



Εκπαιδευτική Ημερίδα Κυματικής Ενέργειας
21 Οκτωβρίου 2010

Γραμμικές Γεννήτριες Μονίμων Μαγνητών για Εφαρμογές Ηλεκτροπαραγωγής από Θαλάσσιο Κυματισμό

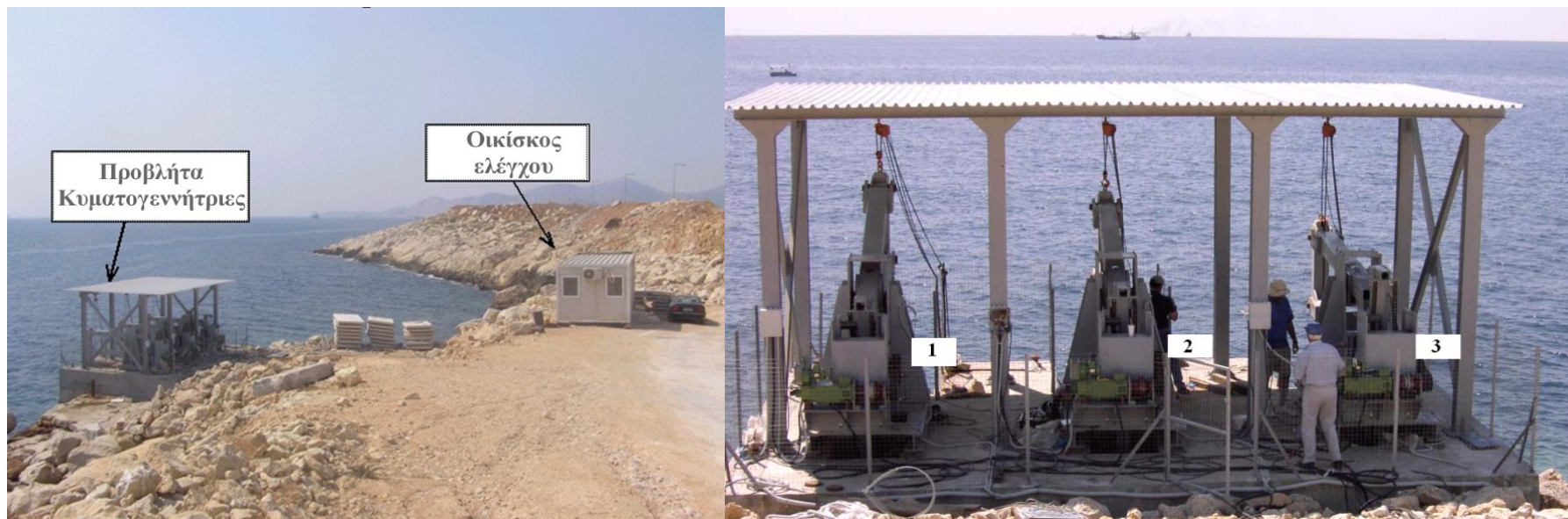


Δρ. Νικόλαος Μ. Κιμουλάκης

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ & ΜΗΧ/ΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΙΣΧΥΟΣ

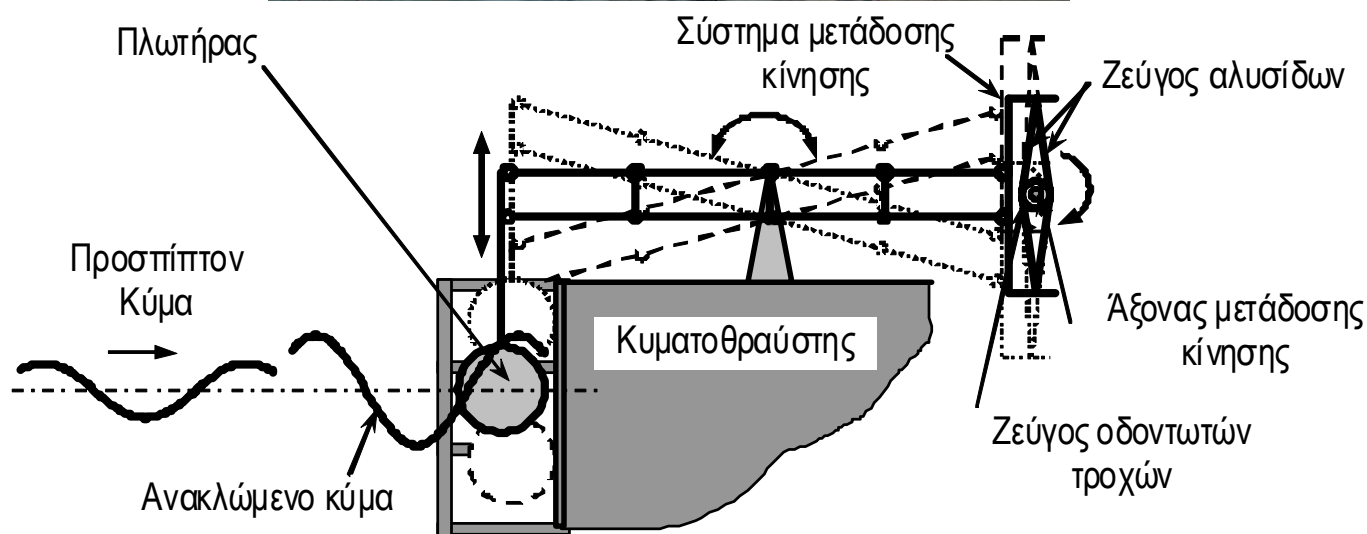
Πειραματικός Σταθμός Ηλεκτροπαραγωγής από Θαλάσσιο Κυματισμό

Συνολική εγκατεστημένη ισχύς 48 kW



Ο πειραματικός σταθμός κατασκευάστηκε στην Ψυττάλεια
στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος **ΠΑΒΕΤ 00ΒΕ142**

Πειραματικός Σταθμός Ηλεκτροπαραγωγής από Θαλάσσιο Κυματισμό



- Η κατακόρυφη κίνηση του πλωτήρα, μετατρέπεται σε περιστροφική

Πειραματικός Σταθμός Ηλεκτροπαραγωγής από Θαλάσσιο Κυματισμό



Κολινδρικός πλωτήρας



Σύστημα μετάδοσης κίνησης



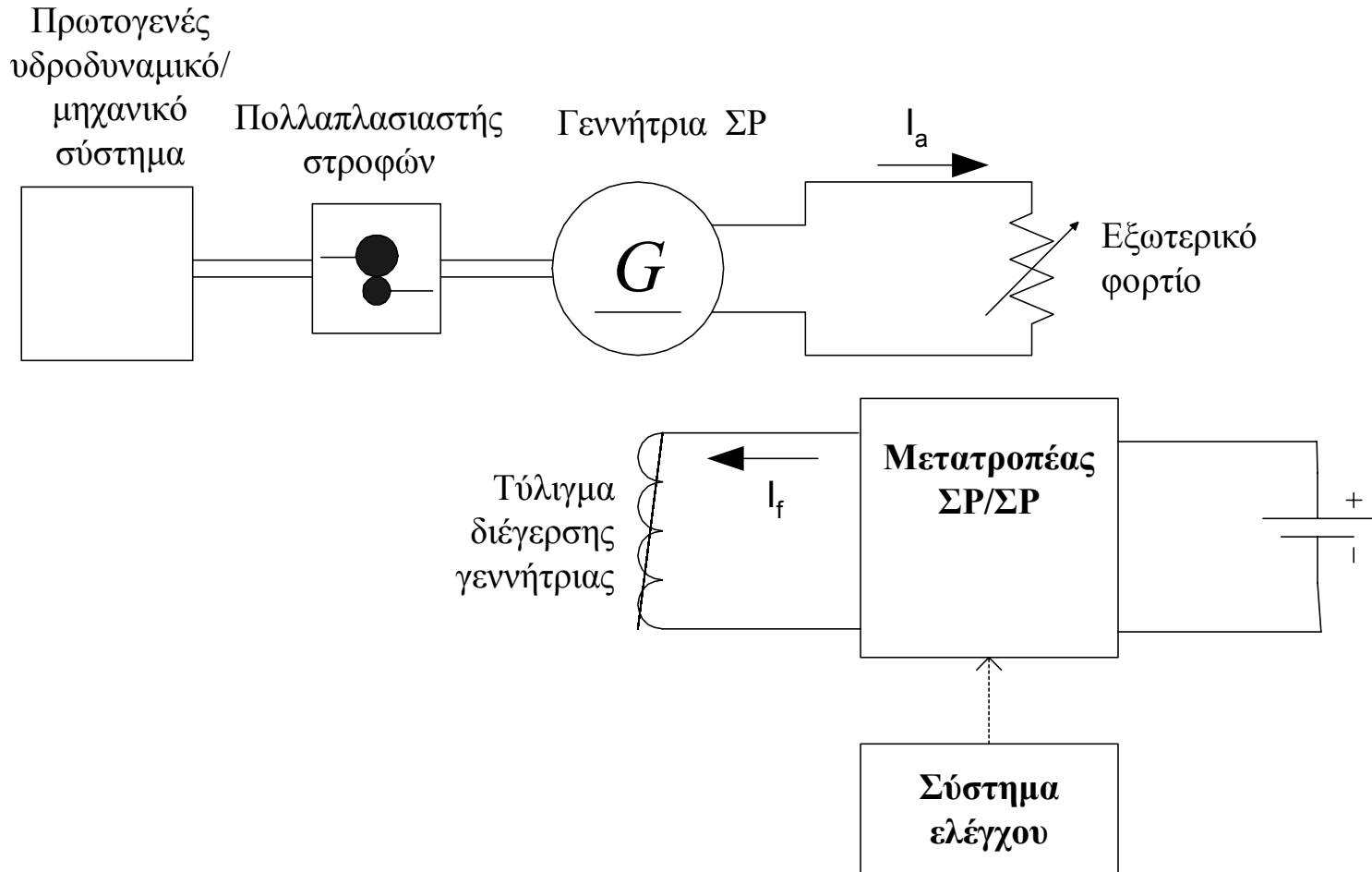
Ζεύγος οδοντωτών τροχών



Γραμμικές Γεννήτριες Μονίμων Μαγνητών για Ηλεκτροπαραγωγή από Θαλάσσιο Κυματισμό

Πειραματικός Σταθμός Ηλεκτροπαραγωγής από Θαλάσσιο Κυματισμό

Δομή ηλεκτρικού υποσυστήματος



Πειραματικός Σταθμός Ηλεκτροπαραγωγής από Θαλάσσιο Κυματισμό

Γεννήτρια Συνεχούς Ρεύματος ξένης διέγερσης

- απλότητα κατασκευής - αξιοπιστία - ευελιξία στον έλεγχο του συστήματος.
- απλούστερες διατάξεις για έλεγχο ροπής και ταχύτητας, σε σχέση με άλλα είδη περιστρεφόμενων μηχανών.

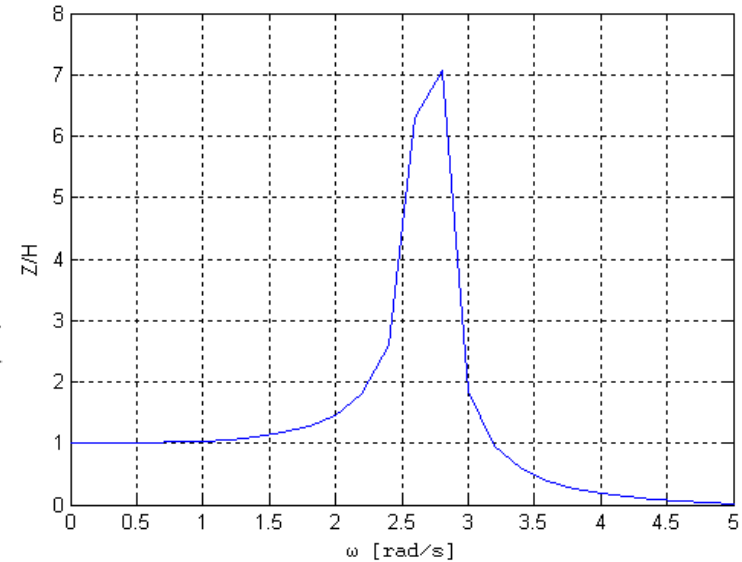
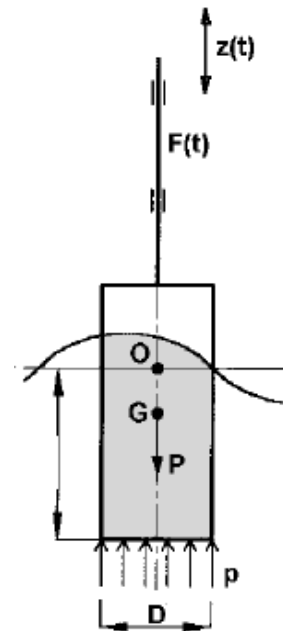
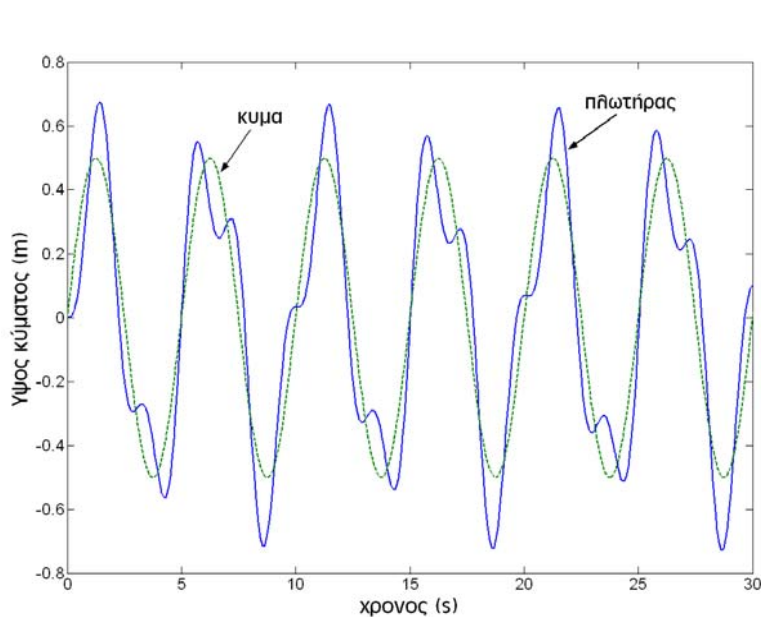


Μέγεθος	Τιμή
Ισχύς	$P_N = 16 \text{ kW}$
Ονομαστική τάση εξόδου	$U_{AN} = 440 \text{ V}$
Ονομαστικό ρεύμα δρομέα	$I_{AN} = 36.4 \text{ A}$
Ταχύτητα δρομέα	$n_r = 3000 \text{ rpm}$
Τάση τυλίγματος διέγερσης	$U_{FN} = 340 \text{ V}$
Ρεύμα τυλίγματος διέγερσης	$I_{FN} = 1.4 \text{ A}$
Αυτεπαγωγή τυλίγματος διέγερσης	$L_{FF} = 30 \text{ H}$
Αυτεπαγωγή τυλίγματος δρομέα	$L_{AA} = 10.7 \text{ mH}$
Αντίσταση τυλίγματος δρομέα	$r_a = 0.8 \text{ Ohms}$
Αντίσταση τυλίγματος διέγερσης	$r_f = 167 \text{ Ohms}$

Πειραματικός Σταθμός Ηλεκτροπαραγωγής από Θαλάσσιο Κυματισμό

Σύστημα ελέγχου διέγερσης γεννητριών

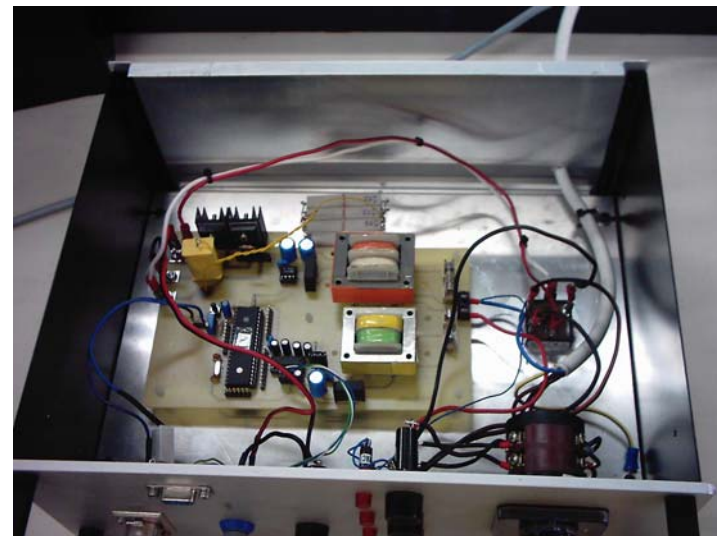
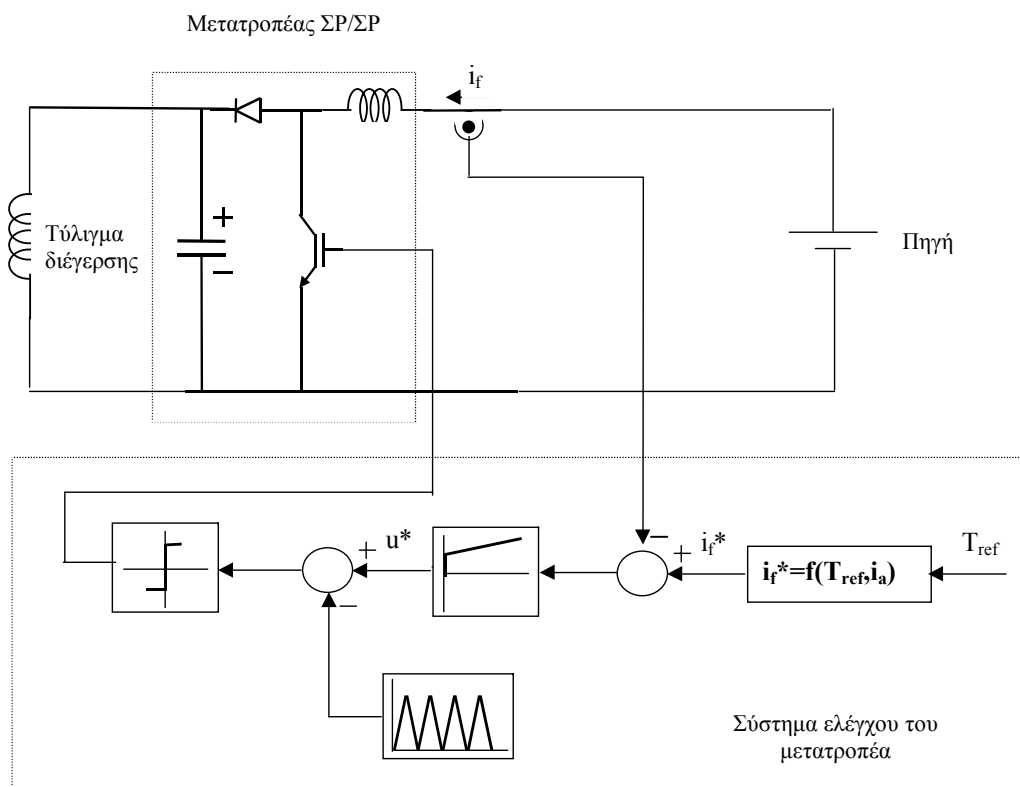
Μεταβολή πλάτους ταλάντωσης πλωτήρα



- **Συντονισμός** για κύματα με γωνιακή ταχύτητα $\omega \cong 2.75 \text{ rad/s}$ ($T \cong 2.3\text{s}$)
- Μέση γραμμική ταχύτητα πλωτήρα $u=0,9 \text{ m/s}$

Πειραματικός Σταθμός Ηλεκτροπαραγωγής από Θαλάσσιο Κυματισμό

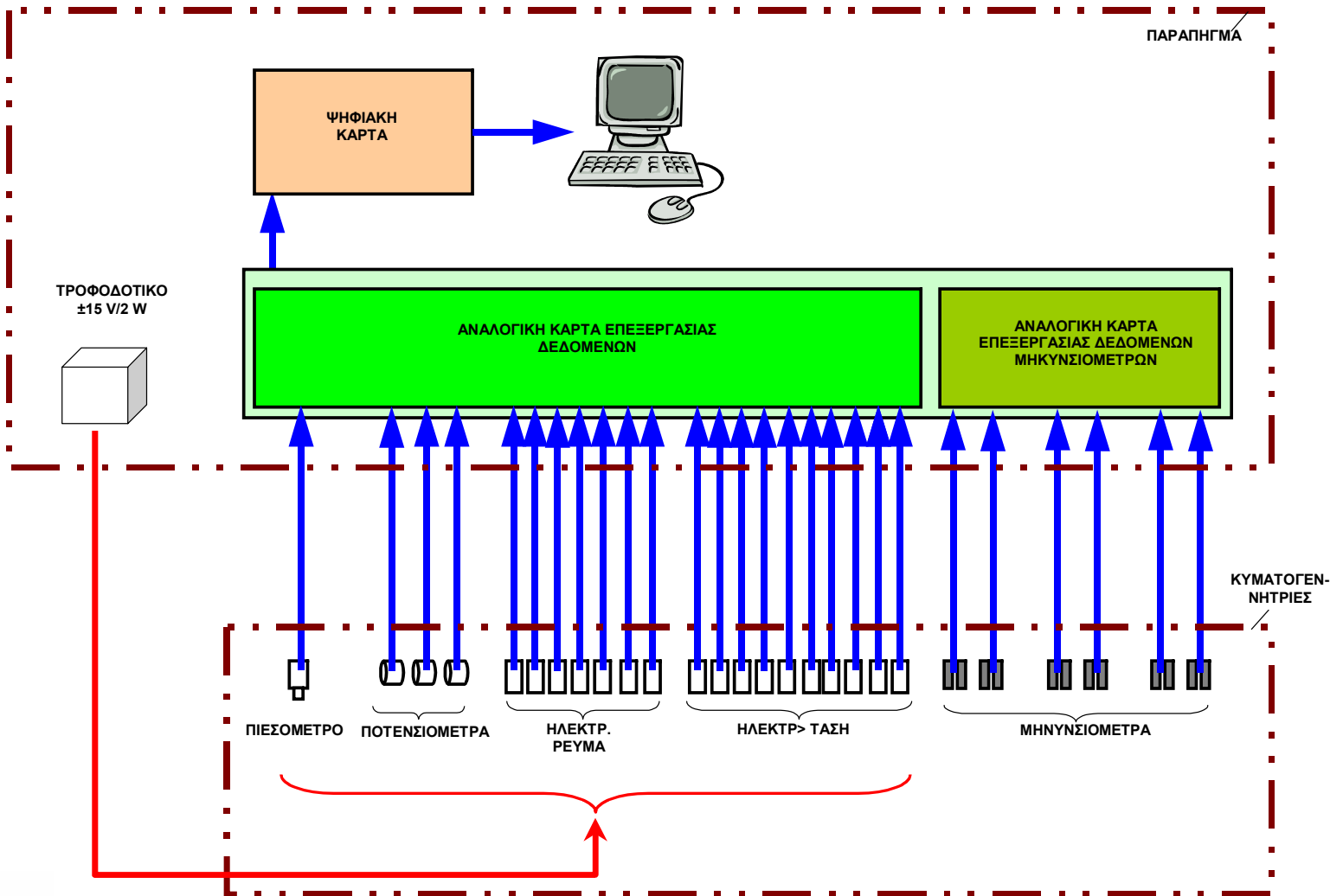
Σύστημα ελέγχου διέγερσης γεννητριών



Βελτιστοποίηση του ρεύματος διεγέρσεως της γεννήτριας, με τεχνική διαμόρφωσης εύρους παλμών (PWM)

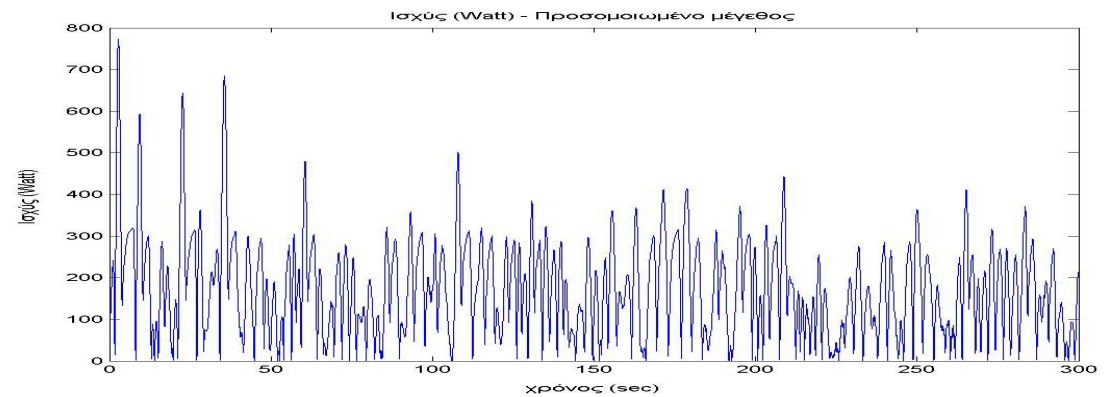
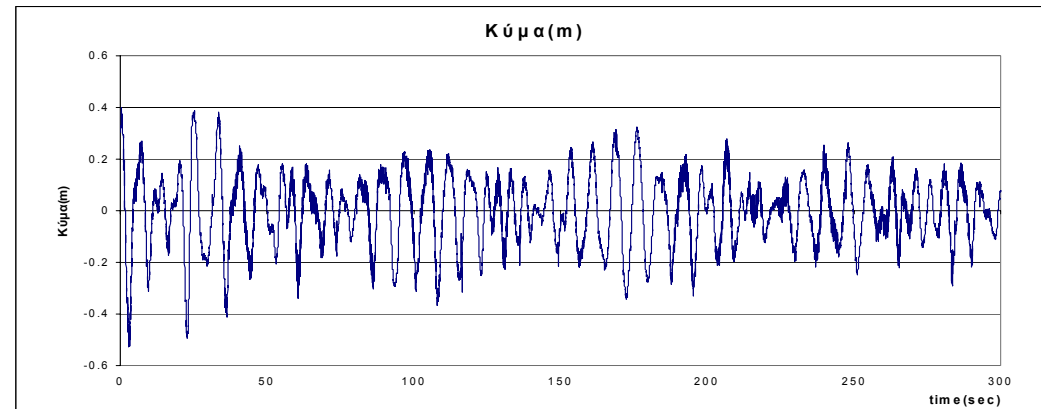
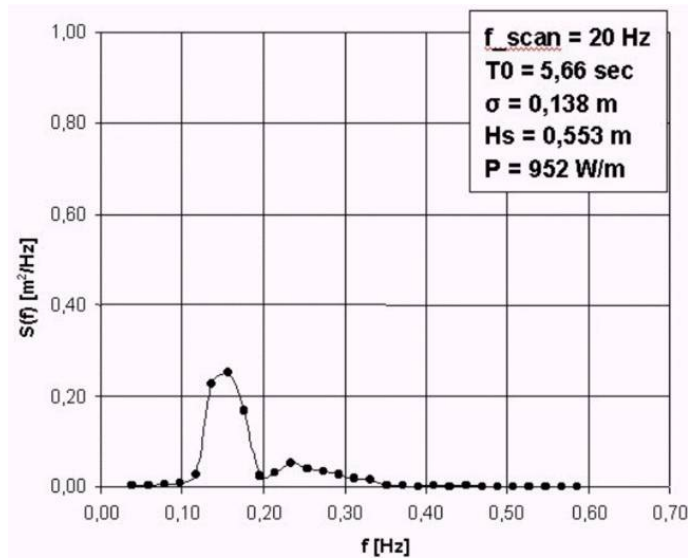
Πειραματικός Σταθμός Ηλεκτροπαραγωγής από Θαλάσσιο Κυματισμό

Μετρητικό σύστημα



Πειραματικός Σταθμός Ηλεκτροπαραγωγής από Θαλάσσιο Κυματισμό

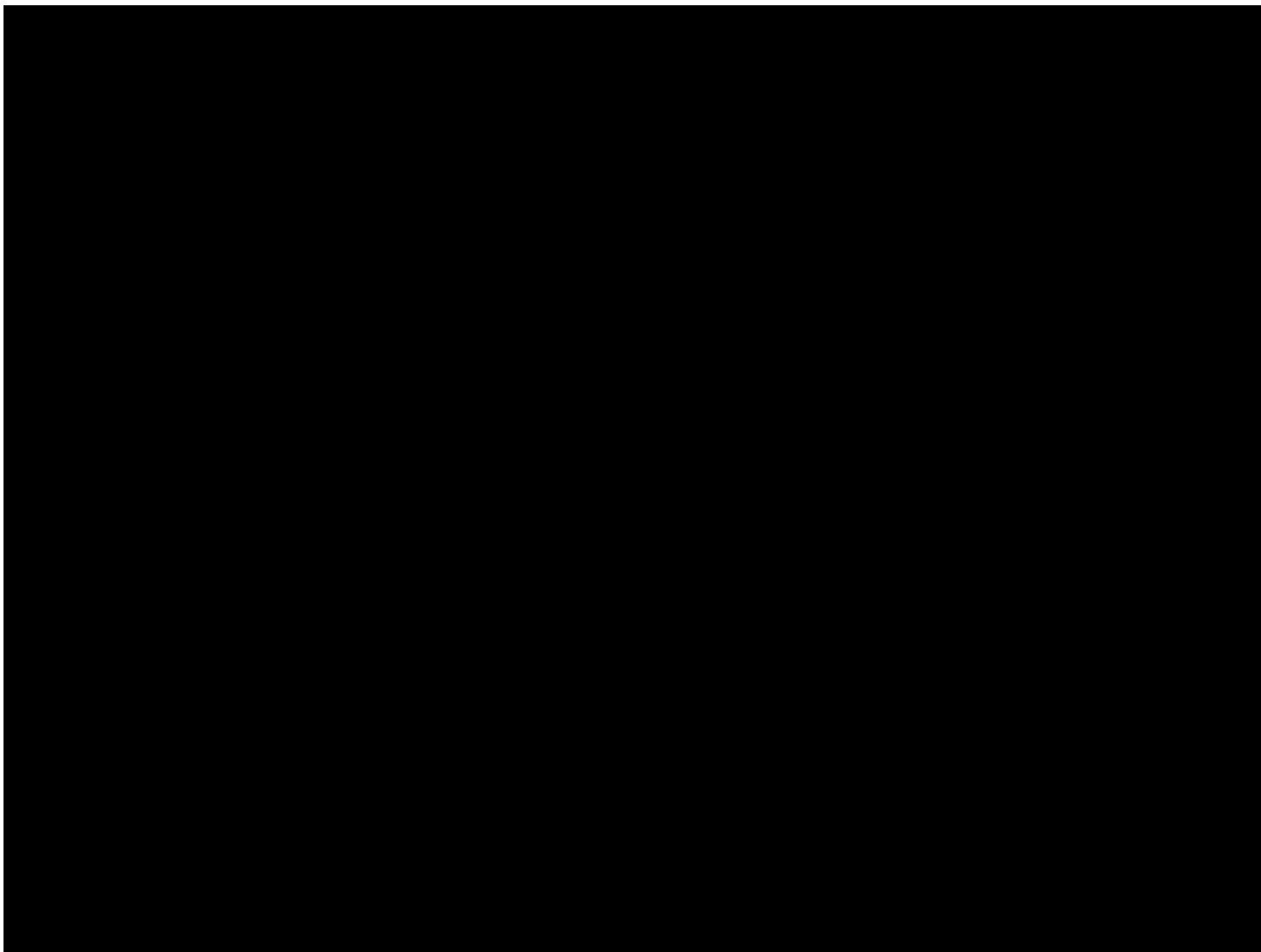
Μοντελοποίηση Μετρημένων Χρονοσειρών Κυματισμού



- μέση ισχύς κυματισμού **$P = 0,95 \text{ kW/m}$**
- Συνολικός βαθμός απόδοσης της διατάξεως είναι **22.7%**

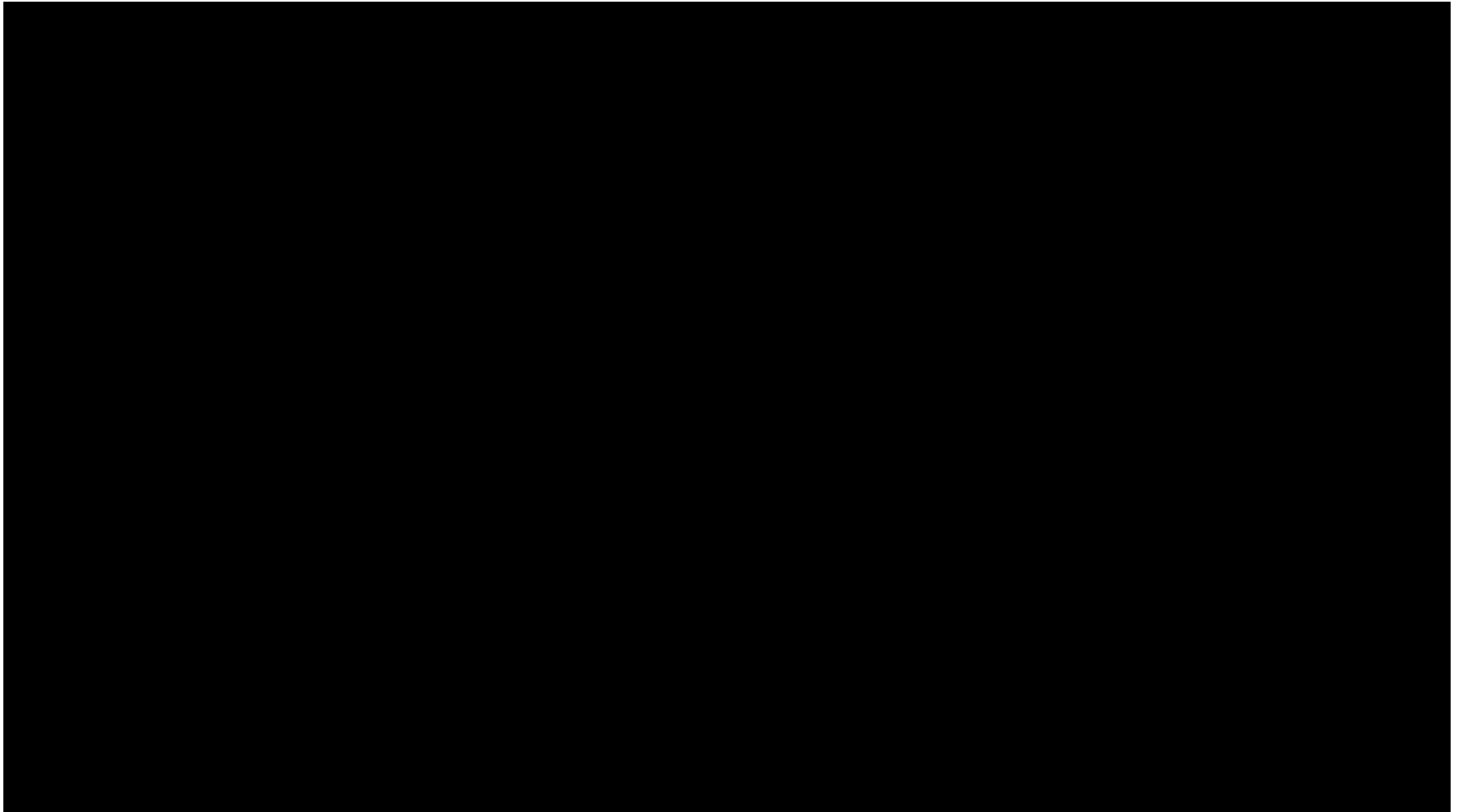


Γραμμική Γεννήτρια Μονίμων Μαγνητών

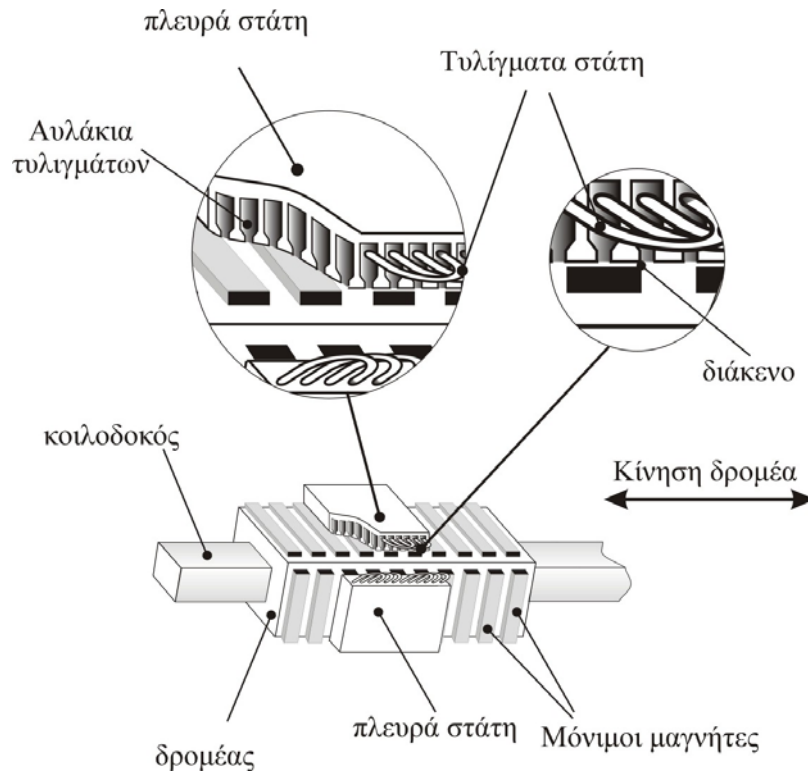




Γραμμική Γεννήτρια Μονίμων Μαγνητών



Γραμμική Γεννήτρια Μονίμων Μαγνητών



Παράμετρος	Τιμή
Ισχύς	16 kW
Ονομ. φασική τάση (rms)	$U_N=188V$
Ονομ. Ρεύμα	$I_{AN}=29,86A$
Συχνότητα	10Hz
Πόλοι ανά πλευρά	40
Πλευρές	4
Πολικό βήμα	$w_p=45mm$
Πλάτος διακένου	2mm
Πλάτος μαγνήτη	31mm
Ύψος μαγνήτη	8mm
Μήκος στάτη	1808 mm
Μήκος δρομέα	2900 mm

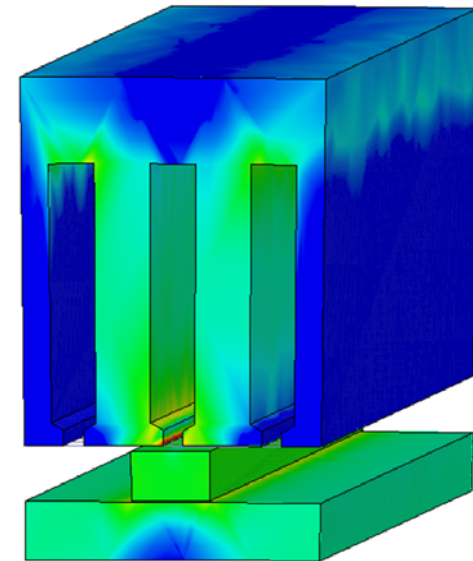
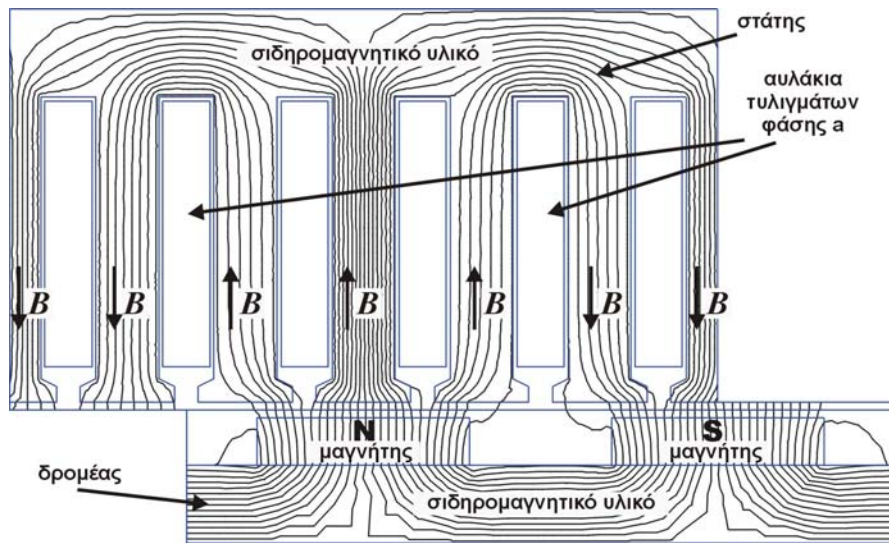
σχεδίαση και διαστασιολόγηση με βάση:

- τα ειδικά χαρακτηριστικά του θαλάσσιου κυματισμού
- τα αποτελέσματα δυναμικής προσομοίωσης της συμπεριφοράς κυλινδρικού πλωτήρα
- την ανάλυση του συζευγμένου υδραυλικού–μηχανικού–ηλεκτρικού συστήματος

Γραμμική Γεννήτρια Μονίμων Μαγνητών

Ανάλυση μαγνητικού πεδίου με Μέθοδο Πεπερασμένων Στοιχείων

Μαγνητικό πεδίο που δημιουργούν οι μόνιμοι μαγνήτες του δρομέα

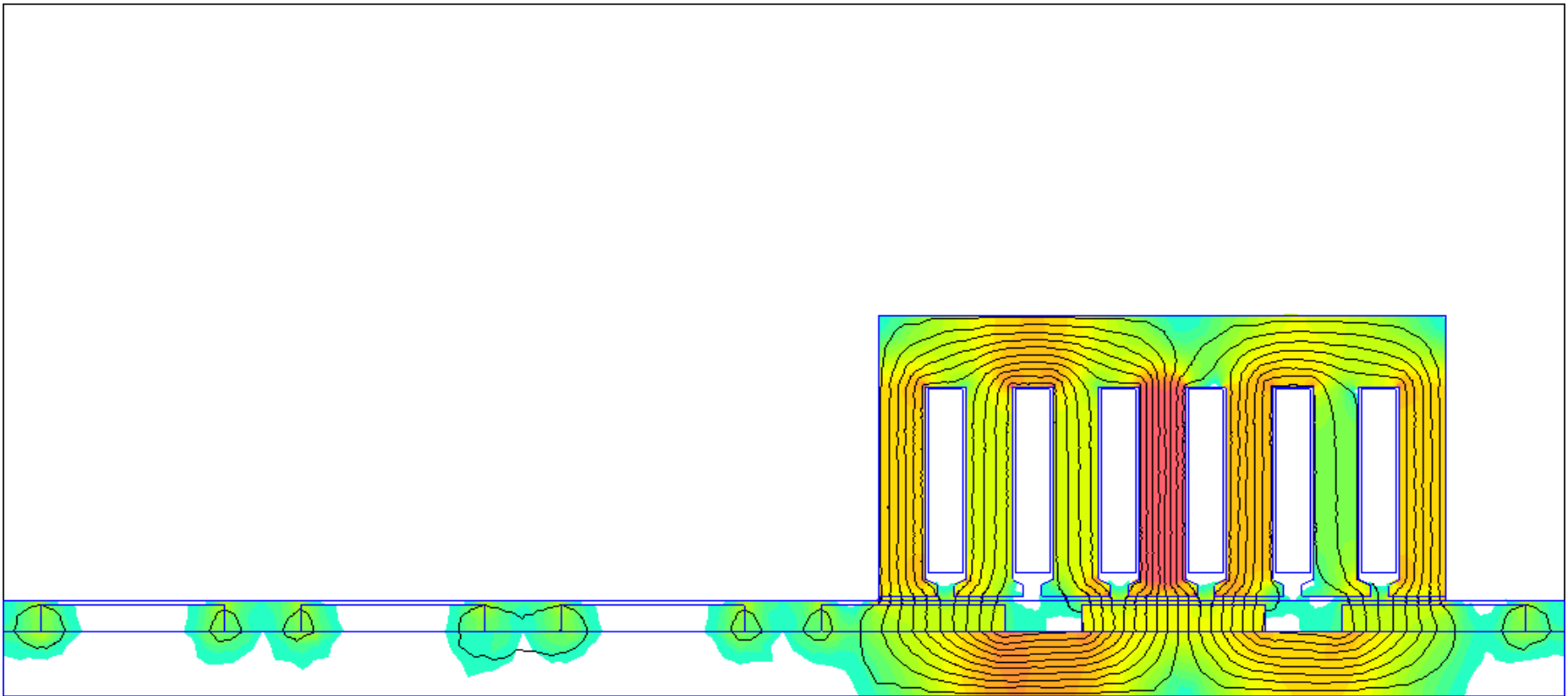


Γραμμική Γεννήτρια Μονίμων Μαγνητών

Ανάλυση μαγνητικού πεδίου με Μέθοδο Πεπερασμένων Στοιχείων

Συνολική ροή Φ_{itot} από το πηνίο μιας φάσης

$$\Phi_{itot} = \Phi_{PM} + \Phi_{ia} + \Phi_{ib} + \Phi_{ic}$$



Γραμμική Γεννήτρια Μονίμων Μαγνητών

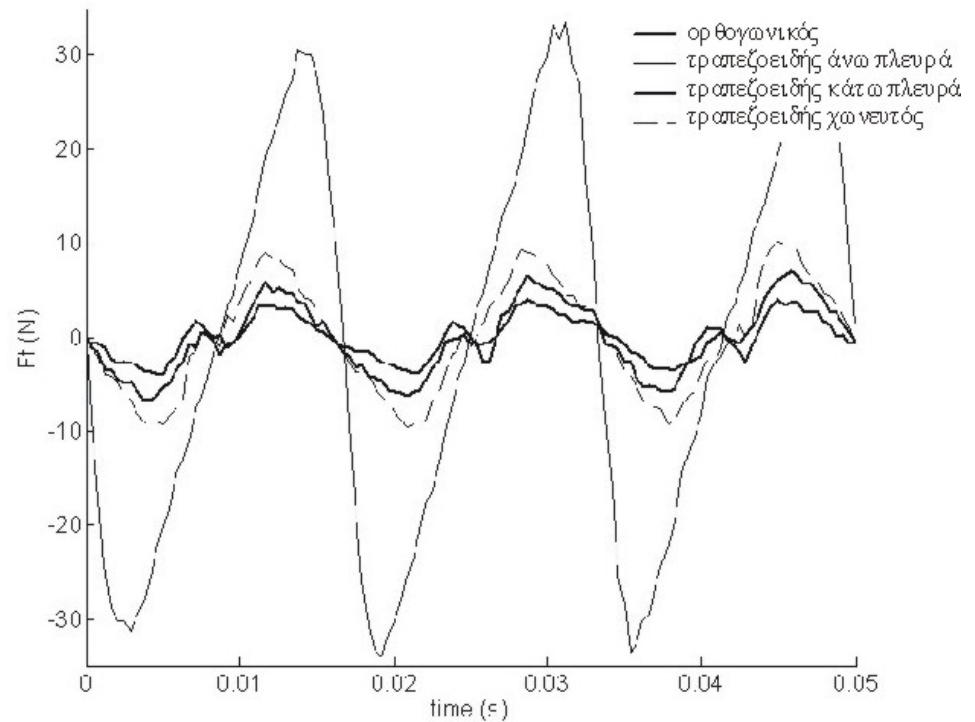
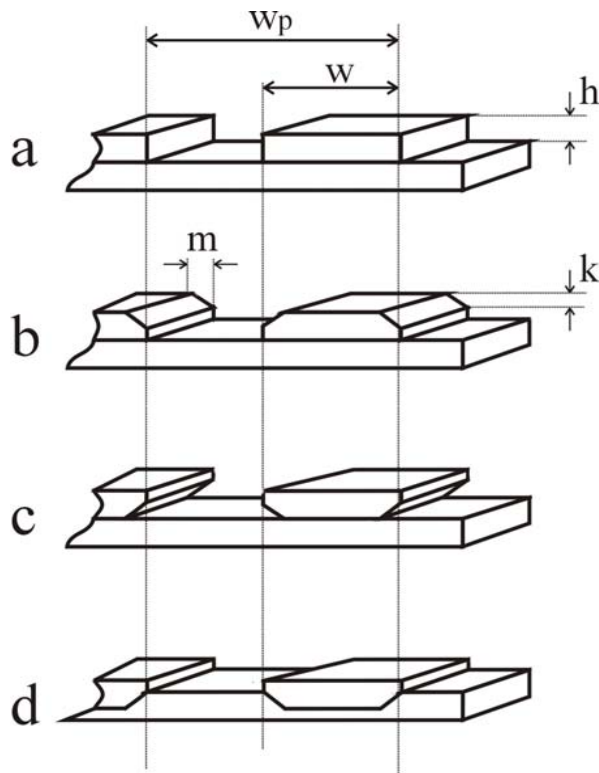
Μοντελοποίηση συζευγμένης πεδιακής – κυκλωματικής λειτουργίας σε γραμμική γεννήτρια μονίμων μαγνητών



Γραμμική Γεννήτρια Μονίμων Μαγνητών

Νέα Μεικτή Τεχνική «Πεπερασμένων Στοιχείων - Αναλυτικών Λύσεων» για την Μοντελοποίηση Ηλεκτρογεννητριών

Βελτιστοποίηση γεωμετρίας γραμμικής γεννήτριας

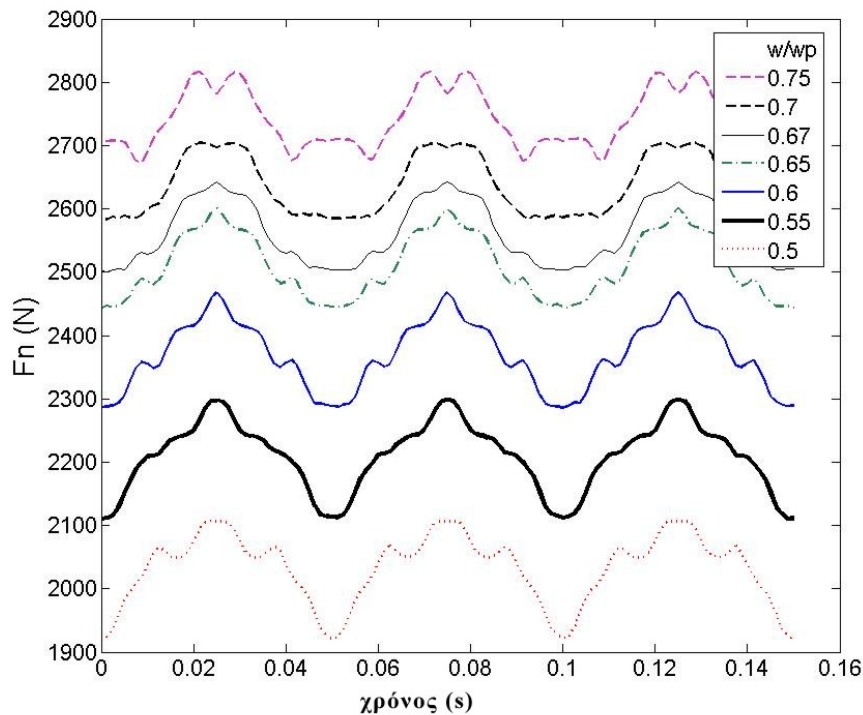


Δύναμη ευθυγράμμισης

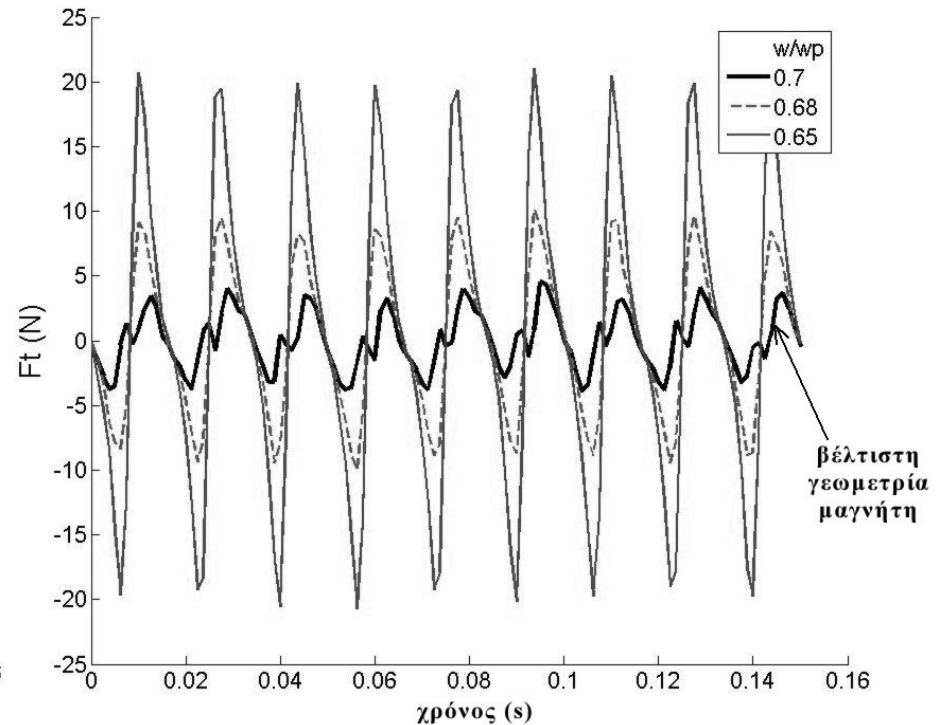
Γραμμική Γεννήτρια Μονίμων Μαγνητών

Νέα Μεικτή Τεχνική «Πεπερασμένων Στοιχείων - Αναλυτικών Λύσεων» για την Μοντελοποίηση Ηλεκτρογεννητριών

Βελτιστοποίηση γεωμετρίας γραμμικής γεννήτριας



Ελκτική δύναμη στάτη-δρομέα

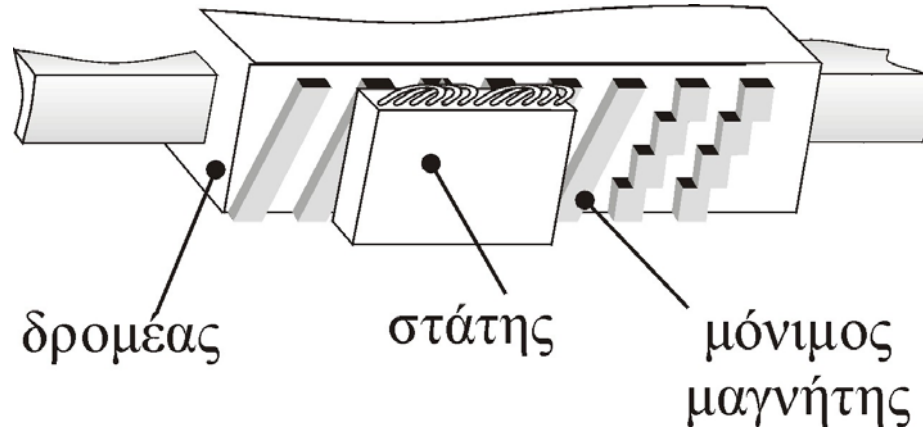


Δύναμη ευθυγράμμισης

Γραμμική Γεννήτρια Μονίμων Μαγνητών

Νέα Μεικτή Τεχνική «Πεπερασμένων Στοιχείων - Αναλυτικών Λύσεων» για την Μοντελοποίηση Ηλεκτρογεννητριών

Θεώρηση κεκλιμένων μαγνητών στο δρομέα



$$[S^1] [A^1] = [F^1]$$

$$[S^2] [A^2] = [F^2]$$

$$\sum_{j=1}^{ntot} S_{ij}^{g1} A_j^1 + \sum_{j=1}^{ntot} S_{ij}^{g2} A_j^2 = 0$$

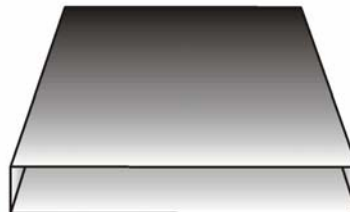
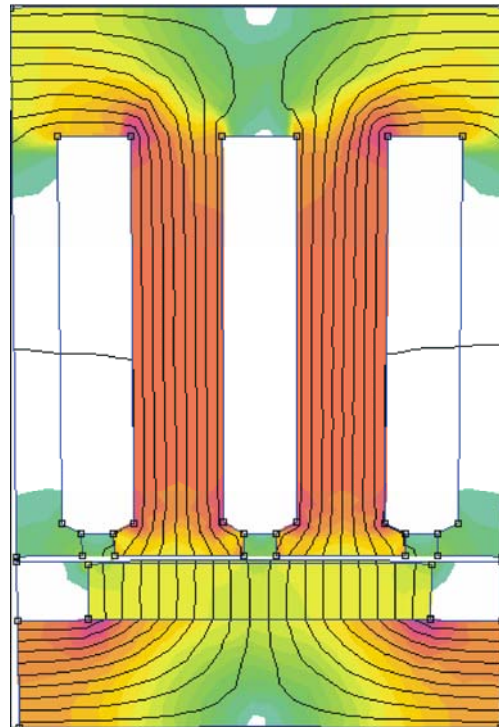
S_{ij}^{g1}, S_{ij}^{g2} είναι οι όροι για τους κόμβους που περιβάλλουν το διάκενο (μακροστοιχείο)

A_i^1, A_i^2 οι τιμές του διανυσματικού δυναμικού στους κόμβους του διακένου

Γραμμική Γεννήτρια Μονίμων Μαγνητών

Νέα Μεικτή Τεχνική «Πεπερασμένων Στοιχείων - Αναλυτικών Λύσεων» για την Μοντελοποίηση Ηλεκτρογεννητριών

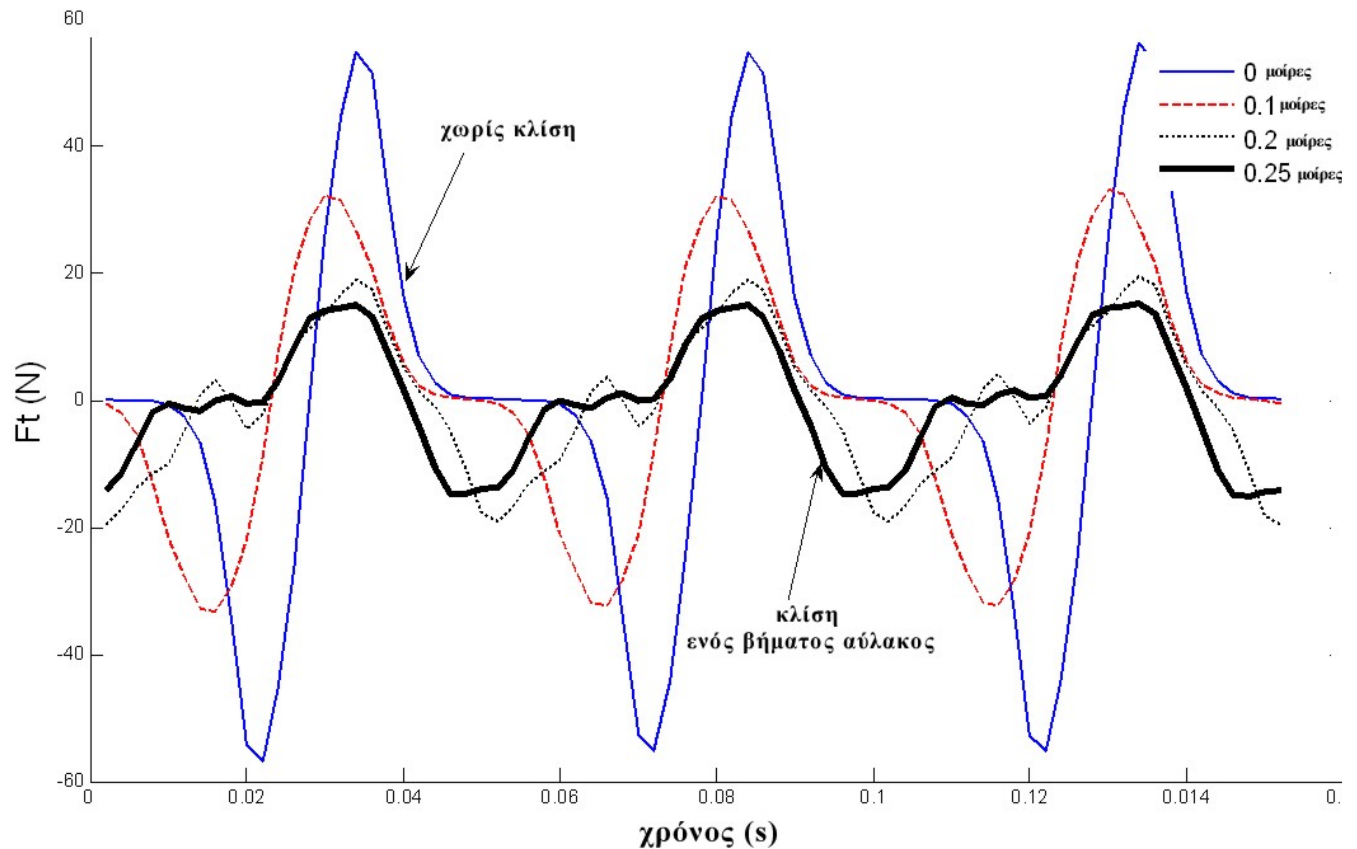
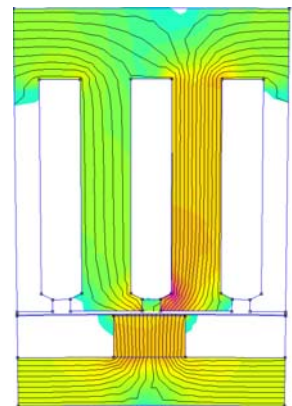
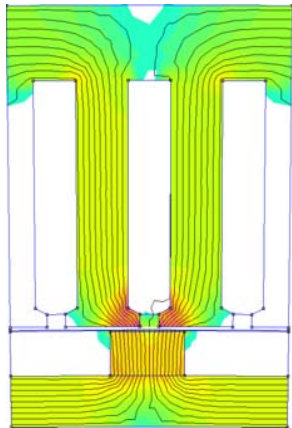
Θεώρηση κεκλιμένων μαγνητών στο δρομέα



Γραμμική Γεννήτρια Μονίμων Μαγνητών

Νέα Μεικτή Τεχνική «Πεπερασμένων Στοιχείων - Αναλυτικών Λύσεων» για την Μοντελοποίηση Ηλεκτρογεννητριών

Επίπτωση κλίσης μαγνητών δρομέα



Δύναμη ευθυγράμμισης

Γραμμικές Γεννήτριες Μονίμων Μαγνητών για Ηλεκτροπαραγωγή από Θαλάσσιο Κοματισμό

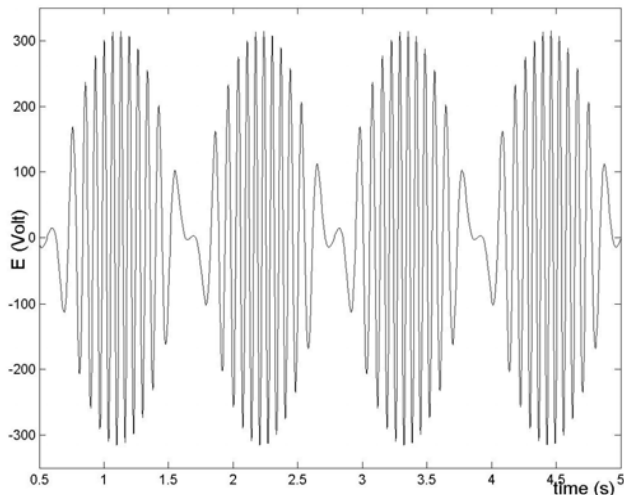
Γραμμική Γεννήτρια Μονίμων Μαγνητών

Ηλεκτρεγερτική δύναμη σε κενό φορτίο

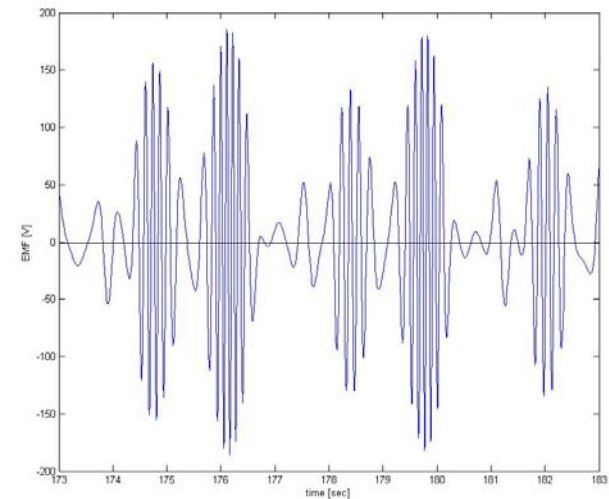
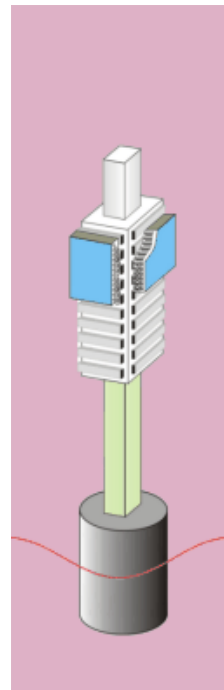
$$E_i = \frac{d\lambda_{im}}{dt} = \frac{d\lambda_{im}}{dz} \frac{dz}{dt} \quad i = a, b, c$$

$$\lambda_{im} = N_i \phi_i = N_i \Phi_i \cos(\omega t) = N_i \Phi_{i \max} \cos\left(\frac{\pi}{\tau} z\right)$$

$$E_a = \frac{d\lambda_{am}}{dz} \frac{dz}{dt} = -N_a \Phi_a \frac{\pi}{w_p} \sin\left(\frac{\pi}{w_p} z\right) \frac{dz}{dt} = ku$$



προσομοιωμένο μέγεθος
ημιτονοειδής κυματισμός



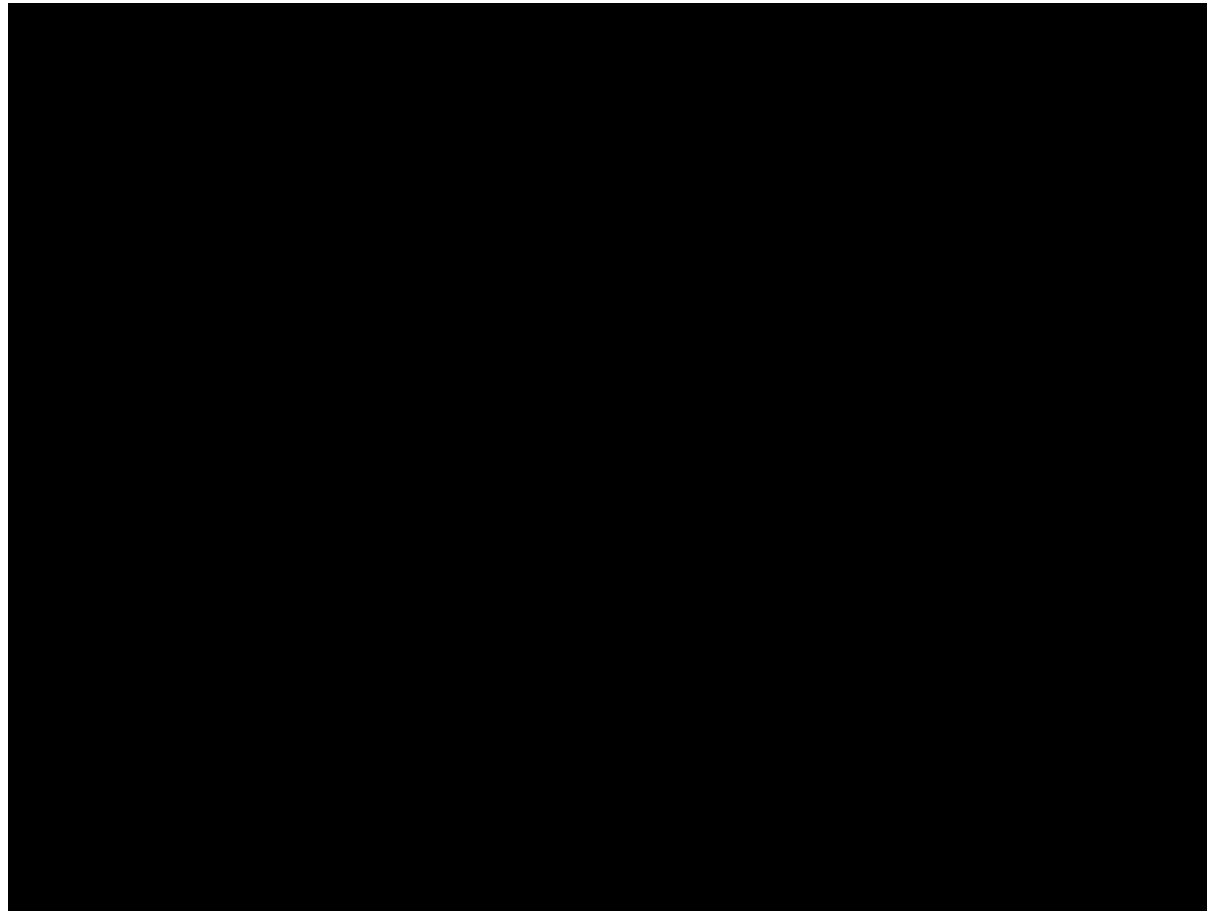
προσομοιωμένο μέγεθος
μετρημένος κυματισμός

Συμπεράσματα

- Η Γραμμική Γεννήτρια Μονίμων Μαγνητών είναι **κατάλληλη** για εφαρμογές σε παράκτιους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής από θαλάσσιο κυματισμό
- Απαιτείται **απλό μηχανικό σύστημα** για την **άμεση** μετάδοση της κίνησης του προσπίπτοντα κυματισμού
- **Αποδέσμευση** από την ανάγκη ύπαρξης και ελέγχου κυκλωμάτων διέγερσης της γεννήτριας
- **Απλοποίηση** του συστήματος αυτομάτου ελέγχου και βελτιστοποίησης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας



Γραμμικές Γεννήτριες Μονίμων Μαγνητών για Εφαρμογές Ηλεκτροπαραγωγής από Θαλάσσιο Κυματισμό



...ευχαριστώ για την προσοχή σας.