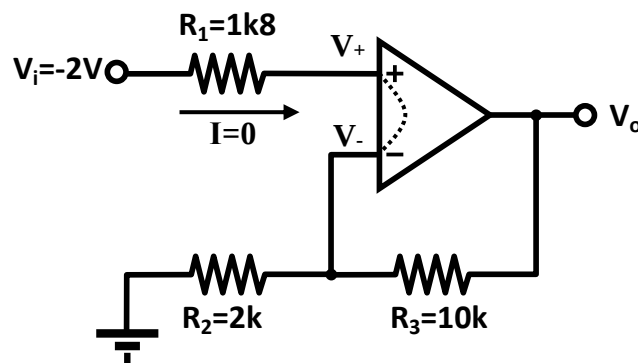




## ΛΥΣΕΙΣ (ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΩΝ) ΑΣΚΗΣΕΩΝ ΘΕΩΡΙΑΣ

### Δ-ΤΕΛΕΣΤΙΚΟΙ ΕΝΙΣΧΥΤΕΣ

1. Δίνεται το κύκλωμα του πιο κάτω σχήματος, όπου ο τελεστικός ενισχυτής είναι ιδανικός. Να βρεθεί η τιμή της τάσης εξόδου ( $V_o$ ). Ποια η αντίσταση εισόδου του κυκλώματος;



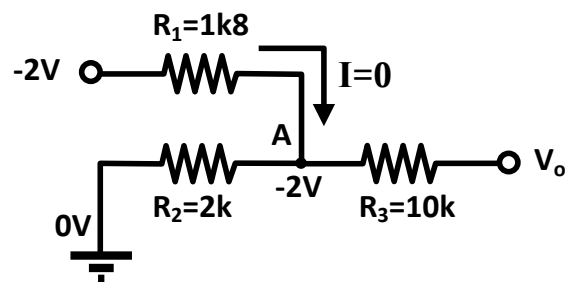
### ΛΥΣΗ

Δεδομένου ότι ο τελεστικός ενισχυτής είναι ιδανικός, η διαφορά δυναμικού μεταξύ των εισόδων του θα είναι μηδενική, άρα θα ισχύει:

$$V_+ = V_-.$$

Επιπλέον, το ρεύμα που απορροφούν οι εισόδους του τελεστικού ενισχυτή είναι μηδενικό.

Το κύκλωμα μπορεί να πάρει, επομένως, την πιο κάτω ισοδύναμη μορφή:



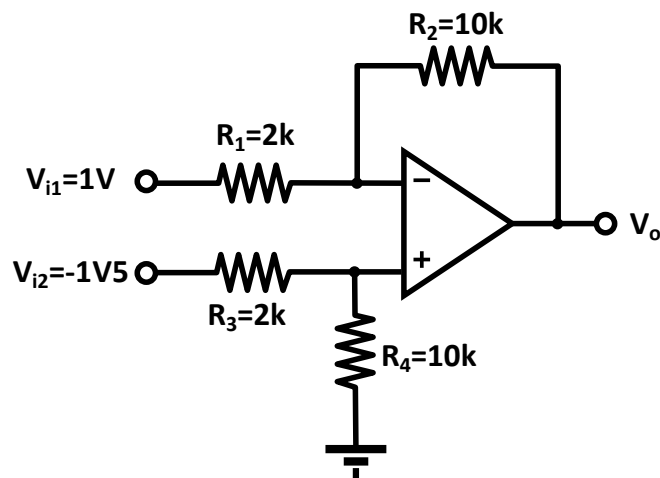
Αφού το ρεύμα που διαρρέει την αντίσταση  $R_1$  είναι μηδενικό, η τάση των  $-2V$  στην είσοδο του κυκλώματος θα μεταφέρεται αναλλοίωτη στο σημείο A.

Από τον διαιρέτη τάσης που σχηματίζουν οι αντιστάσεις  $R_2$  και  $R_3$  βρίσκουμε:

$$-2V = \frac{R_2}{R_2 + R_3} V_o \Rightarrow V_o = -2V \frac{R_2 + R_3}{R_2} \Rightarrow V_o = -2V \frac{2k\Omega + 10k\Omega}{2k\Omega} \Rightarrow V_o = -12V.$$

