ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ

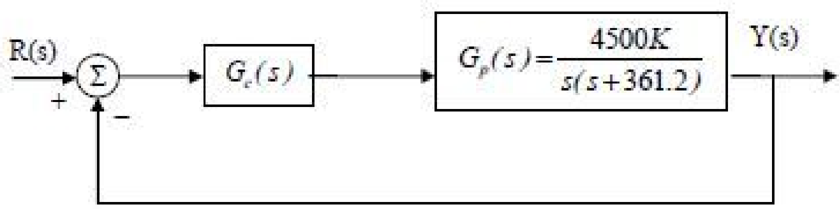
1η εργαστηριακή άσκηση
MATLAB/SIMULINK

ΟΝΟΜΑ : ΧΡΟΝΗΣ ΣΑΚΟΣ

Α.Μ : 03116168

ΕΞΑΜΗΝΟ: 6ο

Σκοπός της εργαστηριακής άσκησης είναι η μελέτη των PID ελεγχτών για τη σχεδίαση συστημάτων αυτομάτου ελέγχου.



α) Να σχεδιαστεί PD-ελεγκτής, $G_c(s)=k_p+k_d s$, για τις ακόλουθες προδιαγραφές:

- Σφάλμα στη μόνιμη κατάσταση στη μοναδιαία συνάρτηση αναρρίχησης ≤ 0.000443
- Μέγιστη υπερύψωση $\leq 5\%$
- Χρόνος ανύψωσης $t_r \leq 0.005\ s$
- Χρόνος αποκατάστασης $t_s \leq 0.005\ s$

$$G_p(s) = \frac{4500 \cdot K}{s(s+361,2)} \qquad G_c(s) = K_p + K_d \cdot s$$

συνάρτηση μεταφοράς κλειστού βρόχου:

$$G_{cl}(s) = \frac{G_c \cdot G_p}{1 + G_c \cdot G_p} = \frac{4500k\,(k_p + K_d \cdot s)}{s^2 + s \cdot (361,2 + 4500k \cdot K_d) + 4500k \cdot k_p}$$

Θα υπολογίζουμε το σφάλμα στη μόνιμη κατάσταση για είσοδο αναρρίχησης.

Παίρνουμε το σφάλμα ταχύτητας:

$$K_v = \lim_{s \to 0} s \cdot G(s) = \lim_{s \to 0} \cancel{s} \cdot (K_p + K_d \cdot s) \left(\frac{4500k}{\cancel{s}(s+361,2)} \right)$$

$$= k_p \cdot \frac{4500k}{361,2}$$

άρα $$e_{ss} = \frac{1}{K_v} = \frac{361,2}{K_p \cdot 4500 \cdot k} \leq 0,000443.$$

$$K_p \cdot K \geq 181,2 \quad (1)$$

Θεωρούμε σύστημα με Σ.Μ.

$$\frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n \cdot s + \omega_n^2}$$

Θέλουμε: μέγιστη υπερύψωση $M_p \leq 5\%$

$$\Rightarrow e^{-\pi\zeta/\sqrt{1-\zeta^2}} \leq 0,05 \Rightarrow \frac{-\pi\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}} \leq -3 \Rightarrow$$

$$\frac{\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}} \geq 0,955 \Rightarrow \zeta^2 \geq 0,91(1-\zeta^2) \Rightarrow \zeta^2 \geq 0,476$$

$$|\zeta| \geq 0,69 \quad (3)$$

επίσης: χρόνος αποκατάστασης $T_s \leq 0,005\,s$.

για απόκλιση 2%: $T_s = \frac{4}{\zeta \omega_n} \Rightarrow \omega_n \geq 1159\ r/s$ (3)

για $\zeta \geq 0,69$

το χαρ. πολυώνυμο του συστήματος είναι:

$$s^2 + \underbrace{(361,2 + 4500k \cdot K_d)}_{2\zeta\omega_n}s + \underbrace{4500k \cdot K_p}_{\omega_n^2} = 0$$

άρα $\omega_n^2 = 4500k \cdot K_p \Rightarrow K_p \cdot K \geq 298,5$ (4)

και $2\zeta\omega_n = 361,2 + 4500k \cdot K_d \Rightarrow K \cdot K_d \geq 0,275$ (5)

άρα για $k=1$ επιλέγουμε $K_p = 300$

και $K_d = 0,5$

οπότε μετά από προσομοίωση στο simulink έχουμε:

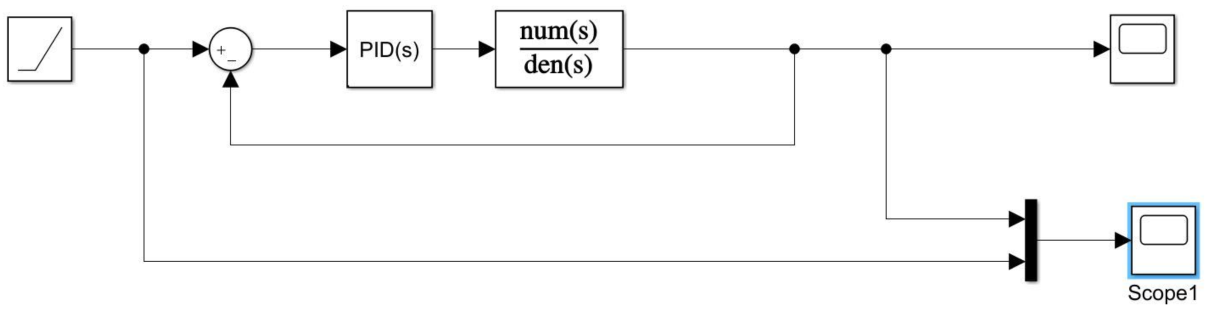
$e_{ss} = 0,25 \cdot 10^{-3}$

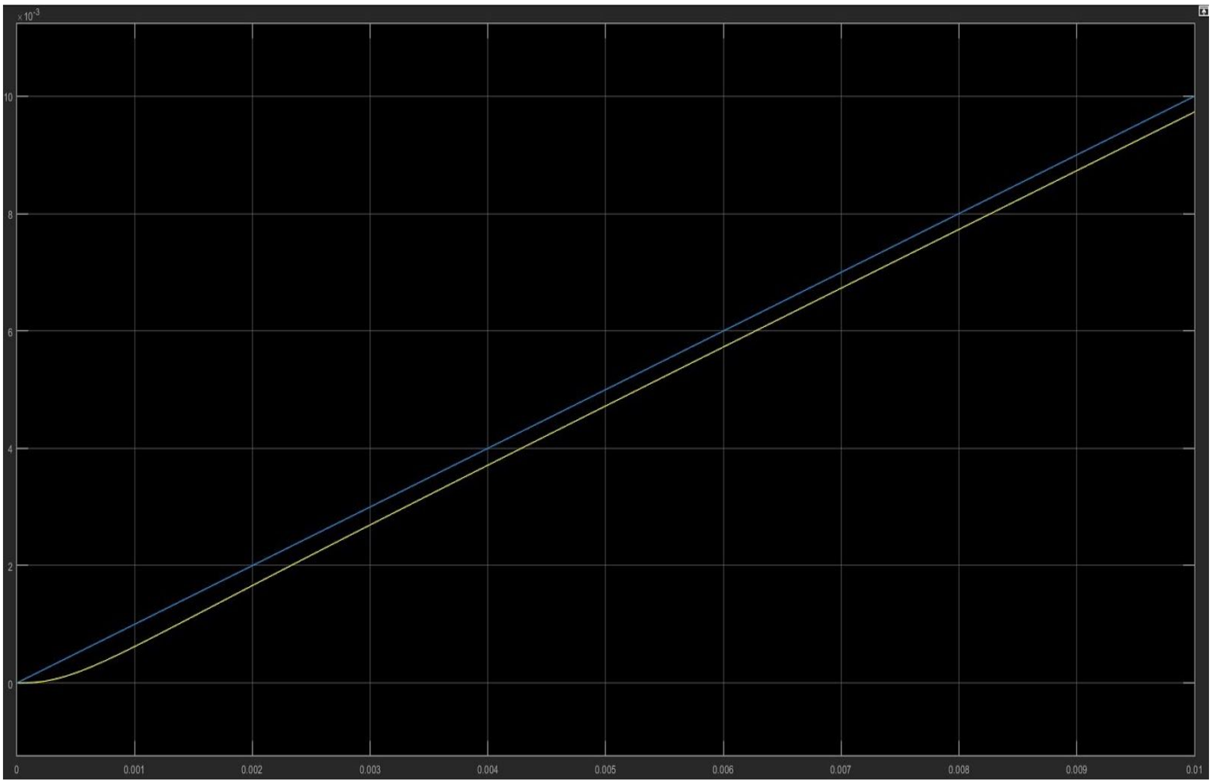
$M_p = 4,8\%$

$t_s = 0,0033$ sec

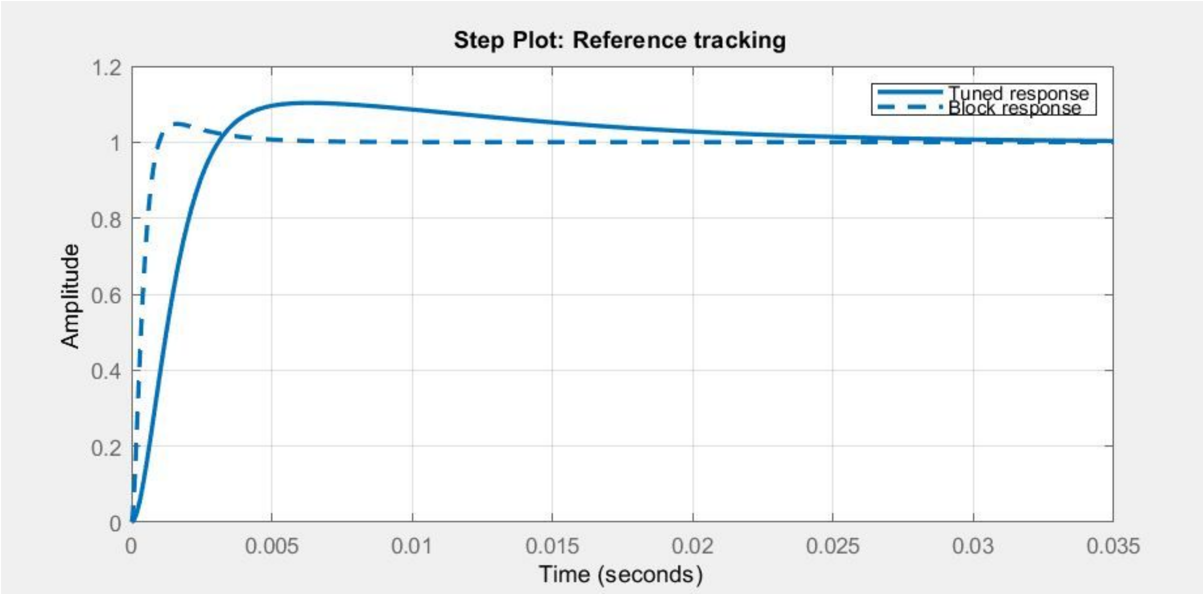
$t_r = 0,0006$ sec

Προσομοίωση στο Simulink :





Το γράφημα επιβεβαιώνει ότι η έξοδος ακολουθεί την είσοδο αναρρίχησης με το επιθυμητό σφάλμα μόνιμης κατάστασης.



Controller Parameters

	Tuned	Block
P	60.5353	300
I	5082.6677	0
D	0.12576	0.5
N	2346.0122	10000

Performance and Robustness

	Tuned	Block
Rise time	0.00204 seconds	0.000614 seconds
Settling time	0.0225 seconds	0.00332 seconds
Overshoot	10.3 %	4.8 %
Peak	1.1	1.05
Gain margin	-Inf dB @ 0 rad/s	Inf dB @ Inf rad/s
Phase margin	69 deg @ 643 rad/s	71.9 deg @ 2.36e+03 r...
Closed-loop stability	Stable	Stable

