# Αυτόματος Έλεγχος

## Ενότητα 11η: Σχεδίαση ελεγκτών στο πεδίο του χώρου μεταβλητών κατάστασης

**Παναγιώτης Σεφερλής**

Εργαστήριο Δυναμικής Μηχανών

Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών

Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
ΕΣΠΑ 2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

# 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 Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης» 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
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης
ΕΣΠΑ 2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

**Στόχοι της ενότητας**

- Κατανόηση βασικών εννοιών στον έλεγχο συστημάτων μεταβλητών κατάστασης.
- Βασικές αρχές ανάδρασης καταστάσεων.
- Σχεδίαση ελεγκτών στο πεδίο των μεταβλητών κατάστασης.

# Σχεδίαση αντισταθμιστών στο πεδίο συχνότητας

## Περίληψη της ενότητας

- Ορισμός ελεγξιμότητας, παρατηρησιμότητας συστημάτων.
- Δυναμική συμπεριφορά συστήματος κλειστού βρόχου.
- Σχεδίαση ελεγκτών ανάδρασης καταστάσεων.

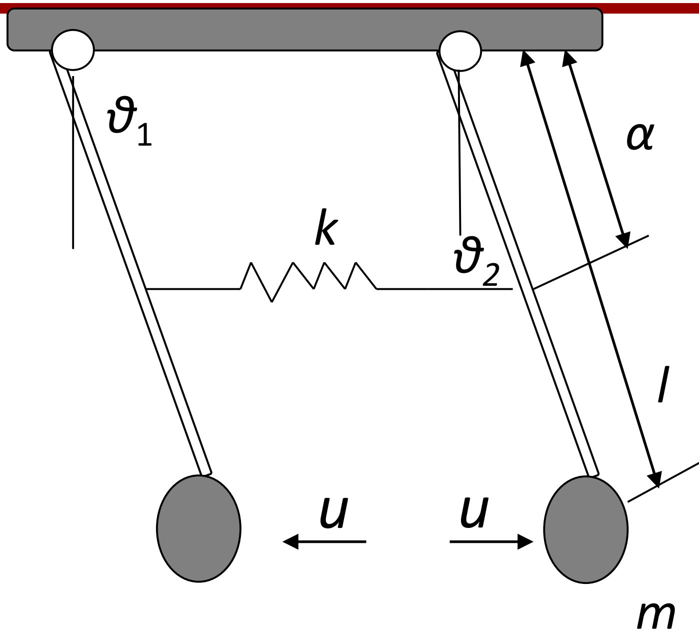
# Ελεγξιμότητα καταστάσεων συστήματος

Ένα σύστημα είναι ελέγξιμο ως προς τις μεταβλητές κατάστασης αν μπορεί να βρεθεί ένα φυσικό σήμα εισόδου, $u(t)$, η εφαρμογή του οποίου μπορεί να οδηγήσει τις καταστάσεις του συστήματος από μια οποιαδήποτε αρχική κατάσταση, $x(0)$, σε μια οποιαδήποτε επιθυμητή τελική κατάσταση, $x(t_f)$, σε πεπερασμένο χρονικό διάστημα.

Ένα σύστημα που περιγράφεται από το μοντέλο μεταβλητών κατάστασης $\mathbf{x}'=\mathbf{A}\mathbf{x}+\mathbf{B}\mathbf{u}$, είναι ελέγξιμο αν ο βαθμός (rank) του μητρώου $\mathbf{P}$ διαστάσεων $n$x($n$x$m$) ($n$:αριθμός καταστάσεων, $m$: αριθμός μεταβλητών εισόδου) που ορίζεται ως

$\mathbf{P}=[\mathbf{B}\ \ \mathbf{AB}\ \ \mathbf{A}^2\mathbf{B}\ \ \ldots\ \mathbf{A}^{n-1}\mathbf{B}]$ ισούται με $n$.

# Ελεγξιμότητα συστήματος




$$ml^2\ddot{\vartheta}_1 = -ka^2(\vartheta_1 - \vartheta_2) - mgl\vartheta_1 - lu$$

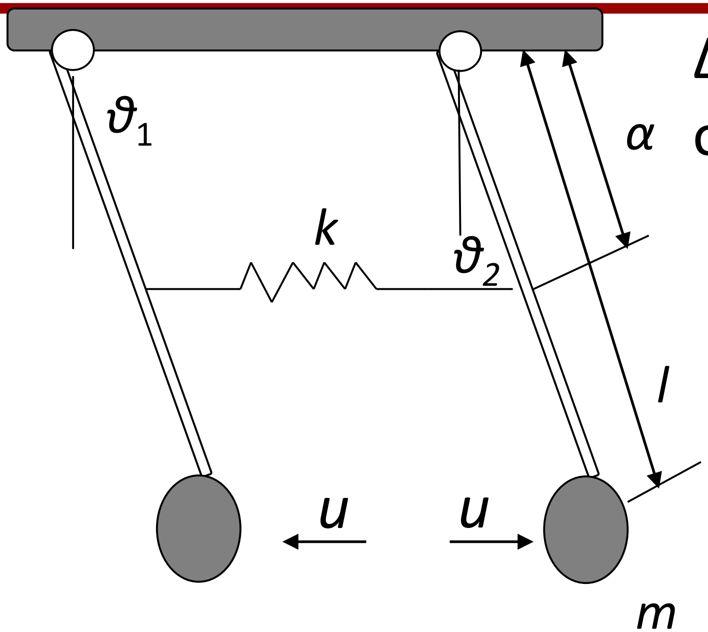
$$ml^2\ddot{\vartheta}_2 = -ka^2(\vartheta_2 - \vartheta_1) - mgl\vartheta_2 + lu$$

Διερεύνηση ελεγξιμότητας συστήματος. Καταστρώνεται το μοντέλο μεταβλητών κατάστασης:

$$x_1 = \vartheta_1 \quad x_2 = \dot{\vartheta}_1 \quad x_3 = \vartheta_2 \quad x_4 = \dot{\vartheta}_2$$

$$\dot{\mathbf{x}} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\dfrac{ka^2}{ml^2} - \dfrac{g}{l} & 0 & \dfrac{ka^2}{ml^2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ \dfrac{ka^2}{ml^2} & 0 & -\dfrac{ka^2}{ml^2} - \dfrac{g}{l} & 0 \end{pmatrix} \mathbf{x} + \begin{pmatrix} 0 \\ -\dfrac{1}{ml} \\ 0 \\ \dfrac{1}{ml} \end{pmatrix} u$$

