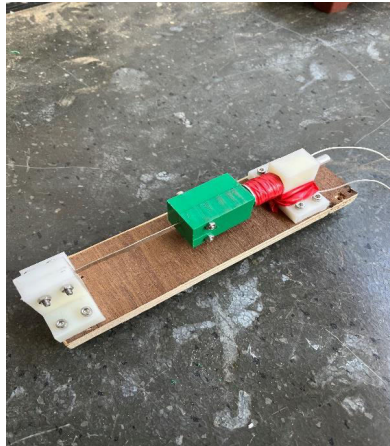


Πειραματική διερεύνηση ενός ηλεκτρομαγνητικού συγκομιστή κραδασμικής ενέργειας



Διπλωματική εργασία:
Σωφρόνιος Αγγελίδης (2018010070)

Επιβλέπων Καθηγητής:
Παναγιώτης Αλευράς

Σχολή Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης

Χανιά, 2026

2026



<http://www.m3.tuc.gr>



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Σωφρόνιος Αγγελίδης

Δομή Ομιλίας

Πειραματική διερεύνηση ενός ηλεκτρομαγνητικού συγκομιστή κραδασμικής ενέργειας

- **Πρακτικές εφαρμογές συγκομιστών κραδασμικής ενέργειας**
 - Συλλογή κραδασμικής ενέργειας μέσω υποδομών
 - Συλλογή κραδασμικής ενέργειας στην αυτοκινητοβιομηχανία
 - Συλλογή κραδασμικής ενέργειας στη βιοιατρική
- **Τύποι συγκομιστών κραδασμικής ενέργειας**
 - Πιεζοηλεκτρικοί Συλλέκτες Ενέργειας
 - Ηλεκτροστατικοί Συλλέκτες Ενέργειας
 - Τριβοηλεκτρικοί Συλλέκτες Ενέργειας
 - Ηλεκτρομαγνητικοί Συλλέκτες Ενέργειας
- **Θεωρητική προσέγγιση και σχεδιασμός διάταξης**
- **Πειραματικό Μέρος**
- **Αποτελέσματα**
- **Γενικά Συμπεράσματα**

2026



<http://www.m3.tuc.gr>

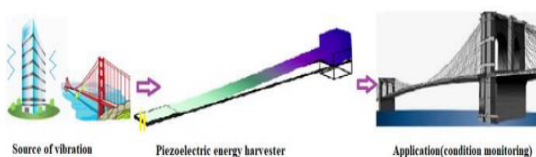


School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Σωφρόνιος Αγγελίδης

Συλλογή κραδασμικής ενέργειας μέσω υποδομών

- ✿ Παρακολούθηση της δομικής ακεραιότητας γεφυρών, κτιρίων και άλλων μεγάλων κατασκευών.
- ✿ Οι δονήσεις από την κυκλοφορία μετατρέπονται σε ηλεκτρική ενέργεια, εξαλείφοντας την ανάγκη για καλωδιώσεις ή αλλαγή μπαταριών.
- ✿ Τροφοδοσία αυτόνομων ασύρματων αισθητήρων για την παρακολούθηση ρωγμών, διάβρωσης, κλπ.



Πρακτικές εφαρμογές συγκομιστών κραδασμικής ενέργειας

<http://www.m3.tuc.gr>

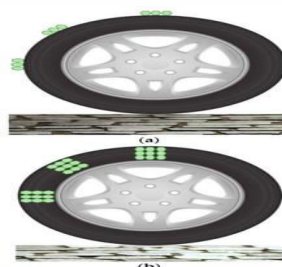


School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Σωφρόνιος Αγγελίδης

Συλλογή κραδασμικής ενέργειας στην αυτοκινητοβιομηχανία

- ✿ Συγκομιδή κραδασμικής ενέργειας από την κίνηση των οχημάτων.
- ✿ Αξιοποίηση κραδασμών από κινητήρα, ανωμαλίες οδοστρώματος και δυναμική λειτουργία οχήματος.
- ✿ Τροφοδοσία αισθητήρων (π.χ. πίεσης ελαστικών) και άλλων ηλεκτρονικών συστημάτων χαμηλής ισχύος.
- ✿ Τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται περιλαμβάνουν πιεζοηλεκτρικούς και τριβοηλεκτρικούς συλλέκτες.



Πρακτικές εφαρμογές συγκομιστών κραδασμικής ενέργειας

<http://www.m3.tuc.gr>

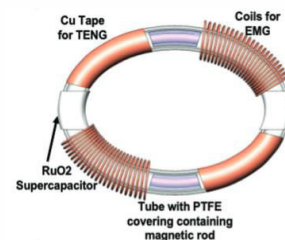
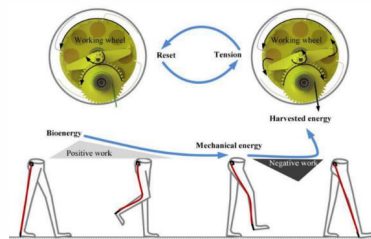


School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Σωφρόνιος Αγγελίδης

Συλλογή κραδασμικής ενέργειας στην βιοϊατρική

- ✱ Ενεργειακή αυτονομία εμφυτεύσιμων και φορητών ιατρικών συσκευών.
- ✱ Τροφοδότηση βηματοδοτών και αισθητήρων καταγραφής ζωτικών σημείων μέσω της ενέργειας που παράγεται από κινήσεις του ανθρώπινου σώματος.
- ✱ Μείωση της ανάγκης αντικατάστασης μπαταριών μέσω χειρουργικών επεμβάσεων.
- ✱ Βελτίωση της ποιότητας ζωής των ασθενών και μείωση του κόστους περίθαλψης.



Πρακτικές εφαρμογές συγκομιστών κραδασμικής ενέργειας

<http://www.m3.tuc.gr>



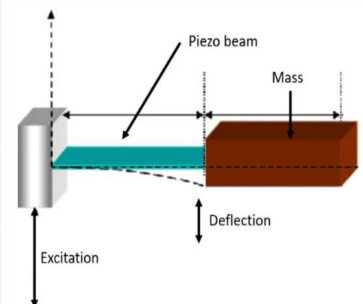
School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Σωφρόνιος Αγγελίδης

Πιεζοηλεκτρικοί Συλλέκτες Ενέργειας

- ✱ Βασίζονται στο πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο
- ✱ Μετατρέπουν τη μηχανική καταπόνηση σε ηλεκτρική ενέργεια
- ✱ Τα πιεζοηλεκτρικά υλικά χωρίζονται σε πιεζοκεραμικά και πιεζοπολυμερή
- ✱ Τα πιεζοκεραμικά προσφέρουν υψηλή απόδοση μετατροπής ενέργειας
- ✱ Τα πιεζοπολυμερή χαρακτηρίζονται από αυξημένη ευκαμψία αλλά χαμηλότερη απόδοση

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Αυτόνομη λειτουργία χωρίς εξωτερική πηγή τροφοδοσίας	Βέλτιστη λειτουργία σε υψηλές συχνότητες (>1 kHz)
Άμεση μετατροπή μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική	Περιορισμένη απόδοση σε χαμηλές συχνότητες περιβαλλοντικές δονήσεις (1–100 Hz)
Απλή και αξιόπιστη κατασκευή	Φθορά των πιεζοηλεκτρικών υλικών με την πάροδο του χρόνου
Υψηλή ενεργειακή πυκνότητα σε μικρό όγκο	Πιθανή υποβάθμιση της απόδοσης ή αστοχία λόγω χαμηλής μηχανικής αντοχής



Τύποι συγκομιστών κραδασμικής ενέργειας

<http://www.m3.tuc.gr>



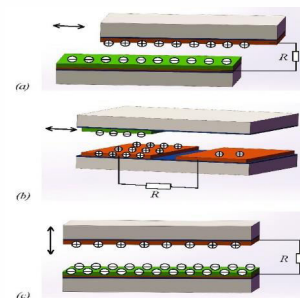
School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Σωφρόνιος Αγγελίδης

Ηλεκτροστατικοί Συλλέκτες Ενέργειας

- ✱ Μετατρέπουν τη μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική μέσω ηλεκτροστατικών δυνάμεων
- ✱ Αποτελούνται από δύο αγώγιμες πλάκες και ένα διηλεκτρικό υλικό
- ✱ Η μεταβολή της απόστασης ή της επιφάνειας επικάλυψης των πλακών αλλάζει την χωρητικότητα
- ✱ Η μεταβολή της χωρητικότητας οδηγεί σε παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Υψηλή απόδοση μετατροπής ενέργειας	Απαιτούν υψηλές τάσεις λειτουργίας για σημαντική παραγωγή ενέργειας
Δυνατότητα λειτουργίας σε μικροκλίμακα και νανοκλίμακα	Περιορισμοί στην πρακτική εφαρμογή λόγω των απαιτήσεων τάσης
Κατάλληλοι για μικρές ηλεκτρονικές συσκευές και αισθητήρες	Η απόδοση εξαρτάται έντονα από τον σχεδιασμό και τις συνθήκες λειτουργίας
Ευρεία χρήση σε εφαρμογές συγκομιδής ενέργειας από ανθρώπινη κίνηση	



Τύποι συγκομιστών κραδασμικής ενέργειας

<http://www.m3.tuc.gr>

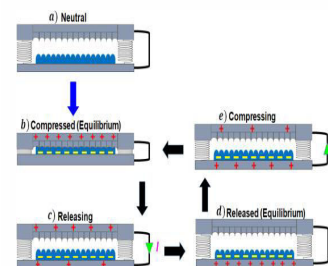
 School of Production Eng. & Management
 Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
 Prof. Aristomenis Antoniadis

Σωφρόνιος Αγγελίδης

Τριβοηλεκτρικοί Συλλέκτες Ενέργειας

- ✱ Βασίζονται στο τριβοηλεκτρικό φαινόμενο και στη μεταφορά ηλεκτρονίων μεταξύ δύο υλικών.
- ✱ Η επαφή και ο διαχωρισμός υλικών διαφορετικής πολικότητας δημιουργούν ηλεκτρικό φορτίο
- ✱ Η περιοδική επανάληψη της διαδικασίας παράγει εναλλασσόμενο ρεύμα (AC)
- ✱ Απαιτούνται υλικά με διαφορετική τάση απώλειας ή πρόσληψης ηλεκτρονίων
- ✱ Συχνά χρησιμοποιούμενα υλικά: αλουμίνιο (Al), μαγνήσιο (Mg), Nylon, PDMS, PTFE, FEP και PVDF

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Υψηλή απόδοση συλλογής ενέργειας	Ευαισθησία σε περιβαλλοντικές συνθήκες
Χαμηλό κόστος υλικών και κατασκευής	Η υγρασία μπορεί να μειώσει τη μεταφορά φορτίου
Απλή δομή και εύκολη υλοποίηση	Η θερμοκρασία επηρεάζει τις ηλεκτροστατικές ιδιότητες των υλικών
Κατάλληλοι για εφαρμογές χαμηλής ισχύος και φορητές συσκευές	Πιθανή μείωση της απόδοσης σε μη ελεγχόμενα περιβάλλοντα



Τύποι συγκομιστών κραδασμικής ενέργειας

<http://www.m3.tuc.gr>

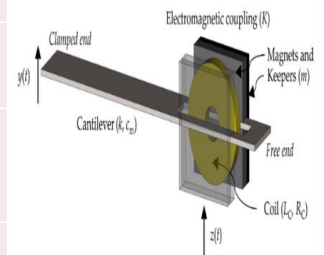
 School of Production Eng. & Management
 Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
 Prof. Aristomenis Antoniadis

Σωφρόνιος Αγγελίδης

Ηλεκτρομαγνητικοί Συλλέκτες Ενέργειας

- Μετατρέπουν τη μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική χρησιμοποιώντας την αρχή του Νόμου του Faraday για την ηλεκτρομαγνητική επαγωγή
- Η σχετική κίνηση μαγνήτη-πηνίου μεταβάλλει τη μαγνητική ροή
- Η μεταβολή της μαγνητικής ροής επάγει ηλεκτρική τάση στο πηνίο
- Αξιοποιούν πηγές όπως δονήσεις, κίνηση και ροή ρευστών

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Υψηλή απόδοση σε περιβάλλοντα με έντονες δονήσεις ή συνεχή κίνηση	Η παραγόμενη ισχύς εξαρτάται από την ένταση και την ταχύτητα της κίνησης
Απλός και ανθεκτικός σχεδιασμός με χαμηλές απαιτήσεις συντήρησης	Μειωμένη απόδοση σε χαμηλές συχνότητες και ασθενείς δονήσεις
Ευελιξία σχεδιασμού για διαφορετικές συχνότητες και τύπους δονήσεων	Πιθανότητα ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών σε γειτονικά ηλεκτρονικά κυκλώματα
Κατάλληλοι για φορητές συσκευές και ασύρματα δίκτυα αισθητήρων	Περιορισμοί χρήσης σε εφαρμογές με ευαίσθητα ηλεκτρονικά συστήματα



2026



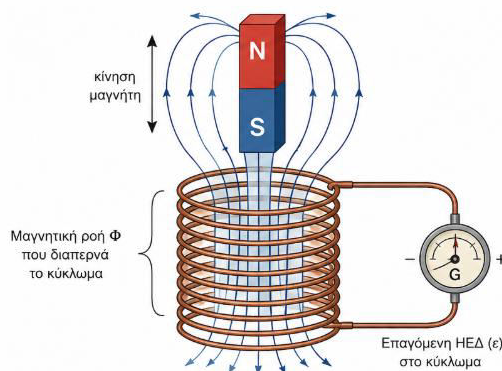
Τύποι συγκομιστών κραδασμικής ενέργειας

<http://www.m3.tuc.gr>


School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Σωφρόνιος Αγγελίδης

- Η θεμελιώδης αρχή ενός ηλεκτρομαγνητικού συλλέκτη στηρίζεται στο νόμο του Faraday
- Η επαγόμενη ηλεκτρεγερτική δύναμη σε ένα κύκλωμα είναι ίση με τον ρυθμό μεταβολής της μαγνητικής ροής που το διαπερνά
- Το αρνητικό πρόσημο εκφράζει τον νόμο του Lenz, δηλαδή ότι η επαγόμενη ηλεκτρεγερτική δύναμη έχει φορά τέτοια ώστε να αντιτίθεται στη μεταβολή της μαγνητικής ροής



$$\varepsilon = -N \frac{d\Phi}{dt}$$

ε : Η επαγόμενη ηλεκτρεγερτική δύναμη
 N : Ο αριθμός των σπειρών του πηνίου
 Φ : Η μαγνητική ροή
 $\frac{d\Phi}{dt}$: Ο ρυθμός μεταβολής της μαγνητικής ροής

2026



Θεμελιώδης Αρχή ενός ηλεκτρομαγνητικού συλλέκτη

<http://www.m3.tuc.gr>


School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Σωφρόνιος Αγγελίδης

- Στόχος ήταν η φυσική συχνότητα του συστήματος να είναι 6.5 Hz, ώστε η διάταξη να μπορεί να λειτουργήσει κοντά σε συνθήκες συντονισμού
- Χρησιμοποιήθηκαν εξισώσεις δυναμικής συμπεριφοράς προβόλου

$$\omega = 2\pi f \rightarrow \omega^2 = \frac{3EI}{ml^3} \rightarrow I = \frac{ab^3}{12} \rightarrow$$

Διαστάσεις προβόλου	
Μήκος (l)	95 mm
Πλάτος (a)	6 mm
Πάχος (b)	0.6 mm

- Το πηνίο έπρεπε να έχει ίδια γεωμετρία με αυτή των μαγνητών άρα κυλινδρικό
- Χρησιμοποιήθηκε σύρμα χαλκού 0.25 mm
- Ο αριθμός των σπειρών είναι κρίσιμος παράγοντας για την παραγόμενη τάση
- Με βάση της γεωμετρίας της βάσης περιτύλιξης προέκυψε ότι ο αριθμός των σπειρών ισούται με **$N = 2112$**

2026



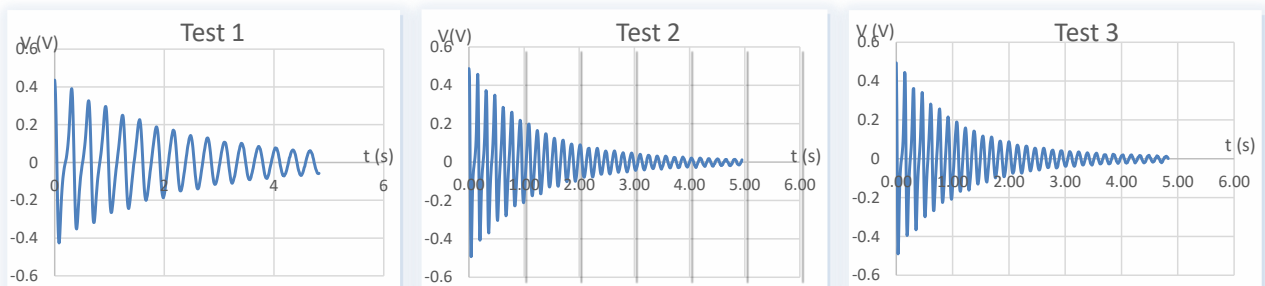
Σχεδιασμός προβόλου και πηνίου

<http://www.m3.tuc.gr>


School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Σωφρόνιος Αγγελίδης

- Ο λόγος απόσβεσης ταλάντωσης είναι ένα αδιάστατο μέγεθος που αποτυπώνει το πόσο γρήγορα η ενέργεια της ταλάντωσης χάνεται λόγω αντιστάσεων (π.χ. τριβών, υλικών απωλειών, αεροδυναμικών δυνάμεων κ.λπ.).
- Η παράμετρος αυτή είναι κρίσιμη στον σχεδιασμό ενεργειακών συλλεκτών καθώς επηρεάζει τόσο το εύρος συχνότητας λειτουργίας όσο και το μέγιστο μεταφερόμενο ενεργειακό φορτίο μέσω της συντονισμένης ταλάντωσης.
- Το πρώτο βήμα ήταν να ταλαντώνεται το σύστημα με την φυσική του συχνότητα και στην συνέχεια με τη χρήση του παλμογράφου RIGOL να γίνει η ανάλυση των μετρήσεων που είχαν την μορφή κύματος.



$$\delta = \ln\left(\frac{x_0}{x_1}\right)$$

$$\zeta = \frac{\delta}{\sqrt{\delta^2 + (2\pi)^2}} = 0.022$$

2026



Πειραματικός υπολογισμός του λόγου απόσβεσης ταλάντωσης (damping ratio)

<http://www.m3.tuc.gr>


School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Σωφρόνιος Αγγελίδης

- Το πλάτος ταλάντωσης επηρεάζει άμεσα:
 - Την σχετική κίνηση μαγνήτη – πηνίου
 - Την επαγόμενη ηλεκτρική τάση
- Το σύστημα αναλύθηκε ως εξαναγκασμένος ταλαντωτής με απόσβεση
- Σε συνθήκες συντονισμού το πλάτος μεγιστοποιείται

$$\rightarrow x_b(t) = X_b \cos(\omega t) \quad \rightarrow Y(\omega) = \frac{m\omega^2 X_b}{\sqrt{(k - m\omega^2)^2 + (c\omega)^2}} = 29.5 \text{ mm}$$

X_b : το πλάτος της διέγερσης

ω : η γωνιακή συχνότητα διέγερσης

m : η συνολική μάζα

k : η ισοδύναμη δυσκαμψία

c : ο συνολικός συντελεστής απόσβεσης, ο οποίος περιλαμβάνει τόσο τη μηχανική όσο και την ηλεκτρομαγνητική απόσβεση

2026



Πλάτος Ταλάντωσης

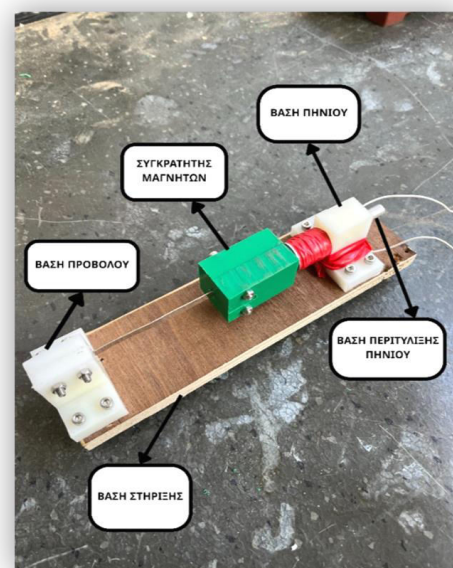
<http://www.m3.tuc.gr>



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Σωφρόνιος Αγγελίδης

- **Πρόβολος**
 - Υλικό: Ανοξείδωτος χάλυβας για αντοχή και ελαστικότητα.
 - Διαστάσεις: 115 mm (μήκος) x 6 mm (πλάτος) x 0.6 mm (πάχος)
 - Πυκνότητα: $7830 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$, Young's Modulus: 206 GPa, Μάζα: 0.002678 kg
 - Ρόλος: Μετατροπή δονήσεων σε ταλαντώσεις
- **Μαγνήτες**
 - Υλικό: Νεοδύμιο με μονάδα μαγνήτισης N42
 - Πρώτος μαγνήτης με διάμετρο 20 mm και ύψος 10 mm
 - Δεύτερος μαγνήτης με διάμετρο 20 mm και ύψος 15 mm
- **Πηνίο**
 - Σταθερό, περιβάλλει τους μαγνήτες
 - Παράγει ηλεκτρική τάση μέσω ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής



2026



Σχεδιασμός Ηλεκτρομαγνητικού Συλλέκτη – Κύρια Στοιχεία

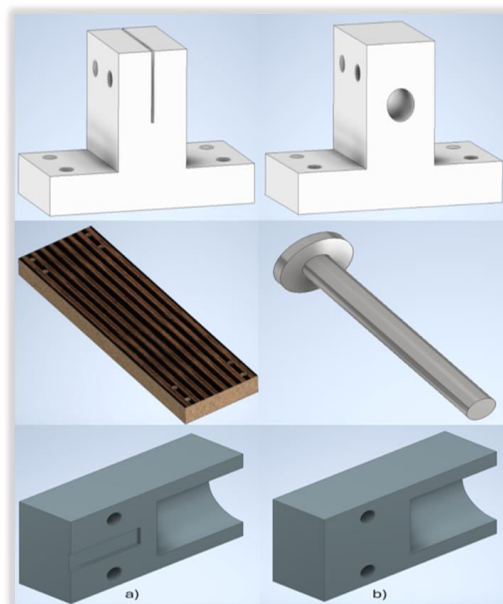
<http://www.m3.tuc.gr>



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Σωφρόνιος Αγγελίδης

- ❖ **Βάση του συστήματος προβόλου-μαγνητών**
 - ❖ Υλικό: Teflon
 - ❖ Εξασφαλίζει τη σταθερή πάκτωση του προβόλου
- ❖ **Βάση Πηνίου**
 - ❖ Υλικό: Teflon
 - ❖ Διατηρεί το πηνίο ακίνητο και ευθυγραμμισμένο με τους μαγνήτες
- ❖ **Βάση Στήριξης**
 - ❖ Υλικό: Ξύλο
 - ❖ Η πλατφόρμα πάνω στην οποία μοντάρονται όλα τα εξαρτήματα και η οποία συνδέεται με την πλατφόρμα διεγέρσεων
- ❖ **Συγκρατητές Μαγνητών**
 - ❖ Υλικό: Πλαστικό
 - ❖ Ειδικά σχεδιασμένα τεμάχια για την ασφαλή στερέωση των μαγνητών στο άκρο του προβόλου



2026

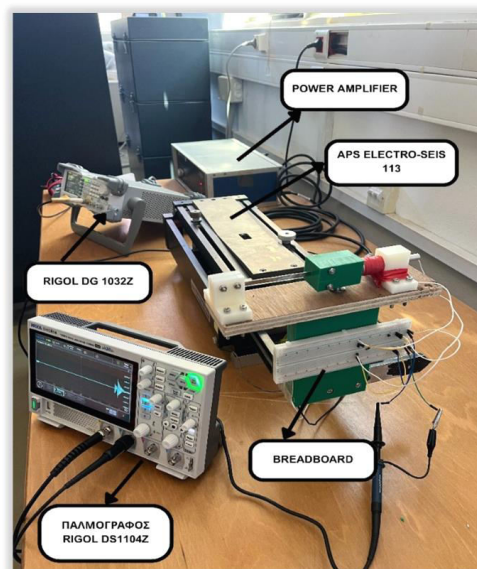


Σχεδιασμός Ηλεκτρομαγνητικού Συλλέκτη – Βάσεις Στήριξης

<http://www.m3.tuc.gr>School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Σωφρόνιος Αγγελίδης

- ❖ **1^ο Στάδιο: Προετοιμασία και Ρύθμιση**
 - ❖ Τοποθέτηση και ευθυγράμμιση του συλλέκτη στην πλατφόρμα διεγέρσεων (shaker table)
 - ❖ Σύνδεση του πηνίου με τον παλμογράφο για τη μέτρηση της επαγόμενης τάσης
 - ❖ Βαθμονόμηση και έλεγχος της λειτουργίας των οργάνων μέτρησης
- ❖ **2^ο Στάδιο: Πείραμα Συντονισμού**
 - ❖ Διέγερση του συστήματος με ημιτονοειδή μετατόπιση σταθερού πλάτους 5 mm
 - ❖ Σάρωση συχνοτήτων από 2 έως 20 Hz για τον εντοπισμό της συχνότητας συντονισμού
 - ❖ Καταγραφή της τάσης εξόδου του πηνίου ως συνάρτηση της συχνότητας διέγερσης
- ❖ **3^ο Στάδιο: Πείραμα Φόρτισης Πυκνωτή**
 - ❖ Σύνδεση ανορθωτή και πυκνωτή στην έξοδο του πηνίου
 - ❖ Διέγερση του συστήματος στη συχνότητα συντονισμού
 - ❖ Μέτρηση της τάσης φόρτισης του πυκνωτή και αξιολόγηση της αποθηκευμένης ενέργειας



2026

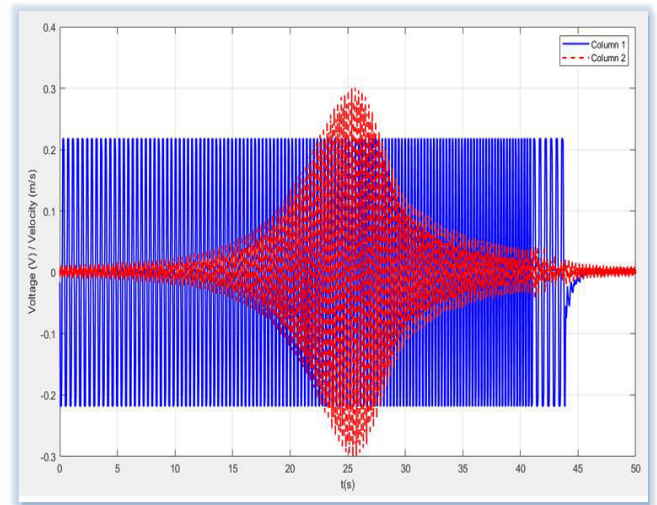


Πειραματική Διάταξη

<http://www.m3.tuc.gr>School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Σωφρόνιος Αγγελίδης

- ✿ Καταγράφηκαν ταυτόχρονα:
- ✿ Η ταχύτητα του τραπέζιου
- ✿ Η επαγόμενη τάση στο πηνίο
- ✿ Τα πειραματικά δεδομένα έδειξαν μια σαφή κορυφή στην παραγόμενη τάση όταν η συχνότητα διέγερσης ήταν 6.5 Hz
- ✿ Αυτό επιβεβαιώνει ότι η συχνότητα του συντονισμού είναι $f \approx 6.5$ Hz, όπως είχε προβλεφθεί από τη θεωρητική μοντελοποίηση
- ✿ Στη συχνότητα συντονισμού, το πλάτος της ταλάντωσης του προβόλου μεγιστοποιείται, οδηγώντας σε μέγιστη μεταβολή της μαγνητικής ροής και, κατά συνέπεια, σε μέγιστη παραγωγή ισχύος



Ανάλυση συντονιστικής συμπεριφοράς

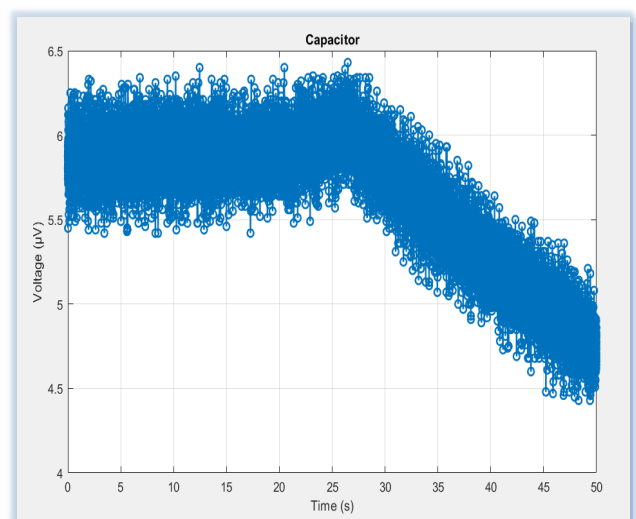
<http://www.m3.tuc.gr>



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Σωφρόνιος Αγγελίδης

- ✿ Η έξοδος του πηνίου συνδέθηκε σε κύκλωμα φόρτισης πυκνωτή χωρητικότητας $C=100 \mu\text{F}$
- ✿ Η κυματομορφή της τάσης στα άκρα του πυκνωτή δείχνει τη δυνατότητα του συστήματος να αποθηκεύει την παραγόμενη ενέργεια
- ✿ Παρατηρείται μια σταδιακή αύξηση της τάσης του πυκνωτή, με την ταχύτητα φόρτισης να είναι μέγιστη όταν ο συλλέκτης λειτουργεί στο συντονισμό
- ✿ Μετά τα 25 s, η τάση παρουσιάζει σταδιακή πτώση, αποδίδοντας χαρακτηριστική εκθετική αποφόρτιση τύπου RC, η οποία αποδίδεται είτε σε κατανάλωση από εξωτερικό φορτίο είτε σε διαρροές στο κύκλωμα



Ανάλυση κυματομορφής τάσης πυκνωτή

<http://www.m3.tuc.gr>



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Σωφρόνιος Αγγελίδης

Συμπεράσματα

- Αναπτύχθηκε και κατασκευάστηκε επιτυχώς ένας ηλεκτρομαγνητικός συλλέκτης ενέργειας.
- Η φυσική συχνότητα προσδιορίστηκε θεωρητικά και επιβεβαιώθηκε πειραματικά.
- Η μέγιστη παραγόμενη τάση εμφανίστηκε στην περιοχή συντονισμού.
- Η πειραματική συμπεριφορά συμφωνεί με το θεωρητικό μοντέλο.
- Ο συλλέκτης μπορεί να αξιοποιηθεί για την τροφοδοσία συσκευών χαμηλής ισχύος.

Μελλοντική Εργασία

- Βελτιστοποίηση της γεωμετρίας μαγνητών και πηνίου.
- Αύξηση της παραγόμενης ισχύος.
- Ανάπτυξη κυκλώματος διαχείρισης ενέργειας.
- Διεύρυνση του εύρους λειτουργίας γύρω από τον συντονισμό.
- Πειραματική αξιολόγηση σε διαφορετικές συχνότητες και πραγματικές συνθήκες δόνησης.

