

## PROIECT

CEOCA OVIDIU

### CUPRINS

Lista figurilor	1
1. Sistem de ordin I cu timp mort	3
2. Sistem oscilant	10
3. Sistem de ordin I cu timp mort și element integrator	17

### LISTA FIGURILOR

1	Diagramă Simulink pentru obținerea ciclului limită	3
2	Ciclul limită pentru sistemul cu timp mort	3
3	Schema Simulink pentru implementarea regulatorului PI	4
4	Răspunsul sistemului împreună cu semnalul de comandă de la regulatorul PI	4
5	Schema Simulink cu blocul de saturație pentru comanda regulatorului	5
6	Răspunsul sistemului împreună cu semnalul de comandă saturat și nesaturat	5
7	Schema Simulink cu structura de antisaturație	6
8	Răspunsul sistemului și comanda de la regulator cu structura de antisaturație	6
9	Schema Simulink pentru implementarea regulatorului discret	7
10	Răspunsul sistemului și comanda de la regulatorul discretizat	7
11	Schema Simulink pentru implementarea regulatorului discret cu saturație	7
12	Răspunsul sistemului și comanda saturată de la regulatorul discretizat	8
13	Schema Simulink pentru implementarea regulatorului discret cu antisaturație	8
14	Răspunsul sistemului și comanda saturată de la regulatorul discretizat cu structură de antisaturație	9
15	Evoluția semnalelor de comandă	9
16	Evoluția semnalelor de ieșire	10
17	Diagramă Simulink	10
18	Ciclul limită al sistemului oscilant	11
19	Schema Simulink pentru implementarea regulatorului PI	11

20	Răspunsul sistemului împreună cu semnalul de comandă de la regulatorul PI	12
21	Schema Simulink cu blocul de saturație pentru comanda regulatorului	12
22	Răspunsul sistemului împreună cu semnalul de comandă saturat și nesaturat	13
23	Răspunsul sistemului împreună cu semnalul de comandă saturat și nesaturat pentru $K_P$ amplificat	13
24	Schema Simulink cu structura de antisaturație	14
25	Răspunsul sistemului și comanda de la regulator cu structura de antisaturație	14
26	Schema Simulink pentru implementarea regulatorului discret nesaturat	15
27	Răspunsul sistemului și comanda de la regulatorul discretizat	15
28	Răspunsul sistemului și comanda de la regulatorul discretizat cu bloc de saturație	16
29	Răspunsul sistemului și comanda de la regulatorul discretizat cu structură de antisaturație	16
30	Evoluția semnalelor de comandă	17
31	Evoluția semnalelor de ieșire	17
32	Diagramă Simulink pentru obținerea ciclului limită	18
33	Ciclul limită pentru sistemul cu timp mort și element integrator	18
34	Schema Simulink pentru implementarea regulatorului PI	19
35	Răspunsul sistemului împreună cu semnalul de comandă de la regulatorul PI	19
36	Schema Simulink cu blocul de saturație pentru comanda regulatorului	19
37	Răspunsul sistemului împreună cu semnalul de comandă saturat și nesaturat	20
38	Schema Simulink cu structura de antisaturație	20
39	Răspunsul sistemului și comanda de la regulator cu structura de antisaturație	21
40	Schema Simulink pentru implementarea regulatorului discret nesaturat	21
41	Răspunsul sistemului și comanda de la regulatorul discretizat	22
42	Răspunsul sistemului și comanda de la regulatorul discretizat cu bloc de saturație	22
43	Răspunsul sistemului și comanda de la regulatorul discretizat cu structură de antisaturație	23
44	Evoluția semnalelor de comandă	23
45	Evoluția semnalelor de ieșire	24

## 1. SISTEM DE ORDIN I CU TIMP MORT

Sistemul este reprezentat în relația 1.1.

$$G(s) = \frac{1}{1 + sT} e^{-s} \quad (1.1)$$

Unde  $T = 2$

Pentru determinarea ciclului limită s-a folosit diagrama Simulink reprezentată în Figura 1

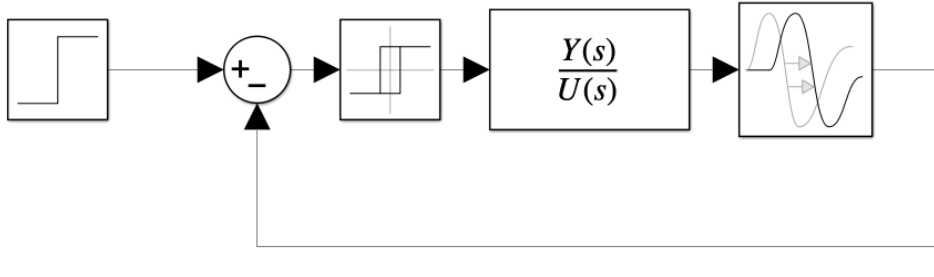


FIGURE 1. Diagramă Simulink pentru obținerea ciclului limită

Referința sistemului este un semnal treaptă cu amplitudinea de 0.5, iar valoarea pentru releu este de  $b = \pm 0.7$ . Răspunsul sistemului se poate observa în Figura 2.

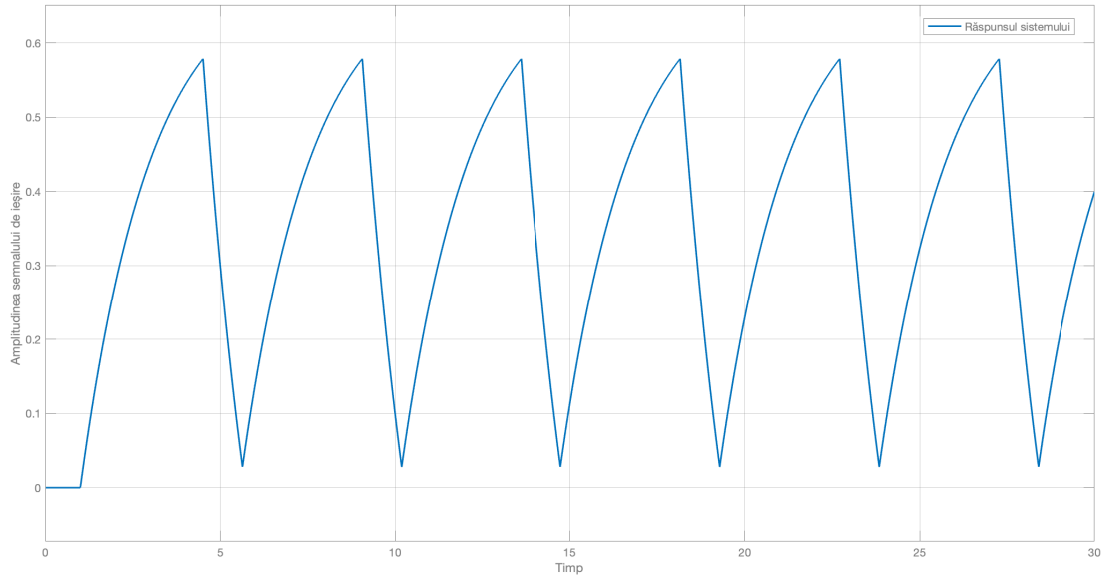


FIGURE 2. Ciclu limită pentru sistemul cu timp mort

Pe baza acestui răspuns s-au putut determina perioada de oscilație  $T_{osc} = 4.610$  și amplitudinea de oscilație  $A_{osc} = 0.27$ . Pentru determinarea parametrului KU s-a folosit relația 1.2.

$$K_U = \frac{4 \cdot b}{\pi \cdot A_{osc}} \quad (1.2)$$

Pentru controlul sistemului s-a folosit metoda *Ziegler-Nichols* de unde a rezultat un regulator de tip PI cu parametri descriși de relația 1.3.

$$\begin{aligned} K_p &= 0.45 \cdot K_U = 1.48 \\ T_i &= 0.8 \cdot T_{osc} = 3.68 \end{aligned} \quad (1.3)$$

Schema Simulink pentru implementarea regulatorului PI este prezentată în Figura 3.

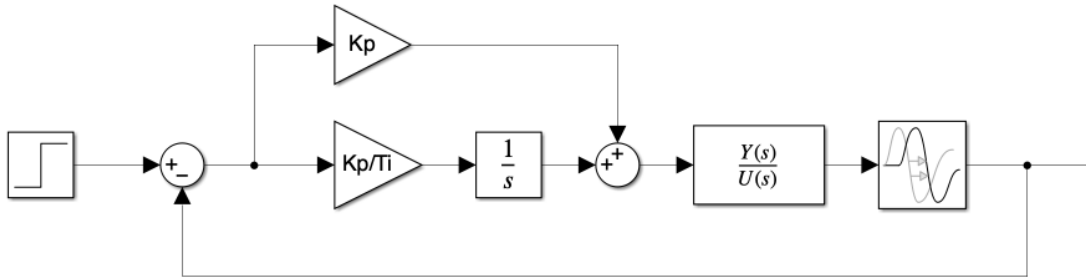


FIGURE 3. Schema Simulink pentru implementarea regulatorului PI

Răspunsul sistemului împreună cu semnalul de comandă de la regulatorul PI sunt reprezentate în Figura 4.

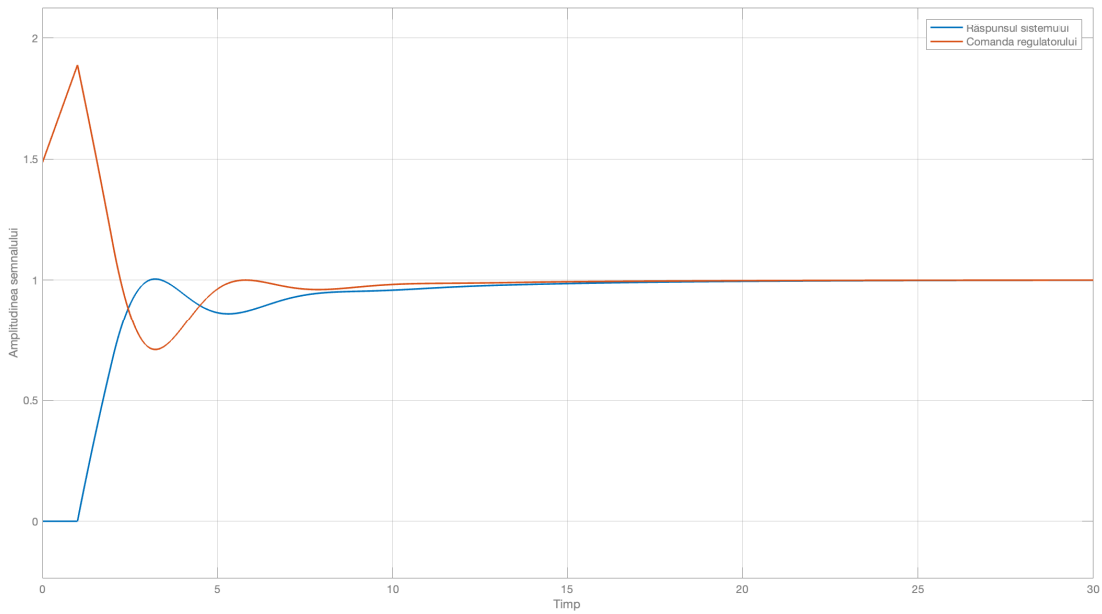


FIGURE 4. Răspunsul sistemului împreună cu semnalul de comandă de la regulatorul PI

Schema Simulink ce prezintă și blocul de saturație pentru comanda regulatorului este prezentată în Figura 5.

