

SEARS & ZEMANSKY

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΗ ΦΥΣΙΚΗ με Σύγχρονη Φυσική

3Η ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΕΚΔΟΣΗ

Τόμος Β

ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΣ ΟΠΤΙΚΗ - ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΦΥΣΙΚΗ

YOUNG ΚΑΙ FREEDMAN

ΔΙΑΦΑΝΕΙΕΣ
ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑΣ

2. ΡΕΥΜΑΤΑ -
ΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΠΕΔΙΑ

ΕΠΙΛΟΓΗ,
ΣΥΝΘΕΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ
ΚΑΙ ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ:
Ηλίας Κατσούφης

ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΚΟ
ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗΣ:
Τζένη Πάλμου

Θ.Η. Αλεξόπουλος, ΕΜΠ
Ι.Α. Αρβανιτίδης, ΑΠΘ
Α.Α. Αργυρίου, Π. Πατρών
Ε.Α. Δρης, ΕΜΠ
Η.Σ. Ζουμπούλης, ΕΜΠ
Η.Κ. Κατσούφης, ΕΜΠ
Γ.Α. Κουρούκλης, ΑΠΘ
Κ.Ε. Παρασκευαΐδης, ΕΜΠ
Μ.Ν. Πιζάνιας, Π. Πατρών
Ι.Π. Ρίζος, Π. Ιωαννίνων
Θ.Ν. Τομαράς, Π. Κρήτης
Κ. Χριστοδουλίδης, ΕΜΠ

Απόδοση βιβλίου στην Ελληνική γλώσσα και Επιμέλεια (αλφαβητικά):

Θ.Η. Αλεξόπουλος, Καθηγητής Φυσικής της Σχολής Εφαρμοσμένων Μαθηματικών και Φυσικών Επιστημών του Ε.Μ. Πολυτεχνείου

Ι.Α. Αρβανιτίδης, Αναπλ. Καθηγητής Φυσικής του Τμήματος Φυσικής του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης

Α.Α. Αργυρίου, Καθηγητής του Τμήματος Φυσικής του Πανεπιστημίου Πατρών

Ε.Α. Δρης, Ομότιμος Καθηγητής Φυσικής της Σχολής Εφαρμοσμένων Μαθηματικών και Φυσικών Επιστημών, του Ε.Μ. Πολυτεχνείου

Η.Σ. Ζουμπούλης, Ομότιμος Καθηγητής Φυσικής της Σχολής Εφαρμοσμένων Μαθηματικών και Φυσικών Επιστημών του Ε.Μ. Πολυτεχνείου

Η.Κ. Κατσούφης, Ομότιμος Καθηγητής Φυσικής της Σχολής Εφαρμοσμένων Μαθηματικών και Φυσικών Επιστημών του Ε.Μ. Πολυτεχνείου

Γ.Α. Κουρούκλης, Ομότιμος Καθηγητής Φυσικής του Τμήματος Χημικών Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης

Κ.Ε. Παρασκευαΐδης, τ. Αναπλ. Καθηγητής Φυσικής της Σχολής Εφαρμοσμένων Μαθηματικών και Φυσικών Επιστημών του Ε.Μ. Πολυτεχνείου

Μ.Ν. Πιζάνιας, Ομότιμος Καθηγητής του Τμήματος Φυσικής του Πανεπιστημίου Πατρών

Ι.Π. Ρίζος, Καθηγητής του Τμήματος Φυσικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων

Θ.Ν. Τομαράς, Καθηγητής του Τμήματος Φυσικής του Πανεπιστημίου Κρήτης

Κ. Χριστοδουλίδης, Ομότιμος Καθηγητής Φυσικής της Σχολής Εφαρμοσμένων Μαθηματικών και Φυσικών Επιστημών του Ε.Μ. Πολυτεχνείου

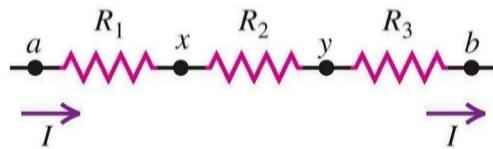
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 26

ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

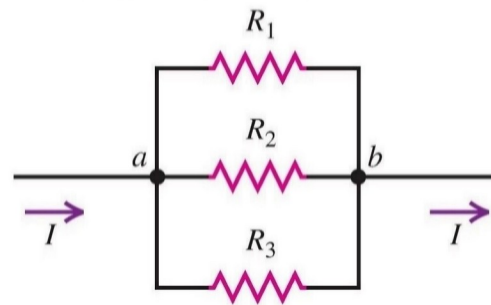
ΑΝΤΙΣΤΑΤΕΣ ΣΕ ΣΕΙΡΑ ΚΑΙ ΠΑΡΑΛΛΗΛΑ

26.1 Τέσσερις διαφορετικοί τρόποι σύνδεσης τριών αντιστατών.

