

BTS CONTROLE INDUSTRIEL ET REGULATION AUTOMATIQUE

SCIENCES PHYSIQUES

Durée totale : 4 heures

Coefficient : 5

La calculatrice est autorisée.

Il est conseillé aux candidats de consacrer :

- 2 h à la Physique Appliquée.
- 1 h 15 min à la Physique.
- 45 min à la Chimie.

Physique Appliquée Coefficient : 2,5.

Physique Coefficient : 1,5.

Chimie Coefficient : 1.

Les compositions seront faites sur des feuilles séparées.

Ce sujet comporte 12 pages :

- Page de garde 1 page.
- Physique 4 pages dont une à rendre avec la copie.
- Chimie 1 page.
- Physique Appliquée 6 pages dont une à rendre avec la copie.

Les feuilles à rendre seront agrafées à la copie par le surveillant sans aucune identité du candidat.

PHYSIQUE APPLIQUEE

On désire réaliser un programme de chauffage d'un four présentant des paliers de température avec montées et descentes linéaires de température entre paliers.

Le synoptique de la chaîne de mesure est donné figure 1.

Le capteur de température est un thermocouple. Le conditionneur de signaux est formé d'un amplificateur d'instrumentation et d'un dispositif de mise à l'échelle 0 - 10 V. La tension fournie par le conditionneur de signaux est convertie en un nombre N par un convertisseur analogique-numérique double rampe. Le microprocesseur détermine à partir de N la température θ_f du four.

La tension U_c est élaborée avec un convertisseur numérique-analogique par comparaison entre la température θ_f du four et la température de commande θ_c , élaborée à partir des paramètres de chaque séquence du programme.

Cette tension U_c permet de commander le chauffage par action sur l'angle d'amorçage des thyristors.

Les 4 parties sont indépendantes.

Les amplificateurs opérationnels (A-O) sont supposés parfaits et fonctionnent en régime linéaire. Leurs circuits d'alimentation n'ont pas été représentés sur les schémas.

1 - Etude du capteur et de l'amplificateur d'instrumentation.

1 - 1 - La courbe d'étalonnage du thermocouple avec référence fixée montre que dans le domaine de température 20° C, 420° C la force électromotrice e peut se mettre en première approximation sous la forme :

$$e (\mu V) = 41 \theta + 1080 \quad \text{avec } \theta \text{ en } ^\circ C.$$

Calculer e en mV pour $\theta = 20^\circ C$ et pour $\theta = 420^\circ C$.

1 - 2 - Le schéma de l'amplificateur d'instrumentation est donné figure 2.

1 - 2 - 1 - Etablir l'expression de v_{s1} en fonction de v_1 et v_2 .

1 - 2 - 2 - Etablir l'expression de $(v_1 - v_2)$ en fonction de v_A et v_B . En déduire l'expression de v_{s1} en fonction de e .

1 - 2 - 3 - Calculer les valeurs de v_{s1} pour $\theta = 20^\circ C$ et pour $\theta = 420^\circ C$.

1 - 2 - 4 - Quelle résistance "voit" la source v_A ? Quelle résistance "voit" la source v_B ? Quel est l'intérêt de cette propriété ?

2 - Etude du dispositif de mise à l'échelle 0 - 10 V.

Le schéma du dispositif est donné figure 3. P_0 , P_1 et P_2 sont les résistances respectives des trois potentiomètres pour une position donnée des curseurs ; $R = 10 \text{ k}\Omega$.

Pour $-366 \text{ mV} \leq v_{s1} \leq -38 \text{ mV}$ on souhaite obtenir $0 \text{ V} \leq v_{s3} \leq 10 \text{ V}$.

2 - 1 - Etablir l'expression de v_{s2} en fonction de v_{s1} et V_a .

2 - 2 - Donner l'expression de V_a en fonction de V_0 , P_0 et R .

2 - 3 - Vérifier qu'avec $P_0 = 295 \Omega$ et $P_1 = 30,5 k\Omega$ les inégalités $0 \leq v_{s2} \leq 1 V$ pour $-366 mV \leq v_{s1} \leq -38 mV$ sont satisfaites.

2 - 3 - Déterminer P_2 pour obtenir $0 \leq v_{s3} \leq 10 V$.

3 - Etude du convertisseur analogique-numérique.

Le convertisseur utilisé est un convertisseur double-rampe dont l'organisation est représentée figure 4.

La "logique de commande" impose l'état des interrupteurs et le fonctionnement du compteur avec une période $T = 2 N_0 T_0$.

