

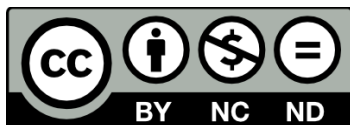


# ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΙΙ

## Ενότητα 8: Ταλαντωτές – Γεννήτριες σήματος

Χατζόπουλος Αλκιβιάδης

Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχ. Υπολογιστών



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ  
2007-2013  
πρόγραμμα για την ανάπτυξη  
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 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.



# Σχεδιασμός ενοτήτων:

- 1. Διαφορικός ενισχυτής (MOS)
- 2. Διαφορικός ενισχυτής (BJT)
- 3. Ενισχυτές στις χαμηλές συχνότητες
- 4. Ενισχυτές στις υψηλές συχνότητες
- 5. Πολυβάθμιοι ενισχυτές
- 6. Ανάδραση
- 7. Τελεστικός ενισχυτής
- **8. Ταλαντωτές – Γεννήτριες σήματος**





ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΑΝΟΙΚΤΑ  
ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΑ  
ΜΑΘΗΜΑΤΑ



# ΤΑΛΑΝΤΩΤΕΣ – ΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ ΣΗΜΑΤΟΣ



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ  
2007-2013  
πρόγραμμα για την ανάπτυξη  
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

# Περιεχόμενα ενότητας

1. Εισαγωγή – κριτήριο ταλαντώσεων (διαφ. 7-8)
2. Ταλαντωτές RC (διαφ. 9- 11)
3. Ταλαντωτές LC (διαφ. 12- 17)
4. Πολυδονητές με T.E. (διαφ. 18-24)
5. Ο χρονιστής (timer) 555 (διαφ. 25-28)



# Εισαγωγή

## Ημιτονοειδείς ταλαντώσεις:

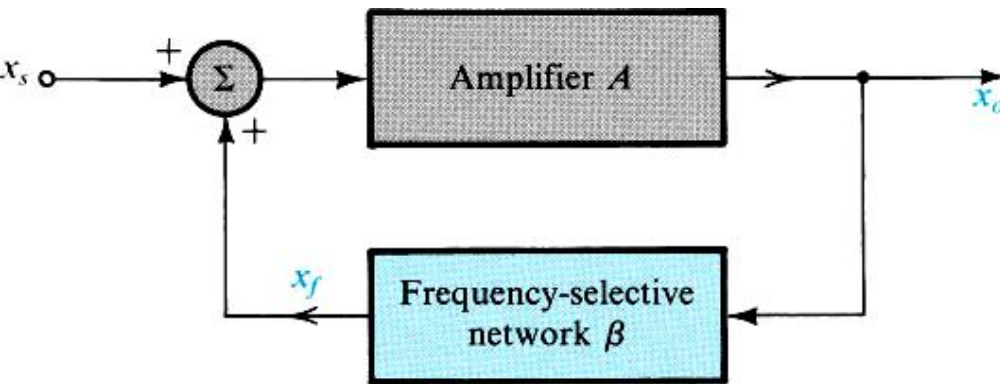
- α) χρήση βρόχου ανάδρασης + δικτύου επιλογής συχνότητας (γραμμικοί ταλαντωτές)
- β) χρήση κυκλωμάτων μετατροπής τριγωνικών κυματομορφών σε ημιτονοειδείς

## Τετραγωνικές, τριγωνικές, παλμικές κ.λ.π. κυματομορφές:

- γεννήτριες συναρτήσεων (μη γραμμικοί ταλαντωτές) με βασικό κύκλωμα τους πολυδονητές (ασταθής, μονοσταθής, δισταθής)



# Βρόχος ανάδρασης – κριτήριο ταλαντώσεων



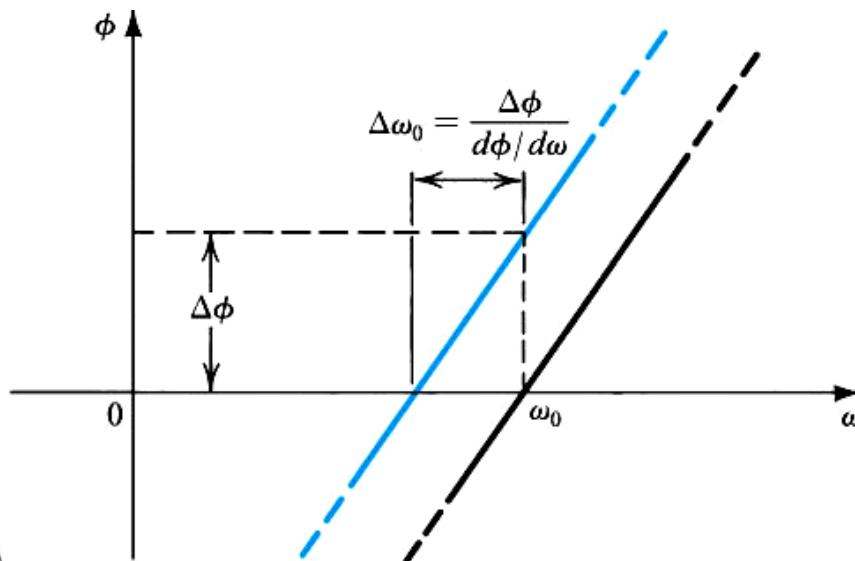
$$A_f(s) = \frac{A(s)}{1 - A(s)\beta(s)}$$

Κέρδος βρόχου:  $L(s) \equiv A(s)\beta(s)$

Χαρακτηριστική

εξίσωση:  $1 - L(s) = 0$

Κριτήριο ταλαντώσεων (Barkhausen):  $L(j\omega_0) \equiv A(j\omega_0)\beta(j\omega_0) = 1$



⇒  $A\beta = 1$  (μέτρο)  
Και  
Φάση = 0

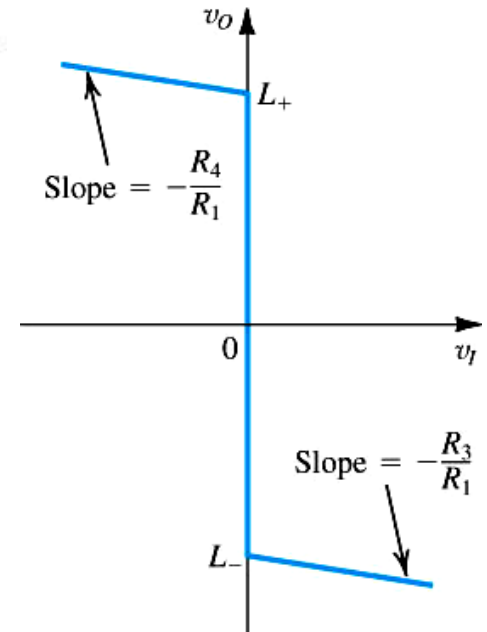
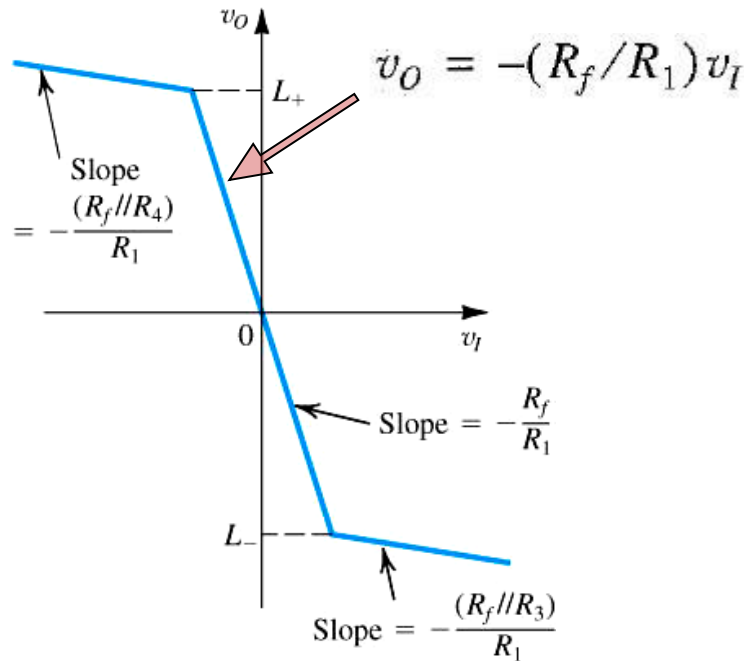
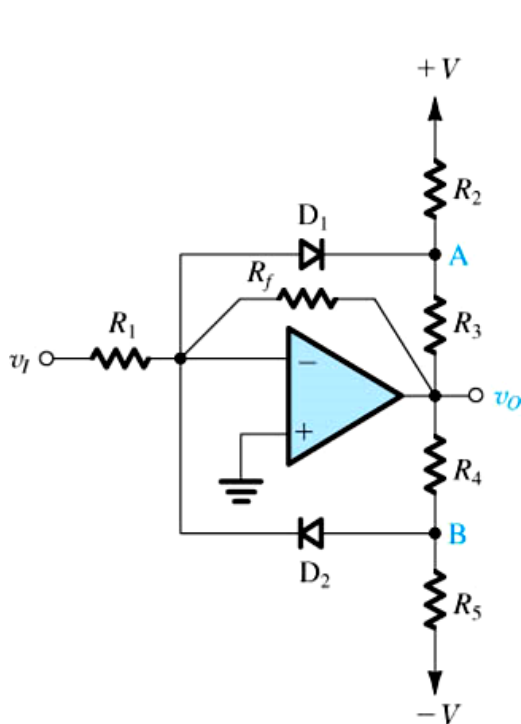
Συνάρτηση φάσης με μεγάλη κλίση

