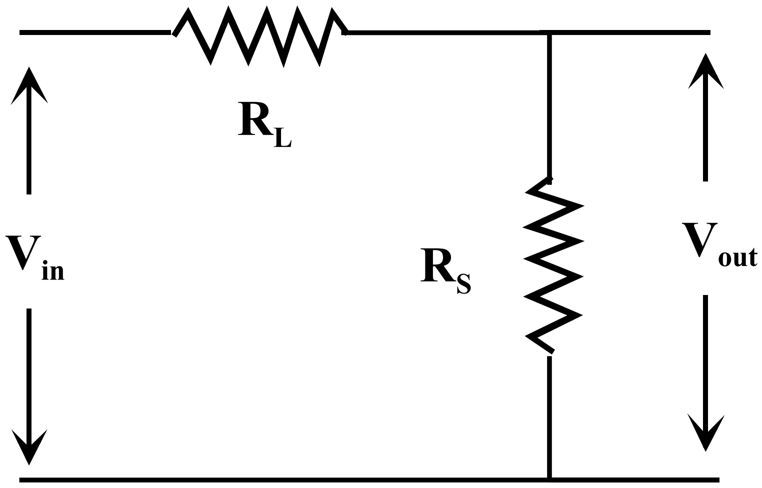
Διατάξεις προσαρμογής

- **Είναι διατάξεις που βοηθούν στην ρύθμιση (conditioning) και τη διασύνδεση (interfacing) των σημάτων των αισθητήρων πριν αυτά φτάσουν στους ενδείκτες ή σε όποιο άλλο σύστημα είναι απαραίτητο. Οι διατάξεις προσαρμογής είναι συνήθως ηλεκτρονικές διατάξεις.**
- **Σαν παράδειγμα, συχνά απαιτούνται μετατροπείς αντίστασης (και γενικότερα χωρητικότητας ή αυτεπαγωγής) σε τάση, ενισχυτές, φίλτρα, μετατροπείς αναλογικού σήματος σε ψηφιακό ή ψηφιακού σήματος σε αναλογικό κ.λ.π.**
- **Αντίστοιχα, αν η έξοδος του αισθητήρα δεν μετατρέπεται άμεσα σε ηλεκτρικό σήμα, μπορεί να απαιτηθεί η χρήση άλλου τύπου αισθητήρα.**
- **Σαν παράδειγμα, στο επιταχυνσιόμετρο σεισμικής μάζας απαιτείται ένας αισθητήρας γραμμικής μετατόπισης, στα ροόμετρα που βασίζονται στη πτώση πίεσης μέσω εμποδίου απαιτείται αισθητήρας διαφοράς πίεσης, ενώ οι αισθητήρες πίεσης με διάφραγμα περιέχουν χωρητικό αισθητήρα μετατόπισης.**

- **Γενικά, υπάρχουν δυο κατηγορίες ηλεκτρονικών διατάξεων προσαρμογής, τα ενεργητικά (που απαιτούν δική τους πηγή ενέργειας) και τα παθητικά. Τα πλέον χρησιμοποιούμενα παθητικά κυκλώματα προσαρμογής είναι ο διαιρέτης τάσης και η γέφυρα Wheatstone. Αντίστοιχα, οι τελεστικοί ενισχυτές αποτελούν ένα άριστο εργαλείο για τη ρύθμιση σημάτων.**

Διαιρέτης τάσης, γέφυρα Wheatstone

- **Σε πολλές κατηγορίες αισθητήρων, η έξοδος του αισθητήρα είναι αντίσταση, χωρητικότητα ή αυτεπαγωγή, οπότε είναι συχνά απαραίτητο η έξοδος αυτή να μετατραπεί σε τάση.**
- **Τα απλούστερα και πλέον χρησιμοποιούμενα για το σκοπό αυτό κυκλώματα προσαρμογής είναι ο διαιρέτης τάσης και η γέφυρα Wheatstone.**
- **Ας εξετάσουμε λοιπόν τις παραμέτρους λειτουργίας αυτών των κυκλωμάτων με ωμική αντίσταση, ενώ η λειτουργία με πυκνωτή ή χωρητικότητα είναι αντίστοιχη.**



➢ **Έστω ο διαιρέτης τάσης του διπλανού σχήματος, όπου R_S η αντίσταση του αισθητήρα, V_{out} η τάση εξόδου, R_L η αντίσταση φορτίου και V_{in} είναι η τάση εισόδου.**

➢ **Υπό αυτές τις συνθήκες, η τάση εξόδου εξαρτάται άμεσα από τις μεταβολές της αντίστασης R_S. Αν η R_S μεταβάλλεται λόγω ενός εξωτερικού αιτίου, τότε η τιμή της μπορεί να γραφτεί υπό την μορφή:**

$$R_S=R_0(1+x)$$

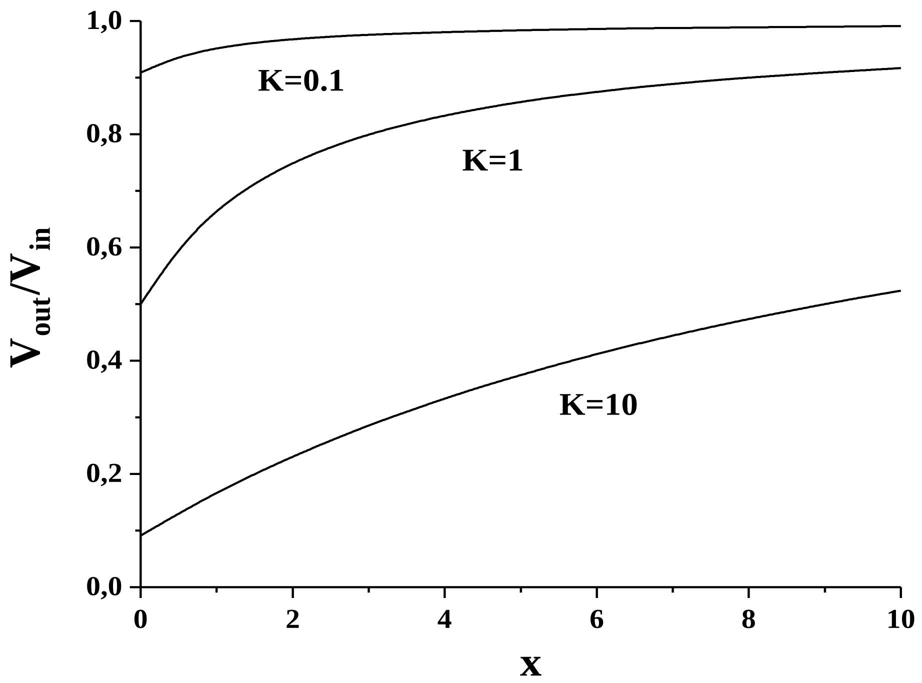
όπου R_0 η αντίσταση χωρίς την επίδραση του εξωτερικού αιτίου και x η μεταβολή που υπάρχει λόγω του εξωτερικού αιτίου.

➢ **Ταυτόχρονα, ας θεωρήσουμε ότι ο λόγος της αντίστασης φορτίου προς την αρχική αντίσταση του αισθητήρα είναι K ($R_L=KR_0$).**

➢ **Από τον διαιρέτη τάσης θα έχουμε:**

$$V_{out} = V_{in}\frac{R_S}{R_S + R_L} = V_{in}\frac{R_0(1+x)}{R_0(1+x) + KR_0} = V_{in}\frac{(1+x)}{(1+x)+K}$$

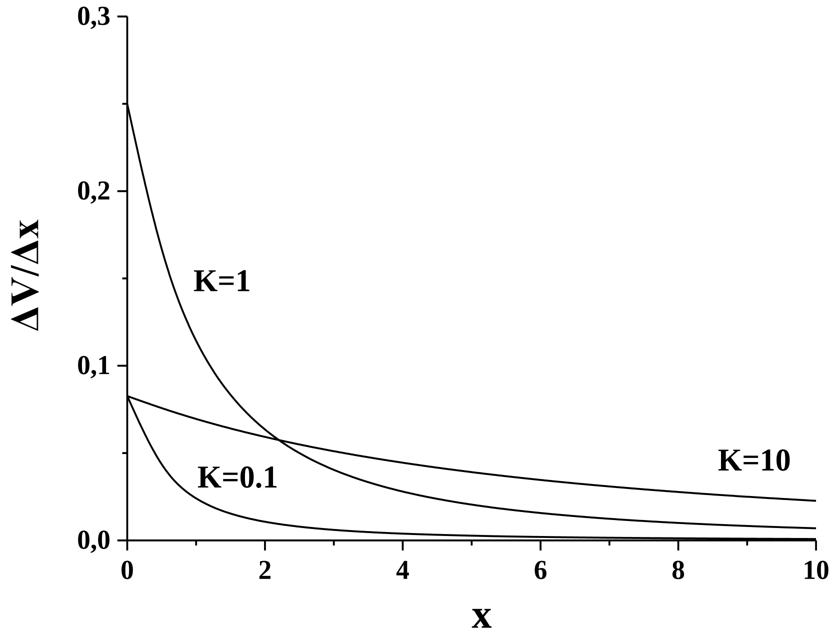
- **Η μεταβολή του V_{out}/V_{in} σαν συνάρτηση του x παρουσιάζεται στο διπλανό σχήμα, για τρεις τιμές της παραμέτρου K.**



- **Όπως φαίνεται, σε κάθε περίπτωση, η μεταβολή του x επιφέρει μεταβολή στην τάση εξόδου, η σχέση όμως εισόδου-εξόδου δεν είναι γραμμική.**
- **Μάλιστα, η τιμή της τάσης εξόδου πλησιάζει την τιμή της τάσης εισόδου για μεγάλα x.**

- Για να βρούμε τώρα την ευαισθησία της διάταξης, πρέπει να παραγωγίσουμε την εξίσωση της διάταξης, οπότε έχουμε:

$$S = \frac{\Delta V_{out}}{\Delta x} = \frac{d}{dx}\left(V_{in}\,\frac{(1+x)}{(1+x)+K} \right) = V_{in}\,\frac{K}{(1+x+K)^2}$$



- Η μεταβολή της ευαισθησίας της διάταξης σε συνάρτηση με το x παρουσιάζεται στο διπλανό Σχήμα για τρεις τιμές του K.
- Όπως αναμένεται, η ευαισθησία δεν είναι σταθερή, αλλά εξαρτάται από την τιμή του x.
- Μέγιστη ευαισθησία φαίνεται να παρουσιάζεται για K=1, δηλαδή όταν η αντίσταση του φορτίου γίνει ίση με την αντίσταση του αισθητήρα.

