REGLAREA DEBITULUI ŞI A TEMPERATURII UNUI MATERIAL GRANULAR

### An universitar 2023-2024

### A.7. PROBLEME DE IDENTIFICARE A PĂRTII FIXATE

**Identificarea buclei de reglare a debitului**

Se pleacă de la analiza elementelor componente a acestei bucle şi se prezintă rezultatele identificării.

Bucla cuprinde:

a – transportorul melcat (TM);

b – transportorul cu cupe (TC);

c – doza gravimetrică (DG) cu adaptor.

a) referitor la transportorul melcat:

a.1.amplificatorul de putere primeşte la intrare tensiunea Ua şi furnizează la ieşire tensiunea Um; are structura din figură în care:

Ua Um Kap = 21.30

**K**ap\* e-sτap

τap = 0.010

a.2.motorul de antrenare primeşte la intrare tensiunea Um şi furnizează la ieşire mărimea Ωtm. Are structura din figură în care:

K1 = 0.3022 [Nm/V]

Mr K2 = 5.5220 [rad/sec/Nm]

Um K1 - K2 Ωtm Tm1 0.0604 [sec]

Tm1s+1 Tm2s+1 Tm2 = 0.5522 [sec]

a.3.tahogeneratorul de măsurare a turaţiei (TG) şi adaptorul său primeşte la intrare turaţia Ωtm şi furnizează prin adaptor o tensiune UΩ. Are structura din figură, în care:

KtΩ = 0.1 [U/rad/s]

Ωtm KtΩ UΩ TtΩ = 0.01 [sec]

TtΩs+1

a.4. transportorul melcat (TM) primeşte la intrare turaţia Ωtm şi furnizează debit intermediar de material granular comandat. Structura este dată în figura următoare.

Pm1 0.05 TQ1 = TTM = 5 [sec]

TBs(TQ1s+1) Ktm = 0.17 [kg/sec/rad/sec]

TB = 60 [sec]

Ktm + Qi

Ttms+1 +

b) Transportorul cu cupe (TC) are la intrare debitul intermediar (Q1), iar la ieşire debitul (Qm). Structura corespunde figurii următoare, în care:

K = 0.9



Q1

Qm

T = 10 [sec]

τm = 60 [sec]

c) Doza gravimetrică cu adaptor: se consideră la intrare debitul Qm, iar la ieşirea adaptorului curentul iq, astfel încât, potrivit figurii următoare, avem:



Qm

iQm

KG = 0.16 [mA / kg / sec]

TG = 2 [sec]

Identificarea buclei de reglare a temperaturii

Se analizează elementele componente ale acestei bucle şi se prezintă rezultatele identificării.

a) Ventilul pneumatic (VP) şi convertorul electropneumatic (CEP)

-la intrare se aplică curentul iE,iar mărimea de ieşire este debitul de gaz metan (q)

Δpg

##### Kpg

Kpg = 0.1

Ie + q Kce\*Kv = 0.02[Nm3/s/mA]

Kce.Kv

Tv.s+1

+ Tv = 4 [sec]

b) Cuptorul(C) se va analiza împreună cu transportorul cu cupe (TC) rezultând structura din figură: Kc = 210.16 [o C/Nm3/sec]

KθT = 0.8

Kθ

Tθzs+1

Kst.e-sτt  Tθs+1

Kc.e-sτc

Tcs+1

ΔθI

q

θm

+

+

KθZ = 0.3

TθZ= 120 [sec]

Tc = 626.10 [sec]

τc = 93.91 [sec]

TθT = 110.44 [sec]

τT = 5.52 [sec]

c) Traductoarele de temperatură: pentru pirometru intrarea este temperatura θm, ieşirea adaptorului este curentul Iθm, iar pentru termorezistenţa (TR) intrarea este temperatura aerului în cuptor, ieşirea fiind curentul Iθc.

- pentru pirometru:

θm  Kθm lθm Kθm = 0.16 [mA/oC)

Tθms+1 Tθm = 4 [sec]

- pentru rezistenţă:

θc KθC lθc Kθc = 0.1 [mA/oC]

TθCs+1 Tθc = 16 [sec]

1. CALCULUL REGULATOARELOR PRIN METODA REPARTIŢIEI POLI-ZEROURI

* 1. **CONSIDERATII ASUPRA PĂRŢII FIXATE**

Metoda, bazată pe sistemul echivalent de ordinul doi, se aplică buclei de reglare a turaţiei .

