



ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ II

Ύλη μαθήματος

1. Lead-Lag ελεγκτές
2. PID ελεγκτές (95%)
(εκτός διαγράμματα Nyquist-Nichols)

Διακριτός & Ψηφιακός Αυτόματος Έλεγχος

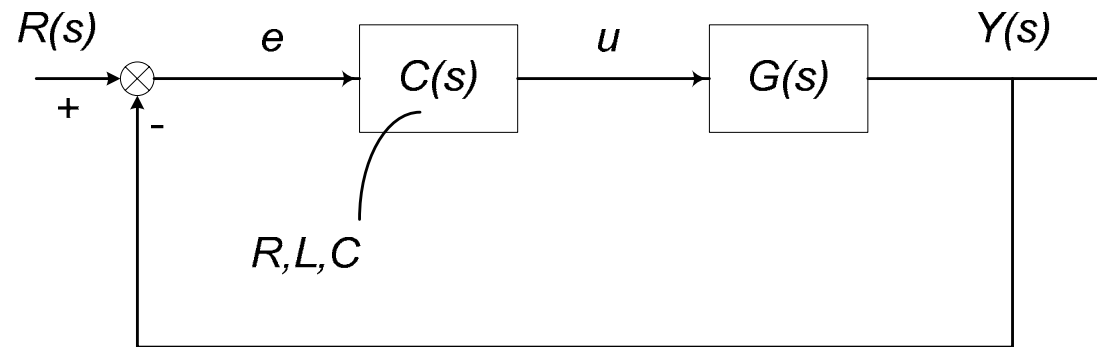
→ ΨΗΦΙΑΚΟΣ ΑΥΤΟΜΑΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ

Εργαστήριο

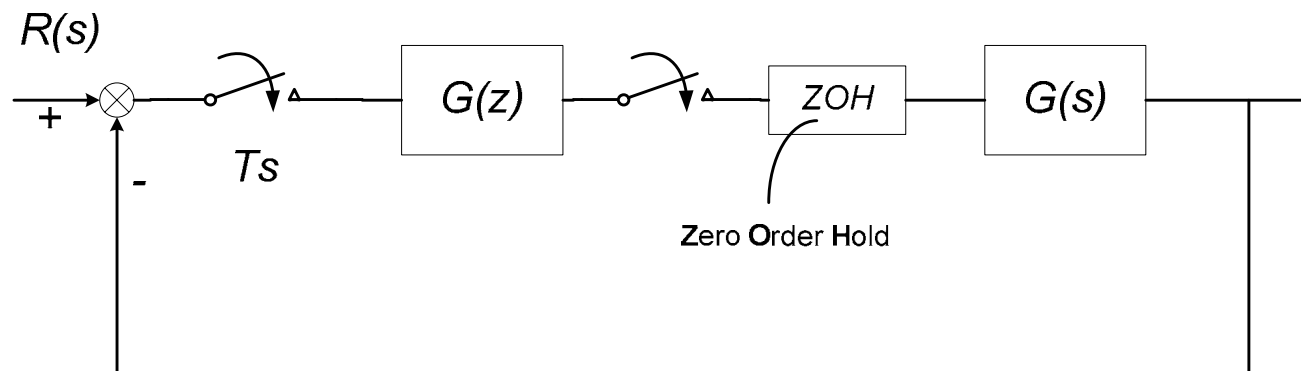
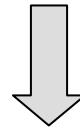
- Matlab

- LABview : συλλογή και αποστολή δεδομένων (National Instruments)

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ II

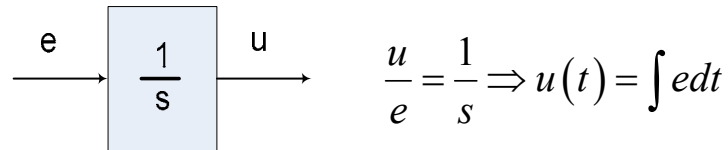


ΔΙΑΚΡΙΤΟΣ ΑΥΤΟΜΑΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ

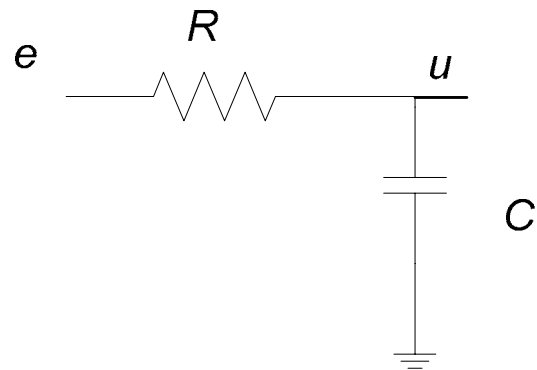


ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ II

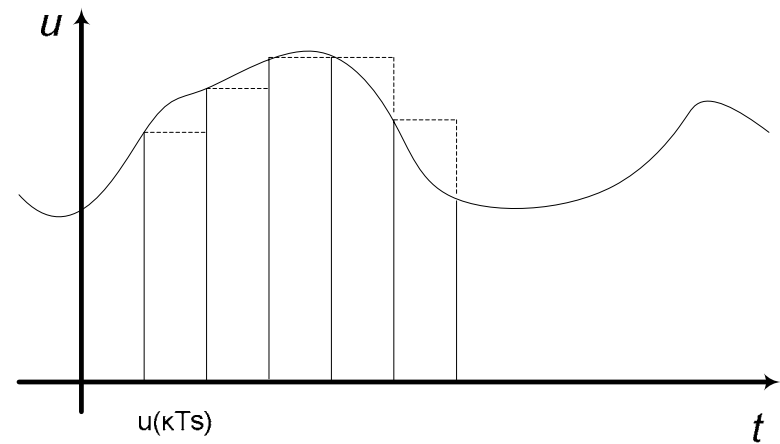
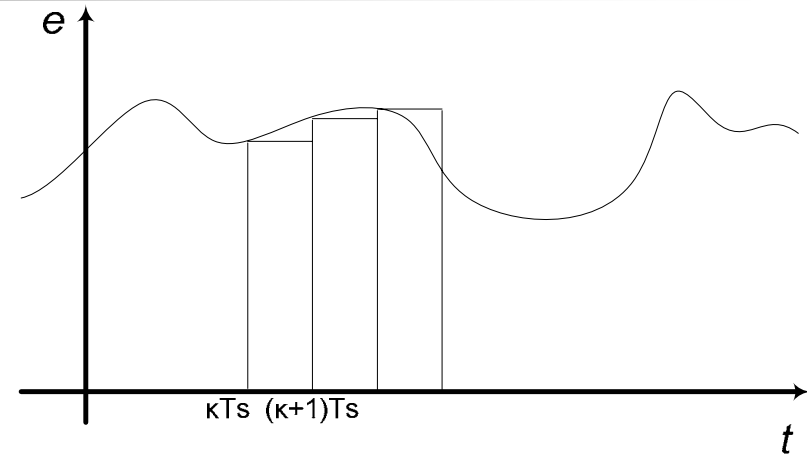
Παράδειγμα υλοποίησης ελεγκτή
στο συνεχές πεδίο



