



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ  
Εθνικόν και Καποδιστριακόν  
Πανεπιστήμιον Αθηνών

# Ηλεκτρομαγνητισμός - Οπτική - Σύγχρονη Φυσική

Ενότητα: Στοιχεία Ηλεκτρικών Κυκλωμάτων

Βαρουτάς Δημήτρης

Σχολή Θετικών Επιστημών

Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

## Κυκλώματα συνεχούς ρεύματος

## Ανάλυση κυκλωμάτων

- Τα απλά ηλεκτρικά κυκλώματα μπορεί να περιέχουν μπαταρίες, αντιστάτες, και πυκνωτές σε διάφορες συνδεσμολογίες.
- Κάποια κυκλώματα μπορούμε να τα αναλύσουμε συνδυάζοντας τους αντιστάτες.
- Για να αναλύσουμε πιο πολύπλοκα κυκλώματα ίσως χρειαστεί να χρησιμοποιήσουμε τους κανόνες του Kirchhoff.
  - Οι κανόνες αυτοί βασίζονται στην αρχή διατήρησης της ενέργειας και την αρχή διατήρησης του ηλεκτρικού φορτίου σε απομονωμένα συστήματα.
- Σε ένα κύκλωμα μπορεί να κυκλοφορεί συνεχές ρεύμα ή εναλλασσόμενο ρεύμα.

Εισαγωγή

## Συνεχές ρεύμα

- Όταν το ρεύμα σε ένα κύκλωμα έχει σταθερή φορά, τότε ονομάζεται **συνεχές ρεύμα (ΣΡ)**.
  - Θα θεωρούμε ότι τα περισσότερα κυκλώματα που θα αναλύσουμε βρίσκονται σε **σταθερή κατάσταση**, δηλαδή διαρρέονται από ρεύμα με σταθερή τιμή και φορά.
- Επειδή η διαφορά δυναμικού μεταξύ των πόλων μιας μπαταρίας είναι σταθερή, η μπαταρία δημιουργεί συνεχές ρεύμα.
- Η μπαταρία είναι μια πηγή ηλεκτρεγερτικής δύναμης, ΗΕΔ.

Ενότητα Η6.1

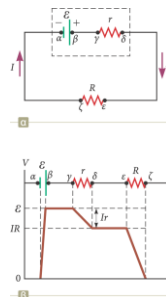
## Ηλεκτρεγερτική δύναμη

- Η ηλεκτρεγερτική δύναμη (ΗΕΔ),  $\mathcal{E}$ , μιας μπαταρίας είναι η μέγιστη δυνατή τάση που μπορεί να παρέχει η μπαταρία μεταξύ των πόλων της.
  - Ο όρος ΗΕΔ δεν υποδηλώνει κάποια ασκούμενη δύναμη, αλλά την ενέργεια που παρέχει η μπαταρία.
- Κανονικά, η πηγή της ενέργειας ενός κυκλώματος είναι η μπαταρία.
- Ο θετικός πόλος της μπαταρίας έχει μεγαλύτερο δυναμικό από τον αρνητικό.
- Θεωρούμε ότι τα σύρματα δεν έχουν ηλεκτρική αντίσταση.

Ενότητα Η6.1

## Εσωτερική αντίσταση της μπαταρίας

- Αν η εσωτερική αντίσταση της μπαταρίας ισούται με μηδέν, τότε η τάση μεταξύ των πόλων της μπαταρίας (ή **πολική τάση**) είναι ίση με την ΗΕΔ.
- Οι πραγματικές μπαταρίες έχουν κάποια εσωτερική αντίσταση  $r$ .
- Η **πολική τάση** είναι  $\Delta V = \mathcal{E} - Ir$ .
- Η ΗΕΔ αντιστοιχεί στην τάση που επικρατεί όταν το κύκλωμα είναι ανοιχτό.
  - Όταν στο κύκλωμα δεν κυκλοφορεί ρεύμα, η ΗΕΔ ισούται με την πολική τάση.
  - Η ΗΕΔ είναι η τάση που αναγράφεται επάνω σε κάθε μπαταρία.
- Η πραγματική διαφορά δυναμικού που επικρατεί μεταξύ των πόλων της μπαταρίας εξαρτάται από το ρεύμα που διαρρέει το κύκλωμα.



