

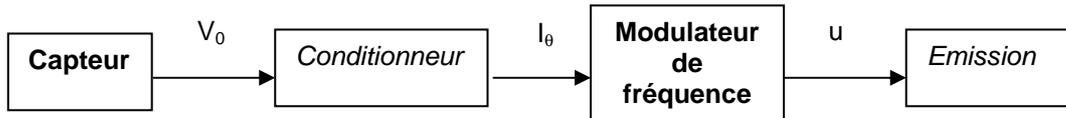
**PARTIE ÉLECTRICITÉ (durée conseillée 1h30 mn)**

Cet exercice est constitué de quatre parties indépendantes.  
Le document réponse (même vierge) doit impérativement, être joint à la copie.

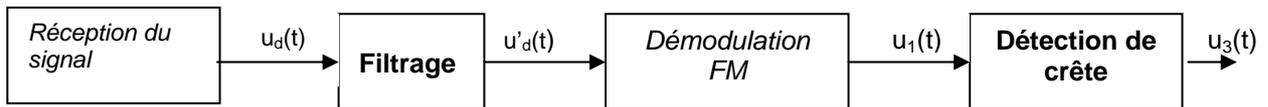
**ÉTUDE D'UNE TÉLÉMESURE**

On se propose d'étudier une transmission de température par télémétrie.  
Le but est de capter la température d'un avion en vol et de la transmettre au sol par voie hertzienne.  
L'information température est captée puis transmise en modulation de fréquence.  
Au sol, l'information est démodulée afin d'être transformée en tension proportionnelle à la température.  
Schéma synoptique de la télémétrie :

- EN VOL :



- AU SOL :



On se propose de n'étudier que les fonctions suivantes : capteur, modulateur de fréquence, filtrage, et détecteur de crête.

**ÉMISSION DU SIGNAL**

**Partie 1 : Étude du capteur de température**

**1.1 - Alimentation du capteur : voir figure 1a.**

Le montage réalise une source de courant commandée en tension. Celle-ci alimente un capteur connecté entre les points A et M.

L'amplificateur opérationnel est supposé parfait ; il est alimenté avec  $\pm V_{cc} = \pm 15 V$ .

On note  $v^-$  le potentiel de l'entrée inverseuse et  $v^+$  le potentiel de l'entrée non inverseuse, définis par rapport à la masse.

FIGURE 1a

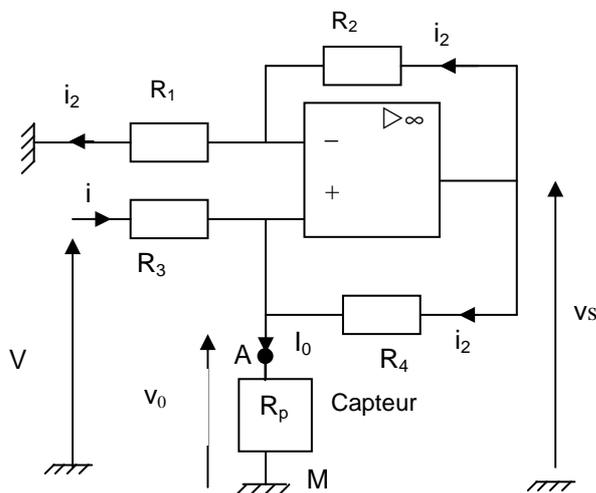
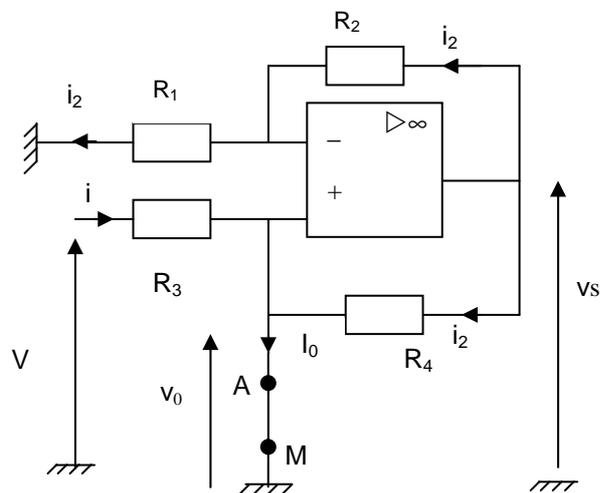


FIGURE 1b



L'amplificateur opérationnel fonctionne en régime linéaire.

