

PROIECT I.R.A.		
Nume student: Ghiran Lorena	Grupa: 30131	Nota:

**REGLAREA DEBITULUI ȘI A TEMPERATURII UNUI  
MATERIAL GRANULAR**

**An universitar 2019-2020**

PROIECT I.R.A.		
Nume student: Ghiran Lorena	Grupa: 30131	Nota:

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

**n=7.7**

### Identificarea buclei de reglare a debitului

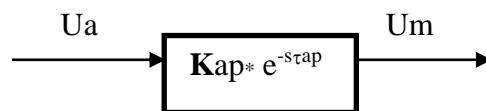
Se pleacă de la analiza elementelor componente a acestei bucle și se prezintă rezultatele identificării.

Bucula cuprinde:

- a – transportorul melcat (TM);
- b – transportorul cu cupe (TC);
- c – doza gravimetrică (DG) cu adaptor.

#### a) referitor la transportorul melcat:

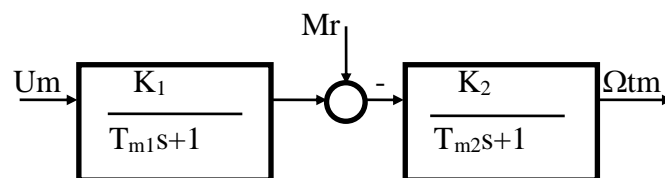
a.1.amplificatorul de putere primește la intrare tensiunea  $U_a$  și furnizează la ieșire tensiunea  $U_m$ ; are structura din figură în care:



$$K_{ap} = 21.925$$

$$\tau_{ap} = 0.01$$

a.2.motorul de antrenare primește la intrare tensiunea  $U_m$  și furnizează la ieșire mărimea  $\Omega_{tm}$ . Are structura din figură în care:



$$K_1 = 0.327 \quad [\text{Nm/V}]$$

$$K_2 = 5.77 \quad [\text{rad/sec/Nm}]$$

$$T_{m1} = 0.0654 \quad [\text{sec}]$$

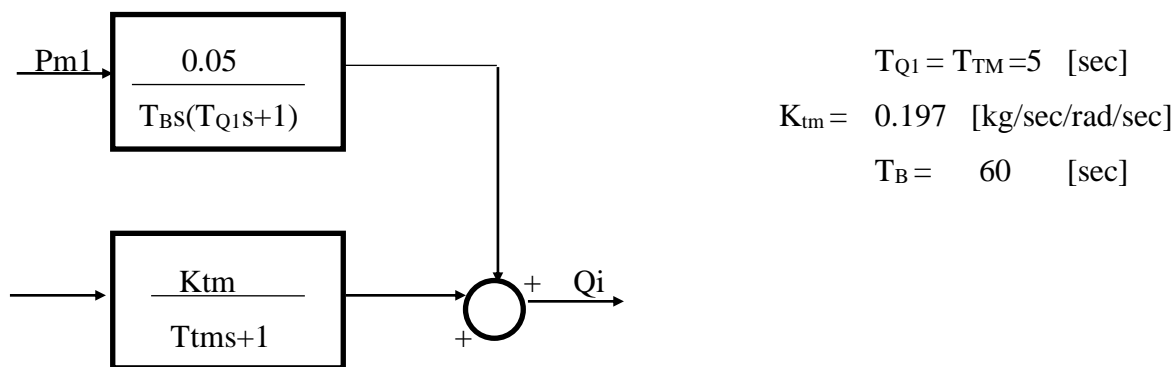
$$T_{m2} = 0.577 \quad [\text{sec}]$$

a.3.tahogeneratorul de măsurare a turației (TG) și adaptorul său primește la intrare turația  $\Omega_{tm}$  și furnizează prin adaptor o tensiune  $U_\Omega$ . Are structura din figură, în care:

PROIECT I.R.A.		
Nume student: Ghiran Lorena	Grupa: 30131	Nota:



a.4. transportorul melcat (TM) primește la intrare turația  $\Omega_{tm}$  și furnizează debit intermediar de material granular comandat. Structura este dată în figura următoare.



b) Transportorul cu cupe (TC) are la intrare debitul intermediar ( $Q_1$ ), iar la ieșire debitul ( $Q_m$ ). Structura corespunde figurii următoare, în care:



c) Doza gravimetrică cu adaptor: se consideră la intrare debitul  $Q_m$ , iar la ieșirea adaptorului curentul  $i_q$ , astfel încât, potrivit figurii următoare, avem:



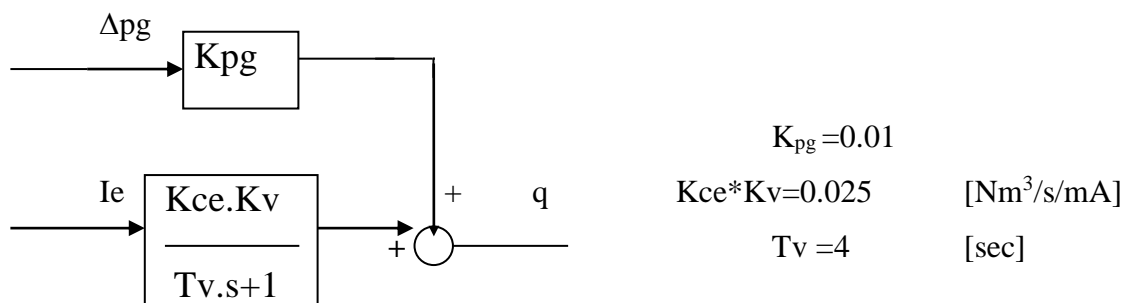
PROIECT I.R.A.		
Nume student: Ghiran Lorena	Grupa: 30131	Nota:

### Identificarea buclei de reglare a temperaturii

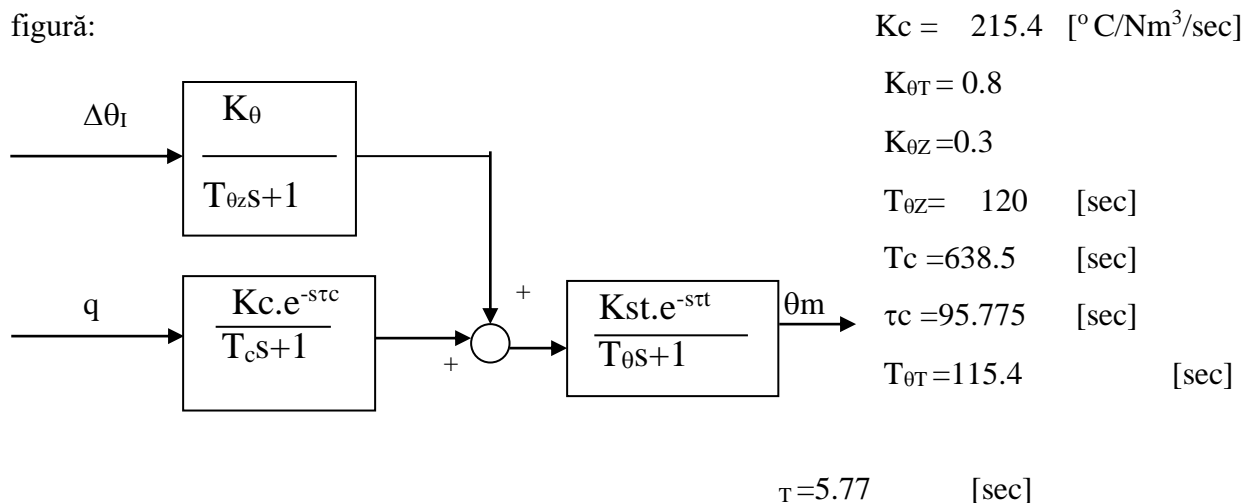
Se analizează elementele componente ale acestei bucle și se prezintă rezultatele identificării.

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

-la intrare se aplică curentul  $i_E$ , iar mărimea de ieșire este debitul de gaz metan ( $q$ )

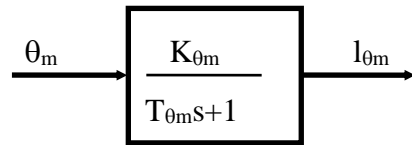


b) Cuptorul (C) se va analiza împreună cu transportorul cu cupe (TC) rezultând structura din figură:



c) Traductoarele de temperatură: pentru piometru intrarea este temperatura  $\theta_m$ , ieșirea adaptorului este curentul  $I_{\theta_m}$ , iar pentru termorezistența (TR) intrarea este temperatura aerului în cuptor, ieșirea fiind curentul  $I_{\theta_c}$ .

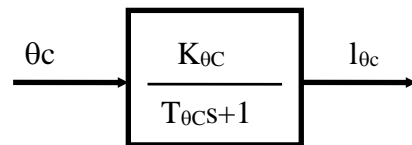
PROIECT I.R.A.		
Nume student: Ghiran Lorena	Grupa: 30131	Nota:



- pentru pirometru:

$$K_{\theta_m} = 0.16 \quad [\text{mA}/^{\circ}\text{C}]$$

$$T_{\theta_m} = 4 \quad [\text{sec}]$$



- pentru rezistență:

$$K_{\theta_c} = 0.1 \quad [\text{mA}/^{\circ}\text{C}]$$

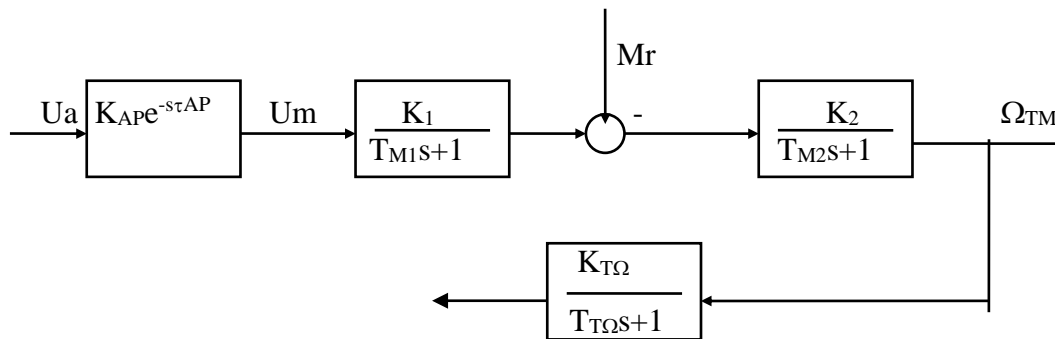
$$T_{\theta_c} = 16 \quad [\text{sec}]$$

PROIECT I.R.A.		
Nume student: Ghiran Lorena	Grupa: 30131	Nota:

## 1. CALCULUL REGULATOARELOR PRIN METODA REPARTIȚIEI POLI-ZEROURI

### 1.1. CONSIDERATII ASUPRA PĂRȚII FIXATE

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



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

- se neglijează perturbațiile ( $M_r=0$ );
- se aproximează timpul mort sub forma:

$$e^{-\tau_{AP}s} \cong \frac{1}{1 + \tau_{AP}s} = 1/(1+0.01s)$$

- se transfigurează sistemul la forma reacției negative unitare.

Întrucât  $T_{t\Omega} \ll T_{M2}$ , rezultă :

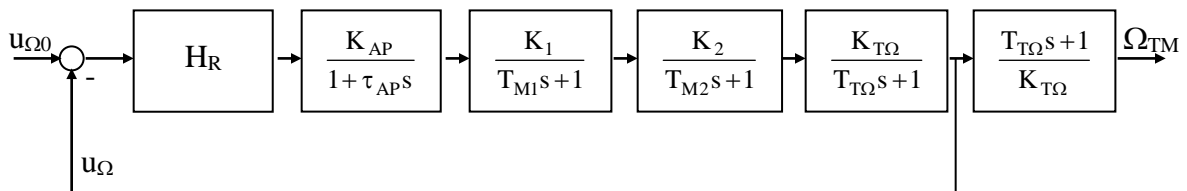
$$\frac{K_2}{T_{M2}s+1} \cdot \frac{K_{T\Omega}}{T_{T\Omega}s+1} \cong \frac{0.575}{0.585s+1}$$

în care :  $T_M^* = T_{M2} + T_{T\Omega} = 0.587$

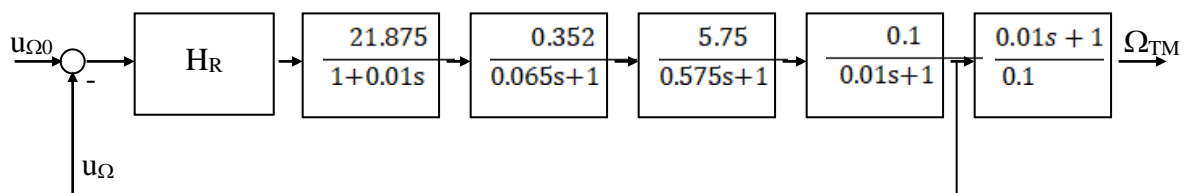
și  $K_M^* = K_2 K_{T\Omega} = 0.577$

PROIECT I.R.A.		
Nume student: Ghiran Lorena	Grupa: 30131	Nota:

d) deoarece constanta ( $T_{T\Omega}$ ) rămâne mult mai mică față de cele ale buclei, mărimile de intrare și de ieșire au aproximativ aceeași evoluție dinamică, deci se poate admite pentru bucla de reglare a turației o structură simplificată:



Adică:



În aceasta situație majoritatea performanțelor impuse asupra mărimii de ieșire  $\Omega_{TM}$  sunt valabile și pentru mărimea ( $u_\Omega$ ), excepție făcând  $\varepsilon_{stv}$  pentru care :

$$\varepsilon_{stv}(u_\Omega) = k_{T\Omega} \cdot \varepsilon_{stv}(\Omega_{TM})$$

## 1.2.CALCULUL REGULATORULUI $H_R(s)$ PENTRU CAZUL SISTEMULUI ECHIVALENT DE ORDINUL DOI NECORECTAT

a) Se impune setul de performanțe:

$$\varepsilon_{stp}^* = 0 \quad [V];$$

$$\sigma^* \leq 15 \quad [\%];$$

$$tr^* \leq 1.2 \quad [sec];$$

$$\Delta\omega_B^* \leq 12 \quad [rad/sec];$$

$$\varepsilon_{stv}^* \leq 0.15 \quad [V];$$

PROIECT I.R.A.		
Nume student: Ghiran Lorena	Grupa: 30131	Nota:

b) Se determină parametrii sistemului de ordinul doi

$$H_{02}(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2}$$

$$H_{02}(s) = \frac{47.51}{s^2 + 7.126 \cdot s + 47.51}$$

$$\xi = 0.5169$$

$$\omega_n = 6.8924$$

pornind de la performanțele impuse anterior.

c) Verificările impuse:

$$\varepsilon_{\text{stp}} = 0 \quad [\text{V}];$$

îndeplinit	neîndeplinit
------------	--------------

$$\sigma \leq 15 \quad [\%];$$

îndeplinit	neîndeplinit
------------	--------------

$$tr \leq 1.2 \quad [\text{sec}];$$

îndeplinit	neîndeplinit
------------	--------------

$$tr = 1.12227 < tr^*$$

$$\Delta\omega_B \leq 12 \quad [\text{rad/sec}];$$

îndeplinit	neîndeplinit
------------	--------------

$$\Delta\omega_B = 8.632 < 12$$

$$\varepsilon_{\text{stv}} \leq 0.15 \quad [\text{V}];$$

îndeplinit	neîndeplinit
------------	--------------

d) Determinarea analitică a regulatorului are la bază figura de la începutul capitolului în care elementul  $(1/K_{T\Omega})$  este ignorat.

$$H_f(s) = \frac{K_{AP} \cdot K_1 \cdot K_M^*}{(\tau_{AP}s + 1)(T_{M1}s + 1)(T_M^*s + 1)} =$$

$$H_f(s) = \frac{10776}{(s+100)(s+15.29)(s+1.704)}$$



# PROIECT I.R.A.

Nume student: Ghiran Lorena

Grupa: 30131

Nota:

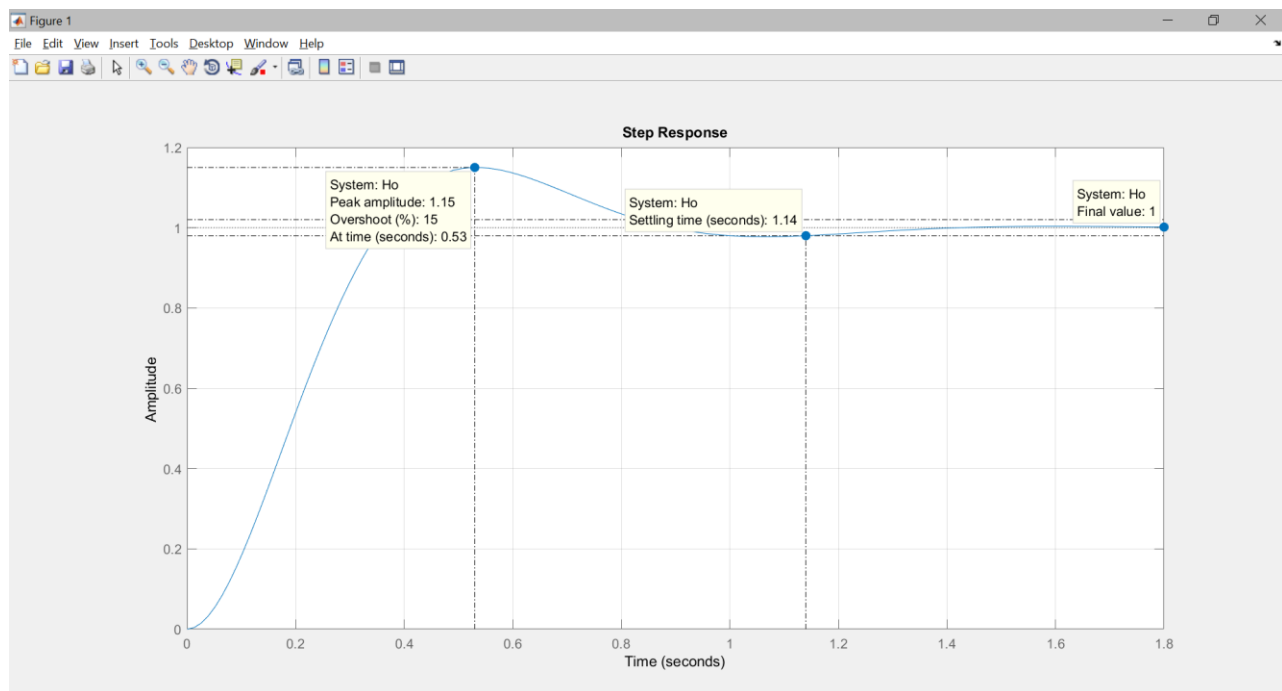
$$H_d(s) = \frac{\omega_n^2}{s(s+2\xi\omega_n)} =$$

$$H_d(s) = \frac{47.51}{s(s+7.126)}$$

$$H_{R1}(s) = \frac{\frac{\omega_n}{2\xi}}{s\left(\frac{1}{2\xi\omega_n}s+1\right)} \cdot \frac{1}{H_f(s)} =$$

$$H_{R1}(s) = \frac{0.0044085(s+100)(s+15.29)(s+1.704)}{s(s+7.126)}$$

Răspunsurile sistemului închis la intrare treaptă și rampă unitară sunt:

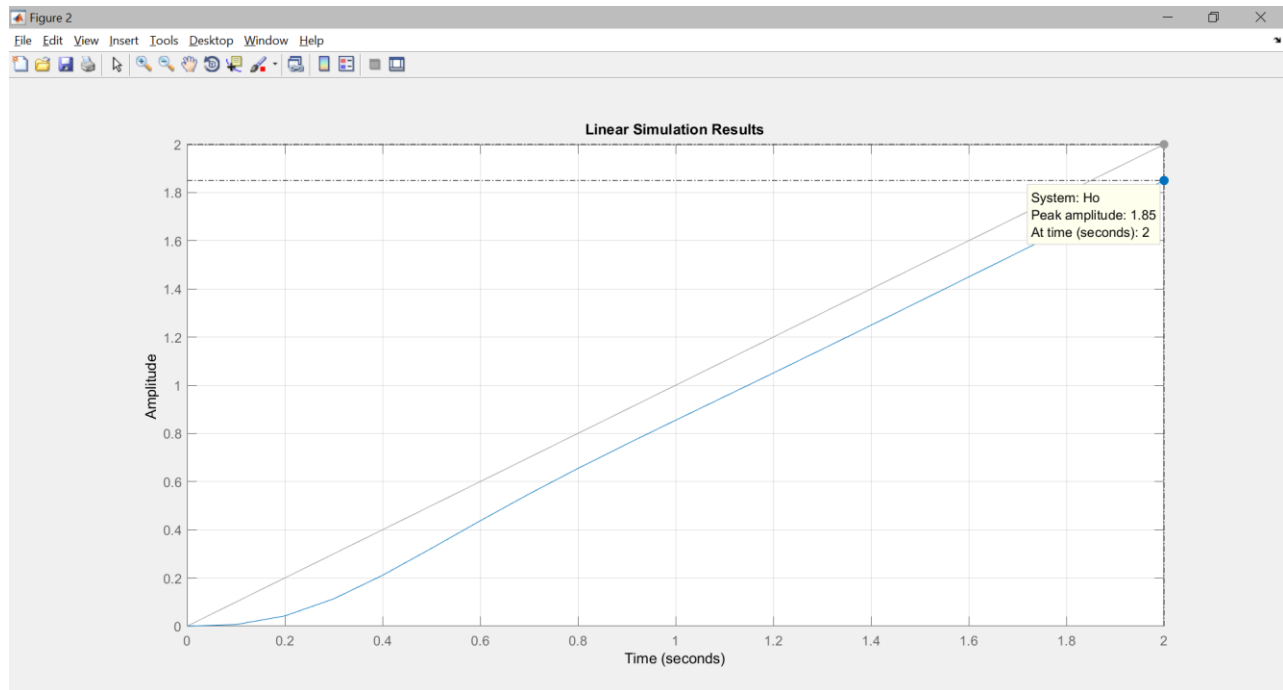


# PROIECT I.R.A.

Nume student: Ghiran Lorena

Grupa: 30131

Nota:



Forma regulatorului  $H_{R1}(s)$  este prea complicată, motiv pentru care se operează unele simplificări pentru ca relația obținută să fie de forma unor reglatoare tipizate:

d.1) Se caută să se efectueze mici modificări ale coeficientului  $(1/2\xi\omega_n)$  la forma  $(1/2\xi'\omega'_n)$  astfel ca să se poată efectua simplificări a polul din  $H_{R1}(s)$  cu unul din cele trei zerouri, fără a afecta performanțele.

