

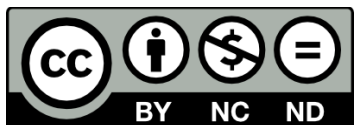


ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΙΙ

Ενότητα 6: Ανάδραση

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





ΑΝΑΔΡΑΣΗ



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης

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 – Ιδιότητες αρνητικής ανάδρασης (διαφ. 7- 12)
2. Βασικές τοπολογίες ανάδρασης (διαφ. 13- 14)
3. Ανάδραση τάσης σειράς (διαφ. 15 - 19)
4. Ανάδραση ρεύματος σειράς (διαφ. 20 - 23)
5. Ανάδραση τάσης παράλληλα (διαφ. 24 - 26)
6. Ανάδραση ρεύματος παράλληλα (διαφ. 27 - 29)



Εισαγωγή

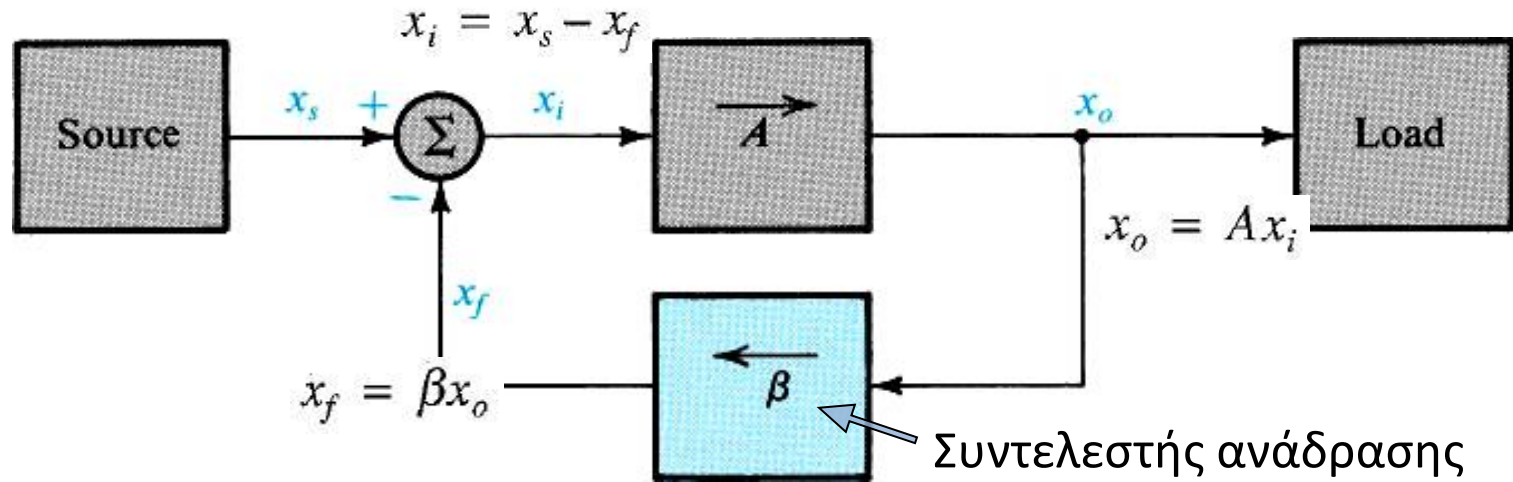
- **1928** Harold Black: Ενισχυτές σταθερού κέρδους σε τηλεφωνικούς αναμεταδότες.
- **Ανάδραση:** Αρνητική ή Θετική, AC ή DC

Χαρακτηριστικά **αρνητικής** ανάδρασης:

1. Σταθεροποίηση κέρδους
2. Επέκταση εύρους ζώνης
3. Μείωση επίδρασης θορύβου
4. Μείωση μη γραμμικής παραμόρφωσης
5. Έλεγχος αντίστασης εισόδου και εξόδου.



Δομή κυκλώματος με ανάδραση



Διάγραμμα ροής σήματος σε ενισχυτή με ανάδραση

Κέρδος κλειστού βρόχου $\rightarrow A_f \equiv \frac{x_o}{x_s} = \frac{A}{1 + A\beta}$ ← Κέρδος βρόχου

$x_i = \frac{1}{1 + A\beta} x_s$ $x_f = \frac{A\beta}{1 + A\beta} x_s$ ← Ποσό ανάδρασης

$A\beta > 0 \Leftrightarrow$ Αρνητική ανάδραση



Ιδιότητες αρνητικής ανάδρασης Σταθεροποίηση κέρδους

$$A_f \equiv \frac{x_o}{x_s} = \frac{A}{1 + A\beta}$$

$$dA_f = \frac{dA}{(1 + A\beta)^2}$$

$$\frac{dA_f}{A_f} = \frac{1}{(1 + A\beta)} \frac{dA}{A}$$

Συντελεστής
σταθεροποίησης



Ιδιότητες αρνητικής ανάδρασης

Επέκταση εύρους ζώνης

$$\left. \begin{aligned} A(s) &= \frac{A_M}{1 + s/\omega_H} \\ A_f(s) &= \frac{A(s)}{1 + \beta A(s)} \end{aligned} \right\} \Rightarrow A_f(s) = \frac{A_M/(1 + A_M\beta)}{1 + s/\omega_H(1 + A_M\beta)}$$

$$\omega_{Hf} = \omega_H(1 + A_M\beta)$$

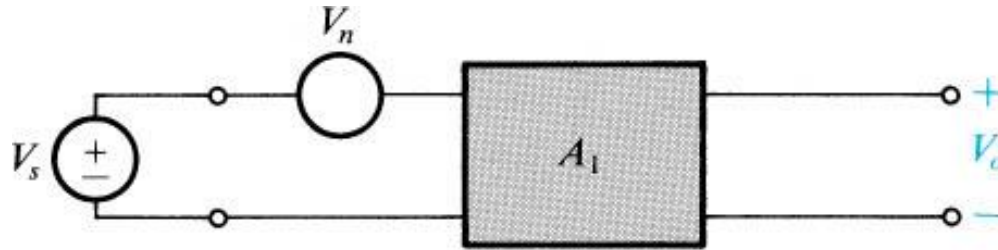
$$\omega_{Lf} = \frac{\omega_L}{1 + A_M\beta}$$

Γινόμενο κέρδους – εύρους ζώνης = σταθερό



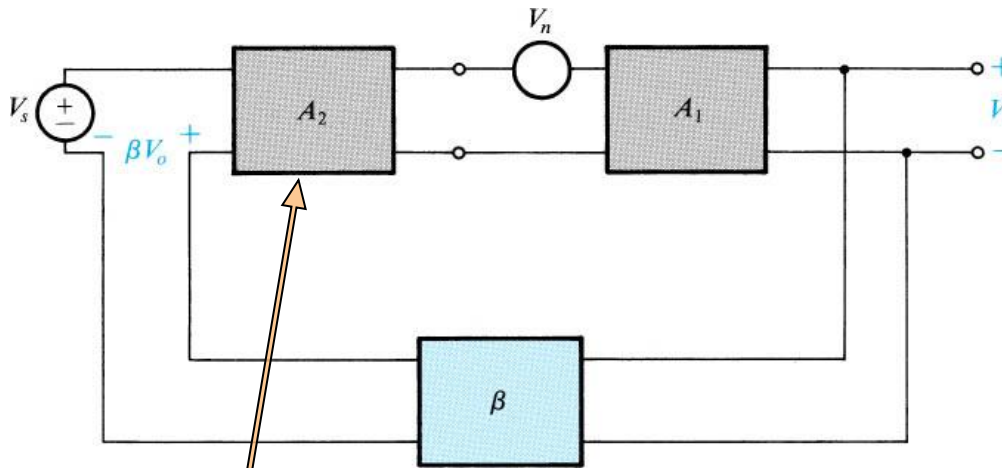
Ιδιότητες αρνητικής ανάδρασης

Μείωση θορύβου



$$S/N = V_s/V_n$$

(a)



$$V_o = V_s \frac{A_1 A_2}{1 + A_1 A_2 \beta} + V_n \frac{A_1}{1 + A_1 A_2 \beta}$$

