

Κεφάλαιο 5: Τελεστικός Ενισχυτής

Άσκηση 1

Να αναφέρετε τρεις τεχνολογικούς τομείς στους οποίους χρησιμοποιούνται οι τελεστικοί ενισχυτές.

Λύση:

Τρεις τεχνολογικοί τομείς που οι τελεστικοί ενισχυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι:

α) στα συστήματα ελέγχου, β) στη ρομποτική και γ) στα ηχητικά συστήματα υψηλής πιστότητας (Hi-Fi).

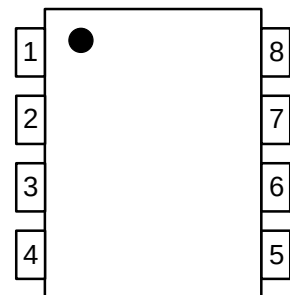
Άσκηση 2

α) Να ονομάσετε τα τέσσερα κύρια ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του τελεστικού ενισχυτή.

Στο διπλανό σχήμα φαίνεται η κάτοψη των ακροδεκτών του τελεστικού ενισχυτή $\mu A741$.

β) Να αναφέρετε τους ακροδέκτες στους οποίους πρέπει να συνδεθεί η τροφοδοσία και τις μέγιστες τιμές που μπορεί να πάρει αυτή.

γ) Να ονομάσετε τους υπόλοιπους ακροδέκτες του τελεστικού ενισχυτή $\mu A741$.



Λύση:

α) Τα τέσσερα κύρια ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του τελεστικού ενισχυτή είναι:

I) Έχουν πολύ μεγάλη αντίσταση εισόδου Z_{in} ($1\text{ M}\Omega - 10^6\text{ M}\Omega$):

II) Έχουν πολύ μικρή αντίσταση εξόδου Z_{out} . ($50-200\ \Omega$):

III) Ο συντελεστής ενίσχυσης τάσης (απολαβή) A του ενισχυτή (που δείχνει πόσες φορές ενισχύεται η έξοδος σε σχέση με την είσοδο) είναι πολύ μεγάλος (για τον $\mu A741$ είναι γύρω στις 100 000).

IV) Μπορούν να συνδεθούν τόσο σε μονή όσο και σε διπλή τροφοδοσία.

β) Η τροφοδοσία συνδέεται ως ακολούθως:

Ο ακροδέκτης 7 συνδέεται στη θετική τροφοδοσία η οποία συμβολίζεται με $+V_s$ και ο ακροδέκτης 4 στην αρνητική τροφοδοσία η οποία συμβολίζεται με $-V_s$.

Οι μέγιστες τιμές τροφοδοσίας του T.E. $\mu A741$ είναι 22 V. Δηλαδή, για μονή τροφοδοσία 0 V, +22 V και για διπλή τροφοδοσία -22 V, 0 V, +22 V.

γ) Οι υπόλοιποι ακροδέκτες είναι:

Ακροδέκτης 2 : Ανάστροφη είσοδος U_1 (Inverting input, συμβολίζεται με το -)

Ακροδέκτης 3 : Μη ανάστροφη είσοδος U_2 (Non inverting input, συμβολίζεται με το +)

Ακροδέκτης 6 : Έξοδος (U_{out})

Ακροδέκτης 8 : Δε χρησιμοποιείται

Ακροδέκτης 1 & 5 : Ακροδέκτες μικρομετρικής ρύθμισης της τάσης εξόδου

Άσκηση 3

α) Να ονομάσετε τις τρεις βασικές συνδεσμολογίες του τελεστικού ενισχυτή.

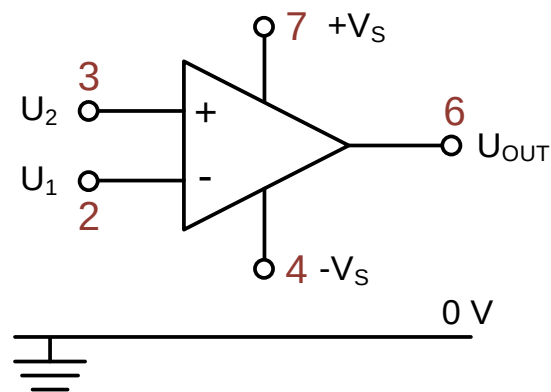
β) Να αναφέρετε λίγα λόγια για τη λειτουργία του κυκλώματος της κάθε συνδεσμολογίας.

γ) Στο διπλανό σχήμα φαίνεται η συνδεσμολογία (διάταξη) του τελεστικού ενισχυτή μΑ741 ως συγκριτή.

γ1) Να εξηγήσετε γιατί ονομάζεται συγκριτής η συγκεκριμένη συνδεσμολογία.

γ2) Να αναφέρετε τις τιμές τις οποίες παίρνει η λογική κατάστασή του U_{out} , όταν:

- i. $U_2 > U_1$
- ii. $U_2 < U_1$



Λύση:

Οι τρεις βασικές συνδεσμολογίες του τελεστικού ενισχυτή είναι:

1. Συνδεσμολογία ως συγκριτής (Comparator)
2. Συνδεσμολογία ως αναστρέφοντας ενισχυτής (Inverting amplifier)
3. Συνδεσμολογία ως μη αναστρέφοντας ενισχυτής (Non – inverting amplifier)

β) Ο συγκριτής (comparator) χρησιμοποιείται κυρίως στην τεχνολογία των ψηφιακών ηλεκτρονικών και η βασική του λειτουργία είναι να συγκρίνει τις τάσεις των δύο εισόδων και να δίνει στην έξοδο κατάσταση HIGH ή LOW ανάλογα με ποια από τις δύο εισόδους είναι μεγαλύτερη.

Οι δύο συνδεσμολογίες, του αναστρέφοντος ενισχυτή και του μη αναστρέφοντος ενισχυτή, βασικά ενισχύουν την τάση εισόδου. Και στις δύο περιπτώσεις η απολαβή του ενισχυτή εξαρτάται από εξωτερικές αντιστάσεις και όχι από τα χαρακτηριστικά του. Σημαντική διαφορά των δύο ενισχυτών είναι ότι στον αναστρέφοντα ενισχυτή η τάση εξόδου έχει αντίστροφο πρόσημο από αυτό της εισόδου, ενώ στο μη αναστρέφοντα ενισχυτή η τάση εξόδου έχει το ίδιο πρόσημο με αυτό της εισόδου.

γ1) Η συγκεκριμένη συνδεσμολογία ονομάζεται συγκριτής διότι οι δύο τάσεις εισόδου συγκρίνονται και η τάση εξόδου διαμορφώνεται ανάλογα με το ποια είσοδος έχει μεγαλύτερη τιμή.

γ2) Όταν έχουμε στο κύκλωμα ,

- | | |
|-------------|---|
| $U_2 > U_1$ | τότε στην έξοδο αναπτύσσεται ψηλή (High) τάση και |
| $U_2 < U_1$ | τότε στην έξοδο αναπτύσσεται χαμηλή (low) τάση |

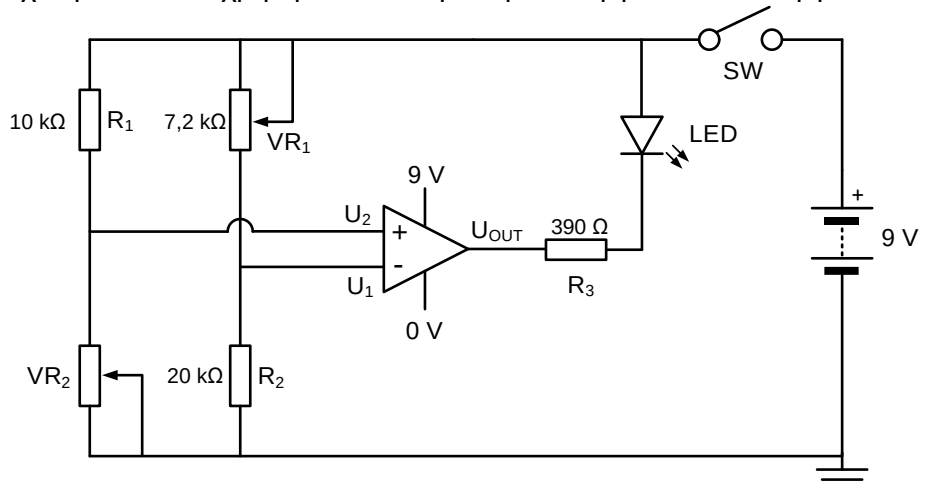
Άσκηση 4

Το κύκλωμα του τελεστικού ενισχυτή πιο κάτω χρησιμοποιείται για τη λειτουργία κάποιου έργου (πρότζεκτ).

