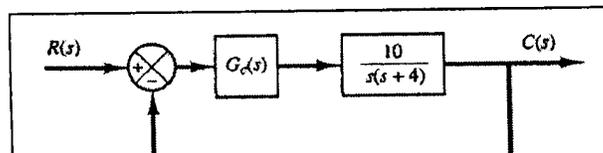
Calculer un compensateur à avance de phase pour le système de commande à retour unitaire suivant afin d'assurer un régime transitoire caractérisé par les pôles dominants  $s_{1,2} = 1 \pm j1$ .



**Exercice 4: (3pts)**

Calculer ce compensateur à retard de phase pour le système suivant afin d'assurer une constante de l'erreur de vitesse  $K_v = 50 \text{ sec}^{-1}$  sans modifier l'allure du régime transitoire.

Montrer que les pôles de la boucle fermée après compensation sont presque les mêmes que ceux en boucle fermée avant compensation.



## EXAMEN " SYSTEMES ASSERVIS "

### Exercice 1: (11 pts)

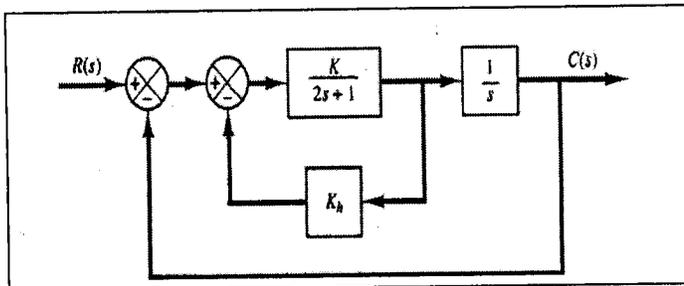
- (1) Démontrer les théorèmes de la valeur finale et de la valeur initiale.
- (2) ~~Montrer que la réponse d'un système linéaire est sinusoïdale s'il subit une entrée sinusoïdale.~~
- (3) Etudier la stabilité par la table de ROUTH des équations caractéristiques suivantes :
  - (a)  $S^4 + 2s^3 + 10s^2 + 20s + 5 = 0$  ; (b)  $S^4 + 25s^3 + 15s^2 + 20s + k = 0$  ; (c)  $s^3 + (k+2)s^2 + 2ks + 10 = 0$  ;
- (4) Calculer l'angle d'arrivée  $\varphi_1(z = j)$  du lieu des pôles de la fonction  $G(s) = \frac{(p+j)(p-j)}{p(p+1)}$ .
- (5) Calculer l'angle de départ  $\theta_1(p = -1 - j)$  du lieu des pôles de la fonction  $G(s) = \frac{(s+2)}{(s+1+j)(s+1-j)}$ .
- (6) Tracer, à main levée, l'allure du diagramme de BODE des fonctions suivantes pour  $T_1 > T_2 > 0$  :
  - (a)  $G(s) = \frac{T_1s+1}{T_2s+1}$  ; (b)  $G(s) = \frac{T_1s-1}{T_2s+1}$  ; (c)  $G(s) = \frac{-T_1s+1}{T_2s+1}$

### Exercice 2: (3 pts)

Soit le système de commande de la figure suivante.

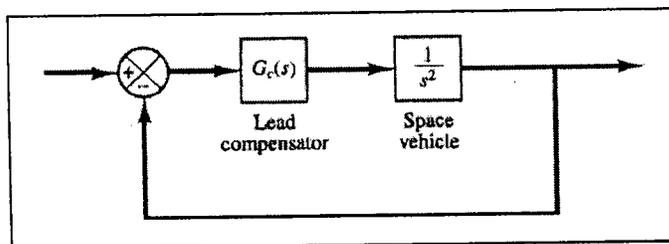
Calculer les valeurs de K et  $K_h$  pour satisfaire les spécifications suivantes :

- Facteur d'amortissement de 0.5 ,
- temps d'établissement  $(4/\sigma) \leq 2$  sec
- constante de l'erreur de vitesse  $K_v \geq 50$  sec<sup>-1</sup>
- avec  $0 < K_h < 1$ .



### Exercice 3: (3 pts)

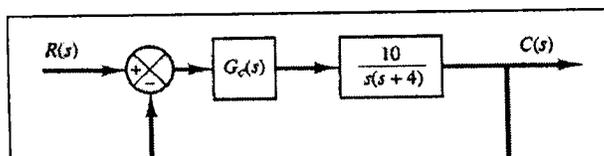
Calculer un compensateur à avance de phase pour le système de commande à retour unitaire suivant afin d'assurer un régime transitoire caractérisé par les pôles dominants  $s_{1,2} = 1 \pm j$ .



### Exercice 4: (3pts)

Calculer ce compensateur à retard de phase pour le système suivant afin d'assurer une constante de l'erreur de vitesse  $K_v = 50$  sec<sup>-1</sup> sans modifier l'allure du régime transitoire.

Montrer que les pôles de la boucle fermée après compensation sont presque les mêmes que ceux en boucle fermée avant compensation.



## Corrigé Examen Systèmes Asservis MAI 2017

### EXERCICE 1 :

\*) Angle de départ :  $\theta_1(p = -1 - j) = \pi + \text{Arg} \left[ (p + 1 + j) \frac{(p+2)}{(p+1+j)(p+1-j)} \right] = \pi + \text{Arg} \left[ \frac{(1-j)}{(-2j)} \right] = \pi + 90^\circ - 45^\circ = 225^\circ$

\*) Angle d'arrivée :  $\varphi_1(z = j) = \pi - \text{Arg} \left( \frac{1}{(p+j)} G(z_k) \right) = 180 - \text{Arg} \left( \frac{(p+j)}{p(p+1)} \right) = 180 - 90 + 90 + 45 = 225^\circ$

(f)  $s^4 + 2s^3 + 10s^2 + 20s + 5 = 0$

Roots:  $-0.29, -1.788, 0.039 + j3.105, 0.039 - j3.105$

Routh Tabulation:

$s^4$	1	10	5
$s^3$	2	20	
$s^2$	$\frac{20 - 20}{2} = 0$	5	
$s^2$	$\epsilon$	5	
$s^1$	$\frac{20\epsilon - 10}{\epsilon} \approx -\frac{10}{\epsilon}$		
$s^0$	5		

instable

Replace 0 in last row by  $\epsilon$

Two sign changes in first column. Two roots in RHP.