# Ελεγξιμότητα συστήματος

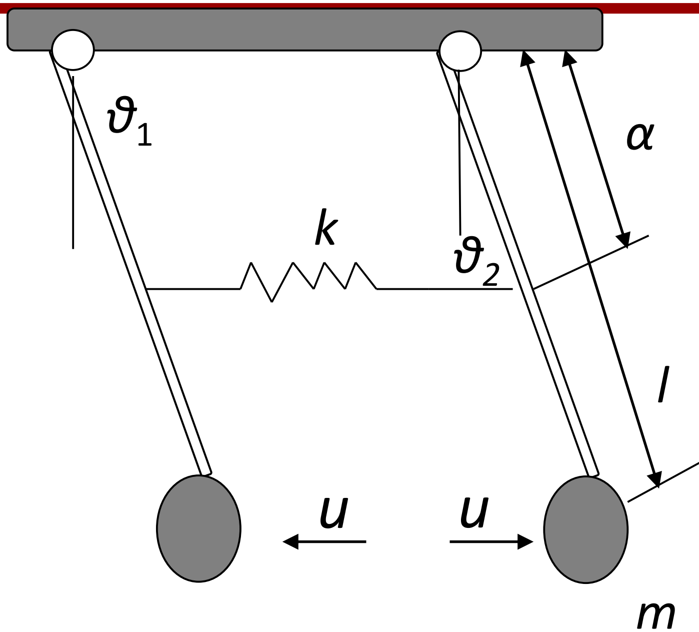



Διερεύνηση ελεγξιμότητας συστήματος.

$$\dot{\mathbf{x}} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\frac{ka^2}{ml^2} - \frac{g}{l} & 0 & \frac{ka^2}{ml^2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ \frac{ka^2}{ml^2} & 0 & -\frac{ka^2}{ml^2} - \frac{g}{l} & 0 \end{pmatrix} \mathbf{x} + \begin{pmatrix} 0 \\ -\frac{1}{ml} \\ 0 \\ \frac{1}{ml} \end{pmatrix} u$$

$$\mathbf{AB} = \begin{pmatrix} -\frac{1}{ml} \\ 0 \\ \frac{1}{ml} \\ 0 \end{pmatrix} \qquad \mathbf{AAB} = \begin{pmatrix} 0 \\ \frac{1}{ml}\left(\frac{ka^2}{ml^2} + \frac{g}{l} + \frac{ka^2}{ml^2}\right) \\ 0 \\ -\frac{1}{ml}\left(\frac{ka^2}{ml^2} + \frac{g}{l} + \frac{ka^2}{ml^2}\right) \end{pmatrix} \qquad \mathbf{AAAB} = \begin{pmatrix} \frac{1}{ml}\left(\frac{ka^2}{ml^2} + \frac{g}{l} + \frac{ka^2}{ml^2}\right) \\ 0 \\ -\frac{1}{ml}\left(\frac{ka^2}{ml^2} + \frac{g}{l} + \frac{ka^2}{ml^2}\right) \\ 0 \end{pmatrix}$$

# Ελεγξιμότητα συστήματος



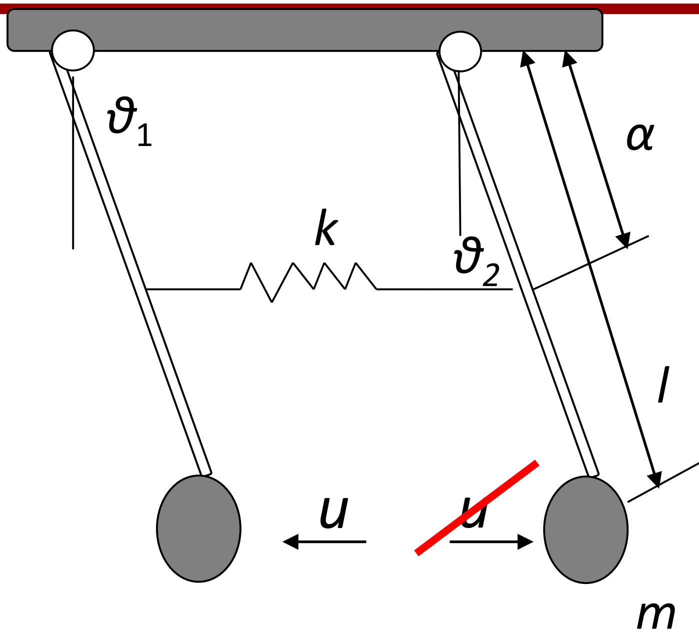

Διερεύνηση ελεγξιμότητας συστήματος.

Για να είναι το σύστημα ελέγξιμο πρέπει ο βαθμός του μητρώου **P**=[**B AB A**$^2$**B A**$^3$**B**] να ισούται με $n$ (αριθμός μεταβλητών κατάστασης).

$$\mathbf{B}=\begin{pmatrix}0\\ -\frac{1}{ml}\\ 0\\ \frac{1}{ml}\end{pmatrix}\quad \mathbf{AB}=\begin{pmatrix}-\frac{1}{ml}\\ 0\\ \frac{1}{ml}\\ 0\end{pmatrix}\quad \mathbf{A}^2\mathbf{B}=\begin{pmatrix}0\\ \frac{1}{ml}\left(2\frac{ka^2}{ml^2}+\frac{g}{l}\right)\\ 0\\ -\frac{1}{ml}\left(2\frac{ka^2}{ml^2}+\frac{g}{l}\right)\end{pmatrix}\quad \mathbf{A}^3\mathbf{B}=\begin{pmatrix}\frac{1}{ml}\left(2\frac{ka^2}{ml^2}+\frac{g}{l}\right)\\ 0\\ -\frac{1}{ml}\left(2\frac{ka^2}{ml^2}+\frac{g}{l}\right)\\ 0\end{pmatrix}$$

Η ορίζουσα του μητρώου **P** είναι ίση με μηδέν. Μη ελέγξιμο.