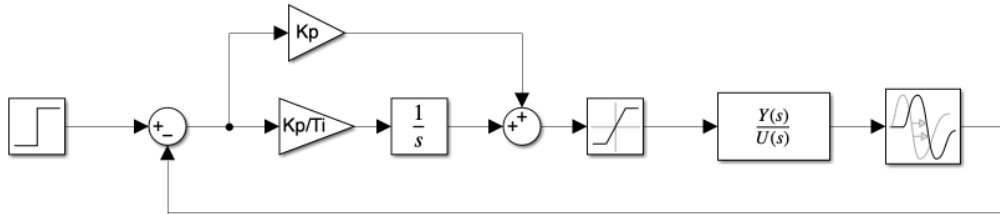


FIGURE 5. Schema Simulink cu blocul de saturație pentru comanda regulatorului

Răspunsul sistemului împreună cu semnalul de comandă de la regulatorul PI atât saturat, cât și nesaturat sunt reprezentate în Figura 6.

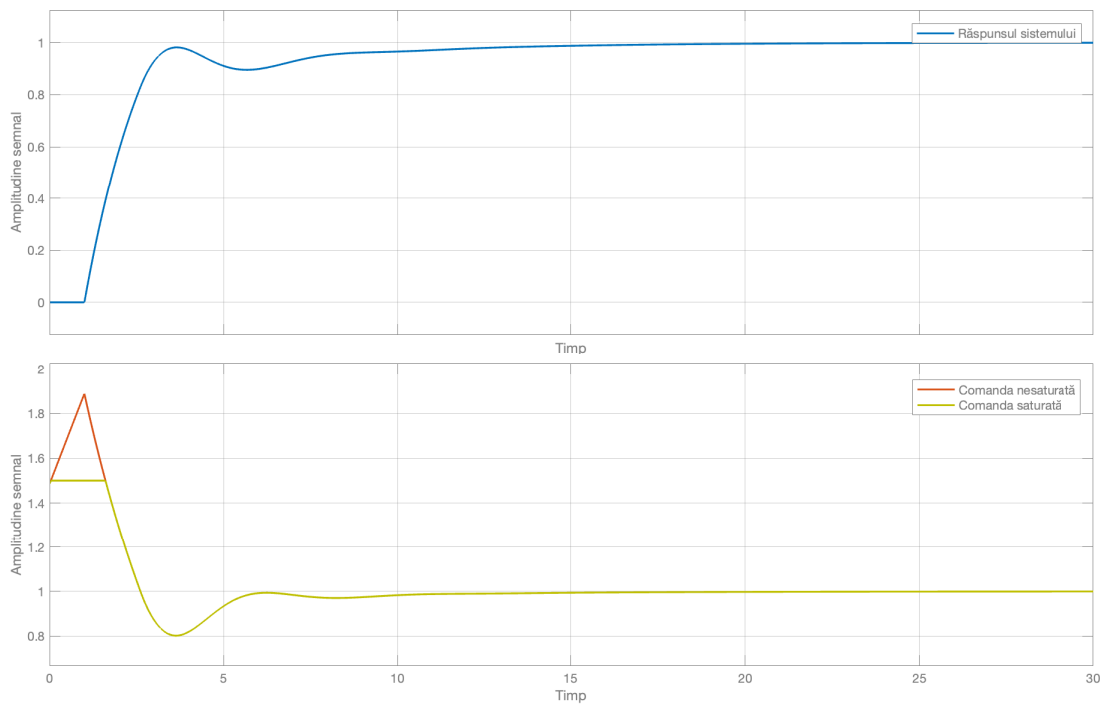


FIGURE 6. Răspunsul sistemului împreună cu semnalul de comandă saturat și nesaturat

Schema Simulink ce prezintă și structura de antisaturație este prezentată în Figura 7.

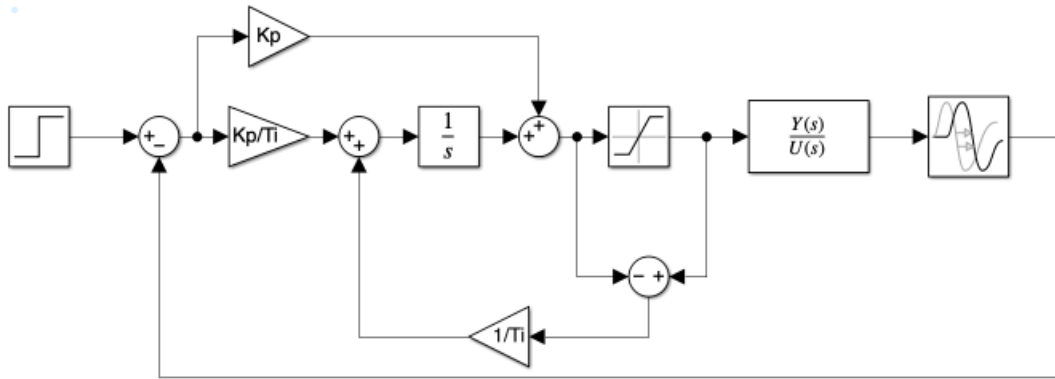


FIGURE 7. Schema Simulink cu structura de antisaturație

Răspunsul sistemului și comanda de la regulator când se aplică structura de antisaturație sunt reprezentate în Figura 8.

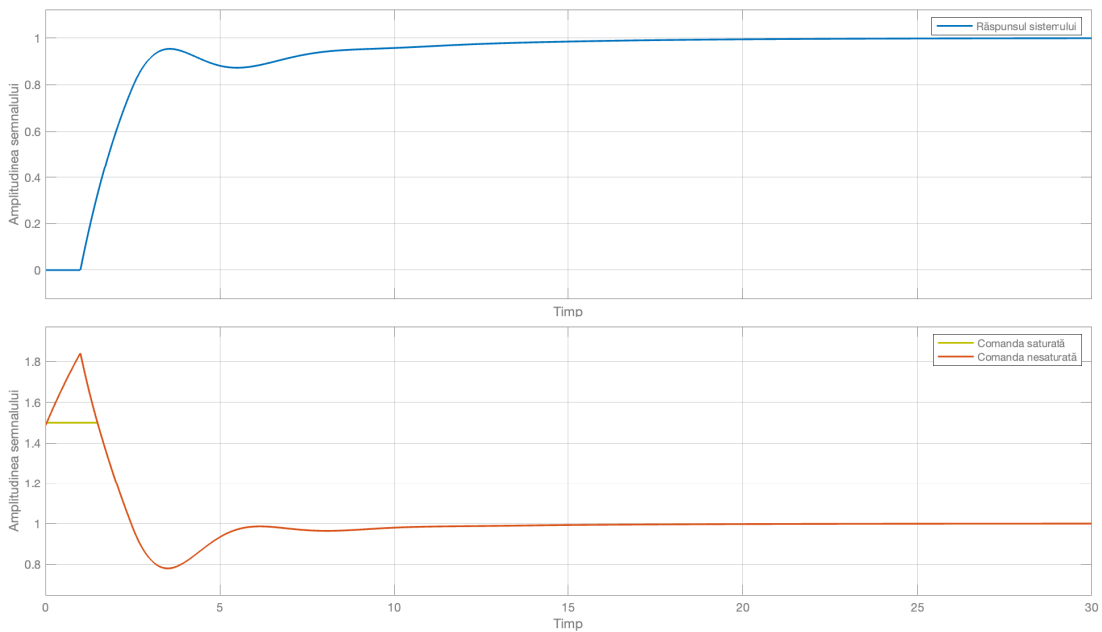


FIGURE 8. Răspunsul sistemului și comanda de la regulator cu structura de antisaturație

Pentru a putea reprezenta răspunsul sistemului discretizat s-a calculat perioada de eșantionare ca fiind  $\frac{T}{10}$  și are valoarea finală de  $T_e = 0.2$ . Schema Simulink pentru a observa comportamentul regulatorului discret fără bloc de saturație pentru comandă este reprezentată în Figura 9.

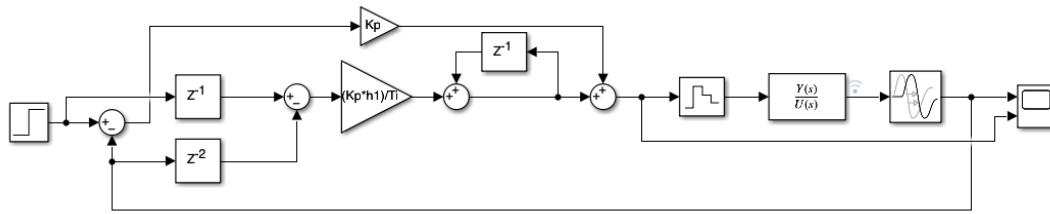


FIGURE 9. Schema Simulink pentru implementarea regulatorului discret

Răspunsul sistemului și comanda de la regulator folosind regulatorul discretizat sunt reprezentate în Figura 10.

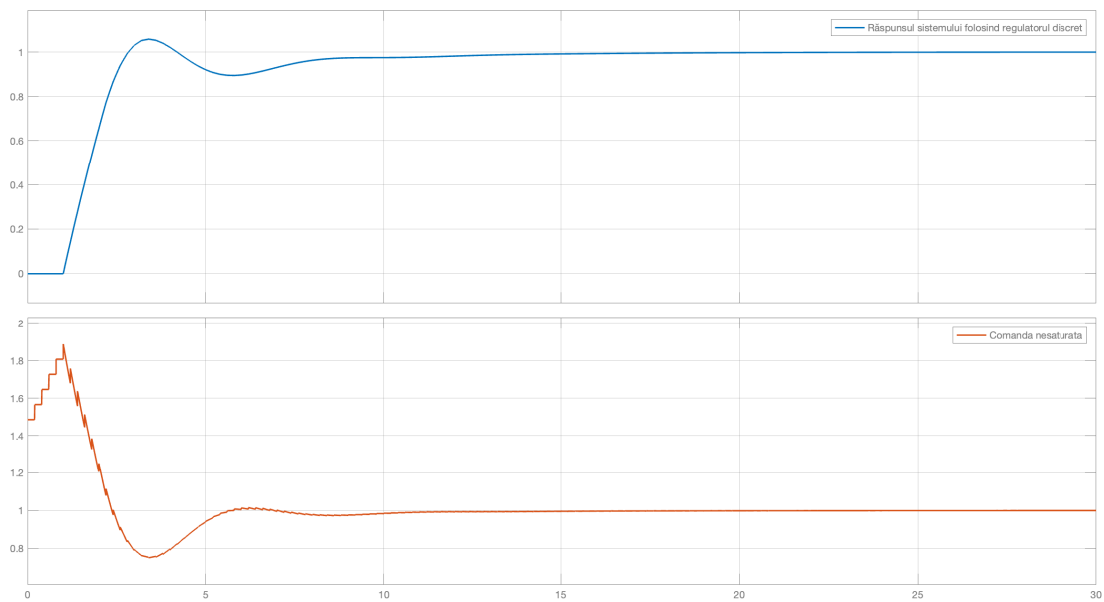


FIGURE 10. Răspunsul sistemului și comanda de la regulatorul discretizat

Schema Simulink pentru regulatorului discret cu bloc de saturație pentru comandă este reprezentată în Figura 11.