N_0 correspond à un nombre entier fixé à la construction. T_0 correspond à la période de l'horloge.

La conversion s'effectue en trois phases :

- Pour t compris entre 0 et $T_1 = N_0 T_0$, K_1 est seul fermé et le compteur est bloqué (première phase).

- A $t = T_1$, la "logique de commande" ouvre K_1 , ferme K_2 et autorise le comptage (deuxième phase).

- Au changement d'état du comparateur elle arrête le compteur dont le contenu est transféré au microprocesseur (voir figure 1), ouvre K_2 et ferme K_3 (troisième phase).

A $t = 2 N_0 T_0$, après remise à zéro du compteur, elle ouvre K_3 , ferme K_1 et le cycle recommence.

3 - 1 - Le principe du convertisseur nécessite une tension négative à l'entrée notée $-V_X$. Donner un schéma de montage permettant d'obtenir une tension $-V_X$ à partir d'une tension $V_X = v_{s3}$.

3 - 2 - Première phase : K_1 fermé et V_X constant.

3 - 2 - 1 - Etablir l'équation différentielle liant V_X à v_r .

3 - 2 - 2 - En déduire l'expression de $v_r(t)$ en considérant le condensateur initialement déchargé.

3 - 2 - 3 - Donner l'expression de $v_r(T_1)$ en fonction de N_0 , T_0 , R , C et V_X .

3 - 3 - Deuxième phase : $t \geq T_1$; K_2 fermé. Etablir l'expression de $v_r(t)$.

3 - 4 - Etude de la fin du cycle.

3 - 4 - 1 - Quelle valeur atteint v_r pour $t = t_2 = T_1 + \frac{V_X}{V_{\text{réf}}} N_0 T_0$?

3 - 4 - 2 - Quel état prend alors la sortie du comparateur (état haut ou état bas) ?

3 - 4 - 3 - Quelle est la valeur de $v_r(t)$ pour $t_2 < t \leq 2 N_0 T_0$ (troisième phase) ?

3 - 5 - Tracer sur votre copie pour une période ($T = 2 N_0 T_0$), $v_r(t)$ pour $V_X = \frac{V_{\text{réf.}}}{2}$.

3 - 6 - Le compteur fonctionne pendant un intervalle de temps égal à $N T_0$.

3 - 6 - 1 - Donner l'expression de $N T_0$ en fonction de t_2 et T_1 (équation vérifiée par N à une unité près).

3 - 6 - 2 - En déduire l'expression de N en fonction de N_0 , V_x et V_{ref} .

3 - 7 - La conversion se faisant sur 8 bits, quelle est la résolution du C.A.N. en millivolts, puis en degrés Celsius (la pleine échelle correspondant à 10 V).

3 - 8 - Dans la réalisation pratique, il se superpose à la tension continue V_x un signal parasite alternatif de fréquence 50 Hz provenant du réseau. Comment doit-on choisir la durée d'intégration T_1 du signal pour éliminer cette tension parasite ?

4 - Etude du circuit de chauffage.

Pour réaliser une commande en puissance réglable dans la résistance chauffante R_f du four, on utilise un gradateur constitué de deux thyristors TH_1 et TH_2 montés "tête-bêche" (figure 5).

La tension d'alimentation du montage est $v(t) = V\sqrt{2} \sin \omega t$ de valeur efficace $V = 220$ V, de période $T = 20$ ms.

Le circuit de commande envoie des impulsions de courant sur les gâchettes de chaque thyristor. Les thyristors sont supposés parfaits.

La première impulsion de gâchette a lieu à l'instant t_0 pour TH_1 et à l'instant $(t_0 + \frac{T}{2})$ pour TH_2 .

L'angle de retard à l'amorçage $\delta = \omega t_0$ est commandé par la tension continue U_c appliquée au circuit de commande.

On considèrera que δ varie linéairement de 0 à π radians lorsque U_c varie de 10 V à 0.

4 - 1 - Etablir l'expression de δ en fonction de U_c .

4 - 2 - On considère $U_c = 2,5$ V.

4 - 2 - 1 - Déterminer δ puis t_0 .

4 - 2 - 2 - Représenter sur la feuille 7 en concordance de temps avec $v(t)$, $u_R(t)$ et $u_1(t)$.

4 - 2 - 3 - Quelle est la tension inverse maximale supportée par TH_1 ?

4 - 3 - On considère $U_c = 10$ V. Donner l'expression de la puissance fournie à la résistance chauffante. Application numérique : $R_f = 20 \Omega$.