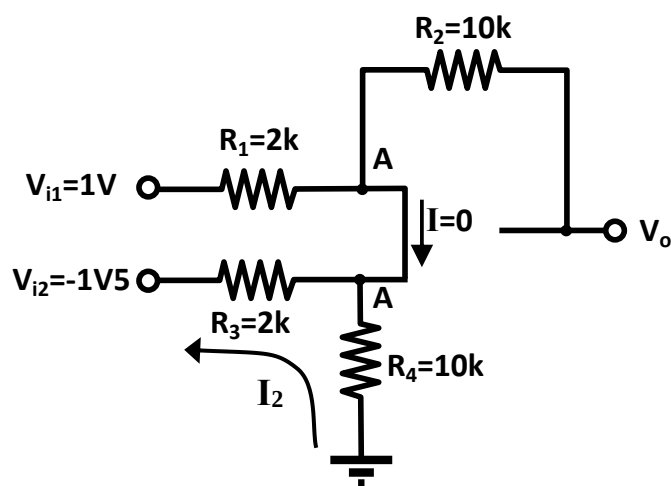
Το ρεύμα που απορροφά η είσοδος του κυκλώματος είναι μηδενικό, οποιαδήποτε και αν είναι η αντίστοιχη τιμή τάσης στην είσοδο. Επομένως η αντίσταση εισόδου είναι άπειρη.

3. Δίνεται το κύκλωμα του πιο κάτω σχήματος, όπου ο τελεστικός ενισχυτής είναι ιδανικός. Να βρεθεί η τιμή της τάσης εξόδου ( $V_o$ ). Ποια η αντίσταση εισόδου του κυκλώματος, όπως αυτή «φαίνεται» από την είσοδο  $V_{i2}$ ;



ΛΥΣΗ

Λαμβάνοντας υπόψη τις ιδιότητες του ιδανικού τελεστικού ενισχυτή (βλπ. και προηγούμενη άσκηση) το κύκλωμα μπορεί να πάρει την εξής ισοδύναμη μορφή:



Από τον διαιρέτη τάσης που σχηματίζουν οι αντιστάσεις  $R_1$  και  $R_2$  βρίσκουμε (βλπ. παράρτημα):

$$V_A = \frac{R_2 V_{i1} + R_1 V_o}{R_1 + R_2} \Rightarrow V_A = \frac{10k\Omega \cdot 1V + 2k\Omega \cdot V_o}{12k\Omega} \Rightarrow V_A = \frac{10V + 2V_o}{12}.$$

Από τον διαιρέτη τάσης που σχηματίζουν οι αντιστάσεις  $R_3$  και  $R_4$  βρίσκουμε:

$$V_A = \frac{R_4}{R_3 + R_4} V_{i2} \Rightarrow V_A = \frac{10k\Omega}{12k\Omega} (-1.5V) \Rightarrow V_A = -1.5 \frac{10}{12} V.$$

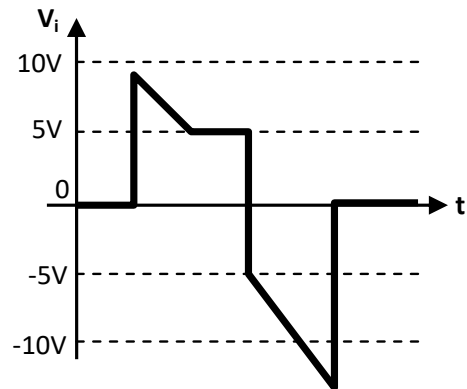
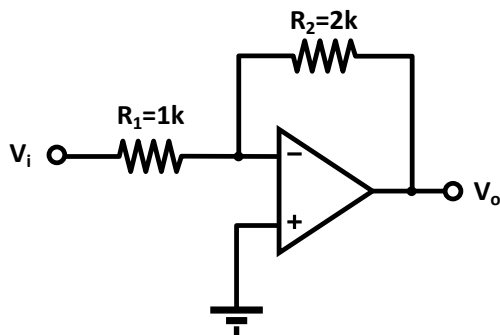
Εξισώνοντας τις δύο προηγούμενες εκφράσεις για την τάση  $V_A$  έχουμε:

$$V_A = \frac{10V + 2V_o}{12} = -1.5 \frac{10}{12} V \Rightarrow 10V + 2V_o = -15V \Rightarrow 2V_o = -25V \Rightarrow V_o = -\frac{25}{2} V \Rightarrow V_o = -12.5V.$$

Δεδομένου ότι το ρεύμα  $I_2$  που αντιστοιχεί στην είσοδο  $V_{i2}$  διέρχεται από τις αντιστάσεις  $R_3$  και  $R_4$ , η αντίστοιχη αντίσταση εισόδου  $R_{i2}$  θα είναι ίση με τον σε σειρά συνδυασμό των αντιστάσεων αυτών, άρα:

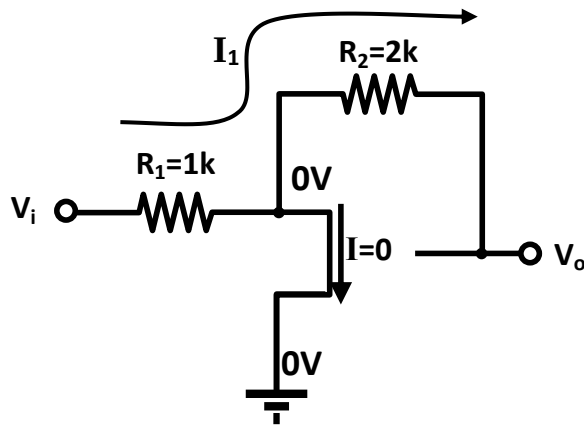
$$R_{i2} = R_3 + R_4 = 2k\Omega + 10k\Omega \Rightarrow R_{i2} = 12k\Omega.$$

4. Δίνεται το κύκλωμα του πιο κάτω σχήματος, όπου ο τελεστικός ενισχυτής είναι ιδανικός και τροφοδοτείται συμμετρικά με τάση  $\pm 10V$ . Να βρεθεί η κυματομορφή της τάσης εξόδου ( $V_o$ ) του κυκλώματος όταν η τάση εισόδου μεταβάλλεται κατά τον τρόπο που υποδεικνύεται στο σχήμα.



ΛΥΣΗ

Λαμβάνοντας υπόψη τις ιδιότητες του ιδανικού τελεστικού ενισχυτή το κύκλωμα μπορεί να πάρει την εξής ισοδύναμη μορφή:



Ο νόμος του Ohm για την αντίσταση  $R_1$  δίνει:

$$I_1 = \frac{V_i - 0V}{R_1} \Rightarrow I_1 = \frac{V_i}{R_1}.$$

Ο νόμος του Ohm για την αντίσταση  $R_2$  δίνει:

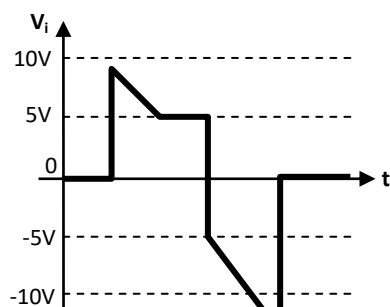
$$I_1 = \frac{0V - V_o}{R_2} \Rightarrow I_1 = -\frac{V_o}{R_2}.$$

Εξισώνοντας τις δύο πιο πάνω εκφράσεις για το ρεύμα  $I_1$  βρίσκουμε:

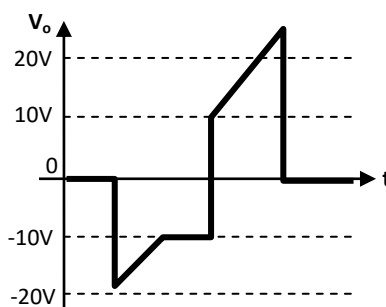
$$I_1 = \frac{V_i}{R_1} = -\frac{V_o}{R_2} \Rightarrow V_o = -\frac{R_2}{R_1} V_i \Rightarrow V_o = -\frac{2k\Omega}{1k\Omega} V_i \Rightarrow V_o = -2V_i,$$

η οποία δίνει τη σχέση της τάσης εξόδου με την τάση εισόδου του κυκλώματος.

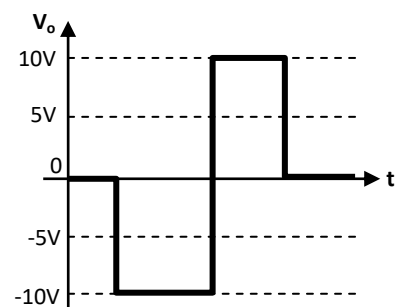
Από τη σχέση αυτή διαπιστώνουμε πως το κύκλωμα λειτουργεί ως αναστρέφων ενισχυτής με απολαβή (κέρδος) τάσης ίση με 2. Αν δεν υπήρχαν περιορισμοί στην τάση τροφοδοσίας του τελεστικού ενισχυτή, η τάση εξόδου του κυκλώματος θα ήταν διπλάσια της τάσης εισόδου και με αντίθετο πρόσημο. Στην περίπτωση αυτή, για το σήμα εισόδου που μας δίνεται («Α» στο επόμενο σχήμα) η τάση στην έξοδο θα είχε τη μορφή «Β». Παρόλα αυτά η τροφοδοσία του τελεστικού ενισχυτή περιορίζεται στα  $\pm 10V$ , οπότε η ιδανική κυματομορφή «Β» ψαλιδίζεται στην πράξη, σύμφωνα με το «Γ».