$$\xi' = 0.5169$$

$$\omega'_n = 6.4483$$

$$H'_{R1} = \frac{0.0038587 (s+100) (s+15.29) (s+1.704)}{s (s+6.667)}$$

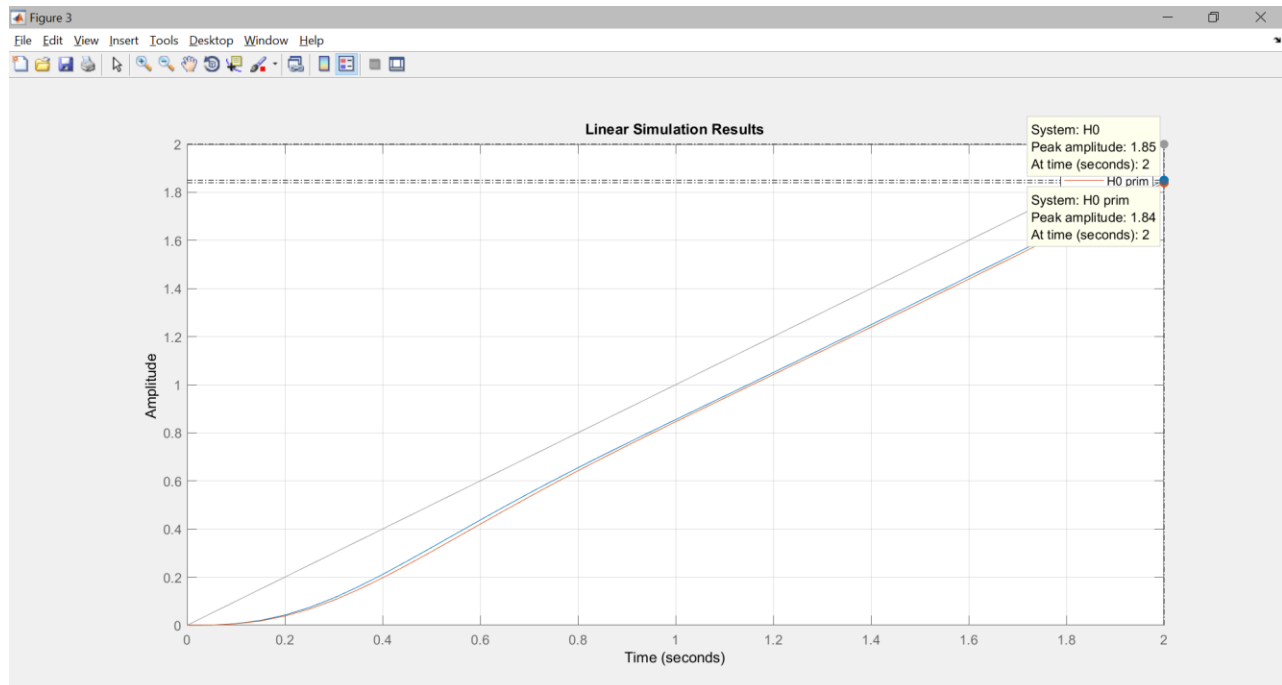
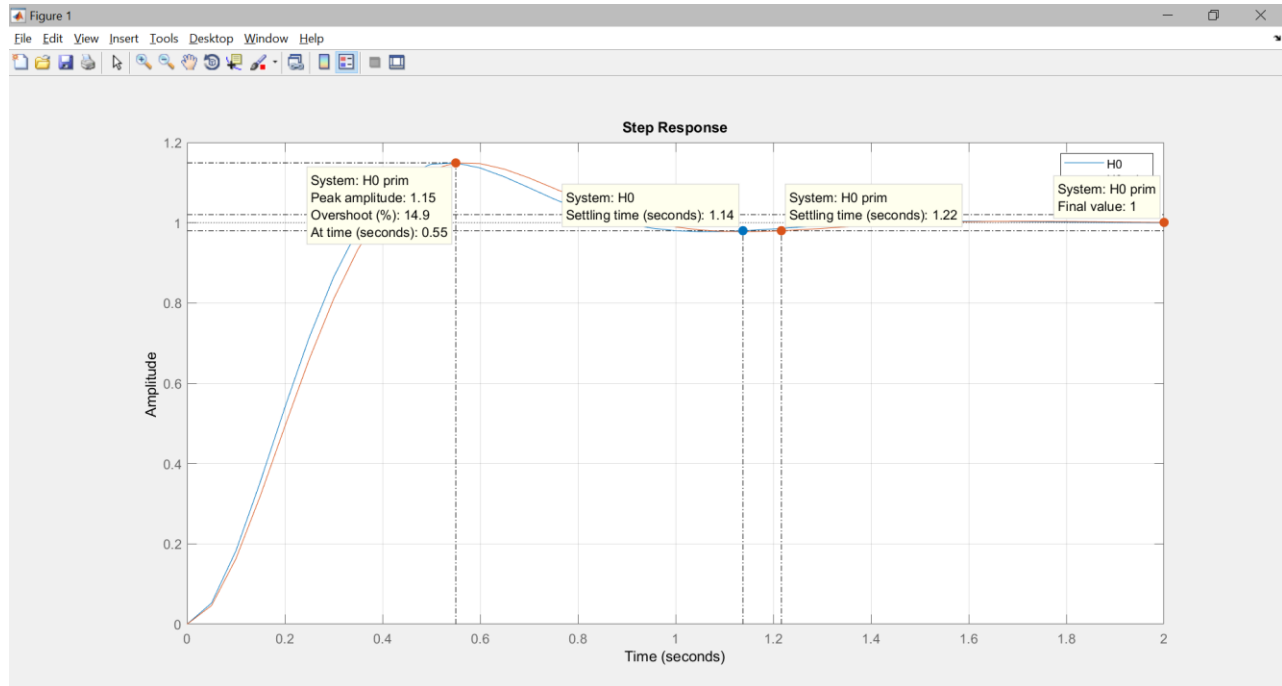
$$H'_{02} = \frac{41.581}{s^2 + 6.667 s + 41.58}$$

# PROIECT I.R.A.

Nume student: Ghiran Lorena

Grupa: 30131

Nota:



PROIECT I.R.A.		
Nume student: Ghiran Lorena	Grupa: 30131	Nota:

d.2) Se "atașează" constanta cea mai mică ( $\tau_{AP}$ ) la cea mai mare, de pildă  $T_M^*$ :

$$\begin{aligned}
 H_{R1}'' &= \frac{0.2578 s^2 + 4.4 s + 6.667}{0.5737 s^2 + 4.088 s} = \frac{0.41948 (s+15.29) (s+1.675)}{s (s+6.667)} \\
 &= V_R * (1 + 1/\tau_i * s + T_d * s / T_{NS} + 1) \\
 &= \frac{V_R}{1 + T_{NS}} \left( 1 + \frac{1}{s T_i} + s T_d \right)
 \end{aligned}$$

$$H_{02}'' = \frac{4831.7 (s+15.38) (s+1.681)}{(s+100.5) (s+15.38) (s+1.674) (s^2 + 6.646s + 48.26)}$$

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 și rezultă parametrii:

$$V_R = 1.01$$

$$\tau_i = 0.66$$

$$\tau_d = 0.05$$

$$T_N = 0.149$$

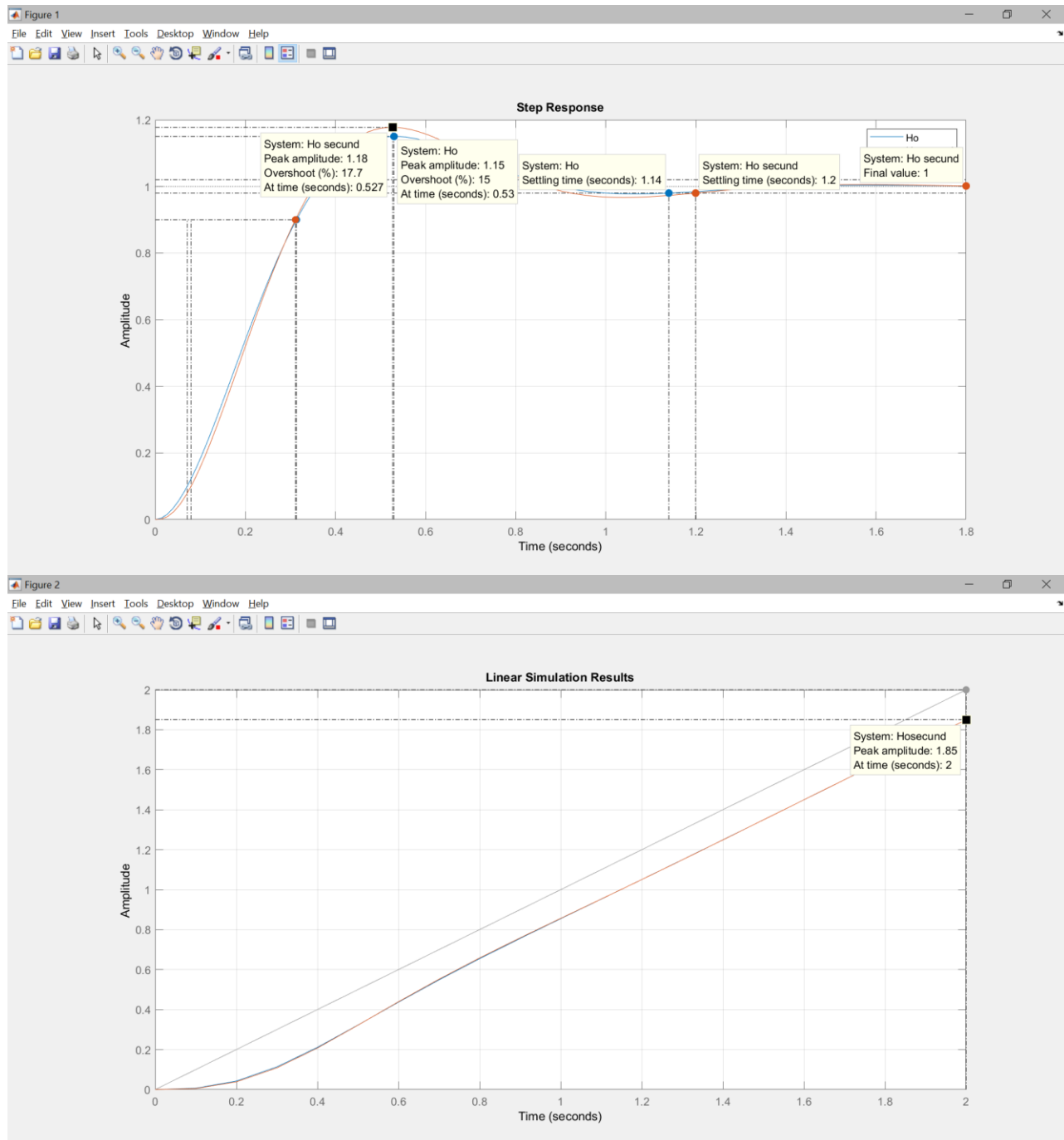
Se trasează grafic răspunsul sistemului închis  $H_{02}'$  și  $H_{02}''$  pentru o intrare treaptă unitară respectiv rampă în comparație cu răspunsul sistemului închis  $H_{02}$ .

# PROIECT I.R.A.

Nume student: Ghiran Lorena

Grupa: 30131

Nota:



PROIECT I.R.A.		
Nume student: Ghiran Lorena	Grupa: 30131	Nota:

**Concluzii:**

- Doar regulatorul  $Hr1''$  are o formă implementabilă fizic si bucla lui bucla lui inchisa are cele mai bune performante.

PROIECT I.R.A.		
Nume student: Ghiran Lorena	Grupa: 30131	Nota:

### 1.3. CALCULUL REGULATORULUI $H_{R2}$ PENTRU CAZUL SISTEMULUI DE ORDINUL DOI CORECTAT (CORECTIA CU DIPOL)

a) Setul de performante impus este mai sever:

$$\begin{aligned}\varepsilon_{\text{stp}} &= 0 && ; \\ \sigma &\leq 10 && [\%]; \\ t_r &\leq 1 && [\text{sec}]; \\ \Delta\omega_B &\leq 12 && [\text{rad/sec}]; \\ \varepsilon_{\text{stv}} &\leq 0.05 && [\text{V}];\end{aligned}$$

e) Se determină parametrii sistemului de ordinul doi

$$\begin{aligned}H_{02}(s) &= \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2} \\ H_{02}(s) &= \frac{559.14}{s^2 + 27.96s + 559.1} \\ \xi &= 0.5912 \\ \omega_n &= 23.6462\end{aligned}$$

Pornind de la performanțele de mai sus se verifică referitoare la performanțele sistemului și rezultă că nu sunt îndeplinite următoarele performanțe:

$$\Delta\omega_B \leq 12 [\text{rad/sec}], \text{ deoarece } \Delta\omega_B = 27.42 [\text{rad/sec}]$$

Performanțele fiind afectate se recurge la corecția sistemului închis ajungând la forma:

$$H_{0c}(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2} \cdot \frac{s + z_c}{s + p_c} \cdot \frac{p_c}{z_c}$$

Calculul valorilor polului și zeroului de corecție:

$$\begin{aligned}p_c &= 0.5994 \\ z_c &= 0.5709\end{aligned}$$

PROIECT I.R.A.		
Nume student: Ghiran Lorena	Grupa: 30131	Nota:

b) Verificarea se referă doar la timpul de răspuns care are valoarea:

$$tr = 0.5603[\text{sec}];$$

$$\text{deci } tr < tr_{\text{impus}} = 1$$

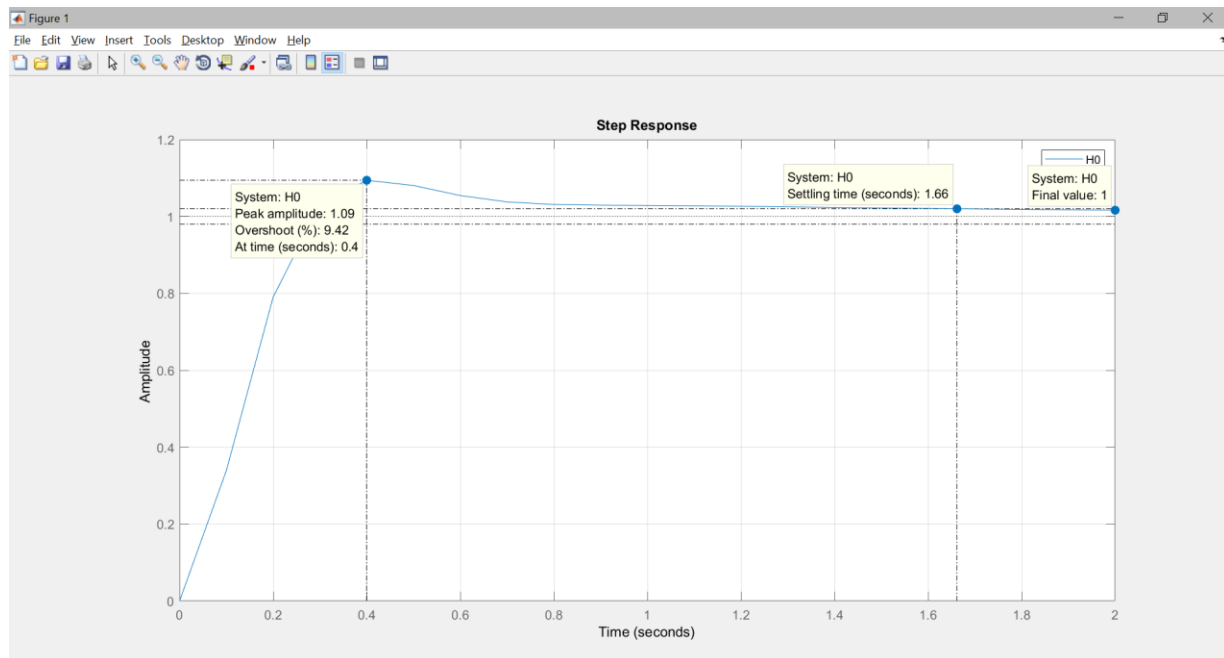
c) Determinarea analitică a regulatorului  $H_{R2}(s)$

$$H_{R2}(s) = \frac{H_{0C}(s)}{1 - H_{0C}(s)} \cdot \frac{1}{H_f(s)} =$$

$$H_{0C}(s) = \frac{112.38 (s+0.5709)}{(s+0.5994) (s^2 + 14.28s + 107)}$$

$$H_{R2} = \frac{0.059909 (s+100) (s+15.29) (s+3.067) (s+0.5709) (s+0.05)}{s (s+14.66) (s+0.2188)}$$

Răspunsurile sistemului închis la intrare treaptă și rampă unitară sunt:



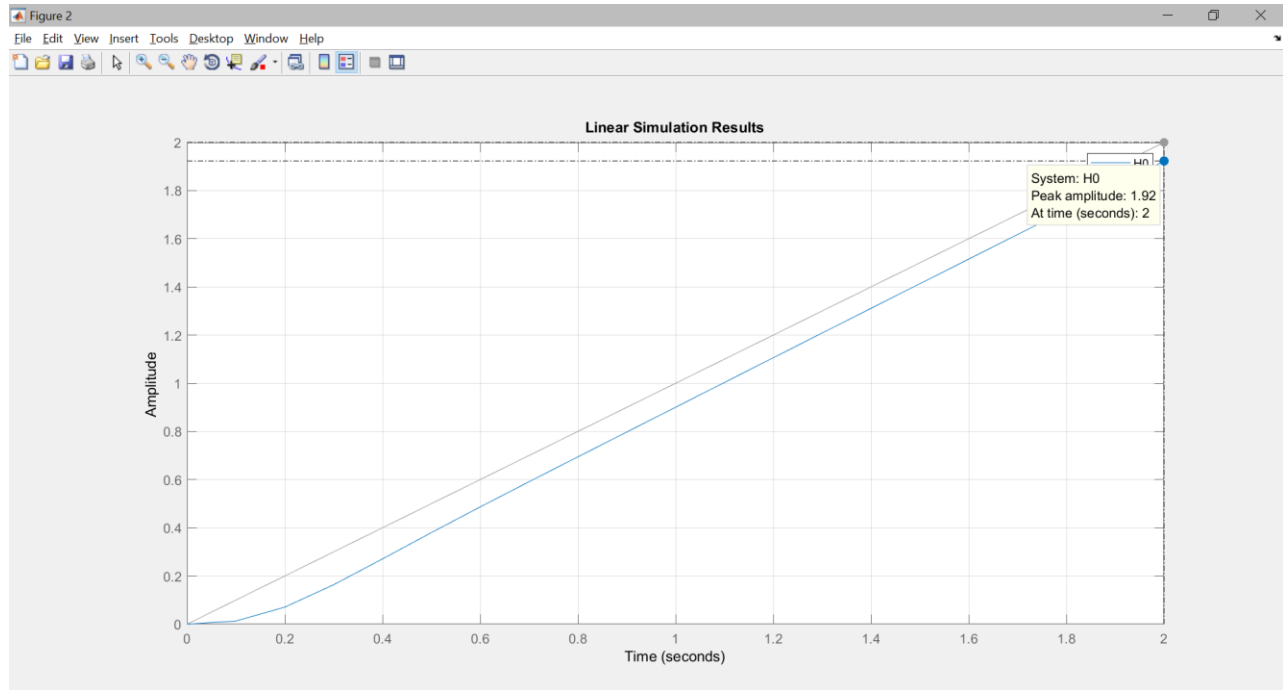


# PROIECT I.R.A.

Nume student: Ghiran Lorena

Grupa: 30131

Nota:



Forma regulatorului  $H_{R2}(s)$  este prea complicată, motiv pentru care se operează unele simplificări pentru ca relația obținută să fie de forma unor regulatoare tipizate:

d.1) Se simplifică grupul  $\frac{Ts+1}{\beta\left(\frac{1}{\beta}s+1\right)} \cong \frac{1}{\beta}\left[\left(T-\frac{1}{\beta}\right)s+1\right]$  dacă  $T > 5\left(\frac{1}{\beta}\right)$

Astfel:

$$H'_{R2} = \frac{0.00062875 (s+100) (s+15.29) (s+1.928) (s+0.5709)}{s (s+0.2188)}$$

$$H'_{0C} = \frac{6.7752 (s+1.928) (s+0.5709)}{(s+6.036) (s+2.063) (s+0.5988)}$$

PROIECT I.R.A.		
Nume student: Ghiran Lorena	Grupa: 30131	Nota:

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

$$H_{R2}'' = \frac{0.063233 (s+15.29) (s+1.928) (s+0.5677)}{s (s+0.2188)}$$

$$H_{0C}'' = \frac{681.08 (s+1.935) (s+0.5677)}{(s+92.69) (s+6.576) (s+2.056) (s+0.5948)}$$

d.3) Se caută o simplificare a grupurilor  $\frac{Ts+1}{s+\beta} = \frac{Ts+1}{\beta \left( \frac{1}{\beta} s + 1 \right)} \cong \frac{1}{\beta}$  admisibilă în general dacă

$$\frac{T}{\frac{1}{\beta}} \in \left( \frac{1}{5} \div 5 \right)$$

$$H_{R2}''' = \frac{0.16403 (s+15.29) (s+1.928)}{s}$$

$$H_{0C}''' = \frac{1766.8 (s+1.935)}{(s+77.16) (s+22.59) (s+1.955)}$$

d) Determinarea parametrilor de acord a regulatorului:

$$K_p = 2.8242$$

$$K_i = 4.8339$$

$$K_d = 0.16403$$

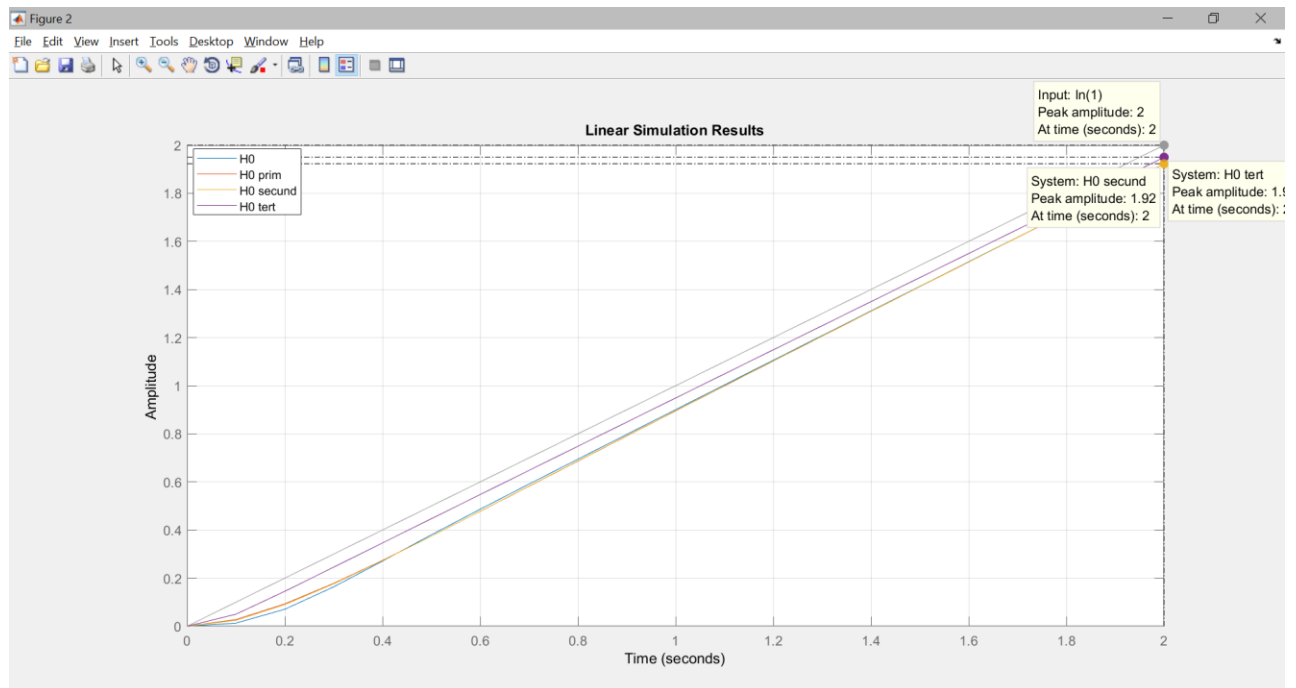
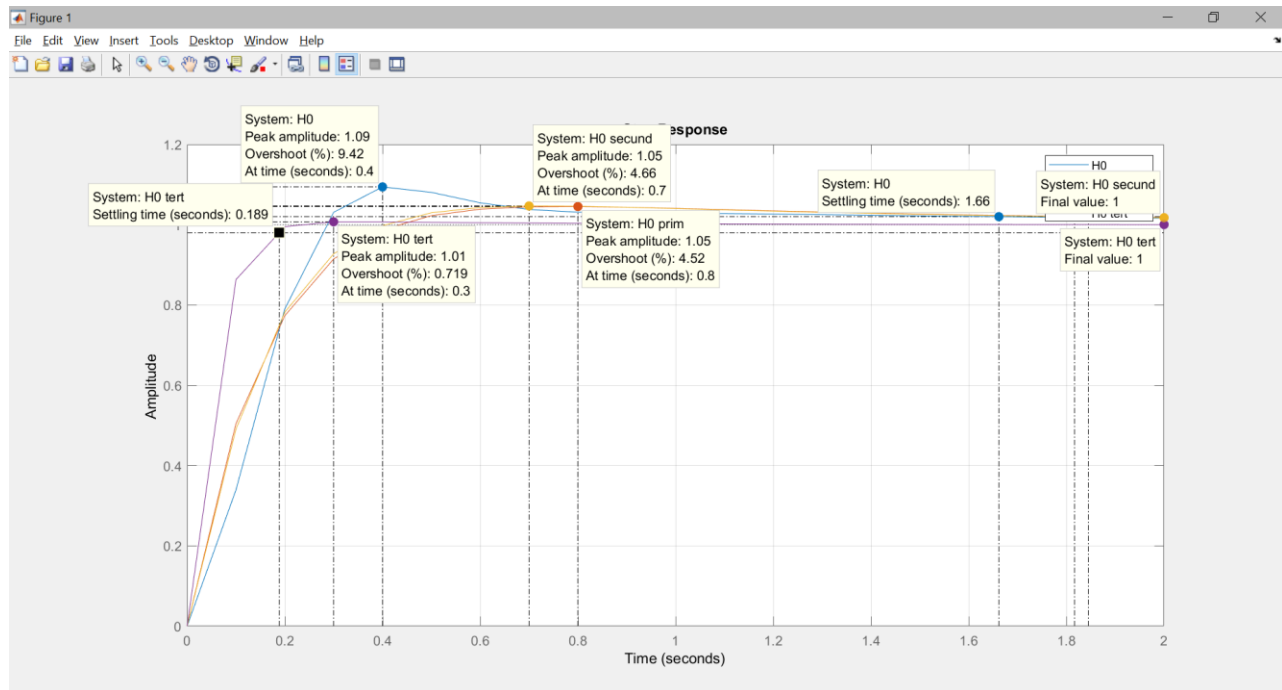
Se trasează grafic răspunsul sistemului închis  $H_{0C}'$ ,  $H_{0C}''$  și  $H_{0C}'''$  pentru o intrare treaptă respectiv rampă unitară în comparație cu răspunsul sistemului închis  $H_{0C}$ .

