



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
Ανώτατο Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Πειραιά Τ.Τ



Συστήματα Αυτομάτου Ελέγχου 2

Ενότητα #5: Σχεδιασμός ελεγκτών με τη μέθοδο του
Τόπου Ριζών

Δ. Δημογιαννόπουλος, dimogian@teipir.gr
Επ. Καθηγητής Τμήματος Μηχανικών Αυτοματισμού Τ.Ε



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αθηνών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Σκοποί ενότητας

- Η έννοια της σχεδίασης ελεγκτή για επίτευξη ποσοτικών- ποιοτικών προδιαγραφών απόκρισης.
- Εκτίμηση δυνατοτήτων μεθόδου Τόπου Ριζών στην σχεδίαση ελεγκτών
- Χρήση Τόπου Ριζών για σχεδίαση όχι απαραίτητα ελεγκτή αναλογίας

Περιεχόμενα ενότητας

- Σχεδιασμός ελεγκτών με χρήση του Τόπου Ριζών Συστήματος
- Μελέτη χαρακτηριστικών συστήματος $G(s)$ και ελεγκτή $C(s)$
- Ποσοτικές-ποιοτικές προδιαγραφές της ελεγχόμενης απόκρισης
- Παράδειγμα σχεδίασης ελεγκτή
 - Σχεδιασμός ελεγκτή για επίτευξη προδιαγραφών απόκρισης

Σχεδιασμός ελεγκτών με χρήση του Τόπου Ριζών Συστήματος

Βασική ιδέα

Σχεδιασμός ελεγκτών με χρήση του Τόπου Ριζών συστήματος

- Η μέθοδος του [Τόπου των Ριζών](#) δίνει τα χαρακτηριστικά απόδοσης ενός κλειστού βρόχου όπου έχει χρησιμοποιηθεί σύστημα $G(s)$ και ανάλογος έλεγχος Κρ.

Σχεδιασμός ελεγκτών με χρήση του Τόπου Ριζών συστήματος

- Η μέθοδος του Τόπου των Ριζών δίνει τα χαρακτηριστικά απόδοσης ενός κλειστού βρόχου όπου έχει χρησιμοποιηθεί σύστημα $G(s)$ και ανάλογος έλεγχος K_r .
- Αν θέλουμε τα χαρακτηριστικά κλειστού βρόχου του $G(s)$ με κάποιον άλλο ελεγκτή $C(s)$ αντί του απλού κέρδους K_r ,

τότε

Σχεδιασμός ελεγκτών με χρήση του Τόπου Ριζών συστήματος

- Η μέθοδος του Τόπου των Ριζών δίνει τα χαρακτηριστικά απόδοσης ενός κλειστού βρόχου όπου έχει χρησιμοποιηθεί σύστημα $G(s)$ και ανάλογος έλεγχος K_p .
- Αν θέλουμε τα χαρακτηριστικά κλειστού βρόχου του $G(s)$ με κάποιον άλλο ελεγκτή $C(s)$ αντί του απλού κέρδους K_p ,

τότε

γίνεται παραγοντοποίηση της συνάρτησης μεταφοράς

$$C(s) \cdot G(s) = K_p \cdot C'(s) \cdot G(s) = K_p \cdot G'(s),$$

ώστε το $C'(s)$ να αντιστοιχεί στο μέρος του $C(s)$ χωρίς το K_p .

Σχεδιασμός ελεγκτών με χρήση του Τόπου Ριζών συστήματος

- Η μέθοδος του Τόπου των Ριζών δίνει τα χαρακτηριστικά απόδοσης ενός κλειστού βρόχου όπου έχει χρησιμοποιηθεί σύστημα $G(s)$ και ανάλογος έλεγχος K_p .
- Αν θέλουμε τα χαρακτηριστικά κλειστού βρόχου του $G(s)$ με κάποιον άλλο ελεγκτή $C(s)$ αντί του απλού κέρδους K_p ,

ΤΟΤΕ

γίνεται παραγοντοποίηση της συνάρτησης μεταφοράς

$$C(s) \cdot G(s) = K_p \cdot C'(s) \cdot G(s) = K_p \cdot G'(s),$$

ώστε το $C'(s)$ να αντιστοιχεί στο μέρος του $C(s)$ χωρίς το K_p .

- Άρα μελετάται ο κλειστός βρόχος του $\cdot G'(s)$ υπό ανάλογο έλεγχο K_p .