# Ελεγξιμότητα συστήματος




Το σύστημα γίνεται ελέγξιμο αν χρησιμοποιηθεί μόνο μια δύναμη *u*.

$$\dot{\mathbf{x}} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\dfrac{ka^2}{ml^2} - \dfrac{g}{l} & 0 & \dfrac{ka^2}{ml^2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ \dfrac{ka^2}{ml^2} & 0 & -\dfrac{ka^2}{ml^2} - \dfrac{g}{l} & 0 \end{pmatrix} \mathbf{x} + \begin{pmatrix} 0 \\ -\dfrac{1}{ml} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} u$$

$$\mathbf{B} = \begin{pmatrix} 0 \\ -\dfrac{1}{ml} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad \mathbf{AB} = \begin{pmatrix} -\dfrac{1}{ml} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad \mathbf{A}^2\mathbf{B} = \begin{pmatrix} 0 \\ \dfrac{1}{ml}\left(\dfrac{ka^2}{ml^2} + \dfrac{g}{l}\right) \\ 0 \\ -\dfrac{1}{ml}\left(\dfrac{ka^2}{ml^2}\right) \end{pmatrix} \quad \mathbf{A}^3\mathbf{B} = \begin{pmatrix} \dfrac{1}{ml}\left(\dfrac{ka^2}{ml^2} + \dfrac{g}{l}\right) \\ 0 \\ -\dfrac{1}{ml}\left(\dfrac{ka^2}{ml^2}\right) \\ 0 \end{pmatrix}$$

Ο βαθμός του **P** είναι ίσος με 4 και άρα το σύστημα είναι ελέγξιμο.

# Ελεγξιμότητα μεταβλητών εξόδου

Ένα σύστημα είναι ελέγξιμο ως προς τις μεταβλητές εξόδου, αν μπορεί να βρεθεί ένα φυσικό σήμα εισόδου, $u(t)$, η εφαρμογή του οποίου μπορεί να οδηγήσει τις εξόδους του συστήματος από μια οποιαδήποτε αρχική κατάσταση, $y(0)$, σε μια οποιαδήποτε επιθυμητή τελική τιμή, $y(t_f)$, σε πεπερασμένο χρονικό διάστημα.

Ένα σύστημα που περιγράφεται από το μοντέλο μεταβλητών κατάστασης $\mathbf{x}'=\mathbf{A}\mathbf{x}+\mathbf{B}\mathbf{u}$ και $\mathbf{y}=\mathbf{C}\mathbf{x}$, είναι ελέγξιμο αν ο βαθμός (rank) του μητρώου $\mathbf{P}$ διαστάσεων $p$x($n$x$m$) ($n$: αριθμός καταστάσεων, $m$: αριθμός μεταβλητών εισόδου, $p$: αριθμός μεταβλητών εξόδου) που ορίζεται ως $\mathbf{P}=[\mathbf{CB}\ \ \mathbf{CAB}\ \ \mathbf{CA}^2\mathbf{B}\ \ \ldots\ \mathbf{CA}^{n-1}\mathbf{B}]$ ισούται με $p$.

# Παρατηρησιμότητα καταστάσεων

Ένα σύστημα είναι παρατηρήσιμο στο διάστημα $t_0<t<t_f$, αν για κάθε $t_0$ και οποιοδήποτε $t$, η κατάσταση του συστήματος $x(0)$ μπορεί να υπολογισθεί από τη γνώση των διανυσμάτων εξόδου $y(\mathrm{t})$ και εισόδου $u(\mathrm{t})$.

Ένα σύστημα που περιγράφεται από το μοντέλο μεταβλητών κατάστασης **x’**=**Ax**+**Bu** και **y**=**Cx**, είναι παρατηρήσιμο, αν ο βαθμός του μητρώου **Q** διαστάσεων ($n$x$p$)x$n$ που ορίζεται ως

**Q**=[**C**

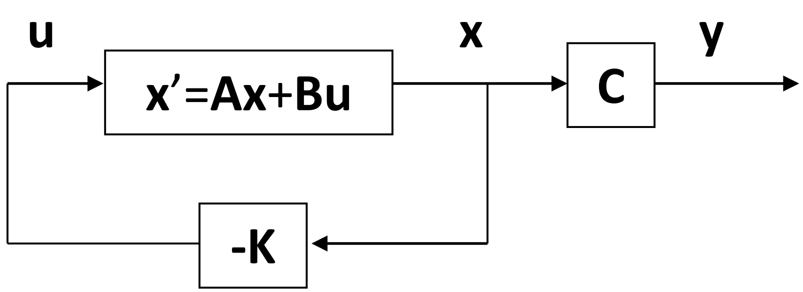
**CA**

:

**CA**$^{n-1}$]  ισούται με $n$ (αριθμός μεταβλητών κατάστασης).

# Ανάδραση καταστάσεων

**Στόχος**: Η διαμόρφωση της επιθυμητής δυναμικής συμπεριφοράς του συστήματος.
**Παραδοχές**: (1) Όλες οι καταστάσεις είναι διαθέσιμες.
(2) Το σύστημα είναι ελέγξιμο ως προς τις καταστάσεις.




Επίτευξη επιθυμητών δυναμικών χαρακτηριστικών στον κλειστό βρόχο (π.χ. χρόνος ανόδου, αποκατάστασης κλπ).

Διάγραμμα ανάδρασης καταστάσεων.

**Κανόνας ελέγχου**: **u**=-**Kx=**-[$k_1$ $k_2$ … $k_n$] **x**

# Ανάδραση καταστάσεων

Η δυναμική του συστήματος κλειστού βρόχου διαμορφώνεται ως εξής:

Κανόνας ελέγχου: **u**=-**Kx**

Μοντέλο μεταβλητών κατάστασης ανοικτού βρόχου: **x'=Ax+Bu**

Μοντέλο μεταβλητών κατάστασης κλειστού βρόχου:
**x'=Ax-BKx=(A-BK)x**

Τα δυναμικά χαρακτηριστικά ορίζονται από τις ιδιοτιμές του μητρώου **(A-BK)**

Χαρακτηριστική εξίσωση κλειστού βρόχου: $\det[s\mathbf{I}-(\mathbf{A}-\mathbf{BK})]=0$

Το μητρώο ελέγχου επηρεάζει τις ιδιοτιμές του συστήματος κλειστού βρόχου.

# Ανάδραση καταστάσεων

Με κατάλληλη επιλογή των στοιχείων του μητρώου **K**, επιτυγχάνεται η μετατόπιση των ιδιοτιμών του συστήματος κλειστού βρόχου σε κατάλληλες θέσεις ώστε να επιβληθεί η επιθυμητή δυναμική συμπεριφορά.

