SOUS COMMISSION ELECTRONIQUE

- Rapport de sous commission
- Spécimen d'épreuves et corrigés types
- Matières à retenir et format

LICENCE PROFESSIONNELLE ELECTRONIQUE

Spécimen d'Epreuve de Spécialité — Durée : 4 heures

ETUDE D'UN SYSTEME TECHNIQUE

Pour sa soutenance de licence professionnelle en électronique, un étudiant conçoit un système technique de mesure de force, d'émission et de réception d'information. On s'intéresse uniquement à la partie électronique de ce système composé de quatre fonctions principales :

- FP1 : elle permettra de créer un signal proportionnel à une force F
- FP2 : elle permettra d'émettre un signal infrarouge de fréquence proportionnelle à la force F
- FP3 : elle permettra de recevoir le signal et d'en éliminer les parasites
- FP4 : elle permettra une démodulation de fréquence du signal reçu

L'épreuve est composée de quatre parties que le candidat peut traiter de façon indépendante

I Première partie : Création signal proportionnel à la force F

Le capteur utilisé est constitué d'un corps d'épreuve métallique à structure élastique sur lequel sont collées quatre résistances piézorésistives R_1, R_2, R_3 et R_4. Lesquatre résistances sont montées pont de Wheatstone. (voir montage figure 1).

Les amplificateurs opérationnels sont considérés comme parfaits et fonctionnent en régime linéaire. Ils sont alimentés sous +12 V et – 12 V.

Lorsqu'aucune force ne s'exerce sur le capteur, les quatre résistances sont égales à $R_0 = 400\Omega$.

Lorsqu'une force F s'exerce sur le capteur, les résistances R_1 et R_4 subissent une compression, alors que les résistances R_2 et R_3 subissent un étirement. On a ainsi :

$R_1 = R_4 = R_0 - \Delta R$, $R_2 = R_3 = R_0 + \Delta R$ avec $\Delta R = a \times F > 0$.

On donne :

$a=5,4\times10^{-3}\Omega/N$. E= 10 V.

$R_5 = 10k\Omega$; $R_6 = R_7 = 22k\,\Omega$; $R_8 = R_9 = R_{10} = R_{11} = 10\,k\,\Omega$; $R_{13} = 47\,k\Omega$.

1.) Déterminer la tension V_A en fonction de E, R_1 et R_2 et la tension V_B en fonction de E, R_3 et R_4. En déduire la différence de potentiel $V_A - V_B$ en fonction de E, R_1, R_2, R_3 et R_4.

2.) Que vaut V_A-V_B en l'absence d'effort sur le capteur ?

3.) Dans le cas où une force F s'exerce sur le capteur, déterminer V_A-V_B en fonction de R_0, ΔR et E. Calculer les valeurs numériques de V_A-V_B et F lorsque $\Delta R = 0,80\,\Omega$.

4.) Déterminer le courant i en fonction de V_A, V_B et R_5. En déduire V_C - V_D en fonction de V_A-V_B, R_5, R_6 et R_7. Calculer V_C-V_D en fonction de V_A - V_B

5.) Déterminer la tension V_E en fonction de V_C et V_D.

6.) Déterminer la tension V_F en fonction de V_E, R_{12} et R_{13}.

7.) Calculer la valeur numérique de R_{12} pour avoir la relation $V_F = (7,5) \times \Delta R$ où V_F s'exprime en volts et ΔR en ohms. Calculer V_F pour $\Delta R = 0$ et $\Delta R = 0,8\,\Omega$.

II Deuxième partie : Emission d'un signal infrarouge de fréquence proportionnelle à la force F.

On forme le signal V_{S1} tel que lorsque V_{S1} et V_F sont exprimés en volts on puisse écrire :

$$V_{S1} = V_F + 2$$

Le signal V_{S1} alimente un oscillateur commandé en tension (VCO) qui donne un signal carré (0 – 10 V) de fréquence f_E, et de rapport cyclique 0,5 : la courbe $f_E(V_{S1})$ est donnée à la figure 2.

La tension V_{S2} commande un amplificateur à transistor qui alimente deux diodes émettrices d'un rayonnement infrarouge (voir figure 3).

On donne : R_{14} = 22 kΩ ; R_{15} = 4,7 kΩ ; R_{17} = 47 Ω. La tension de seuil d'une diode infrarouge est de 1,5 V.

1.) Déterminer graphiquement la fréquence f_E pour V_{S1}= 8,0V.

2.) Calculer la tension V_G pour les deux valeurs 0 et 10 V de V_{S2} (considérer pour les calculs que le courant de base est négligeable devant le courant qui passe dans R_{15}). En déduire suivant la valeur de V_{S2}, l'état (bloqué ou passant) du transistor T_1.

3.) En supposant que le transistor est passant et saturé (ce qui donne V_{CE} à peu près égal à 0,3 V) calculer :

3a) le courant i_D dans les diodes infrarouges ;

3b) la puissance dissipée dans la résistance R_{17}.

4.) Quelle est l'utilité de la résistance R_{17} ?

5.) Sachant que la longueur d'onde du rayonnement infrarouge est de 1,2µm, calculer la fréquence de l'onde électromagnétique associée. On donne la vitesse de la lumière $c=3,00\times10^8$ m/s.

III Troisième partie : Réception du signal et filtrage pour éliminer les parasites ;

Le rayonnent infrarouge est reçu par une photodiode placée à quelques mètres de l'émetteur (figure 4)

On admet que la tension V_{S3} est un signal carré alternatif de fréquence f_E = 9,0 kHz et qui prend les valeurs $-V_0$ et $+V_0$ avec V_0 = 5,0 mV.