6-3 (a)  $s^4 + 25s^3 + 15s^2 + 20s + K = 0$

Routh Tabulation:

$s^4$	1	15	K
$s^3$	25	20	
$s^2$	$\frac{375 - 20}{25} = 14.2$	K	
$s^1$	$\frac{284 - 25K}{14.2} = 20 - 1.76K$		
$s^0$	K		

$20 - 1.76K > 0$  or  $K < 11.36$

$K > 0$

Thus, the system is stable for  $0 < K < 11.36$ . When  $K = 11.36$ , the system is marginally stable. The auxiliary equation is  $A(s) = 14.2s^2 + 11.36 = 0$ . The solution of  $A(s) = 0$  is  $s^2 = -0.8$ . The frequency of oscillation is 0.894 rad/sec.

(c)  $s^3 + (K+2)s^2 + 2Ks + 10 = 0$

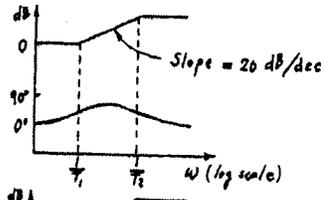
Routh Tabulation:

$s^3$	1	$2K$	
$s^2$	$K+2$	10	$K > -2$
$s^1$	$\frac{2K^2 + 4K - 10}{K+2}$		$K^2 + 2K - 5 > 0$
$s^0$	10		

B-8-3.

$$G(s) = \frac{T_1 s + 1}{T_2 s + 1}$$

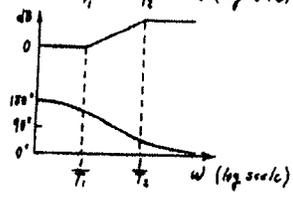
$(T_1 > T_2 > 0)$



(a)  $G(s) = \frac{T_1 s + 1}{T_2 s + 1}$   $(T_1 > T_2 > 0)$

$$G(s) = \frac{T_1 s - 1}{T_2 s + 1}$$

$(T_1 > T_2 > 0)$

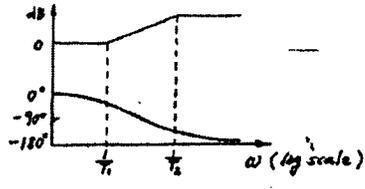


(b)  $G(s) = \frac{T_1 s - 1}{T_2 s + 1}$   $(T_1 > T_2 > 0)$

(c)  $G(s) = \frac{-T_1 s + 1}{T_2 s + 1}$   $(T_1 > T_2 > 0)$

$$G(s) = \frac{-T_1 s + 1}{T_2 s + 1}$$

$(T_1 > T_2 > 0)$



**EXERCISE 2 :**

B-7-5. The closed-loop transfer function for the system is

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{K}{2s^2 + s + KK_h s + K} = \frac{\frac{K}{2}}{s^2 + \frac{1+KK_h}{2}s + \frac{K}{2}}$$

From this equation, we obtain

$$\omega_n = \sqrt{\frac{K}{2}} \quad 2\zeta\omega_n = \frac{1+KK_h}{2}$$

Since the damping ratio  $\zeta$  is specified as 0.5, we get

$$\omega_n = \frac{1+KK_h}{2}$$

Therefore, we have

$$\frac{1+KK_h}{2} = \sqrt{\frac{K}{2}}$$

The settling time is specified as

$$t_s = \frac{4}{\zeta\omega_n} = \frac{4}{(1+KK_h)/4} = \frac{16}{1+KK_h} \leq 2$$

Since the feedforward transfer function  $G(s)$  is

$$G(s) = \frac{\frac{K}{2s+1}}{1 + \frac{KK_h}{2s+1}} \cdot \frac{1}{s} = \frac{K}{2s+1+KK_h} \cdot \frac{1}{s}$$

the static velocity error constant  $K_v$  is

$$K_v = \lim_{s \rightarrow 0} s G(s) = \lim_{s \rightarrow 0} s \frac{K}{2s+1+KK_h} \cdot \frac{1}{s} = \frac{K}{1+KK_h}$$

This value must be equal to or greater than 50. Hence,

$$\frac{K}{1+KK_h} \geq 50$$

Thus, the conditions to be satisfied can be summarized as follows:

$$\frac{1+KK_h}{2} = \sqrt{\frac{K}{2}} \quad (1)$$

$$\frac{16}{1+KK_h} \leq 2 \quad (2)$$

$$\frac{K}{1+KK_h} \geq 50 \quad (3)$$

$$0 < K_h < 1 \quad (4)$$

From Equations (1) and (2), we get

$$\delta \leq 1+KK_h = \sqrt{2K}$$

or

$$32 < K \quad (0,25)$$

From Equation (3) we obtain

$$\frac{K}{50} \geq 1 + KK_h = \sqrt{2K}$$

or

$$K \geq 5000 \quad (0,25)$$

If we choose  $K = 5000$ , then we get

$$1 + KK_h = \sqrt{2K} = 100$$

or

$$K_h = \frac{99}{5000} = 0.0198$$

Thus, we determined a set of values of  $K$  and  $K_h$  as follows:

$$K = 5000, \quad K_h = 0.0198 \quad (0,25)$$

With these values of  $K$  and  $K_h$ , all specifications are satisfied.