Mr

Ua KAPe-sτAP Um K1 - K2 ΩTM

TM1s+1 TM2s+1

KTΩ

TTΩs+1

Se operează apoi o serie de transformări pentru a aduce partea fixată la forma cerută de metoda Guillemin – Truxal:

a) se neglijează perturbaţiile (Mr =0);

b) se aproximează timpul mort sub forma:

 0.9900

c) se transfigurează sistemul la forma reacţiei negative unitare.

Întrucât TtΩ <<TM2, rezultă :



în care : TM\*=TM2+TTΩ = 0.5608 şi KM\*=K2KTΩ = 0.5508

1. deoarece constanta (TTΩ ) rămâne mult mai mică faţă de cele ale buclei, mărimile de intrare şi de ieşire au aproximativ aceeaşi evoluţie dinamică, deci se poate admite pentru bucla de reglare a turaţiei o structură simplificată:

HR











uΩ0

uΩ

-

ΩTM

Adică:

HR

uΩ0

uΩ

-

ΩTM

În aceasta situaţie majoritatea performanţelor impuse asupra mărimii de ieşire ΩTM sunt valabile şi pentru mărimea (uΩ), excepţie făcând εstv pentru care :

εstv (uΩ)=kTΩ· εstv (ΩTM)

* 1. **CALCULUL REGULATORULUI HR1(s) PENTRU CAZUL SISTEMULUI ECHIVALENT DE ORDINUL DOI NECORECTAT**

1. Se impune setul de performanţe:

εstp = 0 [V];

σ ≤ 15 [%];

tr ≤ 1.2 [sec];

ΔωB ≤ 12 [rad/sec];

1. Se determină parametrii sistemului de ordinul doi



ξ = 0.51

ωn = 6.4438

1. Verificările impuse:

|  |  |
| --- | --- |
| îndeplinit | neîndeplinit |

εstp = 0 [V];

|  |  |
| --- | --- |
| îndeplinit | neîndeplinit |

σ ≤ 15 [%];

|  |  |
| --- | --- |
| îndeplinit | neîndeplinit |

tr ≤ 1.2 [sec];

|  |  |
| --- | --- |
| îndeplinit | neîndeplinit |

ΔωB ≤ 8.07 [rad/sec];

|  |  |
| --- | --- |
| îndeplinit | neîndeplinit |

εstv ≤ 0.16 [V];

1. Determinarea analitică a regulatorului are la bază figura de la începutul capitolului în care elementul (1/KTΩ ) este ignorat.







Răspunsurile sistemului închis la intrare treaptă şi rampă unitară sunt:

Graphical user interface

Description automatically generated

Forma regulatorului HR1(s) este prea complicată, motiv pentru care se operează unele simplificări pentru ca relaţia obţinută să fie de forma unor regulatoare tipizate:

d.1) Se caută să se efectueze mici modificări ale coeficientului (1/2ξωn) la forma (1/2ξ’ω’n) astfel ca să se poată efectua simplificări a polul din HR1(s) cu unul din cele trei zerouri, fără a afecta performanţele.

ξ’ = 0.278

ω’n = 3.2





d.2) Se "ataşează " constanta cea mai mică (τAP) la cea mai mare, de pildă TM\*:





În acest caz regulatorul este realizabil, fiind un PID cu filtru de ordinul I.

e) Determinarea parametrilor de acord a regulatorului se efectuează prin identificare cu formele tip ale regulatorului de tip PID şi rezultă parametrii:

 VR = 0.40518

 τi = 1.614

 τd = 8.797

 TN = 16.446

Se trasează grafic răspunsul sistemului închis H02’ şi H02” pentru o intrare treaptă unitară respectiv rampă în comparaţie cu răspunsul sistemului închis H02.

Graphical user interface, application

Description automatically generated

Graphical user interface, application

Description automatically generated

**1.3. CALCULUL REGULATORULUI HR2 PENTRU CAZUL SISTEMULUI DE ORDINUL DOI CORECTAT (CORECTIA CU DIPOL)**

1. Setul de performante impus este mai sever:

εstp = 0 ;

σ ≤ 10 [%];

tr ≤ 1 [sec];

ΔωB ≤ 12 [rad/sec];

εstv ≤ 0.05 [V];

1. Se determină parametrii sistemului de ordinul doi



ξ = 0.0500

ωn = 2.7604

Se verifică referitoare la performanţele sistemului şi rezultă că nu sunt îndeplinite următoarele performanţe:

tr = 2.09

εstv = 0.5

Performanţele fiind afectate se recurge la corecţia sistemului închis ajungând la forma:

.