$$\frac{u}{e} = \frac{1}{s} \Rightarrow u(t) = \int e dt$$

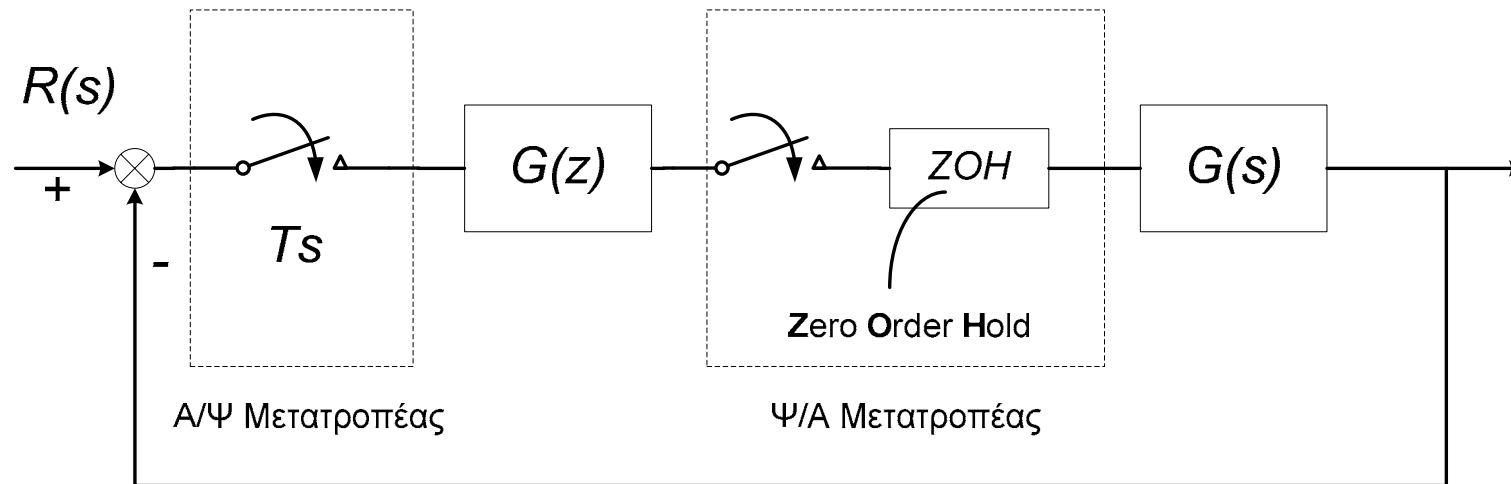


$$u(kTs) = \sum_{l=0}^K e(l) \Delta t$$



ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ II

Μετρήσεις 2^Q , όπου Q : # bits με $Q \in [8,16]$



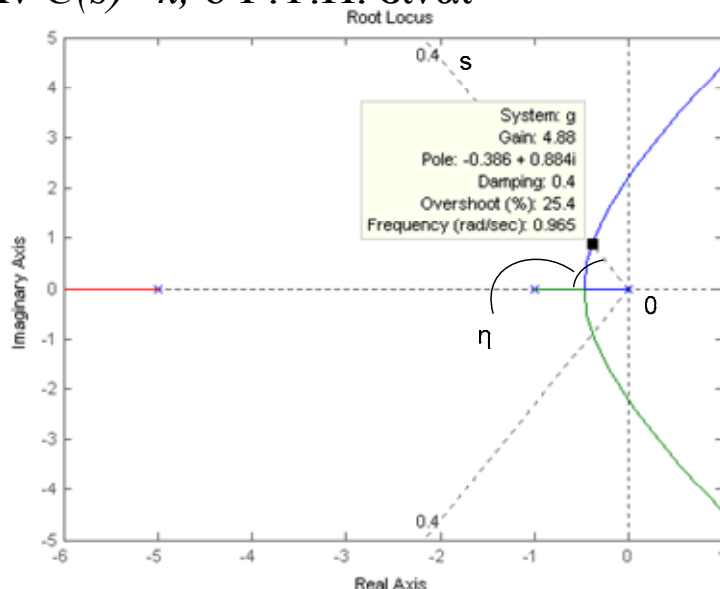
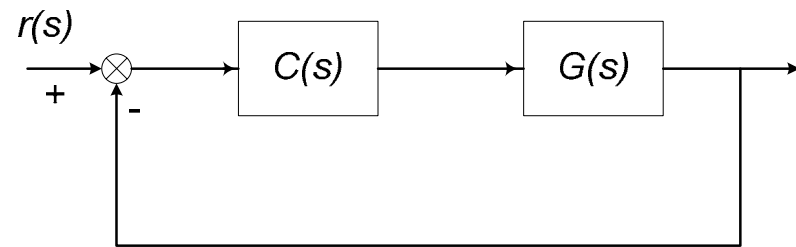
ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΙΙ

Έστω Σύστημα $G(s) = \frac{1}{s(s+1)(s+5)}$

Να σχεδιαστεί ελεγκτής

α) Έτσι ώστε οι κυρίαρχοι πόλοι να έχουν απόσβεση $\zeta=0.4$.

