ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ
ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ & ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

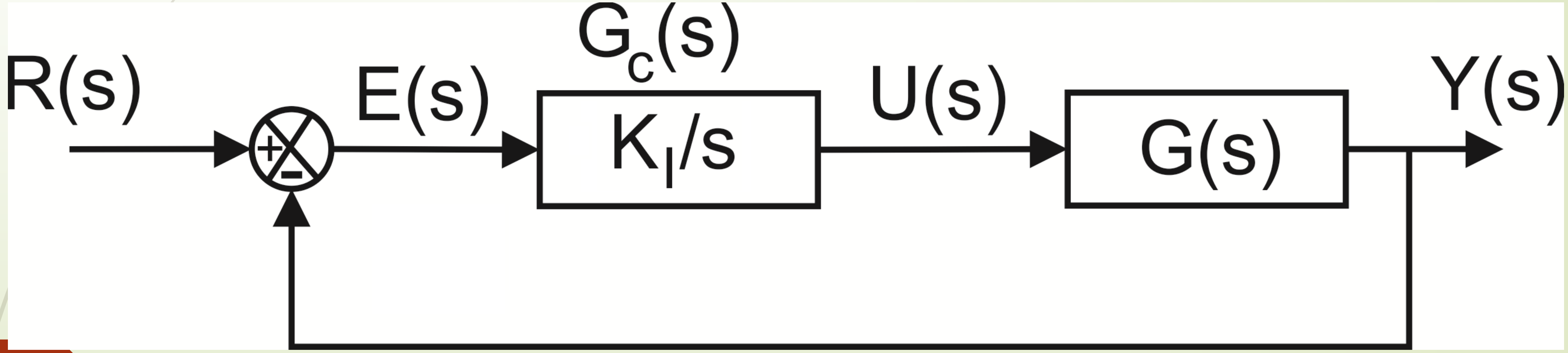
ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΙΙ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ

Ολοκληρωτικός ελεγκτής (Ι)

Παρίσης Κ. Καθηγητής
Βανδίκας Ι. ΕΔΙΠ
Μόσχος Ι. Υποψ. Διδ.

2024-2025

Ολοκληρωτικός ελεγκτής (I)- Διάγραμμα βαθμίδων

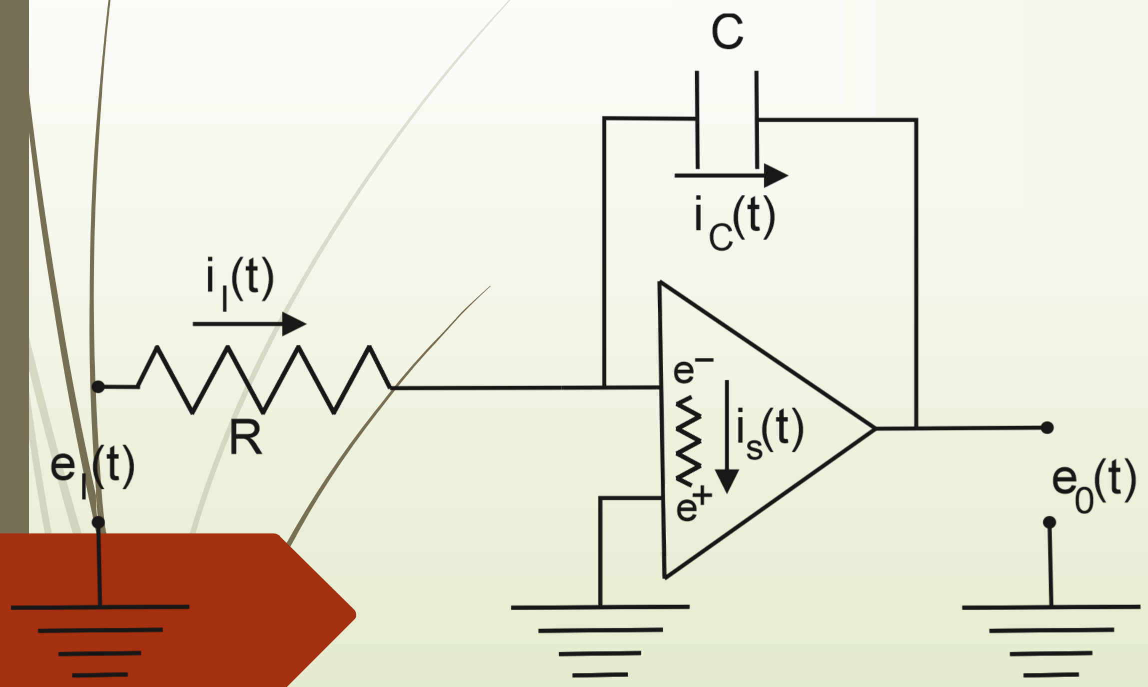


Πεδίο Laplace: $U(s) = \left(R(s) - Y(s)\right)\frac{K_I}{s} \Rightarrow U(s) = E(s)\frac{K_I}{s}$

Πεδίο t: $L^{-1}\{U(s)\} = L^{-1}\left\{E(s)\frac{K_I}{s}\right\} = K_I L^{-1}\left\{\frac{E(s)}{s}\right\} \Rightarrow u(t) = K_I \int_0^t e(t)dt$

Παρίσης Κ. Καθηγητής
Βανδίκας Ι. ΕΔΙΠ
Μόσχος Ι. Υποψ. Διδ.

