



Εικόνα: Όλες οι παραπάνω συσκευές είναι πυκνωτές, οι οποίοι αποθηκεύουν ηλεκτρικό φορτίο και ενέργεια. Ο πυκνωτής είναι ένα είδος κυκλώματος που μπορούμε να συνδυάσουμε με άλλα για να φτιάξουμε ηλεκτρικά κυκλώματα.

Φυσική για Μηχανικούς

Χωρητικότητα



Εικόνα: Όλες οι παραπάνω συσκευές είναι πυκνωτές, οι οποίοι αποθηκεύουν ηλεκτρικό φορτίο και ενέργεια. Ο πυκνωτής είναι ένα είδος κυκλώματος που μπορούμε να συνδυάσουμε με άλλα για να φτιάξουμε ηλεκτρικά κυκλώματα.

Φυσική για Μηχανικούς

Χωρητικότητα

Χωρητικότητα (επανάληψη...)

- Η **χωρητικότητα C** ενός πυκνωτή ορίζεται ως ο λόγος του μέτρου του φορτίου σε οποιονδήποτε αγωγό προς το μέτρο της διαφοράς δυναμικού ανάμεσά τους:

$$C \equiv \frac{|Q|}{|\Delta V|}$$

- Πυκνωτής παράλληλων πλακών

$$C = \frac{|Q|}{|\Delta V|} = \frac{\epsilon_0 A}{d}$$

- Παράλληλη σύνδεση πυκνωτών

$$C_{eq} = \sum_{i=1}^N C_i$$

- Σε σειρά σύνδεση πυκνωτών

$$\frac{1}{C_{eq}} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{C_i}$$



Εικόνα: Οι γραμμές ρεύματος μεταφέρουν ενέργεια από την ηλεκτρική εταιρία στα σπίτια και τις επιχειρήσεις μας. Η ενέργεια μεταφέρεται σε πολύ υψηλές τάσεις, πιθανότατα εκατοντάδων χιλιάδων volt. Αν και αυτό καθιστά της ηλεκτροφόρες γραμμές επικίνδυνες, η υψηλή τάση συνεισφέρει στη λιγότερη απώλεια ενέργειας λόγω αντιστάσεων των καλωδίων (Telegraph Colour Library/FPG)

Φυσική για Μηχανικούς

Ρεύμα και Αντίσταση



Εικόνα: Οι γραμμές ρεύματος μεταφέρουν ενέργεια από την ηλεκτρική εταιρία στα σπίτια και τις επιχειρήσεις μας. Η ενέργεια μεταφέρεται σε πολύ υψηλές τάσεις, πιθανότατα εκατοντάδων χιλιάδων volt. Αν και αυτό καθιστά της ηλεκτροφόρες γραμμές επικίνδυνες, η υψηλή τάση συνεισφέρει στη λιγότερη απώλεια ενέργειας λόγω αντιστάσεων των καλωδίων (Telegraph Colour Library/FPG)

Φυσική για Μηχανικούς

Ρεύμα και Αντίσταση

Ρεύμα και Αντίσταση (επανάληψη...)

- Το **ρεύμα** ορίζεται ως ο ρυθμός με τον οποίο το φορτίο ρέει μέσα από την επιφάνεια
- **Μέσο ρεύμα**

$$I_{avg} = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

- **Στιγμιαίο ρεύμα**

$$I \equiv \frac{dQ}{dt}$$

- **Πυκνότητα ρεύματος J**

$$J = \frac{I}{A}$$

- **Νόμος του Ohm:**

- *Ο λόγος της πυκνότητας ρεύματος J προς το μέτρο του ηλεκτρικού πεδίου E είναι σταθερός και ίσος με την ειδική αγωγιμότητα σ ενός υλικού, και ανεξάρτητος από το ηλεκτρικό πεδίο που παράγει το ρεύμα*

$$\sigma = \frac{J}{E}$$

- Για έναν αγωγό μήκους ℓ και διατομής A , η ποσότητα $R = \frac{\ell}{\sigma A}$ ονομάζεται **αντίσταση** του αγωγού

- **Αντίσταση** ενός αγωγού: λόγος της διαφοράς δυναμικού προς το ρεύμα που τον διαρρέει

$$R \equiv \frac{\Delta V}{I}$$

Ρεύμα και Αντίσταση

- **Αντίσταση**

- Το αντίστροφο της αγωγιμότητας ονομάζεται *ειδική αντίσταση* ρ :

$$\rho = \frac{1}{\sigma}$$

με μονάδες μέτρησης $\Omega \cdot \text{m}$

- Επειδή

$$R = \frac{\ell}{\sigma A}$$

μπορούμε να εκφράσουμε την αντίσταση ενός ομογενούς τμήματος υλικού μήκους ℓ ως

$$R = \rho \frac{\ell}{A}$$

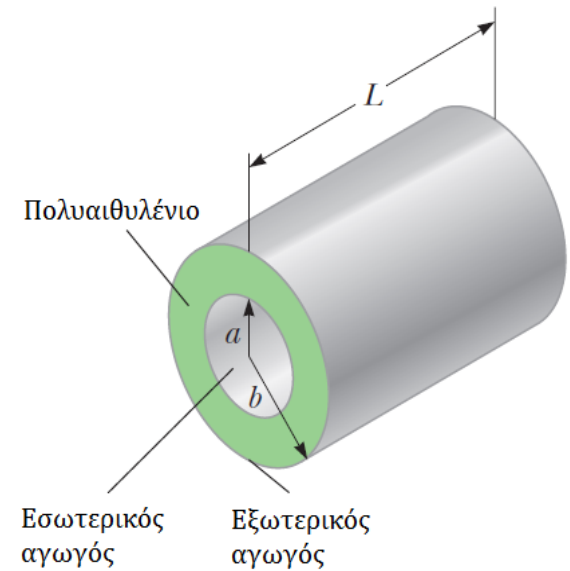
- Ίσως γνωρίζετε ότι η ειδική αντίσταση ρ σχετίζεται γραμμικά με τη θερμοκρασία
 - Αυτό ισχύει μόνο για ένα συγκεκριμένο εύρος θερμοκρασιών

Ρεύμα και Αντίσταση

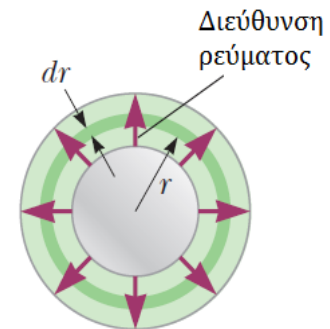
◉ Παράδειγμα:

- ◉ Τα ομοαξονικά καλώδια χρησιμοποιούνται ευρύτατα στην καλωδιακή τηλεόραση και σε άλλες ηλεκτρικές συσκευές. Ένα ομοαξονικό καλώδιο περιλαμβάνει δυο ομόκεντρους κυλινδρικούς αγωγούς. Η περιοχή ανάμεσά τους είναι γεμάτη με πολυαιθυλένιο (πλαστικό). Η διαρροή ρεύματος μέσα από το πλαστικό, σε ακτινική διεύθυνση, είναι άκρως ανεπιθύμητη.

