



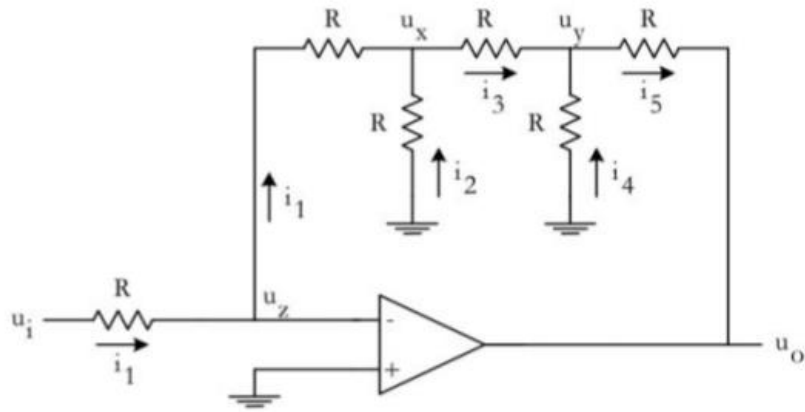
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
*Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών
και Μηχανικών Υπολογιστών*
**Εργαστήριο Ηλεκτρονικής και
Τηλεπικοινωνιών, 2019-20**

ΑΣΚΗΣΕΙΣ ΤΕΛΕΣΤΙΚΩΝ ΕΝΙΣΧΥΤΩΝ ΠΡΟΣ ΠΑΡΑΔΟΣΗ

Ονοματεπώνυμο: *Θοδωρής Αράπης*

(el18028, theodoraraps2000@gmail.com)

Άσκηση 1



Αφού ο τελεστικός ενισχυτής είναι ιδανικός, τότε θα έχουμε άπειρο κέρδος τάσης ανοιχτού βρόγχου. Επομένως θα δημιουργείται ένα φαινομενικό βραχυκύκλωμα μεταξύ των ακροδεκτών εισόδου του ενισχυτή. Επιπλέον, ο θετικός ακροδέκτης του ενισχυτή θα είναι φαινομενικά συνδεδεμένος με την γη ($V_p = 0V$). Άρα, θα ισχύει: $V_z = V_N = V_p = 0V$. Το ρεύμα i_1 κατευθύνεται προ τα πάνω, καθώς ο ιδανικός τελεστικός ενισχυτής παρουσιάζει άπειρη αντίσταση εισόδου.

Συνεπώς, για το ρεύμα i_1 : $i_1 = \frac{V_i - V_z}{R} = \frac{V_i - 0}{R} \Rightarrow V_i = i_1 \cdot R$ (1)

Από ΝΡΚ θα ισχύει στον κόμβο του V_x :

$$i_3 = i_1 + i_2 \quad (2)$$

$$V_x - V_z = -i_1 \cdot R \stackrel{(1)}{\Rightarrow} V_x = -V_i \quad (3) \text{ (Νόμος του Ohm)}$$

$$i_2 = \frac{0 - V_x}{R} = \frac{V_i}{R} \Rightarrow i_2 = i_1 \quad (4)$$

$$(2) \stackrel{(4)}{\Rightarrow} i_3 = 2i_1 \quad (5)$$

$$V_y - V_x = -i_3 \cdot R \stackrel{(3),(5)}{\Rightarrow} V_y - V_i = -2i_1 \cdot R \stackrel{(1)}{\Rightarrow} V_y = -3V_i \quad (6)$$

(Νόμος του Ohm)