α) Να ονομάσετε τη συνδεσμολογία.

β) Να αναφέρετε το είδος της τροφοδοσίας (διπλή ή μονή) και να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.

γ) Αν η τιμή του ρυθμιζόμενου (μεταβλητού) αντιστάτη VR_1 έχει ρυθμιστεί στα $7,2\text{ k}\Omega$, να υπολογίσετε το όριο τιμών μέσα στο οποίο πρέπει να μεταβάλλεται ο μεταβλητός αντιστάτης VR_2 , ώστε η δίοδος φωτοεκπομπής να ανάβει.



Λύση:

α) Η συνδεσμολογία του τελεστικού ενισχυτή είναι συγκριτής.

β) Το κύκλωμα παρέχει μονή τροφοδοσία στον Τ.Ε. αφού οι ακροδέκτες 7 και 4 συνδέονται με τα $+9\text{ V}$ και 0 V αντίστοιχα.

γ) Η τάση στην ανάστροφη είσοδο, U_1 , υπολογίζεται από τη σχέση

$$U_1 = \frac{R_2}{VR_1 + R_2} \cdot U_s$$

Με τη $VR_1 = 7,2\text{ k}\Omega$ η τάση στην ανάστροφη είσοδο U_1 είναι,

$$U_1 = \frac{20}{7,2 + 20} \cdot 9 = 6,62\text{ V}$$

Για να ανάψει η LED (στην συγκεκριμένη περίπτωση), πρέπει να έχουμε κατάσταση LOW στην έξοδο.

Για να έχουμε LOW στην έξοδο πρέπει η τάση στη μη ανάστροφη είσοδο να είναι μικρότερη της τάσης στην ανάστροφη είσοδο, δηλαδή $U_2 < U_1$.

$$\text{Πρέπει δηλαδή να έχουμε } U_2 < 6,62\text{ V} \Rightarrow \frac{VR_2}{R_1 + VR_2} \cdot 9 < 6,62$$

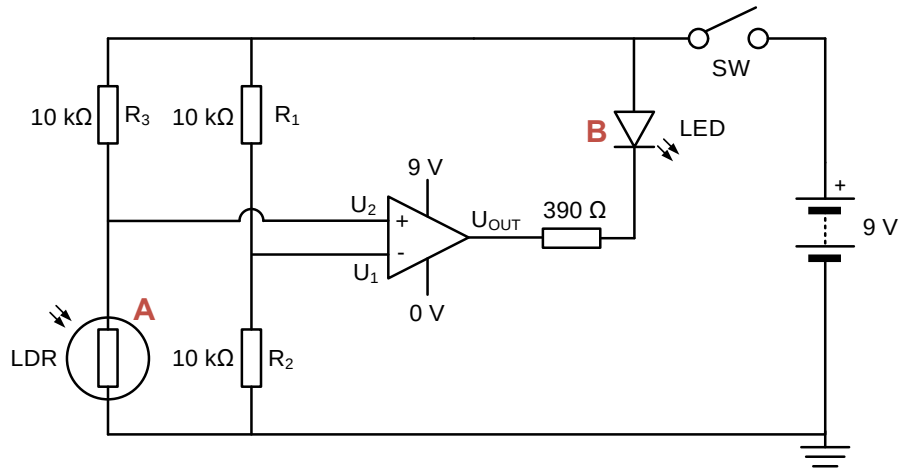
$$\frac{VR_2}{10 + VR_2} \cdot 9 < 6,62 \Rightarrow 9VR_2 < 6,62VR_2 + 66,2 \Rightarrow \mathbf{VR_2 < 27,8\text{ k}\Omega}$$

Άρα η LED θα ανάψει όταν η αντίσταση στον μεταβλητό αντιστάτη 2 είναι μικρότερη από **27,8 kΩ**

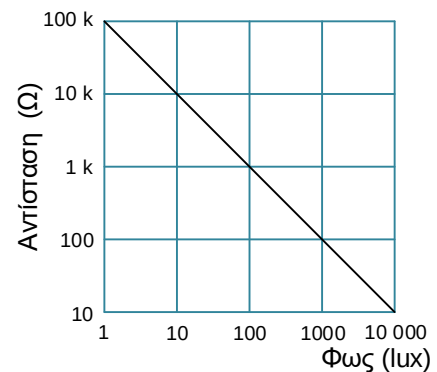
Άσκηση 5

Το διπλανό κύκλωμα χρησιμοποιεί τελεστικό ενισχυτή, για να λύσει ένα απλό τεχνολογικό πρόβλημα.

α) Να ονομάσετε τη συνδεσμολογία του τελεστικού στο συγκεκριμένο κύκλωμα.



β) Το εξάρτημα Α είναι φωτοαντιστάτης, του οποίου η τιμή της αντίστασης αυξάνεται με την ελάττωση της ποσότητας φωτισμού που πέφτει πάνω του, σύμφωνα με τη γραφική παράσταση δίπλα. Αν η ποσότητα φωτισμού που δέχεται ο φωτοαντιστάτης σε μία συγκεκριμένη στιγμή είναι 100 Lux, να εξηγήσετε αναλυτικά αν ανάβει ή όχι η διάδος φωτοεκπομπής Β στην έξοδο.



γ) Να γράψετε ένα τεχνολογικό πρόβλημα που μπορεί να λύσει το συγκεκριμένο κύκλωμα.

Λύση:

α) Η συνδεσμολογία του τελεστικού ενισχυτή είναι συγκριτής.

β) Η τάση στη μη ανάστροφη είσοδο υπολογίζεται από τη σχέση,

$$U_2 = \frac{R_{LDR}}{R_3 + R_{LDR}} \cdot U_s$$

Από τη γραφική παράσταση, στα 100 lux η αντίσταση στο φωτοαντιστάτη είναι 1 kΩ

$$\text{Άρα, } U_2 = \frac{1}{10 + 1} \cdot 9 = 0,82 \text{ V}$$

Η τάση στην ανάστροφη είσοδο είναι:

$$U_1 = \frac{R_2}{R_2 + R_1} \cdot U_s = \frac{10}{10 + 10} \cdot 9 = 4,5 \text{ V}$$

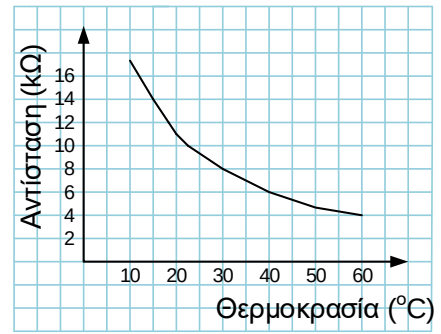
Έχουμε λοιπόν $U_2 = 0,82 \text{ V}$
 $U_1 = 4,5 \text{ V}$

Άρα $U_1 > U_2$ οπότε στην έξοδο θα έχουμε κατάσταση **LOW**. Με τη συγκεκριμένη συνδεσμολογία της, η LED **θα ανάψει**.

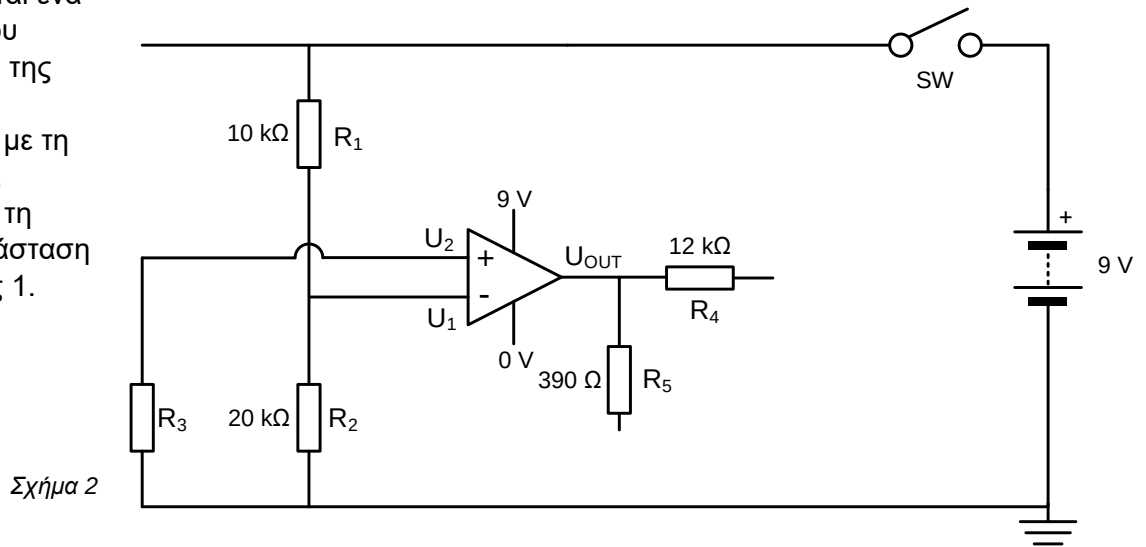
γ) Σε ένα σκοτεινό θάλαμο φωτογράφου (dark room), όταν ο φωτισμός είναι πέραν προκαθορισμένου ορίου, να ανάβει, ως ένδειξη μια LED.