**Μελέτη χαρακτηριστικών συστήματος $G(s)$
και ελεγκτή $C(s)$**

Μελέτη χαρακτηριστικών συστήματος $G(s)$ και ελεγκτή $C(s)$

- Για παράδειγμα έστω ότι μελετάμε σύστημα $G(s)$ και ελεγκτή $C(s)$ με μορφή PI, όπως παρακάτω:

$$G(s) = \frac{1}{(s+3) \cdot (s+7)}, \quad C(s) = K_p + \frac{K_I}{s} \left(= K_p \cdot \frac{s + (K_I / K_p)}{s} = K_p \cdot C'(s) \right)$$

Μελέτη χαρακτηριστικών συστήματος $G(s)$ και ελεγκτή $C(s)$

- Για παράδειγμα έστω ότι μελετάμε σύστημα $G(s)$ και ελεγκτή $C(s)$ με μορφή PI, όπως παρακάτω:

$$G(s) = \frac{1}{(s+3) \cdot (s+7)}, \quad C(s) = K_p + \frac{K_I}{s} \left(= K_p \cdot \frac{s + (K_I / K_p)}{s} = K_p \cdot C'(s) \right)$$

- Νέο σύστημα $G'(s) = C'(s) \cdot G(s)$, χρήση του τόπου των ριζών για τη μελέτη του υπό κατασκευή κλειστού βρόχου με κύριο κλάδο $G'(s)$ και ανάλογο έλεγχο K_p .

Μελέτη χαρακτηριστικών συστήματος $G(s)$ και ελεγκτή $C(s)$

- Για παράδειγμα έστω ότι μελετάμε σύστημα $G(s)$ και ελεγκτή $C(s)$ με μορφή PI, όπως παρακάτω:

$$G(s) = \frac{1}{(s+3) \cdot (s+7)}, \quad C(s) = K_p + \frac{K_I}{s} \left(= K_p \cdot \frac{s + (K_I / K_p)}{s} = K_p \cdot C'(s) \right)$$

- Νέο σύστημα $G'(s) = C'(s) \cdot G(s)$, χρήση του τόπου των ριζών για τη μελέτη του υπό κατασκευή κλειστού βρόχου με κύριο κλάδο $G'(s)$ και ανάλογο έλεγχο K_p .
- Ανάλογα με τα επιδιωκόμενα αποτελέσματα ελέγχου υπολογίζονται τα K_p και K_I δηλαδή ο ελεγκτής PI που θα χρησιμοποιηθεί.

Ποσοτικές-ποιοτικές προδιαγραφές της ελεγχόμενης απόκρισης

Ποσοτικές-ποιοτικές προδιαγραφές της ελεγχόμενης απόκρισης

- Αφορούν συνήθως
 - στο μέγεθος του μόνιμου σφάλματος, και
 - σε χαρακτηριστικά μεταβατικής απόκρισης όπως η υπερύψωση ν , ο χρόνος αποκατάστασης t_s ή ο χρόνος ανόδου t_r .

Ποσοτικές-ποιοτικές προδιαγραφές της ελεγχόμενης απόκρισης

- Αφορούν συνήθως
 - στο μέγεθος του μόνιμου σφάλματος, και
 - σε χαρακτηριστικά μεταβατικής απόκρισης όπως η υπερύψωση ν , ο χρόνος αποκατάστασης t_s ή ο χρόνος ανόδου t_r .
- Οι προδιαγραφές αυτές μεταφράζονται σε επιθυμητούς πόλους κλειστού βρόχου με συγκεκριμένο συντελεστή απόσβεσης ζ και φυσική συχνότητα ω_n .

Ποσοτικές-ποιοτικές προδιαγραφές της ελεγχόμενης απόκρισης

- Αφορούν συνήθως
 - στο μέγεθος του μόνιμου σφάλματος, και
 - σε χαρακτηριστικά μεταβατικής απόκρισης όπως η υπερύψωση ν , ο χρόνος αποκατάστασης t_s ή ο χρόνος ανόδου t_r .
- Οι προδιαγραφές αυτές μεταφράζονται σε επιθυμητούς πόλους κλειστού βρόχου με συγκεκριμένο συντελεστή απόσβεσης ζ και φυσική συχνότητα ω_n .
- Ο Πίνακας 1 δίνει τη σχέση μεταξύ των προδιαγραφών ελέγχου και των μεγεθών ζ και ω_n :

Ποσοτικές-ποιοτικές προδιαγραφές της ελεγχόμενης απόκρισης

- Πίνακας 1: Προδιαγραφές απόκρισης και σχέση με συντελεστή απόσβεσης ζ και φυσική συχνότητα ω_n

