1η Πρόοδος Δυναμική και Έλεγχος Διεργασιών 7 Φεβρουαρίου 2020

ΘΕΜΑ1 (10μονάδες)

Στο σύστημα, συνδέται αναλογική-διαφορική ρύθμιση, με σταθερά ενίσχυσης 1 mV/oC και διαφορικό χρόνο 2 min. Μεταβολή της εξόδου του ρυθμιστή κατά 1 mV μεταβάλει την παροχή θερμότητας κατά 5000 kcal/min. Να υπολογιστεί και να παρασταθεί γραφικά (σε χρόνο 0, 30, 60, 120, 240 min) η απόκριση της θερμοκρασίας στην έξοδο της 2ης δεξαμενής, για βηματική μεταβολή 10 oC της θερμοκρασίας της παροχής εισόδου. Δίνεται, πυκνότητα νερού ρ = 1000 kg/m3 και θερμοχωρητικότητα νερού 1 kcal/kgoC.

@SS q,ss + ρ\*w\*Cp\*(θ0,ss – θ1,ss) = 0 ⬄ q,ss = 1000\*5\*1\*(60-25) = 175000 kcal/min

**1η δεξαμενή:** q + ρ\*w\*Cp\*(θο – θ1) = ρ\*V1\*Cp\*dθ1/dt

Μεταβλητές απόκλισης: Tο = θο – 25 Τ1 = θ1 – 60 Q = q – 17500

Q(t) + ρ\*w\*Cp\*(Tο(t) – T1(t)) = ρ\*V1\*Cp\*dT1(t)/dt ⬄ Q(s) + ρ\*w\*Cp\*Tο(s) – ρ\*w\*Cp\*T1(s) = ρ\*Cp\*V1\*s\*T1(s) ⬄ [(V1/w)\*s + 1]\*T1(s) = Q(s)/(ρ\*w\*Cp) + T0(s)

**τ1 = V1/w = 10/5 = 2 min** **ρ\*w\*Cp = 1000\*5\*1 kcal/minoC ⬄**

**⬄ 1/(ρ\*w\*Cp) = 0,0002 oCmin/kcal**

**T1(s) = Q(s)\*0,0002/(2s + 1) + To(s)/(2s + 1)**

**2η δεξαμενή:** ρ\*w\*Cp\*(T2 – T1) = ρ\*Cp\*V\*dT2

 @ss ρ\*w\*Cp\*(T2in,s – T2out,s) = 0

Μεταβλητές απόκλισης: Τ1 = θ1 – 60 Τ2 = θ2 – 60

Ρ\*w\*Cp\*(T1(t) – T2(t)) = ρ\*Cp\*V2\*dT2(t)/dt ⬄ ρ\*w\*Cp\*T1(s) – ρ\*w\*Cp\*T2(s) = ρ\*Cp\*V2\*s\*T2(s)

⬄ [(V2/w)\*s + 1]\*T2(s) = T1(s) **τ2 = V2/w = 20/5 = 4 min**

 **T2(s) = T1(s)/(4s + 1)** ⬄ T2(s) = 0,0002\*Q(s)/(2s+1)(4s+1) + To(s)/(2s+1)(4s+1) ⬄

⬄ T2(s) = 0,002\*Q(s)/(400s2+50s+1) + To(s)/(400s2+50Ο)s+1)

**Στοιχείο Μέτρησης:** Είσοδος: θερμοκρασία στο 2ο δοχείο: Τ2 = θ2 – θ2,ss

Έξοδος: μέτρηση θερμοκρασίας: Τ2m = θ2m – θ2m,ss

 Συνάρτηση Μεταφοράς: T2m(s)/T2(s) = 1/(1 + τm\*s)

Δεν δίνονται δεδομένα χρόνου απόκρισης, οπότε θεωρείται 0: **T2m(s)/T2(s) = 1**

**Ρυθμιστής PD:** Είσοδος: το ρυθμιστικό σφάλμα: ε = θ2R – θ2m

 Έξοδος: διαφορά δυναμικού: V = v – v,ss

 Συνάρτηση Μεταφοράς: V(s)/ε(s) = Kc\*(1 + τD\*s) Kc = 1 mV/oC τD = 2 min

 **V(s)/ε(s) = 1\*(1 + 2\*s)**

**Τελικό Στοιχείο:** Είσοδος: διαφορά δυναμικού: V = v – v,ss

 Έξοδος: διαφορά παροχής θερμότητας: Q = q – q,ss

 Συνάρτηση Μεταφοράς: Q(s)/V(s) = Kv/(1 + τv\*s)