Άσκηση 6

Μία ηλεκτρονική συσκευή χρησιμοποιεί ηλεκτρονικό κύκλωμα τελεστικού ενισχυτή για να ενεργοποιεί μια αντλία, που θα μεταφέρει το ζεστό νερό από τα ηλιακά πλαίσια σε ένα μονωμένο δοχείο για αποθήκευση. Η αντλία τίθεται αυτόματα σε λειτουργία όταν το ζεστό νερό στις ηλιακές πλάκες έχει θερμοκρασία πάνω από 40°C . Όταν λειτουργεί η αντλία, ταυτόχρονα ανάβει και μία δίοδος φωτοεκπομπής, που δείχνει ότι η αντλία βρίσκεται σε λειτουργία. Για την ανίχνευση της θερμοκρασίας χρησιμοποιείται ένα θερμίστορ, του οποίου η τιμή της αντίστασης μεταβάλλεται με τη θερμοκρασία, σύμφωνα με τη γραφική παράσταση του σχήματος 1.



Σχήμα 1



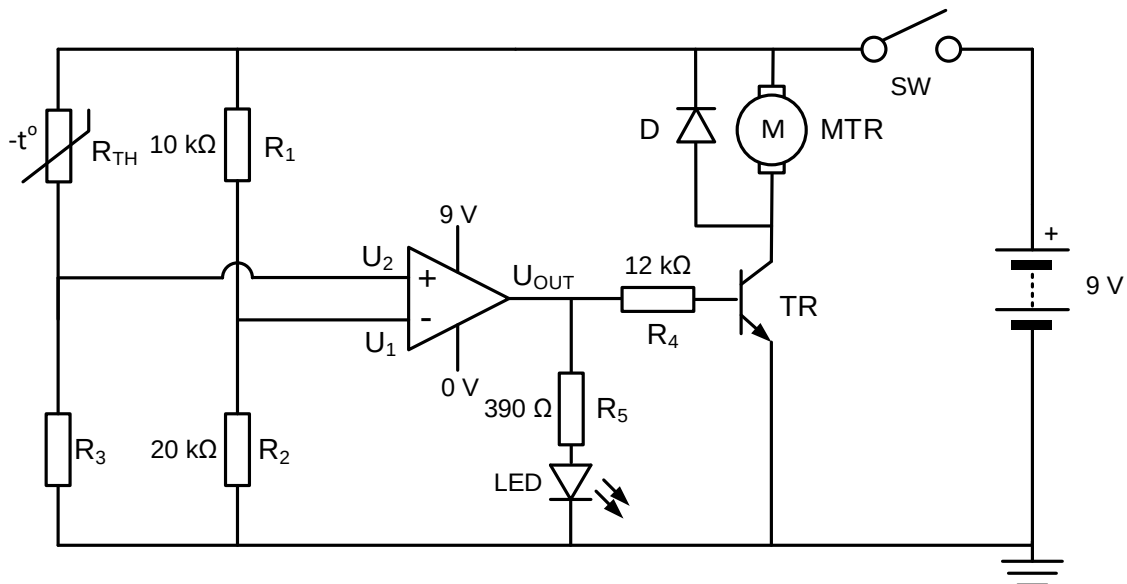
Σχήμα 2

α) Να συμπληρώσετε το κύκλωμα που είναι μερικώς σχεδιασμένο στο σχήμα 2, ώστε να ικανοποιεί τις συνθήκες του πιο πάνω προβλήματος. (Για τη σχεδίαση της αντλίας στο κύκλωμα να χρησιμοποιήσετε το σύμβολο του ηλεκτρικού μικροκινητήρα).

β) Να υπολογίσετε την τιμή του αντιστάτη R_3 , ώστε το κύκλωμα να λειτουργεί όπως πιο πάνω.

Λύση:

α)



β) Η τάση στην ανάστροφη είσοδο, U_1 , υπολογίζεται από τη σχέση,

$$U_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot U_S \quad \Rightarrow \quad U_1 = \frac{20}{10 + 20} \cdot 9 = 6 \text{ V}$$

Για να ανάψει η LED και επίσης να ενεργοποιηθεί το τρανζίστορ πρέπει στην έξοδο, U_{out} , να έχουμε τάση HIGH.

Για να έχουμε HIGH στην έξοδο πρέπει η τάση στη μη ανάστροφη είσοδο να είναι μεγαλύτερη της τάσης στην ανάστροφη είσοδο, δηλαδή $U_2 > U_1$

Πρέπει δηλαδή να έχουμε $U_2 > 6 \text{ V}$

Η τάση στη μη ανάστροφη είσοδο, U_2 , υπολογίζεται από τη σχέση,

$$U_2 = \frac{R_3}{R_{th} + R_3} \cdot U_S$$

Στους 40°C η αντίσταση στο θερμίστορ είναι $6 \text{ k}\Omega$ (από τη γραφική παράσταση) και πρέπει να ισχύει: $U_2 = U_1$

$$\text{Όταν } U_2 = 6 \text{ V} \quad \Rightarrow \quad 6 = \frac{R_3}{6 + R_3} \cdot 9 \quad \Rightarrow \quad 6 \cdot (6 + R_3) = 9 \cdot R_3 \Rightarrow 36 = 9 \cdot R_3 - 6 \cdot R_3 \Rightarrow \quad \mathbf{R_3 = 12 \text{ k}\Omega}$$

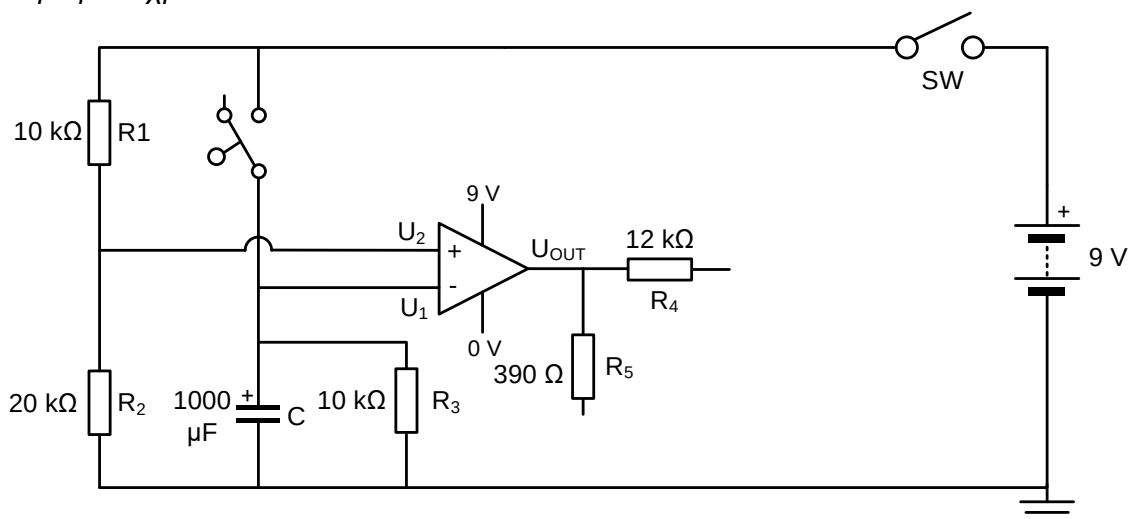
Αυτό σημαίνει ότι μόλις η θερμοκρασία υπερβεί τους 40°C θα έχουμε $U_2 > U_1$

(Αύξηση θερμοκρασίας $\Rightarrow$ μείωση αντίστασης θερμίστορ $\Rightarrow$ μείωση τάσης στα άκρα του θερμίστορ $\Rightarrow$ αύξηση τάσης στα άκρα της R_3 (U_2) $\Rightarrow$ $U_2 > U_1 \Rightarrow U_{out} \text{ HIGH}$)

Άσκηση 7

Το μερικώς σχεδιασμένο κύκλωμα πιο κάτω δίνει λύση στο πρόβλημα:

«Στους μεγάλους ψυκτικούς θαλάμους όπου αποθηκεύονται ευαίσθητα τρόφιμα και φρούτα υπάρχει ένα ηλεκτρονικό σύστημα που ενεργοποιεί έναν βομβητή και ανάβει μία δίοδο φωτοεκπομπής, όταν κάποιος αφού εισέλθει μέσα στον θάλαμο αφήσει την πόρτα ανοιχτή περισσότερο από κάποιο προκαθορισμένο χρόνο».