Ενότητα Η6.1

## Αντίσταση φόρτου

- Η **πολική τάση** είναι επίσης ίση με την τάση που επικρατεί στα άκρα της εξωτερικής αντίστασης.
  - Αυτή η εξωτερική αντίσταση ονομάζεται **αντίσταση φόρτου**.
  - Στο προηγούμενο κύκλωμα, η αντίσταση φόρτου είναι απλώς η εξωτερική αντίσταση.
  - Γενικά, η αντίσταση φόρτου θα μπορούσε να είναι η αντίσταση μιας οποιασδήποτε ηλεκτρικής συσκευής.
    - Οι αντιστάσεις αυτές αποτελούν **φορτία** για την μπαταρία, επειδή η μπαταρία πρέπει να παρέχει ενέργεια για τη λειτουργία της συσκευής η οποία περιέχει την αντίσταση.

Ενότητα Η6.1

### Ισχύς

- Η συνολική ισχύς που παρέχει η μπαταρία είναι:
  - $P = I \Delta V = I \epsilon$
- Αυτή η ισχύς αποδίδεται τόσο στην εξωτερική αντίσταση ( $I^2 R$ ) όσο και στην εσωτερική ( $I^2 r$ ).
  - $P = I^2 R + I^2 r$
- Η μπαταρία είναι μια πηγή σταθερής ΗΕΔ.
  - Η μπαταρία δεν παρέχει πάντα το ίδιο ρεύμα, αφού το ρεύμα που διαρρέει ένα κύκλωμα εξαρτάται από την αντίσταση που είναι συνδεδεμένη στα άκρα της μπαταρίας.
  - Η μπαταρία δεν παρέχει πάντα την ίδια πολική τάση.

Ενότητα Η6.1

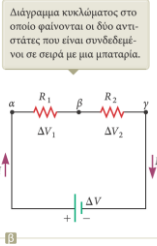
### Αντιστάτες συνδεδεμένοι σε σειρά

- Όταν δύο ή περισσότεροι αντιστάτες είναι συνδεδεμένοι μεταξύ τους έτσι ώστε το ένα άκρο καθενός να ενώνεται με το ένα άκρο του επόμενου, τότε λέμε ότι οι αντιστάτες είναι συνδεδεμένοι σε σειρά.
- Στη συνδεσμολογία αντιστατών σε σειρά, το ρεύμα είναι το ίδιο σε όλους τους αντιστάτες, επειδή η ποσότητα φορτίου που περνάει από έναν αντιστάτη πρέπει να περάσει και από τους υπόλοιπους αντιστάτες της συνδεσμολογίας στο ίδιο χρονικό διάστημα.
- Η διαφορά δυναμικού κατανέμεται στους αντιστάτες έτσι ώστε το άθροισμα των διαφορών δυναμικού στα άκρα των αντιστατών να ισούται με τη συνολική διαφορά δυναμικού στα άκρα της συνδεσμολογίας αντιστατών σε σειρά.

Ενότητα Η6.2

### Αντιστάτες συνδεδεμένοι σε σειρά (συνέχεια)

- Το ρεύμα έχει παντού την ίδια τιμή
  - $I = I_1 = I_2$
- Οι διαφορές δυναμικού αθροίζονται
  - $\Delta V = V_1 + V_2 = IR_1 + IR_2$
  - $= I(R_1 + R_2)$
  - Αυτό είναι συνέπεια της αρχής διατήρησης της ενέργειας.
- Η ισοδύναμη αντίσταση,  $R_1 + R_2$ , έχει το ίδιο αποτέλεσμα στο κύκλωμα με εκείνο της αρχικής συνδεσμολογίας αντιστατών.



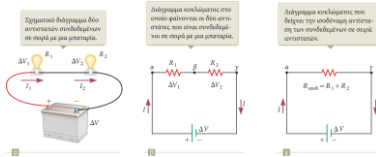
Ενότητα Η6.2

### Ισοδύναμη αντίσταση – Συνδεσμολογία σε σειρά

- $R_{\text{ισοδ.}} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$
- Η ισοδύναμη αντίσταση μιας συνδεσμολογίας αντιστατών σε σειρά ισούται με το άθροισμα των αντιστάσεων των επιμέρους αντιστατών και είναι πάντα μεγαλύτερη από την αντίσταση κάθε αντιστάτη.
- Αν μία από τις συσκευές που είναι συνδεδεμένες σε ένα κύκλωμα σε σειρά αστοχήσει με αποτέλεσμα να ανοίξει το κύκλωμα, τότε όλες οι συσκευές θα σταματήσουν να λειτουργούν.