Η ακτίνα του εσωτερικού αγωγού είναι a , του εξωτερικού αγωγού είναι b , και το μήκος του είναι L . Η ειδική αντίσταση του πλαστικού είναι ρ . Βρείτε την αντίσταση του πλαστικού ανάμεσα στους δυο αγωγούς.



a

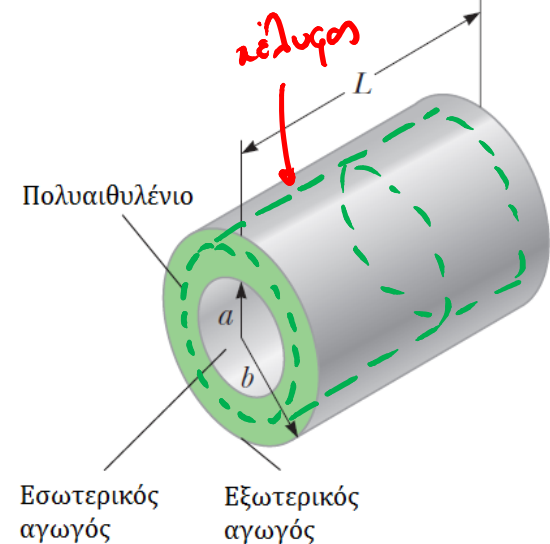


b

Ρεύμα και Αντίσταση

● Παράδειγμα - Λύση:

Η ακτίνα του εσωτερικού αγωγού είναι a , του εξωτερικού αγωγού είναι b , και το μήκος του είναι L . Η ειδική αντίσταση του πλαστικού είναι ρ . Βρείτε την αντίσταση του πλαστικού ανάμεσα στους δυο αγωγούς.

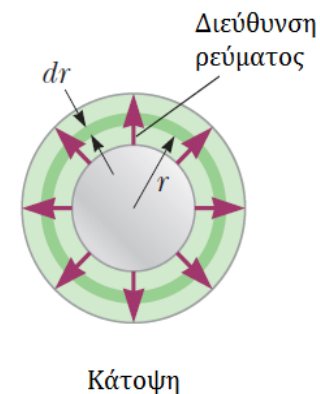


a

Η ακτινική διαρροή ρεύματος (Σχήμα b) είναι ανεπιθύμητη. Ζητάμε την αντίσταση R του "πράσινου" υλικού. Χωρίζουμε το πλαστικό σε σφαιρικά, κυλινδρικά κέλυφα ("τσόφλια") πάχους dr .

Οποιοδήποτε φέττα (ρεύμα) κινείται ακτινικά προς τα έξω (Σχήμα b), θα περνά αναγκαστικά από το κέλυφος αυτό, πάχους dr . Γνωρίζουμε ότι $R = \rho \frac{l}{A}$.

Έστω ότι το κέλυφος πάχους dr έχει αντίσταση dR .



b

αντίσταση ενός κυλίνδρου πλαστικού πάχους dr

Ρεύμα και Αντίσταση

• Παράδειγμα - Λύση:

Η ακτίνα του εσωτερικού αγωγού είναι a , του εξωτερικού αγωγού είναι b , και το μήκος του είναι L . Η ειδική αντίσταση του πλαστικού είναι ρ . Βρείτε την αντίσταση του πλαστικού ανάμεσα στους δυο αγωγούς.

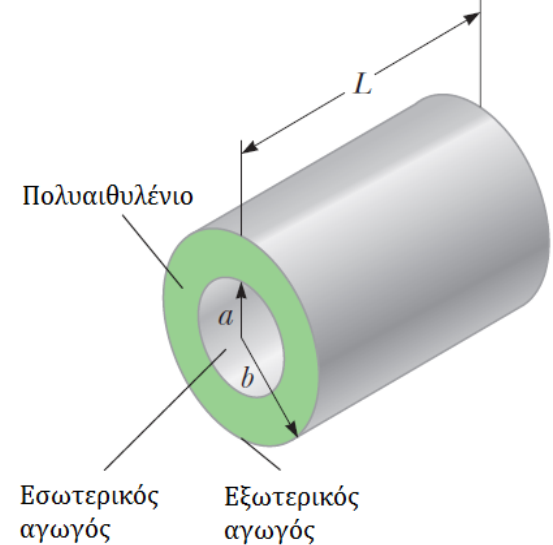
Είναι

$$dR = \rho \frac{l}{A} = \rho \frac{dr}{2\pi r L} = \frac{\rho}{2\pi L} \frac{dr}{r}$$

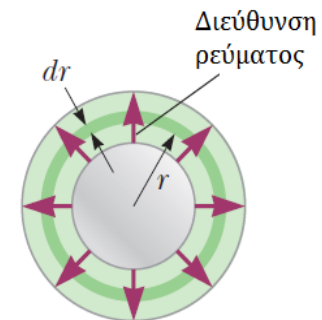
Οπότε

$$R = \int dR = \frac{\rho}{2\pi L} \int_a^b \frac{dr}{r} = \frac{\rho}{2\pi L} \ln(r) \Big|_{r=a}^{r=b}$$

$$= \frac{\rho}{2\pi L} (\ln b - \ln a) = \frac{\rho}{2\pi L} \ln\left(\frac{b}{a}\right)$$



a



Κάτοψη

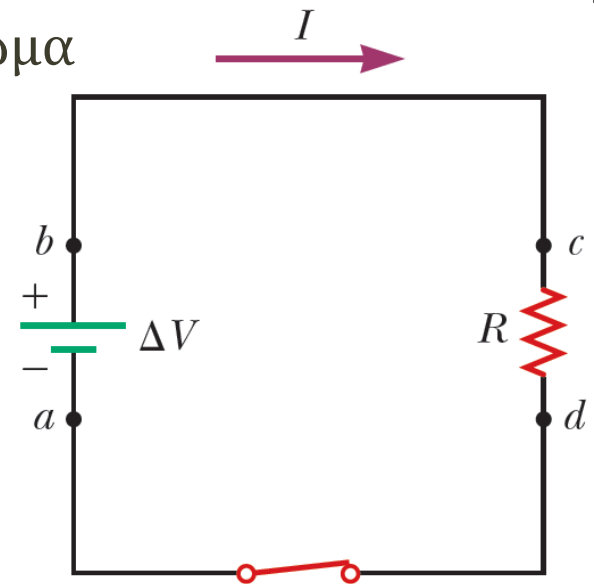
b

αντίσταση οδοντογυαλιού πλαστικού ("ηράσινα")

Ρεύμα και Αντίσταση

● Ηλεκτρική Ισχύς

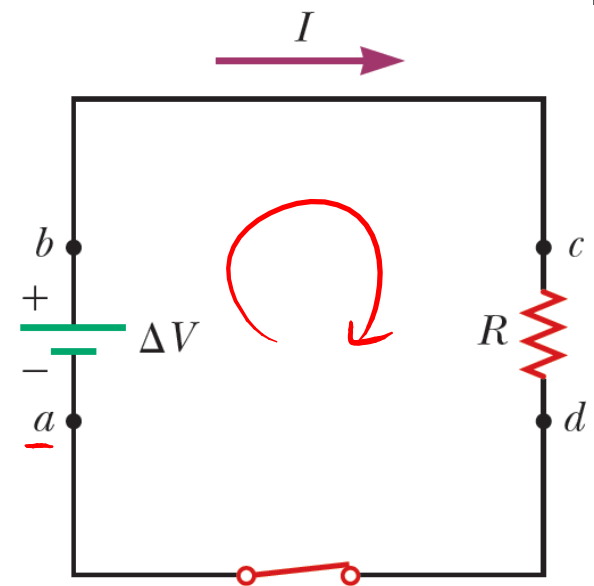
- Σε τυπικά ηλεκτρικά κυκλώματα, η ενέργεια μεταφέρεται από μια πηγή όπως η μπαταρία, σε μια λάμπα ή μια συσκευή
- Ας βρούμε μια έκφραση που θα μας δίνει το ρυθμό μεταφοράς αυτής της ενέργειας!
- Ας θεωρήσουμε το παρακάτω κύκλωμα όπου ενέργεια μεταφέρεται σε έναν αντιστάτη
- Στην πραγματικότητα, κάποια ενέργεια μεταφέρεται και στα καλώδια, την οποία θεωρούμε αμελητέα