Ιδανικός ολοκληρωτής (ideal integrator)



Λύση με ολοκληρωδιαφορική εξίσωση

Εφαρμόζουμε τον 2ο κανόνα του Kirchhoff

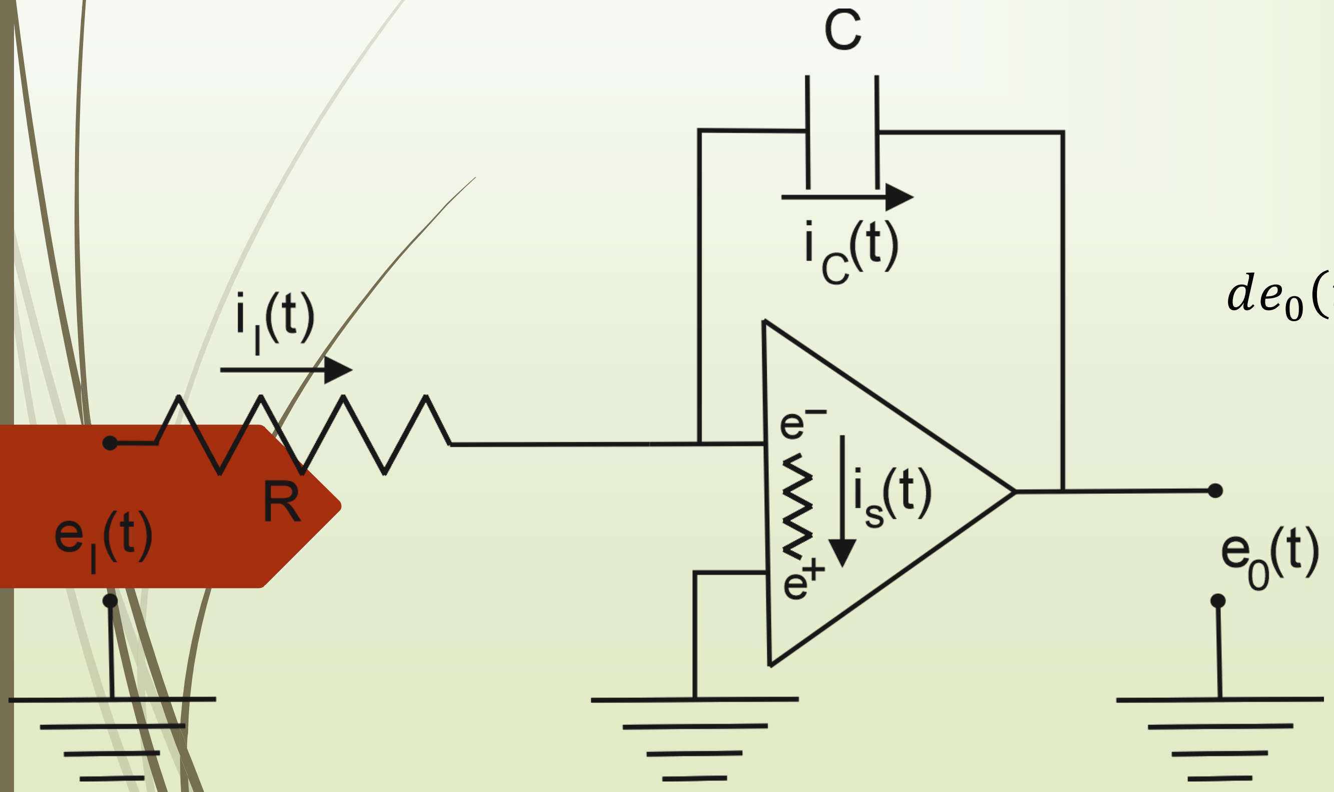
$$i_i(t) = i_C(t) + i_s(t) \xrightarrow{i_s(t)=0} i_i(t) = i_C(t) \quad (1)$$

$$i_i(t) = \frac{e_i(t) - e^-}{R} = \frac{e_i(t)}{R}$$

$$i_C(t) = \frac{dq}{dt} \xrightarrow{q=CV} i_C(t) = \frac{Cd(e^- - e_0(t))}{dt} = -\frac{Cde_0(t)}{dt}$$

Παρίσης Κ. Καθηγητής
Βανδίκας Ι. ΕΔΙΠ
Μόσχος Ι. Υποψ. Διδ.

Ιδανικός ολοκληρωτής (ideal integrator)



<u>Λύση με ολοκληρωδιαφορική εξίσωση</u>

Η συνάρτηση (1) γίνεται

$$\frac{e_\iota(t)}{R} = -\frac{C de_0(t)}{dt} \Longrightarrow e_\iota(t)dt = -\mathrm{R}C de_0(t) \Longrightarrow$$

$$de_0(t) = -\frac{e_\iota(t)}{RC}dt \Longrightarrow \int de_0(t) = \int -\frac{e_\iota(t)}{RC}dt + E_0$$

$$\Longrightarrow \boldsymbol{e_0(t) = -\frac{1}{RC}\int e_i(t)dt + E_0}$$

Παρίσης Κ. Καθηγητής
Βανδίκας Ι. ΕΔΙΠ
Μόσχος Ι. Υποψ. Διδ.

