ΑΣΚΗΣΗ ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12 22 Δεκεμβρίου 2020

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| ΕΠΩΝΥΜΟ: |  | ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΗΤΡΩΟΥ: |  |
| ΟΝΟΜΑ: |  | ΛΗΓΟΝΤΑΣ ΑΡΙΘΜΟΥ ΜΗΤΡΩΟΥ: |  |

 **(Στο Αρχείο αυτό να συμπληρωθούν οι Πίνακες με τα αποτελέσματα και να επικοληθούν οι φωτογραφίες από τα χειρόγραφα της λύσης. Το Αρχείο να σωθεί με όνομα Α12α\_Δυναμική\_Επώνυμο\_Όνομα και να ανεβεί στο e-class)**

Στο σύστημα, συνδέται αναλογική-διαφορική ρύθμιση, με συντελεστή ενίσχυσης Κc (mV/mV) και διαφορικό χρόνο τD (min). Ο συντελεστής ενίσχυσης του θεμοστοιχείου είναι Μ (mV/oC) και η απόκριση του θεωρείται ακαριαία. Μεταβολή της εξόδου του ρυθμιστή κατά C mV μεταβάλει την παροχή θερμότητας κατά H (kcal/min). Να κατασκευαστεί το διάγραμμα βαθμίδων και να υπολογιστεί η θερμοκρασία στην έξοδο της δεξαμενής μετά από t (min), για βηματική μεταβολή S (oC) της θερμοκρασίας της παροχής εισόδου α) όταν το σύστημα δεν ρυθμίζεται και β) για ρυθμιζόμενο σύστημα. Δίνεται, πυκνότητα νερού ρ = 1000 kg/m3 και θερμοχωρητικότητα νερού 1 kcal/kgoC.

**Δεδομένα**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **ΑΜ** | **0** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** |  |
| **V1** | 1 | 1 | 5 | 2 | 2 | 3 | 9 | 4 | 5 | 3 | **m3** |
| **w** | 100 | 50 | 50 | 200 | 50 | 50 | 300 | 100 | 100 | 150 | **lt/min** |
| **θοs** | 25 | 25 | 30 | 25 | 25 | 25 | 25 | 35 | 30 | 25 | **oC** |
| **θ1s** | 50 | 75 | 60 | 60 | 55 | 45 | 90 | 65 | 85 | 80 | **oC** |
| **Kc** | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 4 | 2 | 2 | 2 | **mV/mV** |
| **τD** | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 3 | **min** |
| **Μ** | 2 | 4 | 4 | 4 | 1 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | **mV/oC** |
| **C** | 50 | 100 | 200 | 200 | 100 | 100 | 200 | 200 | 300 | 200 | **mV** |
| **H** | 5000 | 5000 | 5000 | 5000 | 2500 | 2500 | 5000 | 5000 | 7500 | 7500 | **kcal/min** |
| **S** | 15 | 15 | 5 | 10 | 5 | 10 | 10 | 10 | 20 | 15 | **oC** |
| **t** | 20 | 10 | 120 | 20 | 120 | 30 | 25 | 30 | 20 | 30 | **min** |

**ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **ΑΜ** | **0** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** |
| **qs** | 2500 | 2500 | 1500 | 7000 | 1500 | 1000 | 19500 | 3000 | 5500 | 8250 |
| **τ1** | 10 | 20 | 100 | 10 | 40 | 60 | 30 | 40 | 50 | 20 |
| **pwCp** | 100 | 50 | 50 | 200 | 50 | 50 | 300 | 100 | 100 | 150 |
| **Qnom** | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,005 | 0,02 | 0,02 | 0,003333 | 0,01 | 0,01 | 0,006667 |
| **s coef** | **10** | **20** | **100** | **10** | **40** | **60** | **30** | **40** | **50** | **20** |
| **const** | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| **A** | 15 | 15 | 5 | 10 | 5 | 10 | 10 | 10 | 20 | 15 |
| **B** | -150 | -300 | -500 | -100 | -200 | -600 | -300 | -400 | -1000 | -300 |
| **T1(t)** | 12,970 | 5,902 | 3,494 | 8,647 | 4,751 | 3,935 | 5,654 | 5,276 | 6,594 | 11,653 |
| **θ1(t)** | 62,970 | 80,902 | 63,494 | 68,647 | 59,751 | 48,935 | 95,654 | 70,276 | 91,594 | 91,653 |
| **thermocouple** | 2 | 4 | 4 | 4 | 1 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 |
| **controller Kc** | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 4 | 2 | 2 | 2 |
| **controller s** | **1** | **2** | **1** | **1** | **2** | **2** | **2** | **2** | **1** | **3** |
| **FE** | 100 | 50 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 37,5 |
| **Κ** | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| **τ**  | 12 | 28 | 104 | 11 | 42 | 63 | 32 | 42 | 51,5 | 24,5 |
| **c** | 3 | 5,0 | 5,0 | 2,0 | 2,0 | 2,5 | 2,0 | 2,0 | 2,5 | 2,5 |
| **Κ** | 15 | 15,0 | 5,0 | 10,0 | 5,0 | 10,0 | 10,0 | 10,0 | 20,0 | 15,0 |
| **τ**  | **12** | **28** | **104** | **11** | **42** | **63** | **32** | **42** | **51,5** | **24,5** |
| **c** | 3 | 5 | 5 | 2 | 2 | 2,5 | 2 | 2 | 2,5 | 2,5 |
| **A** | 5 | 3 | 1 | 5 | 2,5 | 4 | 5 | 5 | 8 | 6 |
| **B** | -60 | -84 | -104 | -55 | -105 | -252 | -160 | -210 | -412 | -147 |
| **T1(t)** | 4,966 | 2,497 | 0,997 | 4,868 | 2,492 | 2,784 | 3,952 | 3,802 | 4,970 | 5,719 |
| **θ1(t)** | 54,966 | 77,497 | 60,997 | 64,868 | 57,492 | 47,784 | 93,952 | 68,802 | 89,970 | 85,719 |

**ΛΥΣΗ**

**Επικόλληση φωτογραφιών χειρόγραφης λύσης**

**(αν δεν επικολληθούν τα χειρόγραφα λύσης, η άσκηση δεν θα βαθμολογηθεί)**

**AM: 0**

Μόν. κατ.: qs + ρ\*w\*Cp\*(θos – θ1s) = 0 ⬄ qs = 1000\*0,1\*1\*(50-25) = 2500 kcal/min

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

Μεταβλητές απόκλισης: Tο = θο – 25 oC Τ1 = θ1 – 50 oC Q = q – 2500 kca/min

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) + To(s)

τ1 = V1/w = 1/0,1 = 10 min

ρ\*w\*Cp = 1000\*0,1\*1 kcal/minoC ⬄ 1/(ρ\*w\*Cp) = 0,01 oCmin/kcal

**T1(s) = 0,01\*Q(s)/(10s + 1) + To(s)/(10s + 1)**

**Α) Όταν το σύστημα δεν ρυθμίζεται**

Βηματική μεταβολή στην είσοδο: θο(t) = θοs +15 ⬄ To(t) = 15 ⬄ To(s) = 15/s

T1(s) = 15/s(10s + 1) = Α/s + B/(10s + 1) A = 15

 B = -150

T1(s) = 15/s – 150/(10s + 1) = 15/s – 15/(s + 0,1) ⬄ T1(t) = 15 – 15exp(-0,1t) ⬄

⬄ T1(20) = 15-15\*exp(-0,1\*20) = 8,647 oC ⬄ θ1(20) = 58,647 oC

**Β) Όταν το σύστημα ρυθμίζεται**

**Στοιχείο Μέτρησης:** Είσοδος: θερμοκρασία στη δεξαμενή: Τ1, oC

Έξοδος: μέτρηση θερμοκρασίας, mV: M = m1 – m1s

 Συνάρτηση Μεταφοράς: M(s)/T1(s) = 2/(1 + τm\*s)

Ακαριαία απόκριση, τm= 0: **M(s)/T1(s)**  **= 2**

**Ρυθμιστής PΙ:** Είσοδος: ρυθμιστικό σφάλμα, mV: ε = MR – M

 Έξοδος: διαφορά δυναμικού: V = v – vs

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

Kc = 1 mV/oC τD = 1 min

 **V(s)/ε(s) = 1\*(1 + s)**

**Τελικό Στοιχείο:** Είσοδος: διαφορά δυναμικού: V = v – vs

 Έξοδος: παροχής θερμότητας: Q = q – qs

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

Δεν δίνονται δεδομένα για το

χρόνο απόκρισης: τv = 0 min

Συντελεστής ενίσχυσης: Kv = 5000/50 = 100 (kcal/min)/mV  **Q(s)/V(s) = 100**

**Διάγραμμα βαθμίδων:**

****

Συνάρτηση μεταφοράς μεταξύ θερμοκρασίας εισόδου και μετρούμενης μεταβλητής.