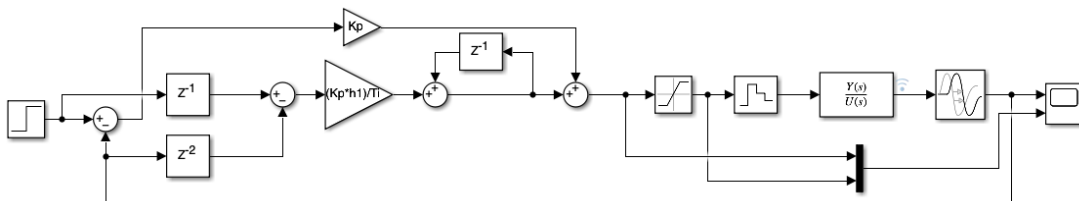


FIGURE 11. Schema Simulink pentru implementarea regulatorului discret cu saturație

Răspunsul sistemului și comanda saturată de la regulator folosind structura discretizată sunt reprezentate în Figura 12.

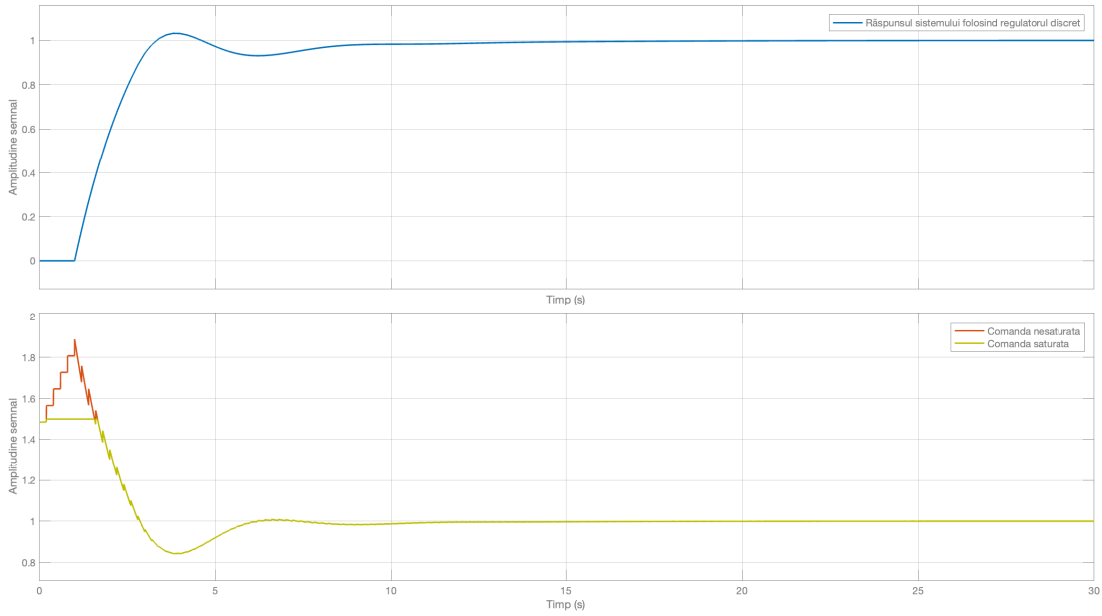


FIGURE 12. Răspunsul sistemului și comanda saturată de la regulatorul discretizat

Schema Simulink pentru regulatorului discret cu structură de antisaturație pentru comandă este reprezentată în Figura 13.

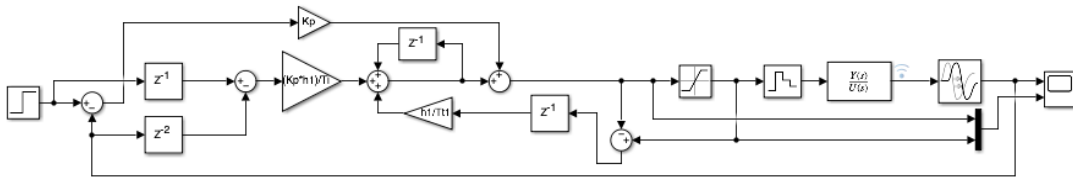


FIGURE 13. Schema Simulink pentru implementarea regulatorului discret cu antisaturație

Răspunsul sistemului și comanda saturată de la regulator folosind structura discretizată antisaturată sunt reprezentate în Figura 14.



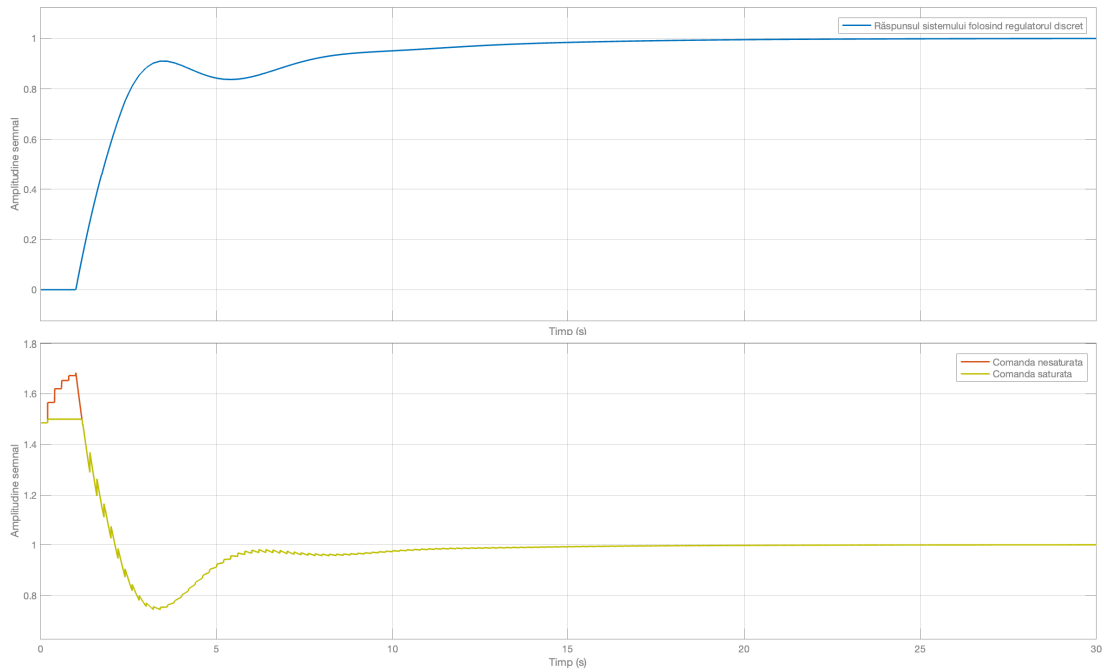


FIGURE 14. Răspunsul sistemului și comanda saturată de la regulatorul discretizat cu structură de antisaturație

În Figura 15 se poate observa evoluția semnalelor de comandă din continuu și discret de la regulator.

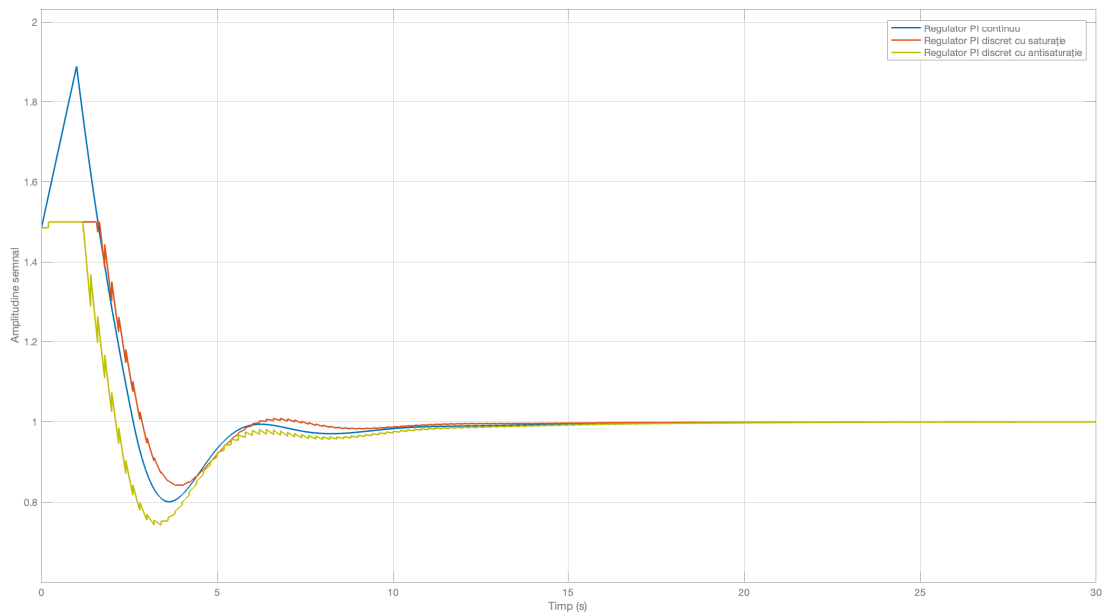


FIGURE 15. Evoluția semnalelor de comandă

În Figura 16 se poate observa evoluția mărimilor de ieșire.

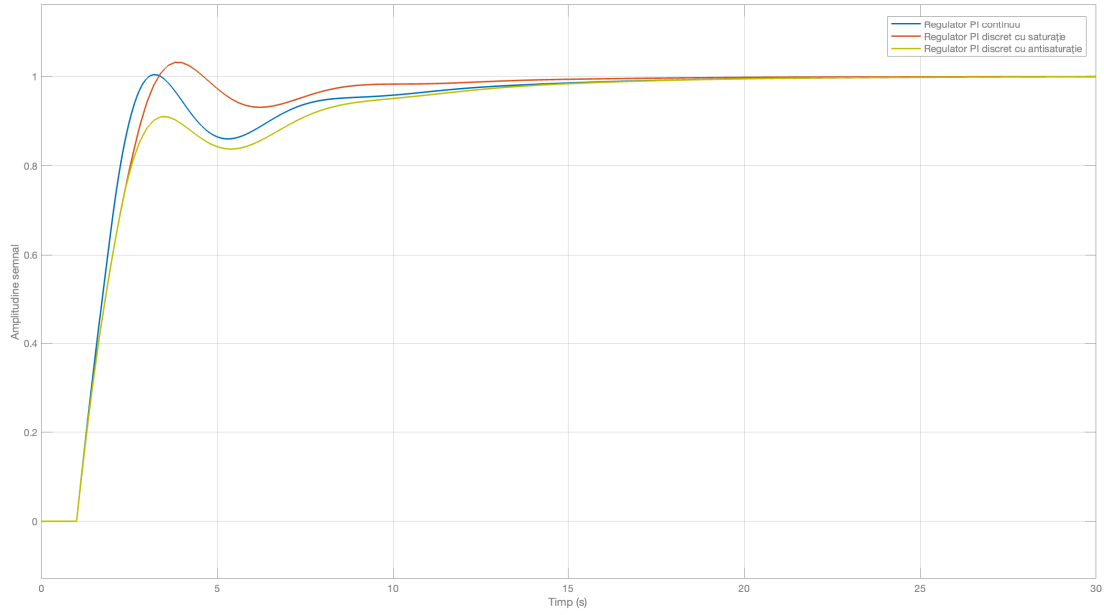


FIGURE 16. Evoluția semnalelor de ieșire

## 2. SISTEM OSCILANT

Sistemul este reprezentat în relația 2.1.

$$G(s) = \frac{\omega_0^2}{(s+1)(s^2 + 2\zeta\omega_0 s + \omega_0^2)} \quad (2.1)$$

Unde  $\zeta = 0.1$  și  $\omega_0 = 1$

Figura 17 reprezintă diagrama Simlink folosită pentru a determina ciclul limită al sistemului.