⇒ σταθερότερη συχνότητα ταλάντωσης  $\omega_0$





# Κύκλωμα περιοριστή για έλεγχο πλάτους



Χωρίς αντίσταση  $R_f$

$$v_A = V \frac{R_3}{R_2 + R_3} + v_O \frac{R_2}{R_2 + R_3}$$

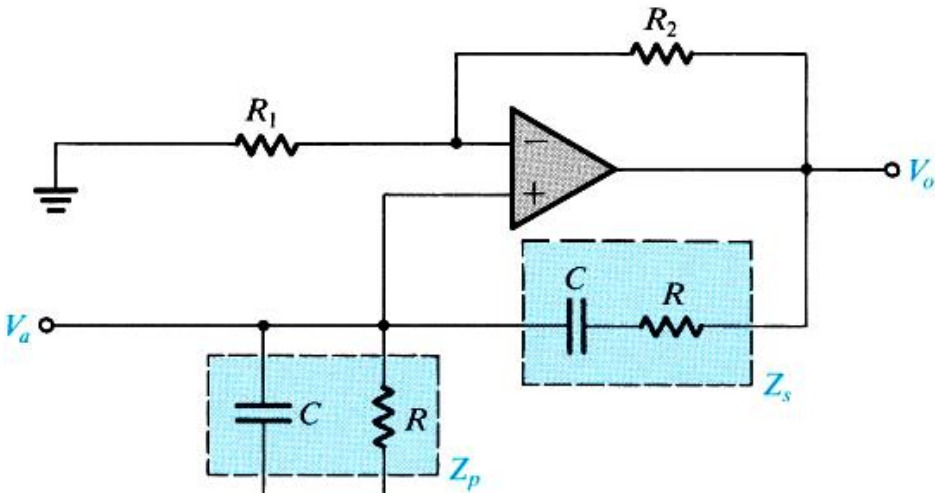
$$v_B = -V \frac{R_4}{R_4 + R_5} + v_O \frac{R_5}{R_4 + R_5}$$

$$L_+ = V \frac{R_4}{R_5} + V_D \left( 1 + \frac{R_4}{R_5} \right)$$

$$L_- = -V \frac{R_3}{R_2} - V_D \left( 1 + \frac{R_3}{R_2} \right)$$



# Ταλαντωτής γέφυρας Wien

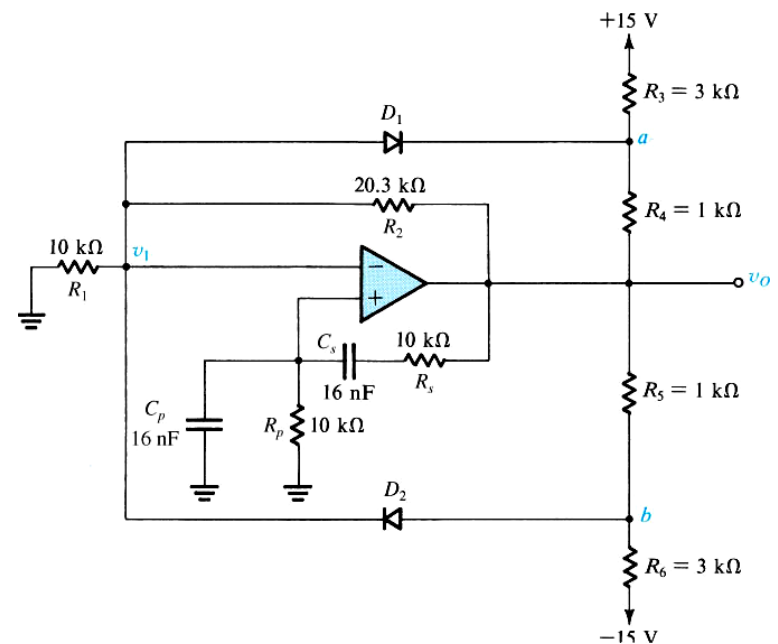


$$L(s) = \left[ 1 + \frac{R_2}{R_1} \right] \frac{Z_p}{Z_p + Z_s} = \frac{1 + R_2/R_1}{3 + sCR + 1/sCR}$$

