



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά
μαθήματα ΠΠ

Προστασία Σ.Η.Ε

Ενότητα 4: Στατικοί ηλεκτρονόμοι

Νικόλαος Βοβός
Πολυτεχνική Σχολή

Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών



Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

- Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:
- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

- Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.



Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

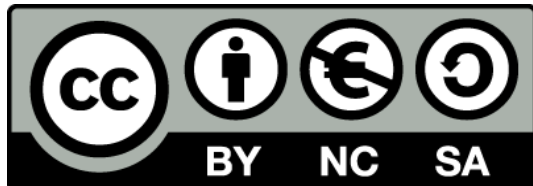
- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.



Άδειες χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης creative commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκεινται σε άλλου τύπου άδειες χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



Ορισμός-Προδιαγραφές

- Ορισμός Διεθνούς Επιτροπής Ηλεκτροτεχνίας: «στατικός ηλεκτρονόμος είναι ο ηλεκτρονόμος που η σχεδιασμένη απόκρισή του επιτυγχάνεται με ηλεκτρονικές, μαγνητικές ή άλλες συσκευές χωρίς μηχανική κίνηση».
- Οι προδιαγραφές για τους στατικούς ηλεκτρονόμους είναι ίδιες με αυτές των ηλεκτρομηχανικών ηλεκτρονόμων τους οποίους αντικαθιστούν και συχνά έχουν μία συσκευή ηλεκτρομηχανικής εξόδου.
- Πιο αξιόπιστες και φτηνές ηλεκτρονικές συσκευές μαζί με τη μεγάλη αύξηση του ποσού ισχύος που διαχειρίζονται τα ηλεκτρικά συστήματα επέβαλαν τη χρήση ηλεκτρονικών συσκευών, για να κατασκευαστούν συστήματα προστασίας με μεγάλη ταχύτητα και υψηλή ακρίβεια που ήταν απαραίτητη.



Εισαγωγή(1)

- Με την εμφάνιση το 1950 των τρανζίστορ έγινε αμέσως φανερό ότι το τρανζίστορ ήταν η αξιόπιστη ηλεκτρονική συσκευή που χρειάζονταν στην κατασκευή των ηλεκτρονικών προστασίας, που αρχικά ήταν καθαρά αναλογικοί.
- Η πρώτη ολοκληρωμένη πρόταση για την εφαρμογή της ψηφιακής προστασίας έγινε το 1969 με την εμφάνιση των μικροεπεξεργαστών και αναμένεται το μέλλον των συστημάτων προστασίας να είναι μάλλον ψηφιακό. Σε αυτά τα συστήματα προστασίας οι αναλογικοί είσοδοι μετατρέπονται σε ψηφιακή μορφή.
- Τα ηλεκτρονικά κυκλώματα απαρτίζονται από ξεχωριστές συνιστώσες τοποθετημένες σε τυπωμένες πλακέτες σε μορφή **βησματούμενη (plug-in)** και έχουν βοηθητική τάση τροφοδοσίας μικρότερη των 40 V από μεγάλες μπαταρίες.



Εισαγωγή(2)

- Οι μετασχηματιστές τάσης και ρεύματος των στατικών ηλεκτρονόμων παρέχουν και την απαραίτητη ηλεκτρική απομόνωση μεταξύ του ηλεκτρικού συστήματος και του ηλεκτρονικού κυκλώματος.
- Οι στατικοί ηλεκτρονόμοι έχουν βελτιωμένη ευαισθησία, ταχύτητα λειτουργίας και επαναληπτικότητα συγκρινόμενοι με τους ηλεκτρομηχανικούς ηλεκτρονόμους.
- Οι στατικοί ηλεκτρονόμοι απαιτούν μικρότερη συντήρηση, έχουν χαμηλότερη (**VA**) επιβάρυνση και μικρότερο μέγεθος, αλλά είναι περισσότερο ευαίσθητοι στη θερμοκρασία.



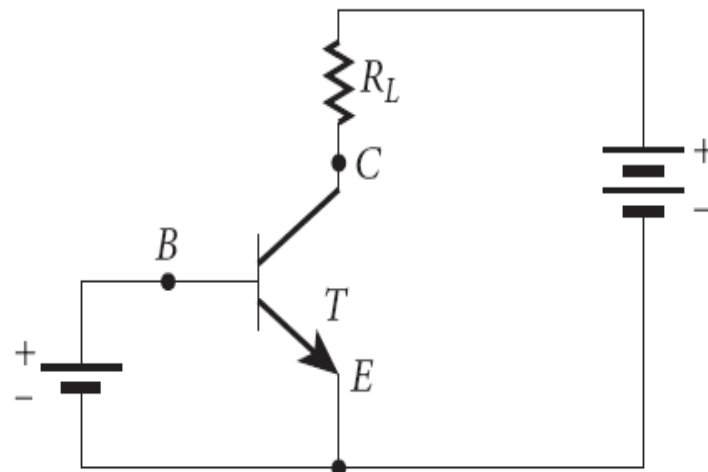
Εισαγωγή(3)

- Οι στατικοί ηλεκτρονόμοι μπορούν να κατασκευαστούν για να παρέχουν τα ίδια χαρακτηριστικά λειτουργίας με τους ηλεκτρομηχανικούς ηλεκτρονόμους τύπου υπερέντασης, κατεύθυνσης, απόστασης και διαφορικής προστασίας.
- Οι πρόσφατες εξελίξεις στα ΣΗΕ με την αξιοποίηση ψηφιακών μετρήσεων φασικών γωνιών απομακρυσμένων μεταβλητών επιβεβαιώνουν το ψηφιακό μέλλον των συστημάτων προστασίας.



Αξιοποίηση του τρανζίστορ στην κατασκευή αναλογικών στατικών ηλεκτρονόμενων(1)

- Τα χαρακτηριστικά λειτουργίας του τρανζίστορ βοηθούν πάρα πολύ στην πραγματοποίηση των χαρακτηριστικών λειτουργίας που έχουν τα συστήματα προστασίας.
- Στο τρανζίστορ έχουμε λειτουργία όταν κάποια τάση ξεπεράσει κάποια τιμή, όπως οι ηλεκτρομαγνητικοί ηλεκτρονόμοι κλείνουν τις επαφές τους όταν η μετρούμενη τάση ξεπεράσει το επίπεδο επιλογής τους.