2024-2025

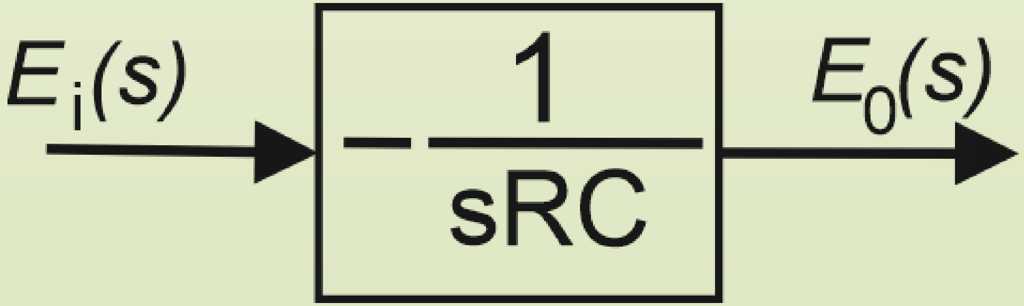
Συνάρτηση μεταφοράς ιδανικού ολοκληρωτή (ideal integrator)

Συνάρτηση μεταφοράς

$$i_i(t) = i_C(t) + i_s(t) \xRightarrow{i_s(t)=0} i_i(t) = i_C(t) \Longrightarrow \frac{e_i(t) - e^-}{\mathrm{R}} = \frac{e^- - e_0(t)}{X_C} \xRightarrow{e^-=e^+=0} \frac{e_i(t)}{\mathrm{R}} = \frac{-e_0(t)}{X_C}$$

$$\Longrightarrow \frac{e_i(t)}{\mathrm{R}} = \frac{-e_0(t)}{\frac{1}{j\omega C}} \Longrightarrow \frac{e_i(t)}{\mathrm{R}} = -j\omega C e_0(t) \overset{L}{\Rightarrow}$$

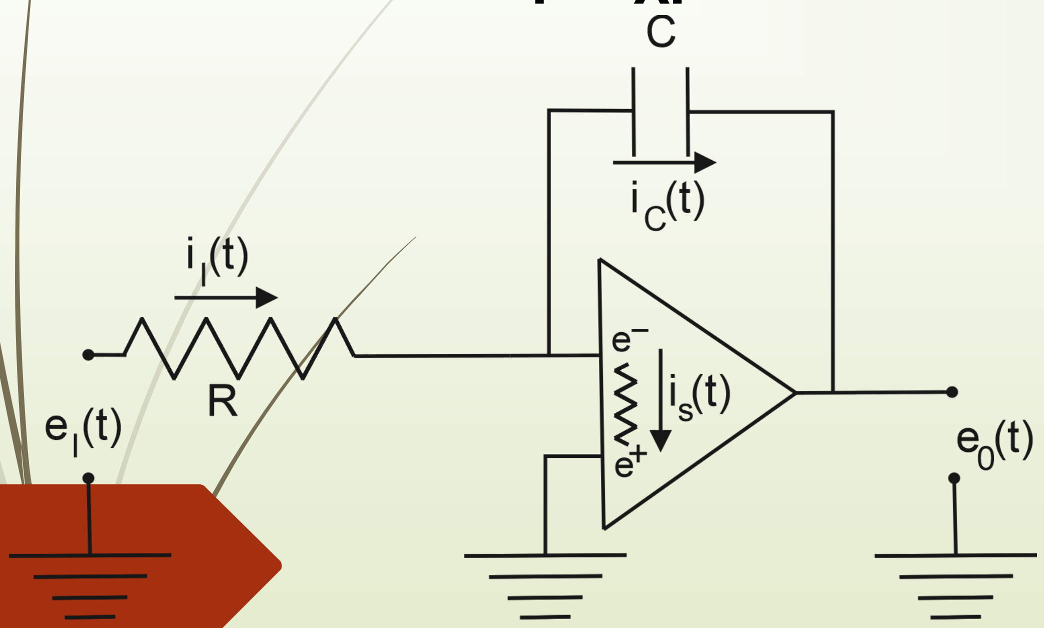
$$L\left\{\frac{e_i(t)}{\mathrm{R}}\right\} = L\{-j\omega C e_0(t)\} \Longrightarrow \frac{E_i(s)}{\mathrm{R}} = -sCE_0(s) \Longrightarrow \frac{E_0(s)}{\mathrm{E_i(s)}} = -\frac{1}{sRC}$$

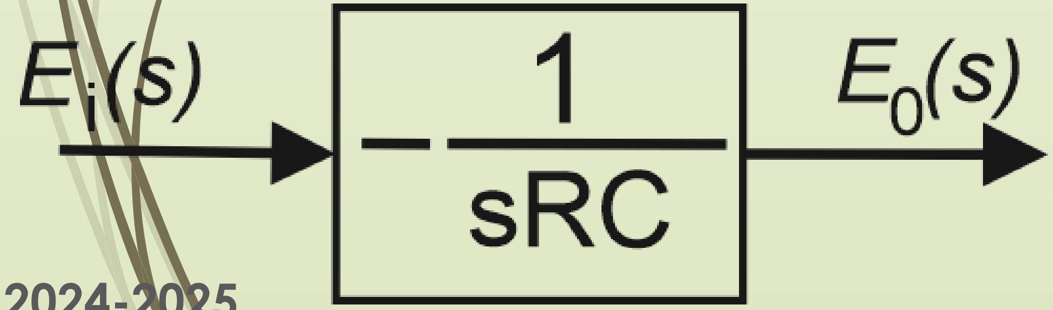


Παρίσης Κ. Καθηγητής
Βανδίκας Ι. ΕΔΙΠ
Μόσχος Ι. Υποψ. Διδ.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ
ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ & ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Σταθερά χρόνου ιδανικού ολοκληρωτή (ideal integrator)