Ενότητα Η6.2

### Ισοδύναμη αντίσταση – Συνδεσμολογία σε σειρά – Παράδειγμα



- Και τα τρία διαγράμματα είναι ισοδύναμα.
- Οι δύο αντιστάτες αντικαθίστανται με έναν αντιστάτη ισοδύναμης αντίστασης.

Ενότητα Η6.2

### Μερικές επισημάνσεις σχετικά με τα κυκλώματα

- Μια τοπική μεταβολή σε ένα τμήμα ενός κυκλώματος μπορεί να προκαλέσει μια καθολική μεταβολή σε ολόκληρο το κύκλωμα.
  - Για παράδειγμα, αν τροποποιήσουμε έναν αντιστάτη, τότε θα τροποποιηθούν τα ρεύματα και οι τάσεις σε όλους τους υπόλοιπους αντιστάτες, αλλά και η πολική τάση της μπαταρίας.
- Σε ένα κύκλωμα με στοιχεία συνδεδεμένα σε σειρά, το ρεύμα ακολουθεί μόνο μία διαδρομή.
- Σε ένα κύκλωμα με στοιχεία συνδεδεμένα παράλληλα, το ρεύμα ακολουθεί διάφορες διαδρομές.

Ενότητα Η6.2

### Αντιστάτες συνδεδεμένοι παράλληλα

• Στα άκρα κάθε αντιστάτη υπάρχει η ίδια διαφορά δυναμικού, επειδή κάθε αντιστάτης είναι συνδεδεμένος απευθείας στους πόλους της μπαταρίας.

•  $\Delta V = \Delta V_1 = \Delta V_2$

• Τα σημεία όπου το ρεύμα διακλαδίζεται ονομάζονται **κόμβοι**.

• Το ρεύμα,  $I$ , που εισέρει σε έναν κόμβο πρέπει να είναι ίσο με το συνολικό ρεύμα που εκρέει από αυτόν τον κόμβο.

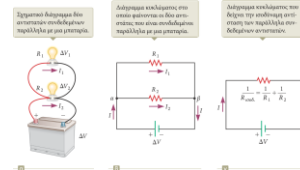
•  $I = I_1 + I_2 = (\Delta V_1 / R_1) + (\Delta V_2 / R_2)$

• Γενικά τα ρεύματα δεν είναι ίδια.

• Αυτό είναι συνέπεια της αρχής διατήρησης του ηλεκτρικού φορτίου.

Ενότητα H6.2

### Ισοδύναμη αντίσταση – Παράλληλη συνδεσμολογία – Παράδειγμα



• Και τα τρία διαγράμματα είναι ισοδύναμα.

• Οι δύο αντιστάτες αντικαθίστανται με έναν αντιστάτη ισοδύναμης αντίστασης.

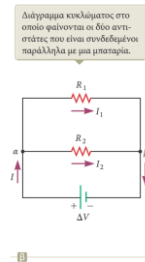
Ενότητα H6.2

### Ισοδύναμη αντίσταση – Παράλληλη συνδεσμολογία

• **Ισοδύναμη αντίσταση**  
 $\frac{1}{R_{\text{οδ.}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots$

• Το αντίστροφο της ισοδύναμης αντίστασης δύο ή περισσότερων παράλληλα συνδεδεμένων αντιστάτων ισούται με το άθροισμα των αντιστρόφων των αντιστάσεων των επιμέρους αντιστάτων.

• Η ισοδύναμη αντίσταση είναι πάντα μικρότερη από τη μικρότερη αντίσταση της συνδεσμολογίας.



Ενότητα H6.2

### Αντιστάτες συνδεδεμένοι παράλληλα (τελική διαφάνεια)

• Στην παράλληλη συνδεσμολογία, κάθε συσκευή λειτουργεί ανεξάρτητα από τις υπόλοιπες, οπότε όταν απενεργοποιείται κάποια από αυτές, οι υπόλοιπες συνεχίζουν να λειτουργούν.

• Στην παράλληλη συνδεσμολογία, όλες οι συσκευές λειτουργούν με την ίδια τάση.

• Το ρεύμα περνά από όλες τις διαδρομές.

- Από τη διαδρομή με τη μικρότερη αντίσταση περνά ισχυρό ρεύμα.
- Ρεύμα κυκλοφορεί ακόμα και στις διαδρομές με πολύ μεγάλη αντίσταση.

• Η **καλωδίωση των κυκλωμάτων στις κατοικίες** είναι πάντα τέτοια έτσι ώστε οι συσκευές να είναι συνδεδεμένες παράλληλα.