**EXERCISE 3 :**

B-7-7. The angle deficiency is

$$\theta = 180 - \angle G(s) = 180 - 135 - 135 = -90^\circ$$

$$G = k \frac{p+z_c}{p+p_c} \quad (0,25)$$

A lead compensator can contribute  $90^\circ$ . Let us choose the zero of the lead

$45^\circ$  degree asymptote bisectrice  $(0,5)$

compensator at  $s = -0.5$ . Then, the pole of the compensator must be at  $s = -3$ .  
Thus,

$$G_c(s) = K \frac{s+0.5}{s+3} \quad (0,5)$$

The gain  $K$  can be determined from the magnitude condition.

$$\left| K \frac{s+0.5}{s+3} \frac{1}{s^2} \right|_{s=-1+j1} = 1$$

or

$$K = \left| \frac{(s+3) s^2}{s+0.5} \right|_{s=-1+j1} = 4 \quad (0,5)$$

Hence the lead compensator becomes as follows:

$$G_c(s) = 4 \frac{s+0.5}{s+3}$$

EXERCICE 4 :

Solution. Assume that the transfer function of the lag compensator is

$$G_c(s) = \hat{K}_c \frac{s + \frac{1}{T}}{s + \frac{1}{\beta T}} \quad (\beta > 1) \quad 0,5$$

Since  $K_v$  is specified as  $50 \text{ sec}^{-1}$ , we have

$$K_v = \lim_{s \rightarrow 0} s G_c(s) \frac{10}{s(s+4)} = \hat{K}_c \beta 2.5 = 50 \quad 0,5$$

Thus

$$\hat{K}_c \beta = 20 \quad 0,5$$

Now choose  $\hat{K}_c = 1$ . Then

$$\beta = 20 \quad 0,5$$

Choose  $T = 10$ . Then the lag compensator can be given by

$$G_c(s) = \frac{s + 0.1}{s + 0.005} \quad 0,5$$

The angle contribution of the lag compensator at the closed-loop pole  $s = -2 + j\sqrt{6}$  is

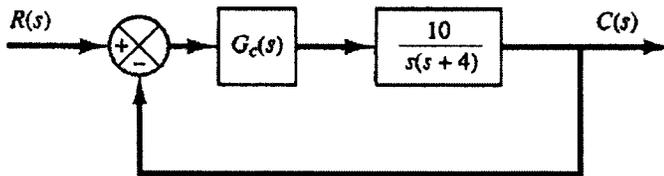
$$\begin{aligned} \angle G_c(s) \Big|_{s = -2 + j\sqrt{6}} &= \tan^{-1} \frac{\sqrt{6}}{-1.9} - \tan^{-1} \frac{\sqrt{6}}{-1.995} \\ &= -1.3616^\circ \quad 0,5 \end{aligned}$$

which is small. Thus the change in the location of the dominant closed-loop poles is very small. The open-loop transfer function of the system becomes

$$G_c(s)G(s) = \frac{s + 0.1}{s + 0.005} \frac{10}{s(s+4)}$$

The closed-loop transfer function is

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{10s + 1}{s^3 + 4.005s^2 + 10.02s + 1}$$



**CONTROLE FINAL**

Exercice N°1: (5 pts)

Déterminer la transformée en z ainsi que la région de convergence dans le plan z de la séquence suivante

$$x(n) = \begin{cases} a^n & -1 \leq n \leq 6 \\ 0 & \text{ailleurs} \end{cases}$$

Exercice N°2: (7,5 pts)

On considère le signal  $x(t)$  défini par

$$x(t) = \begin{cases} 1 & \text{si } 0 \leq t \leq 2 \\ 0 & \text{ailleurs} \end{cases}$$

Ce signal est passé par un système linéaire invariant dans le temps dont la réponse impulsionnelle est donnée par

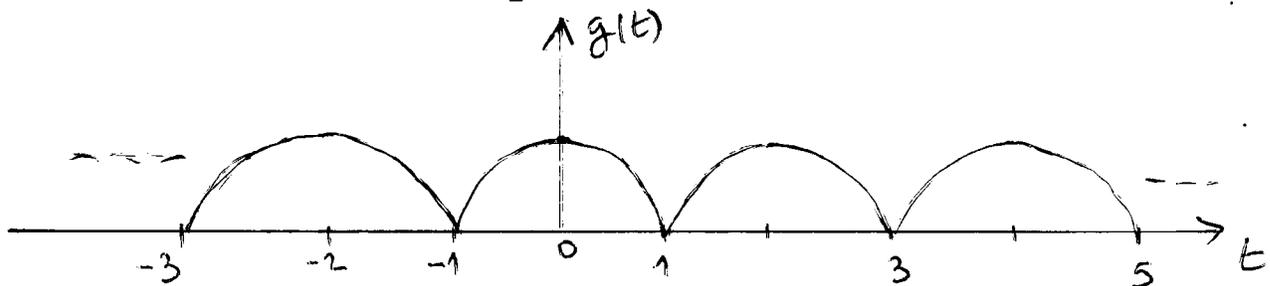
$$h(t) = \delta(t) + \delta(t - 1)$$

Calculer graphiquement la sortie  $y(t)$  de ce système.

Exercice N°3: (7,5 pts)

Soit le signal périodique  $g(t)$  dont une période est donnée par

$$g(t) = \cos\left(\frac{\pi}{2}t\right) \quad -1 < t < 1$$



- 1) Calculer la transformée en série de Fourier sous forme exponentielle de ce signal.
- 2) Représenter graphiquement le spectre d'amplitude de ce signal.

Théorie du Signal

Exo 1.

$$x(n) = \begin{cases} a^n & -1 \leq n \leq 6 \\ 0 & \text{ailleurs} \end{cases}$$

La Transformée en  $z$  de  $x(n)$  est donnée par :

$$X(z) = \sum_{n=-1}^6 a^n \cdot z^{-n} = \sum_{n=-1}^6 \left(\frac{a}{z}\right)^n \quad (1)$$

$$= \left(\frac{a}{z}\right)^{-1} + \sum_{n=0}^6 \left(\frac{a}{z}\right)^n = \left(\frac{z}{a}\right) + \frac{1 - \left(\frac{a}{z}\right)^7}{1 - \left(\frac{a}{z}\right)}$$

$$= \frac{z}{a} + \frac{z - \frac{a}{z^6}}{z - a} \quad (2)$$

Comme il y'a des puissances positives et négatives en  $z$ ,  
la région de convergence est tout le plan  $z$  sauf 0 et  $\infty$   
(2)

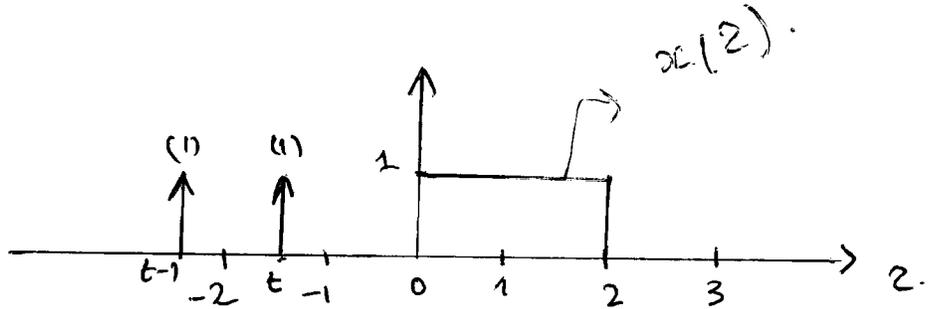
## Exo 2 :

Pour un système linéaire invariant dans le temps :

$$y(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(\tau) \cdot h(t-\tau) \cdot d\tau \quad (1)$$

- calcul de  $y(t)$ .