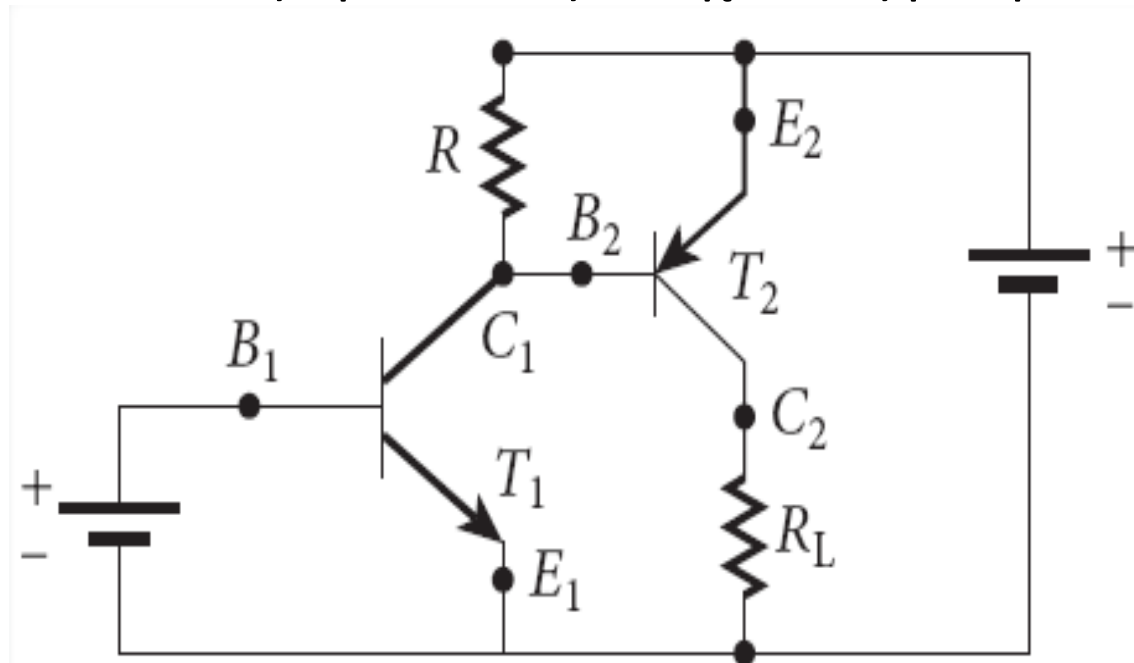


Κύκλωμα ηλεκτρονόμου με τρανζίστορ n-p-n.



Αξιοποίηση του τρανζίστορ στην κατασκευή αναλογικών στατικών ηλεκτρονόμενων(2)

- Πιο ευαίσθητοι ηλεκτρονόμοι με τρανζίστορ επιτυγχάνονται χρησιμοποιώντας πρόσθετες ενισχυτικές βαθμίδες.

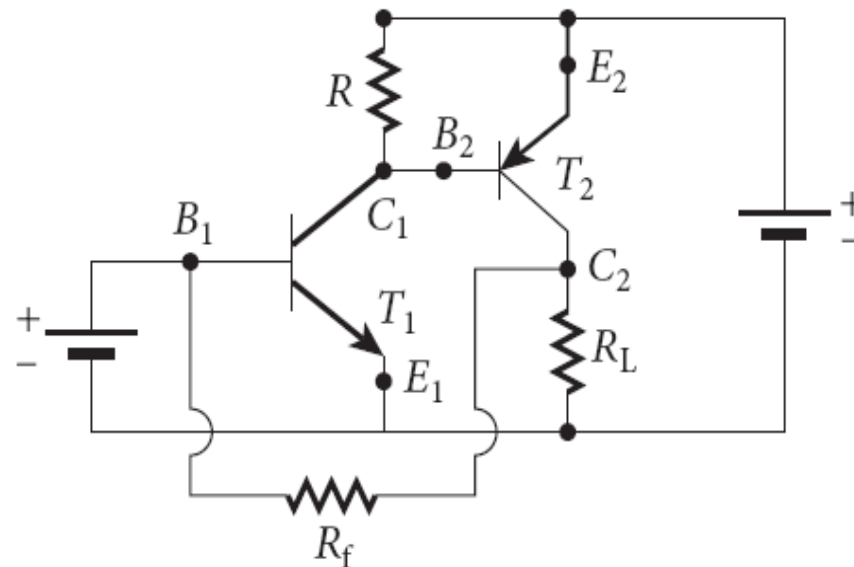


Ηλεκτρονόμος με τρανζίστορ και ενισχυτική βαθμίδα.



Αξιοποίηση του τρανζίστορ στην κατασκευή αναλογικών στατικών ηλεκτρονόμενων(3)

- Στους ηλεκτρομαγνητικούς ηλεκτρονόμους αυξάνουμε τη ταχύτητα των επαφών αυξάνοντας τη σκληρότητα του ελατηρίου ελέγχου τους ενώ στους αναλογικούς ηλεκτρονόμους χρησιμοποιώντας θετική ανατροφοδότηση.

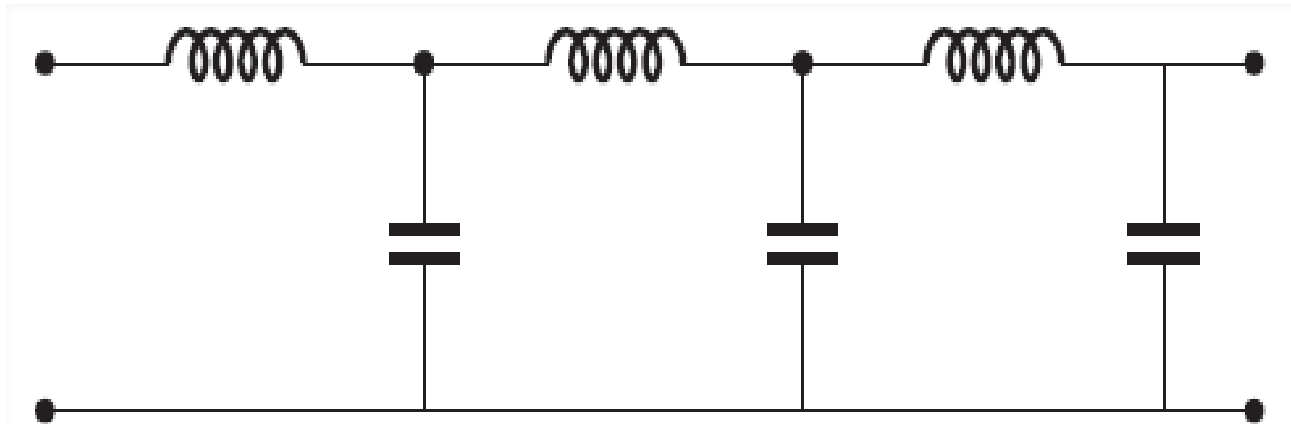


Προσθήκη θετικής ανατροφοδότησης στον αναλογικό ηλεκτρονόμο.