1.) Montrer en utilisant le développement en série de Fourier que V_{S3} peut se mettre sous la forme :

$$v_{S3}(t) = \frac{4 \times V_0}{\pi}\left[\sin(\omega t) + \frac{\sin(3\omega t)}{3} + \frac{\sin(5\omega t)}{5} + ...\right] \quad (\omega = 2\pi f_E)$$

Le bloc A est un amplificateur sélectif, on appelle A le module de son amplification et G, son gain : G = 20log(A).

1.) Tracer sur papier millimétré le spectre du signal V_{S3} en se limitant à l'harmonique 5. On prendra 2,5 cm pour 9 kHz en abscisse.

2.) La courbe de gain de l'amplificateur A est donnée figure 5. Déterminer graphiquement l'amplification A aux fréquences f_E, $3f_E$ et $5f_E$.

3.) En déduire les amplitudes du fondamental, de l'harmonique de rang 3 et de l'harmonique de rang 5 du signal V_{S4}. Tracer sur papier millimétré le spectre de ce signal en se limitant à l'harmonique de rang 5 ? Que peut-on en conclure sur la forme de ce signal ?

IV Quatrième partie : Démodulation de fréquence du signal V_{S4}.

Le signal V_{S4} de fréquence f_E est mise en forme pour donner un signal V_E carré 0 - 10 V ; celui-ci alimente une boucle à verrouillage de phase (voir figure 6).

On rappelle que, dans le fonctionnement normal d'une boucle à verrouillage de phase, les signaux V_E et V_R ont même fréquence.

La modélisation de la boucle à verrouillage de phase autour d'un point de repos donne le schéma figure 7 où p représente la variable de Laplace.

H(p) est la fonction de transfert d'un filtre passe-bas du 1er ordre : $H(p) = \frac{1}{1+\tau p}$

On donne K_ϕ =12,73V.rad, k_o =600 Hz/V, τ= 2,0 ms.

1.) Déterminer la fonction de transfert $T(p) = \frac{V_D(p)}{f_E(p)}$.

2.) Mettre T(p) sous la forme : $T(p)=\dfrac{T_0}{1+2m\dfrac{p}{\omega_1}+\dfrac{p^2}{\omega_1^2}}$

Déterminer T_0, m et ω_1 en fonction de K_ϕ, k_o et τ. Calculer m.

3.) On admet que lors d'une commande en échelon, un système de deuxième ordre de la forme de T(p) répond sans dépassement si m > 1 et avec dépassement si m < 1. Dans ce dernier cas, le dépassement est

$$d=\exp\left(-\frac{m\pi}{\sqrt{1-m^2}}\right).$$

3a) Calculer s'il y a lieu le dépassement d.

3b) Lorsque le dépassement est supérieur à 0,3, on considère que le degré de stabilité est insuffisant. Conclure sur la stabilité de la boucle à verrouillage de phase.