Α



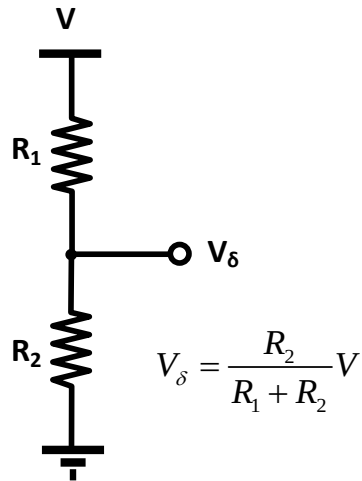
Β



Γ

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ – Λίγα λόγια για τον διαιρέτη τάσης

Η απλούστερη μορφή διαιρέτη τάσης που συναντάμε στα ηλεκτρονικά κυκλώματα είναι η εξής:

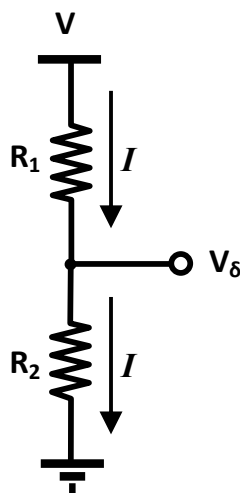


Είναι εύκολο να αποδείξουμε ότι η τάση  $V_\delta$  που παρέχει ο διαιρέτης δίνεται από τη σχέση:

$$V_\delta = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V.$$

Απόδειξη:

Το ρεύμα που διαρρέει τις δύο αντιστάσεις του διαιρέτη είναι κοινό, όπως φαίνεται στο πιο κάτω σχήμα.



Ο νόμος του Ohm εφαρμοζόμενος για την αντίσταση  $R_1$  δίνει:

$$I = \frac{V_{R1}}{R_1} \Rightarrow I = \frac{V - V_\delta}{R_1},$$

όπου  $V_{R1}$  η τάση στα άκρα του αντιστάτη  $R_1$ .

Εργαζόμενοι παρόμοια για την αντίσταση  $R_2$  βρίσκουμε:

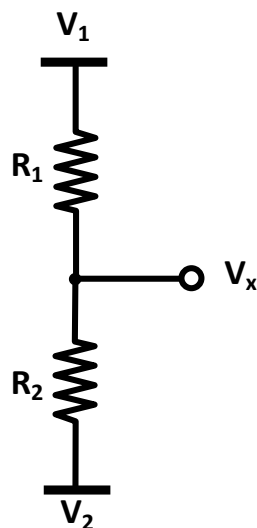
$$I = \frac{V_{R2}}{R_2} \Rightarrow I = \frac{V_\delta - 0}{R_2} \Rightarrow I = \frac{V_\delta}{R_2},$$

όπου  $V_{R2}$  η τάση στα άκρα του αντιστάτη  $R_2$ .

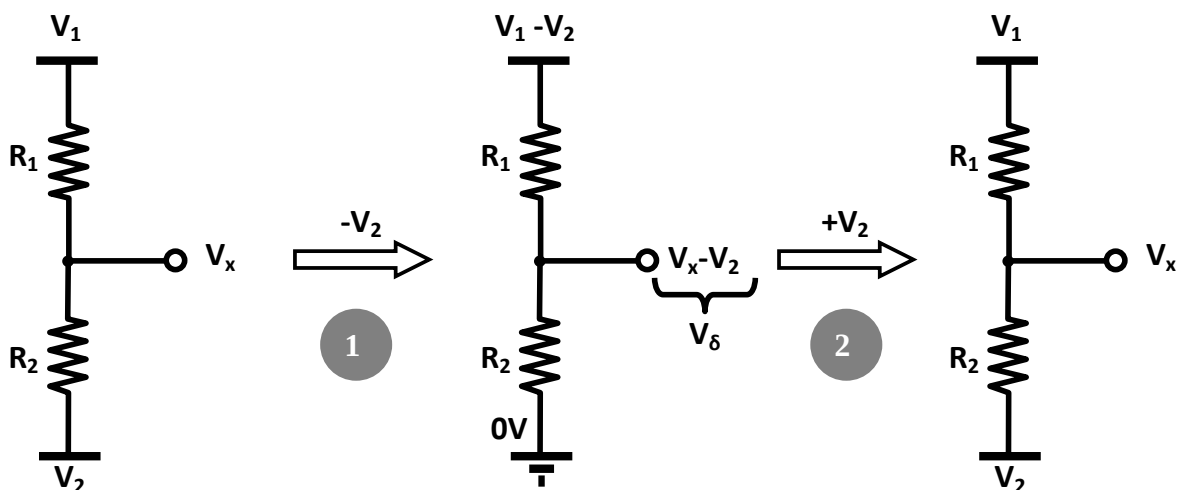
Εξισώνοντας τις δύο πιο πάνω εκφράσεις του ρεύματος παίρνουμε:

$$\frac{V - V_\delta}{R_1} = \frac{V_\delta}{R_2} \Rightarrow V - V_\delta = \frac{R_1}{R_2} V_\delta \Rightarrow V = \frac{R_1}{R_2} V_\delta + V_\delta \Rightarrow V = \frac{R_1 + R_2}{R_2} V_\delta \Rightarrow \underline{V_\delta = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V}.$$

Σε αρκετές περιπτώσεις θα συναντήσουμε διαιρέτες τάσης της μορφής:



Για τον υπολογισμό της τάσης  $V_x$  που παρέχει ο συγκεκριμένος διαιρέτης μπορούμε να εργαστούμε με βάση τη μεθοδολογία που υποδεικνύει το ακόλουθο σχήμα:



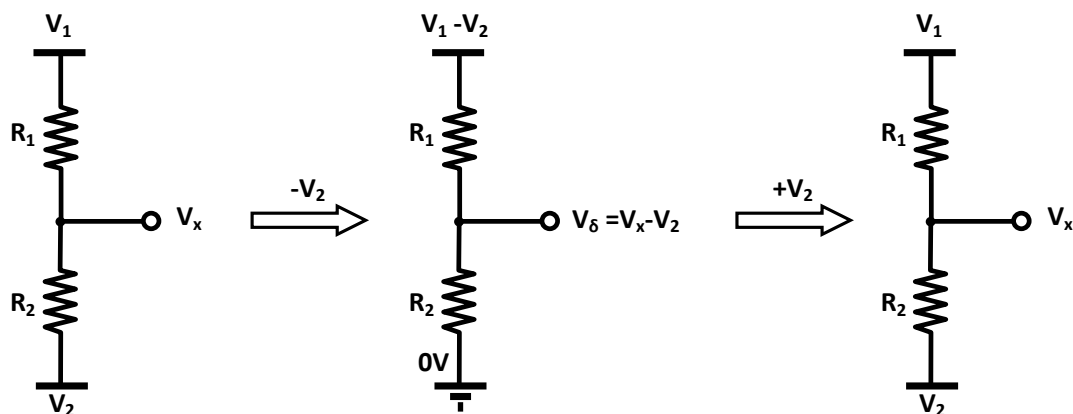
Πιο συγκεκριμένα:

1. Αφαιρούμε (ή προσθέτουμε) από όλα τα σημεία του κυκλώματος κατάλληλη τιμή τάσης ώστε μία από τις δύο τάσεις τροφοδοσίας του διαιρέτη να μηδενιστεί.
2. Υπολογίζουμε την τάση  $V_\delta$  που παρέχει ο «ισοδύναμος» διαιρέτης με βάση τη γνωστή μας σχέση  $V_\delta = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V$ .
3. Προσθέτουμε (ή αφαιρούμε) σε όλα τα σημεία του κυκλώματος την τάση που αφαιρέσαμε (ή προσθέσαμε) στο βήμα «1», ώστε να βρούμε την τιμή της τάσης  $V_x$ .

Εφαρμόζοντας την πιο πάνω μεθοδολογία, μπορούμε να βρούμε πως για τον διαιρέτη τάσης που εξετάζουμε ισχύει:

$$V_x = \frac{R_1 V_2 + R_2 V_1}{R_1 + R_2},$$

όπως αποδεικνύεται στο σχήμα που ακολουθεί.



$$V_x - V_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} (V_1 - V_2)$$

$$\begin{aligned} V_x &= (V_x - V_2) + V_2 = \\ &= \left[ \frac{R_2}{R_1 + R_2} (V_1 - V_2) \right] + V_2 = \\ &= \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_1 - \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_2 + V_2 = \\ &= \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_1 + \left( 1 - \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) V_2 = \\ &= \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_1 + \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_2 = \\ &= \frac{R_1 V_2 + R_2 V_1}{R_1 + R_2} \end{aligned}$$