$$\frac{S}{N} = \frac{V_s}{V_n} A_2$$

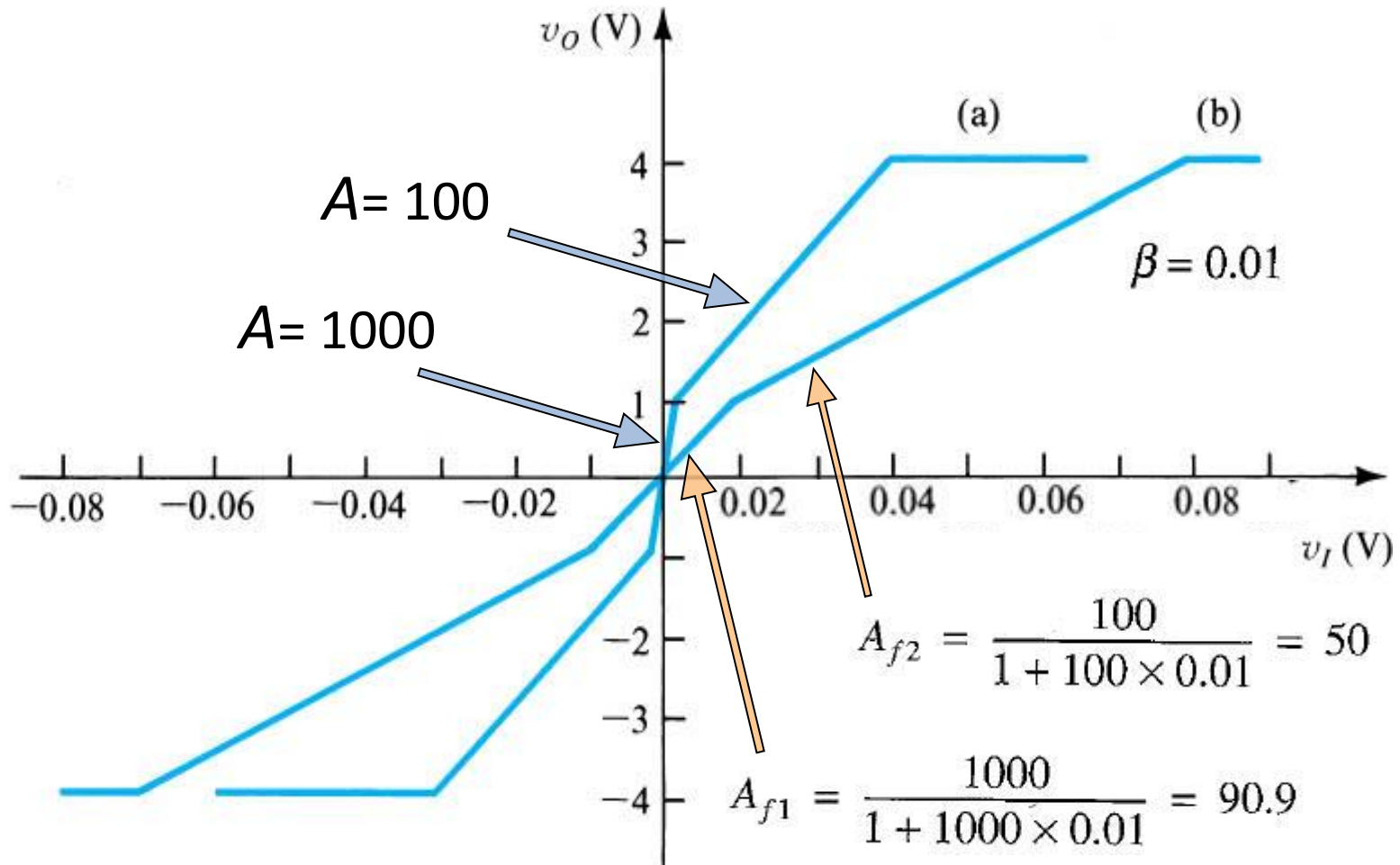
(b)