➢ **Ας το δούμε όμως αυτό πιο αναλυτικά: για να βρούμε που μεγιστοποιείται η ευαισθησία σε σχέση με την τιμή του Κ, πρέπει να βρούμε που μηδενίζεται η παράγωγος της προηγούμενης εξίσωσης ως προς Κ. Δηλαδή:**

$$\frac{dS}{dK}=0 \Rightarrow \frac{d}{dK}\left(\frac{K}{(1+x+K)^2}\right)=0 \Rightarrow \frac{(1+x+K)(1+x-K)}{(1+x+K)^4}=0 \Rightarrow$$

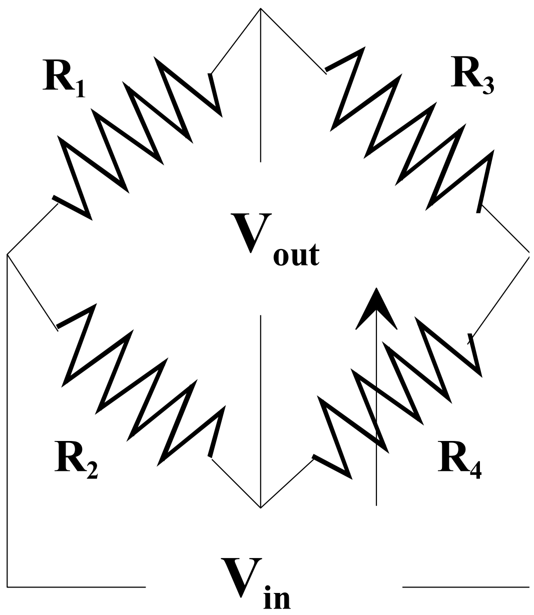
$$1+x-K=0 \Rightarrow K=1+x \Rightarrow K \approx 1$$

➢ **Βλέπουμε δηλαδή ότι για σχετικά μικρές τιμές του x (που ουσιαστικά αντιστοιχούν σε λειτουργία αισθητήρα), σε κύκλωμα προσαρμογής τύπου διαιρέτη τάσης, υπάρχει μέγιστη ευαισθησία όταν η αντίσταση του φορτίου είναι ίση με την αντίσταση του αισθητήρα.**

➢ **Τέλος, ας εξετάσουμε τι συμβαίνει για πολύ μικρές τιμές του x. Η εξίσωση για πολύ μικρές τιμές του x (x<<1) γίνεται:**

$$V_{out}=V_{in}\frac{1}{1+K}$$

➢ **Για πολύ μικρές τιμές του x, το V_{out}/V_{in} δεν παρουσιάζει εξάρτηση από το x αλλά μόνο από τη παράμετρο Κ. Δηλαδή, η τάση εξόδου παραμένει σταθερή αν και το x αυξάνεται, με την τιμή της να καθορίζεται αποκλειστικά από την παράμετρο Κ. Επομένως, ο διαιρέτης τάσης ως κύκλωμα προσαρμογής αισθητήρα δεν λειτουργεί σωστά για πολύ μικρές αλλαγές του εξωτερικού αίτιου.**



➢ **Στη συνέχεια, ας δούμε τα αντίστοιχα στοιχεία για μία γέφυρα Wheatstone. Έστω η γέφυρα του Σχήματος, όπου η αντίσταση R_3 μπορεί να μεταβάλλεται λόγω ενός εξωτερικού αιτίου, με τη τιμή της να δίνεται από μία σχέση της μορφής $R_3=R_0(1+x)$.**

➢ **Το R_0 είναι η τιμή της αντίστασης του αισθητήρα χωρίς την επίδραση του εξωτερικού αιτίου και x η μεταβολή που υπάρχει λόγω του εξωτερικού αιτίου.**

- **Ταυτόχρονα, ας θεωρήσουμε ότι η γέφυρα είναι αρχικά (x=0) σε ισορροπία, δηλαδή:**

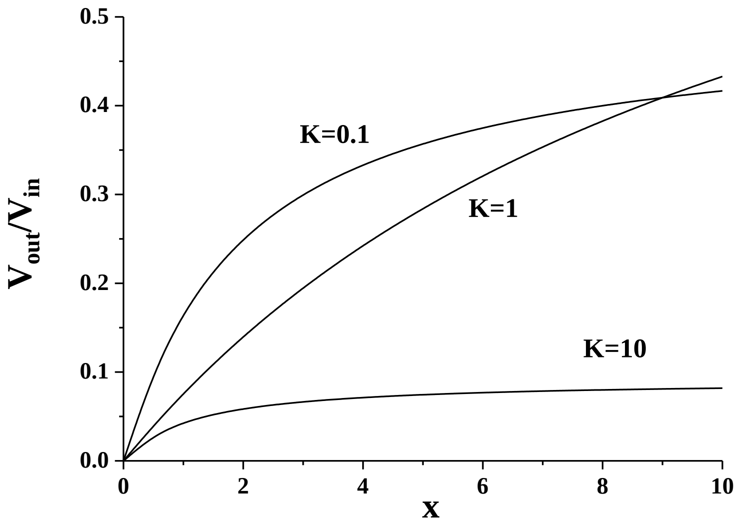
$$\frac{R_1}{R_0} = \frac{R_2}{R_4} = K \Rightarrow R_1 = KR_0, R_2 = KR_4$$

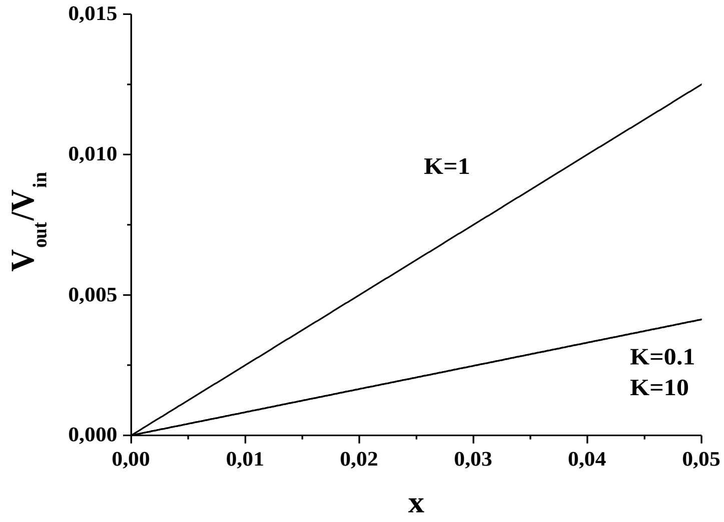
- **Από την γέφυρα θα έχουμε:**

$$V_{out} = V_{in}\left\{\frac{R_0(1+x)}{R_0(1+x)+KR_0} - \frac{R_4}{R_4+KR_4}\right\} \Rightarrow$$

$$V_{out} = V_{in}\left\{\frac{1+x}{1+x++K} - \frac{1}{1+K}\right\} = V_{in}\frac{Kx}{(1+K)(1+x+K)}$$

- **Η μεταβολή του V_{out}/V_{in} σαν συνάρτηση του x παρουσιάζεται στο Σχήμα παρακάτω, για τρεις τιμές της παραμέτρου K. Όπως φαίνεται, σε κάθε περίπτωση, η μεταβολή του x επιφέρει μεταβολή στην τάση εξόδου, η σχέση όμως εισόδου-εξόδου δεν είναι γραμμική. Μάλιστα, η τιμή της τάσης εξόδου πλησιάζει το μισό της τιμής της τάσης εισόδου για μεγάλα x.**





➢ **Για να βρούμε τώρα την ευαισθησία της διάταξης, πρέπει να παραγωγίσουμε την εξίσωση, οπότε έχουμε:**

$$S = \frac{\Delta V_{out}}{\Delta x} = \frac{d}{dx}\left(V_{in} \, \frac{Kx}{(1+K)(1+x+K)} \right) = V_{in} \, \frac{K}{(1+x+K)^2}$$

➢ **Βλέπουμε επομένως ότι η ευαισθησία της γέφυρας Wheatstone ως κύκλωμα προσαρμογής σε αισθητήρα είναι ακριβώς η ίδια με αυτή του διαιρέτη τάσης.**