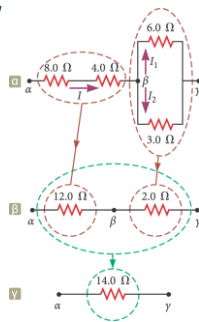
Ενότητα H6.2

### Συνδυασμοί αντιστάτων

• Οι αντιστάτες των 8.0 Ω και 4.0 Ω είναι συνδεδεμένοι σε σειρά και μπορούν να αντικατασταθούν με έναν αντιστάτη ισοδύναμης αντίστασης 12.0 Ω.

• Οι αντιστάτες των 6.0 Ω και 3.0 Ω είναι συνδεδεμένοι παράλληλα και μπορούν να αντικατασταθούν με έναν αντιστάτη ισοδύναμης αντίστασης 2.0 Ω.

• Οι ισοδύναμοι αντιστάτες είναι συνδεδεμένοι σε σειρά και μπορούν να αντικατασταθούν με έναν αντιστάτη ισοδύναμης αντίστασης 14.0 Ω.



Ενότητα H6.2

### Gustav Kirchhoff

- 1824–1887
- Γερμανός φυσικός
- Συνεργάστηκε με τον Robert Bunsen.
- Ο Kirchhoff και ο Bunsen
  - Εφήνταν το φασματοσκόπιο και θεμελίωσαν την επιστήμη της φασματοσκοπίας.
  - Ανακάλυψαν τα χημικά στοιχεία κάσιο και ρουβίδιο.
  - Θεμελίωσαν την αστρονομική φασματοσκοπία.



Ενότητα H6.3

### Οι κανόνες του Kirchhoff

- Σε ορισμένες περιπτώσεις, ο αντιστάτης είναι συνδεδεμένος κατά τέτοιο τρόπο ώστε το κύκλωμα που προκύπτει δεν μπορεί να αναχθεί σε έναν ισοδύναμο αντιστάτη.
- Σε αυτές τις περιπτώσεις, μπορούμε να χρησιμοποιούμε δύο κανόνες, οι οποίοι ονομάζονται **κανόνες του Kirchhoff**.

Ενότητα Η6.3

### Ο κανόνας των κόμβων του Kirchhoff

- **Κανόνας των κόμβων:**
  - Σε κάθε κόμβο του κυκλώματος, το άθροισμα των ρευμάτων πρέπει να είναι ίσο με το μηδέν.
    - Τα ρεύματα που εισέρχονται στον κόμβο θεωρούνται θετικά (+I), ενώ εκείνα που εξέρχονται από αυτόν θεωρούνται αρνητικά (-I).
    - Είναι μια διατύπωση της αρχής διατήρησης του φορτίου.
- Σε μαθηματική μορφή,

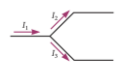
$$\sum_{\text{κόμβου}} I = 0$$

Ενότητα Η6.3

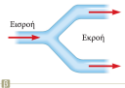
### Περισσότερα για τον κανόνα των κόμβων

- Σύμφωνα με την αρχή διατήρησης του φορτίου:
- $I_1 - I_2 - I_3 = 0$
- Στο διάγραμμα (β) φαίνεται το μηχανικό ανάλογο αυτής της περίπτωσης.

Η ποσότητα του φορτίου που εισέρχεται από τους κλάδους στα δεξιά πρέπει να ισούται με την ποσότητα του φορτίου που εισέρχεται στον κλάδο στα αριστερά.



Η ποσότητα του νερού που εκρέει από τους κλάδους στα δεξιά πρέπει να ισούται με την ποσότητα του νερού που εισέρχεται στον κλάδο στα αριστερά.



Ενότητα Η6.3

### Ο κανόνας των βρόχων του Kirchhoff

- **Κανόνας των βρόχων:**
  - Το άθροισμα των διαφορών δυναμικού στα άκρα όλων των στοιχείων κάθε κλειστού βρόχου του κυκλώματος πρέπει να είναι ίσο με το μηδέν.
  - Είναι μια διατύπωση της αρχής διατήρησης της ενέργειας.
- Σε μαθηματική μορφή,

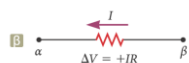
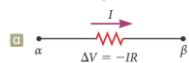
$$\sum_{\text{κλειστού βρόχου}} \Delta V = 0$$

Ενότητα Η6.3

### Περισσότερα για τον κανόνα των βρόχων

- Διατρέχουμε τον βρόχο με φορά από το σημείο α προς το β.
- Στο διάγραμμα (α), διατρέχουμε τον αντιστάτη με φορά ίδια με αυτή του ρεύματος - η τάση στα άκρα του αντιστάτη είναι  $-IR$ .
- Στο διάγραμμα (β), διατρέχουμε τον αντιστάτη με φορά αντίθετη από αυτή του ρεύματος - η τάση στα άκρα του αντιστάτη είναι  $+IR$ .