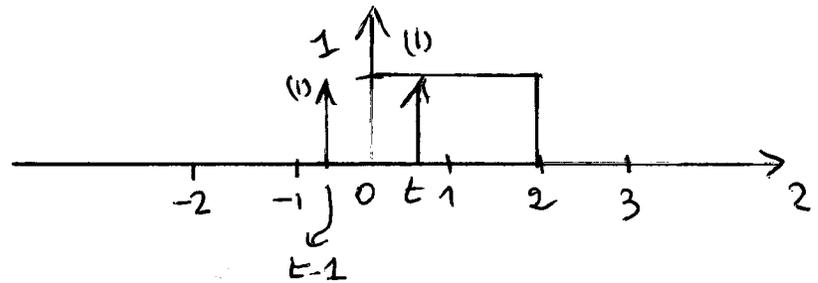
$t < 0$   $y(t) = 0$   
(1)



$0 < t < 1$

$$y(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(\tau) \cdot \delta(t-\tau) \cdot d\tau = 1$$

(1)

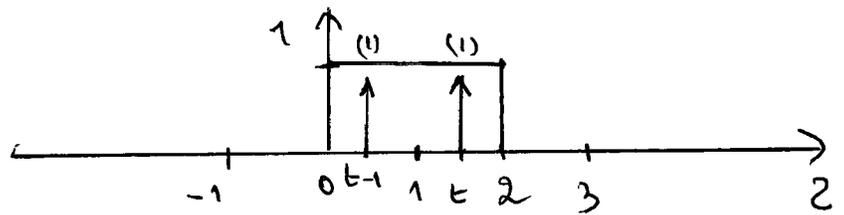


$1 < t < 2$

$$y(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(\tau) \cdot [\delta(t-\tau) + \delta(t-1-\tau)] \cdot d\tau$$

$$= 1 + 1 = 2$$

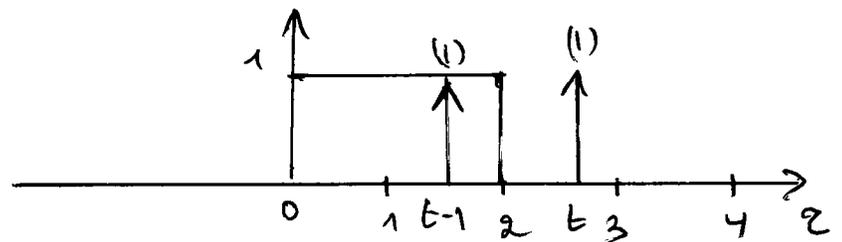
(1)



$2 < t < 3$

$$y(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(\tau) \cdot \delta(t-1-\tau) \cdot d\tau = 1$$

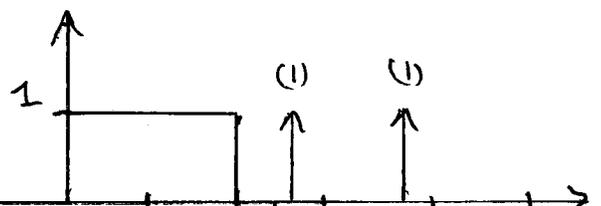
(1)



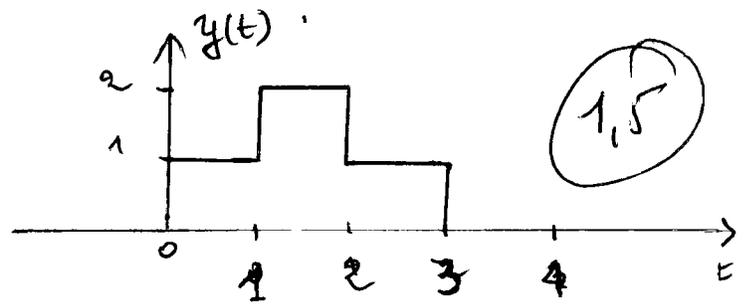
$t > 3$

$$y(t) = 0$$

(1)



Donc  $y(t) = \begin{cases} 0 & t < 0 \\ 1 & 0 < t < 1 \\ 2 & 1 < t < 2 \\ 1 & 2 < t < 3 \\ 0 & t > 3 \end{cases}$



Exo 3 :

La Période de ce signal  $g(t)$  est  $T_0 = 2$ . (1)

Donc les Coefficients en séries de Fourier sous forme exponentielle sont donnés par

$$C_n = \frac{1}{T_0} \int_{-T_0/2}^{T_0/2} g(t) e^{-j \frac{2\pi n t}{T_0}} dt = \frac{1}{2} \int_{-1}^1 \cos\left(\frac{\pi t}{2}\right) e^{-j \frac{2\pi n t}{2}} dt \quad (1)$$

$$C_n = \frac{1}{2} \int_{-1}^1 \left[ \frac{1}{2} e^{j \frac{\pi t}{2}} + \frac{1}{2} e^{-j \frac{\pi t}{2}} \right] \cdot e^{-j \pi n t} dt = \frac{1}{4} \int_{-1}^1 e^{j t \left( \frac{\pi}{2} - \pi n \right)} + \frac{1}{4} \int_{-1}^1 e^{-j t \left( \frac{\pi}{2} + \pi n \right)} dt$$

