

Repère : TPSP

SESSION 2003

Durée : 4 H

Page : 0/11

Coefficient : 4

BREVET DE TECHNICIEN SUPERIEUR

TECHNIQUES PHYSIQUES POUR L'INDUSTRIE ET LE LABORATOIRE

EPREUVE U3 :

SCIENCES PHYSIQUES

PARTIE MÉCANIQUE, THERMODYNAMIQUE ET CHIMIE (durée conseillée 1 h 15 min)**ÉTUDE D'UNE CENTRALE NUCLÉAIRE 6 points**

Le sujet comporte 3 parties complètement indépendantes ;
la machine à calculer est autorisée.

Partie 1 : Énergie et puissance produites

En 1997, une centrale nucléaire française constituée de 4 tranches avait une production annuelle d'énergie électrique $E = 2,60 \cdot 10^{13}$ Wh, soit 6,30 % de la consommation nationale.

- 1.1 - Déterminer la puissance moyenne P délivrée par la centrale, puis calculer la puissance électrique moyenne P_{tr} fournie par l'une de ses tranches.
- 1.2 - Calculer la consommation d'énergie électrique nationale E_T en joules.

Partie 2 : Source d'énergie

La source d'énergie thermique d'une centrale nucléaire est la réaction en chaîne de fission maîtrisée, ou réaction nucléaire provoquée, au cours de laquelle un noyau lourd (noyau d'uranium) se scinde en deux noyaux plus légers sous l'impact d'un neutron.

Une réaction possible pour l'uranium 235 peut s'écrire : ${}_{92}^{235}\text{U} + {}_0^1\text{n} \rightarrow {}_{38}^{95}\text{Sr} + {}_{54}^A\text{Xe}$

Cette réaction a lieu dans le **réacteur nucléaire**.

Donnée : Célérité de la lumière $c = 3 \cdot 10^8$ m.s⁻¹.

- 2.1 - Donner la composition du noyau d'uranium 235.
- 2.2 - Donner, en les justifiant, les valeurs de A et Z pour le xénon produit par cette réaction.
- 2.3 - On observe une perte de masse lors de cette réaction de fission.
 - 2.3.1 - Sous quelle forme la retrouve-t-on ?
 - 2.3.2 - Évaluer la perte de masse en kg correspondant à l'énergie électrique produite par la centrale pour l'année 1997.
 - 2.3.3 - Justifier que la perte de masse réelle est supérieure à la valeur obtenue dans la question 2.3.2.
- 2.4 - Il peut se former aussi par un autre processus du neptunium ${}_{93}^{239}\text{Np}$, qui est radioactif β^- . Écrire l'équation de la désintégration du neptunium radioactif β^- . Identifier le nucléide obtenu à l'aide du tableau ci-dessous (extrait de la table des nucléides) :

Élément	Z	A
Uranium (U)	92	232
		233
		234
		235
		236
		238
Neptunium (Np)	93	236
		237
		239
Plutonium (Pu)	94	236
		237

Élément	Z	A
Plutonium (Pu)	94	238
		239
		240
		241
		242
		244
Américium (Am)	95	241
		243
Curium (Cm)	96	242
		247
Berkélium (Bk)	97	247

Partie 3 : Principe d'une centrale nucléaire

Données :