Προδιαγραφή	Σχέση με ζ και ω_n
υπερύψωση v (<u>OXI</u> σε %)	$v = e^{\frac{-\zeta\pi}{\sqrt{1-\zeta^2}}}$ και $\zeta = \frac{ \ln(v) }{\sqrt{\ln^2(v) + \pi^2}}$
χρόνος αποκατάστασης t_s	$t_s = \frac{4}{\zeta \cdot \omega_n}$ για $\pm 2\%$ της τελικής τιμής απόκρισης
χρόνος ανόδου t_r	$t_r = \frac{1 + 2.5 \cdot \zeta}{\omega_n}$
μόνιμο σφάλμα E_∞	$E_\infty = \frac{1}{1+K}$ ή $E_\infty = \frac{1}{K}$, αναλόγως του τύπου του συστήματος του κύριου κλάδου του κλειστού βρόχου & K το στατικό του κέρδος

Ισοδύναμοι επικρατούντες πόλοι κλειστού βρόχου: $s_d = -\zeta \cdot \omega_n \pm j \cdot \omega_n \cdot \sqrt{1 - \zeta^2}$

Παράδειγμα σχεδίασης ελεγκτή

Παράδειγμα σχεδίασης ελεγκτή

- Έστω $G(s)=200/[s \cdot (s+5) \cdot (s+20)]=200/[s^3+25 \cdot s^2+100 \cdot s]$, να σχεδιαστεί έλεγχος ώστε σε κλειστό βρόχο να επιτυγχάνεται μηδενικό μόνιμο σφάλμα σε βηματική είσοδο, χρόνος αποκατάστασης $t_s=0.7$ sec και μέγιστη υπερύψωση $\nu=30\%$.

Λύση:

- Το $G(s)$ είναι τύπου-1, άρα ακόμα και με απλό ανάλογο έλεγχο θα έχουμε μηδενικό μόνιμο σφάλμα σε βηματική είσοδο.

Παράδειγμα σχεδίασης ελεγκτή

- Έστω $G(s)=200/[s \cdot (s+5) \cdot (s+20)]=200/[s^3+25 \cdot s^2+100 \cdot s]$, να σχεδιαστεί έλεγχος ώστε σε κλειστό βρόχο να επιτυγχάνεται μηδενικό μόνιμο σφάλμα σε βηματική είσοδο, χρόνος αποκατάστασης $t_s=0.7$ sec και μέγιστη υπερύψωση $\nu=30\%$.

Λύση:

- Το $G(s)$ είναι τύπου-1, άρα ακόμα και με απλό ανάλογο έλεγχο θα έχουμε μηδενικό μόνιμο σφάλμα σε βηματική είσοδο.
- Αρχικά θα μεταφράσουμε τις προδιαγραφές ελέγχου $t_s=0.7$ sec και $\nu=30\%$ σε επιθυμητούς επικρατούντες πόλους κλειστού βρόχου:

$$\zeta = \frac{|\ln(\nu)|}{\sqrt{\ln^2(\nu) + \pi^2}} = \frac{|\ln(0.3)|}{\sqrt{\ln^2(0.3) + \pi^2}} = 0.357 \quad t_s = \frac{4}{\zeta \cdot \omega_n} \Rightarrow \omega_n = \frac{4}{t_s \cdot \zeta} = \frac{4}{0.7 \cdot 0.35} = 16$$

Επιθυμητοί πόλοι κλειστού βρόχου (Πίνακας 1): $s_d = -5.7 \pm j \cdot 14.98$

Σχεδιασμός ελεγκτή για επίτευξη προδιαγραφών απόκρισης

Σχεδιασμός ελεγκτή για επίτευξη προδιαγραφών απόκρισης

- Επιτυγχάνονται οι προδιαγραφές με **απλό ανάλογο έλεγχο**;;

Σχεδιασμός ελεγκτή για επίτευξη προδιαγραφών απόκρισης

- Επιτυγχάνονται οι προδιαγραφές με **απλό ανάλογο έλεγχο**;;
- Αρκεί να χαραχθεί ο (συμβατικός) τόπος ριζών του συστήματος $G(s)$.
 - Πόλοι $n=3$ ($p_1=0$, $p_2=-5$, $p_3=-20$), κανένας μηδενιστής $m=0$.