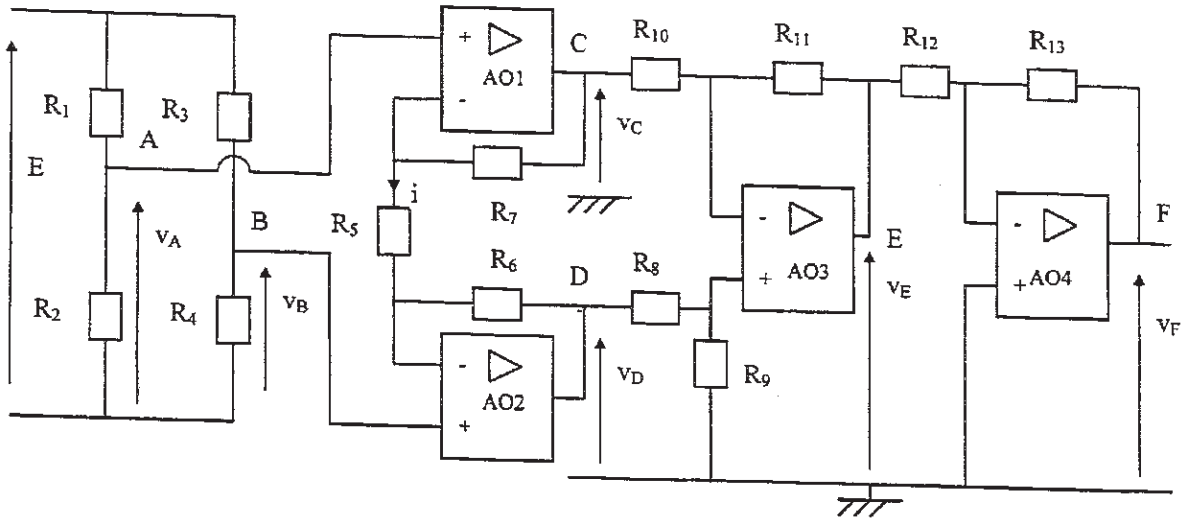


figure 1

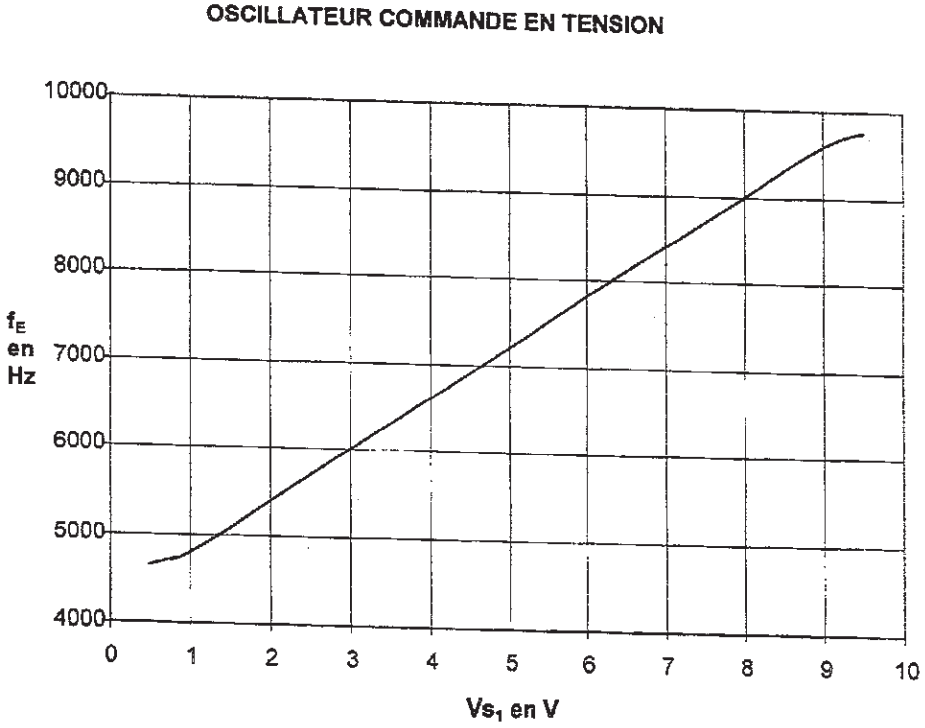


figure 2

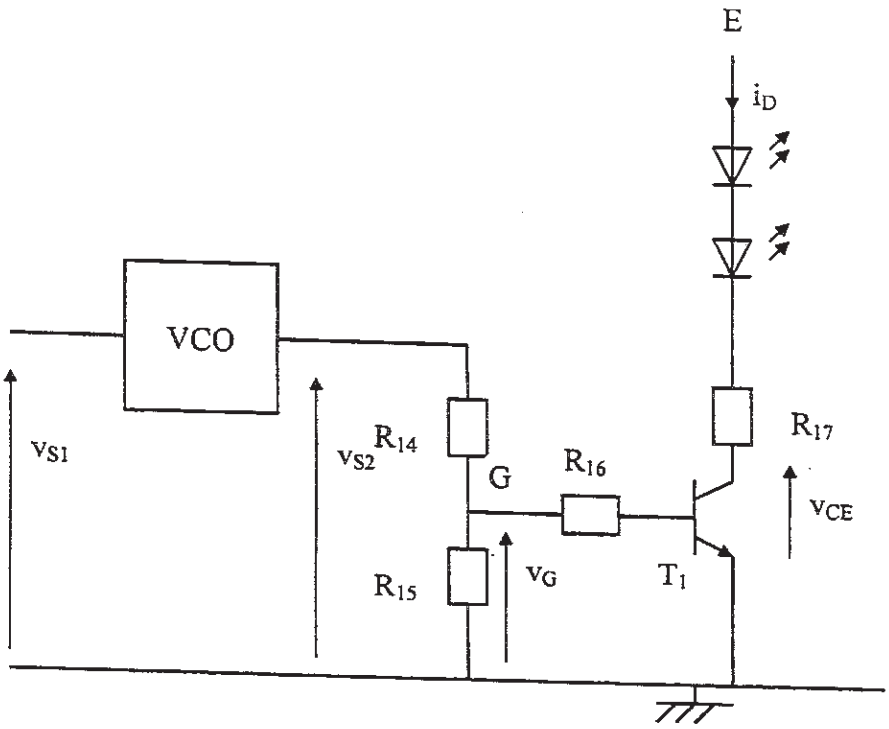


figure 3

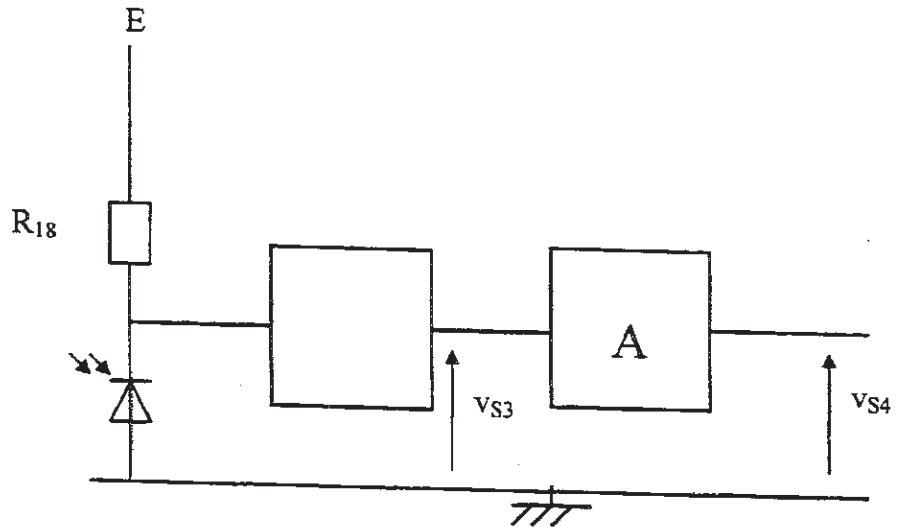


figure 4

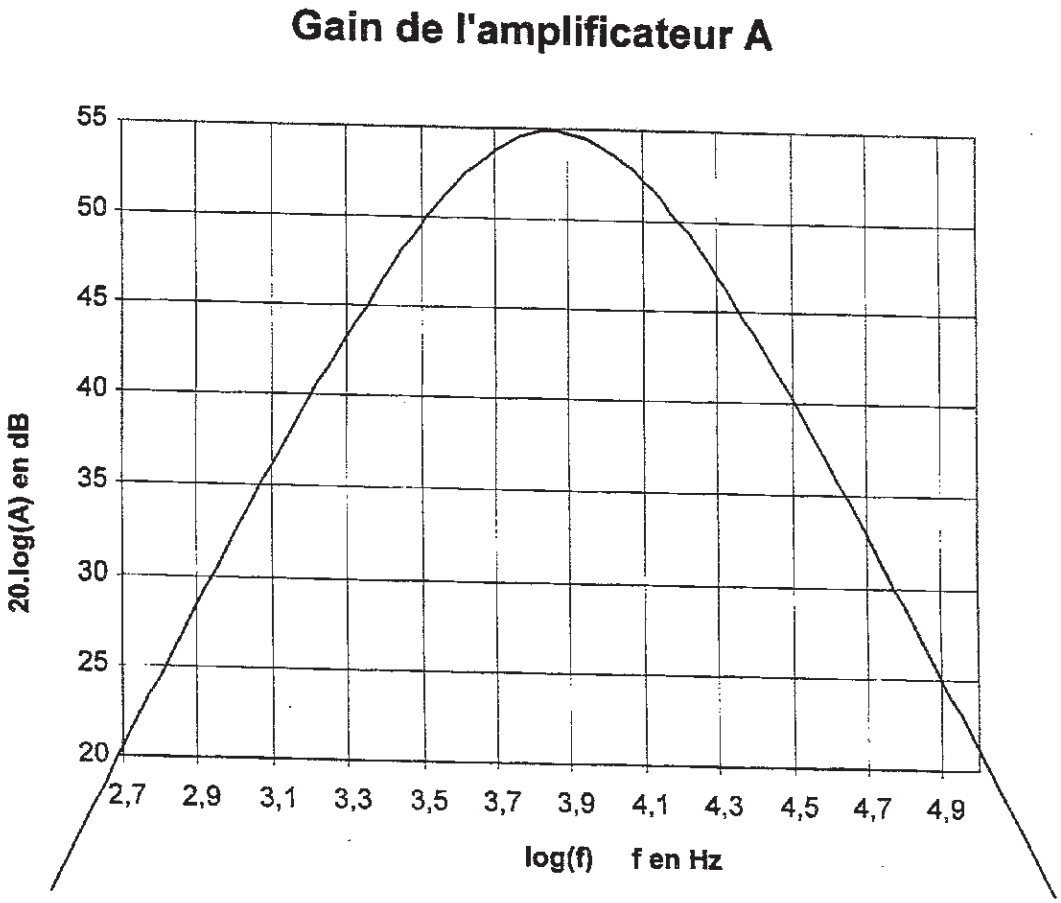