$$L(j\omega) = \frac{1 + R_2/R_1}{3 + j(\omega CR - 1/\omega CR)}$$

$$\text{Φάση} = 0 \Rightarrow \omega_0 = 1/CR$$

$$|L| = 1 \Rightarrow R_2/R_1 = 2$$

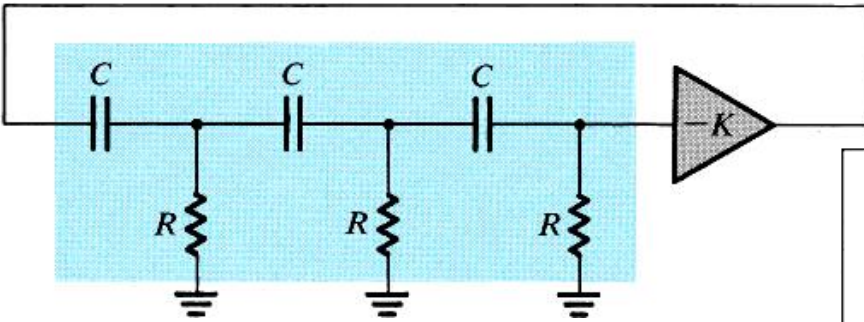


Ταλαντωτής Wien με κύκλωμα ελέγχου πλάτους

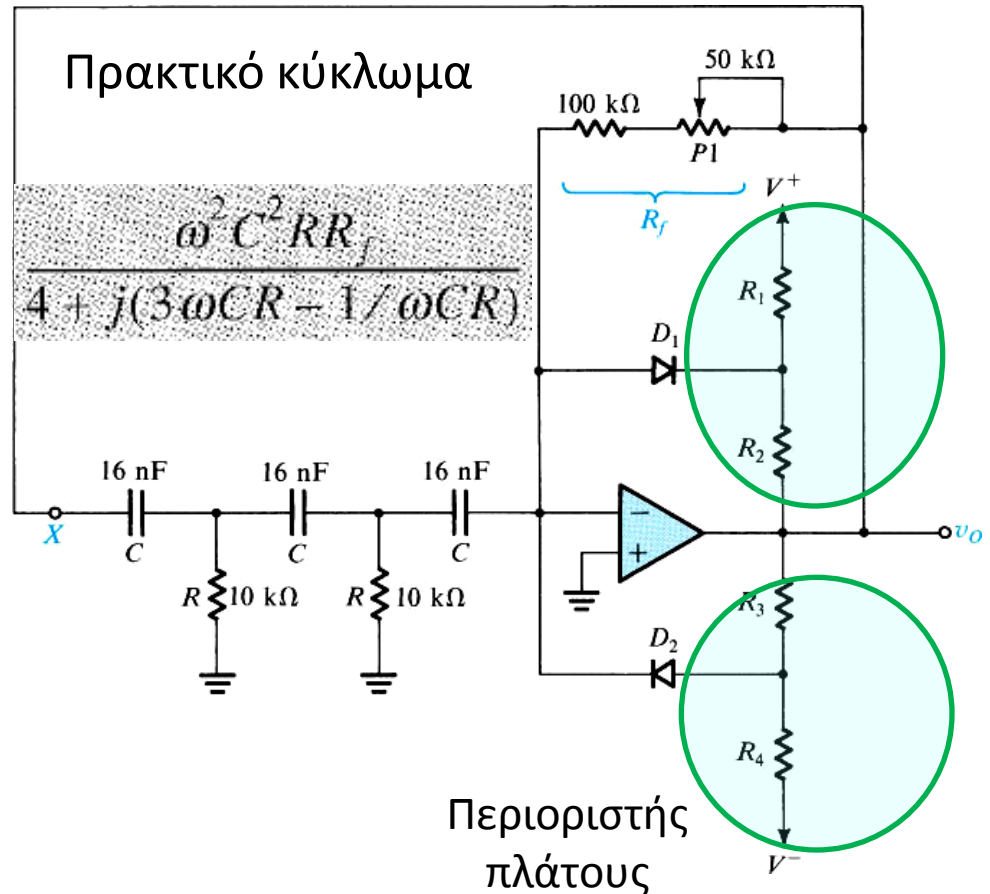
$$f = 1/2\pi CR = 1 \text{ kHz}$$



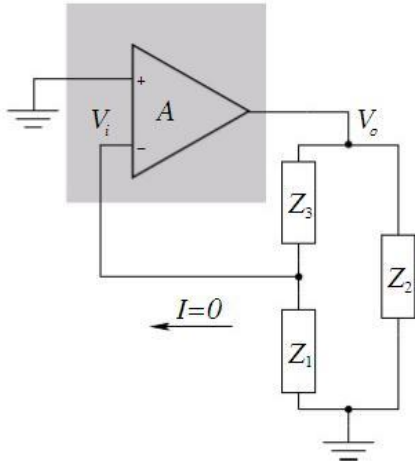
# Ταλαντωτής μετατόπισης φάσης



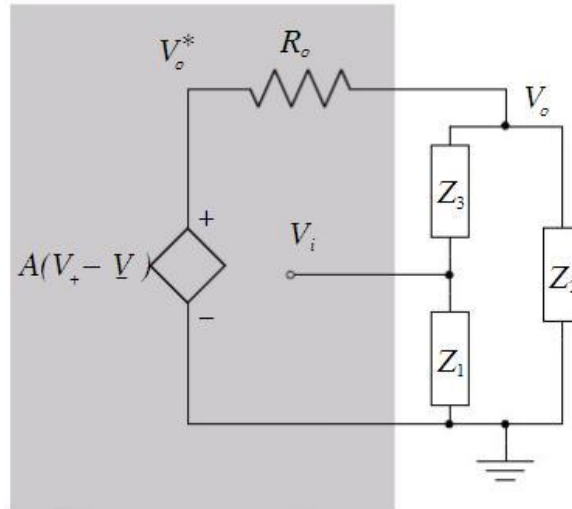
Ο ταλαντωτής συντονίζεται στη συχνότητα όπου η μετατόπιση φάσης του δικτύου RC είναι  $180^\circ$ , ώστε η συνολική μετατόπιση να είναι  $0^\circ$  ή  $360^\circ$ .



# Ταλαντωτές LC



Γενική μορφή  
Ταλαντωτή LC



Ισοδύναμο κύκλωμα

$$\beta = \frac{V_i}{V_o^*}$$

$$V_i = \frac{Z_1}{Z_1 + Z_3} V_o$$

$$V_o = \frac{Z}{Z + R_o} V_o^*$$

$$Z = Z_2 \parallel (Z_1 + Z_3)$$

$$\Rightarrow \beta = \frac{Z_1 Z_2}{R_o (Z_1 + Z_2 + Z_3) + Z_2 (Z_1 + Z_3)} \quad \left. \begin{array}{l} \\ Z_i = jX_i \end{array} \right\} \Rightarrow \beta = \frac{-X_1 X_2}{jR_o (X_1 + X_2 + X_3) - X_2 (X_1 + X_3)}$$

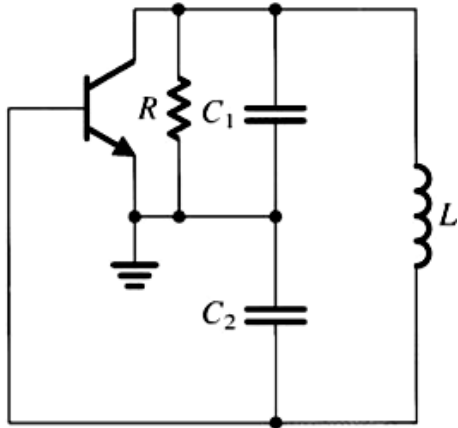
Για  $\beta$  πραγματικό πρέπει:  $X_1 + X_2 + X_3 = 0$

οπότε τότε το  $\beta$  θα είναι:  $\beta(\omega_0) = \frac{X_1}{X_1 + X_3} = -\frac{X_1}{X_2}$

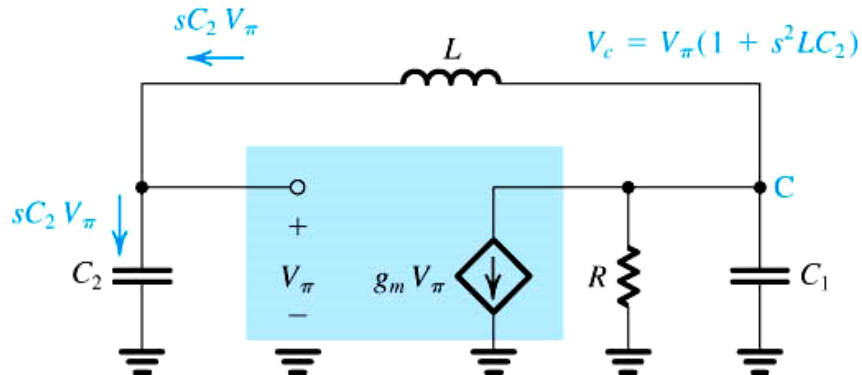
$$A_{OL} = -A \left( -\frac{X_1}{X_2} \right) \Rightarrow X_1, X_2 \text{ ομόσημα}$$



# Ταλαντωτές LC (Colpitts) (1/2)



Ταλαντωτής Colpitts



Ισοδύναμο  
κύκλωμα

$$sC_2V_\pi + g_m V_\pi + \left(\frac{1}{R} + sC_1\right)(1 + s^2LC_2)V_\pi = 0$$

$$s^3LC_1C_2 + s^2(LC_2/R) + s(C_1 + C_2) + \left(g_m + \frac{1}{R}\right) = 0$$

$$\left(g_m + \frac{1}{R} - \frac{\omega^2LC_2}{R}\right) + j[\omega(C_1 + C_2) - \omega^3LC_1C_2] = 0$$

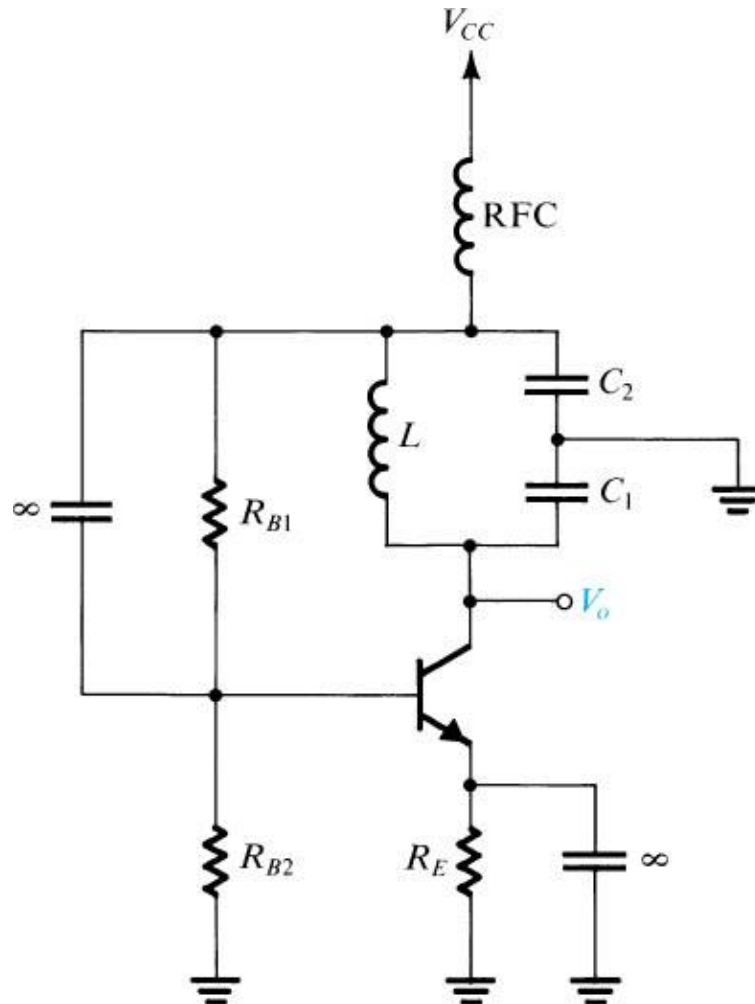
Φανταστικό μέρος = 0:  $\Rightarrow \omega_0 = 1/\sqrt{L\left(\frac{C_1C_2}{C_1 + C_2}\right)}$

Πραγματικό μέρος = 0:  $\Rightarrow C_2/C_1 = g_m R$

Για έναρξη ταλαντώσεων  
πρέπει:  $g_m R > C_2/C_1$



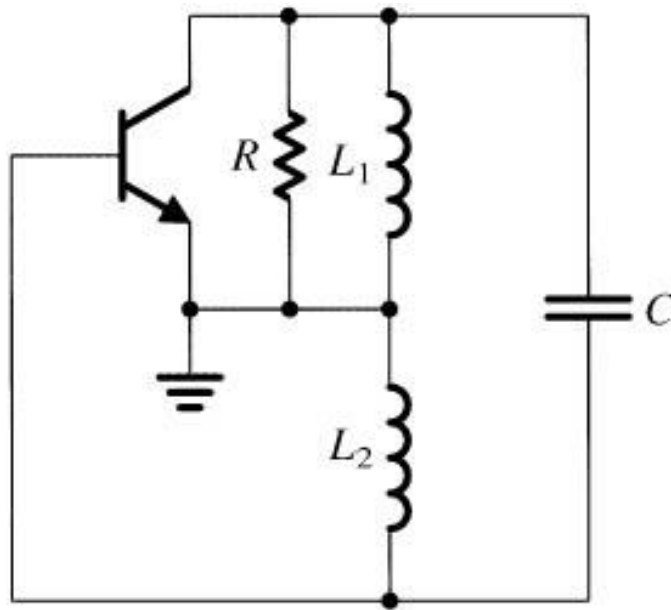
# Ταλαντωτές LC (Colpitts) (2/2)



Πρακτικό κύκλωμα με «αυτοπεριορισμό» πλάτους ταλαντώσεων, λόγω μείωσης του κέρδους του τρανζίστορ για μεγάλο πλάτος σήματος.