Kv = 500 (kcal/min)/mV τv = 0 min  **Q(s)/V(s) = 5000**

**Διάγραμμα βαθμίδων. **

Συνάρτηση μεταφοράς μεταξύ θερμοκρασίας εισόδου και μετρούμενης μεταβλητής.

τ = 4^0,5 = 2 4 = 2ζτ ⬄ ζ = 1 BHMATIKH ME ζ = 1 T2(t) = 10\*0,5\*(1-(1+t/2)\*exp(-t/2))

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| t, min | 0 | 5 | 10 | 20 | 30 |
| T2(t), oC | 0,000 | 3,564 | 4,798 | 4,998 | 5,000 |
| θ2(t), oC | 60,000 | 63,564 | 64,798 | 64,998 | 65,000 |

ΘΕΜΑ 2 (10 μονάδες)

Στον αντιδραστήρα πλήρους ανάδευσης συμβαίνει η αντίδραση: Α → Β με ρυθμό rA = - 0,4\*cA mol/ltmin. Αρχικά, η συμπληρωματική παροχή καθαρού Α είναι 0 mol/min, και σε χρόνο 0, η συγκέντρωση co του Α στην τροφοδοσία μεταβάλλεται βηματικά από 5 σε 2 mol/lt. Στο αντιδραστήρα εφαρμόζεται αναλογική/ολοκληρωτική ρύθμιση με σταθερά ενίσχυσης 2,5 mV/mV και ολοκληρωτικός χρόνος 1 min, ενώ η ρυθμιστική βαλβίδα επιτρέπει παροχές καθαρού Α από 0 έως 5 mol/min για ηλεκτρικό σήμα στην είσοδο της 0 – 0,5 V. Η ένδειξη του φασματοφωτομέτρου μέτρησης της συγκέντρωσης μεταβάλλεται από 0 σε 0,4 V με μεταβολή της συγκέντρωσης από 0 σε 4 mol/lt. Να κατασκευαστεί το διάγραμμα βαθμίδων, να εξαχθούν οι συναρτήσεις μεταφοράς και υπολογιστεί και να παρασταθεί γραφικά (σε χρόνο 0, 1, 5, 10, 20 min) η μεταβολή της συγκέντρωσης του Α στην έξοδο του αντιδραστήρα με και χωρίς ρύθμιση. Η ογκομετρική παροχή καθαρού αντιδρώντος Α θεωρείται αμελητέα.

**Αντιδραστήρας:** F\*co + m – F\*c1 – V\*0,4\*c1 = V\*dc1/dt

@ss 1\*5 + 0 – 1\*c1s – 10\*0,4\*c1s = 0 ⬄ 5\*c1 = 5 ⬄ c1s = 1 mol/lt

Μεταβλητές απόκλισης Co = co – 5 C1 = c1 – 1 M = m – 0

 1\*Co(t) + M(t) – 1\*C1(t) – 4\*C1(t) = 10\*dC1(t)/dt ⬄

 Co(s) + M(s)/1 – 5\*C1(s) = 10\*s\*C1(s) ⬄ (10s + 5)\*C1(s) = Co(s) + M(s) ⬄

 **C1 = 0,2Co/(2s+1) + 0,2M/(2s+1)**

**Φασματοφωτόμετρο:** **Km = 0,4mV/4(mol/lt) = 0,1 mV/(mol/lit)**

**Ρυθμιστής:** **Vc/ε = 2,5(1+1/s)**

**Βαλβίδα:** **Kv = (5-0)/(0,5-0) = 10 (mol/min)/mV**

**Βηματική μεταβολή: Co = -3/s**

**Χωρίς Ρύθμιση**

C1 = -0,6/s(2s+1) = A/s + B/(2s+1) A = -0,6 B = -0,6/(-0,5) = 1,2

C1 = -0,6/s + 1,2/(2s+1) = -0,6/s + 0,6/(s+0,5) ⬄ **C1(t) = -0,6+0,6\*exp(-0,5\*t)**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| t, min | 0 | 5 | 10 | 20 |
| C1(t), mol/lt | 0 | -0,551 | -0,596 | -0,600 |
| c1(t) , mol/lt | 1,000 | 0,449 | 0,404 | 0,400 |



