

Μέρος 3^ο

ΓΡΑΜΜΙΚΟΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΣ ΔΙΑΦΟΡΙΚΟΣ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗΣ (LVDT)

Αισθητήρες για μέτρηση απόστασης

Αντιστοιχεί στο κεφάλαιο 6 (πργ. 6.6) του βιβλίου των Κ. Καλαϊτζάκη και Ε. Κουτρούλη
“Ηλεκτρικές μετρήσεις και αισθητήρες: Αρχές λειτουργίας και σχεδιασμός των
ηλεκτρονικών συστημάτων μέτρησης”

Βιβλιογραφία

1. Jon S. Wilson, “Sensor Technology Handbook”, Newnes, Κεφάλαια 9 και 15
<https://www.sciencedirect.com/science/book/9780750677295>
2. Bolton, W., “Mechatronics: Electronic control systems in mechanical and electrical engineering”, Pearson, Κεφ. 2 παράγραφος 2.3.4

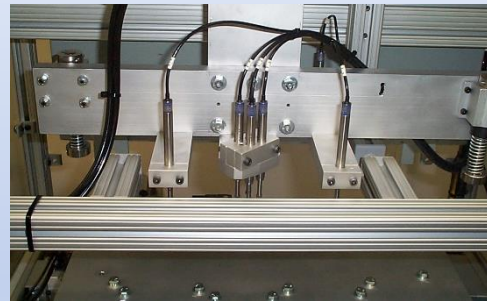
Γραμμικός Μεταβλητός Διαφορικός Μετασχηματιστής (LVDT)

– Ακριβής, ευαίσθητος και αξιόπιστος γραμμικός αισθητήρας θέσης



– Χρησιμοποιείται κυρίως σε

- Μοντέρνες εργαλειομηχανές



- Ρομποτική

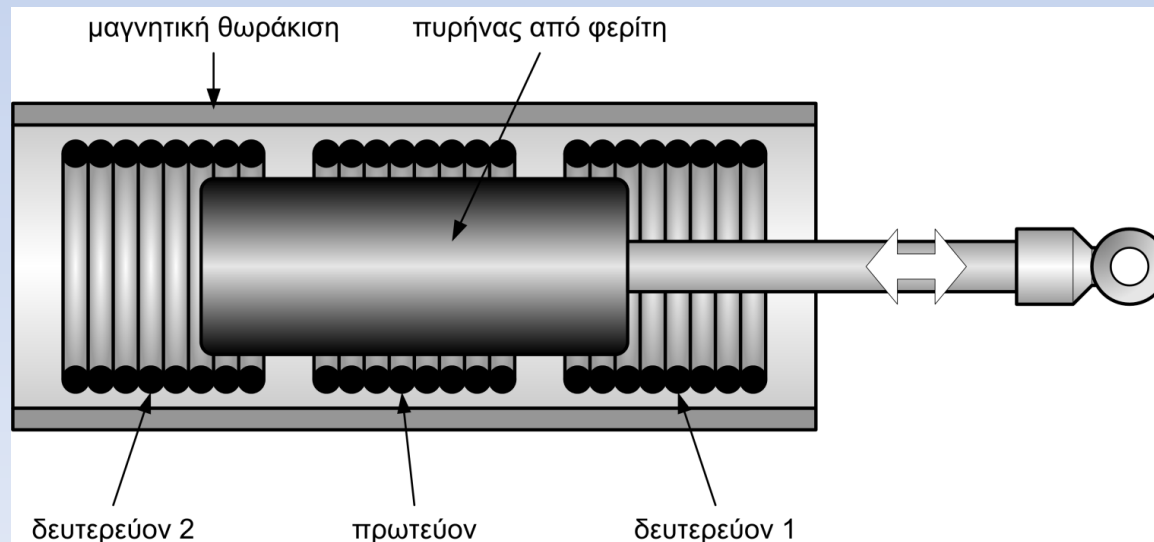


- Αεροναυπηγική (πτερύγια-flaps, ουρά-rudder)

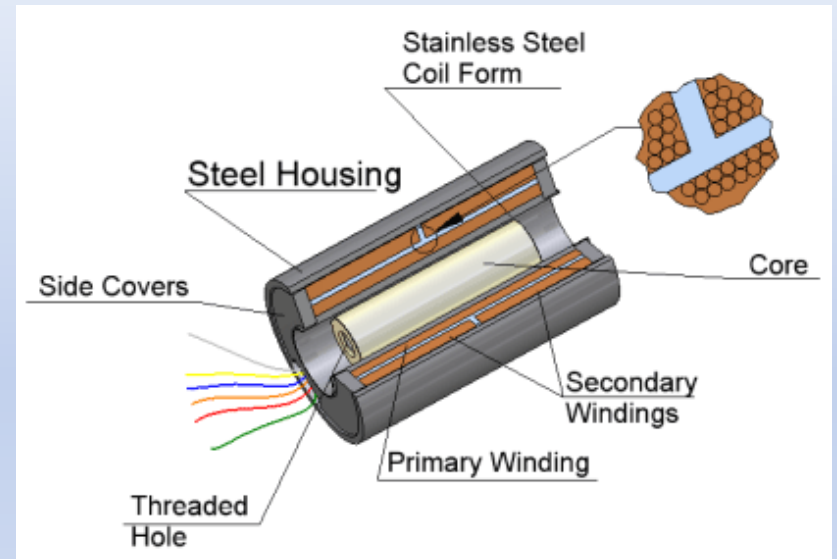
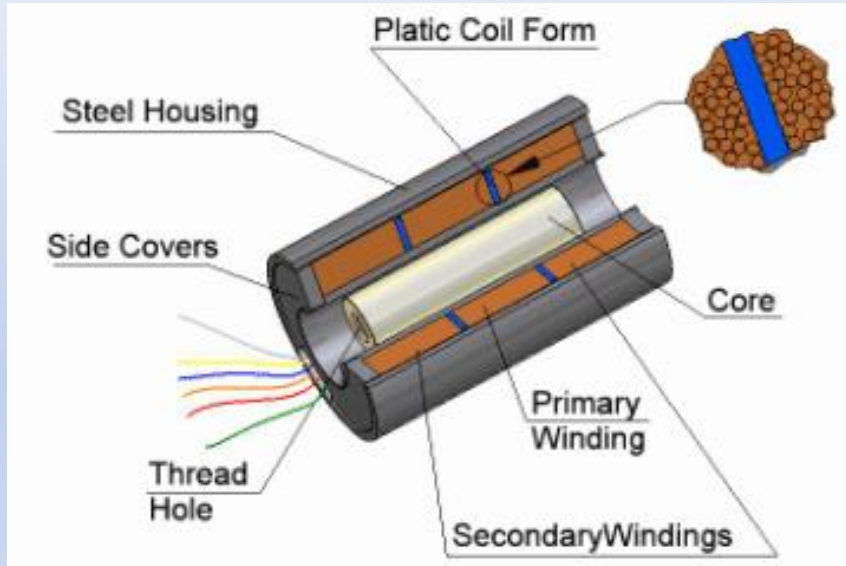


Γραμμικός Μεταβλητός Διαφορικός Μετασχηματιστής (LVDT)

- Ο LVDT (Linear Variable Differential Transformer) είναι ο σημαντικότερος μετατροπέας επαγωγικού τύπου.
- Αποτελείται από
 - ένα κεντρικό **πρωτεύον** πηνίο
 - δύο **όμοια δευτερεύοντα** πηνία **τυλιγμένα σε αντίθετες φορές** τοποθετημένα συμμετρικά ως προς το πρωτεύον
 - ένα **πυρήνα** από σιδηρομαγνητικό υλικό που κινείται γραμμικά στο εσωτερικό των πηνίων.

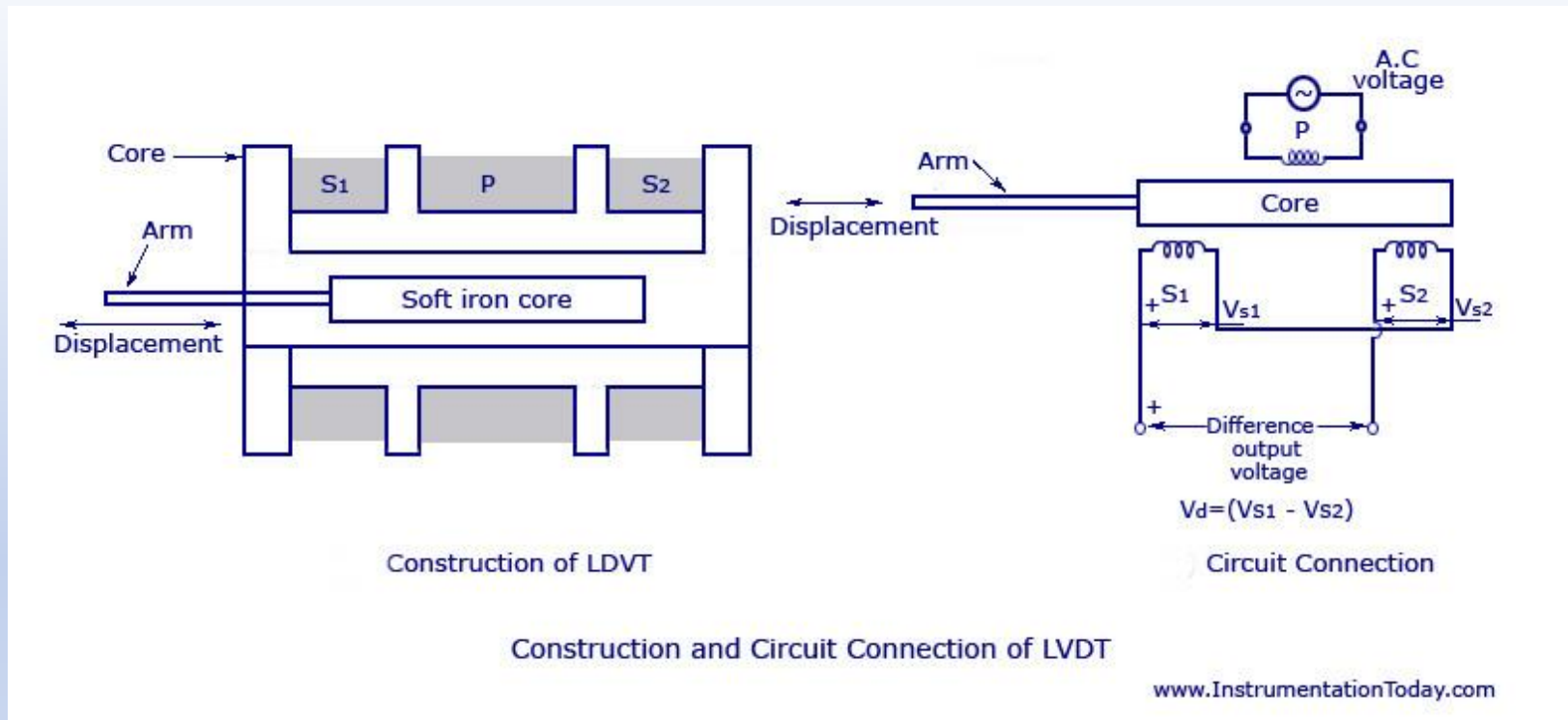


Δύο τυπικές μορφές LVDT



Πηγή: http://www.singer-instruments.com/products/tutorials/lvdt/lvdt_tut.php

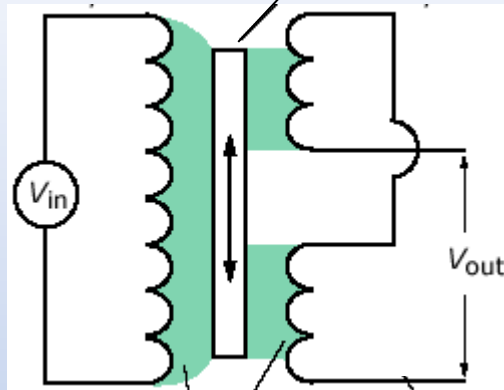
Σχηματικό διάγραμμα του LVDT



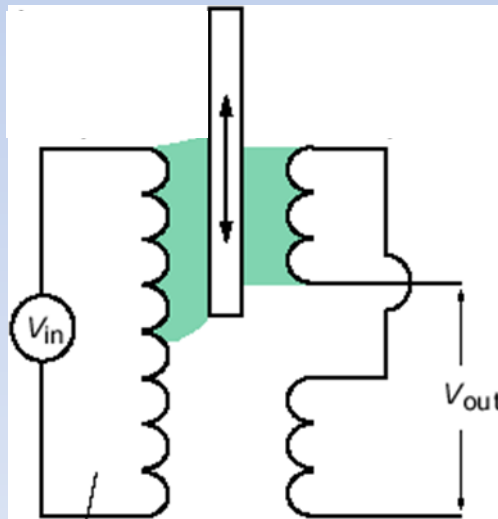
- Το πρωτεύον πηνίο (P) τροφοδοτείται από πηγή εναλασσόμενης τάσης (A.C. voltage) 3 ως 15 V_{rms} συχνότητας 50 Hz ως 20 kHz
- Στα δευτερεύοντα πηνία (S_1 και S_2) επάγονται τάσεις V_{s1} και V_{s2} ίδιας συχνότητας
- Τα δευτερεύοντα συνδέονται έτσι ώστε οι τάσεις τους να έχουν αντίθετα πρόσημα, επομένως, η τάση εξόδου V_o είναι η διαφορά τους: $V_o = V_{s1} - V_{s2}$

Λειτουργία του LVDT

Σιδερένιος πυρήνας



- Όταν ο πυρήνας είναι στο κέντρο, οι τάσεις των δύο δευτερευόντων πηνίων είναι αντίθετες.
- Η συνολική τάση εξόδου είναι μηδέν, $V_{out} = 0 \text{ V}$



- Όταν ο πυρήνας κινείται εκτός κέντρου, η τάση του ενός δευτερεύοντος (προς το οποίο κινείται) αυξάνει, ενώ, η τάση του άλλου δευτερεύοντος μειώνεται.
- Η συνολική τάση εξόδου V_{out} αυξάνεται γραμμικά με τη θέση του πυρήνα.

Ισοδύναμο κύκλωμα του LVDT

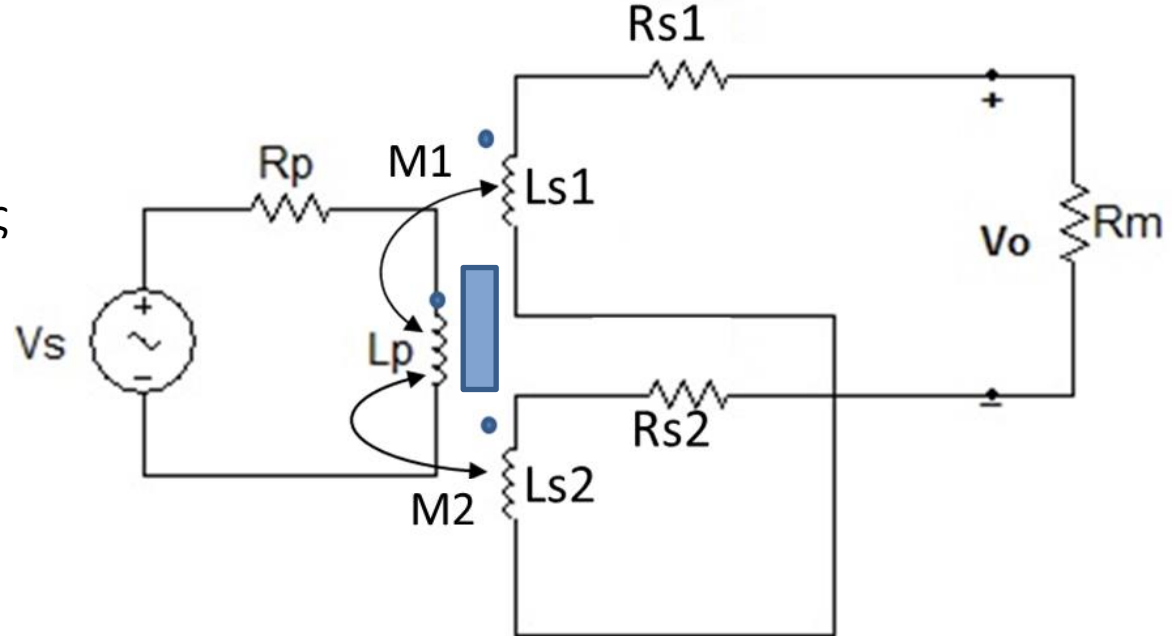
- V_s : AC τάση τροφοδοσίας
- R_p : αντίσταση πρωτεύοντος πηνίου
- L_p : αυτεπαγωγή πρωτεύοντος πηνίου
- R_{s1} και R_{s2} αντιστάσεις δευτερευόντων πηνίων

$$R_{s1} \cong R_{s2} = R_s$$

- L_{s1} και L_{s2} αυτεπαγωγές δευτερευόντων πηνίων

$$L_{s1} \cong L_{s2} = L_s$$

- $M1$ αμοιβαία επαγωγή μεταξύ πρωτεύοντος και δευτερεύοντα 1
- $M2$ αμοιβαία επαγωγή μεταξύ πρωτεύοντος και δευτερεύοντα 2
 - Πυρήνας στο κέντρο: $M1 = M2$
 - Πυρήνας προς το δευτερεύον 1: $M1 \gg M2$
 - Πυρήνας προς το δευτερεύον 2: $M1 \ll M2$
- R_m αντίσταση οργάνου μέτρησης (βολτομέτρου ή παλμογράφου)
- V_o τάση εξόδου μετρούμενη στο όργανο μέτρησης



Οι τάσεις και τα ρεύματα στο ισοδύναμο κύκλωμα του LVDT

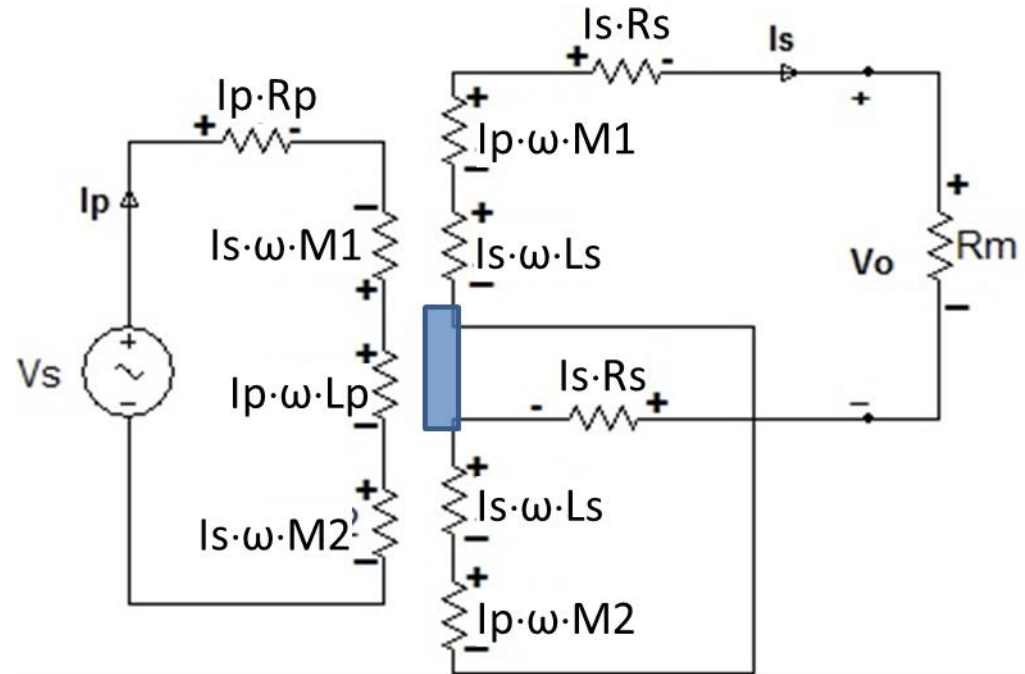
- ω η συχνότητα της πηγής τάσης V_s
- I_p ας ρεύμα στο πρωτεύον πηνίο
- I_s ας ρεύμα στο δευτερεύον πηνίο

A. Πτώσεις τάσης στο πρωτεύον

- $I_p \cdot R_p$ λόγω ωμικής αντίστασης
- $I_p \cdot \omega \cdot L_p$ λόγω αυτεπαγωγής
- $I_s \cdot \omega \cdot M1$ λόγω αμοιβαίας επαγωγής με το δευτερεύον 1
- $I_s \cdot \omega \cdot M2$ λόγω αμοιβαίας επαγωγής με το δευτερεύον 2

B. Πτώσεις τάσης στο δευτερεύον κύκλωμα

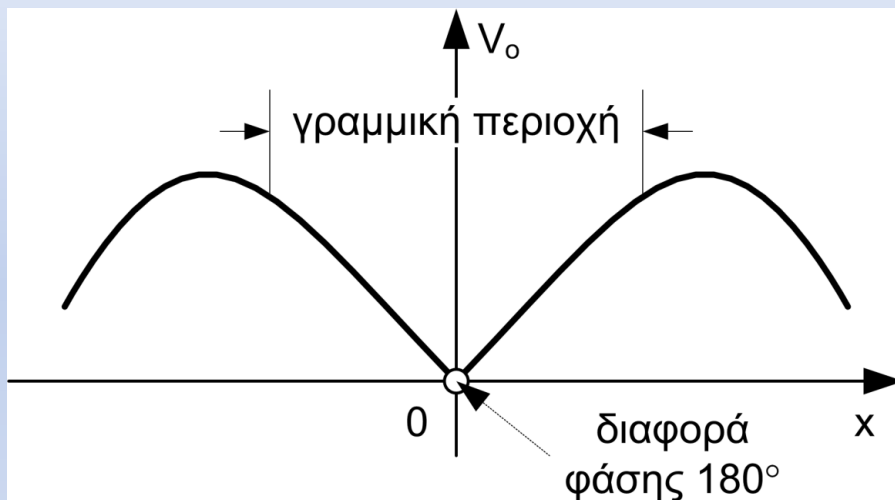
- $I_s \cdot R_s$ λόγω ωμικής αντίστασης κάθε δευτερεύοντος
- $I_s \cdot \omega \cdot L_s$ λόγω αυτεπαγωγής
- $I_p \cdot \omega \cdot M1$ λόγω αμοιβαίας επαγωγής δευτερεύοντος 1 με το πρωτεύον
- $I_p \cdot \omega \cdot M2$ λόγω αμοιβαίας επαγωγής με το δευτερεύοντος 2 με το πρωτεύον



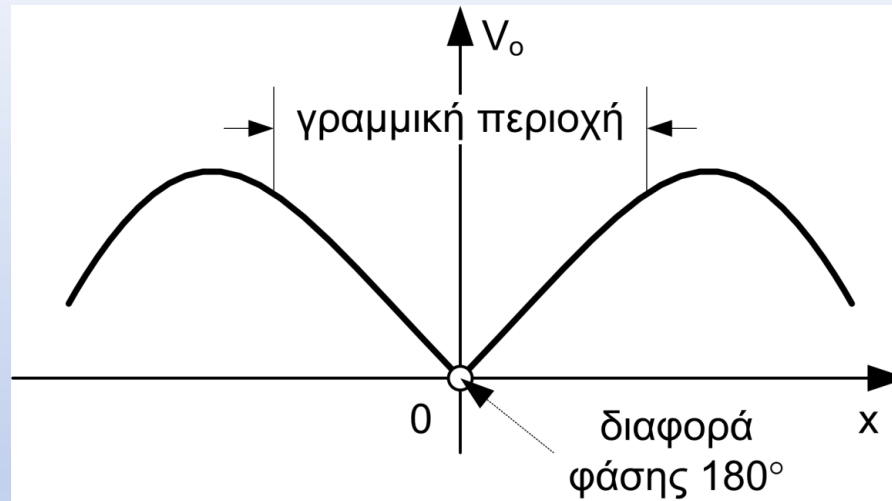
Η μορφή της τάσης εξόδου V_o ως προς τη θέση x του πυρήνα

$$V_o = \frac{\omega R_m V_s}{(R_m + R_s) \sqrt{R_p^2 + \omega^2 L_p^2}} |M_2 - M_1|$$

- Για $M_1 = M_2$ (ο πυρήνας στο κέντρο μεταξύ των δύο δευτερευόντων πηνίων) $V_o = 0$
- Ο LVDT χρησιμοποιείται στη γραμμική περιοχή, δηλαδή, για μικρές σχετικά μετατοπίσεις του πυρήνα.
- Η μη-γραμμική περιοχή της συνάρτησης μεταφοράς αντιστοιχεί σε μετακινήσεις του πυρήνα εκτός των περιελίξεων των δευτερευόντων πηνίων.

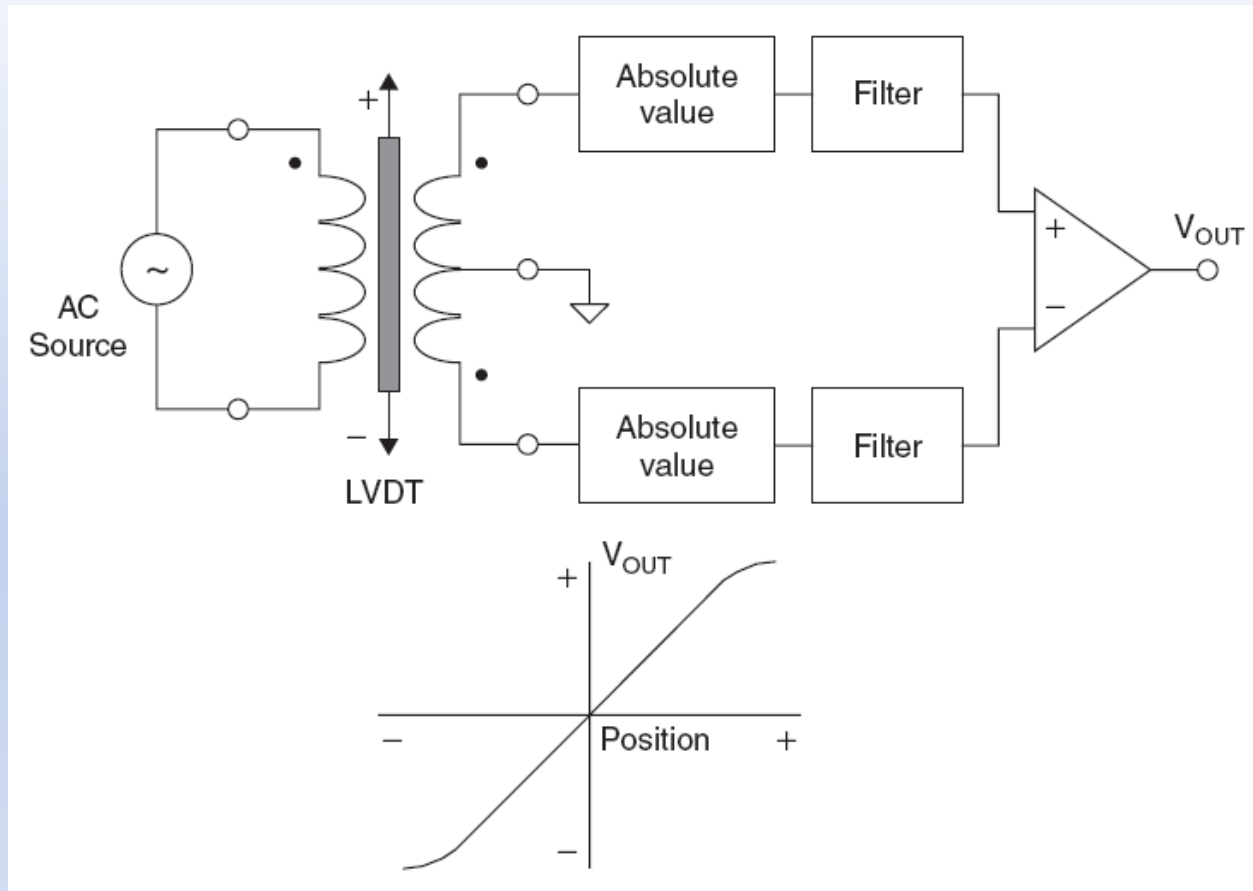


Η μορφή της τάσης εξόδου V_o ως προς τη θέση x του πυρήνα (συνέχεια)



- Μετρώντας απλά την τάση εξόδου V_o
 - i. δεν πετυχαίνουμε ακριβή μηδενισμό της όταν ο πυρήνας είναι στο κέντρο, λόγω μικρών διαφορών μεταξύ των δύο δευτερευόντων πηνίων
 - ii. δεν μας λέει προς ποια πλευρά κινείται ο πυρήνας.

Κύκλωμα επεξεργασίας τάσης εξόδου του LVDT



<http://www.analog.com/en/analog-dialogue/articles/linear-variable-differential-transformers.html>

- Η απόλυτη τιμή (Absolute value) των τάσεων εξόδου των δύο δευτερευόντων πηνίων αφαιρούνται.

4^η Εργαστηριακή άσκηση

Γραμμικός Μεταβλητός Διαφορικός Μετασχηματιστής (LVDT)

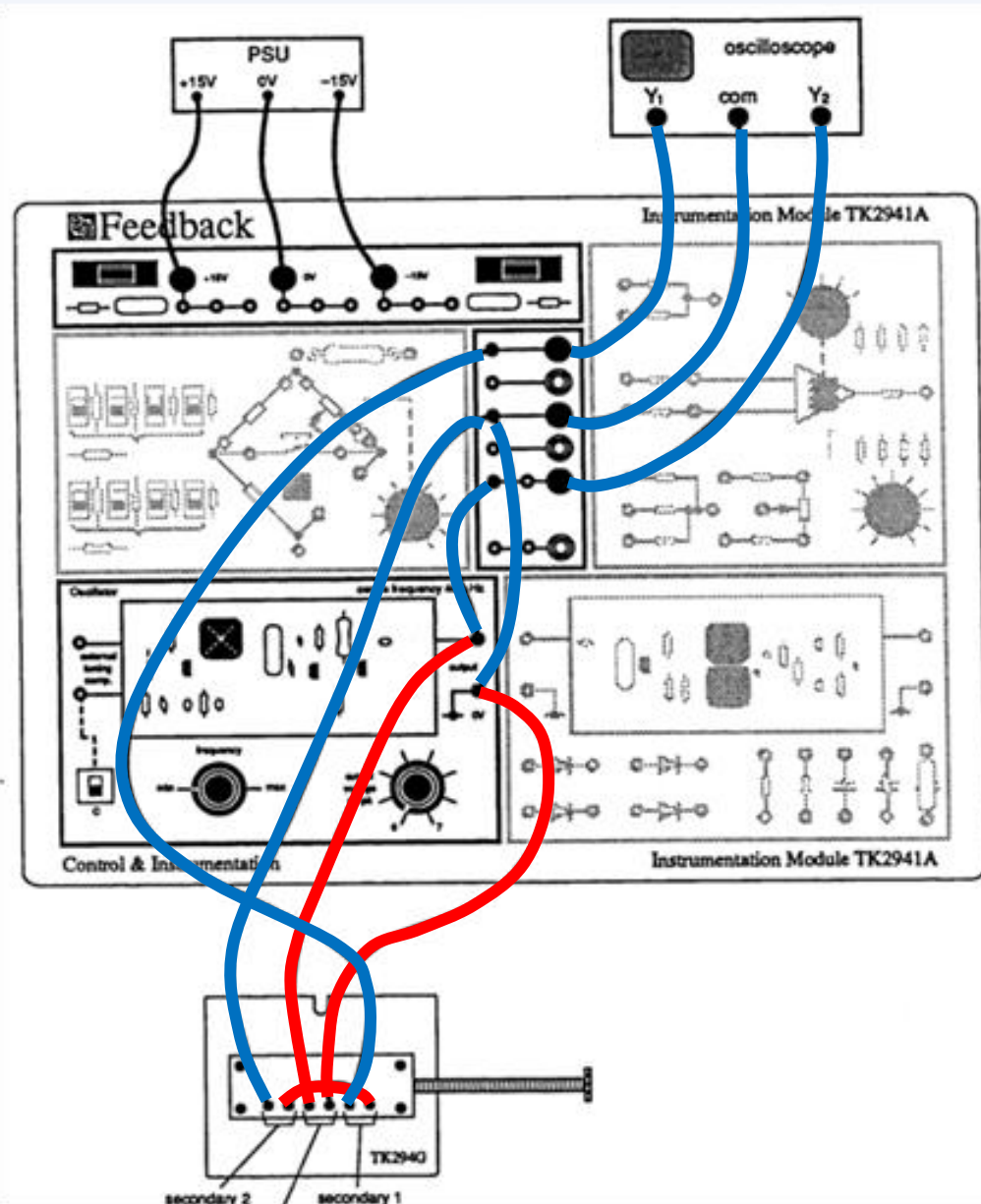
ΣΤΟΧΟΙ ΤΗΣ ΑΣΚΗΣΗΣ

- Να μάθουμε τι σημαίνουν οι όροι *Γραμμικότητα* και *Κλίμακα Εισόδου* σε έναν μετασχηματιστή αμοιβαίας επαγωγής.
- Να δούμε πως μπορούμε να πάρουμε μια dc τάση εξόδου από έναν μετατροπέα αμοιβαίας επαγωγής που λειτουργεί με ένα σύστημα διαμόρφωσης συχνότητας (FM).

ΤΑ ΜΕΡΗ ΤΗΣ ΑΣΚΗΣΗΣ

- Γραμμικός Μεταβλητός Διαφορικός Μετασχηματιστής (LVDT) AC Εξόδου
- Γραμμικός Μεταβλητός Διαφορικός Μετασχηματιστής (LVDT) DC Εξόδου

Μέρος 1: Γραμμικός Μεταβλητός Διαφορικός Μετασχηματιστής (LVDT) AC Εξόδου – Η συνδεσμολογία



1. Συνδέστε την έξοδο (output) του ταλαντωτή (Oscillator) στο πρωτεύον του LVDT και στο κανάλι 2 του παλμογράφου.
2. Γεφυρώστε τα δύο δευτερεύοντα πηνία.
3. Συνδέστε την έξοδο τις άκρες των δευτερευόντων πηνίων στο κανάλι 1 του παλμογράφου.

Μέρος 1: Γραμμικός Μεταβλητός Διαφορικός Μετασχηματιστής (LVDT) AC Εξόδου – Εκτέλεση των μετρήσεων

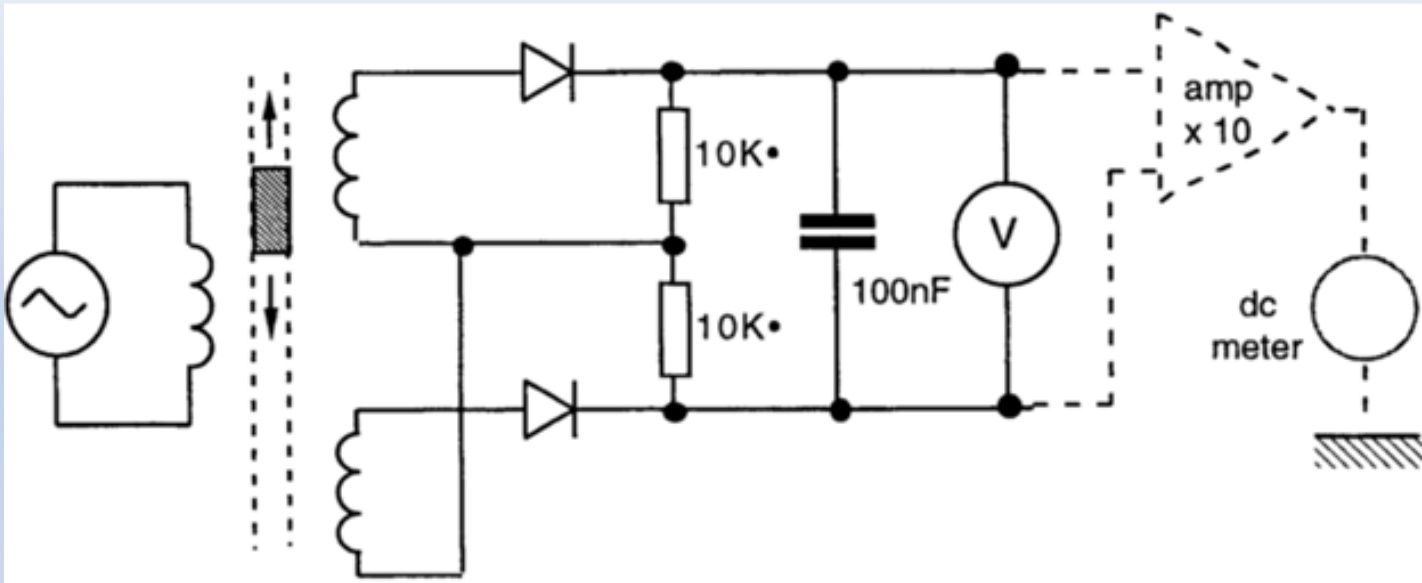
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.17.3

- Χρησιμοποιώντας το μικρό-μετρο, μετακινήστε τον πυρήνα με βήμα 1mm, καταγράφοντας σε κάθε βήμα την τάση εξόδου
- Επαναλάβετε ως τα 25 mm.
- Σημειώστε το κεντρικό τμήμα της γραφικής παράστασης που προσεγγίζει περισσότερο την ευθεία

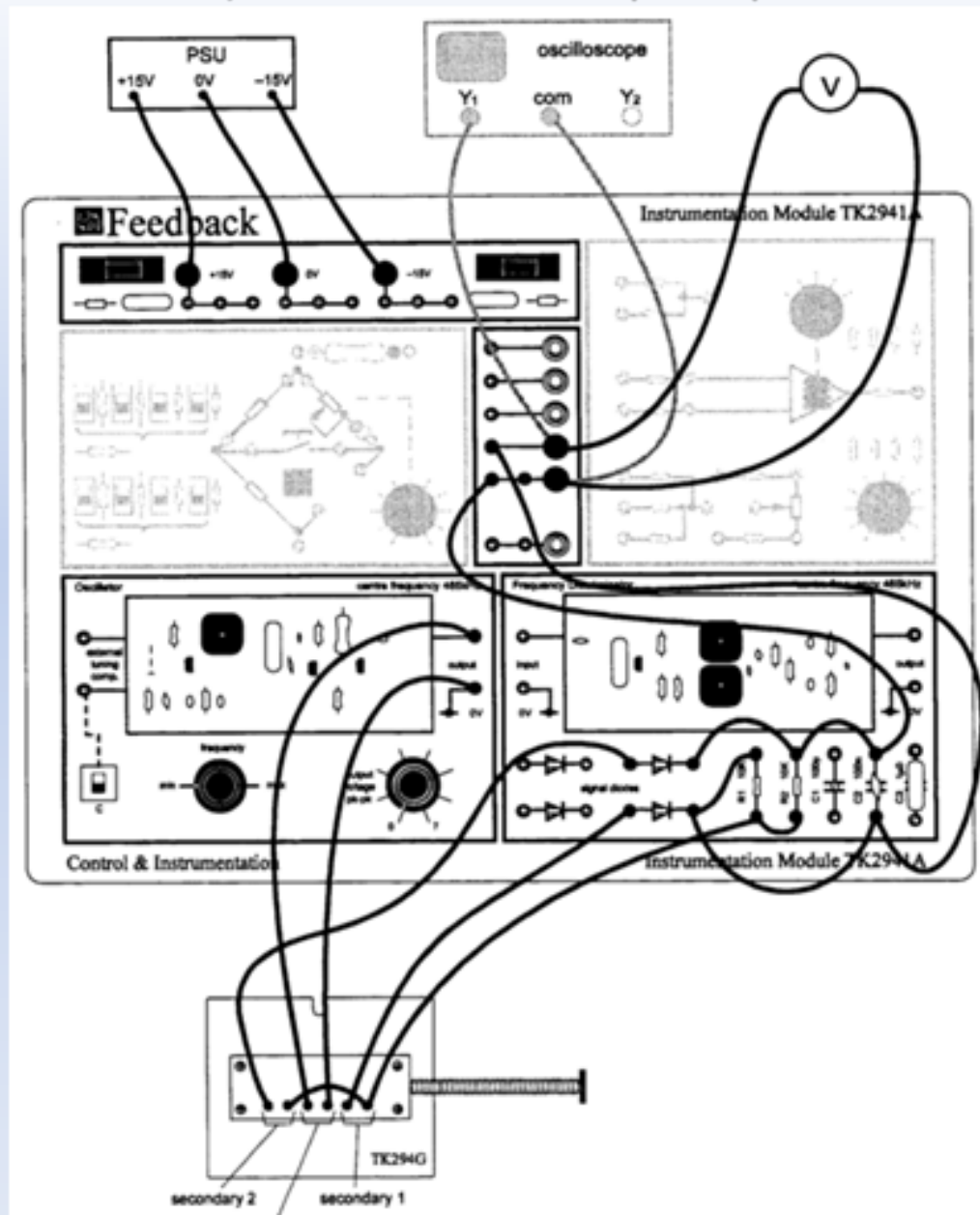
ΠΡΟΒΛΗΜΑ: Υπολογίστε το σφάλμα γραμμικότητας % της τάσης εξόδου του LVDT.

[illegible]

Μέρος 2: Γραμμικός Μεταβλητός Διαφορικός Μετασχηματιστής (LVDT) DC Εξόδου – Το κύκλωμα



Μέρος 2: Γραμμικός Μεταβλητός Διαφορικός Μετασχηματιστής (LVDT) DC Εξόδου – Η συνδεσμολογία



Μέρος 1: Γραμμικός Μεταβλητός Διαφορικός Μετασχηματιστής (LVDT) DC Εξόδου – Εκτέλεση των μετρήσεων

- Χρησιμοποιώντας τις ενδείξεις του βολτομέτρου, συμπληρώστε τη στήλη 'Τάση εξόδου dc (Volts)' του Πίνακα 4.17.3.

ΠΡΟΒΛΗΜΑ: Από τη γραφική παράσταση της τάσης εξόδου $V_{dc}(x)$ ή τις τιμές του Πίνακα 4.17.3., υπολογίστε την ευαισθησία της διάταξης.