# Ταλαντωτές LC (Hartley)

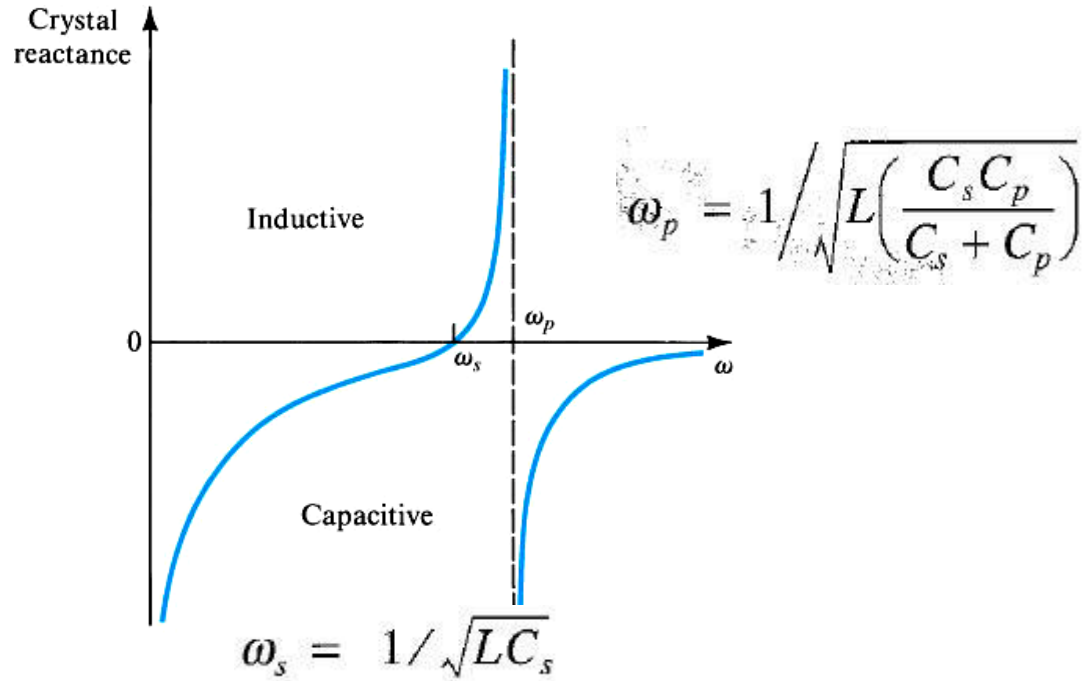
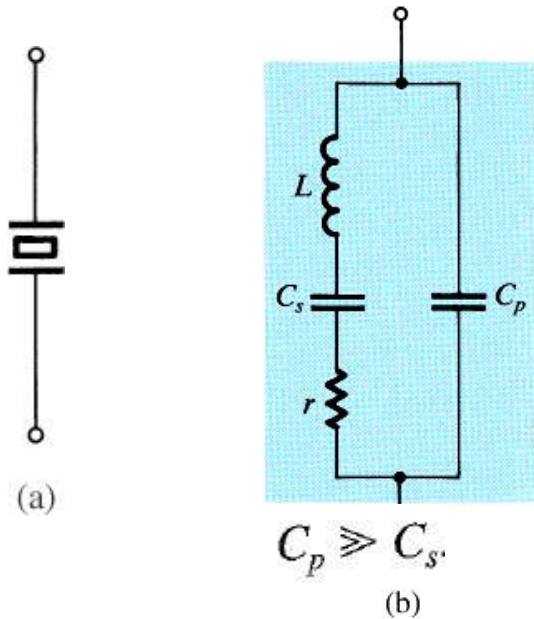


$$\omega_0 = 1 / \sqrt{(L_1 + L_2)C}$$

Για έναρξη ταλαντώσεων  
πρέπει:  $g_m R > L_1 / L_2$



# Ταλαντωτές με πιεζοηλεκτρικό κρύσταλλο (1/2)



$$Z(s) = 1 / \left[ sC_p + \frac{1}{sL + 1/sC_s} \right]$$

$$= \frac{1}{sC_p s^2 + [(C_p + C_s) / LC_s C_p]}$$

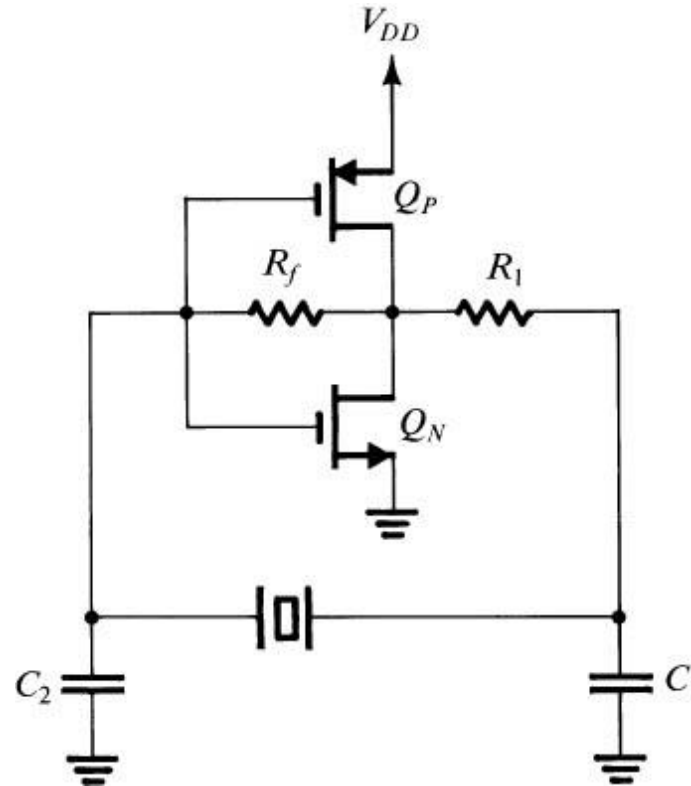
$$Z(j\omega) = -j \frac{1}{\omega C_p} \left( \frac{\omega^2 - \omega_s^2}{\omega^2 - \omega_p^2} \right)$$

Ο κρύσταλλος μπορεί να μπει στη θέση του πηνίου και να δώσει εξαιρετικά σταθερή συχνότητα συντονισμού στη στενή περιοχή μεταξύ  $\omega_p$  και  $\omega_s$ .





# Ταλαντωτές με πιεζοηλεκτρικό κρύσταλλο (2/2)

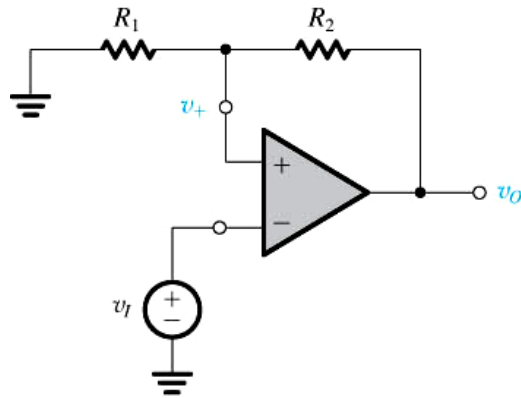


Ταλαντωτής Pierce

(τοπολογία Colpitts, με αντιστροφή CMOS στη θέση του ενισχυτή)