Παραπάνω επαληθεύονται τα στοιχεία της απόκρισης του συστήματος όπως προέκυψαν από τον PD ελεγχτή.(μας ενδιαφέρει μόνο η απόκριση του block το οποίο ρυθμίσαμε με τις τιμές του ελεγχτή που υπολογίσαμε) β) Να σχεδιαστεί PI-ελεγκτής, $G_c(s) = k_p + \frac{k_i}{s}$, ούτως ώστε να έχουμε:

- Σφάλμα στη μόνιμη κατάσταση από τη μοναδιαία παραβολική είσοδο $\left(t^2/2\right) \leq 0.2$
- Μέγιστη υπερύψωση $\leq 5\%$
- Χρόνο ανύψωσης $t_r \leq 0.01\,s$
- Χρόνο αποκατάστασης $t_s \leq 0.02\,s$

Χρησιμοποιούμε τον PID tuner του matlab για να υπολογίσουμε τις παραμέτρους του κατάλληλου PI ελεγχτή.

Μετά από αρκετές δοκιμές στον pid tuner καταλήξαμε στις ακόλουθες τιμές για τις παραμέτρους του ελεγχτή :

Kp=1.345 Ki= 3.628

Παρακάτω φαίνεται ότι το σύστημα ικανοποιεί τις προδιαγραφές που ζητούνται, με μόνο το χρόνο αποκατάστασης να υπερβαίνει ελάχιστα την ζητούμενη οριακή τιμή.

