

ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΙΣ (TRANSDUCERS)

Μετατροπέας είναι μια συσκευή που παρέχει χρήσιμο σήμα στην έξοδό της σαν απόκριση σε συγκεκριμένο μετρήσιμο φυσικό μέγεθος. Η έξοδος είναι συνήθως ένα ηλεκτρικό μέγεθος, που παράγεται από τον μετατροπέα και που είναι συνάρτηση του μετρήσιμου μεγέθους. Τα παραπάνω αφορούν ηλεκτρικούς μετατροπείς (η έξοδος είναι ηλεκτρικό μέγεθος) αλλά υπάρχουν μετατροπείς με εξόδους άλλα φυσικά μεγέθη (πνευματικοί). Πάντως όταν αναφερόμαστε με τον όρο μετατροπέας εννοούμε ηλεκτρικούς μετατροπείς.

| Μετρητέο φυσικό μέγεθος | Αρχή μετατροπής | Έξοδος μετατροπέα |
|-------------------------|--|---|
| Δύναμη | Strain - gauge Πιεζοηλεκτρική | Αντίσταση Τάση |
| Μετατόπιση | Ποτενσιομετρική Φαινόμενο Hall Χωρητική Επαγωγική Strain - gauge Πιεζοηλεκτρική | Αντίσταση Τάση Χωρητικότητα Επαγωγή Αντίσταση Τάση |
| Πίεση | Strain - gauge Χωρητική Επαγωγική Φαινόμενο Hall Αντιστατική | Αντίσταση Χωρητικότητα Επαγωγή Τάση Αντίσταση |
| Θερμοκρασία | Θερμοζεύγη RTD Θερμίστορ | Τάση Αντίσταση Αντίσταση |
| Στάθμη υγρού | Αγωγιμότητας Χωρητική Πιεζοηλεκτρική Ακουστική | Αγωγιμότητα Χωρητικότητα Τάση Τάση |
| Ροή υγρού | Ηλεκτρομαγνητική Φαινόμενο Doppler | Τάση Συχνότητα |
| Υγρασία | Αγωγιμότητας | Αγωγιμότητα |
| Ένταση φωτός | Φωτοηλεκτρική Φωταγωγική | Τάση Αντίσταση |

Πίνακας 1 Ονοματολογία και Χαρακτηριστικά Μετατροπέων

Σφάλματα μετατροπών

Η συμπεριφορά ενός πραγματικού μετατροπέα διαφέρει από αυτή του ιδανικού. Πολλοί παράγοντες κάνουν τη συμπεριφορά αυτή μη ιδανική όπως οι περιβαλλοντικές συνθήκες κατά τη διάρκεια κατασκευής του μετατροπέα, χρήση των μη ιδανικών υλικών, οι μέθοδοι κατασκευής και σχεδίασης κ.λ.π. Έτσι η ένδειξη του μετατροπέα συνήθως διαφέρει από αυτή που αντιστοιχεί στη πραγματική τιμή του μετρήσιμου μεγέθους. Η διαφορά μεταξύ της ένδειξης και της αντίστοιχης πραγματικής τιμής αποτελεί το «σφάλμα». Ένας χρήσιμος τρόπος για τον προσδιορισμό των σφαλμάτων του μετατροπέα είναι να τα εκφράσουμε σαν αποκλίσεις από μια προσδιορισμένη καμπύλη. Το στατικό εύρος σφάλματος είναι αυτό που αναφέρεται σε στατικές συνθήκες ρύθμισης (ελεγχόμενη θερμοκρασία, υγρασία, πίεση κ.λ.π.) και λαμβάνεται επιβάλλοντας στην είσοδο του μετατροπέα γνωστές τιμές για το προς μέτρηση φυσικό μέγεθος, και καταγράφοντας τις ενδείξεις του. Υπό διαφορετικές συνθήκες έχουμε άλλα μεγέθη σφαλμάτων.

Δυναμικά χαρακτηριστικά μετατροπών

Η απόκριση του μετατροπέα σε βαθμωτή είσοδο χαρακτηρίζεται από τα παρακάτω μεγέθη :

α) **Σταθερά χρόνου:** Ο χρόνος που απαιτείται για να φτάσει η έξοδος στο 63% της τελικής τιμής της.

β) **Χρόνος απόκρισης:** Ο χρόνος που απαιτείται για να σταθεροποιηθεί η έξοδος μέσα σε ένα εύρος τιμών (π.χ. $\pm 2\%$ της τελικής τιμής).

γ) **Χρόνος ανόδου:** Ο χρόνος που απαιτείται για να φτάσει η έξοδος από το 10% στο 90% της τελικής τιμής της.

Επίσης έχουμε την **υπερύψωση** (ποσοστό της μέγιστης τιμής της εξόδου ως προς την τελική τιμή της εξόδου) καθώς και τα χαρακτηριστικά της συμπεριφοράς του μετατροπέα για κάποιο εύρος συχνοτήτων διέγερσης.

Κριτήρια Επιλογής Μετατροπών

Τα χαρακτηριστικά τα οποία θα επηρεάσουν την επιλογή του κατάλληλου μετατροπέα είναι:

- α) **Ακρίβεια ή Διακρισιμότητα:** Αναφέρεται στην ελάχιστη μεταβολή στην είσοδο που μπορεί να ανιχνευθεί στην έξοδο, και συνήθως αναφέρεται σαν ποσοστό του εύρους εισόδου.
- β) **Σήμα εξόδου:** Η έξοδος μπορεί να έχει τη μορφή ρεύματος, τάσης, αντίστασης ή και συχνότητας. Με βάση αυτό το στοιχείο θα επιλεγεί και η συσκευή επεξεργασίας της μηχανής.
- γ) **Εύρος εισόδου:** Το εύρος των τιμών του μετρήσιμου μεγέθους που μας ενδιαφέρει να μετρήσουμε.
- δ) **Εύρος εξόδου:** Η μεταβολή της εξόδου για μια πλήρους κλίμακας μεταβολή της εισόδου.

ε) **Γραμμικότητα εξόδου:** Καθορίζει κατά πόσο η έξοδος είναι γραμμική συνάρτηση της εισόδου, και ποια είναι η απόκλιση της χαρακτηριστικής του μετατροπέα από μια ιδανική γραμμική συμπεριφορά.

στ) **Υστέρηση:** Είναι η διαφορά στις εξόδους για την ίδια τιμή εισόδου όταν αυτή προσεγγίζεται από ανώτερη και κατώτερη τιμή αντίστοιχα.

ζ) **Θερμική σταθερότητα:** Η μεταβολή της εξόδου για μοναδιαία μεταβολή της θερμοκρασίας.

η) **Χρόνος απόκρισης:** Ο απαιτούμενος χρόνος για να φτάσει η έξοδος στο 63% της τελικής τιμής της.

θ) **Σύνθετη αντίσταση εξόδου:** Η ενεργός αντίσταση μεταξύ των ακροδεκτών εξόδου του μετατροπέα.

Τα παραπάνω χαρακτηριστικά σε συνδυασμό με τη σχέση κόστους/απόδοσης κάθε μετατροπέα αποτελούν τα βασικότερα κριτήρια για την επιλογή του κατάλληλου μετατροπέα.

Βασικές Αρχές Μετατροπής

α) Φωτοβολταϊκή Αρχή: Το μετρήσιμο μέγεθος μετατρέπεται σε μια μεταβολή στη παραγόμενη τάση όταν δύο διαφορετικά υλικά που βρίσκονται σε επαφή φωτίζονται. Χρησιμοποιείται κυρίως σε οπτικούς αισθητήρες και σε μηχανικά κλείστρα με μετατροπείς, για τη μεταβολή της έντασης μιας φωτεινής δέσμης.

β) Πιεζοηλεκτρική αρχή: Το μετρήσιμο μέγεθος μετατρέπεται σε μια μεταβολή στη τάση ή στο παραγόμενο φορτίο που παράγεται σε ορισμένους κρυστάλλους αν εφαρμοστούν πάνω τους θλιπτικές, εφελκυστικές ή καμπτικές δυνάμεις.

γ) Ηλεκτρομαγνητική αρχή: Το μετρήσιμο μέγεθος μετατρέπεται σε τάση εξ' επαγωγής στα άκρα ενός πηνίου λόγω μεταβολής της μαγνητικής ροής που προκαλείται από τη σχετική κίνηση ενός μόνιμου μαγνήτη και ενός πηνίου με πυρήνα μαλακού σιδήρου.

δ) Χωρητική αρχή: Το μετρήσιμο μέγεθος μετατρέπεται σε μια μεταβολή της χωρητικότητας, είτε λόγω μετακίνησης ενός οπλισμού σε σχέση με κάποιο άλλο ακίνητο, είτε λόγω μεταβολής του διηλεκτρικού μεταξύ δύο σταθερών οπλισμών.

- ε) **Επαγωγική αρχή:** Το μετρήσιμο μέγεθος μετατρέπεται σε μια μεταβολή της αυτεπαγωγής κάποιου πηνίου.
- στ) **Φωταγωγική αρχή:** Το μετρήσιμο μέγεθος μετατρέπεται σε μια μεταβολή της αγωγιμότητας (άρα μεταβολή αντίστασης) κάποιου ημιαγωγικού υλικού λόγω της μεταβολής στην ακτινοβολία που προσπίπτει στην επιφάνεια του υλικού αυτού.
- ζ) **Ποτενσιομετρική αρχή:** Το μετρήσιμο μέγεθος μετατρέπεται σε μια μεταβολή της θέσης μιας κινητής επαφής σε κάποιο ποτενσιόμετρο. Η μετακίνηση της επαφής προκαλεί μεταβολή στο λόγο αντιστάσεων των δύο άκρων και του ενός άκρου και της κινητής επαφής. Με τη χρήση εξωτερικής πόλωσης ο λόγος αντιστάσεων μπορεί εύκολα να μετατραπεί σε λόγο τάσεων.

η) **Strain - Gauge αρχή:** Το μετρήσιμο μέγεθος μετατρέπεται σε μια μεταβολή της αντίστασης που προκαλείται από την επιμήκυνση (Strain) ενός μεταλλικού αγωγού . Από τη γνωστή σχέση

$$R = \rho \cdot \frac{l}{A}$$

προκύπτει η

$$\frac{\Delta R}{R} = K \frac{\Delta l}{l}$$

που δηλώνει αυτή τη μεταβολή αντίστασης που προκαλείται από τη μεταβολή του μήκους του αγωγού.

θ) **Φαινόμενο Hall:** Αν ένα κομμάτι ημιαγωγού τύπου-p που μεταφέρει ηλεκτρικό ρεύμα τοποθετηθεί σε μαγνητικό πεδίο, τότε στα θετικά φορτία του αγωγού ασκείται μια δύναμη λόγω του πεδίου που τα εξωθεί στο ένα άκρο του ημιαγωγικού κομματιού. Έτσι δημιουργείται μία διαφορά δυναμικού μεταξύ των δυο άκρων του ημιαγωγού, που είναι ανάλογη τόσο του ρεύματος που διαρρέει το κομμάτι, όσο και του επιβαλλόμενου μαγνητικού πεδίου.

Μέτρηση Μετατόπισης

Μετατόπιση είναι το διάνυσμα που παριστάνει τη μεταβολή στη θέση ενός σώματος ή ενός σημείου σε σχέση με τη θέση ενός σημείου αναφοράς. Οι μετατροπείς μετατόπισης χρησιμοποιούνται για να μετρούν γραμμική ή γωνιακή μετατόπιση και επίσης για τον καθορισμό της θέσης ενός σώματος από τη μέτρηση της μετατόπισης.

Το αισθητήριο στοιχείο των περισσότερων μετατροπών μετατόπισης είναι ο αισθητήριος άξονας και η συσκευή σύζευξης του άξονα, που πρέπει να σχεδιαστεί κατά τέτοιο τρόπο ώστε να κάνει τη κίνηση του άξονα αντιπροσωπευτική της κίνησης του σημείου που μας ενδιαφέρει.

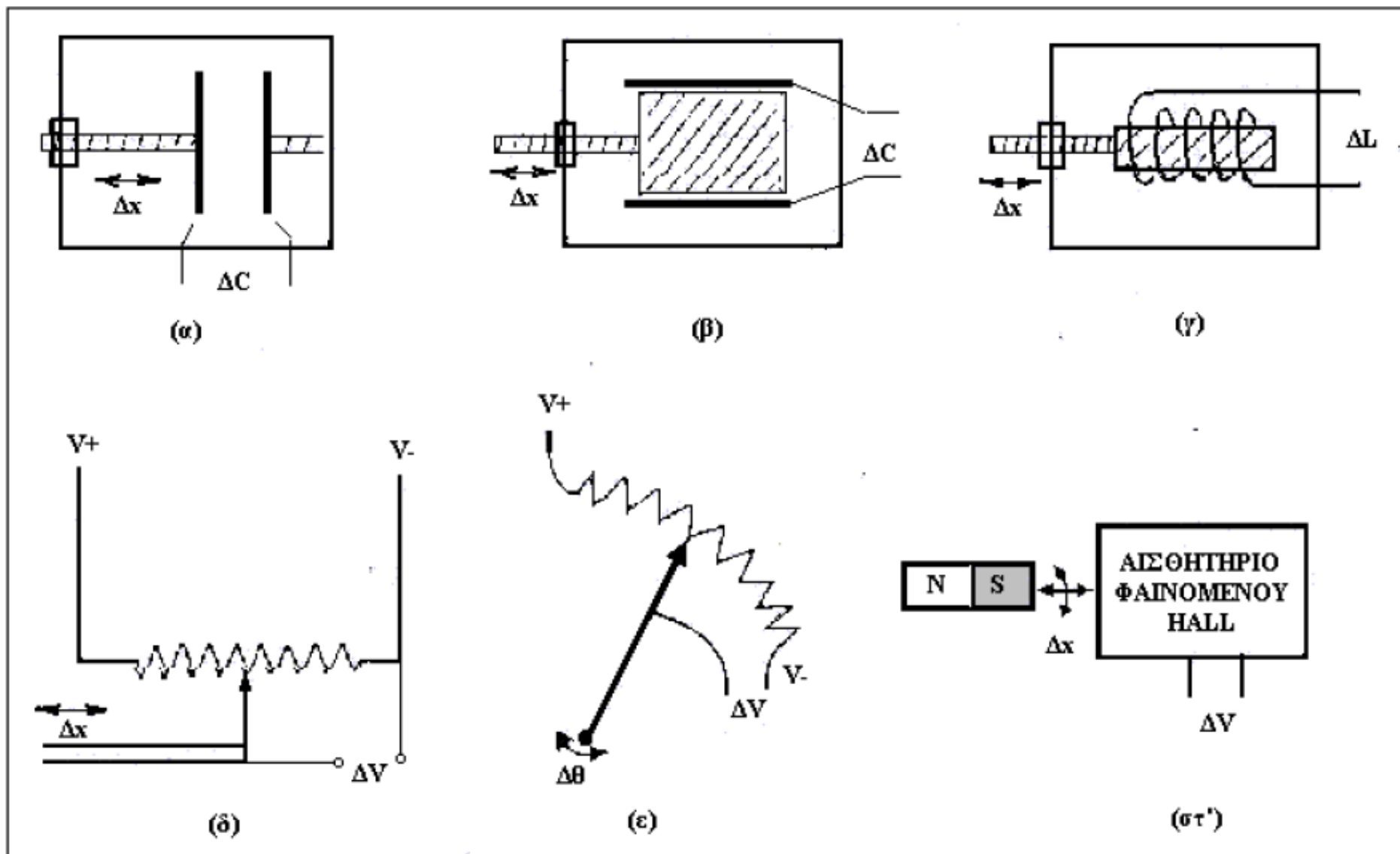
Οι κυριότεροι μετατροπείς μετατόπισης είναι :

α) **Χωρητικοί μετατροπείς:** Στις συσκευές αυτές, η γραμμική ή η γωνιακή μετατόπιση που ανιχνεύσαμε προκαλεί μεταβολή στη χωρητικότητα ενός πυκνωτή, είτε λόγω της σχετικής μετατόπισης μεταξύ των οπλισμών του, είτε λόγω της μετακίνησης ενός κομματιού μονωτικού υλικού, με διηλεκτρική σταθερά διαφορετική από του αέρα, μεταξύ δυο σταθερών οπλισμών (**Σχήμα 1(α),(β)**). Και οι δυο τύποι μετατροπέων πρέπει στη συνέχεια να συνδεθούν με μια γέφυρα A.C. για να μας δώσουν ηλεκτρική έξοδο. Το κύκλωμα αυτό είναι συνήθως ενσωματωμένο στους περισσότερους μετατροπείς του εμπορίου.

β) **Επαγωγικοί μετατροπείς:** Η γραμμική ή η γωνιακή μετατόπιση προκαλεί μεταβολή στην αυτεπαγωγή ενός πηνίου λόγω της μετατόπισης που προκαλεί ο αισθητήριος άξονας στο μαγνητικό πυρήνα που βρίσκεται σε μαγνητική σύζευξη με το πηνίο (**Σχήμα 1(γ)**).

γ) **Ποτενσιομετρικοί μετατροπείς:** Αποτελούν την πιο διαδεδομένη κατηγορία μετατροπέων μετατόπισης, λόγω της απλής τους κατασκευής και της ικανότητάς τους να παρέχουν έξοδο καλής στάθμης. Η γραμμική ή η γωνιακή μετατόπιση του αισθητήριου άξονα συνδεδεμένου με το κινητό σκέλος ενός ποτενσιόμετρου, προκαλεί μεταβολή στην αντίσταση (**Σχήμα 1(δ),(ε)**). Το στοιχείο αντίστασης μπορεί να σχεδιαστεί ώστε να έχει μια γραμμική ή μη γραμμική (π.χ. λογαριθμική) έξοδο. Η διακρισιμότητα τέτοιων συσκευών καθορίζεται από την ελάχιστη μεταβολή στην αντίσταση που μπορεί να προκληθεί από την ελάχιστη μετατόπιση του κινητού σκέλους του ποτενσιόμετρου.

δ) **Μετατροπείς φαινομένου Hall:** Η σχετική μεταβολή στην απόσταση, μεταξύ ενός ανιχνευτή φαινομένου Hall και ενός μαγνήτη, λόγω της μετατόπισης του αισθητήριου άξονα, προκαλεί μεταβολή στη τάξη εισόδου του ανιχνευτή που είναι ανάλογη της μετατόπισης (**Σχήμα 1(στ)**).



Σχήμα 1 Μέτρηση μετατόπισης

Μέτρηση Θερμοκρασίας

α) **Θερμοζεύγη:** Η κατασκευή τους γίνεται με τη σύνδεση δύο διαφορετικών μετάλλων ηλεκτρικά συνδεδεμένων στη μια άκρη, που αποτελεί την επαφή μέτρησης ή «Θερμή επαφή». Οι άλλες δύο άκρες παρότι δεν είναι ηλεκτρικά συνδεδεμένες, πρέπει να διατηρούνται στην ίδια θερμοκρασία. Αυτή η ισόθερμη σύνδεση ονομάζεται επαφή αναφοράς ή «Ψυχρή επαφή». Επειδή η έξοδος του θερμοζεύγους είναι συνάρτηση της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ της επαφής μέτρησης και της επαφής αναφοράς (Φαινόμενο Seebeck), είναι αναγκαίο να θέσουμε την επαφή αναφοράς σε μια δεδομένη θερμοκρασία (συνήθως στη θερμοκρασία πήξης 0°C). Η απαίτηση της ύπαρξης αυτής της θερμοκρασίας αναφοράς είναι ένα σημαντικό μειονέκτημα, ιδίως όταν απαιτείται ακρίβεια στη μέτρηση. Ακριβώς γι' αυτό το λόγο έχουν κατασκευαστεί ολοκληρωμένα για την ηλεκτρική αντιστάθμιση της ψυχρής επαφής. Τα θερμοζεύγη έχουν μια αρκετά μη γραμμική σχέση τάσης εξόδου και θερμοκρασίας. Για αυτό απαιτούνται ειδικές ηλεκτρονικές συσκευές για την αντιστάθμιση αυτής της μη γραμμικότητας.

| Τύπος Κώδικα (ANSI) | Υλικά Ζεύγους (Το θετικό σκέλος πρώτο) | Χρήσιμο Εύρος ($^{\circ}C$) | Ευαισθησία | |
|---------------------------|--|-------------------------------------|-----------------------|---------------------------|
| | | | ($\mu V/^{\circ}C$) | ($^{\circ}C$) |
| T | Χαλκός /κονσταντάνη | -200 ως +300 | -28 39 53 | -100 0 200 |
| J | Σίδηρος / κονσταντάνη | 0 ως +760 | 50 60 | 0 500 |
| K | Χρωμονικέλιο /νικέλιο- αλουμίνιο | -180 ως +1350 | -30 40 | -100 0 και πάνω |
| S | Πλατίνα /πλατίνα - 10% Ρόδιο | 0 ως +1700 | 6 10 12 | 0 500 1000 και πάνω |
| R | Πλατίνα /πλατίνα - 13% Ρόδιο | 0 ως +1700 | 6 10 13 | 0 500 1000 και πάνω |

Πίνακας 2 Χαρακτηριστικά θερμοζευγών

β) **Αντιστατικοί ανιχνευτές θερμοκρασίας (RTD):** Οι RTD δημιουργούνται από αντιστάτες σύρματος, σε μορφή σπειρώματος, που παρουσιάζουν θετικό θερμικό συντελεστή (α). Ως γνωστό η αντίσταση ενός μεταλλικού αγωγού αυξάνεται με τη θερμοκρασία με μια γραμμική κατά προσέγγιση σχέση :

$$\Delta R = [1 + \alpha \cdot \Delta t]$$

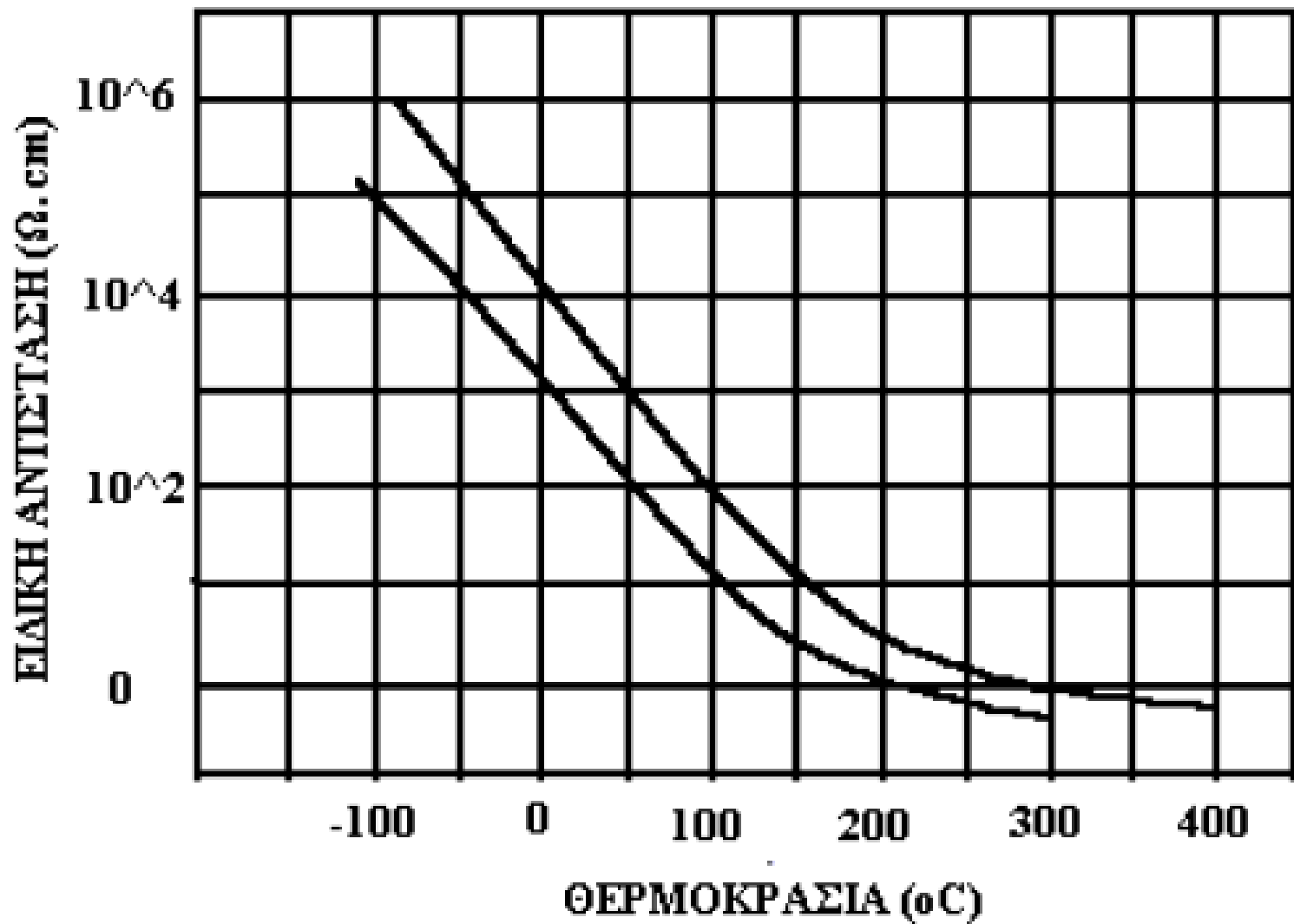
Στη πράξη η Πλατίνα είναι αυτή που χρησιμοποιείται από τα μέταλλα, γιατί παρουσιάζει σχεδόν γραμμική συμπεριφορά, και έχει καλά μηχανικά και ηλεκτρικά χαρακτηριστικά. Έτσι κατασκευάζονται ανιχνευτές πλατίνας με εύρος από -270°C μέχρι και 660°C , μεγάλη σταθερότητα, υψηλή ακρίβεια και αξιοπιστία. Το αισθητήριο στοιχείο ενός τέτοιου ανιχνευτή αποτελείται συνήθως από ένα ορισμένου μήκους σύρμα πλατίνας, αντίστασης 100Ω , τυλιγμένο σε κεραμικό υλικό και τοποθετημένο σε κάψουλα.

Ο πίνακας 3 δείχνει την αντίσταση ενός RTD πλατίνας 100Ω όπως αυτή μεταβάλλεται από τη θερμοκρασία. Η μεταβολή αυτή της αντίστασης μπορεί να μετρηθεί από ένα βολτόμετρο σαν τη πτώση τάσης που προκαλείται στο RTD από τη ροή ρεύματος μέσω μιας σταθερής πηγής ρεύματος. Όταν απαιτείται μεγαλύτερη ακρίβεια το RTD τοποθετείται ώστε να αποτελεί τμήμα μιας γέφυρας Wheatstone. Τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά των RTD είναι η μεγάλη σταθερότητά τους, η υψηλή ακρίβεια και η σχεδόν γραμμική χαρακτηριστική τους. Λόγω της κατασκευής τους έχουν αργή απόκριση, είναι ευαίσθητα στους κραδασμούς και έχουν σχετικά μεγάλο κόστος.

| Θερμοκρασία ($^{\circ}C$) | Αντίσταση Ω |
|-----------------------------|--------------------|
| -200 | 18,53 |
| -100 | 60,20 |
| 0 | 100,00 |
| +100 | 138,50 |
| +200 | 175,84 |
| +300 | 212,03 |
| +400 | 247,06 |
| +500 | 280.93 |
| +600 | 313.65 |
| +700 | 345.61 |
| +800 | 375.67 |

Πίνακας 3 Απόκριση RTD Πλατίνας

γ) **Θερμίστορ:** Τα θερμίστορ κατασκευάζονται από ημιαγωγικά υλικά που εμφανίζουν πολύ αρνητικό θερμικό συντελεστή. Η αντίσταση τους μεταβάλλεται σημαντικά με τη θερμοκρασία (μεταβολή -2% ως -6% ανά βαθμό Κελσίου) παρέχοντας έτσι στο θερμίστορ μια διακρισιμότητα της τάξης του $0,01^{\circ}\text{C}$. Όμως το πλεονέκτημα της υψηλής διακρισιμότητας αντισταθμίζεται από την εκθετική σχέση αντίστασης - θερμοκρασίας (**Σχήμα 2**). Μέσα στη περιοχή μέτρησης μπορεί να έχουμε μεταβολές 5 ως 6 τάξεις μεγέθους, που προκαλούν προβλήματα στις μετρήσεις. Έτσι, μερικοί κατασκευαστές, για να ξεπεράσουν το πρόβλημα της εκθετικής χαρακτηριστικής, κατάφεραν, με το να συνδυάσουν πολλούς μετατροπείς και με τη βοήθεια παθητικών στοιχείων, να δημιουργήσουν θερμίστορ που παρουσιάζουν γραμμική συμπεριφορά.



Σχήμα 2 Χαρακτηριστική θερμίστορ

Ο αρνητικός θερμικός συντελεστής των θερμίστορ δημιουργεί ένα σημαντικό πρόβλημα, γνωστό σαν θερμική διαφυγή, που μπορεί να έχει καταστροφικές συνέπειες. Έτσι, αν ένα θερμίστορ είναι συνδεδεμένο με μια σταθερή πηγή τάσης, το ρεύμα που το διαρρέει εξαρτάται από τη θερμοκρασία. Αύξηση της θερμοκρασίας θα προκαλέσει αύξηση στο ρεύμα που διαρρέει το κύκλωμα, το οποίο με τη σειρά του θα προκαλέσει νέα αύξηση στη θερμοκρασία του θερμίστορ (λόγω αυτοθέρμανσης) οπότε και το θερμίστορ θα καταστραφεί.

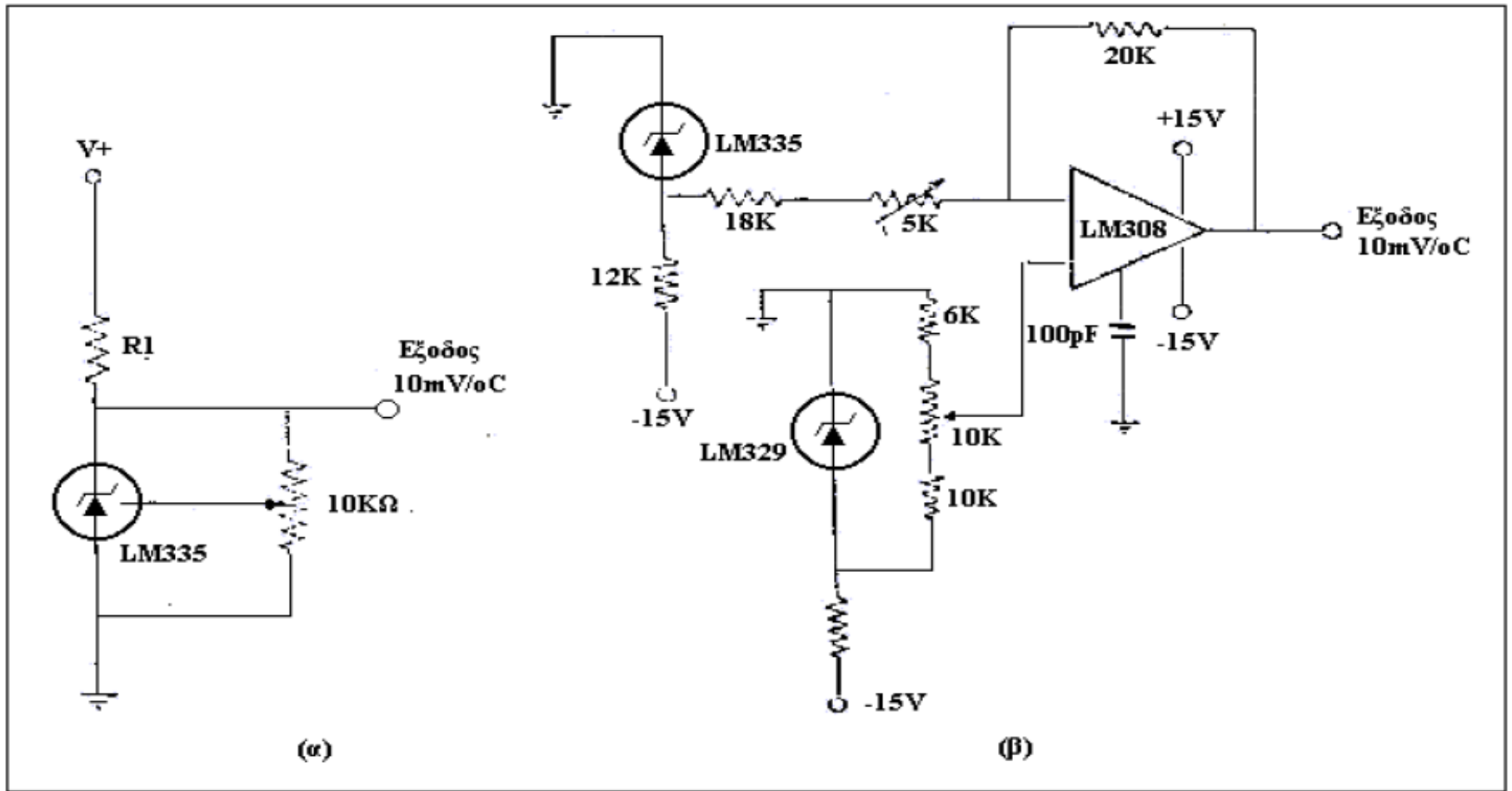
Τα θερμίστορ παρουσιάζουν γρήγορη απόκριση, υψηλή ευαισθησία, αντοχή στις μηχανικές καταπονήσεις και σε συνδυασμό με το χαμηλό τους κόστος, είναι ιδανικά για τη μέτρηση της θερμοκρασίας στη περιοχή από -1000°C μέχρι και $+300^{\circ}\text{C}$.

δ) **Ολοκληρωμένοι αισθητήρες θερμοκρασίας:** Αρκετοί κατασκευαστές ολοκληρωμένων κυκλωμάτων (I.C.) έχουν παρουσιάσει συσκευές των οποίων η τάση ή το ρεύμα εξόδου είναι ανάλογα της απόλυτης θερμοκρασίας. Το κλειδί για τη λειτουργία τους είναι ότι η πτώση τάσης στα άκρα μιας ορθά πολωμένης επαφής p-n μεταβάλλεται κατά περίπου $-2,2V/^{\circ}C$ για ένα μεγάλο εύρος θερμοκρασιών. Οι ολοκληρωμένοι αισθητήρες περιέχουν εκτός από το αισθητήριο στοιχείο, τη πηγή πόλωσης καθώς και τα κυκλώματα αντιστάθμισης.

Οι σημαντικότεροι ολοκληρωμένοι αισθητές και τα χαρακτηριστικά τους εξετάζονται παρακάτω:

I) **AD590**: Είναι μια συσκευή δύο ακροδεκτών που όταν οδηγηθεί από μια τάση μεταξύ 4 και 30V, παράγει ρεύμα της τάξης των μA που είναι αριθμητικά ίσο με την απόλυτη θερμοκρασία (ή $I = [273 + \theta^{\circ}\text{C}] \mu\text{A}$, όπου θ θερμοκρασία σε βαθμούς Κελσίου από -55°C μέχρι και $+150^{\circ}\text{C}$). Το AD590 έχει το πλεονέκτημα ότι αποτελεί μια σταθερή πηγή ρεύματος ελεγχόμενης από τη θερμοκρασία με αποτέλεσμα να χρησιμοποιείται για έλεγχο σε μεγάλες αποστάσεις (remote control).

II) **Σειρές LM135:** Τα ολοκληρωμένα LM135/LM235/LM335 της National Semiconductor είναι παραλλαγές μιας συσκευής που παράγει μια τάση ανάλογη της απόλυτης θερμοκρασίας. Η συσκευή συμπεριφέρεται σαν μια δίοδος zener δύο ακροδεκτών. Η τάση κατάρρευσης για το LM335 είναι $10mV/^{\circ}K$ για ένα εύρος από $0^{\circ}C$ μέχρι $100^{\circ}C$. Μεγαλύτερα εύρη μπορούν να επιτευχθούν χρησιμοποιώντας τα LM235 και LM135. Η συσκευή εφοδιάζεται και με ένα τρίτο ακροδέκτη, ώστε να είναι δυνατή η ακριβής ρύθμιση του αισθητήρα (**Σχήμα 3α**). Έτσι με σωστή ρύθμιση μπορούμε να έχουμε ακρίβεια της τάξης του $1^{\circ}C$ για όλο το εύρος μέτρησης. Τα χαρακτηριστικά αναφέρονται σε ρεύμα $1A$, αλλά η συσκευή μπορεί να λειτουργήσει χωρίς πρόβλημα από $400\mu A$ μέχρι $5A$. Μια πηγή σφάλματος που πρέπει να ληφθεί υπόψη σε όλους τους αισθητήρες με έξοδο τάση, είναι η πτώση τάσης κατά μήκος των αγωγών σύνδεσης του αισθητήρα και της συσκευής μέτρησης. Το σφάλμα γίνεται σημαντικό όταν ο αισθητήρας βρίσκεται αρκετά μέτρα μακριά από τη συσκευή μέτρησης.



Σχήμα 3

Είναι δυνατόν να πετύχουμε έξοδο $10mV/°C$ με το να ανυψώσουμε την τάση εξόδου του μετατροπέα κατά $2,73V$. Μια μέθοδος για την πραγματοποίησή του φαίνεται στο **Σχήμα 3β** όπου η πρόσθετη τάση (offset) ρυθμίζεται από το ποτενσιόμετρο των $10K\Omega$, ενώ με τη μεταβλητή αντίσταση των $5K\Omega$ ρυθμίζεται ο παράγοντας μετατροπής στα $10mV/°C$.

Μέτρηση Πίεσης

Πίεση είναι η δύναμη που ενεργεί σε μια επιφάνεια. Μετρείται σαν τη δύναμη ανά μονάδα επιφάνειας, που ενεργεί σε δεδομένο σημείο. Η Απόλυτη πίεση μετρείται σχετικά προς μηδενική πίεση (κενό), ενώ η Διαφορική πίεση σχετικά προς μια πίεση αναφοράς. Το τέλειο κενό είναι η απόλυτη μηδενική πίεση. Η μέτρηση κενού όμως ανάγεται στη μέτρηση πολύ χαμηλής πίεσης.

Οι πιο συνηθισμένες μέθοδοι μέτρησης πίεσης βασίζονται στη μετατόπιση που προκαλεί η πίεση σε κάποιο διάφραγμα.

Οι πιο δημοφιλείς αισθητήρες πίεσης είναι :

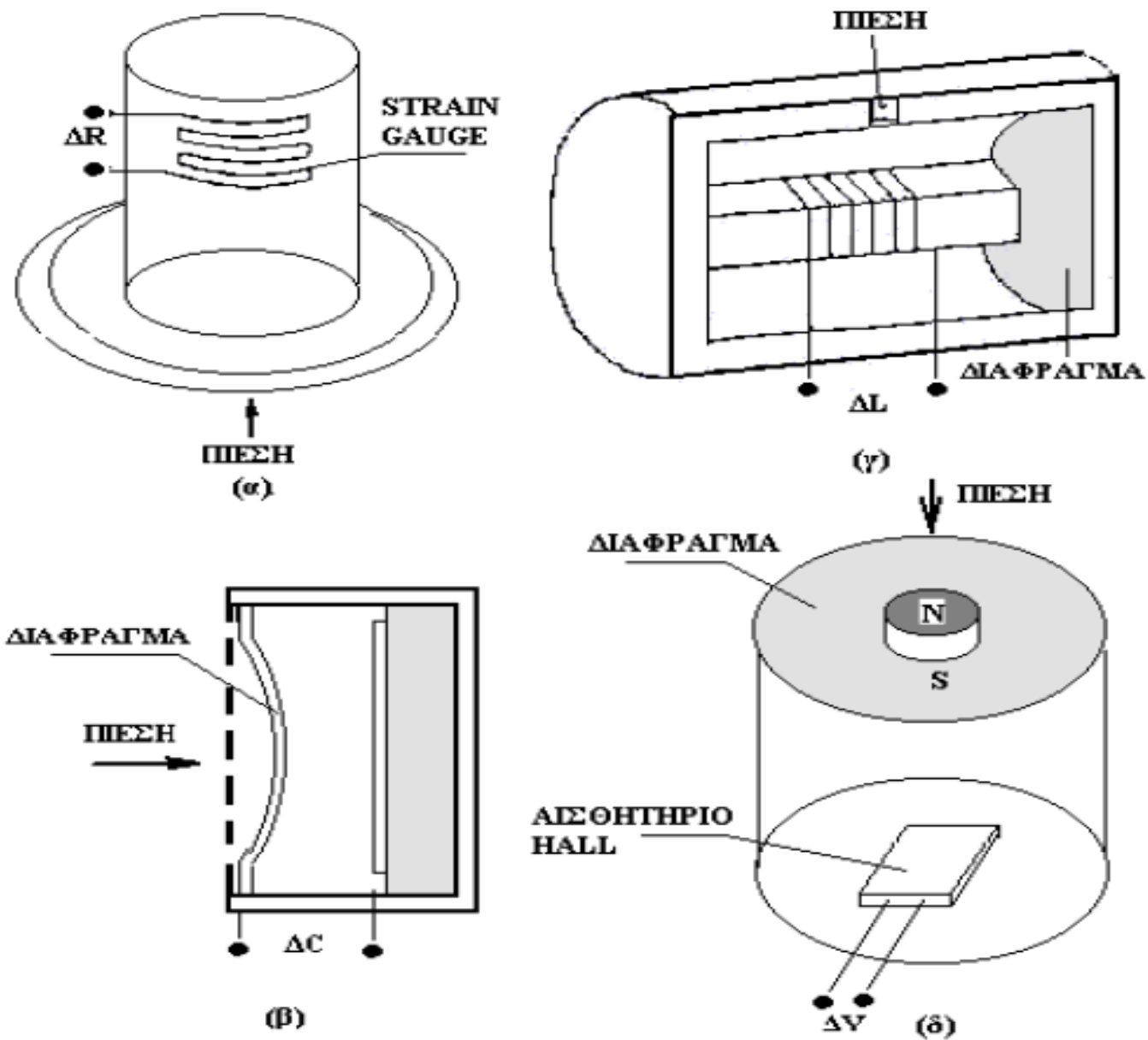
α) **Strain - gauge αισθητήρας:** Στην εξωτερική επιφάνεια ενός κυλίνδρου (διάφραγμα) βρίσκεται στερεωμένος μεταλλικός αγωγός, ο οποίος με τη μετακίνηση του διαφράγματος, λόγω της πίεσης, επιμηκύνεται, με αποτέλεσμα τη μεταβολή της αντίστασής του (**Σχήμα 4(α)**).

β) **Χωρητικός αισθητήρας:** Η μετακίνηση λόγω πίεσης ενός διαφράγματος προκαλεί μεταβολή στη χωρητικότητα μεταξύ διαφράγματος και ενός σταθερού οπλισμού παράλληλου στο διάφραγμα. Σχηματική παράσταση του αισθητήρα φαίνεται στο **Σχήμα 4(β)**.

γ) **Επαγωγικός αισθητήρας:** Η μετακίνηση λόγω πίεσης ενός διαφράγματος από μαγνητικό υλικό, προκαλεί μεταβολή στην αυτεπαγωγή ενός πηνίου στο εσωτερικό του αισθητήρα (**Σχήμα 4(γ)**).

δ) **Αισθητήρας φαινομένου Hall:** Ένας μόνιμος μαγνήτης βρίσκεται στερεωμένος στην επιφάνεια του διαφράγματος (**Σχήμα 4(δ)**). Η μετακίνηση του διαφράγματος λόγω της πίεσης φέρνει το μαγνήτη πλησιέστερα σε ένα ανιχνευτή φαινομένου Hall .

ε) **Ολοκληρωμένοι αισθητήρες:** Πάνω σε ένα δίκτυο πυριτίου δημιουργούμε με κατάλληλη διάχυση προσμίξεων μια γέφυρα Wheatstone με στοιχεία ευαίσθητα στη πίεση. Έτσι μεταβολή στην πίεση προκαλεί μεταβολή στην ισορροπία της γέφυρας. Συνήθως στο ίδιο ολοκληρωμένο συμπεριλαμβάνονται και οι κατάλληλες διατάξεις ενίσχυσης και αντιστάθμισης. Χαρακτηριστικά της κατηγορίας αυτής είναι τα ολοκληρωμένα της σειράς LX0503 , LX0607 , LX14XX , LX16XX και LX17XX της National Semiconductor καθώς και τα chip της σειράς MPX της Motorola .



Σχήμα 4 Αρχή λειτουργία αισθητήρων πίεσης

Μέτρηση Στάθμης Υγρών

Μια μεγάλη ποικιλία τεχνικών μέτρησης και αισθητήρων έχουν επινοηθεί για το προσδιορισμό της στάθμης υγρών σε ανοικτά ή κλειστά δοχεία (δεξαμενές). Δεν είναι μόνο η γνώση της στάθμης αυτής καθεαυτής σημαντική, αλλά και άλλα σημαντικά στοιχεία μπορούν να εξαχθούν από τη γνώση τους. Από το προσδιορισμό της στάθμης, και με δεδομένα τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά και τις διαστάσεις του δοχείου, μπορούμε να προσδιορίσουμε τον όγκο του υγρού. Επίσης αν είναι γνωστή η πυκνότητα του υγρού, μπορούμε να υπολογίσουμε και τη μάζα του .

Η στάθμη μπορεί γενικά να ανιχνευθεί είτε με διακριτό τρόπο (αν κάποια προκαθορισμένα σημεία καλύπτονται από το υγρό), είτε με συνεχή τρόπο (μεταβολή κάποιου αναλογικού μεγέθους ανάλογα με τη μεταβολή της στάθμης).

Οι πιο διαδεδομένες μέθοδοι προσδιορισμού της στάθμης ενός υγρού είναι :

α) **Χρήση πλωτήρα** : Η μέτρηση της στάθμης μπορεί να γίνει αν χρησιμοποιήσουμε ένα πλωτήρα τοποθετημένο κατά τέτοιο τρόπο ώστε να μεταβάλλεται η κατακόρυφη απομάκρυνσή του κάθε φορά που μεταβάλλεται η στάθμη του υγρού. Η μεταβολή στη θέση του πλωτήρα μπορεί εύκολα να ανιχνευθεί από ένα μετατροπέα μετατόπισης (**Σχήμα 5(α)**).

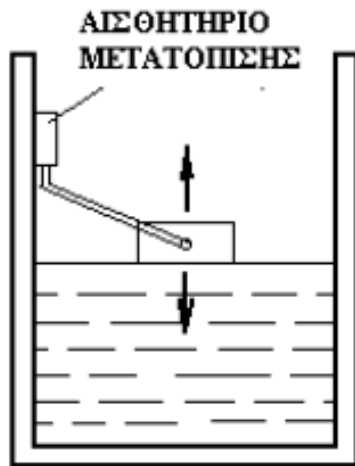
β) **Μέθοδος αγωγιμότητας**: Χρησιμοποιείται σε υγρά που παρουσιάζουν έστω και μια μικρή αγωγιμότητα (ηλεκτρική), και αποτελεί μια φτηνή και συγχρόνως αξιόλογη μέθοδο προσδιορισμού της στάθμης. Σχηματική παράσταση της μεθόδου βλέπουμε στο **Σχήμα 5(β)**. Όταν δεν υπάρχει καθόλου υγρό στη δεξαμενή, όλες οι έξοδοι οδηγούνται μέσω των αντιστάσεων $2,2\text{M}\Omega$ σε υψηλό δυναμικό. Όταν όμως κάποιο ηλεκτρόδιο έρθει σε επαφή με το αγωγίμο υγρό, τότε η αντίστοιχη έξοδος οδηγείται σε χαμηλό δυναμικό λόγω του γειωμένου ακροδέκτη. Το μειονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι ότι έχουμε διακριτή και όχι συνεχή ένδειξη της στάθμης. Μια παραλλαγή της παραπάνω μεθόδου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη σωστή ανίχνευση της στάθμης (**Σχήμα 5(γ)**). Επειδή η αγωγιμότητα μεταξύ των ηλεκτροδίων είναι ανάλογη του ύψους της στάθμης του υγρού, μέτρηση αυτής της αγωγιμότητας μας δίνει μία ένδειξη της στάθμης. Προσοχή πρέπει να δοθεί ώστε κατά τη μέτρηση της αγωγιμότητας να χρησιμοποιηθεί εναλλασσόμενο και όχι συνεχές ρεύμα, το οποίο θα προκαλούσε ηλεκτρόλυση. Εναλλακτικά θα μπορούσε να μετρηθεί η μεταβολή της χωρητικότητας μεταξύ των ηλεκτροδίων που και αυτή εξαρτάται από τη στάθμη του υγρού.

γ) **Μέθοδος πίεσης:** Ένας αισθητήρας πίεσης τοποθετημένος στη βάση της δεξαμενής, δίνει έξοδο που εξαρτάται από το ύψος της στάθμης του υγρού. Η σχέση που δείχνει αυτή την εξάρτηση είναι

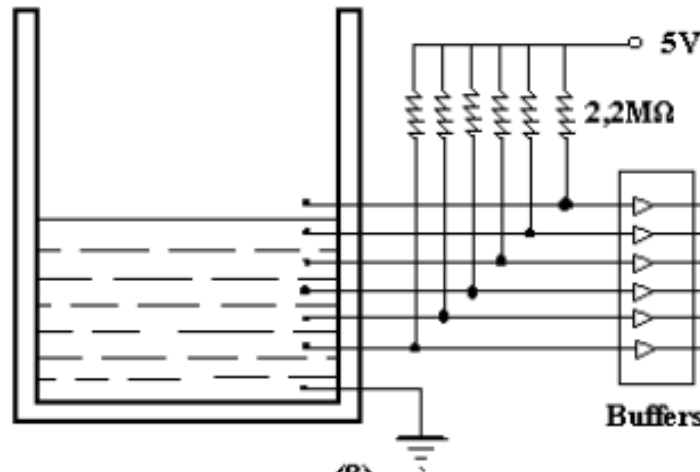
$$P = P_0 + \rho gh$$

όπου P_0 είναι η πίεση στην επιφάνεια του υγρού (ατμοσφαιρική), ρ είναι η πυκνότητα του υγρού, g είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας και h το ύψος της στάθμης του υγρού. Σχηματική παράσταση της μεθόδου φαίνεται στο **Σχήμα 5(δ)**.

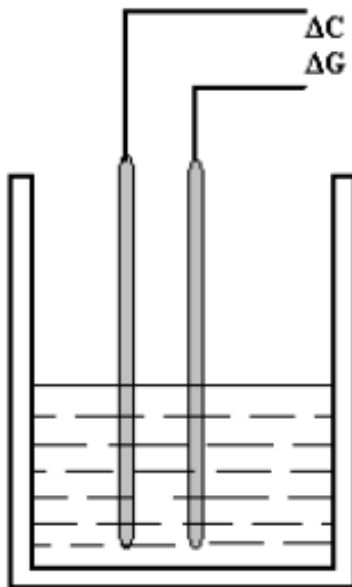
δ) **Ακουστική μέθοδος:** Χρησιμοποιούνται υπέρηχοι που είτε εκπέμπονται από πομπό και ανιχνεύονται από ξεχωριστό δέκτη, είτε εκπέμπονται και λαμβάνονται από ένα μοναδικό πομποδέκτη που λειτουργεί εναλλακτικά σαν πομπός και δέκτης (**Σχήμα 5(ε)**). Η μεταβολή στην εξασθένηση ή στη καθυστέρηση της ακτίνας του ήχου λόγω ανάκλασης στη διαχωριστική επιφάνεια υγρού - αέρα (στην επιφάνεια του υγρού) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το προσδιορισμό της στάθμης του υγρού.



(α)



(β)



(γ)



(δ)



(ε)

Σχήμα 5 Μέθοδοι προσδιορισμού στάθμης υγρών