Σχεδιασμός ελεγκτή για επίτευξη προδιαγραφών απόκρισης

- Επιτυγχάνονται οι προδιαγραφές με **απλό ανάλογο έλεγχο**;;
- Αρκεί να χαραχθεί ο (συμβατικός) τόπος ριζών του συστήματος $G(s)$.
 - Πόλοι $n=3$ ($p_1=0$, $p_2=-5$, $p_3=-20$), κανένας μηδενιστής $m=0$.
 - Άρα **$(n-m)=3$ ασύμπτωτες** με σημείο αρχής το

$$s_{\alpha\sigma} = \frac{\sum_{i=1}^n p_i - \sum_{i=1}^m z_i}{n - m} = \frac{0 - 5 - 20}{3} = -8.333$$

υπό γωνίες που προκύπτουν ως ακολούθως:

$$\varphi_{\alpha\sigma} = \frac{(2 \cdot \lambda + 1)}{n - m} \cdot 180^\circ, \quad \lambda=0,1,2 \Rightarrow \varphi_{\alpha\sigma} = 60^\circ, 180^\circ, 300^\circ$$

Σχεδιασμός ελεγκτή για επίτευξη προδιαγραφών απόκρισης

- Μέρη του τόπου των ριζών στον πραγματικό άξονα:
[0→ -5] «**ΝΑΙ**», [-5→ -20] «**ΟΧΙ**», [-20 → -∞) «**ΝΑΙ**».

Σχεδιασμός ελεγκτή για επίτευξη προδιαγραφών απόκρισης

- Μέρη του τόπου των ριζών στον πραγματικό άξονα:

$[0 \rightarrow -5]$ «**ΝΑΙ**», $[-5 \rightarrow -20]$ «**ΟΧΙ**», $[-20 \rightarrow -\infty)$ «**ΝΑΙ**».

- Σημεία σύγκρουσης (θλάσης) αντίθετα κινούμενων πόλων στον πραγματικό άξονα υπολογιζόμενα από την σχέση:

$$\frac{d}{ds}G(s) = 0 \Rightarrow \frac{d}{ds} \frac{200}{s^3 + 25 \cdot s^2 + 100 \cdot s} = \frac{-200 \cdot (3 \cdot s^2 + 50 \cdot s + 100)}{(s^3 + 25 \cdot s^2 + 100 \cdot s)^2} = 0 \Rightarrow s = -2.33, -14.33$$

Σχεδιασμός ελεγκτή για επίτευξη προδιαγραφών απόκρισης

- Μέρη του τόπου των ριζών στον πραγματικό άξονα:

$[0 \rightarrow -5]$ «ΝΑΙ», $[-5 \rightarrow -20]$ «ΟΧΙ», $[-20 \rightarrow -\infty)$ «ΝΑΙ».

- Σημεία σύγκρουσης (θλάσης) αντίθετα κινούμενων πόλων στον πραγματικό άξονα υπολογιζόμενα από την σχέση:

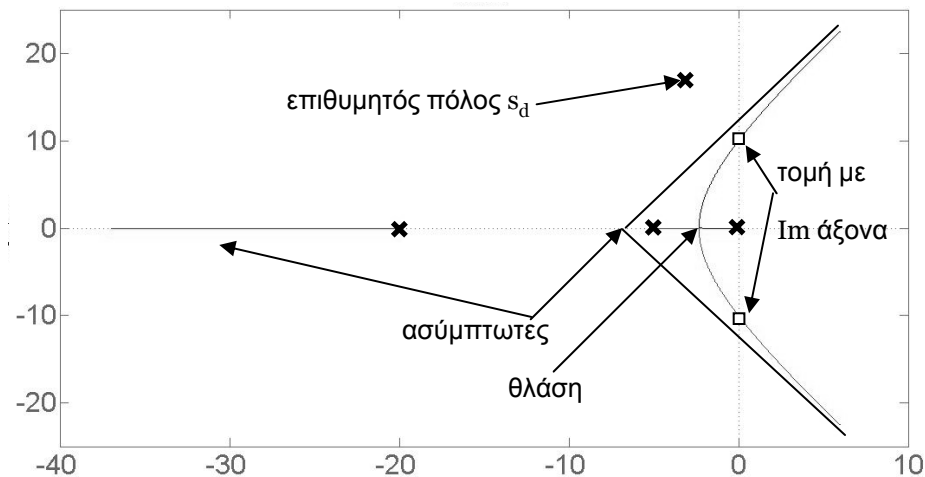
$$\frac{d}{ds}G(s) = 0 \Rightarrow \frac{d}{ds} \frac{200}{s^3 + 25 \cdot s^2 + 100 \cdot s} = \frac{-200 \cdot (3 \cdot s^2 + 50 \cdot s + 100)}{(s^3 + 25 \cdot s^2 + 100 \cdot s)^2} = 0 \Rightarrow s = -2.33, -14.33$$

από τα οποία **μόνο το $s = -2.33$** βρίσκεται σε διάστημα του τόπου των ριζών στον πραγματικό άξονα.