- **Μάλιστα, σύμφωνα και με την εξίσωση, μέγιστη ευαισθησία παρουσιάζεται για K=1, δηλαδή όταν οι αντιστάσεις της γέφυρας είναι όλες ίσες με την αντίσταση του αισθητήρα.**
- **Τέλος, ας εξετάσουμε τι συμβαίνει για x<<1:**

$$V_{out} = V_{in}\frac{Kx}{(1+K)^2}$$

- **Για πολύ μικρές τιμές του x, το V_{out}/V_{in} εξαρτάται γραμμικά από το x. Στη μεταβολή του V_{out}/V_{in} σαν συνάρτηση του x, για τιμές x<0.05, η τάση εξόδου αυξάνεται γραμμικά με αύξηση του x.**
- **Επομένως, η γέφυρα ιδανική για πολύ μικρές αλλαγές της αντίστασης του αισθητήρα.**

- **Ένα σημείο που απαιτεί προσοχή σε κύκλωμα προσαρμογής για μετατροπή αντίστασης σε τάση, είναι τα άλλα εξωτερικά αίτια που μπορούν να επηρεάσουν την τιμή αντίστασης του αισθητήρα εκτός από την επιθυμητή είσοδο του.**
- **Σαν παράδειγμα, η τιμή της αντίστασης σε μία πιεζοαντίσταση μπορεί να μεταβληθεί και με τη θερμοκρασία εκτός από μία μηχανική τάση. Για να λύσουμε το πρόβλημα αυτό στην περίπτωση της γέφυρας, χρησιμοποιούμε συμμετρικά του αισθητήρα αντίσταση που παρουσιάζει την ίδια εξάρτηση από το άλλο εξωτερικό αίτιο.**
- **Δηλαδή, θα πρέπει να ισχύει: $R_1=KR_0(1+y)$, $R_3=R_0(1+x)(1+y)$, όπου το x αφορά το εξωτερικό αίτιο που πρέπει να μετρηθεί και y ένα άλλο εξωτερικό αίτιο (για πιεζοαντίσταση, x είναι μηχανική τάση και y θερμοκρασία). Αν αρχικά η γέφυρα είναι σε ισορροπία και μεταβληθεί το αίτιο y, τότε η ισορροπία θα παραμείνει:**

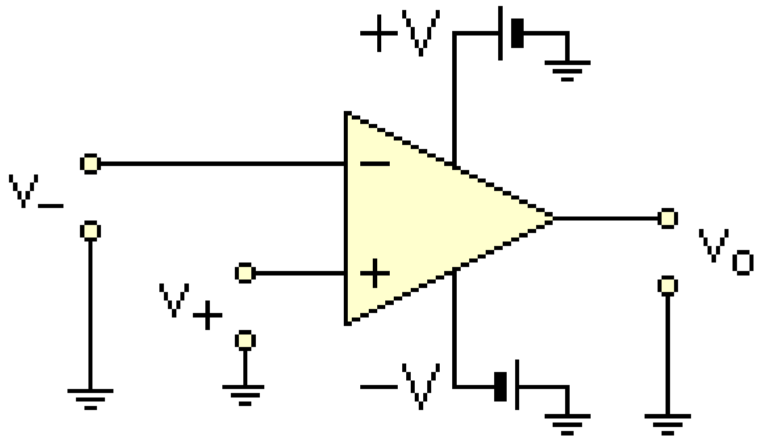
$$\frac{R_1'}{R_3'}=\frac{R_1(1+y)}{R_0(1+y)}=K$$

- **Αντίστοιχα, αν μεταβληθεί και το αίτιο x και το αίτιο y, τότε η εξίσωση θα δώσει:**

$$V_{out} = V_{in}\left\{\frac{R_0(1+x)(1+y)}{R_0(1+x)(1+y)+K(1+y)R_0} - \frac{R_4}{R_4+KR_4}\right\} = V_{in}\,\frac{Kx}{(1+K)\left(1+x+K\right)}$$

- **Η τάση εξόδου δεν εξαρτάται από το y. Δηλαδή, με αυτό τον τρόπο μπορούμε να απαλλαγούμε από το αίτιο y και να ανιχνεύουμε μόνο το αίτιο x.**

Τελεστικοί ενισχυτές



- **Ο τελεστικός ενισχυτής "αισθάνεται" τη διαφορά τάσης μεταξύ των σημάτων εισόδου (V_+-V_-) και εμφανίζει αυτή τη διαφορά πολλαπλασιασμένη κατά Α στην έξοδό του.**

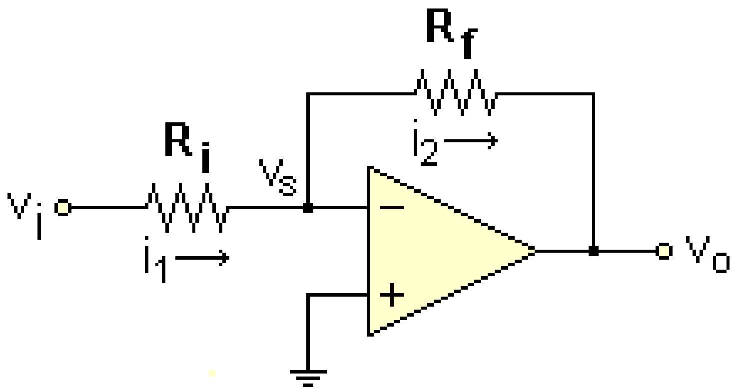
$$V_0=A\times(V_+-V_-)$$

- **Ο τελεστικός ενισχυτής αφαιρεί το V_- από το V_+ και πολλαπλασιάζει την διαφορά τους με Α. Είναι δηλαδή ενισχυτής διαφορικής εισόδου –μονής εξόδου (differential input –single output).**

- **Το κέρδος A ονομάζεται διαφορικό κέρδος ή κέρδος ανοικτού βρόχου και μπορεί να πάρει πολύ μεγάλες τιμές (τυπική τιμή 50000).**
- **Ο ιδανικός τελεστικός ενισχυτής δεν τραβάει ρεύμα από τις εισόδους του, δηλαδή η σύνθετη αντίσταση εισόδου του είναι άπειρη. Ο ακροδέκτης εξόδου δρα σαν ιδανική πηγή τάσης, δηλαδή η σύνθετη αντίσταση εξόδου είναι μηδέν. Το κέρδος του A είναι πολύ μεγάλο, ιδανικά άπειρο. Το εύρος ζώνης του είναι άπειρο, δηλαδή ενισχύει με το ίδιο A όλα τα σήματα οποιασδήποτε συχνότητας.**
- **Πρακτικά, η αντίσταση εισόδου πρέπει να είναι πολύ μεγαλύτερη από την αντίσταση εξόδου του προηγούμενου κυκλώματος. Αντίστοιχα, η αντίσταση εξόδου πρέπει να είναι πολύ μικρότερη από την αντίσταση του φορτίου που συνδέεται στην έξοδο.**
- **Αν η διαφορά $V_+ - V_- = 0$ τότε η έξοδος $V_0=0$. Δηλαδή ο ιδανικός τελεστικός ενισχυτής αγνοεί οποιοδήποτε κοινό σήμα και στις δύο εισόδους. Η ιδιότητα αυτή ονομάζεται: απόρριψη κοινού σήματος.**

- **Η έξοδος του είναι σε φάση (έχει το ίδιο πρόσημο) με την είσοδο V_+ και σε αντίθετη φάση από την V_-. Έτσι ο ακροδέκτης - καλείται αναστρέφων ακροδέκτης εισόδου και ο ακροδέκτης + μη αναστρέφων ακροδέκτης εισόδου**
- **Συμβολίζεται με το τρίγωνο, στο οποίο η τροφοδοσία συνήθως δεν εμφανίζεται.**
- **Μπορεί να επιτελέσει διάφορες εργασίες όπως ενίσχυση με ή χωρίς αντιστροφή, άθροιση, αφαίρεση, ολοκλήρωση, διαφόριση, μετατροπή ρεύματος σε τάση, μετατροπή τάσης σε ρεύμα κλπ.**

A) Ενισχυτής αντιστροφής



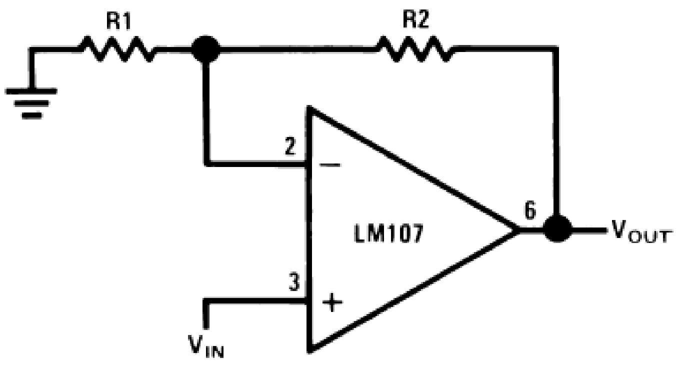
- Το σήμα συνδέεται στην αντιστρέφουσα είσοδο
- Η έξοδος είναι

$$V_0 = -V_i \frac{R_f}{R_i}$$

- Η απολαβή είναι

$$A = \frac{R_f}{R_i}$$

B) Ενισχυτής μη αντιστροφής



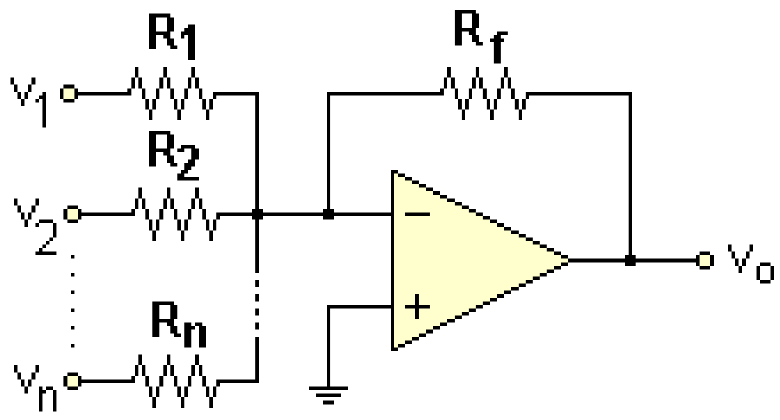
- Το σήμα συνδέεται στην μη αντιστρέφουσα είσοδο
- Η έξοδος είναι