Χαρακτηριστικό πολυώνυμο κλειστού βρόχου

$a_c(s)=(s-s_1)(s-s_2)\ldots(s-s_n)=0$

Παράδειγμα:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -\omega_0^2 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} u$$

Να υπολογισθεί το μητρώο ελέγχου, **K**, ώστε οι πόλοι του κλειστού βρόχου να είναι στο $-2\omega_0$.

# Ανάδραση καταστάσεων

$$\det[sI-(A-BK)]=\det\left\{\begin{bmatrix} s & 0 \\ 0 & s\end{bmatrix}-\left(\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -\omega_0^2 & 0\end{bmatrix}-\begin{bmatrix} 0 \\ 1\end{bmatrix}\begin{bmatrix} k_1 & k_2\end{bmatrix}\right)\right\}$$

$$s^2+k_2 s+\omega_0^2+k_1=0$$

Οι συντελεστές της χαρακτηριστικής εξίσωσης του κλειστού βρόχου εξισώνονται με αυτούς του πολυωνύμου που έχει ως ρίζες τους επιθυμητούς πόλους

$$a_c(s)=(s+2\omega_0)^2=s^2+4\omega_0 s+4\omega_0^2$$

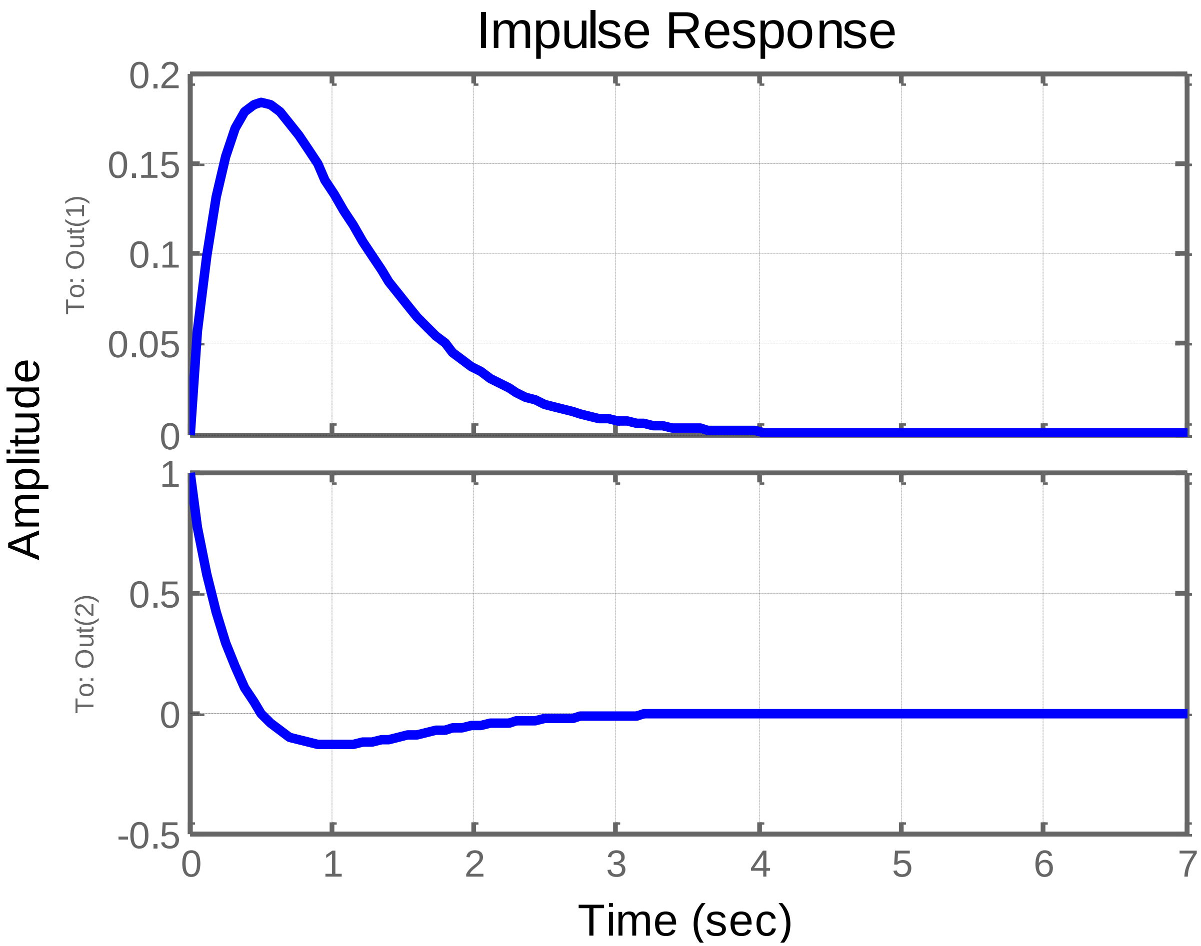
Συνεπώς:

$$\boxed{k_1=3\omega_0^2 \qquad k_2=4\omega_0}$$

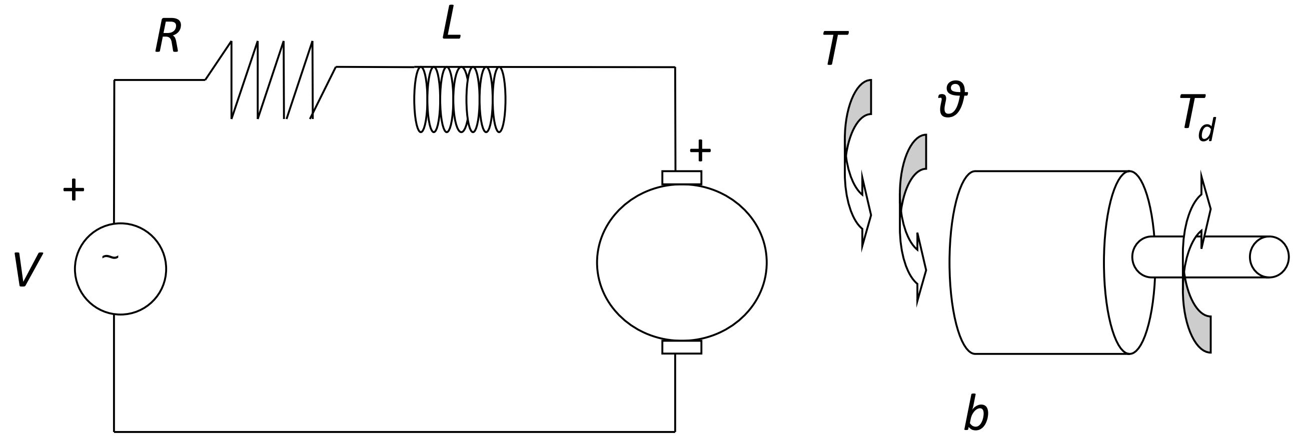
$$\boxed{\mathbf{K}=\begin{bmatrix} 3\omega_0^2 & 4\omega_0\end{bmatrix}}$$

# Ανάδραση καταστάσεων

Κρουστική απόκριση κλειστού βρόχου.