**Με Ρύθμιση**

Διάγραμμα βαθμίδων:

Βηματική μεταβολή της co: Co(s) = -3/s

Η βηματική μεταβολή της co καταλήγει σε συνάρτηση μεταφοράς κρουστικής μεταβολής μεγέθους -1,2, με τ = 2 και 4ζ = 3 ⬄ ζ = 3/4 < 1 άρα υπο-αποσβεσμένη που οδηγεί σε ταλαντώσεις:

 ) = 0,756\*exp(-0,375\*t)\*sin(0,331\*t)

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| t, min | 0 | 5 | 10 | 20 |
| C1(t), mol/lt | 0 | 0,116 | -0,003 | 0,000 |
| c1(t) , mol/lt | 1,000 | 1,116 | 0,997 | 1,000 |

ΘΕΜΑ 3 (10 μονάδες)

Για το σύστημα δίνονται w = 250 lb/min, ρ = 62,5 lb/ft3, V1 = 4 ft3, V2 = 5 ft3, V3 = 6 ft3, Cp = 1 Btu/lboF. Μεταβολή της εισόδου κατά 1 psi μεταβάλει την παρεχόμενη θερμότητα q κατά 500 Btu/min. Η χρονική σταθερά του ρυθμιστή είναι 0,5 min. Η θερμοκρασία του ρεύματος τροφοδοσίας αποτελεί διαταραχή και το μετρητικό έχει ταχύτατη απόκριση. Να βρεθούν οι συναρτήσεις μεταφοράς, να σχεδιαστεί το διάγραμμα βαθμίδων και να υπολογιστεί η σταθερά ενίσχυσης του ρυθμιστή για την οποία το σύστημα οριακή ευστάθεια.

**Ρυθμιστής PD.** Είσοδος: το ρυθμιστικό σφάλμα: ε = TR – Tm

 Έξοδος: διαφορά πίεσης για τη ρυθμιστική βαλβίδα: P = p – p,s

 Συνάρτηση Μεταφοράς: P(s)/ε(s) = Kc\*(1 + τD\*s) (Εξίσωση 9.10[[1]](#footnote-1))

 τD = 0,5 min

 **P(s)/ε(s) = Kc\*(1 + 0,5\*s)**

**Τελικό Στοιχείο:** Είσοδος: διαφορά πίεσης για τη ρυθμιστική βαλβίδα: P = p – p,s

**πνευματική** Έξοδος: διαφορά παροχής θερμότητας: Q = q – q,s

**βαλβίδα** Συνάρτηση Μεταφοράς: Q(s)/P(s) = Kv\*(1 + τv\*s) (Εξίσωση 9.11)

 Kv = 500 (Btu/min)/psi τv = 0 min

 **Q(s)/P(s) = 500**

**Διεργασία 1[[2]](#footnote-2):** (όπως Παράγραφος 8.4 (Διεργασία), σελ. 197)

Ισοζύγιο ενέργειας: q + w\*Cp\*(T1in – T1out) = ρ\*Cp\*V\*dT1out/dt

 @ss q,s + w\*Cp\*(T1in,s – T1out,s) = 0

Μεταβλητές απόκλισης: T0 = T1in – T1in,s T1 = T1out- T1out,s Q = q – q,s

 Q(t) + w\*Cp\*(T0(t) – T1(t)) = ρ\*Cp\*V\*dT1(t)/dt ⬄

 Q(s) + w\*Cp\*T0(s) – w\*Cp\*T1(s) = ρ\*Cp\*V\*s\*T1(s) ⬄

 [(ρ\*V/w)\*s + 1]\*T1(s) = Q(s)/(w\*Cp) + T0(s)