# PROIECT I.R.A.

Nume student: Ghiran Lorena

Grupa: 30131

Nota:



PROIECT I.R.A.		
Nume student: Ghiran Lorena	Grupa: 30131	Nota:

### Concluzii:

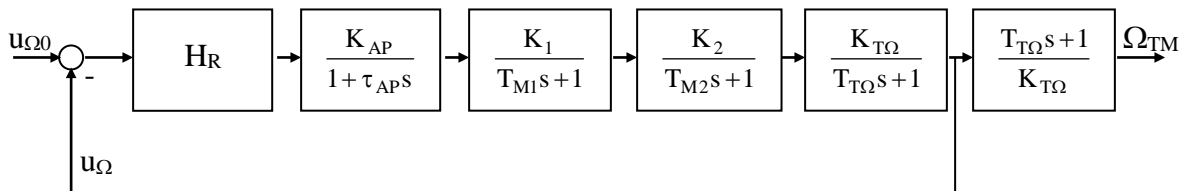
1. Cel mai bun regulator pe care l-am calculat cu această metodă este  $H_{R2}'''$  și asta se datorează performanțelor sistemului închis  $H_{OC}'''$ .
2. Celelalte regulatoare au o formă foarte complexă care ar fi foarte greu de implementat fizic într-un sistem.

PROIECT I.R.A.		
Nume student: Ghiran Lorena	Grupa: 30131	Nota:

## 2.CALCULUL REGULATOARELOR PRIN METODE FRECVENȚIALE PE BAZA SISTEMULUI ECHIVALENT DE ORDINUL DOI

### 2.1.CONSIDERAȚII ASUPRA PĂRȚII FIXATE

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



$$\frac{K_{AP}}{\tau_{AP}s+1} \cdot \frac{K_1}{T_{M1}s+1} \cong \frac{K_f}{T_f s+1} = \frac{7.1}{0.075s+1}$$

$$\begin{cases} T_f = \tau_{AP} + T_{M1} = 0.075 \\ K_f = K_{AP} \cdot K_1 = 7.1 \end{cases}$$

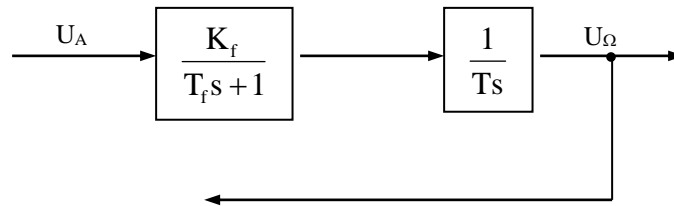
De asemenea se neglijează frecările vâscoase ale rotorului, așa încât:

$$\frac{K_M^*}{T_M^* s+1} \cong \frac{K_M^*}{T_M^* s} = \frac{1}{\frac{T_M^*}{K_M^*} s+1} = \frac{1}{T s} = \frac{1}{1.0174s}$$

$$T = \frac{T_M^*}{K_M^*} = 1.0174$$

rezultând structura din figura următoare, performanțele fiind impuse mărimii ( $U_\Omega$ ) întrucât calcularea lor în raport cu mărimea ( $\Omega_{TM}$ ) e foarte simplă.

PROIECT I.R.A.		
Nume student: Ghiran Lorena	Grupa: 30131	Nota:



## 2.2.DETERMINAREA FACTORULUI ( $V_R$ ) AL UNUI REGULATOR P

a) Se impune următorul set de performanțe:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{\text{stp}} &= 0 & [\text{V}]; \\ \sigma &\leq 15 & [\%]; \\ \text{tr} &\leq 1 & [\text{sec}]; \\ \Delta\omega_B &\leq 10 & [\text{rad/sec}]; \\ c_v &> 5 & [1/\text{V}]; \end{aligned}$$

b) Calculul factorului de amplificare ( $V_R$ )

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

$$H_f(s) = \frac{K_f}{s(TT_f s + 1)} = \frac{7.17}{0.0767 s^2 + 1.017 s}$$

-Se determină pulsația de tăiere ( $\omega_t$ ) și cea de frângere ( $\omega_f$ ).

$$\begin{aligned} \omega_t &= 6.3 [\text{rad/sec}] \\ \omega_f &= 13.26 [\text{rad/sec}] \end{aligned}$$

- Se determină factorul ( $\xi$ ) corespunzător suprareglajului impus  $\sigma = \sigma^*$  și se calculează valoarea  $|A|$ :

$$\begin{aligned} \sigma &= 0.15 \\ |A| &\cong \frac{1}{4\xi^2} = 0.6615 = -3.5888 \text{ db} \end{aligned}$$

care apoi se reprezintă în decibeli. La  $\omega = \omega_f$  rezultă punctul N.

PROIECT I.R.A.		
Nume student: Ghiran Lorena	Grupa: 30131	Nota:

- Se translatează caracteristica inițială ( $H_f$ ) pentru a avea frângerea în N, rezultând astfel forma finală a buclei directe, deschise ( $H_r = 1$ ). Este evident că:

$$\overline{FN} = V_R|_{dB} = 4.9135 \text{ dB} = 1.7607$$

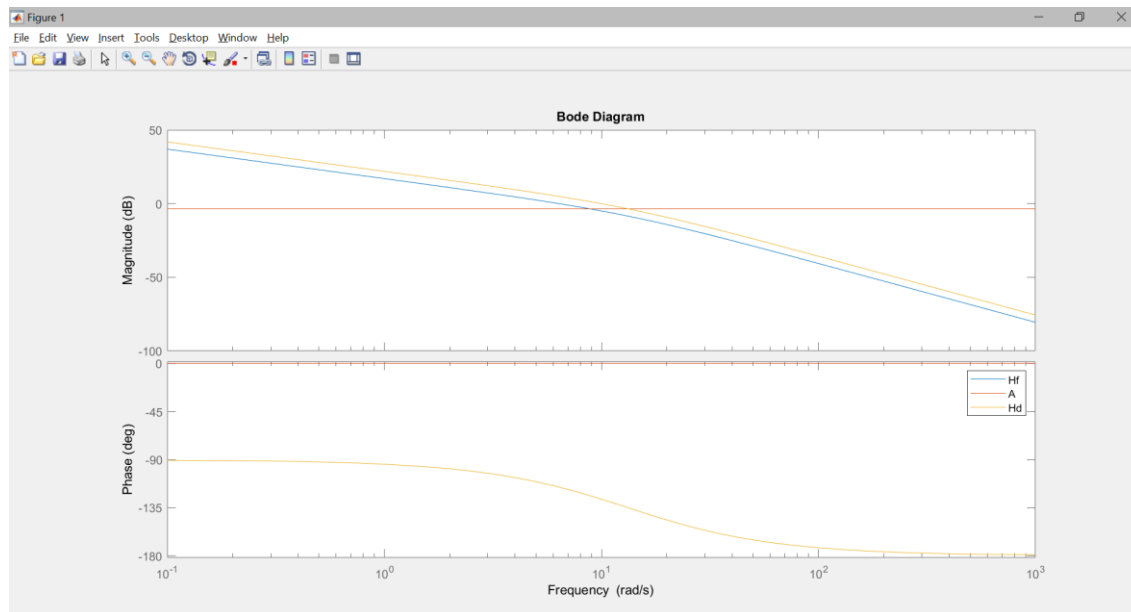
acordând atenție sensului translației necesare.

- Verificările necesare se referă la următoarele performanțe:
  - o Timpul de răspuns: presupune citirea pulsației ( $\omega_t$ ) din diagramele logaritmice și întrucât  $\omega_t = \frac{\omega_n}{2\xi}$  rezultă  $\omega_n = 2\xi\omega_t$ , deci trebuie ca  $t_r = \frac{4}{\xi\omega_n} \leq t_r^*$ ;  
 $\omega_n = 3.552 \Rightarrow t_r = 7.86 > 1$
  - o Coeficientul erorii staționare la viteză, care se citește direct din diagramele logaritmice la  $\omega = 1$ , fiind necesar ca  $c_v \geq c_v^*$ ;  
 $c_v = 12.4 > 5$
  - o Lărgimea benzii de trecere se ia orientativ  $\Delta\omega_B \cong \omega_t$ .  
 $\Rightarrow \Delta\omega_B \cong 5.43$

Timpul de răspuns nu este cel dorit, deci vom proiecta un regulator PI.

În continuare se reprezintă răspunsurile sistemului în buclă închisă la intrare treaptă respectiv rampă unitară:  $H_o = \frac{17.95}{0.0763 s^2 + 1.017 s + 17.95} = \frac{12.62}{0.07671 s^2 + 1.017 s + 12.62}$

## Grafice

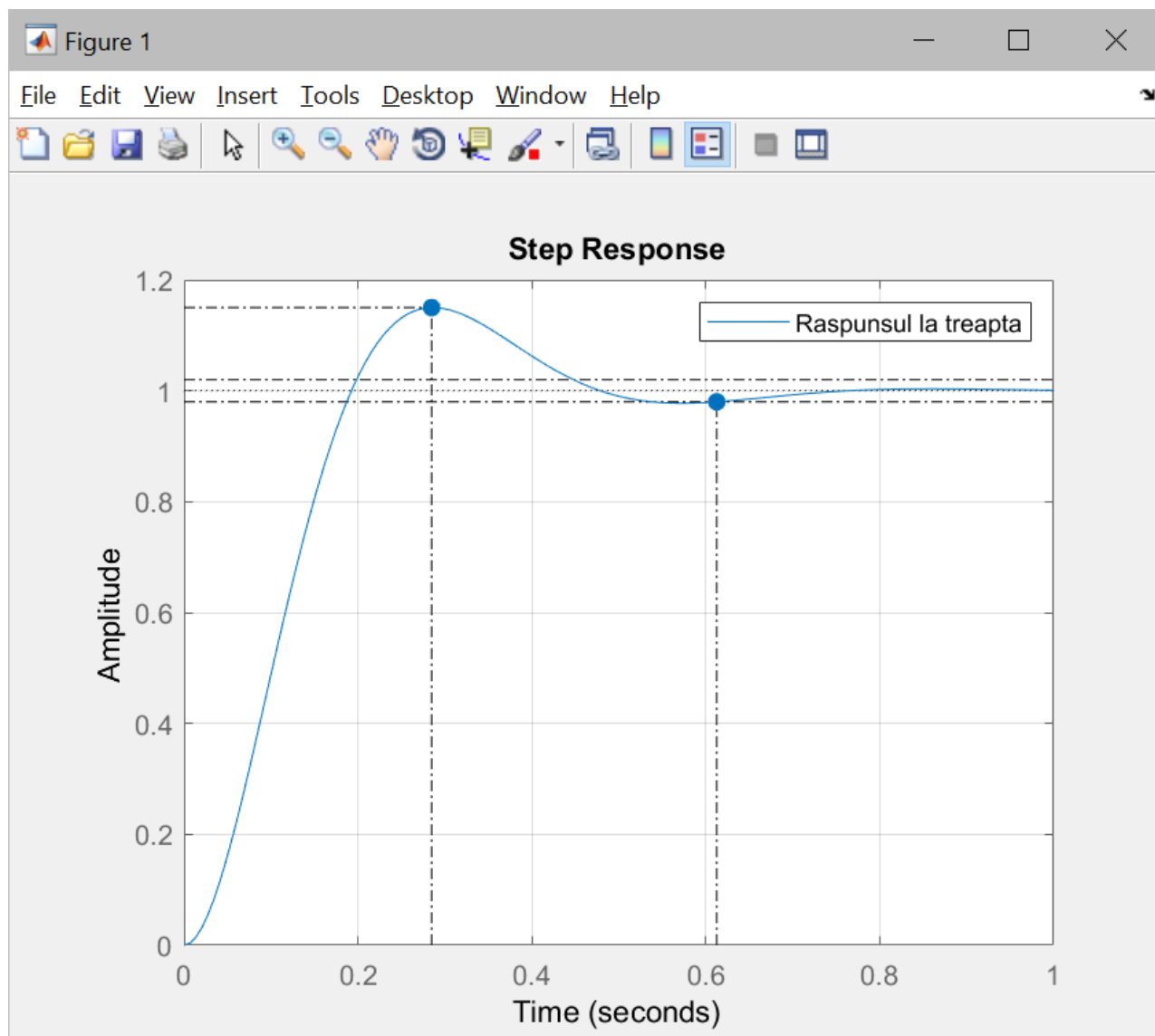


# PROIECT I.R.A.

Nume student: Ghiran Lorena

Grupa: 30131

Nota:



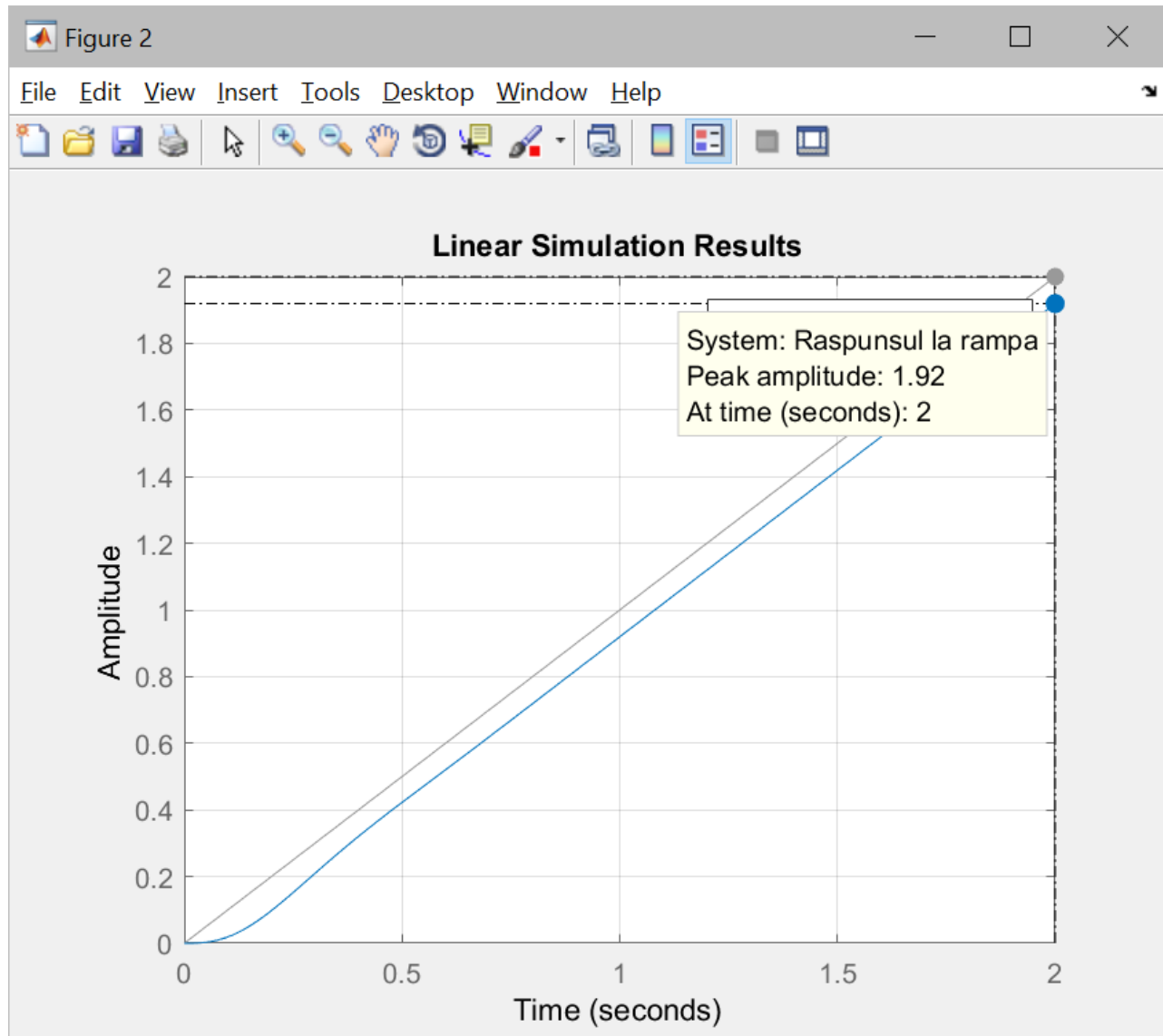


## PROIECT I.R.A.

Nume student: Ghiran Lorena

Grupa: 30131

Nota:



### Concluzii

Dupa ce am calculat un regulator de tip P am observat ca nu sunt indeplinite toate performatele impuse, tr este mult mai mare. Urmeaza sa calculam un regulator de tip PI.

PROIECT I.R.A.		
Nume student: Ghiran Lorena	Grupa: 30131	Nota:

Performanțele obținute cu regulatorul de tip P sunt:

$$\text{Estp}^*=0 \quad \checkmark$$

$$\sigma^* = 15 \quad \checkmark$$

$$\text{tr}^* \leq \text{tr} \Leftrightarrow 1.2 > 1 \quad \text{X}$$

$$\text{cv}^* > \text{cv} \Leftrightarrow 12.47 > 5 \quad \checkmark$$

$$\Delta\omega_B^* \leq \Delta\omega_B \Leftrightarrow 5.43 > 10 \quad \checkmark$$

PROIECT I.R.A.		
Nume student: Ghiran Lorena	Grupa: 30131	Nota:

## DETERMINAREA PARAMETRILOR UNUI REGULATOR PI

a) Se impune următorul set de performanțe:

$$\begin{aligned}\varepsilon_{\text{stp}}^* &= 0 & [\text{V}]; \\ \sigma^* &\leq 7.5 & [\%]; \\ \text{tr}^* &\leq 1 & [\text{sec}]; \\ \Delta\omega_B &\leq 10 & [\text{rad/sec}]; \\ c_v^* &\geq 10 & [1/\text{V}];\end{aligned}$$

Se încearcă folosirea unui regulator simplu de tip proporțional, dar acesta nu poate satisface toate performanțele impuse, în special cea referitoare la coeficientul erorii staționare la viteză. În aceste condiții se recomandă folosirea unui regulator de tip PI.

b) Calculul parametrilor regulatorului

Structura acestui regulator este:

$$H_{\text{PI}}(s) = V_R \frac{1 + sT_z}{1 + sT_p}.$$

Pentru determinarea grafo-analitică a parametrilor se reprezintă mai întâi în diagrame logaritmice  $H_f(j\omega)$ , diagrama de modul și dreapta  $|A|$ , rezultând punctele F și N (vezi capitol 2.2). Se determină apoi grafic pulsația ( $\omega_t$ ) și coeficientul ( $c_v$ ) la  $\omega = 1$ .

Se plasează pulsațiile ( $\omega_z$ ) și ( $\omega_p$ ) astfel încât:

$$\begin{cases} \omega_z \approx 0,1\omega_t = 0.63 \\ \omega_p = \frac{c_v}{c_v^*} \omega_z = 0.39 \end{cases}$$

în care ( $\omega_p < \omega_z$ ). Cu ajutorul acestor pulsații se poate determina structura directă, deschisă a sistemului cu regulator PI (notat  $H_{\text{dC}}$ ). Parametrii regulatorului sunt:

$$\begin{cases} V_R|_{\text{dB}} = 1.9423 \\ T_z = \frac{1}{\omega_z} = \frac{1}{0,1\omega_t} = 1.5873 \\ T_p = \frac{1}{\omega_p} = \frac{1}{\omega_z} \cdot \frac{c_v^*}{c_v} = 2.5195 \end{cases}$$

## PROIECT I.R.A.

Nume student: Ghiran Lorena

Grupa: 30131

Nota:

### Verificările necesare:

Pt ca performantele au fost schimbate nu am putut lua cv-ul utilizat inainte pentru ca ar fi fost gresit. S-a schimbat valoarea suprareglajului, deci s-a schimbat si valoarea lui zeta. Prin urmare, am calculat alt  $\omega_n$  si zeta.

Am obținut următoarele performanțe:

$$E_{sp}^* = 0 \quad \checkmark$$

$$\sigma^* = 10.4 > 7.5 \quad \text{X}$$

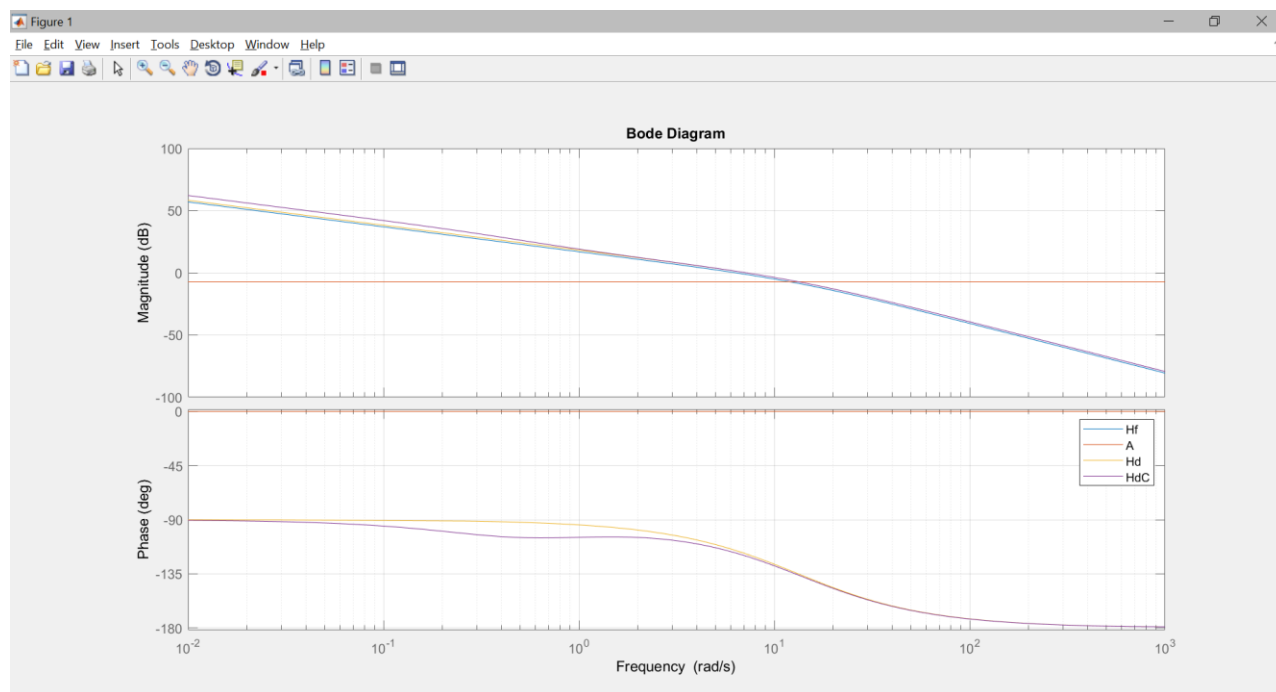
$$tr^* \leq tr \Leftrightarrow 0.68 < 1 \quad \checkmark$$

$$cv^* > cv \Leftrightarrow 8.07 < 10 \quad \text{X}$$

$$\Delta\omega_B^* \leq \Delta\omega_B \Leftrightarrow 11.22 > 10 \quad \text{X}$$

Nu s-a corectat.