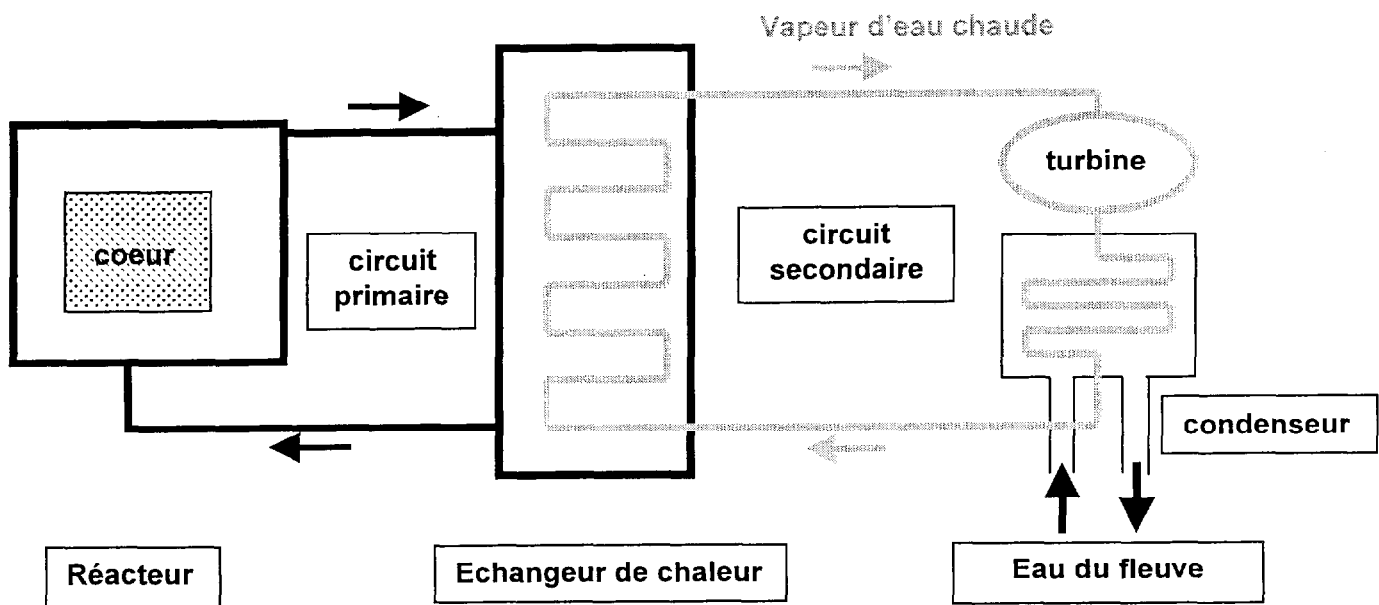
On supposera que chaque tranche de cette centrale (voir schéma) fournit une puissance électrique P_{tr} dont la valeur absolue est 740 MW.

On négligera toutes les pertes d'énergie dans les circuits et la turbine et on donne les valeurs numériques suivantes correspondant aux conditions de fonctionnement de l'installation :

- Capacités thermiques massiques de l'eau liquide :
 - $C_0 = 4180 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ aux environs de 10°C sous 1 bar.
 - $C'_0 = 5250 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ aux environs de 290°C sous 155 bars.
- Masse volumique de l'eau liquide : $\mu_L = 1000 \text{ kg.m}^{-3}$.
- Capacité thermique massique de l'eau vapeur :
 - $C_1 = 3800 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ aux environs de 270°C sous 56 bars.
- Le débit volumique de l'eau du fleuve dans le circuit de refroidissement est $D = 168 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$.

Une centrale nucléaire, simplifiée à un réacteur nucléaire, est composée de trois circuits distincts : primaire, secondaire et refroidissement.

Schéma de principe d'une centrale nucléaire simplifiée à une tranche :



- L'énergie libérée par la réaction en chaîne est extraite du cœur du réacteur par le fluide caloporteur circulant dans le circuit primaire à la température $\theta = 290^\circ\text{C}$, à la pression de 155 bars.
- Dans l'échangeur de chaleur, cette énergie, véhiculée par le fluide caloporteur, permet de transformer l'eau du circuit secondaire en vapeur d'eau, à la température $\theta_c = 270^\circ\text{C}$, sous une pression de 56 bars.
- La vapeur d'eau formée entraîne la **turbine** fournissant un travail mécanique au rotor d'un alternateur ; celui-ci produit alors l'énergie électrique.
- **A la sortie de la turbine**, grâce à l'eau du circuit de refroidissement prélevée froide à la température $\theta_F = 10^\circ\text{C}$ dans le fleuve, la vapeur d'eau du circuit secondaire est ramenée à l'état liquide à la température $\theta_{F'} = 20^\circ\text{C}$ dans le condenseur.

3.1 - Dans le circuit primaire, le fluide caloporteur est de l'eau liquide à la température de $\theta = 290^\circ\text{C}$, sous haute pression (155 bars).

3.1.1 - En comparant les capacités thermiques massiques de l'eau dans les états liquide et vapeur, expliquer pourquoi il est intéressant de conserver le fluide caloporteur (eau) à l'état liquide.

