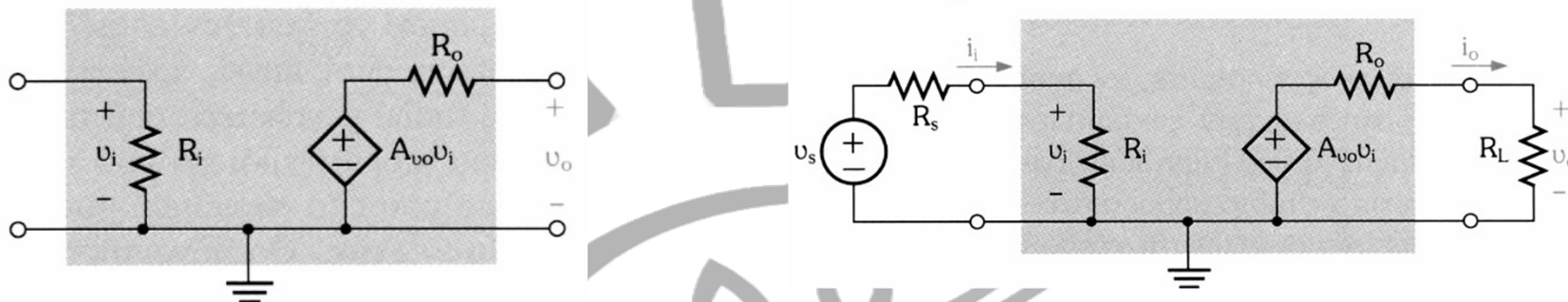


Κυκλωματικά μοντέλα ενισχυτών – Ενισχυτής τάσης



Σε ιδανικό ενισχυτή τάσης έχουμε $R_{out} = 0$ και $R_{in} = \infty$
Αντιστοίχως, η απολαβή ρεύματος είναι:

$$v_o = A_{vo} v_i \frac{R_L}{R_o + R_L}$$

$$v_i = v_s \frac{R_i}{R_s + R_i}$$

$$\therefore |A_v| = \frac{V_o}{V_s} = A_{vo} \frac{R_i}{R_s + R_i} \frac{R_L}{R_o + R_L}$$

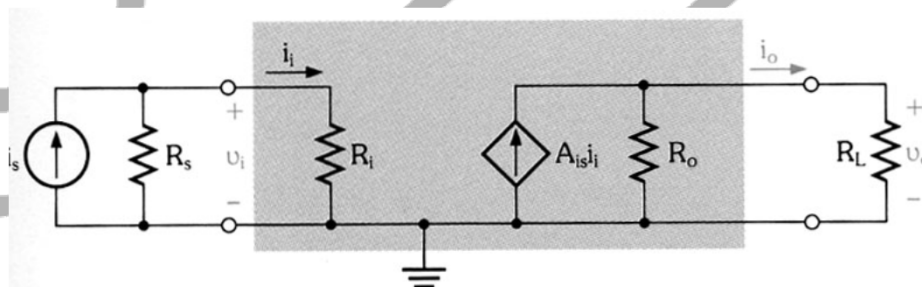
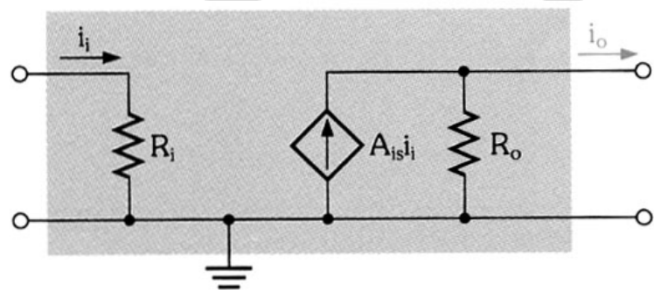
$$|A_i| = \frac{I_o}{I_i} = \frac{V_o}{V_s} \frac{R_L}{R_s + R_i} = \frac{V_o}{V_s} \frac{R_s + R_i}{R_L}$$