Σταθερά χρόνου ολοκληρωτή

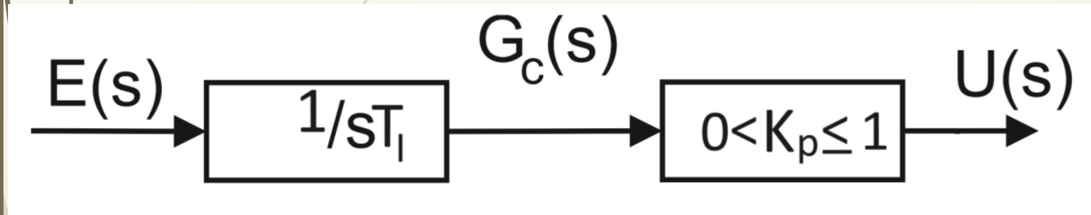
$$\left.\begin{aligned} e_0(t) &= -\frac{1}{RC}\int e_i(t)dt + E_0 \\ \frac{E_0(s)}{\mathrm{E_i}(s)} &= -\frac{1}{sRC} \end{aligned}\right\} \Rightarrow \mathrm{T}_I = \mathrm{RC}$$

2024-2025

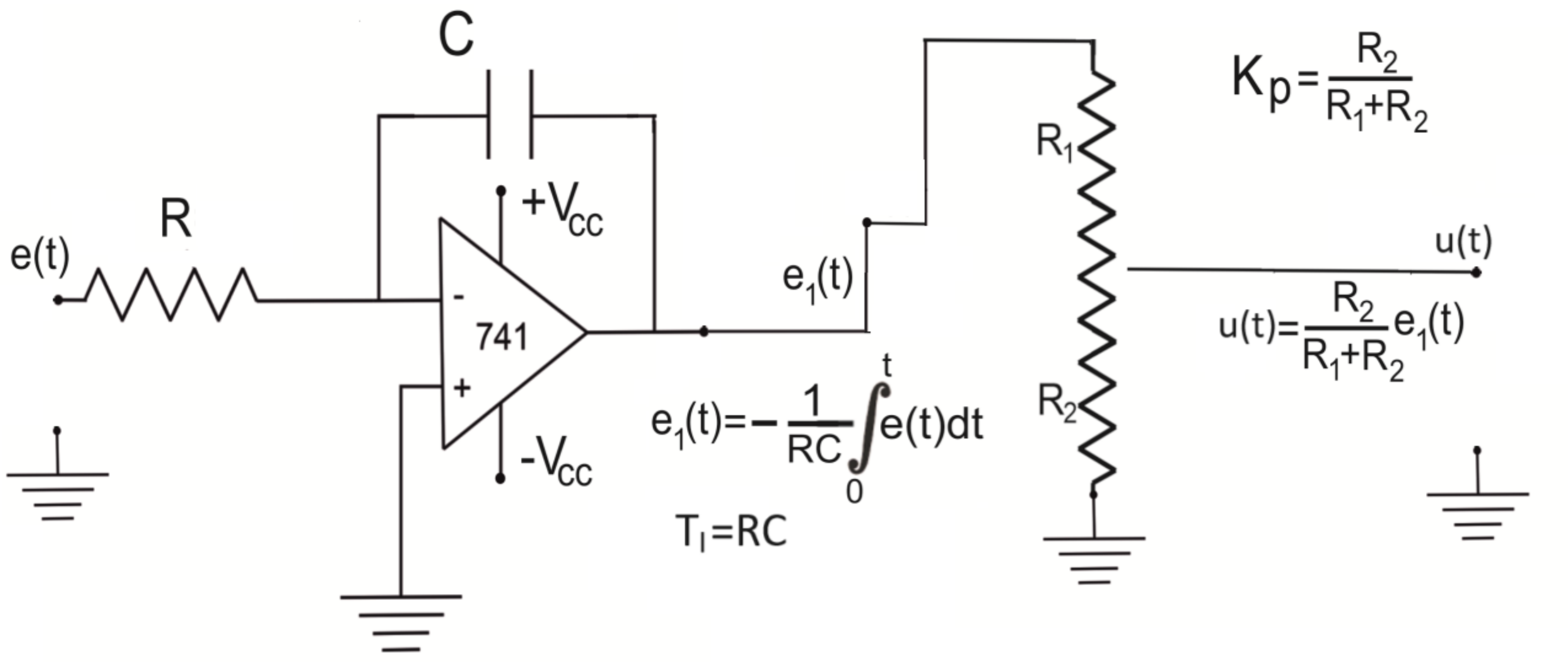
Παρίσης Κ. Καθηγητής
Βανδίκας Ι. ΕΔΙΠ
Μόσχος Ι. Υποψ. Διδ.

