

BTS C.I.R.A.**INSTRUMENTATION ET RÉGULATION**

Durée : 4 heures

Coefficient : 5

I - Mesures**I - 1 - Analyses**

L'oxydation catalytique d'un mélange gazeux est réalisée dans un four électrique porté à la température T_e . Le thermocouple effectuant la mesure de température T_e se situe sensiblement au centre du four au point A.

Une sonde à électrolyte solide (oxyde de zirconium ou zircone) est chargée d'indiquer la teneur en oxygène résiduel après combustion.

Nota : La teneur en oxygène résiduel est comprise entre 0,1 % et 5 % .

I - 1 - 1 - Justifier l'intérêt de cet analyseur par rapport à d'autres types d'appareils :

(comme ceux par exemple basés sur le paramagnétisme de l'oxygène).

I - 1 - 2 - Quelle est la nature du signal analogique de sortie représentant la concentration en O_2 ? (avant conversion éventuelle). Ce signal évolue-t-il linéairement vis à vis de la concentration ? de la température ? Dans la négative préciser le type d'évolution.

I - 1 - 3 - Donner succinctement le principe de fonctionnement de la sonde ; un schéma servira de support à l'explication.

I - 2 - Chaîne de mesure de température

La température T_e du four électrique précédent est mesurée au moyen d'un couple thermoélectrique type K (nickel-chrome/nickel-aluminium).

Proposer un autre type de thermocouple pour les conditions de fonctionnement du four suivantes :

- milieu : air sec,

- domaine envisagé de température : 700 à 850 °C.

I - 2 - 1 - La compensation de soudure froide :

* Avant propos :

La force électromotrice générée par ce capteur actif dépend à la fois de la température de la soudure (ou jonction) dite chaude placée au point de mesure et de la température de la soudure (ou jonction)

dite froide.

* Rappel :

Initialement la température n'est qu'une grandeur repérable (repère habituel : zéro degré Celsius) ; il est donc nécessaire d'effectuer une correction dite "de soudure froide" car la jonction froide est à une température ambiante différente de zéro degré Celsius.

* La chaîne de mesure est représentée à la figure 2.

* Le circuit de compensation

La mesure de la température ambiante est effectuée au moyen d'une résistance thermométrique (appelée aussi thermorésistance, ou thermosonde).

Ce capteur est associé à un conditionneur de capteur passif, type pont de Wheatstone (voir figure 3.). La résistance de la sonde suit la loi approchée suivante :

avec :

Les résistances R_0 , R_1 , et R_2 sont indépendantes de la température. Évaluer la tension V_t ($V_t = V_c - V_d$) en fonction de E , R_0 , R_1 , R_2 , R_{co} et R sachant que lorsque $T = 0^\circ\text{C}$ on veut obtenir $V_t = 0 \text{ V}$.
Présenter le résultat sous la forme :

C_1 et C_2 étant des constantes à déterminer.

Le produit " " peut être négligé devant le terme 1. La relation précédente s'écrit alors :

La compensation de soudure froide étant effective dans le domaine $0^\circ\text{C} ; - 40^\circ\text{C}$

On a :

Sachant que : $E = 1 \text{ V}$ et $R_2 = 1 \text{ kohm}$

calculer les valeurs R_0 et R_1 en ohms.

I - 2 - 2 - Signal de sortie du transmetteur

La partie transmetteur, circuit de compensation mis hors service, est étalonnée au moyen d'un calibrateur générateur de tension de la manière suivante :

e en mV (*)	29,128	35,314
S en mA	4	20
S en %	0	100

(*) Valeurs extraites de la norme AFNOR NFC 42-321 ci-dessous.

Indiquer la valeur lue en % du signal de sortie si la force électromotrice générée par le thermocouple a pour valeur 33,277 mV (tension au bornier) lorsque la température ambiante est 20 °C.