Μέγιστη απολαβή τάσης έχω
όταν $R_{in} \gg R_s$ και $R_{out} \ll R_L$,

$|A_v|_{\max}$

$$\therefore |A_i| = |A_v| \frac{R_s + R_i}{R_L}$$

Κυκλωματικά μοντέλα ενισχυτών – Ενισχυτής ρεύματος



$$i_o = A_{is} i_i \frac{R_o}{R_o + R_L}$$

$$i_i = i_s \frac{R_s}{R_s + R_i}$$

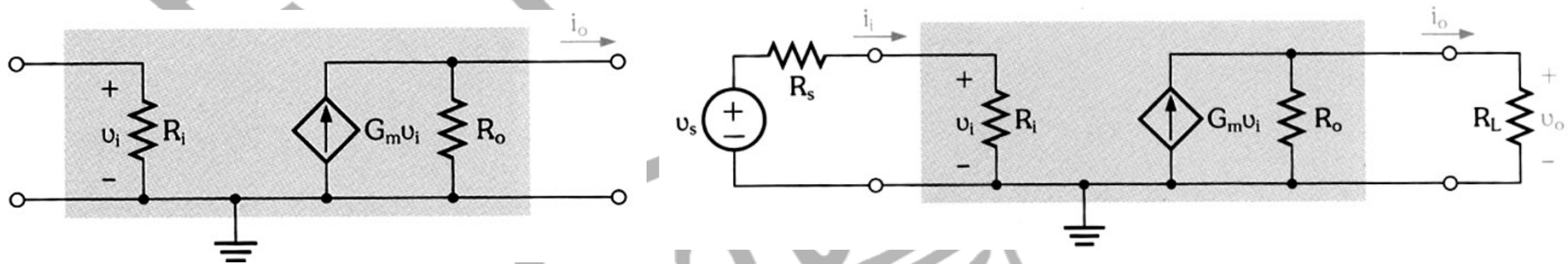
$$\therefore |A_i| = \frac{I_o}{I_s} = A_{is} \frac{R_s}{R_s + R_i} \frac{R_o}{R_o + R_L}$$

Μέγιστη απολαβή ρεύματος έχω
όταν $R_{in} \ll R_s$ και $R_{out} \gg R_L$, τότε

$$|A_i| = A \rightarrow \beta$$

Σε ιδανικό ενισχυτή ρεύματος
έχουμε $R_{in} = 0$ και $R_{out} = \infty$

Κυκλωματικά μοντέλα ενισχυτών – Ενισχυτής διαγωγιμότητας



- ✓ Πηγή ρεύματος ελεγχόμενη από τάση (είσοδος: τάση, έξοδος: ρεύμα) με κέρδος G_m (διαγωγιμότητα βραχυκυκλώσης) $\rightarrow i_o/v_i$ (A/V)