Από ΝΡΚ θα ισχύει στον κόμβο V_y :

$$i_5 = i_3 + i_4 \quad (7)$$

$$i_4 = -\frac{V_y}{R} \Rightarrow i_4 = -\frac{3V_i}{R} \Rightarrow i_4 = 3i_1 \quad (8)$$

$$(7) \xrightarrow{(5),(8)} i_5 = 2i_1 + 3i_1 = 5i_1 \quad (9)$$

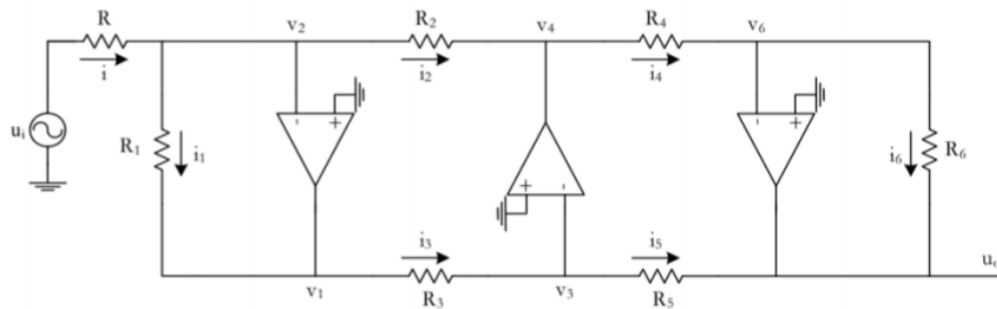
$$V_o - V_y = -i_5 \cdot R \xrightarrow{(8),(9)} V_o + 3V_i = -5i_1 \cdot R \xrightarrow{(1)} V_o = -8V_i$$

(Νόμος του Ohm)

Άρα το κέρδος τάσης είναι:

$$A = \frac{V_o}{V_i} = -8$$

Άσκηση 2



Αφού οι τελεστικοί ενισχυτές είναι ιδανική τότε θα έχουν φαινομενικό βραχυκύκλωμα μεταξύ των τάσεων εισόδου τους. Άρα:

$$V_2 = V_4 = V_6 = 0$$

Επομένως, δεν θα εισέρχεται ρεύμα στις εισόδους των ενισχυτών.

Άρα θα έχω από ΝΡΚ:

$$i = i_1 + i_2 (1)$$

$$i = \frac{V_i - V_2}{R} = \frac{V_i - 0}{R} = \frac{V_i}{R} (2) \text{ (Νόμος του Ohm)}$$

$$i_1 = \frac{V_2 - V_1}{R_1} = \frac{0 - V_1}{R_1} = -\frac{V_1}{R_1} (3) \text{ (Νόμος του Ohm)}$$

$$i_2 = \frac{V_2 - V_4}{R_2} = \frac{0 - V_4}{R_2} = -\frac{V_4}{R_2} (4) \text{ (Νόμος του Ohm)}$$

$$(1) \xrightarrow{(2),(3),(4)} \frac{V_i}{R} = -\frac{V_1}{R_1} - \frac{V_4}{R_2} (5)$$

Ακόμη:

$$i_3 = i_5 (6)$$

$$i_3 = \frac{V_1 - V_3}{R_3} = \frac{V_1 - 0}{R_3} = \frac{V_1}{R_3} (7) \text{ (Νόμος του Ohm)}$$

$$i_5 = \frac{V_3 - V_o}{R_5} = \frac{0 - V_o}{R_5} = -\frac{V_o}{R_5} (8) \text{ (Νόμος του Ohm)}$$

$$(6) \xrightarrow{(7),(8)} \frac{V_1}{R_3} = -\frac{V_o}{R_5} \Rightarrow V_1 = -\frac{R_3}{R_5} V_o (9)$$

$$i_4 = i_6 (10)$$

$$i_4 = \frac{V_4 - V_6}{R_4} = \frac{V_4 - 0}{R_4} = \frac{V_4}{R_4} (11) \text{ (Νόμος του Ohm)}$$

$$i_6 = \frac{V_6 - V_o}{R_6} = \frac{0 - V_o}{R_6} = -\frac{V_o}{R_6} (12) \text{ (Νόμος του Ohm)}$$