# Έλεγχος θέσης κινητήρα DC




Ροπή αδράνειας του ρότορα: $J$=3.2284 $10^{-6}$ kg $m^2/s^2$.

Συντελεστής απόσβεσης του μηχανικού συστήματος:

$b$=3.5077 $10^{-6}$ N/m.

Σταθερά ηλεκτρεγερτικής δύναμης κινητήρα:

$K=K_e=K_t$=0.0274 N m/A.

Ηλεκτρική αντίσταση: $R$=4 Ω.

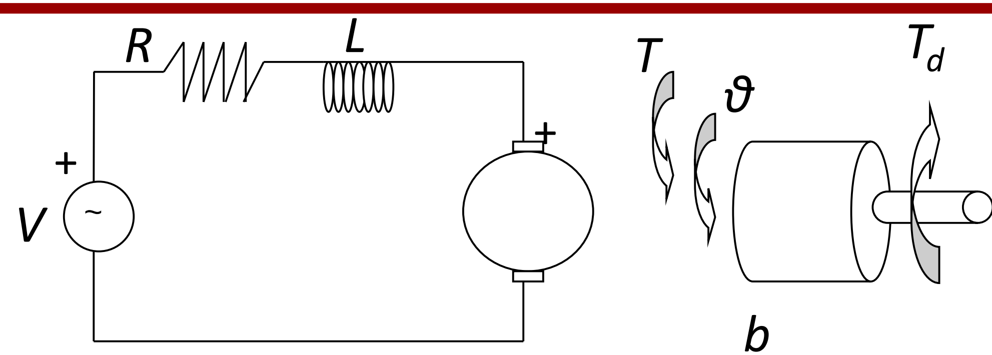
Ηλεκτρική επαγωγή: $L$=2.75 $10^{-6}$ H.

Μεταβλητή εισόδου: Τάση πηγής, $V$.

Μεταβλητή εξόδου: Θέση άξονα, $\vartheta$.

Ο ρότορας και ο άξονας θεωρούνται στιβαρά στοιχεία.

# Έλεγχος θέσης κινητήρα DC




$$\begin{bmatrix} \dot{\vartheta} \\ \ddot{\vartheta} \\ \dot{i} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & -b/J & K/J \\ 0 & -R/L & -R/L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \vartheta \\ \dot{\vartheta} \\ i \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & -1/J \\ 1/L & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V \\ T_d \end{bmatrix}$$

$$y = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \vartheta \\ \dot{\vartheta} \\ i \end{bmatrix}$$

```
A=[0 1 0;0 -b/J K/J; 0 -R/L -R/L];
B=[0 0;0 -1/J; 1/L 0];
C=[1 0 0]; D=[0 0];
```

Προδιαγραφές σχεδίασης για το σύστημα ελέγχου:
Χρόνος αποκατάστασης μικρότερος από 40 ms.
Ποσοστό υπερύψωσης μικρότερο από 16%.
Μηδενικό σφάλμα σε μόνιμη κατάσταση.

# Έλεγχος θέσης κινητήρα DC

$T_s=4/(\zeta\omega_n)=0.04$ s λαμβάνεται $\zeta\omega_n=100$.
Για γρήγορη απόσβεση του σήματος επιλέγεται $\zeta=0.5$, συνεπώς $\omega_n=200$ rad/s.

Επιθυμητή χαρακτηριστική εξίσωση κλειστού βρόχου

$$(s+p)\ (s^2+200s+40000)$$

Για τον πραγματικό πόλο επιλέγεται $p=-120$.

$$\det[s\,\mathbf{I} - (\mathbf{A} - \mathbf{BK})] = (s+p)\ (s^2+200s+40000) \Leftrightarrow$$