Ιδανικός ολοκληρωτικός ελεγκτής (ideal integrator controller)

Σταθερά χρόνου και αναλογικό κέρδος ($K_p \leq 1$) ολοκληρωτικού ελεγκτή:



$$\frac{U(s)}{E(s)} = -K_P \frac{1}{sT_I} = -\frac{R_2}{R_1+R_2}\frac{1}{sRC} \Rightarrow \begin{array}{l} \mathrm{K}_p = \dfrac{R_2}{R_1+R_2} \\ \mathrm{T}_I = \mathrm{RC} \end{array}$$



Κέρδος ιδανικού ολοκληρωτή η ολοκληρωτικό κέρδος:

$$K_I = \frac{K_p}{T_I}$$

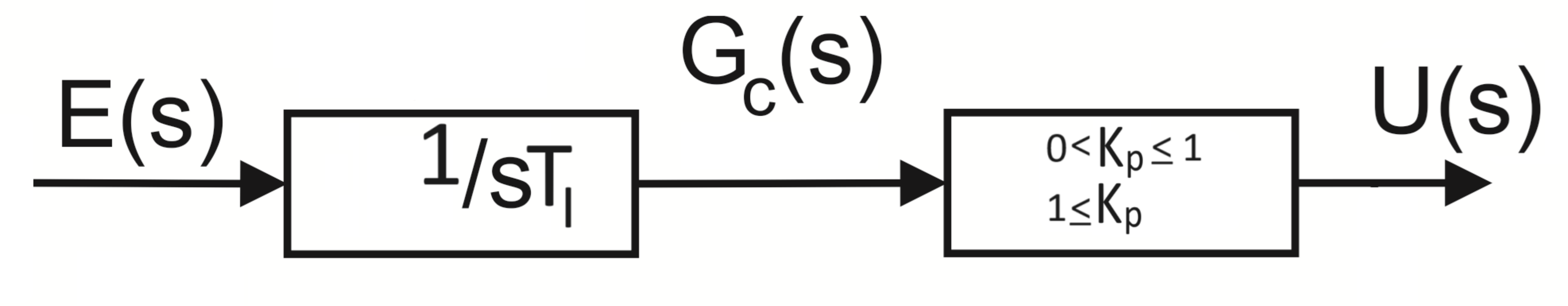
Παρίσης Κ. Καθηγητής

Βανδίκας Ι. ΕΔΙΠ

Μόσχος Ι. Υποψ. Διδ.

Ιδανικός ολοκληρωτικός ελεγκτής (ideal integrator controller)

Να σχεδιαστεί το ηλεκτρολογικό σχέδιο ενός ιδανικού ολοκληρωτικού ελεγκτή με σταθερά χρόνου $\mathrm{T}_I = \mathrm{RC}$ και αναλογικό κέρδος $K_p > 0$ κάνοντας χρήση τελεστικού ενισχυτή για την υλοποίηση του K_p.

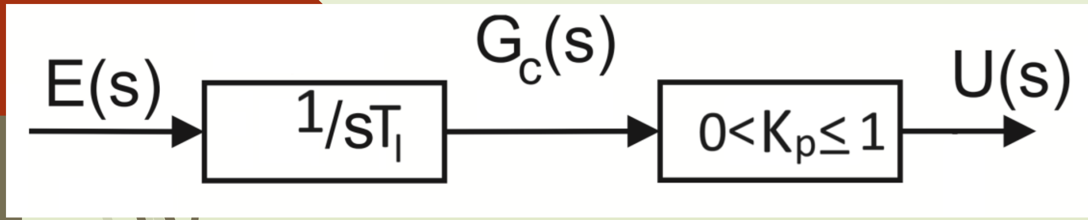


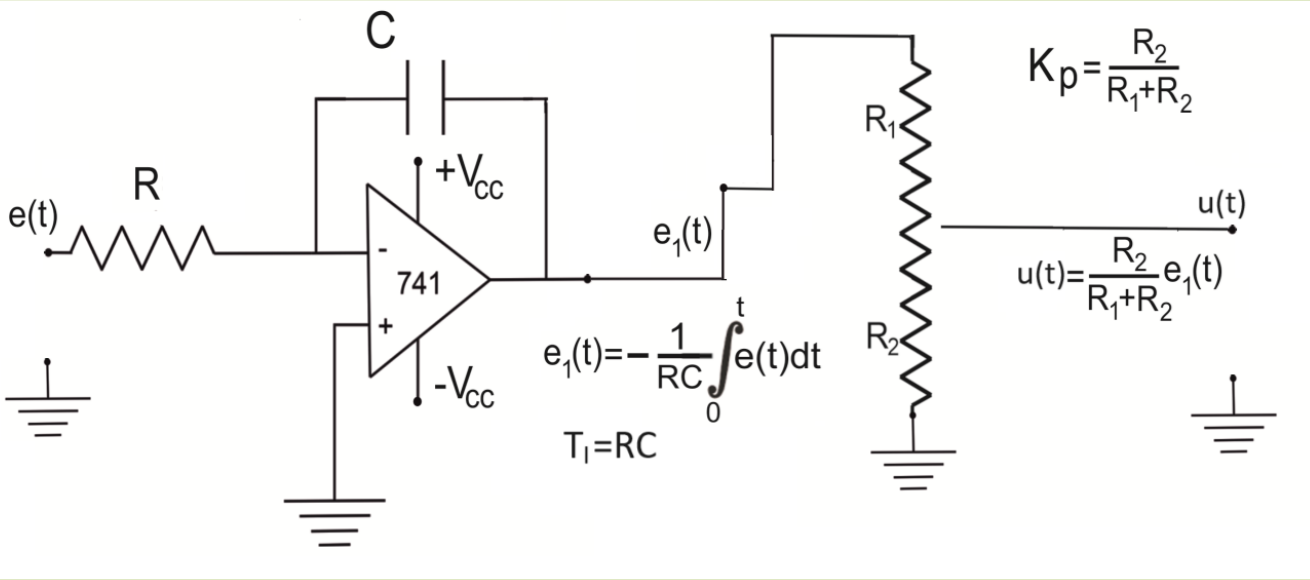
Παρίσης Κ. Καθηγητής
Βανδίκας Ι. ΕΔΙΠ
Μόσχος Ι. Υποψ. Διδ.