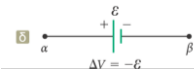
Σε κάθε κύκλωμα,  $\Delta V = V_\beta - V_\alpha$  και διατρέχουμε το στοιχείο του κυκλώματος από το σημείο α προς το σημείο β, από αριστερά προς δεξιά.



Ενότητα Η6.3

### Περισσότερα για τον κανόνα των βρόχων (τελική διαφάνεια)

- Στο διάγραμμα (γ), διατρέχουμε την πηγή ΗΕΔ με φορά ίδια με αυτήν της ΗΕΔ (από τον πόλο - στον πόλο +), οπότε η μεταβολή της διαφοράς δυναμικού είναι  $+ε$ .
- Στο διάγραμμα (δ), διατρέχουμε την πηγή ΗΕΔ με φορά αντίθετη από αυτή της ΗΕΔ (από τον πόλο + στον πόλο -), οπότε η μεταβολή της διαφοράς δυναμικού είναι  $-ε$ .



Ενότητα Η6.3

## Οι εξισώσεις που προκύπτουν από τους κανόνες του Kirchhoff

- Χρησιμοποιούμε τον κανόνα των κόμβων όσες φορές θέλουμε, αρκεί κάθε εξίσωση να περιλαμβάνει ένα ρεύμα που δεν έχει χρησιμοποιηθεί σε άλλη εξίσωση του κανόνα των κόμβων.
  - Γενικά, το πλήθος των εξισώσεων που μπορούμε να γράψουμε χρησιμοποιώντας τον κανόνα των κόμβων υπολείπεται κατά ενός του πλήθους των κόμβων του κυκλώματος.
- Χρησιμοποιούμε τον κανόνα των βρόχων όσες φορές θέλουμε, αρκεί κάθε εξίσωση να περιλαμβάνει ένα στοιχείο του κυκλώματος (αντιστάτη ή μπαταρία) ή ένα ρεύμα που δεν έχει χρησιμοποιηθεί σε άλλη εξίσωση του κανόνα των βρόχων.
- Για να λύσουμε ένα πρόβλημα κυκλώματος (δηλαδή, να βρούμε τις τιμές των ρευμάτων), πρέπει να γράψουμε (χρησιμοποιώντας τους κανόνες του Kirchhoff) τόσες ανεξάρτητες εξισώσεις όσες και το πλήθος των άγνωστων ρευμάτων.
- Αν στο κύκλωμα υπάρχει κάποιος πυκνωτής, τότε αυτός θεωρείται ως ανοιχτός κλάδος του κυκλώματος.
  - Σε σταθερή κατάσταση, το ρεύμα στον κλάδο του πυκνωτή ισούται με μηδέν.

Ενότητα Η6.3

## Μεθοδολογία επίλυσης προβλημάτων – Οι κανόνες του Kirchhoff

- **Μοντελοποίηση**
  - Μελετήστε το διάγραμμα του κυκλώματος και αναγνωρίστε όλα τα στοιχεία του.
  - Προσδιορίστε την πολικότητα κάθε μπαταρίας.
  - Φανταστείτε τις φορές των ρευμάτων σε κάθε μπαταρία.
- **Κατηγοριοποίηση**
  - Διαπιστώστε αν μπορείτε να απλουστεύσετε το κύκλωμα, συνδυάζοντας τους αντιστάτες παράλληλα και σε σειρά.
    - Αν να, συνεχίστε υπολογίζοντας τις ισοδύναμες αντιστάσεις.
    - Αν όχι, εφαρμόστε τους κανόνες του Kirchhoff.