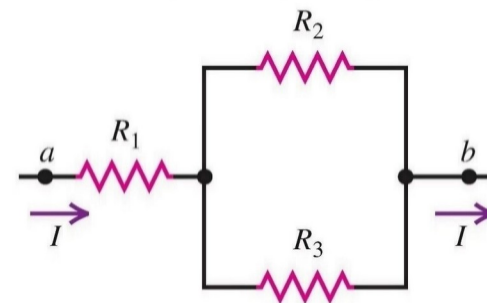
(a) R_1 , R_2 και R_3 σε σειρά



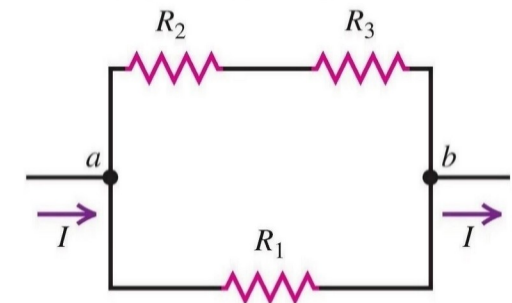
(b) R_1 , R_2 και R_3 και παράλληλα



(c) R_1 σε σειρά με τον παράλληλο συνδυασμό των R_2 και R_3



(d) R_1 παράλληλα με τον συνδυασμό σειράς των R_2 και R_3



Αντιστάτες σε σειρά

Αντιστάτες σε σειρά:

$$R_{\text{eq}} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots \quad (26.1)$$

Ισοδύναμη αντίσταση σε συνδυασμό σειράς
Αντιστάσεις των επιμέρους αντιστατών

Η **ισοδύναμη αντίσταση** οποιουδήποτε αριθμού αντιστατών σε σειρά ισούται με το **άθροισμα των επιμέρους αντιστάσεών τους**. Η ισοδύναμη αντίσταση είναι **μεγαλύτερη** από οποιαδήποτε από τις επιμέρους αντιστάσεις.

Αντιστάτες παράλληλα

Αντιστάτες παράλληλα:

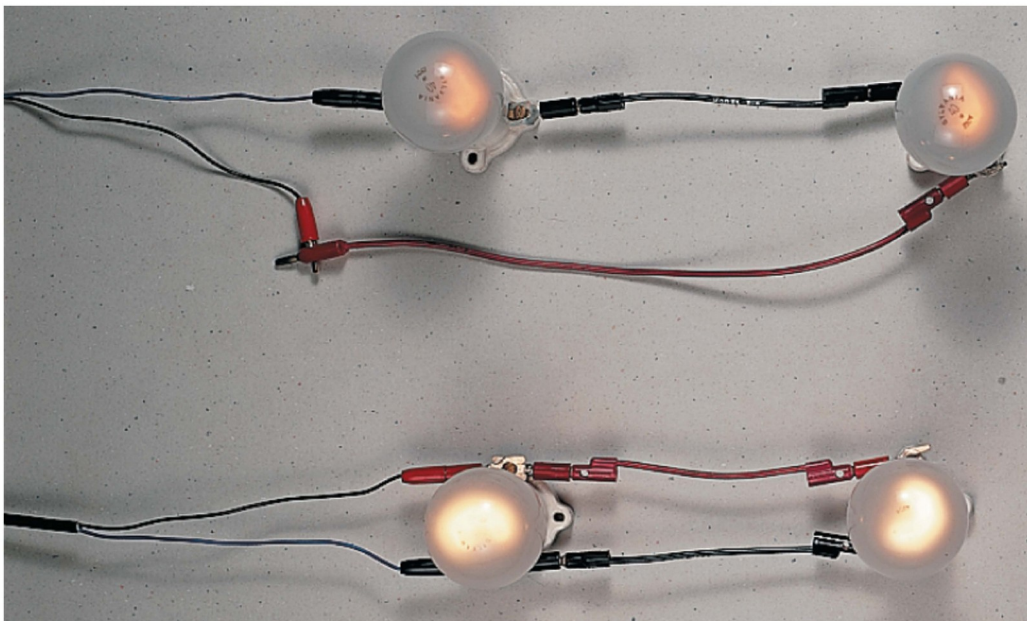
$$\frac{1}{R_{\text{eq}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots \quad (26.2)$$

Ισοδύναμη αντίσταση παράλληλου συνδυασμού
Αντιστάσεις των επιμέρους αντιστατών

Το **αντίστροφο της ισοδύναμης αντίστασης ενός συνδυασμού αντιστατών παράλληλα συνδεδεμένων** ισούται με το **άθροισμα των αντίστροφων των επιμέρους αντιστάσεών τους**. Η ισοδύναμη αντίσταση είναι **πάντα μικρότερη** από καθεμιά από τις επιμέρους αντιστάσεις.