$$V_{out} = V_{in}\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$$

- Η απολαβή είναι

$$A = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

Γ) Ενισχυτής άθροισης



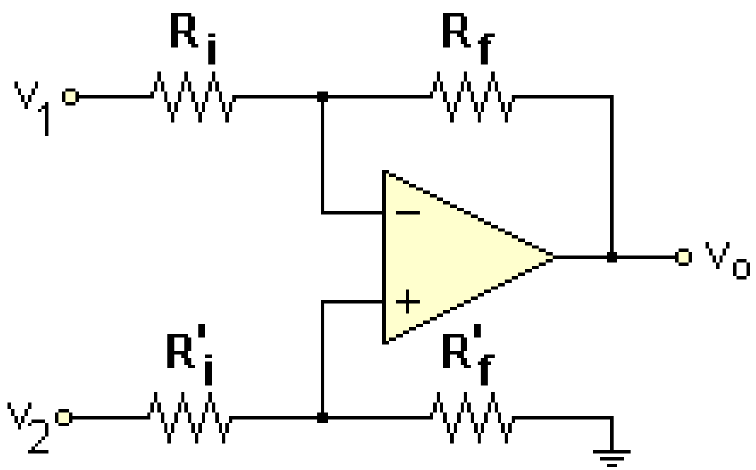
- **Η έξοδος είναι**

$$V_o = -V_1 \frac{R_f}{R_1} - V_2 \frac{R_f}{R_2} - V_3 \frac{R_f}{R_3} - ..$$

- **Αν $R_1=R_2=R_3=..R_n$**

$$V_o = -\frac{R_f}{R_1} \times \left(V_1 + V_2 + V_3 + \ldots + V_n \right)$$

Δ) Ενισχυτής διαφοράς



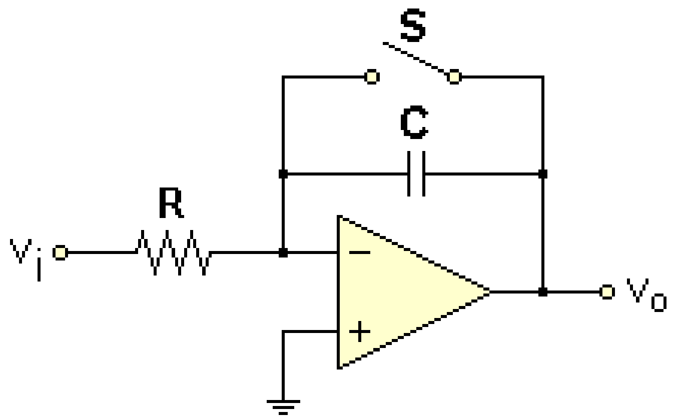
- **Η έξοδος είναι**

$$V_o = -V_1 \frac{R_f}{R_i} + V_2 \frac{R'_f}{R'_i}$$

- **Αν $R_i=R'_i$ και $R_f=R'_f$**

$$V_o = \frac{R_f}{R_i} \times \left(V_2 - V_1 \right)$$

E) Ενισχυτής ολοκλήρωσης



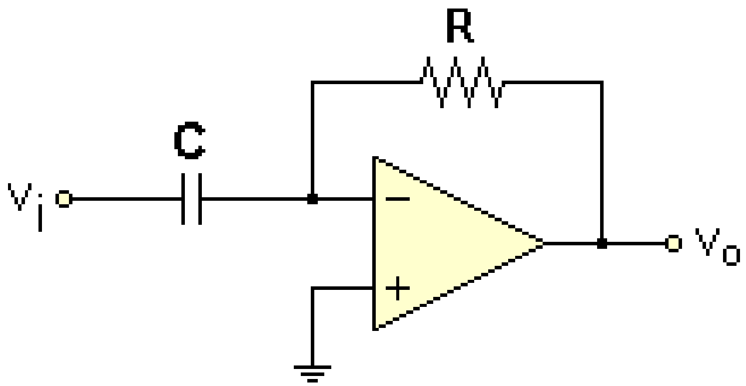
- Η έξοδος είναι

$$V_o = -\frac{1}{CR}\int V_i dt$$

- Για Vi=σταθερό

$$V_o = -\frac{V_i}{CR} \times t$$

Z) Ενισχυτής διαφόρισης



- Η έξοδος είναι

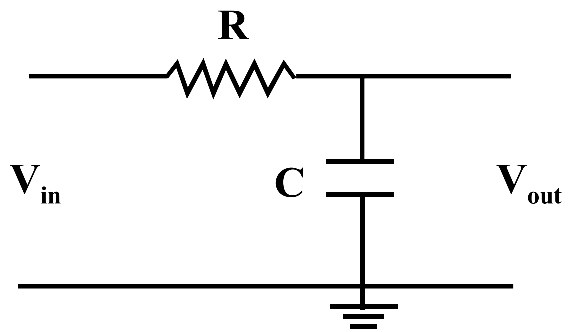
$$V_o = -RC\frac{dV_i}{dt}$$

- Για Vi γραμμική συνάρτηση του t, τότε έχω σταθερή έξοδο:

$$V_o = -\frac{V_i RC}{t}$$

Φίλτρα

A) Φίλτρα διαπέρασης χαμηλών συχνοτήτων.

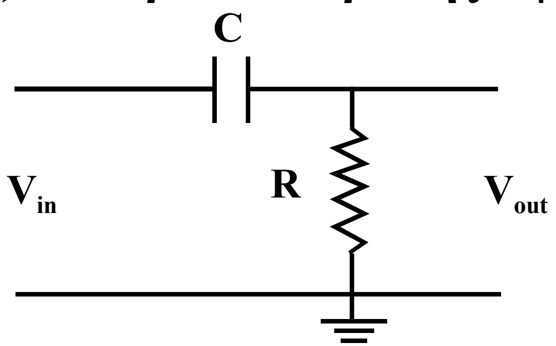


ω μεγάλο $\Rightarrow V_{out} \approx 0$

ω μικρό $\Rightarrow V_{out} \approx V_{in}$

$$V_{out} = \frac{z_1}{z_1 + z_2} V_{in} = \frac{-1/j\omega\omega}{-1/j\omega\omega + R} V_{in} \Rightarrow \left|V_{out}\right| = \frac{1}{\sqrt{1+(\omega CR)^2}} \left|V_{in}\right|$$

B) Φίλτρα διαπέρασης υψηλών συχνοτήτων

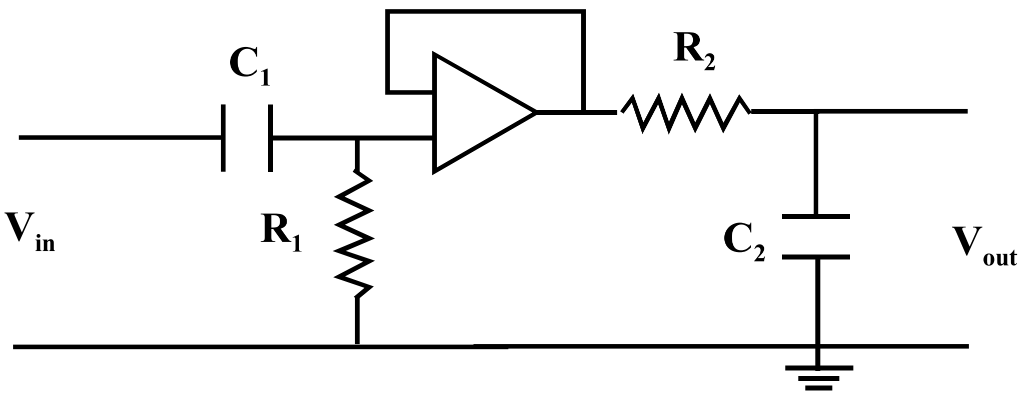


ω μικρό $\Rightarrow V_{out} \approx 0$

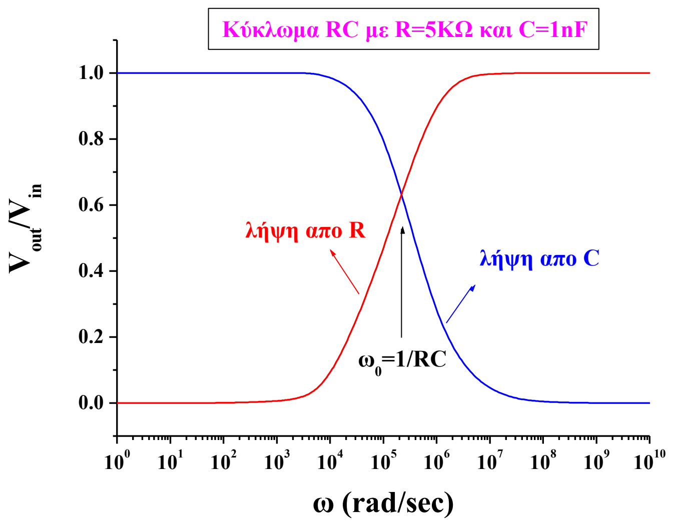
ω μεγάλο $\Rightarrow V_{out} \approx V_{in}$