Ιδανικός ολοκληρωτικός ελεγκτής (ideal integrator controller)

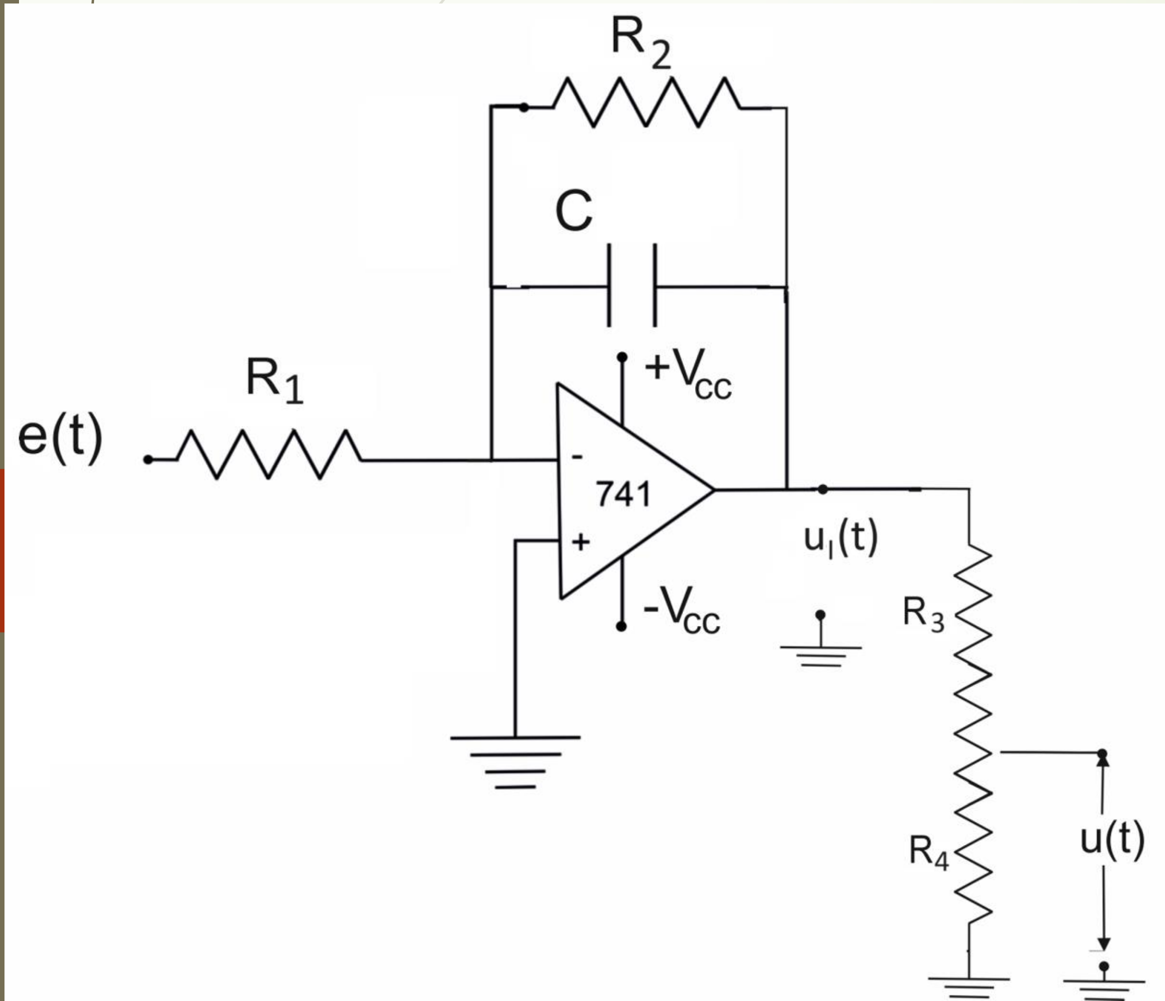
Μειονεκτήματα

- Μικρό εύρος ζώνης
- Δεν φιλτράρεται ο θόρυβος που υπάρχει στο σύστημα
- Σταθερή τάση στην είσοδο φορτίζει με την πάροδο του χρόνου τον πυκνωτή με αποτέλεσμα να φτάνει στον κόρο ο Τ.Ε.