βαθμίδα προενισχυτή

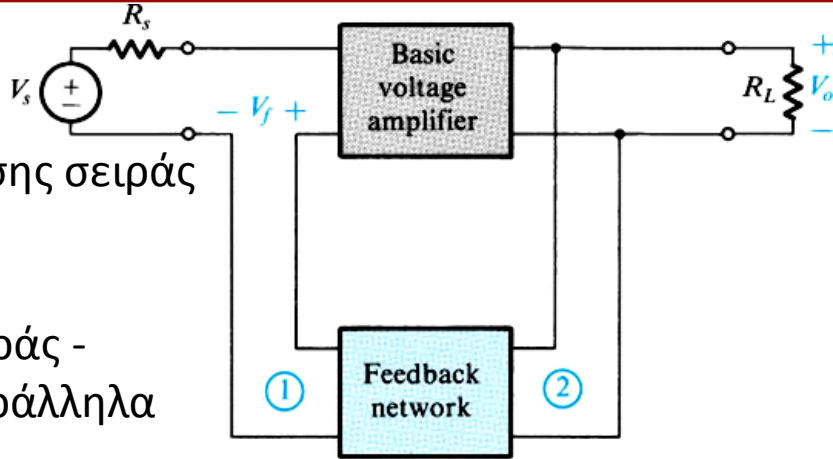


Ιδιότητες αρνητικής ανάδρασης

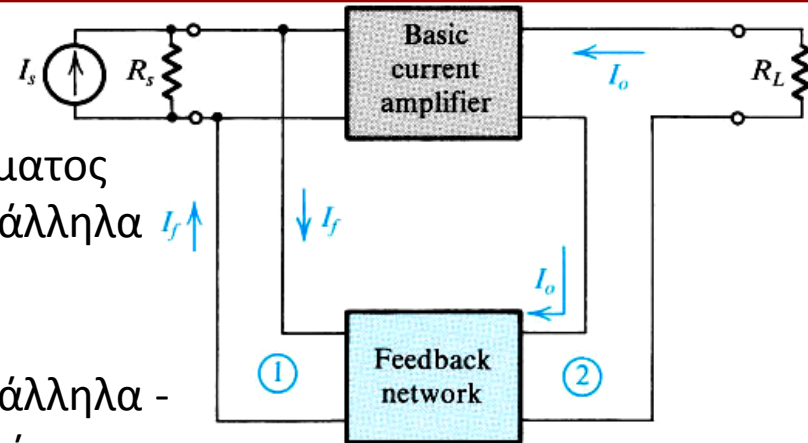
Μείωση μη γραμμικής παραμόρφωσης



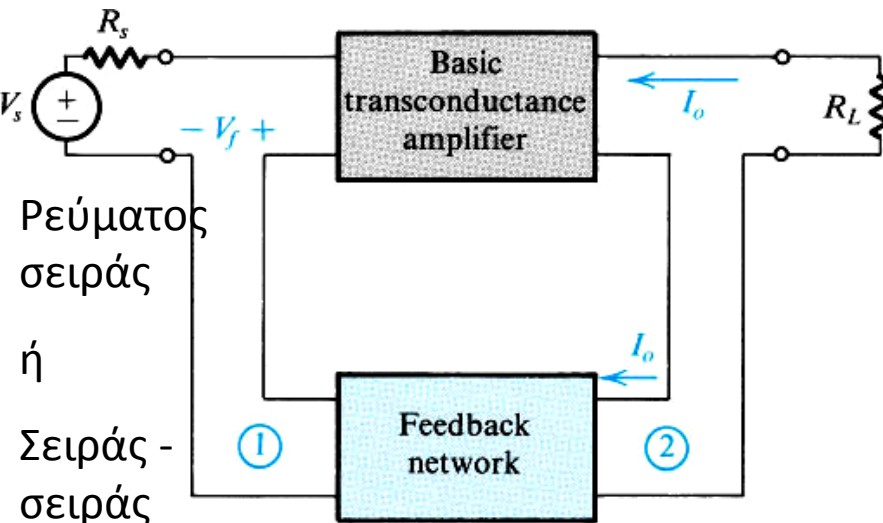
Βασικές τοπολογίες ανάδρασης



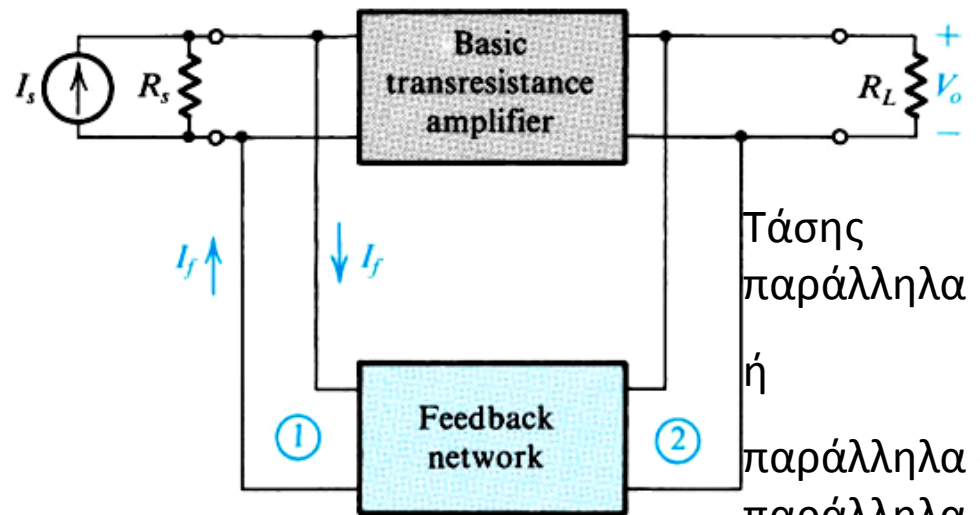
Τάσης σειράς
ή
Σειράς -
παράλληλα



Ρεύματος
παράλληλα
ή
παράλληλα -
σειράς



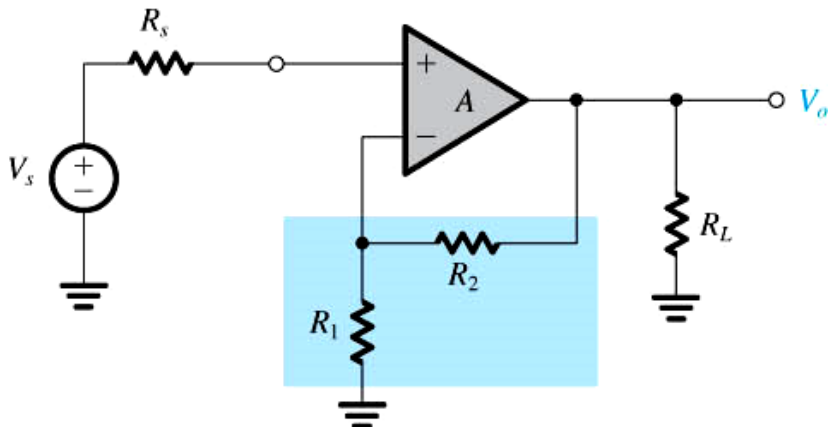
Ρεύματος
σειράς
ή
Σειράς -
σειράς



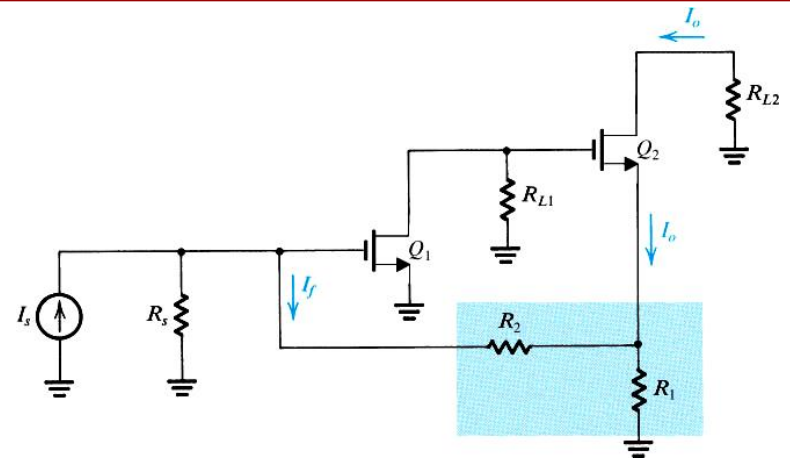
Τάσης
παράλληλα
ή
παράλληλα -
παράλληλα



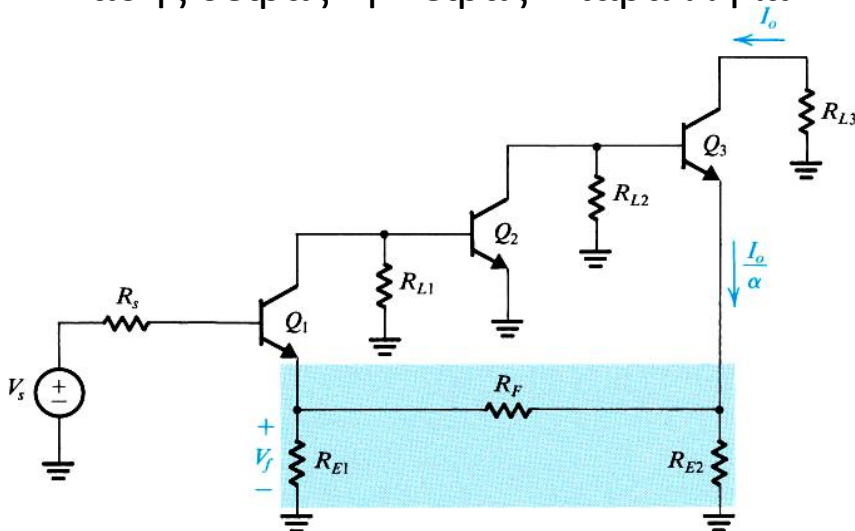
Βασικές τοπολογίες ανάδρασης (παραδείγματα)



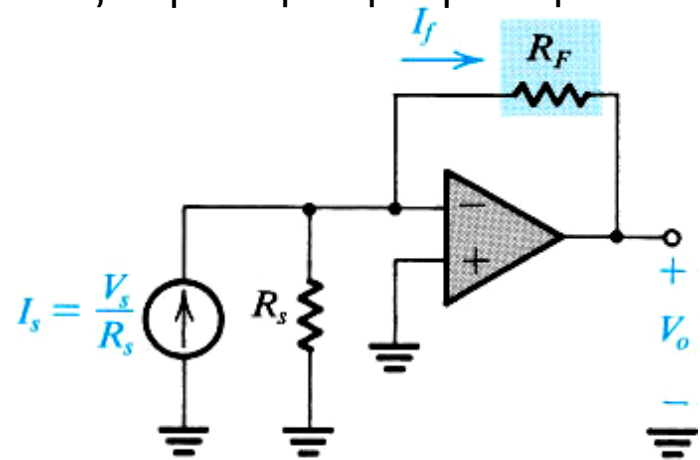
Τάσης σειράς ή Σειράς - παράλληλα



Ρεύματος παράλληλα ή παράλληλα - σειράς



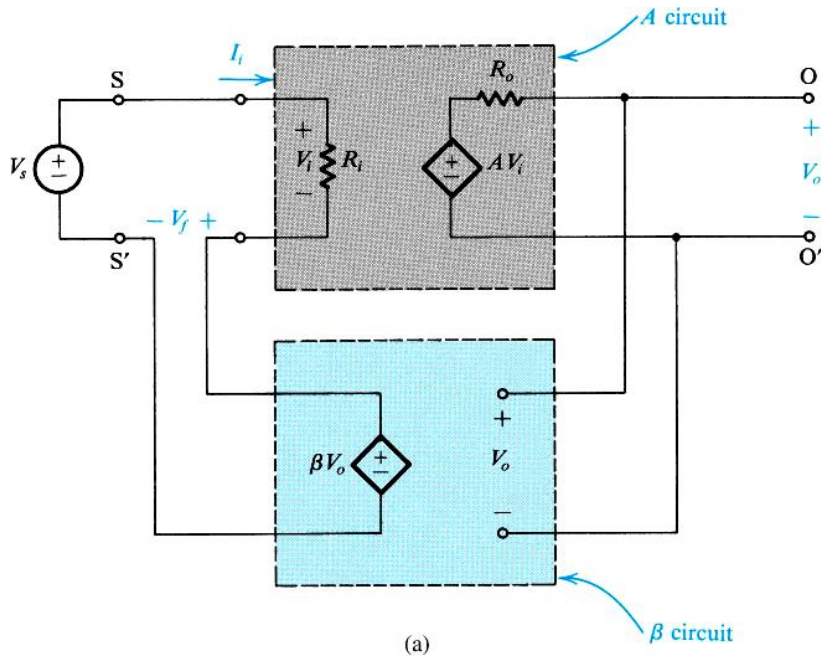
Ρεύματος σειράς ή Σειράς - σειράς



Τάσης παράλληλα ή παράλληλα - παράλληλα



Ενισχυτής με ανάδραση τάσης σειράς ή σειράς – παράλληλα (1/5)

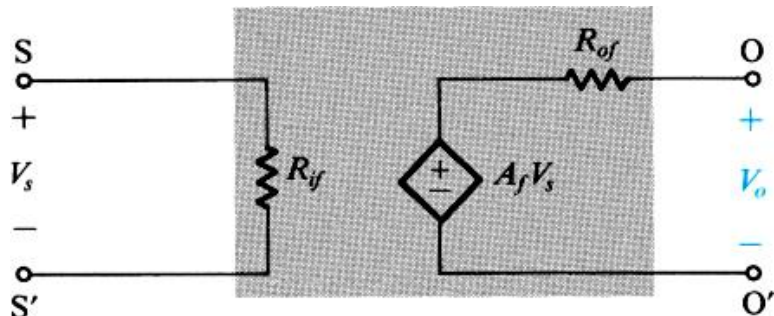


$$A_f \equiv \frac{x_o}{x_s} = \frac{A}{1 + A\beta}$$

$$R_{if} \equiv \frac{V_s}{I_i} = \frac{V_s}{V_i/R_i}$$

$$= R_i \frac{V_s}{V_i} = R_i \frac{V_i + \beta A V_i}{V_i}$$

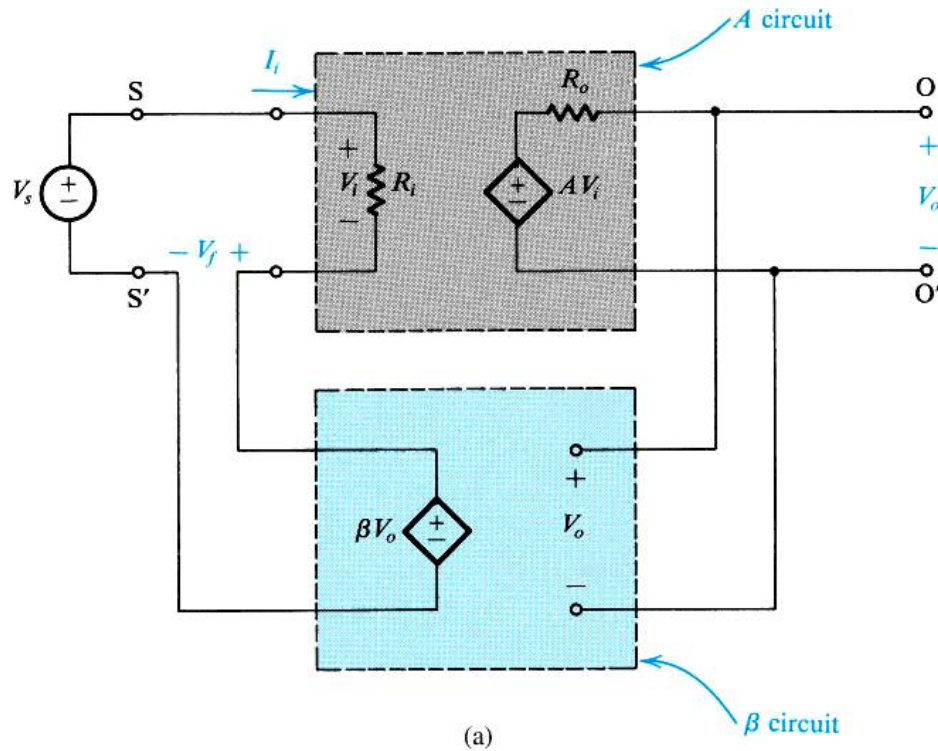
$$R_{if} = R_i(1 + A\beta)$$



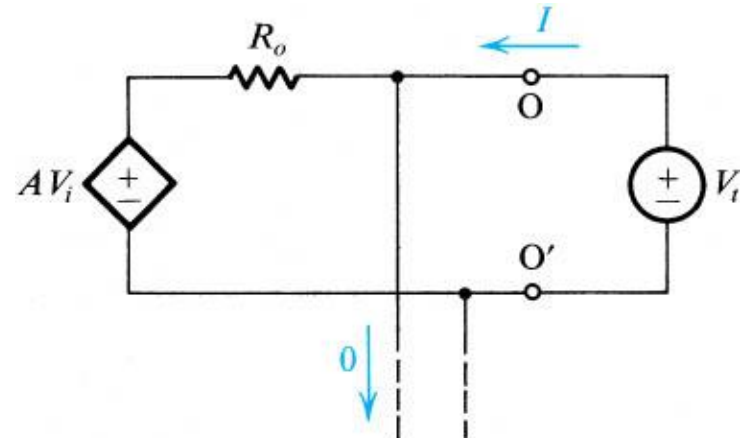
$$Z_{if}(s) = Z_i(s)[1 + A(s)\beta(s)]$$