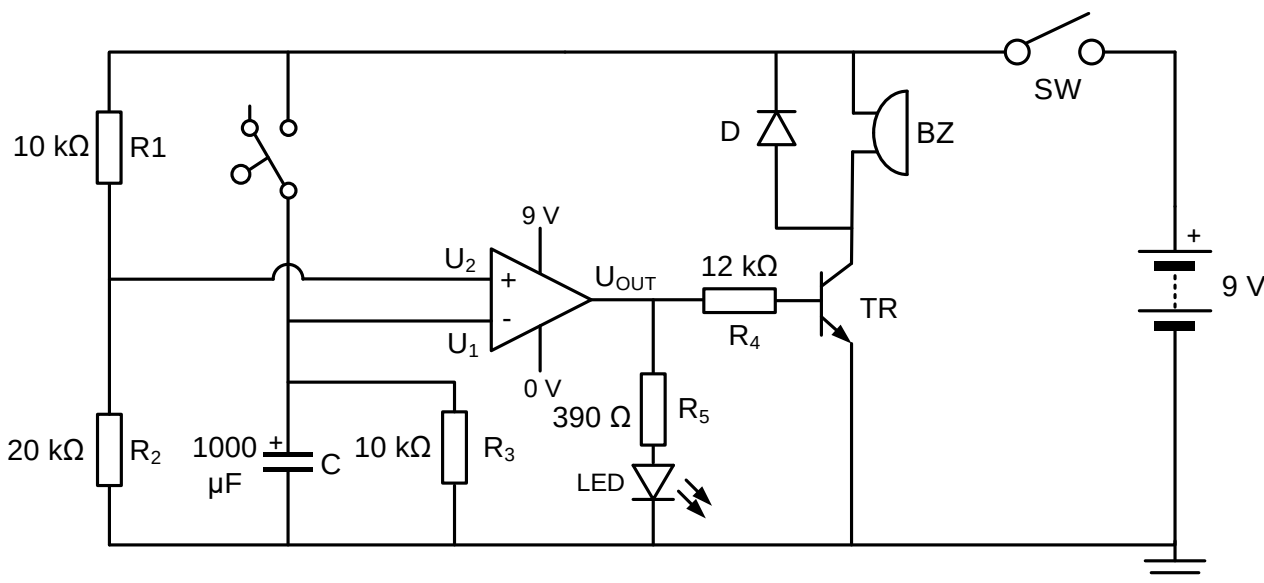


- α) Να αναφέρετε το εξάρτημα που χρησιμοποιείται στο κύκλωμα για να ανιχνεύει ότι «η πόρτα άνοιξε».
- β) Να συμπληρώσετε το κύκλωμα, ώστε να λειτουργεί όπως περιγράφεται πιο πάνω.
- γ) Να εξηγήσετε τη λειτουργία του κυκλώματος.

Λύση:

α) Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας μικροδιακόπτης

β) Το συμπληρωμένο κύκλωμα:



γ) Το κύκλωμα λειτουργεί ως ακολούθως:

Όταν η πόρτα είναι κλειστή ο μικροδιακόπτης πιέζεται και άρα είναι κλειστός, επιτρέποντας έτσι τη ροή ηλεκτρικού ρεύματος στο πυκνωτή ο οποίος φορτίζεται άμεσα με αποτέλεσμα να αναπτυχθεί τάση στα άκρα του ίση με 9 V.

Η τάση U_2 στη μη ανάστροφη είσοδο υπολογίζεται από τη σχέση:

$$U_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot U_s \Rightarrow U_2 = \frac{20}{10 + 20} \cdot 9 = 6 \text{ V}$$

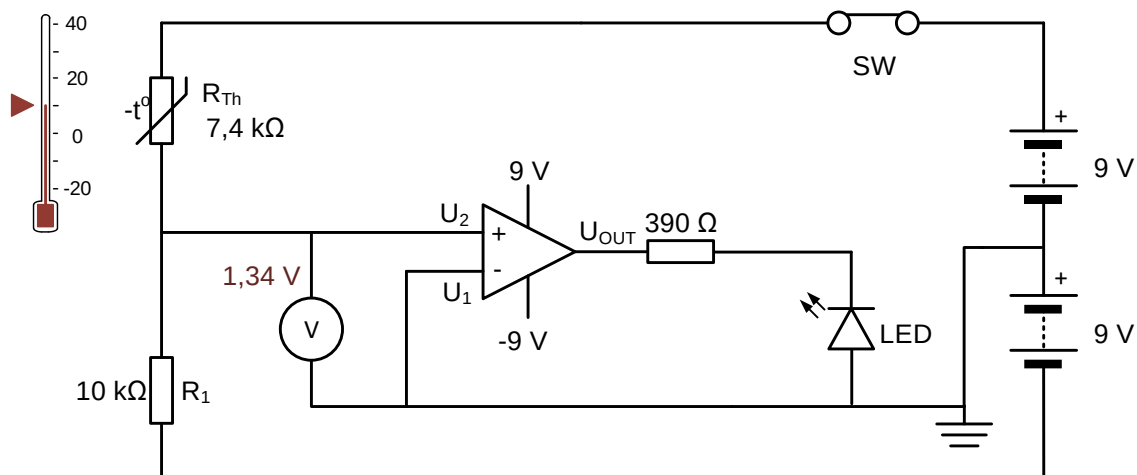
Έχουμε δηλαδή $U_2 < U_1$ ($6 \text{ V} < 9 \text{ V}$), άρα στην έξοδο έχουμε κατάσταση LOW. Αυτό σημαίνει ότι η μικρή αυτή τάση στην έξοδο του Τ.Ε. δεν είναι ικανοποιητική για να ανάψει η LED αλλά ούτε και να ενεργοποιήσει το τρανζίστορ για να ηχεί ο βομβητής.

Με την πόρτα ανοιχτή ο μικροδιακόπτης δεν πιέζεται πλέον. Έτσι είναι ανοικτός με αποτέλεσμα να σταματήσει η ροή ηλεκτρικού ρεύματος στον πυκνωτή ο οποίος δεν μπορεί να παραμείνει φορτισμένος και αρχίζει να εκφορτίζεται διαμέσου του αντιστάτη R_3 , με αποτέλεσμα η τάση στα άκρα του να μειώνεται.

Μετά από κάποιο χρόνο έχουμε $U_2 > U_1$, άρα στην έξοδο έχουμε κατάσταση HIGH με αποτέλεσμα να ανάψει η LED και επίσης να ενεργοποιηθεί το τρανζίστορ για να ηχήσει ο βομβητής. (Ο χρόνος από τη στιγμή που ανοίγει η πόρτα μέχρι τη στιγμή προειδοποίησης μπορεί να προκαθοριστεί με τις ανάλογες τιμές των πυκνωτή και αντιστάτη R_3).

Άσκηση 8

Στο κύκλωμα πιο κάτω φαίνεται μία συνδεσμολογία τελεστικού ενισχυτή, που έχει σχεδιαστεί «...για να δίνει οπτικό μήνυμα (ανάβει η δίοδος φωτοεκπομπής LED), όταν η θερμοκρασία πέσει κάτω από ένα κρίσιμο σημείο».



Σε μια συγκεκριμένη στιγμή η θερμοκρασία ήταν 10° C (η αντίσταση του θερμίστορ 7,4 kΩ) και η ένδειξη του βολτομέτρου V ήταν 1,34 V.

α) Να ονομάσετε τη συνδεσμολογία.

β) Να αναφέρετε το είδος της τροφοδοσίας (διπλή ή μονή) στο κύκλωμα. Να δικαιολογήσετε την απάντησή σας.

γ) Στη συγκεκριμένη περίπτωση (10° C) ανάβει η δίοδος φωτοεκπομπής; Να δικαιολογήσετε την απάντησή σας.

Λύση:

α) Είναι συνδεσμολογία τελεστικού ενισχυτή ως συγκριτή.

β) Το κύκλωμα είναι διπλής τροφοδοσίας αφού οι ακροδέκτες 7 και 4 συνδέονται με τα +9 V και -9 V αντίστοιχα.