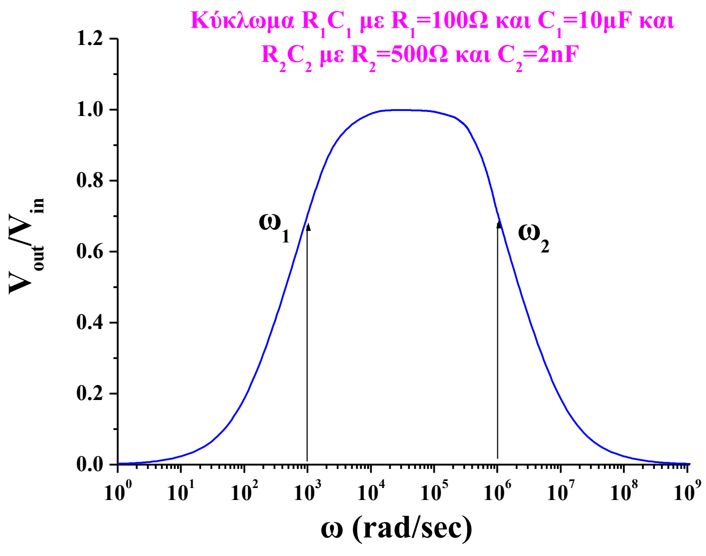
$$V_{out} = \frac{z_1}{z_1 + z_2} V_{in} = \frac{R}{R - 1/(j\omega C)} V_{in} \Rightarrow \left|V_{out}\right| = \frac{1}{\sqrt{1+(1/\omega RC)^2}} \left|V_{in}\right|$$

Γ) Φίλτρα διαπέρασης ζώνης συχνοτήτων

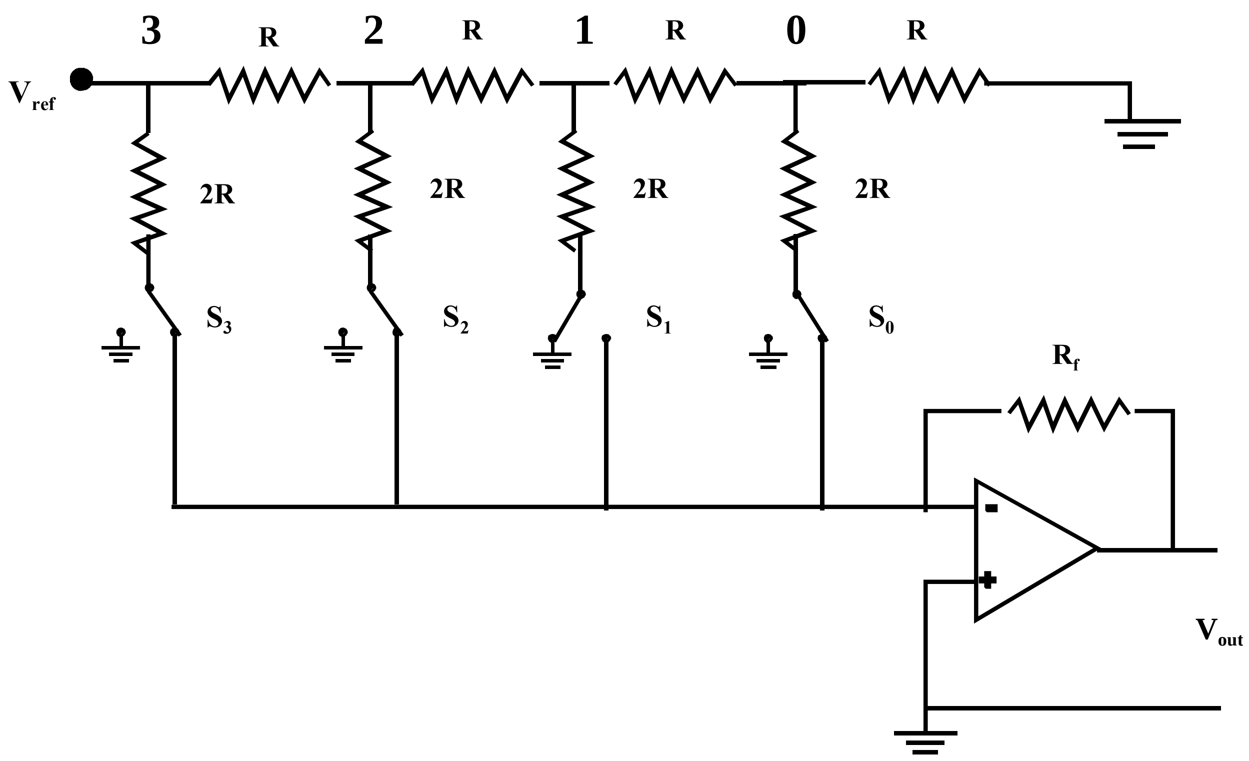


Αν $\omega_1 = \dfrac{1}{R_1 C_1}, \omega_2 = \dfrac{1}{R_2 C_2}$**, τότε έχω έξοδο για** $\omega_1 < \omega < \omega_2$





Μετατροπέας ψηφιακού σε αναλογικό (π.χ. 4 bit)



➢ **Το κύκλωμα είναι κλιμακωτό, δηλαδή η τάση υποδιπλασιάζεται μετά από κάθε σετ R, 2R αντιστάσεων. Έτσι, στο σημείο 3 έχω V_{ref}, στο 2 $V_{ref}/2$, στο 1, $V_{ref}/4$ και στο 0 $V_{ref}/8$.**

- **Το ψηφιακό σήμα καθορίζει την κατάσταση των διακοπτών S_3, S_2, S_1 και S_0. Το S_3 είναι το πιο σημαντικό ψηφίο, ενώ το S_0 είναι το λιγότερο σημαντικό**
- **Κάθε γραμμή διαρρέεται από ρεύμα ή όχι ανάλογα με το αν ο διακόπτης είναι στη θέση 1 ή στη θέση 0**
- **Για ένα ψηφιακό σήμα $S_3S_2S_1S_0$, το ρεύμα θα είναι:**

$$I_0 = S_3 \frac{V_{ref}}{2R} + S_2 \frac{V_{ref}}{4R} + S_1 \frac{V_{ref}}{8R} + S_0 \frac{V_{ref}}{16R}$$

- **Για το ρεύμα I_0, η τάση στην έξοδο θα είναι:**

$$V_{out} = -I_0 R_f$$

<u>Μετατροπέας αναλογικού σε ψηφιακό ADC</u>

- **Η μετατροπή της τιμής τάσης V σε ψηφιακό αριθμό πραγματοποιείται μέσω σύγκρισης με μία τάση αναφοράς V_{ref}. Η έξοδος είναι ψηφιακή λέξη που εκφράζει το V/V_{ref}.**

- **Τα χαρακτηριστικά ενός μετατροπέα AD είναι:**

i) **το εύρος εξόδου E: 0-5 V, 0-15 V για μονοπολικό και -5 έως 5 V, -15 έως 15 V για διπολικό**

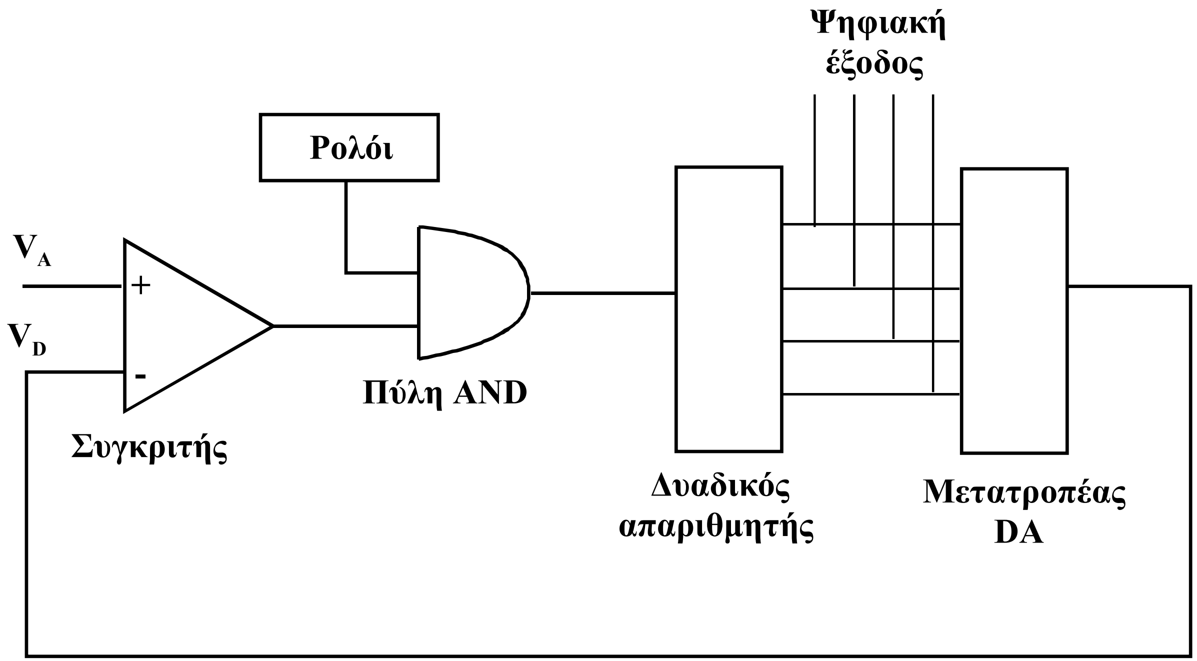
ii) **ο αριθμός bit 4, 8, 12 κλπ, διακριτική ικανότητα**

iii) **ο χρόνος μετατροπής (συνήθως μs).**

- **Ο μετατροπέας αποτελείται από: ρολόι, κύκλωμα ελέγχου, μετατροπέα ψηφιακού σε αναλογικό και πηγή αναφοράς**
- **Οι κύριοι παράμετροι είναι: το σήμα εκκίνησης (ΣΕ), το σήμα τέλους μετατροπής (ΤΜ), το λιγότερο σημαντικό ψηφίο (LSB) και το πιο σημαντικό ψηφίο (MSB)**
- **Το σύστημα είναι κυρίως δυαδικό αλλά υπάρχουν και άλλοι κώδικες όπως BCD, Gray κλπ. Για δυαδικό σύστημα, αν έχω n bits, η έξοδος μπορεί να έχει 2^n διαφορετικές τιμές.**
- **Όσο πιο μεγάλο είναι το n, τόσο καλύτερη η ακρίβεια. Η διακριτική ικανότητα του συστήματος είναι $E/2^n$.**

