

BTS INFORMATIQUE INDUSTRIELLE  
PHYSIQUE APPLIQUEE

Durée : 3 heures

Coefficient : 3

*L'usage des calculatrices est autorisé*

MESURE D'UNE FORCE F, EMISSION ET RECEPTION DE L'INFORMATION.

La clarté des raisonnements et la qualité de la rédaction interviendront pour une part importante dans l'appréciation des copies.

Les quatre parties peuvent être traitées indépendamment les unes des autres.

**I) Première partie : (6 points)**

**Création d'un signal proportionnel à la force F.**

Un capteur de force est constitué d'un corps d'épreuve métallique à structure élastique sur lequel sont collées 4 résistances piézorésistives  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  et  $R_4$ . Les 4 résistances sont montées en pont de Wheatstone.

Montage figure 1 page 4/7. Les amplificateurs opérationnels sont considérés comme parfaits. Ils sont alimentés sous +12 V et -12 V. Ils fonctionnent en régime linéaire.

Lorsque aucune force ne s'exerce sur le capteur, les 4 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, les résistances  $R_2$  et  $R_3$  subissent un étirement. On a :

$$R_1 = R_4 = R_0 - \Delta R \qquad R_2 = R_3 = R_0 + \Delta R \qquad \text{avec } \Delta R = a.F > 0$$

On donne :

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

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

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  $R_0$ ,  $\Delta R$  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  $v_F = (7,5) \times \Delta R$  ( $v_F$  s'exprimant en volts et  $\Delta R$  en ohms).

Calculer  $v_F$  pour  $\Delta R = 0$  et  $\Delta R = 0,8 \Omega$ .

**II) Deuxième partie : (4 points)****Émission 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  $v_{S2}$  (0-10V) de fréquence  $f_E$ , et de rapport cyclique 0,5 : la courbe  $f_E$  fonction de  $v_{S1}$  est donnée figure 2 page 4/7.

La tension  $v_{S2}$  commande un amplificateur à transistor qui alimente 2 diodes émettrices d'un rayonnement infrarouge (figure 3 page 5/7).

On donne :

$$R_{14} = 22 \text{ k}\Omega ; R_{15} = 4,7 \text{ k}\Omega ; R_{17} = 47 \text{ }\Omega.$$

Tension seuil d'une diode infrarouge : 1,5 V.

1) Déterminer graphiquement la fréquence  $f_E$  pour  $v_{S1} = 8,0 \text{ V}$ .

2) Calculer la tension  $v_G$  pour les 2 valeurs 0 et 10 V de  $v_{S2}$  (considérer pour les calculs le courant de base 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  $v_{CE} \approx 0,3\text{V}$ ) calculer :

3.a) le courant  $i_D$  dans les diodes infrarouges ;

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

4) Préciser l'utilité de la résistance  $R_{17}$ .

5) Sachant que la longueur d'onde du rayonnement infrarouge est de  $1,2 \text{ }\mu\text{m}$ , calculer la fréquence de l'onde électromagnétique associée.

On donne la vitesse de la lumière  $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m/s}$

**III) Troisième partie : (5 points)****Réception du signal et filtrage pour éliminer les parasites.**

Le rayonnement infrarouge est reçu par une photodiode placée à quelques mètres de l'émetteur (figure 4 page 5/7).

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

On rappelle que le développement en série de Fourier d'un tel signal s'écrit :

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

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

- 1) Tracer sur papier millimétré le spectre du signal  $v_{S3}$  en se limitant à l'harmonique 5. (prendre 2,5cm pour 9 kHz en abscisse)
- 2) La courbe de gain de l'amplificateur A est donnée figure 5 page 6/7.  
Déterminer graphiquement l'amplification A aux fréquences  $f_E$ ,  $(3 \times f_E)$  et  $(5 \times f_E)$ .
- 3) En déduire les amplitudes du fondamental, de l'harmonique 3 et de l'harmonique 5 du signal  $v_{S4}$ . Tracer sur papier millimétré le spectre de ce signal en se limitant à l'harmonique 5. Que peut-on en conclure sur la forme de ce signal ?