Ενότητα Η6.3

## Μεθοδολογία επίλυσης προβλημάτων (2)

### •Ανάλυση

- Επιστημάτε τα γνωστά μεγέθη και δώστε σύμβολα στα άγνωστα μεγέθη.
- Ορίστε τη φορά κάθε ρεύματος.
  - Αν και ο ορισμός της φοράς κάθε ρεύματος γίνεται αυθαίρετα, πρέπει να τηρήσετε τις επιλογές σας κατά την εφαρμογή των κανόνων του Kirchhoff.
- Εφαρμόστε τον κανόνα των κόμβων σε όσους κόμβους του κυκλώματος δίνουν νέες σχέσεις μεταξύ των διαφορών ρευμάτων.
- Εφαρμόστε τον κανόνα των βρόχων σε όσους βρόχους χρειάζεται για να υπολογίσετε τις τιμές των άγνωστων μεγεθών.
  - Για να εφαρμόσετε τον κανόνα των βρόχων, πρέπει να επιλέξετε τη φορά με την οποία θα διατρέξετε τον βρόχο.
  - Επίσης, καθώς διατρέχετε το κύκλωμα, πρέπει να προσδιορίσετε σωστά τη διαφορά δυναμικού σε κάθε στοιχείο του κυκλώματος που συναντάτε.
- Λύστε το σύστημα εξισώσεων ως προς τα άγνωστα μεγέθη.

Ενότητα Η6.3

## Μεθοδολογία επίλυσης προβλημάτων (τελική διαφάνεια)

### •Ολοκλήρωση

- Ελέγξτε τις τιμές που βρήκατε.
- Αν η τιμή κάποιου ρεύματος είναι αρνητική, αυτό σημαίνει ότι η αρχική σας υπόθεση για τη φορά του συγκεκριμένου ρεύματος ήταν λανθασμένη.
  - Η απόλυτη τιμή του ρεύματος είναι σωστή.

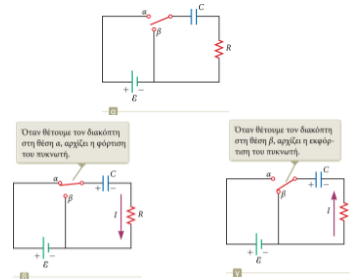
Ενότητα Η6.3

## Κυκλώματα RC

- Σε κυκλώματα συνεχούς ρεύματος στα οποία υπάρχουν και πυκνωτές, το ρεύμα μπορεί να μεταβάλλεται συναρτήσει του χρόνου.
  - Το ρεύμα εξακολουθεί να έχει την ίδια φορά.
- **Κύκλωμα RC** ονομάζεται το κύκλωμα που περιλαμβάνει έναν αντιστάτη και έναν πυκνωτή σε σειρά.

Ενότητα Η6.4

## Κύκλωμα RC – Παράδειγμα



Ενότητα Η6.4

## Φόρτιση πυκνωτή

- Μόλις κλείσει το κύκλωμα, ο πυκνωτής αρχίζει να φορτίζεται.
- Ο πυκνωτής συνεχίζει να φορτίζεται μέχρι να φτάσει στο μέγιστο φορτίο του ( $Q = CE$ ).
- Μόλις ο πυκνωτής φορτιστεί πλήρως, το ρεύμα στο κύκλωμα γίνεται ίσο με μηδέν.
- Καθώς φορτίζονται οι σπλινοί, αυξάνεται η διαφορά δυναμικού στα άκρα του πυκνωτή.
- Τη στιγμή που κλείνει ο διακόπτης, το φορτίο του πυκνωτή είναι μηδέν.
- Μόλις ο πυκνωτής αποκτήσει το μέγιστο φορτίο του, το ρεύμα στο κύκλωμα γίνεται ίσο με μηδέν.
  - Η διαφορά δυναμικού στα άκρα του πυκνωτή είναι ίδια με εκείνη που παρέχει η μπαταρία.

Ενότητα H6.4

## Φόρτιση πυκνωτή σε κύκλωμα RC

- Το φορτίο του πυκνωτή μεταβάλλεται με τον χρόνο.
  - $q(t) = C\mathcal{E}(1 - e^{-t/RC})$   
 $= Q(1 - e^{-t/RC})$
- Μπορούμε να βρούμε την τιμή του ρεύματος
  - $I(t) = \frac{\mathcal{E}}{R} e^{-t/RC}$
  - Όπου  $\tau$  είναι η σταθερά χρόνου.
    - $\tau = RC$



Ενότητα H6.4

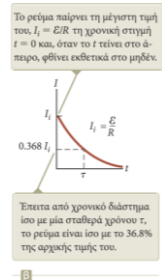
## Φόρτιση και σταθερά χρόνου

- Η σταθερά χρόνου είναι το χρονικό διάστημα που χρειάζεται το φορτίο για να φτάσει από το μηδέν στο 63.2% της μέγιστης τιμής του.
- Η σταθερά χρόνου  $\tau$  μετριέται σε μονάδες χρόνου.
- Η ενέργεια που είναι αποθηκευμένη στον φορτισμένο πυκνωτή είναι ίση με:
  - $\frac{1}{2} Q\mathcal{E} = \frac{1}{2} C\mathcal{E}^2$

Ενότητα H6.4

## Εκφόρτιση πυκνωτή σε κύκλωμα RC

- Όταν στο κύκλωμα συνδεθεί ένας φορτισμένος πυκνωτής, μπορεί να εκφορτιστεί σύμφωνα με τη σχέση:
  - $q(t) = Qe^{-t/RC}$
- Το φορτίο μειώνεται εκθετικά.