Calculul valorilor polului şi zeroului de corecţie:

pc = 0.8852

zc = 0.8431

1. Verificarea se referă doar la timpul de răspuns care are valoarea:

tr = 0.44 [sec]; deci tr < tr impus

1. Determinarea analitică a regulatorului HR2(s)



Răspunsurile sistemului închis la intrare treaptă şi rampă unitară sunt:

Graphical user interface, application

Description automatically generated

Forma regulatorului HR2(s) este prea complicată, motiv pentru care se operează unele simplificări pentru ca relaţia obţinută să fie de forma unor regulatoare tipizate:

d.1) Se simplifică grupul  dacă 

Astfel:



d.2) Se "ataşează " constanta de timp redusă la constanta mare:



d.3) Se caută o simplificare a grupurilor  admisibilă în general dacă 

 123.3 s^2 + 9.838 s - 79.34

e) Determinarea parametrilor de acord a regulatorului:

Kp = -79.2526

Ki = 6.3285

Kd = 1

CALCULUL REGULATOARELOR PRIN METODE FRECVENŢIALE PE BAZA SISTEMULUI ECHIVALENT DE ORDINUL DOI

* 1. CONSIDERAŢII ASUPRA PĂRŢII FIXATE

Se analizează structura din figură, în care se operează o serie de simplificări:

HR











uΩ0

uΩ

-

ΩTM



De asemenea se neglijează frecările vâscoase ale rotorului, aşa încât:



 1.0182

rezultând structura din figura următoare, performanţele fiind impuse mărimii (UΩ) întrucât calcularea lor în raport cu mărimea (ΩTM) e foarte simplă.





UA

UΩ

* 1. DETERMINAREA FACTORULUI (VR) AL UNUI REGULATOR P

1. Se impune următorul set de performanţe:

εstp = 0 [V];

σ ≤ 15 [%];

tr ≤ 1 [sec];

ΔωB ≤ 10 [rad/sec];

cv ≤ 5 [V];

1. Calculul factorului de amplificare (VR)

Se reprezintă în diagrame logaritmice partea fixată Hf(s) sub forma diagramei de modul, sistemul fiind de fază minimă. La pulsaţia de frângere rezultă punctul F.

A screen shot of a diagram

Description automatically generated with medium confidence

* Se determină pulsaţia de tăiere () şi cea de frângere ().

= 5.66

=14.28

* Se determină factorul () corespunzător suprareglajului impus  şi se calculează valoarea :

σ = 0.15

= 0.9356

care apoi se reprezintă în decibeli. La  rezultă punctul N.

* Se translatează caracteristica iniţială (Hf) pentru a avea frângerea în N, rezultând astfel forma finală a buclei directe, deschise (). Este evident că:

= 19.8000

acordând atenţie sensului translaţiei necesare.

* Verificările necesare se referă la următoarele performanţe:
  + Timpul de răspuns: presupune citirea pulsaţiei () din diagramele logaritmice şi întrucât  rezultă , deci trebuie ca ;
  + Coeficientul erorii staţionare la viteză, care se citeşte direct din diagramele logaritmice la , fiind necesar ca ;
  + Lărgimea benzii de trecere se ia orientativ .

În continuare se reprezintă răspunsurile sistemului în buclă închisă la intrare treaptă respectiv rampă unitară

Graphical user interface, chart, line chart

Description automatically generated **2.3 Determinarea parametrilor unui regulator PI**

1. Se impune următorul set de performanţe:

εstp = 0 [V];

σ ≤ 7.5 [%];

tr ≤ 1 [sec];

ΔωB ≤ 10 [rad/sec];

cv ≤ 10 [V];

Se încearcă folosirea unui regulator simplu de tip proporţional, dar acesta nu poate satisface toate performanţele impuse, în special cea referitoare la coeficientul erorii staţionare la viteză. În aceste condiţii se recomandă folosirea unui regulator de tip PI.

1. Calculul parametrilor regulatorului

Structura acestui regulator este:

.

Pentru determinarea grafo-analitică a parametrilor se reprezintă mai întâi în diagrame logaritmice , diagrama de modul şi dreapta , rezultând punctele F şi N (vezi capitol 2.2). Se determină apoi grafic pulsaţia () şi coeficientul (cv) la .

