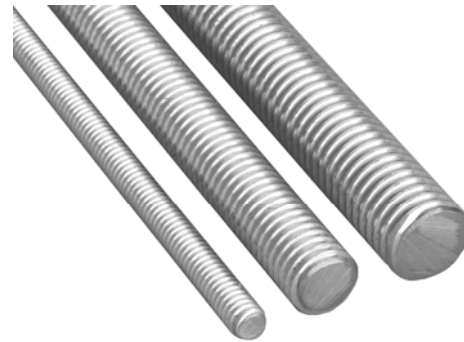
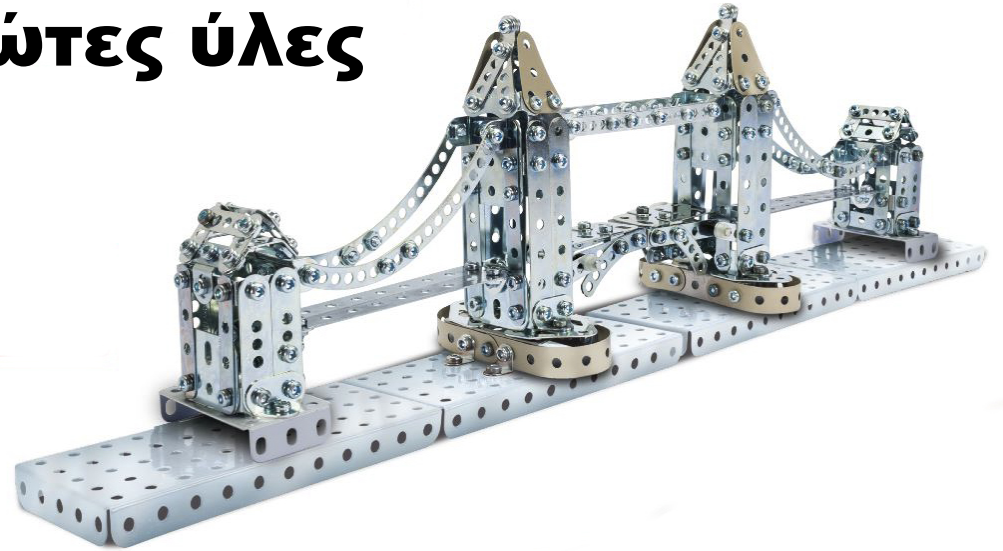


# Μηχανολογικές Μετρήσεις - Εργασία Αποσβεστήρας και Καταγραφικό

Δημήτρης Κατσαρέας

# πρώτες ύλες



## πηγές πρώτων υλών

- ΕΠΟΠΤΙΚΑ ΜΕΣΑ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑΣ, ΖΑΙΜΗ 60, 26223 ΠΑΤΡΑ, 2610220365  
<http://www.epoptiki.gr/eshop/products.aspx?rid=1&catid=16>
- ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΥ, ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΟΥ 10, 26222 ΠΑΤΡΑ  
<http://www.papelectronics.gr/category/msinstruments/>
- ΗΛΕΚΤΡΟΝ, ΚΑΝΑΚΑΡΗ 156Α, 26221 ΠΑΤΡΑ
- ΠΑΠΑΙΩΑΝΝΟΥ ΙΩΑΝΝΗΣ, ΠΑΛΑΙΩΝ ΠΑΤΡΩΝ ΓΕΡΜΑΝΟΥ 143, 26225 ΠΑΤΡΑ

# απόσβεση

Το πρόβλημα με ένα αδρανειακό σεισμόμετρο που βασίζεται στο εκκρεμές είναι ότι για κάθε διέγερση που δέχεται από το έδαφος, εκτελεί και μια ελεύθερη ταλάντωση (αρμονική), έτσι μετά από λίγα δευτερόλεπτα μέσα στον σεισμό, θα εκτελεί κίνηση η οποία θα συντίθεται από πολλές αρμονικές (μια για κάθε ξεχωριστή κίνηση που έχει κάνει το έδαφος).

Για να το αποφύγουμε αυτό και να έχουμε ένα εκκρεμές που να ακολουθεί όσο πιο πιστά γίνεται την κίνηση του εδάφους, εισάγουμε έναν αποσβεστήρα στον αισθητήρα, έτσι ώστε το εκκρεμές να εκτελεί αποσβενημένη και όχι ελεύθερη ταλάντωση. Η εξίσωση κίνησης του εκκρεμούς γίνεται,

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + \frac{mg}{L}x = 0$$

όπου  $c$  είναι μια σταθερά που ονομάζεται **συντελεστής ιξώδους απόσβεσης**

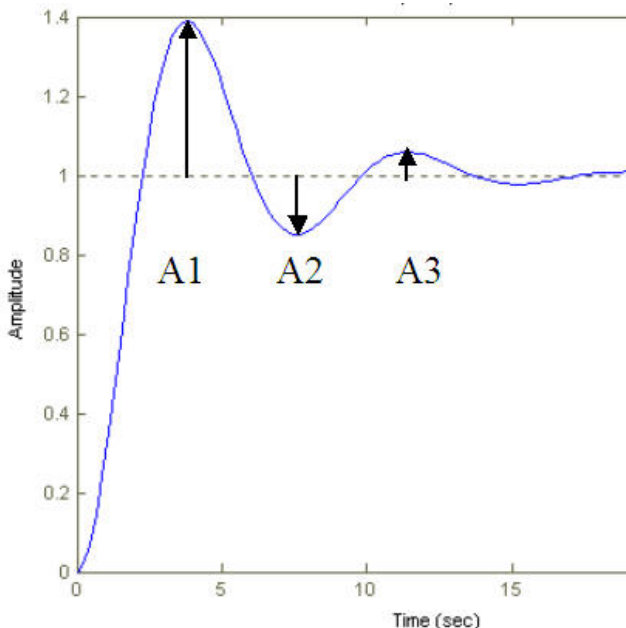
## πρακτικά

στον σειсмоγράφο κατακόρυφης συνιστώσας AS1, οι δοκιμές έδειξαν ότι ο λόγος του εύρους κάθε παλινδρόμησης προς το εύρος της προηγούμενης θα πρέπει να είναι το πολύ 1/20 ( $A1/A2=A2/A3=20$ ),

<http://jclahr.com/science/psn/as1/damping/adjustment.html>

δηλαδή η **λογαριθμική μείωση του αποσβεστήρα** θα είναι,

$$\delta = \ln \frac{A_1}{A_2} \approx 3$$



## έλεγχος απόσβεσης

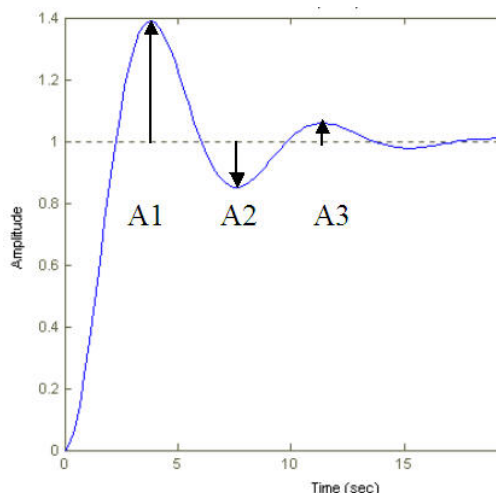
στον σειсмоγράφο κατακόρυφης συνιστώσας AS1, οι δοκιμές έδειξαν ότι ο λόγος του εύρους κάθε παλινδρόμησης προς το εύρος της προηγούμενης θα πρέπει να είναι το πολύ 1/20 ( $A_1/A_2=A_2/A_3=20$ ),

δηλαδή η **λογαριθμική μείωση του αποσβεστήρα** θα είναι,

$$\delta = \ln \frac{A_1}{A_2} \approx 3$$

ή αλλιώς, ο **λόγος απόσβεσης (damping ratio)** θα είναι 0.7

- τοποθετήστε οριζόντιο κανόνα, κάθετα στην οριζόντια ράβδο
- σημειώστε το σημείο ισορροπίας της ράβδου στον κανόνα
- μετακινήστε το άκρο της ράβδου κατά 10 mm και αφήστε την
- σημειώστε πόσο πέρα από το σημείο ισορροπίας πήγε
- ρυθμίστε την απόσβεση ώστε αυτή η απόσταση να είναι 0.5 mm



η εικόνα δείχνει πως έγινε η ρύθμιση της απόσβεσης, για τον σειсмоγράφο κατακόρυφης συνιστώσας AS1



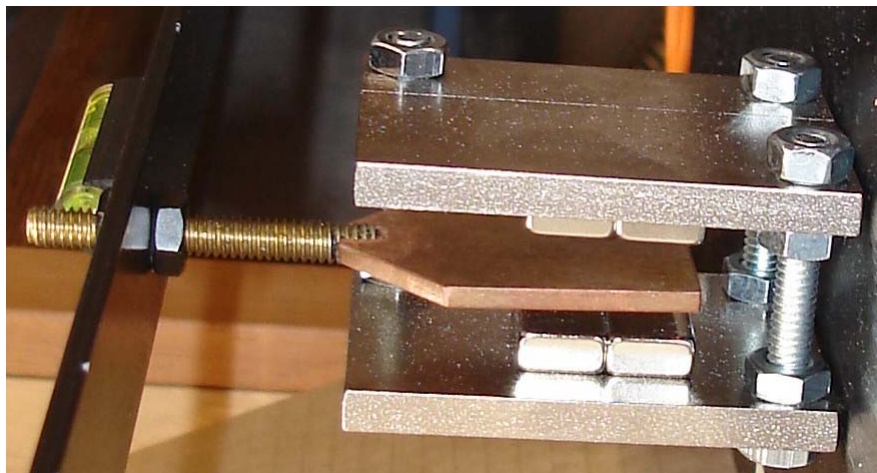
<http://jclahr.com/science/psn/as1/damping/adjustment.html>

## ΤΥΠΟΙ ΑΠΟΣΒΕΣΤΗΡΩΝ

**υδραυλικός αποσβεστήρας** - αποτελείται από δοχείο με λάδι ή γλυκερίνη, μέσα στο οποίο βυθίζεται «έμβολο», σταθερά συνδεδεμένο με την οριζόντια ράβδο (βλέπε εικόνα), δύσκολο να εφαρμοστεί σε οριζόντιο εκκρεμές



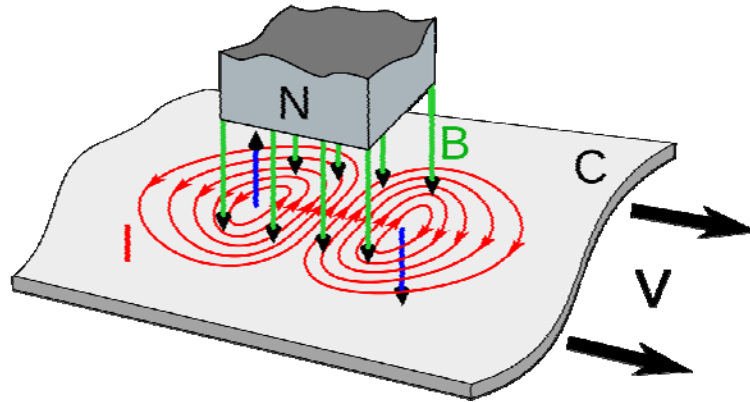
**πνευματικός αποσβεστήρας** - έμβολο κινείται μέσα σε κύλινδρο, που τα δύο άκρα του κλείνονται με καλύμματα και η εσωτερική του διάμετρος είναι λίγο μεγαλύτερη από τη διάμετρο του εμβόλου, το οποίο συνδέεται με την οριζόντια ράβδο, κατά την παλινδρόμηση του εμβόλου ο αέρας συμπιέζεται και αποσυμπιέζεται στους αεροθαλάμους εκατέρωθεν του εμβόλου, εφαρμόζοντας αντίσταση στην κίνηση του εμβόλου, δύσκολο να κατασκευαστεί



**μαγνητικός αποσβεστήρας** – χάλκινο έλασμα σταθερά συνδεδεμένο με την οριζόντια ράβδο παλινδρομεί μεταξύ πόλων πεταλοειδούς μαγνήτη (βλέπε εικόνα), δημιουργούνται ρεύματα Foucault, με συνέπεια δύναμη αντίδρασης στην κίνηση του ελάσματος, ανάλογη της ταχύτητας του, «βύθιση» του ελάσματος περισσότερο ή λιγότερο στο μαγνητικό πεδίο, μεταβάλλει τον συντελεστή απόσβεσης

## μαγνητική πέδηση

όταν ένα μη σιδηρούχο μεταλλικό έλασμα **C** (π.χ. ένα χάλκινο έλασμα) κινείται με ταχύτητα **V** προς τα δεξιά, κάθετα στις μαγνητικές γραμμές μαγνητικού πεδίου έντασης **B** (πράσινα βέλη), ενός ραβδόμορφου μόνιμου μαγνήτη **N**, η μαγνητική ροή  $\Phi$  που διαπερνά το έλασμα μεταβάλλεται



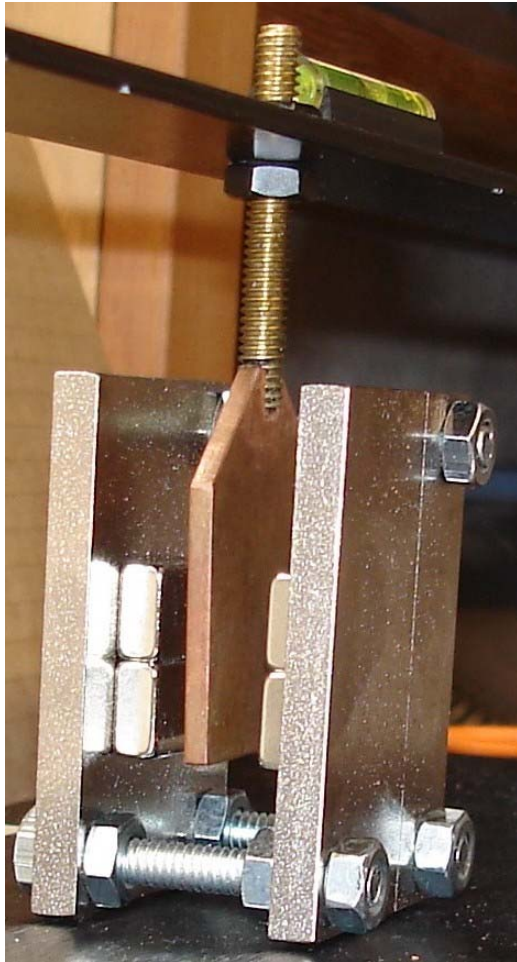
σύμφωνα με τον Faraday, η μεταβαλλόμενη μαγνητική ροή  $\Phi$  παράγει στον αγωγό **C** (έλασμα) δινореύματα (eddy currents) έντασης **I** (κόκκινοι βρόγχοι)

σύμφωνα με τον Ampere, κάθε ένα από τα δινореύματα παράγει ένα μαγνητικό πεδίο αντίθετης φοράς (μπλε βέλη), το οποίο σύμφωνα με τον Lenz, αντιτίθεται στην μεταβολή του μαγνητικού πεδίου και άρα στην κίνηση του ελάσματος **C**,

αυτή είναι και η αρχή λειτουργίας των μαγνητικών φρένων, ευρύτατα χρησιμοποιούμενων στα τραίνα

# μαγνητικός αποσβεστήρας

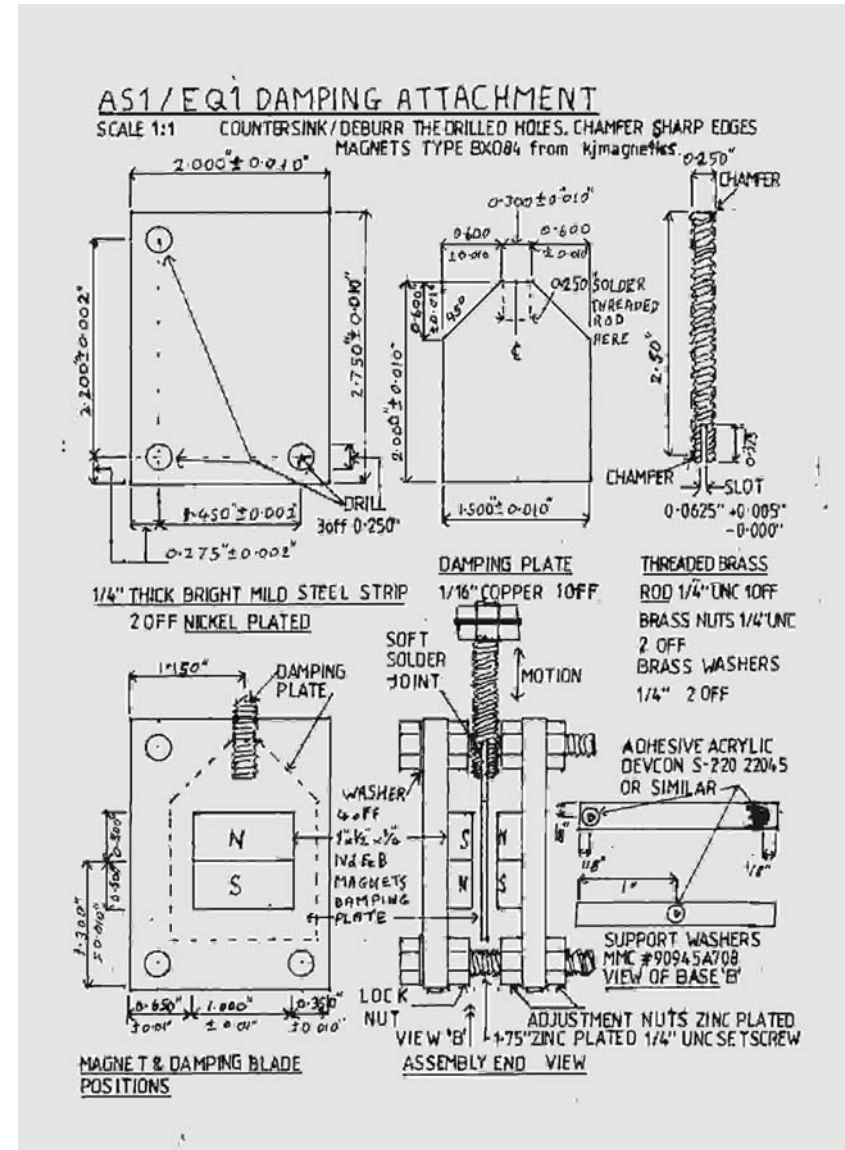
<http://jclahr.com/science/psn/chapman/as1%20damping/index.html>



πάνω σε αυτή την αρχή βασίστηκε ο μαγνητικός αποσβεστήρας για το σειсмоγράφο κατακόρυφης συνιστώσας AS-1 (βλέπε σχήματα και ιστοσελίδα για λεπτομέρειες), το διάκενο μεταξύ ελάσματος και μαγνήτη πρέπει να είναι όσο μικρότερο γίνεται

το παρακάτω φιλμάκι θα σας δώσει και άλλες ιδέες, όσον αφορά την κατασκευή του μαγνητικού αποσβεστήρα για το οριζόντιο εκκρεμές

<https://www.youtube.com/watch?v=5BeFoz3Ypo4>



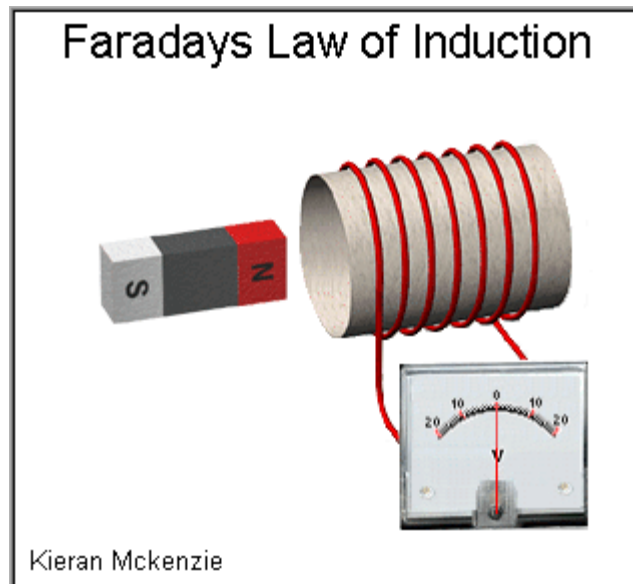


## σήμα & καταγραφικό

για να ολοκληρωθεί το μετρητικό μας σύστημα θα πρέπει η διέγερση (κίνηση του εδάφους) που ανιχνεύει ο αισθητήρας (οριζόντιο εκκρεμές) να μετατραπεί σε **ηλεκτρικό σήμα** (τάση) και να απεικονιστεί σε κατάλληλο όργανο μέτρησης (π.χ. βολτόμετρο)

μια επόμενη κίνηση θα ήταν να αποθηκεύσουμε το ηλεκτρικό σήμα σε ένα αποθηκευτικό μέσο για περαιτέρω επεξεργασία ή πολύ απλά να το καταγράψουμε σε ένα χαρτί, αλλά αυτό είναι δύσκολο να γίνει κρατώντας το κόστος κατασκευής της μετρητικής διάταξης χαμηλό

ένας απλός τρόπος να μετατρέψουμε κίνηση σε τάση είναι να χρησιμοποιήσουμε ένα επαγωγικό πηνίο (Faraday),



## ΕΠΑΓΩΓΙΚΟ ΠΗΝΙΟ

ο νόμος ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής του *Faraday* λέει ότι μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο παράγει ηλεκτρικό ρεύμα σε πηνίο

$$EMF = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

όπου, **EMF** είναι η παραγόμενη ηλεκτρεγερτική δύναμη, **N** είναι ο αριθμός των σπειρών του πηνίου, **Φ** είναι η μαγνητική ροή που διέρχεται από μια σπείρα του πηνίου και **t** είναι η μεταβλητή του χρόνου

στην απλή περίπτωση ενός μόνιμου ραβδόμορφου μαγνήτη, ο οποίος κινείται ομοαξονικά μέσα σε ένα σταθερό πηνίο, ο νόμος του *Faraday* γράφεται,

$$V_{\text{gen}} = -N \frac{\Delta B}{\Delta t} A$$

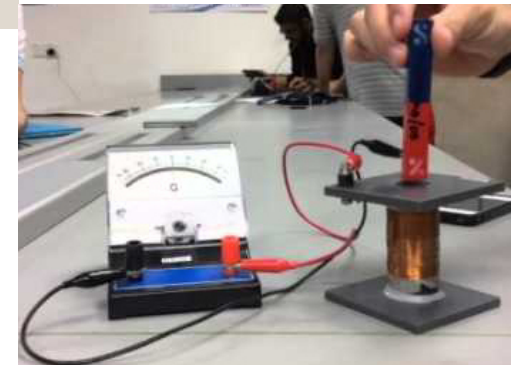
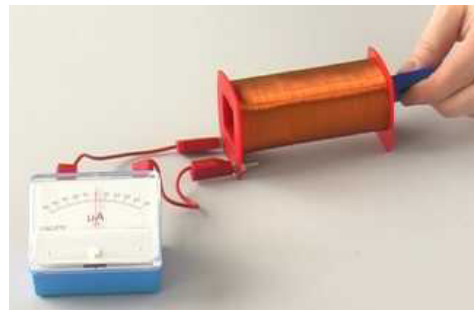
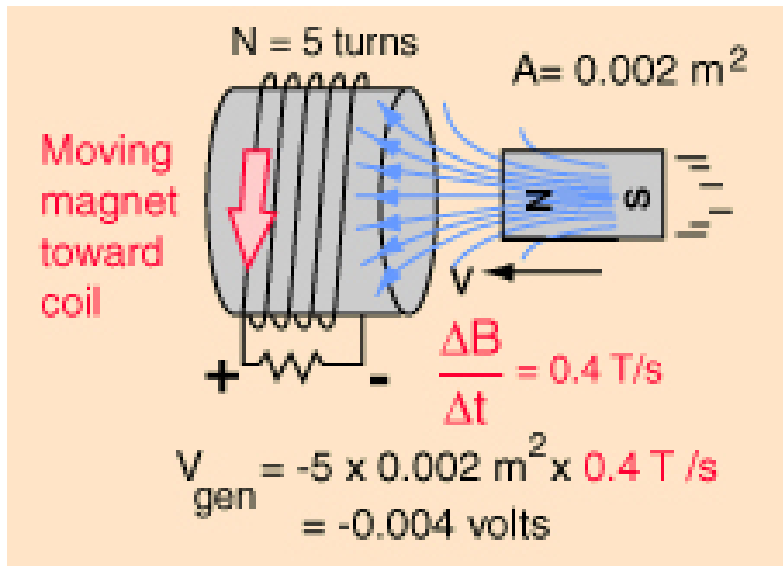
όπου, **V<sub>gen</sub>** είναι η παραγόμενη τάση στα άκρα του πηνίου, **A** είναι το εμβαδόν της σπείρας του πηνίου και **B** είναι η ένταση του μαγνητικού πεδίου του μαγνήτη

στο παράδειγμα του προηγούμενου slide, ο κινούμενος ραβδόμορφος μαγνήτης παράγει μαγνητικό πεδίο μεταβαλλόμενης έντασης 0.4 T/s, το οποίο με την σειρά του παράγει τάση -4 mV, στα άκρα σταθερού επαγωγικού πηνίου 5 σπειρών, με εμβαδόν σπείρας 20 cm<sup>2</sup>

# σήμα

για να ολοκληρωθεί το μετρητικό μας σύστημα θα πρέπει η διέγερση (κίνηση του εδάφους) που ανιχνεύει ο αισθητήρας (οριζόντιο εκκρεμές) να μετατραπεί σε **ηλεκτρικό σήμα** (τάση)

ο παραδοσιακός τρόπος μετατροπής της κίνησης του εδάφους σε τάση, στα σεισμόμετρα είναι να το επαγωγικό πηνίο (Faraday),



πιο σωστά, αυτός ο αισθητήρας είναι περισσότερο **αισθητήρας ταχύτητας** (*velocity transducer*) παρά αισθητήρας μετατόπισης (*displacement transducer*), εφόσον η παραγόμενη τάση ( $V_{\text{gen}}$ ), σύμφωνα με τον Faraday, είναι ανάλογη της μεταβολής του μαγνητικού πεδίου ( $\Delta B/\Delta t$ )

## παραγόμενη τάση και μέτρησή της

από τα προηγούμενα είναι εμφανές ότι η απόλυτη τιμή της παραγόμενης τάσης  $V_{gen}$  είναι ανάλογη του εμβαδού των σπειρών  $A=\pi D^2/4$  (όπου  $D$  η διάμετρος της σπείρας), του αριθμού τους  $N$  και του ρυθμού μεταβολής της έντασης του μαγνητικού πεδίου  $\Delta B/\Delta t$

κατά το σχεδιασμό του πηνίου θα πρέπει να επιλέξουμε όσο το δυνατόν μεγαλύτερη διάμετρο σπείρας  $D$  και αριθμό σπειρών  $N$ , ώστε δεδομένου του ρυθμού μεταβολής της έντασης του μαγνητικού πεδίου  $\Delta B/\Delta t$ , να λάβουμε το δυνατόν μεγαλύτερη τάση εξόδου  $V_{gen}$

ο ρυθμός μεταβολής της έντασης του μαγνητικού πεδίου  $\Delta B/\Delta t$  εξαρτάται αποκλειστικά από την ταχύτητα κίνησης της οριζόντιας ράβδου του εκκρεμούς, εφόσον ο ραβδόμορφος μαγνήτης συνδέεται σταθερά με αυτήν

οι μόνες παράμετροι που μπορούμε να ελέγξουμε είναι η διάμετρος  $D$  και ο αριθμός των σπειρών  $N$  του τυλίγματος, το οποίο μπορεί να τυλιχθεί γύρω από ένα πλαστικό ή χάρτινο σωλήνα, μέσα στον οποίο θα κινείται ο μαγνήτης

την παραγόμενη τάση  $V_{gen}$  θα την μετρήσουμε με κατάλληλο όργανο (π.χ. μιλιβολτόμετρο, πολύμετρο, κλπ)

το σύστημα θεωρείται επιτυχές εφόσον παράγεται μετρήσιμη ηλεκτρεγερτική δύναμη (τάση)  $V_{gen}$  στα άκρα του πηνίου (δεν θα σχεδιάσουμε ενισχυτή ή φίλτρα)

## αυτεπαγωγή πηνίου

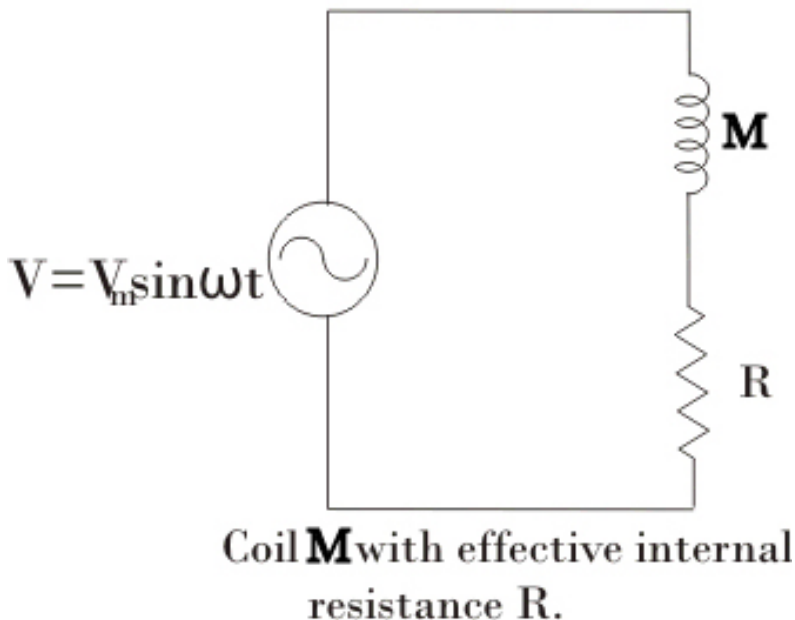
η αυτεπαγωγή  $M$  ενός πηνίου  $N$  σπειρών, εμβαδού  $A$ , μήκους  $l$ , χωρίς πυρήνα (η μαγνητική διαπερατότητα του ατμοσφαιρικού αέρα είναι  $\mu_0=4\pi 10^{-7}$ ) είναι,

$$M = \mu_0 \frac{N^2 A}{l}$$

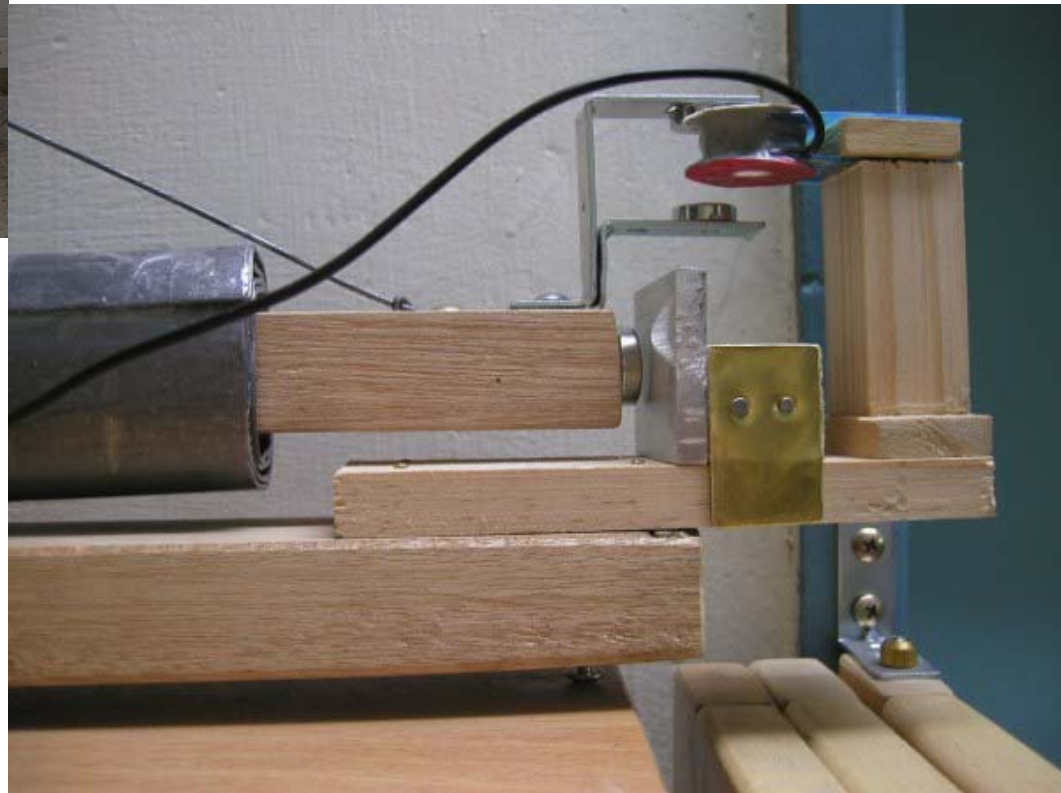
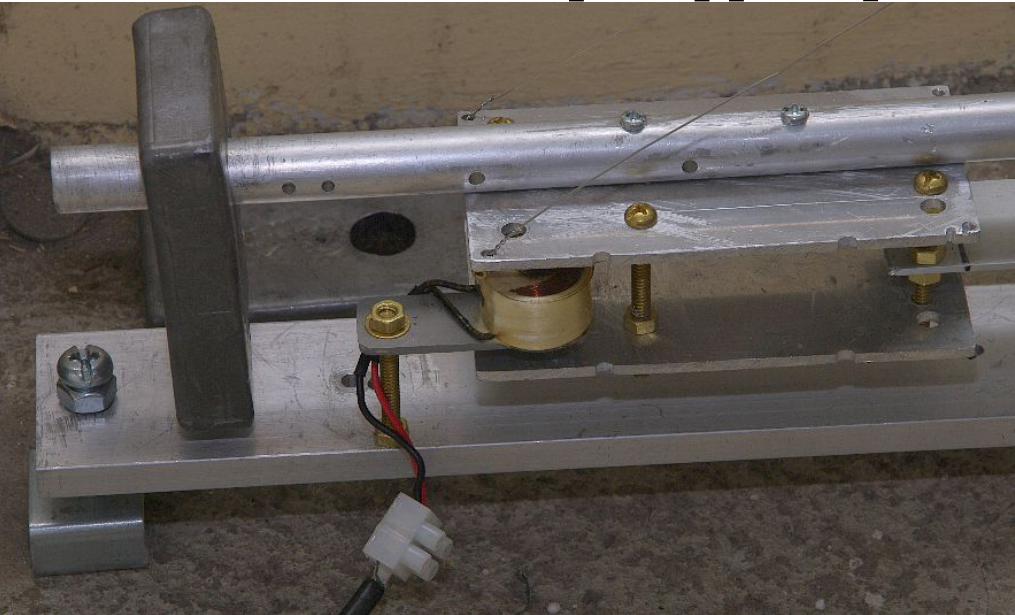
## συντελεστής ποιότητας πηνίου

ο συντελεστής ποιότητας  $Q$  ενός πηνίου είναι ανάλογος της συχνότητας λειτουργίας  $\omega_0$  και της αυτεπαγωγής  $M$  και αντιστρόφως ανάλογος της αντίστασης  $R$  του πηνίου,

$$Q = \omega_0 M / R$$



## προηγούμενες προσπάθειες



## περιληπτικά

- από που **πηγάζει** μια σεισμική δόνηση:  
από το σημείο σχετικής ολίσθησης δύο **λιθοσφαιρικών πλακών**
- τι είναι ένας **σεισμός**:  
κύματα μέσα στο έδαφος, που διαδίδονται ακτινικά με κέντρο την **πηγή**
- ποια είναι η περιοχή **συχνοτήτων** σεισμού μεγέθους μεγαλύτερου του 2:  
**0.01-10 Hz**
- τι μιμείται και καταγράφει ένας **σεισμογράφος**:  
την **κίνηση** του εδάφους
- τι σεισμικός **αισθητήρας** είναι ένα εκκρεμές:  
**αδρανειακός**
- ποια η **φυσική συχνότητα** ενός εκκρεμούς Foucault:  
 $\omega_0 = \sqrt{(g/L)/(2\pi)}$
- ποια η **σχέση** εκκρεμούς garden-gate με το ισοδύναμο εκκρεμές Foucault:  
(μήκος garden-gate **b**) = (μήκος Foucault **L**) x (ημίτονο κλίσης garden gate  **$\phi$** )
- τι **μείωση του εύρους** ταλάντωσης πρέπει να επιτυγχάνει ο αποσβεστήρας ( $A_1/A_2=?$ ):  
ο **λόγος του εύρους** δύο διαδοχικών ταλαντώσεων πρέπει να είναι  $A_1/A_2=20$
- **που βασίζονται** ο μαγνητικός αποσβεστήρας και ο μετατροπέας της ταχύτητας σε τάση:  
στον νόμο του Faraday
- η μετρούμενη **τάση στο πηνίο**, με τι είναι ανάλογη:  
με το εμβαδόν και τον αριθμό των σπειρών, με την ταχύτητα μεταβολής της έντασης του μ. πεδίου
- δώστε μια έκφραση του **συντελεστή ποιότητας** (quality factor ή Q-factor) του πηνίου:  
(συντελεστής ποιότητας **Q**) = (συχνότητα λειτουργίας  $\omega_0$ ) x (αυτεπαγωγή **M**) / (αντίσταση **R**)

# βιβλιογραφία

## Ιστοσελίδες

<http://www.madehow.com/Volume-1/Seismograph.html>

<http://jclahr.com/science/psn/wielandt/node13.html>

<http://www.jclahr.com/science/psn/epics/reports/index.html>

<http://jclahr.com/science/psn/youden/>

## Ιστοσελίδα MDL Μηχανολογικές Μετρήσεις

*KATASKEYH SEISMOGRAFOU 1.PPT*

*~PROJECT~.RAR*

## Βιβλία

*“Instrumentation in Earthquake Seismology”* by J.Havskov & G.Alguacil,  
**ISBN-10 1-4020-2968-3, SPRINGER 2010**