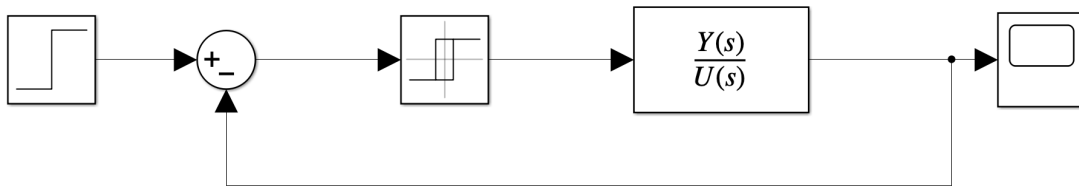


FIGURE 17. Diagramă Simulink

Referința sistemului este un semnal treaptă cu amplitudinea de 0.5, iar valoarea pentru releu este de  $b = \pm 0.7$ . Răspunsul sistemului se poate observa în Figura 18.

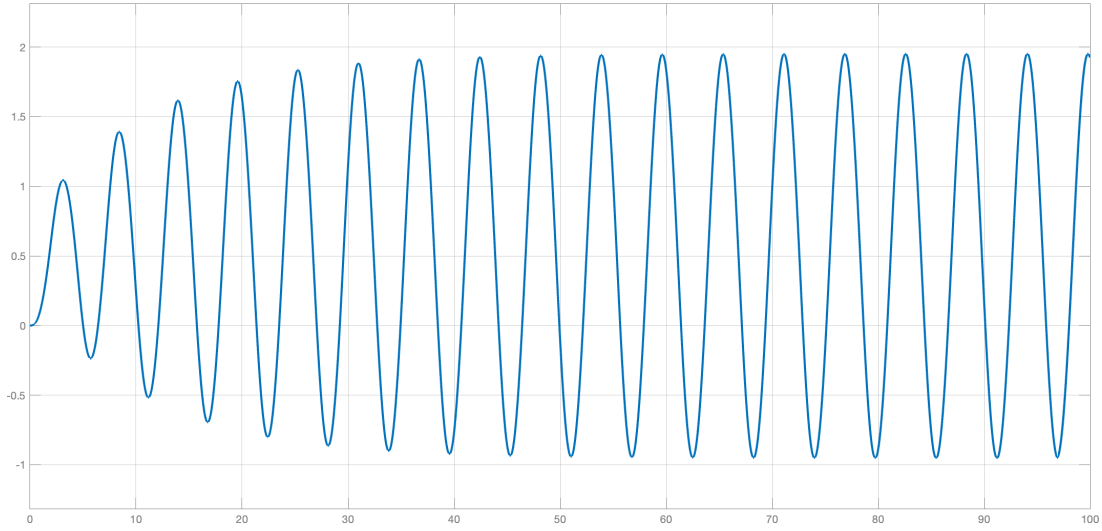


FIGURE 18. Ciclul limită al sistemului oscilant

Pe baza acestui răspuns s-au putut determina perioada de oscilație  $T_{osc} = 5.750$  și amplitudinea de oscilație  $A_{osc} = 1.9945$ . Pentru determinarea parametrului  $K_U$  s-a folosit relația 1.2 menționată la primul sistem.

Pentru controlul sistemului s-a folosit metoda *Ziegler-Nichols* de unde a rezultat un regulator de tip PI cu parametrii descriși de relația 2.2.

$$\begin{aligned} K_p &= 0.45 \cdot K_U = 0.2011 \\ T_i &= 0.8 \cdot T_{osc} = 4.60 \end{aligned} \quad (2.2)$$

Schema Simulink pentru implementarea regulatorului PI este prezentată în Figura 19.

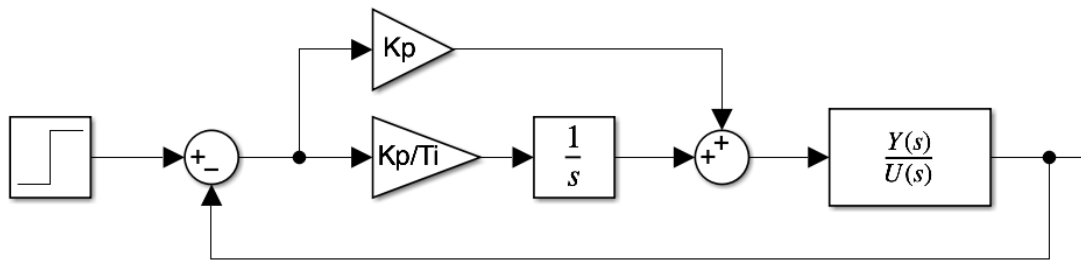


FIGURE 19. Schema Simulink pentru implementarea regulatorului PI

Răspunsul sistemului împreună cu semnalul de comandă de la regulatorul PI sunt reprezentate în Figura 20.

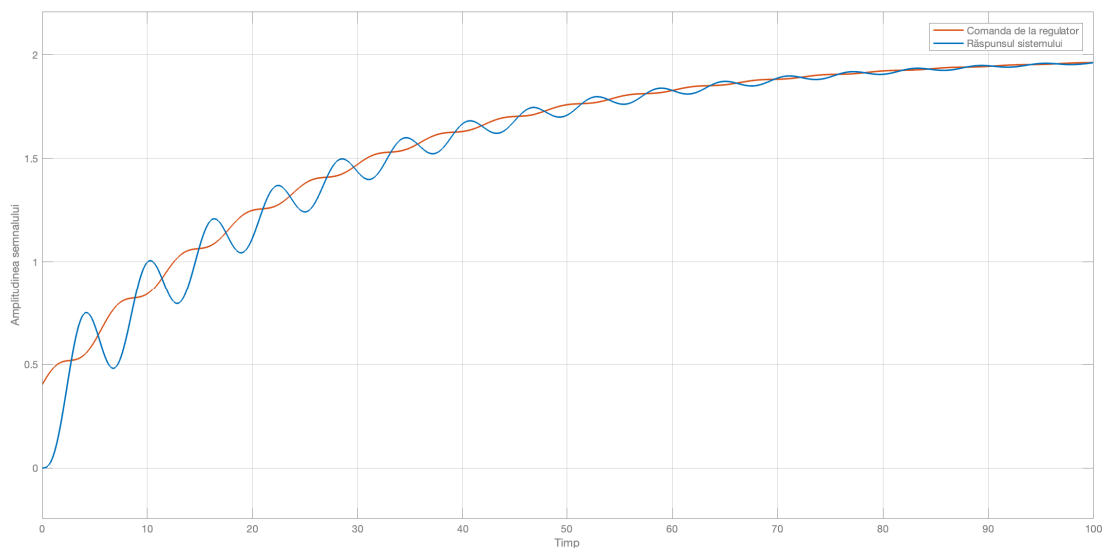


FIGURE 20. Răspunsul sistemului împreună cu semnalul de comandă de la regulatorul PI

Schema Simulink ce prezintă și blocul de saturație pentru comanda regulatorului este prezentată în Figura 21.

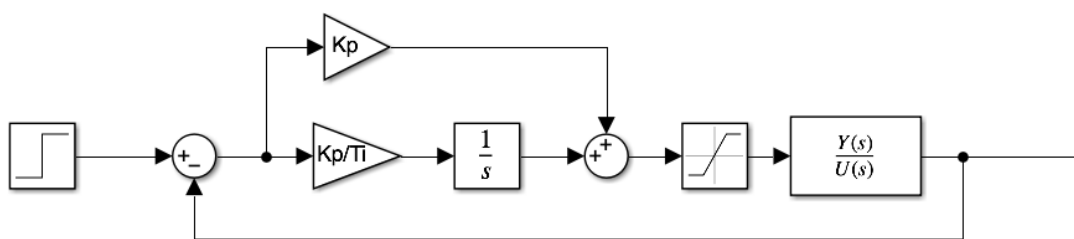


FIGURE 21. Schema Simulink cu blocul de saturație pentru comanda regulatorului

Răspunsul sistemului împreună cu semnalul de comandă de la regulatorul PI atât saturat, cât și nesaturat sunt reprezentate în Figura 22.

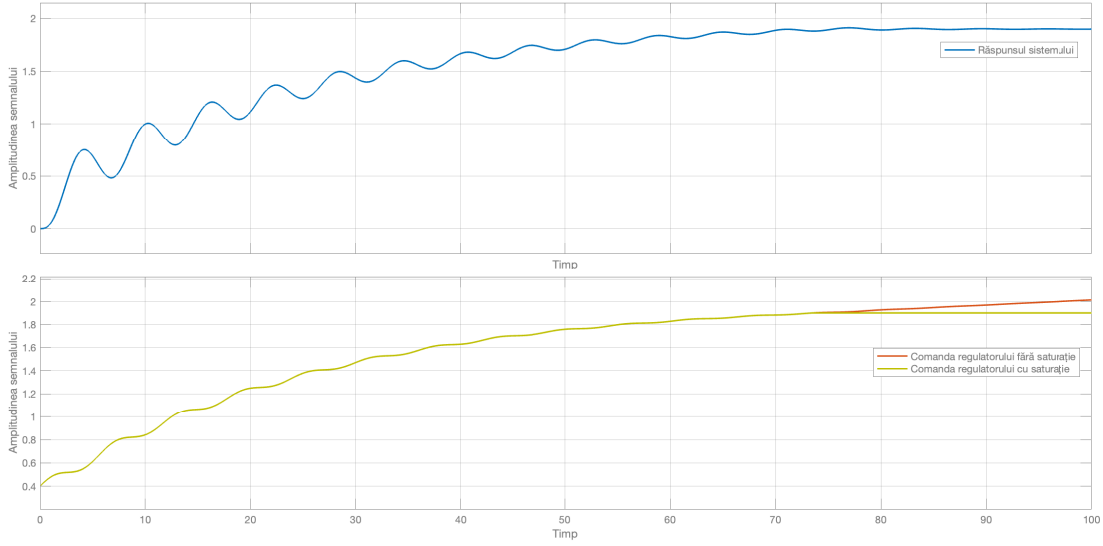


FIGURE 22. Răspunsul sistemului împreună cu semnalul de comandă saturat și nesaturat

Se poate observa faptul că în momentul în care comanda de la regulator ajunge la saturație, graficul comenzii nesaturate tinde spre infinit. Acest lucru se întâmplă deoarece regulatorul dorește să aducă sistemul la referință (în cazul de față, referința are valoarea 2), însă nu poate din cauza blocului de saturație. Pentru a anula acest fenomen, se amplifică elementul  $K_P$  cu 1.5 pentru a accentua oscilațiile sistemului. Figura 23 ilustrează oscilațiile crescute ale sistemului și semnalul de comandă saturat.