ΑΝΤΙΣΤΑΤΕΣ ΣΕ ΣΕΙΡΑ ΚΑΙ ΠΑΡΑΛΛΗΛΑ

26.5 Όταν συνδέονται στην ίδια πηγή, δύο λάμπες πυρακτώσεως σε σειρά (φαίνονται στο πάνω μέρος) καταναλώνουν λιγότερη ισχύ και φωτίζουν λιγότερο λαμπρά απ' ό,τι όταν είναι σε παράλληλη σύνδεση (φαίνονται στο κάτω μέρος).



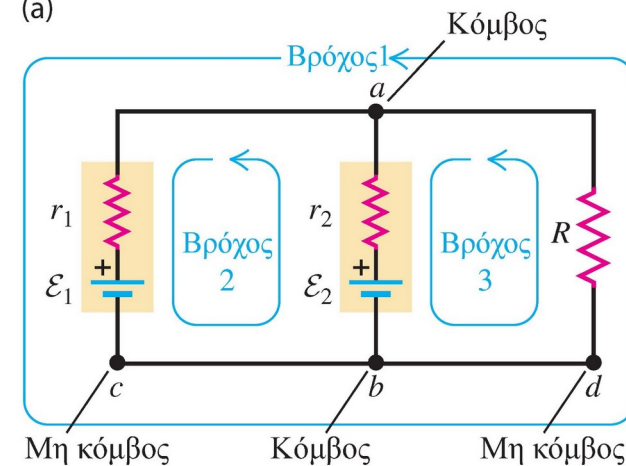
26.2 Οι εμπρός και οι πίσω προβολείς του αυτοκινήτου είναι συνδεδεμένοι παράλληλα. Επομένως, ο καθένας δέχεται όλη τη διαφορά δυναμικού που παρέχει το ηλεκτρικό σύστημα του αυτοκινήτου, δίνοντας μέγιστη φωτεινότητα. Ένα άλλο πλεονέκτημα είναι ότι, αν ο ένας προβολέας ή το ένα πίσω φανάρι καεί, το άλλο εξακολουθεί να φωτίζει (δείτε Παράδ. 26.2).



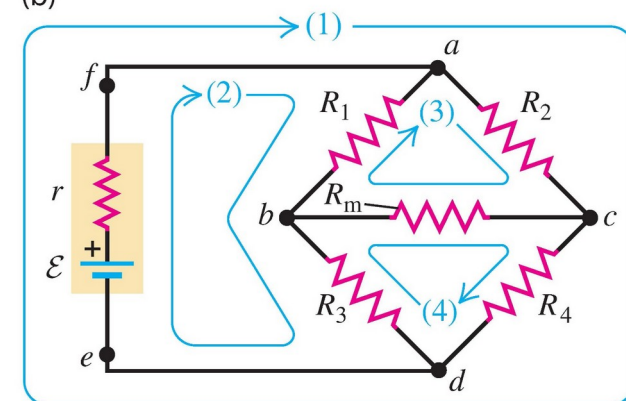
ΚΑΝΟΝΕΣ ΤΟΥ KIRCHHOFF

26.6 Δύο δικτυώματα που δεν μπορούν να αναχθούν σε απλούς συνδυασμούς αντιστατών σε σειρά και παράλληλα.

(a)



(b)

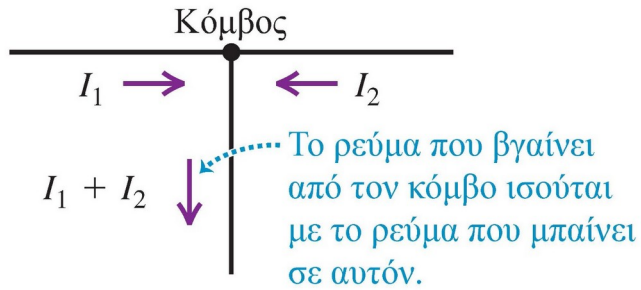


Κανόνας των κόμβων του Kirchhoff (ισχύει για κάθε κόμβο): Το άθροισμα των ρευμάτων σε οποιονδήποτε κόμβο... $\sum I = 0$... ισούται με μηδέν. (26.5)