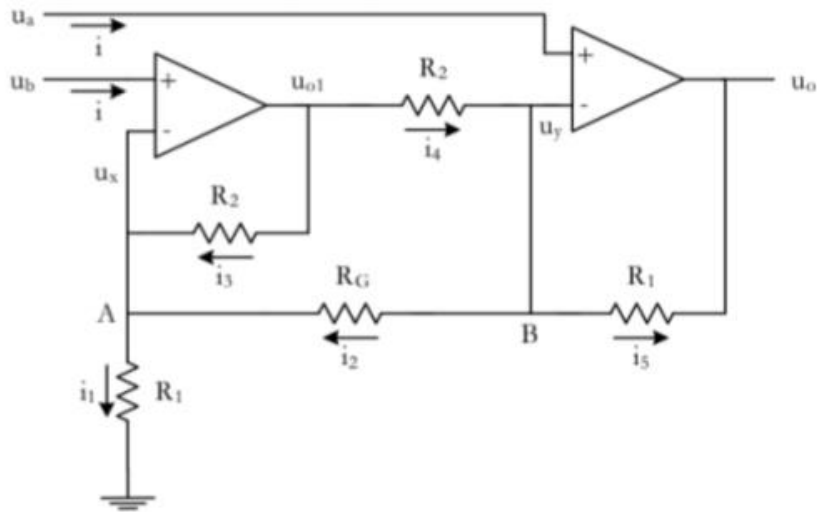
$$(10) \xrightarrow{(11),(12)} \frac{V_4}{R_4} = -\frac{V_o}{R_6} \Rightarrow V_4 = -\frac{R_4}{R_6} V_o (13)$$

Οπότε:

$$(5) \xrightarrow{(9),(13)} \frac{V_i}{R} = \frac{1}{R_1} \frac{R_3}{R_5} V_o + \frac{1}{R_2} \frac{R_4}{R_6} V_o \Rightarrow \frac{V_i}{R} = \left(\frac{1}{R_1} \frac{R_3}{R_5} + \frac{1}{R_2} \frac{R_4}{R_6} \right) V_o \Rightarrow$$

$$\boxed{A = \frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{R} \frac{R_1 R_2 R_5 R_6}{R_1 R_4 R_5 + R_2 R_3 R_6}}$$

Άσκηση 3



Η τάση εισόδου θα είναι: $V_D = V_a - V_b (*)$

Αφού οι ενισχυτές είναι ιδανικοί τότε θα παρουσιάζουν φαινομενικό βραχυκύκλωμα στις εισόδους τους. Επομένως:

$$V_x = V_b \text{ και } V_y = V_a$$

Από ΝΡΚ στον κόμβο Α:

$$i_1 = i_2 + i_3 \quad (1)$$

$$i_1 = \frac{V_x - 0}{R_1} = \frac{V_b}{R_1} \quad (2) \text{ (Νόμος του Ohm)}$$

$$i_2 = \frac{V_y - V_x}{R_G} = \frac{V_a - V_b}{R_G} \quad (3) \text{ (Νόμος του Ohm)}$$

$$i_3 = \frac{V_{o1} - V_x}{R_2} = \frac{V_{o1} - V_b}{R_2} \quad (4) \text{ (Νόμος του Ohm)}$$

$$(1) \xrightarrow{(2),(3),(4)} \frac{V_b}{R_1} = \frac{V_a - V_b}{R_G} + \frac{V_{o1} - V_b}{R_2} \quad (5) \Rightarrow$$

$$V_{o1} = \frac{R_2}{R_1} V_b - \frac{R_2}{R_G} (V_a - V_b) + V_b \quad (6)$$

Από ΝΡΚ στον κόμβο Β:

$$i_4 = i_2 + i_5 (7)$$

$$i_4 = \frac{V_{o1} - V_y}{R_2} = \frac{V_{o1} - V_a}{R_2} (8) \text{ (Νόμος του Ohm)}$$