Ενισχυτής με ανάδραση τάσης σειράς ή σειράς – παράλληλα (2/5)



$$Z_{of}(s) = \frac{Z_o(s)}{1 + A(s)\beta(s)}$$



$$R_{of} \equiv \frac{V_t}{I} \quad I = \frac{V_t - AV_i}{R_o}$$

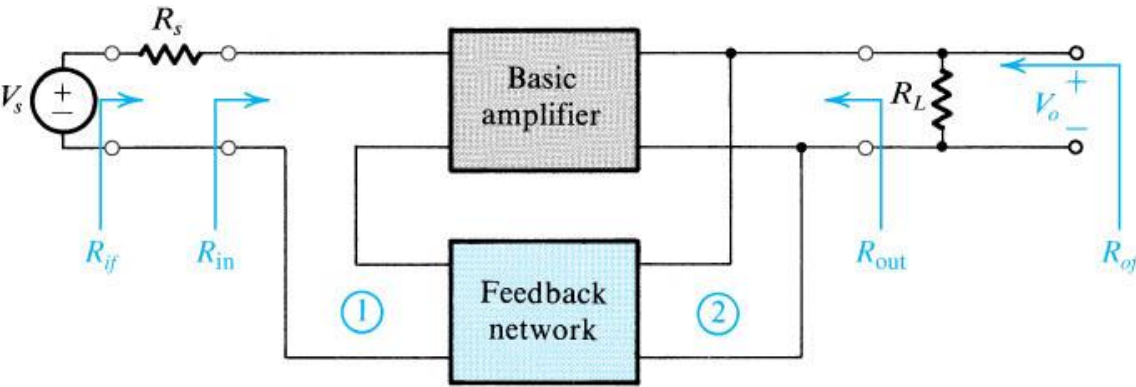
$$V_i = -V_f = -\beta V_o = -\beta V_t$$

$$I = \frac{V_t + A\beta V_t}{R_o}$$

$$R_{of} = \frac{R_o}{1 + A\beta}$$



Ενισχυτής με ανάδραση τάσης σειράς ή σειράς – παράλληλα (3/5)

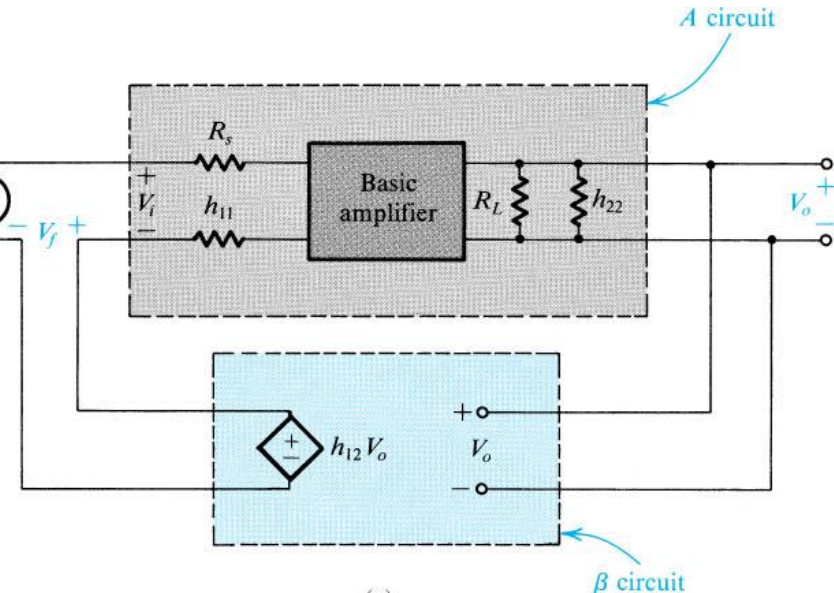
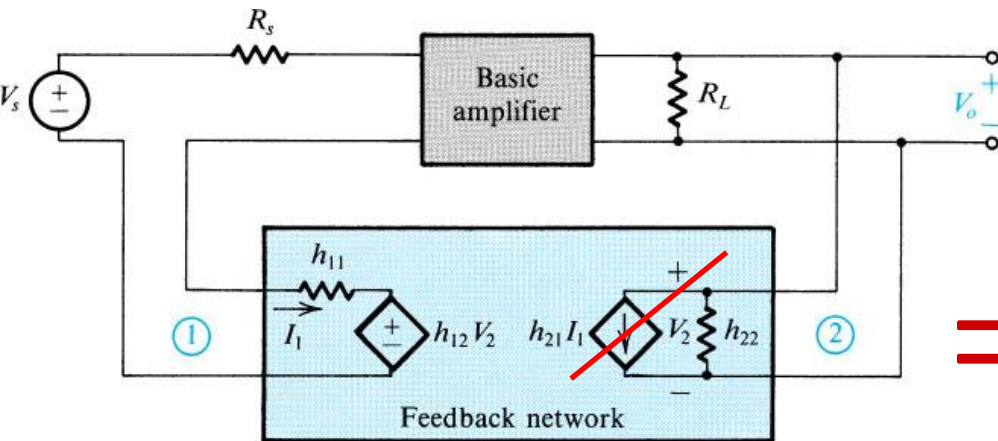


$$R_{in} = R_{if} - R_s$$

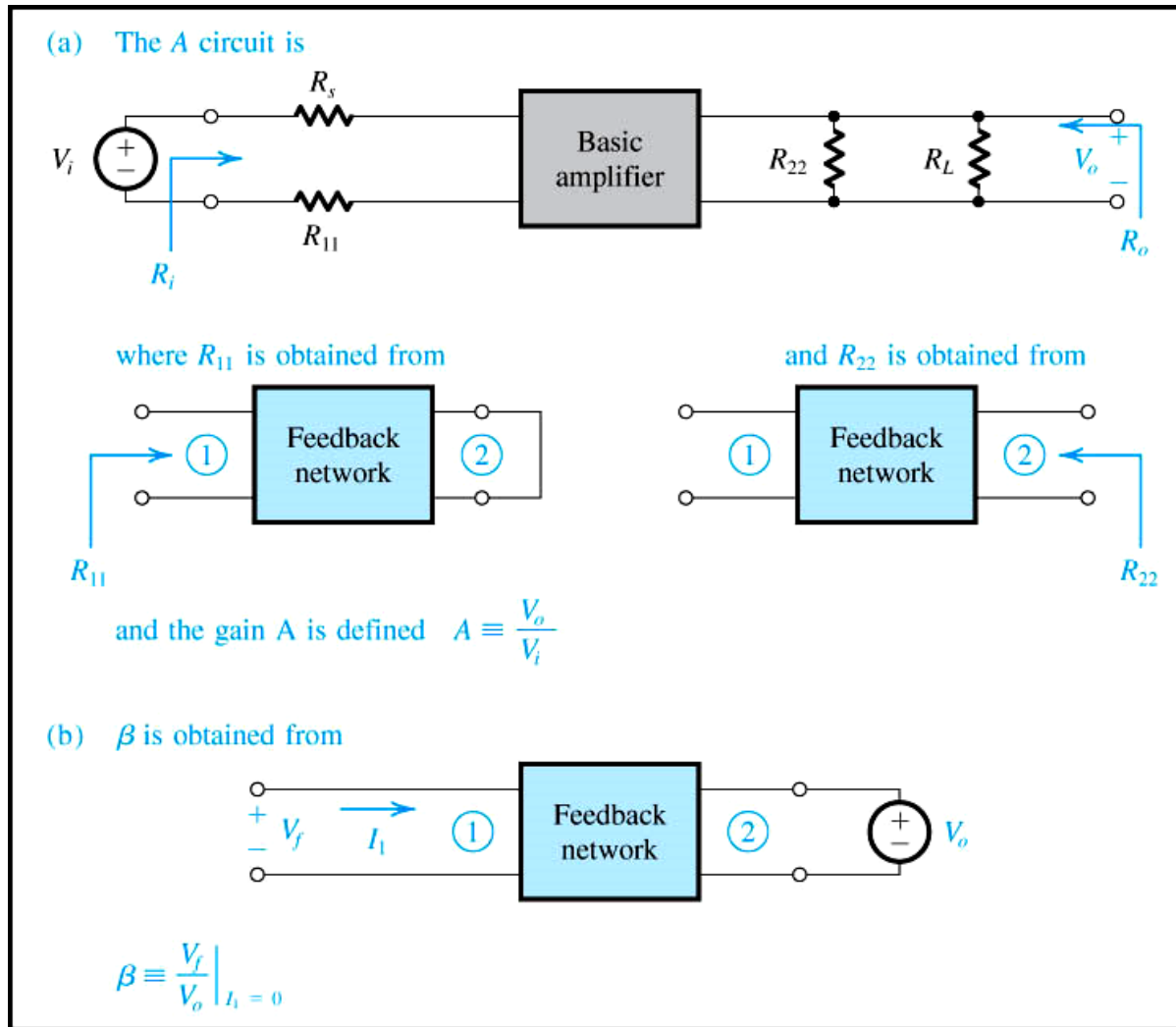
$$R_{out} = 1 / \left(\frac{1}{R_{of}} - \frac{1}{R_L} \right)$$