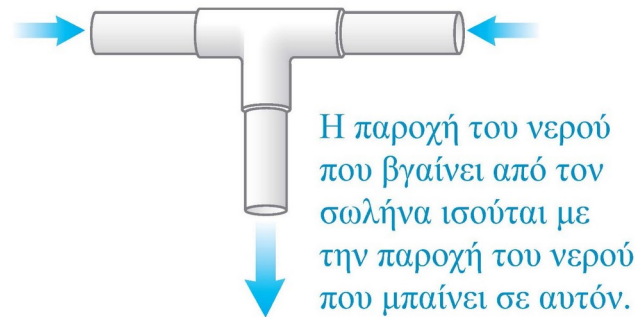
Κανόνας των βρόχων του Kirchhoff (ισχύει για κάθε κλειστό βρόχο): Το άθροισμα των διαφορών δυναμικού κατά μήκος οποιουδήποτε βρόχου... $\sum V = 0$... ισούται με μηδέν. (26.6)

ΚΑΝΟΝΕΣ ΤΟΥ KIRCHHOFF

(a) Κανόνας των κόμβων του Kirchhoff



(b) Αναλογία υδροσωλήνα



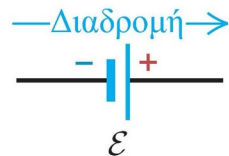
26.7 Ο κανόνας των κόμβων του Kirchhoff αναφέρει ότι όσο ρεύμα εισέρχεται σε έναν κόμβο τόσο εξέρχεται από αυτόν.

Συμβάσεις προσήμου για τον κανόνα των βρόχων

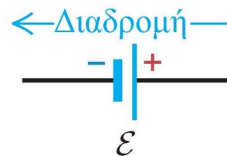
26.8 Χρησιμοποιήστε αυτές τις συμβάσεις προσήμου όταν εφαρμόζετε τον κανόνα των βρόχων του Kirchhoff. Σε κάθε τμήμα του σχήματος, «φορά διαδρομής» είναι η φορά που κινούμαστε κατά μήκος του βρόχου, η οποία δεν είναι υποχρεωτικά η φορά του ρεύματος.

(a) Συμβάσεις προσήμου για ΗΕΔ (emf)

$+\mathcal{E}$: Φορά διαδρομής από το $-$ στο $+$:

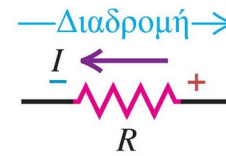


$-\mathcal{E}$: Φορά διαδρομής από το $+$ στο $-$:

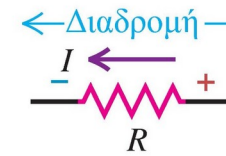


(b) Συμβάσεις προσήμου για αντιστάτες

$+\mathcal{I}R$: Φορά διαδρομής αντίθετη προς τη φορά του ρεύματος

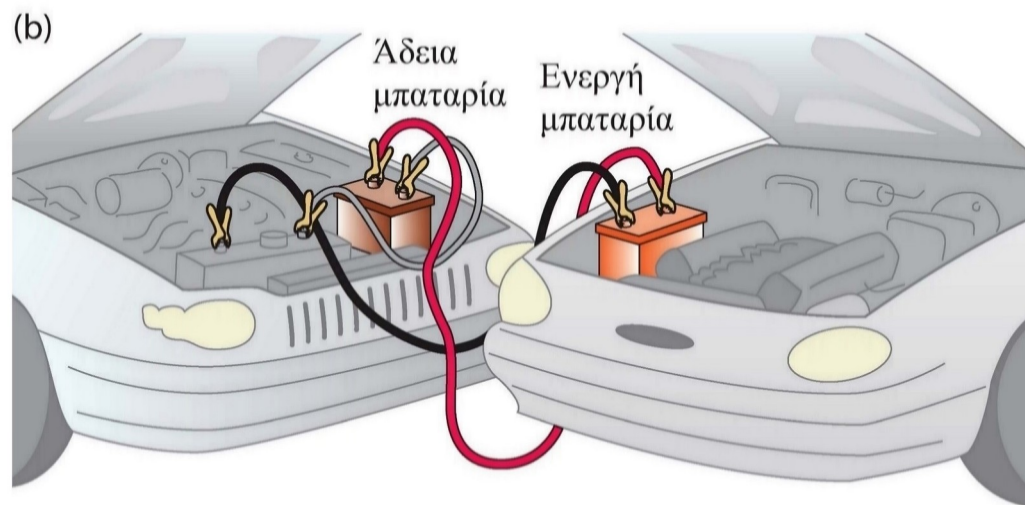
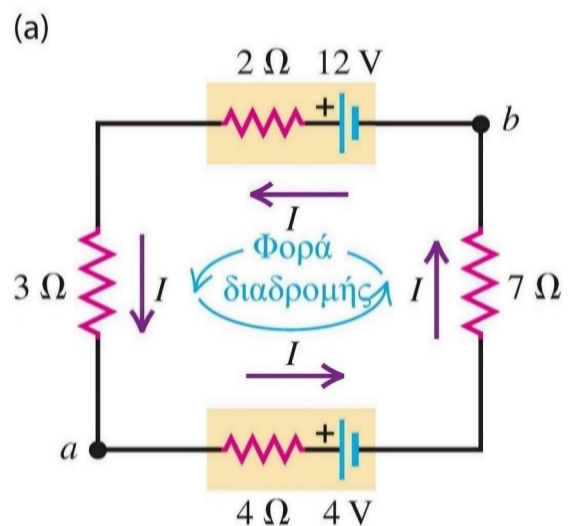