$$v_i = v_s \frac{R_i}{R_i + R_s}$$

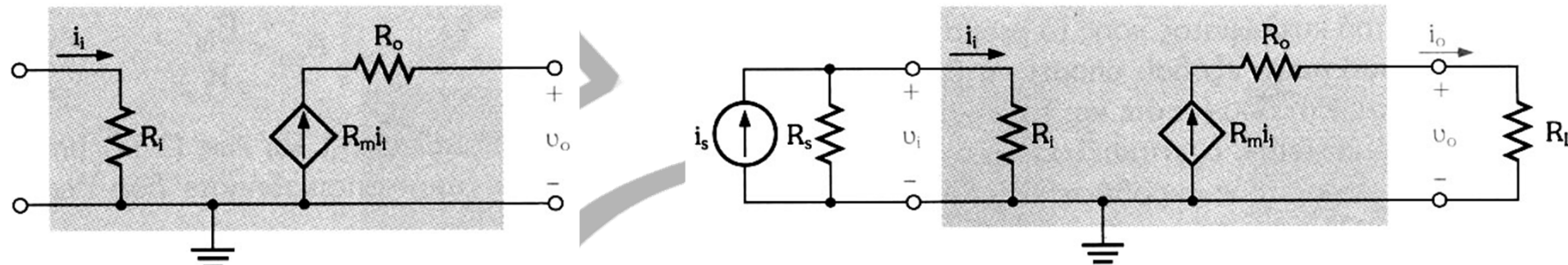
$$i_o = G_m v_i \frac{R_o}{R_o + R_L}$$

Χαρακτηριστικά

$$R_o \rightarrow \infty$$

$$R_i \gg R_s$$

Κυκλωματικά μοντέλα ενισχυτών – Ενισχυτής διαντίστασης



- ✓ Πηγή τάσης ελεγχόμενη από ρεύμα (είσοδος: ρεύμα, έξοδος: τάση) με κέρδος R_m (διαντίσταση ανοιχτού κυκλώματος) $\rightarrow v_o/i_i$ (V/A)

Χαρακτηριστικά

$$R_o \rightarrow 0$$

$$R_i \ll R_s$$

Σχέσεις μεταξύ των τεσσάρων μοντέλων ενισχυτών

$$A_{v0} = A_{is} \cdot \frac{R_o}{R_i}$$

$$A_{v0} = G_m \cdot R_o$$

$$A_{v0} = R_m \cdot R_i$$

- ✓ Η αντίσταση εισόδου R_i του ενισχυτή μπορεί να βρεθεί εφαρμόζοντας μια τάση εισόδου v_i και μετρώντας (ή υπολογίζοντας) το ρεύμα εισόδου i_i : $i_i = v_i/R_i$.
- ✓ Η αντίσταση εξόδου R_o μπορεί να βρεθεί μηδενίζοντας την πηγή του σήματος εισόδου (οπότε και το $i_i, v_i = 0$) και εφαρμόζοντας σήμα τάσης v_x στην έξοδο του ενισχυτή. Εάν i_x το ρεύμα από την v_x προς τους ακροδέκτες εξόδου, τότε $R_o = v_x / i_x$ (Προσοχή: η φορά του i_x είναι αντίθετη της φοράς του i_o που εξετάσαμε)

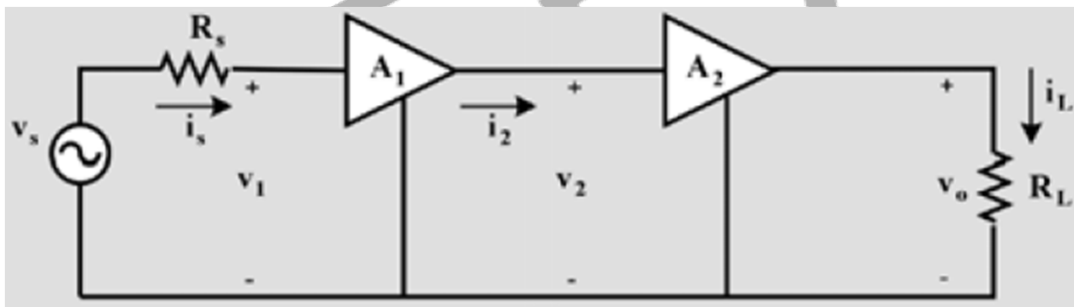
Οι τέσσερις τύποι ενισχυτών

| | Circuit models | Gain parameter | Ideal characteristic |
|----------------------------|----------------|---|----------------------------------|
| Voltage amplifier | | <p>Open-circuit voltage gain</p> $A_{vo} = \left. \frac{v_o}{v_i} \right _{i_o=0} \quad (\text{V/V})$ | $R_i = \infty$ $R_o = 0$ |
| Current Amplifier | | <p>Short-circuit current gain</p> $A_{is} = \left. \frac{i_o}{i_i} \right _{v_o=0} \quad (\text{A/A})$ | $R_i = 0$ $R_o = \infty$ |
| Transconductance amplifier | | <p>Short-circuit Transconductance</p> $G_m = \left. \frac{i_o}{v_i} \right _{v_o=0} \quad (\text{A/V})$ | $R_i = \infty$ $R_o = \infty$ |
| Transresistance Amplifier | | <p>Open-circuit Transresistance</p> $R_m = \left. \frac{v_o}{i_i} \right _{i_o=0} \quad (\text{V/A})$ | $R_i = 0$ $R_o = 0$ |