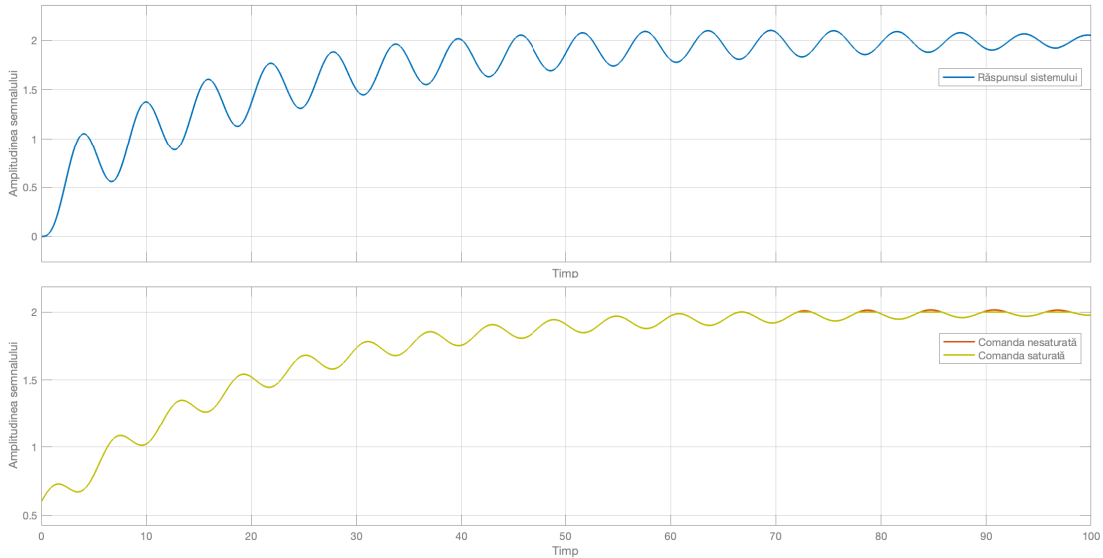


FIGURE 23. Răspunsul sistemului împreună cu semnalul de comandă saturat și nesaturat pentru  $K_P$  amplificat

În continuare se va folosi  $K_P$  amplificat.

Schema Simulink ce prezintă și structura de antisaturație este prezentată în Figura 24.

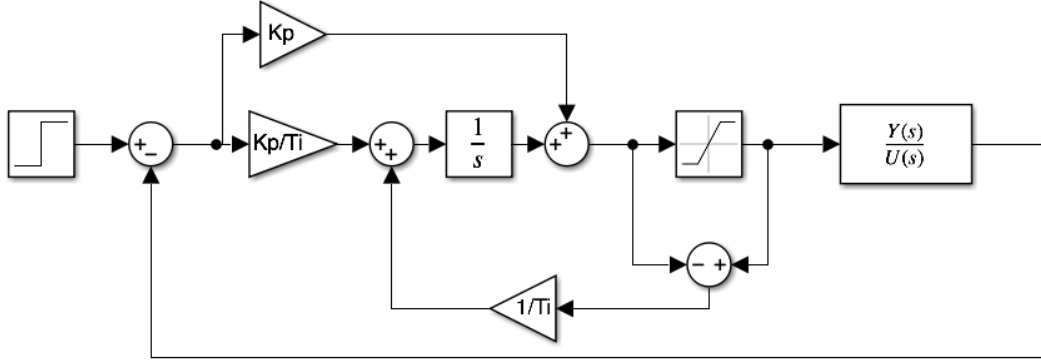


FIGURE 24. Schema Simulink cu structura de antisaturație

Răspunsul sistemului și comanda de la regulator când se aplică structura de antisaturație sunt reprezentate în Figura 25.

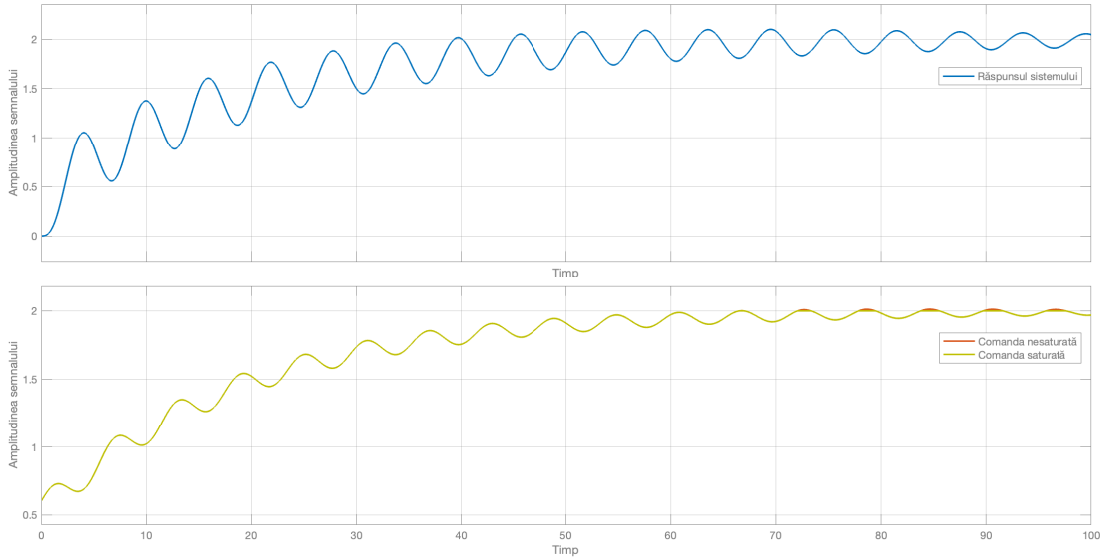


FIGURE 25. Răspunsul sistemului și comanda de la regulator cu structura de antisaturație

Schema Simulink pentru a observa comportamentul regulatorului discret fără saturație este reprezentată în Figura 26. Pentru alegerea perioadei de eșantionare s-a ales minimul dintre  $T$  și  $\frac{1}{\zeta \cdot \omega_0}$ , iar valoarea finală este  $T_e = 0.1$ .

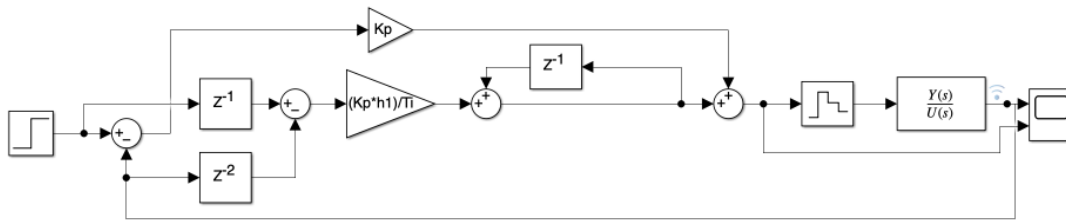


FIGURE 26. Schema Simulink pentru implementarea regulatorului discret nesaturat

Răspunsul sistemului și comanda de la regulator folosind regulatorul discretizat sunt reprezentate în Figura 27.

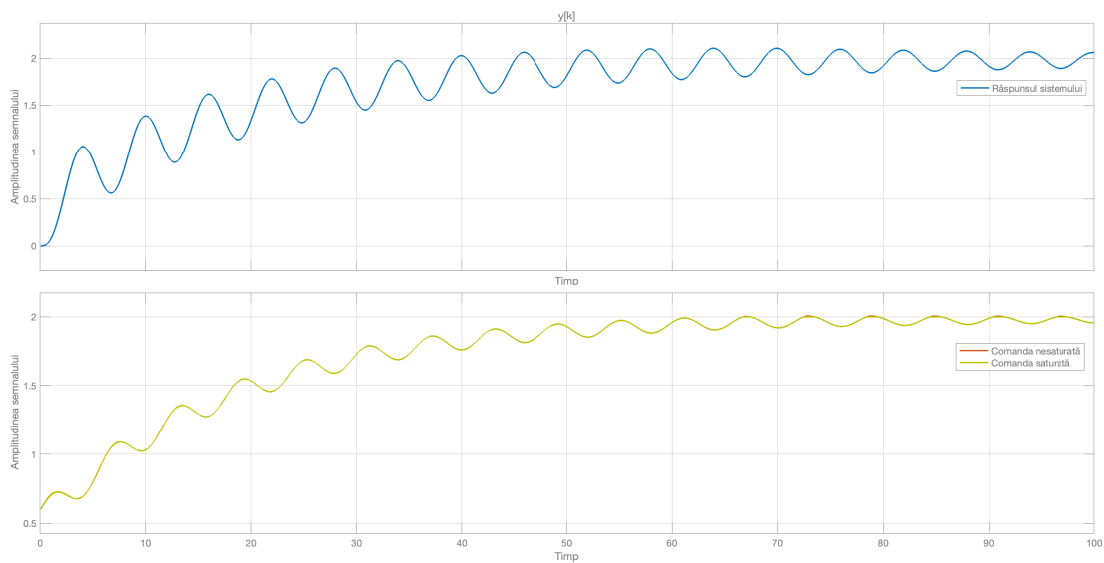


FIGURE 27. Răspunsul sistemului și comanda de la regulatorul discretizat

Prin adăugarea blocului de saturație se poate observa în Figura 28 că semnalul de comandă se saturează în momentul în care sistemul ajunge în regim staționar.

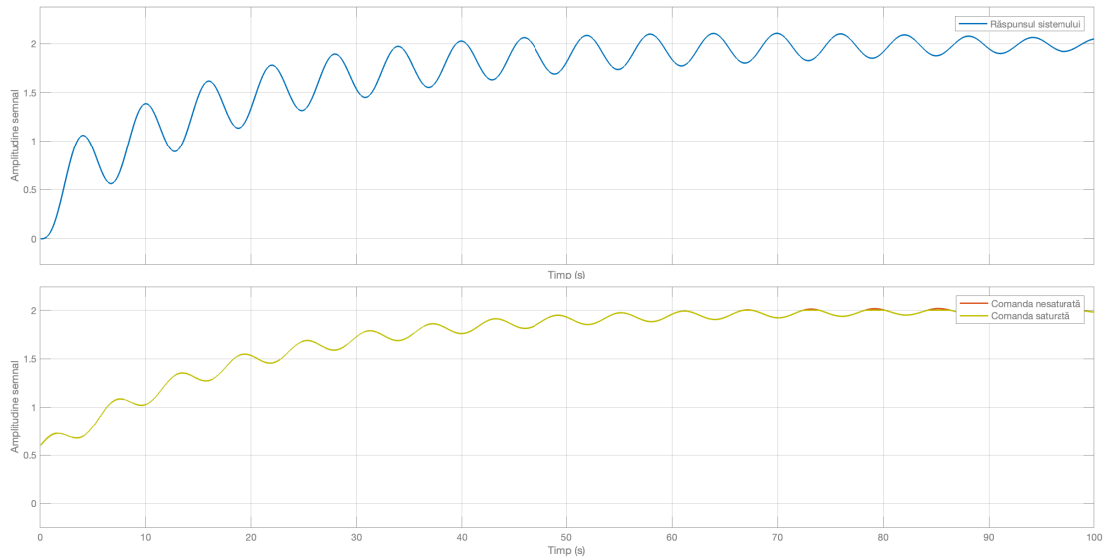


FIGURE 28. Răspunsul sistemului și comanda de la regulatorul discretizat cu bloc de saturație