#### IV) Quatrième partie : (5 points)

##### **Démodulation de fréquence du signal $v_{S4}$ .**

Le signal  $v_{S4}$  de fréquence  $f_E$  est mis en forme pour donner un signal  $v_E$  carré 0-10V; celui-ci alimente une boucle à verrouillage de phase (figure 6 page 7/7).

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 page 7/7 où  $p$  représente la variable de Laplace.

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

On donne :  $K_\phi = 12,73 \text{ V.rad}$ ,  $k_0 = 600 \text{ Hz/V}$ ,  $\tau = 2,0 \text{ ms}$ .

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

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

Déterminer  $T_0$ ,  $m$  et  $\omega_1$  fonction de  $K_\phi$ ,  $k_0$  et  $\tau$ .  
Calculer  $m$ .

3) On admet que lors d'une commande en échelon, un système du deuxième ordre de la forme de  $T(p)$  répond sans dépassement si  $m$  est supérieur à 1 et avec dépassement si  $m$  est inférieur à 1. Dans ce dernier cas, le dépassement  $d$  est égal à  $\exp(-\frac{m.\pi}{\sqrt{1-m^2}})$ .

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

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

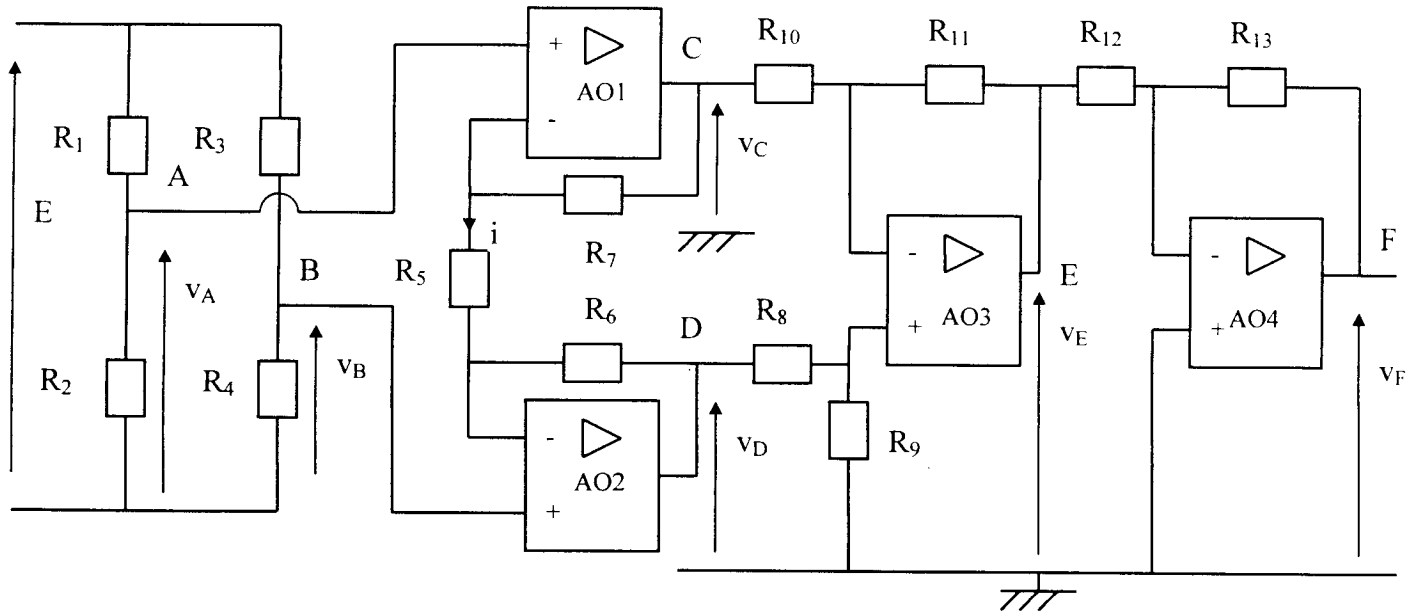