τ1 = ρ\*V/w = 62,5\*4/250 = 1 min

w\*Cp = 250 Btu/oFmin ⬄ 1/(w\*Cp) = 0,004 oFmin/Btu

 **T1(s) = Q(s)\*0,004/(s + 1) + T0(s)/(s + 1)**

**Διεργασία 2[[3]](#footnote-3):** Ισοζύγιο ενέργειας: w\*Cp\*(T2in – T2out) = ρ\*Cp\*V\*dT2out/dt

 @ss w\*Cp\*(T2in,s – T2out,s) = 0

Μεταβλητές απόκλισης: T1 = T2in – T2in,s T2 = T2out- T2out,s

 w\*Cp\*(T1(t) – T2(t)) = ρ\*Cp\*V\*dT2(t)/dt ⬄

 w\*Cp\*T1(s) – w\*Cp\*T2(s) = ρ\*Cp\*V\*s\*T2(s) ⬄

 [(ρ\*V/w)\*s + 1]\*T2(s) = T1(s)

τ2 = ρ\*V/w = 62,5\*5/250 = 1,25 min

**T2(s) = T1(s)/(1,25\*s + 1)**

**Διεργασία 3:** Ισοζύγιο ενέργειας: w\*Cp\*(T3in – T3out) = ρ\*Cp\*V\*dT3out/dt

 @ss w\*Cp\*(T3in,s – T3out,s) = 0

Μεταβλητές απόκλισης: T2 = T3in – T3in,s T3 = T3out- T3out,s

 w\*Cp\*(T2(t) – T3(t)) = ρ\*Cp\*V\*dT3(t)/dt ⬄

 w\*Cp\*T2(s) – w\*Cp\*T3(s) = ρ\*Cp\*V\*s\*T3(s) ⬄

 [(ρ\*V/w)\*s + 1]\*T3(s) = T2(s)

τ3 = ρ\*V/w = 62,5\*6/250 = 1,5 min

**T3(s) = T2(s)/(1,5\*s + 1)**

**Στοιχείο Μέτρησης:** Είσοδος: θερμοκρασία στο 3ο δοχείο[[4]](#footnote-4): Τ3 = Τout – T3out,s

Έξοδος: μέτρηση θερμοκρασίας: Τ3m = Tout,m – Tout,m,s

 Συνάρτηση Μεταφοράς[[5]](#footnote-5): Tm(s)/T(s) = 1/(1 + τD\*s) (Εξίσωση 9.18[[6]](#footnote-6))

**εν δίνονται δεδομένα χρόνου απόκρισης, οπότε θεωρείται 0: Tm(s)/T(s) = 1**

**Διάγραμμα βαθμίδων.**



Χαρακτηριστική εξίσωση:

= 1,875s3 + 4,625s2 + (Kc + 3,75)s + 2Kc + 1 = 0

Κριτήριο του Routh: 1η 1,875 Kc + 3,75

 2η 4,625 2Kc + 1

 3η 0,189Kc + 3,345

 4η 2Kc + 1

 0,189Kc + 3,345 > 0 ⬄ Kc > - 17,678

2Kc + 1 > 0 ⬄ Kc > -0,5

1. Δίνεται στο τυπολόγιο της 2ης Προόδου [↑](#footnote-ref-1)
2. Θερμοκρασίες εισόδου στο 1ο, 2ο και 3ο δοχείο (μεταβλητές απόκλισης): Τ0, Τ1, Τ2

 Θερμοκρασίες εξόδου στο 1ο, 2ο και 3ο δοχείο (μεταβλητές απόκλισης): Τ1, Τ2, Τ3 [↑](#footnote-ref-2)
3. Οι μαζικές παροχές εισόδου και εξόδου και στα 3 δοχεία είναι σε κάθε χρονική στιγμή ίσες μεταξύ τους και ίσες με w. [↑](#footnote-ref-3)
4. Θεωρείται δοχείο πλήρους ανάμιξης, οπότε η θερμοκρασία στην έξοδο του είναι ίση με τη θερμοκρασία στο εσωτερικό του. [↑](#footnote-ref-4)
5. Η στατική ενίσχυση των θερμομέτρων είναι πάντα 1. [↑](#footnote-ref-5)
6. Δίνεται στο τυπολόγιο της 2ης Προόδου [↑](#footnote-ref-6)