Ενισχυτές διαδοχικών βαθμίδων

- Στην πλειονότητα των περιπτώσεων, ένας ενισχυτής με απλό transistor είτε δεν μπορεί να ικανοποιήσει τις αυξημένες απαιτήσεις απολαβής τάσης είτε δεν μπορεί να ικανοποιήσει τις συνδυασμένες απαιτήσεις αντίστασης εισόδου – εξόδου – απολαβής – απόκρισης συχνότητας, θερμοκρασιακής σταθερότητας.
- Αποτελεί κοινή πρακτική η οδήγηση της εξόδου ενός μονοβάθμιου ενισχυτή στην είσοδο μιας δεύτερης βαθμίδας, δημιουργώντας έναν σύνθετο ενισχυτή αποτελούμενο από *διαδοχικές βαθμίδες*
- Τα προβλήματα που ανακύπτουν στο σχεδιασμό πολυβαθμιων ενισχυτών αφορούν την ευστάθεια των κυκλωμάτων, τον θόρυβο και την παραμόρφωση.

Ενισχυτές διαδοχικών βαθμίδων (συν.)



Ενίσχυση τάσης

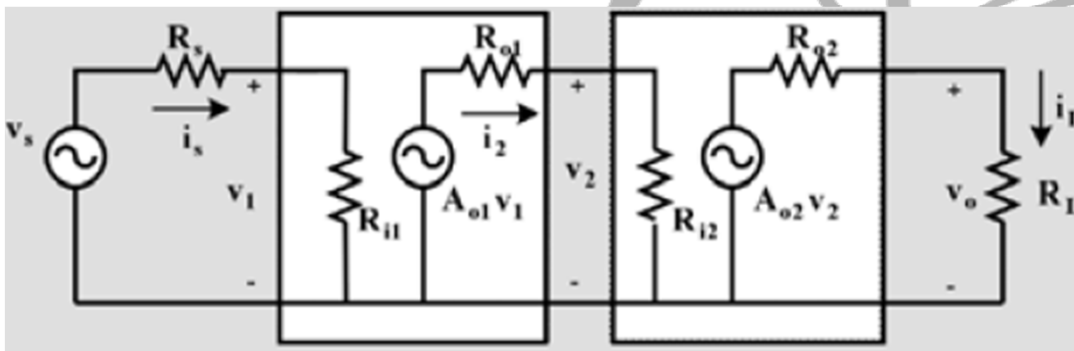
$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = \frac{v_o}{v_2} \cdot \frac{v_2}{v_1} = A_{v2} \cdot A_{v1}$$

Ενίσχυση ρεύματος

$$A_I = \frac{i_L}{i_S} = \frac{i_L}{i_2} \cdot \frac{i_2}{i_S} = A_{i2} \cdot A_{i1}$$

Ενίσχυση Ισχύος

$$A_P = A_v \cdot A_I = (A_{v2} \cdot A_{i2}) \cdot (A_{v1} \cdot A_{i1}) = A_{p1} \cdot A_{p2}$$



Εμπεδήσεις Εισόδου – Εξόδου

$$R_i = R_{i1} \text{ και } R_o = R_{o2}$$

Ισχύει όταν δεν εφαρμόζεται ανατροφοδότηση

Συνεπώς, οι ενισχύσεις τάσης, ρεύματος και ισχύος είναι το **γινόμενο** των επιμέρους βαθμίδων