Răspunsul sistemului ce prezintă structura de antisaturație, precum și semnalul de comandă sunt reprezentate în Figura 29

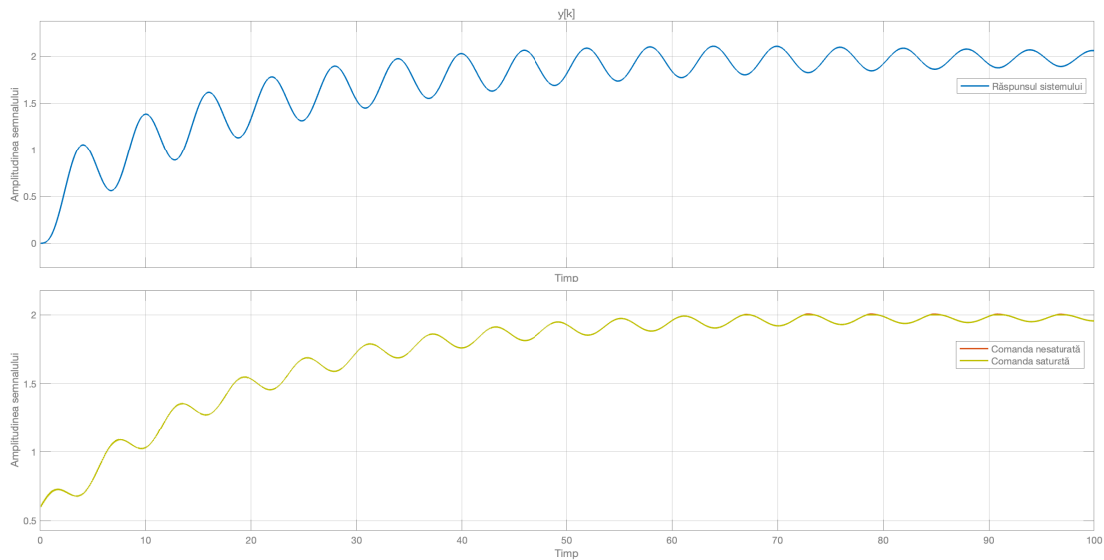


FIGURE 29. Răspunsul sistemului și comanda de la regulatorul discretizat cu structură de antisaturație

În Figura 30 se poate observa evoluția semnalelor de comandă din continuu și discret de la regulator.



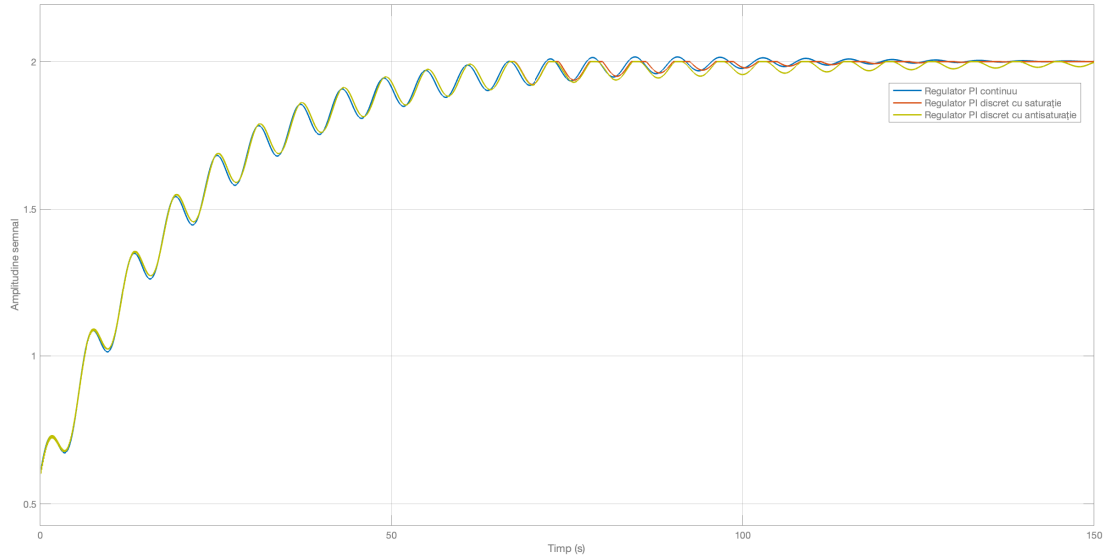


FIGURE 30. Evoluția semnalelor de comandă

În Figura 31 se poate observa evoluția mărimilor de ieșire.

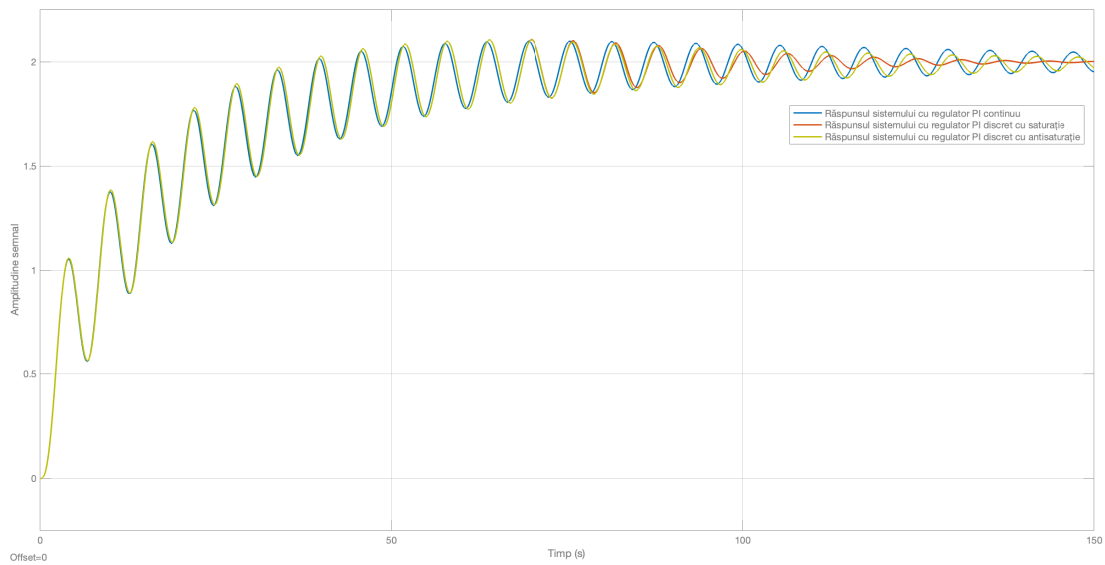


FIGURE 31. Evoluția semnalelor de ieșire

### 3. SISTEM DE ORDIN I CU TIMP MORT ȘI ELEMENT INTEGRATOR

Sistemul este reprezentat în relația 3.1.

$$G(s) = \frac{1}{s(1 + sT)} e^{-s} \quad (3.1)$$

Unde  $T = 2$

Pentru determinarea ciclului limită s-a folosit diagrama Simulink reprezentată în Figura 32

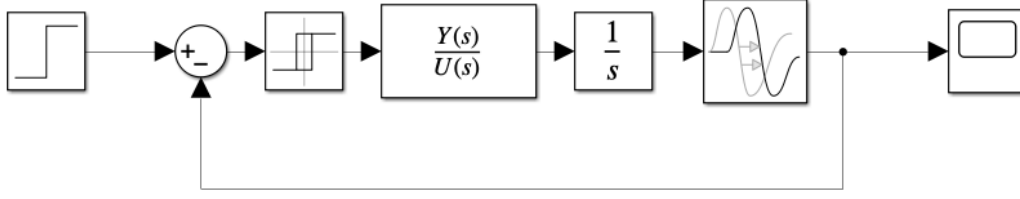


FIGURE 32. Diagramă Simulink pentru obținerea ciclului limită

Referința sistemului este un semnal treaptă cu amplitudinea de 0.5, iar valoarea pentru releu este de  $b = \pm 0.2$ . Răspunsul sistemului se poate observa în Figura 33.

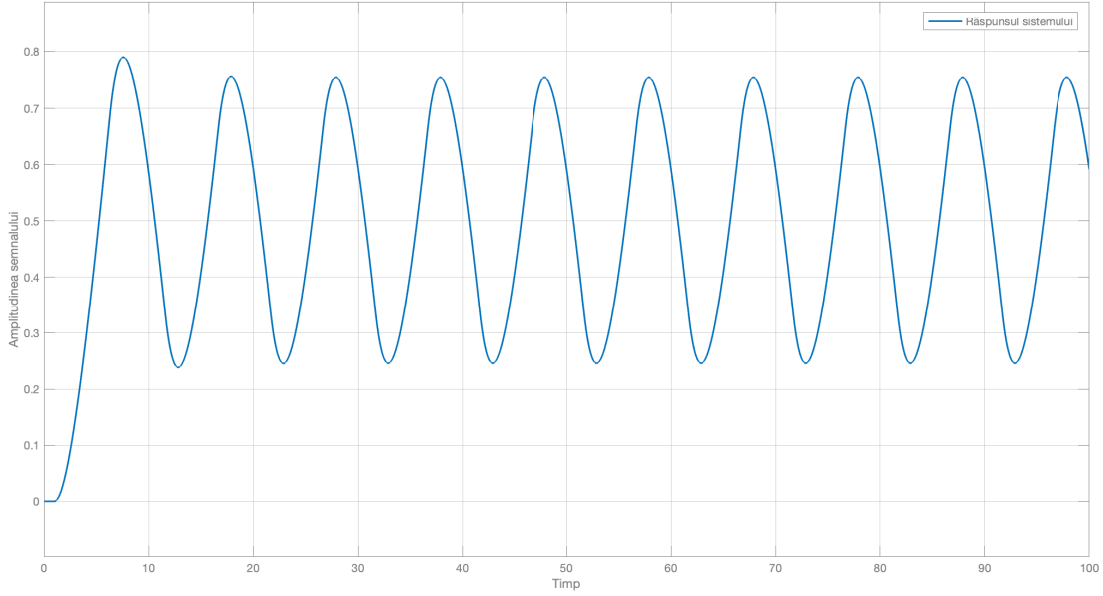


FIGURE 33. Ciclul limită pentru sistemul cu timp mort și element integrator

Pe baza acestui răspuns s-au putut determina perioada de oscilație  $T_{osc} = 10$  și amplitudinea de oscilație  $A_{osc} = 0.2542$ . Pentru determinarea parametrului KU s-a folosit relația 1.2.

Pentru controlul sistemului s-a folosit metoda *Ziegler-Nichols* de unde a rezultat un regulator de tip PI cu parametrii descriși de relația 3.2.

$$\begin{aligned} K_p &= 0.45 \cdot K_U = 0.4509 \\ T_i &= 0.8 \cdot T_{osc} = 8 \end{aligned} \quad (3.2)$$

Schema Simulink pentru implementarea regulatorului PI este prezentată în Figura 34.