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

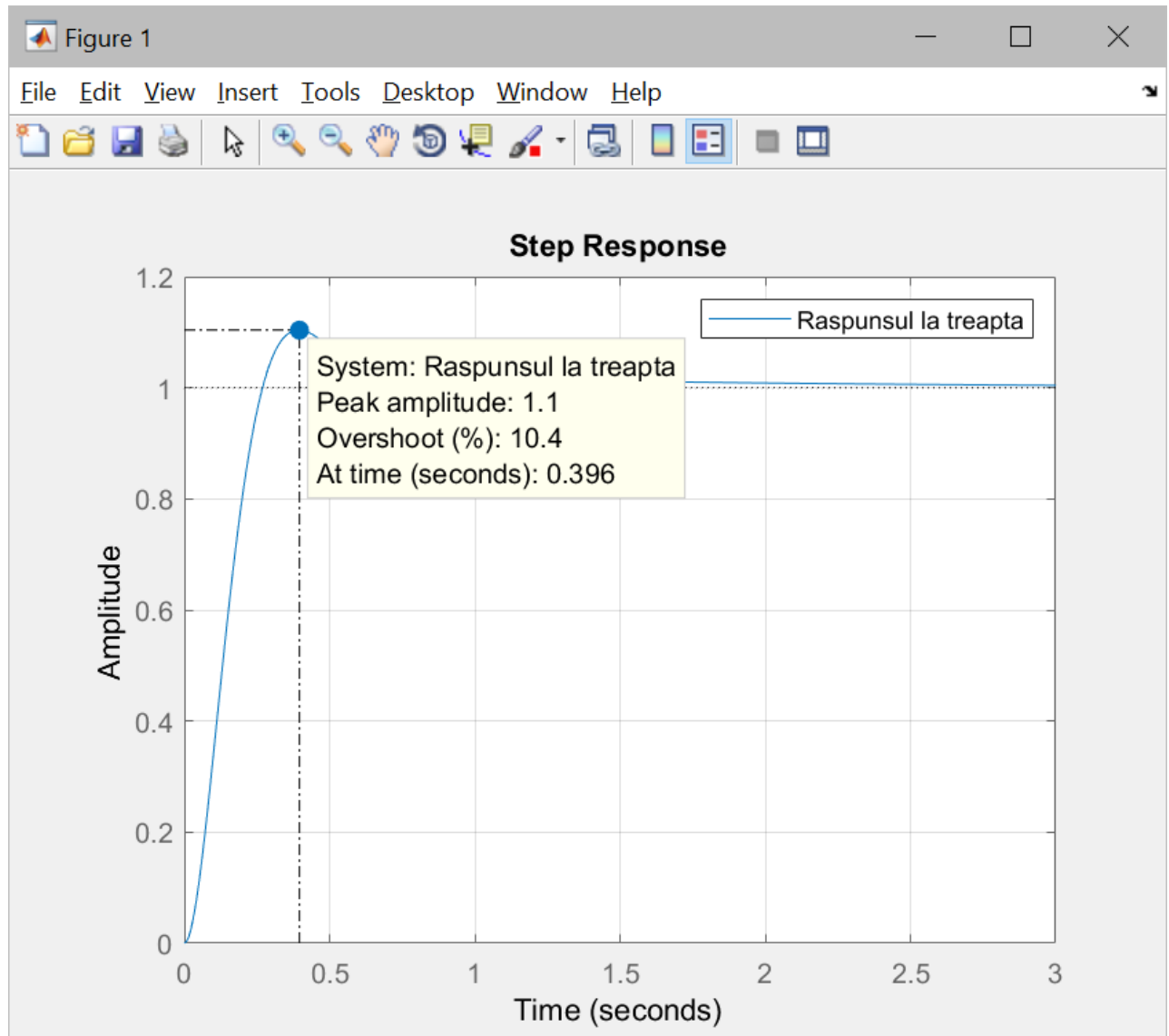


# PROIECT I.R.A.

Nume student: Ghiran Lorena

Grupa: 30131

Nota:

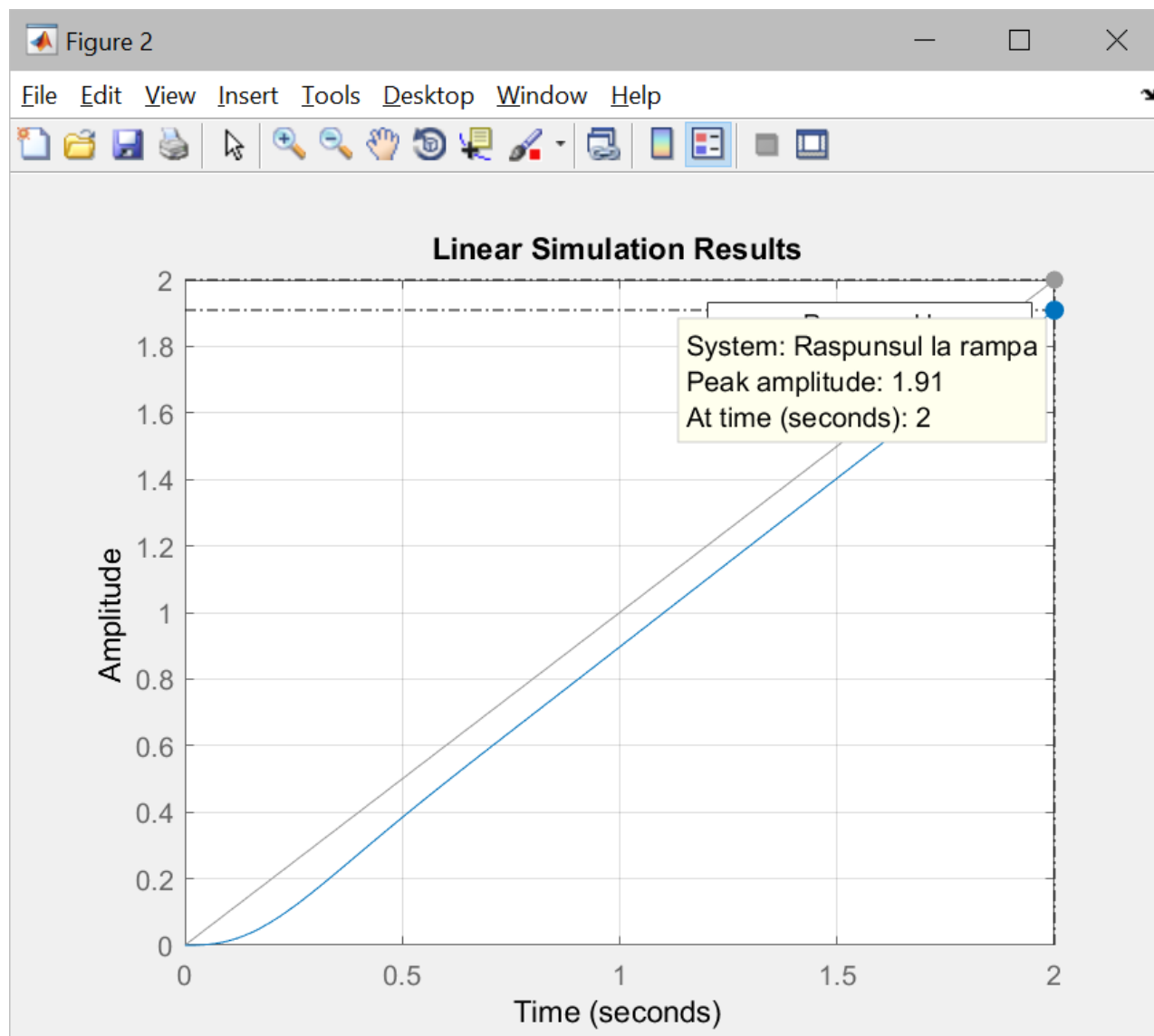


## PROIECT I.R.A.

Nume student: Ghiran Lorena

Grupa: 30131

Nota:



### Concluzii:

Cu regulatorul de tip PI am ajuns la o lăţime de bandă mai apropiată de 10, dar nu se mai potrivesc suprareglajul şi eroarea la viteză. Vom proiecta în continuare un PD.

PROIECT I.R.A.		
Nume student: Ghiran Lorena	Grupa: 30131	Nota:

### 2.3. DETERMINAREA UNUI REGULATOR PD

a) Se impune următorul set de performanțe:

$$\begin{aligned}\varepsilon_{\text{stp}} &= 0 & [\text{V}]; \\ \sigma &\leq 10 & [\%]; \\ t_r &\leq 0.5 & [\text{sec}]; \\ \Delta\omega_B &\leq 10 & [\text{rad/sec}]; \\ c_v &\geq 5 & [1/\text{V}];\end{aligned}$$

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

b) Calculul parametrilor regulatorului

Structura acestui regulator este:

$$H_{\text{PD}} = V_R \frac{1 + \tau_D s}{1 + T_N s}.$$

Pentru determinarea parametrilor se reprezintă mai întâi în diagrame logaritmice  $H_f(j\omega)$ , diagrama de modul și dreapta  $|A|$ , rezultând punctele F și N (vezi capitol 2.2).

Se calculează  $\omega_{t1} = 9.9 [\text{rad/sec}]$

$$\text{de unde } t_r = \frac{2}{\xi^2 \omega_{t1}} = 0.5781 [\text{sec}]$$

$$\text{iar din } t_r^* = \frac{2}{\xi^2 \omega_{t2}} \text{ rezultă } \omega_{t2} = \omega_{t1} \frac{t_r}{t_r^*} = 11.4461 [\text{rad/sec}]$$

Se plasează pe axa pulsațiilor  $\omega = \omega_{t2}$ , reprezentând structura deschisă finală.

Se deduc parametrii acestui regulator PD:

$$\begin{cases} V_R|_{dB} = 1.5782 \\ \tau_d = 0.0750 \\ T_N = 0.0649 \end{cases}$$

# PROIECT I.R.A.

Nume student: Ghiran Lorena

Grupa: 30131

Nota:

Verificarea performanțelor:

$E_{stp}^* = 0$  ✓

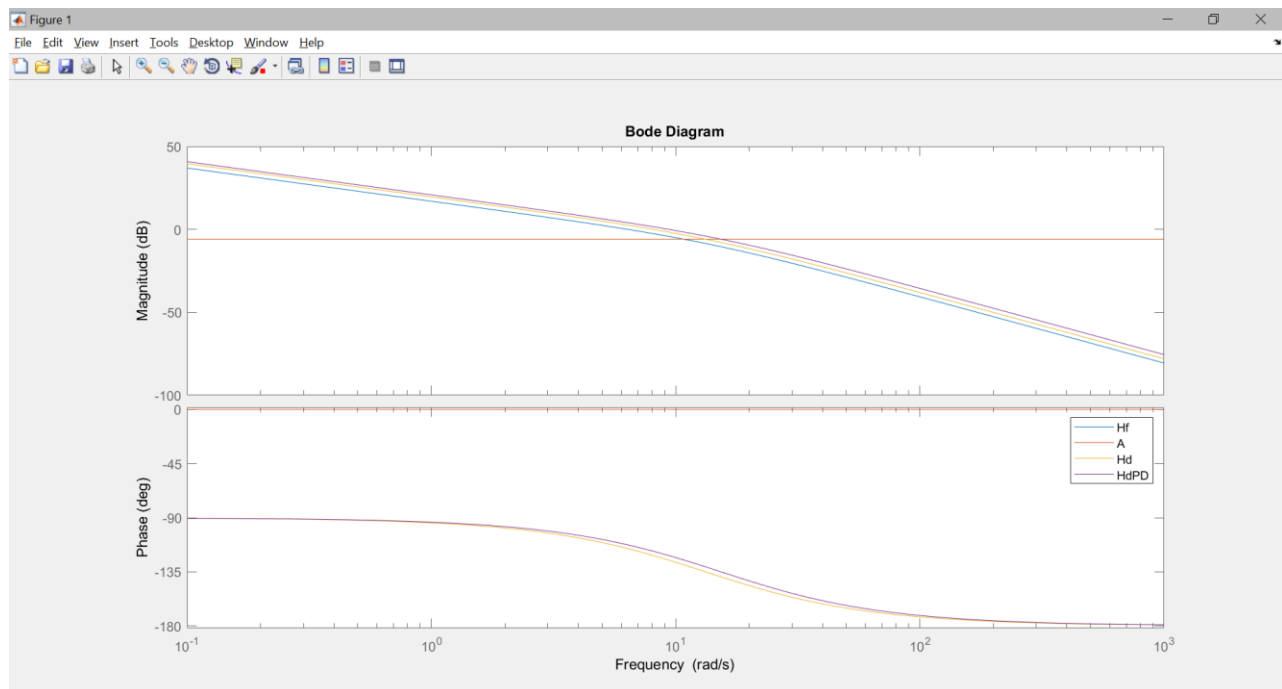
$\sigma^* = 10$  ✓

$tr^* \leq tr \Leftrightarrow 0.538 > 0.5$  X

$cv^* > cv \Leftrightarrow 9.4 > 5$  ✓

$\Delta\omega_B^* \leq \Delta\omega_B \Leftrightarrow \Rightarrow 4.73 < 10$  ✓

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



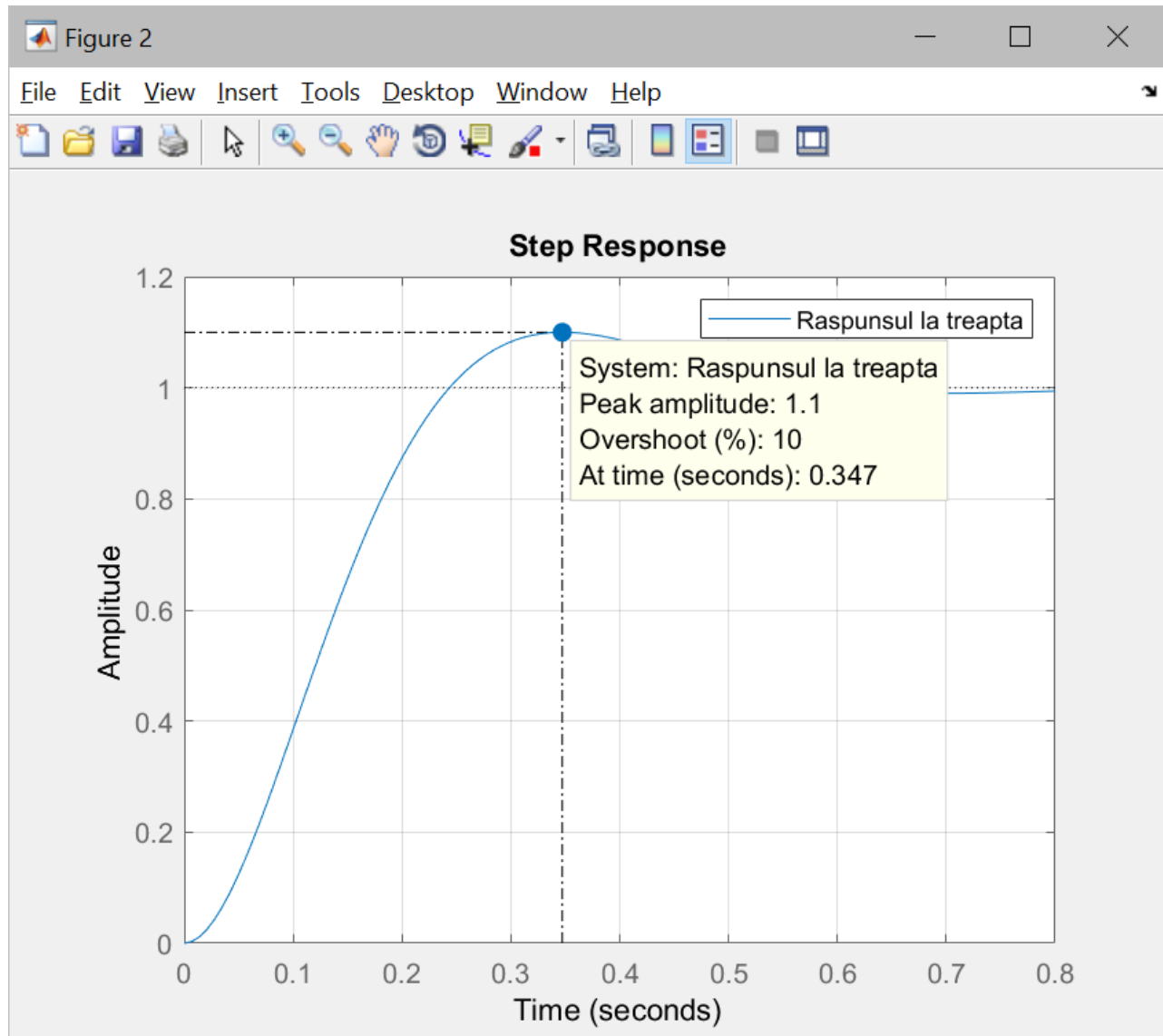


# PROIECT I.R.A.

Nume student: Ghiran Lorena

Grupa: 30131

Nota:

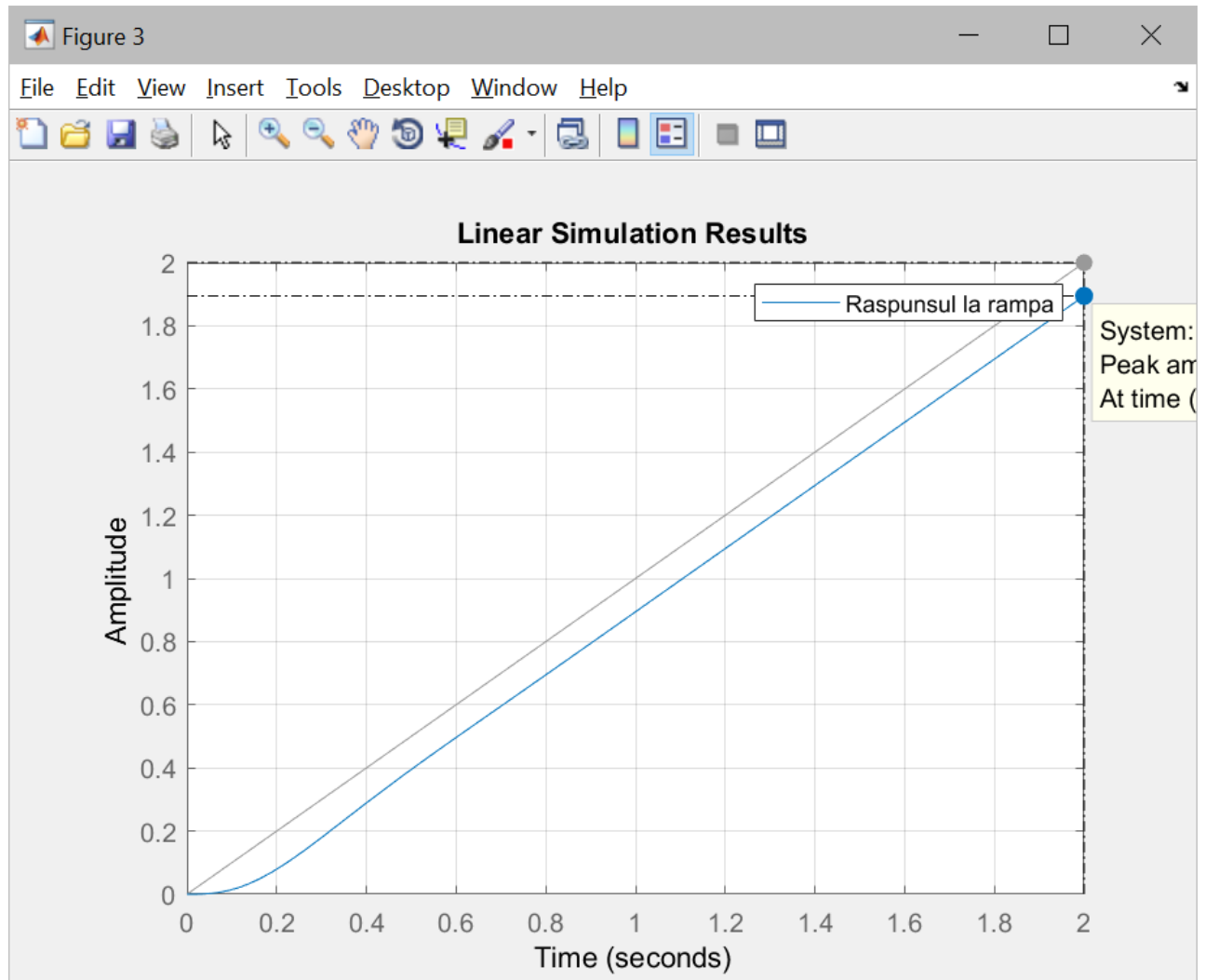


## PROIECT I.R.A.

Nume student: Ghiran Lorena

Grupa: 30131

Nota:



### Concluzii:

În urma proiectării regulatorului PD am reușit să corectez suprareglajul și eroarea staționară la viteză. Timpul de răspuns este foarte apropiat de valoarea dorită. Așa că vom implementa în continuare un regulator PID.