$\frac{T1(s)}{T0(s)}=\frac{\frac{1}{(10s+1)}}{1+\frac{2\*100\*0,01\*1\*(1+ s)}{(10s+1)}}=\frac{\frac{1}{(10s+1)}}{\frac{(10s+1)}{(10s+1)}+\frac{2+2s}{(10s+1)}}=\frac{1}{12s+3}$

$T1\left(s\right)=\frac{15}{s\left(12s+3\right)}= \frac{A}{s}+ \frac{B}{12s+3}$ A = 15/3 = 5 B = 15/(-3/12) = -60

$T1\left(s\right)=\frac{5}{s}- \frac{60}{12s+3}= \frac{5}{s}- \frac{5}{s+0,25}$

T1(20) = 5-5\*exp(-0,25\*20) = 4,966 ⬄ θ1(20) = 50 + 4,966 = 54,967 οC

**AM: 1**

Μόν. κατ.: qs + ρ\*w\*Cp\*(θos – θ1s) = 0 ⬄ qs = 1000\*0,05\*1\*(75-25) = 2500 kcal/min

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

Μεταβλητές απόκλισης: Tο = θο – 25 oC Τ1 = θ1 – 75 oC Q = q – 2500 kca/min

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) + To(s)

τ1 = V1/w = 1/0,05 = 20 min

ρ\*w\*Cp = 1000\*0,05\*1 kcal/minoC ⬄ 1/(ρ\*w\*Cp) = 0,02 oCmin/kcal

**T1(s) = 0,02\*Q(s)/(20s + 1) + To(s)/(20s + 1)**

**Α) Όταν το σύστημα δεν ρυθμίζεται**

Βηματική μεταβολή στην είσοδο: θο(t) = θοs +15 ⬄ To(t) = 15 ⬄ To(s) = 15/s

T1(s) = 15/s(20s + 1) = Α/s + B/(20s + 1) A = 15

 B = -300

T1(s) = 15/s – 300/(20s + 1) = 15/s – 15/(s + 0,05) ⬄ T1(t) = 15 – 15\*exp(-0,05\*t) ⬄ T1(10) = 15-15\*exp(-0,05\*10) =

= 5,902 oC ⬄ θ1(20) = 80,902 oC

**Β) Όταν το σύστημα ρυθμίζεται**

**Στοιχείο Μέτρησης:** Είσοδος: θερμοκρασία στη δεξαμενή: Τ1, oC

Έξοδος: μέτρηση θερμοκρασίας, mV: M = m1 – m1s

 Συνάρτηση Μεταφοράς: T1m(s)/M(s) = 4/(1 + τm\*s)

Ακαριαία απόκριση, τm= 0: **T1m(s)/T1(s) = 4**

**Ρυθμιστής PΙ:** Είσοδος: ρυθμιστικό σφάλμα, mV: ε = MR – M

 Έξοδος: διαφορά δυναμικού: V = v – vs

 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 – vs

 Έξοδος: παροχής θερμότητας: Q = q – qs

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

Δεν δίνονται δεδομένα για το

χρόνο απόκρισης: τv = 0 min

Συντελεστής ενίσχυσης: Kv = 5000/100 = 50 (kcal/min)/mV  **Q(s)/V(s) = 50**

**Διάγραμμα βαθμίδων:**

****

Συνάρτηση μεταφοράς μεταξύ θερμοκρασίας εισόδου και μετρούμενης μεταβλητής.