Αν $C(s)=k$, ο Γ.Τ.Π. είναι



Έχω δύο κυρίαρχους πόλους που υπολογίζονται από την τομή του Γ.Τ.Π. με μια ευθεία θs γωνίας $\angle s \theta (-\text{Re}) = \cos^{-1} \zeta = 66.4^\circ$

Αυτό επιτυγχάνεται για $k=4.88$

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ II

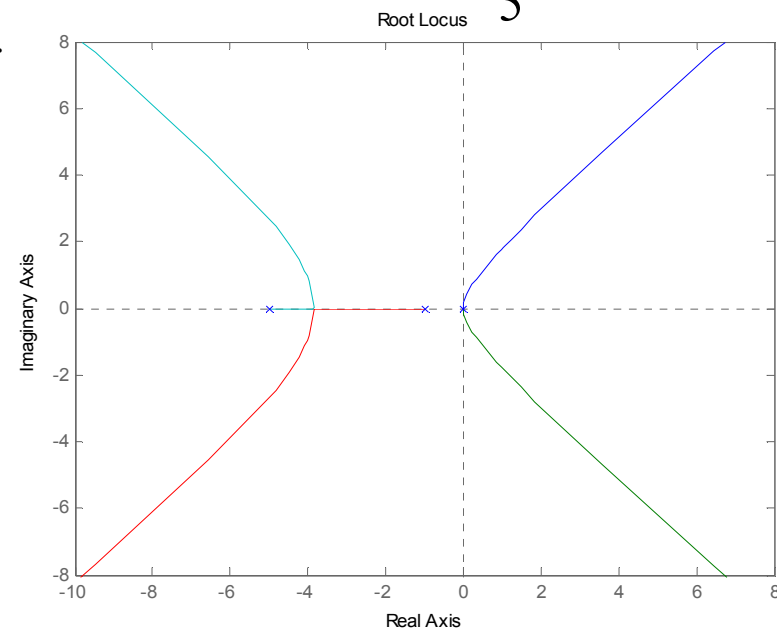
$$\text{Αν } r(t) = \mathbf{1}(t) \longrightarrow e_{ss} = 0$$

$$\text{Αν } r(t) = t\mathbf{1}(t) \longrightarrow e_{ss}|_{\text{ΤΡΙΓ}} = \frac{1}{k_1} = \frac{1}{\lim_{s \rightarrow 0} sG(s)} = \frac{1}{0,976} = \frac{1}{4,88}$$

Για να μειωθεί το e_{ss} πρέπει να αυξηθεί το k .

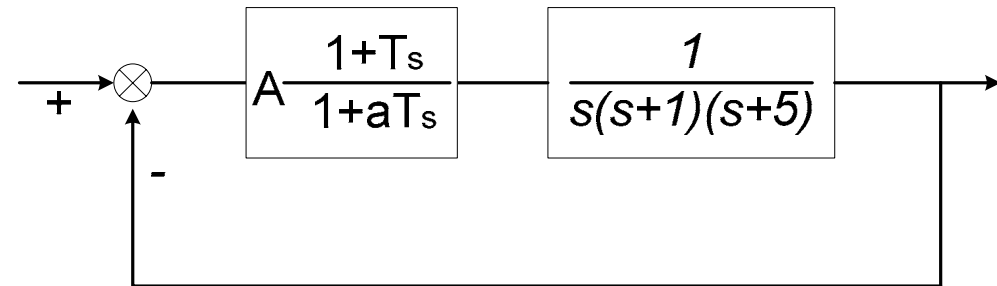
Αν $C(s) = \frac{k}{s}$ τότε ο Γ.Τ.Π. είναι

Και το κλειστό σύστημα είναι...
ασταθές



ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ II

Ελεγκτής καθυστέρησης φάσης

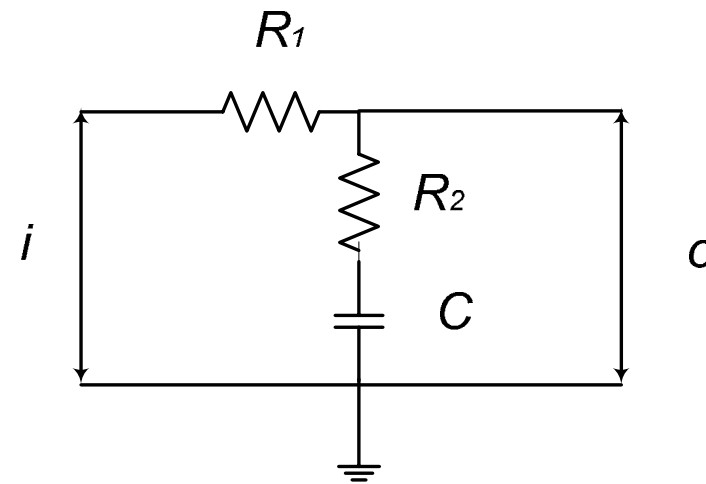


$$a > 1$$

Τρόπος υλοποίησης με παθητικά στοιχεία ($A=1$)

$$a = \frac{R_1 + R_2}{R_2} > 1$$

$$T = R_2 C$$



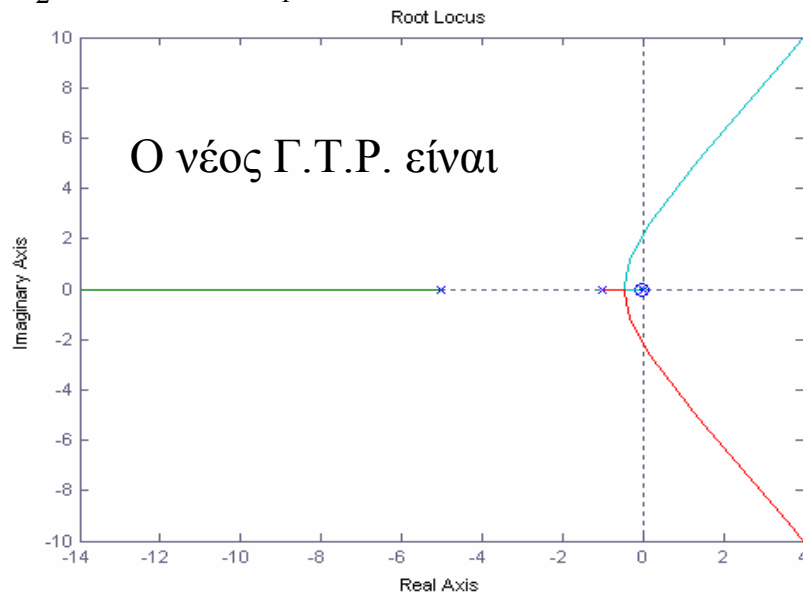
ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ II