3.1.2 - Pourquoi la haute pression est elle nécessaire?

Dans cette approche on ne tiendra pas compte de l'énergie apportée par les pompes.

3.2 - Indiquer, en prenant comme système l'eau du circuit secondaire, si l'énergie est transférée par chaleur ou par travail, et indiquer le signe des énergies échangées :

- ΔE_1 , entre l'eau du circuit primaire et l'eau du circuit secondaire ;
- ΔE_2 , entre la turbine et l'eau du circuit secondaire ;
- ΔE_3 , entre le circuit de refroidissement et l'eau du circuit secondaire.

3.3 - A l'aide du premier principe, effectuer le bilan d'énergie, pour un cycle de l'eau du circuit secondaire, en fonction de ΔE_1 , ΔE_2 , ΔE_3 .

3.4 - Donner l'expression du rendement r du circuit secondaire en fonction des énergies échangées. En déduire son expression en fonction des puissances P_2 cédée à la turbine, et P_3 cédée au fleuve.

Dans la suite, on considérera que $P_2 = P_{tr}$ (pertes négligées).

3.5 - Le rendement réel r est égal à $r = 0,4$.

3.5.1 - Soit la masse d'eau m_{eau} , circulant dans le circuit de refroidissement pendant l'intervalle de temps Δt . Établir la relation entre m_{eau} , Δt , le débit volumique D dans le circuit de refroidissement et la masse volumique de l'eau μ_L .

3.5.2 - Donner l'expression de l'énergie échangée ΔE_3 entre l'eau du circuit secondaire et le circuit de refroidissement, en fonction de la masse d'eau m_{eau} circulant dans le circuit de refroidissement, de l'élévation de température du fleuve $\Delta\theta_F$ et de la capacité thermique massique de l'eau de refroidissement.

3.5.3 - Déduire de 3-5-1 et 3-6-2, l'expression de la puissance P_3 échangée entre l'eau du circuit secondaire et le circuit de refroidissement, en fonction du débit D de l'eau circulant dans le circuit de refroidissement, de la masse volumique de l'eau de refroidissement, de la variation de température du fleuve $\Delta\theta_F$ et de la capacité thermique massique de l'eau de refroidissement.

3.5.4 - A l'aide de l'expression de r et de P_3 et en isolant $\Delta\theta_F$, montrer que l'on trouve :

$$\Delta\theta_F = \frac{P_{tr}}{\mu_L \times D \times C_0} \times \frac{1-r}{r}.$$

3.5.5 - Calculer l'élévation $\Delta\theta_F$ de la température du fleuve d'une centrale simplifiée à un réacteur nucléaire.

3.5.6 - Comme la centrale est constituée de 4 réacteurs ayant un circuit de refroidissement commun, sachant que l'eau de ce circuit de refroidissement peut être rejetée loin des berges à condition que sa température n'excède pas 30°C , le rejet est-il possible ?

PARTIE OPTIQUE (durée 1 h 15 min) 6 points

LES DEUX PARTIES SONT INDEPENDANTES

Pour contrôler des surfaces de composants optiques, on utilise l'interféromètre de Twyman - Green qui est un dérivé de l'interféromètre de Michelson.

L'éclairage est assuré par un laser He - Ne ($\lambda_0 = 633 \text{ nm}$). La lumière émise est transmise par une fibre optique. Le faisceau émergent est reçu sur une matrice CCD (figure 1).

Partie 1 : Dispositif d'éclairage de l'interféromètre

La fibre utilisée est à saut d'indice (figure 2) ; le cœur, d'indice de réfraction $n_1 = 1,49$, est entouré par une gaine d'indice $n_2 = 1,45$.

- 1.1 - Calculez la valeur ℓ de l'angle limite de réfraction pour la surface de séparation entre la gaine et le cœur.
- 1.2 - L'ouverture numérique, O.N., de la fibre est définie par la relation : $\text{O.N.} = n_a \sin\theta_M$, où n_a est l'indice de l'air et θ_M la valeur maximale de l'angle d'injection θ pour qu'il y ait réflexion totale sur la gaine au point J.
Montrer que : $\text{O.N.} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$.
- 1.3 - Calculer θ_M (en degrés). On prend $n_a = 1,00$.
- 1.4 - Où faut-il placer la sortie de la fibre par rapport à la lentille L_0 pour obtenir un faisceau de lumière parallèle ?