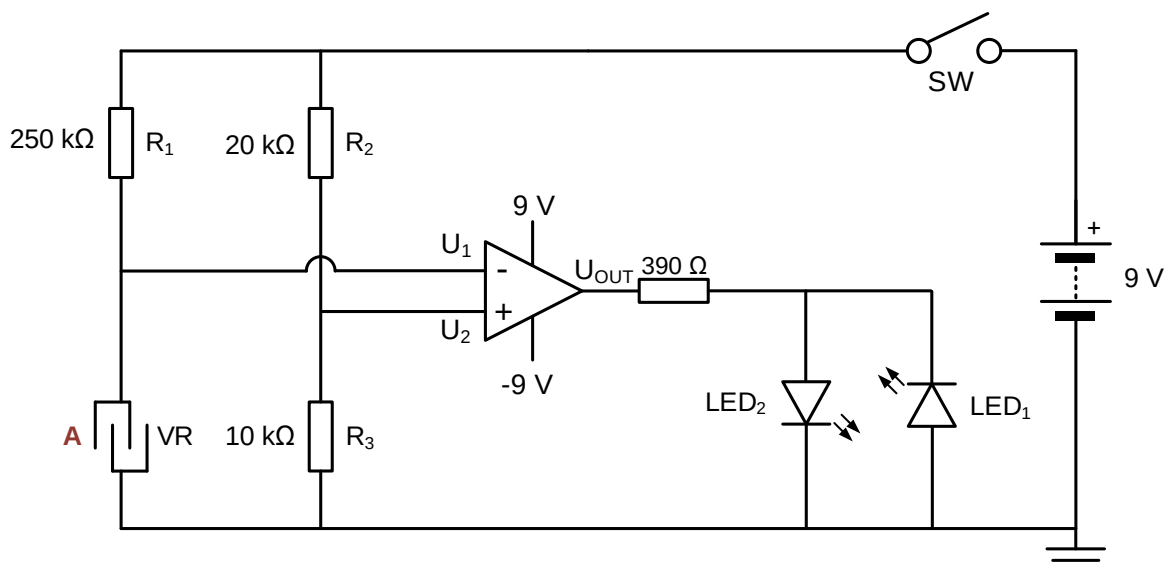
γ) Στη συγκεκριμένη συνδεσμολογία η τάση στη μη ανάστροφη είσοδο είναι 1,34 V και είναι μεγαλύτερη από τη τάση στην ανάστροφη είσοδο που είναι 0 (συνδεδεμένη με τη γείωση).

Άρα στην έξοδο έχουμε κατάσταση HIGH και η LED με το τρόπο που είναι ενωμένη, δεν θα ανάψει.

Άσκηση 9

Ένας μαθητής σχεδίασε το πιο κάτω κύκλωμα του Τ.Ε., για να το χρησιμοποιήσει σε ένα θερμοκήπιο, ώστε να ανάβει η δίοδος φωτοεκπομπής LED₂, όταν το έδαφος δεν έχει ικανοποιητική υγρασία και, αντίστροφα, να ανάβει η δίοδος φωτοεκπομπής LED₁, όταν έχει αρκετή υγρασία. Για την ανίχνευση

της υγρασίας χρησιμοποίησε το εξάρτημα A (με μεταβλητή αντίσταση VR), που είναι ένας αισθητήρας υγρασίας του οποίου η αντίσταση ελαττώνεται με την αύξηση της υγρασίας στο έδαφος. Οι τιμές αντίστασης που μπορεί να πάρει ο ανιχνευτής υγρασίας είναι από 50 kΩ - 5 MΩ.



α) Να υπολογίσετε την τιμή της αντίστασης του αισθητήρα υγρασίας, για την οποία ο μαθητής έχει διευθετήσει το κύκλωμά του, ώστε να δίνεται το μήνυμα «ότι δεν υπάρχει ικανοποιητική υγρασία στο θερμοκήπιο». Να εξηγήσετε με λίγα λόγια.

β) Είναι σωστή ή όχι η διευθέτηση των διόδων φωτοεκπομπής στην έξοδο, ώστε να δίνουν την ένδειξη σύμφωνα με την απόφαση του μαθητή, δηλαδή «...να ανάβει η διάδος φωτοεκπομπής LED₂, όταν το έδαφος δεν έχει ικανοποιητική υγρασία και να ανάβει η διάδος φωτοεκπομπής LED₁, όταν έχει αρκετή υγρασία»; Να δικαιολογήσετε την απάντησή σας.

Λύση:

α) Στην ανάστροφη είσοδο:
$$U_1 = \frac{VR}{VR + R_1} \cdot U_s$$

Στην μη ανάστροφη είσοδο:
$$U_2 = \frac{R_3}{R_3 + R_2} \cdot U_s$$

Όσο μειώνεται η υγρασία τόσο αυξάνεται η αντίσταση στον αισθητήρα υγρασίας. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να αυξάνεται και τάση στα άκρα του που ισούται με την U_1 .

Σύμφωνα με τις προδιαγραφές του μαθητή για να υπάρξει κατάσταση ότι δεν υπάρχει ικανοποιητική υγρασία στο χώρο, πρέπει να έχουμε $U_1 > U_2$

Έχουμε λοιπόν,
$$\frac{VR}{250 + VR} \cdot U_s > \frac{10}{20 + 10} \cdot U_s, \quad 30VR > 10R + 2500, \quad 20VR > 2500$$

$$VR > 125 \text{ k}\Omega$$

Για να ισχύει η συνθήκη ότι η υγρασία δεν είναι ικανοποιητική, η αντίσταση στον ανιχνευτή υγρασίας πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 125 kΩ.

β) Η συνδεσμολογία των LED είναι λάθος. Θα ανάψουν ακριβώς **αντίθετα** με την επιθυμία του μαθητή.

Δηλαδή θα ανάβει η LED₁ όταν δεν έχει ικανοποιητική υγρασία και η LED₂ όταν έχει αρκετή υγρασία .

Όταν δεν υπάρχει ικανοποιητική υγρασία η αντίσταση του ανιχνευτή είναι σχετικά μεγάλη με αποτέλεσμα να έχουμε $U_1 > U_2$. Έτσι στη έξοδο θα έχουμε αρνητική τάση που σημαίνει ότι θα ανάψει η LED₁.

Όταν υπάρχει αρκετή υγρασία η αντίσταση του ανιχνευτή είναι σχετικά μικρή με αποτέλεσμα να έχουμε $U_2 > U_1$. Έτσι στην έξοδο θα έχουμε θετική τάση που σημαίνει θα ανάψει η LED₂.