Για να αλλάξει ριζικά ο Γ.Τ.Ρ. Θέτω τον πόλο και το μηδενικό όσο γίνεται πιο κοντά στο φανταστικό άξονα

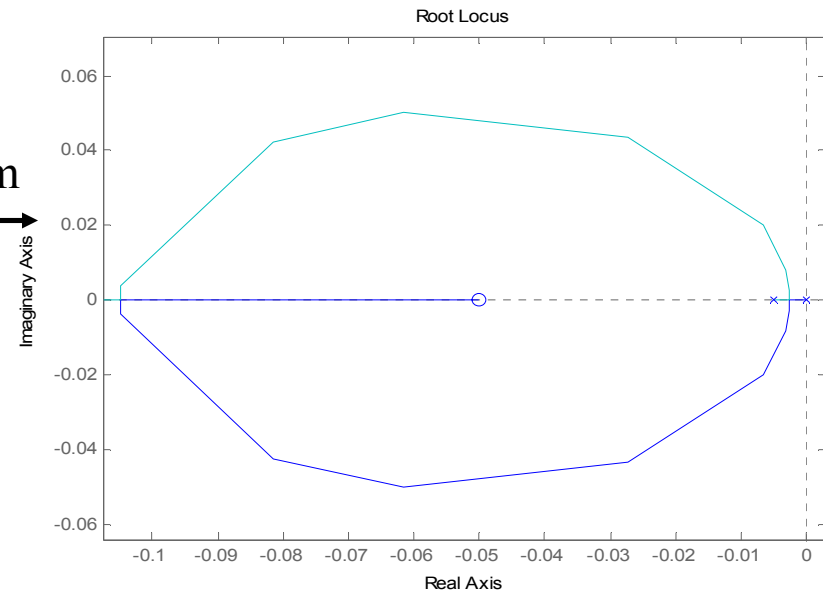
Ο μόνος περιορισμός είναι λόγω κατασκευαστικών δυσκολιών.

$$\text{Π.χ. Av } C(s) = \frac{A}{10} \frac{s + 0,05}{s + 0,005}$$

$$R_2 = 2M\Omega \quad R_1 = 18M\Omega \quad C = 10\mu F$$



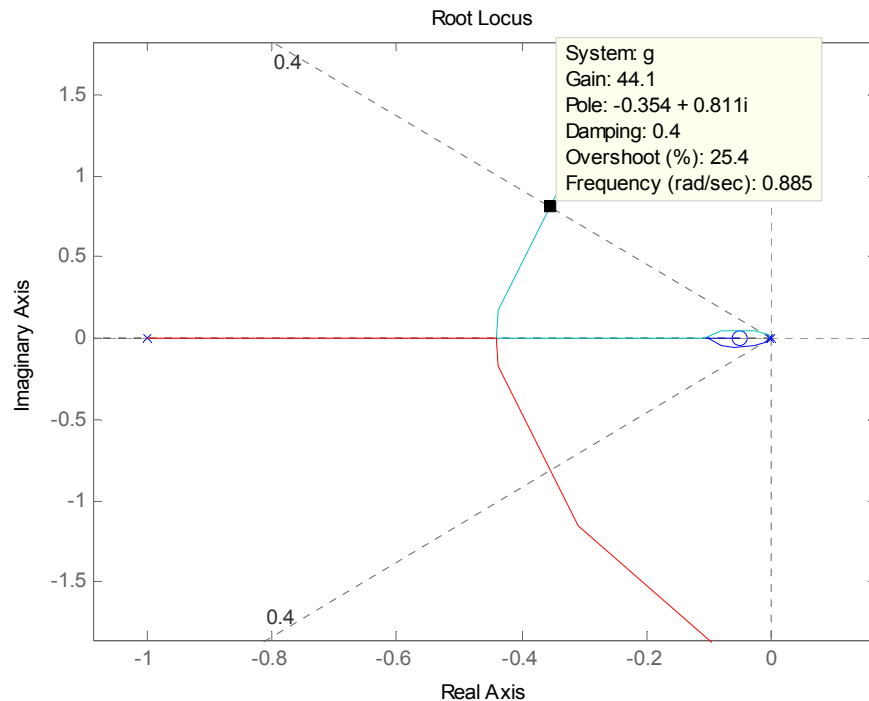
zoom



ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΙΙ

Όπου για τον ίδιο συντελεστή $\zeta=0.4$ και συνάρτηση μεταφοράς ανοιχτού βρόχου

$$\frac{A}{10} \frac{s+0,05}{s+0,005} \frac{1}{s(s+1)(s+5)}$$



Η τιμή του $\frac{A}{10}$ είναι

$$\frac{A}{10} = \frac{|s||s+1||s+5||s+0,005|}{|s+0,05|} \Bigg|_{s=\text{σημ.τομης}} \approx 4.41$$