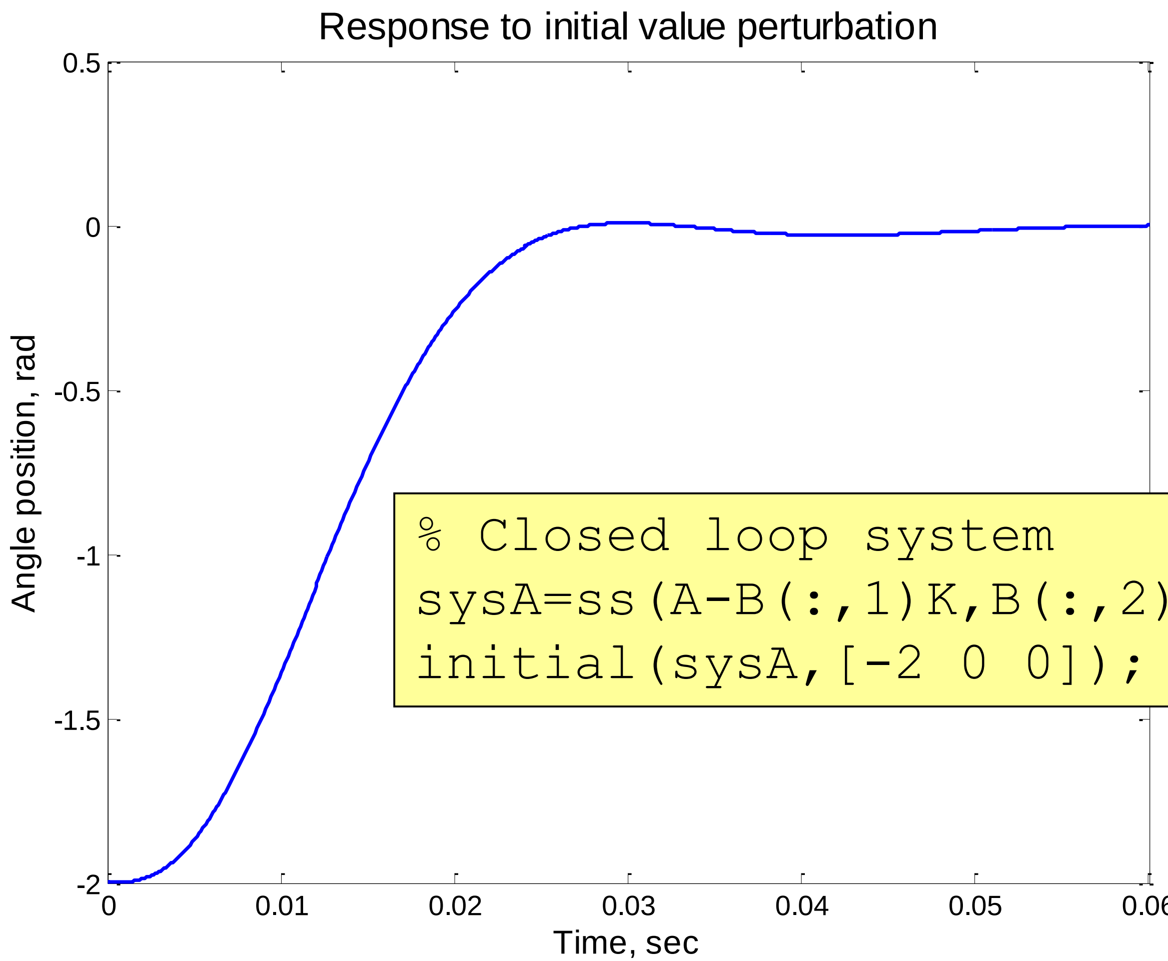
$$s^3 + [1.4545\ 10^6 + 3.6364\ 10^5\,k_3]s^2 + [3.951\ 10^5\,k_3 + 3.0862\ 10^9\,k_2 + 8.6144\ 10^7]\ s + 3.0862\ 10^9\,k_1 =$$

$$s^3 + 320\ s^2 + 64000\ s + 4800000$$

$k_1=1.5525\ 10^{-3}$, $k_2=-2.7379\ 10^{-2}$, $k_3=-3.9991$

```
P=[-120 -100+173i -100-173i];
K=place(A,B(:,1),p);
```

# Έλεγχος θέσης κινητήρα DC

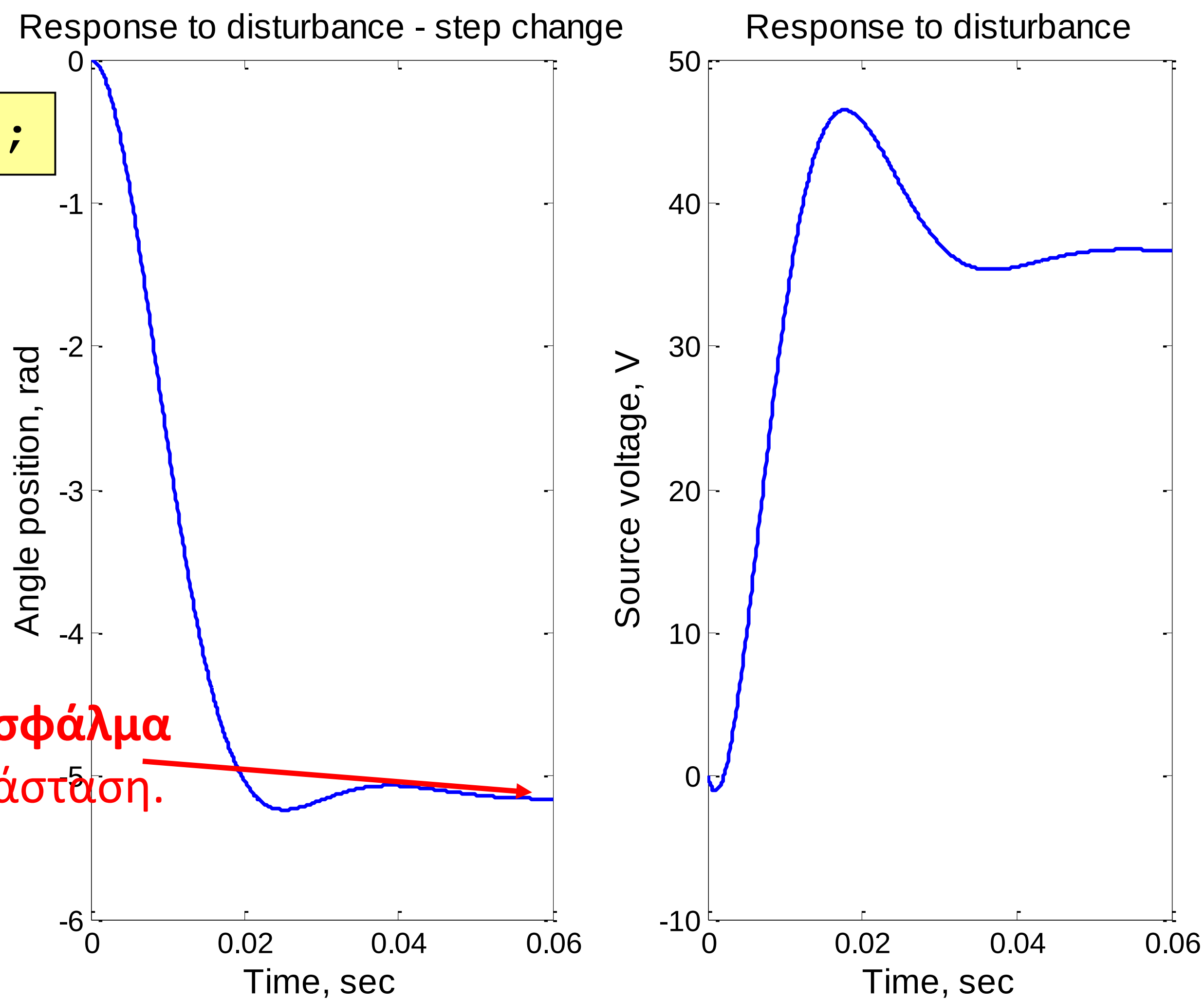



```
% Closed loop system
sysA=ss(A-B(:,1)K,B(:,2),C,D(:,1));
initial(sysA,[-2 0 0]);
```

Απόκριση σε μεταβολή της αρχικής κατάστασης.