$$\beta = h_{12} \equiv \left. \frac{V_1}{V_2} \right|_{I_1=0}$$

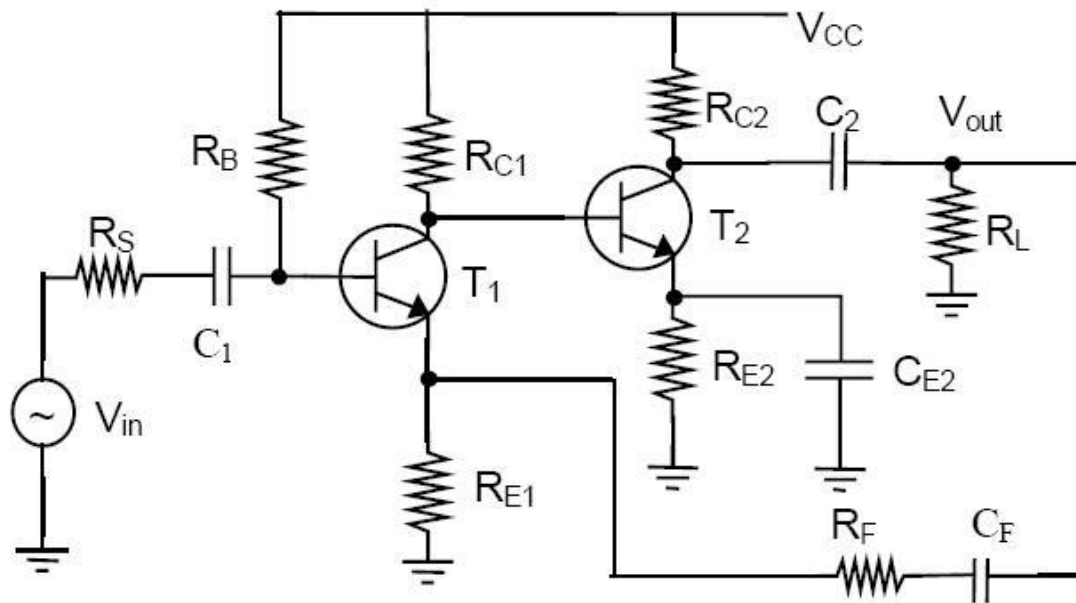
$$|h_{12}|_{\text{basic amplifier}} \ll |h_{12}|_{\text{feedback network}}$$



Ενισχυτής με ανάδραση τάσης σειράς ή σειράς – παράλληλα (4/5)



Ενισχυτής με ανάδραση τάσης σειράς ή σειράς – παράλληλα (5/5)



$$e_f = \frac{R_{E1}}{R_{E1} + R_F} e_{out}$$

$$F = \frac{R_{E1}}{R_{E1} + R_F}$$

$$A_F = \frac{A_1 A_2}{1 + |A_1 A_2| F} \cdot \frac{R_{Fin1}}{R_{Fin1} + R_S}$$

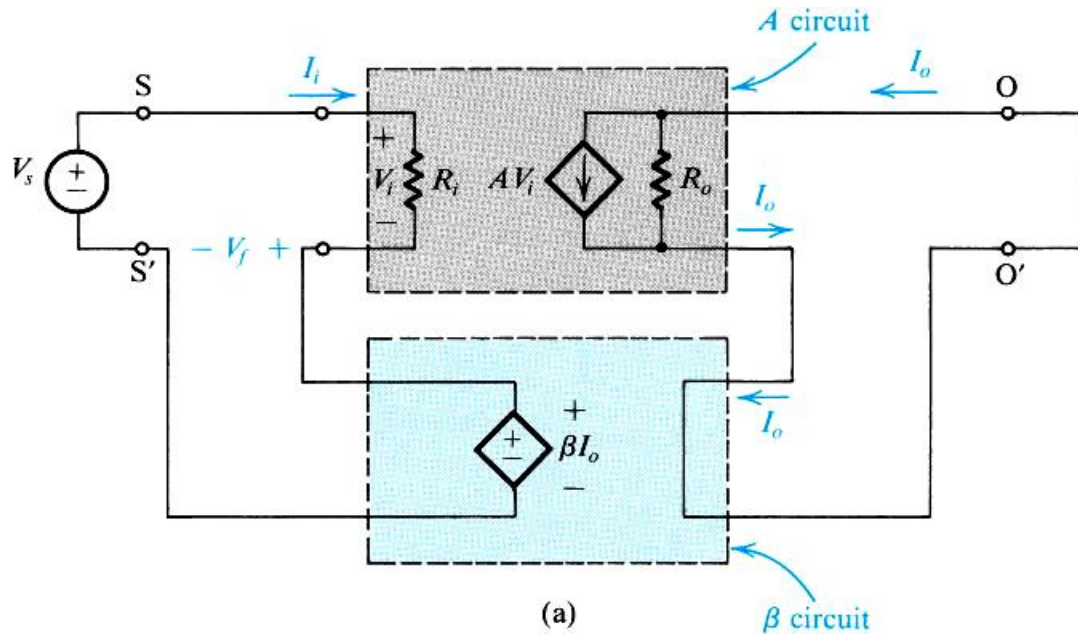
$$R'_{E1} = R_{E1} \parallel (R_F + R_{C2} \parallel R_L)$$

$$R_{Fin} = R_B \parallel \left[(\beta + 1)(r_{d1} + R'_{E1}) \left(1 + |A_1 A_2| \frac{R_{E1}}{R_{E1} + R_F} \right) \right]$$

$$R_{Fout} \approx \frac{R_{out} \parallel (R_F + R_{E1})}{1 + |A_1 A_2| F}$$

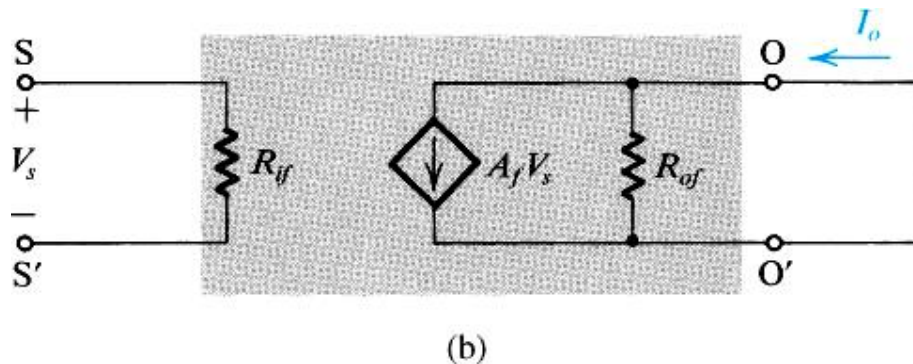


Ενισχυτής με ανάδραση ρεύματος σειράς ή σειράς – σειράς (1/4)



$$A \equiv \frac{I_o}{V_i}$$

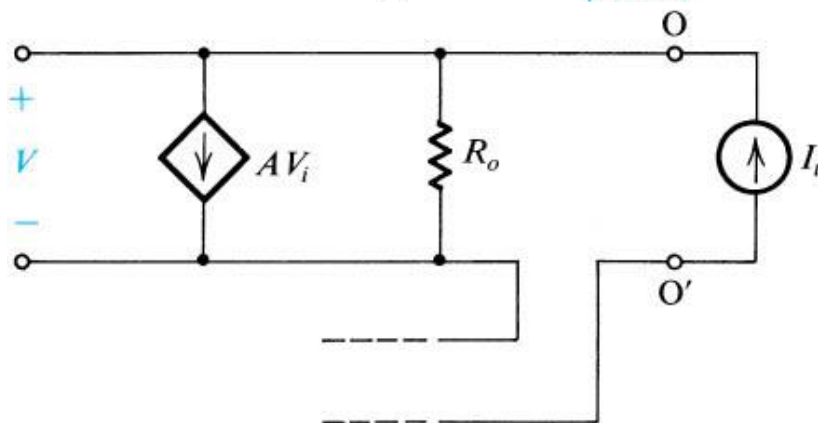
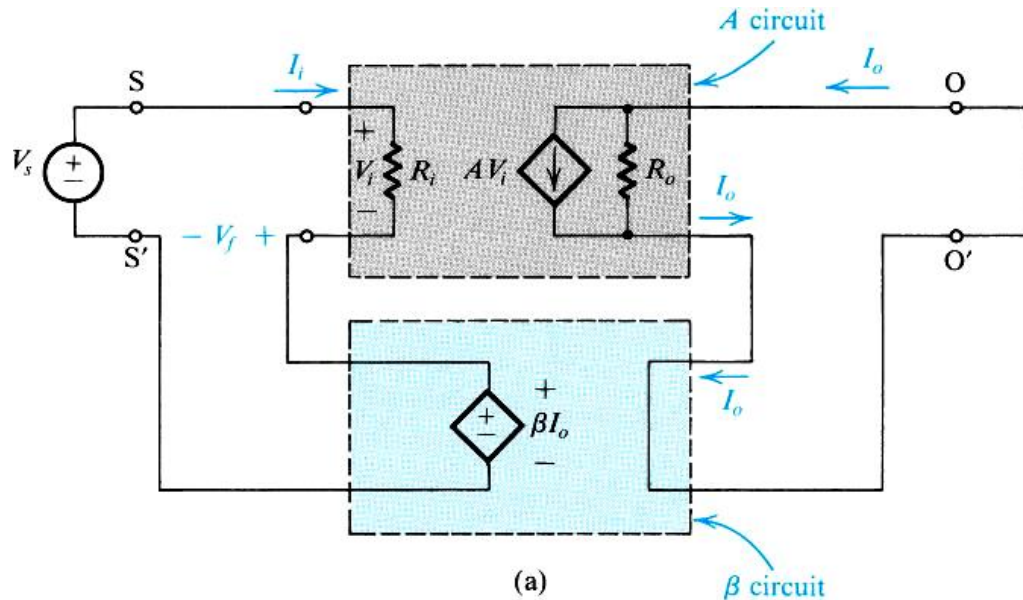
$$A_f \equiv \frac{I_o}{V_s} = \frac{A}{1 + A\beta}$$



$$R_{if} = R_i(1 + A\beta)$$



Ενισχυτής με ανάδραση ρεύματος σειράς ή σειράς – σειράς (2/4)



$$R_{of} \equiv \frac{V}{I_i}$$

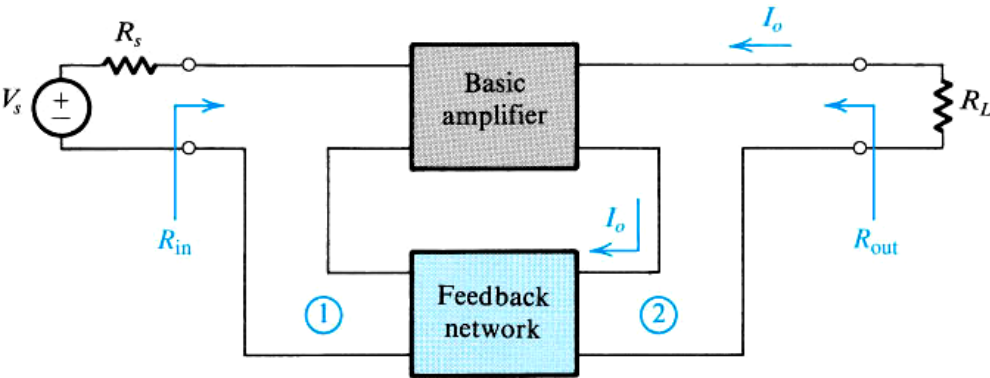
$$V_i = -V_f = -\beta I_o = -\beta I_i$$

$$V = (I_i - AV_i)R_o = (I_i + A\beta I_i)R_o$$

$$R_{of} = (1 + A\beta)R_o$$



Ενισχυτής με ανάδραση ρεύματος σειράς ή σειράς – σειράς (3/4)