Se plasează pulsaţiile () şi () astfel încât:

Wz = 0.566

Wp = 0.3204

în care (). Cu ajutorul acestor pulsaţii se poate determina structura directă, deschisă a sistemului cu regulator PI (notat HdC). Parametrii regulatorului sunt:

VR = 14.71

Tz = 1.76

Tp = 3.12

Verificările necesare:

ΔWb = 138

În continuare se reprezintă răspunsurile sistemului în buclă închisă la intrare treaptă respectiv rampă unitară :

Graphical user interface, chart

Description automatically generated

* 1. **Determinarea unui regulator PD**

1. Se impune următorul set de performanţe:

εstp = 0 [V];

σ ≤ 10 [%];

tr ≤ 0.5 [sec];

ΔωB ≤ 10 [rad/sec];

cv ≤ 5 [V];

Se încearcă folosirea unui regulator simplu de tip proporţional, dar acesta nu poate satisface toate performanţele impuse, în special cea referitoare la timpul de răspuns. În aceste condiţii se recomandă folosirea unui regulator de tip PD.

1. Calculul parametrilor regulatorului

Structura acestui regulator este:

.

Pentru determinarea parametrilor se reprezintă mai întâi în diagrame logaritmice , diagrama de modul şi dreapta , rezultând punctele F şi N (vezi capitol 2.2).

Se calculează ωt1 = 5.66

de unde = 1.0111

iar din  rezultă = 11.4461

Se plasează pe axa pulsaţiilor , reprezentând structura deschisă finală.

Se deduc parametrii acestui regulator PD:

VR = 12.6911

TN = 0.0347

taud = 0.0702

Verificarea performanţelor:

ΔWb = 69.7

În continuare se reprezintă răspunsurile sistemului în buclă închisă la intrare treaptă respectiv rampă unitară :

Graphical user interface, chart

Description automatically generated

* 1. **Determinarea parametrilor unui regulator PID**

1. Se impune următorul set de performanţe:

εstp = o [V];

σ ≤ 7.5 [%];

tr ≤ 0.5 [sec];

ΔωB ≤ 10 [rad/sec];

cv ≤ 12 [V];

Având în faţă exemplele anterioare este evidentă imposibilitatea satisfacerii performanţelor impuse cu un regulator proporţional. Mai mult, nici un regulator PI sau PD nu va putea rezolva problema, urmând să se folosească un regulator combinat.

1. Calculul parametrilor regulatorului

Structura acestui regulator PID este:

.

Se reprezintă mai întâi în diagrame logaritmice .

Graphical user interface, chart

Description automatically generated

Se determină (ξ), deci şi poziţia dreptei , rezultând punctul N şi structura Hd1.

ξ = 0.6362

A =0.6177

Se calculează (ωt2) şi se translatează spre dreapta structura (Hd1) până la (Hd2), aceasta implicând un regulator PD

ωt2 = 9,8840

Se citeşte cv dat de Hd2, se calculează 

Se plasează 

Wz = 0.9884

Wp = 0.4662

rezultând structura completă (HdC), în care s-a adăugat şi regulatorul PI modificat.

Parametrii regulatorului vor fi:



VR = 14.71

TZ = 1.0177

TP = 2.14

Td = 0.0702

TN = 0.1225

Verificările necesare:

ΔWb = 213

În continuare se reprezintă răspunsurile sistemului în buclă închisă la intrare treaptă respectiv rampă unitară :

Graphical user interface, chart

Description automatically generated

**CALCULUL REGULATOARELOR PRIN METODE FRECVENŢIALE CU ASIGURAREA UNEI MARGINI DE FAZĂ IMPUSE**

* 1. **CONSIDERAŢII ASUPRA PĂRŢII FIXATE**

Metoda se aplica buclei de reglare a temperaturii cuptorului:

ΔPg ΔBi

Kpg

ie + q + θc

Kc e-STc

TCs+1

KCE KV

TVs+1

+ +

KBZ

TBZs+1

KBZ

TBZs+1

iθc

Un avantaj al metodei este acela că nu sunt necesare simplificări.

* 1. **CALCULUL PARAMETRILOR UNUI REGULATOR PI**

1. Performante impuse:

* sistemul lucrează in regim de stabilizare, adică temperatura θc= θco=ct. funcţia principală fiind aceea de rejecţie a perturbaţiei externe Δpg şi ΔθI,în acest caz efectul este absolut necesar şi deci εstp\*= 0
* marginea de fază γk\*=45 - 500, deci sistemul este relativ slab amortizat, dar acceptabil, deoarece procesul tehnologic nu este pretenţios, marginea de câştig mk\*>5 dB;

1. Calculul parametrilor regulatorului de tip PI :



presupune determinarea valorilor VR si τi .