Ρεύμα και Αντίσταση

● Ηλεκτρική Ισχύς

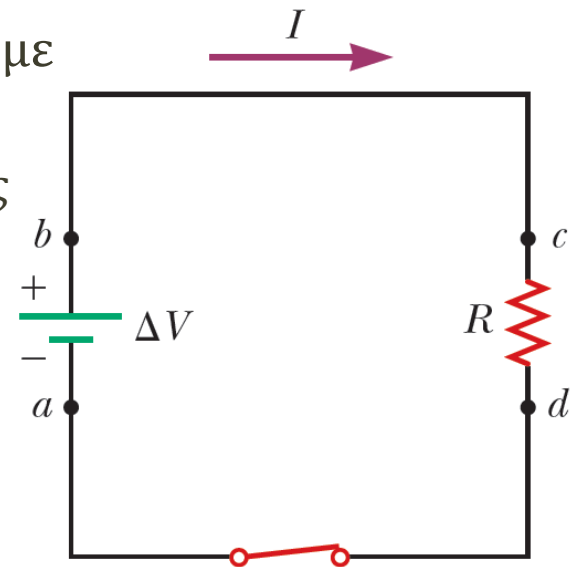
- Ας θεωρήσουμε ότι ακολουθούμε ένα φορτίο Q που κινείται στο κύκλωμα κατά τη φορά του ρολογιού, ξεκινώντας και καταλήγοντας στο σημείο a
 - Από το a στο b , η ηλεκτρ. δυναμική ενέργεια του συστήματος αυξάνεται κατά $Q\Delta V$
 - ...ενώ η χημική δυναμική ενέργεια της μπαταρίας μειώνεται εξίσου
 - Όσο το φορτίο κινείται από το c στο d , η ηλεκτρ. δυναμική ενέργεια του συστήματος μειώνεται λόγω της σύγκρουσης ηλεκτρονίων με τα άτομα του αντιστάτη
 - Μετατροπή ηλ. δυναμικής ενέργειας σε εσωτερική ενέργεια



Ρεύμα και Αντίσταση

● Ηλεκτρική Ισχύς

- Όταν το φορτίο επιστρέφει στο a , το συνολικό αποτέλεσμα είναι ότι ένα τμήμα της χημικής δυναμικής ενέργειας της μπαταρίας μεταφέρθηκε στον αντιστάτη και έμεινε εκεί ως εσωτερική ενέργεια που σχετίζεται με την κίνηση των ατόμων του αντιστάτη
- Συνήθως ο αντιστάτης είναι σε επαφή με τον αέρα
 - Μεταφέρεται ενέργεια μέσω θερμότητας
 - Εκπέμπεται επίσης ακτινοβολία
- Μετά από λίγο, ο αντιστάτης επανέρχεται σε φυσιολογική θερμοκρασία



Ρεύμα και Αντίσταση

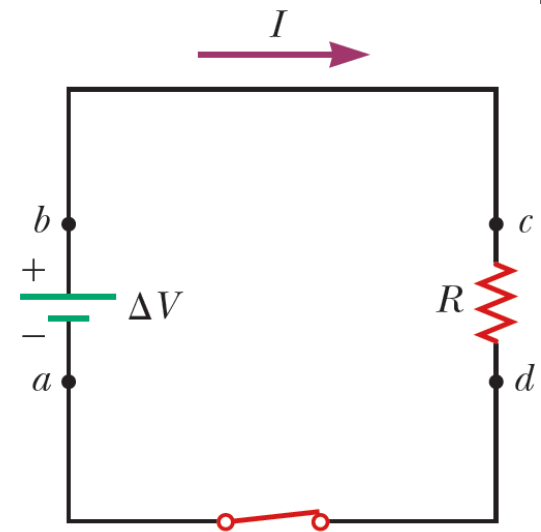
● Ηλεκτρική Ισχύς

- Ας μετρήσουμε τώρα το ρυθμό με τον οποίο η ηλεκτρική δυναμική ενέργεια του συστήματος φθίνει όσο το φορτίο Q περνά από τον αντιστάτη:

$$\frac{dU}{dt} = \frac{d}{dt}(Q\Delta V) = \frac{dQ}{dt}\Delta V = I\Delta V$$

- Το σύστημα αποκτά ξανά αυτή τη δυναμική ενέργεια όταν το φορτίο περάσει ξανά από την μπαταρία
 - Φυσικά, με το κόστος απώλειας χημικής ενέργειας από την μπαταρία
- Ο ρυθμός αυτός είναι ίσος με το ρυθμό με τον οποίο αυξάνεται η εσωτερική ενέργεια στον αντιστάτη
- Ισχύς P που παραδίδεται:

$$P = \underbrace{I\Delta V}_{IR} = I^2 R = \frac{\Delta V^2}{R}$$



Ρεύμα και Αντίσταση

● Ηλεκτρική Ισχύς

- Το ηλεκτρικό ρεύμα συνήθως χρειάζεται να μεταφερθεί σε μεγάλες αποστάσεις
- Η μεταφορά αυτή γίνεται με πυλώνες υψηλής τάσης και καλώδια
- Όταν η ηλεκτρική ενέργεια μεταφέρεται μέσα από καλώδια (τα οποία έχουν υψηλό R), στην πράξη ένα μέρος της μετατρέπεται σε θερμότητα, όπως είδαμε
- Όσο περισσότερη θερμότητα δημιουργείται κατά τη μεταφορά, τόσο λιγότερη ωφέλιμη ενέργεια φτάνει στον τελικό χρήστη
 - Για να μειωθούν οι απώλειες και το κόστος, η ηλεκτρική ενέργεια μεταφέρεται στα καλώδια σε *υψηλή τάση*
 - $P_{καλωδιου} = I^2 R \rightarrow$ υψηλή ένταση, υψηλή ενέργεια στα καλώδια
 - $P_{καλωδιου} = \frac{\Delta V^2}{R} \rightarrow$ υψηλή τάση, χαμηλή ενέργεια στα καλώδια