figure 5

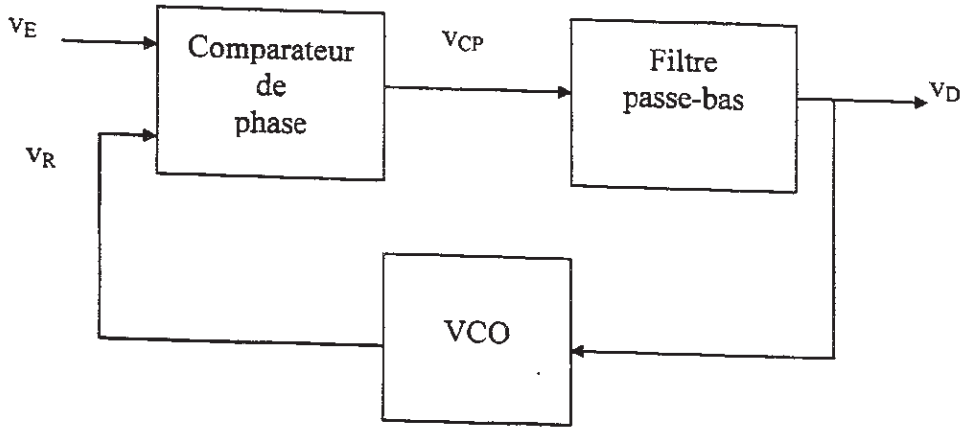


figure 6

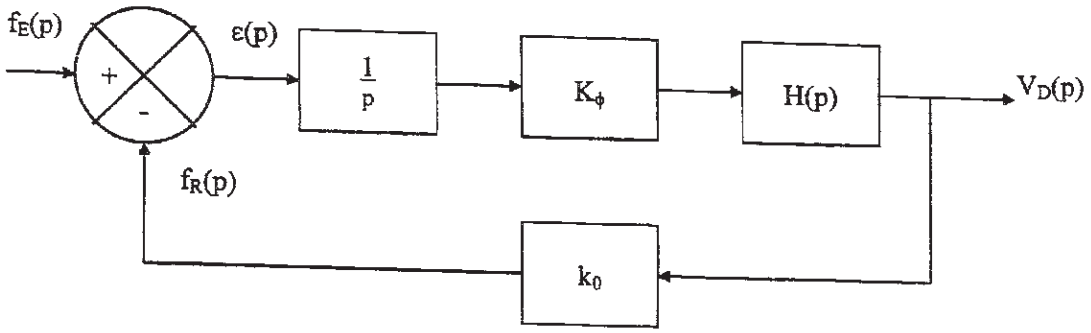


figure 7

CORRIGE-TYPE EST

Emission et Réception de l'Information

I- Signal proportionnel à la force F

1- La relation du pont diviseur donne :