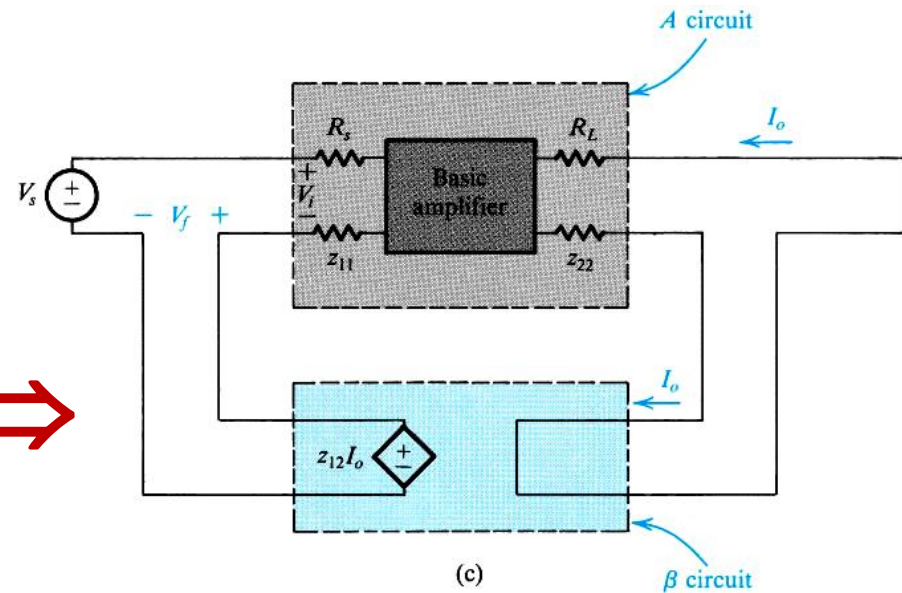
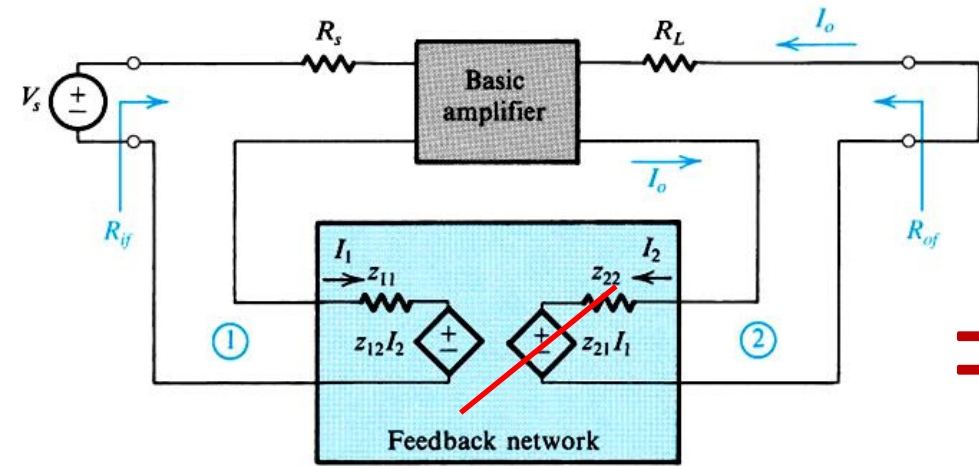


$$R_{in} = R_{if} - R_s$$

$$R_{out} = R'_{of} - R_L$$

$$\beta = z_{12} \equiv \frac{V_1}{I_2} \Big|_{I_1=0}$$

$$|z_{21}|_{\text{feedback network}} \ll |z_{21}|_{\text{basic amplifier}} \quad |z_{12}|_{\text{basic amplifier}} \ll |z_{12}|_{\text{feedback network}}$$

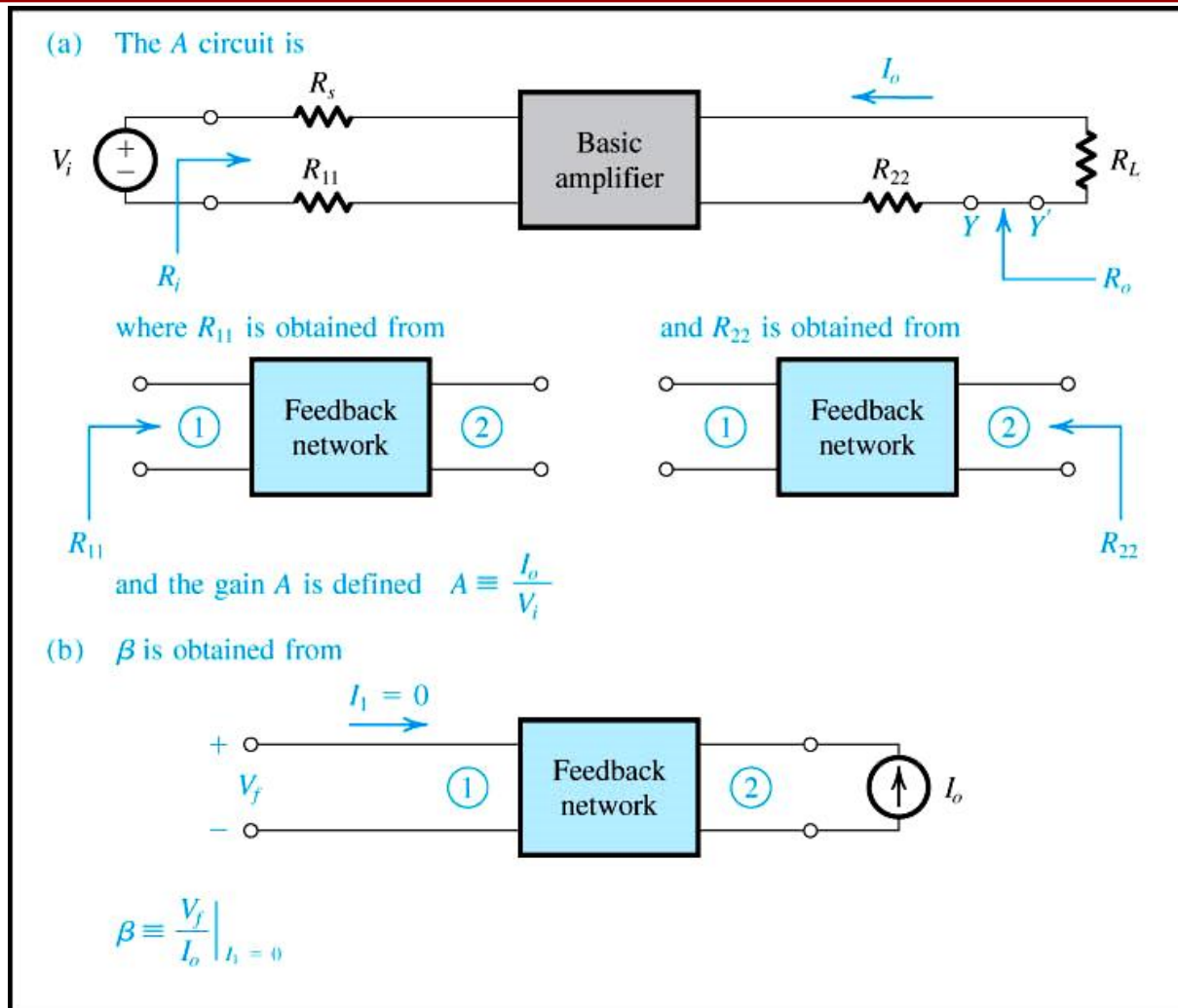


(c)