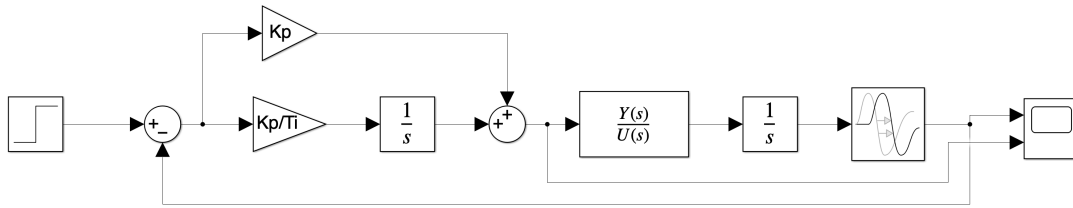


FIGURE 34. Schema Simulink pentru implementarea regulatorului PI

Răspunsul sistemului împreună cu semnalul de comandă de la regulatorul PI sunt reprezentate în Figura 35.

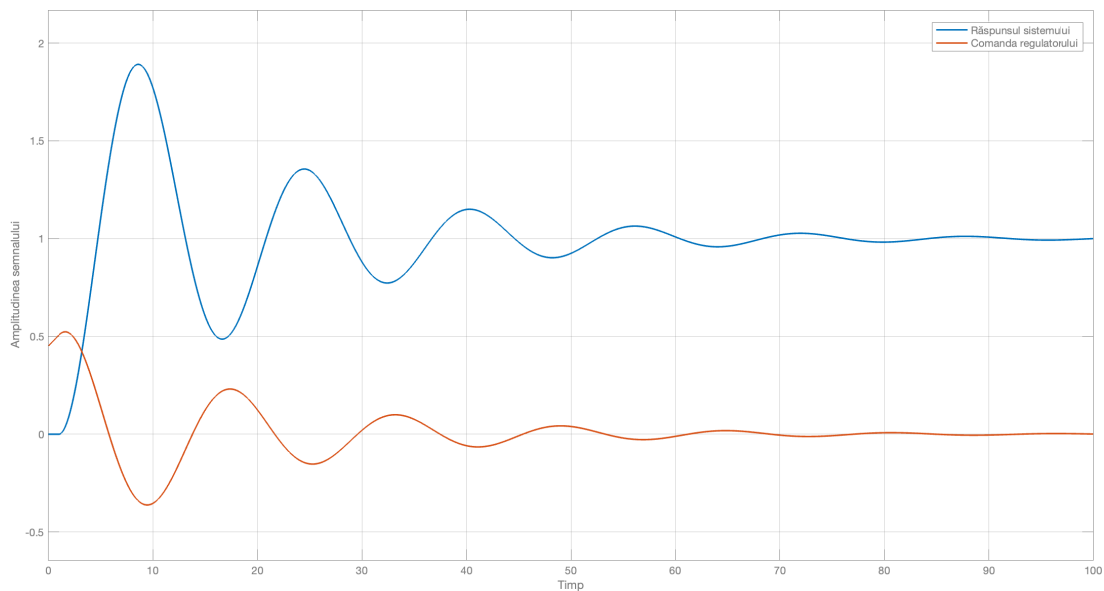


FIGURE 35. Răspunsul sistemului împreună cu semnalul de comandă de la regulatorul PI

Schema Simulink ce prezintă și blocul de saturație pentru comanda regulatorului este prezentată în Figura 36.

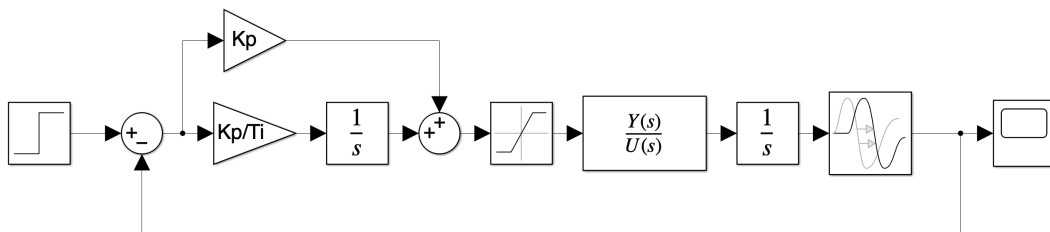


FIGURE 36. Schema Simulink cu blocul de saturație pentru comanda regulatorului

Răspunsul sistemului împreună cu semnalul de comandă de la regulatorul PI atât saturat, cât și nesaturat sunt reprezentate în Figura 37.

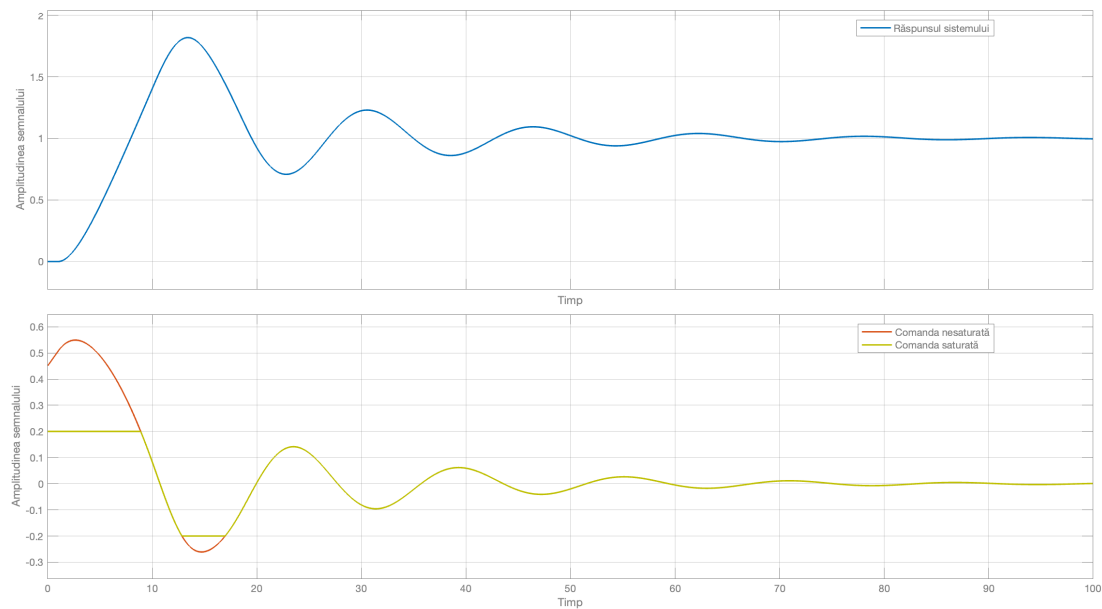


FIGURE 37. Răspunsul sistemului împreună cu semnalul de comandă saturat și nesaturat

Schema Simulink ce prezintă și structura de antisaturație este prezentată în Figura 38.

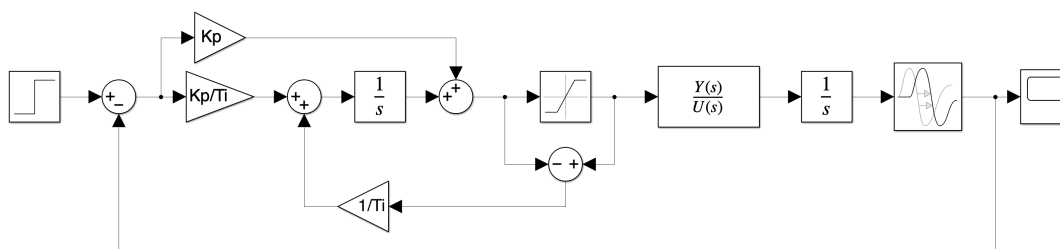


FIGURE 38. Schema Simulink cu structura de antisaturație

Răspunsul sistemului și comanda de la regulator când se aplică structura de antisaturație sunt reprezentate în Figura 39.

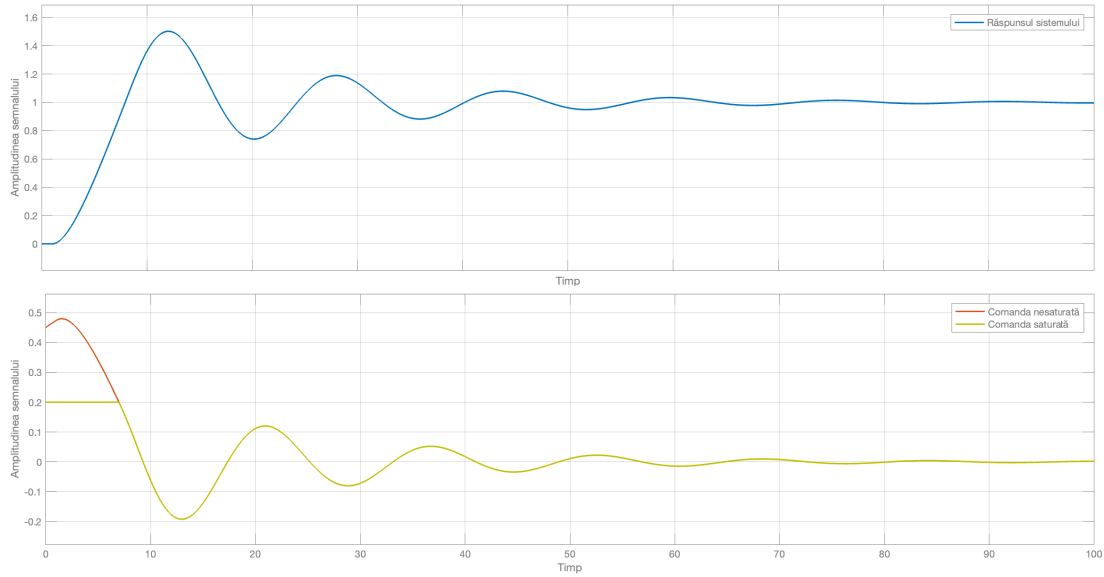


FIGURE 39. Răspunsul sistemului și comanda de la regulator cu structura de antisaturație

Pentru a putea reprezenta răspunsul sistemului discretizat s-a calculat perioada de eșantionare ca fiind  $\frac{T}{10}$  și are valoarea finală de  $T_e = 0.2$ . Schema Simulink pentru a observa comportamentul regulatorului discret fără saturație este reprezentată în Figura 40.

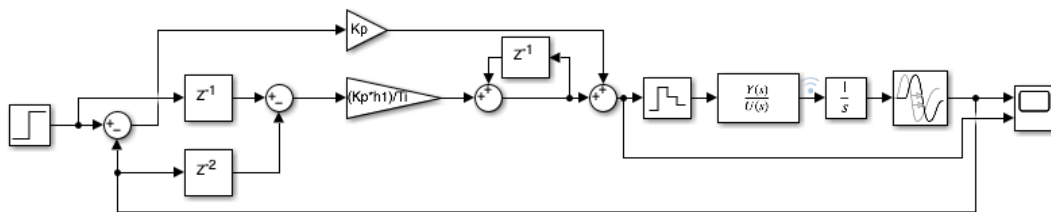


FIGURE 40. Schema Simulink pentru implementarea regulatorului discret nesaturat

Răspunsul sistemului și comanda de la regulator folosind regulatorul discretizat sunt reprezentate în Figura 41.