Partie 2 : Mise en évidence d'un défaut d'épaisseur

Le schéma de l'interféromètre est représenté figure 1. On y a placé en pointillé l'image M'_2 du miroir mobile M_2 par la séparatrice S.

- 2.1 - On réalise un contact optique imparfait : M_1 et M'_2 sont parallèles et distants de e (figure 1).
Donner l'expression littérale de l'éclairement E en tout point du capteur en fonction de l'éclairement E_0 produit par un seul faisceau, de e et de la longueur d'onde λ_0 .
Vérifier que, pour $e = 2,69 \mu\text{m}$, l'éclairement E est nul.
- 2.2 - Sur un miroir à tester M_3 , on veut mettre en évidence un petit défaut d'épaisseur a , situé autour du point A (figure 3).
 - 2.2.1 – Déterminer, pour les rayons 1 et 2, l'expression ΔS de la variation de la différence de marche créée par le défaut après réflexion sur le miroir. En déduire la variation $\Delta\varphi$ de la différence de phase φ entre les deux ondes.
 - 2.2.2 - On place le miroir à tester M_3 à la place du miroir M_2 , dont l'image M'_2 est parallèle à M_1 , à une distance $e = 2,69 \mu\text{m}$ (question 2.1 -).
Montrer qualitativement que le défaut peut se révéler par un éclairement E' non nul sur le détecteur, à l'endroit du défaut.
 - 2.2.3 - On admettra que l'éclairement E' , obtenu en présence du défaut d'épaisseur a et quand $e = 2,69 \mu\text{m}$, a pour expression : $E' = 2E_0 \left[1 - \cos \left(\frac{4\pi a}{\lambda_0} \right) \right]$.
Calculer l'éclairement E' à l'endroit du défaut en fonction de E_0 , pour $a = 158 \text{ nm}$ et pour $a = 316 \text{ nm}$.
 - 2.2.4 - Pour quelles valeurs de a (en fonction de λ_0) le défaut d'épaisseur du miroir à tester est-il le mieux visible ?