4 - 4 - Pour $\delta = \omega t_0$ quelconque ($0 \leq \delta \leq \pi$) montrer que la puissance fournie peut se mettre sous la forme :
$$P = \frac{V^2}{R_f} \left[1 - \frac{\delta}{\pi} + \frac{\sin 2\delta}{2\pi} \right].$$

On rappelle que $\sin^2 \theta = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \cos 2\theta$. Application numérique : Calculer P dans le cas où $U_c = 2,5$ V.

YMCS1

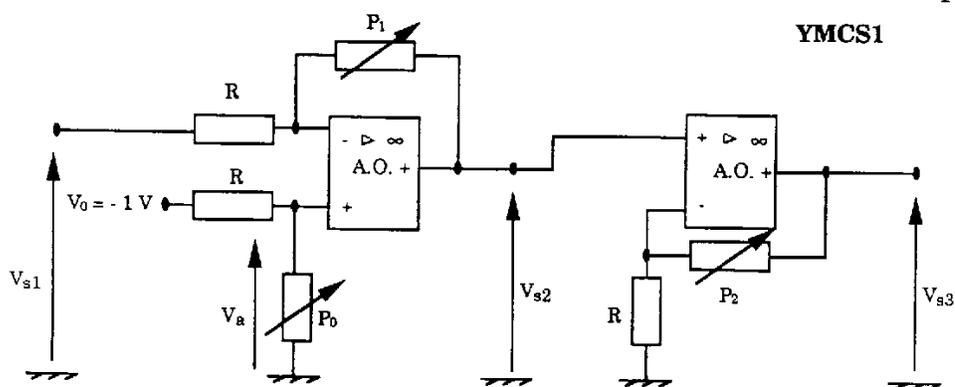


Figure 3

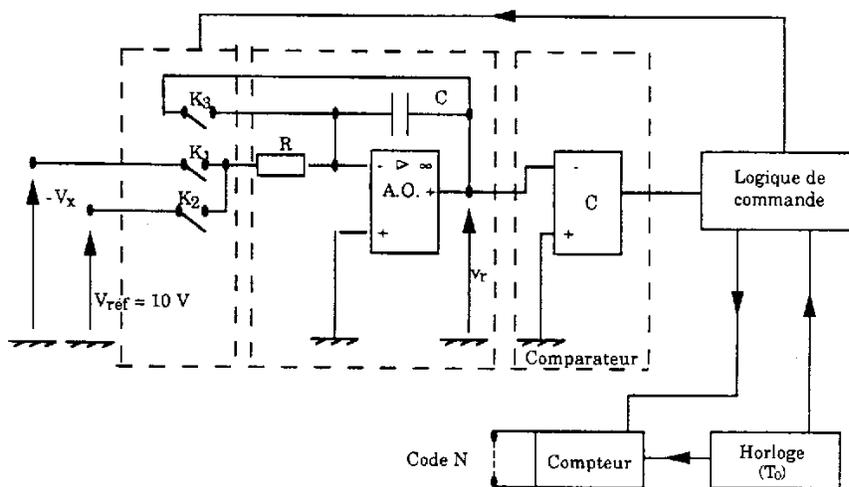


Figure 4

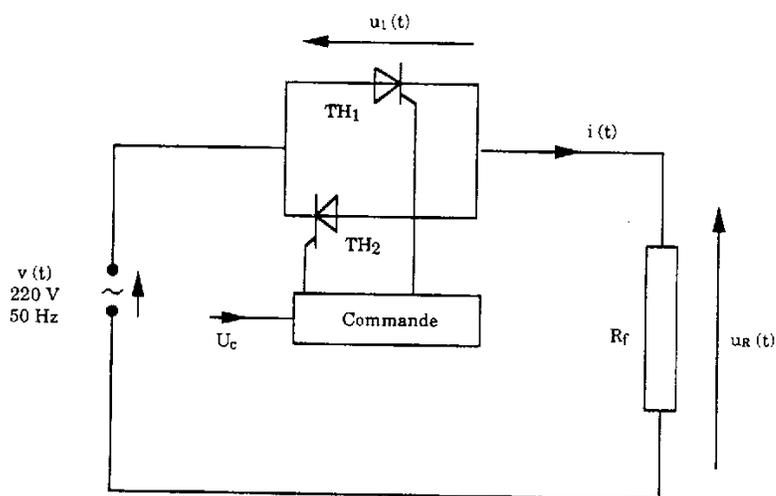


Figure 5

A rendre avec la copie.

YMCS1