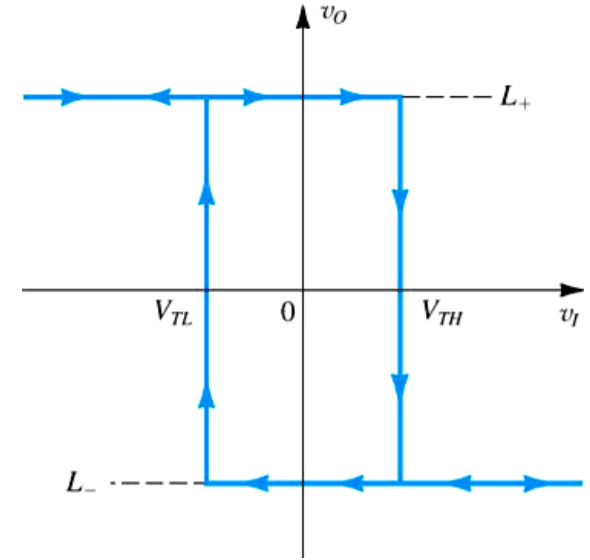
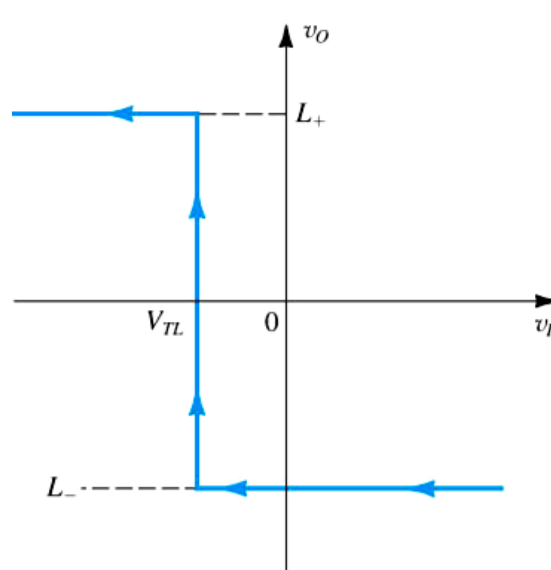
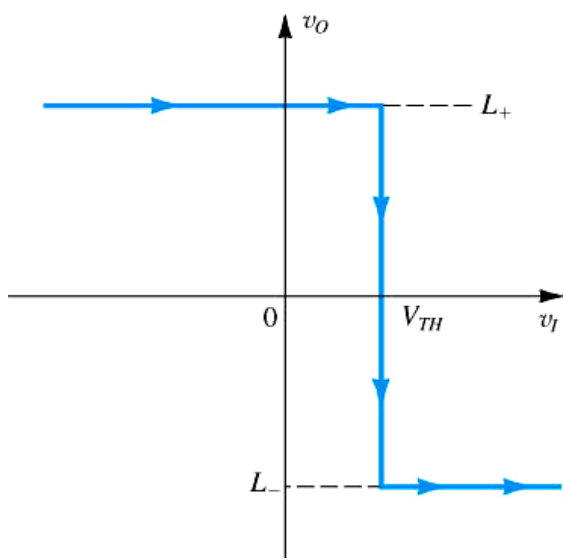
# Δισταθής πολυδονητής



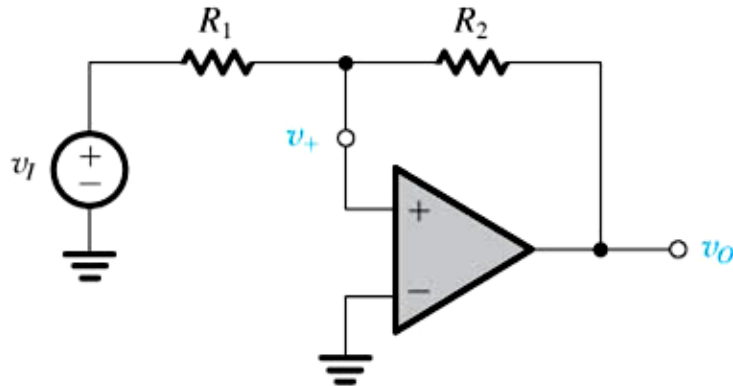
Χαρακτηριστική εισόδου-εξόδου με βρόχο υστέρησης.

Θεωρείται ως κύκλωμα με μνήμη

Εφαρμογή και ως Schmitt trigger (συγκριτής με υστέρηση)



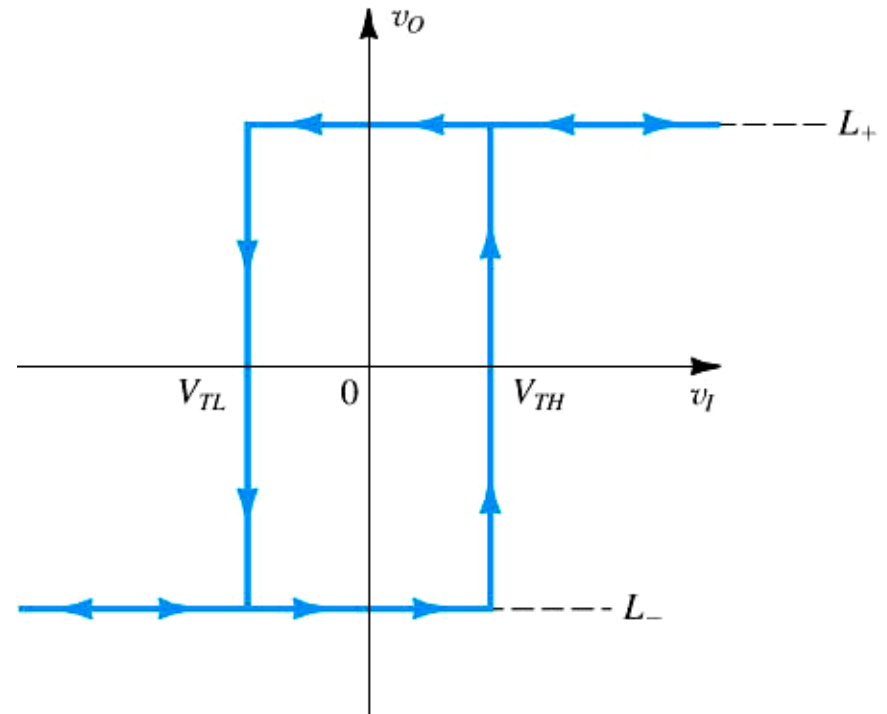
# Δισταθής πολυδονητής (μη αναστρέφουσα χαρακτηριστική)



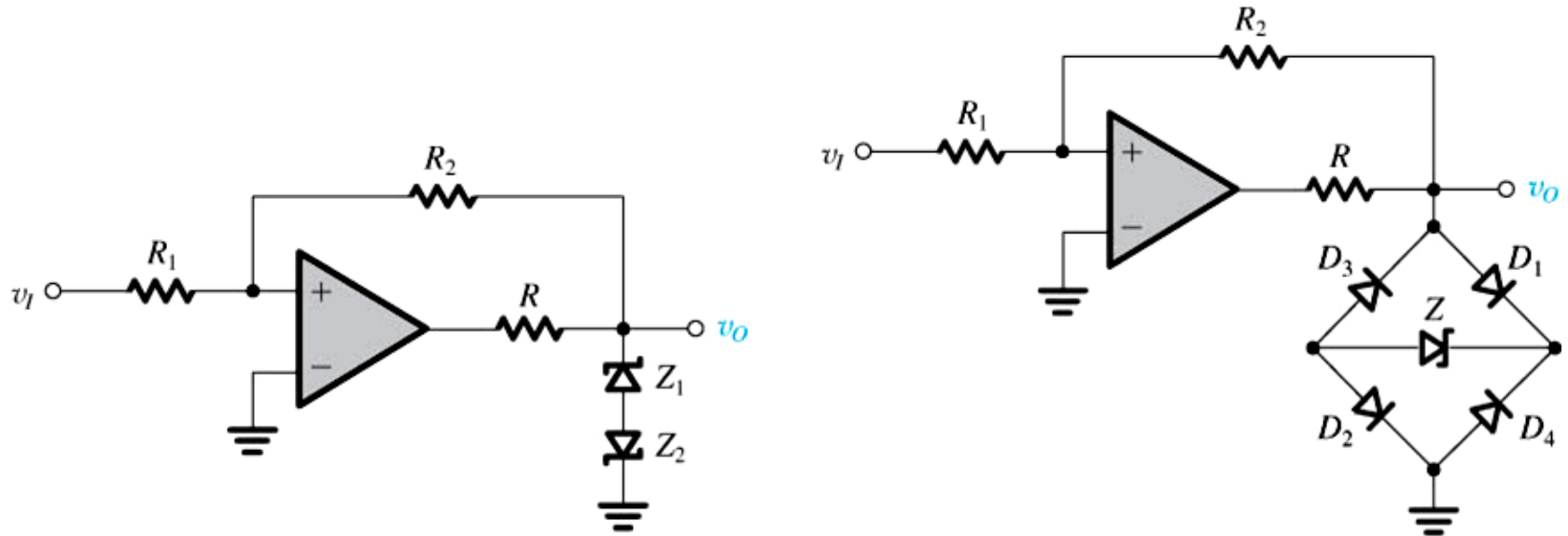
$$v_+ = v_I \frac{R_2}{R_1 + R_2} + v_O \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