$\frac{T1(s)}{T0(s)}=\frac{\frac{1}{(20\*s+1)}}{1+\frac{4\*50\*0,02\*1\*(1+ 2\*s)}{(20\*s+1)}}=\frac{\frac{1}{(20\*s+1)}}{\frac{(20\*s+1)}{(20\*s+1)}+\frac{4+8\*s}{(20\*s+1)}}=\frac{1}{28s+5}$

$T1\left(s\right)=\frac{15}{s\left(28s+5\right)}= \frac{A}{s}+ \frac{B}{28s+5}$ A = 15/5 = 3 B = 15/(-5/28) = -84

$T1\left(s\right)=\frac{3}{s}- \frac{84}{28s+5}= \frac{3}{s}- \frac{3}{s+0,1786}$

T1(10) = 3-3\*exp(-0,1786\*10) = 2,497 ⬄ θ1(10) = 75 + 2,497 = 77,497 οC

**AM: 2**

Μόν. κατ.: qs + ρ\*w\*Cp\*(θos – θ1s) = 0 ⬄ qs = 1000\*0,05\*1\*(60-30) = 1500 kcal/min

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

Μεταβλητές απόκλισης: Tο = θο – 30 oC Τ1 = θ1 – 60 oC Q = q – 1500 kca/min

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) + To(s)

τ1 = V1/w = 5/0,05 = 100 min

ρ\*w\*Cp = 1000\*0,05\*1 kcal/minoC ⬄ 1/(ρ\*w\*Cp) = 0,02 oCmin/kcal

**T1(s) = 0,02\*Q(s)/(100s + 1) + To(s)/(100s + 1)**

**Α) Όταν το σύστημα δεν ρυθμίζεται**

Βηματική μεταβολή στην είσοδο: θο(t) = θοs +5 ⬄ To(t) = 5 ⬄ To(s) = 5/s

T1(s) = 5/s(100s + 1) = Α/s + B/(100s + 1) A = 5

 B = -500

T1(s) = 5/s – 500/(100s + 1) = 5/s – 5/(s + 0,01) ⬄ T1(t) = 5 – 5\*exp(-0,01t) ⬄ T1(120) = 5-5\*exp(-0,01\*120) =

= 3,494 oC ⬄ θ1(120) = 63,494 oC

**Β) Όταν το σύστημα ρυθμίζεται**

**Στοιχείο Μέτρησης:** Είσοδος: θερμοκρασία στη δεξαμενή: Τ1, oC

Έξοδος: μέτρηση θερμοκρασίας, mV: M = m1 – m1s

 Συνάρτηση Μεταφοράς: T1m(s)/M(s) = 4/(1 + τm\*s)

Ακαριαία απόκριση, τm= 0: **T1m(s)/T1(s) = 4**

**Ρυθμιστής PΙ:** Είσοδος: ρυθμιστικό σφάλμα, mV: ε = MR – M

 Έξοδος: διαφορά δυναμικού: V = v – vs

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

Kc = 2 mV/oC τD = 1 min

 **V(s)/ε(s) = 2\*(1 + 1\*s)**

**Τελικό Στοιχείο:** Είσοδος: διαφορά δυναμικού: V = v – vs

 Έξοδος: παροχής θερμότητας: Q = q – qs

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

Δεν δίνονται δεδομένα για το

χρόνο απόκρισης: τv = 0 min

Συντελεστής ενίσχυσης: Kv = 5000/200 = 25 (kcal/min)/mV  **Q(s)/V(s) = 25**

**Διάγραμμα βαθμίδων:**

****

Συνάρτηση μεταφοράς μεταξύ θερμοκρασίας εισόδου και μετρούμενης μεταβλητής.

$\frac{T1(s)}{T0(s)}=\frac{\frac{1}{(100\*s+1)}}{1+\frac{4\*25\*0,02\*2\*(1+ 1\*s)}{(100\*s+1)}}=\frac{\frac{1}{(100\*s+1)}}{\frac{(100\*s+1)}{(100\*s+1)}+\frac{4+4\*s}{(100\*s+1)}}=\frac{1}{104s+5}$

$T1\left(s\right)=\frac{5}{s\left(104s+5\right)}= \frac{A}{s}+ \frac{B}{104s+5}$ A = 5/5 = 1 B = 5/(-5/104) = -104

$T1\left(s\right)=\frac{1}{s}- \frac{104}{104s+5}= \frac{1}{s}- \frac{1}{s+0,04808}$

T1(120) = 1-1\*exp(-0,04808\*120) = 0,997 ⬄ θ1(120) = 60 + 0,997 = 60,997 οC