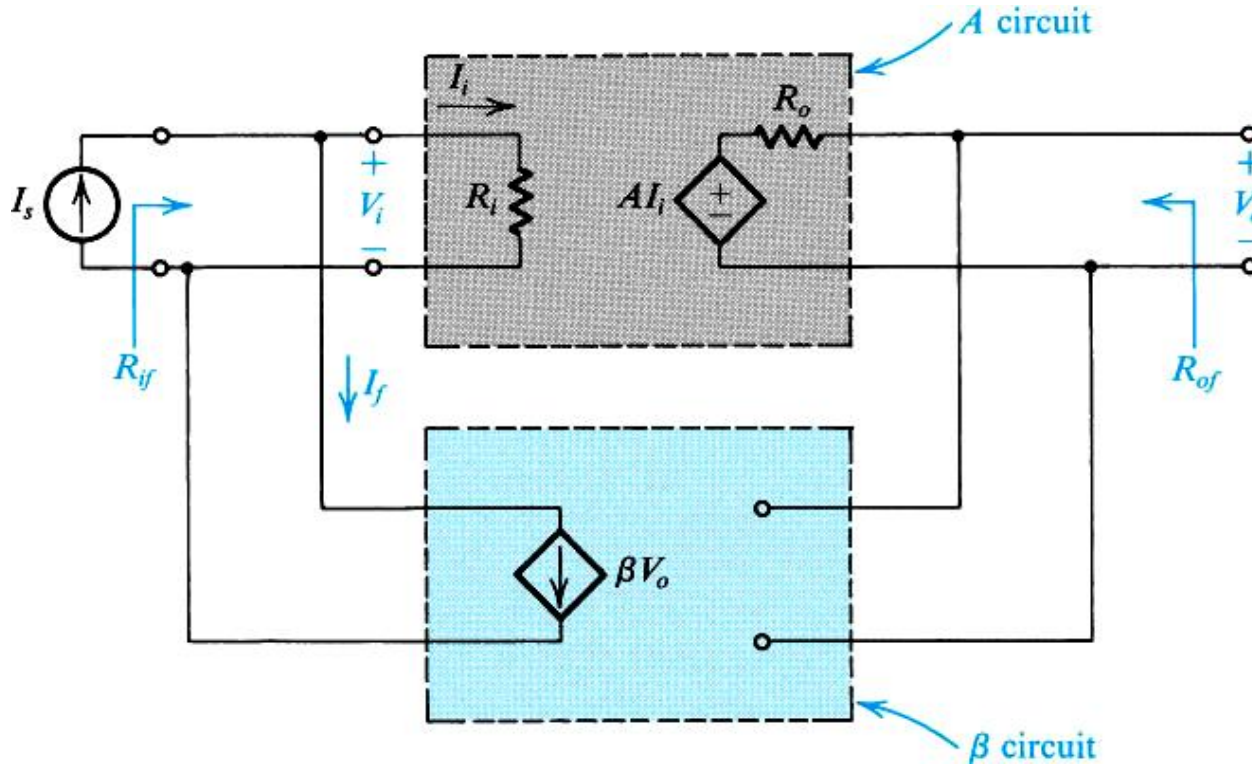
β circuit



Ενισχυτής με ανάδραση ρεύματος σειράς ή σειράς – σειράς (4/4)



Ενισχυτής με ανάδραση τάσης παράλληλα ή παράλληλα – παράλληλα (1/3)



$$A_f \equiv \frac{V_o}{I_s}$$

$$A_f = \frac{A}{1 + A\beta}$$

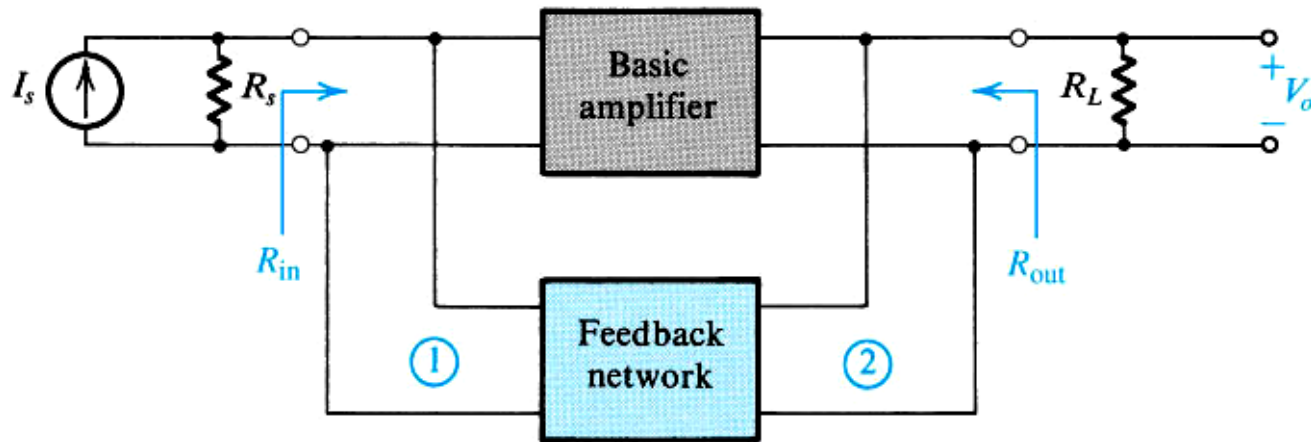
$$R_{if} = \frac{R_i}{1 + A\beta}$$

$$R_{of} = \frac{R_o}{1 + A\beta}$$

$$Z_{of}(s) = \frac{Z_o(s)}{1 + A(s)\beta(s)}$$



Ενισχυτής με ανάδραση τάσης παράλληλα ή παράλληλα – παράλληλα (2/3)



$$|y_{12}|_{\text{basic amplifier}} \ll |y_{12}|_{\text{feedback network}}$$

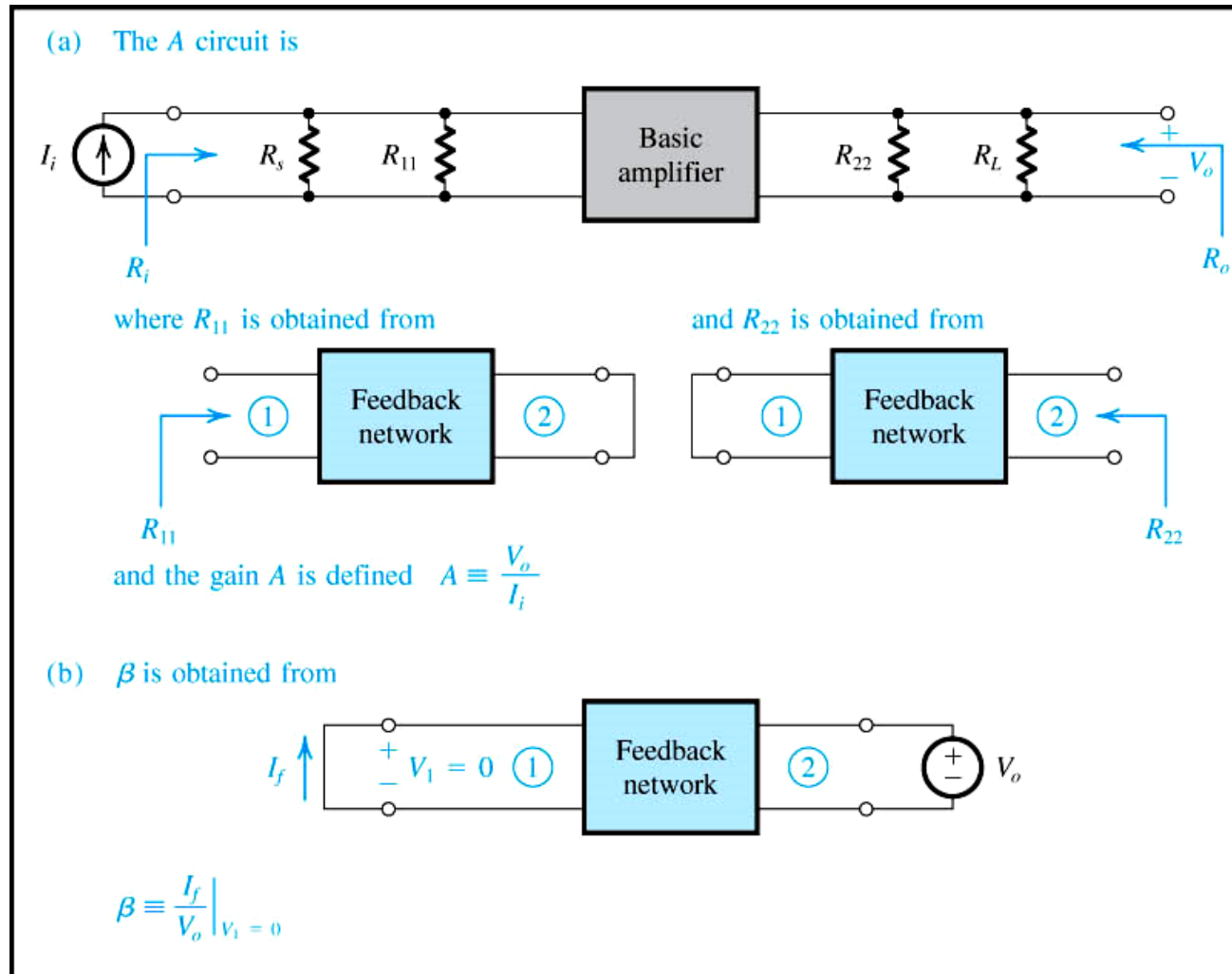
$$R_{\text{in}} = 1 / \left(\frac{1}{R_{\text{if}}} - \frac{1}{R_s} \right)$$