$$v_A = \frac{R_2}{R_1 + R_2} E \text{ et } v_B = \frac{R_4}{R_3 + R_4} E \Rightarrow v_A - v_B = \left[\frac{R_2}{R_1 + R_2} - \frac{R_4}{R_3 + R_4}\right] E$$

2- En l'absence d'effort on a : $\Delta R = 0 \Rightarrow R_1 = R_2 = R_3 = R_4$ d'où

$$v_A - v_B = \left[\frac{R_0}{R_0 + R} - \frac{R_0}{R_0 + R}\right] E \Rightarrow v_A - v_B = 0$$

3- En présence d'effort on a :

$$v_A - v_B \left[\frac{R_0 + \Delta R}{R_0 - \Delta R + R_0 + \Delta R} - \frac{R_0 - \Delta R}{R_0 + \Delta R + R_0 - \Delta R}\right] E \Rightarrow$$

$$v_A - v_B = \left[\frac{R_0 + \Delta R - R_0 + \Delta R}{2R_0}\right] E = \frac{2\Delta R_0}{2R_0} \Rightarrow v_A - v_B = \frac{\Delta R}{R_0} E \Rightarrow v_A - v_B = \frac{0{,}8}{400} \times 10 = 20mV$$

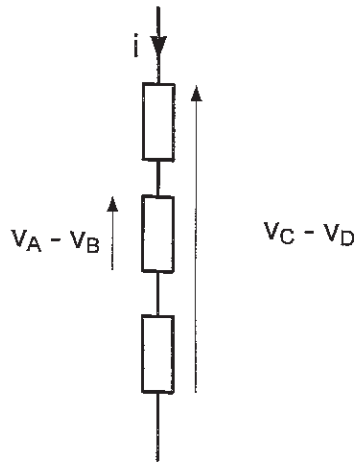
et $F = \frac{\Delta R}{a} = \frac{0{,}8}{5{,}4 \times 10^{-3}} = 148N$

4- Les amplificateurs Différentiels Intégrés sont en régime linéaire donc

$\varepsilon = v^+ - v^- = 0V$ et la tension $v_A - v_B$ se retrouve aux bornes de R_S (schéma ci-dessous) : $\Rightarrow v_A - v_B = R_S \times i \Rightarrow i = \frac{v_A - v_B}{R_S} \Rightarrow v_C - v_D = (R_5 + R_6 + R_7) \times i \Rightarrow$

$$v_C - v_D = \frac{(R_7 + R_5 + R_6)}{R_S}(v_A - v_B)$$

Autre méthode avec le pont diviseur qui donne directement



$$v_C - v_D = \frac{R + R_6 + R_7}{R_S}(v_A - v_B)$$

AN : $v_C - v_D \frac{10\times10^3 + 22\times10^3 + 22\times10^3}{10\times10^3}(v_A - v_B) = 5{,}4\times(v_A - v_B)$

5- On est en présence d'un montage soustracteur avec $v_E = v_D - v_C$

<u>Démonstration</u> (théorème de superposition)

On prend : $R_S = R0 = R10 = R11 = R$

•v_C " seule " => amplificateur inverseur => $v_{EC} = -\frac{R}{R}v_C = -v_C$

•v_D " seule " => amplificateur non inverseur =>

$$v_{ED} = \left(1+\frac{R}{R}\right)\times v^+ = \left(1+\frac{R}{R}\right)\left(\frac{R}{R+R}\right)v^+ = (1+1)\frac{1}{2}v^+ \Rightarrow v_{ED} = v_D$$

•v_C et vD $v_E = v_D - v_C$

6- $v_F = -\frac{R_{13}}{R_{12}}v_E$ (amplificateur inverseur)

7- $v_F = -\frac{R_{13}}{R_{12}}v_E = \frac{R_{13}}{R_{12}}(v_C - v_D) = \frac{R_{13}}{R_{12}}\times 5{,}4\times(v_A - v_B) = \frac{R_{13}}{R_{12}}\times 5{,}4\times E\frac{\Delta R}{R_0}$

On veut :

$$\frac{R_{13}}{R_{12}}\times 5{,}4\times E\frac{\Delta R}{R_0} = 7{,}5\times\Delta R \Rightarrow R_{12} = \frac{R_{13}\times 5{,}4\times E}{7{,}5\times R_0} = \frac{47\times10^3\times 5{,}4\times10}{7{,}5\times400} = 846\Omega$$

$v_{F0} = 7{,}5\times0 = 0$ V et $v_{F0,8} = 7{,}5\times0{,}8 = 6$ V.