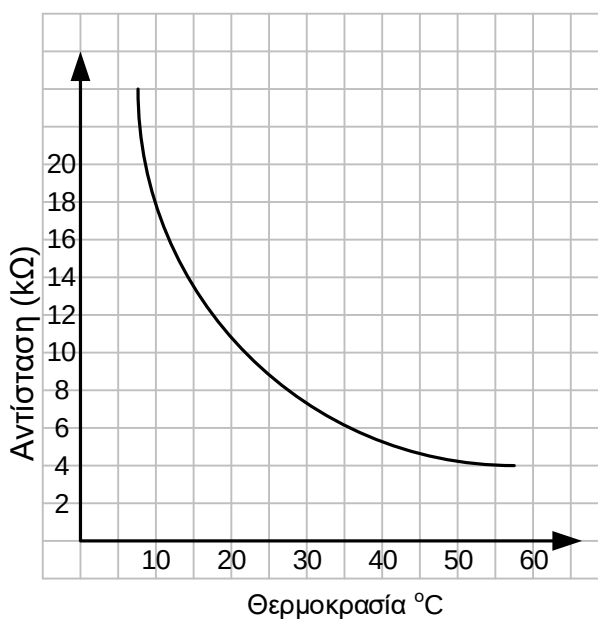
Άσκηση 10

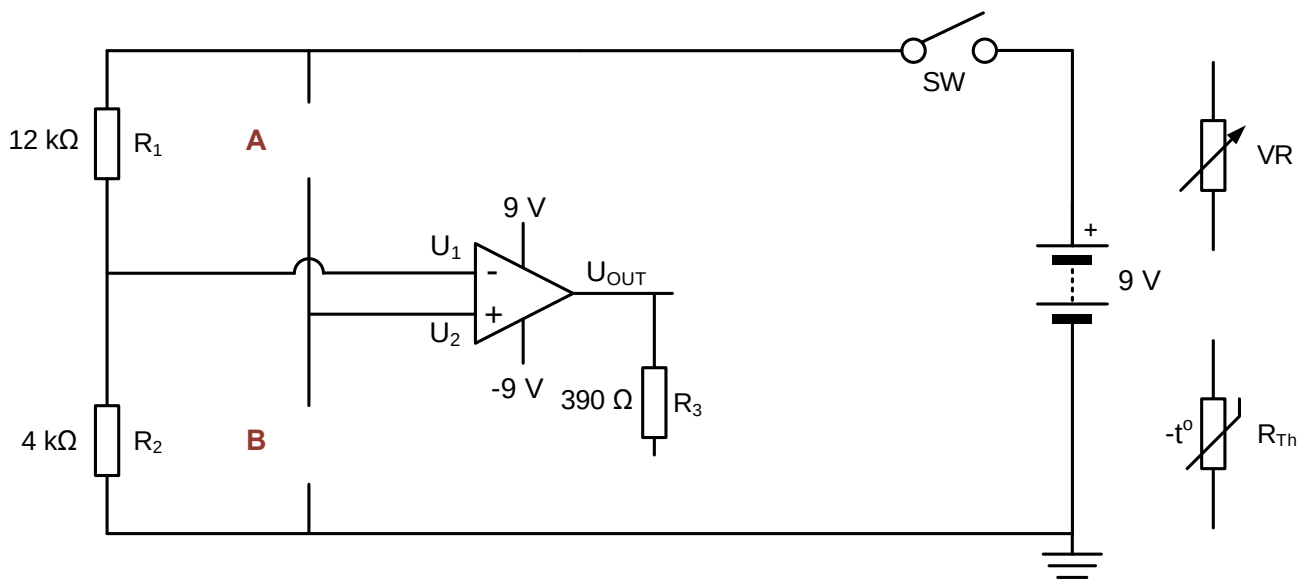
Το ημιτελές κύκλωμα του σχήματος πιο κάτω χρησιμοποιεί τελεστικό ενισχυτή σε συνδεσμολογία συγκριτή για να δώσει λύση στο τεχνολογικό πρόβλημα που ακολουθεί:

«Στους ψυκτικούς θαλάμους μιας φρουταρίας όπου συντηρούνται φρούτα και λαχανικά, η θερμοκρασία δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη των 10° C. Για αυτό έχει εγκατασταθεί βοηθητικό σύστημα ψύξης που τίθεται αυτόματα σε λειτουργία όταν η θερμοκρασία στον χώρο του ψυγείου ξεπερνά τους 10° C. Ταυτόχρονα με τη λειτουργία του βοηθητικού συστήματος ψύξης, ανάβει μία δίοδος φωτοεκπομπής».

α) Να συμπληρώσετε το κύκλωμα βάζοντας στις θέσεις Α και Β το κατάλληλο εξάρτημα από τα VR και R_{th}, όπως επίσης και τα εξαρτήματα που λείπουν στην έξοδο, ώστε το κύκλωμα να λειτουργεί όπως περιγράφεται πιο πάνω. Το βοηθητικό σύστημα ψύξης να συμβολιστεί με έναν μικροκινητήρα.

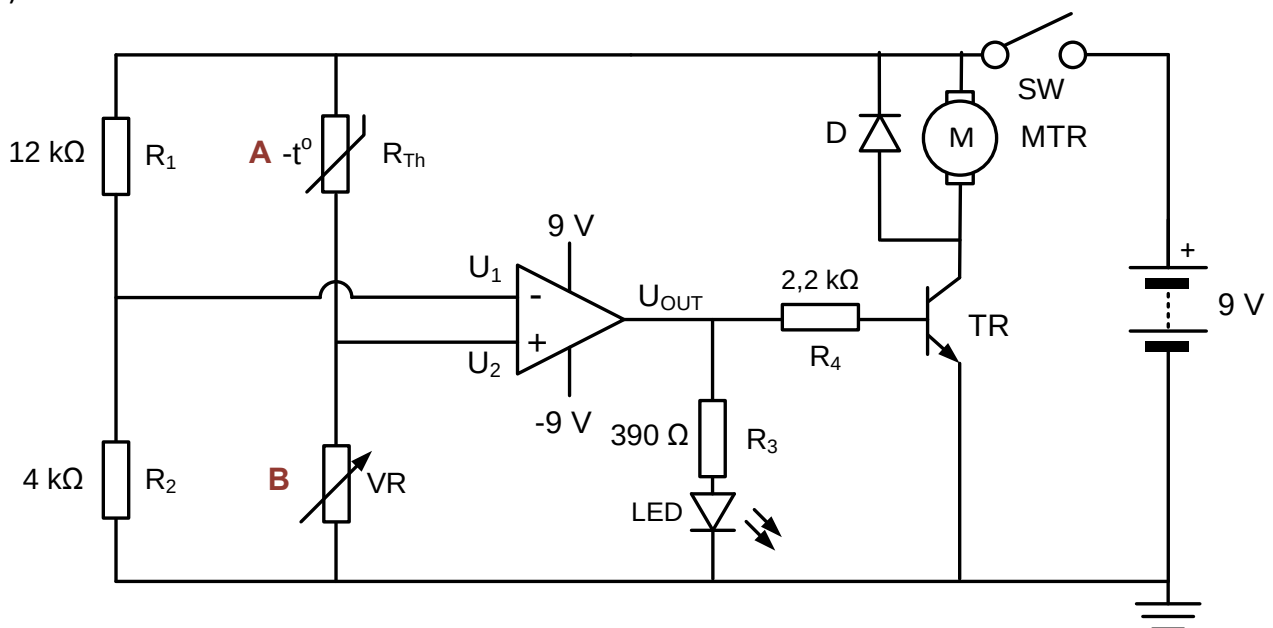
β) Να υπολογίσετε την τιμή του αντιστάτη VR, ώστε το κύκλωμα να λειτουργεί όπως πιο πάνω, αφού λάβετε υπόψη σας τη γραφική παράσταση λειτουργίας του αισθητήρα θερμοκρασίας (αντίσταση σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία) που φαίνεται δίπλα.





Λύση:

α)



Εξήγηση κυκλώματος: Το βοηθητικό σύστημα ψύξης μαζί με τη δίοδο φωτοεκπομπής λειτουργούν όταν η θερμοκρασία στο ψυγείο ξεπεράσει τους 10°C .

Για να λειτουργεί το τρανζίστορ (και ο μικροκινητήρας) η έξοδος του τελεστικού πρέπει να είναι *high*, άρα πρέπει να ισχύει: $U_2 > U_1$

$$U_1 = \frac{R_2}{R_2 + R_1} \cdot U_s \text{ (σταθερή και ανεξάρτητη των μεταβολών της θερμοκρασίας)}$$

Η τάση U_2 πρέπει να αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Όμως η αντίσταση του φωτοαντιστάτη μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας (ταυτόχρονα μειώνεται και η τάση

στα άκρα της) για αυτό και συνδέεται στην κενή θέση Α. Ο μεταβλητός αντιστάτης συνδέεται στην θέση Β.

$$\beta) \quad U_1 = \frac{R_2}{R_2 + R_1} \cdot U_s = \frac{4}{12 + 4} \cdot 9 = 2,25 \text{ V}$$

Στους 10° C: πρέπει $U_2 = U_1$ και $R_{th} = 18 \text{ k}\Omega$

$$U_2 = \frac{VR}{VR + R_{th}} \cdot U_s = \frac{VR}{VR + 18} \cdot 9 = 2,25 \text{ V} \Rightarrow$$

$$2,25 \cdot (VR + 18) = 9VR \Rightarrow$$

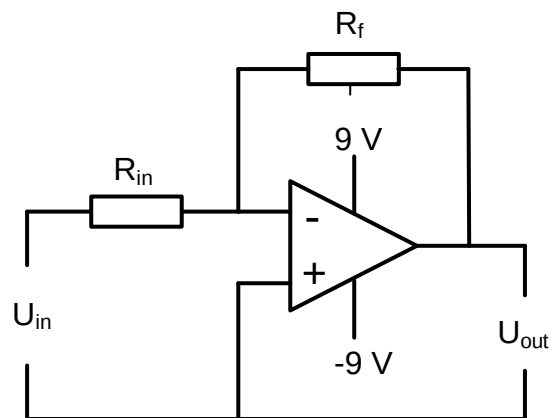
$$40,5 = (9 - 2,25) \cdot VR \Rightarrow VR = 6 \text{ k}\Omega$$

Άσκηση 11

Δίπλα φαίνεται ένας τελεστικός ενισχυτής συνδεδεμένος σε μία από τις τρεις βασικές συνδεσμολογίες.

α) Να ονομάσετε τη συνδεσμολογία αυτή και να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.

β) Αν ο R_f είναι 20 kΩ και ο R_{in} είναι 1 kΩ, να υπολογίσετε την τάση εξόδου U_{out} , όταν η τάση εισόδου U_{in} είναι 0,2 V.



Λύση:

α) Η συνδεσμολογία ονομάζεται αναστρέφων ενισχυτής. Ο ανάστροφος ακροδέκτης (-) συνδέεται με την είσοδο μέσω του αντιστάτη R_{in} και ο μη ανάστροφος ακροδέκτης (+) συνδέεται στα 0 V.