$$|y_{21}|_{\text{feedback network}} \ll |y_{21}|_{\text{basic amplifier}}$$

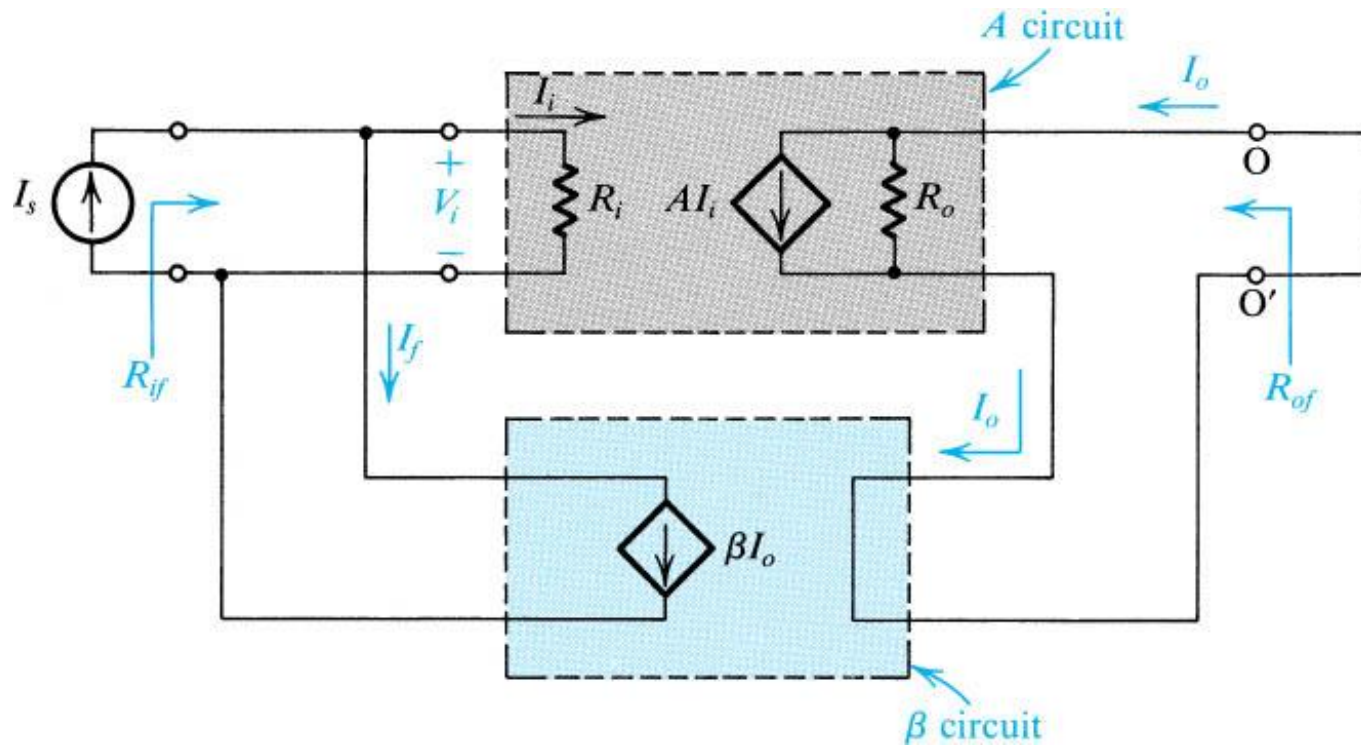
$$R_{\text{out}} = 1 / \left(\frac{1}{R_{\text{of}}} - \frac{1}{R_L} \right)$$



Ενισχυτής με ανάδραση τάσης παράλληλα ή παράλληλα – παράλληλα (3/3)



Ενισχυτής με ανάδραση ρεύματος παράλληλα ή παράλληλα – σειράς (1/3)

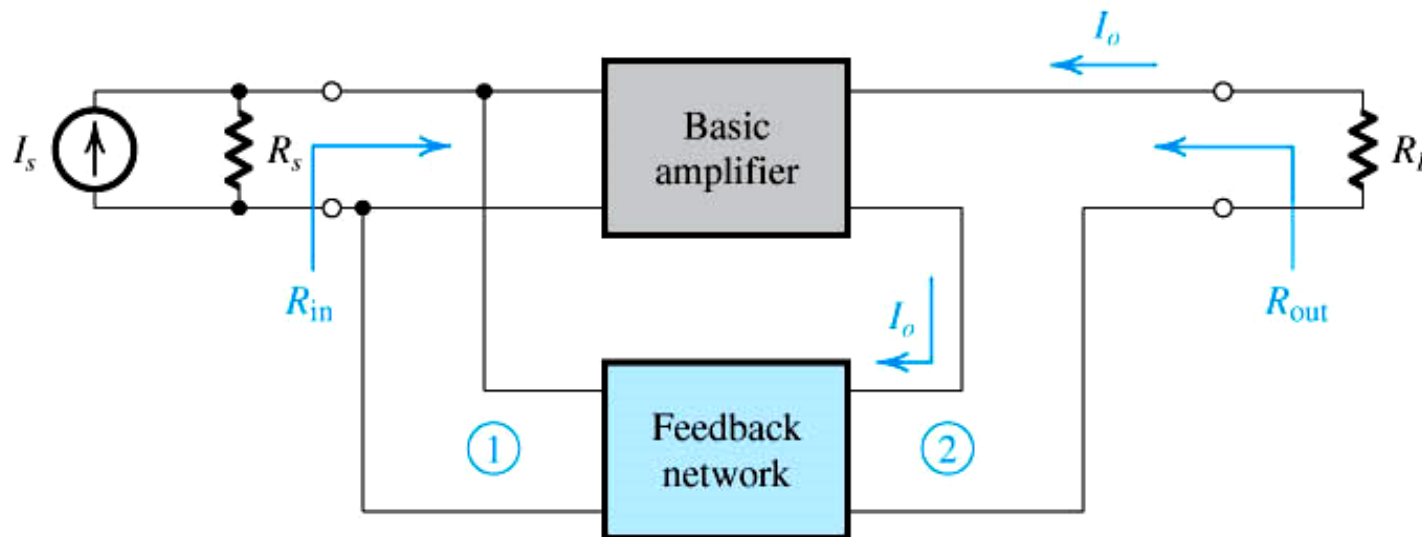


$$A_f \equiv \frac{I_o}{I_s} = \frac{A}{1 + A\beta}$$

$$R_{if} = \frac{R_i}{1 + A\beta}$$

$$R_{of} = R_o(1 + A\beta)$$

Ενισχυτής με ανάδραση ρεύματος παράλληλα ή παράλληλα – σειράς (2/3)



$$|g_{21}|_{\text{feedback network}} \ll |g_{21}|_{\text{basic amplifier}}$$

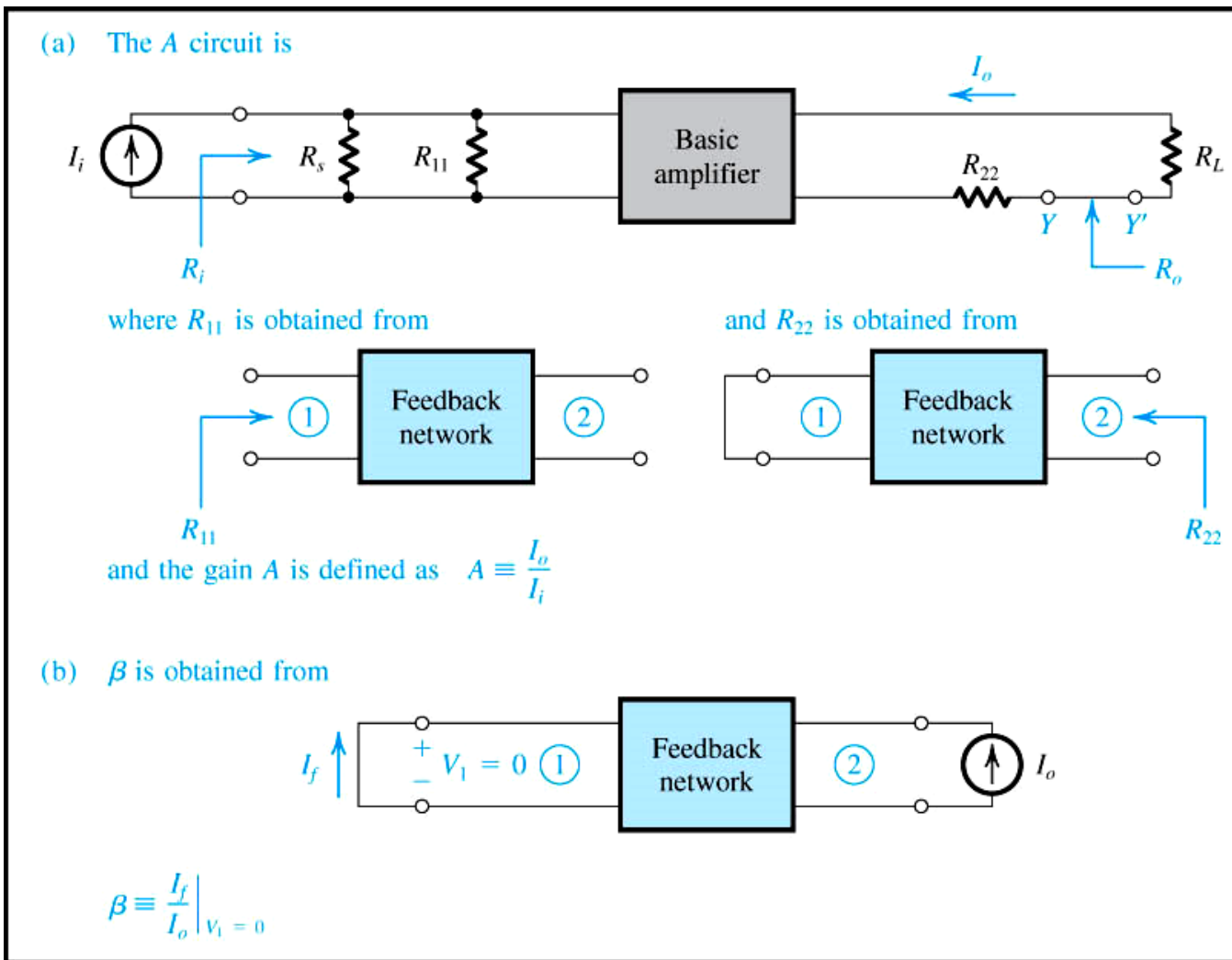
$$R_{\text{in}} = 1 / \left(\frac{1}{R_{\text{of}}} - \frac{1}{R_s} \right)$$

$$|g_{12}|_{\text{basic amplifier}} \ll |g_{12}|_{\text{feedback network}}$$

$$R_{\text{out}} = R_{\text{of}} - R_L$$



Ενισχυτής με ανάδραση ρεύματος παράλληλα ή παράλληλα – σειράς (3/3)



Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Χατζόπουλος
Αλκιβιάδης. «ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ II, Ανάδραση». Έκδοση: 1.0. Θεσσαλονίκη 2015.
Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:
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



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
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.