II- Emission du signal infrarouge

1- $v_{S1} = 8\ V \Rightarrow f_E = 9\ kHz$

2- $v_{G0} = 0 \times \frac{R_{15}}{R_{14} + R_{15}} = 0$ (transistor bloqué)

$v_{G10} = 10 \times \frac{R_{15}}{R_{14} + R_{15}} = 10 \times \frac{4,7}{22 + 4,7} \approx 1,76V$ (transistor passant)

3- a – E= 1,5 + 1,5 + $R_{17} \times i_D$ + 0,3 => $i_D = \frac{10 - 1,5 - 1,5 - 0,3}{47} \approx 143mA$

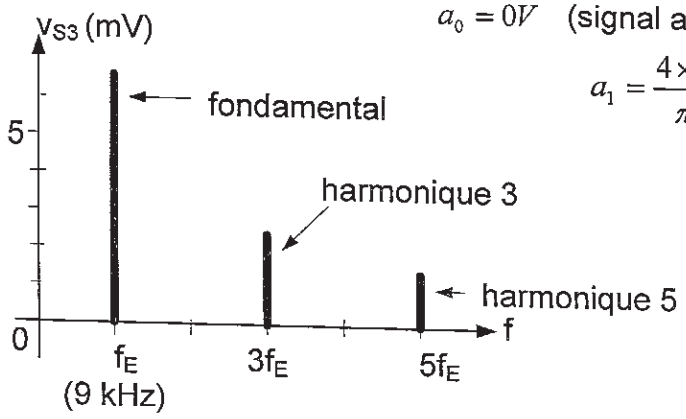
b- PR17 = $R \times (i_D)^2$ = 47 × (à ?143)^2 = 0,955 W ≈ 1 W

4- R_{17} sert à limiter le courant dans les diodes.

5- $\lambda = cT = \frac{c}{f} \Rightarrow f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \times 10^8}{1,2 \times 10^{-6}} = 2,5 \times 10^4\ Hz$

III- Réception du signal et filtrage

1- Spectre du signal v_{S3}.



$a_0 = 0V$ (signal alternatif)

$a_1 = \frac{4 \times 5}{\pi} \approx 6,37mV$

$a_3 = \frac{4 \times 5}{3\pi} \approx 2,12mV$

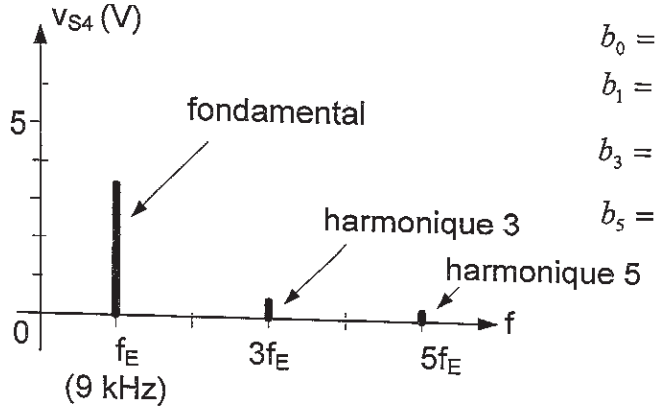
$a_5 = \frac{4 \times 5}{5\pi} \approx 1,27mV$

2- log(9000)= 3,5 => $G_{fE} \approx 54$ dB => $A_{f_E} = 10^{\frac{G_{f_E}}{20}} \approx 501$

log(27000)= 4,43 => $G_{3fE} \approx 42$ dB => $A_{3f_E} = 10^{\frac{G_{3f_E}}{20}} \approx 125$

log(45000)= 4,66 => $G_{5fE} \approx 35$ dB => $A_{5f_E} = 10^{\frac{G_{5f_E}}{20}} \approx 56$

3- Spectre du signal v_{S4}.



$b_0 = 0V$ (signal alternatif)

$b_1 = a_1 \times 501 \approx 3,2V$

$b_3 = a_3 \times 125 \approx 0,27V$

$b_5 = a_5 \times 56 \approx 0,071V$

Le signal vS4 est une sinusoïde presque pure car les harmoniques ont des amplitudes négligeables devant le fondamental.

Une sinusoïde n'est composée que d'une seule raie (le fondamental).

IV- Démodulation de fréquence

1- $$T(p) = \frac{v_D(p)}{f_E(p)} = \frac{\frac{1}{p} K_\phi \frac{1}{1+\tau p}}{1 + k_0 \frac{1}{p} K_\phi \frac{1}{1+\tau p}} = \frac{K_\phi}{k_0 K_\phi + p(1+\tau p)}$$

2- $$T(p) = \frac{\frac{1}{k_0}}{1 + \frac{1}{k_0 K_\phi} p + \frac{\tau}{k_0 K_\phi} p^2} = \frac{T_0}{1 + 2m\frac{p}{\omega_1} + \frac{p^2}{\omega_1^2}}$$ avec $T_0 = \frac{1}{k_0}$ et $\omega_1 = \sqrt{\frac{k_0 K_\phi}{\tau}}$ et

$$\frac{2m}{\omega_1} = \frac{1}{k_0 K\phi} \Rightarrow m = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{k_0 K\phi}{\tau}} \times \frac{1}{k_0 K_\phi} = \frac{1}{2\sqrt{k_0 K_\phi \tau}}$$

AN : $m = \frac{1}{2\sqrt{600 \times 12{,}73 \times 2 \times 10^{-3}}} \approx 0{,}128$

3-a m < 1 donc dépassement => $d = e^{\frac{0{,}128 \times \pi}{\sqrt{1-(0{,}128)^2}}} = 0{,}67$

3-b d < 0,3 donc système trop proche de l'instabilité (oscillations faiblement amorties).