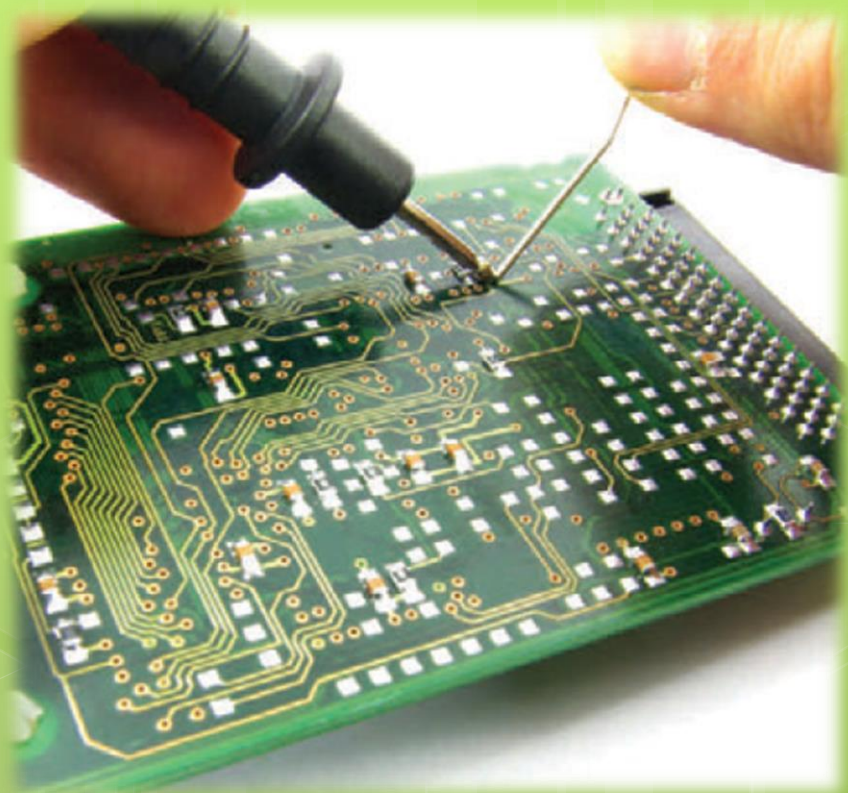
Ρεύμα και Αντίσταση

- Ηλεκτρική Ισχύς

- Όταν το ηλεκτρικό ρεύμα φτάσει στα σπίτια μας, πρέπει να μετατραπεί σε χαμηλή τάση 240 V. Πώς γίνεται αυτό;

- Αν παρατηρήσετε τις κολώνες της ΔΕΗ, ίσως προσέξετε ότι κάποιες από αυτές έχουν επάνω κάποιους κλωβούς που παράγουν συνήθως και κάποιο θόρυβο
- Αυτοί είναι οι λεγόμενοι μετασχηματιστές, που μετατρέπουν το ηλεκτρικό ρεύμα υψηλής τάσης που έρχεται από το εργοστάσιο παραγωγής σε ηλεκτρικό ρεύμα χαμηλότερης τάσης (~4 kV)
- Επιπλέον μετασχηματιστές μετατρέπουν αυτήν την τάση σε κατάλληλη για οικιακή χρήση (240 V)

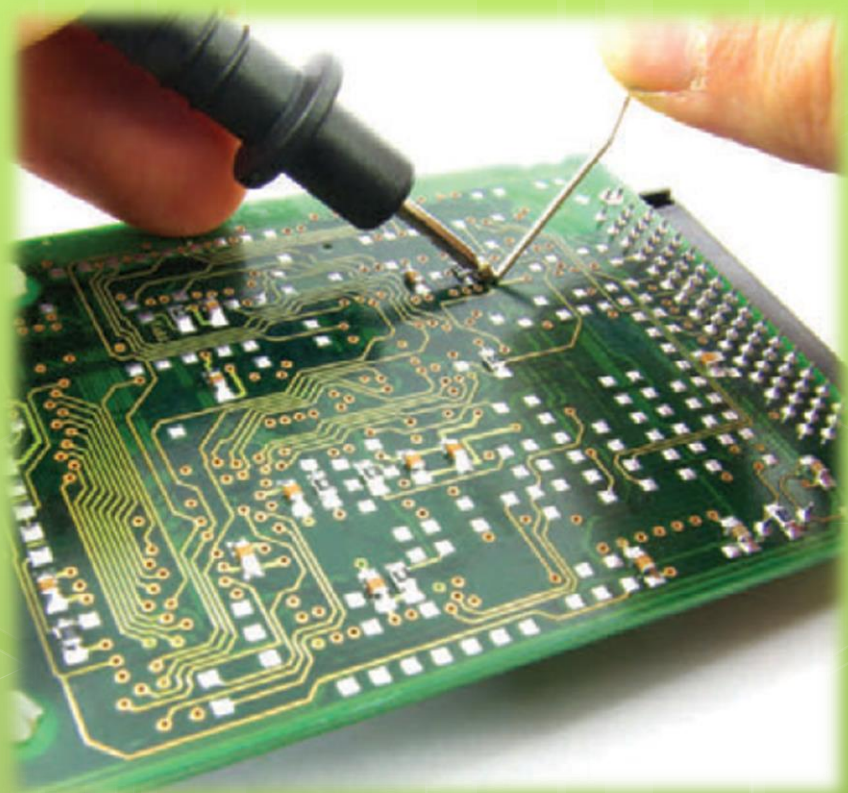




Εικόνα: Επισκευή μιας πλακέτας κυκλωμάτων ενός υπολογιστή. Χρησιμοποιούμε καθημερινά αντικείμενα που περιέχουν ηλεκτρικά κυκλώματα, συμπεριλαμβανομένων και κάποιων με πολύ μικρότερες πλακέτες από την εικονιζόμενη. Μεταξύ αυτών, έχουμε τα φορητά βιντεοπαιχνίδια, τα κινητά τηλέφωνα, και τις ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές. Σε αυτό το κεφάλαιο, μελετάμε απλά ηλεκτρικά κυκλώματα και μαθαίνουμε πώς να τα αναλύουμε.

Φυσική για Μηχανικούς

Ηλεκτρικά Κυκλώματα
Συνεχούς Ρεύματος



Εικόνα: Επισκευή μιας πλακέτας κυκλωμάτων ενός υπολογιστή. Χρησιμοποιούμε καθημερινά αντικείμενα που περιέχουν ηλεκτρικά κυκλώματα, συμπεριλαμβανομένων και κάποιων με πολύ μικρότερες πλακέτες από την εικονιζόμενη. Μεταξύ αυτών, έχουμε τα φορητά βιντεοπαιχνίδια, τα κινητά τηλέφωνα, και τις ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές. Σε αυτό το κεφάλαιο, μελετάμε απλά ηλεκτρικά κυκλώματα και μαθαίνουμε πώς να τα αναλύουμε.