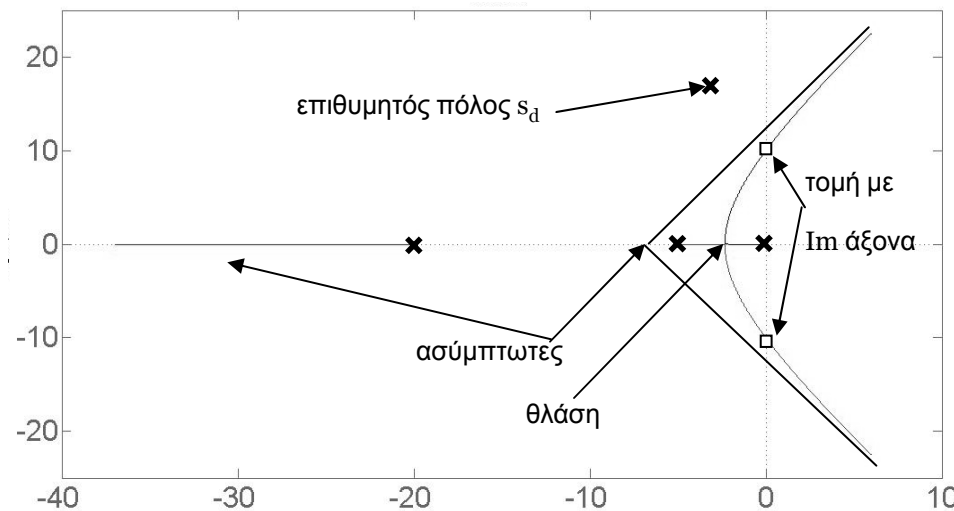
Σχεδιασμός ελεγκτή για επίτευξη προδιαγραφών απόκρισης

- Τα σημεία τομής με τον φανταστικό άξονα $\pm j \cdot \omega_0$ που υλοποιούνται για Kp_0 θα βρεθούν θέτοντας $Q(j\omega_0) + Kp_0 \cdot P(j\omega_0) = 0$; ή, για την περίπτωση μας:

$$s^3 + 25 \cdot s^2 + 100 \cdot s + Kp_0 \cdot 200 \Big|_{s=j\omega_0} = 0 \Rightarrow Kp_0 = 12.5, \omega_0 = \pm 10$$

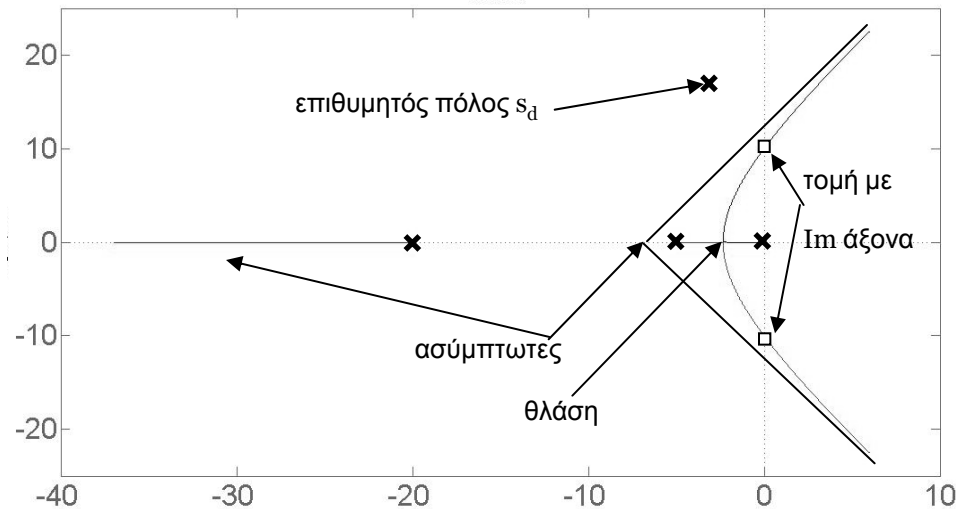


Σχεδιασμός ελεγκτή για επίτευξη προδιαγραφών απόκρισης



- Άρα ο επιθυμητός πόλος δεν θα μπορούσε ποτέ να βρεθεί σε τροχιά πόλων του τύπου των ριζών υπό ανάλογο έλεγχο K_r .
- **Άρα αυτή η λύση ελέγχου απορρίπτεται.**