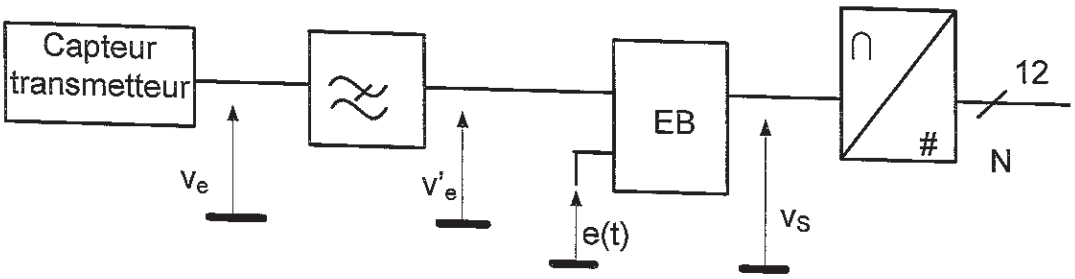
Epreuve Professionnelle

OPTION : ELECTRONIQUE

Durée : 3H

Une chaîne d'acquisition de données est formée d'un capteur-transmetteur (CT) suivi d'un filtre passe-bas (FPB), d'un échantillonneur-bloqueur (EB) et d'un convertisseur analogique-numérique (CAN), dont les caractéristiques sont les suivantes :

- signal délivré par le CT (v_e) compris entre –5V et +5V.
- FPB : 2ème ordre, fréquence de coupure F_c = 40 Hz, amortissement m = 0,7, gain K = 1.
- EB : fréquence d'échantillonnage F_e = 10 kHz, temps d'acquisition Δt = 10µs
- CAN : bipolaire –5/+5V, 12 bits.



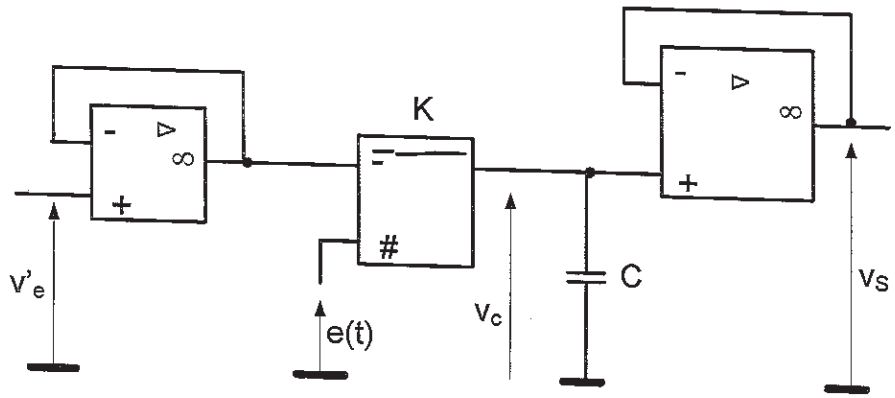
I- Etude de la conversion analogique-numérique

1) Calculer l'incrément q du CAN en mV.
2) Calculer la précision p du CAN exprimée en ‰ et en dB.
3) On suppose que : N = 0 pour v_s = –5V ; N = hFFF pour v_s = +5V ("h" = hexadécimal).
Exprimer la relation qui lie v_s à N puis N à v_s sachant que N est arrondi à l'entier le plus proche.
4) Calculer N (exprimé en décimal, hexadécimal et binaire) pour v_s = 0 V ; 1,0000 V .
5) Soit N = hABC ; h001. Calculer v_s dans chaque cas (le résultat sera présenté avec une précision de 0,1 mV).

6) Si la fréquence d'échantillonnage de v_s est F_e = 10kHz, quelle doit être la valeur maximale du temps de conversion du CAN ?

II- Etude de l'échantillonnage

L'interrupteur électronique K a pour caractéristiques : *R*on (interrupteur fermé) = 200 Ω ; *R*off (ouvert) > 10^{13} Ω. Les AOP ont pour caractéristiques : impédance d'entrée Re = 10^{11} Ω ; impédance de sortie R_s = 150 Ω. La tension $e(t)$ est un signal numérique formé d'impulsions de largeur Δt et de fréquence F_e.



1) Lorsque K est fermé, le condensateur *C* se charge à travers Rs (impédance de sortie du 1er AOP) et R_{on}. Calculer *C* pour que v_c = 0,9999 v'_e au bout d'un temps ?*t*. On notera ?$_{on}$ la constante de temps de la charge de *C*.

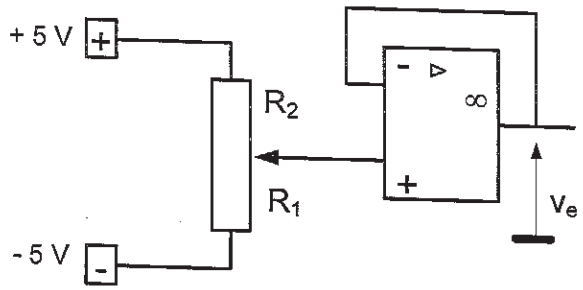
2) Lorsque K est ouvert, le condensateur *C* se décharge lentement à travers R_e (impédance d'entrée du second AOP). A partir de l'instant où K s'ouvre, combien de temps faut-il pour que v_s décroisse d'un dix-millième ? On notera ?$_{off}$ la constante de temps de la décharge de C.

3) Quel est le rapport cyclique ??de *e*(*t*) ? Dessiner succinctement les signaux v'_e, v_s et e.