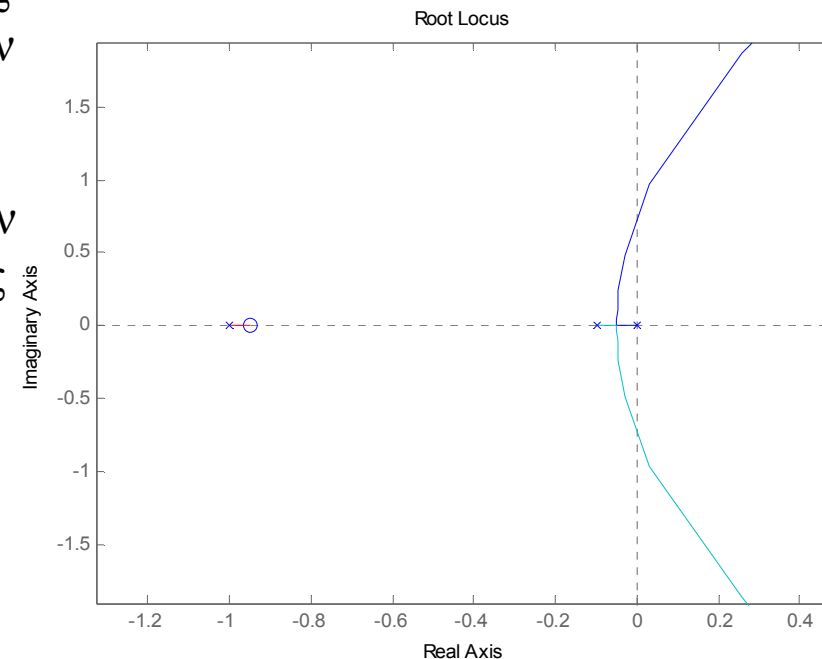
ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ II

Για αυτό το κέρδος $\frac{A}{10}$ έχουμε $e_{ss}|_{\text{ΤΡΙΓ}} = \frac{1}{\lim_{s \rightarrow 0} s \frac{1}{10s(s+1)(s+5)(s+0,05)}} = \frac{1}{8.82}$

Παρατηρώ ότι $\frac{1}{8.82} \approx \frac{1}{10} \frac{1}{0.976}$. Υπάρχει σημαντική ελάττωση του σφάλματος μόνιμης κατάστασης για τις ίδιες τιμές των κυρίαρχων πόλων. Ο Lag ελεγκτής βελτιώνει κύρια τη μόνιμη απόκριση του συστήματος, ενώ χειροτερεύει ανεπαίσθητα τη μεταβατική (την κάνει ανεπαίσθητα πιο αργή λόγω μεταβολής της φυσικής συχνότητας ω_n)

Τι γίνεται σε περίπτωση όπου ο πόλος και το μηδενικό του Lag δεν τεθούν κοντά στον φανταστικό άξονα?

Π.χ. $C(s) = \frac{s + 0.95}{s + 0.1}$

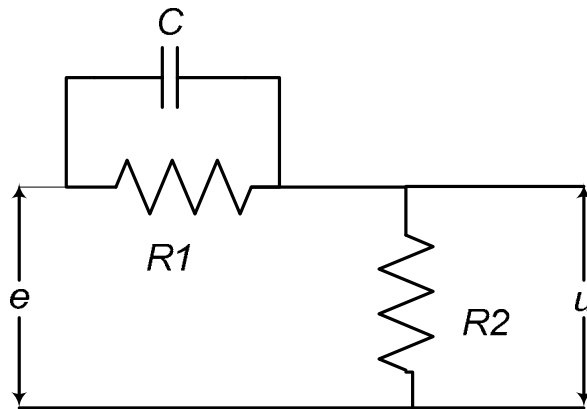


ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ II

Ελεγκτής προήγησης φάσης (Lead)

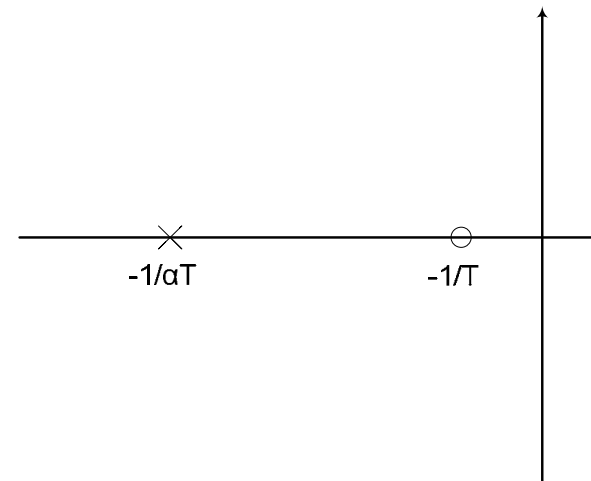
$$\frac{u(s)}{e(s)} = Aa \frac{1 + Ts}{1 + aTs}$$

- Χρησιμοποιείται κύρια για τη βελτίωση της μεταβατικής απόκρισης
- Τρόπος υλοποίησης με παθητικά στοιχεία



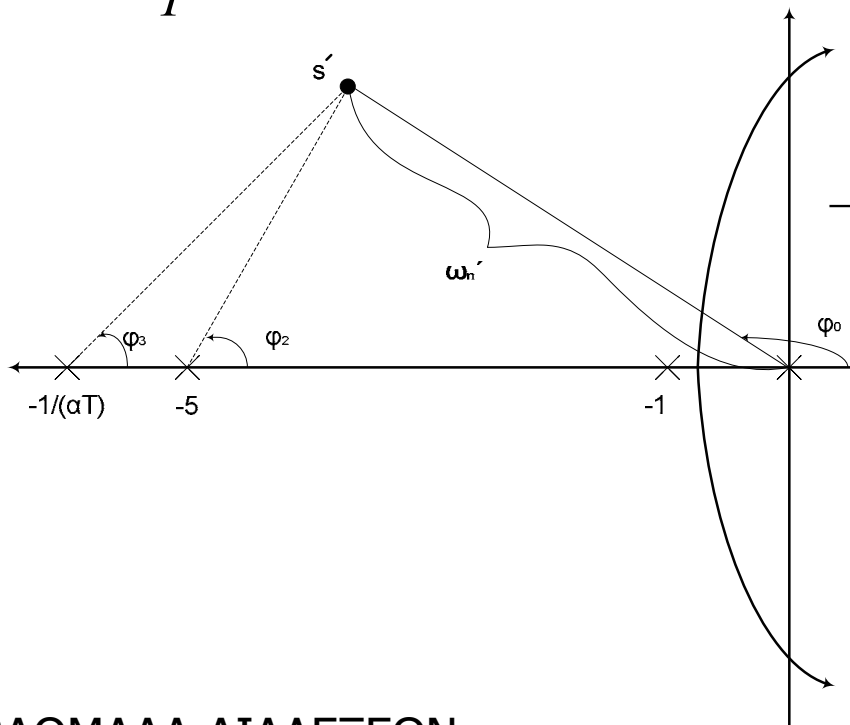
$$\text{όπου } a = \frac{R_2}{R_1 + R_2} < 1 \quad T = R_1 C$$