Προσεγγιστικός (Πρακτικός) ολοκληρωτικός ελεγκτής (practical integrator controller)



$$e(t) = v_{\mathrm{ΕΙΣ}}(t) - v_{\mathrm{ΕΞΟΔ}}(t)$$

$$\frac{U_I(s)}{E(s)} = -\frac{R_2}{R_1}\frac{1}{1+sR_2C}$$

$$U(s) = K_P U_I(s) \Rightarrow u(t) = K_P u_I(t)$$

<u>Σταθερά χρόνου προσεγγιστικού ολοκληρωτή</u>:

$$\mathrm{T}_I = \mathrm{R}_2\mathrm{C}$$

<u>Συνολικό αναλογικό κέρδος προσεγγιστικού ολοκληρωτή:</u>

$$K_{P_{tot}} = \frac{\mathrm{R}_2}{R_1}\frac{R_4}{R_3+R_4} = \frac{\mathrm{R}_2}{R_1}K_P \xRightarrow{R_2=R_1}$$

$$K_{P_{tot}} = K_P = \frac{R_4}{R_3+R_4}$$

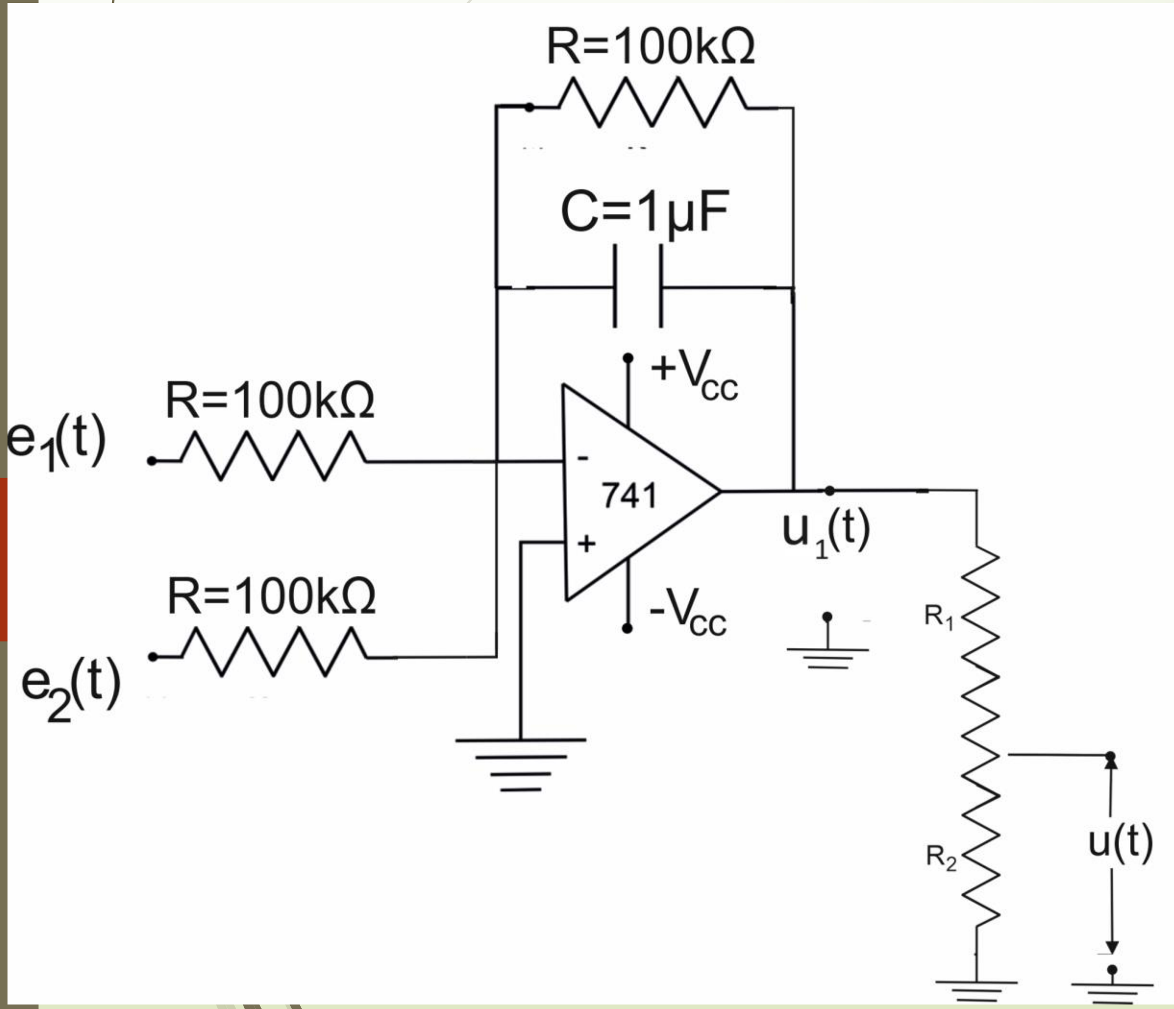
Παρίσης Κ. Καθηγητής
Βανδίκας Ι. ΕΔΙΠ
Μόσχος Ι. Υποψ. Διδ.

Προσεγγιστικός (πρακτικός) ολοκληρωτικός ελεγκτής (practical integrator controller)

Να σχεδιαστεί το ηλεκτρολογικό σχέδιο ενός προσεγγιστικού ολοκληρωτικού ελεγκτή με σταθερά χρόνου $\mathrm{T}_I = \mathrm{R}_2\mathrm{C}$ και αναλογικό κέρδος $K_p > 0$ κάνοντας χρήση τελεστικού ενισχυτή για την υλοποίηση του K_p.

Παρίσης Κ. Καθηγητής
Βανδίκας Ι. ΕΔΙΠ
Μόσχος Ι. Υποψ. Διδ.