PROIECT I.R.A.		
Nume student: Ghiran Lorena	Grupa: 30131	Nota:

## 2.4 DETERMINAREA PARAMETRILOR UNUI REGULATOR PID

a) Se impune următorul set de performanțe:

$$\varepsilon_{\text{stp}} = 0 \quad [\text{V}];$$

$$\sigma \leq 7.5 \quad [\%];$$

$$tr \leq 0.5 \quad [\text{sec}];$$

$$\Delta\omega_B \leq 10 \quad [\text{rad/sec}];$$

$$c_v \geq 12 \quad [\text{V}];$$

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

b) Calculul parametrilor regulatorului

Structura acestui regulator PID este:

$$H_R(s) = V_R \frac{1 + s\tau_d}{1 + sT_N} \cdot \frac{1 + sT_z}{1 + sT_p}.$$

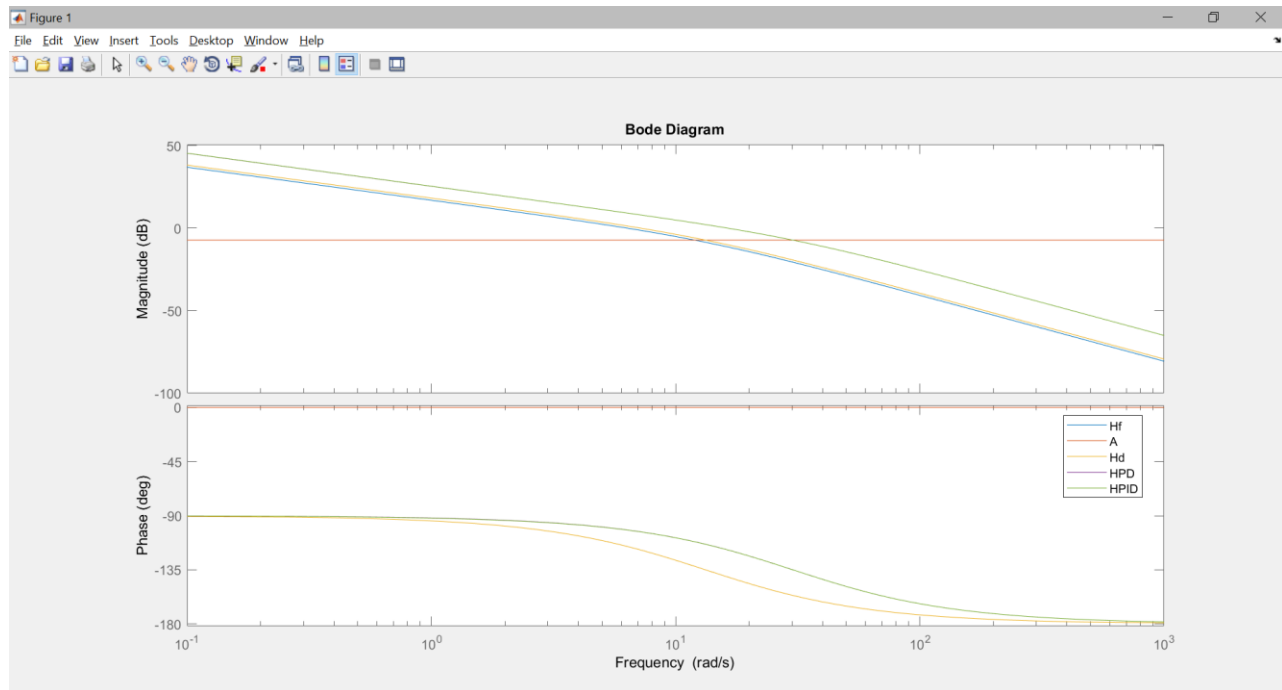
Se reprezintă mai întâi în diagrame logaritmice  $H_f(j\omega)$ .

# PROIECT I.R.A.

Nume student: Ghiran Lorena

Grupa: 30131

Nota:



Se determină ( $\xi$ ), deci și poziția dreptei  $|A|$ , rezultând punctul N și structura  $H_{d1}$ .

$$\xi = 0.6362$$

$$A = 0.4368 = -7.1941 \text{ dB}$$

Se calculează ( $\omega_{t2}$ ) și se translatează spre dreapta structura ( $H_{d1}$ ) până la ( $H_{d2}$ ), aceasta implicând un regulator PD

$$\omega_{t2} = 16.4733$$

Se citește  $c_v$  dat de  $H_{d2}$ , se calculează  $\frac{c_v^*}{c_v} (>1) = 1.1558 > 1$

$$\text{Se plasează } \begin{cases} \omega_z \approx 0,1\omega_{t2} = \\ \omega_p = \frac{c_v}{c_v^*}\omega_z = \end{cases}$$

$$\omega_z = 1.6473$$

$$\omega_p = 1.6392$$

rezultând structura completă ( $H_{dc}$ ), în care s-a adăugat și regulatorul PI modificat.

Parametrii regulatorului vor fi:

# PROIECT I.R.A.

Nume student: Ghiran Lorena

Grupa: 30131

Nota:

$$\left\{ \begin{array}{l} V_R|_{dB} = 22.0676 \\ T_z = \frac{1}{\omega_z} = \frac{1}{0,1\omega_t} = 0.6070 \\ T_P = \frac{1}{\omega_P} = \frac{1}{\omega_z} \cdot \frac{c_v^*}{c_v} = 0.7016 \\ \tau_d = 0.0750 \\ T_N = \tau_d \frac{\omega_{t2}}{\omega_{t1}} = 0.0329 \end{array} \right.$$

Verificările necesare:

Estp=0 ✓

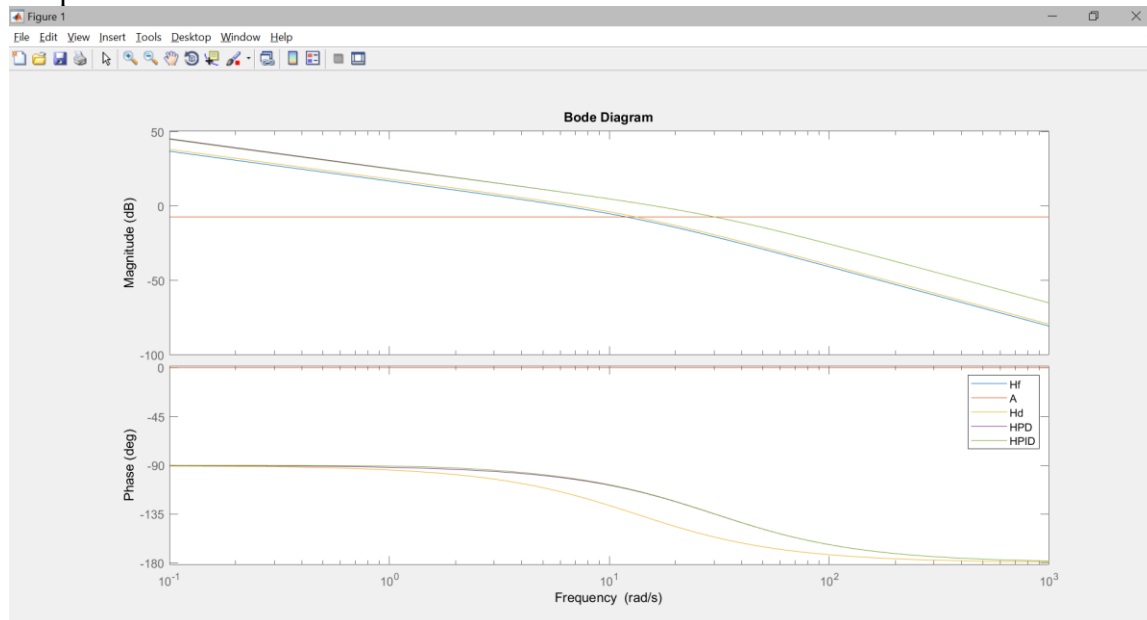
$\sigma=7.06 > 7.5$ , ( Am modificat  $c_v^*$  si  $\tau_r^*$  pentru a arata mai bine graficul. In functie de cum reglez valorile se poate modifica si suprareglajul)

$\tau_r=0.2 < 0.5$  ✓

$\Delta\omega_B=26 > 10$  X

$C_v=18.6 > 12$  ✓

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

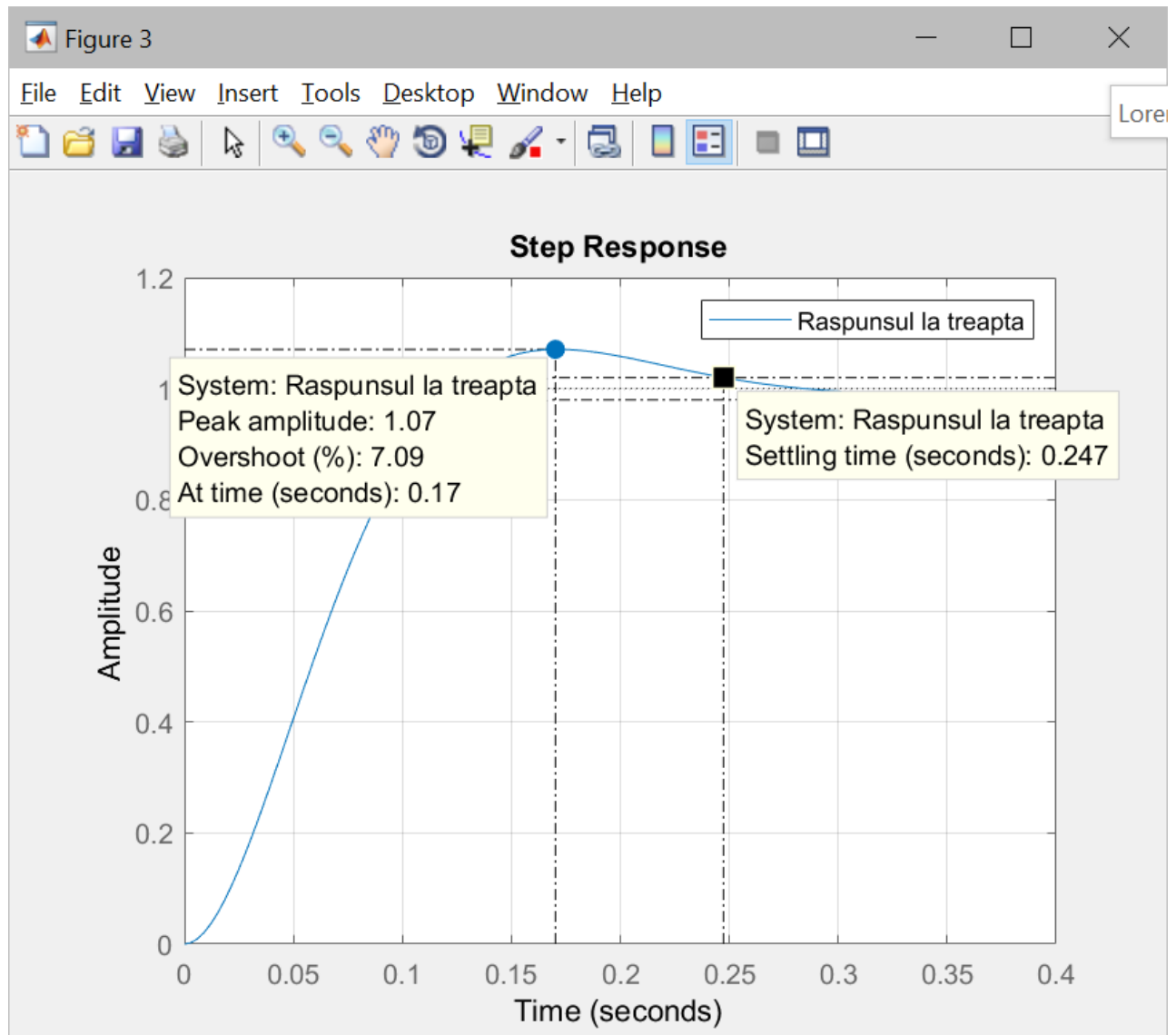


# PROIECT I.R.A.

Nume student: Ghiran Lorena

Grupa: 30131

Nota:

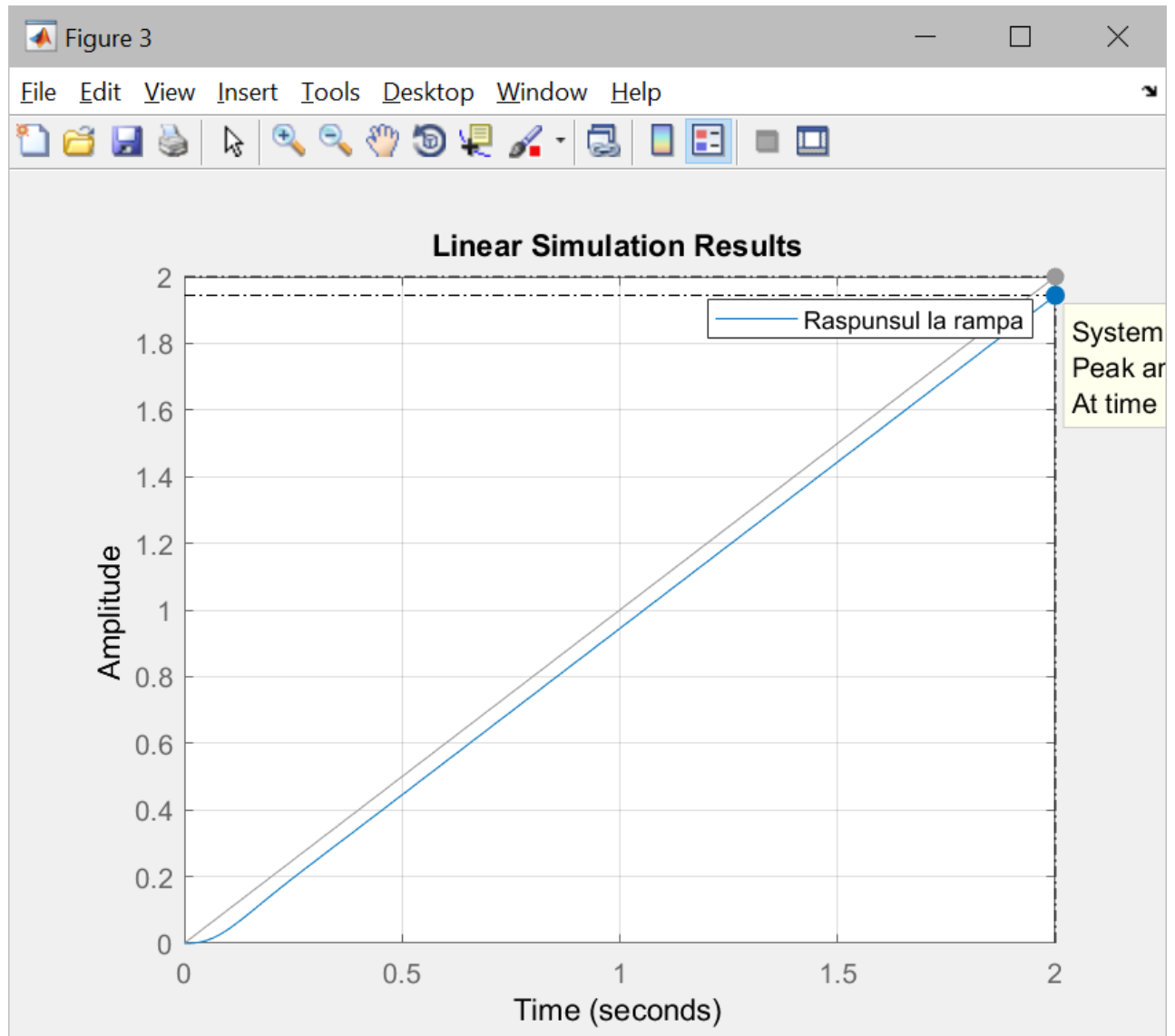


## PROIECT I.R.A.

Nume student: Ghiran Lorena

Grupa: 30131

Nota:



### Concluzii:

Proiectând PID-ul am reușit să obțin aproape toate performanțele impuse. Nu am reușit să corectez lățimea benzii .

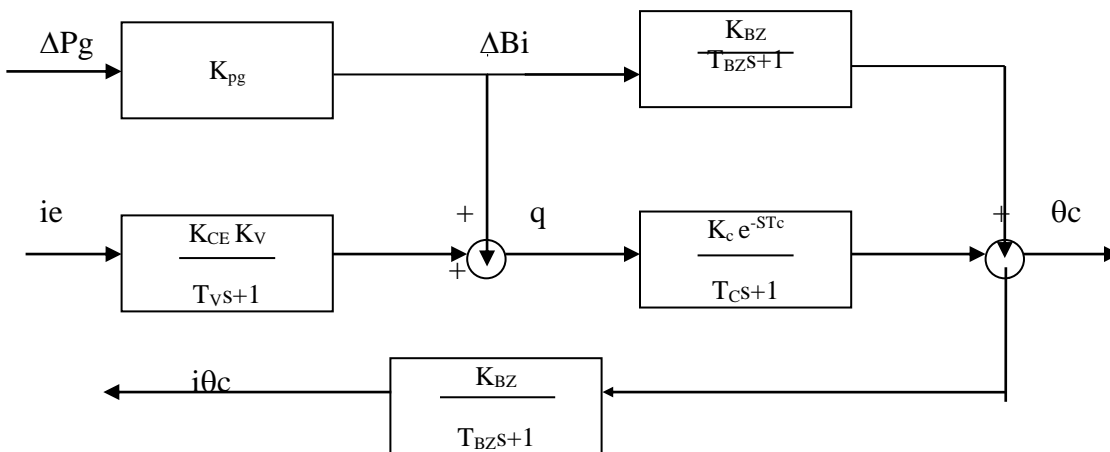
Cu un regulator PD am obținut cele mai bune performanțele. Timpul de răspuns fiind cu puțin mai mare.

PROIECT I.R.A.		
Nume student: Ghiran Lorena	Grupa: 30131	Nota:

### 3. CALCULUL REGULATOARELOR PRIN METODE FRECVENȚIALE CU ASIGURAREA UNEI MARGINI DE FAZĂ IMPUSE

#### 3.1.CONSIDERAȚII ASUPRA PĂRȚII FIXATE

Metoda se aplica buclei de reglare a temperaturii cuptorului:



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

#### 3.2.CALCULUL PARAMETRILOR UNUI REGULATOR PI

##### a) Performante impuse:

- sistemul lucrează în regim de stabilizare, adică temperatura  $\theta_c = \theta_{co} = \text{ct.}$  funcția principală fiind aceea de rejecție a perturbației externe  $\Delta p_g$  și  $\Delta \theta_I$ , în acest caz efectul este absolut necesar și deci  $\varepsilon_{stp}^* = 0$
- marginea de fază  $\gamma_k^* = 45^\circ - 50^\circ$ , deci sistemul este relativ slab amortizat, dar acceptabil, deoarece procesul tehnologic nu este pretențios, marginea de câștig  $m_k^* > 5 \text{ dB}$ ;



## PROIECT I.R.A.

Nume student: Ghiran Lorena

Grupa: 30131

Nota:

### b) Calculul parametrilor regulatorului de tip PI :

$$H_R = V_R \left( 1 + \frac{1}{s\tau_i} \right)$$

presupune determinarea valorilor  $V_R$  și  $\tau_i$ .

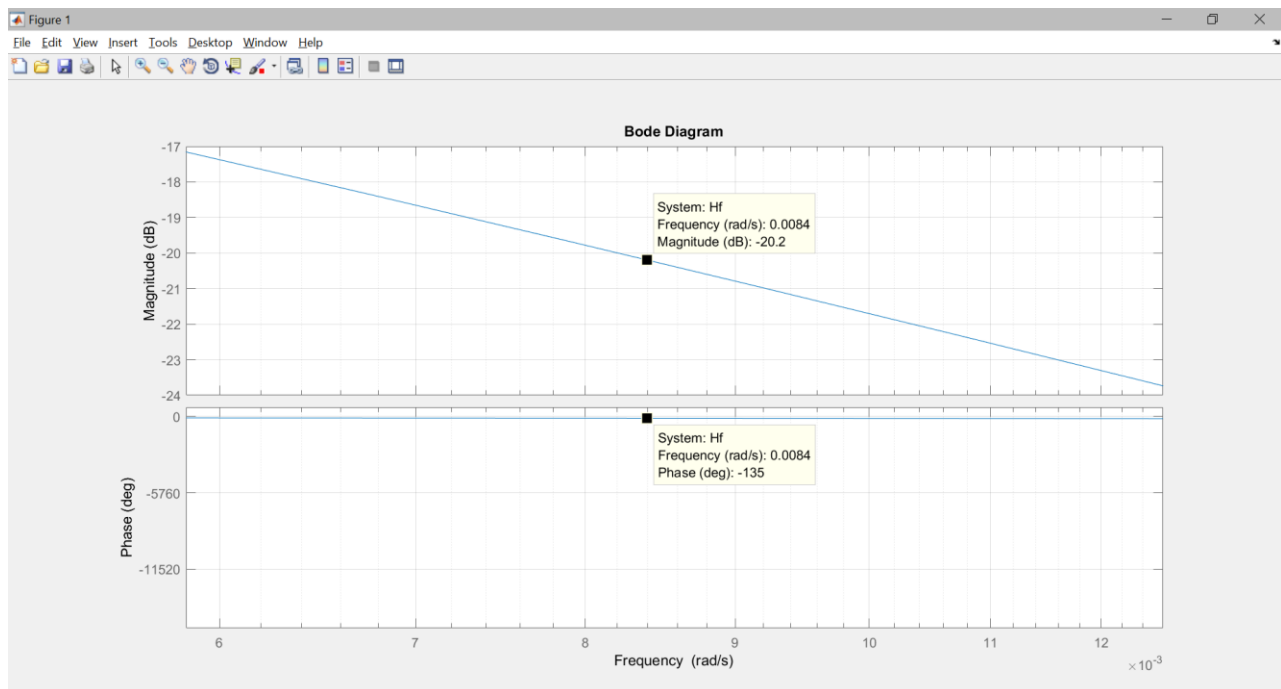
Se reprezintă în diagrame logaritmice partea fixată originală dată de :

$$H_f(s) = \frac{K_{ce}K_v}{T_v s + 1} \cdot \frac{K_c \cdot e^{-\tau_c s}}{T_c s + 1} \cdot \frac{K_{\theta c}}{T_{\theta c} s + 1}$$

$$1.3178 \cdot 10^{-5}$$

$$H_f(s) = e^{-96 \cdot s} \frac{1.3178 \cdot 10^{-5}}{(s+0.25)(s+0.0625)(s+0.001566)}$$

### Caracteristica de modul și fază a părții fixate



PROIECT I.R.A.		
Nume student: Ghiran Lorena	Grupa: 30131	Nota:

Din diagrama de modul și de fază se determină pulsația

$$\omega' = 0.0084 \text{ [rad/sec]}$$

pentru care

$$\angle H_f(j\omega') = -135^\circ$$

(Regulatorul PI introduce o fază de aproximativ  $-15^\circ$ )

De asemenea se măsoară:

$$|H_f(j\omega')| = 0.0977$$

Cu aceasta parametrii regulatorului vor fi :

$$V_R = \frac{1}{|H_f|} = 10.2329$$

$$\tau_i = \frac{4}{\omega'} = 476.1905$$

Deci

$$H_R = V_R \left( 1 + \frac{1}{s\tau_i} \right) =$$

$$H_R = 10.2329(1 + 1/477.327s) = \frac{4873 \text{ s} + 10.23 \text{ s}}{476.2 \text{ s}}$$

c) Verificarea performanțelor presupune testarea:

$$\gamma_k > 45^\circ;$$

$$m_k > 5 \text{ dB};$$

Pentru verificarea acestor performante se vor utiliza și caracteristicile de modul și fază a lui :

$$H_d = H_f \cdot H_r =$$

$$H_d = e^{-96s} \frac{0.00013485 (s+0.0021)}{s (s+0.25) (s+0.0625) (s+0.001566)}$$

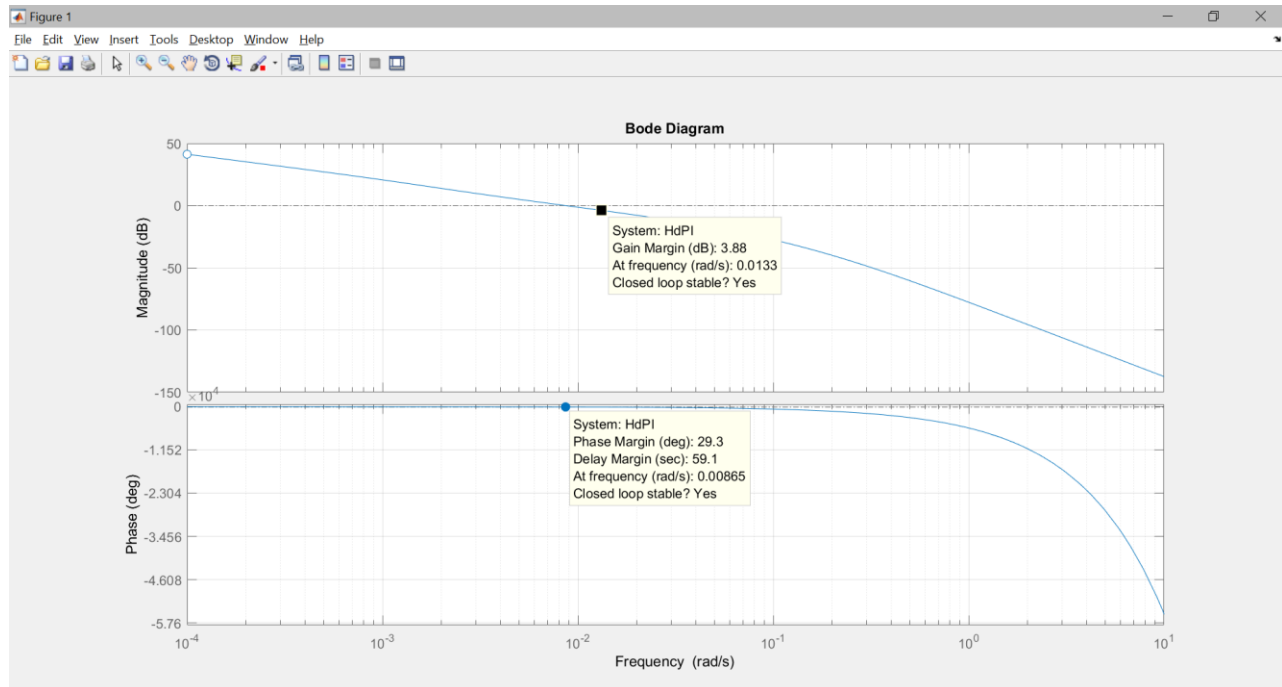
# PROIECT I.R.A.