Τρόποι σύζευξης Ενισχυτών

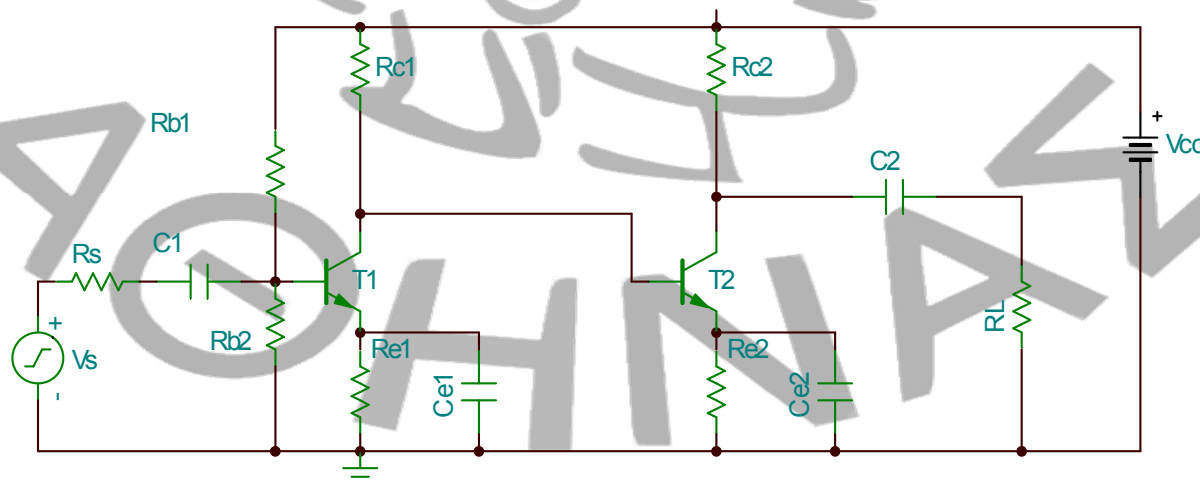
Η σύνδεση μεταξύ εξόδου σταδίου 1 και εισόδου (n+1) βαθμίδας πολυβάθμιων ενισχυτών (σύζευξη) γίνεται με τρεις τρόπους:

- ✓ Άμεση ή απ' ευθείας σύζευξη (direct coupling)
- ✓ Με πυκνωτή σύζευξης (capacitor coupled η RC-coupled)
- ✓ Με επαγωγική σύζευξη (με χρήση μετασχηματιστή)

Ανάλογα με τον τρόπο σύζευξης των βαθμίδων, ο ενισχυτής παρουσιάζει μια σειρά συγκεκριμένων χαρακτηριστικών βάσει των οποίων επιλέγεται για την εφαρμογή μας.

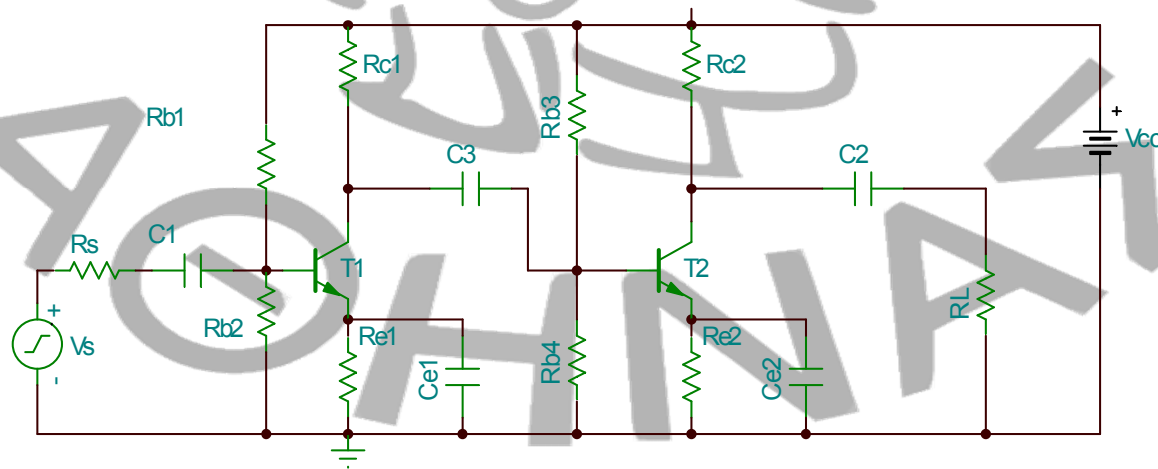
Άμεση σύζευξη (direct coupling)