β) Γνωρίζουμε ότι για τον αναστρέφοντα ενισχυτή ισχύουν οι σχέσεις,

$$\text{Ενίσχυση τάσης } G = \frac{U_{out}}{U_{in}} \text{ και } G = - \frac{R_f}{R_{in}} \quad \text{Άρα, } \frac{U_{out}}{U_{in}} = - \frac{R_f}{R_{in}} \Rightarrow \frac{U_{out}}{0,2} = - \frac{20}{1} \quad U_{out} = -4 \text{ V}$$

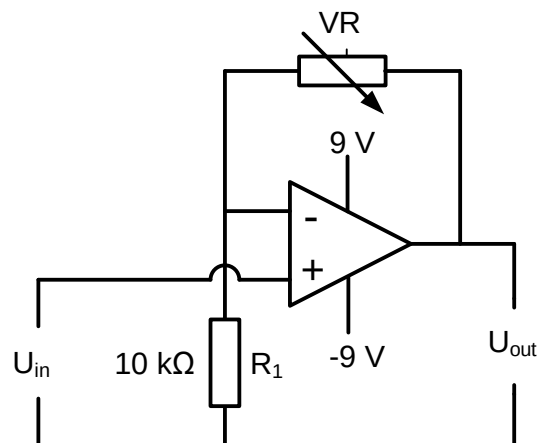
Άσκηση 12

Στο διπλανό σχήμα φαίνεται ένας τελεστικός ενισχυτής συνδεδεμένος σε μία από τις τρεις βασικές συνδεσμολογίες.

α) Να ονομάσετε τη συνδεσμολογία.

β) Αν $U_{in} = 1,5 \text{ V}$, να υπολογίσετε την ενίσχυση τάσης (απολαβή) του κυκλώματος, καθώς και την τάση εξόδου U_{out} , στις πιο κάτω περιπτώσεις:

- i. Όταν $VR = 20 \text{ k}\Omega$
- ii. Όταν $VR = 50 \text{ k}\Omega$
- iii. Όταν $VR = 0 \text{ k}\Omega$



Λύση:

α) Μη αναστρέφων ενισχυτής

$$\beta) G = \frac{U_{out}}{U_{in}} \Rightarrow U_{out} = G \cdot U_{in} \quad \text{και} \quad G = 1 + \frac{VR}{R_1}$$

$$U_{in} = 1,5 \text{ V}$$

$$\text{i} \quad VR = 20 \text{ k}\Omega \quad G = 1 + \frac{VR}{R_1} = 1 + \frac{20}{10} \Rightarrow G = 3 \quad U_{out} = G \cdot U_{in} \Rightarrow U_{out} = 3 \cdot 1,5 = 4,5 \text{ V}$$

$$\text{ii} \quad VR = 50 \text{ k}\Omega \quad G = 1 + \frac{VR}{R_1} = 1 + \frac{50}{10} \Rightarrow G = 6 \quad U_{out} = G \cdot U_{in} \Rightarrow U_{out} = 6 \cdot 1,5 = 9 \text{ V} \Rightarrow U_{out} = 7 \text{ V}$$

Η τάση στην έξοδο του τελεστικού ενισχυτή φτάνει σε επίπεδα κορεσμού. Ψαλιδίζεται και δίνει μόνο 7 V.

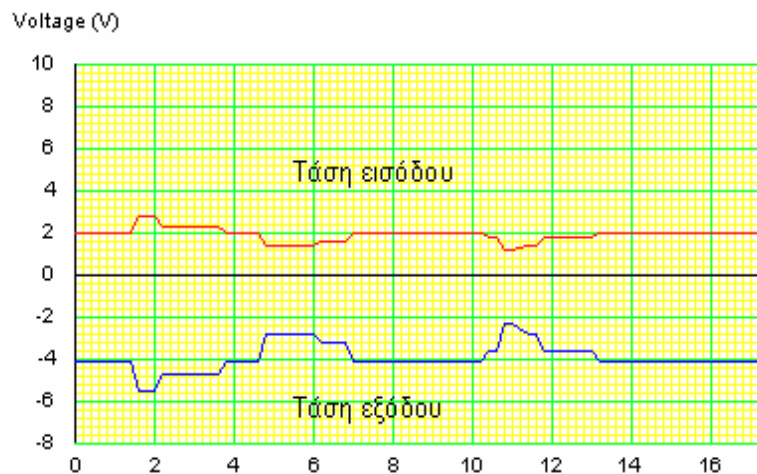
$$\text{iii} \quad VR = 0 \text{ k}\Omega \quad G = 1 + \frac{VR}{R_1} = 1 + \frac{0}{10} \Rightarrow G = 1 \quad U_{out} = G \cdot U_{in} \Rightarrow U_{out} = 1 \cdot 1,5 = 1,5 \text{ V}$$

Άσκηση 13

Οι κυματομορφές που φαίνονται στο πιο κάτω σχήμα δείχνουν τις τάσεις εισόδου και εξόδου ενός κυκλώματος που χρησιμοποιεί τον τελεστικό ενισχυτή μΑ741 και που τροφοδοτείται με τάση -9V, +9V.

α) Να αναφέρετε τη συνδεσμολογία του τελεστικού ενισχυτή μΑ741 που χρησιμοποιήθηκε στο κύκλωμα. Να δικαιολογήσετε την απάντησή σας.

β) Να υπολογίσετε την απολαβή του κυκλώματος από τις γραφικές παραστάσεις που φαίνονται δίπλα.



Λύση:

α) Χρησιμοποιήθηκε συνδεσμολογία αναστρέφοντα ενισχυτή.

Στην γραφική παράσταση στην οποία φαίνονται οι τάσεις εισόδου και οι τάσεις εξόδου του κυκλώματος, οι τάσεις εισόδου έχουν αντίθετο πρόσημο από τις τάσεις εξόδου.

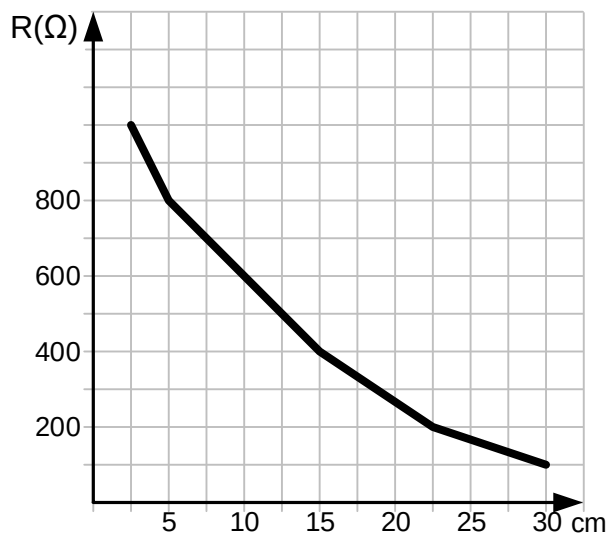
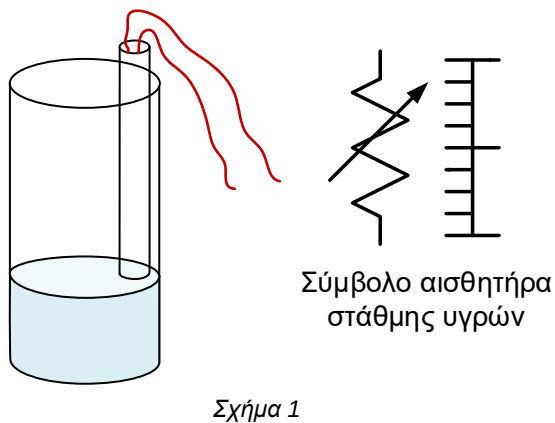
$$\beta) \text{ Γνωρίζουμε ότι για τον αναστρέφοντα ενισχυτή η απολαβή ισούται με } G = \frac{U_{out}}{U_{in}}$$

$$\text{όταν } t=8 \text{ s} \quad U_{in} = 2 \text{ V} \quad U_{out} = -4 \text{ V}$$

