



Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Πειραιά

Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών
Τμήμα Μηχανολογίας

Μετρήσεις Τεχνικών Μεγεθών

Χειμερινό Εξάμηνο 2007

ΕΡΓΑΣΙΑ Ι

Πρόβλημα 1

Προσδιορίστε ποια από τα παρακάτω σφάλματα είναι τυχαία η συστηματικά και αιτιολογήστε την απάντησή σας για καθένα απ' αυτά:

- Μια ψηφιακή ζυγαριά δεικνύει 0.1 kg όταν δεν έχει τοποθετηθεί βάρος.
- Ταλάντωση του δείκτη ταχογράφου αυτοκινήτου.
- Συστηματική διαφορά θερμοκρασίας, που μπορεί να είναι σταθερά ή να μεταβάλλεται, μεταξύ δύο αισθητήρων μέτρησης της θερμοκρασίας του αέρα στο ίδιο δωμάτιο.
- Επίδραση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος στο κύκλωμα ενός ηλεκτρονικού μετρητικού συστήματος.
- Επίδραση του φαινομένου της παράλλαξης στην ανάγνωση αναλογικού βολτόμετρου με μηχανικό δείκτη (βελόνα).
- Επίδραση της χρήσης λανθασμένης τιμής για το συντελεστή εκπομπής στην ένδειξη της θερμοκρασίας υπέρυθρου θερμόμετρου.
- Μεταβολή της ένδειξης αισθητήρα πίεσης λόγω της μεταβολής της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος.
- Θόρυβος στην ένδειξη ενός μετρητικού οργάνου που οφείλονται σε μαγνητικά πεδία του περιβάλλοντος.
- Μεταβολή της σύστασης φαρμάκου λόγω ελαττωματικής λειτουργίας του αναμείκτη.

Λύση

- Συστηματικό σφάλμα. Η έξοδος διαφέρει συστηματικά από την πραγματική τιμή.
- Τυχαίο σφάλμα. Η έξοδος του ταχογράφου παρουσιάζει διασπορά των δεδομένων.
- Εάν η διαφορά είναι ανεξάρτητη του χρόνου τότε το σφάλμα είναι συστηματικό. Εάν εξαρτάται από το χρόνο τότε είναι τυχαίο.
- Στις περισσότερες περιπτώσεις το σφάλμα θεωρείται συστηματικό, γιατί επαναλαμβανόμενες μετρήσεις την ίδια σχεδόν χρονική στιγμή θα δώσουν το ίδιο σφάλμα. Παρόλα αυτά για μεγάλο χρονικό διάστημα μετρήσεων, η θερμοκρασία μεταβάλλεται τυχαία, άρα το σφάλμα είναι τυχαίο.
- Το σφάλμα αυτό είναι συστηματικό εάν οι μετρήσεις γίνονται από το ίδιο άτομο που ακολουθεί την ίδια διαδικασία κάθε φορά. Εάν οι μετρήσεις γίνονται από πολλά άτομα που ακολουθούν διαφορετική διαδικασία, τότε τα σφάλματα είναι τυχαία.
- Αυτό το σφάλμα είναι συστηματικό γιατί είναι το ίδιο κάθε φορά που γίνεται μέτρηση.
- Είναι συστηματικό εάν οι μετρήσεις έχουν γίνει στη ίδια θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Εάν όμως οι μετρήσεις έγιναν σ' ένα χρονικό διάστημα κατά το οποίο η θερμοκρασία του περιβάλλοντος μεταβάλλεται τυχαία, τότε το σφάλμα θεωρείται τυχαίο.

- h) Το σφάλμα αυτό είναι τυχαίο διότι σχεδόν πάντα τα μαγνητικά πεδία του περιβάλλοντος μεταβάλλονται τυχαία.
- i) Επειδή η ελαττωματική λειτουργία του αναμείκτη δεν είναι προβλέψιμη, το σφάλμα αυτό μπορεί να θεωρηθεί τυχαίο.

Πρόβλημα 2

- A** Ένα ψηφιακό όργανο μέτρησης έχει οθόνη τριών δεκαδικών σημαντικών ψηφίων. Ένα αντίστοιχο αναλογικό όργανο έχει 1000 υποδιαίρεσεις στο διάστημα του εύρους τιμών. Μπορείς να προσδιορίσεις ποιο από τα δύο όργανα είναι μεγαλύτερης ακρίβειας; Δώστε τις απαιτούμενες εξηγήσεις.
- B** Χρειάζεσαι να μετρήσεις την πίεση, που μεταβάλλεται μεταξύ 60 kPa και 100 kPa. Προς τούτο είναι διαθέσιμα τέσσερα όργανα της ίδιας περίπου ποιότητας: Όργανο A, με περιοχή τιμών 0-100 kPa
Όργανο B, με περιοχή τιμών 0-150 kPa
Όργανο C, με περιοχή τιμών 50-100 kPa
Όργανο D, με περιοχή τιμών 50-150 kPa
Ποιο όργανο θα επιλέξεις και γιατί;
- C** Σ' ένα όργανο με πολλές κλίμακες (όπως ένα βολτόμετρο), πως μεταβάλλεται η ευαισθησία με την κλίμακα; Εξηγήστε.
- D** Ποια είναι η διαφορά μεταξύ στατικής και δυναμικής βαθμονόμησης; Τι είδος βαθμονόμησης συνιστάς για
a) θερμόμετρο στόματος,
b) μανόμετρο σωλήνα νερού, και
c) ταχογράφο αυτοκινήτου;
Εξηγήστε.

Λύση

A

Η διακριτική ικανότητα ενός οργάνου δεν παρέχει αναγκαία πληροφορίες για την ακρίβειά του και επομένως δεν είναι δυνατόν να ειπωθεί κάτι στην κατεύθυνση αυτή. Παρόλα αυτά, μπορεί να γίνει ανάγνωση του ψηφιακού οργάνου με διακριτική ικανότητα 1/999 του εύρους του. Στην περίπτωση του αναλογικού οργάνου είναι δυνατή η παρεμβολή μεταξύ δύο διαγραμμίσεων επιτυγχάνοντας έτσι καλύτερη διακριτική ικανότητα.

B

Το όργανο D είναι το καλύτερο για την περιοχή τιμών των μετρήσεων, διότι πιθανά σφάλματα στην περίπτωση του οργάνου C είναι δυνατόν να δώσουν τιμές εκτός κλίμακας, που δεν επιδέχονται ερμηνεία.

C

Για δεδομένη είσοδο, η έξοδος μειώνεται με την αύξηση του εύρους της κλίμακας. Κατά συνέπεια, η ευαισθησία μειώνεται με αύξηση του εύρους της κλίμακας.

D

Στατική βαθμονόμηση ονομάζεται η διαδικασία βαθμονόμησης κατά τη διάρκεια της οποίας οι μετρούμενες τιμές μεταβάλλονται πολύ αργά, επιτρέποντας έτσι στο όργανο να έλθει σε ισορροπία.

Δυναμική βαθμονόμηση ονομάζεται η διαδικασία βαθμονόμησης που χρησιμοποιείται, όταν η μετρούμενη μεταβλητή αλλάζει πολύ γρήγορα.

- a) Το θερμόμετρο στόματος υπόκειται σε στατική βαθμονόμηση γιατί η θερμοκρασία του ανθρώπινου σώματος αλλάζει σχετικά πολύ αργά και επίσης ο χρόνος που διαρκεί η μέτρηση είναι αρκετός για να επέλθει θερμική ισορροπία μεταξύ θερμομέτρου και σώματος.

- b) Το μανόμετρο σωλήνα νερού υπόκειται συνήθως σε στατική βαθμονόμηση, εκτός εάν το ενδιαφέρον είναι στη μέτρηση μεταβατικών φαινομένων όπου απαιτείται δυναμική βαθμονόμηση και ποιο περίπλοκα όργανα μέτρησης.
- c) Ο ταχογράφος αυτοκινήτου απαιτεί και στατική και δυναμική βαθμονόμηση. Η δυναμική βαθμονόμηση χρειάζεται για μετρήσεις κατά τη διάρκεια της επιτάχυνσης.

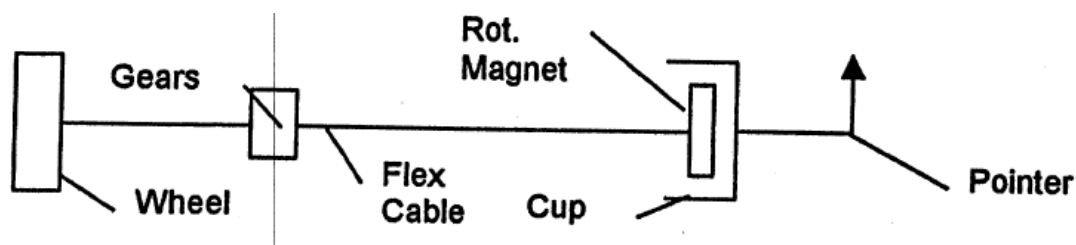
Πρόβλημα 3

Προσδιορίστε τις βαθμίδες από τις οποίες αποτελούνται τα παρακάτω μετρητικά συστήματα (Μπορεί να χρειαστεί να κάνετε έρευνα για τις αρχές λειτουργίας τους):

(α) μηχανικό ταχύμετρο αυτοκινήτου και (β) δείκτης καυσίμου αυτοκινήτου.

Λύση

- a) Το μηχανικό ταχύμετρο μετράει την ταχύτητα του αυτοκινήτου μετρώντας τη γωνιακή ταχύτητα των τροχών. Η γωνιακή ταχύτητα των τροχών (διαμέσου οδοντωτών τροχών) έχει ως αποτέλεσμα την περιστροφή ενός ελαστικού καλωδίου. Το καλώδιο αυτό περιστρέφει ένα μαγνήτη στο εσωτερικό μιας μεταλλικής κούπας δημιουργώντας μια περιφερειακή δύναμη οπισθέλκουσας στην κούπα (ροπή). Η οπισθέλκουσα δύναμη γίνεται αισθητή επιτρέποντας την κούπα να περιστρέφεται λιγότερο από μια πλήρη περιστροφή ενάντια της αντίστασης ενός στρεπτικού ελατηρίου. Η κούπα συνδέεται σ' ένα δείκτη σε κυκλική κλίμακα. Το αισθητήριο στοιχείο είναι ο μαγνήτης στο εσωτερικό της μεταλλικής κούπας που δημιουργεί την οπισθέλκουσα δύναμη. Ο τροποποιητής σήματος είναι το σύστημα που επιτρέπει την περιστροφή του κυπέλλου ενάντια της αντίστασης του στρεπτικού ελατηρίου. Η ένδειξη προκύπτει από τη θέση του δείκτη σε κυκλική κλίμακα.



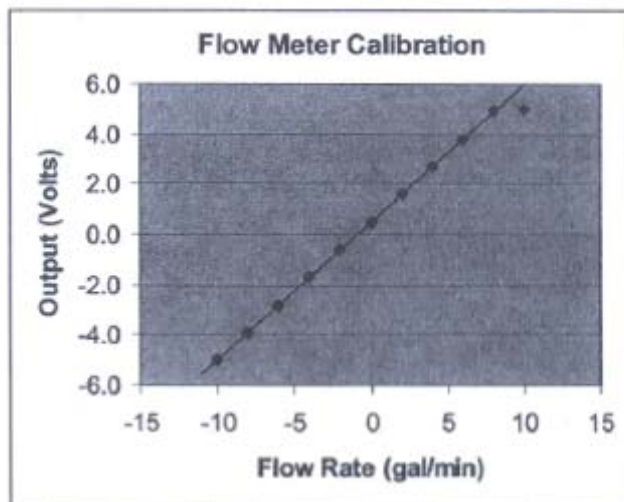
- b) Η στάθμη του καυσίμου στο δοχείο καυσίμου μετριέται με μηχανικό φλοτέρ που ακολουθεί την ελεύθερη επιφάνεια του καυσίμου. Η θέση του φλοτέρ προκύπτει διαμέσου ενός βραχίονα που περιστρέφει ένα μεταβλητό αντιστάτη. Η αντίσταση του μεταβλητού αντιστάτη προκύπτει διαμέσου της ηλεκτρικής τάσης στα άκρα του αντιστάτη και μετρώντας την ένταση του ρεύματος με ηλεκτρομηχανολογικό μετρητή. Το αισθητήριο στοιχείο είναι το φλοτέρ. Ο τροποποιητής σήματος αποτελείται από το κυκλικό ποτενσιόμετρο και το ηλεκτρομηχανολογικό δείκτη.

Πρόβλημα 4

Η στατική βαθμονόμηση μιας βαλβίδας μέτρησης της παροχής, διπλής κατεύθυνσης ροής, δίδεται υπό μορφή πίνακα και γραφήματος παρακάτω:

Calibration Data:

Data Pt	Flow (Gal/min)	Output (Volts)
1	-10	-5.0
2	-8	-3.9
3	-6	-2.8
4	-4	-1.7
5	-2	-0.6
6	0	0.5
7	2	1.6
8	4	2.7
9	6	3.8
10	8	4.9
11	10	5.0



- Γι' αυτό τον αισθητήρα, βρείτε την περιοχή τιμών εισόδου και εξόδου και το εύρος εισόδου και εξόδου.
- Εάν η μέθοδος των ελαχίστων τετραγώνων που χρησιμοποιείται για την προσαρμογή των δεδομένων οδηγεί σε μία ευθεία γραμμή που διέρχεται από τα σημεία 1 και 10, υπολογίστε την ευαισθησία και το συστηματικό σφάλμα.
- Ποια είναι η μη γραμμικότητα του μετρητικού συστήματος ως ποσοστό του εύρους;

Λύση

- περιοχή τιμών εισόδου: -10 έως +10 gal/min
-εύρος τιμών εισόδου: 20 gal/min
-περιοχή τιμών εξόδου: -5 έως +5 Volts
-εύρος τιμών εξόδου: 10 gal/min

- Η ευαισθησία της καμπύλης βαθμονόμησης δίνεται από τη σχέση:

$$K = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{4.9 - 5}{8 - (-10)} = \frac{9.9}{18} = 0.55 \frac{\text{Volts}}{\text{gal/min}}$$

και το συστηματικό σφάλμα:

$$y_1 = K \cdot x_1 + b \Rightarrow -5 = (0.55) \cdot (-10) + b \Rightarrow b = 0.5 \text{ Volts}$$

- Το μεγαλύτερο σφάλμα μη-γραμμικότητας του συστήματος εμφανίζεται στο σημείο 11

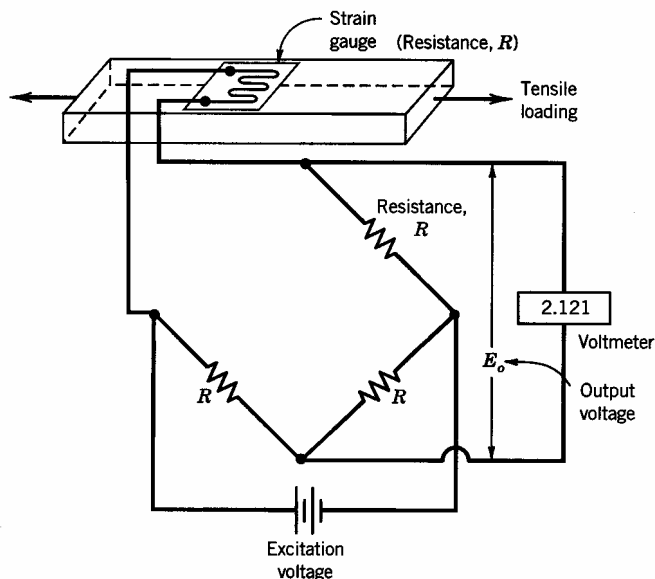
Οπότε:

$$\left| \frac{5 - (0.55 \cdot 10 + 0.5)}{10} \right| \cdot 100 = 10 \% \text{ FSO}$$

Πρόβλημα 5

Όταν ένα επιμηκυνσιόμετρο υπόκειται υπό την επίρεια μονοαξονικής εφελκυστικής τάσης, η αντίστασή του αλλάζει σε συνάρτηση με την ασκούμενη τάση. Μια γέφυρα αντιστάσεων χρησιμοποιείται για να μετατρέψει την αλλαγή αντίστασης σε ηλεκτρική τάση. Υποθέστε ότι ένα γνωστό φορτίο εφελκυσμού εφαρμόζεται στο σύστημα του παρακάτω Σχήματος, η έξοδος του οποίου μετριέται μ' ένα

βολτόμετρο. Ποιες είναι οι ανεξάρτητες και εξαρτημένες μεταβλητές για την βαθμονόμηση του συστήματος; Μπορείτε να προτείνετε την ύπαρξη πιθανών εξωγενών μεταβλητών; Τι θα περιελάμβανε μια επιβεβαιωτική επανάληψη (αναπαραγωγή) του πειράματος;



Λύση

Ανεξάρτητες μεταβλητές: Η ασκούμενη τάση στο σύστημα

Ελεγχόμενη μεταβλητή: Ηλεκτρική τάση που παρέχεται στη γέφυρα.

Εξαρτώμενες μεταβλητές: Η διαφορά δυναμικού που εμφανίζεται στα άκρα της γέφυρας (που εξαρτάται από τις αλλαγές αντίστασης του επιμηκυνσιομέτρου που οφείλονται στο φορτίο που εφαρμόζεται).

Εξωγενείς μεταβλητές: Το δοκίμιο και η θερμοκρασία περιβάλλοντος επηρεάζουν την αντίσταση του επιμηκυνσιομέτρου.

Επανάληψη του πειράματος αφορά τη ρύθμιση εκ νέου της ελεγχόμενης μεταβλητής, χρήση άλλου δοκιμίου και επανάληψη των μετρήσεων.

Πρόβλημα 6

Για τη μέτρηση ονομαστικής πίεσης 500 cm H₂O χρησιμοποιείται το αισθητήριο σύστημα με τις προδιαγραφές του παρακάτω πίνακα. Η θερμοκρασία περιβάλλοντος κατά τη διάρκεια των δοκιμών αναμένεται να μεταβάλλεται μεταξύ 18°C και 25°C. Υπολογίστε τα στοιχειώδη σφάλματα που επηρεάζουν τη μετρούμενη πίεση.

Προδιαγραφές κατασκευαστή για τον αισθητήρα πίεσης

Λειτουργία

Εύρος εισόδου	0-1000 cm H ₂ O
Διέγερση	± 15 V dc
Εύρος εξόδου	0-5 V

Επιδόσεις

Γραμμικό σφάλμα	± 0.5% FSO
Σφάλμα υστέρησης	Μικρότερο από ± 0.15% FSO
Σφάλμα ευαισθησίας	± 0.25% της ένδειξης
Σφάλμα θερμικής ευαισθησίας	± 0.02% / °C της ένδειξης
Θερμική μηδενική μετατόπιση	0.02% / °C FSO
Περιοχή τιμών θερμοκρασίας	0-50 °C

Λύση

Θεωρώντας τη σχέση εισόδου/ εξόδου γραμμική υπολογίζουμε την ευαισθησία του οργάνου:

$$K = \frac{5}{1000} \frac{V}{cm H_2O} = 5 \frac{mV}{cm H_2O}$$

Για ονομαστική πίεση εισόδου 500 cm H₂O η ονομαστική έξοδος είναι 2.5 V.

Σφάλμα μη-γραμμικότητας: $e_{L_{in}} = (\pm 0.005) \cdot (1000 \text{ cm H}_2\text{O}) = \pm 5 \text{ cm H}_2\text{O}$

$$e_{L_{out}} = \pm 5 \text{ cm H}_2\text{O} \cdot \frac{5}{1000} \frac{V}{cm H_2O} = \pm 0.025 \text{ V}$$

Σφάλμα υστέρησης: $e_{h_{in}} = (\pm 0.0015) \cdot (1000 \text{ cm H}_2\text{O}) = \pm 1.5 \text{ cm H}_2\text{O}$

$$e_{h_{out}} = \pm 1.5 \text{ cm H}_2\text{O} \cdot \frac{5}{1000} \frac{V}{cm H_2O} = \pm 0.0075 \text{ V}$$

Σφάλμα ευαισθησίας: $e_{k_{in}} = (\pm 0.0025) \cdot (500 \text{ cm H}_2\text{O}) = \pm 0.75 \text{ cm H}_2\text{O}$

$$e_{k_{out}} = \pm 0.75 \text{ cm H}_2\text{O} \cdot \frac{5}{1000} \frac{V}{cm H_2O} = \pm 0.00375 \text{ V}$$

Σφάλμα θερμικής ευαισθησίας:

$$e_{\theta K_{in}} = (\pm 0.0002) \cdot (7 \text{ }^\circ\text{C}) \cdot (500 \text{ cm H}_2\text{O}) = \pm 0.75 \text{ cm H}_2\text{O}$$

$$e_{\theta K_{out}} = \pm 0.75 \text{ cm H}_2\text{O} \cdot \frac{5}{1000} \frac{V}{cm H_2O} = \pm 0.0035 \text{ V}$$

Θερμική μηδενική μετατόπιση:

$$e_{\theta z_{in}} = (\pm 0.0002) \cdot (7 \text{ }^\circ\text{C}) \cdot (1000 \text{ cm H}_2\text{O}) = \pm 1.4 \text{ cm H}_2\text{O} = \pm 0.007 \text{ V}$$

$$e_{\theta z_{out}} = \pm 1.4 \text{ cm H}_2\text{O} \cdot \frac{5}{1000} \frac{V}{cm H_2O} = \pm 0.007 \text{ V}$$

Συνολικό σφάλμα: $= (5^2 + 1.5^2 + 0.75^2 + 0.7^2 + 1.4^2)^{1/2} = 5.501 \text{ cm H}_2\text{O}$