Nume student: Ghiran Lorena

Grupa: 30131

Nota:

## Caracteristica de modul și fază a părții directe Hd



- Determinarea marginii de fază:

$$|H_d(j\omega)| = 1 \Rightarrow \omega_t \cong 0.00863 \text{ [rad/sec]}$$

$$\gamma_k = \pi + \angle H_d(j\omega_t) \Rightarrow \gamma_k^\circ = 29.4^\circ < \gamma_k^*$$

- Determinarea marginii de câștig:

$$\angle H_d(j\omega) = -\pi \Rightarrow \omega_{-\pi} \cong 0.0133$$

$$m_k^{dB} = |H_d(j\omega_{-\pi})|^{dB} \cong 3.9 < m_k^*$$

PROIECT I.R.A.		
Nume student: Ghiran Lorena	Grupa: 30131	Nota:

### 3.3.CALCULUL REGULATORULUI PD

#### a) Performante impuse:

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

$$\gamma_k^* > 50 - 60^\circ$$

și simultan :

$$m_k^* > 5 \text{ dB.}$$

#### b) Calculul regulatorului de tip PD:

$$H_R = V_R \cdot \frac{\tau_d s + 1}{\beta \tau_d s + 1} = V_R \cdot \frac{\tau_d s + 1}{T_N s + 1} =$$

presupune determinarea parametrilor  $V_R$  și  $\tau_d$  întrucât  $\beta = 0.1 \div 0.125$

Din diagrama logaritmică a părții fixate

$$H_f(s) = \frac{K_{ce} K_v}{T_v s + 1} \cdot \frac{K_c \cdot e^{-\tau_c s}}{T_c s + 1} \cdot \frac{K_{\theta c}}{T_{\theta c} s + 1} =$$

$$1.317 \cdot 10^{-5}$$

$$H_f(s) = e^{-96s} \frac{1.317 \cdot 10^{-5}}{(s+0.25)(s+0.0625)(s+0.001566)}$$

se determină pulsația:

$$\omega_0 = 0.0145 \text{ [rad/sec]}$$

pentru care:

$$\angle H_f(j\omega') = -180^\circ = -\pi \text{ [rad]}$$

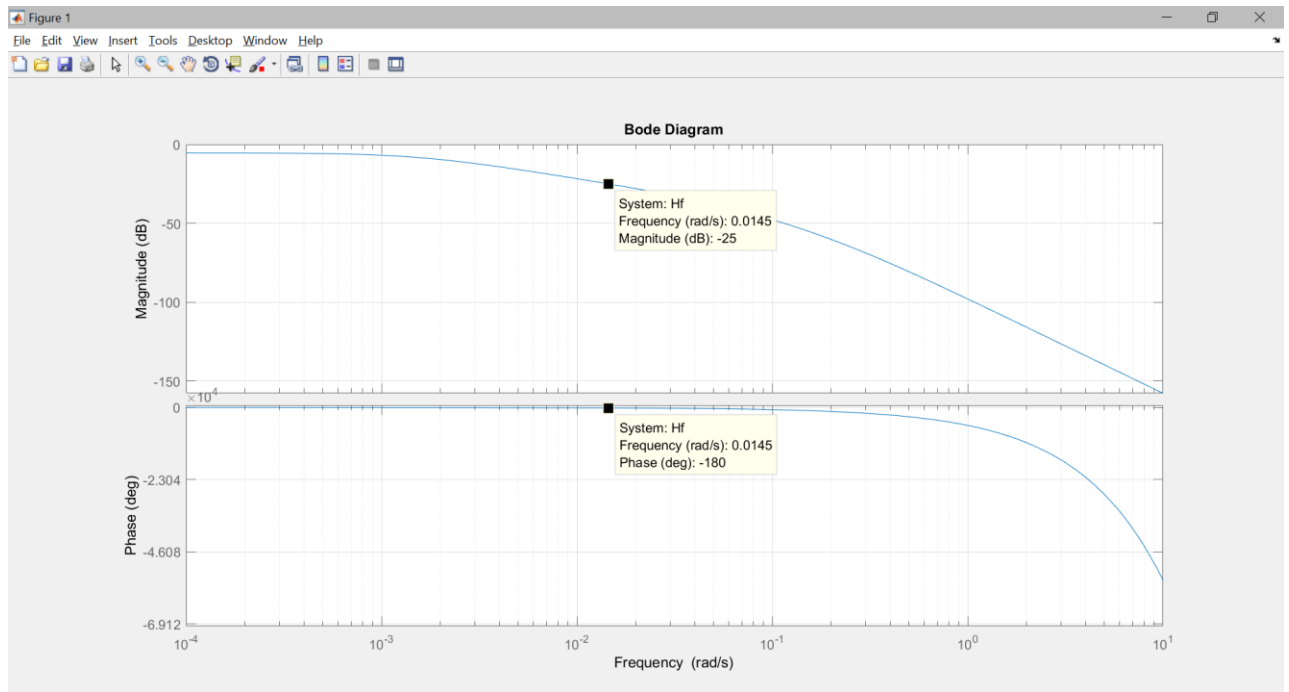
precum și valoarea  $|H_{f0}(j\omega_0)| = -25 \text{ dB} = 0.055$

# PROIECT I.R.A.

Nume student: Ghiran Lorena

Grupa: 30131

Nota:



Parametrii de acord vor fi :

$$V_R = \frac{\sqrt{\beta}}{|H_{f0}|} = 5.6234$$

$$\tau_d = \frac{1}{\omega_0} \cdot \frac{1}{\sqrt{\beta}} = 218.0881$$

$$\tau_N = \beta \cdot \tau_d = 21.8088$$

- $$H_R(s) = \frac{1226 s + 5.623}{21.81 s + 1}$$

# PROIECT I.R.A.

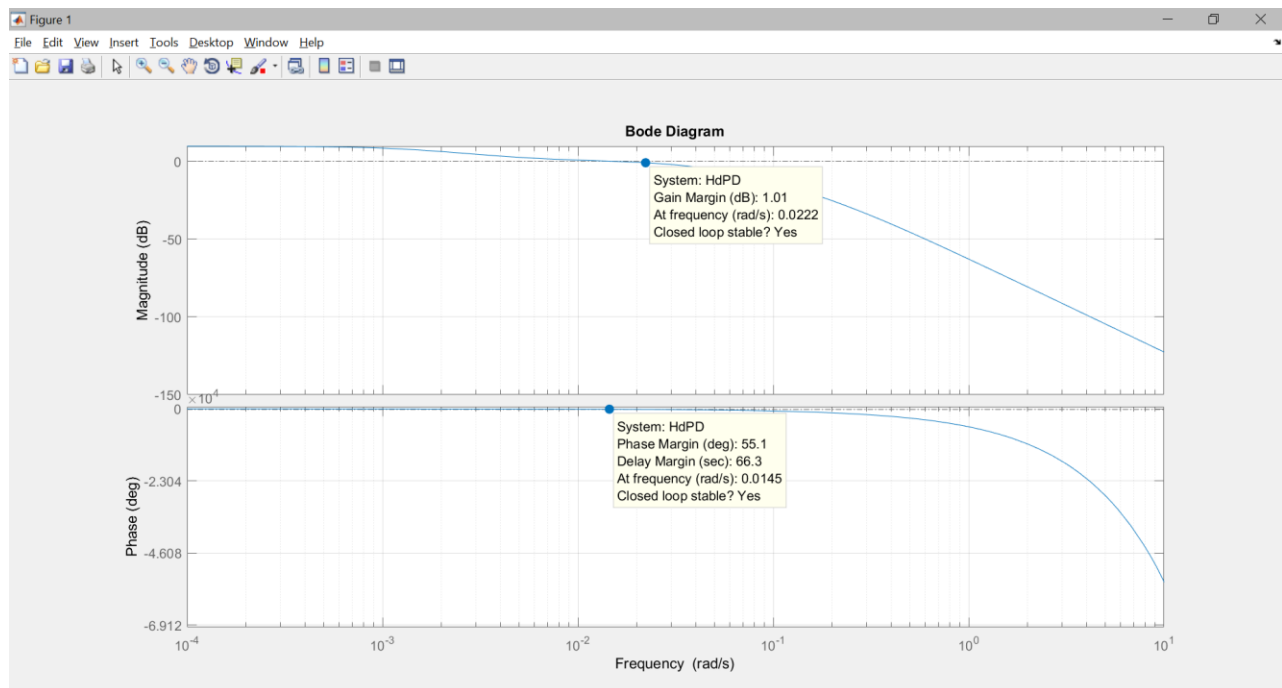
Nume student: Ghiran Lorena

Grupa: 30131

Nota:

c) Verificarea necesită reprezentarea în diagrame logaritmice a buclei deschise complete și testarea performanțelor.

## Caracteristica de modul și fază a părții directe Hd



- Determinarea marginii de fază:

$$|H_d(j\omega)| = 1 \Rightarrow \omega_t \cong 0.015 \text{ [rad/sec]}$$

$$\gamma_k = \pi + \angle H_d(j\omega_t) \Rightarrow \gamma_k^\circ \cong 52.7 \geq \gamma_k^*$$

- Determinarea marginii de câștig:

$$\angle H_d(j\omega) = -\pi \Rightarrow \omega_{-\pi} \cong 0.023 \text{ [rad/sec]}$$

$$m_k^{dB} = |H_d(j\omega_{-\pi})|^{dB} \cong 0.967 \text{ dB} < 5 \text{ dB}$$

PROIECT I.R.A.		
Nume student: Ghiran Lorena	Grupa: 30131	Nota:

### 3.4.CALCULUL PARAMETRILOR UNUI REGULATOR PID

Raportul  $\omega_0/\omega' = 1.72$  se încadrează în intervalul impus: (1.5 -> 2.5)

**a) Performanțele impuse se referă la:**

- eroarea staționară la poziție  $\varepsilon_{stp} = 0$ ;
- o bună amortizare  $\gamma_k^* > 55 - 60^\circ$   
 $m_k^* > 5\text{dB}$ .

**b)Calculul parametrilor regulatorului de forma:**

$$H_R = V_R \cdot \frac{\tau_d s + 1}{\beta \tau_d s + 1} \cdot \frac{\tau_i s + 1}{\tau_i s}$$

folosește reprezentarea structurii

$$H_f(s) = \frac{K_{ce} K_v}{T_v s + 1} \cdot \frac{K_c \cdot e^{-\tau_c s}}{T_c s + 1} \cdot \frac{K_{\theta c}}{T_{\theta c} s + 1} =$$

$$1.317 \cdot 10^{-5}$$

$$H_f(s) = e^{-96s} \frac{1.317 \cdot 10^{-5}}{(s+0.25)(s+0.0625)(s+0.001569)}$$

în diagrame logaritmice, de unde se determină

pulsația:  $\omega' = 0.0084$  [rad/sec] și  $\omega_0 = 0.0145$  [rad/sec]

Metoda se poate aplica în cazul în care  $\frac{\omega_0}{\omega'} \in (1.5 \div 2.5)$ .

Cum  $\frac{\omega_0}{\omega'} = 1.72$  se pot scrie în continuare parametrii de acord ai regulatorului PID.

Se determină valorile  $|H_f(j\omega')| = -20.2$  [dB] și  $|H_f(j\omega_0)| = -25$  [dB]

# PROIECT I.R.A.

Nume student: Ghiran Lorena

Grupa: 30131

Nota:

în raport cu care se recomandă:

$$V_R = \frac{0.228}{|H_f(j\omega_0)|} = 4.1455$$

$$\tau_i = 1.2T_0 = 519.9877$$

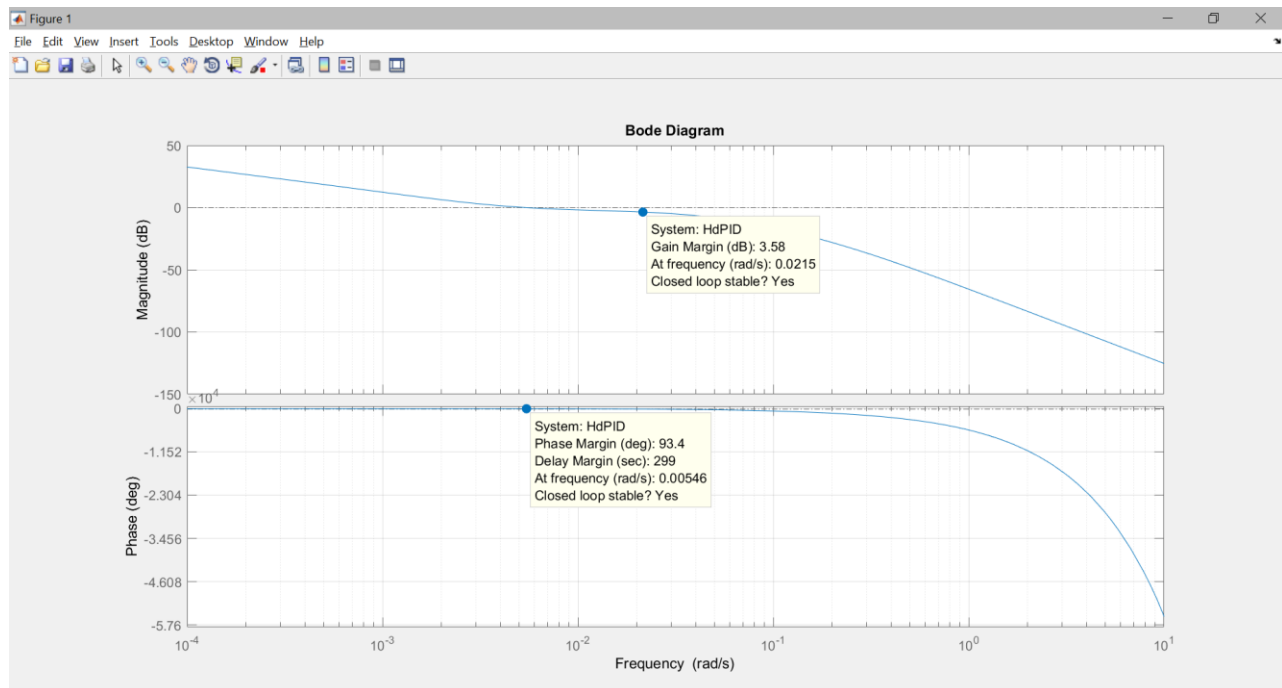
$$\tau_d = 0.5T_0 = 216.6616$$

$$T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0} = 433.3231 = T_N$$

$$\text{deci } H_R(s) = \frac{41.455(s+0.004615)(s+0.001923)}{s(s+0.04615)}$$

- c) Verificarea performanțelor impune trasarea în diagrame logaritmice a buclei complete și testarea condițiilor impuse.

## Caracteristica de modul și fază a părții directe Hd





PROIECT I.R.A.		
Nume student: Ghiran Lorena	Grupa: 30131	Nota:

- Determinarea marginii de fază:

$$|H_d(j\omega)| = 1 \Rightarrow \omega_t \cong 0.0051 \text{ [rad/sec]}$$

$$\gamma_k = \pi + \angle H_d(j\omega_t) \Rightarrow \gamma_k^\circ = 93.6^\circ > \gamma_k^*$$

- Determinarea marginii de câștig:

$$\angle H_d(j\omega) = -\pi \Rightarrow \omega_{-\pi} \cong 0.0215 \text{ [rad/sec]}$$

$$m_k^{dB} = |H_d(j\omega_{-\pi})|^{dB} \cong 3.72 \text{ dB} < m_k^* = 5 \text{ dB}$$

### Concluzii:

Regulatorul de tip PID nu îndeplinește cerințele impuse, deoarece marginea de câștig este doar 3.72 dB < 5 dB, dar marginea de fază este bună.

Nici unul dintre regulatoarele calculate anterior nu îndeplinește cerințele impuse și nu o să folosim această metodă de proiectare pentru calculul reguletoarelor.

PROIECT I.R.A.		
Nume student: Ghiran Lorena	Grupa: 30131	Nota:

#### 4. CALCULUL REGULATOARELOR PRIN METODE DE CVASIOPTIM

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

##### 4.1. CONSIDERAȚII ASUPRA PĂRȚII FIXATE

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

$$H_d = H_R \cdot H_f = H_R \cdot \frac{K_{AP}}{(\tau_{AP} \cdot s + 1)} \cdot \frac{K_1 \cdot K_M^*}{(T_{M1} \cdot s + 1) \cdot (T_M^* \cdot s + 1)}$$

$$= \frac{41.455(s+0.004615)(s+0.001923)}{s(s+0.04615)}$$

##### 4.1.CALCULUL REGULATOARELOR PRIN METODA “MODULULUI”

Se folosește forma optima a buclei directe :

$$H_d^* = \frac{1}{2 \cdot T_\Sigma \cdot s \cdot (T_\Sigma \cdot s + 1)} = \frac{5000}{s \cdot (s + 100)}$$

în care:  $T_\Sigma = \tau_{AP} = 0.01$

a) Calculul unui regulator PID apare dacă partea fixată conține două constante de timp mari, așa încât :

$$H_R(s) = \frac{(T_{M1}s + 1)(T_M^*s + 1)}{2T_\Sigma K_{AP} K_I K_M^*} =$$

$$\frac{0.42569(s+16.67)(s+1.704)}{s}$$

Se deduc parametri regulatorului PID :

PROIECT I.R.A.		
Nume student: Ghiran Lorena	Grupa: 30131	Nota:

$$V_R = 7.83$$

$$\tau_i = 96.23$$

$$\tau_d = 0.0566$$

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

$$H_f = \frac{K_{AP} K_I K_M^*}{(\tau_{AP}s + 1)(T_M s + 1)} = \frac{698.79}{(s+100) \cdot (s+1.709)}$$

$$H_R(s) = \frac{H_d^*}{H_f} = \frac{7.1553 \cdot (s+1.709)}{s}$$

Calculul parametrilor regulatorului PI:

$$V_R = 7.1553$$

$$\tau_i = 0.5855$$

În cazul metodei modulului performanțele la treaptă unitară sunt:

$$\sigma = 4.3\%$$

$$tr = 6.75 \tau_{AP}$$

$$\varepsilon_{stp} = 0$$

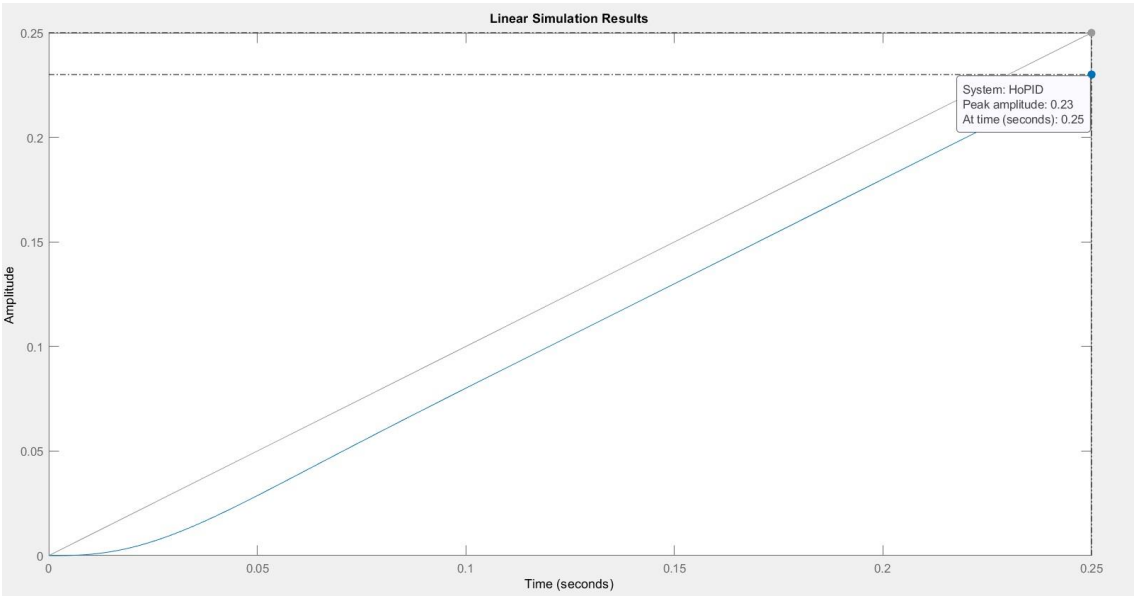
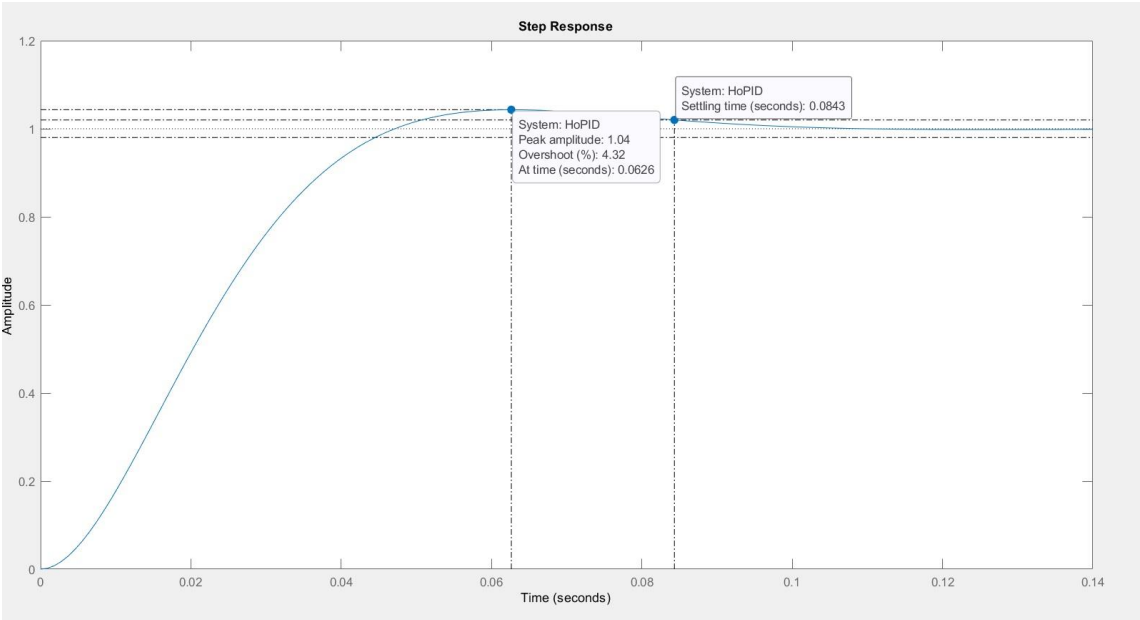
dar aceste performanțe se referă la mărimea  $u_\Omega(t)$ , iar pe noi ne interesează performanțele obținute în raport cu mărimea de ieșire  $\Omega_{TM}(t)$ , pentru care funcția de transfer a sistemului închis este:

$$H_{oPID} = \frac{5000 (s + 1.709) (s + 15.38)}{(s + 15.38) (s + 1.709) (s^2 + 100s + 5000)}$$

$$H_0PI(s) = \frac{0.01 \cdot s + 15000 (s+1.709)}{(s+1.709) (s^2 + 100s + 5000)}$$