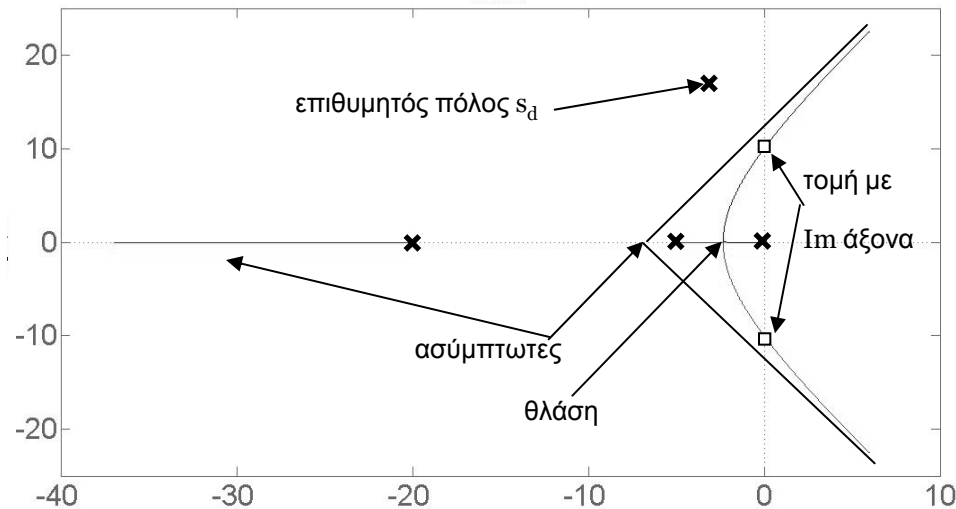
Σχεδιασμός ελεγκτή για επίτευξη προδιαγραφών απόκρισης



- Βλέποντας τον τόπο των ριζών αντιλαμβανόμαστε ότι:

η καλύτερη λύση για να περνά κάποια τροχιά από την τοποθεσία επιθυμητού πόλου θα ήταν ελεγκτής τέτοιος ώστε το σύστημα του κύριου κλάδου $C(s) \cdot G(s)$ να δίδει δύο ασύμπτωτες (στις 90° και 270°)

Σχεδιασμός ελεγκτή για επίτευξη προδιαγραφών απόκρισης



- Έτσι με κατάλληλη επιλογή του κέντρου ασυμπτώτων $s_{ασ}$ στην αρνητική πλευρά του πραγματικού άξονα (μέσω ρύθμισης των παραμέτρων του ελεγκτή) μπορούμε να έχουμε τροχιές πόλων ΠΑΝΤΑ στην ευσταθή αυτή περιοχή.

Σχεδιασμός ελεγκτή για επίτευξη προδιαγραφών απόκρισης

- Χρειάζεται λοιπόν ένας μηδενιστής στο $C(s) \cdot G(s)$, δηλαδή ελεγκτής PD:

$$C(s) = K_p \cdot (\tau_d s + 1) = K_p \cdot \tau_d \cdot (s + 1/\tau_d)$$

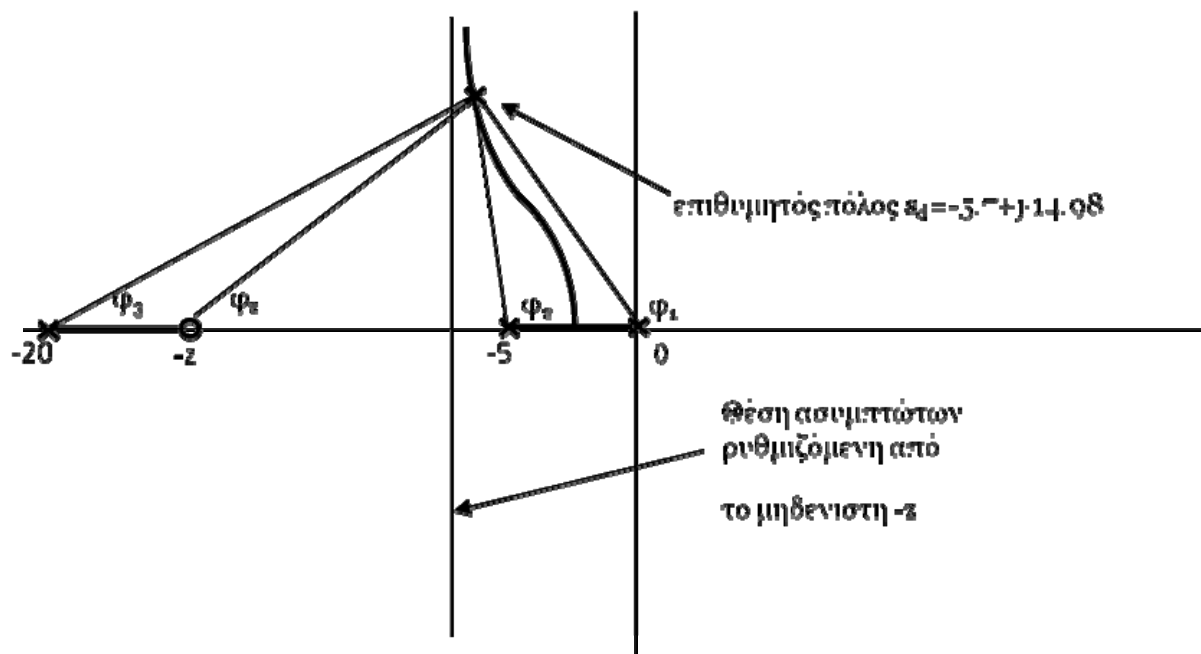
Σχεδιασμός ελεγκτή για επίτευξη προδιαγραφών απόκρισης

- Χρειάζεται λοιπόν ένας μηδενιστής στο $C(s) \cdot G(s)$, δηλαδή ελεγκτής PD:

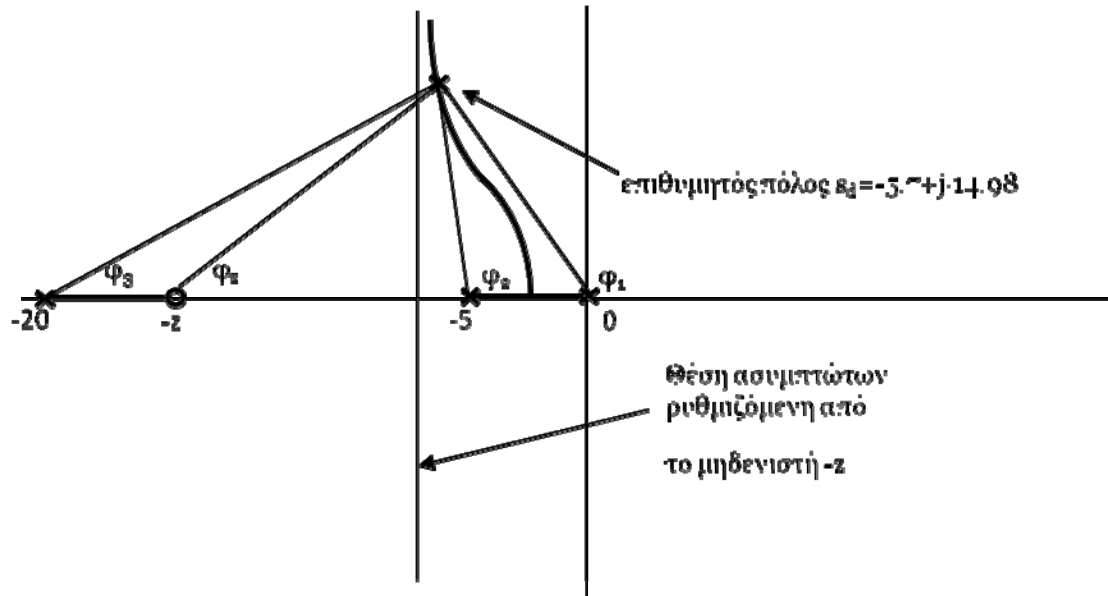
$$C(s) = K_p \cdot (\tau_d s + 1) = K_p \cdot \tau_d \cdot (s + 1/\tau_d)$$

και έτσι

$$G'(s) = \frac{200 \cdot K_p \cdot \tau_d (s + 1/\tau_d)}{s \cdot (s + 5) \cdot (s + 20)} = \frac{K_p^* \cdot (s + z)}{s \cdot (s + 5) \cdot (s + 20)}$$