Φυσική για Μηχανικούς

Ηλεκτρικά Κυκλώματα Συνεχούς Ρεύματος

Ηλεκτρικά Κυκλώματα

● Εισαγωγή

- Τα κυκλώματα που θα δούμε περιέχουν τους δομικούς λίθους που συζητήσαμε ως τώρα
 - Αντιστάσεις, πυκνωτές, και πηγές διαφοράς δυναμικού (μπαταρίες)
- Στην προσπάθεια ανάλυσής τους θα μάθουμε για τους **Κανόνες του Kirchhoff**
 - Προέρχονται από την **αρχή διατήρησης της ενέργειας** και την **αρχή διατήρησης του φορτίου**
- Το ρεύμα που θα διαρρέει τα κυκλώματά μας θα είναι σταθερό σε μέτρο και κατεύθυνση

Ηλεκτρικά Κυκλώματα

● Ηλεκτρεγερτική Δύναμη

- Η διαφορά δυναμικού στους πόλους μιας μπαταρίας είναι σταθερή για ένα δεδομένο κύκλωμα, το ρεύμα στο κύκλωμα είναι επίσης σταθερό σε μέτρο και κατεύθυνση, και λέγεται *συνεχές ρεύμα*
- Η μπαταρία καλείται είτε *πηγή ηλεκτρεγερτικής δύναμης* είτε *πηγή ΗΕΔ*
- Η **ΗΕΔ \mathcal{E}** μιας μπαταρίας είναι η **μέγιστη δυνατή τάση (ΔV)** ανάμεσα στους πόλους της
- Σε όλη μας τη συζήτηση θα υποθέσουμε ότι τα καλώδια δεν έχουν αντίσταση
- Ο θετικός πόλος της μπαταρίας είναι υψηλότερου δυναμικού από τον αρνητικό

Ηλεκτρικά Κυκλώματα

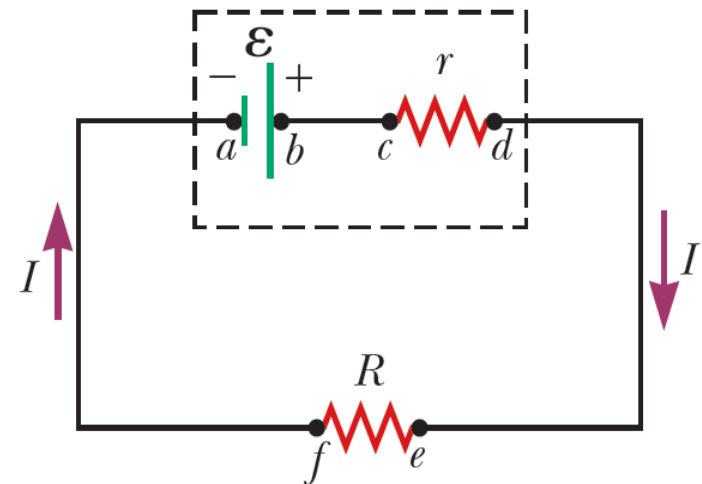
● Ηλεκτρεγερτική Δύναμη

- Η μπαταρία έχει κι αυτή τη δική της αντίσταση
 - Την ονομάζουμε *εσωτερική αντίσταση* r
- Ιδανικά, η διαφορά δυναμικού στα άκρα της μπαταρίας ισούται με την ΗΕΔ

- Στην πράξη όμως, δεν ισχύει.
Γιατί;

- Το σχήμα δείχνει ένα μοντέλο μπαταρίας (κουτί διακ/μένων)
- Ιδανική ΗΕΔ και αντίσταση r σε σειρά:

$$V_d - V_a = \Delta V = \varepsilon - Ir$$



Ηλεκτρικά Κυκλώματα

● Ηλεκτρεγερτική Δύναμη

- Το σχήμα δείχνει ότι η διαφορά δυναμικού στα άκρα της αντίστασης R είναι

$$\Delta V = IR$$

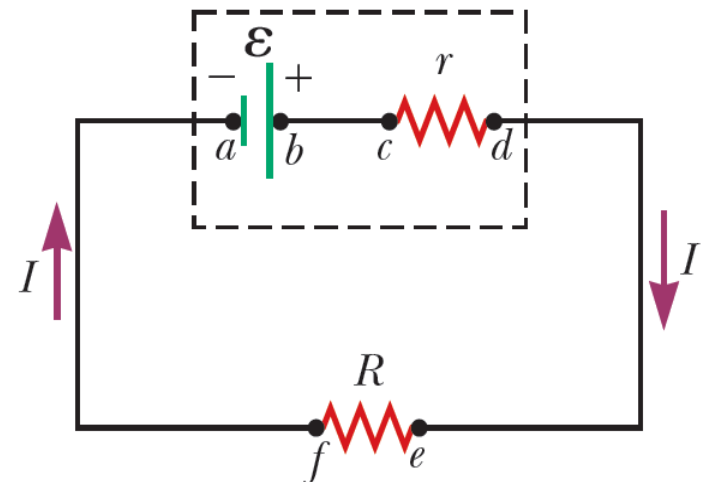
- Σύμφωνα με τη σχέση που υπολογίσαμε πριν, θα έχουμε

$$\Delta V = IR = \varepsilon - Ir$$

οπότε

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}$$

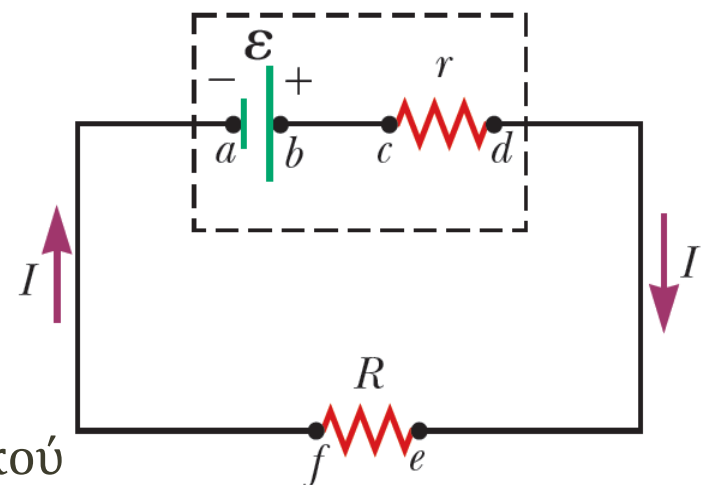
- Άρα το ρεύμα εξαρτάται τόσο από την R όσο κι από την r



Ηλεκτρικά Κυκλώματα

● Ηλεκτρεγερτική Δύναμη

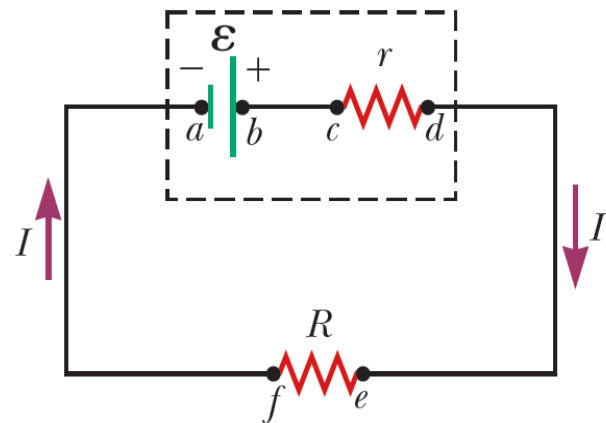
- Πολλαπλασιάζοντας με I , έχουμε $I\varepsilon = I^2R + I^2r$
- Αυτό σημαίνει ότι η συνολική ισχύς κατανέμεται τόσο στην εξωτερική αντίσταση R όσο και στην εσωτερική αντίσταση r
- Στην πράξη, η R είναι αρκετά μεγαλύτερη από την r
 - Όσο «γερνάει» η μπαταρία τόσο μεγαλώνει η τιμή του r της
- Μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η μπαταρία είναι μια πηγή σταθερής ΗΕΔ
 - Όχι σταθερού ρεύματος
 - Όχι σταθερής διαφοράς δυναμικού