Διάγραμμα πόλων-μηδενικών



ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ II

- Αν ζητείται η ταχύτερη απόκριση του συστήματος → αύξηση του ω_n (και διατήρηση του ζ)
 Αν $\frac{1}{T} = +1$ (ακύρωση του πόλου του συστήματος -1)



Η τοποθέτηση του πόλου στο $1/\{\alpha T\}$
 Ορίζεται από τη συνθήκη της φάσης

$$\rightarrow 1 + G'(s) = 0 \rightarrow G'(s) = -1 \rightarrow \angle G'(s) = 180^\circ$$

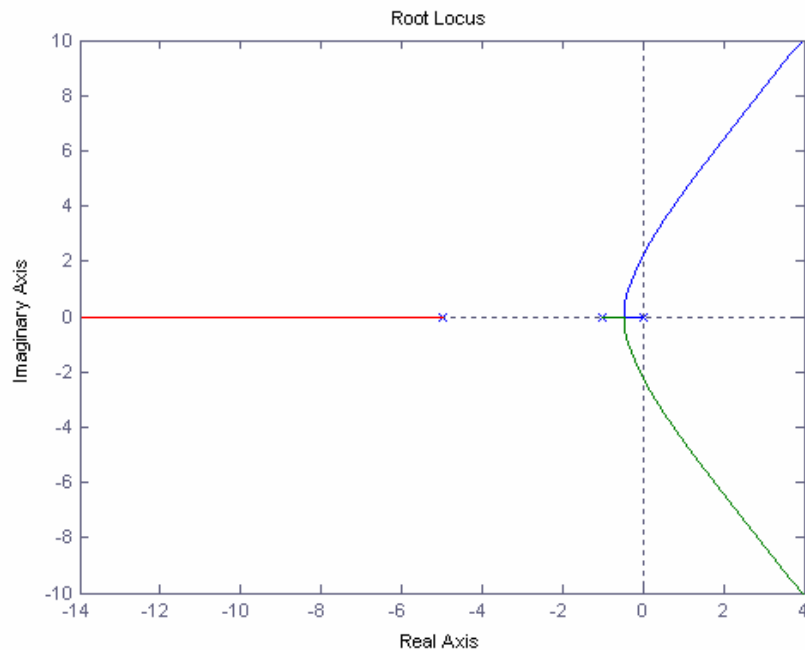
όπου

$$G'(s) = \frac{A(s+1)}{s(s+1)(s+5)(s+1/aT)} = \frac{Ak}{s(s+5)(s+1/aT)}$$

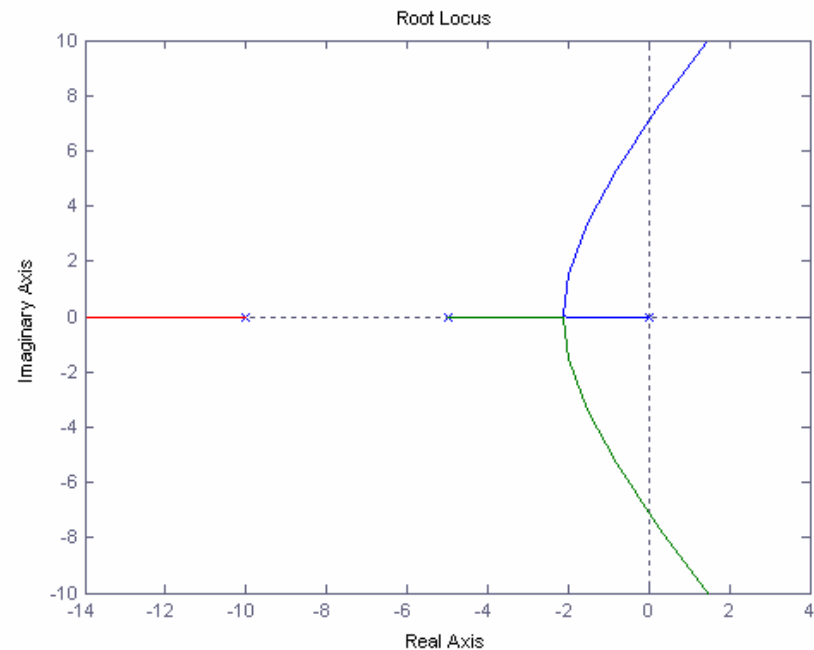
Αν το επιθυμητό σημείο είναι το s'
 τότε πρέπει $\phi_0 - \phi_2 - \phi_3 = -180^\circ$