Controller Parameters

	Tuned
Kp	1.3448
Ki	3.6276
Kd	n/a
Tf	n/a

Performance and Robustness

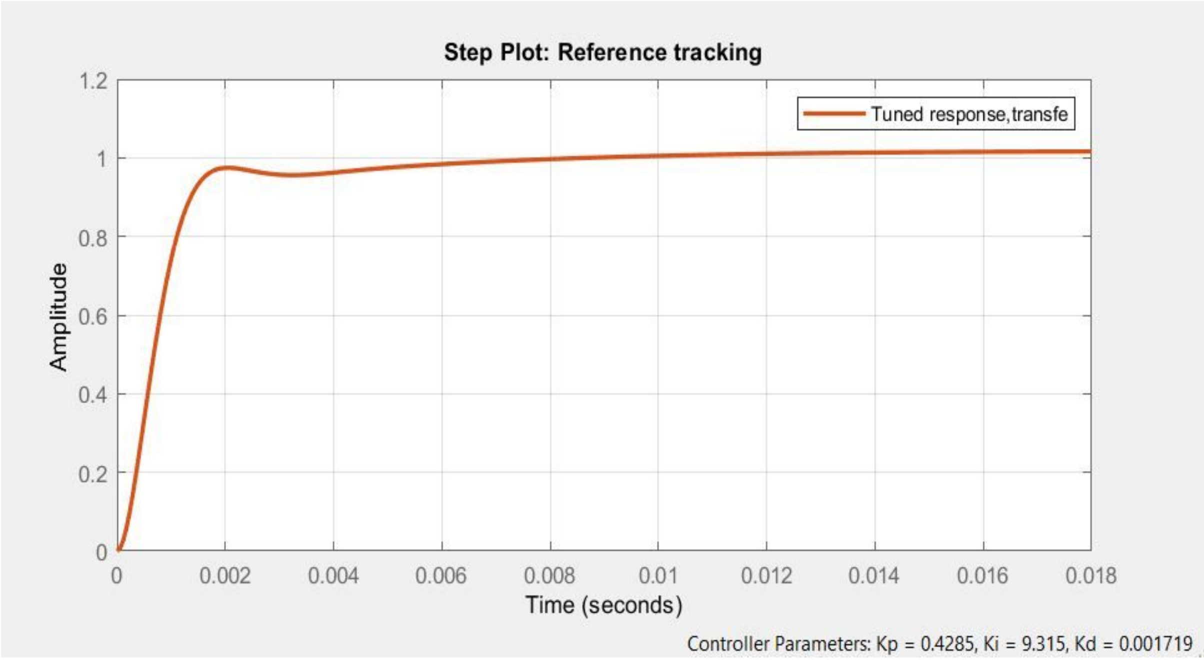
	Tuned
Rise time	0.00888 seconds
Settling time	0.0295 seconds
Overshoot	4.98 %
Peak	1.05
Gain margin	-Inf dB @ 0 rad/s
Phase margin	65.9 deg @ 154 rad/s
Closed-loop stability	Stable

γ) Έστω ότι στο πιο πάνω σχήμα $G_p(s)=\dfrac{2.718*10^9}{s(s+400.26)(s+3008)}$. Να σχεδιαστεί PID-ελεγκτής,

$G_c(s)=k_p+k_d s+\dfrac{k_i}{s}$, όταν ζητούνται:

- Σφάλμα στη μόνιμη κατάσταση στη μοναδιαία συνάρτηση αναρρίχησης ≤ 0.2
- Μέγιστη υπερύψωση $\leq 5\%$
- Χρόνος ανύψωσης $t_r \leq 0.005\, s$
- Χρόνος αποκατάστασης $t_s \leq 0.005\, s$

Χρησιμοποιούμε τον PID tuner του matlab για να υπολογίσουμε τις παραμέτρους του κατάλληλου PID ελεγκτή.



Για να ικανοποιούνται οι δοθείσες προδιαγραφές, ρυθμίσαμε τον PID tuner και μετά από πολλές δοκιμές προέκυψαν οι τιμές των παραμέτρων του ελέγχτη :

Kp=0.4285 Ki=9.315 Kd=0.001719

Controller Parameters

	Tuned
Kp	0.42855
Ki	9.3146
Kd	0.0017195
Tf	n/a

Performance and Robustness

	Tuned
Rise time	0.00113 seconds
Settling time	0.00554 seconds
Overshoot	1.65 %
Peak	1.02
Gain margin	-Inf dB @ 0 rad/s
Phase margin	71.4 deg @ 1.37e+03 rad/s
Closed-loop stability	Stable

Παρατηρούμε ότι ικανοποιούνται όλες οι προδιαγραφές για το σύστημα.