Αξιοποίηση του τρανζίστορ στην κατασκευή αναλογικών στατικών ηλεκτρονίων(4)

- Στο Σχήμα δείχνεται ένα κύκλωμα χρονικής καθυστέρησης της τάξης των μικροδευτερολέπτων (μs). Για χρονική καθυστέρηση στη περιοχή των ms χρησιμοποιούμε αντίστοιχα κυκλώματα συντονισμού CL, ενώ για μεγαλύτερη χρονική καθυστέρηση χρησιμοποιούμε κυκλώματα RC.



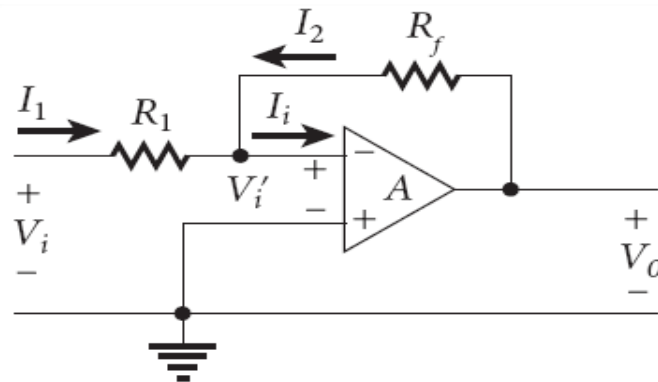
Κύκλωμα για χρονική καθυστέρηση



Αξιοποίηση του τρανζίστορ στην κατασκευή αναλογικών στατικών ηλεκτρονόμενων(5)

- Επίσης συχνά χρησιμοποιείται στους αναλογικούς στατικούς ηλεκτρονόμενους και ο τελεστικός ενισχυτής (operational amplifier), που είναι ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα με 20 ή περισσότερα τρανζίστορ και παρέχει ένα ευσταθές κέρδος της τάξεως 10^4 ή μεγαλύτερο σε χαμηλές συχνότητες.

- Το ενεργό κέρδος του είναι: $A' = \frac{V_o}{V_i} = -\frac{R_f}{R_i}$



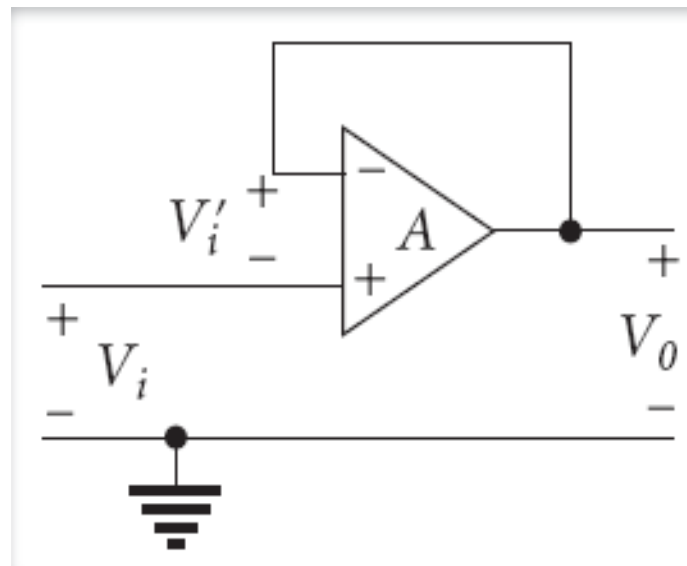
Ο τελεστικός ενισχυτής



Αξιοποίηση του τρανζίστορ στην κατασκευή αναλογικών στατικών ηλεκτρονίων(6)

- **Απομονωτής (isolator)** για την απομόνωση ενός κυκλώματος από ένα άλλο, ώστε οι διαταραχές του ενός να μην επηρεάζουν το άλλο, με εξίσωση:

$$V_o = V_i$$

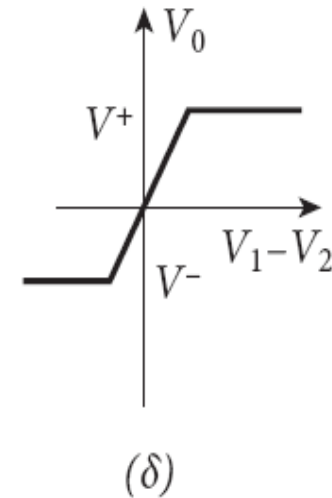
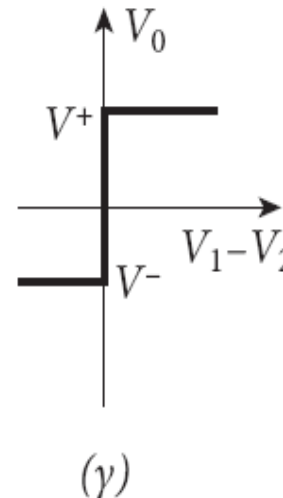
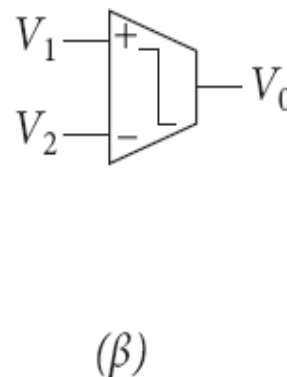
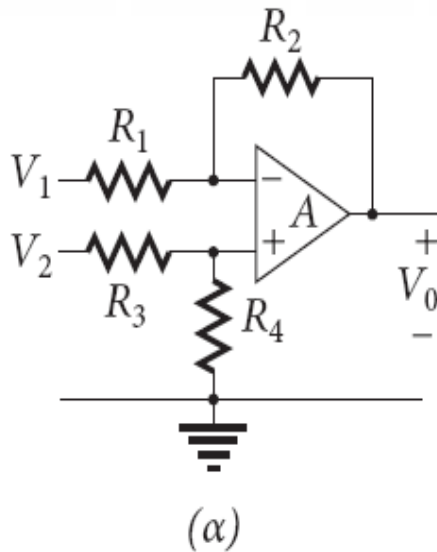


Ο τελεστικός ενισχυτής ως απομονωτής.



