

# 72 Ερωτήσεις Συστήματα Μετρήσεων

PacoPacorius

14 Απριλίου 2022

## 1 Σφάλματα Μετρήσεων

### 1.1 Ποιά είναι το κυριότερα είδη σφαλμάτων;

Τα σφάλματα χωρίζονται σε συστηματικά και τυχαία. Τα συστηματικά οφείλονται στην επίδραση του περιβάλλοντος, στις διάφορες ατέλειες του οργάνου και στις αδυναμίες των μεθόδων μέτρησης. Χωρίζονται σε στατικά (σφάλμα σε μέτρηση όταν το όργανο είναι σε ισορροπία) και δυναμικά (σφάλμα σε μέτρηση όταν το μετρούμενο μέγεθος μεταβάλλεται γρήγορα σε σχέση με το μεταβατικό φαινόμενο του οργάνου).

Σελ. 22, 24

### 1.2 Σε τι διαφέρει η ακρίβεια από την ακρίβεια διασποράς;

Η ακρίβεια περιγράφει κατά πόσο η ένδειξη ενός οργάνου προσεγγίζει την πραγματική τιμή του μετρούμενου μεγέθους. Ακρίβεια διασποράς λέγεται η διασπορά ενδείξεων ενός οργάνου σε επαναλαμβανόμενες μετρήσεις.

Σελ. 24

### 1.3 Τι είναι η ευαισθησία ενός οργάνου;

Ευαισθησία είναι ο λόγος της μεταβολής της απόκρισης προς τη μεταβολή της διέγερσης.

Σελ. 25

### 1.4 Τι σημαίνει διακριτική ικανότητα οργάνου;

Διακριτική ικανότητα οργάνου λέγεται η μικρότερη δυνατή μεταβολή της μετρούμενης ποσότητας που μπορεί να γίνει αντιληπτή από το όργανο.

Σελ. 25

### 1.5 Τι είναι η πόλωση οργάνου;

Πόλωση οργάνου ονομάζεται η τάση του οργάνου να δίνει διαφορετική ένδειξη από την πραγματική τιμή κατά μια σταθερή ποσότητα. Μπορεί να είναι θετική ή αρνητική.

Σελ. 25

### 1.6 Πώς ορίζεται η κλάση ενός οργάνου;

Είναι η ποσότητα  $G = 100 * \frac{\Delta x_m}{x_T}$ , όπου  $\Delta x_m$  μέγιστο απόλυτο σφάλμα,  $x_T$  μέγιστη ένδειξη οργάνου.

Σελ. 26



## 2.6 Τι είναι άμεση γείωση και τι ουδετέρωση;

Η γείωση προστασίας γίνεται είτε με άμεση γείωση ή ουδετέρωση. Στην άμεση γείωση ο αγωγός προστασίας στον πίνακα διανομής συνδέεται μέσω χάλκινου αγωγού στο ηλεκτροδίο γείωσης που είναι βυθισμένο στο έδαφος. Ο αγωγός προστασίας συνδέεται με όλες τις ρευματοληψίες, έτσι ώστε να γειωθούν όλα τα μεταλλικά περιβλήματα οργάνων που συνδέονται στις ρευματοληψίες αυτές.

Στην ουδετέρωση ο αγωγός προστασίας συνδέεται στον πίνακα διανομής με τον ουδέτερο αγωγό που είναι γειωμένος κοντά στην είσοδο της παροχής του καταναλωτή. Τότε ο ουδέτερος αγωγός είναι γειωμένος κατά διαστήματα σε όλο το μήκος του, εκτός από τη γείωση λειτουργίας (γείωση ουδέτερου κόμβου).

Σελ. 44-5

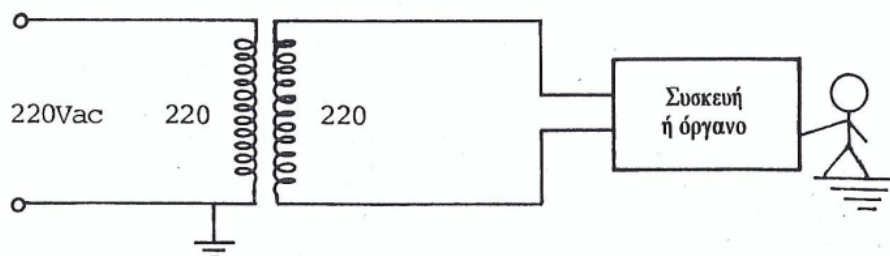
## 2.7 Τι λέγεται αντίσταση γείωσης;

Αντίσταση γείωσης λέγεται η αντίσταση διάχυσης (αντίσταση μεταξύ ηλεκτροδίου γείωσης και γης) σε σειρά με την αντίσταση του αγωγού που συνδέει τον αγωγό προστασίας με το ηλεκτροδίο γείωσης. Όσο μικρότερη, τόσο καλύτερη γείωση.

Σελ. 45

## 2.8 Ποιός είναι ο σκοπός εγκατάστασης μετασχηματιστών απομόνωσης;

Αυτοί οι Μ/Τ ισχύος είναι συνήθως 1:1 με αγείωτο δευτερεύον, βρίσκονται εγκατεστημένοι κοντά στον πίνακα τροφοδοσίας και συνδέονται ανάμεσα από τον πίνακα και τις συσκευές (Σχήμα 1). Αν ένα στοιχείο τάσης ακουμπήσει το μεταλλικό περίβλημα ενός οργάνου, τότε δεν διατρέχει κίνδυνο κάποιος που θα πιάσει το περίβλημα του οργάνου, γιατί δεν μπορεί να κλείσει κύκλωμα, αφού το δευτερεύον δεν είναι γειωμένο και δεν υπάρχει γαλβανική σύνδεση πρωτεύοντος με το δευτερεύον.



Σχήμα 1: Σύνδεση μετασχηματιστή απομόνωσης

Σελ. 47

## 2.9 Τι είναι οι διακόπτες διαφυγής;

Ένα είδος προστασίας από την ηλεκτροπληξία. Υπάρχουν οι διακόπτες διαφυγής τάσης και έντασης ή αλλιώς διαφορικοί. (Κατατοπιστικότερα το ξέρω)

Ο **διακόπτης διαφυγής τάσης** περιέχει ένα πηνίο τάσης. Όταν η τάση υπερβεί τα 50V, έλκει τον οπλισμό του και διακόπτει όλες τις φάσεις και τον ουδέτερο σε δέκατα του δευτερολέπτου. Ο **διακόπτης διαφυγής έντασης** περιέχει έναν μετασχηματιστή και ένα πηνίο διακοπής/διαφυγής. Όταν δεν υπάρχει επαφή μεταξύ στοιχείου με τάση και του εξωτερικού περιβλήματος, τα ρεύματα των αγωγών τροφοδοσίας είναι ίσα και δημιουργούν αντίθετα πολωμέν μαγνητικά πεδία τα οποία αλληλοεξουδετερώνονται. Όταν υπάρχει σύνδεση μεταξύ στοιχείων και περιβλήματος, επάγεται τάση στο δευτερεύον του Μ/Τ, ενεργοποιείται το πηνίο διαφυγής και διακόπτεται το κύκλωμα σε λίγα δευτερόλεπτα.

Σελ. 48-50

## 2.10 Πώς προστατεύονται τα κυκλώματα; Πού πάνε τα μπαλόνια;

Προστατεύονται με ασφάλειες και αυτόματους διακόπτες. Αν η ένταση του ρεύματος περάσει ένα όριο, διακόπτεται το κύκλωμα. Απαφεύγεται έτσι η πρόκληση πυρκαγιάς λόγω βραχυκυκλώματος και η καταστροφή των αγωγών των συσκευών.

Σελ. 50

## 2.11 Ποιά είναι η αρχή λειτουργίας αυτόματων διακοπών;

Έχουν ένα θερμικό και ένα μαγνητικό στοιχείο.

Το θερμικό στοιχείο είναι ένα διμεταλλικό έλασμα το οποίο όταν θερμανθεί καθώς διαρέεται από ρεύμα λίγο περισσότερο από το κανονικό, παραμορφώνεται και προκαλεί την διακοπή του κυκλώματος μετά από λίγο.

Το μαγνητικό στοιχείο είναι ένα πηνίο με πυρήνα και έναν οπλισμό το οποίο διεγείρεται και διακόπτει αυτόματα το κύκλωμα όταν το ρεύμα γίνει πολύ μεγάλο.

## 2.12 Ποιό σκοπό εξυπηρετούν οι αυτόματοι διακόπτες για έλλειψη τάσης και ποιό οι αυτόματοι για διαδοχή φάσεων;

Οι αυτόματοι διακόπτες για έλλειψη τάσης διακόπτουν το κύκλωμα όταν η τάση πέσει κάτω από μια συγκεκριμένη τιμή (pretty self explanatory really).

Οι αυτόματοι διακόπτες για διαδοχή φάσεων διακόπτουν το κύκλωμα αν η τριφασική συνδεσμολογία έγινε λάθος και η διαδοχή των φάσεων είναι αντίθετη από την προβλεπόμενη. Εφαρμόζονται για την προστασία ηλεκτροκινητήρων οι οποίοι αλλάζουν φορά περιστροφής όταν αλλάζει η διαδοχή των φάσεων.

Σελ. 52

## 3 Ηλεκτρικός Θόρυβος

### 3.1 Τι λέγεται ηλεκτρικός θόρυβος;

Λέγονται οι παρενοχλήσεις από ανεπιθύμητα σήματα στο κύκλωμα που μας ενδιαφέρει.

Σελ. 56

### 3.2 Ποιές είναι οι κύριες πηγές ηλεκτρικού θορύβου;

Είναι ημιαγωγοί που χρησιμοποιούνται σαν διακόπτες, οι εκκενώσεις κάθε μορφής, οι ηλεκτροκολλήσεις, οι λάμπες φθορισμού και οι λυχνίες θύρατρων.

Σελ. 56

### 3.3 Ποιά είναι τα είδη σύζευξης ηλεκτρικού θορύβου;

- Ηλεκτροστατική ή χωρητική σύζευξη
- Μαγνητική ή επαγωγική
- Ηλεκτρομαγνητική
- Σύζευξη κοινής αντίστασης
- Ο Merzbow (είναι αντιSOS αυτό δεν πέφτει ποτέ)

Σελ. 56-7

### 3.4 Εξηγήστε τη φύση της ηλεκτροστατικής και της μαγνητικής σύζευξης

Λέγονται και οι δύο μικρής απόστασης σύζευξης γιατί εξανεμίζονται όταν η απόσταση μεταξύ πηγής και δέκτη του θορύβου είναι μεγάλη.

Η **ηλεκτροστατική σύζευξη** οφείλεται στην χωρητικότητα μεταξύ πομπού και δέκτη και ο θόρυβος λόγω της ηλεκτροστατικής σύζευξης αυξάνεται όταν:

- Αυξάνεται η συχνότητα
- Αυξάνεται η αντίσταση εισόδου του οργάνου
- Αυξάνεται η χωρητικότητα μεταξύ πομπού και δέκτη του θορύβου

Η **μαγνητική σύζευξη** οφείλεται στην τάση αλληλεπαγωγής μεταξύ πηγής και δέκτη, δηλαδή στις τάσεις που δημιουργούνται από επαγωγή λόγω μεταβολής μαγνητικών πεδίων. Ο θόρυβος αυξάνεται όταν:

- Αυξάνεται η ένταση του μαγνητικού πεδίου
- Αυξάνεται ο εμπλεκόμενος με το μαγνητικό πεδίο βρόγχος του δέκτη
- Αυξάνεται η ταχύτητα μεταβολής του μαγνητικού πεδίου
- Μικραίνει η αντίσταση εισόδου

Σελ. 57-9

### 3.5 Εξηγήστε τη φύση της ηλεκτρομαγνητικής σύζευξης

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που εκπέμπεται από ραδιοφωνικούς και τηλεοπτικούς πομπούς μπορεί να δημιουργήσει θόρυβο κυρίως σε πολύ λεπτές μετρήσεις, ακόμα και σε περιπτώσεις που ο πομπός βρίσκεται πολύ μακριά από τον δέκτη (σύζευξη θορύβου μεγάλης απόστασης).

Σελ. 60

### 3.6 Πότε εμφανίζεται σύζευξη κοινής αντίστασης;

Εμφανίζεται όταν 2 ή και περισσότερα κυλώματα έχουν πολλούς κοινούς αγωγούς τροφοδοσίας και κατά συνέπεια τα ρεύματα των κυκλωμάτων περνούν από κοινές σύνθετες αντιστάσεις.

Σελ. 61

### 3.7 Να αναφερθούν τρόποι μείωσης του θορύβου

- Τοποθέτηση των διατάξεων μετρήσεων μακριά από τις πηγές θορύβου (ηλεκτροστατική, μαγνητική)
- Το 'στρίψιμο' των καλωδίων σε ευαίσθητες μετρητικές διατάξεις (ηλεκτροστατική, μαγνητική)
- Χρήση φίλτρων τροφοδοσίας αν υπάρχει θόρυβος που προέρχεται από την τροφοδοσία. Είναι χαμηλοπερατά φίλτρα που αφήνουν να περάσει η συχνότητα τροφοδοσίας και απορρίπτουν τον θόρυβο (κοινής αντίστασης)
- Χρήση θωράκισης, δηλαδή κάλυψης ενός αγωγού/στοιχείου με κάλυμα με συγκεκριμένες ηλεκτρομαγνητικές ιδιότητες που αποτρέπουν λήψη και εκπομπή ηλεκτρικού θορύβου (αγώγιμα πλέγματα για ηλεκτροστατική, σιδηρομαγνητικό υλικό για μαγνητική, αγώγιμο υλικό/στρώματα αγώγιμου και σιδηρομαγνητικού υλικού για ηλεκτρομαγνητική)
- Χρήση σωστών γειώσεων (υποθέτω για κοινή αντίστασης, μαγνητική, ηλεκτροστατική)
- Χρήση αγωγών μικρής αντίστασης (κοινής αντίστασης)

- Αποφυγή κοινών συνδέσεων (κοινής αντίστασης) (duh)

Σελ. 63-4

## 4 Μέτρηση ισχύος και ενέργειας

### 4.1 Να περιγράψετε την αρχή λειτουργίας αντισταθμισμένων βαττόμετρων

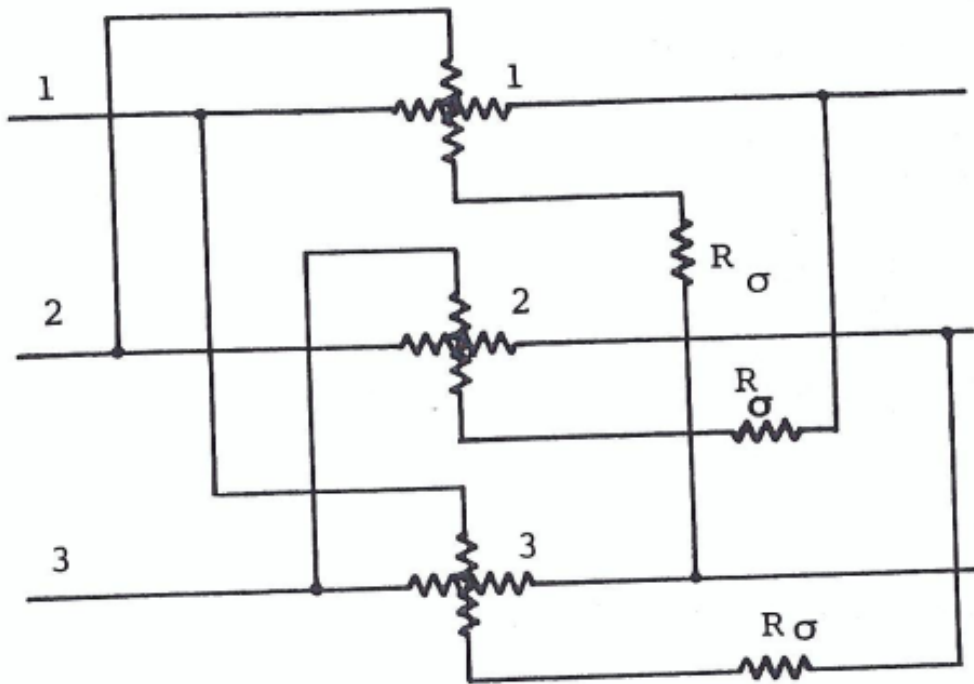
Τα αντισταθμισμένα βαττόμετρα έχουν δύο πηνία τάσης, τα Π1 και Π2. Τα Π1 και Π2 είναι συνδεδεμένα σε σειρά μεταξύ τους και διαρρέονται με το ίδιο ρεύμα. Κατασκευαστικά, όμως, το Π2 είναι παράλληλα του πηνίου έντασης, αφαιρώντας το μαγνητικό πεδίο του Π2 από το πεδίο του πηνίου έντασης. Έτσι, στην ένδειξη του οργάνου δεν συμπεριλαμβάνεται η ισχύς που καταναλίσκεται στο πηνίο τάσης. Πρέπει όμως η σύνδεση του πηνίου τάσης να γίνει από την πλευρά της κατανάλωσης.

Σελ. 197-8

### 4.2 Να περιγράψετε τη μέτρηση ενεργού ισχύος με τη διάταξη Aron σε τριφασικό σύστημα τριών αγωγών με συμμετρικές τάσεις

Σελ. 202-3 πάνε διάβασε το από το βιβλίο και κουράγιο, μην πανικοβληθείς

### 4.3 Να περιγράψετε τη μέθοδο μέτρησης άεργου ισχύος σε τριφασικό σύστημα μετρήσεων με τρία βαττόμετρα



Σχήμα 2: Μετρητής άεργου ισχύος

Η ένδειξη του βαττόμετρου 1 θα είναι:  $U_{23}I_1 \cos(90^\circ - \phi_1) = \sqrt{3}V_1I_1 \sin(\phi_1) = \sqrt{3}Q_1$

Οι ενδείξεις των 2 και 3 αντίστοιχα:

$$U_{31}I_2 \cos(90^\circ - \phi_2) = \sqrt{3}Q_2$$

$$U_{12}I_3 \cos(90^\circ - \phi_3) = \sqrt{3}Q_3$$

Η τριφασική άεργος ισχύς είναι ίση με με το άθροισμα των ενδείξεων των βαττομέτρων διαιρεμένο δια  $\sqrt{3}$ . Σε περίπτωση συμμετρικού φορτίου, αρκεί ένα από τα τρία βαττόμετρα. Η άεργη ισχύς σε αυτή την περίπτωση θα είναι η ένδειξη του βαττομέτρου επί  $\sqrt{3}$ .

Σελ. 205-6

#### 4.4 Εξηγήστε πως μπορεί να μετρηθεί ο συντελεστής ισχύος συμμετρικού τριφασικού κυκλώματος με τη διάταξη Aron.

Σελ. 208 ντου δις λειτερ

## Μέρος Β

### 5 Εισαγωγή στα Συστήματα Μετρήσεων

#### 5.1 Τι είναι μετατροπέας; Ποιοί είναι οι πιο διαδεδομένοι τύποι μετατροπών; Ποιά είναι η διαφορά μεταξύ ενός αισθητηρίου και ενός ανιχνευτή;

Μετατροπέας λέγεται η διάταξη που απορροφά ενέργεια από ένα σύστημα και την μεταφέρει, αφού συνήθως τη μετατρέπει σε ενέργεια άλλης μορφής, ένα άλλο σύστημα.

Οι μετατροπείς που χρησιμοποιούνται για μετρήσεις είναι οι λεγόμενοι μετατροπείς εισόδου. Διεγείρονται από κάποια φυσική ποσότητα και δημιουργούν ένα σήμα εξόδου, συνήθως ηλεκτρικό, το οποίο χρησιμοποιείται για την μέτρηση της αντίστοιχης φυσικής ποσότητας. Μετατροπείς εξόδου λέγονται οι μετατροπείς που μετατρέπουν ηλεκτρική ενέργεια σε ενέργεια άλλης μορφής, συνήθως μηχανική. Όταν χρησιμοποιούνται σε συστήματα ελέγχου λέγονται και ενεργοποιητές. Ένας μετατροπέας λέγεται ενεργός αν χρειάζεται για τη λειτουργία του μια εξωτερική πηγή ενέργειας. Ένας μετατροπέας λέγεται παθητικός αν δεν απαιτείται εξωτερική πηγή, αλλά η ενέργεια που απορροφάται από το μετρούμενο σύστημα μετατρέπεται σε ενέργεια εξόδου (δηλαδή σε ενέργεια του σήματος που δημιουργείται σαν αποτέλεσμα του μετρούμενου μεγέθους). Οι πιο διαδεδομένοι τύποι μετατροπών είναι:

(Δεν ξέρω κατά πόσο αξίζει να μάθει κανείς αυτή τη λίστα τβη)

1. Ηλεκτρομηχανικός τύπος
2. Τύπος ποτενσιόμετρου
3. Τύπος διαφορικού μετασχηματιστή
4. Τύπος πιεζοαντίστασης
5. Φωτοηλεκτρικός τύπος
6. Πιεζοηλεκτρικός τύπος
7. Θερμοηλεκτρικός τύπος
8. Τύπος μεταβλητής ηλεκτρικής αντίστασης
9. Τύπος θερμοδιαστολής
10. Ημιαγωγικοί μετατροπείς θερμοκρασίας
11. Χωρητικός τύπος
12. Επαγωγικός τύπος
13. Τύπος ταλαντωτή
14. Τύπος Hall και μαγνητοαντίστασης

**Αισθητήριο** λέγεται μια διάταξη που χρησιμοποιείται για την μέτρηση ή ανίχνευση ενός φυσικού μεγέθους ενώ **ανιχνευτής** είναι μια διάταξη που χρησιμοποιείται για την ανίχνευση ενός φυσικού μεγέθους.

Σελ. 271-3



## 5.2 Τι λέγεται ρύθμιση και τι ευαισθησία ενός συστήματος; Πότε λέμε ότι ένα σύστημα έχει γραμμικότητα μέτρησης και πότε ότι έχει γραμμική δυναμική συμπεριφορά;

(Πήρε φόρα ο δικός σου)

**Ρύθμιση** ενός συστήματος μέτρησης λέγεται η διαδικασία κατά την οποία μεταβάλλεται αργά και με έναν γνωστό τρόπο η επιθυμητή είσοδος του συστήματος μέσα σε μια περιοχή τιμών έτσι ώστε να καλυφθεί η περιοχή μέτρησης του συστήματος και να αντιστοιχηθεί σε κάθε τιμή της εξόδου μια τιμή της επιθυμητής εισόδου. Η γραμμική παράσταση αυτής της αντιστοίχισης τιμών εισόδου και εξόδου λέγεται καμπύλη ρύθμισης.

**Ευαισθησία** λέγεται ο λόγος της μεταβολής της εξόδου προς τη μεταβολή της εισόδου στη μόνιμη κατάσταση λειτουργίας.

Ένα σύστημα έχει **γραμμικότητα μέτρησης** όταν η καμπύλη ρύθμισής του είναι μια ευθεία γραμμή.

Μπορεί ένα σύστημα να διέπεται από γραμμική διαφορική εξίσωση (**γραμμικότητα της δυναμικής του συστήματος**) αλλά να μην έχει γραμμικότητα μέτρησης.

Σελ. 292, 294

## 5.3 Τι γνωρίζετε για την υπερφόρτωση ενός μετρητή;

Υπερφόρτιση ονομάζεται ο λόγος  $\frac{\text{μέγιστη τιμή του μετρητή χωρίς να υποστεί βλάβη}}{\text{μέγιστη τιμή που μπορεί να μετρηθεί από μετρητή}}$  και αναφέρεται σε βλάβη. Μερικές φορές η υπερφόρτιση ορίζεται ως  $\frac{\text{μέγιστη τιμή που δεν απορρυθμίζει το όργανο}}{\text{μέγιστη τιμή που μπορεί να μετρηθεί από μετρητή}}$  και αναφέρεται στην απορρύθμιση του οργάνου. Και οι δύο περιπτώσεις είναι στατικές υπερφορτίσεις. Υπάρχουν και δυναμικές υπερφορτίσεις που ορίζονται ανάλογα με τις στατικές, το μέγεθός τους, όμως, αλλάζει ανάλογα με τη διάρκειά τους.

Σελ. 295

## 5.4 Ποιες συνθήκες πρέπει να πληρούνται ώστε η έξοδος ενός του μετρητικού συστήματος να έχει το ίδιο σχήμα με την είσοδο;

Αν η είσοδος αποτελείται από ένα φάσμα αρμονικών, η έξοδος θα έχει το ίδιο σχήμα με την είσοδο αν το κέρδος του συστήματος είναι σταθερό για όλες τις αρμονικές της εισόδου και αν η διαφορά φάσης φ αυξάνει γραμμικά με τη συχνότητα. Τότε, η έξοδος θα είναι ίδιο σχήμα με την είσοδο, αλλά χρονικά μετατοπισμένη.

Σελ. 299

# 6 Μέτρηση Θέσης

## 6.1 Να υπολογιστεί η συνάρτηση μεταφοράς ενός ΓΜΔΜ ως προς την είσοδο διαμόρφωσης και να περιγραφεί η αρχή λειτουργίας ΓΜΔΜ

(Δεν ξέρω πόσο ρεαλιστικό είναι το να πέσει ο υπολογισμός της συνάρτησης μεταφοράς του ΓΜΔΜ σαν ερώτηση θεωρίας τβη, μπορεί να το βάλω για λόγους πληρότητας, αν δεν το έβαλα τότε απλά βαριόμουν να το κάνω, σόρρυ)

Ο γραμμικός μεταβλητός διαφορικός μετασχηματιστής (ΓΜΔΜ) είναι ένας μετατροπέας διαφορικού μετασχηματιστή που παράγει στην έξοδό του ένα ηλεκτρικό σήμα το οποίο είναι ανάλογο με την μετατόπιση ή περιστροφή του οπλισμού. Ο ΓΜΔΜ έχει ένα πρωτεύον τύλιγμα και δύο δευτερεύοντα τα οποία συνδέονται σε σειρά αλλά έτσι ώστε οι τάσεις τους να αφαιρούνται. Η συχνότητα λειτουργίας των ΓΜΔΜ είναι  $60\text{Hz} - 20\text{KHz}$  και η τάση εισόδου είναι  $3\text{V}$  έως  $15\text{V}$  συνήθως. Όταν ο οπλισμός είναι συμμετρικά τοποθετημένος η τάση εξόδου θεωρητικά είναι μηδενική (πρακτικά πολύ μικρή). Η θέση αυτή ορίζεται σαν μηδενική θέση. Αν ο πυρήνας κινηθεί από τη μηδενική θέση ο συντελεστής ζεύξης του ενός δευτερεύοντος τυλίγματος αυξάνει ενώ του άλλου μειώνεται και έτσι εμφανίζεται μια τάση στην έξοδο η οποία είναι ανάλογη της μετατόπισης.

Ο ΓΜΔΜ λειτουργεί σαν ένας διαμορφωτής. Το φέρον σήμα είναι η τάση τροφοδοσίας και διαμορφώνεται κατά πλάτος από τη θέση του πυρήνα.

Βασικά χαρακτηριστικά των ΓΜΔΜ:

- Γραμμικότητα μέτρησης.
- Η ευαισθησία των των ΓΜΔΜ είναι συνήθως μεταξύ 0,6 και 30mV/0,001 ίντσες. Ένας ΓΜΔΜ με μεγαλύτερη τάσης πρωτεύοντος και με μικρότερη διαδρομή του πυρήνα είναι πιο ευαίσθητος.
- Η δυναμική συμπεριφορά του ΓΜΔΜ περιορίζεται κυρίως από την συχνότητα της τάσης τροφοδοσίας του πρωτεύοντος. Για καλή αποδιαμόρφωση της τάσης εξόδου, θα πρέπει 
$$\frac{\text{συχνότητα τάσης του πρωτεύοντος}}{\text{μέγιστη συχνότητα κίνησης του πυρήνα}} \geq 10$$
- Μεγάλη διακριτική ικανότητα.
- Μεγάλη διάρκεια ζωής.
- Αντοχή σε κραδασμούς και δεν χρειάζονται συντήρηση.
- Γαλβανική απομόνωση μεταξύ πρωτεύοντος και δευτερευόντων τυλιγμάτων.
- Η έξοδος τους είναι αρετά ισχυρή.

Σελ. 329-33

## 6.2 Περιγράψτε τη λειτουργία των οπτικών κωδικοποιητών μεταβολής

Οι οπτικοί κωδικοποιητές μεταβολής αποτελούνται από ένα δίσκο ο οποίος αποτελείται από διαδοχικούς διαφανείς και αδιαφανείς τομείς. Πολλές φορές φέρουν δόντια, ώστε οι προεξοχές να έχουν τον ρόλο του αδιαφανούς και οι εσοχές τον ρόλο του διαφανούς τομέα.

Ο κωδικοποιητής προσαρμόζεται σε έναν άξονα και ακολουθεί την περιστροφή του. Από τη μια πλευρά του κωδικοποιητή υπάρχει μια πηγή φωτός και από την άλλη ένας δέκτης φωτός. Καθώς περιστρέφεται ο δίσκος περιστρέφεται ο δίσκος εναλλάσσονται οι διαφανείς και αδιαφανείς τομείς με αποτέλεσμα να παράγεται μια αλληλουχία παλμών το άθροισμα των οποίων δείχνει την γωνιακή θέση του άξονα.

Η διακριτική ικανότητα ενός κωδικοποιητή εξαρτάται από τον αριθμό των παλμών (άρα των διαφανών και αδιαφανών τομέων του δίσκου). Πολλοί κωδικοποιητές χρησιμοποιούν και δεύτερο ζεύγος πομπού και δέκτη, δίνοντας παλμό για κάθε περιστροφή και τρίτο ζεύγος για προσδιορισμό της φοράς περιστροφής.

Το μειονέκτημά τους είναι ότι δεν δείχνουν την απόλυτη θέση του άξονα, για αυτό απαιτούνται εξωτερικά κυκλώματα τα οποία μετρούν τους παλμούς και προσδιορίζουν τη θέση του άξονα κάθε στιγμή.

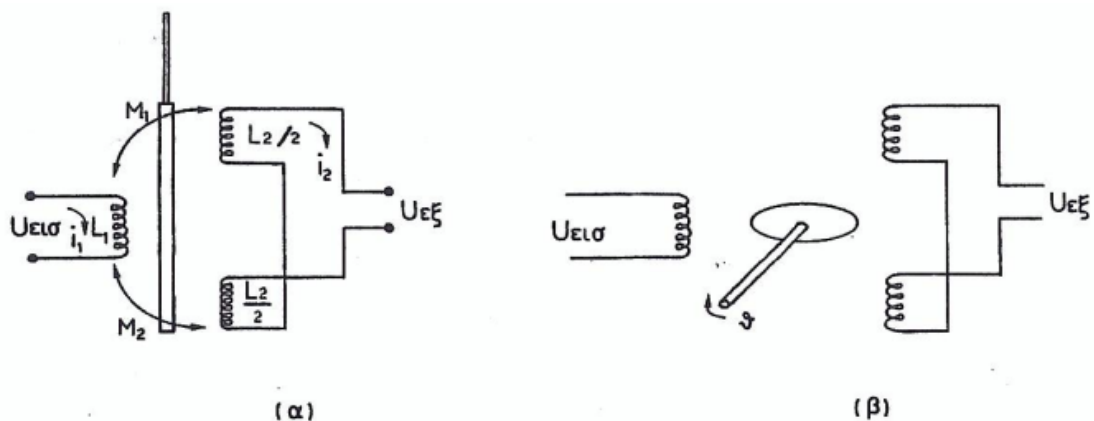
Σελ. 333-4

## 7 Μέτρηση Ταχύτητας και Επιτάχυνσης

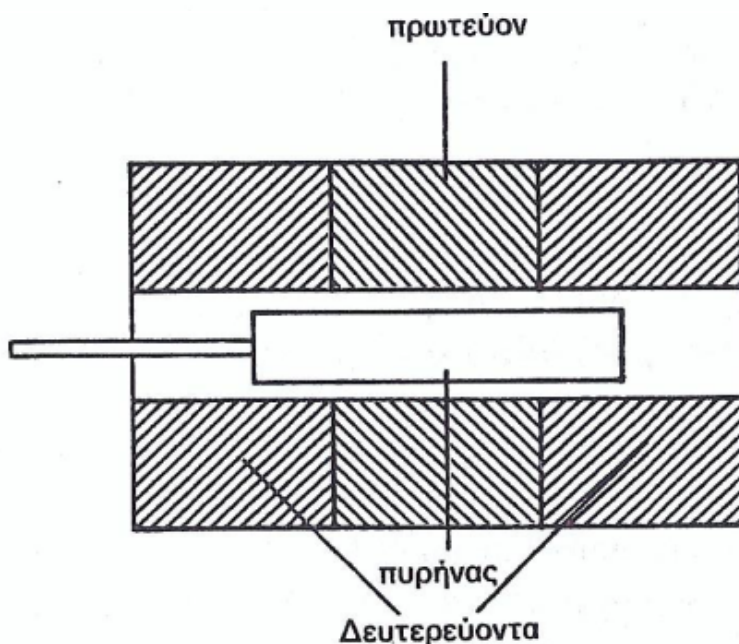
### 7.1 Περιγράψτε τη στροβοσκοπική μέθοδο μέτρησης περιστροφής ενός άξονα

Ας υποθέσουμε ότι ένας άξονας περιστρέφεται με ταχύτητα περιστροφής  $n$  r/sec και ότι μία λάμπα που φωτίζει τον άξονα αναβοσβήνει με συχνότητα  $f$ . Αν υπάρχει κάποιο σημάδι επάνω στον άξονα θα φαίνεται ακίνητο στην περίπτωση που  $n = kf$ , με  $k$  ακέραιο. Η μέτρηση γίνεται μεταβάλλοντας την συχνότητα  $f$  έως ότου κάποιο σημάδι του άξονα που ορίζεται για αυτό το σκοπό φανεί ακίνητο. Συνήθως η συχνότητα κυμαίνεται από 2 έως 400Hz.

Σελ. 362-3



Σχ. 2.24. Σχηματική παράσταση ΓΜΔΜ. α) Για μέτρηση μετατόπισης. β) Για μέτρηση γωνίας.



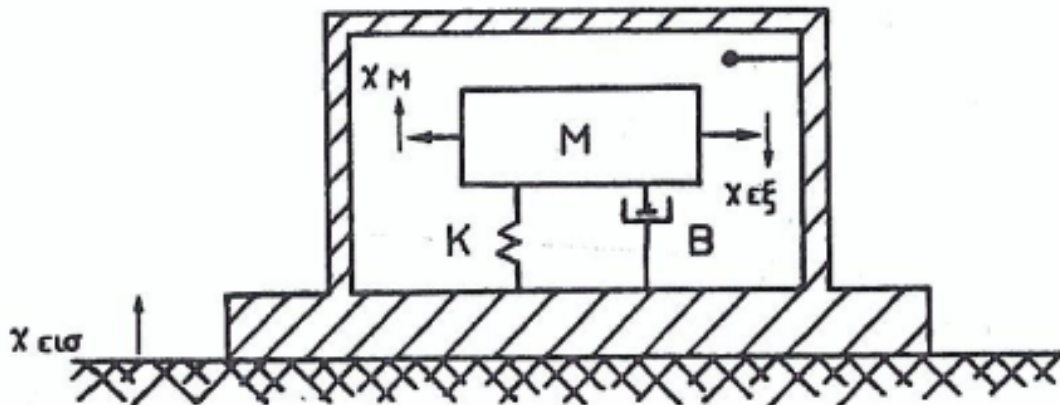
Σχ. 2.26. Διάταξη τυλιγμάτων ΓΜΔΜ.

## 7.2 Περιγράψτε τη λειτουργία ταχογεννητριών

Οι ταχογεννήτριες παράγουν μια τάση ανάλογη της ταχύτητας περιστροφής του άξονά τους.

- Οι ταχογεννήτριες **εναλλασσόμενου** ρεύματος είναι κινητήρες κλωβού δύο τυλιγμάτων. Το ένα τύλιγμα τροφοδοτείται με με εναλλασσόμενο ρεύμα. Λόγω της περιστροφής του άξονα επάγεται στο άλλο τύλιγμα μια εναλλασσόμενη τάση με πλάτος ανάλογο της ταχύτητας περιστροφής. Η συχνότητα είναι ίση με τη συχνότητα τροφοδοσίας και η φάση  $180^\circ$  ή  $0^\circ$ , ανάλογα με τη φορά περιστροφής του άξονα. Η ευαισθησία αυτών των ταχόμετρων είναι μερικά βολτ ανά 1000 rpm. Η συχνότητα της φάσης τροφοδοσίας είναι 50 – 60 ή 400 Hz.
- Η ταχογεννήτρια **συνεχούς** ρεύματος είναι μια συνηθισμένη γεννήτρια συνεχούς ρεύματος η οποία έχει κατασκευαστικά καλή ακρίβεια και ευαισθησία. Η τάση εξόδου της είναι ανάλογη της ταχύτητας περιστροφής του άξονα και η πολικότητά της αλλάζει όταν αλλάζει η φορά του άξονα. Χρησιμοποιείται για ταχύτητες μέχρι μερικές χιλιάδες rpm. Έχουν ευαισθησία αρκετά βολτ ανά 1000 rpm.

7.3 Εξηγήστε πότε ένας μετατροπέας ταχύτητας λέγεται σχετικός και πότε απόλυτος



Σχήμα 3: Βασικού τύπου επιταχυνσιόμετρο

- Ο **απόλυτος** μετατροπέας ταχύτητας αποτελείται από ένα επιταχυνσιόμετρο (Σχ. 3) και έναν μετατροπέα θέσης. Γίνεται χρήση της αδρανειακής δύναμης που ασκείται στη μάζα M του επιταχυνσιόμετρου για τη μέτρηση της ταχύτητας.
- **Σχετικός** λέγεται ο μετατροπέας ταχύτητας που μετρά τη σχετική ταχύτητα ενός τμήματος του μετατροπέα ως προς ένα άλλο.

Σελ. 369

7.4 Να υπολογίσετε τη συνάρτηση μεταφοράς ενός επιταχυνσιόμετρου βασικού τύπου (Σχ. 2)

(Και πάλι δεν ξέρω κατά πόσο πιθανό είναι να πέσει αυτό σαν ερώτηση θεωρίας)

Έστω  $x_{\epsilon\omega}$  η μετατόπιση του περιβλήματος,  $x_{\epsilon\xi}$  η μετατόπιση της μάζας M ως προς το περίβλημα και  $x_M$  η μετατόπιση της M ως προς το σύστημα αναφοράς. Οι δυνάμεις που επενεργούν πάνω στη M όταν υπάρξει κάποια κίνηση της επιφάνειας στήριξης είναι:

Η αντίδραση του ελατηρίου:

$$F_1 = Kx_{\epsilon\xi}$$

και η αντίδραση του αποσβεστήρα:

$$F_2 = B \frac{dx_{\epsilon\xi}}{dt}$$

Το άθροισμα των δυνάμεων προκαλεί επιτάχυνση στο σώμα:

$$Kx_{\epsilon\xi} + B \frac{dx_{\epsilon\xi}}{dt} = M \frac{d^2x_M}{dt^2}$$

Ισχύει, όμως, ότι:

$$x_M = x_{ελσ} - x_{εξ} \Rightarrow Kx_{εξ} + B\frac{dx_{εξ}}{dt} = M * \left( \frac{d^2x_{ελσ}}{dt^2} - \frac{d^2x_{εξ}}{dt^2} \right)$$

Παίρνοντας τον μετασχηματισμό Laplace προκύπτει η συνάρτηση μεταφοράς του συστήματος:

$$\frac{X_{εξ}}{X_{ελσ}} = \frac{s^2 M}{s^2 M + sB + K} = \frac{s^2}{s^2 + s\frac{B}{M} + \frac{K}{m}}$$

Θέτοντας:

$$\omega_n = \sqrt{\frac{K}{M}}$$

$$\zeta = \frac{B}{2\sqrt{KM}}$$

έχουμε:

$$\frac{X_{εξ}}{X_{ελσ}} = \frac{1}{s^2 + 2s\zeta\omega_n + \omega_n^2}$$

Όπου  $\omega_n$  η κυκλική φασική συχνότητα και  $\zeta$  ο συντελεστής απόσβεσης του συστήματος. Η  $\omega_n$  είναι η συχνότητα που θα ταλαντωνόταν το σύστημα αν  $B = 0$ .

Σελ. 366-8

## 7.5 Να εξηγήστε γιατί το πιεζοηλεκτρικό επιταχυνσιόμετρο δεν μπορεί να μετρήσει σταθερή επιτάχυνση αφού υπολογίσετε την συνάρτηση μεταφοράς του

Η μάζα  $M$  πιέζει τον πιεζοηλεκτρικό κρύσταλλο ο οποίος συνήθως βρίσκεται σε τάση ακόμα και για μηδενική επιτάχυνση (Σχήμα 4), έτσι ώστε ο μετατροπέας να μπορεί να μετρήσει επιταχύνσεις και προς τις δύο φορές. Αν θεωρήσουμε την έξοδο του πιεζοηλεκτρικού κρυστάλλου την τάση  $v$  και σαν είσοδο την μεταβολή  $x$  της διάστασης του κρυστάλλου κατά την διεύθυνση μέτρησης, η συνάρτηση μεταφοράς θα είναι:

$$\frac{V(s)}{X(s)} = \frac{K_k \tau s}{1 + \tau s}$$

$\tau$  μια χρονική σταθερά,  $K_k$  η ευαισθησία

Η μεταβολή  $x$  που ορίσαμε εδώ είναι η μεταβολή  $X_{εξ}$  (η οποία ορίζεται σε μια πολύ προηγούμενη εξίσωση, βλέπε Πετρίδη), οπότε προκύπτει (συνδυάζοντας με μια άλλη εξίσωση που ορίστηκε πάλι πιο πριν, ξαναβλέπε Πετρίδη):

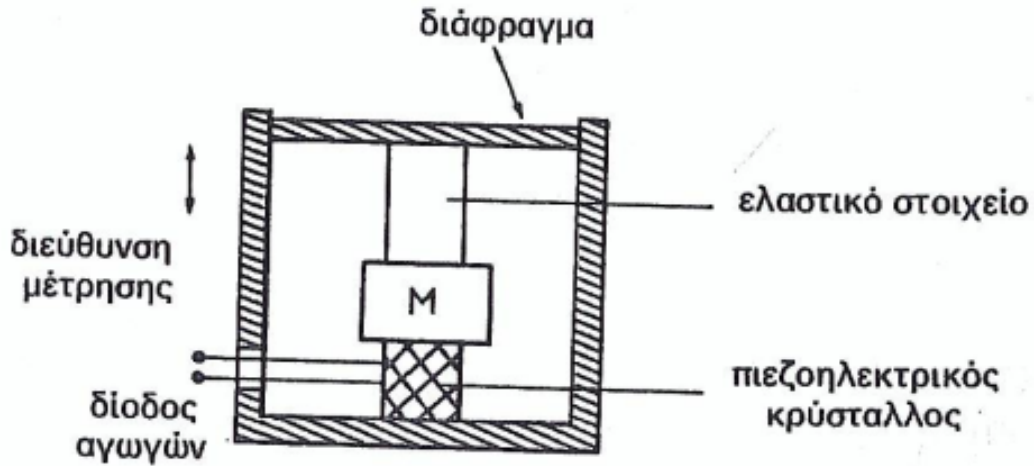
$$\frac{V(s)}{\gamma(s)} = \frac{K_k \tau s}{(1 + \tau s)(s^2 + 2s\zeta\omega_n + \omega_n^2)}$$

με περιοχή συχνοτήτων λειτουργίας:

$$\frac{3}{\tau} < \omega < \frac{\omega_n}{5}$$

Από την περιοχή συχνοτήτων φαίνεται ότι το πιεζοηλεκτρικό επιταχυνσιόμετρο δεν μπορεί να λειτουργήσει ούτε σε πολύ χαμηλές ούτε σε πολύ υψηλές συχνότητες. Επειδή έχουν μεγάλη φυσική συχνότητα  $\omega_n$ , τα καθιστά κατάλληλα για μετρήσεις επιταχύνσεων που περιέχουν υψηλές αρμονικές, άρα απότομες μεταβολές της επιτάχυνσης, και άρα αδυνατούν στο να μετρήσουν σταθερή επιτάχυνση.

(Το γιατί τα πιεζοηλεκτρικά επιταχυνσιόμετρα δεν μπορούν να μετρήσουν σταθερή επιτάχυνση δεν το βρήκα στον Πετρίδη, οπότε κράτα μια επιφύλαξη για αυτό. Γιατί θεώρησε κάποιος ότι αυτή η ερώτηση ήταν καλή ιδέα δεν θα καταλάβω ποτέ)



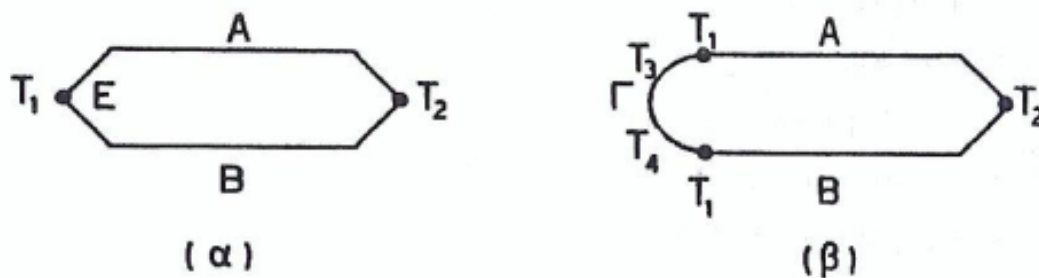
Σχήμα 4: Χαρακτηριστική κατασκευή πιεζοηλεκτρικού επιταχυνσιόμετρου

Σελ. 372-4

## 8 Μέτρηση Θερμοκρασίας

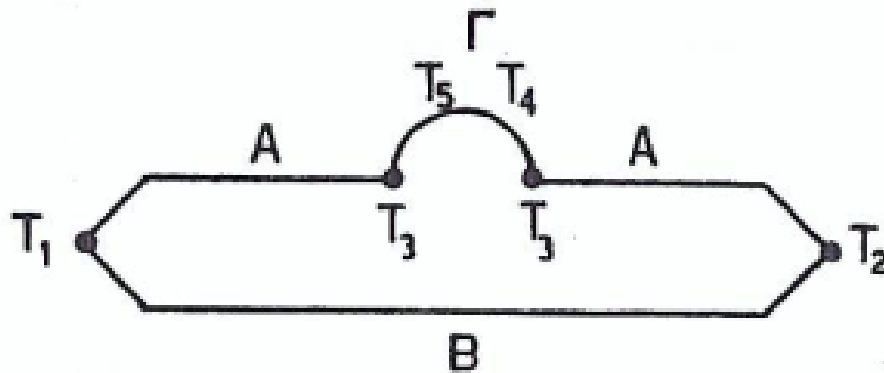
### 8.1 Να αναφέρετε και να εξηγήσετε πέντε βασικές ιδιότητες χρήσης θερμοζευγών

- Αν τα δύο υλικά του θερμοζεύγους είναι ομοιογενή, η θερμοηλεκτρεγερτική του δύναμη δεν εξαρτάται από την θερμοκρασία κανενός σημείου εκτός από τις θερμοκρασίες των ενώσεων 1 και 2.
- Ας υποθέσουμε ότι η θερμοκρασία της ένωσης 1 είναι  $T_1$  και της 2 είναι  $T_2$ , όπως στο σχήμα 5 και η θερμοηλεκτρεγερτική δύναμη είναι  $E$ . Έστω ότι καταστρέφεται η ένωση 1 και μεταξύ των υλικών A και B παρεμβάλλεται ένα άλλο υλικό Γ. Αν η θερμοκρασία των νέων ενώσεων ΒΓ και ΑΓ είναι  $T_1$ , τότε η θερμοηλεκτρεγερτική δύναμη θα είναι ίση με  $E$  ακόμα και αν η θερμοκρασία των τμημάτων του Γ έξω από τις ενώσεις ΑΓ και ΒΓ είναι διαφορετική από την  $T_1$ .



Σχήμα 5: Θερμοστοιχείο με τρία υλικά και τρεις ενώσεις

- Αν κοπεί ένα από τα δύο υλικά και παρεβληθεί ένα άλλο υλικό  $\Gamma$ , η ηλεκτρεγερτική δύναμη δεν μεταβάλλεται με την προϋπόθεση ότι οι ενώσεις π.χ. ΑΓ και ΓΑ έχουν την ίδια θερμοκρασία  $T_3$  ακόμη και αν η θερμοκρασία εκτός του  $\Gamma$  έξω από τις ενώσεις είναι διαφορετική από  $T_3$ .



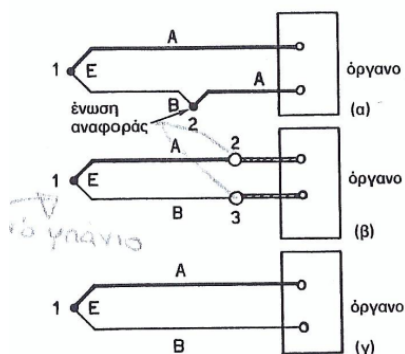
Σχήμα 6: Θερμοστοιχείο με τρία υλικά και τέσσερις ενώσεις

- Έστω ένα θερμοζεύγος παράγει μια θερμοηλεκτρεγερτική δύναμη  $E_1$  όταν οι θερμοκρασίες των ενώσεων 1 και 2 είναι  $T_1$  και  $T_2$  αντίστοιχα. Όταν οι θερμοκρασίες των ενώσεων 1 και 2 είναι  $T_2$  και  $T_3$  αντίστοιχα, έστω η παραγόμενη θερμοηλεκτρεγερτική δύναμη είναι  $E_2$ . Αν οι θερμοκρασίες των ενώσεων 1 και 2 είναι  $T_1$  και  $T_3$  αντίστοιχα, η θερμοηλεκτρεγερτική δύναμη που θα παραχθεί θα είναι  $E_1 + E_2$ .
- Αν η θερμοηλεκτρεγερτική δύναμη μεταξύ των υλικών Α και Γ είναι  $E_{AG}$  και μεταξύ των υλικών Γ και Β είναι  $E_{GB}$  η θερμοηλεκτρεγερτική δύναμη των υλικών Α και Β θα είναι  $E_{AG} + E_{GB}$ .

Σελ. 422-3

## 8.2 Να αναφέρετε δύο τρόπους σύνδεσης ενός θερμοστοιχείου με όργανο και να εξηγήσετε τη λειτουργία τους

Για την μέτρηση της ηλεκτρεγερτικής δύναμης  $E$  και την αντιστοίχισή της σε κάποια θερμοκρασία χρησιμοποιούνται όργανα μέτρησης τάσης. Τα όργανα αυτά είναι σε κάποια απόσταση από την ένωση του θερμοζεύγους (Σχήμα 7). Για να μετρηθεί σωστά η  $E$  με τις συνδέσεις των σχημάτων 7α και 7γ πρέπει οι ακροδέκτες του οργάνου να βρίσκονται στην ίδια θερμοκρασία. Για να μετρηθεί σωστά η  $E$  με την σύνδεση 7β πρέπει οι ενώσεις 2 και 3 του θερμοζεύγους με τα καλώδια επέκτασης να βρίσκονται στην ίδια θερμοκρασία. Στο σχήμα 7α η ένωση 2 και στο σχήμα 7β οι ενώσεις 2 και 3 μπορούν να κρατηθούν σε σταθερές και επιθυμητές θερμοκρασίες με ένα μπάνιο (σήκω και κάνε ένα τώρα, ζέχνεις). Οι ενώσεις αυτές λέγονται ενώσεις αναφοράς και η θερμοκρασία τους θερμοκρασία αναφοράς.

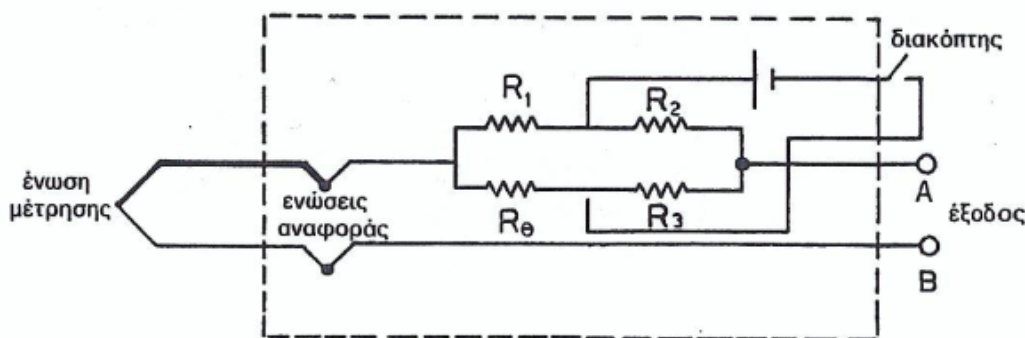


Σχήμα 7: Συνδέσεις θερμοστοιχείου με όργανο

(Ειλικρινά δεν είναι και η καλύτερη απάντηση αυτή αλλά I tried my best)

### 8.3 Τι είναι η ηλεκτρική αντιστάθμιση θερμοκρασίας;

Μπορεί να επιτευχθεί σταθερή διατήρηση της θερμοκρασίας στην ένωση αναφοράς ενός θερμοζεύγους (για μετρήσεις ακριβείας) με τη διάταξη που ονομάζεται ηλεκτρική αντιστάθμιση θερμοκρασίας. Υπάρχει μια γέφυρα (Σχήμα 8) στην οποία η αντίσταση  $R_\theta$  μεταβάλλεται με την θερμοκρασία. Η αντίσταση αυτή και οι ενώσεις αναφοράς βρίσκονται σε πολύ καλή θερμική επαφή έτσι ώστε να έχουν την ίδια θερμοκρασία. Όταν η θερμοκρασία στις ενώσεις αναφοράς είναι  $0^\circ\text{C}$ , η τάση στα άκρα της γέφυρας είναι μηδενική, ενώ με τη μεταβολή της θερμοκρασίας μεταβάλλεται η τιμή της αντίστασης και η γέφυρα δεν ισορροπεί πλέον, οπότε εμφανίζεται μια τάση στα άκρα της. Έτσι, η τάση στην έξοδο AB είναι ίση με την θερμοηλεκτρεγερτική δύναμη του θερμοζεύγους όταν η θερμοκρασία αναφοράς είναι  $0^\circ\text{C}$ . Η διάταξη ηλεκτρικής αντιστάθμισης έχει συνήθως πολύ μεγάλη διάρκεια ζωής και είναι μικρή (τυπικό βάρος είναι λίγες δεκάδες γραμμάρια).



Σχήμα 8: Ηλεκτρική αντιστάθμιση θερμοκρασίας αναφοράς

### 8.4 Περιγράψτε τους δύο τρόπους γραμμικοποίησης ενός θερμίστορ

Τα θερμίστορ κατασκευάζονται από οξειδία μετάλλων και η αντίστασή τους μειώνεται καθώς η θερμοκρασία αυξάνει.

Ένας τρόπος γραμμικοποίησης φαίνεται στο σχήμα 9α. Οι τάσεις  $V1$  και  $V2$  εμφανίζουν γραμμική μεταβολή στο μέσον της περιοχής μέτρησης. Η  $V1$  έχει θετική κλίση και η  $V2$  αρνητική. Η διάταξη αυτή χρησιμοποιείται κυρίως σαν διαιρέτης τάσης που εξαρτάται από τη θερμοκρασία, δηλαδή η  $V2$  εξαρτάται γραμμικά από τη θερμοκρασία. Η διάταξη στο σχήμα 9β χρησιμοποιείται σαν αντίσταση που μεταβάλλεται γραμμικά με τη θερμοκρασία.

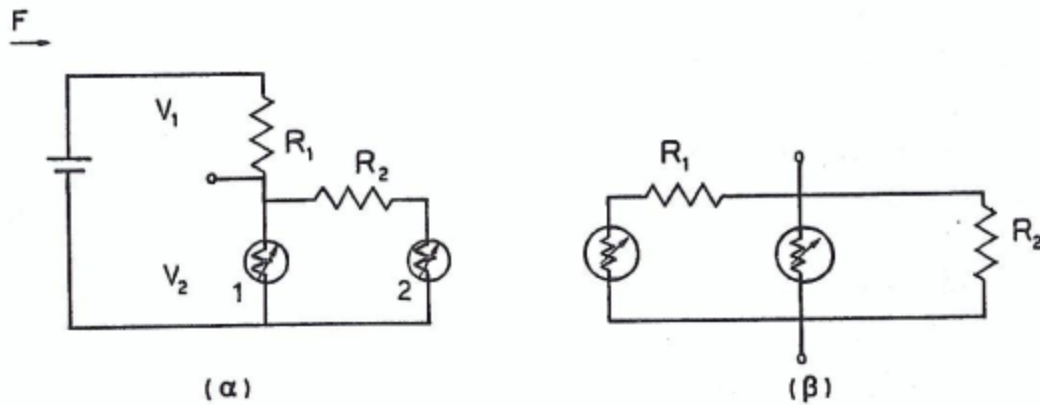
(Πώς γίνεται μια ερώτηση θεωρίας να έχει ως απάντηση δύο σχήματα; Πιθανό αλλά μου φαίνεται λίγο περίεργο)

### 8.5 Τι γνωρίζετε για του ημιαγωγικούς μετατροπείς θερμοκρασίας;

Οι πιο σημαντικοί ημιαγωγοί μετατροπείς θερμοκρασίας είναι αντιστάσεις, δίοδοι και ολοκληρωμένα κυκλώματα.

- Οι **ημιαγωγικές αντιστάσεις** έχουν θετικό συντελεστή θερμοκρασίας, συνήθως 0,8% της πλήρους κλίμακας ανά  $^\circ\text{C}$ . Η γραμμικότητά τους είναι καλή. Οι τιμές των ημιαγωγικών αντιστάσεων σε κανονική θερμοκρασία ποικίλλει από δεκάδες  $\Omega$  σε δεκάδες  $\text{K}\Omega$ . Μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε γέφυρα όπως τα  $\text{RTD}$  και τα θερμίστορ.





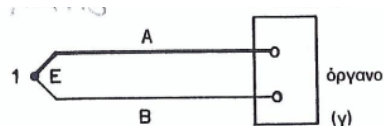
Σχήμα 9: Δύο τρόποι γραμμικοποίησης ενός θερμίστορ

- Στις **διόδους** η μεταβολή της τάσης προς θερμοκρασία είναι  $-2,3mV/^{\circ}C$  για ενώσεις πυριτίου και  $-2,1mV/^{\circ}C$  για ενώσεις γερμανίου (όσο αυξάνεται η θερμοκρασία μειώνεται η τάση). Η εξάρτηση της τάσης από τη θερμοκρασία σε διόδους και τρανζίστορ χρησιμοποιείται για κατασκευή μετατροπέων θερμότητας με γρήγορη απόκριση.
- Υπάρχουν **ολοκληρωμένα κυκλώματα** που λειτουργούν σαν πηγές ρεύματος των οποίων η ένταση εξαρτάται από τη θερμοκρασία. Χρησιμοποιούνται για γραμμικούς μετατροπείς θερμοκρασίας οι οποίοι είναι πολύ εύκολοι στη χρήση.

Σελ. 433

**8.6 Ένα θερμοζεύγος (Σχήμα 10α') έχει τη μία ένωση σε  $25^{\circ}C$  και την άλλη σε  $T_1$ . Αν η μετρούμενη τάση είναι  $E_2 = 3,991mV$  ποιά είναι η τάση στο άκρο  $T_1$ ;**

Μεταξύ  $T_1$  και  $T_2$  υπάρχει θερμοηλεκτρική δύναμη  $E_1 = 3,991mV$ . Αν θεωρήσουμε  $T_3 = 0^{\circ}C$  μεταξύ  $T_2$  και  $T_3$  βλέπουμε από τον πίνακα 10β' ότι θα έχουμε  $E_2 = 1,277mV$ , αφού  $T_2 - T_3 = 25^{\circ}C$ . Άρα μεταξύ  $T_1$  και  $T_3$  θα έχουμε  $E = E_1 + E_2 = 5,268mV$  (4η ιδιότητα θερμοζευγών, βλ. 8.1), άρα από τον πίνακα 10β'  $T_1 = 100^{\circ}C$ .



(α') Σύνδεση θερμοστοιχείου με όργανο

| $^{\circ}C$ | -100   | 0     | 25    | 100   | 200    |
|-------------|--------|-------|-------|-------|--------|
| E (mV)      | -4,632 | 0,000 | 1,277 | 5,268 | 10,777 |

(β') Πίνακας θερμοκρασιών

Σχήμα 10

Ασκ. 2 Σελ. 434, τρόπος λύσης Σελ. 424

**8.7 Η μεταβολή αντίστασης με τη θερμοκρασία ενός  $RTD$  από λευκόχρυσο για την περιοχή  $0 - 630^{\circ}C$  περιγράφεται από την εξίσωση  $R_t = R_o(1 + 0.00398T - 0.588 \cdot 10^{-6}T^2)$  όπου  $R_t$  και  $R_o$  είναι οι αντιστάσεις του  $RTD$  στις θερμοκρασίες  $T$  και  $0$  αντίστοιχα. Να υπολογισθεί το σφάλμα γραμμικότητας μέτρησης της θερμοκρασίας στις θερμοκρασίες  $200^{\circ}C$  και  $500^{\circ}C$ .**

(Υποθετική λύση) Έστω ότι λείπει ο μη γραμμικός όρος  $-0.588 \cdot 10^{-6}T^2$ . Τότε στους  $200^{\circ}C$  θα είναι:

$$R_{200linear} = R_o(1 + 0.00398 * 200) = 1.796R_o$$

ενώ  $R_{200real} = 1.75648R_o$  που είναι μια διαφορά 2.224925%

Ομοίως:

$$R_{500linear} = 2.99R_o$$

$$R_{500real} = 2.843R_o \text{ που είναι μια διαφορά τάξης } 5.04029\%$$

Ασκ. 9 Σελ. 435

## 9 Συστήματα προσαρμογής

### 9.1 Ένας μονοπολικός μετατροπέας έχει εύρος μετατροπής 0 – 25V. Για έξοδο των 12 bits να υπολογισθεί η διακριτική ικανότητα του μετατροπέα για την περίπτωση του δυαδικού κώδικα και του BCD.

Για την περίπτωση του δυαδικού κώδικα αν ο μετατροπέας έχει  $n$  bits, η έξοδος μπορεί να πάρει  $N = 2^n$  διαφορετικές τιμές. Έτσι αν το εύρος μετατροπής είναι  $E$ , η διακριτική ικανότητα του μετατροπέα θα είναι  $E/2^n$ . Στον κώδικα BCD κάθε ψηφίο σε έναν δεκαδικό αριθμό παριστάνεται από 4 bits. Μετατροπείς που χρησιμοποιούν BCD έχουν αριθμό bits που είναι πολλαπλάσιο του 4. Αν ο μετατροπέας BCD έχει 4 bits, η έξοδος μπορεί να πάρει  $N = 10$  διαφορετικές τιμές ενώ αν έχει 8 bits η έξοδος μπορεί να πάρει  $N = 100$  διαφορετικές τιμές, άρα η διακριτική ικανότητα για 12 bits θα είναι  $\Delta E_{BCD} = \frac{2.5}{1000}$ .

Σελ. 455-6

### 9.2 Ποιά τα πλεονεκτήματα μετάδοσης σήματος με ένταση ρεύματος 4–20mA; Τι σημαίνει σφάλμα κλίμακας σε έναν A/D μετατροπέα;

Ας θεωρήσουμε για παράδειγμα ότι η έξοδος κάποιου μετατροπέα μεταβάλλεται από 0 έως 10V. Για να χρησιμοποιηθεί μετάδοση 4 – 20mA πρέπει να γίνει μετατροπή της τάσης σε ρεύμα έτσι ώστε 0V να αντιστοιχούν σε 4mA και 10V να αντιστοιχούν σε 20mA. Τα κύρια πλεονεκτήματα αυτού του τρόπου μετάδοσης είναι:

- τα 4mA παριστούν το μηδέν ενώ τα 20mA τη διακοπή του κυκλώματος
- η χρήση ρεύματος μειώνει την επίδραση των θορύβων

Το σφάλμα κλίμακας σημαίνει ότι η μέγιστη έξοδος δεν εμφανίζεται για την αντίστοιχη μέγιστη τιμή εισόδου. Με άλλα λόγια, η διαφορά της εισόδου κατά τη μεταβολή της εξόδου από 1110 σε 1111 με την είσοδο κατά τη μεταβολή της εξόδου από 0000 σε 0001 δεν ισούται με  $E_{fs} - 2LSB$ . Το σφάλμα κλίμακας δίνεται σαν το ποσοστό της πλήρους κλίμακας.

Σελ. 453, 461

### 9.3 Για τη μετατροπή αναλογικού σήματος 7V χρησιμοποιείται ένας μετατροπέας A/D κλιμακωτής ανόδου και ένας μετατροπέας A/D διαδοχικών προσεγγίσεων. Και οι δύο έχουν έξοδο 10 bit, D/A με χρόνο μετατροπής 2μs και το εύρος μετατροπής τους είναι 0–12V. Να υπολογισθεί ο χρόνος μετατροπής και των δύο μετατροπέων A/D αν θεωρήσουμε ότι ο χρόνος μετατροπής τους εξαρτάται μόνο από τον χρόνο μετατροπής του D/A

- Για την κλιμακωτή άνοδο έχουμε ότι  $LSB = \frac{12}{2^{10}} = 11.71875mV$  και εφόσον η έξοδος του D/A θα αυξάνει συνεχώς κατά την τιμή ενός LSB μέχρι να φτάσει τα 7V, θα έχουμε  $x = \lfloor \frac{7000}{LSB} \rfloor = 598$

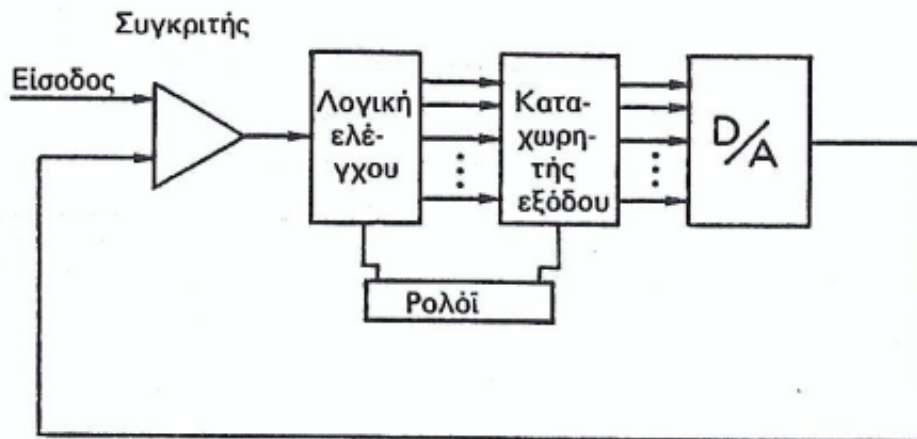
επαναλήψεις, άρα ο χρόνος μετατροπής θα είναι  $598 * 2\mu s = 1.169ms$

- Η τεχνική των διαδοχικών προσεγγίσεων απαιτεί όσες μετατροπές όσα τα *bits* στην έξοδο του  $A/D$ , άρα  $x = n = 10$  και  $\Delta t = x * 2\mu s = 20\mu s$

Σελ. 462-3

#### 9.4 Να περιγραφεί η αρχή λειτουργίας ενός μετατροπέα $A/D$ διαδοχικών μετατροπών

Η τεχνική διαδοχικών προσεγγίσεων απαιτεί τόσες μετατροπές στον μετατροπέα  $D/A$  όσος είναι ο αριθμός των *bits* της εξόδου στον  $A/D$ . Μόλις δοθεί το σήμα εισόδου, το *MSB* του καταχωρητή γίνεται 1, ανώ τα υπόλοιπα *bits* είναι μηδενικά. Έτσι, έξοδος του  $D/A$  θα είναι το μισό του εύρους μετατροπής. Αν η αναλογική είσοδος του  $A/D$  είναι μεγαλύτερη από την έξοδο του  $D/A$ , μένει το 1 στο *MSB* του καταχωρητή, αλλιώς γίνεται 0. Στη συνέχεια, το  $n - 2$  bit του καταχωρητή γίνεται 1 ενώ το  $n - 1$  bit (εδώ το *MSB*) διατηρεί την προηγούμενη τιμή του. Η νέα έξοδος θα είναι  $3/4$  του εύρους μετατροπής αν *MSB* = 1 ή  $1/4$  του εύρους μετατροπής αν *MSB* = 0. Αν η αναλογική είσοδος του  $A/D$  είναι μεγαλύτερη της εξόδου του  $D/A$ , τότε παραμένει το 1, αλλιώς γίνεται 0. Η ίδια διαδικασία επαναλαμβάνεται για όλα τα υπόλοιπα *bits*. Όταν γίνει αυτή η διαδικασία δίνεται το σήμα TM (τέλους μετατροπής). Το πλεονέκτημα αυτού του μετατροπέα είναι ο μικρός χρόνος μετατροπής.



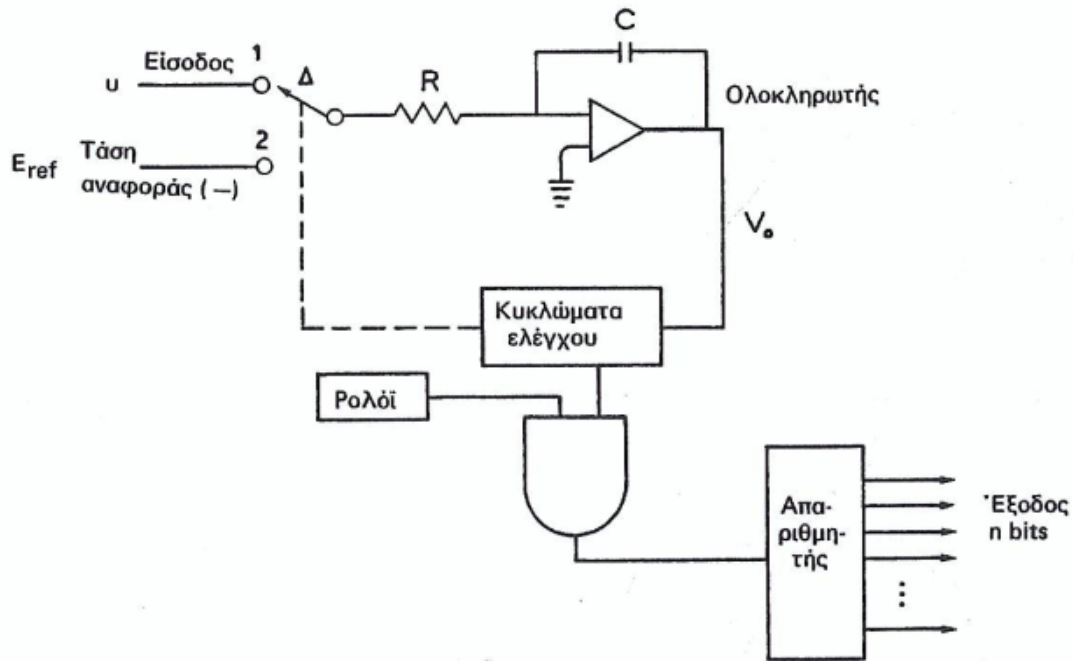
Σχήμα 11: Μετατροπέας  $A/D$  διαδοχικών προσεγγίσεων σε απλή μορφή

#### 9.5 Περιγράψτε την λειτουργία του μετατροπέα $A/D$ διπλής ολοκλήρωσης

Μόλις δοθεί το ΣΕ ο διακόπτης  $\Delta$  πηγαίνει στη θέση 1. Η ολοκλήρωση διαρκεί για ένα χρονικό διάστημα  $T$  το οποίο μετρείται στον απαριθμητή και αντιστοιχεί σε  $N_1$ .  $N_1$  είναι το μέγιστο περιεχόμενο του απαριθμητή. Μετά την παρέλευση του χρονικού διαστήματος  $T$  η έξοδος του ολοκληρωτή είναι:

$$V_o = -\frac{1}{RC} \int_0^T v dt = -\frac{v}{RC} T$$

Στη συνέχεια ο διακόπτης  $\Delta$  πηγαίνει στη θέση 2 και ο απαριθμητής μηδενίζεται. Έτσι ο απαριθμητής αρχίζει να μετράει από το μηδέν ενώ η έξοδος του ολοκληρωτή μειώνεται γραμμικά δεδομένου ότι η είσοδός του είναι η αρνητική τάση αναφοράς. Όταν μηδενισθεί η έξοδος του ολοκληρωτή τελειώνει η μετατροπή. Το περιεχόμενο  $N_2$  του απαριθμητή είναι η ψηφιακή παράσταση της αναλογικής εισόδου. Η έξοδος του ολοκληρωτή είναι:



Σχήμα 12: Μετατροπέας A/D διπλής ολοκλήρωσης απλής μορφής

$$V_o = -\frac{v}{RC}T + \frac{1}{RC} \int_0^t E_{ref} dt = -\frac{v}{RC}T + \frac{E_{ref}}{RC}t$$

Όταν  $V_o = 0$ , τότε  $t = \frac{v}{E_{ref}}T$  και  $N_2 = \frac{v}{E_{ref}}N_1$ .

Σε αυτόν τον μετατροπέα οι μεταβολές με το χρόνο ή την θερμοκρασία των  $R$ ,  $C$  και της συχνότητας του ρολογιού δεν παίζουν ρόλο (εκτός αν αλλάξουν κατά τη διάρκεια μιας μετατροπής). Η γραμμικότητα αυτού του μετροπέα είναι πολύ καλή, αλλά ο χρόνος μετατροπής είναι πολύ μεγάλος.

Σελ. 464-5

**9.6** Πρόκειται να σχεδιαστεί ένα σύστημα μετατροπής A/D με εύρος μετατροπής  $-10V$  έως  $10V$  και  $10 \text{ bits}$  που μπορεί να μετατρέψει αναλογικά σήματα με μέγιστη ταχύτητα  $5kHz$  και ταχύτητα δειγματοληψίας  $100 \text{ samples/sec}$ . Να υπολογισθεί ο απαιτούμενος χρόνος συγκράτησης του S/H και ο χρόνος μετατροπής του μετατροπέα A/D

$$\Delta E = \frac{20}{2^{10}} = 19,53125 * 10^{-3} \text{ (δεν καταλαβαίνω γιατί αυτό είναι απαραίτητο)}$$

Χρόνος συγκράτησης:

$$\Delta t = \frac{1}{2\pi 5 * 10^3 * 2^{10}}$$

Χρόνος μετατροπής:

$$f_{conv} = \frac{100}{100-3} = 100kHz \Rightarrow \Delta t = \frac{1}{100 * 10^3} = 10^{-5}s$$

Σελ. 467

### 9.7 Για έναν μονοπολικό μετατροπέα $A/D$ με $n$ bits και κύκλωμα συγκράτησης $S/H$ να υπολογίσετε τη μέγιστη συχνότητα που μπορεί να μετατρέψει χωρίς σφάλμα

Έστω πλάτος σήματος  $E_{FS}$ . Αν  $\Delta E$  το αναλογικό σήμα που αντιπροσωπεύει ένα  $LSB$  μετατροπής, τότε η μέγιστη επιτρεπτή μεταβολή του σήματος προς μετατροπή είναι  $\frac{\Delta E}{2}$ . Αν το σήμα εισόδου είναι ημιτονοειδές με πλάτος  $E_{FS}$  και φάση του είναι  $2\pi ft$ , ο μέγιστος ρυθμός μεταβολής εμφανίζεται για  $t = 0$  και είναι  $2\pi f E_{FS}$ . Τότε,  $2 * 2\pi f E_{FS} \leq \Delta E$ . Αφού έχουμε μονοπολικό μετατροπέα,  $\Delta E = \frac{E_{FS}}{2^n}$  άρα έχουμε ότι  $f \leq \frac{1}{4\pi 2^n \Delta t}$  όπου  $\Delta t$  ο χρόνος συγκράτησης του κυκλώματος  $S/H$ .

Σελ. 467

### 9.8 Να εξηγήσετε τη χρησιμότητα ενός κυκλώματος συγκράτησης ( $S/H$ ) και του πολυπλέκτη

Κύκλωμα συγκράτησης: Για να γίνει σωστή η μετατροπή  $A/D$ , η αναλογική είσοδος δεν πρέπει να μεταβάλλεται πάνω από το όριο μεταβολής  $1/2LSB$ . Παρατηρούμε ότι κανονικά, πολύ χαμηλές συχνότητες θα μπορούσαν να μετατραπούν από τους γρηγορότερους μετατροπείς. Για να ξεπερασθεί αυτό το πρόβλημα, η είσοδος πρέπει να κρατηθεί σταθερή. Για αυτό το λόγο χρησιμοποιούνται τα κυκλώματα συγκράτησης, τα οποία κρατούν την έξοδό τους σταθερή (είσοδος του μετατροπέα) όταν λαβουν εντολή συγκράτησης. Υπάρχει, βέβαια χρόνος συγκράτησης, όμως είναι πολύ μικρός σε σχέση με το χρόνο μετατροπής, επτρέποντας την μετατροπή υψηλότερων συχνοτήτων.

Πολυπλέκτης: Εάν θέλουμε να μετατρέψουμε πολλά αναλογικά σήματα σε ψηφιακά, θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε έναν μετατροπέα  $A/D$  για κάθε σήμα. Όμως αυτή η λύση είναι πολύ ακριβή, για αυτό έναν μετατροπέα  $A/D$  μετά από έναν πολυπλέκτη. Η μετατροπή των σημάτων γίνεται διαδοχικά, με την προϋπόθεση ότι η ταχύτητα δειγματοληψίας που απαιτείται για κάθε σήμα είναι τέτοια, ώστε να προλαβαίνει να ανταποκρίνεται ο μετατροπέας  $A/D$ .

Όταν έρθει η εντολή εκκίνησης στον πολυπλέκτη, η τιμή στην είσοδο των διευθύνσεων τη στιγμή εκείνη καθορίζει ποιά αναλογική είσοδος θα περάσει στην έξοδο, ενώ οι υπόλοιπες αναλογικές εισόδους θα απομονωθούν.

Σελ. 467-8

### 9.9 Περιγράψτε την αρχή λειτουργίας ενός μετατροπέα $D/A$ ρεύματος

Οι μετατροπείς  $D/A$  ρεύματος λειτουργούν μέσω κυκλωμάτων που δημιουργούν ρεύματα  $i, i/2, i/4$  κλπ. τα οποία αθροίζονται στην έξοδο (Σχήμα 13). Αν μία είσοδος συνδεθεί σε λογικό 0, άγει και βραχυκυκλώνει το αντίστοιχο τρανζίστορ από το οποίο δεν περνάει ρεύμα. Αν μία είσοδος συνδεθεί σε λογικό 1, δεν άγει και το ρεύμα περνάει από το αντίστοιχο τρανζίστορ. Έτσι, το ρεύμα εξόδου εξαρτάται από την ψηφιακή είσοδο και η τιμή του καθορίζεται από τη σχέση (υποθέτουμε ότι η ψηφιακή λέξη είναι 8bit):

$$I = KE_{ref} (b_7/2 + b_6/4 + b_5/8 + b_4/16 + b_3/32 + b_2/64 + b_1/128 + b_0/256)$$

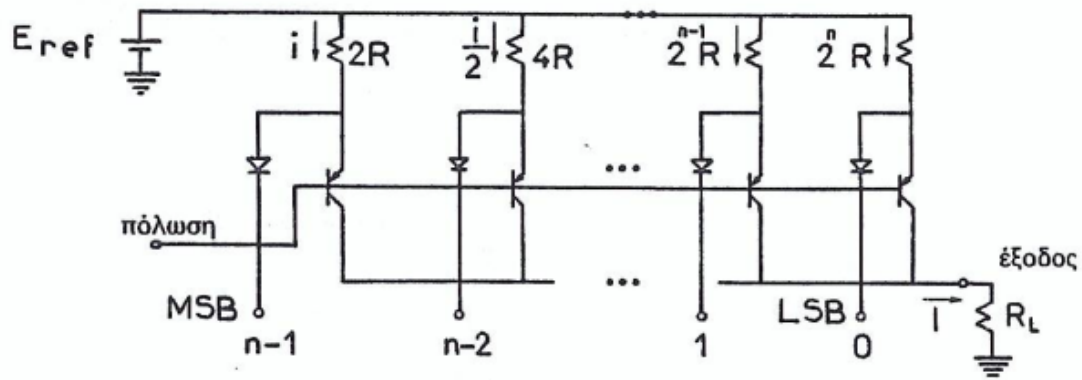
Σελ. 470-1

### 9.10 Να περιγραφεί η αρχή λειτουργίας ενός μετατροπέα $D/A$ τάσης

Οι μετατροπείς  $D/A$  μετατρέπουν ένα ψηφιακό σήμα σε αναλογικό συγκρίνοντας την αναλογική τάση που αντιπροσωπεύει το ψηφιακό σήμα με την τάση αναφοράς. Για ψηφιακή λέξη 8bit έχουμε έξοδο:

$$v = KE_{ref} (b_7/2 + b_6/4 + b_5/8 + b_4/16 + b_3/32 + b_2/64 + b_1/128 + b_0/256)$$

Έστω ότι η είσοδος είναι Έστω ότι η είσοδος είναι 00000001. Ένα δυαδικό 1 συνδέει τον αντίστοιχο διακόπτη στη θέση 1 (δηλαδή στο αρνητικό άκρο της πηγής αναφοράς, Σχήμα 14). Έτσι μόνο η 1η



Σχήμα 13: Απλός μετατροπέας  $D/A$  ρεύματος. Έχει πολλά μειονεκτήματα, όπως σημαντική εξάρτηση από θερμοκρασία, μεγάλη διαφορά στις τιμές των αντιστάσεων κλπ.

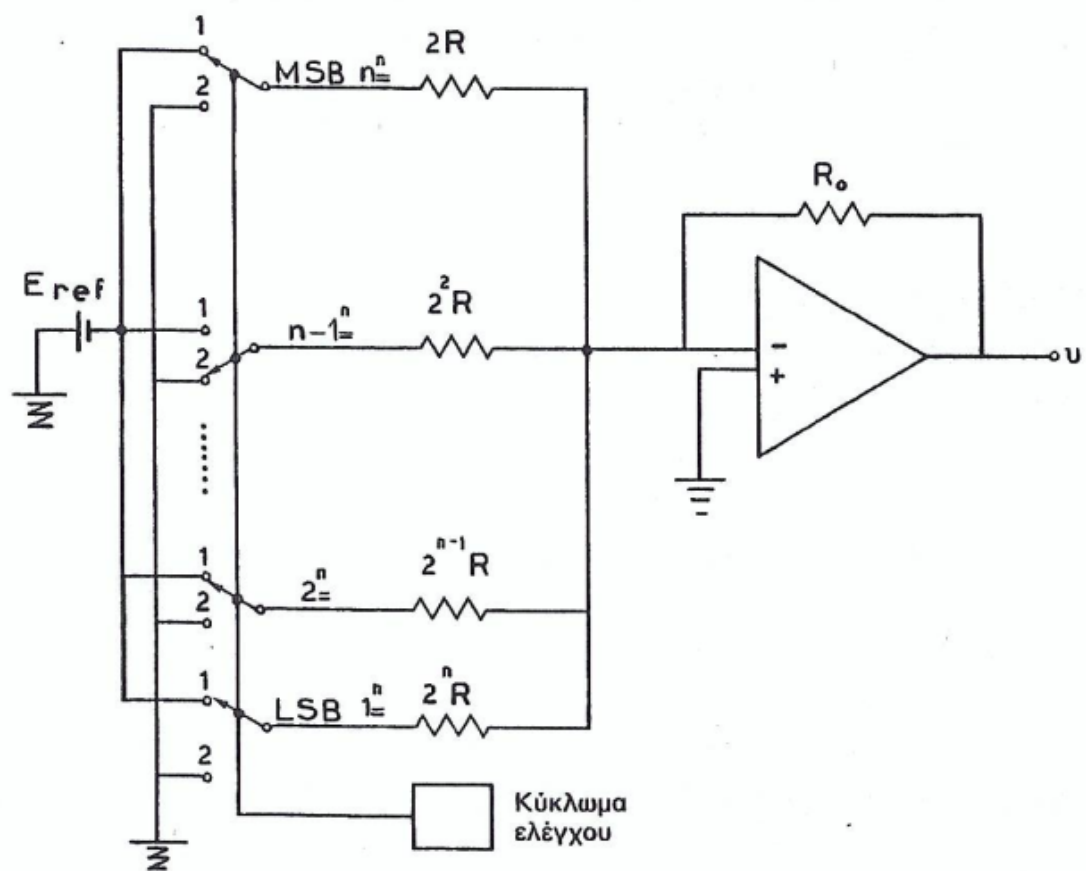
αντίσταση συνδέεται στην πηγή αναφοράς ενώ οι άλλες αντιστάσεις συνδέονται στη γη. Κατά συνέπεια η έξοδος θα είναι  $v = -\frac{E_{ref}}{256R} R_o$ . Αν η είσοδος είναι 00000011,  $v = -3\frac{E_{ref}}{256R} R$ .

Σελ. 469-70

### 9.11 Τι είναι χρόνος αποκατάστασης σε έναν μετατροπέα $D/A$ ;

Ο χρόνος που μεσολαβεί έως ότου η έξοδος φτάσει την τελική τιμή με ακρίβεια  $\pm 1/2LSB$ . Αυτόν τον χρόνο εννοούμε όταν λέμε χρόνος μετατροπής. Εξαρτάται από το είδος των διακοπών, το είδος των αντιστάτων (αν έχουν αυτεπαγωγή ή όχι) και από τον ενισχυτή εξόδου (αν υπάρχει). Προδιαγράφεται για μια ορισμένη χωρητικότητα στην έξοδο.

Σελ. 473



Σχήμα 14: Μια απλή διάταξη μετατροπέα  $D/A$  τάσης