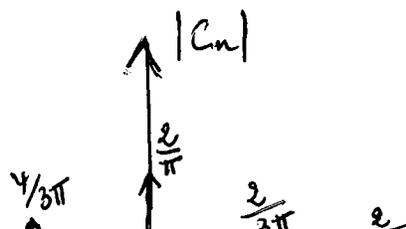
$$\Rightarrow C_n = \frac{1}{4} \frac{1}{j \left( \frac{\pi}{2} - \pi n \right)} e^{j t \left( \frac{\pi}{2} - \pi n \right)} \Big|_{-1}^1 + \frac{1}{4} \frac{1}{-j \left( \frac{\pi}{2} + \pi n \right)} e^{-j t \left( \frac{\pi}{2} + \pi n \right)} \Big|_{-1}^1$$

$$= \frac{1}{4j \left( \frac{\pi}{2} - \pi n \right)} \left[ e^{j \left( \frac{\pi}{2} - \pi n \right)} - e^{-j \left( \frac{\pi}{2} - \pi n \right)} \right] - \frac{1}{4j \left( \frac{\pi}{2} + \pi n \right)} \left[ e^{-j \left( \frac{\pi}{2} + \pi n \right)} - e^{j \left( \frac{\pi}{2} + \pi n \right)} \right]$$

$$= \frac{1}{2 \left( \frac{\pi}{2} - \pi n \right)} \sin \left( \frac{\pi}{2} - \pi n \right) + \frac{1}{2 \left( \frac{\pi}{2} + \pi n \right)} \sin \left( \frac{\pi}{2} + \pi n \right)$$

$$\Rightarrow C_n = \frac{1}{2} \operatorname{sinc} \left( \frac{1}{2} - n \right) + \frac{1}{2} \operatorname{sinc} \left( \frac{1}{2} + n \right) \quad (3,5)$$

2) Représentation graphique



**\*\*Examen S2\*\***

**Matière :** Conversion de l'énergie

**Date :** 29/05/2017

**Spécialités :** MI+EM

**Durée :** 01h :30

**Exercice 01 :** (06 points)

1. L'énergie désigne une capacité à agir quels qu'en soient les modes de variation.

- Citer les différents types des formes d'énergie ?

2. Un convertisseur électromécanique effectue une transformation entre l'énergie électrique et l'énergie mécanique.

- Donner la structure technologique des convertisseurs électromécaniques ?

3. Classifier les convertisseurs électromécaniques ou «machines tournantes» sans explication ?

**Exercice 02 :** (06 points)

La plaque signalétique d'un moteur à courant continu à excitation indépendante indique :

1.12 KW	1200 tr/min	
Induit	220V	5.7 A
Inducteur	220V	0.3 A

1. Calculer le couple utile nominale en N.m
2. Calculer la puissance absorbée
3. Calculer le rendement nominal

**Exercice 03 :** (08 points)

Un panneau solaire photovoltaïque a une puissance crête de 157.5 W lorsqu'il reçoit une puissance lumineuse  $P_L = 1000 \text{ W/m}^2$ . Il est constitué de cellules branchées à la fois en série et en parallèle. Dans chaque module les cellules sont associées en série, et les différents modules sont montés en parallèle. La tension aux bornes du panneau vaut 45V et chaque cellule délivre une tension de 0.5V et un courant de 500 mA.

1. Quel est le nombre de cellules dans un module ?
2. Quelle est l'intensité du courant débitée par le panneau ? En déduire le nombre de modules du panneau.
3. Déterminer le nombre total de cellules du panneau.
4. Chaque cellule est un carré de 4 cm de côté.
  - 4.1 Quelle est la surface totale du panneau solaire ?
  - 4.2 Calculer son rendement énergétique. Citer un parmi les facteurs qui s'influent sur le rendement du panneau ?