$$V_{TL} = -L_+(R_1/R_2)$$

$$V_{TH} = -L_-(R_1/R_2)$$



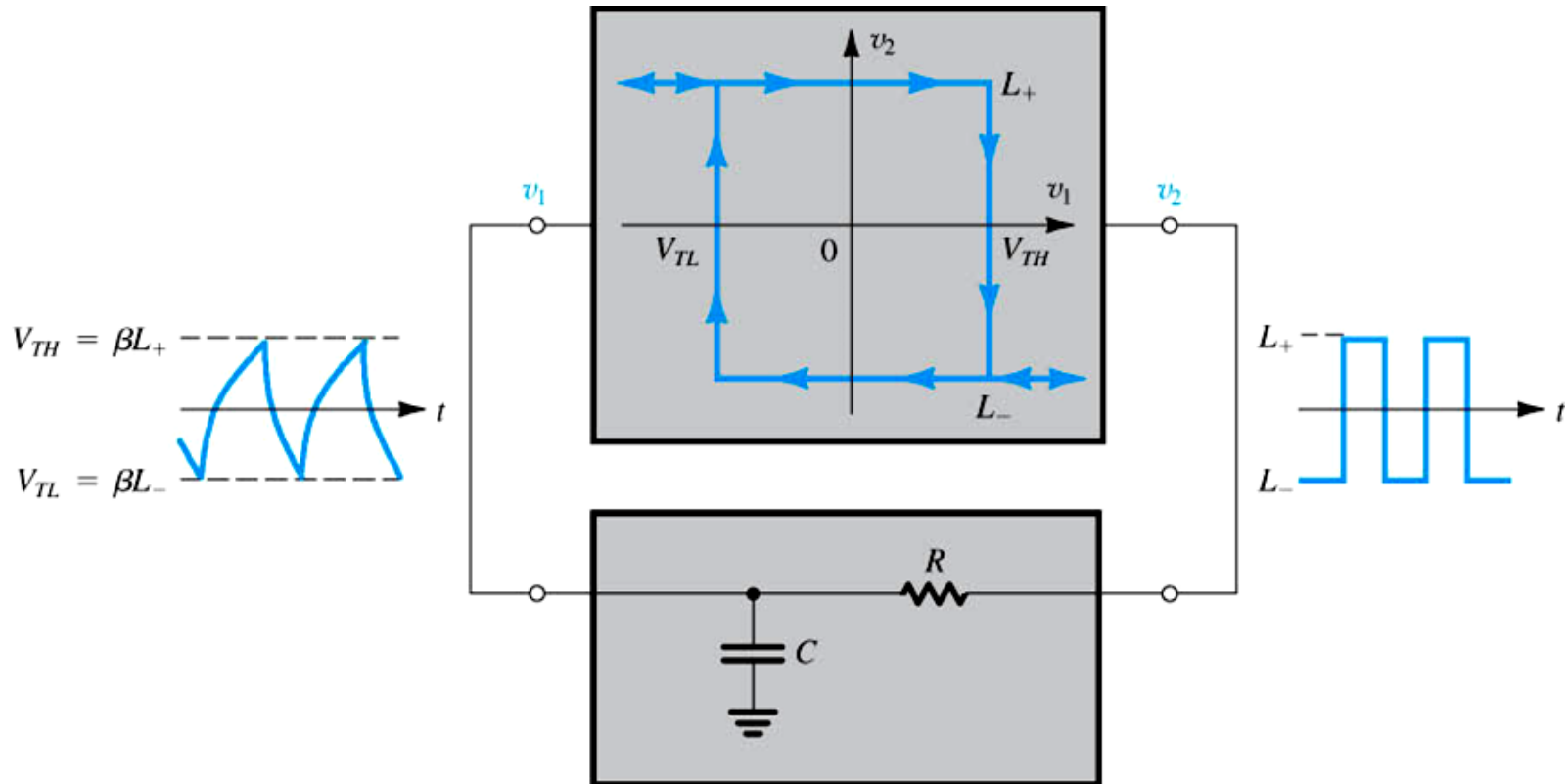
# Δισταθής πολυδονητής



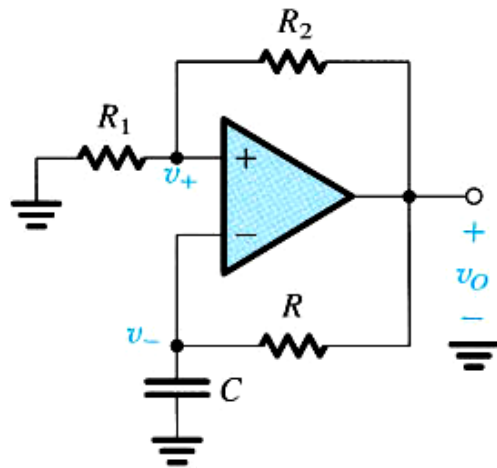
Κυκλώματα με ρύθμιση του πλάτους εξόδου



# Ασταθής πολυδονητής (1/2)

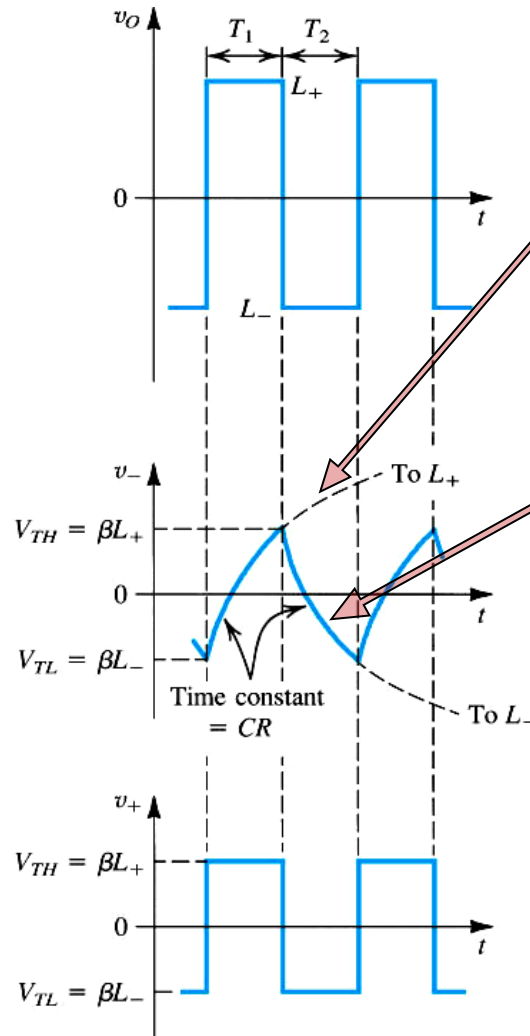


# Ασταθής πολυδονητής (2/2)



$$\tau = CR$$

$$\beta = R_1 / (R_1 + R_2)$$



$$v_- = L_+ - (L_+ - \beta L_-)e^{-t/\tau}$$

$$\text{Για } t = T_1: v_- = \beta L_+ \Rightarrow$$

$$T_1 = \tau \ln \frac{1 - \beta(L_-/L_+)}{1 - \beta}$$

$$v_- = L_- - (L_- - \beta L_+)e^{-t/\tau}$$

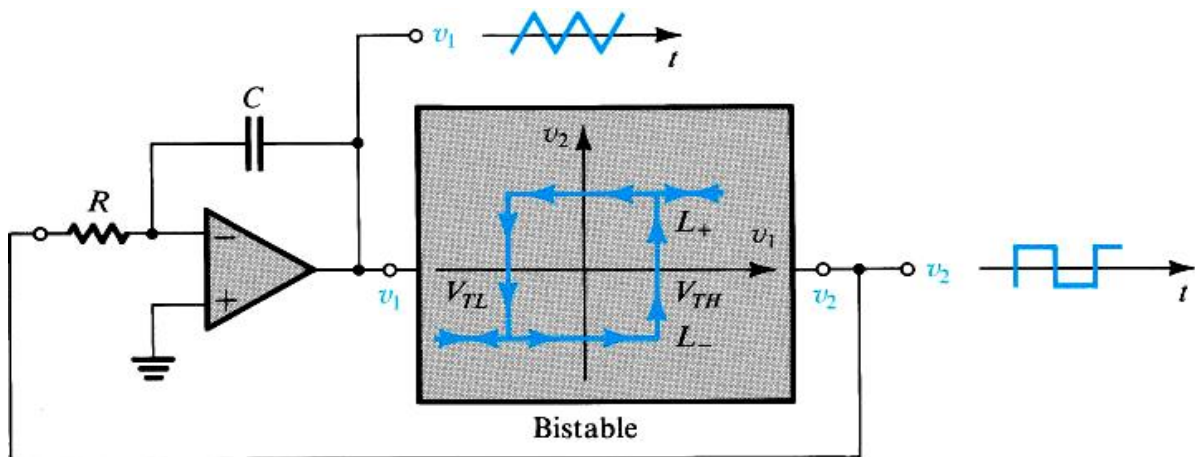
$$\text{Για } t = T_2: v_- = \beta L_- \Rightarrow$$

$$T_2 = \tau \ln \frac{1 - \beta(L_+/L_-)}{1 - \beta}$$

$$T = 2\tau \ln \frac{1 + \beta}{1 - \beta}$$



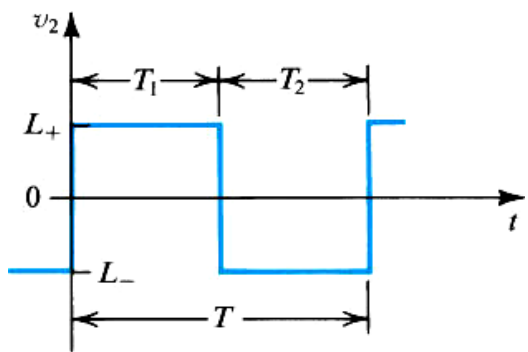
# Γεννήτρια τριγωνικών κυματομορφών



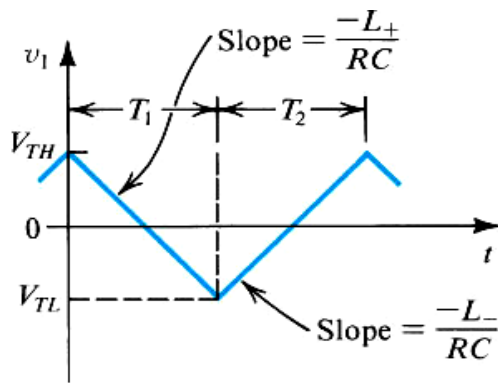
(a)

$$\frac{V_{TH} - V_{TL}}{T_1} = \frac{L_+}{CR}$$

$$T_1 = CR \frac{V_{TH} - V_{TL}}{L_+}$$



(b)