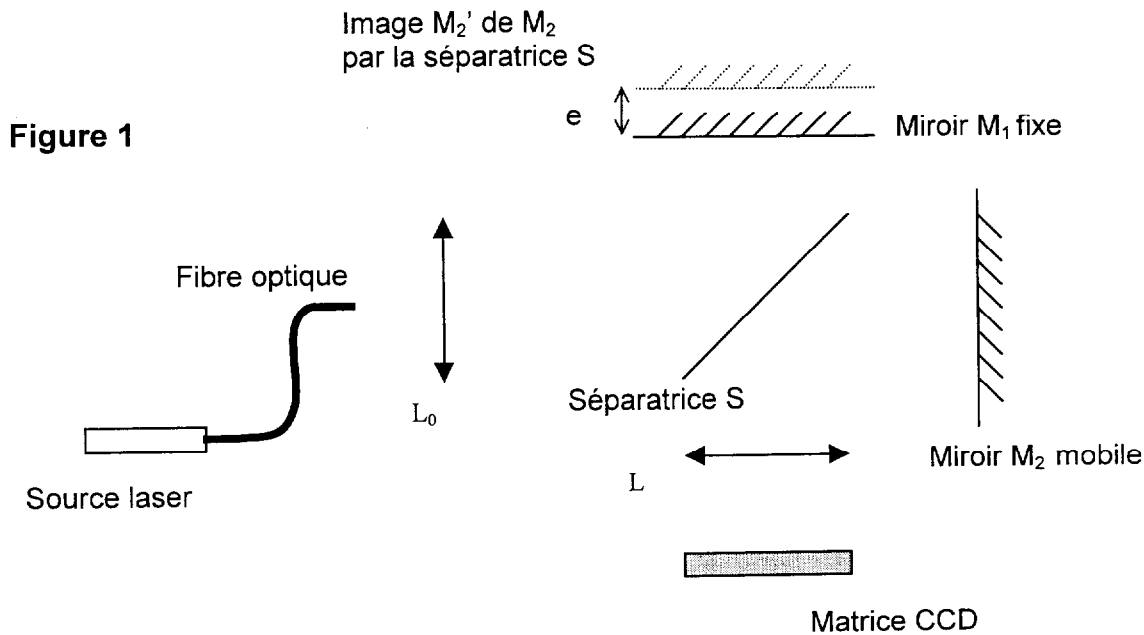


Figure 2

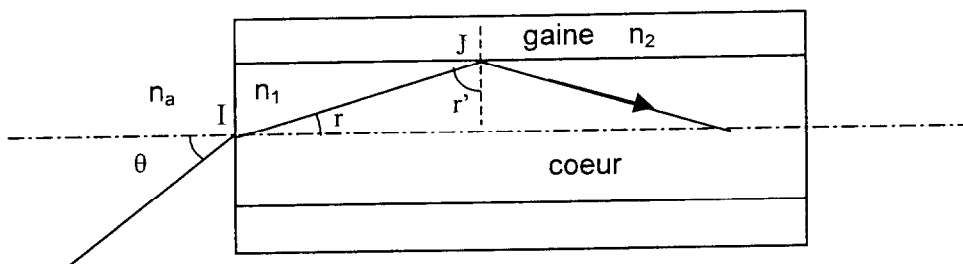
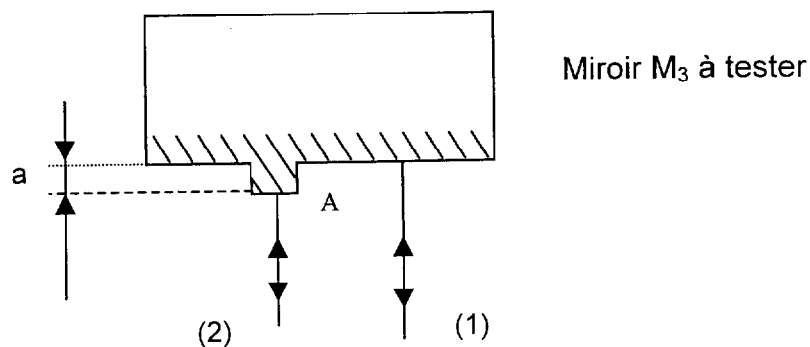


Figure 3



PARTIE ÉLECTRICITÉ (durée conseillée 1h30 mn)**8 points**

Cet exercice est constitué de quatre parties indépendantes.

Le document réponse (même vierge) doit impérativement, être joint à la copie.

ÉTUDE D'UNE TÉLÉMESURE

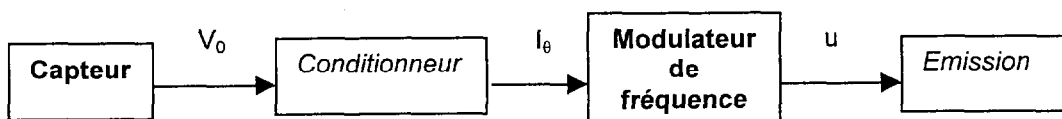
On se propose d'étudier une transmission de température par télémessure.

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.

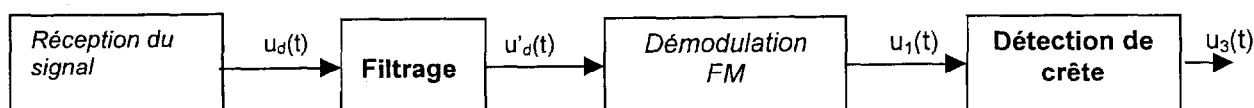
Au sol, l'information est démodulée afin d'être transformée en tension proportionnelle à la température.

Schéma synoptique de la télémessure :

- 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 $\pm V_{cc} = \pm 15\text{ V}$.