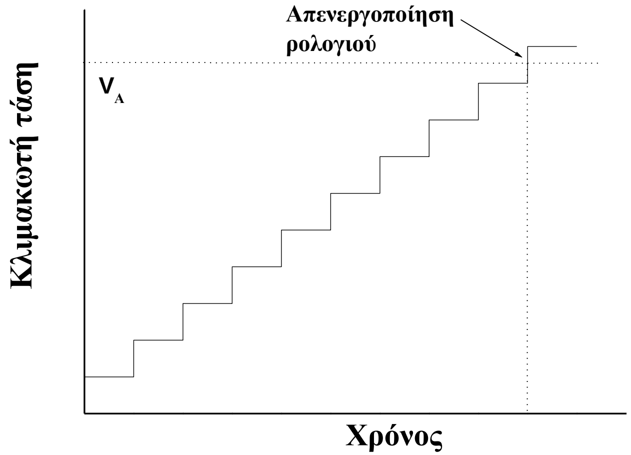
➢ Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι μετατροπής του αναλογικού σε ψηφιακό: η κλιμακωτή, των διαδοχικών προσεγγίσεων, η ολοκληρωτική, η παράλληλη κλπ.

Μετατροπέας AD κλιμακωτής ανόδου



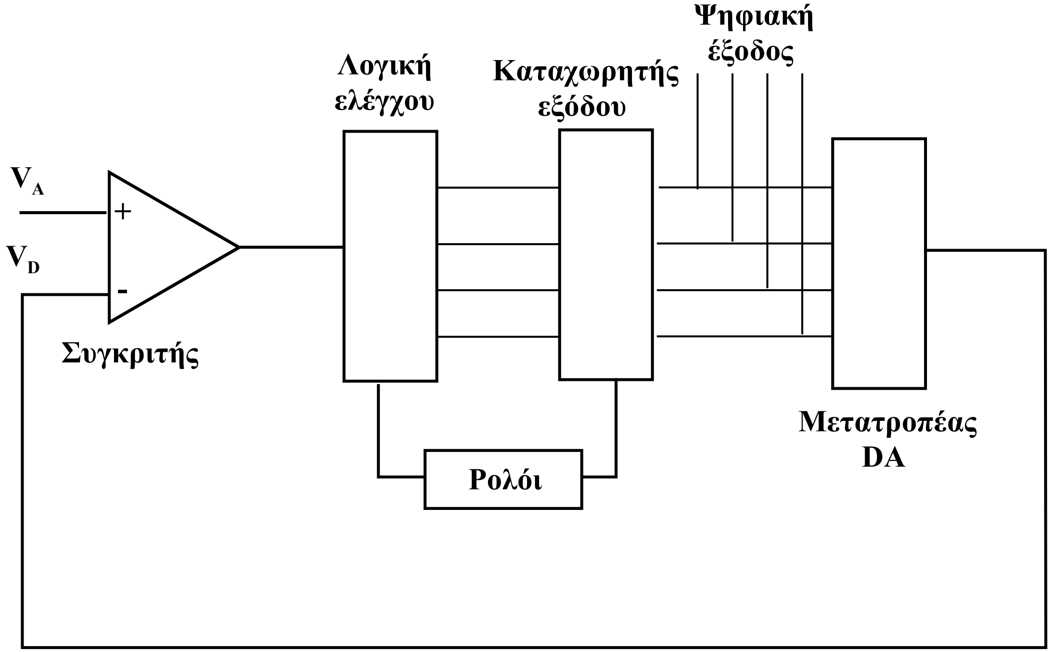
➢ Με το ΣΕ, ο απαριθμητής ξεκινά να μετρά από το μηδέν LSB

➢ Το ψηφιακό σήμα μετατρέπεται σε αναλογικό V_D και συγκρίνεται με την αναλογική είσοδο στο μετατροπέα V_A.



- **Αν V_A> V_D, τότε η έξοδος του απαριθμητή αυξάνει κατά μία μονάδα, και η διαδικασία επαναλαμβάνεται**
- **Όταν φτάσουμε να έχουμε $V_A \leq V_D$, ο συγκριτής αλλάζει κατάσταση και σταματούν οι παλμοί του ρολογιού.**
- **Στην έξοδο παίρνουμε τον ψηφιακό αριθμό που δόθηκε τελευταίος από τον απαριθμητή**
- **Η μέθοδος δουλεύει καλά σε όλους τους κώδικες αλλά είναι αργή**

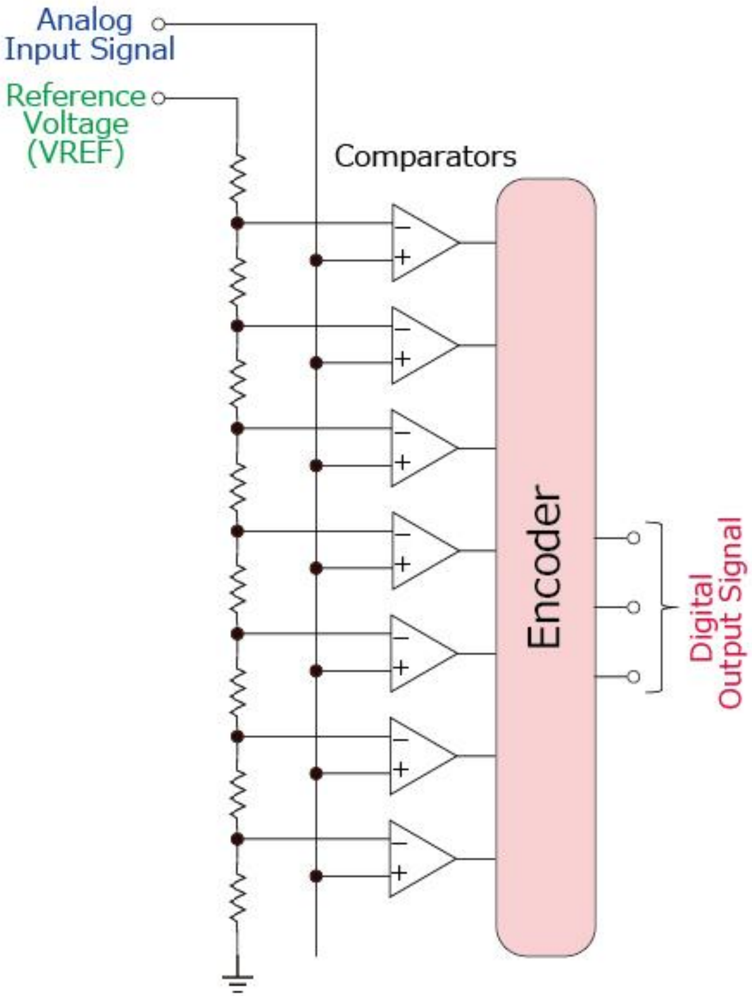
Μετατροπέας AD διαδοχικών προσεγγίσεων



- Με το ΣΕ, το MSB του προγραμματιζόμενου καταχωρητή SAR (successive approximation register) γίνεται 1, ενώ τα άλλα παραμένουν μηδέν. Δηλαδή, σε 4-bit ξεκινά με το 1000.
- Το ψηφιακό σήμα μετατρέπεται σε αναλογικό V_D και συγκρίνεται με την αναλογική είσοδο στο μετατροπέα V_A.