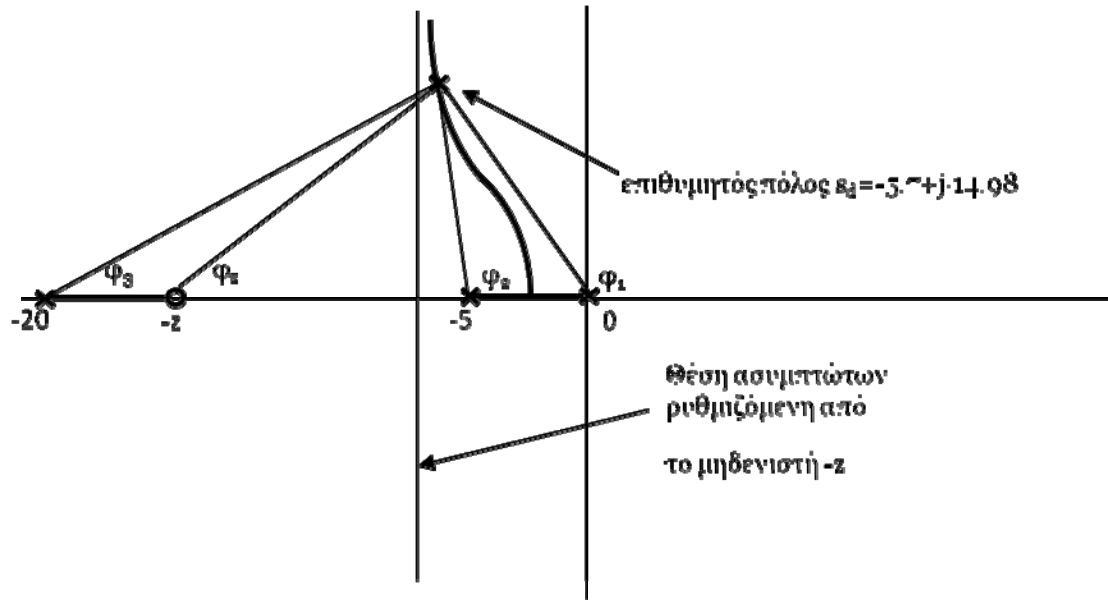


Σχεδιασμός ελεγκτή για επίτευξη προδιαγραφών απόκρισης



- Με κατάλληλη επιλογή του z το κέντρο ασυμπτώτων $s_{ασ}$ θα μπορεί να τοποθετηθεί όπως στο παραπάνω σχήμα, ώστε ο επιθυμητός πόλος $s_d = -5.7 + j14.98$ να ανήκει στον τόπο των ριζών.

Σχεδιασμός ελεγκτή για επίτευξη προδιαγραφών απόκρισης



- Με κατάλληλη επιλογή του z το κέντρο ασυμπτώτων $s_{ασ}$ θα μπορεί να τοποθετηθεί όπως στο παραπάνω σχήμα, ώστε ο επιθυμητός πόλος $s_d = -5.7 + j14.98$ να ανήκει στον τόπο των ριζών.
- Τότε, όμως, θα ικανοποιεί τα κριτήρια γωνίας και μέτρου. Από το κριτήριο γωνίας θα είναι:

Σχεδιασμός ελεγκτή για επίτευξη προδιαγραφών απόκρισης

από το κριτήριο γωνίας θα είναι:

$$\varphi_1 = 180 - \tan^{-1} \frac{14.98}{5.7} = 110, \varphi_2 = 180 - \tan^{-1} \frac{14.98}{5.7 - 5} = 93, \varphi_3 = \tan^{-1} \frac{14.98}{20 - 5.7} = 46$$

και επειδή $\varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 - \varphi_z = 180 \Rightarrow \varphi_z = 69$.

- Όμως $\tan(\varphi_z) = 14.98 / (z - 5.7)$, ή

$$z = 11.45, \text{ και}$$

$$\tau_d = 1/11.45 = 0.087 \text{ sec.}$$

Σχεδιασμός ελεγκτή για επίτευξη προδιαγραφών απόκρισης

- Από το κριτήριο του μέτρου θα είναι:

$$K_p^* = \frac{|s-p_1| \cdot |s-p_2| \cdot |s-p_3|}{|s-z_1|} = \frac{\sqrt{14.98^2 + 5.7^2} \cdot \sqrt{14.98^2 + 0.7^2} \cdot \sqrt{(20-5.7)^2 + 14.98^2}}{\sqrt{(11.45-5.7)^2 + 14.98^2}} = 310.2$$

και επειδή από τον ορισμό του $G'(s)$ ισχύει ότι

$$K_p^* = 200 \cdot K_p \cdot \tau_d,$$

ή

$$K_p = 17.83$$

Τέλος Ενότητας



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