Ενότητα H6.4

## Εκφόρτιση πυκνωτή

- Τη χρονική στιγμή  $t = \tau = RC$ , το φορτίο έχει μειωθεί στην τιμή  $0.368 Q_{\max}$ .
  - Με άλλα λόγια, σε χρονικό διάστημα ίσο με μία σταθερά χρόνου, ο πυκνωτής έχει χάσει το 63.2% του αρχικού φορτίου του.
- Μπορούμε να βρούμε την τιμή του ρεύματος χρησιμοποιώντας τη σχέση:  $\frac{dq}{dt} = -\frac{q}{RC}$
- Το φορτίο και το ρεύμα μειώνονται εκθετικά με ρυθμό που εξαρτάται από τη σταθερά χρόνου  $\tau = RC$ .

Ενότητα H6.4

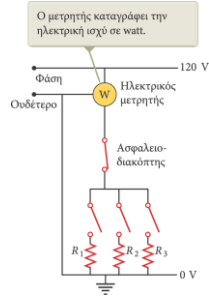
## Οικιακή καλωδίωση

- Η επιχείρηση ηλεκτρισμού διανέμει την ηλεκτρική ισχύ στις κατοικίες μέσω ενός ζεύγους καλωδίων.
- Η ηλεκτρική εγκατάσταση κάθε κατοικίας είναι συνδεδεμένη παράλληλα με αυτά τα καλώδια.
- Το ένα καλώδιο ονομάζεται «φάση» ή ενεργό καλώδιο και το άλλο ουδέτερο καλώδιο (γείωση).

Ενότητα H6.5

## Οικιακή καλωδίωση (2)

- Το δυναμικό του ουδέτερου καλωδίου θεωρείται ότι είναι ίσο με μηδέν.
  - Στην πραγματικότητα, το ρεύμα και η τάση μεταβάλλονται περιοδικά.
- Η διαφορά δυναμικού μεταξύ της φάσης και του ουδέτερου είναι περίπου 120 V.



Ενότητα Η6.5

## Οικιακή καλωδίωση (τελική διαφάνεια)

- Ένας μετρητής είναι συνδεδεμένος σε σειρά με το καλώδιο της φάσης που καταλήγει στην κατοικία.
  - Ο μετρητής καταγράφει την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας κάθε κατοικίας.
- Μετά τον μετρητή, το καλώδιο χωρίζεται, με αποτέλεσμα να υπάρχουν πολλά ξεχωριστά παράλληλα κυκλώματα κατανεμημένα σε ολόκληρη την κατοικία.
- Κάθε κύκλωμα έχει τον δικό του ασφαλειοδιακόπτη.
- Για τις συσκευές που απαιτούν 240 V για τη λειτουργία τους, υπάρχει ένα τρίτο καλώδιο το οποίο διατηρείται κατά 120 V κάτω από το δυναμικό της γείωσης.

Ενότητα Η6.5

## Βραχυκύκλωμα

- Όταν μεταξύ δύο σημείων που έχουν διαφορετικό δυναμικό υπάρχει σχεδόν μηδενική αντίσταση, τότε συμβαίνει **βραχυκύκλωμα**.
- Σε αυτή την περίπτωση, δημιουργείται ισχυρό ρεύμα.
- Στα κυκλώματα των κατοικιών, υπάρχουν ασφαλειοδιακόπτες οι οποίοι, σε περίπτωση βραχυκυκλώματος, θέτουν εκτός λειτουργίας το κύκλωμα.
  - Με αυτόν τον τρόπο αποφεύγονται οι βλάβες στις συσκευές.
- Αν κάποιος άνθρωπος που είναι σε επαφή με το έδαφος αγγίζει το καλώδιο της φάσης, τότε μπορεί να πάθει ηλεκτροπληξία.