Se reprezintă în diagrame logaritmice partea fixată originală dată de :



**Caracteristica de modul a părţii fixate.**

Diagram

Description automatically generated

**Caracteristica de fază a părţii fixate.**

Table

Description automatically generated

Din diagrama de modul şi de fază se determină pulsaţia

ω' = 0.00847

pentru care

 = 60.6951 o = -1.059329 [rad]

(Regulatorul PI introduce o fază de aproximativ –15o)

De asemenea se măsoară:

|Hf(jω')|= 0.5092

Cu aceasta parametrii regulatorului vor fi :

 1.9879

 475.2730

Deci

=

1. Verificarea performanţelor presupune testarea:

γk>45o;

mk >5 dB;

Pentru verificarea acestor performante se vor utiliza si caracteristicile de modul si faza a lui :



**Caracteristica de modul a părţii directe .**

Chart, line chart

Description automatically generated

**Caracteristica de fază a părţii directe .**

Diagram, table

Description automatically generated with medium confidence

Determinarea marginii de fază:

 0.00189

Determinarea marginii de câştig:

* 1. **CALCULUL REGULATORULUI PD**

1. Performante impuse:

* sistemul lucrează mai ales în regim de urmărire şi trebuie să urmărească un profil precis θo(t), ceea ce recomandă un regulator PD;
* erorile staţionare nenule deranjează nesemnificativ;
* fiind frecvente pornirile se recomandă o margine de fază mare, pentru suprareglaj redus:

γk\*>50 - 60o

şi simultan :

mk\* >5 dB.

1. Calculul regulatorului de tip PD:



presupune determinarea parametrilor VR şi τd întrucât β = 0.1 ÷ 0.125

Din diagrama logaritmică a părţii fixate



se determină pulsaţia

ω0 = 0.0135

pentru care:

 = -180 o = - [rad]

precum şi valoarea :

|Hf0(jωo)| = 0.4627

Parametrii de acord vor fi :

VR = 0.7923

τd = 235.1424

τN = 23.6568

deci

HR(s) =

c) Verificarea necesită reprezentarea în diagrame logaritmice a buclei deschise complete şi testarea performantelor

**Caracteristica de modul a părţii directe .**

Chart

Description automatically generated

**Caracteristica de fază a părţii directe .**

Application

Description automatically generated with medium confidence

Determinarea marginii de fază:

Determinarea marginii de câştig:

* 1. **CALCULUL PARAMETRILOR UNUI REGULATOR PID**

Raportul ωo/ω'= 1.5939 se încadrează in intervalul impus.

a) Performanţele impuse se referă la:

- eroarea staţionară la poziţie εstp = 0;

- o bună amortizare γk\* >55 – 60 o

mk\* > 5dB.

3.3

1. Calculul parametrilor regulatorului de forma:



foloseşte reprezentarea structurii



în diagrame logaritmice, de unde se determină

pulsaţia: ω' = 0.00847 şi ω0 = 0.0135

Metoda se poate aplica în cazul în care .

Cum  se pot scrie în continuare parametrii de acord ai regulatorului PID.

Se determină valorile |Hf(jω’)| = 0.5092 [dB] şi |Hf(jω0)| = 0.4627 [dB]

în raport cu care se recomandă:

 0.4928

τi =1.2T0 = 558.5054

τd =0.5T0 = 232.7106

T0 =465.4211

deci HR(s) =

c) Verificarea performanţelor impune trasarea în diagrame logaritmice a buclei complete şi testarea condiţiilor impuse.

Diagram

Description automatically generated

**CALCULUL REGULATOARELOR PRIN METODE DE CVASIOPTIM**

Se vor folosi metodele "simetriei" si "modulului" aplicate buclei de reglare a turaţiei din sistemul de reglare a debitului .