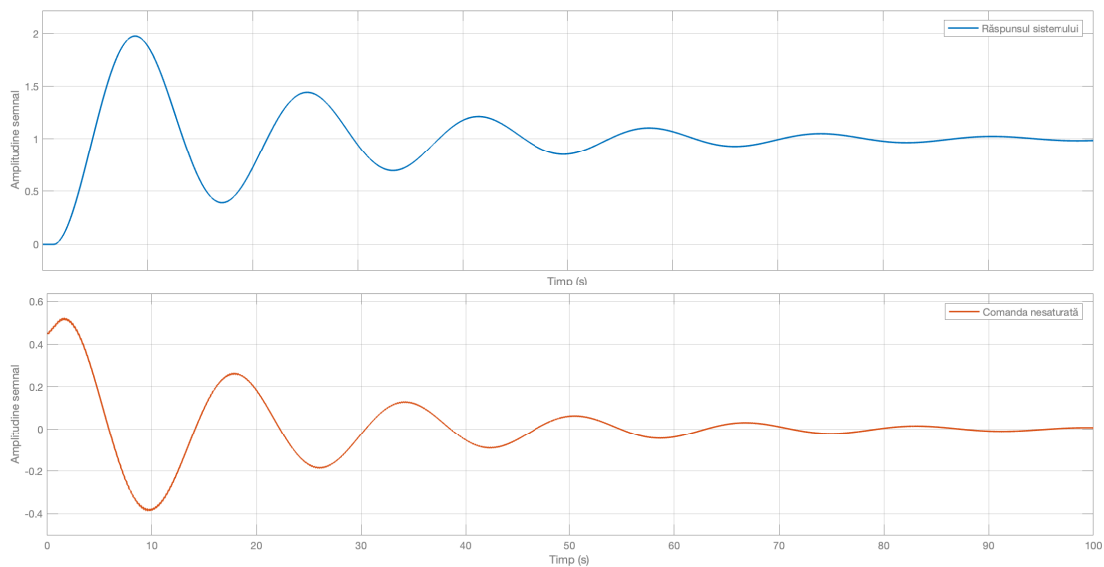


FIGURE 41. Răspunsul sistemului și comanda de la regulatorul discretizat

Prin adăugarea blocului de saturație se poate observa în Figura 42 că semnalul de comandă se saturează doar în prima parte a răspunsului sistemului.

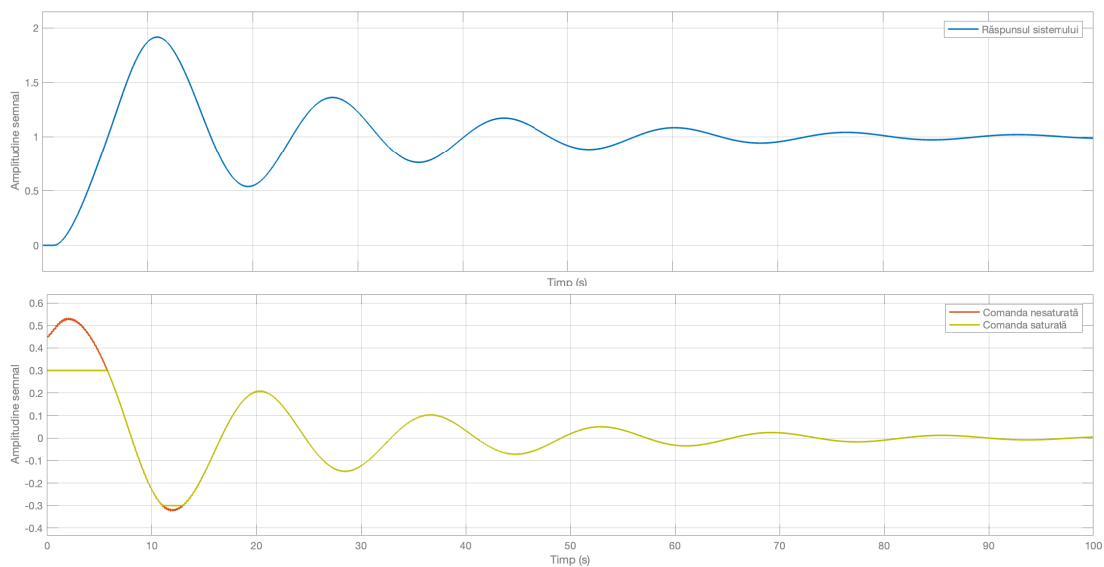


FIGURE 42. Răspunsul sistemului și comanda de la regulatorul discretizat cu bloc de saturație

Răspunsul sistemului ce prezintă structura de antisaturație, precum și semnalul de comandă sunt reprezentate în Figura 43

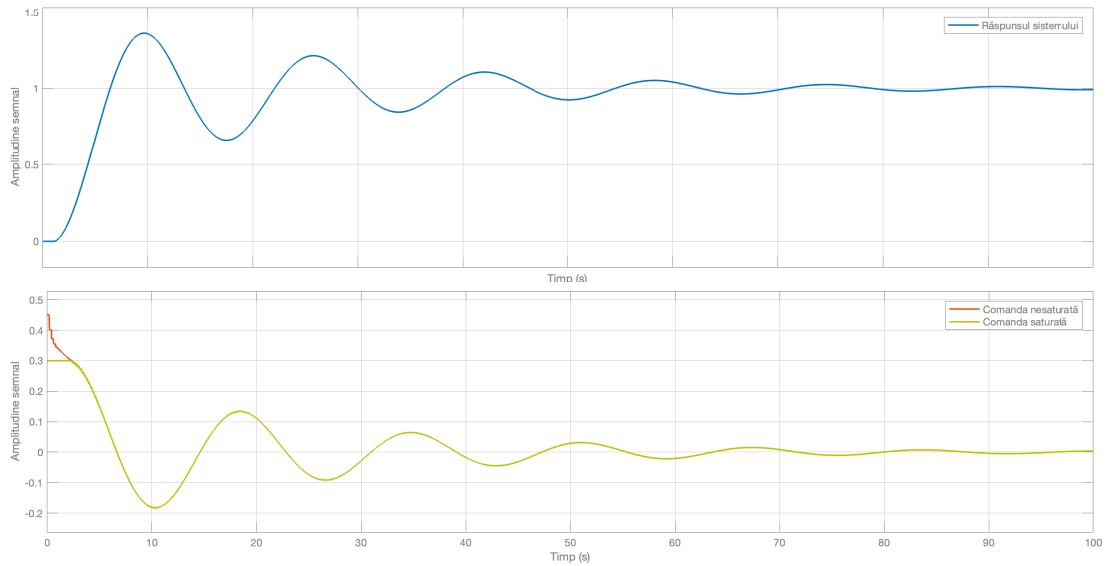


FIGURE 43. Răspunsul sistemului și comanda de la regulatorul discretizat cu structură de antisaturație

În Figura 44 se poate observa evoluția semnalelor de comandă din continuu și discret de la regulator.

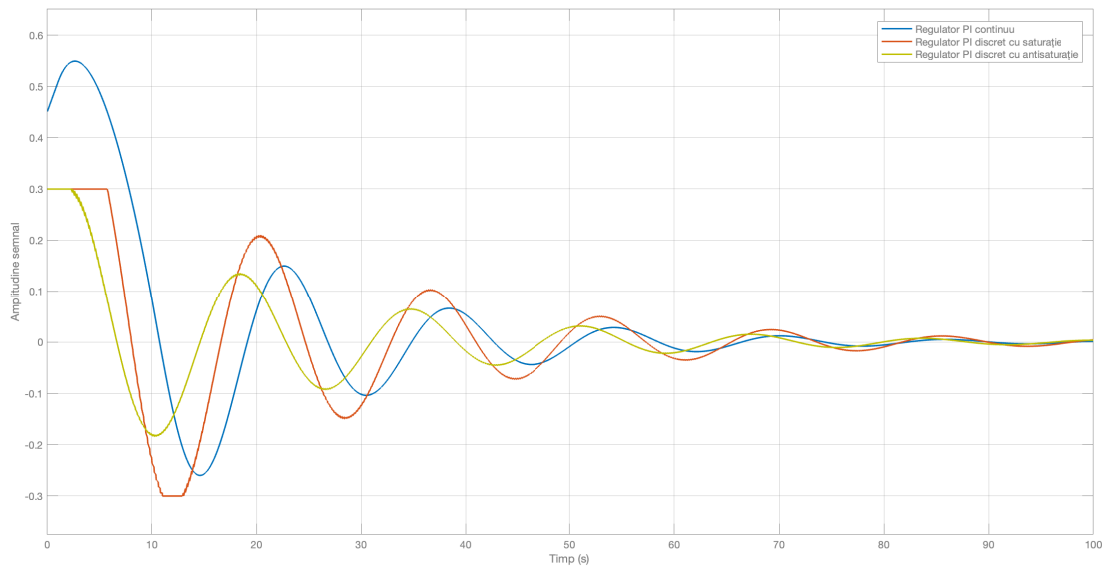


FIGURE 44. Evoluția semnalelor de comandă

În Figura 45 se poate observa evoluția mărimilor de ieșire.

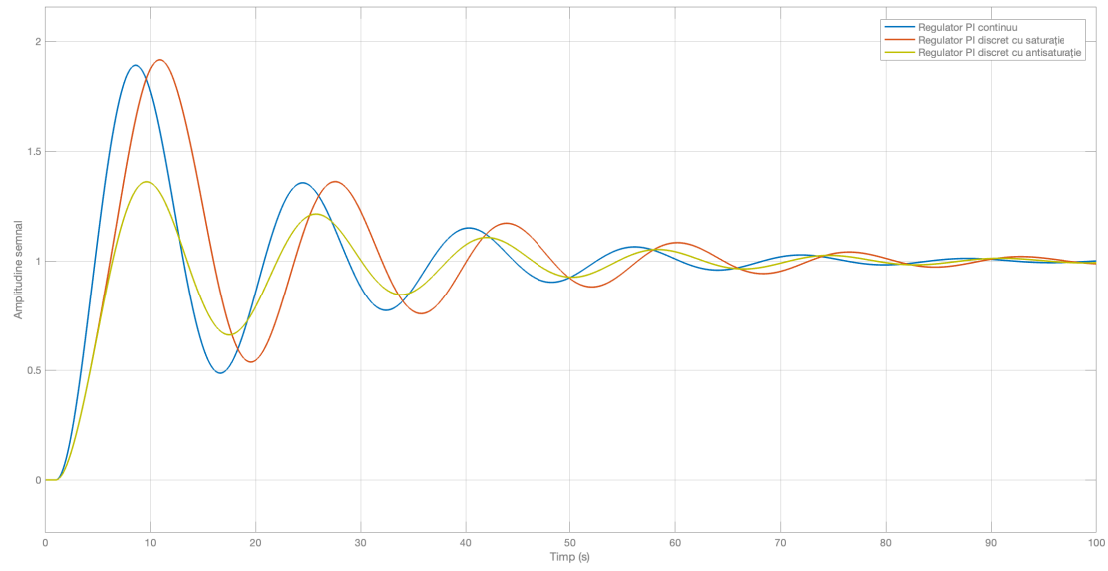


FIGURE 45. Evoluția semnalelor de ieșire