Προσεγγιστικός (πρακτικός) ολοκληρωτικός ελεγκτής (practical integrator controller)



$$e_1(t) = u_{ΕΙΔ}(t)$$

$$e_2(t) = u_{ΕΞΟΔ}(t)$$

$$\frac{U_I(s)}{E(s)} = -\frac{R}{R}\frac{1}{1+sRC} = -\frac{1}{1+sRC}$$

$$U(s) = K_P U_I(s) \Rightarrow u(t) = K_P u_I(t)$$

<u>Σταθερά χρόνου προσεγγιστικού ολοκληρωτή</u>:

$$T_I = RC$$

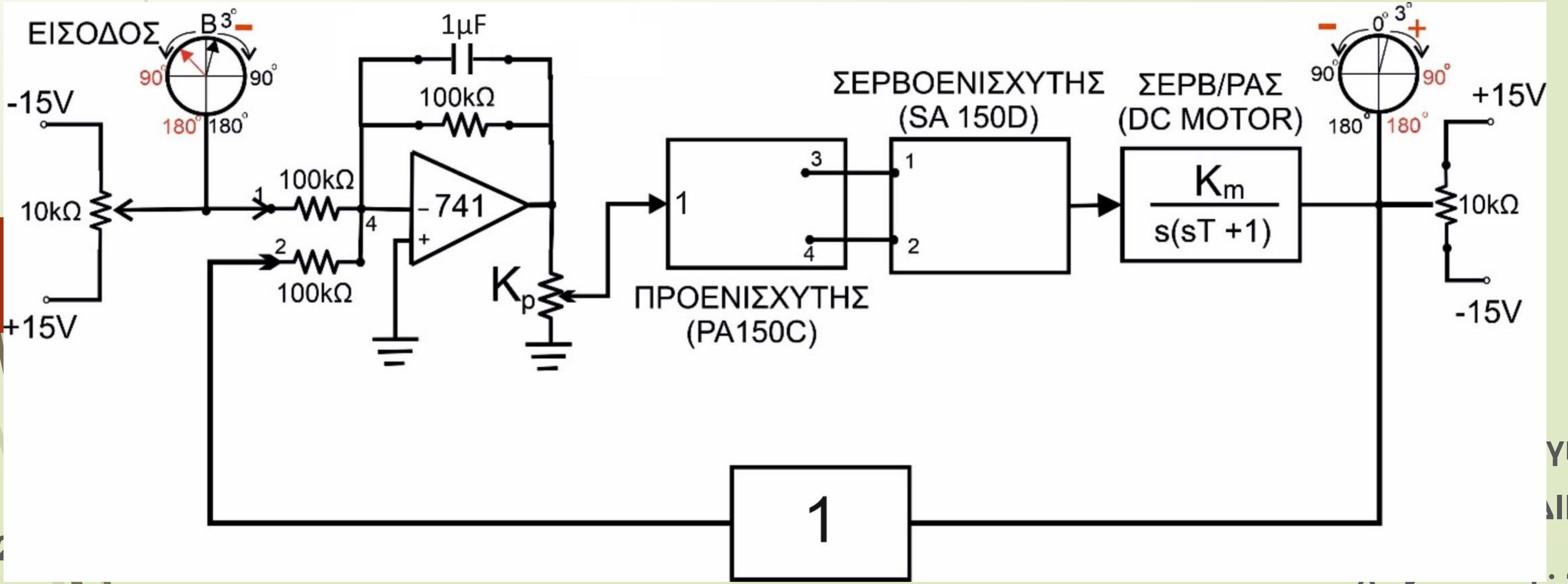
<u>Συνολικό αναλογικό κέρδος προσεγγιστικού ολοκληρωτή:</u>

$$K_{P_{tot}} = \frac{R}{R}\frac{R_2}{R_1+R_2} = \frac{R_2}{R_1+R_2} = K_P$$

Παρίσης Κ. Καθηγητής
Βανδίκας Ι. ΕΔΙΠ
Μόσχος Ι. Υποψ. Διδ.

Προσεγγιστικός (πρακτικός) ολοκληρωτικός ελεγκτής (practical integrator controller)

Ηλεκτρολογικό σχέδιο αναλογικού συστήματος ελέγχου θέσης με ολοκληρωτικό ελεγκτή (I)



Προσεγγιστικός (πρακτικός) ολοκληρωτικός ελεγκτής (practical integrator controller)

Για επιθυμητή τιμή 40 μοίρες ΒΑ:

1. Με την πέδη στην θέση 0 και $K_p = 1$, να μετρηθεί η συχνότητα ταλάντωσης (f_{cr}) του συστήματος και το πλάτος της ταλάντωσης (V_{pp}). **Τι παρατηρείτε?**
2. Με την πέδη στην θέση 10 και $K_p = 1$, να μετρηθεί η συχνότητα ταλάντωσης (f_{cr}) του συστήματος και το πλάτος της ταλάντωσης (V_{pp}). **Τι παρατηρείτε?**
3. Με την πέδη στην θέση 10 προσπαθήστε να μειώσετε την ταλάντωση του συστήματος ώστε $\zeta \cong 1$. **Ποια είναι η τιμή του K_p? Τι παρατηρείτε?**
4. Με την πέδη στην θέση 0 και K_p ίσο με την προηγούμενη ερώτηση **τι παρατηρείτε** στη συμπεριφορά του συστήματος?

Παρίσης Κ. Καθηγητής
Βανδίκας Ι. ΕΔΙΠ
Μόσχος Ι. Υποψ. Διδ.