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

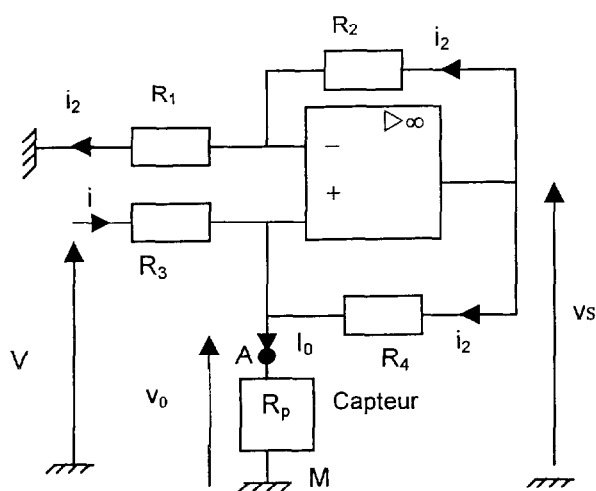
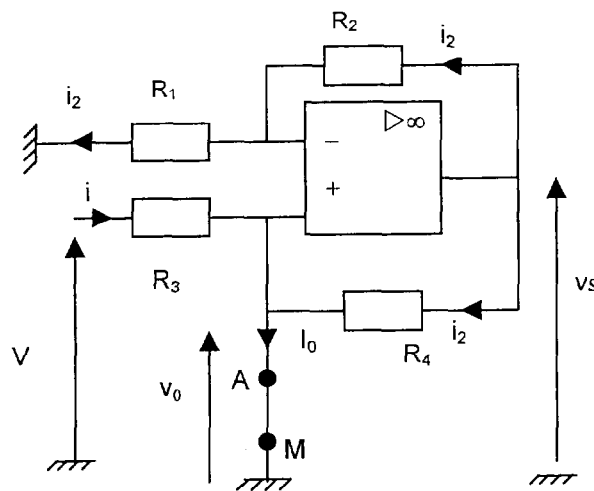


FIGURE 1b



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.

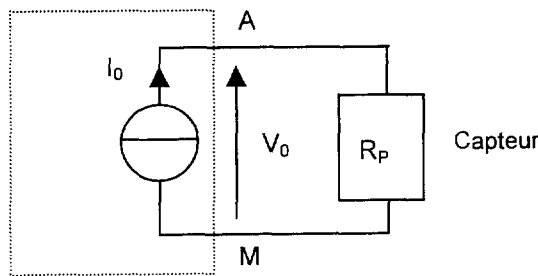


FIGURE 2

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

La résistance R_p s'exprime en fonction de θ sous la forme : $R_p = R_0 + \alpha \cdot \theta$ (θ 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 α .

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 , α , I_0 et θ 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_θ tel que :

$$I_\theta = 3 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 10^{-5} \cdot \theta$$

où I_θ est exprimé en ampère et θ 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_θ est supposé constant et positif. Le courant $2 I_\theta$ est une image doublée et inversée du courant I_θ .

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

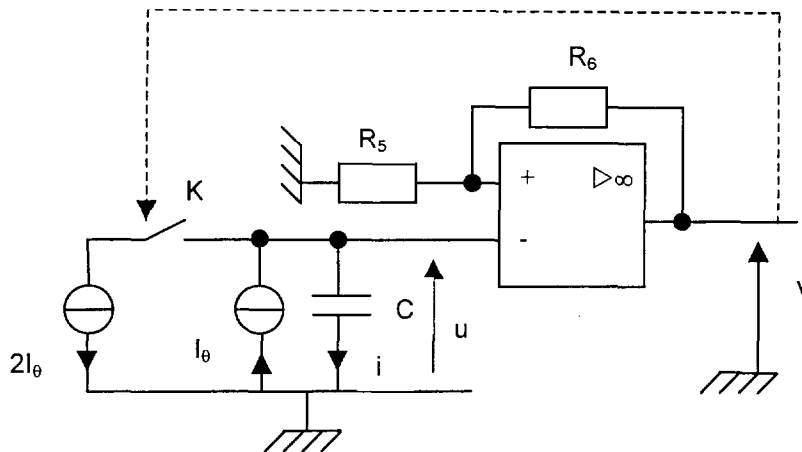


FIGURE 3

L'interrupteur K est commandé par la tension v : si $v = +V_{sat}$, K est ouvert ; si $v = -V_{sat}$, K est fermé.
A 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 - A $t = t_1$, la sortie du comparateur bascule.

Exprimer t_1 en fonction de V_b , V_h , C et I_0 .