- **Αν $V_A>V_D$, τότε το MSB παραμένει 1 ενώ αν $V_A<V_D$ το MSB γίνεται μηδέν.**
- **Στη συνέχεια, το δεύτερο σημαντικό bit γίνεται 1, το ψηφιακό σήμα μετατρέπεται σε αναλογικό V_D και συγκρίνεται με την αναλογική είσοδο στο μετατροπέα V_A**
- **Αν πάλι $V_A>V_D$, τότε το δεύτερο σημαντικό bit παραμένει 1 ενώ αν $V_A<V_D$ γίνεται μηδέν.**
- **Η διαδικασία συνεχίζεται και για τα υπόλοιπα bits μέχρι να επιτευχθεί $V_A=V_D$, οπότε η τιμή δίνεται στην έξοδο.**
- **Η μέθοδος δουλεύει επίσης καλά αλλά είναι αργή**

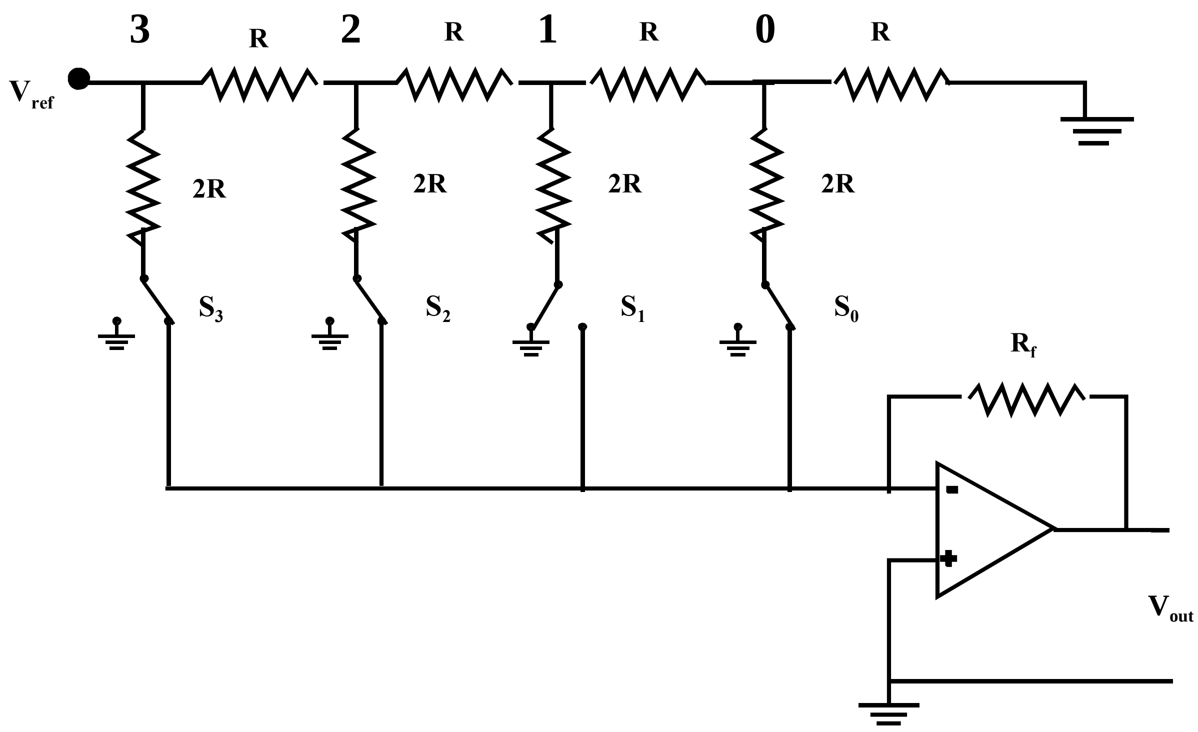
Μετατροπέας AD παράλληλης μετατροπής



Flash-Type A/D Converter Circuit Diagram

- **Έστω ότι έχουμε σήμα με n bits. Χρησιμοποιούμε $N=2^n-1$ συγκριτές και με ένα διαιρέτη τάσης μοιράζουμε την τάση αναφοράς E_{ref} σε N επίπεδα, τα οποία απέχουν μεταξύ τους κατά $E_{ref}/2^n$ (δηλαδή κατά ένα LSB).**
- **Δηλαδή, οι τάσεις στις εισόδους των συγκριτών θα είναι (από κάτω προς τα πάνω): (συγκριτής 1) $E_{ref}/2^n$, (συγκριτής 2) $2E_{ref}/2^n$, ………… (συγκριτής N) $(2^n-1)E_{ref}/2^n$.**
- **Κάθε επίπεδο τάσης συγκρίνεται μέσω του αντίστοιχου συγκριτή με το σήμα εισόδου. Σε όσους συγκριτές η είσοδος από το διαιρέτη τάσης είναι μεγαλύτερη από το σήμα θα δίνουν 0 ενώ οι άλλοι θα δίνουν 1.**

- **Επειδή η έξοδος των συγκριτών είναι ένας κώδικας, γίνεται αποκωδικοποίηση σε δυαδικό. Π.χ. αν έχουμε 4 bit και τάση αναφοράς 5 V, για τάση 0.94 V (0011), οι συγκριτές 1-4 θα δίνουν 1 ενώ οι υπολοποι 0.**
- **Η μέθοδος είναι πολύ γρήγορη (ns) αλλά απαιτεί πολλούς συγκριτές (π.χ. για 16 bit θέλουμε 65535)**



Στον παραπάνω μετατροπέα ψηφιακού σε αναλογικό ισχύει: R=1 KΩ και V_{ref}=-16 V.

Να βρεθεί η τάση εξόδου για ψηφιακή είσοδο 1101_2.

Θα ισχύει:

$$V_3=-16\ V,\ V_2=-8\ V,\ V_1=-4\ V,\ V_0=-2\ V$$

Άρα:

$$i_3 = -\frac{16}{2\times10^{-3}} = -8mA$$

$$i_2 = -\frac{8}{2\times10^{-3}} = -4mA$$

$$i_1 = 0$$

$$i_0 = -\frac{2}{2\times10^{-3}} = -1mA$$

Το ολικό ρεύμα θα είναι:

$$I_{o\lambda}=I_3+I_2+I_0=-13\ mA$$

Η τάση εξόδου θα είναι:

$$V_{out}=-I_{o\lambda}R_f=13\ V$$

Για να φτιάξουμε αισθητήρα θερμοκρασίας για την περιοχή 0-50 °C, χρησιμοποιούμε αντίσταση με χαρακτηριστικά R_0=100 Ω και $\alpha=2\times10^{-3}$ °C^{-1}. Για την μετατροπή της εξόδου σε τάση, ποια διάταξη προσαρμογής θα χρησιμοποιείστε και ποια θα είναι η ευαισθησία της;

Θα ισχύει:

$R_S=R_0(1+x)$, όπου $x=\alpha\theta=2\times10^{-3}\theta$ με τιμές στην περιοχή 0 έως 0.1.

Για την μετατροπή της αντίστασης σε τάση θα επιλέξουμε γέφυρα που θα έχει ισορροπία στους 0 °C. Η έξοδος της θα δίνεται από τη σχέση:

$$V_{out} = V_{in}\left\{\frac{R_0(1+x)}{R_0(1+x)+R_0} - \frac{R_0}{R_0+R_0}\right\} \Rightarrow$$

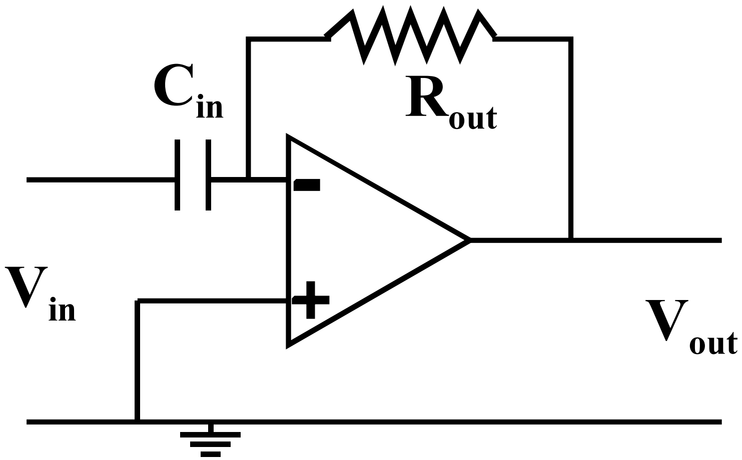
$$V_{out} = V_{in}\left\{\frac{1+x}{1+x+1} - \frac{1}{1+1}\right\} = V_{in}\,\frac{x}{2(2+x)}$$

Επειδή το x είναι πολύ μικρότερο του 2, η σχέση γίνεται:

$$\mathrm{V_{out}} = \mathrm{V_{in}} \frac{\mathrm{x}}{2(2+\mathrm{x})} \approx V_{in} \frac{x}{4}$$

Επομένως, η ευαισθησία της διάταξης θα είναι

$$\frac{\Delta \mathrm{V}}{\Delta \theta} = \frac{\partial \mathrm{V_{out}}}{\partial \mathrm{x}} \frac{\partial \mathrm{x}}{\partial \theta} = \frac{\mathrm{V_{in}}}{4} \alpha = 5 \times 10^{-4} \mathrm{V_{in}}$$

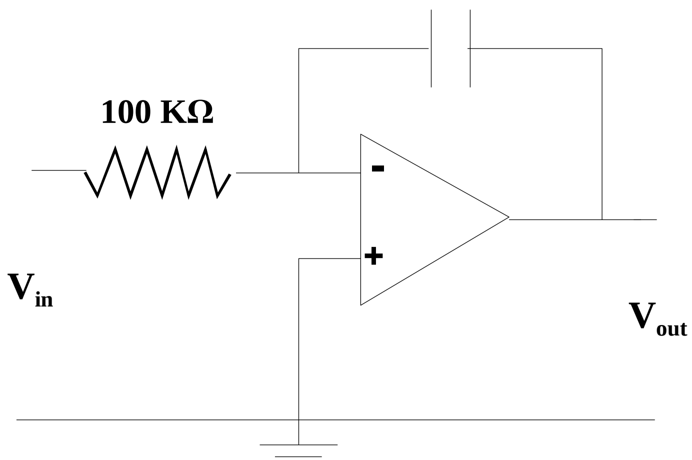


Στο διπλανό κύκλωμα V_{in}=-0.1t V, C_{in}=40 μF, R_{out}=100 KΩ, να βρεθεί η τιμή του Vout.