Extrait de la norme NFC 42-321

Nickel-Chrome/Nickel-Aluminium (suite) TYPE K											
Force électromotrice en fonction de la température											
T en °C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	T en °C
0	0	39	79	119	158	198	238	277	317	357	0
10	397	437	477	517	557	597	637	677	718	758	10
20	798	838	879	919	960	1000	1041	1081	1122	1162	20
30	1203	1244	1285	1325	1366	1407	1448	1689	1529	1570	30
40	1611	1652	1693	1734	1776	1817	1858	1899	1960	1981	40
700	29128	29170	29212	29254	29296	29338	29380	29622	29666	29505	700
710	29547	29589	29631	29673	29715	29756	29798	29860	29882	29924	710
720	29965	30007	30049	30091	30132	30174	30216	30257	30299	30361	720
730	30383	30424	30466	30508	30549	30591	30632	30676	30716	30757	730
740	30799	30840	30882	30924	30965	31007	31068	31090	31131	31173	740
750	31214	31256	31297	31339	31380	31422	31663	31506	31566	31587	750
760	31629	31670	31712	31753	31794	31836	31877	31918	31960	32001	760
770	32042	32084	32125	32166	32207	32269	32290	32331	32372	32414	770
780	32455	32496	32537	32578	32619	32661	32702	32763	32786	32825	780
790	32866	32907	32948	32990	33031	33072	33113	33156	33195	33236	790
800	33277	33318	33359	33400	33461	33682	33523	33566	33606	33645	800
810	33686	33727	33768	33809	33850	33891	33931	33972	36013	34054	810
820	34095	34136	34176	34217	36258	36299	36339	36380	36621	36661	820
830	34502	34543	34583	34624	36665	36705	36766	36787	36827	36868	830
840	34909	34949	34990	35030	35071	35111	35152	35192	35233	35273	840
850	35314	35354	35395	35435	35676	35516	35557	35597	35637	35678	850
860	35718	35758	35799	35839	35880	35920	35960	36000	36061	36081	860
870	36121	36162	36202	36242	36282	36323	36363	36603	36663	36683	870
880	36524	36564	36604	36644	36686	36726	36766	36806	36866	36885	880
890	36925	36965	37005	37045	37085	37125	37165	37205	37265	37285	890

II - Génie chimique

Le gaz de débit massique Q_m circule à la température initiale T_1 et sort à une température admise égale à celle du four : soit T_e .

T_2 est la température ambiante extérieure au four ;

Données :

c_p : capacité thermique massique à pression constante du gaz (constante dans la plage de variation en température) ;

c' : capacité thermique massique du four ;

M : masse du four ;

K : coefficient de déperdition entre le four et le milieu extérieur ;

S : surface extérieure du four ;

Φ : puissance électrique transformée en chaleur.

II - 1

- Faire un bilan thermique du four : c'est à dire écrire le principe de la conservation de l'énergie en prenant en compte les informations suivantes :

- la puissance électrique fournie pendant le temps dt provoque l'élévation de de température du four,

- dans le même temps la masse $Q_m \cdot dt$ de gaz a été réchauffée (Q_m débit à l'instant t).

- la puissance thermique échangées entre le four et le milieu extérieur est proportionnelle à l'écart ($T_e - T_2$)

II - 2

- En déduire l'équation différentielle entre la puissance fournie et la température du four :

A.N. :

$$K.S = 0,2 \text{ W.K}^{-1} ;$$

$$M.C' = 800 \text{ J.K}^{-1} ;$$

$$Q_m.c_p = 3,80 \text{ W.K}^{-1} ;$$

$$T_1 = 20 \text{ }^\circ\text{C} ;$$

$$T_2 = 25 \text{ }^\circ\text{C}.$$

III

- L'équation différentielle qui lie la puissance fournie à la température T_e dans le four est donnée par la relation suivante :

$$\Phi dt - 800 dT_e + 3,8 T_1 dt - 4T_e dt + 0,2 T_2 dt = 0$$

III - 1

- Montrer que l'on peut mettre cette expression sous forme de schéma fonctionnel (figure n°4).

III - 2

- Calculer les valeurs des gains statiques G_1, G_2, G_3 ainsi que de la constante de temps T .

IV - Choix et calcul du régulateur

Pour concevoir un correcteur RC (p) et ajuster ses paramètres, il faut :

- connaître le modèle du procédé :

(l'équation différentielle de III permet de déterminer l'expression de ce système)

- spécifier les performances.

Soit le schéma fonctionnel (figure 5). La boucle devra se comporter comme un système du premier ordre, l'entrée et la sortie de ce système bouclé sont représentées fig 6.

IV - 1

- Observer $T_e(\infty)$ et T_c :

quelle est alors l'erreur statique du système en boucle fermée ?