# \* Corrigé type Examen \*

Matière : Conversion de l'énergie

Durée : 01h : 30

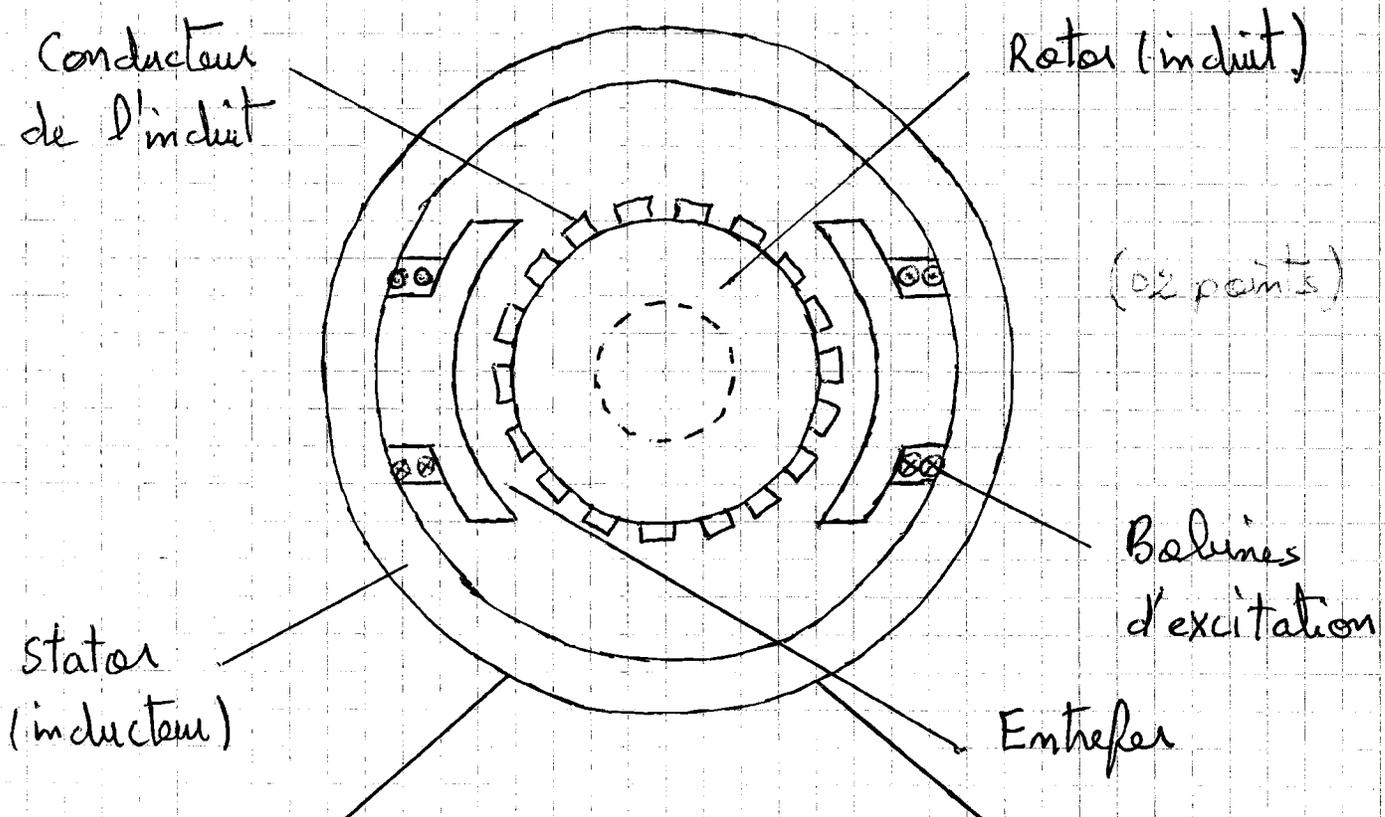
Spécialités : EM - MI

Solution 01 : (06 points)

1. Différents types des formes d'énergie :-

- L'énergie de gravitation 0,25
- L'énergie cinétique dont l'énergie éolienne 0,25
- L'énergie thermique ou calorifique 0,25
- L'énergie radiative dont l'énergie solaire 0,15
- L'énergie chimique dont les énergies fossiles 0,25
- L'énergie électrique 0,25
- L'énergie nucléaire 0,25 (02 points)

2. La structure technologique des convertisseurs électromécaniques :-



Solution 02: (06 points)

1. Calculer le couple utile nominale en N.m :

$$P_u = C_u \cdot r \Rightarrow C_u = \frac{P_u}{r} = \frac{1,12 \cdot 10^3}{\frac{1200 \cdot 2\pi}{60}}$$

$$= \frac{1120}{125,7} = 8,9 \text{ N.m}$$

↑  
radius

$$\Rightarrow \boxed{C_u = 8,9 \text{ N.m}} \quad (02 \text{ points})$$

2. Calculer la puissance absorbée :

Puissance absorbée ( $P_a$ ) = Puissance absorbée par l'induit  
+ Puissance absorbée par l'inducteur

$$= U I_a + U I_{ex}$$

$$= 220 \cdot 5,7 + 220 \cdot 0,30 = 1320 \text{ W}$$

$$\Rightarrow \boxed{P_a = 1320 \text{ W}} \quad (02 \text{ points})$$

3. Calculer le rendement nominal :

$$\eta = \frac{P_u}{P_a} = \frac{1120}{1320} = 0,848 = 84,8\%$$

$$\Rightarrow \boxed{\eta = 84,8\%} \quad (02 \text{ points})$$

Solution c3: (03 points)

$$P_{cr} = 157,5 \text{ W}, P_L = 1000 \text{ W/m}^2, U_p = 45 \text{ V}, U_c = 0,5 \text{ V},$$
$$I_c = 500 \text{ mA}$$

1 - Le nombre de cellules dans un module :-

- La tension aux bornes d'un module est la même que celle aux bornes du panneau, puisqu'ils sont branchés en parallèle.  $U_m = 45 \text{ V}$

D'après la loi d'additivité des tensions et comme il est constitué de  $n$  cellules, on a :-

$$U_m = n \times U_c$$

$$\Rightarrow n = \frac{U_m}{U_c} = \frac{45}{0,5} = 90 \text{ cellules}$$

Un module est constituée de 90 cellules (02 points)

- L'intensité du courant délivré par le panneau :-

$$P = U \times I \longrightarrow P_{cr} = U_p \times I_p$$

$$\Rightarrow I_p = \frac{P_{cr}}{U_p} = \frac{157,5}{45} = 3,5 \text{ A} \quad (01 \text{ point})$$

- Déduire le nombre de modules du panneau :-

Puisque les cellules dans un module sont branchées en série :-

$\Rightarrow$  le courant de module  $I_m =$  le courant de cellule  $I_c$  et aussi les modules sont branchés en parallèle, on peut appliquer la loi des nœuds :-

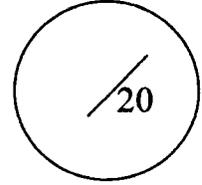
$$I_p = m \cdot I_m$$

$$\Rightarrow m = \frac{I_p}{I_m} = \frac{3,5}{500 \cdot 10^{-3}} = \frac{3,5}{0,5} = 7 \text{ branches}$$

Il y a 7 branches. (01 point)

.....: الرقم ..... الفوج .....: الإسم .....: اللقب

**Examen du module Production de l'Energie Electrique**



**Exercice 01 : (05 pts)**

La puissance installée dans une centrale nucléaire est de cinq groupes de 500 MW ; Sachant que ces groupes fonctionnent 90% du temps.

- 1) Pendant combien d'heure ces groupes fonctionnent-ils dans l'année. (03 pts)

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

- 2) Quelle quantité d'énergie cette centrale fournit-elle en GWh. (02 pts)

.....  
.....

- 3) Sachant que le rendement de chaque groupe est  $\eta=0.9$ . Calculer la puissance électrique produite dans la centrale :

.....  
.....

**Exercice 02 : (04 pts)**

Une chute d'eau de 50 mètres de hauteur de débit 200 m<sup>3</sup>/s fait tourner une turbine hydraulique.

- 1) Déterminer la puissance de la chute ( $g=10N/kg$ ,  $\rho=1000 Kg/m^3$ ). (02 pts)

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

- 2) Calculer l'énergie fournie par la chute en une minute. (02 pts)