Ενότητα Η6.5

## Προστασία από το ηλεκτρικό ρεύμα

- Η ηλεκτροπληξία μπορεί να προκαλέσει θανάσιμα εγκαύματα.
- Η ηλεκτροπληξία μπορεί να προκαλέσει δυσλειτουργία των μυών ζωτικών οργάνων όπως είναι η καρδιά.
- Ο βαθμός της βλάβης εξαρτάται από:
  - την τιμή του ρεύματος,
  - το χρονικό διάστημα που επιδρά,
  - το μέρος του σώματος που έρχεται σε επαφή με το καλώδιο φάσης,
  - το μέρος του σώματος από το οποίο περνά το ρεύμα.

Ενότητα Η6.5

## Επιπτώσεις του ρεύματος ανάλογα με την τιμή του

- Ρεύμα μικρότερο από 5 mA.
  - Προκαλεί τίνιγμα.
  - Γενικά, δεν προκαλεί τραυματισμούς.
- Ρεύμα 10 mA.
  - Οι μύες συσπώνονται.
  - Ο άνθρωπος μπορεί να μην είναι σε θέση να αφήσει το καλώδιο φάσης από το χέρι του.
- Ρεύμα 100 mA.
  - Μπορεί να αποβεί θανατηφόρο ακόμα και αν διαπεράσει το ανθρώπινο σώμα για λίγα δευτερόλεπτα.
  - Παραλύει τους αναπνευστικούς μύες και εμποδίζει την αναπνοή.

Ενότητα Η6.5

## Άλλες επιπτώσεις

- Σε μερικές περιπτώσεις, ρεύματα της τάξης του 1 A μπορούν να προξενήσουν σοβαρά εγκαύματα.
  - Μερικές φορές αυτά τα εγκαύματα μπορεί να αποβούν μοιραία.
- Στην πράξη, όταν η τάση υπερβαίνει τα 24 V, η επαφή με τη φάση δεν θεωρείται ασφαλής.

Ενότητα Η6.5



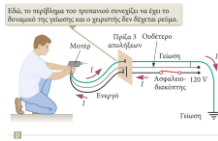
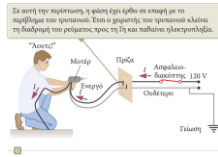
## Γείωση

•Οι κατασκευαστές ηλεκτρολογικού υλικού χρησιμοποιούν ηλεκτρικά καλώδια που έχουν και ένα τρίτο σύρμα, το σύρμα γείωσης.

•Το σύρμα της γείωσης δεν φέρει ρεύμα και είναι συνδεδεμένο με την ηλεκτρική συσκευή.

•Αν συμβεί βραχυκύκλωμα μεταξύ της φάσης και του περιβλήματος της συσκευής, τότε το μεγαλύτερο μέρος του ρεύματος θα ακολουθήσει τη διαδρομή που παρουσιάζει τη μικρότερη αντίσταση προς τη γη μέσω της συσκευής.

•Αν δεν υπάρχει κατάλληλη γείωση, τότε ο χειριστής της συσκευής θα κινδυνεύει να πάθει ηλεκτροπληξία, επειδή το σίμα του αποτελεί μια διαδρομή προς τη γη η οποία παρουσιάζει χαμηλή αντίσταση.



Ενότητα Η6.5

## Ασφαλειοδιακόπτες διαρροής γείωσης

•Οι διατάξεις αυτές:

- Είναι ειδικές πρίζες.
- Χρησιμοποιούνται σε χώρους όπου υπάρχει κίνδυνος βραχυκυκλώματος.
- Είναι σχεδιασμένες για να μας προστατεύουν από τον κίνδυνο ηλεκτροπληξίας.
- Ανιχνεύουν ασθενή ρεύματα (< 5 mA) διαφοράς προς τη γη.
- Όταν ανιχνεύσουν ρεύμα που ξεπερνά αυτή την τιμή, το διακόπτουν.

Ενότητα Η6.5

Τέλος

Κυκλώματα συνεχούς ρεύματος – Ανάλυση  
κυκλωμάτων

# Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αθηνών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Σημειώματα

# Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων Έργου

Το παρόν έργο αποτελεί την έκδοση 1.0.



# Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Εθνικών και Καποδιστριακών Πανεπιστημίων Αθηνών, Βαρουτάς Δημήτρης. «Ηλεκτρομαγνητισμός - Οπτική - Σύγχρονη Φυσική. Στοιχεία Ηλεκτρικών Κυκλωμάτων». Έκδοση: 1.0. Αθήνα 2015. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: <http://opencourses.uoa.gr/courses/DI121/>.



# Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.



# Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.