$$i_5 = \frac{V_y - V_o}{R_1} = \frac{V_a - V_o}{R_1} (9) \text{ (Νόμος του Ohm)}$$

$$(7) \xrightarrow{(8),(9)} \frac{V_{o1} - V_a}{R_2} = \frac{V_a - V_b}{R_G} + \frac{V_a - V_o}{R_1} \xRightarrow{(*)}$$

$$V_o = -\frac{(V_{o1} - V_a)R_1}{R_2} + \frac{V_D \cdot R_1}{R_G} + V_a \xRightarrow{(6)}$$

$$V_o = -\frac{\left(\frac{R_2}{R_1}V_b - \frac{R_2}{R_G}(V_a - V_b) + V_b - V_a\right)R_1}{R_2} + \frac{V_D \cdot R_1}{R_G} + V_a \xRightarrow{(*)}$$

$$V_o = -\frac{\left(\frac{R_2}{R_1}V_b - \frac{R_2}{R_G}V_D - V_D\right)R_1}{R_2} + \frac{V_D \cdot R_1}{R_G} + V_a \Rightarrow$$

$$V_o = -V_b - \frac{\left(-\frac{R_2}{R_G}V_D - V_D\right)R_1}{R_2} + \frac{V_D \cdot R_1}{R_G} + V_a \Rightarrow$$

$$V_o = -\frac{V_D \left(-\frac{R_2}{R_G} - 1\right)R_1}{R_2} + \frac{V_D \cdot R_1}{R_G} + V_D \Rightarrow$$

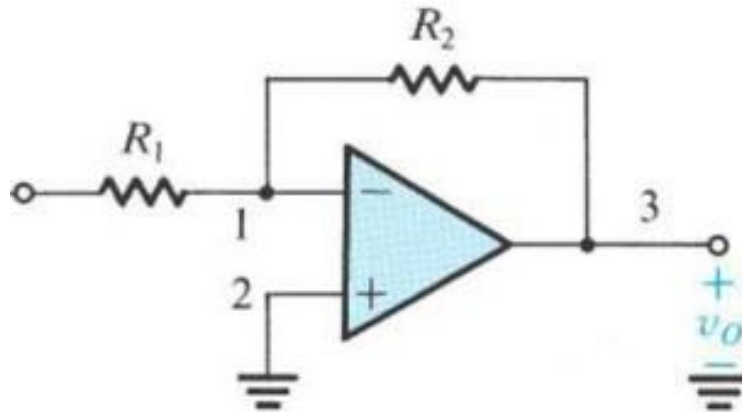
$$V_o = V_D \left(\frac{R_2 \cdot R_1 + R_G \cdot R_1}{R_G \cdot R_2} + \frac{R_1}{R_G} + 1\right) \Rightarrow$$

$$\boxed{A = \frac{V_o}{V_D} = \frac{R_1}{R_2} + \frac{2R_1}{R_G} + 1}$$

Για την αντίσταση εισόδου θα ισχύει:

$R_{in} = \frac{V_D}{i}$ και επειδή οι τελεστικοί ενισχυτές είναι ιδανικοί θα έχουν άπειρη αντίσταση εισόδου. Οπότε $i = 0$ και $\boxed{R_{in} \rightarrow \infty}$

Κύκλωμα αναστρέφοντος ενισχυτή:



Για την αντίσταση εισόδου θα έχουμε:

$$i = \frac{V_{in} - 0}{R_1} = \frac{V_{in}}{R_1} \quad (10)$$

$$R_{in} = \frac{V_i^{(10)}}{i} \Rightarrow \boxed{R_{in} = R_1}$$

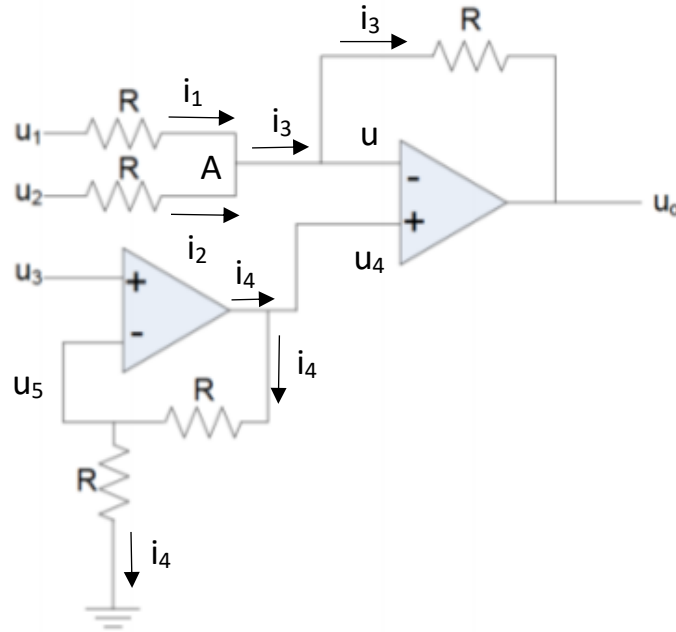
Ενώ το κέρδος τάσης θα είναι:

$$\boxed{A = \frac{V_{out}}{V_{in}} = -\frac{R_2}{R_1}}$$

Αν εφαρμοστεί στην είσοδο κάθε κυκλώματος μια μη ιδανική πηγή τάσης με αντίσταση εισόδου R_S , στην περίπτωση του κυκλώματος της άσκησης το κέρδος τάσης δεν θα αλλάξει μιας και δεν θα έχουμε πτώση τάσης στην R_S . Στην περίπτωση της αναστρέφουσας συνδεσμολογίας, θα έχουμε πτώση τάσης με αποτέλεσμα να μειώνεται το κέρδος τάσης, το οποίο θα ισούται:

$$\boxed{A = \frac{V_{out}}{V_{in}} = -\frac{R_2}{R_1 + R_S}}$$

Άσκηση 4



Θεωρούμε τους τελεστικούς ενισχυτές ιδανικούς. Θα ισχύει:

$$V_4 = V$$

$$V_5 = V_3$$

Αφού θα έχουμε φαινομενικό βραχυκύκλωμα.

Από ΝΡΚ στον κόμβο A:

$$i_3 = i_1 + i_2 \quad (1)$$

$$i_1 = \frac{V_1 - V}{R} \quad (2) \text{ (Νόμος του Ohm)}$$

$$i_2 = \frac{V_2 - V}{R} \quad (3) \text{ (Νόμος του Ohm)}$$

$$i_3 = \frac{V - V_o}{R} \quad (4) \text{ (Νόμος του Ohm)}$$

$$(1) \xrightarrow{(2),(3),(4)} \frac{V - V_o}{R} = \frac{V_1 - V}{R} + \frac{V_2 - V}{R} \Rightarrow$$

$$V - V_o = V_1 - V + V_2 - V \Rightarrow$$

$$V_o = 3V - V_1 - V_2 \quad (5)$$

Επιπλέον:

$$i_4 = \frac{V_4 - V_5}{R} \Rightarrow i_4 = \frac{V - V_3}{R} \quad (6) \text{ (Νόμος του Ohm)}$$

$$i_4 = \frac{V_3 - 0}{R} \Rightarrow i_4 = \frac{V_3}{R} \quad (7) \text{ (Νόμος του Ohm)}$$

$$(6) \stackrel{(7)}{\Rightarrow} \frac{V - V_3}{R} = \frac{V_3}{R} \Rightarrow V - V_3 = V_3 \Rightarrow V = 2V_3 \quad (8)$$

Άρα θα έχουμε:

$$(5) \stackrel{(8)}{\Rightarrow} V_o = 3 \cdot 2V_3 - V_1 - V_2 \Rightarrow \boxed{V_o = 6V_3 - V_1 - V_2}$$