figure 1

OSCILLATEUR COMMANDE EN TENSION

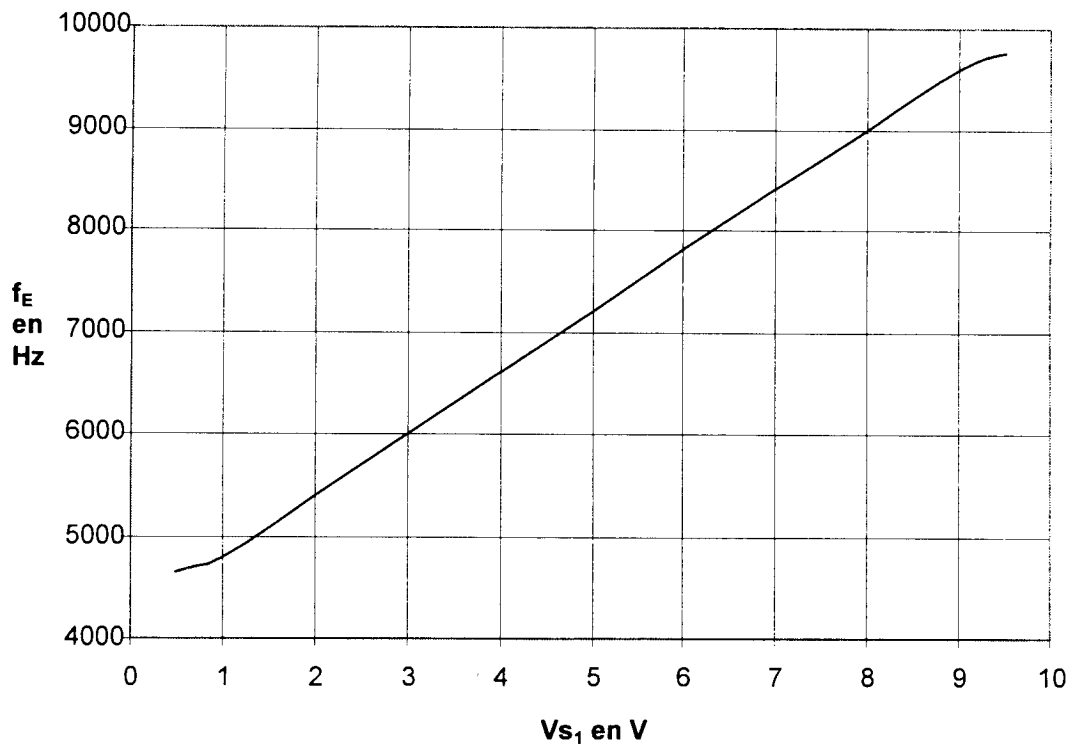


figure 2

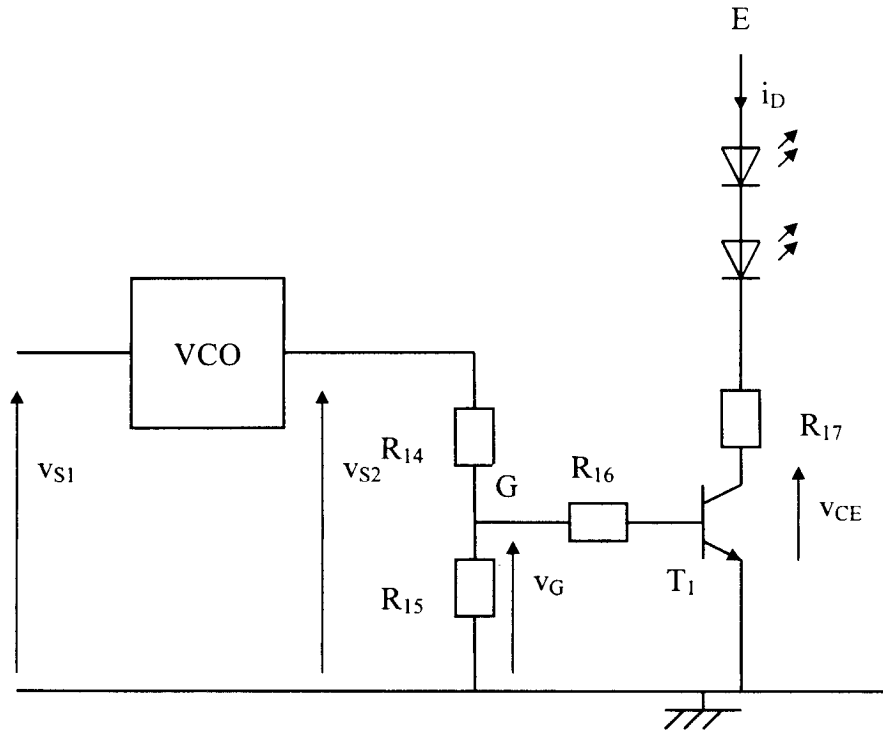


figure 3

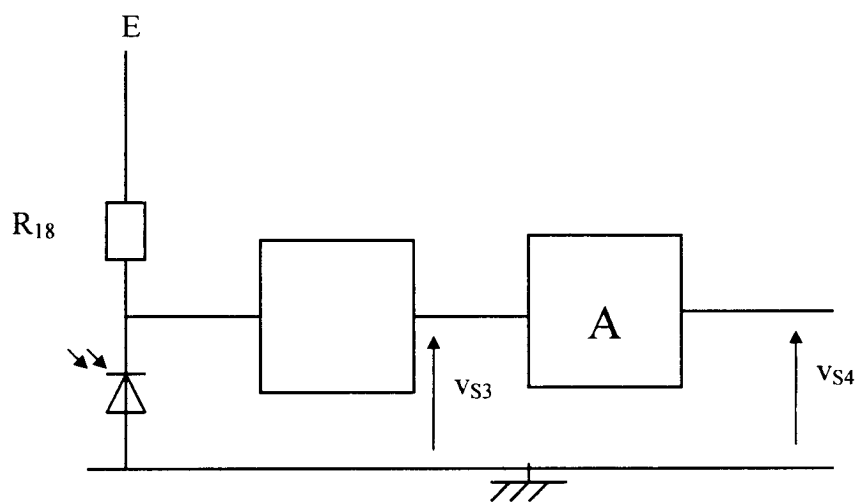


figure 4

### Gain de l'amplificateur A

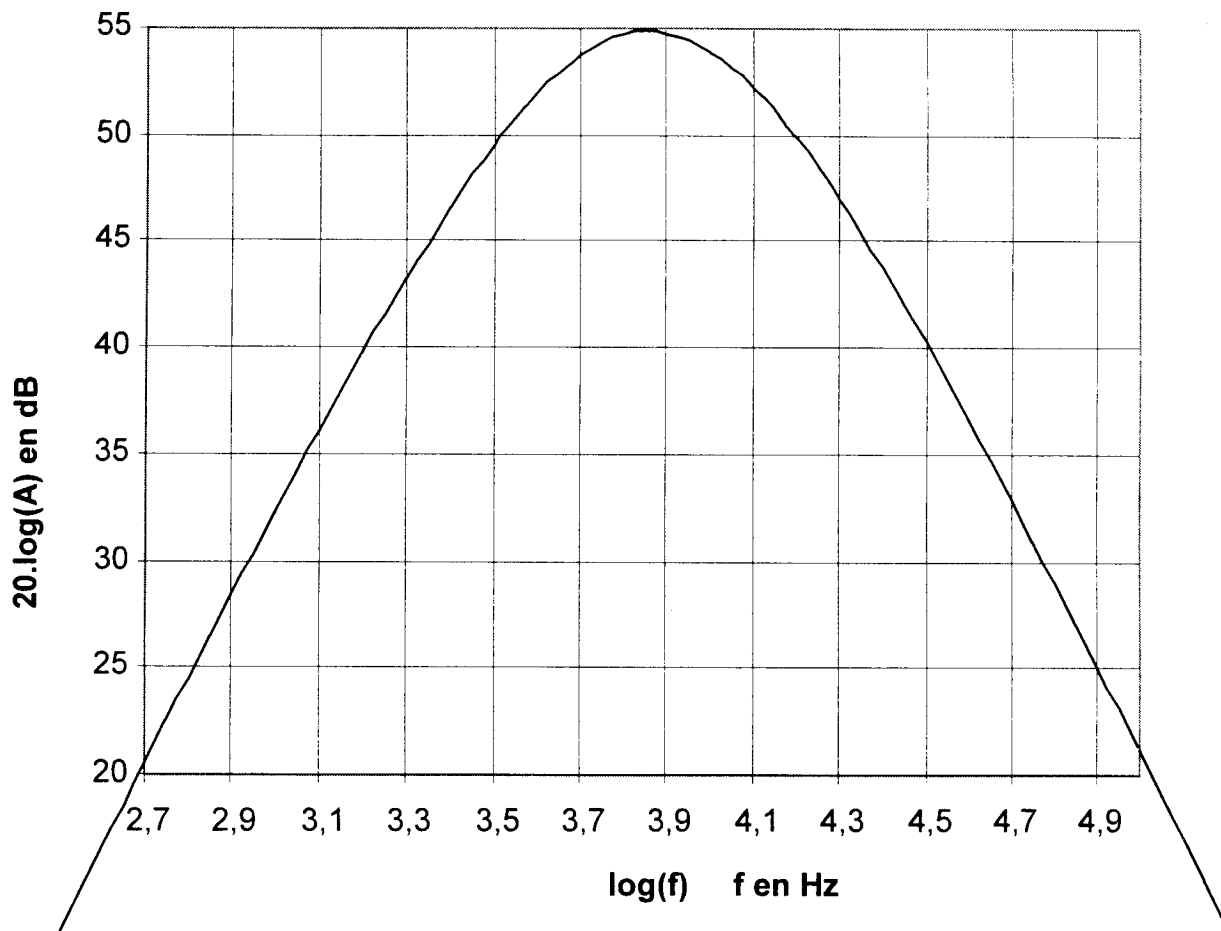


figure 5

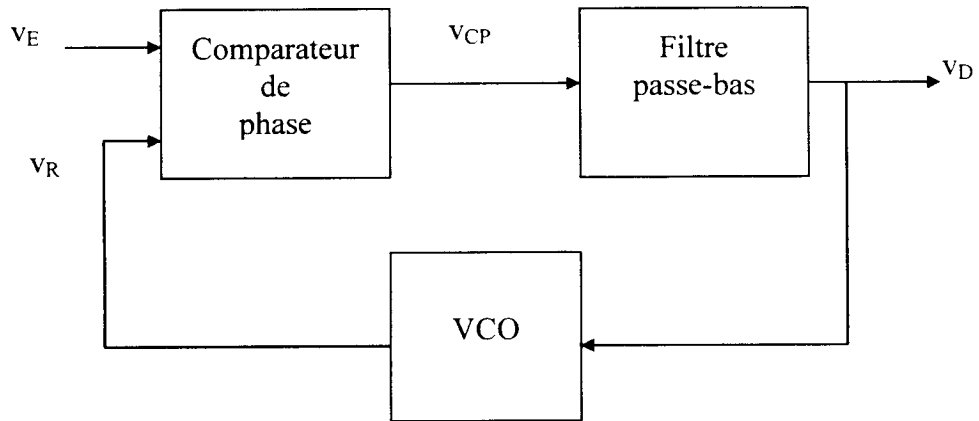


figure 6

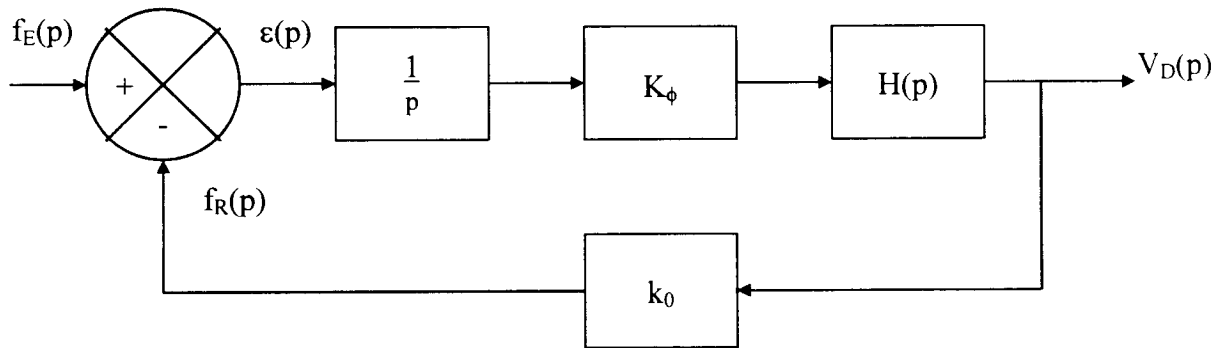


figure 7