4) La tension v_e est un signal triangulaire symétrique d'amplitude ± 5V, de fréquence f et de période T. Pour que l'acquisition puisse se faire avec une précision optimale, on veut que la vitesse d'évolution de v_e reste inférieure ou égale à un incrément par période d'échantillonnage : $\frac{dv_e}{dt} \leq \frac{q}{T_e}$.

En déduire la valeur maximale de la fréquence de v_e.

III- Etude du capteur –transmetteur



Le capteur est un capteur de déplacement formé d'un potentiomètre linéaire de longueur l = 1 m et de résistance P = R_1 + R_2 = 5 kΩ, câblé en montage potentiométrique. Soit x la position du curseur.

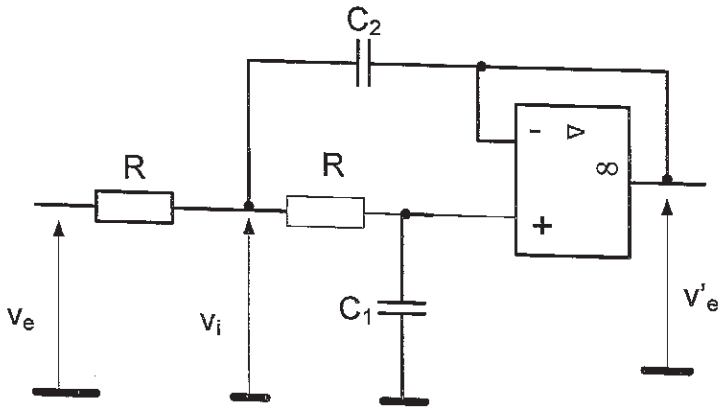
On pose : $k = \frac{R_1}{R_1 + R_2} = \frac{x}{l}$, rapport de division de tension.

1) Calculer v_e en fonction de k

2) En déduire v_e en fonction de x.

3) Quel est le plus petit déplacement mesurable ?

IV- Etude du filtre passe-bas



1) En appliquant la loi des noeuds au point situé entre les deux résistances, établir la fonction de transfert de ce filtre.

2) En déduire sa pulsation propre ??? et son amortissement m en fonction de R, $C1$ et $C2$.

3) A.N. : on veut une fréquence de coupure égale à 20 Hz pour un amortissement de 0,7. Soit $C1$ =100 nF.

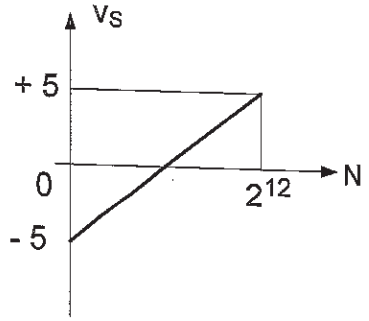
CORRIGE-TYPE EPP

***I- Etude de la conversion analogique*-numérique**

1) $\Delta v_e = q = \frac{PE}{2^n} \Rightarrow q = \frac{10}{2^{12}} = 2{,}44mV$

2) $p = 0{,}24‰ = -72\text{dB}$

3)



$v_S = \frac{10}{2^{12}}N - 5$ et $N = \left[\frac{2^{12}}{10}(v_S + 5) + 0{,}5\right]$

[x]= partie entière de x

4) $vs = 0 \Rightarrow N = 2^{11} = 2048$; $v_s = 1{,}0000 \Rightarrow 0{,}6 \times .2^{12} = 2457{,}6 \Rightarrow = N = 2458$

5) $N = 10 \times 16^2 + 11 \times 16 + 12 = 2748 \Rightarrow vs = 1{,}7090\text{V}$; $N = 1 \Rightarrow vs = -4{,}9976$ V

6) $t_{conv} < 1/Fe = 100$ µs

II- Etude de l'échantillonnage

1) $v_c = v_e\left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_{on}}}\right) \Rightarrow 0{,}9999v_e^{'} = v_e^{'}\left(1 - e^{-\frac{\Delta t}{\tau_{on}}}\right)$ avec $\tau_{on} = (R_s - R_{on}) \times C \Rightarrow$

$\Delta t = \tau_{on} \ln(10000) \approx 9{,}2 \times \tau_{on} \Rightarrow \tau_{on} = 1{,}08\mu s \Rightarrow C = 1{,}0810^{-6}/350 = 3{,}1$ nF

2) Il faut : $t \approx 9{,}2 \times \tau_{off} = 9{,}2 \times 3{,}1 \times 10^{-9} \times 10^{11} \approx 2800s = 47mn$

3) $\alpha = 1/10$

4) $\frac{\Delta v_e}{\frac{T}{2}} \leq \frac{q}{T_e} \Rightarrow T \geq 2T_e \frac{PE}{q} = T_e \times 2^{13} \Rightarrow f_{max} \leq \frac{F_e}{2^{13}} = 1{,}22Hz$

III- Th Millman :

$v_e = \frac{R_1 \times 5 - R_2 \times 5}{R_1 + R_2} = k \times 5 - (1-k) \times 5 = 5(2k-1) \Rightarrow v_e = 10\frac{x}{l} - 5$ et $\Delta x = \frac{l}{2^{12}} = 0{,}24mm$

IV-

$\frac{v_e - v_i}{R} + \frac{v'_e + v_i}{R} + \frac{v'_e + v_i}{1} = 0$ et vi =$(1+ jRC_1\omega)v'_e$

on en déduit $v'_e / v_e = 1/[1+2jRC_1w + R^2C_1C_2(jw)^2]$