$$V_{out} = -RC\frac{dV_{in}}{dt} = -10^5 \times 4\times 10^{-5}\left(\frac{d}{dt}(-0.1t)\right) \Rightarrow$$

$$V_{out} = -4(-0.1) = 0.4V$$

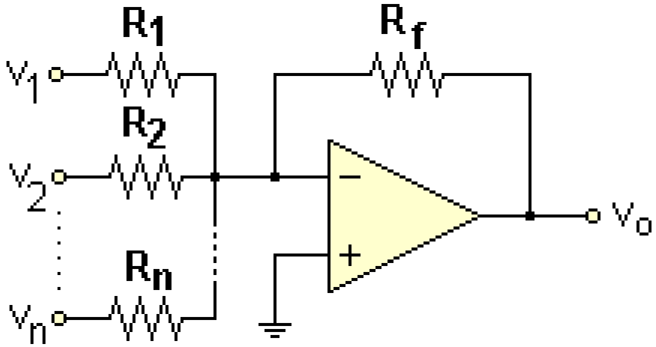
Στη διάταξη του διπλανού σχήματος, να βρεθεί το V_{out} αν το V_{in} είναι -4 V. Υπάρχει περίπτωση η έξοδος να έχει σταθερή μη μηδενική τιμή και γιατί;



$$V_{out} = -\frac{1}{CR}\int V_{in}dt = -\frac{1}{10^5\times 4\times 10^{-5}}\int(-4)dt \Rightarrow$$

$$V_{out} = -\frac{1}{4}(-4t) = t$$

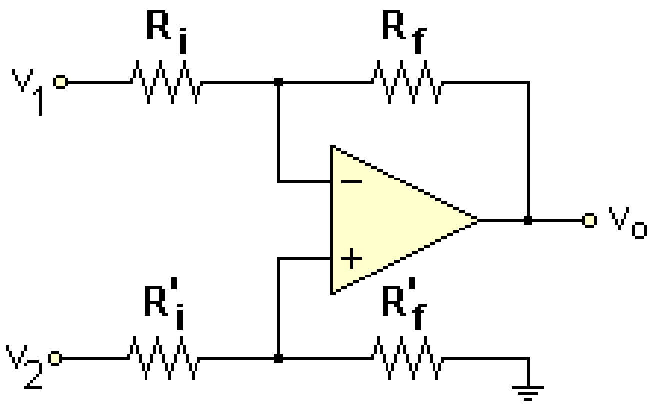
Δεν μπορούμε να έχουμε σταθερή μη μηδενική τιμή στην έξοδο λόγω του ολοκληρώματος



Αν στην διπλανή διάταξη ισχύει: R_1=R_2=R_3=100 Ω, R_f=100 KΩ, V_1=40 mV, V_2=60 mV, V_3=100 mV, να βρείτε την έξοδο V_0.

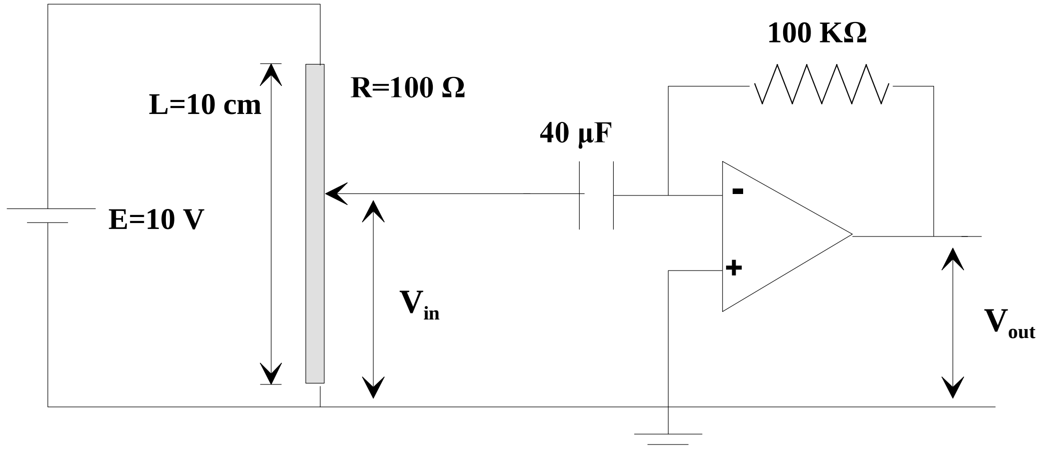
$$V_o = -V_1 \frac{R_f}{R_1} - V_2 \frac{R_f}{R_2} - V_3 \frac{R_f}{R_3} \Rightarrow$$

$$V_o = -\frac{R_f}{R}\left(V_1 + V_2 + V_3\right) = -\frac{10^5}{10^2}(40+60+100)\times 10^{-3} = -200V$$



Αν στην διπλανή διάταξη ισχύει: R_i=R'_i=100 Ω, R_f=R'_f=100 KΩ, V_1=400 mV, V_2=600 mV, να βρείτε την έξοδο V_0.

$$V_o = -V_1 \frac{R_f}{R_i} + V_2 \frac{R'_f}{R'_i} = \frac{R_f}{R}\left(V_2 - V_1\right) = \frac{10^5}{10^2}(600-400)\times 10^{-3} = 200V$$



Για να φτιάξουμε αισθητήρα ταχύτητας χρησιμοποιούμε αισθητήρα γραμμικής μετατόπισης τύπου ποτενσιόμετρου σε συνδυασμό με ενισχυτή διαφόρισης όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα. Σε μία μετακίνηση του κινητού, η τάση εξόδου μετρήθηκε σε –4 V για το χρονικό διάστημα 0-10 sec. Να βρεθεί η ταχύτητα με την οποία κινήθηκε το κινητό.

Επειδή η έξοδος του τελεστικού ενισχυτή είναι σταθερή, η είσοδος αυξάνει γραμμικά με το χρόνο, οπότε:

$$V_{out} = -\frac{V_{in} RC}{t} \Rightarrow V_{in} = -\frac{V_{out} t}{RC} = -\frac{V_{out} t}{4}$$

Αντίστοιχα, στο διαιρέτη τάσης θα ισχύει:

$$V_{in} = E\frac{R_x}{R_{ολ}}$$

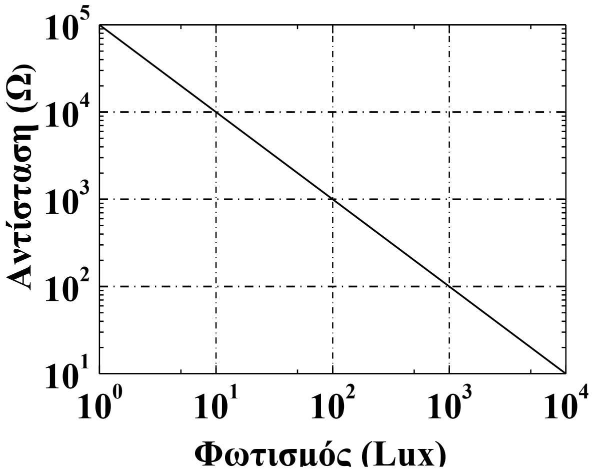
Τέλος, αν R_L είναι η αντίσταση ανά μονάδα μήκους, τότε R_x=R_LS όπου S το μήκος της αντίστασης, οπότε R_L=10 Ω/cm

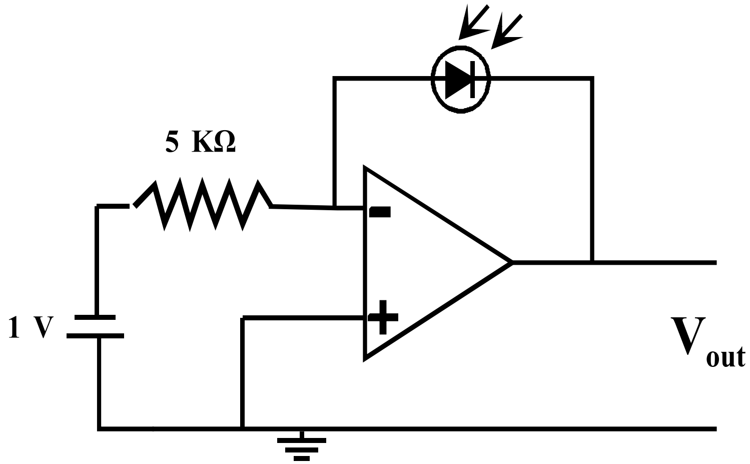
Τελικά, μπορώ να φτιάξω ένα πίνακα:

t (s)	V_{out} (V)	V_{in} (V)	R_X (Ω)	S (cm)
0	-4	0	0	0
2	-4	2	20	2
4	-4	4	40	4
6	-4	6	60	6
8	-4	8	80	8
10	-4	10	100	10

Βλέπουμε ότι έχουμε γραμμική αύξηση του S με το χρόνο. Η ταχύτητα θα είναι σταθερή και ίση:

$$u = \frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{10}{10} = 1 \, {}^{cm}\!/_{s}$$





Η μεταβολή της αντίστασης σαν συνάρτηση του εισερχόμενου φωτισμού σε μία φωτοαντίσταση φαίνεται στο σχήμα αριστερά. Αν η φωτοαντίσταση είναι συνδεμένη όπως στο σχήμα επάνω δεξιά, να σχεδιάσετε την καμπύλη V_{out} σαν συνάρτηση του φωτισμού.
Θα έχω:

$$V_{out} = -V_{in}\frac{R_{out}}{R_{in}} = -(-1)\frac{R_{out}}{5000}$$

Άρα θα ισχύει ο πίνακας:

Φωτισμός (Lux)	R_{out} (Ω)	V_{out} (V)
1	10^5	20
10	10^4	2
100	10^3	0.2
1000	10^2	0.02
10000	10	2×10^{-3}