Αξιοποίηση του τρανζίστορ στην κατασκευή αναλογικών στατικών ηλεκτρονίων(7)

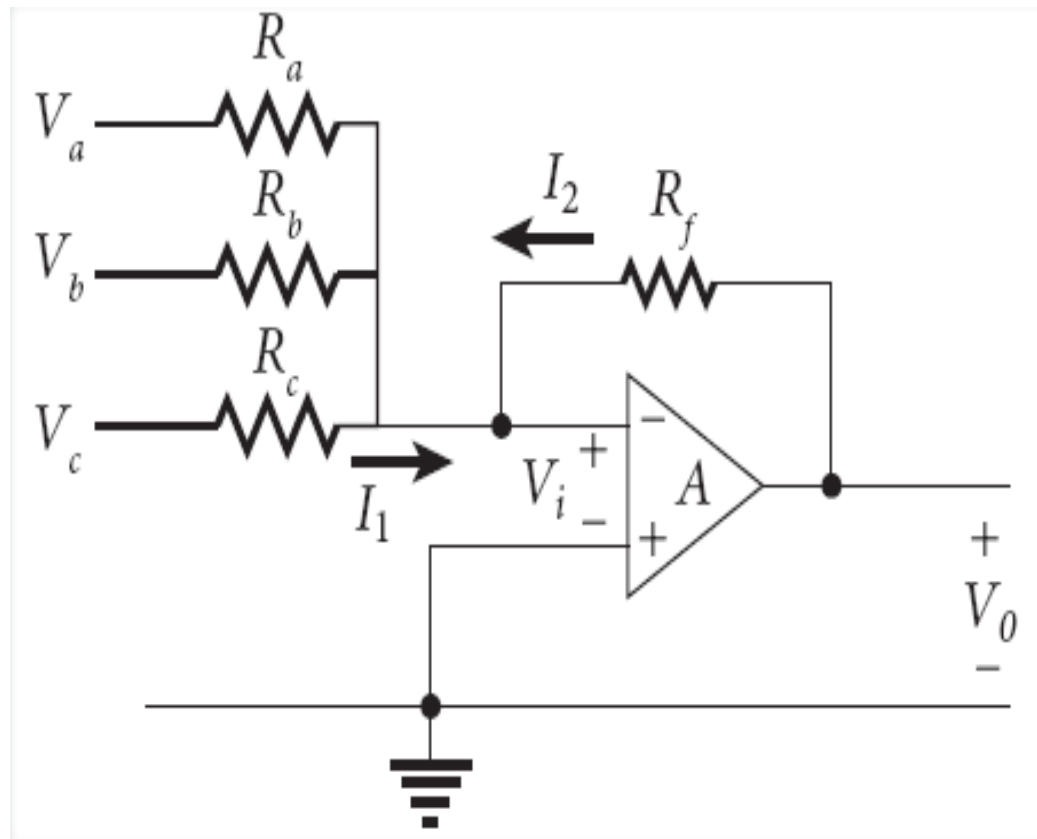
- Συγκριτής ή ανιχνευτής επιπέδου (comparator or level detector) στον οποίο η μία από τις τάσεις εισόδου συγκρίνεται με την άλλη (που είναι η αναφορά) και όταν είναι μεγαλύτερη η τάση εξόδου του παίρνει μία σταθερή θετική τιμή, ενώ όταν συμβαίνει το αντίθετο η τάση εξόδου παίρνει μια σταθερή αρνητική τιμή.



α) Το κύκλωμά του. β) Η συμβολική παράστασή του. γ) Ιδανικά χαρακτηριστικά. δ) Πραγματικά χαρακτηριστικά

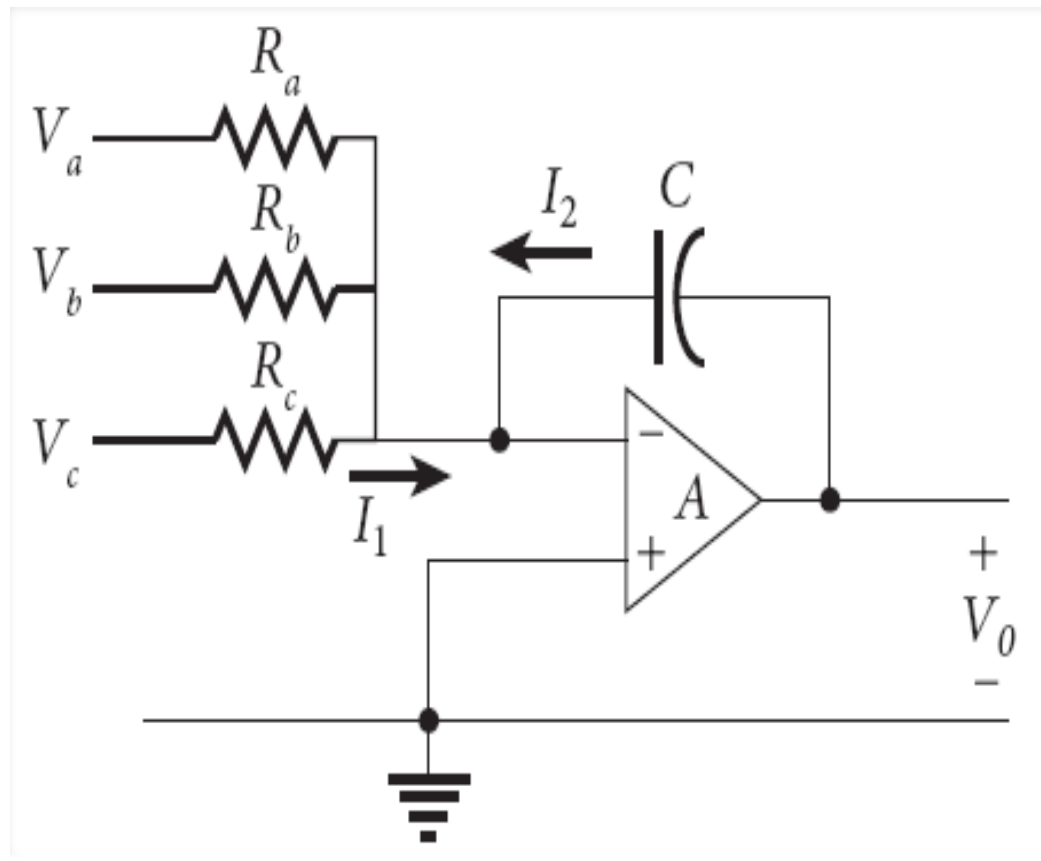
Αξιοποίηση του τρανζίστορ στην κατασκευή αναλογικών στατικών ηλεκτρονόμενων(8)

- Αθροιστής (summer): $V_o = -R_f \left(\frac{V_a}{R_a} + \frac{V_b}{R_b} + \frac{V_c}{R_c} \right)$



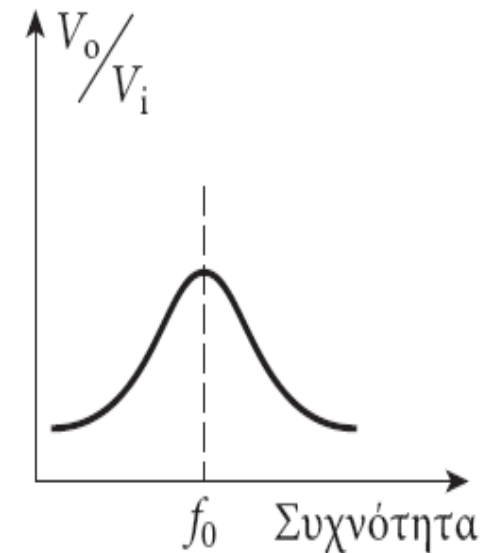
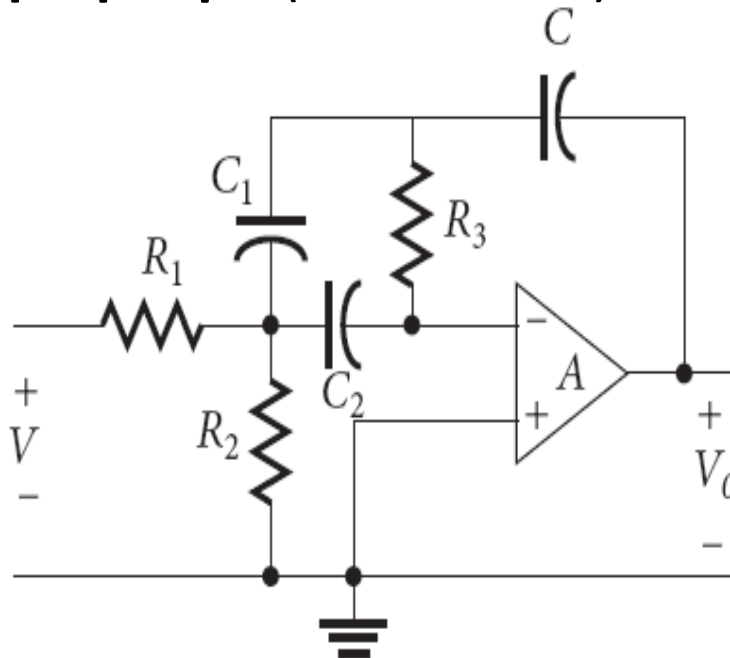
Αξιοποίηση του τρανζίστορ στην κατασκευή αναλογικών στατικών ηλεκτρονόμενων(9)

- Ολοκληρωτής (integrator): $V_o = -\frac{1}{C} \int_0^t \left(\frac{V_a}{R_a} + \frac{V_b}{R_b} + \frac{V_c}{R_c} \right) dt$



Αξιοποίηση του τρανζίστορ στην κατασκευή αναλογικών στατικών ηλεκτρονίων(10)

- **Ενεργό φίλτρο (active filter)**



Το ενεργό φίλτρο. α) Κύκλωμα. β) Απόκριση.



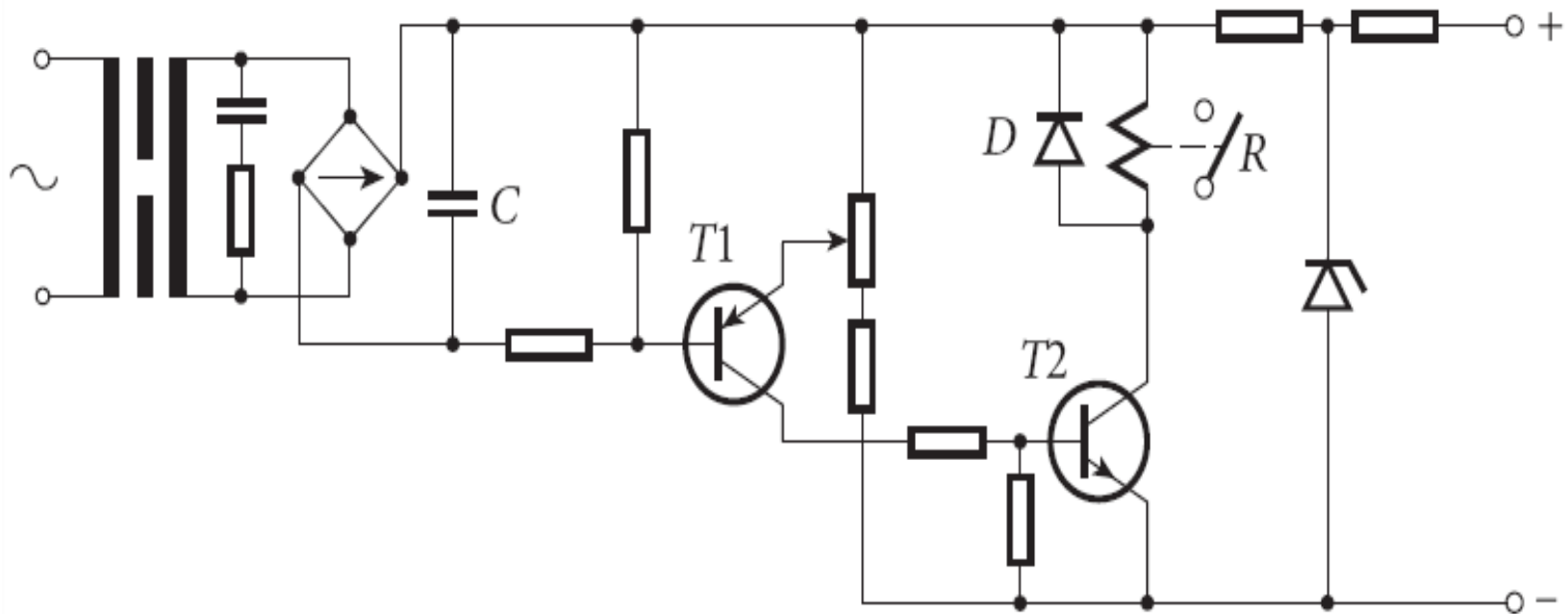
Αναλογικοί στατικοί ηλεκτρονόμοι

- Με τους αναλογικούς στατικούς ηλεκτρονόμους επιτυγχάνουμε παρόμοια λειτουργικά χαρακτηριστικά με τους αντίστοιχους ηλεκτρομηχανικούς ηλεκτρονόμους.
- Οι βασικές αρχές σχεδίασης των συστημάτων προστασίας είναι ίδιες και ανεξάρτητες από το είδος των ηλεκτρονόμων, εκτός ειδικών εφαρμογών (π.χ. χρειαζόμαστε το μικρό χρόνο επαναφοράς των αναλογικών ή την ανοχή σε θερμοκρασιακές μεταβολές των ηλεκτρομηχανικών ηλεκτρονόμων)



Στιγμιαίοι ηλεκτρονόμοι υπερέντασης ή υπέρτασης(1)

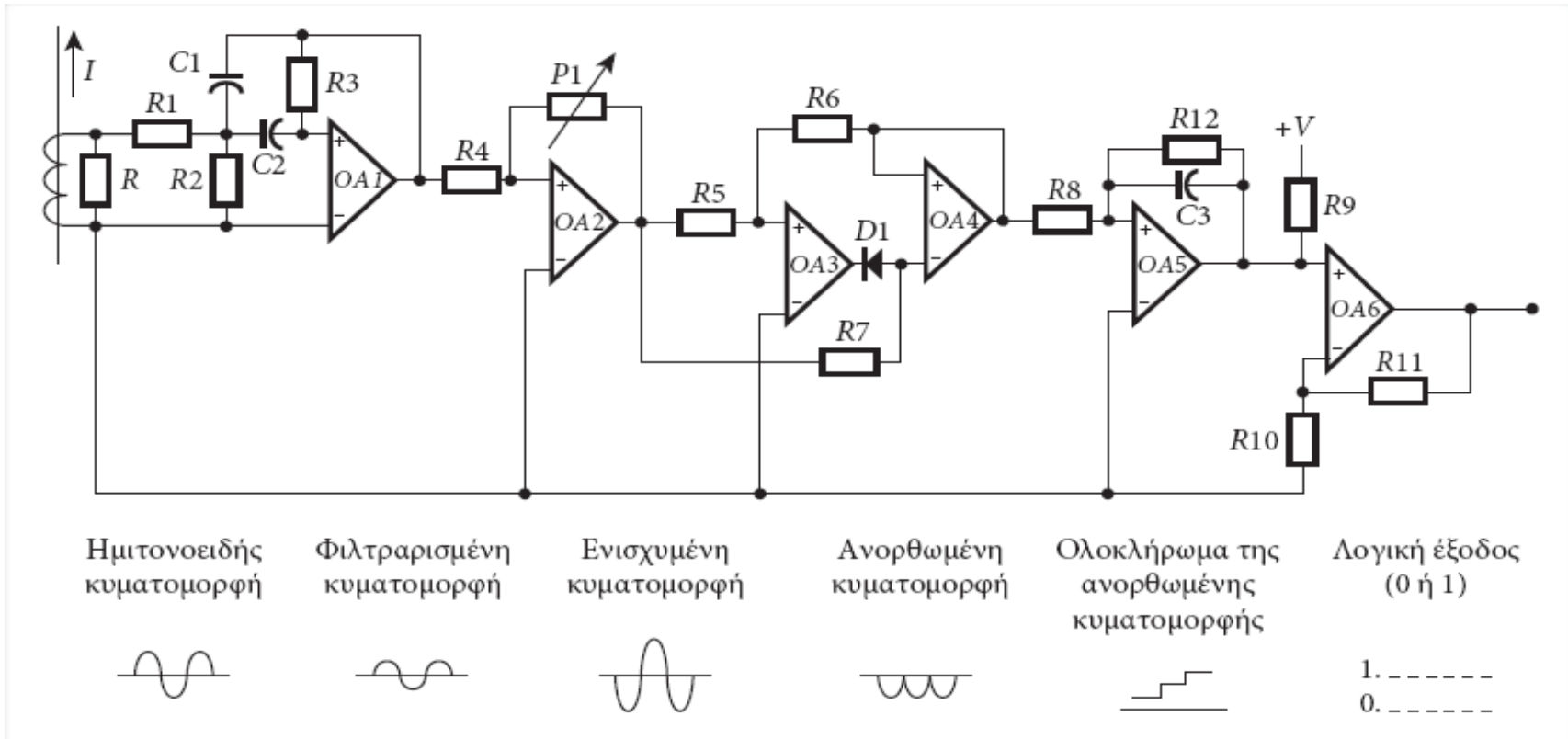
- Σε αυτούς τους ηλεκτρονόμους ρυθμίζουμε μόνο την αναφορά ρεύμα ή τάση, που ονομάζεται **επίπεδο επιλογής** (pick-up level).



Αναλογικός στιγμιαίος ηλεκτρονόμος υπερέντασης.



Στιγμιαίοι ηλεκτρονόμοι υπέρντασης ή υπέρτασης(2)

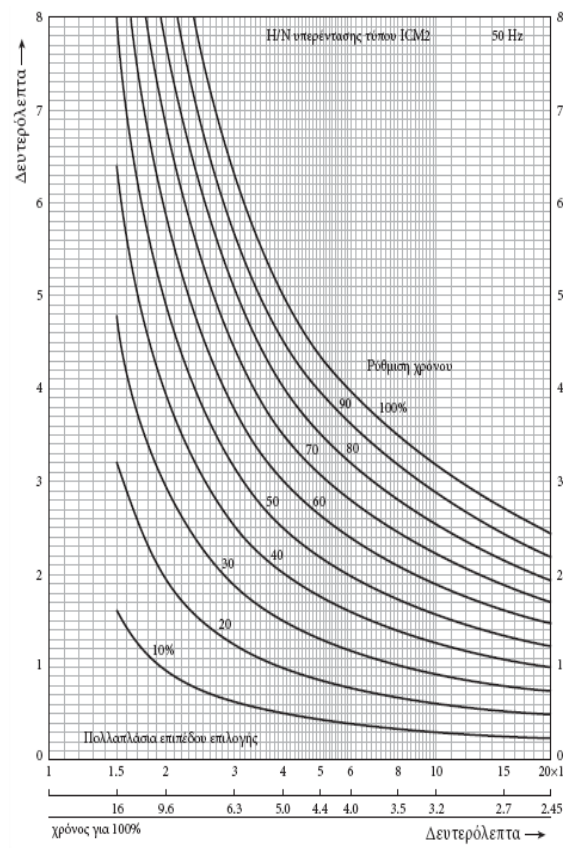


Στιγμιαίος ηλεκτρονόμος υπέρντασης με χρήση τελεστικών ενισχυτών.



Ηλεκτρονόμοι υπέρτασης με χρονική καθυστέρηση και αντίστροφου χρόνου χαρακτηριστικά(1)

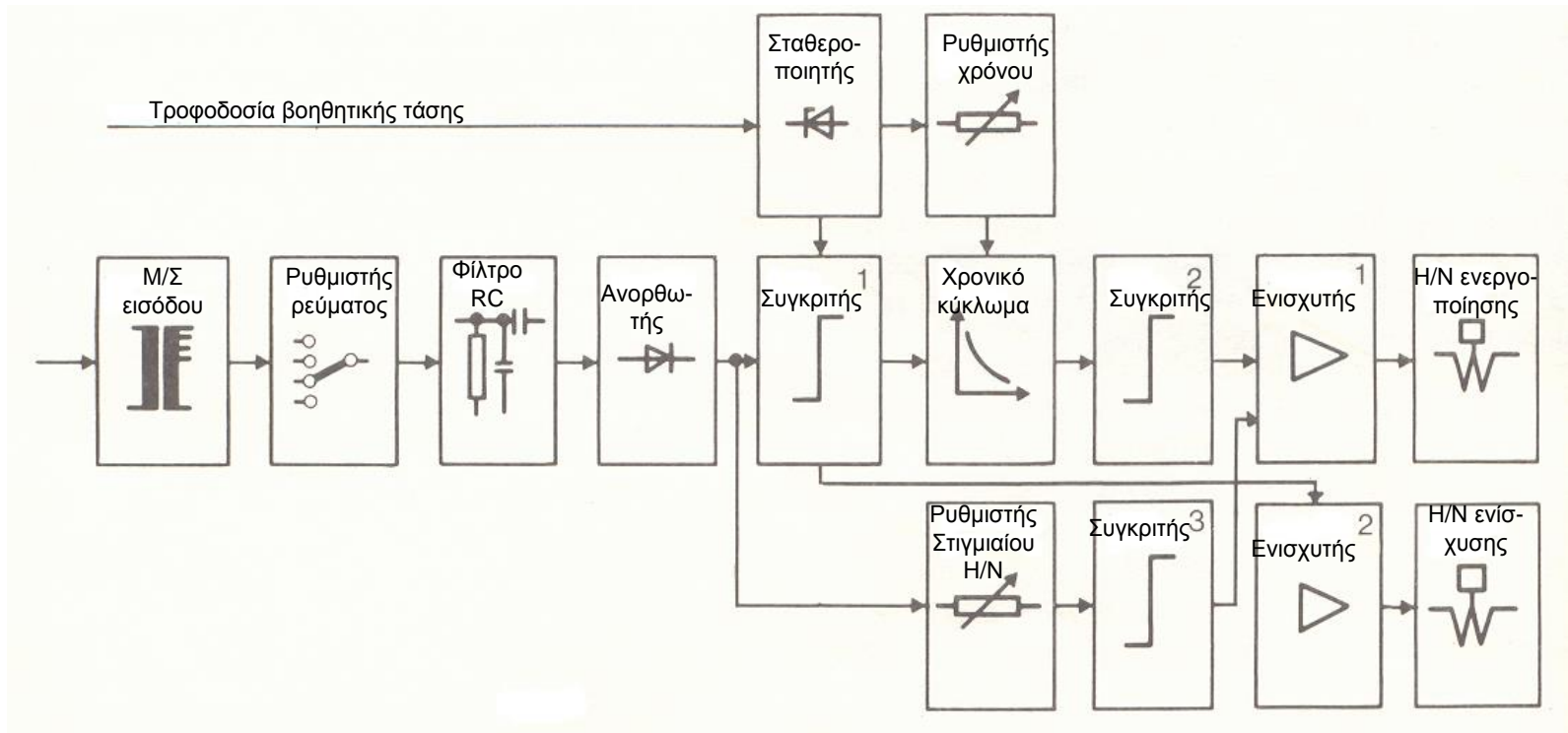
- Σε αυτούς τους ηλεκτρονόμους ρυθμίζουμε το επίπεδο επιλογής (pick-up level) και το χρόνο λειτουργίας (operating time).



Καμπύλες αντίστροφου χρόνου.



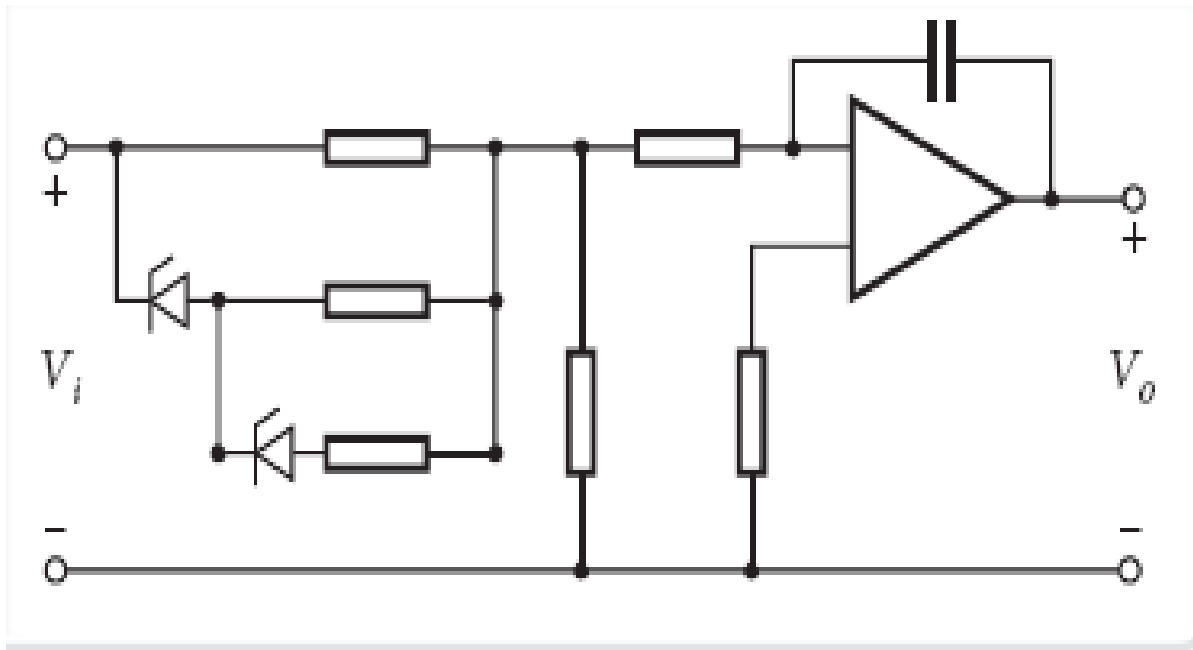
Ηλεκτρονόμεοι υπέρεντασης με χρονική καθυστέρηση και αντίστροφου χρόνου χαρακτηριστικά(2)



Στατικός ηλεκτρονόμεος υπέρεντασης.



Ηλεκτρονόμοι υπέρεντασης με χρονική καθυστέρηση και αντίστροφου χρόνου χαρακτηριστικά(3)

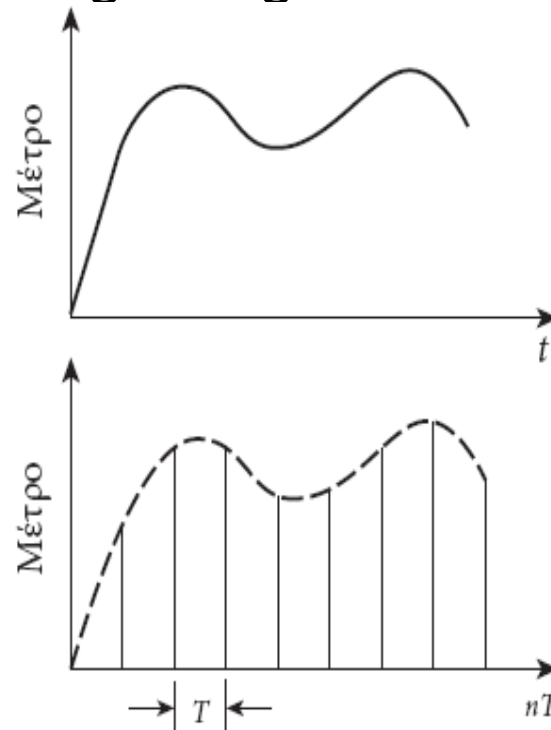


Το χρονικό κύκλωμα είναι ένα RC κύκλωμα



Ψηφιακοί στατικοί ηλεκτρονόμοι(1)

- Σε αυτούς οι αναλογικές μεταβλητές στην είσοδο ψηφιοποιούνται με τον **μετατροπέα αναλογικού σε ψηφιακό σήμα** (analog-to-digital converter, A/D).



Μία αυθαίρετη ακολουθία δειγματοληψίας αναλογικού σήματος.



Ψηφιακοί στατικοί ηλεκτρονόμοι(2)

- Η λογική του ψηφιακού ηλεκτρονόμου είναι το πρόγραμμα που εκτελείται στον κεντρικό επεξεργαστή και εξομοιώνει την επιθυμητή συνάρτηση προστασίας για την ενεργοποίηση ή όχι του διακόπτη ισχύος που ελέγχει.
- Η ψηφιακή προστασία είναι αυτοελεγχόμενη, προγραμματιζόμενη για να εξομοιώνει τις επιθυμητές συναρτήσεις προστασίας και αποθηκεύει πληροφορίες για τα συμβάντα, για να διευκολυνθεί αργότερα ο μηχανικός στην ανάλυση.
- Υπάρχει επίσης η προοπτική η προστασία να γίνει **προσαρμοστική** στις συνθήκες λειτουργίας του ΣΗΕ.
- Η πέμπτη γενιά των συστημάτων προστασίας ενσωματώνει το σύστημα προστασίας, τον εξοπλισμό μετρήσεων, τον έλεγχο και τις επικοινωνίες ενός ολόκληρου υποσταθμού σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα, όπου πολλοί κατανεμημένοι επεξεργαστές έχουν συγκεκριμένες αποστολές και κεντρικό έλεγχο και επιτήρηση.



Βιβλιογραφία

- Όλα τα σχήματα, οι εικόνες και τα γραφήματα που παρουσιάστηκαν σε αυτήν την ενότητα είναι από το βιβλίο «Προστασία Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας», Ν. Α. Βοβός, Εκδόσεις Ζήτη.



Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Πατρών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.