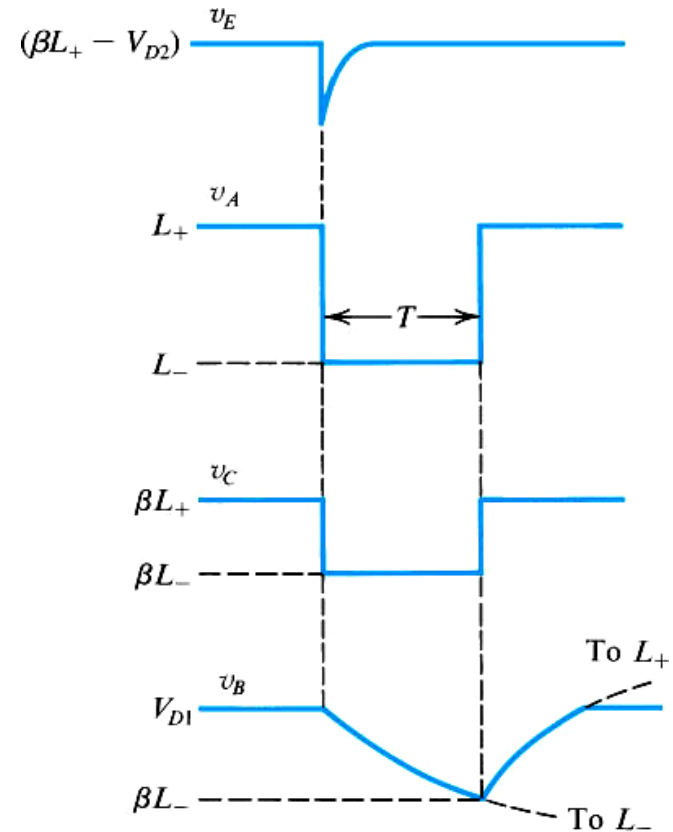
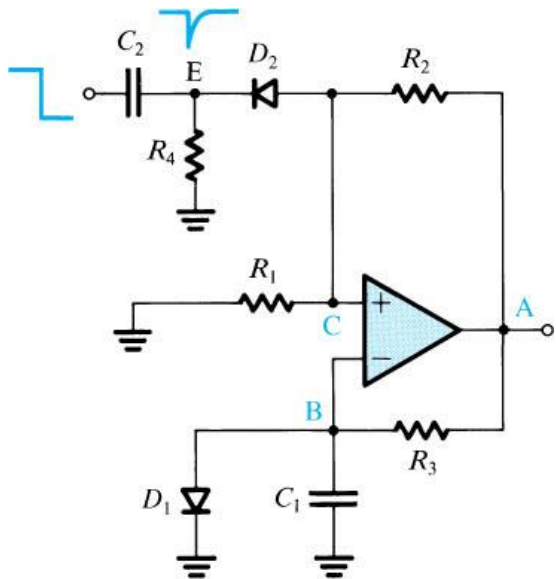
(c)

$$\frac{V_{TH} - V_{TL}}{T_2} = \frac{-L_-}{CR}$$

$$T_2 = CR \frac{V_{TH} - V_{TL}}{-L_-}$$



# Μονοσταθής πολυδονητής



$$v_B(t) = L_- - (L_- - V_{D1})e^{-t/C_1R_3}$$

$$\beta L_- = L_- - (L_- - V_{D1})e^{-T/C_1R_3}$$

$$T = C_1R_3 \ln \left( \frac{V_{D1} - L_-}{\beta L_- - L_-} \right)$$

$$V_{D1} \ll |L_-| \Rightarrow T \simeq C_1R_3 \ln \left( \frac{1}{1 - \beta} \right)$$