Ηλεκτρικά Κυκλώματα

◉ Παράδειγμα

- ◉ Μια μπαταρία έχει ΗΕΔ 12 V και εσωτερική αντίσταση $r = 0.05\ \Omega$. Οι πόλοι της συνδέονται σε μια εξωτερική αντίσταση με $R=3\ \Omega$.
- ◉ Α) Βρείτε το ρεύμα και τη διαφορά δυναμικού της μπαταρίας
- ◉ Β) Υπολογίστε την ισχύ που λαμβάνει ο αντιστάτης, η εσωτερική αντίσταση και την ισχύ που δίνει η μπαταρία



Ηλεκτρικά Κυκλώματα

○ Παράδειγμα – Λύση:

- Μια μπαταρία έχει ΗΕΔ 12 V και εσωτερική αντίσταση $r = 0.05\ \Omega$. Οι πόλοι της συνδέονται σε μια εξωτερική αντίσταση με $R=3\ \Omega$.
- Α) Βρείτε το ρεύμα και τη διαφορά δυναμικού της μπαταρίας

Ξέρουμε ότι για το από αυτό κύκλωμα ισχύει ότι

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r} = \frac{12}{3.05} \cong 3.93 \cong 4.0\text{ A}$$

Δείχνουμε ότι $\Delta V_{\text{π.}} = \mathcal{E} - Ir = 12 - 4.0 \cdot 0.05 \cong 11.8\text{ V}$

Ηλεκτρικά Κυκλώματα

○ Παράδειγμα – Λύση:

- Μια μπαταρία έχει ΗΕΔ 12 V και εσωτερική αντίσταση $r = 0.05\ \Omega$. Οι πόλοι της συνδέονται σε μια εξωτερική αντίσταση με $R=3\ \Omega$.
- Β) Υπολογίστε την ισχύ που λαμβάνει ο αντιστάτης, η εσωτερική αντίσταση και την ισχύ που δίνει η μπαταρία

Είναι

$$P_R = I^2 \cdot R \approx 4^2 \cdot 3 = 16 \cdot 3 = 48\text{ W}$$

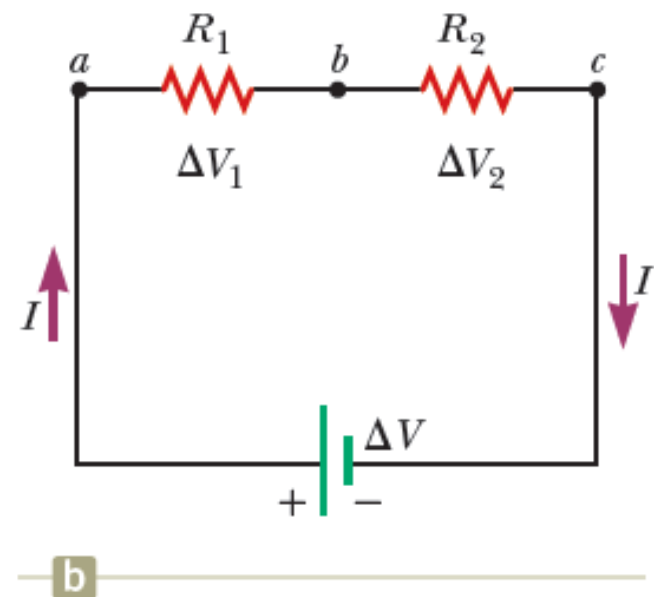
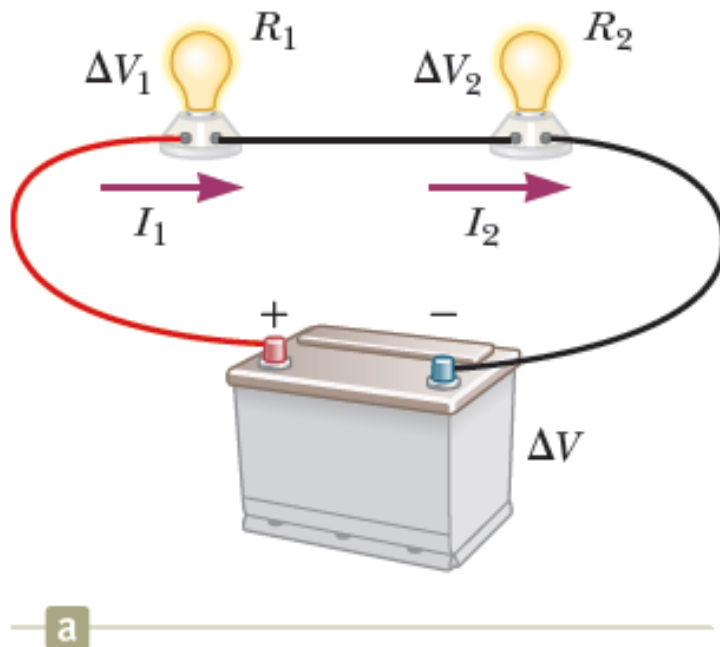
$$P_r = I^2 \cdot r \approx 4^2 \cdot 0.05 = 0.772\text{ W}$$

$$P = P_R + P_r = 48.7\text{ W}$$

Ηλεκτρικά Κυκλώματα

● Αντιστάτες σε σειρά & παράλληλα

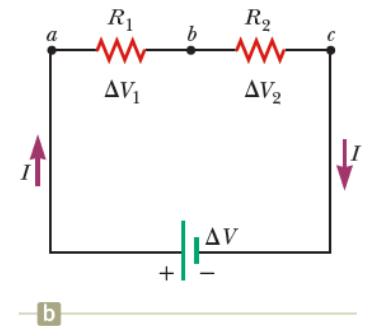
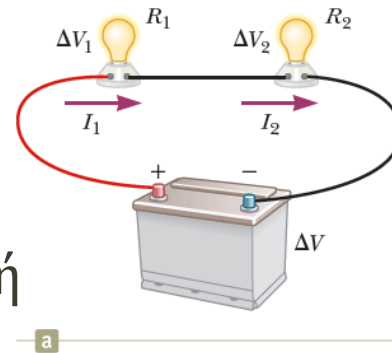
- Ας δούμε αν μπορούμε να εφαρμόσουμε το ίδιο «σχέδιο» όπως κάναμε με τους πυκνωτές
- Ας ξεκινήσουμε με μια διάταξη σε σειρά



Ηλεκτρικά Κυκλώματα

○ Αντιστάτες σε σειρά

- Προφανώς, η ποσότητα φορτίου Q που εξέρχεται του αντιστάτη R_1 θα πρέπει να είναι ίδια με αυτή που εισέρχεται στον R_2



- Άρα $I = I_1 = I_2$, αν I είναι το ρεύμα που άγει η μπαταρία
- Η διαφορά δυναμικού δίνεται ως
$$\Delta V = \Delta V_1 + \Delta V_2 = I_1 R_1 + I_2 R_2 = I(R_1 + R_2)$$
- Άρα ένας ισοδύναμος αντιστάτης θα πρέπει να έχει αντίσταση $R_{eq} = R_1 + R_2$
- Γενικότερα

$$R_{eq} = \sum_{i=1}^N R_i$$

Ηλεκτρικά Κυκλώματα

● Αντιστάτες σε παραλληλία

- Προφανώς, η διαφορά δυναμικού στα άκρα τους είναι η ίδια
- Άρα $\Delta V = \Delta V_1 = \Delta V_2$, αν ΔV είναι η διαφορά δυναμικού που εγκαθιστά η μπαταρία
- Το ρεύμα I χωρίζεται σε δυο μονοπάτια
- Επειδή όμως το συνολικό φορτίο διατηρείται