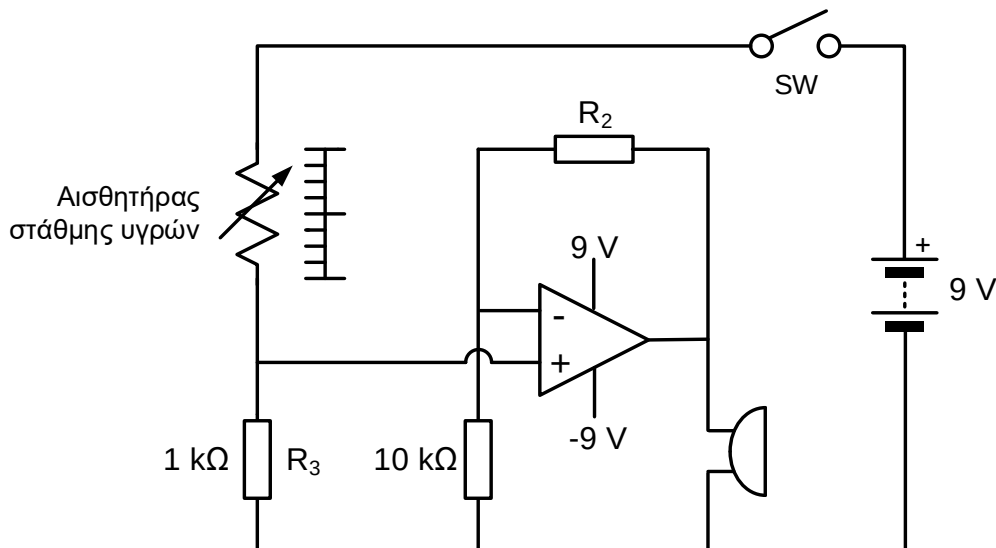
$$G = \frac{U_{out}}{U_{in}} = \frac{-4 \text{ V}}{2 \text{ V}} = -2$$

Άσκηση 14

Στο σχήμα 1 φαίνεται ο αισθητήρας στάθμης υγρών ο οποίος χρησιμοποιείται για τη μέτρηση του ύψους της στάθμης μη διαβρωτικών υγρών. Αυτό επιτυγχάνεται καθώς η αντίσταση του αισθητήρα μειώνεται με την αύξηση της στάθμης του υγρού που το περιβάλλει. Στο σχήμα 2 φαίνεται η μεταβολή της τιμής της αντίστασης σε συνάρτηση με το ύψος της στάθμης του υγρού.



Ο αισθητήρας αυτός χρησιμοποιήθηκε σε μία συσκευή όπου ένας βομβητής αρχίζει να ηχεί όταν στα άκρα του εφαρμοστεί τάση, τουλάχιστον 6 V. Ο σκοπός της συσκευής είναι να ειδοποιεί ηχητικά ότι η στάθμη ενός υγρού που προκύπτει από απόσταξη έφτασε στο προκαθορισμένο όριο. Το κύκλωμα του συστήματος εμφανίζεται πιο κάτω.



α) Με δεδομένο ότι ο αντιστάτης R_3 έχει αντίσταση $1\text{ k}\Omega$ και ο βομβητής αρχίζει να ηχεί (στα 6 V) όταν η στάθμη του υγρού φθάσει τα 5 cm, να υπολογίσετε την απολαβή του κυκλώματος.

β) Να υπολογίσετε την τιμή του αντιστάτη R_2 σύμφωνα με τα πιο πάνω.

γ) Να υπολογίσετε την τάση στα άκρα του βομβητή όταν η στάθμη του υγρού φτάσει τα 30 cm.

Λύση:

α) Όταν η στάθμη του νερού είναι στα 5 cm η αντίσταση του αισθητήρα υγρασίας (γραφική παράσταση) είναι $R_Y = 800 \Omega = 0,8 \text{ k}\Omega$

$$\text{Η τάση εισόδου ισούται με } U_{in} = \frac{R_3}{R_3 + R_Y} \cdot U_s \Rightarrow U_{in} = \frac{1}{1 + 0,8} \cdot 9 = 5 \text{ V}$$

$$\text{Η απολαβή } G \text{ του κυκλώματος ισούται με } G = \frac{U_{out}}{U_{in}} = \frac{6 \text{ V}}{5 \text{ V}} = 1,2$$

β) Η συνδεσμολογία είναι μη αναστρέφων ενισχυτής. Άρα η απολαβή G ισούται με

$$G = 1 + \frac{R_2}{R_1} \Rightarrow 1,2 = 1 + \frac{R_2}{10 \text{ k}\Omega} \Rightarrow 0,2 = \frac{R_2}{10 \text{ k}\Omega} \Rightarrow R_2 = 2 \text{ k}\Omega$$

γ) Όταν η στάθμη του νερού είναι στα 30 cm η αντίσταση του αισθητήρα υγρασίας (γραφική παράσταση) είναι $R_Y = 100 \Omega = 0,1 \text{ k}\Omega$.

$$\text{Άρα } U_{in} = \frac{R_3}{R_3 + R_Y} \cdot U_s \Rightarrow U_{in} = \frac{1}{1 + 0,1} \cdot 9 = 8,18 \text{ V}$$

$$U_{out} = G \cdot U_{in} = 1,2 \cdot 8,18 \text{ V} = 9,82 \text{ V} \Rightarrow$$

$$U_{out} = 7 \text{ V}$$

Η τάση στην έξοδο του τελεστικού ενισχυτή φτάνει σε επίπεδα κορεσμού. Ψαλιδίζεται και δίνει μόνο 7 V.

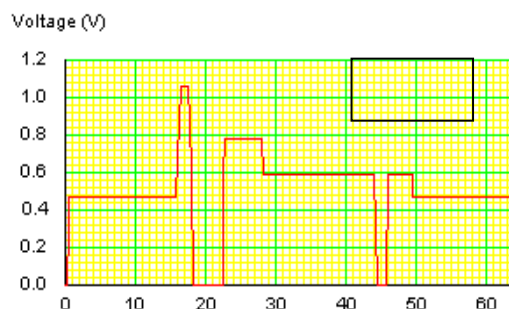
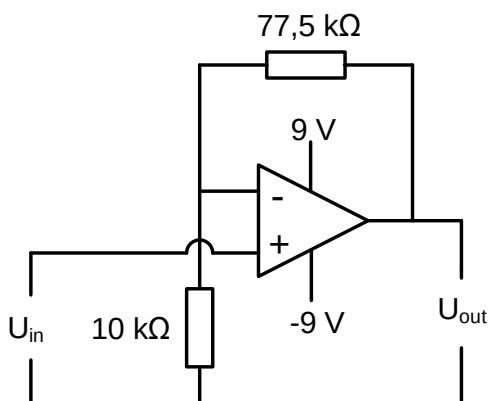
Άσκηση 15

Στην είσοδο του ενισχυτή που φαίνεται πιο κάτω εφαρμόζεται το ηλεκτρικό σήμα που έχει την κυματομορφή που φαίνεται στη γραφική παράσταση $U = f(t)$.

α) Να αναφέρετε το είδος του ενισχυτή. Να δικαιολογήσετε την απάντησή σας.

β) Να υπολογίσετε την ενίσχυση τάσης του πιο κάτω κυκλώματος.

γ) Η κυματομορφή εισόδου «περνά» όλη μέσα από τον ενισχυτή και ενισχύεται με βάση την απολαβή του ενισχυτή ή κάποιο κομμάτι της ψαλιδίζεται; Να δικαιολογήσετε την απάντησή σας.



Λύση:

α) Η συνδεσμολογία είναι μη αναστρέφων ενισχυτής. Ο μη ανάστροφος ακροδέκτης (+) συνδέεται με την είσοδο και ο ανάστροφος ακροδέκτης συνδέεται στα 0 V διαμέσου εξωτερικού αντιστάτη R_1 .

β) Γνωρίζουμε ότι για την απολαβή / ενίσχυση G του μη αναστρέφοντα ενισχυτή ισχύουν οι σχέσεις:

$$G = \frac{U_{out}}{U_{in}} \text{ και } G = 1 + \frac{R_2}{R_1}, \quad G = 1 + \frac{77,5}{10} \quad \text{Άρα} \quad \mathbf{G = 8,75}$$

γ) Ο συγκεκριμένος ενισχυτής ο οποίος τροφοδοτείται με τάση +9V , -9V θα ψαλιδίζει τάσεις εξόδου πέραν του -7 V και +7 V. Έτσι μπορούμε να πούμε ότι η μέγιστη τάση εξόδου, $U_{out(max)} = 7 \text{ V}$ (οι τάσεις εισόδου είναι θετικές).

$$\text{Άρα από τη σχέση } G = \frac{U_{out}}{U_{in}}, \quad 8,75 = \frac{7}{U_{in}}, \quad U_{in} = \frac{7}{8,75} \quad \text{Άρα} \quad \mathbf{U_{in} = 0,8 \text{ V}}$$

Αυτό σημαίνει ότι τμήμα της εισόδου που έχει τιμή μεγαλύτερη από 0,8 V ψαλιδίζεται στην έξοδο.