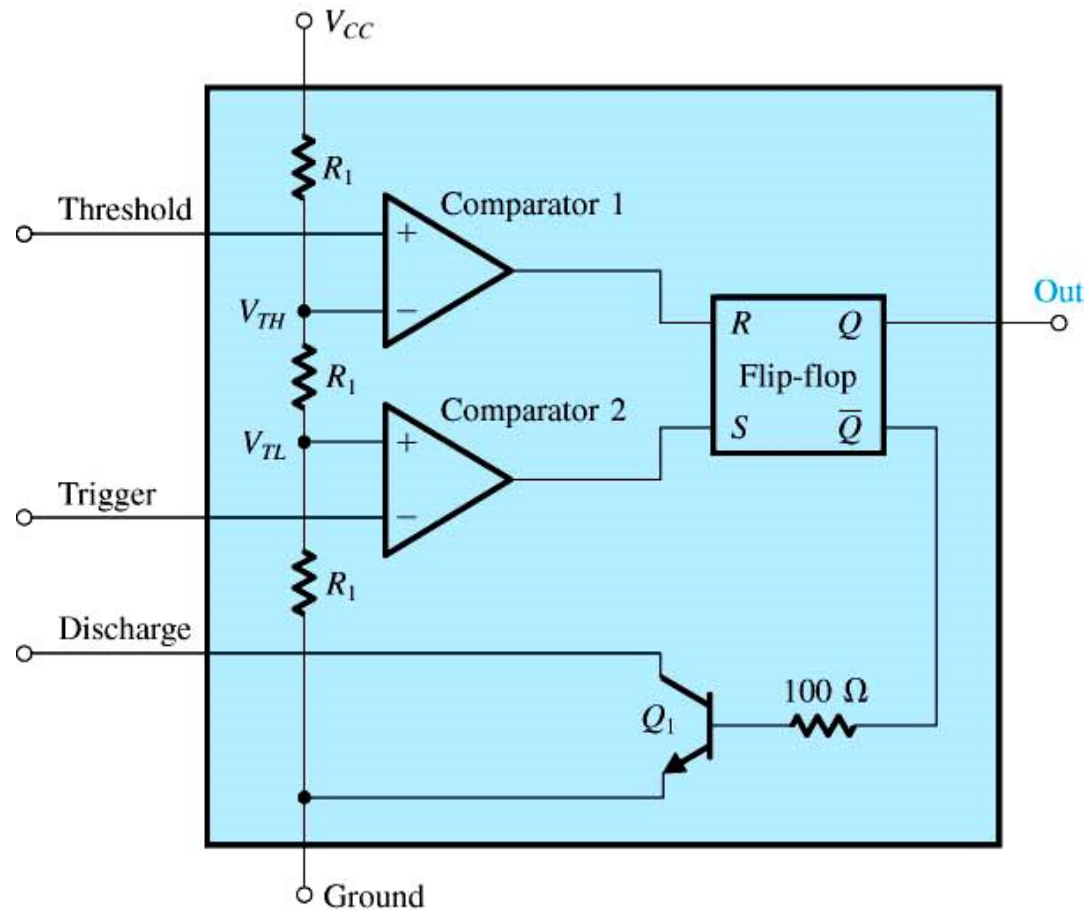




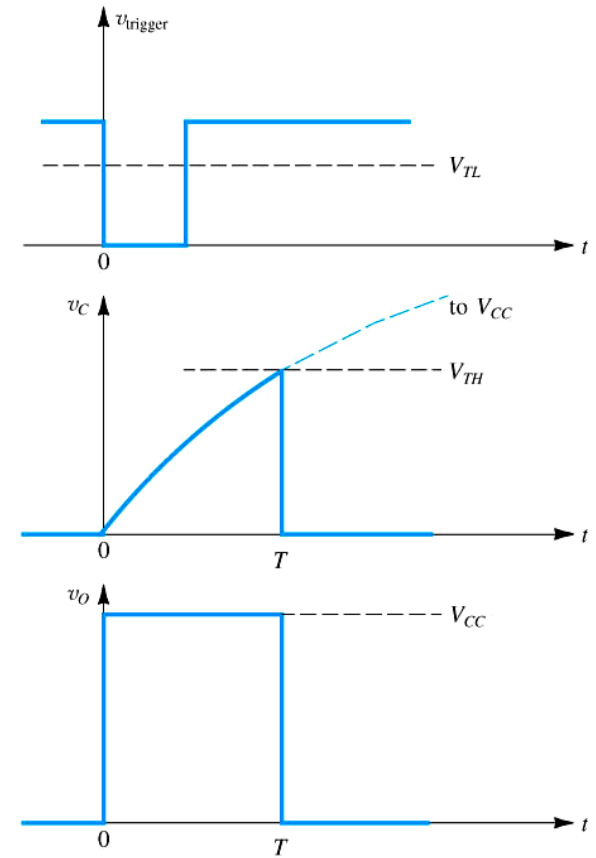
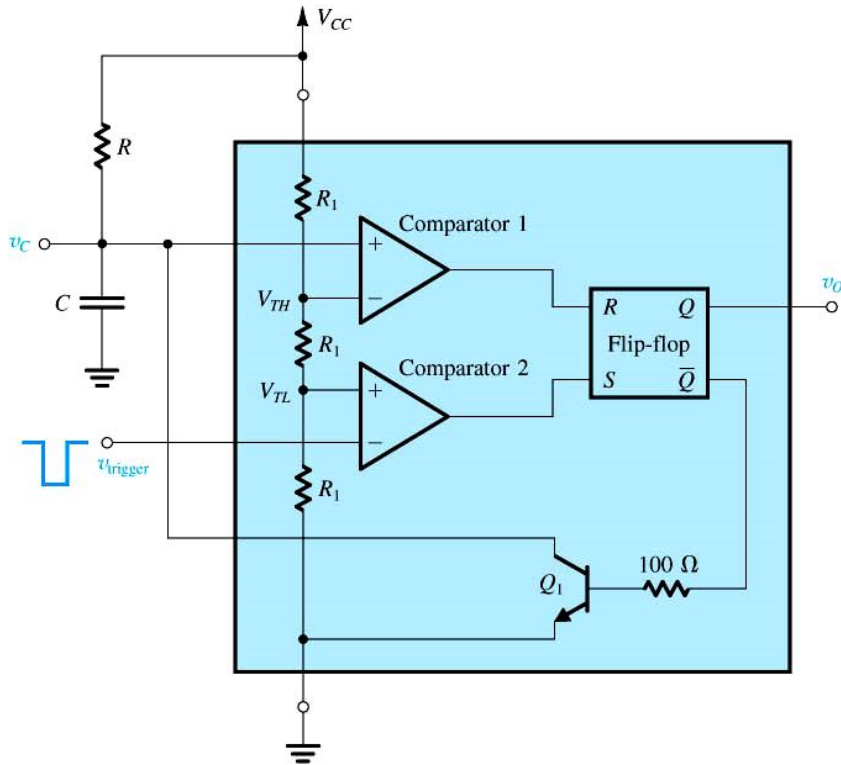
# Χρονιστής (timer) 555

$$V_{TH} = \frac{2}{3} V_{CC}$$

$$V_{TL} = \frac{1}{3} V_{CC}$$



# Μονοσταθής πολυδονητής με 555

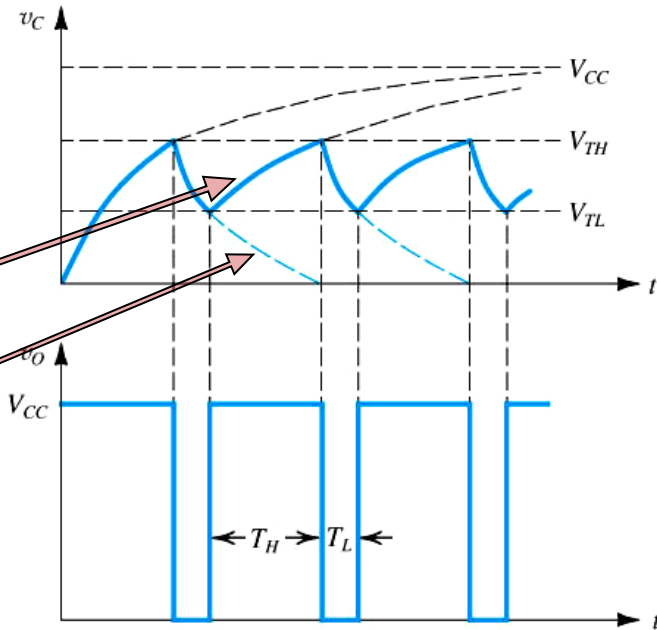
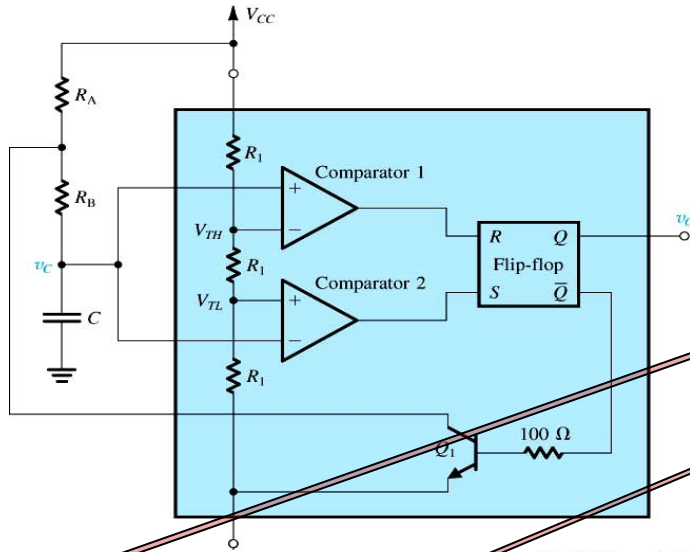


$$v_C = V_{CC}(1 - e^{-t/CR})$$

Για  $t = T$ :  $v_C = V_{TH} = \frac{2}{3}V_{CC} \Rightarrow T = CR \ln 3 \approx 1.1CR$



# Ασταθής πολυδονητής με 555 (1/2)



$$v_C = V_{CC} - (V_{CC} - V_{TL})e^{-t/C(R_A+R_B)}$$

$$\text{Για } t = T_H: v_C = V_{TH} = \frac{2}{3}V_{CC} \Rightarrow T_H = C(R_A + R_B)\ln 2 \approx 0.69 C(R_A + R_B)$$

$$v_C = V_{TH}e^{-t/CR_B}$$

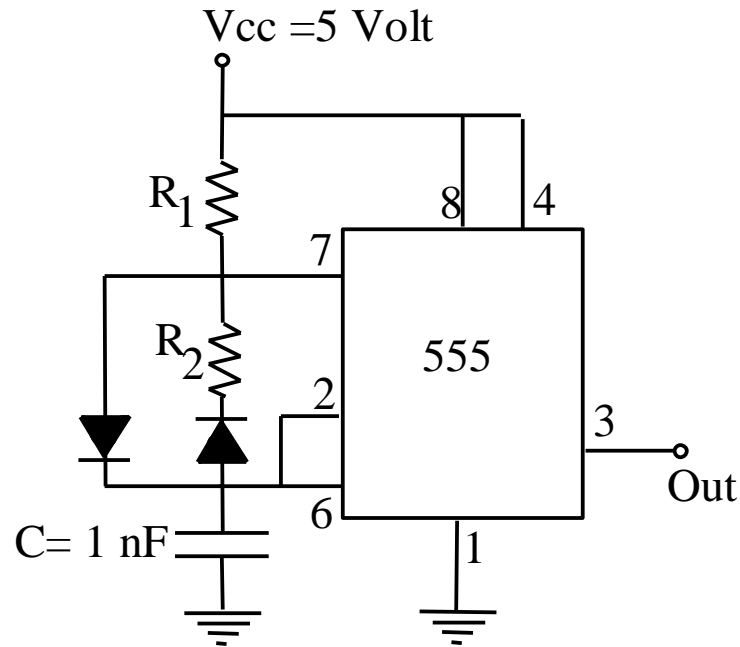
$$\text{Για } t = T_L: v_C = V_{TL} = \frac{1}{3}V_{CC} \Rightarrow T_L = CR_B \ln 2 \approx 0.69 CR_B$$

$$T = T_H + T_L = 0.69 C(R_A + 2R_B)$$

$$\text{Duty cycle} \equiv \frac{T_H}{T_H + T_L} = \frac{R_A + R_B}{R_A + 2R_B} \quad \text{Πάντα } < 0.5 \text{ (50\%)!}$$



# Ασταθής πολυδονητής με 555 (2/2)



Τροποποιημένο κύκλωμα για ανεξάρτητη ρύθμιση  $T_H$  και  $T_L$ .



# Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Χατζόπουλος Αλκιβιάδης. «ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ II, Ταλαντωτές – Γεννήτριες σήματος». Έκδοση: 1.0. Θεσσαλονίκη 2015. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: [http://opencourses.auth.gr/eclass\\_courses](http://opencourses.auth.gr/eclass_courses).



# Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά - Μη Εμπορική Χρήση - Όχι Παράγωγα Έργα 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>





# Τέλος ενότητας

Επεξεργασία: Σβάρνα Κωνσταντίνα  
Θεσσαλονίκη, χειμερινό εξάμηνο 2014-2015



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

---

# Σημειώματα



# Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.