PROIECT I.R.A.		
Nume student: Ghiran Lorena	Grupa: 30131	Nota:

iar din răspunsurile sistemului verificăm performanțele:



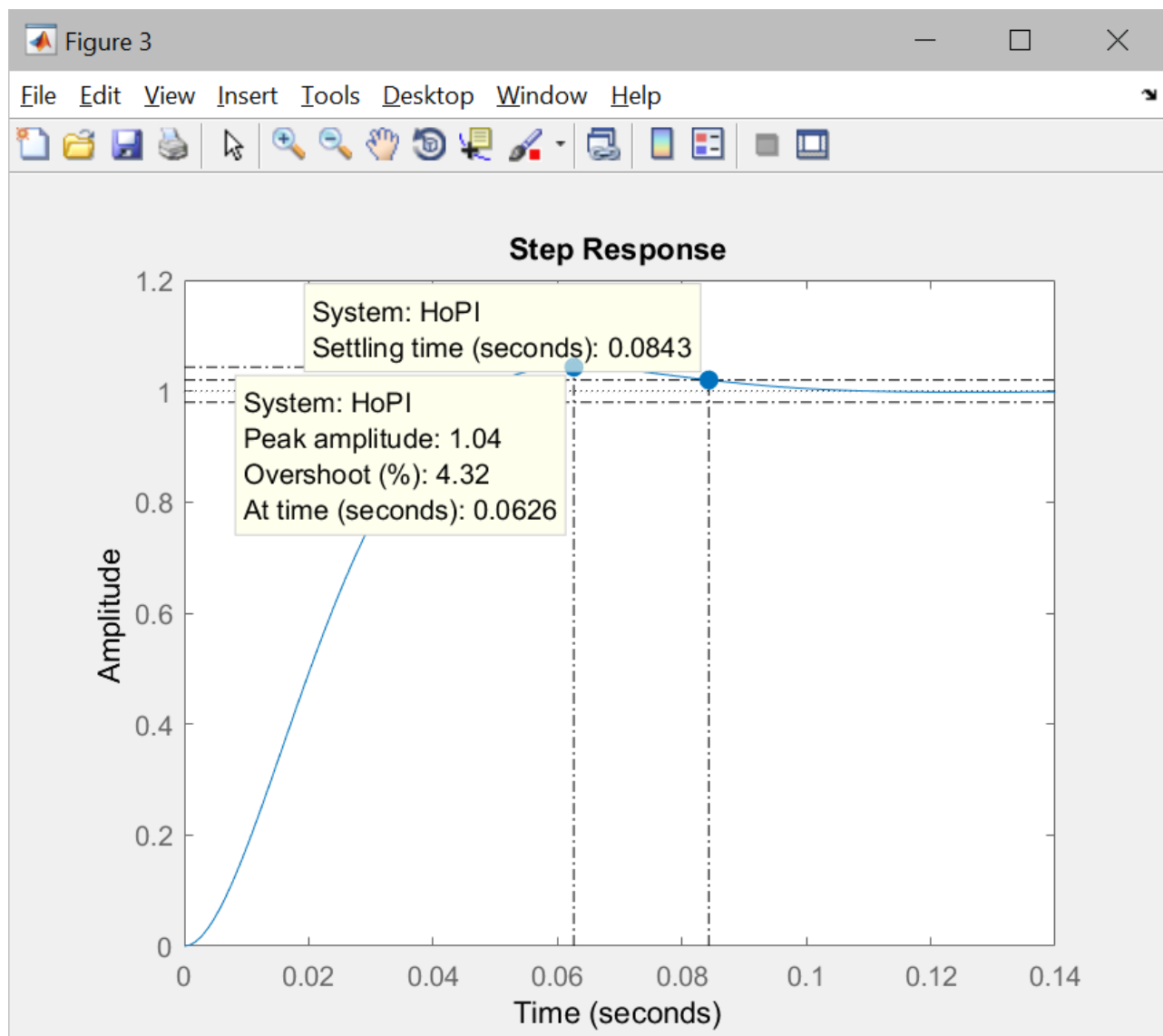
PROIECT I.R.A.		
Nume student: Ghiran Lorena	Grupa: 30131	Nota:

Graficele si marimile de performanta sunt aceleasi pentru  $H_{oPI}$  si  $H_{oPID}$ .

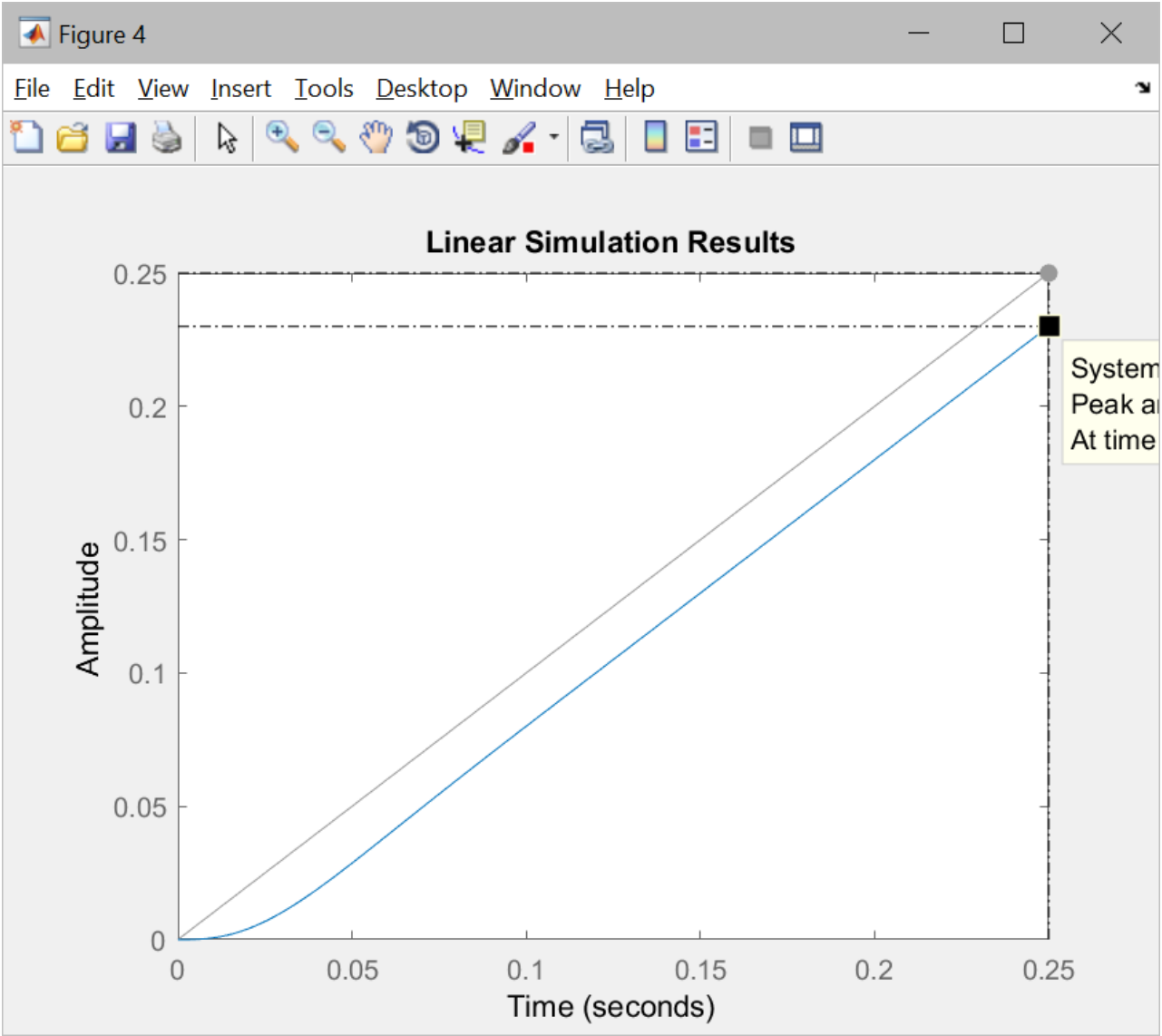
Iar

$$H_0(s) = \frac{500(s+100)}{(s^2 + 100s + 5000)}$$

iar din răspunsurile sistemului verificăm performanțele:



PROIECT I.R.A.		
Nume student: Ghiran Lorena	Grupa: 30131	Nota:



Deci nu verifică performanțele impuse.

PROIECT I.R.A.		
Nume student: Ghiran Lorena	Grupa: 30131	Nota:

#### 4.2.CALCULUL REGULATOARELOR PRIN METODA "SIMETRIEI"

Forma optimă a buclei directe este:

$$H_d^*(s) = \frac{4T_\Sigma s + 1}{8T_\Sigma^2 s^2 (T_\Sigma s + 1)} = \frac{5000 (s+25)}{s^2 (s+100)}$$

unde  $T_\Sigma = \tau_{AP} = 0.01$

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

$$H_R(s) = \frac{7.1553 (s+25) (s+1.709)}{s^2}$$

$V_R = 191.13$ ;  $\tau_i = 5.845 \cdot 10^4$ ;  $\tau_d = 0.0374$ .

Performantele sistemului închis la o treapta unitară, în cazul metodei simetriei sunt:

$tr^* = 11.1 T_\Sigma = 0.111$  [sec];  $\sigma = 43\%$ .

Recalcularea performanțelor în raport cu  $\Omega_{TM}(t)$  presupune calculul răspunsului indicial după relația:

$$A(s) = \Omega_{TM}(s) = \frac{H_d^*}{1+H_d^*} \cdot \frac{1+T_{T\Omega} \cdot s}{K_{T\Omega}} \cdot \frac{1}{s} = \frac{4 \cdot \tau_{AP} \cdot s + 1}{8 \cdot \tau_{AP}^3 \cdot s^3 + 8 \cdot \tau_{AP}^2 \cdot s^2 + 4 \cdot \tau_{AP} \cdot s + 1} \cdot \frac{1+T_{T\Omega} \cdot s}{K_{T\Omega}} \cdot \frac{1}{s}$$

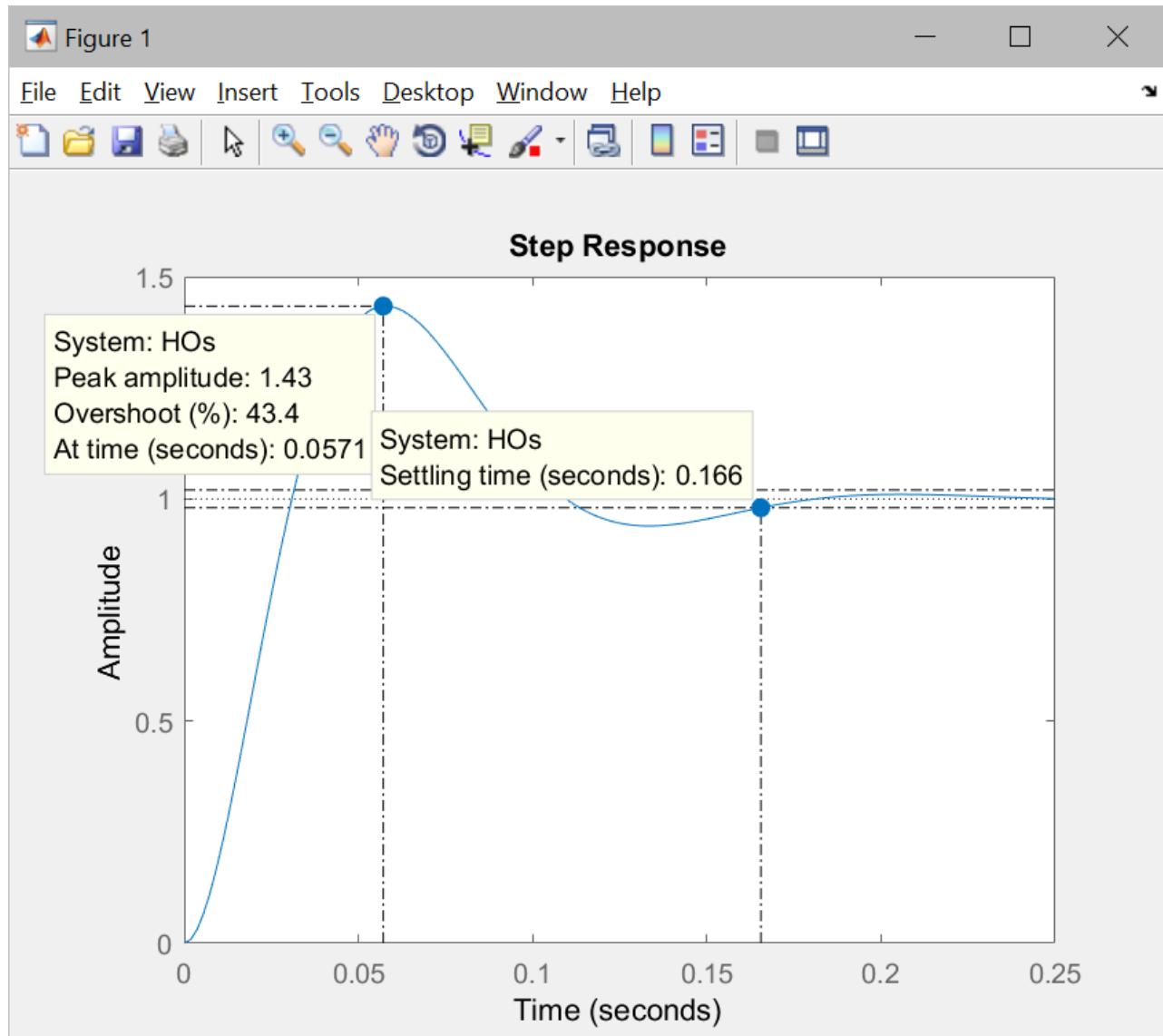
și compararea performanțelor reale cu cele de mai sus.

# PROIECT I.R.A.

Nume student: Ghiran Lorena

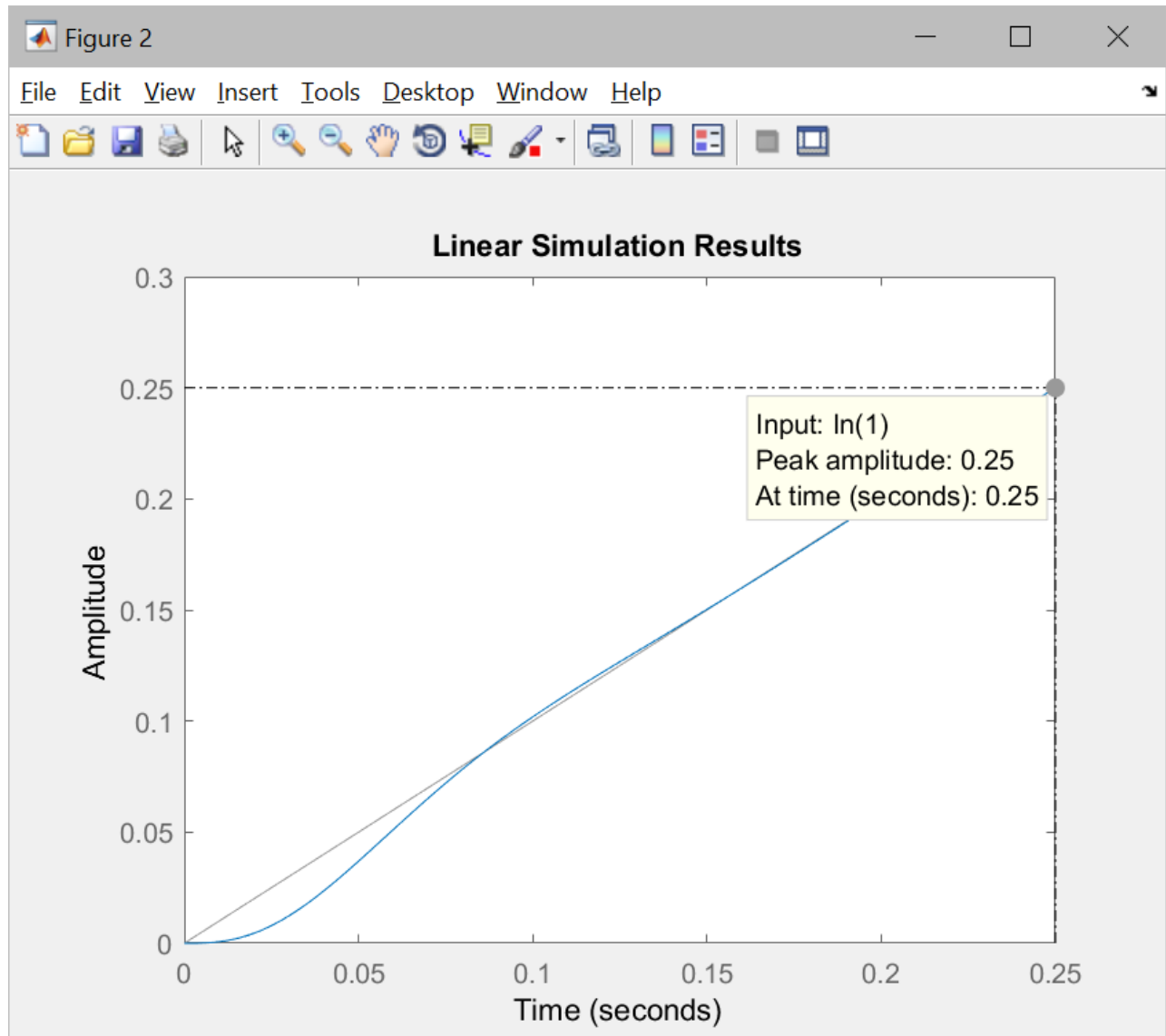
Grupa: 30131

Nota:





PROIECT I.R.A.		
Nume student: Ghiran Lorena	Grupa: 30131	Nota:



Performanțele sunt puțin mai mari.  $43.4 > 43$  și  $0.166 > 0.111$ .

PROIECT I.R.A.		
Nume student: Ghiran Lorena	Grupa: 30131	Nota:

## 5. CALCULUL REGULATOARELOR IN CAZUL REGLARII IN CASCADA

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

### 5.1. CONSIDERAȚII ASUPRA PĂRȚII FIXATE

La reglarea de debit se mai simplifica structura:

$$[(T_{T\Omega} \cdot s + 1) / K_{T\Omega}] \cdot K_{TM} / (K_{TM} \cdot s + 1) \cong K_{TM}^* / (T_{TM}^* \cdot s + 1) =$$

În care :

$$K_{TM}^* = K_{TM} / K_{T\Omega} = 1.97$$

$$T_{TM}^* = T_{TM} - T_{T\Omega} = 4.99$$

și respectiv dacă timpul mort  $\tau_m$  se aproximează cu un element de ord I avem:

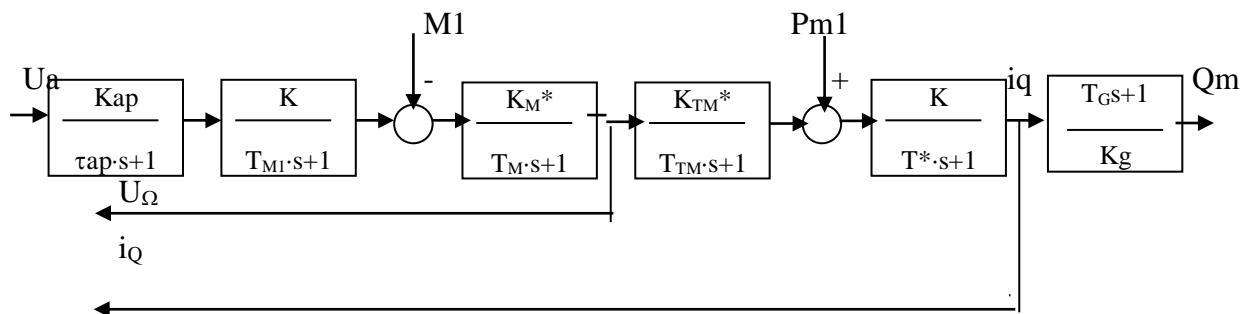
$$[K \cdot e^{-s\tau_m} / (T \cdot s + 1)] \cdot K_g / (T_g \cdot s + 1) \cong [K / (T \cdot s + 1) \cdot (\tau_m \cdot s + 1)] \cdot K_g / (T_g \cdot s + 1) \cong K^* / (T^* \cdot s + 1)$$

în care :

$$K^* = K \cdot K_g = 0.144$$

$$T^* = T + \tau_m + T_g = 72$$

rezultând structura din figură



În continuare performantele se vor referi la mărimile de ieșire ( $u_\Omega$ ) și ( $i_q$ ) ale traductoarelor respective.

PROIECT I.R.A.		
Nume student: Ghiran Lorena	Grupa: 30131	Nota:

În cazul sistemului de reglare a temperaturii se preia structura neglijând perturbația ( $\Delta p_g$ ) și aducând bucla internă la forma reacției negative unitare.

În acest scop se fac următoarele simplificări :

$$K_{ce} \cdot K_v \cdot K_c \cdot e^{-s \cdot \tau_c} \cdot K_{\theta c} / (T_v \cdot s + 1) \cdot (T_c \cdot s + 1) \cdot (T_{\theta c} \cdot s + 1) \cong K_f \cdot K_c \cdot e^{-s \cdot \tau_c} / (T_f \cdot s + 1)$$

în care :

$$K_f = K_{ce} \cdot K_v \cdot K_c \cdot K_{\theta c} = 0.5385$$

$$T_f = T_v + T_c + T_{\theta c} = 658.5$$

și respectiv:

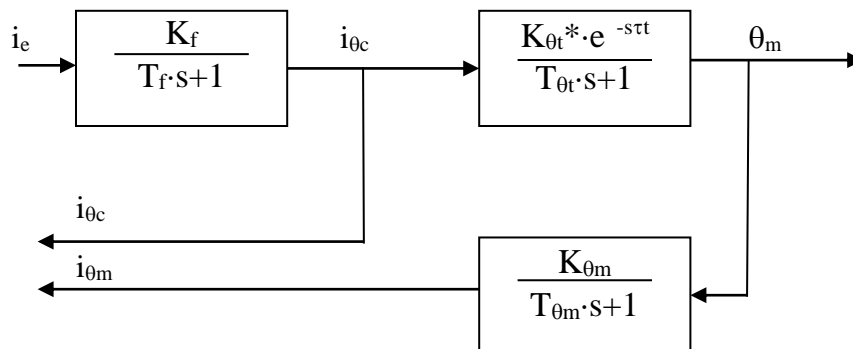
$$(T_c \cdot s + 1) \cdot K_{\theta t} \cdot e^{-s \cdot \tau_t} / [K_{\theta c} \cdot (T_{\theta T} \cdot s + 1)] \cong K_{\theta t}^* \cdot e^{-s \cdot \tau_t} / (T_{\theta T}^* \cdot s + 1)$$

în care :

$$K_{\theta T}^* = K_{\theta T} / K_{\theta c} = 8$$

$$T_{\theta T}^* = T_{\theta T} - T_{\theta c} = 99.4$$

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



## 5.2.CALCULUL REGULATORILOR SISTEMULUI DE REGLARE A DEBITULUI

Se începe cu bucla interioară pentru care avem:

$$H_{R\Omega} = \frac{(T_{M1} \cdot s + 1) \cdot (T_M^* \cdot s + 1)}{2 \tau_{AP} \cdot s \cdot K_{AP} \cdot K_1 \cdot K_M^*} =$$

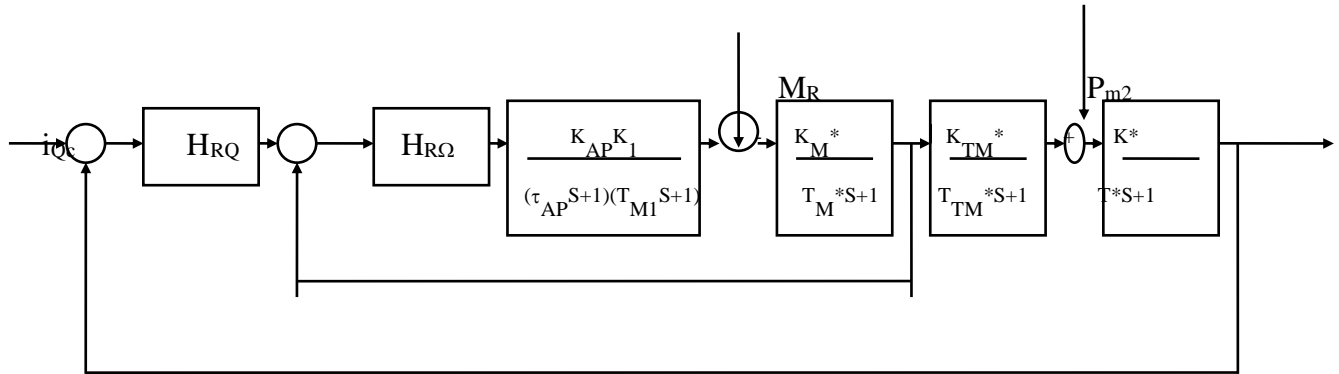
$$0.46403 (s+15.29) (s+1.709)$$

s

PROIECT I.R.A.		
Nume student: Ghiran Lorena	Grupa: 30131	Nota:

Structura completa este prezentata in fig. 5.3

Figura. 5.3 .