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

**Exercice 03 : Cochez la ou les bonnes réponses ( 10 pts )**

- 1) Le Belge Zénobe Gramme met au point, en 1869, le premier générateur de courant électrique : ( 01 pts )
  - a) continu
  - b) alternatif
  - c) ni l'un ni l'autre
- 2) La première centrale électrique a été mise en service le 4 septembre 1882 par Thomas Edison en : ( 01 pts )
  - a) États-Unis
  - b) France
  - c) Canada
- 3) La première entreprise de gestion de l'électricité et gaz, en 1947, en Algérie était : ( 01 pts )
  - a) EGA
  - b) EDF
  - c) SONELGAZ
- 4) Une centrale thermique à condensation est une centrale : ( 01 pts )
  - a) qui dégage du  $CO_2$
  - b) de type renouvelable
  - c) ni l'une ni l'autre
- 5) Une centrale nucléaire génère de l'électricité grâce à l'énergie dégagée par une réaction contrôlée de : ( 01 pts )
  - a) fission
  - b) fusion
  - c) ni l'une ni l'autre
- 6) Hydroélectricité, est une énergie obtenue par conversion de l'énergie : ( 01 pts )
  - a) magnétique
  - b) cinétique du vent
  - c) cinétique de l'eau
- 7) La nacelle d'une éolienne abrite à son intérieur : ( 01 pts )
  - a) pales
  - b) mat
  - c) génératrice électrique
- 8) Dans une centrale à cycle combiné, on produit de l'électricité sur : ( 01 pts )
  - a) un cycle
  - b) trois cycles
  - c) deux cycles
- 9) On peut retrouver deux types de centrales solaires : ( 01 pts )
  - a) éolienne
  - b) Thermique
  - c) photovoltaïque
- c) Ces centrales produisent de l'électricité, mais ne produisent pas de la chaleur durant leurs fonctionnements : ( 01 pts )
  - a) hydroélectriques
  - b) usines marémotrices
  - c) fermes hydroliennes

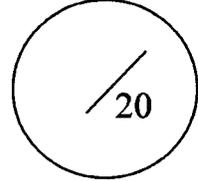
Bon courage



- 4) Une centrale thermique à condensation est une centrale : ( 01 pts )
- a) qui dégage du  $\text{CO}_2$       b) de type renouvelable      c) ni l'une ni l'autre
- 5) Une centrale nucléaire génère de l'électricité grâce à l'énergie dégagée par une réaction contrôlée de : ( 01 pts )
- b) fission      b) fusion      c) ni l'une ni l'autre
- 6) Hydroélectricité, est une énergie obtenue par conversion de l'énergie : ( 01 pts )
- a) magnétique      b) cinétique du vent      c) cinétique de l'eau
- 7) La nacelle d'une éolienne abrite à son intérieur : ( 01 pts )
- a) pales      b) mat      c) génératrice électrique
- 8) Dans une centrale à cycle combiné, on produit de l'électricité sur : ( 01 pts )
- a) un cycle      b) trois cycles      c) deux cycles
- 9) On peut retrouver deux types de centrales solaires : ( 01 pts )
- a) éolienne      b) Thermique      c) photovoltaïque
- c) Ces centrales produisent de l'électricité, mais ne produisent pas de la chaleur durant leurs fonctionnements : ( 01 pts )
- a) hydroélectriques      b) usines marémotrices      c) fermes hydroliennes

اللقب : ..... الاسم : ..... الفوج : ..... الرقم : .....

### Examen du module Sécurité Electrique



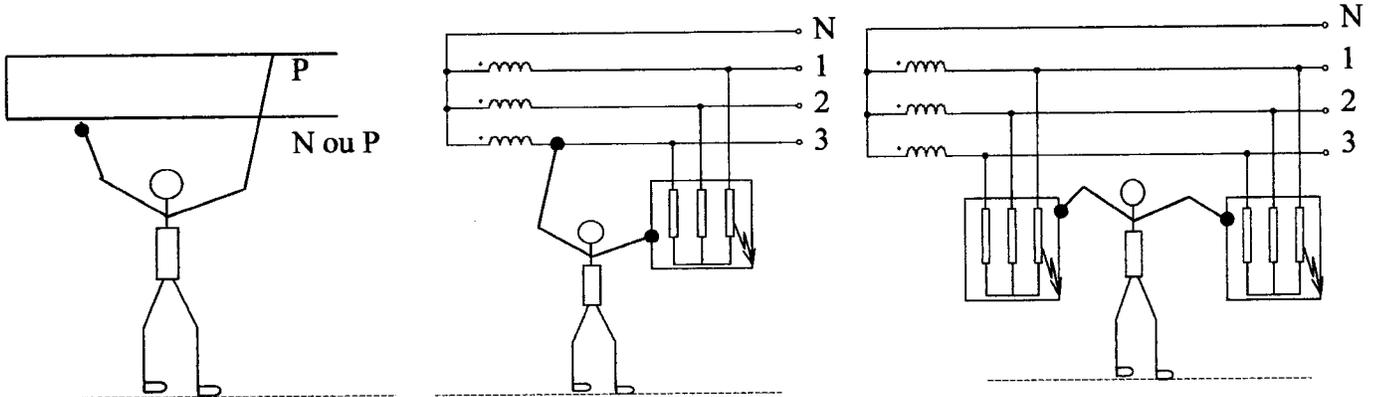
#### Exercice 01 : ( 10 pts )

- 1) La plupart des accidents sont dus à :
  - a) des contacts directs
  - b) contacts indirects
  - c) non précisés
- 2) Dans le cas d'un trajet mains-pieds du courant électrique, il s'agit souvent de :
  - a) tétanisation
  - b) fibrillation cardiaque
  - c) effet excitomoteur
- 3) L'électrisation est le passage du courant électrique dans le corps provoquant :
  - a) des blessures
  - b) de la mort
- 4) Pour réaliser une consignation, il faut effectuer, en premier lieu, l'opération suivante :
  - a) séparation
  - b) condamnation
  - c) balisage
- 5) La résistance totale du corps humain décroît lorsque l'intensité du courant : ( 01 pts )
  - a) augmente
  - b) décroît
  - c) reste inchangée
- 6) le seuil de douleur du bruit commence à partir de :
  - a) 100 db
  - b) 120 db
  - c) 150 db
- 7) Le massage cardiaque est obligatoire lorsque il y a un arrêt
  - a) respiratoire
  - b) circulatoire
  - c) hémorragie
- 8) Le disjoncteur différentiel remplit la fonction coupure automatique en cas de :
  - a) court-circuit
  - b) défaut d'isolement
- 9) Le bruit est composé d'un mélange complexe de sons aléatoire, qui peut être :
  - a) agréable
  - b) désagréable
  - c) ni l'un ni l'autre
- 10) L'électricité est une énergie dangereuse, elle est :
  - a) inaudible
  - b) invisible
  - c) inodore

**Exercice 03 : ( 10 pts )**

Remplissez les vides par les mots suivant selon le type de contact

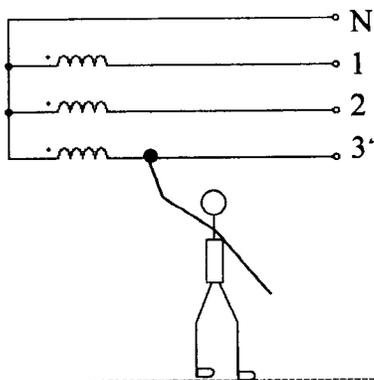
- 1) Contact unipolaire – contact bipolaire
- 2) Fréquent - Très fréquent – rare - Très rare



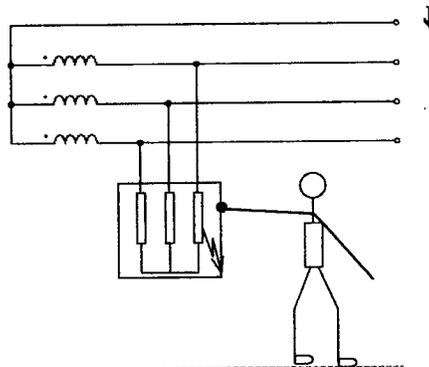
1.....  
2.....

1.....  
2.....

1.....  
2.....



1.....  
2.....



1.....  
2.....

Bon courage

## **Solution de l'examen du module Sécurité Electrique**

### **Exercice 01 : ( 10 pts )**

1) La plupart des accidents sont dus à :

- a) des ~~contacs~~ directs                      b) contacts indirects                      c) non précisés

2) Dans le cas d'un trajet mains-pieds du courant électrique, il s'agit souvent de :

- a) ~~tétan~~isation                      b) fibrillation cardiaque                      c) effet excitomoteur

3) L'électrisation est le passage du courant électrique dans le corps provoquant :

- a) des ~~pl~~essures                      b) de la mort

4) Pour réaliser une consignation, il faut effectuer, en premier lieu, l'opération suivante :

- a) ~~sépar~~ation                      b) condamnation                      c) balisage

5) La résistance totale du corps humain décroît lorsque l'intensité du courant : ( 01 pts )

- a) ~~augm~~ente                      b) décroît                      c) reste inchangée

6) le seuil de douleur du bruit commence à partir de :

- a) 100 db                      b) ~~120~~ db                      c) 150 db

7) Le massage cardiaque est obligatoire lorsque il y a un arrêt

- a) respiratoire                      b) ~~circula~~oire                      c) hémorragie

8) Le disjoncteur différentiel remplit la fonction **coupure** automatique en cas de :

- a) court-cir~~uit~~                      b) ~~défaul~~d'isolement

9) Le bruit est composé d'un mélange complexe de sons aléatoire, qui peut être :

- a) agré~~able~~                      b) désagr~~éable~~                      c) ni l'un ni l'autre

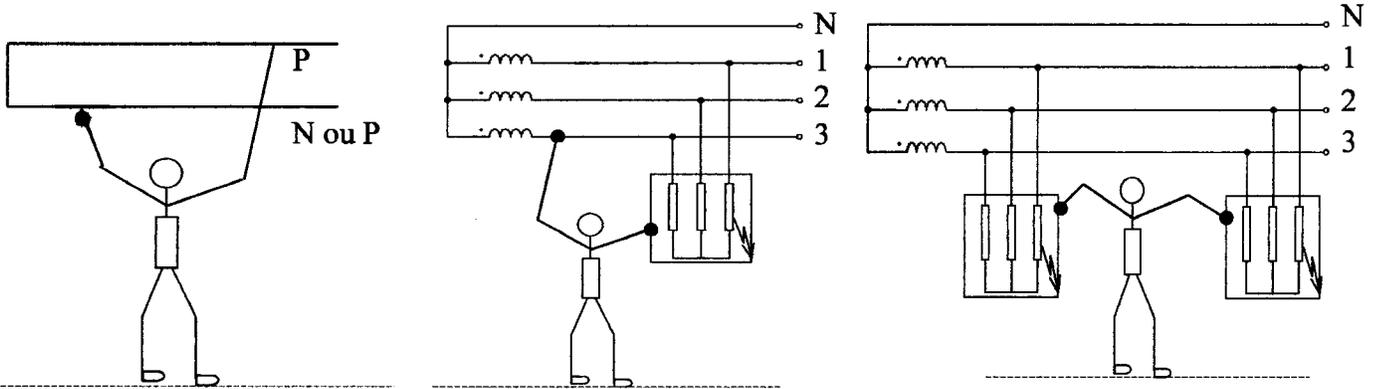
10) L'électricité st une énergie dangereuse, elle est :

- a) inau~~vis~~ible                      b) inv~~is~~ible                      c) in~~cl~~oire

**Exercice 03 : (10 pts)**

Remplissez les vides par les mots suivant selon le type de contact

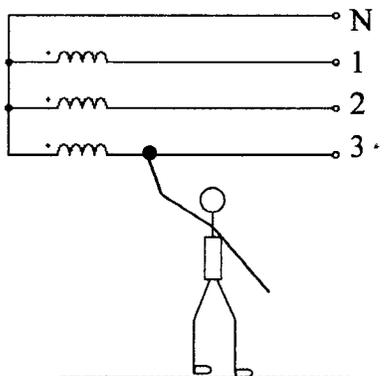
- 1) Contact unipolaire – contact bipolaire
- 2) Fréquent - Très fréquent – rare - Très rare



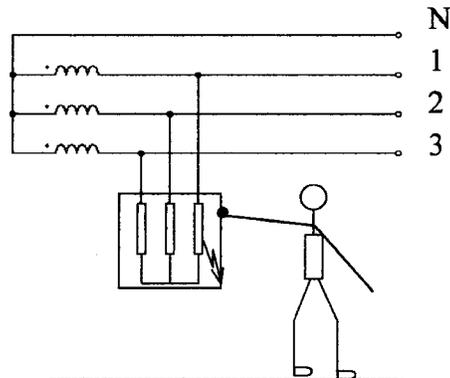
1 contact bipolaire  
2 fréquent

1 contact bipolaire  
2 rare

1 contact bipolaire  
2 très rare



1 contact inipolaire  
2 très fréquent



1 contact unipolaire  
2 fréquent