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ II

Ενδεικτικά ο Γ.Τ.Ρ. για $C(s)=k$ είναι



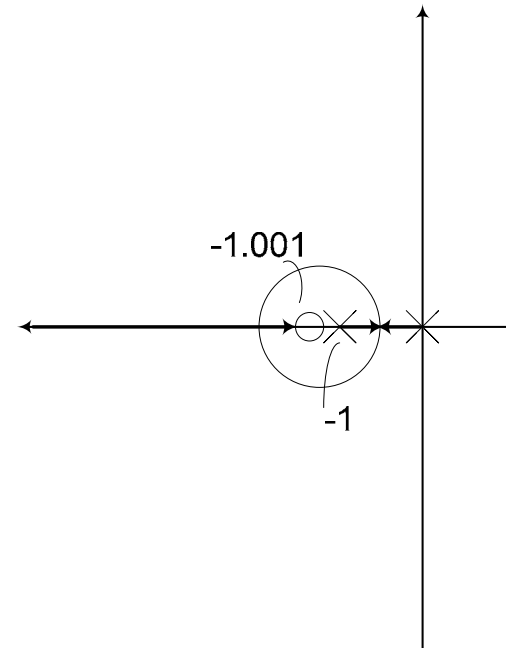
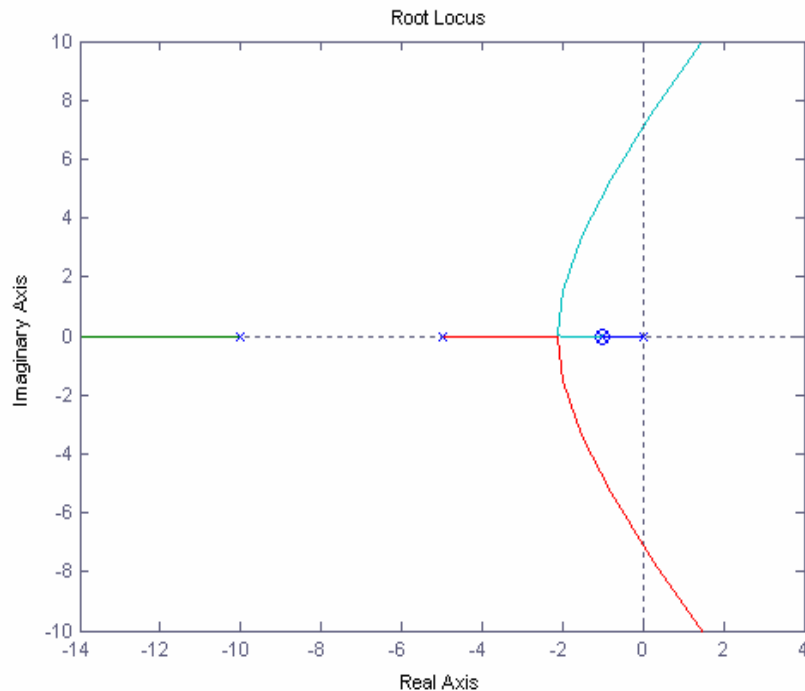
Ενώ ο Γ.Τ.Ρ. μετατοπίζεται αισθητά προς τα αριστερά (ταχύτερη απόκριση)
Π.χ. για $C(s) = k \frac{s+1}{s+10}$



ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΙΙ

Αν δεν ακυρωθεί ακριβώς ο πόλος του συστήματος στο -1 (π.χ. $\frac{1}{T} = 1.001$). Ο Γ.Τ.Π. είναι

Η μεγέθυνση στην περιοχή ενδιαφέροντος δείχνει ότι ένας πόλος του κλειστού Συστήματος «οδεύει» προς το μηδενικό στο -1.001





ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ II

Αντιστάθμιση προήγησης φάσης (συνέχεια....)

Χρησιμοποιείται για την ταχύτερη απόκριση του συστήματος, μετατοπίζοντας τον Γ.Τ.Ρ προς τα αριστερά

Αντί της ακύρωσης του πόλου του συστήματος στο -1 , γιατί δεν ακυρώνω τον πόλο στο 0 ?

Π.χ
$$C(s) = k \frac{s + \varepsilon}{s + \frac{1}{aT}}, \quad \varepsilon \approx 0$$

- Το σύστημα θα γίνει από τύπου 1 τύπου 0 με άμεση συνέπεια στο e_{ss}
- Ένεκα πιθανώς κατασκευαστικών προβλημάτων είναι δυνατόν το μηδενικό να μετατοπισθεί στο δεξί ημιεπίπεδο ($-\varepsilon \rightarrow 0^+$) και να υπάρχουν προβλήματα ευστάθειας

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ II

Σχεδιασμός αντισταθμιστή προήγησης φάσης με Γ.Τ.Ρ. (μέθοδος διχοτόμου)
 Αν s' είναι ένας επιθυμητός πόλος του κλειστού συστήματος $\frac{C(s)G(s)}{1+C(s)G(s)}$

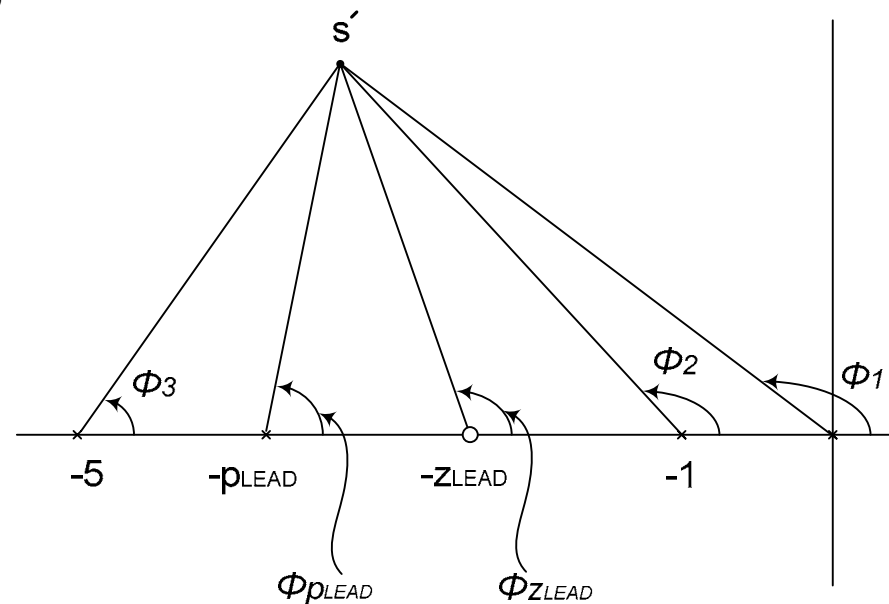
Όπου $C(s) = \frac{s + z_{LEAD}}{s + p_{LEAD}}$, $z_{LEAD} < p_{LEAD}$

Από τη συνθήκη της φάσης για το σύστημα $C(s)G(s)$ (δες Γ.Τ.Ρ)

Πρέπει

$$\phi_1 + \phi_2 + \phi_3 + \phi_{p_{LEAD}} - \phi_{z_{LEAD}} = 180^\circ$$

$$\begin{aligned} \text{ή } \phi_{p_{LEAD}} - \phi_{z_{LEAD}} &= 180^\circ - (\phi_1 + \phi_2 + \phi_3) \\ &= \phi \end{aligned}$$