- ✓ Απλούστερη δομή προς υλοποίηση – υπολογιστικά σύνθετη
- ✓ Δεν χρησιμοποιούνται αντιστάσεις πόλωσης για το 2^ο transistor – πολώνεται από το πρώτο.
- ✓ Αν σε όλες τις βαθμίδες χρησιμοποιώ ίδιου τύπου transistor (npn ή pnp) τότε το V_{C2} είναι κατά $V_{CB} \approx V_{CE}$ μεγαλύτερο από το V_{C1} .
- ✓ Λόγω αυτής της στάθμης δυναμικού από συλλέκτη σε συλλέκτη τίθεται περιορισμός στον μέγιστο αριθμό βαθμίδων που μπορούν να συνδεθούν
- ✓ Το πρόβλημα ξεπερνιέται με χρήση συμπληρωματικών transistor αλλά πρέπει να μην αγνοούμε ότι τα pnp παρουσιάζουν φτωχότερη απόκριση συχνότητας



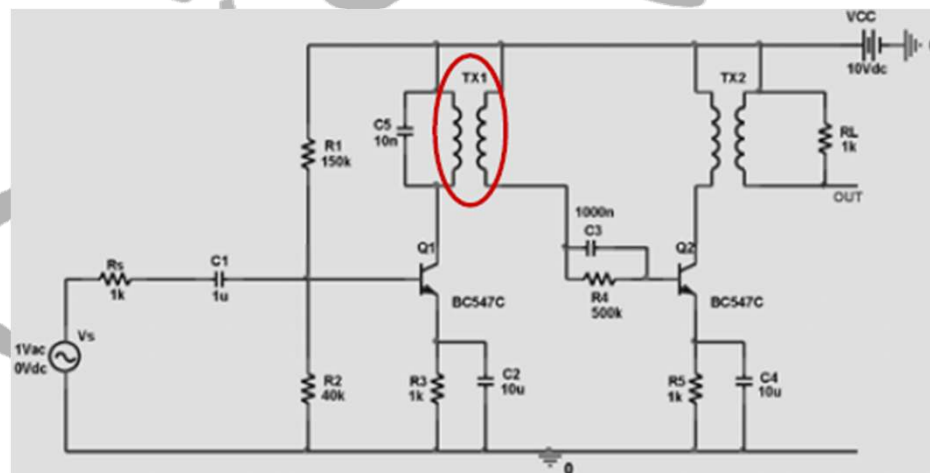
Σύζευξη βαθμίδων με πυκνωτή

- ✓ Κάθε βαθμίδα είναι απομονωμένη οπότε η πόλωση της κάθε μίας δεν επηρεάζεται από τις υπόλοιπες
- ✓ Οικονομία και απλότητα σχεδιασμού, διότι μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε έναν τύπο βαθμίδας που τον επαναλαμβάνουμε n φορές
- ✓ Μπορούμε να συζεύξουμε και ανόμοιες βαθμίδες μεταξύ τους
- ✓ Η απόκριση συχνότητας επηρεάζεται από τον πυκνωτή σύζευξης
- ✓ Δεν αποφεύγουμε τις αντιστάσεις πόλωσης για κάθε βαθμίδα



Επαγωγική σύζευξη

- ✓ Χρήση μετασχηματιστή άρα πλήρη απομόνωση ως προς συνεχές
- ✓ Με επιλογή του λόγου M/T είναι δυνατή η προσαρμογή των εμπεδήσεων μεταξύ των βαθμίδων
- ✓ Δεν υπάρχει κατανάλωση ισχύος dc στον M/T → αύξηση συντελεστού απόδοσης
- ✓ Η εγγενής δυνατότητα του M/T να δημιουργεί διαφορετικό λόγο τάσεων συνεισφέρει στην αύξηση της ενίσχυσης τάσης ή ρεύματος του ενισχυτή
- ✓ Χρήση κυρίως σε ενισχυτές στενής ζώνης, επιλογείς ζώνης (RF)