# Έλεγχος θέσης κινητήρα DC

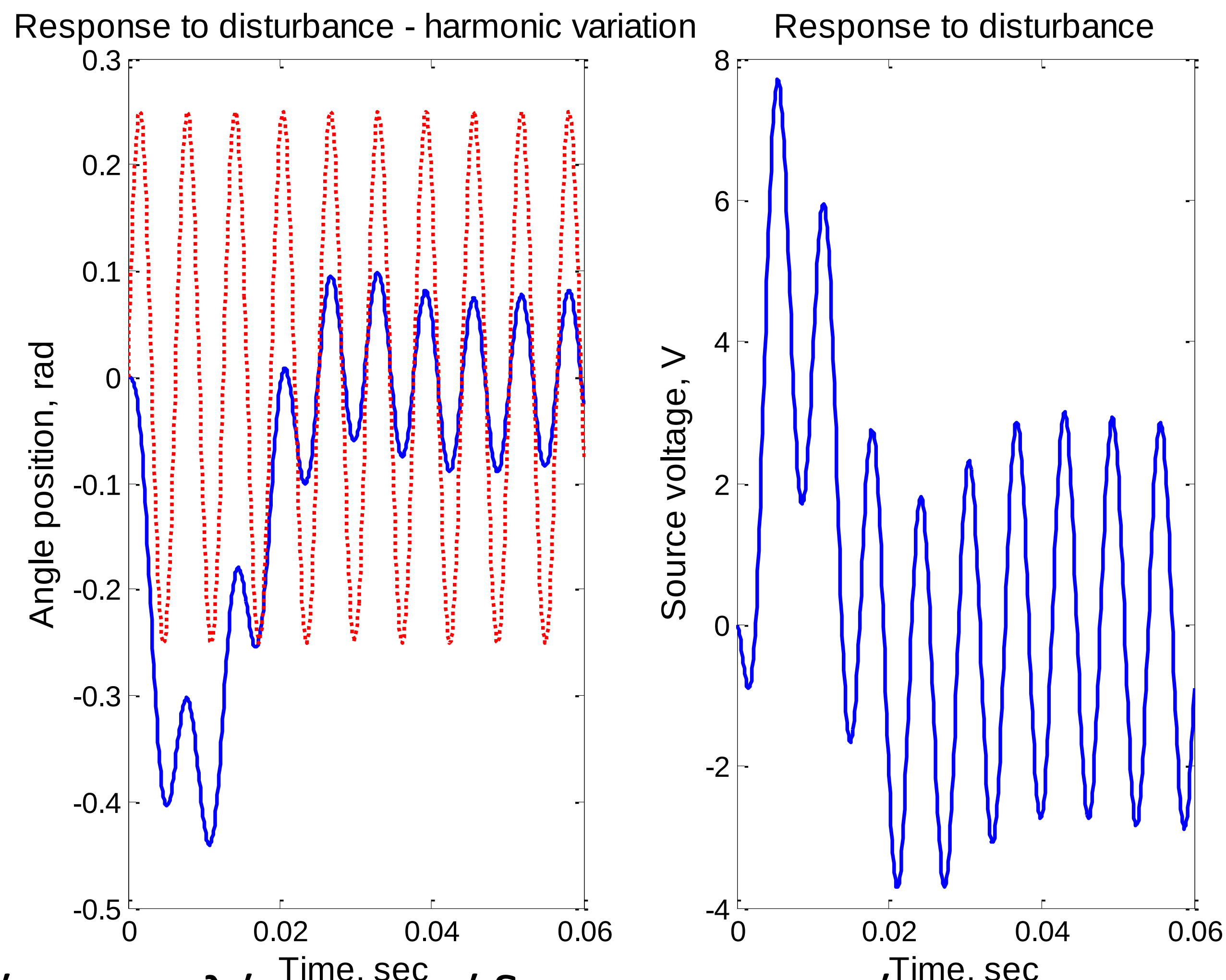
```
step(sysA);
```




**Μη μηδενικό σφάλμα**
σε μόνιμη κατάσταση.

Απόκριση σε βηματική μεταβολή της ροπής διαταραχής.

# Έλεγχος θέσης κινητήρα DC




Απόκριση ελέγχου ανάδρασης καταστάσεων σε ημιτονοειδή διαταραχή ροπής (διαταραχή: διακεκομμένη καμπύλη).

# Ανάδραση καταστάσεων με ολοκληρωτική δράση

Η εξασφάλιση μηδενικού σφάλματος σε μόνιμη κατάσταση γίνεται με την εισαγωγή ολοκληρωτικής δράσης.

Ορίζεται μια νέα μεταβλητή κατάστασης $\vartheta_I = \int(\vartheta - \vartheta_{sp})\mathrm{d}t$ (έστω $\vartheta_{sp}$ είναι ίσο με μηδέν).

Το ανοιγμένο μοντέλο μεταβλητών κατάστασης λαμβάνει τη μορφή:

$$\begin{bmatrix} \dot{\vartheta}_I \\ \dot{\vartheta} \\ \ddot{\vartheta} \\ \dot{i} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -b/J & K/J \\ 0 & 0 & -R/L & -R/L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \vartheta_I \\ \vartheta \\ \dot{\vartheta} \\ i \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & -1/J \\ 1/L & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V \\ T_d \end{bmatrix}$$

$$y = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \vartheta_I \\ \vartheta \\ \dot{\vartheta} \\ i \end{bmatrix}$$