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

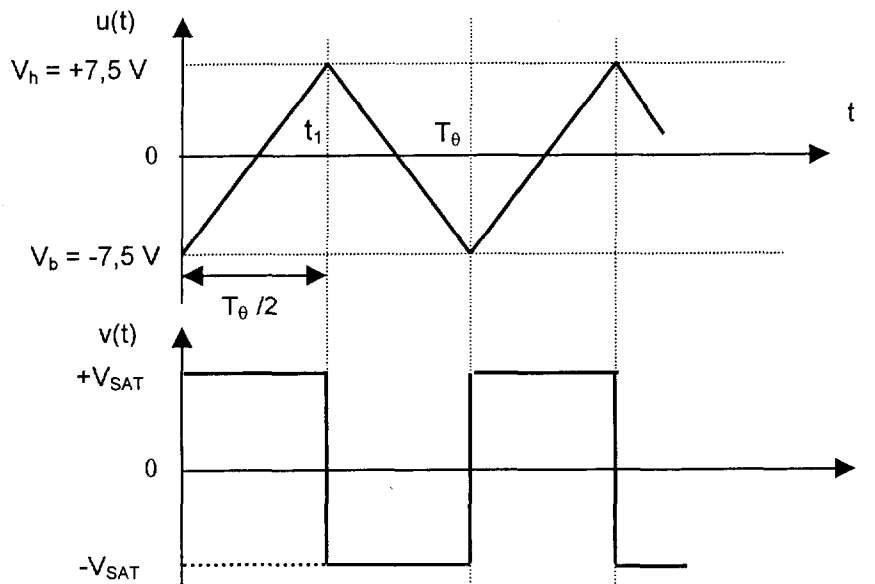


FIGURE 4

2.4 - Donner l'expression de la période T_θ en fonction de V_b , V_h , C et I_0 .

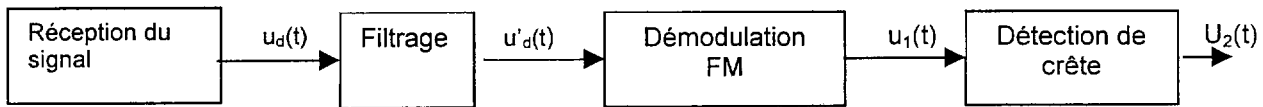
2.5 - Sachant que $I_0 = 3.10^{-3} + 2.10^{-5}.\theta$ et $C = 10$ nF, vérifier que l'expression de la fréquence f_θ de $u(t)$ en fonction de θ s'écrit : $f_\theta = 10^4 + 66,7. \theta$ (avec θ exprimée en $^\circ\text{C}$ et f_θ en hertz).

Le signal u , dont la fréquence varie en fonction de la température θ , 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 $u'_d(t)$?

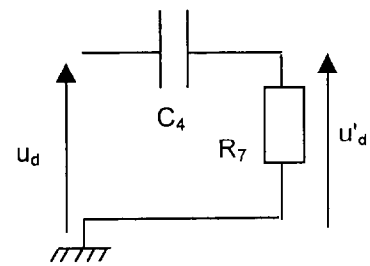


FIGURE 5

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

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

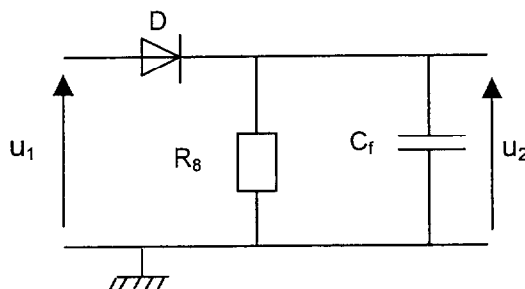


FIGURE 6

- 4.1** - Calculer la température θ 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 $R_b \cdot C_f$, 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.

Académie : _____ Session : _____

Examen ou Concours _____ Série* : _____

Spécialité/option* : _____ Repère de l'épreuve : _____

Épreuve/sous-épreuve : _____

NOM : _____

(en majuscules, suivi s'il y a lieu, du nom d'épouse)

Prénoms : _____ N° du candidat

Né(e) le : _____ (le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la liste d'appel)

* Uniquement s'il s'agit d'un examen.

Repère : TPSP

Session : 2003

Durée : 4 H

Page : 11/11

Coefficient : 4

DOCUMENT REPONSE : à rendre impérativement avec la copie.