Datorita plecării metodei modulului rezulta ca :

$$\frac{U_{\Omega}(s)}{U_{\Omega 0}(s)} = H_{R\Omega}(s) = \frac{1}{2 \cdot \tau_{AP}^2 \cdot s^2 + 2 \cdot \tau_{AP}s + 1}$$

Cum insa:

$$\tau_{AP} \ll T_{TM}^* \text{ si } \tau_{AP} \ll T^*, \text{ atunci:}$$

(5.10')

$$H_{\Omega 0}(s) \cong \frac{1}{2 \tau_{AP} \cdot s + 1} = \frac{1}{0.02 \cdot s + 1}$$

Conform metodei de calcul se poate scrie că:

(5.11)

$$H_{\Omega 0}(s) \cdot \frac{K_{TM}^*}{T_{TM}^* \cdot s + 1} = \frac{1}{2 \tau_{AP} \cdot s + 1} \cdot \frac{K_{TM}^*}{T_{TM}^* \cdot s + 1} \cong \frac{K_{TM}^*}{T_{TM}^* \cdot s + 1} = \frac{1.95}{4.99 \cdot s + 1}$$

in care :

$$T_{TM}^{**} = T_{TM}^* + 2\tau_{AP} = 5.01; \text{ iar } T_{\Sigma Q} = T_{TM}^{**} = 5.01;$$

analog celor din capitolul 4.2 rezulta ca pentru  $T_{\Sigma Q} = T_{TM}^{**}$  avem ca:

$$(5.14) H_{RQ}(s) = \frac{1}{2T_{TM}^{**} \cdot s \cdot (T_{TM}^{**} \cdot s + 1)} \cdot \frac{1}{H_{fQ}(s)} = \frac{T^*}{2T_{TM}^{**} \cdot K_{TM}^* \cdot K^*} \cdot \frac{T^* \cdot s + 1}{T^* \cdot s} = \frac{25.59 (s + 0.01389)}{s}$$

PROIECT I.R.A.		
Nume student: Ghiran Lorena	Grupa: 30131	Nota:

fiind vorba despre un regulator PI .

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

$$(5.15) \quad H_{R\Omega} = V_{R\Omega} \cdot (1 + \tau_1 \cdot s) \cdot (1 + \tau_2 \cdot s) / s$$

rezultand:

$$\begin{cases} \tau_1 = T_{M1} = 0.065 \\ \tau_2 = T_M^* = 0.585 \\ V_{R\Omega} = \frac{1}{2\tau_{AP} \cdot K_{AP} \cdot K_1 \cdot K_M^*} = 12.2312 \end{cases} \quad (5.17)$$

$$\text{deci } H_{R\Omega} = H_{R\Omega} = \frac{12.231 (s + 0.585) (s + 0.065)}{s}$$

si respectiv :

$$V_{RQ} = 25.5898$$

$$\tau_{iQ} = T^* = 72$$

$$\text{deci } H_{RQ} = \frac{25.59 (s + 0.01389)}{s}$$

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  $i_Q = 0$ ;  $u_{Q0} = 0$

$$u_{\Omega}(s) =$$

$$u_{\Omega}(s) = \frac{0.98291 s (s + 100)}{(s + 1.709) \cdot (s^2 + 100s + 5000)}$$

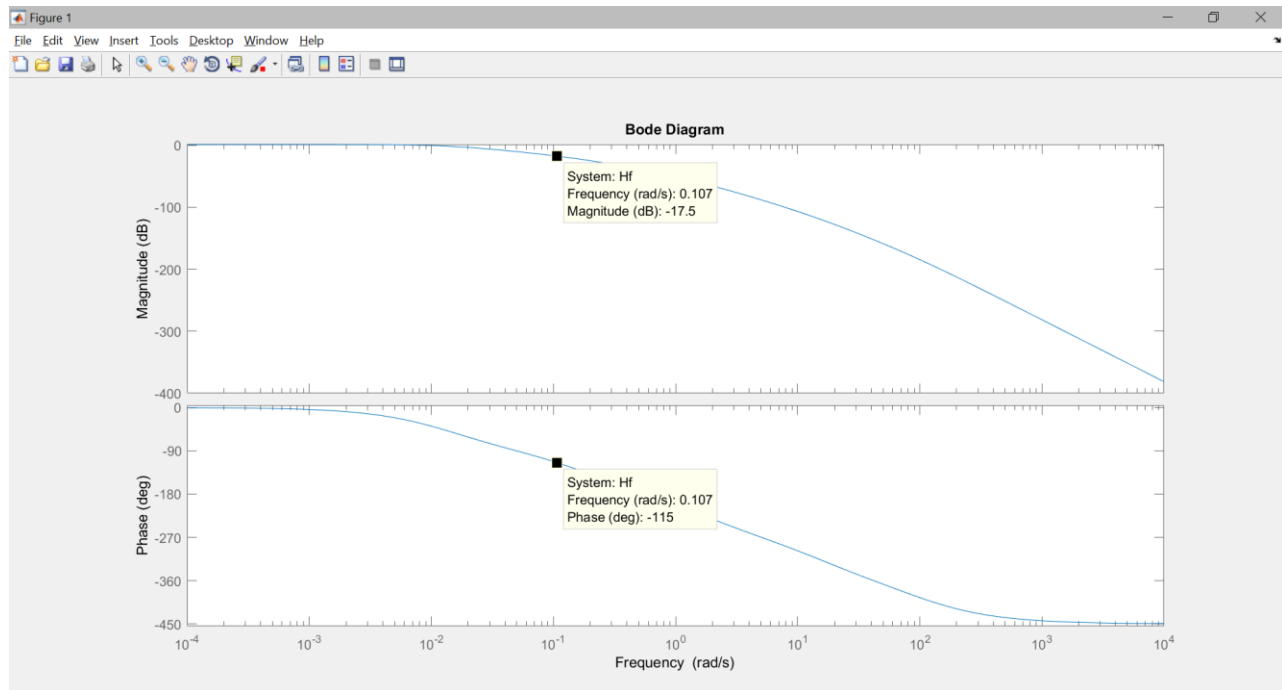
Daca nu s-ar folosi structura in cascada ,pentru partea fixata care apare in figura 5.3 se calculeaza un regulator PI cu asigurarea unei margini de faza date  $\gamma_k^* > 45^\circ$

# PROIECT I.R.A.

Nume student: Ghiran Lorena

Grupa: 30131

Nota:



$$V_R = 1/|H_f| = 7.6736$$

$$\tau_I = 4/\omega^* = 37.382$$

$$H_R = \frac{7.6736 (s + 0.02675)}{s}$$

Notând :

$$H_{f1} = K_{AP} K_I / (\tau_{AP} s + 1) (T_{M1} s + 1)$$

$$H_{f2} = K_M^* / (T_M^* s + 1)$$

$$H_{f3} = K_{TM}^* K^* / (T_{TM}^* s + 1) (T^* s + 1)$$

avem:  $U_{\Omega 1}(s) = H_{f2}(s) / (1 + H_R(s) H_{f1}(s) H_{f2}(s) H_{f3}(s))$  se calculeaza si rezulta :

$$U_{\Omega 1}(s) = \frac{0.98291 s (s + 100) (s + 15.38) (s + 1.709) (s + 0.2004) (s + 0.01389)}{(s + 100) (s + 15.38) (s + 1.727) (s + 1.709) (s + 0.03006) (s^2 + 0.1664s + 0.02159)}$$

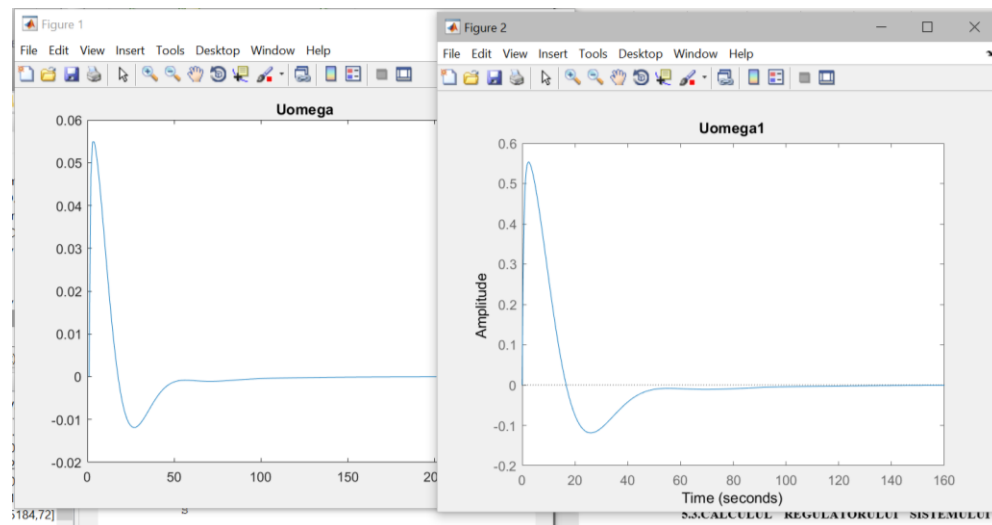
## PROIECT I.R.A.

Nume student: Ghiran Lorena

Grupa: 30131

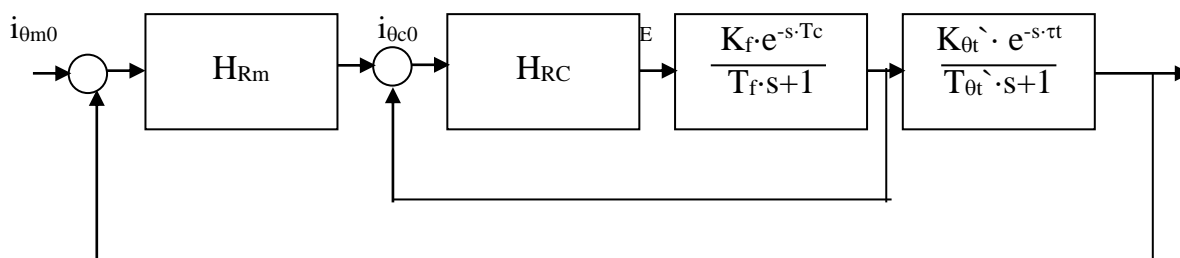
Nota:

la aceasta functie se traseaza raspunsul la treapta 0.1/s făcându-se comparație cu răspunsul obținut pentru functia  $U_{\Omega}$  la aceeasi intrare.



### 5.3.CALCULUL REGULATORULUI SISTEMULUI DE REGLARE A TEMPERATURII

Structura părții fixate are forma simplificata din figură:



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

$$V_{RC} = 0.9 \quad \tau_c / T_f \quad K_f = 0.2435$$

$$\tau_{ic} = 3.3 \tau_c = 315.5625$$

PROIECT I.R.A.		
Nume student: Ghiran Lorena	Grupa: 30131	Nota:

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

$$H_{RC}K_f e^{-2s\tau_c} / (T_f s + 1) \cong (V_{RC}K_f - 3.3\tau_c s)(1 + 2.3\tau_c s)(1 + T_f s)(\tau_c s + 1).$$

$$H_{oc}(s) = \frac{V_{RC}K_f(1 + 2.3\tau_c s)}{3.3\tau_c s(1 + T_f s)(\tau_c s + 1) + V_{RC}K_f(1 + 2.3\tau_c s)} =$$

$$= \frac{0.1309 s + 28.83}{1.993e07 s^3 + 2.384e05 s^2 + 316.1 s}$$

se determina polii sistemului  $p_1 = 0$ ;  $p_2 = -0.0104$ ;  $p_3 = -0.0015$



PROIECT I.R.A.		
Nume student: Ghiran Lorena	Grupa: 30131	Nota:

## 6. CALCULUL UNUI REGULATOR CU PREDICȚIE

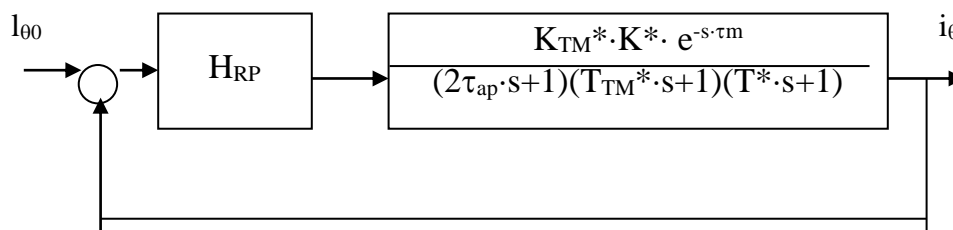
Datorită timpului mort preponderent pe care îl prezintă bucla de reglare a debitului, obținerea unor performanțe bune necesită un regulator cu predicție pe bază de model.

### 6.1. CONSIDERATII ASUPRA PĂRȚII FIXATE

Buclo interioară de reglare a turației este calculată după metoda modulului așa încât :

$$H_{\Omega 0}(s) = 1/0.02s + 1$$

Structura buclei de reglare a debitului materialului granular în care  $H_{rp}$  este regulatorul cu predicție este:



iar partea fixată

$$H_f = K_{TM} * K * e^{-s \cdot \tau_m} / (2\tau_{ap} \cdot s + 1)(T_{TM} * s + 1)(T_1 * s + 1) = H_f^*(s) \cdot e^{-s \cdot \tau_m} = 0.2808 / (60.12 s^2 + 17.01 s + 1) * \exp(-60s)$$

În care :  $T_1^* = T + T_G = 12$

### 6.2. CALCULUL REGULATORULUI CU PREDICȚIE

Setul de performanțe impuse este:

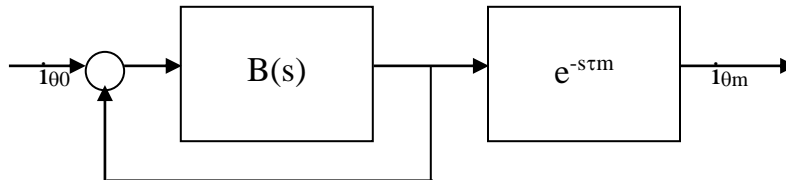
- eroarea staționară la poziție  $\epsilon_{stp} = 0$ ;

- suprareglajul  $\sigma^* = 0$ ;

PROIECT I.R.A.		
Nume student: Ghiran Lorena	Grupa: 30131	Nota:

- timpul de răspuns  $t_r < t_r^*$  sec ;

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



Structura va satisface setul de performante și în plus pentru  $H_{R2}(s) = 1$ , avem:

$$H_{R1}(s) = B(s) \cdot 1 / H_f(s)$$

Se încearcă satisfacerea acestor deziderate dacă:

$$B(s) = 1 / T_B \cdot s \cdot (T_{\min} \cdot s + 1)$$

în care:

$$T_{\min} = \min[(2\tau_{AP} + T_{TM}^*); (T_I^*)] = 5.01$$

iar  $T_B$  va trebui determinat .

Suprareglajul  $\sigma = 0$  presupune poli reali în  $B(0)$ .

Fie deci:

$$B_o(s) = 1 / (T_r \cdot s + 1)^2$$

din care rezultă că:

$$B_o(s) = 1 / (T_B \cdot T_{\min} \cdot s^2 + T_B \cdot s + 1) = 1 / 100.4s^2 + 20.4s + 1$$

Prin identificare rezultă:

$$T_r = 10.02$$

$$T_B = 20.04$$

asa încât :

$$B(s) = \frac{1}{100.4s^2 + 20.4s}$$

și deci obținem:

PROIECT I.R.A.		
Nume student: Ghiran Lorena	Grupa: 30131	Nota:

$$H_{R1} = \{T_1^*/4[(2\tau_{ap}+T_{TM}^*)\cdot s+1](2\tau_{ap}+T_{TM}^*)\cdot s\} \cdot (T_1^*\cdot s+1)/T_1^*\cdot s = \frac{144s + 12}{67.53s}$$

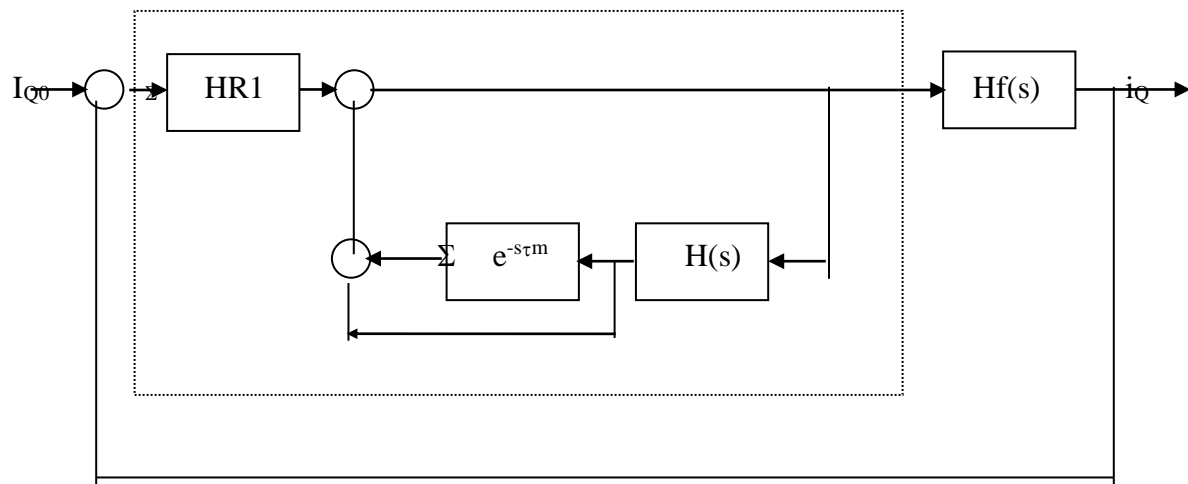
deci va fi necesar un regulator de tip PI având parametrii :

$$V_R = 2.1325$$

$$\tau_i = T_1^* = 12$$

$$\text{deci } H_R = 2.1325(1+1/12s)$$

Cum  $H(s) = H_{R1}(s) \cdot H_f'(s)$  deci pentru  $H_{R2}=1$  rezultă un  $H(s)=B(s)$ , iar structura este cea din figură



Se deduce că:

$$H_o(s) = e^{-s\tau_m}/(2T_{\min}\cdot s+1)^2 = \frac{1}{100.4s^2 + 20.4s + 1}$$

Verificările care se impun:  $H_o(s)$  obținut nu are suprareglaj deoarece conține un pol real dublu, deci avem un regim tranzitoriu aperiodic. În cazul celor doi poli confundați avem:

$$tr' = 6T_{\min} = 30.06$$

## PROIECT I.R.A.

Nume student: Ghiran Lorena

Grupa: 30131

Nota:

Dacă se ține cont de timpul mort atunci regimul tranzitoriu al răspunsului indicial este:

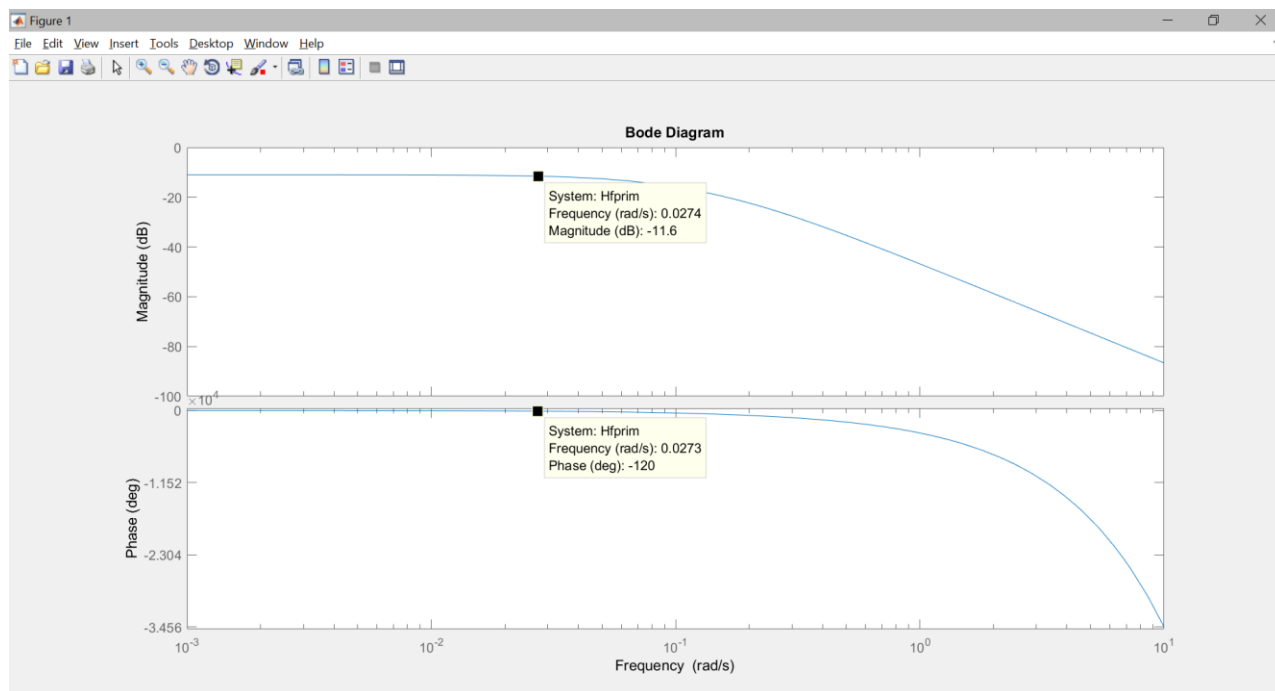
$$tr = 6T_{min} + \tau_m = 90.06$$

### 6.3. Analiza rezultatelor

Se vor compara răspunsurile indiciale obținute în cazul aceleiași părți fixate

$$H_f = e^{-60s} \frac{1}{100.4s^2 + 20.04s + 1}$$

folosind un regulator PI simplu, calculat pe seama impunerii unei margini de fază  $\gamma > 60^\circ$



$$H_R = \frac{2.9676}{s(s+0.00593)}$$

La aceeași treaptă  $i_{00}(s) = 1/s$  se vor calcula  $i_Q(t)$  pentru cazul regulatorului calculat cu metoda predicției și  $i_{\gamma Q}(t)$ , corespunzător structurii  $H_0(s)$ . Simularea se va face în discret datorită includerii timpului mort.

PROIECT I.R.A.		
Nume student: Ghiran Lorena	Grupa: 30131	Nota:

