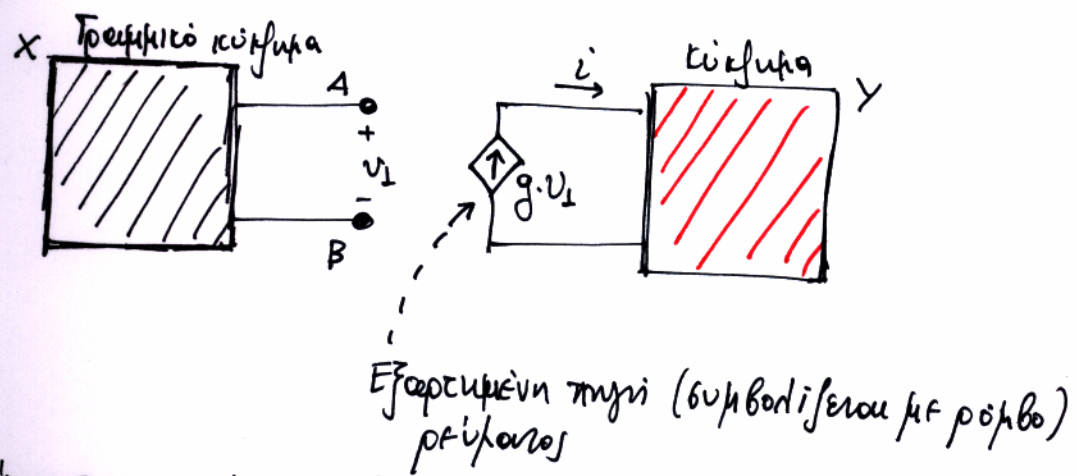


Εξαρτημένες πηγές ή ο ενισχυτής

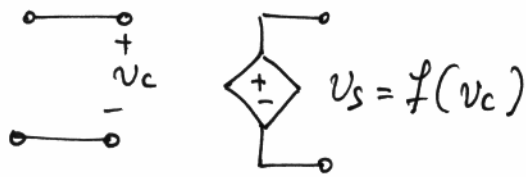
Μέχρι τώρα ασχοληθήκαμε με πηγές οι οποίες είναι ανεξάρτητες και ιδανικές. Δε μελαβήθηκαν δηλαδή η τάση ή το ρεύμα που παρέχουν στο κύκλωμα στο οποίο είναι συνδεδεμένες. Ξαμ ενόσμια αυτι θα ασχοληδούμε με τη εξαρτημένη πηγές τόσο τάσης όσο και ρεύματος. Η τιμή τη τάσης ή του ρεύματος που παρέχω οι εξαρτημένη πηγές είναι μια συνάρτηση μιας μεταβλητή του κυκλώματος (μιας αλλημ διαφοράς δυναμικού ή ενός άλλου ρεύματος). Για παράδειγμα:



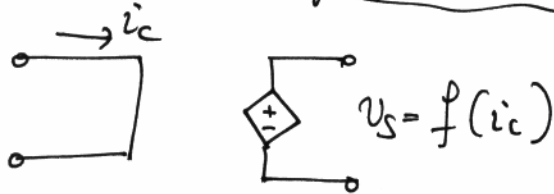
Το ρεύμα που παρέχει η εξαρτημένη πηγή στο κύκλωμα γ είναι ίσο με $g \cdot v_1$ όπου g μια σταθερά και v_1 η διαφορά δυναμικού που αναπτύσσεται στα άκρα A & B ενός άλλου - ανεξάρτητου κυκλώματος χ . Έτσι, ουσιαστικά το ρεύμα i που κυλάει μέσα στο κύκλωμα γ προκύπτει ουσιαστικά από τη μέτρηση τη τάσης v_1 . Όσο πιο μεγάλη η v_1 τόσο πιο μεγάλο η το ρεύμα i . Θα μπορούσαμε να μεληδούμε τη λειτουργία τη εξαρτημένη πηγής αν αλλάζαμε την τιμή τη πηγής ρεύματος ανάλογα με την τιμή που θα βλέπαμε σε ένα βολτόμετρο το οποίο θα είχαμε συνδέσει στα άκρα A & B του κυκλώματος χ .

Τα είδη των εξαρτημένων πηγών είναι τέσσερα:

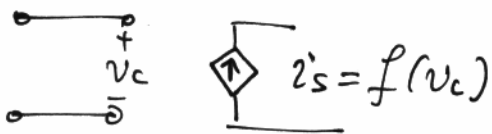
⊙ Εξαρτιμένη πηγή τάσης ελεγχόμενη από τάση



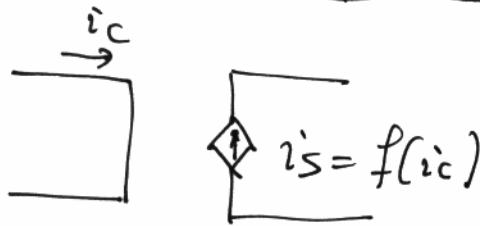
⊙ Εξαρτιμένη πηγή τάσης ελεγχόμενη από ρεύμα



⊙ Εξαρτιμένη πηγή ρεύματος ελεγχόμενη από τάση

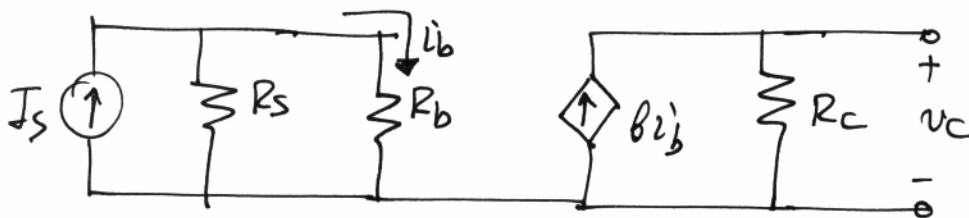


⊙ Εξαρτιμένη πηγή ρεύματος ελεγχόμενη από ρεύμα



⊙ Ανάλυση κυκλωμάτων που περιέχουν εξαρτιμένες πηγές

Ουσιαστικά οι εξαρτιμένες πηγές δεν εισάγουν καμία επιπλέον δυσκολία στην ανάλυση των κυκλωμάτων, η οποία μπορεί να αντιμετωπισθεί με τα εργαλεία που αναπτύξαμε μέχρι τώρα. Παράδειγμα:



Σκοπός μας είναι να βρούμε την τάση v_c στην έξοδο του κυκλώματος. Εξαιτίας της εξαρτιμένης πηγής ρεύματος καλό θα ήταν να αντιμετωπίσουμε την ανάλυση του κυκλώματος χωριστά. Δηλαδή να βρούμε πρώτα μια σχέση για το i_b από το αριστερό υπο-κύκλωμα την οποία στη συνέχεια θα

ανακατασκευάσουμε στο δεξί υπο-κύκλωμα "εφαρμόζοντας" έργο των εξαρτηθέντων πηγών ρεύματος από την τιμή του ρεύματος i_b .

Από τη σχέση του διαρρέει ρεύματος γνωρίζουμε ότι $i_b = \frac{G_b}{G_s + G_b} \cdot I_s$
 όπου $G_s = \frac{1}{R_s} \rightarrow G_b = \frac{1}{R_b}$ οι αγωγιμότητες των αντιστάσεων R_s & R_b .

Καθόλου πράξεις $i_b = \frac{R_s}{R_s + R_b} \cdot I_s$. Επομένως η τιμή του i_b που είναι άγνωστη και έχει ανακαταγραφεί από γνωστή τιμή του κυκλώματος.

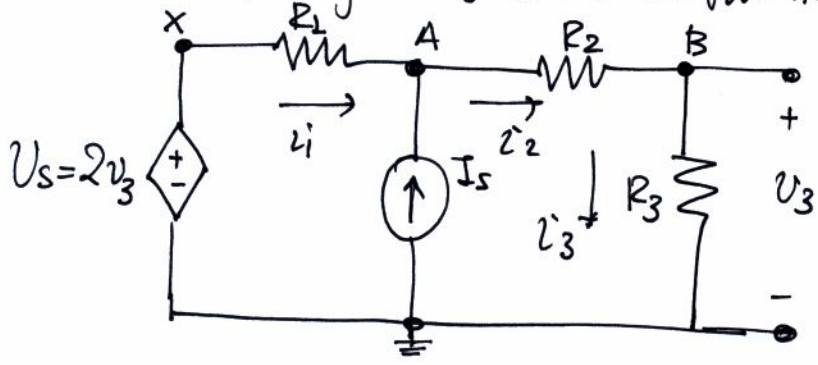
Τώρα στη δεξιά πλευρά έχουμε την R_c να διαρρέεται από ρεύμα $\beta \cdot i_b$.

Έτσι η διαφορά δυναμικού στα άκρα της είναι $v_c = \beta \cdot i_b \cdot R_c \rightarrow$ μέγεθος των ανακατασκευών του i_b

$$v_c = \beta \frac{R_c \cdot R_s}{R_s + R_b} \cdot I_s$$

Η τάση v_c διαφέρει είναι μια γραμμική συνάρτηση των βολτικίων του κυκλώματος (λόγω τοπολογίας) πολλαπλασιασμένη με μια σταθερά β (ενισχυμένη κατά β) εξαιτίας της εξαρτημένης πηγής ρεύματος. * Τις εξαρτημένες πηγές τις μετράμε γιατί διαφέρουν αναλυματικά βολτικία όπως τα τρανζίστορ κοινών απο ορισμένες βωθνήκειν βωμπεριφροντωσ βων τζωσιει *

Ας δούμε για λόγους εξάσκησης ένα πιο σύνθετο παράδειγμα.



Αφού αναδέσμεψαμε αυθαίρετα φορές ρεύματων θα εφαρμόζαμε τον ΚΚΛ στους κόμβους Α και Β.

KCL(A): $i_1 + I_s = i_2 \Rightarrow \frac{v_x - v_A}{R_1} + I_s = \frac{v_A - v_B}{R_2}$

KCL(B): $i_2 = i_3 \Rightarrow \frac{v_A - v_B}{R_2} = \frac{v_B}{R_3}$

Γνωρίζουμε επίσης πως $v_x = V_s = 2V_3$ και ότι $v_B = V_3$

Έτσι με τη συνήθη αντιστάθμιση των εξαρτημένων μεταβλητών προκύπτει το εξής σύστημα:

από εξαρτημένη πηγή

$$\frac{3 \cdot v_B - v_A}{R_1} + I_s = \frac{v_A - v_B}{R_2}$$

2 εξισώσεις, 2 αγνώστοι v_A & v_B .

$$\frac{v_A - v_B}{R_2} = \frac{v_B}{R_3}$$

Μετά από πράξεις προκύπτει ότι $v_A = \frac{R_1 \cdot (R_2 + R_3)}{R_1 + R_2 + R_3} \cdot I_s$

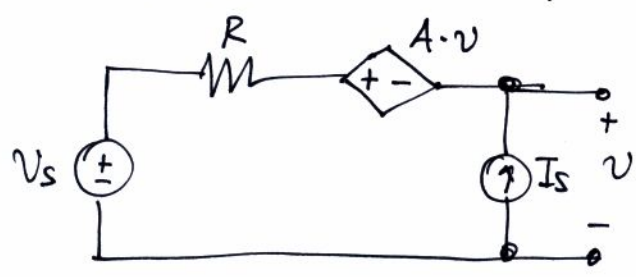
$$v_B = \frac{R_1 \cdot R_3}{R_1 + R_2 + R_3} \cdot I_s$$

Ανάλυση κυκλωμάτων με εξαρτημένη πηγή χρησιμοποιώντας την αρχή της επαλληλίας.

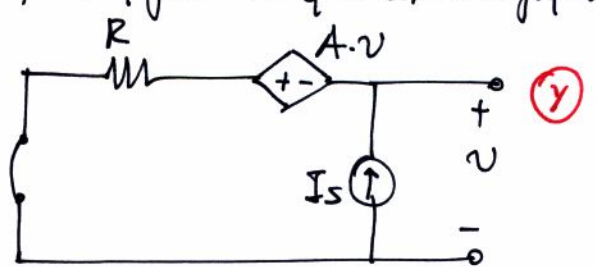
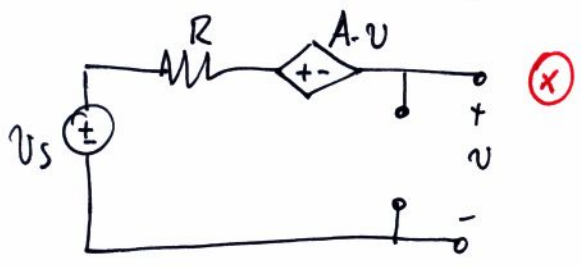
Σε ένα κύκλωμα που περιέχει τόσο ανεξάρτητα όσο και εξαρτημένες πηγές εφαρμόζουμε την αρχή της επαλληλίας σύμφωνα με τους δύο κανόνες:

- Αφαιρούμε τις εξαρτημένες πηγές ανεήκερι.
- Αναλύουμε το κύκλωμα κρατώντας μια ανεξάρτητη πηγή τη φορά και μηδενίζοντας τη υπόλοιπη σε κάθε βήμα της επαλληλίας.

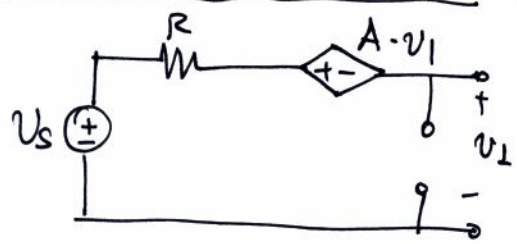
Ας δούμε την εφαρμογή των κανόνων μέσω ενός παραδείγματος:



Με βάση την αρχή της επαλληλίας το κύκλωμα χωρίζεται σε δύο υπο-κυκλώματα:



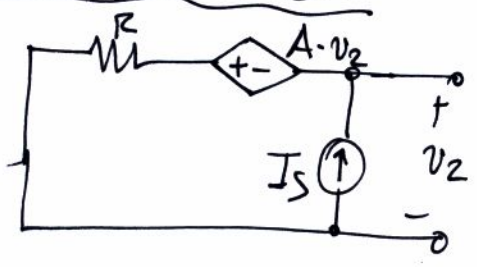
Για τον υπο-περίπτωση (X):



Ονομάζουμε την τάση \$v\$ σε \$v_1\$ ώστε να ξεχωρίζουμε τα αποτελέσματα των δύο υπο-περιπτώσεων X και Y.

Αν εφαρμόσουμε τον ΚVL στο βρόχο έχουμε $A \cdot v_1 + v_1 - V_s = 0$. Η τάση τάση στα άκρα της \$R\$ είναι μηδέν εφόσον δε διαρρέεται από ρεύμα λόγω του ανοιχτοκυκλώματος. Επομένως, $v_1 = \frac{V_s}{1+A}$

Για την περίπτωση (Y):

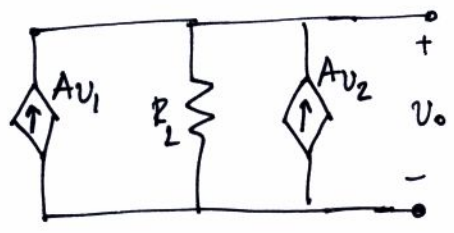
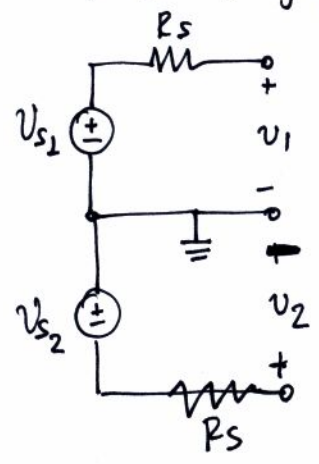


Λόγω της πηγής ρεύματος η αντίστροφη διαρρέεται από ρεύμα \$I_s\$ οπότε η διαφορά δυναμικού στα άκρα της είναι $V_R = I_s \cdot R$.

Έτσι από τον ΚVL στο βρόχο: $v_2 - V_R + A \cdot v_2 = 0 \Rightarrow v_2 = \frac{I_s \cdot R}{1+A}$

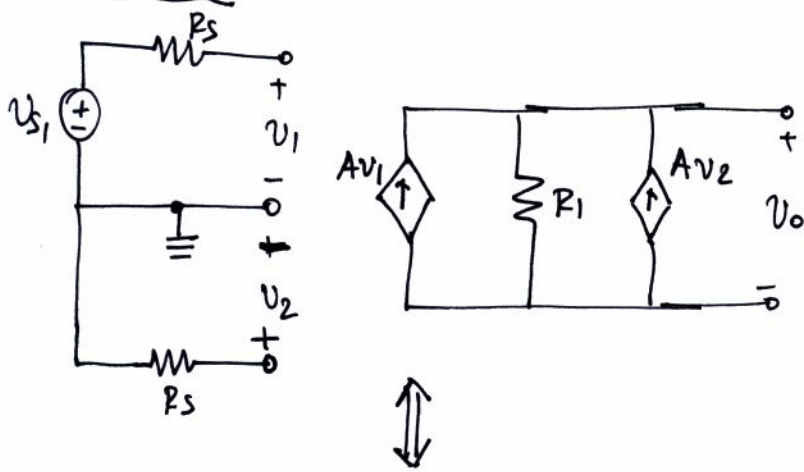
Από τις δύο περιπτώσεις η τάση \$v\$ στο αρχικό κύκλωμα είναι $v = \frac{1}{1+A} (V_s + I_s R)$

Στην περίπτωση που ο μηδενισμός μιας ανεξάρτητης πηγής οδηγούσε στο μηδενισμό και της ελεγχόμενης εξαρτημένης πηγής αυτό δε μας εννοχεί:

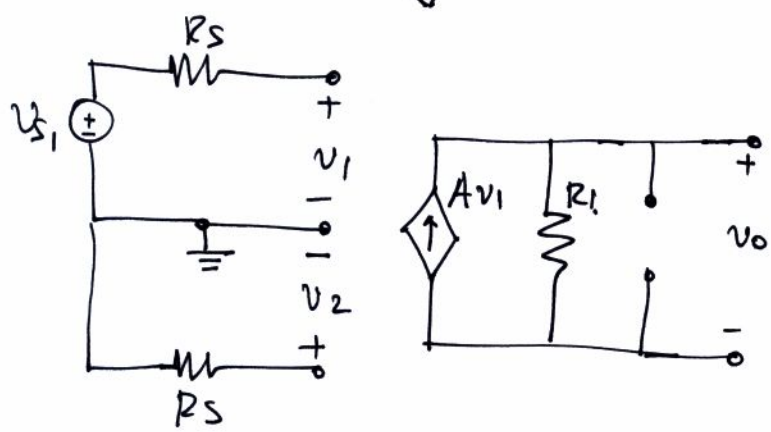


Εφαρμόζοντας την αρχή της επαλληλίας εμφανίζονται οι εξής 2 υπο-περιπτώσεις:

Περίπτωση (Α)

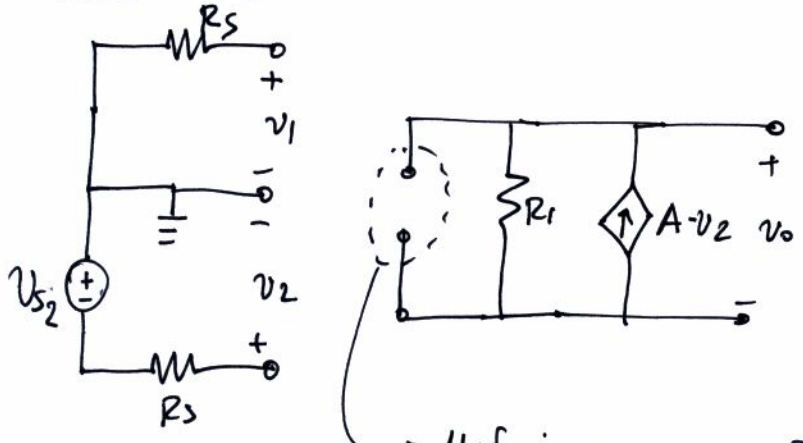


Εφόσον η πηγή τάσης U_{S2} έχει μηδενιστεί τότε η τάση v_2 είναι ίση με 0V. Έτσι το ρεύμα που δίνει η αντιστοιχη εξαρτημένη πηγή ρεύματος είναι κι αυτό 0. Επομένως η αντιστοιχη εκδοχή του υπο-κυκλώμα (Α) είναι η εξής



$$\left. \begin{aligned} v_0^{(A)} &= A \cdot v_1 \cdot R_1 \\ v_1 &= U_{S1} \end{aligned} \right\} \Rightarrow v_0^{(A)} = A \cdot R_1 \cdot U_{S1}$$

Περίπτωση (Β)



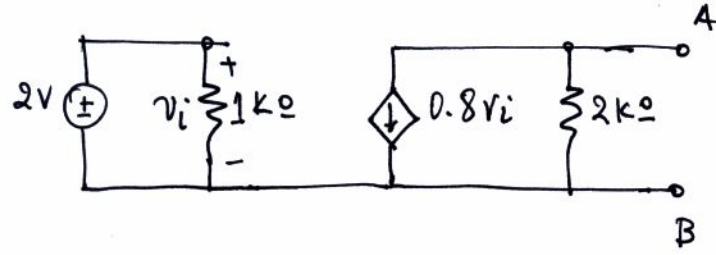
$$\Rightarrow v_0^{(B)} = -A \cdot R_1 \cdot U_{S2}$$

Μηδενίστηκε για να μηδενιστεί η πηγή U_{S1} με αποτέλεσμα $v_1 = 0V$.

Επομένως από τις δύο περιπτώσεις $v_0 = v_0^{(A)} + v_0^{(B)} = A \cdot R_1 \cdot (U_{S1} - U_{S2})$

Εύρεση κατά Thevenin ισοδύναμου

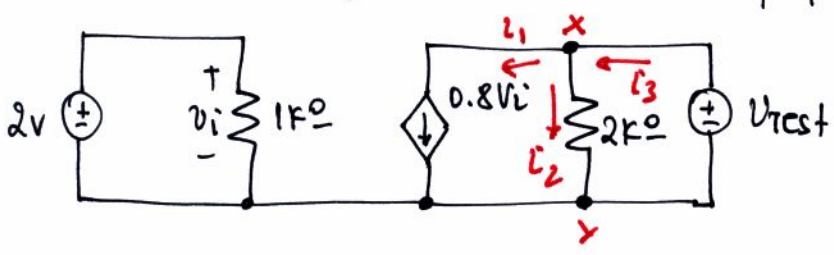
Στην περίπτωση που το κύκλωμα περιέχει εξαρτημένη πηγή τότε ο καλύτερος τρόπος εύρεσης του κατά Thevenin ισοδύναμου είναι με τη χρήση μιας δοκιμαστικής πηγής τάσης V_{test} . Ας δούμε τη διαδικασία βήμα από ένα παράδειγμα.



Αναζητούμε το κατά Thevenin ισοδύναμο κύκλωμα όπως αυτό φαίνεται από τα άκρα A και B του κυκλώματος.

Εφαρμόζουμε για άκρα A και B

μία τάση τάσης ελέγχου ίση με V_{test} και μετράμε το ρεύμα i_{test} που τη διαρρέει

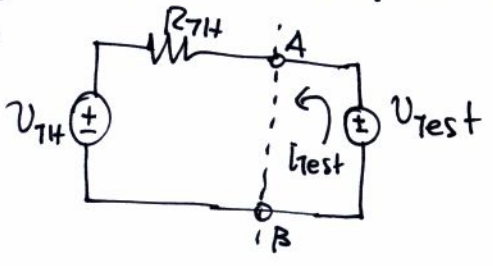


Από του ΚCL στον κόμβο X : $i_3 = i_1 + i_2 \rightarrow 0.8v_i + \frac{V_{test}}{2k} = i_3$
 $i_3 = i_{test}$ το ρεύμα που διέρχεται } \rightarrow

$\Rightarrow i_{test} = \frac{V_{test}}{2k} + 0.8v_i$

Η τάση v_i είναι ίση με 2V από το αριστερό υπο-κύκλωμα } $\rightarrow i_{test} = 1.6 + \frac{V_{test}}{2k}$

Όταν θα βριστάμε το Thevenin ισοδύναμο για άκρα A και B με την ίδια τάση ελέγχου V_{test} θα είχαμε το εξής ισοδύναμο κύκλωμα:



όπου $i_{test} = 1.6 + \frac{V_{test}}{2k}$

Η Thevenin ισοδύναμη τάση V_{TH} αντιστοιχεί στην τάση ανοικτού κυκλώματος. Δηλαδή στην τιμή του V_{test} που αντιστοιχεί στο $i_{test} = 0 \Rightarrow V_{test} = V_{TH} = -3.2$

Αντίστοιχα με R_{TH} μπορούμε ποσο εύκολα να την υποβριστούμε θέτοντας $V_{test} = 1V$. Τότε $R_{TH} = \frac{V_{TH} - V_{test}}{i_{test}}$.

Βασική αρχή λειτουργίας των ενισχυτών

Ο ενισχυτής είναι μία διπορική συσκευή η οποία δέχεται μια είσοδο i_n και παράγει μια έξοδο o_u_t ώστε $o_u_t = \text{gain} \times i_n$. Με gain συμβολίζουμε το κέρδος του ενισχυτή. Εφόσον η σχέση που συνδέει την είσοδο με την

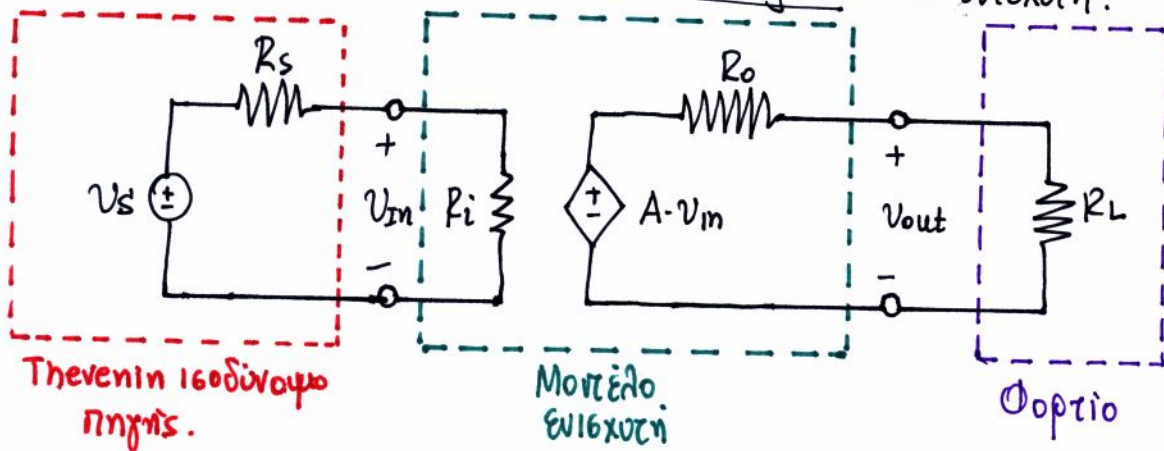


είσοδο είναι γραμμική ο ενισχυτής καλείται ως γραμμικός ενισχυτής.

Ο ενισχυτής δέχεται την είσοδο του από μια πηγή και δίνει την έξοδο του σε ένα φορτίο. Η πιο συνήθης μορφή ενισχυτή είναι ο ενισχυτής τάσης, ο οποίος

δέχεται μια είσοδο v_{i_n} και παράγει μια τάση $v_{o_u_t}$. Κάθε άδρα (πύρα είσοδου & έξοδου) του ενισχυτή μπορεί να μοντελοποιηθεί με το κατά Thévenin ισοδύναμο κύκλωμα τμ το οποίο αποτελείται από μια πηγή τάσης & μια αντίσταση σε σειρά.

Η πύρα είσοδου συνήθως έχει παθητικό ρόλο επομένως αρκεί να τη μοντελοποιήσουμε σαν μια αντίσταση R_i που καλείται αντίσταση είσοδου του ενισχυτή. Η πύρα έξοδου μοντελοποιείται σαν μια εξαρτημένη πηγή τάσης ελεγχόμενη από τάση, ώστε να συνδεθεί η σχέση τμ τάσης έξοδου $v_{o_u_t}$ με την τάση είσοδου v_{i_n} , σε σειρά με μια αντίσταση R_o που καλείται αντίσταση έξοδου του ενισχυτή.



Με A συμβολίζουμε το κέρδος του ενισχυτή. Η πηγή μοντελοποιήθηκε επίσης με το κατά Thévenin ισοδύναμο κύκλωμα τμ ενώ το φορτίο αναπαριστάται από μια αντίσταση R_L .

Με βάση αυτό το μοντέλο θέλουμε να εκφράσουμε την τάση v_{out} που δίνει η πηγή. Αν εφαρμόσουμε το διαρέτι τάσης στο δεξιό μέρος του κυκλώματος (τμήμα εξόδου ενισχυτή και φορτίο) έχουμε ότι

$$v_{out} = \frac{R_L}{R_o + R_L} A \cdot v_{in}$$

Αν κάνουμε το ίδιο στο θύρα εισόδου έχουμε

$$v_{in} = \frac{R_i}{R_i + R_s} v_s$$

Αντικαθιστώντας το v_{in} προκύπτει ότι

$$\frac{v_{out}}{v_s} = \frac{R_i}{R_i + R_s} \cdot A \cdot \frac{R_L}{R_o + R_L} \quad \left. \vphantom{\frac{v_{out}}{v_s}} \right\} \text{πραγματικό κέρδος.}$$

Όπως το σήμα v_s προκύπτει από την πηγή προς το φορτίο υφίσταται κάποιες αλλοιώσεις. Αρχικά στην είσοδο αλλοιώνεται κατά $\frac{R_i}{R_i + R_s}$ στη συνέχεια μεταδίδεται κατά A η στην έξοδο αλλοιώνεται και πάλι εξαιτίας του $\frac{R_L}{R_o + R_L}$.

Εξαιτίας αυτών των φαινομένων πάντα $\left| \frac{v_o}{v_s} \right| \leq |A|$. Δηλαδή είναι ποσοστό δύσκολο ο ενισχυτής να πετύχει το ονομαστικό του κέρδος. Θα δούμε στη συνέχεια ποιες συνθήκες πρέπει να πληρούνται για να γίνει αυτό.

Αν έχουμε έναν ενισχυτή με $R_i = 100k\Omega$, $A = 100V/V$ η $R_o = 1\Omega$ ο οποίος οδηγείται από μια πηγή $R_s = 25k\Omega$ η οδηγεί ένα φορτίο $R_L = 3\Omega$ τότε η πραγματική ενίσχυση του v_o ως προς το v_s είναι

$$\frac{v_o}{v_s} = \frac{100k}{100k + 25k} \times 100 \times \frac{3}{1 + 3} = 0.8 \times 100 \times 0.75 = 60V/V$$

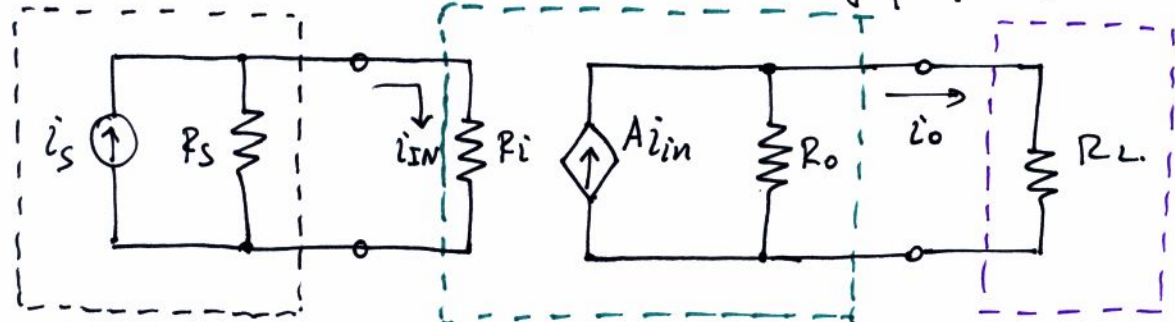
Το οποίο είναι μικρότερο του 100 λόγω των αλλοιώσεων που εισάγουν οι αντιστάσεις (input η output loading). Η αλλοίωση από την πλευρά της εισόδου προκαλεί μείωση της τάσης στο 80% της καλύτερης της (χωρίς input loading) ενώ το φορτίο στην έξοδο προκαλεί μια επιπλέον αλλοίωση της τάσης στο 75%.

Οι αλληλοπυκνωτές αυτές δεν είναι επιθυμητές γιατί κάνουν το τελικό γέρας της ενισχυτικής να εξαρτάται από τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά της πηγής (αυτίσωση R_s) και του φορτίου (R_L). Από την πλευρά της πηγής η αλληλοπυκνωτική είναι προφανής γιατί συμβαίνει. Η αυτίσωση εισόδου του ενισχυτή R_i τραβάει ρεύμα από την πηγή προκαλώντας μια επιπλέον πτώση τάσης στην R_s . Η πτώση τάσης αυτή ουσιαστικά αφαιρείται από τη v_s δημιουργώντας μια τάση v_{in} που είναι μικρότερη από τη ζητούμενη v_s . Αντίστοιχα, από την πλευρά της εξόδου η τάση v_o είναι μικρότερη από αυτή που προσφέρει η εξαρτημένη πηγή $A \cdot v_{in}$ εξαιτίας της πτώσης τάσης στα άκρα της R_o που προκαλείται από το ρεύμα που καταναλώνει το φορτίο R_L .

Αν οι αλληλοπυκνωτές μπορούσαν να εξαλειφθούν τότε θα είχαμε $\frac{v_o}{v_s} = A$. Για να συμβεί αυτό θα πρέπει η πτώση τάσης στα άκρα των R_s και R_o να είναι μηδέν. Ο μόνος τρόπος για να το επιτύχουμε αυτό είναι να απαιτήσουμε ο ενισχυτής τάσης που σχεδιάζουμε να χαρακτηρίζεται από μια αυτίσωση εισόδου $R_i = \infty$ και μηδενική αυτίσωση εξόδου $R_o = 0$. Αυτός ο ενισχυτής θα ήταν ιδανικός. Ουσιαστικά αυτός δε μπορεί να εντεταχθεί.

Πάντως αρκεί σε κάθε περίπτωση να εξασφαλίζουμε ότι $R_i \gg R_s$ και $R_o \ll R_L$ για όλες τις δυνατές πηγές και όλα τα δυνατά φορτία για οποία ο ενισχυτής μας θα συνδεθεί.

Μια άλλη δημοφιλή συνδεσμολογία είναι ο ενισχυτής ρεύματος.



Πηγή - Norton Ισοδύναμο

Ενισχυτής Ρεύματος

Φορτίο

Η πραγματική ενίσχυση ρεύματος που επιτυγχάνεται είναι

$$\frac{i_o}{i_s} = \frac{R_s}{R_s + R_L} \cdot A \cdot \frac{R_o}{R_o + R_L}$$

Για να εμφανίσουμε τη αλλοίωση στην ιδανική περίπτωση θα θέλαμε ο ενισχυτής που σχεδιάζουμε να έχει $R_i = 0$ και $R_o = \infty$. Το αντίθετο συμβαίνει από τον ενισχυτή ταίβη.

Ένας ενισχυτής που δέχεται σαν είσοδο μια τάση v_{in} και η έξοδος του είναι ένα ρεύμα i_o καλείται ενισχυτής διαγωγιμότητας (transconductance amplifier). Από την πλευρά της εισόδου μοιάζει με ενισχυτή τάσης ενώ από την πλευρά της εξόδου μοιάζει με τον ενισχυτή ρεύματος μόνο που η εξαρτημένη πηγή είναι μια πηγή ρεύματος ελεγχόμενη από τάση.

Στην ιδανική περίπτωση, ώστε να μειώσουμε τη αλλοίωση θα θέλαμε $R_i = \infty$ και $R_o = \infty$.

Η αντίθετη περίπτωση καλείται ενισχυτής δι-αντίστασης (trans-resistance amplifier). Δέχεται σαν είσοδο ένα ρεύμα i_{in} και παράγει μια τάση v_{out} . Η λειτουργία του ελέγχεται από μια εξαρτημένη πηγή τάσης ελεγχόμενη από ρεύμα και στην ιδανική περίπτωση θα απαιτούσε $R_i = R_o = 0$.

* Τα μοντέλα αυτά των ενισχυτών είναι χρήσιμα ώστε να κατανοήσουμε τις απαιτήσεις που θα έχουμε να αντιμετωπίσουμε κατά τη σχεδίαση των ίδιων των ενισχυτών με τρανζίστορ και άλλα κυκλωματικά στοιχεία *