On veut déterminer le modèle de Norton du générateur équivalent qui alimente le capteur.

Le courant  $I_0$  du générateur de Norton est le courant de court-circuit du montage. **Figure 1b.**

$$R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R$$

En raisonnant sur la figure 1b :

1.1.1 - Exprimer  $v_0$  (qui est égal à  $v^+$ ) et  $v^-$ .

1.1.2 - Justifier rapidement que  $i_2$  est nul.

1.1.3 - Exprimer le courant de court-circuit  $I_0$  en fonction de  $v$  et  $R$ .

1.1.4 - Les 4 résistances du montage étant égales, on admet que le générateur équivalent de Norton est parfait. Que peut-on dire alors de sa résistance interne  $R_N$  ?

## 1.2 - Modélisation du capteur de température :

Le schéma de la figure 2 représente l'alimentation du capteur. La source de courant est représentée par son modèle.

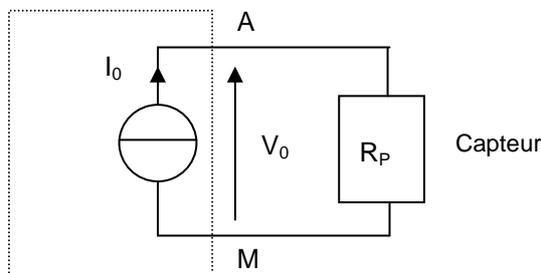


FIGURE 2

Le capteur est fabriqué avec un fil de platine dont la résistance  $R_p$  varie linéairement avec la température  $\theta$  sur l'intervalle considéré :  $-50^\circ\text{C} < \theta < +140^\circ\text{C}$ .

La résistance  $R_p$  s'exprime en fonction de  $\theta$  sous la forme :  $R_p = R_0 + \alpha \cdot \theta$  ( $\theta$  exprimée en  $^\circ\text{C}$ ).

On a relevé, pour  $\theta = 0^\circ\text{C}$ ,  $R_p = 100,0 \Omega$  et, pour  $\theta = 100^\circ\text{C}$ ,  $R_p = 138,5 \Omega$ .

1.2.1 - Déterminer les coefficients  $R_0$  et  $\alpha$ .

1.2.2 - La résistance  $R_p$  est alimentée par le générateur de courant, voir figure 2. Celui-ci délivre un courant d'intensité  $I_0$  :  $I_0 = 200 \mu\text{A}$ .

Exprimer  $V_0$  en fonction de  $R_p$  et  $I_0$ .

1.2.3 - Exprimer  $V_0$  en fonction de  $R_0$ ,  $\alpha$ ,  $I_0$  et  $\theta$  sous la forme  $V_0 = a \cdot \theta + b$ .

Application numérique : Calculer les valeurs de  $a$  et  $b$ .

1.2.4 - Calculer les valeurs prises par  $V_0$  pour  $\theta = -50^\circ\text{C}$  et  $\theta = +140^\circ\text{C}$ .

## Partie 2 : Étude de la modulation de fréquence

Le conditionneur transforme la tension  $V_0$  aux bornes du capteur en un courant continu  $I_\theta$  tel que :

$$I_\theta = 3 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 10^{-5} \cdot \theta \quad \text{où } I_\theta \text{ est exprimé en ampère et } \theta \text{ en } ^\circ\text{C}.$$

Le montage de la figure 3 effectue la conversion courant - fréquence.

La tension  $u(t)$ , qui fait basculer le comparateur à 2 seuils (figure 3, entrée  $u(t)$  sortie  $v(t)$ ), est obtenue avec la charge et la décharge du condensateur  $C$ . Le courant  $I_\theta$  est supposé constant et positif. Le courant  $2 I_\theta$  est une image doublée et inversée du courant  $I_\theta$ .

Les seuils du comparateur sont notés :  $V_b$  pour le seuil bas et  $V_h$  pour le seuil haut (voir figure 4).