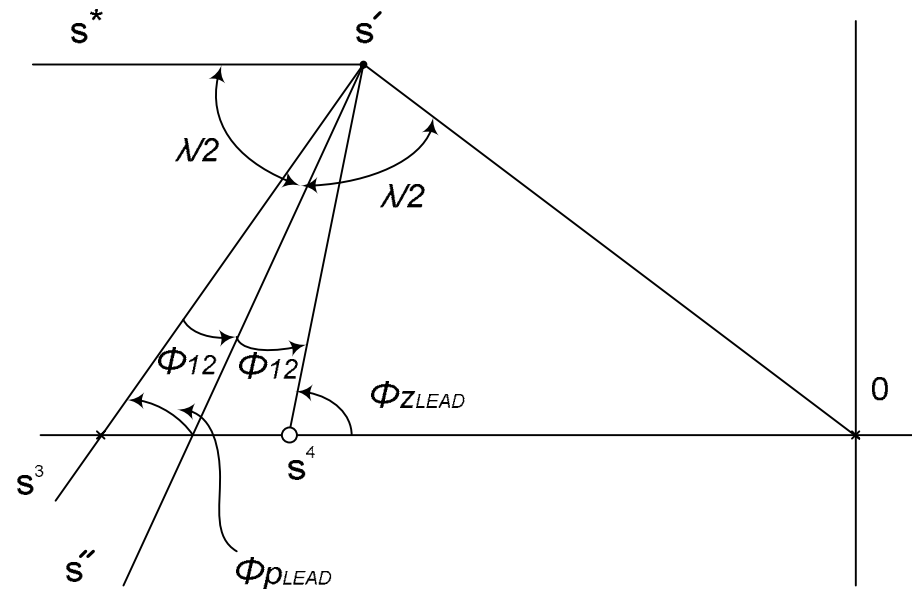


ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΙΙ

Το μηδενικό και ο πόλος του ελεγκτή μπορούν να υπολογιστούν με βάση τον εξής αλγόριθμο

1. Εύρεση διχοτόμου $s's''$ γωνίας $\angle s^*s's'$
2. Εύρεση 2 ημιευθειών $s's^3$ και $s's^4$
έτσι ώστε $\angle s^3s's'' = \phi/2$ και $\angle s''s's^4 = \phi/2$
3. Το σημείο τομής της $s's^3$ με τον
πραγματικό άξονα είναι ο πόλος P_{LEAD}
του ελεγκτή
4. Το σημείο τομής της $s's^4$ με τον
πραγματικό άξονα είναι το μηδενικό
του ελεγκτή Z_{LEAD}

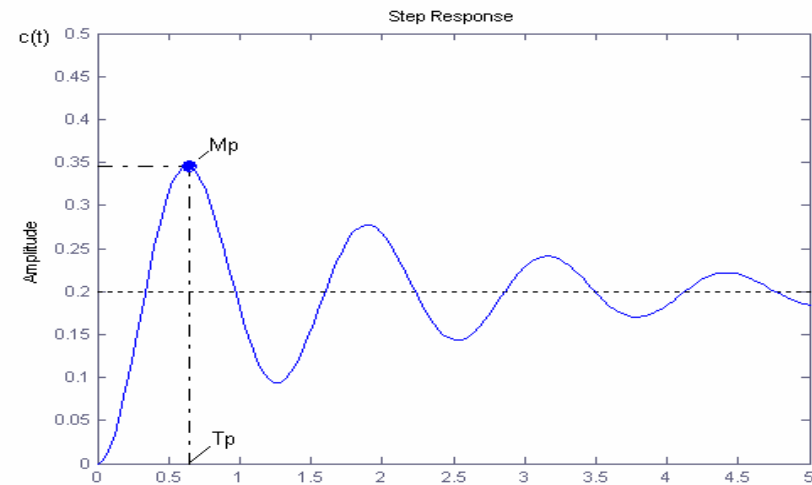
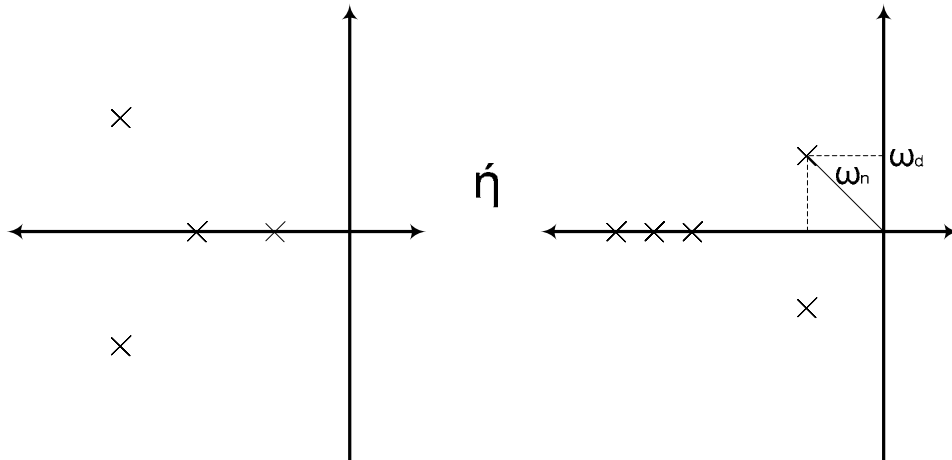
Απόδειξη: $\phi_{P_{LEAD}} + 180^\circ - \phi_{Z_{LEAD}} + \phi = 180^\circ$
(άθροισμα γωνιών τριγώνου)



ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ II

$$c(t) = \frac{P(0)}{G(0)} + 2 \left| k_G \frac{\Pi}{\omega_n} \right| e^{\sigma t} \cos[\omega_d t + \angle P(p_1) - \angle p_1 - \angle Q(p_1)] + \sum \left[\frac{P(p_k)}{p_k Q(p_k)} \right]$$

$$Q' = \frac{dQ}{ds}$$



$$\frac{dc(t)}{dt} = 0 \Rightarrow T_p = \frac{1}{\omega_d} \left[\frac{\pi}{2} - \angle P(p_1) + \angle Q(p_1) \right]$$

$$M_p = \frac{P(0)}{Q(0)} + 2 \frac{\omega_d}{\omega_n^2} \left| k_G \frac{\prod_{m=1}^w (p_1 - z_m)}{\prod_{k=2}^n (p_1 - p_k)} \right| e^{\sigma T_p}$$