Παράδειγμα Ι

Ένας ενισχυτής τάσης, έχει τις παρακάτω παραμέτρους δίθυρου δικτύωματος: $R_s=1\text{k}\Omega$ και $R_L=16\Omega$, Αντίσταση εισόδου $R_i=1\text{M}\Omega$, Αντίσταση εξόδου $R_o=0.5\Omega$, $A_{vo}=54\text{ dB}$

(α) Να βρείτε την ολική απολαβή τάσης A_v , την απολαβή ρεύματος A_i , και την απολαβή ισχύος A_p για τον ενισχυτή, και να εκφράσετε τα αποτελέσματα σε dB.

(β) Ποιο είναι το πλάτος V_s του ημιτονικού σήματος εισόδου v_s , το οποίο απαιτείται για να αποδώσει ισχύ ίση με 1 W στην αντίσταση φορτίου 16Ω ;

(γ) Πόση ισχύς καταναλίσκεται στον ενισχυτή, όταν αποδίδεται 1 W στην αντίσταση φορτίου;

$$A_{vo(db)} = 20 \log(A_{vo}) \Rightarrow \frac{A_{vo(db)}}{20} = \log(A_{vo}) \Rightarrow A_{vo} = 10^{\frac{54}{20}} = 501.2$$

$$|A_v| = A_{vo} \frac{R_i}{R_s + R_i} \frac{R_L}{R_o + R_L} = 501.2 \frac{1\text{M}\Omega}{1\text{k}\Omega + 1\text{M}\Omega} \frac{16\Omega}{0.5\Omega + 16\Omega} = 485.5$$

$$A_{v(db)} = 20 \log(A_v) = 20 \log(485.5) = 53.7\text{ db}$$

$$|A_i| = \frac{I_o}{I_i} = \frac{\frac{V_o}{R_L}}{\frac{V_s}{R_s + R_i}} = \frac{V_o}{V_s} \frac{R_s + R_i}{R_L} = A_v \frac{R_s + R_i}{R_L} = 485.5 \frac{1\text{k}\Omega + 1\text{M}\Omega}{16\Omega} = 3.041 \cdot 10^7$$

Παράδειγμα Ι (συνέχεια)

$$A_{i(db)} = 20\log(A_i) = 20\log(3.041 \cdot 10^7) = 150db$$

$$A_p = A_v \cdot A_i = 485.5 \cdot (3.041 \cdot 10^7) = 1.478 \cdot 10^{10}$$

$$A_{p(db)} = 10\log(A_p) = 10\log(1.478 \cdot 10^{10}) = 102db$$

$$P_o = \left(\frac{V_o}{\sqrt{2}} \right)^2 \frac{1}{R_L} \Rightarrow V_o = \sqrt{2P_o R_L} = 5.657V$$

$$V_s = \frac{V_o}{A_v} \Rightarrow V_s = \frac{5.657}{485.5} V = 11.65mV$$

Η R_o και η R_L διαρρεονται από το ίδιο ρεύμα, I_o . Άρα μπορούμε να πούμε :

$$P_o = \frac{I_o^2}{2} R_L \Rightarrow \frac{I_o^2}{2} = \frac{P_o}{R_L} \Rightarrow \frac{I_o^2}{2} = \frac{1W}{16\Omega} = \frac{1}{16} A^2$$

$$P_{Ro} = \frac{I_o^2}{2} R_o \Rightarrow P_{Ro} = \frac{1}{16} A \cdot 0.5\Omega = 31.25mW$$

$$P_{Ri} = \frac{I_s^2}{2} R_i \Rightarrow P_{Ri} = \left(\frac{\left(\frac{V_s}{R_i + R_s} \right)^2}{2} \right) R_i = 67.7pW$$

$$P = 31.25mW + 67.7pW \approx 31.3mW$$