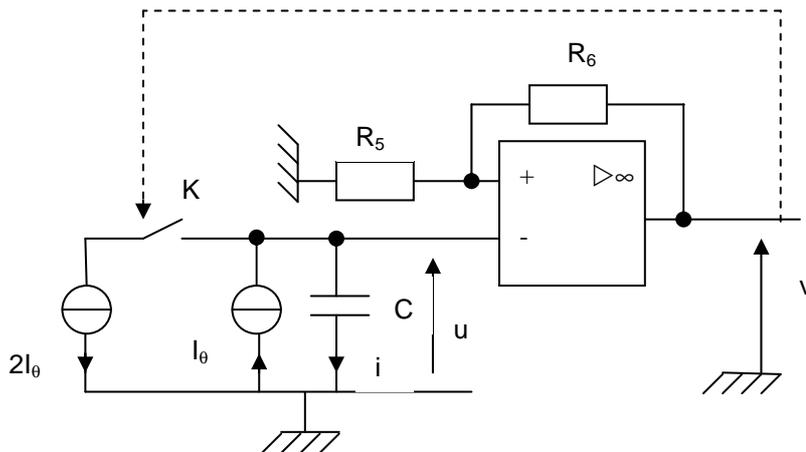


FIGURE 3

L'interrupteur K est commandé par la tension  $v$  : si  $v = +V_{sat}$ , K est ouvert ; si  $v = -V_{sat}$ , K est fermé.  
 À l'instant origine,  $t = 0$ , K s'ouvre, la tension initiale aux bornes du condensateur est  $u_0$  :  $u_0 = V_b$  (seuil bas du comparateur).

**2.1** - Donner la relation qui lie  $i(t)$  à  $u(t)$  et  $C$ .

**2.2** - Pour  $t > 0$ , donner l'expression littérale de  $u(t)$ .

**2.3** - À  $t = t_1$ , la sortie du comparateur bascule.

Exprimer  $t_1$  en fonction de  $V_b$ ,  $V_h$ ,  $C$  et  $I_\theta$ .

Ce montage est tel que K s'ouvre et se ferme périodiquement,  $v(t)$  est périodique de période  $T_\theta$  et de rapport cyclique 0,5 (Figure 4).

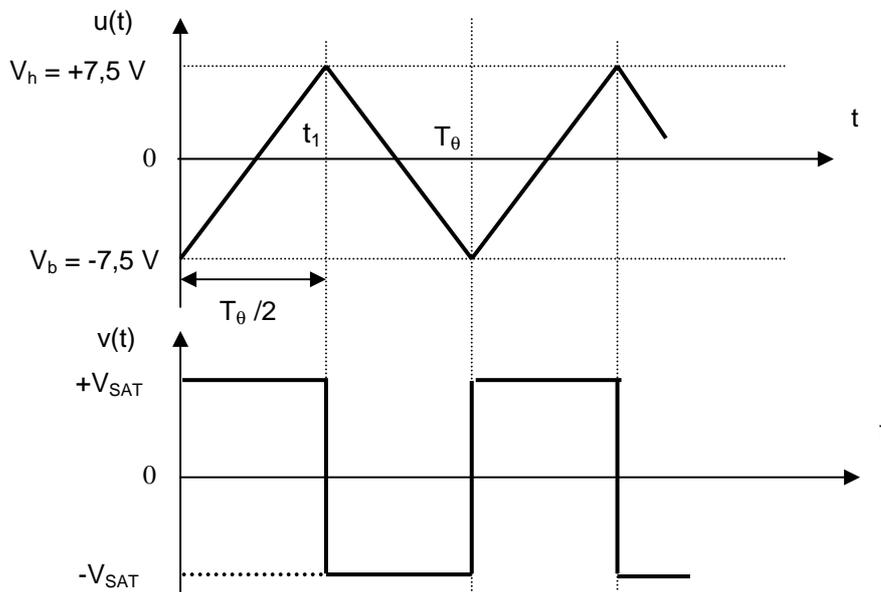


FIGURE 4

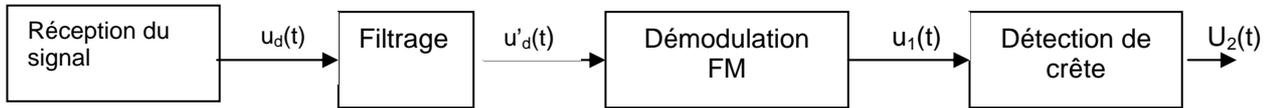
**2.4** - Donner l'expression de la période  $T_\theta$  en fonction de  $V_b$ ,  $V_h$ ,  $C$  et  $I_\theta$ .

**2.5** - Sachant que  $I_\theta = 3 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 10^{-5} \cdot \theta$  et  $C = 10$  nF, vérifier que l'expression de la fréquence  $f_\theta$  de  $u(t)$  en fonction de  $\theta$  s'écrit :  $f_\theta = 10^4 + 66,7 \cdot \theta$  (avec  $\theta$  exprimée en  $^\circ\text{C}$  et  $f_\theta$  en hertz).