En déduire l'expression de sa fonction de transfert :

IV - 2

- Calculer l'expression de $W(p)$ en fonction de $R_c(p)$ et de $G(p)$, en déduire l'expression de $R_c(p)$ en fonction de $G(p)$ et $W(p)$.

IV - 3

- Montrer que $R_c(p)$ est un régulateur PI du type série de fonction de transfert :

Calculer alors les valeurs de K et de K_i en fonction de T, T_0 et G_1 .

IV - 4

- On désire que le système réponde à l'échelon aussi vite en boucle fermée qu'en boucle ouverte c'est-à-dire $T = T_0$. Dans ces conditions calculer K et K_i .

NB : Les valeurs K et K_i déterminées à la question IV - 4 - seront adoptées pour la suite du problème.

IV - 5

- Calculer la fonction de transfert :

IV - 6

- Donner l'expression de $u(t)$ en fonction de $T_c(t)$.

IV - 7

- Les valeurs maximales réduites de la consigne $T_c(t)$, de la mesure $T_e(t)$ et de la grandeur réglante $u(t)$ sont de 100 % (elles sont affichées sur les faces avant des régulateurs).

Quelle est alors la valeur maximale de la consigne admissible pour démarrer l'installation en "Automatique" sans saturer la sortie du régulateur ?

IV - 8

- Quel est le rôle de la commande manuelle ?

V - Étude de la précision de la boucle

V - 1

- Le régulateur étant sur la position consigne externe, on applique sur cette entrée à l'aide d'un programmeur une rampe d'équation $V_0.t$. Donner l'expression de $u(t)$ et calculer la loi d'évolution de la température dans le four, si $V_0 = 1 \text{ }^\circ\text{C.s}^{-1}$ (pente unitaire).

V - 2

- Tracer sur un même graphique $T_c(t)$ et $T_e(t)$; en déduire l'erreur et le temps de traînage lorsque le régime permanent est atteint.

échelles : 1 cm \leftrightarrow 40 s ; 1 cm \leftrightarrow 50 $^\circ\text{C}$

VI - Influence des perturbations

VI - 1

- Soit le schéma fonctionnel réduit de la figure 7. Montrer que l'erreur $\text{eps}(p)$ dépend à la fois de $T_c(p)$ et de $T_1(p)$ et qu'elle peut se mettre sous la forme

$$\text{eps}(P) = \text{eps}_0(P) + \text{eps}_i(P)$$

Donner l'expression de $\text{eps}_0(P)$ et $\text{eps}_i(P)$ en fonction de $R_c(p)$, $G(p)$ et $G'(p)$.

VI - 2 - Application numérique :

La valeur de l'échelon de consigne est $T_c = T_0 = \text{Cte}$. La température T_1 évolue suivant la fonction $V_0 \cdot t$. Après avoir vérifié que $\text{eps}_0(\text{infini})$ est nulle (conforme aux performances imposées à la deuxième question) calculer l'erreur $\text{eps}_i(\text{infini})$ si $V_0 = 0,05^\circ\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$

VII - Régulation de tendance

Pour compenser l'influence de cette perturbation on réalise le schéma de la figure 8.

Quelle valeur faut-il donner à l'action proportionnelle A du correcteur a priori pour que $\text{eps}_i(\text{infini})$ soit nulle. On remarque que ce résultat sera obtenu quelle que soit l'allure de $T_1(t)$.

VIII

- La température T_r de la résistance chauffante mesurée à l'aide d'un thermocouple au point A' est-elle la même que la température de charge T_e mesurée au point A ?

Dans quels cas la sortie du régulateur est-elle saturée ?

Proposer un schéma d'installation comportant une ou plusieurs boucles de régulation afin de protéger la résistance chauffante.

Justifier le choix des régulateurs et ou des opérateurs de fonctions éventuellement utilisés.

Documents

F(p)	f(t)

Figure 1

Figure 2

Légende :

- 1 : bornier de raccordement ;
- 2 : circuit de compensation de soudure et amplification ;
- 3 : conditionneur de signal et amplification ;
- 4 : conversion tension-courant.

Figure 3

Figure 4

Figure 5

N.B. Le gain du système de commande en puissance est de 1 ; dans ce cas $\phi_i = u$.

Figure 6

Figure 7

Figure 8