**4.1. CONSIDERAŢII ASUPRA PĂRŢII FIXATE**

Se folosesc aceleaşi consideraţii ca la punctul (1.1), adaptând structura în care bucla directă va fi:

Hd = HR Hf = HR(KAP/( τAPs+1))\*(K1KM\*/(TM1s+1)(TM\*s+1))

* 1. **CALCULUL REGULATOARELOR PRIN METODA “MODULULUI”**

Se foloseşte forma optima a buclei directe :



în care: TΣ = τAP = 0.01

1. Calculul unui regulator PID apare dacă partea fixată conţine două constante de timp mari, aşa încât :

HR(s) = 

Se deduc parametri regulatorului PID :

VR = 0.47868

τi = 0.054

τd =3.181

TN =0.022

b) Calculul unui regulator PI apare la o singură constantă de timp preponderentă:

Hf = 

HR(s) = 

Calculul parametrilor regulatorului PI:

VR = 0.0000411

τi = 588.8

În cazul metodei modulului performanţele la treaptă unitară sunt:

σ = 4.3%, tr=6.75 τAP, εstp= 0,

dar aceste performanţe se referă la mărimea uΩ(t), iar pe noi ne interesează performanţele obţinute în raport cu mărimea de ieşire ΩTM(t), pentru care funcţia de transfer a sistemului închis este:



iar din răspunsurile sistemului verificăm performanţele

A screenshot of a computer

Description automatically generated

* 1. **CALCULUL REGULATOARELOR PRIN METODA "SIMETRIEI"**

Forma optimă a buclei directe este:



unde TΣ = τAP = 0.01

Pentru a ne limita la un regulator tipizat, se adoptă pentru partea fixată structura Hf'(s) din relaţia (4.5),astfel:

(4.11) HR(s)=

VR=0.47868; τi=704.0236; τd=28.0112.

Performantele sistemului închis la o treapta unitara , in cazul metodei simetriei sunt: tr\*=11.1TΣ= 0.111 [sec]; σ= 43 %.

A screenshot of a computer

Description automatically generated with medium confidence

* σ’ = 6.7% , tr = 0.0746

Recalcularea performantelor in raport cu ΩTM(t) presupune calculul răspunsului indicial după relaţia:

A(s) =

si compararea performantelor reale cu cele de mai sus.

**CALCULUL REGULATOARELOR IN CAZUL REGLARII IN CASCADA**

Această metodă se va aplica buclei de reglare a debitului materialului granular varianta A şi sistemului de reglare a temperaturii acestui material.

* 1. **CONSIDERAŢII ASUPRA PĂRŢII FIXATE**

La reglarea de debit se mai simplifica structura:

[(TTΩ⋅s+1)/KTΩ]⋅KTM/(KTM⋅s+1)≅KTM\*/(TTM\*⋅s+1)

În care :

KTM\* = KTM/KTΩ =0.5722

TTM\*=TTM-TTΩ = 4.9900

şi respectiv dacă timpul mort τm se aproximează cu un element de ord I avem:

[K⋅e-sτm/(T⋅s+1)]⋅Kg/(Tg⋅s+1)≅[K/(T⋅s+1)⋅(τm⋅s+1)]⋅Kg/(Tg⋅s+1)≅K\*/(T\*⋅s+1)

în care :

K\* = K.KG = 0.1440

T\* = T+τm+TG = 12.9901

rezultând structura din figură

M1 Pm1

Kap

τap⋅s+1

K

TM1⋅s+1

KM\*

TM⋅s+1

KTM\*

TTM⋅s+1

K

T\*⋅s+1

TGs+1

Kg

Ua - + iq Qm

UΩ

iQ

În continuare performantele se vor referi la mărimile de ieşire (uΩ) si (iQ) ale traductoarelor respective.

În cazul sistemului de reglare a temperaturii se preia structura neglijând perturbaţia (Δpg) şi aducând bucla internă la forma reacţiei negative unitare.

În acest scop se fac următoarele simplificări :

Kce⋅Kv⋅Kc⋅e-s⋅τc⋅Kθc/(Tv⋅s+1)⋅(Tc⋅s+1)⋅(Tθc⋅s+1)≅Kf⋅ Kc⋅e-s⋅τc/(Tf⋅s+1)

in care :

Kf = Kce⋅Kv⋅Kc Kθc = 0.5261

Tf =Tv+Tc+Tθc = 646.1000

şi respectiv:

(Tc⋅s+1)⋅Kθt⋅e-s⋅τt/[Kθc⋅(TθT⋅s+1)]≅Kθt\*⋅ e-s⋅τt/(TθT\*⋅s+1)

în care : KθT\*=KθT/Kθc= 8

TθT\*= TθT - Tθc = 94.1600

Structura părţii a buclei de reglare a temperaturii este ca în figura următoare:

Kf

Tf⋅s+1

Kθt\*⋅e -sτt

## Tθt⋅s+1

Kθm

Tθm⋅s+1

ie iθc  θm

iθc

iθm

* 1. CALCULUL REGULATOARELOR SISTEMULUI DE REGLARE A DEBITULUI

Se începe cu bucla interioară pentru care avem:

HRΩ=[(TM1⋅s+1)⋅(TM\*⋅s+1)]/2τap⋅s⋅Kap⋅K1⋅KM\* =

Structura completa este prezentata in fig. 5.3

MR Pm2

iQc HRQ HRΩ KAPK1 - KM\* KTM\* + K\* (τAPS+1)(TM1S+1) TM\*S+1 TTM\*S+1 T\*S+1

Datorita plecării metodei modulului rezulta ca :

HoΩ =

Cum insa:

τAP<<TTM\* si τAP<<T\* ,atunci:

(5.10')

HΩ0(s)≅1/(2τap⋅s+1)=

Conform metodei de calcul se poate scrie că:

(5.11) HΩ0(s)⋅KTM\*/(TTM\*⋅s+1)=KTM\*/(2τap⋅s+1)⋅(TTM\*⋅s+1)≅KTM\*/(TTM\*⋅s+1)=

=

in care :

TTM\*\*=TTM\*+2τAP= 5.01 ; iar TΣQ=TTM\*\*= 5.01;

analog celor din capitolul 4.2 rezulta ca pentru TΣQ=TTM\*\* avem ca:

(5.14)HRQ(s)=(T\*/2TTM\*\*⋅KTM\*⋅K\*)⋅[(T\*⋅s+1)/T\*⋅s)

=

fiind vorba despre un regulator .

Identificarea parametrilor de acord pentru cele doua structuri de acord foloseşte relatia:

(5.15) HRΩ=VRΩ\*(1+τ1⋅s)⋅(1+τ2⋅s)/s

rezultand:

τ1=TM1= 0.0602

(5.17) τ2=TM\*= 0.5608

VRΩ = 14.1883

deci HRΩ=

si respectiv :

VRQ=5.2710

τiQ=T\*= 12.9901

deci HRQ=

In ceea ce priveste verificarea performantelor ,o importanta deosebita o are analiza raspunsului la perturbatia (Mr) aplicata buclei interioare si compararea efectului acestei perturbatii cu cazul reglarii monobucla cu un singur regulator.

Potrivit fig 5.3 cu iQ=0; uΩ0=0

uΩ(s)=

La aceasta functie de transfer se traseaza raspunsul la treapta 0.1/s

Graphical user interface

Description automatically generated

Daca nu s-ar folosi structura in cascada ,pentru partea fixata care apare in figura 5.3 se calculeaza un regulator PI cu asigurarea unei margini de faza date γk\*>450

VR=1/|Hf|= 0.0021

τI=4/ω\*= 128.6174

HR=

Notând :

Hf1=KAPK1/(τAPs+1)(TM1s+1)

Hf2=KM\*/(TM\*s+1)

Hf3=KTM\*K\*/(TTM\*s+1)(T\*s+1)

avem: UΩ1(s)=Hf2(s)/1+HR(s)Hf1(s)Hf2(s)Hf3(s) se calculeaza si rezulta :

UΩ1(s)=

la aceasta functie se traseaza raspunsul la treapta 0.1/s făcându-se comparaţie cu răspunsul obtinut pentru functia UΩ la aceeasi intrare.

A screen shot of a computer

Description automatically generated with medium confidence

* 1. **CALCULUL REGULATORULUI SISTEMULUI DE REGLARE A TEMPERATURII**

Structura parţii fixate are forma simplificata din figură:

iθm0 iθc0 iE iθc θm

Kf⋅e-s⋅Tc

Tf⋅s+1

## HRC

## HRm

## Kθt`⋅ e-s⋅τt

Tθt`⋅s+1

Presupunem ca bucla interioara are un regulator PID. Parametrii de acord pentru bucla interioara rezulta direct folosind relatiile lui Zigler-Nichols:

VRC=0.9 τc /Tf Kf = 0.2490

τic=3.3τc= 309.5730

Pentru a simplifica la maxim calculele se propune urmatorul mers de calcul:

HRCKfe-2sτc/(Tfs+1) ≅(VRCKf-3.3τcs)(1+2.3τcs)(1+Tfs)(τcs+1).