Le signal  $u$ , dont la fréquence varie en fonction de la température  $\theta$ , est traité par un système non étudié, qui en permet la transmission par voie hertzienne.

## RÉCEPTION DU SIGNAL

Le récepteur reçoit le signal modulé en fréquence, ayant une porteuse de pulsation très élevée. Par un changement de fréquence et un filtrage sélectif, on amène la fréquence du signal reçu au voisinage d'une fréquence intermédiaire  $f_1$  nettement plus faible. Le signal  $u_d(t)$  obtenu comporte une composante continue  $U_{d0}$  et une composante variable  $u'_d(t)$  de fréquence  $f'_1$ , voisine de  $f_1$ .



### Partie 3 : Filtrage

**3.1** - En vous référant à l'expression du signal  $u_d(t) : u_d(t) = U_{d0} + u'_d(t)$ , indiquer le type de filtrage à effectuer pour ne transmettre que la composante variable  $u'_d(t)$ .

**3.2** - On choisit le filtre ci-contre, figure 5.

Ecrire la fonction de transfert complexe :  $\underline{T} = \frac{u'_d}{u_d}$ .

**3.3** - Donner l'expression de la fréquence de coupure  $f_c$  en fonction de  $R_7$  et  $C_4$ .  
Sans donner de valeur, comment doit-on choisir  $f_c$  par rapport à  $f'_1$  pour ne pas atténuer  $u'_d(t)$  ?

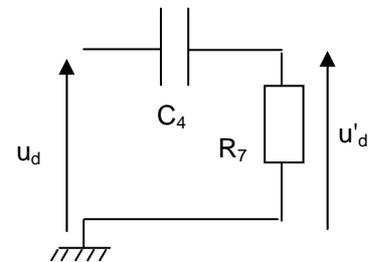


FIGURE 5

**3.4** - Pour  $f'_1 = 100$  kHz, calculer le produit  $R_7 \cdot C_4$  si l'on choisit :  $f_c = \frac{f'_1}{10}$ .

### Partie 4 : Conversion fréquence-tension pour une température donnée

La tension  $u'_d(t)$  est appliquée au démodulateur qui transforme la modulation de fréquence en modulation d'amplitude. On obtient la tension  $u_1$  en sortie du démodulateur :  $u_1(t) = k \cdot f_\theta \cdot \sin(\omega'_1 t)$ .

$u_1$  est appliquée à l'entrée du montage de la figure 6.

$f_\theta$  est la fréquence du signal  $u(t) : f_\theta = 10^4 + 66,7 \cdot \theta$  (avec  $f_\theta$  exprimée en Hz et  $\theta$  en  $^\circ\text{C}$ ).

La constante de conversion  $k$  vaut :  $k = 0,3 \cdot 10^{-3}$  V. s.

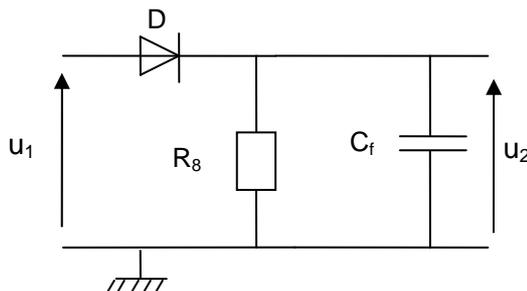


FIGURE 6

- 4.1** - Calculer la température  $\theta$  correspondant au signal  $u_1(t)$  du document réponse.
- 4.2** - La tension  $u_1(t)$  est appliquée à l'entrée du montage détecteur de crête de la figure 6. La diode D est parfaite ; sa tension de seuil est donc négligée.
- 4.2.1** - Quelle est l'expression de  $u_2(t)$  quand le condensateur  $C_f$  se charge (D passante) ?
- 4.2.2** - Quel est le circuit de décharge du condensateur  $C_f$  ?
- 4.2.3** - Comment choisir la constante de temps  $R_8 \cdot C_f$ , par rapport à la période  $T'_1$ , pour que la tension  $u_2$  soit proche de l'amplitude de  $u_1(t)$  ?
- 4.2.4** - Tracer, sur le document réponse, le graphe de  $u_2(t)$  en supposant que le condensateur  $C_f$  est déchargé initialement et que la condition de la question précédente est respectée.

Repère :

Session : 2003

Durée : 4 H

Page : 11/11

Coefficient : 4

**DOCUMENT REPONSE : à rendre impérativement avec la copie.**