# Ανάδραση καταστάσεων με ολοκληρωτική δράση

Επιθυμητή χαρακτηριστική εξίσωση κλειστού βρόχου

$$(s+p_I)(s+120)\,(s^2+200s+40000)$$

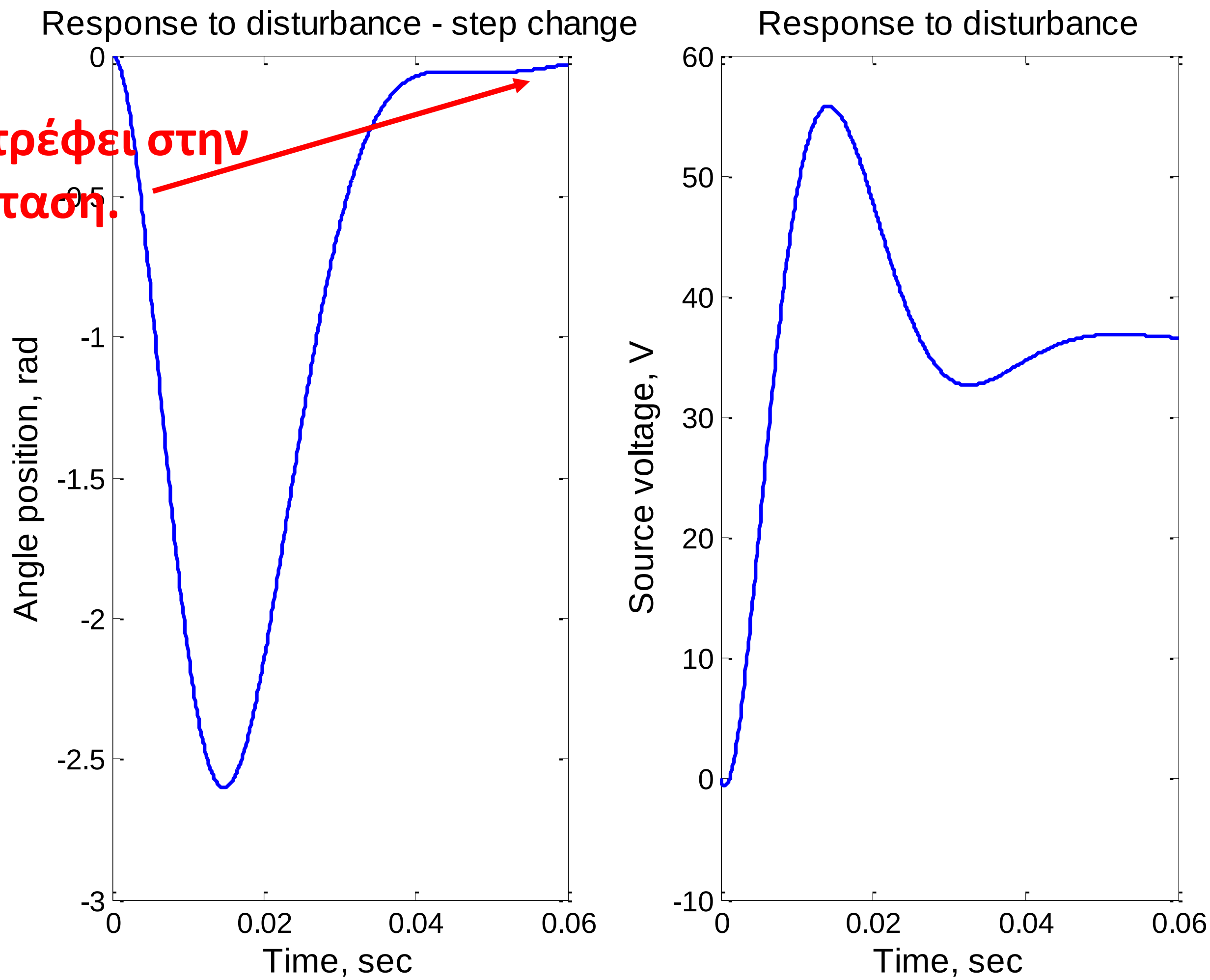
Ο επιπλέον επιθυμητός πόλος ορίζεται στο σημείο $p_I = -150$.

Τα στοιχεία του ελεγκτή **K** υπολογίζονται ως:

$k_1=2.3288\ 10^{-1}$, $k_2=4.6597\ 10^{-3}$, $k_3=-2.7364\ 10^{-2}$, $k_4=-3.9987$

# Ανάδραση καταστάσεων με ολοκληρωτική δράση

**Η γωνία επιστρέφει στην αρχική κατάσταση.**




Απόκριση σε βηματική μεταβολή της ροπής διαταραχής.

# Ανάδραση καταστάσεων με ολοκληρωτική δράση

Για μεταβολές του σημείου αναφοράς (το $\vartheta_{sp}$ δεν είναι ίσο με μηδέν και δύναται να μεταβάλλεται) το σύστημα ορίζεται ως εξής:

$$\begin{bmatrix} \dot{\vartheta}_I \\ \dot{\vartheta} \\ \ddot{\vartheta} \\ \dot{i} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -b/J & K/J \\ 0 & 0 & -R/L & -R/L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \vartheta_I \\ \vartheta \\ \dot{\vartheta} \\ i \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1/J & 0 \\ 1/L & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V \\ T_d \\ \vartheta_{sp} \end{bmatrix}$$

$$y = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \vartheta_I \\ \vartheta \\ \dot{\vartheta} \\ i \end{bmatrix}$$

Το σημείο αναφοράς αποτελεί πρόσθετη είσοδο του συστήματος.

# Επίτευξη μαθησιακών στόχων

Στο τέλος αυτής της ενότητας ο/η εκπαιδευόμενος/η θα πρέπει να μπορεί να:

- Εξετάζει αν ένα σύστημα μεταβλητών κατάστασης είναι ελέγξιμο ως προς τις καταστάσεις και τις μεταβλητές εξόδου.
- Εξετάζει αν ένα σύστημα μεταβλητών κατάστασης είναι παρατηρήσιμο ως προς τις καταστάσεις.
- Σχεδιάζει ένα ελεγκτή ανάδρασης καταστάσεων για επίτευξη της επιθυμητής δυναμικής συμπεριφοράς.

# Επίτευξη μαθησιακών στόχων

Στο τέλος αυτής της ενότητας ο/η εκπαιδευόμενος/η θα πρέπει να μπορεί να:

- Σχεδιάζει ένα ελεγκτή ανάδρασης καταστάσεων με ολοκληρωτική δράση και επιθυμητή δυναμική συμπεριφορά.
- Υπολογίζει τη δυναμική συμπεριφορά ενός συστήματος μεταβλητών κατάστασης σε κλειστό βρόχο.

# Τέλος ενότητας

Επεξεργασία: Δρ Παπαδόπουλος Αθανάσιος
Δρ Αγγελική Μονέδα
Θεσσαλονίκη, Μάιος 2014



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
ΕΣΠΑ 2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης