



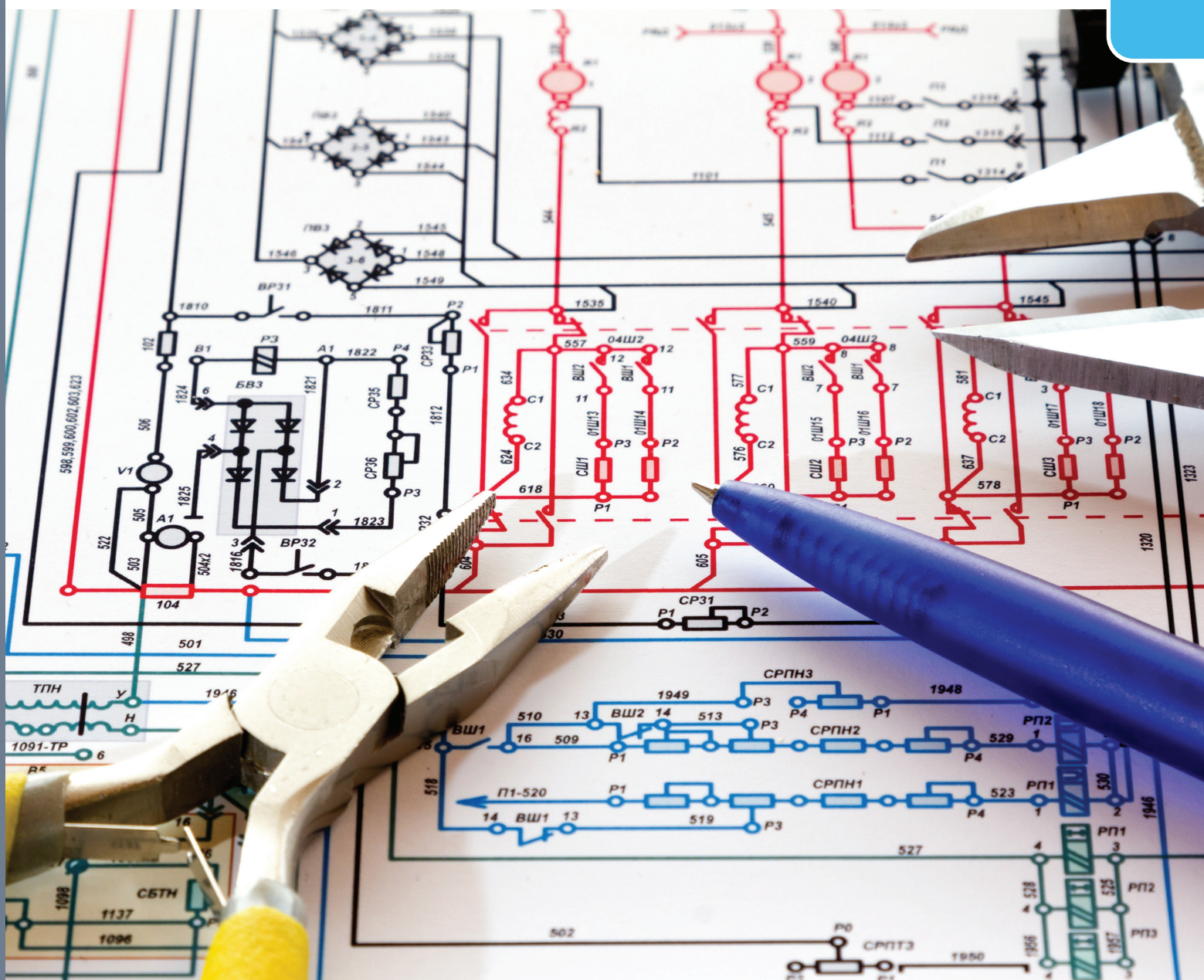
ΧΡΥΣΟΥΝ ΜΕΤΑΛΛΙΟΝ
ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ

ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΚΕΙΜΕΝΟ
ΑΚΑΔΗΜΙΩΝ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ

ΘΕΩΡΙΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ

ΓΕΩΡΓΙΟΥ Χ. ΚΙΟΚΕ

ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ



ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ

ΧΡΥΣΟΥΝ ΜΕΤΑΛΛΙΟΝ ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ



ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΚΕΙΜΕΝΟ

ΑΚΑΔΗΜΙΩΝ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΤΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ

ΘΕΩΡΙΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ

Γεωργίου Κιόκε

Δρος Ηλεκτρολόγου Μηχανικού και Μηχανικού Υπολογιστών
ΕΜΠ, Καθηγητή ΑΕΝ Ασπροπύργου



ΑΘΗΝΑ
2026



Α΄ ΕΚΔΟΣΗ 2026

ISBN: 978-960-337-247-9

Copyright © 2026 Ίδρυμα Ευγενίδου

Απαγορεύεται η ολική ή μερική ανατύπωση του βιβλίου και των εικόνων με κάθε μέσο καθώς και η διασκευή, η προσαρμογή, η μετατροπή και η κυκλοφορία του (Άρθρο 3 του Ν. 2121/1993).

ΠΡΟΛΟΓΟΣ ΙΔΡΥΜΑΤΟΣ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ

Το 1952 ο Ευγένιος Ευγενίδης (1882-1954) όρισε με τη διαθήκη του τη σύσταση του Ιδρύματος Ευγενίδου, του οποίου ως μοναδικό σκοπό έταξε «νὰ συμβάλλῃ εἰς τὴν ἐκπαίδευσιν νέων ἑλληνικῆς ὑπηκοότητος ἐν τῷ ἐπιστημονικῷ καὶ τεχνικῷ πεδίῳ». Ο ιδρυτής και χορηγός του Ιδρύματος Ευγενίδου ορθά προέβλεψε ότι αναγκαίο παράγοντα για την πρόοδο της Ελλάδος αποτελεί η άρτια κατάρτιση των Ελλήνων τεχνιτών κατά τα πρότυπα της επαγγελματικής εκπαίδευσης άλλων ευρωπαϊκών χωρών.

Την 23η Φεβρουαρίου του 1956 εγκρίθηκε η σύσταση του κοινωφελούς Ιδρύματος Ευγενίδου, την διοίκηση και διαχείριση του οποίου κατά την ρητή επιθυμία του ιδρυτή του ανέλαβε η αδελφή του Μαριάνθη Σίμου (1895-1981). Τότε ξεκίνησε η υλοποίηση του σκοπού του Ιδρύματος και η εκπλήρωση μίας από τις βασικότερες ανάγκες του εθνικού μας βίου από την Μαριάνθη Σίμου και τους επιστημονικούς συνεργάτες της.

Το έργο της Μαριάνθης Σίμου συνέχισε από το 1981 ο πολύτιμος συνεργάτης και διάδοχος του Ευγενίου Ευγενίδη, Νικόλαος Βερνίκος-Ευγενίδης (1920-2000). Από το 2000 το έργο του Ιδρύματος Ευγενίδου συνεχίζει ο Λεωνίδας Δημητριάδης-Ευγενίδης, ο οποίος υλοποιεί τον σκοπό του Ιδρύματος προσαρμόζοντας το όραμα του ιδρυτή του στις σύγχρονες εξελίξεις.

Μία από τις πρώτες δραστηριότητες του Ιδρύματος Ευγενίδου, ευθύς μετά την ίδρυσή του, υπήρξε η συγγραφή και έκδοση εκπαιδευτικών βιβλίων για τους μαθητές των τεχνικών σχολών, καθώς διαπιστώθηκε ότι αποτελεί πρωταρχική ανάγκη ο εφοδιασμός τους με σειρές από βιβλία, τα οποία θα έθεταν τα ορθά θεμέλια για την παιδεία τους και θα αποτελούσαν συγχρόνως πολύτιμη βιβλιοθήκη για κάθε τεχνικό. Καρπός αυτής της δραστηριότητας είναι η Βιβλιοθήκη του Τεχνίτη, η οποία αριθμεί 32 τίτλους, η Βιβλιοθήκη του Τεχνικού, που περιλαμβάνει 50 τίτλους, η Τεχνική Βιβλιοθήκη με 11 τίτλους και η Βιβλιοθήκη του Τεχνικού Βοηθού Χημικού με 3 τίτλους. Επί πλέον, από το 1977 μέχρι σήμερα έχουν εκδοθεί 171 τίτλοι για τους μαθητές των Τεχνικών και Επαγγελματικών Λυκείων και 16 για τους μαθητές των Σχολών Μέσης Τεχνικής και Επαγγελματικής εκπαίδευσης.

Ξεχωριστή σειρά βιβλίων του Ιδρύματος Ευγενίδου αποτελεί η Βιβλιοθήκη του Ναυτικού (1967 έως σήμερα), η οποία είναι το αποτέλεσμα της συνεργασίας του Ιδρύματος Ευγενίδου με την Διεύθυνση Εκπαίδευσης Ναυτικών του Υπουργείου Ναυτιλίας. Η συγγραφή και έκδοση των εκπαιδευτικών βιβλίων για τους σπουδαστές των ναυτικών σχολών ανατέθηκε στο Ίδρυμα Ευγενίδου με την υπ' αριθμ. 61288/5031/9.8.1966 απόφαση του Υπουργείου Εμπορικής Ναυτιλίας, οπότε και λειτούργησε η αρμόδια Επιτροπή Εκδόσεων, η οποία είχε συσταθεί ήδη από το 1958. Η συνεργασία Ιδρύματος Ευγενίδου και Υπουργείου Εμπορικής Ναυτιλίας ανανεώθηκε και επικαιροποιήθηκε με Υπουργικές Αποφάσεις το 1999 και το 2005, με τις οποίες το ΥΕΝ ανέθεσε στο Ίδρυμα Ευγενίδου την συγγραφή των εκπαιδευτικών βοηθημάτων για τις Ακαδημίες Εμπορικού Ναυτικού (Α.Ε.Ν.). Η ανάθεση της αρμοδιότητας για την έκδοση των διδακτικών βιβλίων για τις Ακαδημίες επαναβεβαιώθηκε με νομοθετική ρύθμιση τον Μάρτιο του 2020 (Ν. 4676).

Στην Βιβλιοθήκη του Ναυτικού περιλαμβάνονται 178 διδακτικά βιβλία ναυτικής εκπαίδευσης, καθώς και σχετικές έρευνες και πρακτικά συνεδρίων. Όλα τα βιβλία της Βιβλιοθήκης του Ναυτικού ανταποκρίνονται στις ανάγκες των σπουδαστών των ΑΕΝ και είναι γενικότερα χρήσιμα για όλους τους αξιωματικούς του Εμπορικού Ναυτικού, που ασκούν το επάγγελμα ή εξελίσσονται στην ιεραρχία. Επί πλέον οι συγγραφείς και η Επιτροπή Εκδόσεων καταβάλλουν κάθε προσπάθεια ώστε τα διδακτικά βιβλία να είναι επιστημονικώς άρτια, να επικαιροποιούνται με βάση τα εκάστοτε αναλυτικά προγράμματα σπουδών των Α.Ε.Ν. και να παραμένουν συμβατά με τις μεταβαλλόμενες διεθνείς απαιτήσεις.

Η διαχρονική συμβολή του Ιδρύματος Ευγενίδου στη Ναυτική Εκπαίδευση επιτυγχάνεται όχι μόνο με την έκδοση των σχετικών εκπαιδευτικών βιβλίων αλλά και με δωρεές στις Ακαδημίες Εμπορικού Ναυτι-

κού, υποτροφίες σε αξιωματικούς του Λιμενικού Σώματος, εκπόνηση μελετών/ερευνών και διεξαγωγή συνεδρίων για την ναυτική εκπαίδευση και την ναυτιλία γενικότερα, καθώς και παροχή πρόσβασης σε κορυφαίες ναυτιλιακές βάσεις δεδομένων μέσω της Βιβλιοθήκης του.

Με την προσφορά των εκδόσεών του στους καθηγητές, στους σπουδαστές των ΑΕΝ και σε όλους τους αξιωματικούς του Εμπορικού Ναυτικού, αλλά και με την πλειάδα εκδόσεων για Τεχνικούς, το Ίδρυμα Ευγενίδου συνεχίζει να συμβάλλει στην τεχνική εκπαίδευση της Ελλάδος, υλοποιώντας επί 60 και πλέον χρόνια το όραμα του ιδρυτή του, αείμνηστου ευεργέτη Ευγένιου Ευγενίδη.

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΕΚΔΟΣΕΩΝ ΙΔΡΥΜΑΤΟΣ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ

Ιωάννης Γκόλιας, ομ. Καθηγητής ΕΜΠ, Πρόεδρος.

Γεώργιος Γεωργούλης, Πλοίαρχος Α' Ε.Ν., Ε.Δι.Π. Παν/μίου Αιγαίου.

Ευρυβιάδης Σαπουνάς, Υποναύαρχος Λ.Σ. (ε.α.).

Κωνσταντίνος Σαβιολίδης, Πλοίαρχος Λ.Σ., Διευθυντής Ναυτικής Εκπαίδευσης, Υπουργείο Ναυτιλίας και Νησιωτικής Πολιτικής.

Χρήστος Βαγιωνάκης, Προϊστάμενος Τμήματος Κανονισμών και Εκπαιδευτικών Προγραμμάτων, Υπουργείο Ναυτιλίας και Νησιωτικής Πολιτικής.

Γραμματέας της Επιτροπής, **Ελευθερία Τελειώνη**.

Ειδικός Επιστημονικός Σύμβουλος για το βιβλίο «Θεωρία ηλεκτρικών κυκλωμάτων» ο κ. **Ιωάννης Προυσαλίδης**, Καθηγητής ΕΜΠ.

Διατελέσαντα μέλη της Επιτροπής

Πρόεδροι

Α. Παππάς (1955-1983) καθηγητής ΕΜΠ, Μ. Αγγελόπουλος (1983-2003) ομ. καθηγητής ΕΜΠ, Α. Σταυρόπουλος ομ. καθηγητής Πανεπ. Πειραιώς (2003-2008), Ε. Δρης, Ομ. Καθηγητής ΕΜΠ (2008-2020)

Λοιπά μέλη

Γ. Κακριδής (1955-1959) Καθηγητής ΕΜΠ, Α. Καλογεράς (1957-1970) Καθηγητής ΕΜΠ, Χ. Καβουνίδης (1955-1984) Μηχ. Ηλ. ΕΜΠ, Μ. Αγγελόπουλος (1970-1983), Ομ. Καθηγητής ΕΜΠ, Σπ. Γουλιέλμος (1958) Αντιπλοίαρχος, Ξ. Αντωνιάδης (1959-1966) Αντιπλοίαρχος, Δ/ντής Ναυτ. Εκπαίδ., Π. Γ. Τσακίρης (1967-1969) Πλοίαρχος, Δ/ντής Ναυτ. Εκπαίδ., Ελλ. Σίδερης (1967-1969) Υποναύαρχος, Π. Φουστέρης (1969-1971) Αντιπλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαίδ., Αλ. Μοσχονάς (1971-1972) Αντιπλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαίδ., Ι. Χρυσανθακόπουλος (1972-1974) Αντιπλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαίδ., Αθαν. Σωτηρόπουλος (1974-1977) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαίδ., Γ. Σπαρτιώτης (1977) Αντιπλοίαρχος Λ.Σ., προσωρινός Δ/ντής Ναυτ. Εκπαίδ., Θ. Πουλάκης (1977-1979) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαίδ., Π. Λυκούδης (1979-1981) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαίδ., Αναστ. Δημαράκης (1981-1982) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαίδ., Κ. Τσαντήλας (1982-1984) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαίδ., Ε. Τζαβέλας (1984-1986) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαίδ., Γ. Γρηγοράκος (1986-1988) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαίδ., Α. Μπαρκατσάς (1988-1989) Αρχιπλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαίδ., Κ. Παπαναστασίου (1989) Αρχιπλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαίδ., Γ. Λάμπρου (1989-1992) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαίδ., Κ. Κοκορέτσας (1992-1993) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαίδ., Κ. Μαρκάκης (1993-1994) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαίδ., Ι. Ζουμπούλης (1994-1995) Πλοίαρχος Λ.Σ., Φ. Ψαρράς (1995-1996) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαίδ., Γ. Καλαρώνης (1996-1998) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαίδ., Θ. Ρεντζεπέρης (1998-2000) Αντιπλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαίδ., Ι. Στεφανάκης (2000-2001) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαίδ., Κ. Μαρίνος (2001) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαίδ., Π. Εξαρχόπουλος (2001-2003) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαίδ., Κ. Μπριλάκης (2003-2004) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαίδ., Ν. Θεμέλαρος (2003-2004) Αντιπλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαίδ., Π. Κουβέλης (2004-2005) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαίδ., Δ. Βασιλάκης (2005-2008) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαίδ., Π. Πετρόπουλος (2008-2009) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαίδ., Α. Ματσάγγος (2009-2011) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαίδ. – (2012-2025) Αντιναύαρχος Λ.Σ. (ε.α.), Ι. Σέργης (2011-2012) Αρχιπλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαίδ., Ι. Τζαβάρας, (2004-2013) Αντιναύαρχος Λ.Σ. (ε.α.), Ι. Τεγόπουλος (1988-2013) Ομ. Καθηγητής ΕΜΠ, Α. Θεοφανόπουλος (2012-2014) Πλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαίδ., Β. Καλλιπολίτου (2014-2017) Αντιπλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντρια Ναυτ. Εκπαίδ., Σ. Μπέλλας (2017-2018) Αρχιπλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαίδ., Α. Τσελίκης (2018-2019) Αρχιπλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαίδ., Α. Βουτσινάς, Αντιπλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαίδ., Ε. Πετρόπουλος (2020-2024) Αρχιπλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαίδ., Φ. Κιάμος (2024-2025), Αρχιπλοίαρχος Λ.Σ., Δ/ντής Ναυτ. Εκπαίδ.

Σύμβουλοι επί των Εκδόσεων

Δ.Γ. Νιάνιας (1956-1965) Καθηγητής ΕΜΠ, Κ. Αγγ. Μανάρης (1966-2018), ομ. Καθηγ. Φιλοσ. Σχολής του Πανεπιστημίου Αθηνών.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ

Το βιβλίο «Θεωρία Ηλεκτρικών Κυκλωμάτων» εκπονήθηκε με σκοπό να καλύψει πλήρως το αναλυτικό πρόγραμμα διδασκαλίας του αντίστοιχου μαθήματος του Α΄ εξαμήνου της Σχολής Μηχανικών των Ακαδημιών Εμπορικού Ναυτικού. Το κείμενο του βιβλίου συγγράφηκε σύμφωνα με τις νέες απαιτήσεις εκπαίδευσης και πιστοποίησης της Διεθνούς Σύμβασης STCW '78 (Manila Amendments 2010), ακολουθώντας τα αντίστοιχα γνωστικά αντικείμενα που προτείνονται από το IMO Model Course 7.04, έκδοση 2014.

Το βιβλίο διαιρείται σε οκτώ κεφάλαια. Στο 1^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται το Διεθνές Σύστημα Μονάδων, το ηλεκτρικό φορτίο, το ηλεκτρικό ρεύμα, η ηλεκτρική τάση και οι κίνδυνοι από την επίδραση του ηλεκτρικού ρεύματος στον ανθρώπινο οργανισμό.

Στο 2^ο κεφάλαιο αναλύεται το συνεχές ρεύμα, ξεκινώντας από τον Νόμο του Ohm, την αντίσταση ενός αγωγού, την ειδική αντίσταση, την ειδική αγωγιμότητα και τις αντιστάσεις σταθερής και μεταβλητής τιμής. Επιπλέον, γίνεται αναφορά στη μεταβολή της ειδικής αντίστασης με τη θερμοκρασία, στην ισχύ και στο έργο του ηλεκτρικού ρεύματος.

Στο 3^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται δύο πολύ σημαντικά παθητικά στοιχεία, οι πυκνωτές και τα πηνία. Το κεφάλαιο ξεκινά με τα χαρακτηριστικά μεγέθη και τα είδη πυκνωτών, τις συνδεσμολογίες τους, καθώς και τη μεθοδολογία ελέγχου και ανάλυσης βλαβών. Στη συνέχεια αναλύονται τα πηνία, κατά αναλογία με τους πυκνωτές.

Στο 4^ο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στα ηλεκτρικά κυκλώματα συνεχούς ρεύματος. Μετά τους απαραίτητους ορισμούς αναλύονται οι Νόμοι του Kirchhoff, οι μετασχηματισμοί πηγών και τα θεωρήματα ηλεκτρικών κυκλωμάτων. Στο τελευταίο μέρος του κεφαλαίου παρουσιάζονται οι συστηματικές μέθοδοι ανάλυσης κυκλωμάτων (οι μέθοδοι κόμβων και βρόχων).

Στο 5^ο κεφάλαιο περιγράφεται ο ηλεκτρομαγνητισμός και, ειδικότερα, το μαγνητικό πεδίο, τα μαγνητικά κυκλώματα και η συμπεριφορά της ύλης μέσα σε μαγνητικό πεδίο.

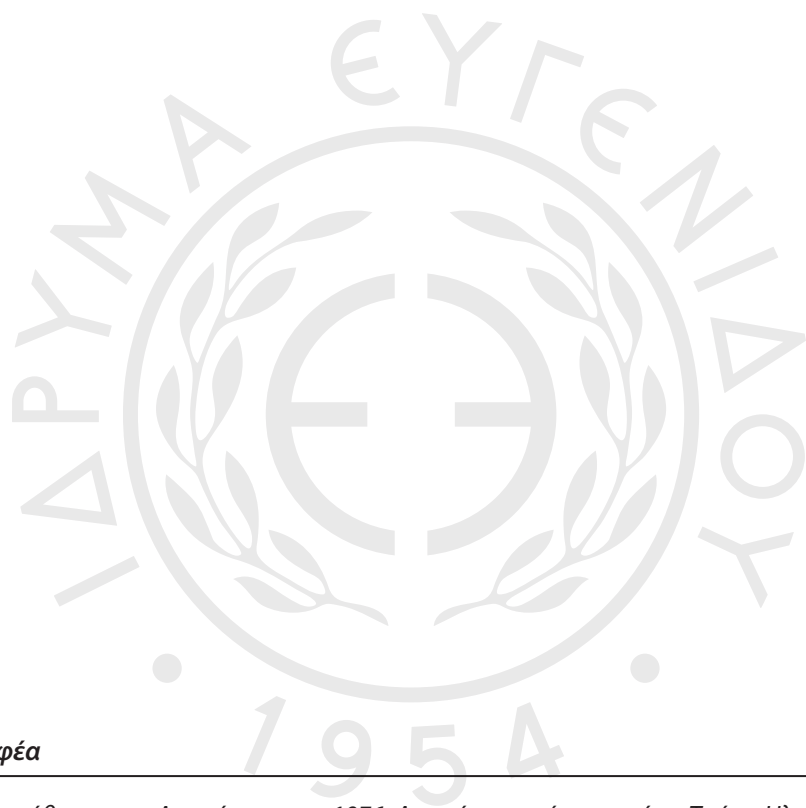
Στο 6^ο κεφάλαιο παρουσιάζεται ο Νόμος της Ηλεκτρομαγνητικής Επαγωγής, ενώ αναλύονται οι έννοιες των δινορρευμάτων, της αυτεπαγωγής, της αμοιβαίας επαγωγής και της ηλεκτρομηχανικής μετατροπής ενέργειας.

Το 7^ο κεφάλαιο πραγματεύεται την εναλλασσόμενη τάση. Αναλύονται οι σύνθετες αντιστάσεις στο εναλλασσόμενο ρεύμα, η ισχύς στα μονοφασικά κυκλώματα και τα τριφασικά συστήματα εναλλασσόμενου ρεύματος.

Τέλος, στο 8^ο κεφάλαιο αναλύονται τα όργανα μέτρησης των ηλεκτρικών μεγεθών και παρουσιάζονται ενδεικτικές μέθοδοι μέτρησης αυτών.

Θερμές ευχαριστίες οφείλω στον ειδικό επιστημονικό σύμβουλο, καθηγητή του ΕΜΠ κ. Ιωάννη Προυσαλίδη, ο οποίος με τις προτάσεις και τις εύστοχες παρατηρήσεις του συνέβαλε, ώστε το βιβλίο να ανταποκριθεί με τον βέλτιστο τρόπο στις απαιτήσεις του μαθήματος και του προγράμματος σπουδών. Ευχαριστίες οφείλω επίσης στην Ομάδα Εκδόσεων του Ιδρύματος Ευγενίδου για τη συνεργασία της σε όλα τα στάδια συγγραφής του βιβλίου. Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω στην οικογένειά μου, στην οποία και αφιερώνω το παρόν σύγγραμμα, για την αμέριστη αγάπη, υπομονή και συνεχή συμπαράστασή της σε κάθε μου προσπάθεια.

Ο συγγραφέας



Βιογραφικό συγγραφέα

Ο **Γεώργιος Κιόκες** γεννήθηκε στον Ασπρόπυργο το 1976. Αρχικά αποφοίτησε από το Τμήμα Ηλεκτρολογίας του ΤΕΙ Πειραιά, ενώ το 2004 ολοκλήρωσε τις προπτυχιακές του σπουδές στη Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών (ΗΜΜΥ) του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου (ΕΜΠ). Το 2009 απέκτησε το διδακτορικό του δίπλωμα από την ίδια Σχολή, ενώ το 2012 ολοκλήρωσε το μεταπτυχιακό πρόγραμμα σπουδών «Τεχνοοικονομικά Συστήματα», της Σχολής ΗΜΜΥ του ΕΜΠ και του Τμήματος Βιομηχανικής Διοίκησης του Πανεπιστημίου Πειραιώς. Το 2022 αποφοίτησε από το Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής.

Διαθέτει πολυετή διδακτική εμπειρία στην τριτοβάθμια εκπαίδευση. Έχει διδάξει επί σειρά ετών στη Σχολή ΗΜΜΥ του ΕΜΠ ως συμβασιούχος επίκουρος καθηγητής, στη Σχολή Ικάρων ως συμβασιούχος λέκτορας και στο ΤΕΙ Πειραιά ως εργαστηριακός συνεργάτης. Το 2011 εκλέχθηκε μόνιμο μέλος ΕΕΔΙΠ στη Σχολή Ικάρων. Από το 2021 είναι μόνιμος τακτικός καθηγητής Γενικών και Τεχνικών Μαθημάτων στην ΑΕΝ Ασπρόπυργου, όπου παράλληλα διατελεί Υπεύθυνος του Τομέα Ηλεκτρολογίας, Ηλεκτρονικής και Πληροφορικής, καθώς και Υπεύθυνος των Εργαστηρίων Ηλεκτρικών Εγκαταστάσεων Πλοίων και Ηλεκτρικών Μηχανών. Διαθέτει περισσότερα από 20 έτη ερευνητικής εμπειρίας. Το συγγραφικό και ερευνητικό του έργο περιλαμβάνει βιβλία, δημοσιεύσεις σε διεθνή επιστημονικά περιοδικά, εργασίες σε πρακτικά διεθνών και εθνικών συνεδρίων, καθώς και συμμετοχή σε πολυάριθμα ερευνητικά προγράμματα.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΔΙΕΘΝΕΣ ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΟΝΑΔΩΝ – ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΣ

1.1 Εισαγωγή - Διεθνές σύστημα μονάδων	1
1.2 Ηλεκτρικό φορτίο	3
1.2.1 Ένταση ηλεκτρικού πεδίου	6
1.2.2 Το ρεύμα ως κίνηση ηλεκτρονίων	7
1.2.3 Ιονισμός	7
1.3 Αγωγοί – Ημιαγωγοί – Μονωτές	8
1.4 Ηλεκτρικό ρεύμα – Ένταση ηλεκτρικού ρεύματος – Μονάδες	8
1.5 Ηλεκτρική τάση και διαφορά δυναμικού – Ηλεκτρεγερτική δύναμη ηλεκτρικών πηγών	10
1.5.1 Ηλεκτρεγερτική δύναμη ηλεκτρικών πηγών	11
1.5.2 Το ηλεκτρικό κύκλωμα	12
1.6 Κίνδυνοι ηλεκτρικού ρεύματος – Ηλεκτροπληξία – Τρόποι αντιμετώπισης	13

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΣΥΝΕΧΕΣ ΡΕΥΜΑ

2.1 Ηλεκτρική αντίσταση στους αγωγούς – Ημιαγωγούς – Μονωτές	17
2.2 Νόμος του Ohm – Μονάδες μέτρησης αντίστασης	17
2.3 Ειδική αντίσταση και ειδική αγωγιμότητα – Υπολογισμός ωμικής αντίστασης αγωγών	18
2.4 Αντιστάσεις μεταβλητής τιμής	20
2.5 Μεταβολή της ειδικής αντίστασης με την θερμοκρασία	21
2.6 Θερμίστορ – Βαρίστορ – Φωτοαντιστάσεις	22
2.7 Ανοιχτό κύκλωμα – Βραχυκύκλωμα	24
2.8 Διαιρέτες τάσης και ρεύματος	25
2.9 Ισχύς και έργο του ηλεκτρικού ρεύματος	27
2.10 Θερμικά αποτελέσματα του ηλεκτρικού ρεύματος	28
2.10.1 Η ένταση του ρεύματος και η ανάπτυξη θερμότητας	29
2.10.2 Εφαρμογές του θερμικού αποτελέσματος	29
2.11 Βλάβες – Έλεγχος αντιστάσεων	29

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΠΥΚΝΩΤΕΣ – ΠΗΝΙΑ

3.1 Εισαγωγή στους πυκνωτές	33
3.2 Χαρακτηριστικά μεγέθη – Είδη πυκνωτών	33
3.2.1 Τύποι πυκνωτών μεταβαλλόμενης χωρητικότητας	34
3.2.2 Ιδιότητες πυκνωτή	36
3.3 Συνδεσμολογίες πυκνωτών	39
3.3.1 Πυκνωτές σε παράλληλη σύνδεση	39
3.3.2 Πυκνωτές σε σύνδεση σε σειρά	39
3.4 Ανάλυση βλαβών και μεθοδολογία ελέγχου πυκνωτών	41

3.5 Πηνία	41
3.5.1 Γενικά	41
3.5.2 Χαρακτηριστικά μεγέθη πηνίων – Είδη πηνίων – Συνδεσμολογίες	41
3.5.3 Συνδεσμολογίες πηνίων	45
3.6 Ανάλυση βλαβών και μεθοδολογία ελέγχου πηνίων	47

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ – ΣΥΣΤΗΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ

4.1 Βασικοί ορισμοί	51
4.2 Κόμβοι, κλάδοι και βρόχοι	52
4.3 Συνδεσμολογίες αντιστάσεων	53
4.3.1 Αντιστάτες σε παράλληλη σύνδεση	54
4.3.2 Ισοδύναμη αντίσταση σε παράλληλη σύνδεση	55
4.3.3 Μικτή συνδεσμολογία	56
4.4 Κανόνες του Kirchhoff	59
4.5 Μετασχηματισμοί πηγών	61
4.6 Θεωρήματα ηλεκτρικών κυκλωμάτων	63
4.6.1 Εισαγωγή	63
4.6.2 Θεώρημα Thévenin	63
4.6.3 Θεώρημα Norton	65
4.6.4 Θεώρημα της υπέρθεσης ή επαλληλίας	66
4.6.5 Θεώρημα μέγιστης μεταφοράς ισχύος ή θεώρημα της προσαρμογής	68
4.6.6 Θεώρημα μετασχηματισμού αντιστάσεων από συνδεσμολογία αστέρα σε τρίγωνο και αντίστροφα ή θεώρημα Kenelly	69
4.6.7 Θεώρημα Millman	69
4.7 Συστηματικές μέθοδοι ανάλυσης κυκλωμάτων	70
4.7.1 Μέθοδος των κόμβων	71
4.7.2 Μέθοδος των βρόχων	72

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΣ

5.1 Μόνιμοι μαγνήτες	77
5.2 Μαγνητικό πεδίο – Πυκνότητα μαγνητικής ροής	78
5.3 Το ρεύμα ως πηγή μαγνητικού πεδίου	79
5.3.1 Μαγνητικό πεδίο ευθύγραμμου αγωγού άπειρου μήκους	80
5.3.2 Μαγνητικό πεδίο σωληνοειδούς πηνίου	82
5.4 Κινούμενο φορτίο μέσα σε μαγνητικό πεδίο	82
5.5 Δύναμη Laplace σε ρευματοφόρο αγωγό	85
5.6 Μαγνητικά κυκλώματα	86
5.7 Ύλη μέσα σε μαγνητικό πεδίο	87

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΕΠΑΓΩΓΗ

6.1 Εισαγωγή – Νόμος Ηλεκτρομαγνητικής Επαγωγής	89
6.2 Επαγόμενη ΗΕΔ σε κινούμενο αγωγό μέσα σε μαγνητικό πεδίο	90

6.3 Δινορρεύματα ή ρεύματα Foucault	92
6.4 Αυτεπαγωγή, αμοιβαία επαγωγή.....	93
6.4.1 Υπολογισμός του συντελεστή αυτεπαγωγής και της ΗΕΔ αυτεπαγωγής σωληνοειδούς	93
6.4.2 Αυτεπαγωγή ομοαξονικού καλωδίου	95
6.4.3 Αμοιβαία επαγωγή.....	95
6.4.4 Μαγνητική σύζευξη – Συντελεστής σύζευξης	96
6.5 Κύκλωμα R – L στο συνεχές ρεύμα	97
6.6 Στοιχεία ηλεκτρομαγνητικής μετατροπής ενέργειας	101

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΗ ΤΑΣΗ – ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟ ΡΕΥΜΑ

7.1 Αρχή λειτουργίας παραγωγής εναλλασσόμενης τάσης	105
7.2 Ενεργός τιμή ΕΡ και τάσης.....	107
7.3 Συνθέτες αντιστάσεις στο ΕΡ.....	108
7.3.1 Ωμική αντίσταση	108
7.3.2 Επαγωγική αντίδραση (X_L)	109
7.3.3 Χωρητική αντίδραση (X_C)	109
7.3.4 Ωμική αντίσταση σε εν σειρά συνδεσμολογία με επαγωγική και χωρητική αντίδραση	110
7.3.5 Ωμική αντίσταση σε παράλληλη συνδεσμολογία με επαγωγική και χωρητική αντίδραση.....	114
7.4 Ισχύς σε μονοφασικά κυκλώματα ΕΡ	117
7.5 Αντιστάθμιση άεργου ισχύος με παράλληλους πυκνωτές.....	118
7.6 Τριφασικά συστήματα ΕΡ	119
7.6.1 Ημιτονοειδή μεγέθη.....	119
7.6.2 Φασικές και πολικές τάσεις	120
7.6.3 Συνδεσμολογίες τριφασικών πηγών τάσης και φορτίων	120
7.6.4 Ισχύς σε τριφασικό σύστημα ΕΡ	121
7.6.5 Διόρθωση συντελεστή ισχύος τριφασικού φορτίου.....	123

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

ΟΡΓΑΝΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

8.1 Τύποι και κατασκευή ηλεκτρικών οργάνων	127
8.2 Βολτόμετρα - Αμπερόμετρα	128
8.3 Μέτρηση αντίστασης.....	129
8.3.1 Άμεση μέθοδος μέτρησης ωμικών αντιστάσεων με ωμόμετρο.....	129
8.3.2 Μέτρηση αντίστασης με σύγκριση τάσεων.....	130
8.3.3 Μέτρηση ωμικών αντιστάσεων με σύγκριση εντάσεων	130
8.3.4 Μέτρηση αντίστασης με βολτόμετρο και αμπερόμετρο	130
8.4 Πολύμετρα	131
8.5 Μετρητές ισχύος, ηλεκτρικής ενέργειας – Συνημιτόμετρα	132
8.6 Συχνόμετρα	134
8.7 Παλμογράφος.....	136

Παράρτημα	141
-----------------	-----

Ευρετήριο όρων	143
----------------------	-----

Βιβλιογραφία.....	144
-------------------	-----

ΔΙΕΘΝΕΣ ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΟΝΑΔΩΝ – ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΣ

01 Κεφάλαιο

1.1 Εισαγωγή - Διεθνές σύστημα μονάδων

Το **Διεθνές Σύστημα Μονάδων** (*Système International d'Unités - SI*) αποτελεί το καθιερωμένο σύστημα μέτρησης φυσικών μεγεθών και χρησιμοποιείται διεθνώς στις επιστήμες, στη μηχανική και στις τεχνολογικές εφαρμογές. Η ανάπτυξή του προέκυψε από την ανάγκη ύπαρξης ενός ενιαίου και καθολικά αποδεκτού τρόπου έκφρασης των μετρήσεων, ώστε τα επιστημονικά δεδομένα, οι τεχνικοί υπολογισμοί και τα πειραματικά αποτελέσματα να μπορούν να συγκρίνονται και να αξιολογούνται με ακρίβεια και αξιοπιστία.

Στην ηλεκτροτεχνία, και ειδικότερα στη μελέτη των ηλεκτρικών κυκλωμάτων, η χρήση κοινών μονάδων μέτρησης είναι απαραίτητη για την περιγραφή και ανάλυση των ηλεκτρικών φαινομένων. Μεγέθη όπως το ηλεκτρικό ρεύμα, η τάση, η αντίσταση, η ισχύς και η ενέργεια εκφράζονται μέσω συγκεκριμένων μονάδων του SI, γεγονός που επιτρέπει την τυποποίηση των μετρήσεων και τη σωστή εφαρμογή των φυσικών νόμων. Η χρήση ενός ενιαίου συστήματος μονάδων διευκολύνει την κατανόηση της λειτουργίας των ηλεκτρικών κυκλωμάτων, την ανάπτυξη τεχνικών εφαρμογών και την επικοινωνία μεταξύ επιστημόνων και μηχανικών σε διεθνές επίπεδο.

Το SI βασίζεται σε επτά θεμελιώδεις μονάδες, από τις οποίες προκύπτουν όλες οι υπόλοιπες μονάδες μέτρησης που χρησιμοποιούνται στις φυσικές επιστήμες και στην τεχνολογία. Οι μονάδες αυτές αποτελούν τη βάση για τον ορισμό τόσο των μηχανικών όσο και των ηλεκτρικών μεγεθών. Μέσω συνδυασμών των θεμελιωδών μονάδων προκύπτουν οι παράγωγες μονάδες, οι οποίες χρησιμοποιούνται για την περιγραφή πιο σύνθετων φυσικών μεγεθών και διαδικασιών.

Οι βασικές μονάδες είναι:

- 1) Το **μέτρο** (metre – m) (μονάδα μήκους).
- 2) Το **κιλό** (kilogram – kg) (μονάδα μάζας).
- 3) Το **δευτερόλεπτο** (second – s) (μονάδα χρόνου).

4) Το **αμπέρ** (ampere – A) (μονάδα ηλεκτρικού ρεύματος).

5) Το **κέλβιν** (kelvin – K) (μονάδα θερμοδυναμικής θερμοκρασίας).

6) Το **μολ** (mole – mol) (μονάδα ποσότητας ύλης).

7) Η **καντέλα** (candela – cd) (μονάδα φωτεινότητας).

Στα ηλεκτρικά κυκλώματα, οι παράγωγες μονάδες έχουν ιδιαίτερη σημασία, καθώς χρησιμοποιούνται για την έκφραση βασικών ηλεκτρικών μεγεθών και χαρακτηριστικών των κυκλωμάτων. Η τυποποίηση των μονάδων συμβάλλει όχι μόνο στην ορθότητα των υπολογισμών, αλλά και στην ασφαλή σχεδίαση, λειτουργία και συντήρηση ηλεκτρικών εγκαταστάσεων και συστημάτων. Παράλληλα, η χρήση του SI εξασφαλίζει συμβατότητα με διεθνείς κανονισμούς, τεχνικά πρότυπα και επιστημονικές δημοσιεύσεις.

Η κατανόηση του SI αποτελεί θεμελιώδη προϋπόθεση για τη μελέτη της ηλεκτροτεχνίας, καθώς όλα τα ηλεκτρικά μεγέθη, οι νόμοι των κυκλωμάτων και οι τεχνικές εφαρμογές βασίζονται σε αυτό. Για τον λόγο αυτό, η εξοικείωση με τις θεμελιώδεις και παράγωγες μονάδες του SI είναι απαραίτητη για την ανάλυση και κατανόηση των ηλεκτρικών κυκλωμάτων. Οι θεμελιώδεις μονάδες του SI παρουσιάζονται στον πίνακα 1.1 μαζί με τα σύμβολά τους και τα σύμβολα μονάδας, ενώ στον πίνακα 1.2 παρουσιάζονται οι παράγωγες μονάδες.

Έτσι για παράδειγμα η δύναμη αποτελεί παράγωγη μηχανική μονάδα, καθώς εξαρτάται από τη μάζα και την επιτάχυνση. Στο SI η μονάδα δύναμης είναι το **Newton** (N). Η ταχύτητα είναι παράγωγη μονάδα που συνδυάζει απόσταση και χρόνο, ενώ η επιτάχυνση προκύπτει από ταχύτητα και χρόνο. Και τα δύο αποτελούν μηχανικές μονάδες. Άλλες ηλεκτρικές μονάδες, όπως το **Volt** (V) και το **Ohm** (Ω), είναι παράγωγες μονάδες. Επιπλέον, το **Joule** (J) και το **Watt** (W), παρόλο που χρησιμοποιούνται ευρέως στην ηλεκτροτεχνία, προέρχονται από μηχανικά μεγέθη και θα οριστούν λεπτομερώς αργότερα.

2.1 Ηλεκτρική αντίσταση στους αγωγούς - Ημιαγωγούς - Μονωτές

Στους αγωγούς όπως είναι τα μέταλλα, ο άνθρακας κ.ά. επιτρέπεται τα ηλεκτρικά φορτία να μετακινούνται μέσα στη μάζα τους και η ιδιότητα αυτή ονομάζεται **ηλεκτρική αγωγιμότητα**. Στους μονωτές όπως το γυαλί, το πλαστικό, ο αέρας, αντιθέτως δεν επιτρέπεται η μετακίνηση των ηλεκτρικών φορτίων μέσα στη μάζα τους. Η εφαρμογή τάσης ή διαφοράς δυναμικού σε έναν αγωγό οδηγεί στην κίνηση ηλεκτρικών φορτίων σε αυτόν. Η τάση αυτή δημιουργεί μια ηλεκτρική δύναμη που ωθεί τα ηλεκτρικά φορτία να κινηθούν προς μια συγκεκριμένη κατεύθυνση. Αυτή η προσανατολισμένη κίνηση αποτελεί το ηλεκτρικό ρεύμα που ρέει μέσα από τον αγωγό.

Εάν το ρεύμα διέρχεται μέσα από αγωγούς, τότε τα ηλεκτρικά φορτία είναι τα ελεύθερα ηλεκτρόνια. Εάν όμως διέρχεται μέσα από υγρά, όπως είναι οι ηλεκτρολύτες, τότε τα ηλεκτρικά φορτία είναι τα ιόντα, ενώ τέλος εάν διέρχεται μέσα από αέρια και έχουμε ηλεκτρική εκκένωση, οι φορείς είναι και τα ηλεκτρόνια και τα ιόντα. Εκτός από τους αγωγούς και τους μονωτές υπάρχει και μια ενδιάμεση κατηγορία υλικών, οι **ημιαγωγοί**. Υπό ορισμένες συνθήκες, παρουσιάζουν συμπεριφορά που μοιάζει άλλοτε με αυτήν των αγωγών και άλλοτε με αυτήν των μονωτών. Γνωστοί ημιαγωγοί είναι το πυρίτιο και το γερμάνιο, τα οποία χρησιμοποιούνται πολύ συχνά στα ηλεκτρονικά κυκλώματα.

Αντιστάτες ονομάζονται τα ειδικά στοιχεία που κατασκευάζονται από υλικά που προβάλλουν αντίσταση στη διέλευση του ρεύματος. Υλικά όπως οι **μονωτές** εμφανίζουν μεγάλη ηλεκτρική αντίσταση στη διέλευση του ηλεκτρικού ρεύματος, ενώ οι αγωγοί μικρή. Η αντίσταση στους μεταλλικούς αγωγούς οφείλεται στις «συγκρούσεις» που πραγματοποιούνται μεταξύ των

θετικών ιόντων με τα ελεύθερα ηλεκτρόνια. Στους ημιαγωγούς η ηλεκτρική τους αντίσταση εξαρτάται από τις προσμίξεις (νοθεύσεις), και εμφανίζουν δι-αφορετική συμπεριφορά. Έτσι το πυρίτιο για παράδειγμα συμπεριφέρεται σαν μονωτής στην καθαρή κρυσταλλική του μορφή. Στην περίπτωση όμως νόθευσης από μια πρόσμιξη ατόμου φωσφόρου, τότε η αγωγιμότητά του αλλάζει και αυξάνεται θεαματικά.

2.2 Νόμος του Ohm - Μονάδες μέτρησης αντίστασης

Ο **Georg Simon Ohm** (1789–1854) (σχ. 2.1), Γερμανός φυσικός και μαθηματικός, ανακάλυψε ότι υπάρχει άμεση αναλογία μεταξύ της διαφοράς δυναμικού που εφαρμόζεται σε έναν αγωγό και του προκύπτοντος ηλεκτρικού ρεύματος. Το 1827 διατύπωσε τον περίφημο Νόμο του με βάση τον οποίο η διαφορά δυναμικού μεταξύ των άκρων οποιουδήποτε τμήματος ενός κυκλώματος είναι το γινόμενο της έντασης του ρεύματος που διαρρέει τον αγωγό και της αντίστασης του συγκεκριμένου τμήματος του κυκλώματος.



Σχ. 2.1
Georg Simon Ohm

3.1 Εισαγωγή στους πυκνωτές

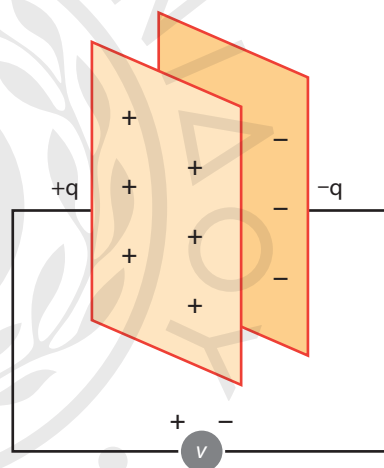
Σε αντίθεση με τις αντιστάσεις, οι οποίες καταναλώνουν ενέργεια, οι πυκνωτές δεν την καταναλώνουν, αλλά την αποθηκεύουν, ώστε να μπορεί να ανακτηθεί σε μεταγενέστερο χρόνο. Για τον λόγο αυτό, οι πυκνωτές χαρακτηρίζονται ως στοιχεία αποθήκευσης ενέργειας. Το κεφάλαιο ξεκινά με την παρουσίαση των πυκνωτών, των βασικών τους χαρακτηριστικών και των πιο συνηθισμένων τύπων που διατίθενται στο εμπόριο για βιομηχανικές εφαρμογές. Στη συνέχεια, αναλύονται οι δυνατές συνδεσμολογίες τους σε κυκλώματα, καθώς και οι διαδικασίες αντιμετώπισης βλαβών.

3.2 Χαρακτηριστικά μεγέθη – Είδη πυκνωτών

Ένας πυκνωτής είναι ένα παθητικό ηλεκτρικό στοιχείο, σχεδιασμένο να αποθηκεύει ενέργεια στο ηλεκτρικό του πεδίο. Μαζί με τις αντιστάσεις, οι πυκνωτές αποτελούν τα πλέον συνηθισμένα ηλεκτρικά εξαρτήματα. Χρησιμοποιούνται εκτενώς στην ηλεκτρονική, στις τηλεπικοινωνίες, στα υπολογιστικά συστήματα και στα συστήματα ηλεκτρικής ισχύος. Ενδεικτικά, εφαρμόζονται σε κυκλώματα αντιστάθμισης άεργου ισχύος, στα κυκλώματα συντονισμού ραδιοφωνικών δεκτών και ως στοιχεία δυναμικής μνήμης σε υπολογιστικά συστήματα. Επιπλέον, οι πυκνωτές χρησιμοποιούνται για την αποκοπή του **συνεχούς ρεύματος** (ΣΡ) (Direct Current – DC), την εξομάλυνση του **εναλλασσόμενου ρεύματος** (ΕΡ) (Alternating Current – AC), σε κυκλώματα μετατόπισης φάσης, στην αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας κ.ά.

Ο πυκνωτής, στην απλούστερη δυνατή διαμόρφωση, αποτελείται από δύο αγωγικές πλάκες που χωρίζονται από ένα μονωτικό υλικό που καλείται **διηλεκτρικό**. Σε πολλές πρακτικές εφαρμογές, οι πλάκες μπορεί να είναι από φύλλο αλουμινίου, ενώ το διηλεκτρικό

μπορεί να είναι αέρας, κεραμικό, χαρτί ή μίκα. Όταν μια πηγή τάσης συνδεθεί στον πυκνωτή, όπως στο σχήμα 3.1, η πηγή εναποθέτει ένα θετικό φορτίο (+q) στη μία πλάκα και ένα αρνητικό φορτίο (-q) στην άλλη και τότε ο πυκνωτής αποθηκεύει ηλεκτρικό φορτίο.



Σχ. 3.1

Εφαρμοζόμενη τάση σε πυκνωτή παράλληλων πλακών

Η ποσότητα του αποθηκευμένου φορτίου, που συμβολίζεται με **q**, είναι άμεσα ανάλογη της εφαρμοζόμενης τάσης, έτσι ώστε να ισχύει:

$$q = C \cdot u \quad (3.1)$$

όπου **C**, η σταθερά αναλογίας γνωστή ως η χωρητικότητα του πυκνωτή.

Χωρητικότητα ενός πυκνωτή είναι ο λόγος του φορτίου που αποθηκεύεται στη μία πλάκα ενός πυκνωτή προς τη διαφορά δυναμικού μεταξύ των δύο πλακών. Η μονάδα της χωρητικότητας είναι το Farad (F), προς τιμήν του Άγγλου φυσικού **Michael Faraday** (1791–1867).

Από την Εξ. (3.1) προκύπτει ότι 1 Farad = 1 Coulomb ανά Volt (1 C/V).

Παρόλο που η χωρητικότητα C ενός πυκνωτή, εί-

ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ – ΣΥΣΤΗΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ

04
Κεφάλαιο

4.1 Βασικοί ορισμοί

Ένα ηλεκτρικό κύκλωμα, όπως προαναφέρθηκε (κεφ.1), είναι μια διασύνδεση ηλεκτρικών στοιχείων σε μια κλειστή διαδρομή. Ένα στοιχείο είναι η βασική δομική μονάδα ενός κυκλώματος.

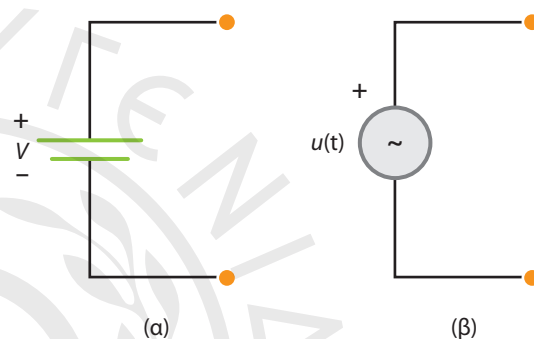
Τα ηλεκτρικά κυκλώματα χρησιμοποιούνται σε πολυάριθμα ηλεκτρικά συστήματα για την εκτέλεση διαφόρων εργασιών. Με τον όρο **ανάλυση ενός κυκλώματος** εννοούμε τη μελέτη της συμπεριφοράς του κυκλώματος, δηλαδή το πώς ανταποκρίνεται σε μια δεδομένη είσοδο και πώς αλληλεπιδρούν τα διασυνδεδεμένα στοιχεία στο κύκλωμα; Η ανάλυση κυκλωμάτων είναι η διαδικασία προσδιορισμού της τάσης στα στοιχεία ή του ρεύματος που διέρχεται από αυτά. Η διέγερση είναι κάθε εξωτερική πηγή που εφαρμόζεται σε ένα κύκλωμα και προκαλεί τη λειτουργία του. Συνήθως πρόκειται για **πηγές τάσης**, **πηγές ρεύματος** και **σήματα εισόδου**.

Με άλλα λόγια, η διέγερση είναι η αιτία που ενεργοποιεί το κύκλωμα.

Η απόκριση είναι το αποτέλεσμα που εμφανίζεται στο κύκλωμα λόγω της διέγερσης. Μπορεί να είναι **τάση σε κάποιο στοιχείο**, **ρεύμα σε έναν κλάδο** και **ισχύς σε ένα φορτίο**. Δηλαδή η απόκριση είναι το αποτέλεσμα της λειτουργίας του κυκλώματος.

Υπάρχουν δύο είδη πηγών οι **ανεξάρτητες** και οι **εξαρτημένες**.

Μια ιδανική ανεξάρτητη πηγή είναι ένα ενεργό στοιχείο που παρέχει μια καθορισμένη τάση ή ρεύμα, εντελώς ανεξάρτητα από τα άλλα στοιχεία του κυκλώματος. Με άλλα λόγια, μια ιδανική ανεξάρτητη πηγή τάσης παρέχει στο κύκλωμα οποιοδήποτε ρεύμα απαιτείται διατηρώντας την καθορισμένη τάση σταθερή στα άκρα της (σχ. 4.1). Πηγές, όπως μπαταρίες και γεννήτριες, μπορούν να θεωρηθούν προσεγγίσεις των ιδανικών πηγών τάσης.



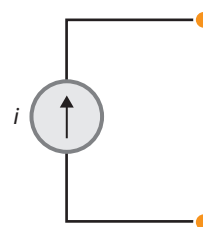
Σχ. 4.1

Σύμβολα για ανεξάρτητες πηγές τάσεων
(α) συνεχούς και (β) εναλλασσόμενης τάσης

Το σχήμα 4.1 δείχνει τα σύμβολα για ανεξάρτητες πηγές τάσης-πηγή συνεχούς τάσης (DC) και πηγή εναλλασσόμενης τάσης (AC).

Ομοίως, μια ιδανική ανεξάρτητη πηγή ρεύματος είναι ένα ενεργό στοιχείο που παρέχει ένα καθορισμένο ρεύμα, εντελώς ανεξάρτητα από την τάση στα άκρα της πηγής. Δηλαδή, η πηγή ρεύματος παρέχει στο κύκλωμα όποια τάση απαιτείται διατηρώντας σταθερό το καθορισμένο ρεύμα. Το σύμβολο για μια ανεξάρτητη πηγή ρεύματος φαίνεται στο σχήμα 4.2, όπου το βέλος δείχνει την κατεύθυνση του ρεύματος i .

Μια ιδανική εξαρτημένη (ή ελεγχόμενη) πηγή είναι ένα ενεργό στοιχείο, στο οποίο το ποσό της πηγής



Σχ. 4.2

Σύμβολο για ανεξάρτητη πηγή ρεύματος

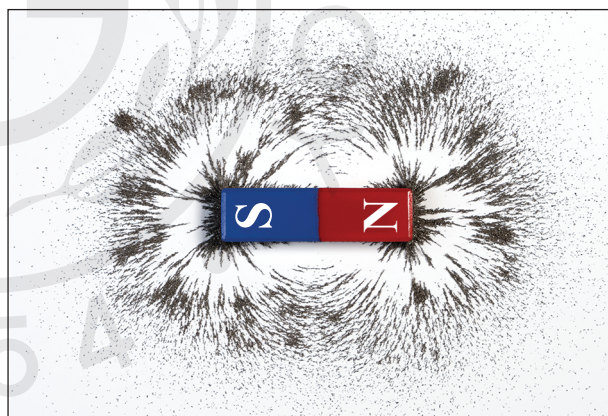
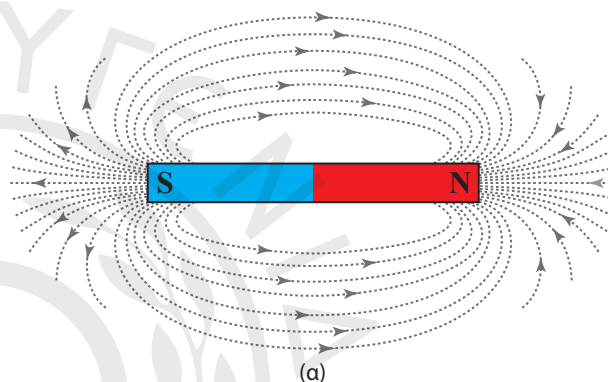
5.1 Μόνιμοι μαγνήτες

Από την αρχαιότητα ήταν γνωστό σε πολιτισμούς όπως των Έλλήνων και των Κινέζων ότι ορισμένα σιδηρομεταλλεύματα εμφανίζουν μαγνητικές ιδιότητες. Τέτοια υλικά έχουν την ικανότητα να ασκούν δυνάμεις έλξης ή άπωσης σε άλλα παρόμοια σώματα, καθώς και να μεταδίδουν τον μαγνητισμό τους. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί ο **μαγνητίτης** (Fe_3O_4), ο οποίος, όταν αιωρείται ελεύθερα, ευθυγραμμίζεται κατά προσέγγιση με τη διεύθυνση του γήινου μαγνητικού πεδίου, δηλαδή κατά τον άξονα Βορρά–Νότου (N–S). Ο μαγνητίτης αποτελεί φυσικό μαγνήτη και παρουσιάζει εντονότερη μαγνητική δράση στα άκρα του, όπου και συγκεντρώνονται ρινίσματα σιδήρου (σχ. 5.1).

Πειραματικές παρατηρήσεις σε μαγνήτες δείχνουν ότι δύο μαγνήτες, όταν αιωρούνται ελεύθερα και έχουν καθορισμένη πολικότητα, αλληλεπιδρούν με τρόπο που εξαρτάται από τους πόλους τους. Συγκεκριμένα, η προσέγγιση δύο όμοιων πόλων (N–N ή S–S) προκαλεί απωστική δύναμη, ενώ η προσέγγιση ετερόσημων πόλων (N–S) οδηγεί σε ελκτική δύναμη. Συνεπώς, κάθε μαγνήτης χαρακτηρίζεται από την ύπαρξη δύο πόλων αντίθετης πολικότητας, με θεμελιώδη ιδιότητα ότι οι αντίθετοι πόλοι έλκονται, ενώ οι όμοιοι απωθούνται.

Ένα τεμάχιο σιδήρου μπορεί να αποκτήσει μαγνητικές ιδιότητες μέσω διαδικασίας μαγνήτισης, μετατρέπόμενο έτσι σε **τεχνητό μαγνήτη**. Μία απλή μέθοδος μαγνήτισης συνίσταται στην κατευθυνόμενη τριβή του σιδήρου με έναν πόλο προϋπάρχοντος μαγνήτη. Ωστόσο, η πλέον αποτελεσματική μέθοδος βασίζεται στον ηλεκτρομαγνητισμό, δηλαδή στη δημιουργία μαγνητικού πεδίου μέσω διέλευσης ηλεκτρικού ρεύματος.

Τα υλικά διακρίνονται σε **μαγνητικά** και **μη μαγνητικά**, ανάλογα με τη δυνατότητά τους να μαγνητιστούν. Υλικά όπως ο χαλκός, το αλουμίνιο, ο



(β)

Σχ. 5.1

Διάταξη ρινισμάτων σιδήρου πάνω σε ραβδόμορφο μαγνήτη

μόλυβδος, ο ορείχαλκος, το ξύλο, το γυαλί και το καουτσούκ είναι μη μαγνητικά. Αντίθετα, μέταλλα όπως το νικέλιο και το κοβάλτιο παρουσιάζουν μαγνητικές ιδιότητες, ενώ όταν σχηματίζουν κράματα με σίδηρο εμφανίζουν ιδιαίτερα ισχυρό μαγνητισμό.

Οι μαγνήτες διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, στους **φυσικούς** και στους **τεχνητούς**. Οι φυσικοί μαγνήτες απαντώνται στη φύση, ενώ οι τεχνητοί προκύπτουν μέσω διαδικασιών μαγνήτισης, όπως η τριβή ή, αποτελεσματικότερα, μέσω ηλεκτρομαγνητικών φαι-

ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΕΠΑΓΩΓΗ

06 Κεφάλαιο

6.1 Εισαγωγή – Νόμος Ηλεκτρομαγνητικής Επαγωγής

Η ηλεκτροχημεία υπήρξε από τους πρώτους επισημονικούς κλάδους που συνέβαλαν ουσιαστικά στη μελέτη των ηλεκτρικών φαινομένων στις αρχές του 19^{ου} αι. Κατά την περίοδο εκείνη, η έρευνα γύρω από τον ηλεκτρισμό παρέμενε κυρίως θεωρητική και δεν είχε ακόμη ενσωματωθεί σε πρακτικές μηχανικές εφαρμογές. Οι διαθέσιμες χημικές πηγές ενέργειας δεν επαρκούσαν για την παραγωγή αξιοποιήσιμης ηλεκτρεγερτικής δύναμης (ΗΕΔ), ενώ η απουσία ηλεκτρομαγνητικών διατάξεων περιορίζε σημαντικά τις τεχνολογικές δυνατότητες. Η κατανόηση της αλληλεπίδρασης μεταξύ ηλεκτρικού ρεύματος και μαγνητισμού σηματοδότησε την καμπή στην εξέλιξη αυτού του επισημονικού τομέα, οδηγώντας στην ανακάλυψη της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής και στη συνακόλουθη ανάπτυξη μηχανισμών ικανών να μετατρέπουν και να παράγουν ενέργεια σε ηλεκτρική και μηχανική μορφή.

Καθοριστική υπήρξε η συμβολή του **Michael Faraday** (1791–1867), στον οποίο αποδίδονται τα πρώτα πειραματικά δεδομένα για την ηλεκτρομαγνητική επαγωγή. Το 1821 κατέδειξε ότι η μεταβολή της μαγνητικής ροής που διαπερνά ένα κύκλωμα συνεπάγεται την εμφάνιση ηλεκτρεγερτικής δύναμης (ΗΕΔ). Η παραγόμενη τάση υφίσταται μόνο κατά τη διάρκεια της μεταβολής αυτής και εξαρτάται από τον ρυθμό με τον οποίο αυτή πραγματοποιείται. Ο Faraday διατύπωσε τον θεμελιώδη **Νόμο της Επαγωγής**, κατασκεύασε τις πρώτες μορφές ηλεκτρικής γεννήτριας και εισήγαγε τον μετασχηματιστή ως μέσο ρύθμισης της τάσης (το 1831). Τα πρωτότυπα αυτών των συσκευών διατηρούνται στο Βασιλικό Ινστιτούτο του Λονδίνου. Οι βασικές αρχές τους εξακολουθούν να εφαρμόζονται ευρέως στη σύγχρονη ενεργειακή παραγωγή, αποτελώντας θεμέλιο για τη λειτουργία σταθμών πα-

ραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας διαφόρων τύπων σε παγκόσμιο επίπεδο.

Η μαγνητική ροή που διέρχεται από ένα πηνίο κατασκευασμένο από μονωμένο αγωγό, είναι δυνατόν να μεταβάλλεται μέσω διαφορετικών φυσικών διεργασιών. Οι κυριότεροι μηχανισμοί μεταβολής συνοψίζονται ως εξής:

1) Η σχετική προσέγγιση ή απομάκρυνση ενός μαγνήτη ως προς το πηνίο επιφέρει μεταβολή της ροής που το διαπερνά. Η αρχή αυτή αποτελεί τη θεμελιώδη βάση λειτουργίας των γεννητριών εναλασσόμενου ρεύματος (ΕΡ).

2) Η μετακίνηση του ίδιου του αγωγίμου πηνίου εντός μαγνητικού πεδίου οδηγεί σε αντίστοιχη μεταβολή της μαγνητικής ροής. Η εν λόγω διάταξη απαντάται σε συστήματα παραγωγής συνεχούς ρεύματος.

3) Η μεταβολή της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος σε γειτονικό κύκλωμα διέγερσης έχει ως αποτέλεσμα την τροποποίηση του παραγόμενου μαγνητικού πεδίου και, συνακόλουθα, της ροής που συνδέεται με το εξεταζόμενο κύκλωμα. Η αρχή αυτή είναι καθοριστική για τη λειτουργία διατάξεων όπως οι μετασχηματιστές.

Από τη συγκριτική εξέταση των παραπάνω προκύπτει ότι οι δύο πρώτες περιπτώσεις προϋποθέτουν μηχανική σχετική κίνηση μεταξύ πηγής μαγνητικού πεδίου και αγωγίμου στοιχείου, ενώ στην τρίτη περίπτωση η επαγωγική διαδικασία συντελείται χωρίς μεταβολή θέσης των στοιχείων, αποκλειστικά μέσω χρονικής μεταβολής της μαγνητικής ροής.

Ο Νόμος του Faraday εκφράζει τη θεμελιώδη αρχή δημιουργίας ΗΕΔ μέσω ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής. Σύμφωνα με αυτόν, η επαγόμενη ΗΕΔ σε ένα κύκλωμα είναι ανάλογη του ρυθμού μεταβολής της μαγνητικής ροής που το διαπερνά. Με άλλα λόγια, όσο ταχύτερη είναι η μεταβολή της ροής, τόσο μεγαλύτερη είναι η αναπτυσσόμενη ΗΕΔ.

Ο Κανόνας του Lenz καθορίζει τον προσανατο-

ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΗ ΤΑΣΗ - ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟ ΡΕΥΜΑ

07
Κεφάλαιο

7.1 Αρχή λειτουργίας παραγωγής εναλλασσόμενης τάσης

Θεωρούμε ένα αγωγίμο πλαίσιο με εμβαδό S , το οποίο βρίσκεται μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο μαγνητικής επαγωγής B (σχ. 7.1). Όταν το πλαίσιο αυτό περιστρέφεται με σταθερή γωνιακή ταχύτητα ω γύρω από άξονα κάθετο στις δυναμικές γραμμές του πεδίου, τότε μεταβάλλεται συνεχώς η μαγνητική ροή που το διαπερνά.

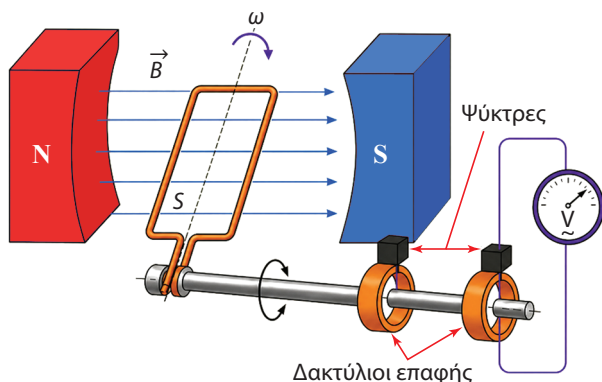
Η μαγνητική ροή δίνεται από τη σχέση:

$$\Phi = B \cdot S \cdot \cos \alpha$$

όπου α η γωνία που σχηματίζεται κάθε στιγμή ανάμεσα στις δυναμικές γραμμές του μαγνητικού πεδίου και στο διάνυσμα προσανατολισμού της επιφάνειας του πλαισίου, δηλαδή στην κάθετο της επιφάνειας. Καθώς το πλαίσιο περιστρέφεται με σταθερή γωνιακή ταχύτητα (ω) μέσα στο ομογενές μαγνητικό πεδίο, η γωνία που σχηματίζει με τις δυναμικές γραμμές του πεδίου μεταβάλλεται συνεχώς και δίνεται από τη σχέση:

$$\alpha = \omega t$$

όπου ω ονομάζεται κυκλική συχνότητα και μετριέται σε rad/s.



Σχ. 7.1

Παραγωγή εναλλασσόμενης τάσης - Αρχή λειτουργίας

Η μεταβολή αυτή επηρεάζει άμεσα τη μαγνητική ροή που διέρχεται από το πλαίσιο, η οποία εκφράζεται ως:

$$\Phi = B \cdot S \cdot \cos(\omega t) = \Phi_0 \cos(\omega t)$$

όπου: $\Phi_0 = B \cdot S$ είναι η μέγιστη τιμή της μαγνητικής ροής.

Η παραπάνω εξίσωση δείχνει ότι η ροή μεταβάλλεται περιοδικά και ακολουθεί ημιτονοειδή μορφή, με πλάτος Φ_0 και κυκλική συχνότητα ίση με τη γωνιακή ταχύτητα περιστροφής.

Με βάση τον Νόμο της Ηλεκτρομαγνητικής Επαγωγής, η επαγόμενη ΗΕΔ στα άκρα του πλαισίου προκύπτει από τη χρονική μεταβολή της ροής:

$$u = -\frac{d\Phi}{dt} = \omega \Phi_0 \sin(\omega t)$$

και γράφεται επίσης ως: $u(t) = U_0 \sin(\omega t)$

όπου: $U_0 = \Phi_0 \omega = B \omega S$

είναι η μέγιστη τιμή της παραγόμενης τάσης.

Από αυτές τις σχέσεις προκύπτει ότι η τάση που παράγεται είναι εναλλασσόμενη και μεταβάλλεται με ημιτονοειδή μορφή (όπως και η μαγνητική ροή) συναρτήσει του χρόνου.

Το μέγεθος $u(t)$ εκφράζει τη στιγμιαία τιμή της τάσης, ενώ το U_0 αντιστοιχεί στο πλάτος της.

Η τάση γίνεται μηδέν όταν το πλαίσιο βρίσκεται κάθετα στις δυναμικές γραμμές του μαγνητικού πεδίου, ενώ αποκτά τη μέγιστη τιμή της όταν το πλαίσιο είναι παράλληλο προς αυτές.

Στο σχήμα 7.2 φαίνονται διαδοχικές θέσεις του πλαισίου κατά μία πλήρη περιστροφή από 0° έως 360° , καθώς και η αντίστοιχη μεταβολή της τάσης, η οποία σχηματίζει μία πλήρη ημιτονοειδή καμπύλη. Έτσι αποδεικνύεται ότι μία πλήρης περιστροφή του πλαισίου αντιστοιχεί σε έναν πλήρη κύκλο εναλλασσόμενης τάσης.

Εναλλασσόμενο ρεύμα (ΕΡ) ονομάζεται το ρεύμα

ΟΡΓΑΝΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

08 Κεφάλαιο

8.1 Τύποι και κατασκευή ηλεκτρικών οργάνων

Ένα όργανο ηλεκτρικής μέτρησης είναι μια συσκευή με την οποία μπορούμε να προσδιορίσουμε την τιμή του ηλεκτρικού μεγέθους που πρόκειται να μετρηθεί. Τα βασικά όργανα για τις ηλεκτρικές μετρήσεις είναι αυτά που μετρούν τάση, ένταση και ισχύ του ηλεκτρικού ρεύματος. Ιδιαίτερα σε ό,τι αφορά στην τάση και στην ένταση, τα χρησιμοποιούμενα όργανα χαρακτηρίζονται από την ακρίβεια και την ευαισθησία τους ή ισοδύναμα από την κλάση και το σφάλμα μέτρησής τους. Το σφάλμα μέτρησης είναι η διαφορά ανάμεσα στην τιμή που μετράει ένα όργανο X_M και την πραγματική (ή αναγνωρισμένη) τιμή του μεγέθους που μετράμε X_{Π} .

Έχουμε δύο είδη σφαλμάτων, το **απόλυτο** και το **σχετικό σφάλμα**.

Ορίζεται απόλυτο σφάλμα ΔX ως $\Delta X = X_M - X_{\Pi}$ και σχετικό σφάλμα $\Sigma \Delta X\%$ ως το πηλίκο του απόλυτου σφάλματος (ΔX) και της πραγματικής τιμής του μεγέθους (X_{Π}) εκφρασμένο σε ποσοστό επί τοις εκατό (%).

$$\Sigma \Delta X\% = \frac{\Delta X}{X_{\Pi}} \cdot 100$$

Η **κλάση οργάνου** αναφέρεται στην ακρίβεια ενός οργάνου μέτρησης και εκφράζει το μέγιστο σχετικό σφάλμα (% επί του εύρους μέτρησης) ή το μέγιστο απόλυτο σφάλμα σε σχέση με το μέγιστο εύρος. Καθορίζεται δε από τον κατασκευαστή και δείχνει πόσο ακριβής είναι η ένδειξη του οργάνου σε σχέση με την πραγματική τιμή.

Γενικά, τα ηλεκτρικά όργανα κατατάσσονται σε δύο κύριες κατηγορίες, στα πρωτεύοντα και στα δευτερεύοντα. Αναλυτικότερα:

1) Τα **πρωτεύοντα όργανα** (primary instruments)

απαιτούν την άμεση επίδραση του μεγέθους που μετρούν, χωρίς τη χρήση ενδιάμεσων μετατροπών. Παραδείγματα πρωτευόντων οργάνων είναι τα αμπερόμετρα, τα βολτόμετρα και τα ωμόμετρα.

2) Τα **δευτερεύοντα όργανα** (secondary instruments) χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση του μεγέθους που μετρούν μέσω μιας μετατροπής της σε άλλη φυσική ποσότητα. Παραδείγματα δευτερευόντων οργάνων είναι οι μετρητές πίεσης, ροής, δύναμης, ροπής κ.ά.

Με βάση την **αρχή λειτουργίας**, τα όργανα διακρίνονται σε ηλεκτρομαγνητικά, ηλεκτροστατικά και θερμικά. Ειδικότερα:

1) Τα **ηλεκτρομαγνητικά** όργανα αποτελούν τη βασικότερη κατηγορία των αναλογικών ηλεκτρικών οργάνων και η αρχή λειτουργίας τους βασίζεται στην ηλεκτρομαγνητική θεωρία και πιο συγκεκριμένα στην επίδραση των ηλεκτρομαγνητικών δυνάμεων σε αγωγό που διαρρέεται από ρεύμα. Κύριοι τύποι της κατηγορίας αυτής είναι τα όργανα στρεφόμενου πηνίου, διασταυρούμενων πηνίων κινητού σιδήρου κ.ά.

2) Τα **ηλεκτροστατικά** όργανα μετρούν απευθείας την ηλεκτρική τάση και η αρχή λειτουργίας τους βασίζεται στην κινούσα δύναμη F μεταξύ μεταλλικών ηλεκτροδίων που βρίσκονται μέσα σε ηλεκτροστατικό πεδίο διηλεκτρικής μετατόπισης D , που δημιουργείται από την τάση U . Είναι όργανα μέτρησης διηλεκτρικής μετατόπισης και συνεχούς ή εναλλασσόμενης τάσης.

3) Τα **θερμικά** ηλεκτρικά όργανα είναι εκείνα τα όργανα που λειτουργούν με βάση τη μετατροπή θερμικής ενέργειας σε ηλεκτρική ενέργεια. Κυριότεροι τύποι οργάνων είναι τα όργανα θερμαινόμενου νήματος, διμεταλλικού στοιχείου και θερμοζεύγους.

Η κατασκευή των ηλεκτρικών οργάνων είναι μια διαδικασία που απαιτεί προσοχή στη λεπτομέρεια και χρήση ειδικών υλικών και τεχνολογιών. Οι συγκεκριμένοι τρόποι κατασκευής εξαρτώνται από τον τύπο του ηλεκτρικού οργάνου και τις απαιτήσεις της εφαρμο-

Στο παρόν βιβλίο παρουσιάζονται οι βασικές αρχές της θεωρίας των ηλεκτρικών κυκλωμάτων, οι θεμελιώδεις έννοιες του ηλεκτρισμού και του συνεχούς ρεύματος, μελετώνται βασικά παθητικά στοιχεία, όπως οι πυκνωτές και τα πηνία, αναλύονται τα ηλεκτρικά κυκλώματα συνεχούς ρεύματος, οι νόμοι που τα διέπουν και οι μέθοδοι επίλυσής τους. Έμφαση δίνεται στον ηλεκτρομαγνητισμό και στην ηλεκτρομαγνητική επαγωγή, που αποτελούν τη βάση για τη λειτουργία πλήθους ηλεκτρικών συσκευών και ενεργειακών συστημάτων. Επιπλέον, παρουσιάζονται οι αρχές του εναλλασσόμενου ρεύματος, η συμπεριφορά των κυκλωμάτων υπό ημιτονοειδή διέγερση και οι σχετικές εφαρμογές τους και τέλος περιγράφονται τα όργανα ηλεκτρικών μετρήσεων και οι τεχνικές χρήσης τους.