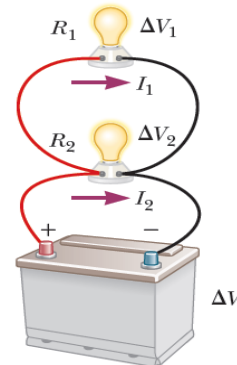
$$I = I_1 + I_2 = \frac{\Delta V_1}{R_1} + \frac{\Delta V_2}{R_2} = \frac{\Delta V}{R_1} + \frac{\Delta V}{R_2} = \Delta V \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

- Άρα ένας ισοδύναμος αντιστάτης θα πρέπει να έχει αντίσταση

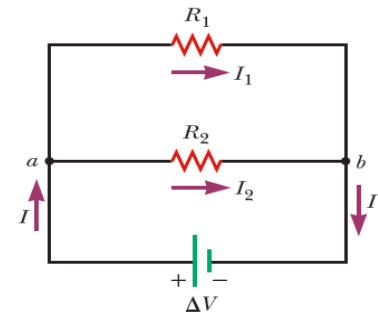
$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

- Γενικότερα

$$\frac{1}{R_{eq}} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{R_i}$$



a



b

Ηλεκτρικά Κυκλώματα

Πυκνωτές

- Σε σειρά:

$$\frac{1}{C_{eq}} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{C_i}$$

- Σε παραλληλία:

$$C_{eq} = \sum_{i=1}^N C_i$$

Αντιστάτες

- Σε σειρά:

$$R_{eq} = \sum_{i=1}^N R_i$$

- Σε παραλληλία:

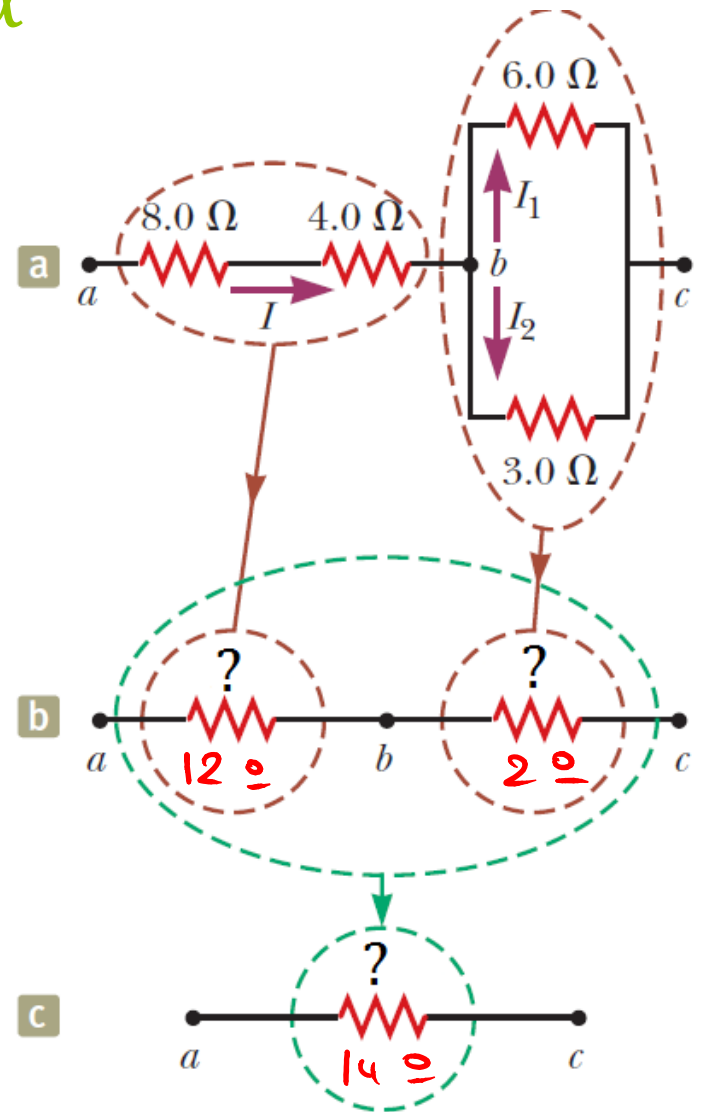
$$\frac{1}{R_{eq}} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{R_i}$$

Ηλεκτρικά Κυκλώματα

● Παράδειγμα

- Βρείτε την ισοδύναμη αντίσταση

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{6} + \frac{1}{3} = \frac{1}{6} + \frac{2}{6} = \frac{3}{6} = \frac{1}{2}$$



Ηλεκτρικά Κυκλώματα

Οι Κανόνες του Kirchhoff

- Για πιο περίπλοκα κυκλώματα, ακολουθούμε κάποιους κανόνες, του λεγόμενου **κανόνες του Kirchhoff**

- 1. **Κανόνας κόμβου:** σε οποιονδήποτε κόμβο, το άθροισμα των ρευμάτων πρέπει να είναι μηδέν

$$\sum_{\text{κόμβος}} I = 0$$

- Τα ρεύματα που μπαίνουν στον κόμβο έχουν θετικό πρόσημο, ενώ αυτά που βγαίνουν, αρνητικό.
- Εναλλακτικά:

$$I_{in} = I_{out}$$

- 2. **Κανόνας βρόχου:** το άθροισμα των διαφορών δυναμικού σε ένα βρόχο πρέπει να είναι μηδέν

$$\sum_{\text{βρόχος}} \Delta V = 0$$

Ηλεκτρικά Κυκλώματα

Οι Κανόνες του Kirchhoff

1. Κανόνας κόμβου:

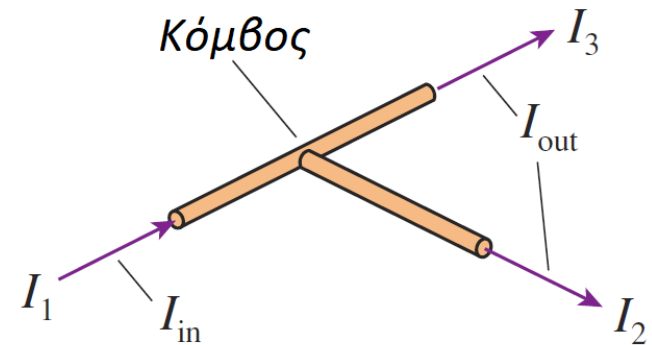
$$I_{in} = I_{out}$$

Προέρχεται από την αρχή διατήρησης του φορτίου

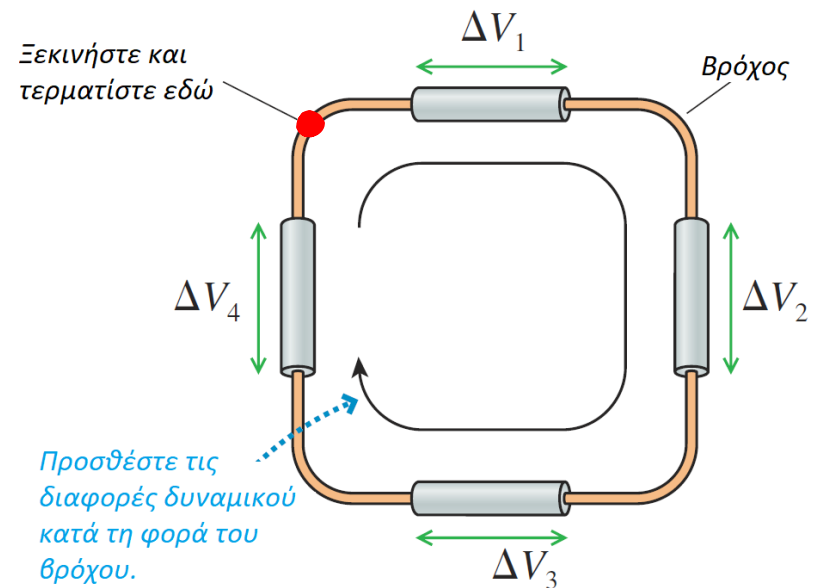
2. Κανόνας βρόχου:

$$\sum_{\text{βρόχος}} \Delta V = 0$$

Προέρχεται από την αρχή διατήρησης της ενέργειας



Κανόνας κόμβου: $I_1 = I_2 + I_3$



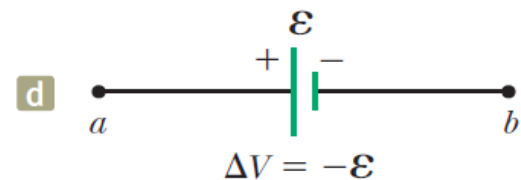
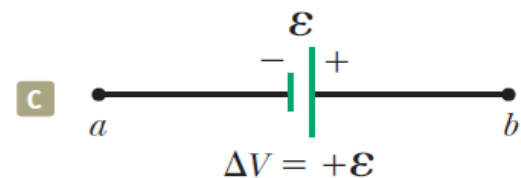
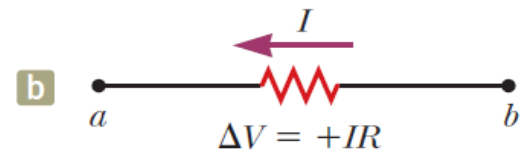
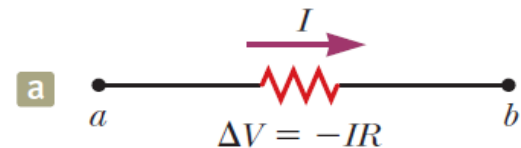
Κανόνας βρόχου: $\Delta V_1 + \Delta V_2 + \Delta V_3 + \Delta V_4 = 0$

Ηλεκτρικά Κυκλώματα

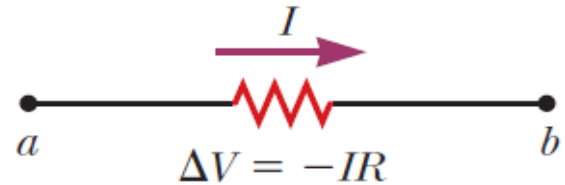
Κανόνες προσήμου

- a. Η διαφορά δυναμικού στα άκρα αντιστάτη κατά τη φορά του ρεύματος είναι $-IR$
- b. Η διαφορά δυναμικού στα άκρα αντιστάτη κατά την αντίθετη φορά του ρεύματος είναι $+IR$
- c. Η διαφορά δυναμικού στα άκρα μιας πηγής ΗΕΔ είναι $+\epsilon$ αν τη διατρέχουμε από τα αρνητικά προς τα θετικά
- d. Η διαφορά δυναμικού στα άκρα μιας πηγής ΗΕΔ είναι $-\epsilon$ αν τη διατρέχουμε από τα θετικά προς τα αρνητικά

Σε κάθε διάγραμμα, $\Delta V = V_b - V_a$ και το στοιχείο κυκλώματος διατρέχεται από το a στο b, αριστερά προς δεξιά.



Ηλεκτρικά Κυκλώματα



- Κανόνες προσήμου
- Έστω ότι δε θυμάστε ποιο πρόσημο αντιστοιχεί που...
 - Θέλετε να υπολογίσετε το $V_b - V_a = \Delta V$ για ένα στοιχείο όπως στο σχήμα.
 - Το ρεύμα κινείται προς τα «δεξιά»
 - Φορά ρεύματος = αντίθετη στην πραγματική κίνηση των φορέων φορτίων, δηλ. των ηλεκτρονίων
 - Άρα τα ηλεκτρόνια κινούνται από το b στο a (προς τα «αριστερά»)
 - Η κίνησή τους οφείλεται σε ηλεκτρική δύναμη που προέρχεται από ηλεκτρικό πεδίο \vec{E} , που εγκαθίσταται λόγω της διαφοράς δυναμικού
 - Αν θεωρήσουμε το ηλεκτρικό πεδίο εντός του αγωγού ως ομογενές, προς τα πού δείχνει το διάνυσμα του πεδίου \vec{E} ?
 - Υποχρεωτικά θα «δείχνει» από το a προς το b !
 - Ειδάλλως το ηλεκτρόνιο δε θα κινούνταν από το b στο a , δηλ. προς «αριστερά»!
 - Το ηλεκτρικό πεδίο «δείχνει» πάντα προς περιοχές χαμηλού δυναμικού
 - Άρα $V_b < V_a \Rightarrow V_b - V_a < 0 \Rightarrow \Delta V = -IR$

διάλεξη 19,
διαφάνειες 18-19

Ηλεκτρικά Κυκλώματα

- Κανόνες προσήμου

- Έστω ότι δε θυμάστε ποιο πρόσημο αντιστοιχεί που...

- Θέλετε να υπολογίσετε το $V_b - V_a = \Delta V$ για ένα στοιχείο όπως στο σχήμα.

- Φανταστείτε ότι ανάμεσα στις «πλάκες» της πηγής υπάρχει ομογενές ηλεκτρικό πεδίο

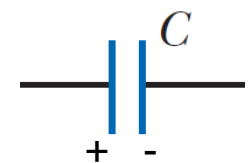
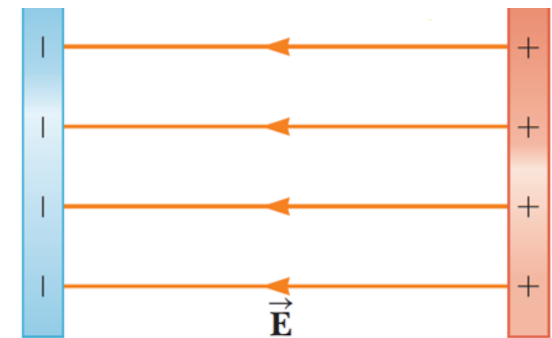
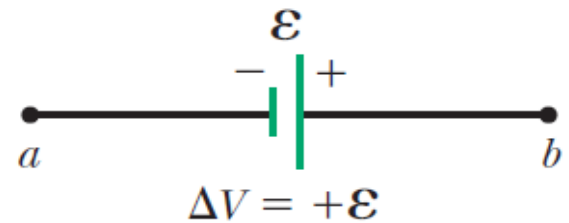
- Το ηλεκτρικό πεδίο ξεκινά από τη θετική πλάκα και «δείχνει»/καταλήγει στην αρνητική

- Το ηλεκτρικό πεδίο «δείχνει» πάντα προς περιοχές χαμηλού δυναμικού

- Άρα

$$V_b > V_a \Rightarrow V_b - V_a > 0 \Rightarrow \Delta V = +\varepsilon$$

- Ακριβώς όμοιο το σκεπτικό για ένα πυκνωτή





Τέλος Διάλεξης