Hoc(s)= VRCKf(1+2.3τcs)/ 3.3τcs(1+Tfs)(τcs+1)+ VRCKf(1+2.3τcs)=

=

se determina polii sistemului p1= -0.0106 ; p2= -0.0009 ; p3= -0.0007

Se simplifica functia de transfer echivalenta a buclei inchise

H’oc(s)=

Se proiecteaza regulatorul extern:

Vrm = 0.0981

tauim = 3.0500

taudm = 0.5083

HR =

Se verifica rezultatele:

A screenshot of a computer

Description automatically generated with medium confidence

1. **CALCULUL UNUI REGULATOR CU PREDICŢIE**

Datorită timpului mort preponderent pe care îl prezintă bucla de reglare a debitului, obţinerea unor performanţe bune necesită un regulator cu predicţie pe bază de model .

* 1. **CONSIDERATII ASUPRA PĂRŢII FIXATE**

Bucla interioară de reglare a turaţiei este calculată după metoda modulului aşa încât :

HΩ0(s) =

Structura buclei de reglare a debitului materialului granular în care Hrp este regulatorul cu predicţie este:

lθ0 iθ

KTM\*⋅K\*⋅ e-s⋅τm

(2τap⋅s+1)(TTM\*⋅s+1)(T\*⋅s+1)

## HRP

iar partea fixată

Hf= KTM\*⋅K\*⋅ e-s⋅τm/(2τap⋅s+1)(TTM\*⋅s+1)(T1\*⋅s+1)=Hf`(s)⋅ e-s⋅τm

= e-s⋅0.99

În care : T1\*=T+TG=12

* 1. **CALCULUL REGULATORULUI CU PREDICŢIE**

Setul de performante impuse este:

- eroarea staţionară la poziţie εstp=0;

- suprareglajul σ\* = 0;

- timpul de răspuns tr <tr\* sec ;

Structura pe baza căreia se va face calculul este cea din figură, urmând a determina expresia B(s) .

B(s)

e-sτm

iθ0 iθm

Structura va satisface setul de performante şi în plus pentru HR2(s) =1, avem:

HR1(s)=B(s)⋅1/Hf`(s) =

Se încearcă satisfacerea acestor deziderate dacă:

B(s)=1/TB⋅s⋅(Tmin⋅s+1) =

în care:

Tmin=min[(2τAP+TTM\*);(T1\*)] = 5.0100

iar TB va trebui determinat .

Suprareglajul σ=0 presupune poli reali in B(0).

Fie deci:

Bo(s)=1/(Tr⋅s+1)2

din care rezultă că:

Bo(s)=1/(TB⋅Tmin⋅s2+TB⋅s+1)

Prin identificare rezultă:

Tr = 10.0200

TB = 20.0400

aşa încât :

B(s) =

şi deci obţinem:

HR1 = {T1\*/4[(2τap+TTM\*)⋅s+1](2τap+TTM\*)⋅s}⋅(T1\*⋅s+1)/T1\*⋅s =

deci va fi necesar un regulator de tip PI având parametrii :

VR = 2.4346

τi=T1\*= 12

deci HR =

Cum H(s) = HR1(s).Hf'(s) deci pentru HR2=1 rezultă un H(s)=B(s), iar structura este cea din figură

IQ0  Σ HR1 Hf(s) iQ

Σ e-sτm H(s)

Se deduce că:

Ho(s) = e-sτm/(2Tmin⋅s+1)2 = e-s⋅0.99

Verificările care se impun:

Ho(s) obţinut nu are suprareglaj deoarece conţine un pol real dublu, deci avem un regim tranzitoriu aperiodic. În cazul celor doi poli confundaţi avem:

tr’=6Tmin= 30.0600

Dacă se ţine cont de timpul mort atunci regimul tranzitoriu al răspunsului indicial este: tr =6Tmin+τm= 31.0501

* 1. **Analiza rezultatelor**

Se vor compara răspunsurile indiciale obţinute în cazul aceleiaşi părţi fixate

Hf = e-s⋅0.99

folosind un regulator PI simplu, calculat pe seama impunerii unei margini de fază γ.>600

HR =

La aceeaşi treaptă iθ0(s)=1/s se vor calcula iQ(t) pentru cazul regulatorului calculat cu metoda predicţiei şi iγQ(t), corespunzător structurii H0(s). Simularea se va face în discret datorită includerii timpului mort.

A picture containing text, line, diagram, plot

Description automatically generated