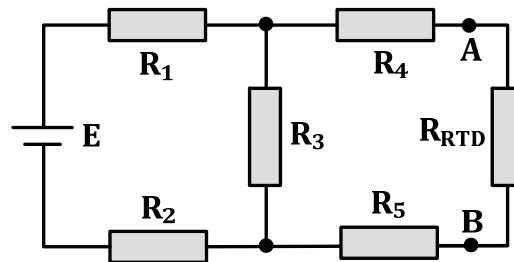


ΘΕΜΑ 1ο (3 μονάδες)

Στο κύκλωμα του παρακάτω σχήματος, η τάση μεταξύ των ακροδεκτών Α και Β πρόκειται να μετρηθεί με βολτόμετρο, η εσωτερική αντίσταση (R_V) του οποίου είναι 7 kΩ. Μεταξύ των ακροδεκτών Α και Β, συνδέεται αισθητήρας θερμοκρασίας RTD, του οποίου η αντίσταση μετρήθηκε 500 Ω στην θερμοκρασία των 0 °C. Να υπολογίσετε το εκατοστιαίο σφάλμα της μέτρησης που οφείλεται στην εσωτερική αντίσταση του βολτομέτρου, όταν η θερμοκρασία του RTD είναι 100 °C.

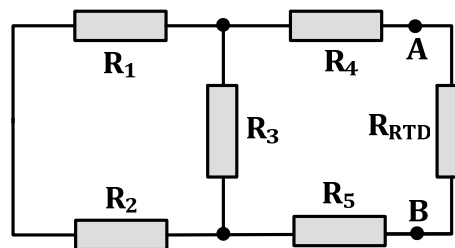
Δίνονται: $R_1 = 200 \Omega$, $R_2 = 400 \Omega$, $R_3 = 200 \Omega$, $R_4 = 300 \Omega$, $R_5 = 550 \Omega$, καθώς και ότι ο θερμοκρασιακός συντελεστής του μετάλλου από το οποίο είναι κατασκευασμένο το RTD είναι $0,01 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. Να θεωρήσετε ότι η θερμοκρασία δεν επηρεάζει την τιμή των αντιστάσεων R_1 , R_2 , R_3 , R_4 και της αντίστασης του βολτομέτρου R_V .



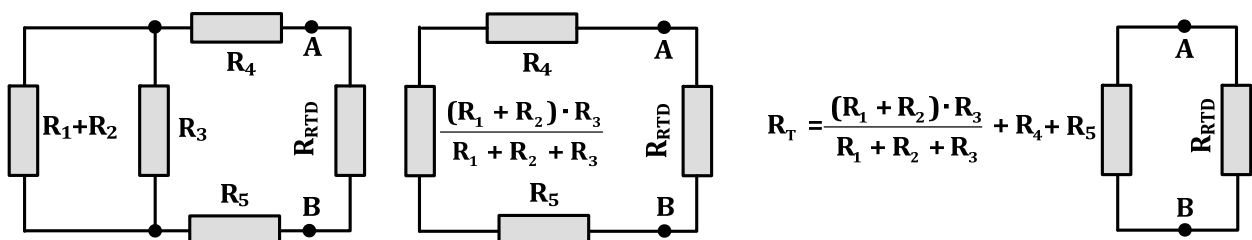
ΛΥΣΗ

Σύμφωνα με το θεώρημα Thevenin, κάθε γραμμικό κύκλωμα δύο ακροδεκτών μπορεί να αντικατασταθεί με μία πηγή τάσης ίση με την τάση ανοιχτού κυκλώματος μεταξύ των ακροδεκτών αυτών, σε σειρά με την αντίσταση που «φαίνεται» από τους ακροδέκτες αυτούς. Η αντίσταση του ισοδύναμου κυκλώματος υπολογίζεται εάν θεωρήσουμε βραχυκυκλωμένες τις πηγές τάσης και ανοιχτοκυκλωμένες τις πηγές ρεύματος.

Εάν λοιπόν βραχυκυκλώσουμε την πηγή σταθερής τάσης στο κύκλωμα που δίνεται στην εκφώνηση του θέματος προκύπτει το ακόλουθο κύκλωμα:

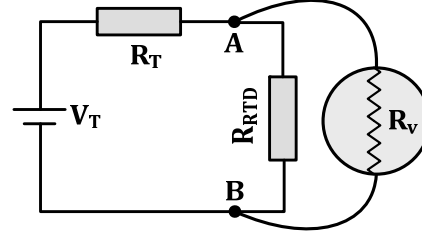
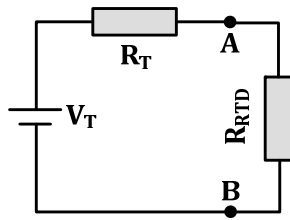


Απλοποιώντας σταδιακά το κύκλωμα του παραπάνω σχήματος καταλήγουμε στον υπολογισμό της αντίστασης (R_T) του ισοδύναμου κυκλώματος Thevenin:



$$R_T = \frac{(R_1 + R_2) \cdot R_3}{R_1 + R_2 + R_3} + R_4 + R_5 \Rightarrow R_T = \left[\frac{(200 + 400) \cdot 200}{200 + 400 + 200} + 300 + 550 \right] \Omega \Rightarrow R_T = 1000 \Omega = 1 \text{ k}\Omega.$$

Θεωρώντας ότι η τάση ανοιχτού κυκλώματος μεταξύ των κόμβων Α και Β είναι V_T , το ισοδύναμο κύκλωμα Thevenin είναι αυτό που παρουσιάζεται στο αριστερό μέρος του παρακάτω σχήματος:



Για τον αισθητήρα θερμοκρασίας RTD, ισχύει ότι:

$$R_{RTD} = R_{RTD0} \cdot (1 + \alpha \cdot \theta),$$

όπου R_{RTD0} η αντίσταση σε θερμοκρασία 0°C , R_{RTD} η αντίσταση σε θερμοκρασία $\theta^\circ\text{C}$ και α ο θερμοκρασιακός συντελεστής του μετάλλου από το οποίο είναι κατασκευασμένο το RTD.

Έτσι, η αντίσταση του RTD στην θερμοκρασία των 100°C , υπολογίζεται ως εξής:

$$R_{RTD} = R_{RTD0} \cdot (1 + \alpha \cdot \theta) \Rightarrow R_{RTD} = [500 \cdot (1 + 0,01 \cdot 100)] \Omega \Rightarrow R_{RTD} = 1000 \Omega = 1 \text{ k}\Omega.$$

Η ακριβής τάση μεταξύ των ακροδεκτών A και B (V_{AB}), όταν η θερμοκρασία του RTD είναι 100°C , έχει ως εξής:

$$V_{AB} = \frac{R_{RTD}}{R_{RTD} + R_T} \cdot V_T \Rightarrow V_{AB} = \frac{1}{1 + 1} \cdot V_T \Rightarrow V_{AB} = \frac{V_T}{2} = 0,5 \cdot V_T.$$

Μετά τη σύνδεση του βολτομέτρου (όπως φαίνεται στο δεξί μέρος του παραπάνω σχήματος) η τιμή της τάσης που θα μετρηθεί (V'_{AB}), έχει ως εξής:

$$V'_{AB} = \frac{\frac{R_{RTD} \cdot R_v}{R_{RTD} + R_v}}{\frac{R_{RTD} \cdot R_v}{R_{RTD} + R_v} + R_T} \cdot V_T \Rightarrow V'_{AB} = \frac{\frac{1 \cdot 7}{1 + 7}}{\frac{1 \cdot 7}{1 + 7} + 1} \cdot V_T \Rightarrow V'_{AB} \approx 0,467 \cdot V_T.$$

Το εκατοστιαίο σφάλμα της μέτρησης που οφείλεται στην εσωτερική αντίσταση του βολτομέτρου, έχει ως εξής:

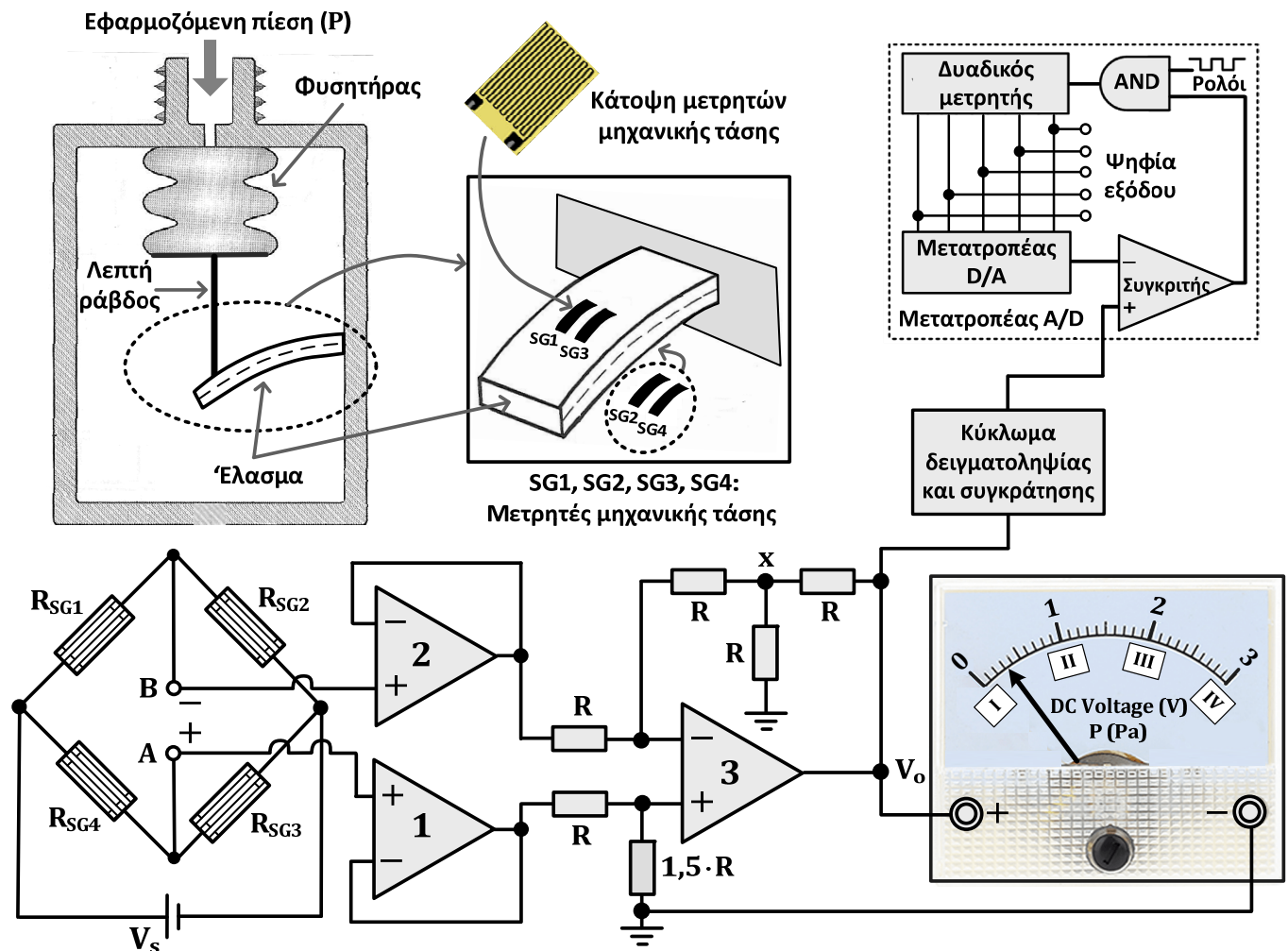
$$e(\%) = \frac{|V_{AB} - V'_{AB}|}{V_{AB}} \cdot 100 \Rightarrow e(\%) = \frac{|0,5 \cdot V_T - 0,467 \cdot V_T|}{0,5 \cdot V_T} \cdot 100 \Rightarrow e(\%) = \frac{0,5 - 0,467}{0,5} \cdot 100 \Rightarrow e(\%) = 6,6 \%.$$

ΘΕΜΑ 2ο (1,5 + 2,5 + 0,5 + 0,5 + 1 + 1 = 7 μονάδες)

Στην διάταξη μέτρησης πίεσης του παρακάτω σχήματος, συμμετέχουν ένας φυσητήρας με σταθερά $\lambda = 500 \text{ N/m}$ και εμβαδόν διατομής $A = 0,05 \text{ m}^2$ και 4 μετρητές μηχανικής τάσης SG1, SG2, SG3 και SG4, οι οποίοι είναι προσκολλημένοι στην άνω και στην κάτω πλευρά ενός ελάσματος, όπως παρουσιάζεται στο άνω μέρος του παρακάτω σχήματος. Το ένα άκρο του ελάσματος είναι ακλόνητα στερεωμένο σε σταθερό σημείο και το άλλο άκρο του είναι συνδεδεμένο με το κλειστό άκρο του φυσητήρα, μέσω λεπτής ράβδου. Όταν δεν εφαρμόζεται πίεση στο ανοιχτό άκρο του φυσητήρα, το έλασμα δεν κάμπτεται και οι μετρητές μηχανικής τάσης δεν υφίστανται παραμόρφωση. Όταν εφαρμόζεται πίεση (P) στον ανοιχτό άκρο του φυσητήρα, ασκείται σε αυτόν δύναμη F που του προκαλεί διαστολή d . Η διαστολή του φυσητήρα σταματά όταν η δύναμη F γίνει ίση με τη αντίθετη δύναμη $F_\phi = \lambda \cdot d$ που ασκείται από τον φυσητήρα. Η διαστολή (d) του φυσητήρα προκαλεί αντίστοιχη κάμψη του ελάσματος προς τα κάτω. Κάθε χιλιοστό κάμψης (d) του ελάσματος αντιστοιχεί σε 1000 με (microstrains) μηχανικής τάσης (ϵ) που ασκείται στους 4 μετρητές. Οι 4 μετρητές που είναι συνδεδεμένοι σε γέφυρα Wheatstone, όπως παρουσιάζεται στο κάτω μέρος του παρακάτω σχήματος, είναι όμοιοι με παράγοντα $G = 2$ και όταν δεν υφίστανται εφελκυσμό ή συμπίεση παρουσιάζουν αντίσταση $R_0 = 100 \Omega$. Η τάση εισόδου της γέφυρας είναι $V_s = 12 \text{ V}$. Η τάση εξόδου V_{AB} της γέφυρας συνδέεται σε κύκλωμα ρύθμισης που περιλαμβάνει 3 ιδανικούς τελεστικούς ενισχυτές και 6 αντιστάσεις. Η τάση εξόδου V_o του κυκλώματος ρύθμισης εισάγεται σε κύκλωμα μετατροπής που αποτελείται από κύκλωμα δειγματοληψίας και συγκράτησης (sample & hold) και μετατροπέα αναλογικού σήματος σε ψηφιακό (A/D). Η τάση αναφοράς V_{ref} του μετατροπέα είναι $6,4 \text{ V}$ και η συχνότητα f του σήματος ρολογιού είναι 32 kHz . Κατά

την έναρξη της μετατροπής μιας τιμής της τάσης εξόδου V_o του κυκλώματος ρύθμισης σε ψηφιακή μορφή, οι έξοδοι του δυαδικού μετρητή είναι μηδενικές.

- Να προσδιορίσετε τις αντιστάσεις των 4 μετρητών μηχανικής τάσης, σε σχέση με την πίεση P που εφαρμόζεται στο ανοιχτό άκρο του φυσητήρα.
- Να προσδιορίσετε την τάση εξόδου V_o του κυκλώματος ρύθμισης, σε σχέση με την πίεση P που εφαρμόζεται στο ανοιχτό άκρο του φυσητήρα.
- Να περιγράψετε σύντομα, αλλά με σαφήνεια, τη λειτουργία των ιδανικών τελεστικών ενισχυτών 1 και 2, καθώς και το ρόλο τους στη διάταξη.
- Να σχεδιάσετε με ακρίβεια το διάγραμμα της τάσης εξόδου V_o του κυκλώματος ρύθμισης ως προς την πίεση P που εφαρμόζεται στο ανοιχτό άκρο του φυσητήρα, για τιμές εφαρμοζόμενης πίεσης από 0 έως 500 Pa.
- Να προσδιορίσετε την ψηφιακή λέξη που θα εμφανιστεί στην έξοδο του μετατροπέα αναλογικού σήματος σε ψηφιακό, όταν η εφαρμοζόμενη πίεση P είναι 250 Pa και να υπολογίσετε τον αντίστοιχο χρόνο μετατροπής.
- Να υπολογίσετε την ευαισθησία (s) της διάταξης μέτρησης πίεσης, αναφέροντας σωστά τη μονάδα μέτρησής της (διαφορετικά η απάντησή σας δεν θα γίνει δεκτή) και να μετατρέψετε το βολτόμετρο της διάταξης σε πιεσόμετρο (δηλαδή, να το βαθμονομήσετε σε Pa), υπολογίζοντας τις κατάλληλες ενδείξεις I, II, III και IV που πρέπει να γραφτούν σε αυτό.



ΛΥΣΗ

- Όταν εφαρμόζεται πίεση P στο ανοιχτό άκρο του φυσητήρα, ασκείται σε αυτόν δύναμη $F = P \cdot A$ (A : εμβαδόν

διατομής φυσητήρα) που προκαλεί τη διαστολή του (d), έως ότου η δύναμη αυτή εξισωθεί με τη δύναμη που ασκείται από τον φυσητήρα $F_\varphi = \lambda \cdot d$:

$$F = F_\varphi \Rightarrow P \cdot A = \lambda \cdot d \Rightarrow P = \frac{\lambda \cdot d}{A} \Rightarrow d = \frac{P \cdot A}{\lambda} \Rightarrow d = \frac{P \cdot 0,05 \text{ m}^2}{500 \text{ N/m}} \Rightarrow d = 10^{-4} \cdot P.$$

Η μεταβολή της αντίστασης των μετρητών μηχανικής τάσης που υφίστανται τάση συμπίεσης ή εφελκυσμού ε , υπολογίζεται από την σχέση $\Delta R = G \cdot \varepsilon \cdot R_0$, όπου $R_0 = 100 \Omega$ είναι η αντίσταση των μετρητών όταν δεν υφίστανται συμπίεση ή εφελκυσμό. Λόγω του ότι κατά την κάμψη του ελάσματος προς τα κάτω οι μετρητές SG1 και SG3 υφίστανται εφελκυσμό (δηλαδή, αυξάνεται το μήκος τους), η αντίστασή τους αυξάνεται κατά ΔR . Αντιθέτως, λόγω του ότι οι μετρητές SG2 και SG4 υφίστανται συμπίεση (δηλαδή, μειώνεται το μήκος του), η αντίστασή τους μειώνεται κατά ΔR .

Επομένως, οι αντιστάσεις των 4 μετρητών σε σχέση με την ασκούμενη μηχανική τάση, έχουν ως εξής:

$$R_{SG1} = R_{SG3} = R_0 + \Delta R = R_0 + G \cdot \varepsilon \cdot R_0 = 100 + 2 \cdot 100 \cdot \varepsilon = 100 + 200 \cdot \varepsilon,$$

$$R_{SG2} = R_{SG4} = R_0 - \Delta R = 100 - 200 \cdot \varepsilon.$$

Επειδή κάθε χιλιοστό κάμψης (d) του ελάσματος αντιστοιχεί σε 1000 με μηχανικής τάσης, ισχύει ότι $\varepsilon = 1000 \cdot 10^{-6} \cdot d$ (με την κάμψη d σε mm) ή $\varepsilon = 1000 \cdot 10^{-6} \cdot d \cdot 10^3 = d$ (με την κάμψη d σε m). Έτσι, οι αντιστάσεις των 4 μετρητών μηχανικής τάσης, σε σχέση με την κάμψη d (σε m) του ελάσματος, είναι:

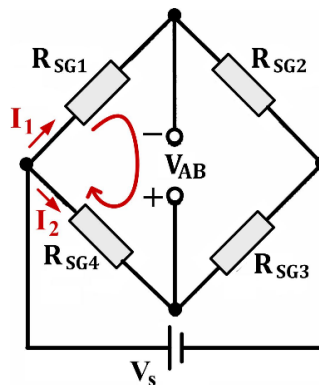
$$R_{SG1} = R_{SG3} = 100 + 200 \cdot \varepsilon = 100 + 200 \cdot d, \quad R_{SG2} = R_{SG4} = 100 - 200 \cdot d.$$

Συνδυάζοντας τις παραπάνω σχέσεις με την σχέση της κάμψης d με την εφαρμοζόμενη πίεση στο ανοιχτό άκρο του φυσητήρα, προσδιορίζουμε τις αντιστάσεις των 4 μετρητών μηχανικής τάσης, σε σχέση με την πίεση P που εφαρμόζεται στο ανοιχτό άκρο του φυσητήρα:

$$R_{SG1} = R_{SG3} = 100 + 200 \cdot (10^{-4} \cdot P) \Rightarrow \mathbf{R_{SG1} = R_{SG3} = 100 + 0,02 \cdot P} \text{ και } \mathbf{R_{SG2} = R_{SG4} = 100 - 0,02 \cdot P}.$$

β) Εφαρμόζουμε τον 2^ο κανόνα Kirchhoff στον αριστερό βρόχο της γέφυρας:

$$I_1 R_{SG1} - V_{AB} - I_2 R_{SG4} = 0 \Rightarrow V_{AB} = I_1 R_{SG1} - I_2 R_{SG4}.$$



Υπολογίζουμε στη συνέχεια τα ρεύματα I_1 και I_2 :

$$I_1 = \frac{V_s}{R_{SG1} + R_{SG2}}, \quad I_2 = \frac{V_s}{R_{SG3} + R_{SG4}}.$$

$$V_{AB} = \frac{V_s}{R_{SG1} + R_{SG2}} \cdot R_{SG1} - \frac{V_s}{R_{SG3} + R_{SG4}} \cdot R_{SG4} \Rightarrow$$

$$V_{AB} = \frac{12}{100 + 0,02 \cdot P + 100 - 0,02 \cdot P} \cdot (100 + 0,02 \cdot P) - \frac{12}{100 + 0,02 \cdot P + 100 - 0,02 \cdot P} \cdot (100 - 0,02 \cdot P) \Rightarrow$$

$$V_{AB} = \frac{12}{200} \cdot [(100 + 0,02 \cdot P) - (100 - 0,02 \cdot P)] \Rightarrow V_{AB} = \frac{12 \cdot 0,04 \cdot P}{200} \Rightarrow V_{AB} = 0,0024 \cdot P.$$

Οι ακροδέκτες εξόδου της γέφυρας Α και Β, συνδέονται στις εισόδους των ιδανικών τελεστικών ενισχυτών 1 και 2, των οποίων η αντίσταση εισόδου είναι άπειρη, με αποτέλεσμα το ρεύμα που κατευθύνεται προς την έξοδο της γέφυρας να είναι μηδενικό. Στους ενισχυτές αυτούς, η τάση εξόδου τους είναι ίση με την τάση εισόδου τους. Αυτό συμβαίνει διότι στον ιδανικό τελεστικό ενισχυτή ισχύει ότι $V_+ = V_-$ (ιδιότητα αντιγραφής των τάσεων στις εισόδους του ιδανικού τελεστικού ενισχυτή) και αφού η τάση εισόδου τροφοδοτεί τη μη αντιστρέφουσα είσοδο και η έξοδος συνδέεται στην αντιστρέφουσα είσοδο του τελεστικού ενισχυτή, προκύπτει εύκολα ότι η τάση εξόδου αυτών των τελεστικών ενισχυτών ισούται με την τάση εισόδου τους.

Επομένως, το κύκλωμα που ακολουθεί και αποτελείται από 6 αντιστάσεις και τον ιδανικό τελεστικό ενισχυτή 3, δέχεται στις δύο εισόδους του τις τάσεις V_A και V_B . Για τον υπολογισμό της τάσης εξόδου του κυκλώματος ρύθμισης (V_o), εφαρμόζουμε την μέθοδο ανάλυσης των κόμβων, στο κύκλωμα που περιλαμβάνει τις 6 αντιστάσεις και τον ιδανικό τελεστικό ενισχυτή 3. Εφαρμόζουμε δηλαδή, τον 1^ο κανόνα Kirchhoff στον κόμβο της αντιστρέφουσας εισόδου, στον κόμβο της μη αντιστρέφουσας εισόδου του τελεστικού ενισχυτή και στον κόμβο x. Σε καθένα από τους κόμβους αυτούς, εξισώνουμε το άθροισμα των αγωγιμοτήτων (δηλαδή των αντίστροφων αντιστάσεων) που ξεκινούν από τους κόμβους αυτούς, πολλαπλασιασμένο με την τάση τους, με το άθροισμα των γινομένων των αγωγιμοτήτων αυτών με τις τάσεις των κόμβων στους οποίους καταλήγουν.

Στον κόμβο της μη αντιστρέφουσας εισόδου του τελεστικού ενισχυτή 3, έχουμε:

$$\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{1,5 \cdot R}\right) \cdot V_+ = \frac{V_A}{R} \Rightarrow \left(1 + \frac{2}{3}\right) \cdot V_+ = V_A \Rightarrow \frac{5}{3} \cdot V_+ = V_A.$$

Στον κόμβο της αντιστρέφουσας εισόδου του τελεστικού ενισχυτή 3, έχουμε:

$$\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R}\right) \cdot V_- = \frac{V_B}{R} + \frac{V_x}{R} \Rightarrow 2 \cdot V_- = V_B + V_x.$$

Στον κόμβο x, έχουμε:

$$\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R} + \frac{1}{R}\right) \cdot V_x = \frac{V_-}{R} + \frac{V_o}{R} \Rightarrow 3 \cdot V_x = V_- + V_o \Rightarrow V_x = \frac{V_-}{3} + \frac{V_o}{3}.$$

Συνδυάζοντας, τις δύο παραπάνω σχέσεις, λαμβάνουμε:

$$2 \cdot V_- = V_B + V_x \Rightarrow 2 \cdot V_- = V_B + \frac{V_-}{3} + \frac{V_o}{3} \Rightarrow \frac{5}{3} \cdot V_- = V_B + \frac{V_o}{3}.$$

Λόγω της ιδιότητας αντιγραφής των τάσεων στις εισόδους του τελεστικού ενισχυτή ($V_+ = V_-$), συνδυάζοντας την πρώτη σχέση με την παραπάνω σχέση, προκύπτει ότι:

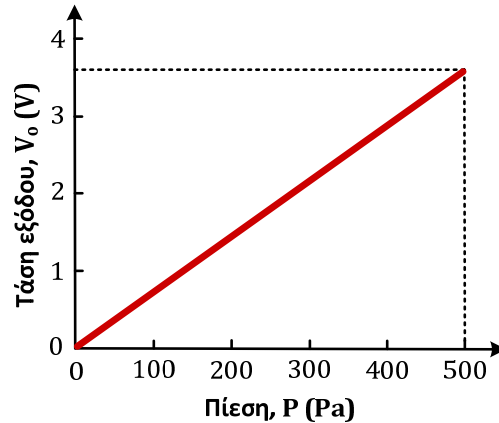
$$V_A = V_B + \frac{V_o}{3} \Rightarrow V_o = 3 \cdot (V_A - V_B) \Rightarrow V_o = 3 \cdot V_{AB}.$$

Αντικαθιστώντας στην παραπάνω σχέση, την σχέση της τάσης V_{AB} με την εφαρμοζόμενη πίεση, καταλήγουμε στον προσδιορισμό της τάσης V_o σε σχέση με την εφαρμοζόμενη πίεση:

$$V_o = 3 \cdot V_{AB} \Rightarrow V_o = 3 \cdot 0,0024 \cdot P \Rightarrow V_o = 0,0072 \cdot P.$$

- γ) Η λειτουργία των τελεστικών ενισχυτών 1 και 2 του κυκλώματος ρύθμισης, εξηγήθηκε στην απάντηση του προηγούμενου ερωτήματος, όπου προέκυψε ότι η τάση εξόδου των τελεστικών ενισχυτών 1 και 2 ισούται με την τάση εισόδου τους. Η εν λόγω συνδεσμολογία είναι γνωστή ως ακολουθητής τάσης, αλλά και ως απόμονωτης (λόγω της μεγάλης αντίστασης εισόδου της) και ο ρόλος της είναι να απομονώνει το τμήμα της διάταξης μέτρησης πίεσης που περιλαμβάνει τους αισθητήρες (φυσική και 4 μετρητές μηχανικής τάσης) από το κύκλωμα ενίσχυσης (που περιλαμβάνει ιδανικό τελεστικό ενισχυτή και 6 αντιστάσεις), διαβιβάζοντας το ακριβές σήμα που προκύπτει από την διέγερση των αισθητήρων στο κύκλωμα ενίσχυσης.
- δ) Η παραπάνω συνάρτηση της τάσης εξόδου V_o της διάταξης με τη εφαρμοζόμενη πίεση είναι γραμμική, συνε-

πώς για το σχεδιασμό της απαιτούμενης ευθείας γραφικής παράστασης, αρκεί ο προσδιορισμός των δύο ακραίων σημείων της. Για $P = 0 \text{ Pa}$ προκύπτει ότι $V_o = 0 \text{ V}$, ενώ για $P = 500 \text{ Pa}$ προκύπτει ότι $V_o = 3,6 \text{ V}$. Συνεπώς, η ζητούμενη γραφική παράσταση έχει ως εξής:



- ε) Για έναν μετατροπέα A/D με n δυαδικά ψηφία εξόδου, η ψηφιακή έξοδος μπορεί να λάβει 2^n διαφορετικές τιμές, συνεπώς εάν το εύρος μετατροπής είναι V_{ref} , θα προκύπτει διαφορετική τιμή εξόδου όταν οι τάσεις εισόδου διαφέρουν τουλάχιστον κατά $V_{\text{ref}} / 2^n$. Η τιμή αυτή αποτελεί και το βήμα διακριτότητας του μετατροπέα. Λόγω του ότι ο μετατροπέας A/D που περιλαμβάνεται στο κύκλωμα έχει εύρος μετατροπής $6,4 \text{ V}$ και περιλαμβάνει 5 ψηφία εξόδου (δηλαδή, $n = 5$), το βήμα διακριτότητας υπολογίζεται ως εξής:

$$\frac{V_{\text{ref}}}{2^n} = \frac{6,4 \text{ V}}{2^5} = \frac{6,4}{32} \text{ V} = 0,2 \text{ V}.$$

Αυτό σημαίνει ότι οι τάσεις εισόδου του μετατροπέα που αντιστοιχούν σε διαδοχικούς συνδυασμούς των ψηφίων εξόδου διαφέρουν κατά $0,2 \text{ V}$. Από την σχέση προσδιορισμού της V_o του προηγούμενου ερωτήματος, προκύπτει ότι όταν $P = 250 \text{ Pa}$:

$$V_o = 0,0072 \cdot P = 0,0072 \cdot 250 = 1,8 \text{ V}.$$

Εάν διαιρέσουμε την τάση εξόδου των $1,8 \text{ V}$ με το βήμα διακριτότητας, προκύπτει η δεκαδική μορφή της ψηφιακής λέξης εξόδου, δηλαδή $1,8 / 0,2 = 9$, η οποία σε δυαδική μορφή με 5 ψηφία, είναι η λέξη **01001**.

Αφού κατά την έναρξη λειτουργίας του μετατροπέα οι έξοδοι του δυαδικού μετρητή είναι μηδενικές, αρχικά η ψηφιακή έξοδος αποτελείται από 5 μηδενικά. Μετά από κάθε κύκλο του σήματος ρολογιού, η ψηφιακή έξοδος αυξάνεται κατά 1, με αποτέλεσμα για την μετατροπή της τάσης $V_o = 1,8 \text{ V}$ να απαιτούνται $1,8 / 0,2 = 9$ κύκλοι του σήματος ρολογιού. Αφού η διάρκεια παλμού (περίοδος) του σήματος ρολογιού είναι $1 / 32 \text{ kHz} = 31,25 \mu\text{s}$, ο χρόνος μετατροπής (t_c), υπολογίζεται ως εξής: $t_c = (9 \cdot 31,25) \mu\text{s} \Rightarrow t_c = \mathbf{281,25 \mu\text{s}}$.

- στ) Στο ερώτημα (β), προέκυψε ότι η τάση εξόδου V_o της διάταξης σε σχέση με την εφαρμοζόμενη πίεση, δίνεται από την σχέση: $V_o = 0,0072 \cdot P$. Σύμφωνα με την σχέση αυτή, η ευαισθησία (s) της διάταξης μέτρησης πίεσης, που ισούται με το λόγο της μεταβολής της εξόδου της (ένδειξη βολτομέτρου) προς τη μεταβολή της εισόδου της (εφαρμοζόμενη πίεση), είναι:

$$s = V_o / P \Rightarrow s = (0,0072 \cdot P) / P \Rightarrow \mathbf{s = 0,0072 \text{ V/Pa} = 7,2 \text{ mV/Pa}}.$$

Από την τιμή της ευαισθησίας που υπολογίστηκε, προκύπτει ότι σε κάθε Pa εφαρμοζόμενης πίεσης αντιστοιχούν $7,2 \text{ mV}$ ένδειξης βολτομέτρου. Συνεπώς, οι ενδείξεις (σε Pa) που πρέπει να γραφτούν στο βολτόμετρο, έτσι ώστε αυτό να μετατραπεί (βαθμονομηθεί) σε πιεσόμετρο, υπολογίζονται από την σχέση $P = V_o / s$ και είναι οι ακόλουθες:

$$I = 0 \text{ mV} / 7,2 \text{ mV/Pa} \Rightarrow \mathbf{I = 0 \text{ Pa}}$$

$$II = 1000 \text{ mV} / 7,2 \text{ mV/Pa} \Rightarrow \mathbf{II = 138,9 \text{ Pa}}$$

$$III = 2000 \text{ mV} / 7,2 \text{ mV/Pa} \Rightarrow \mathbf{III = 277,8 \text{ Pa}}$$

$$IV = 3000 \text{ mV} / 7,2 \text{ mV/Pa} \Rightarrow \mathbf{IV = 416,7 \text{ Pa}}.$$