$-\mathcal{I}R$: Φορά διαδρομής ίδια με τη φορά του ρεύματος



ΚΑΝΟΝΕΣ ΤΟΥ KIRCHHOFF

26.10 (a) Σε αυτό το παράδειγμα κινούμαστε γύρω από τον βρόχο κατά την ίδια φορά με αυτήν που υποθέσαμε για το ρεύμα, επομένως όλοι οι όροι IR είναι αρνητικοί. Το δυναμικό μειώνεται καθώς κινούμαστε από το + προς το - διαμέσου της ΗΕΔ στο κάτω μέρος, αλλά αυξάνεται καθώς κινούμαστε από το - προς το + διαμέσου της ΗΕΔ στο πάνω μέρος. (b) Ένα πραγματικό παράδειγμα κυκλώματος αυτού του είδους.



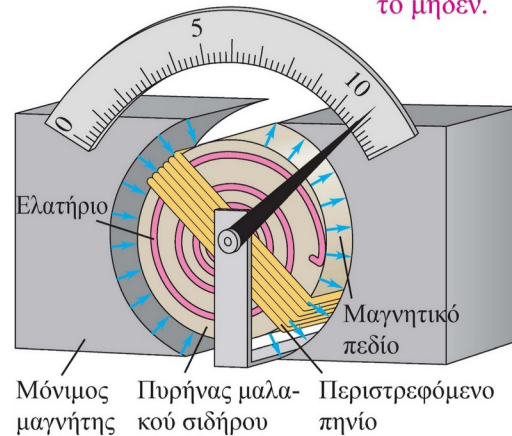
ΟΡΓΑΝΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

26.13 Το αμπερόμετρο (πάνω) και το βολτόμετρο (κάτω) είναι γαλβανόμετρα του d'Arsonval. Η μεταξύ τους διαφορά έχει να κάνει με την εσωτερική τους συνδεσμολογία (δείτε Σχ. 26.15).



26.14 Ένα γαλβανόμετρο d'Arsonval, αποτελούμενο από ένα περιστρεφόμενο πηνίο που συνδέεται με έναν δείκτη, έναν μόνιμο μαγνήτη που παρέχει ομοιόμορφο μαγνητικό πεδίο και ένα ελατήριο για να παράσχει ροπή επαναφοράς η οποία αντιτίθεται στη ροπή του μαγνητικού πεδίου.

Η ροπή του μαγνητικού πεδίου τείνει να απομακρύνει τον δείκτη από το μηδέν. Η ροπή επαναφοράς του ελατηρίου τείνει να ωθήσει τον δείκτη προς το μηδέν.

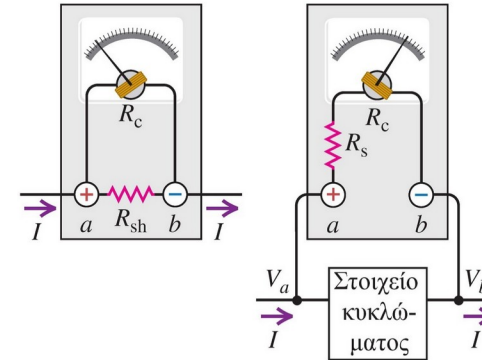


$$I_{fs}R_c = (I_a - I_{fs})R_{sh} \quad (\text{για αμπερόμετρο}) \quad (26.7)$$

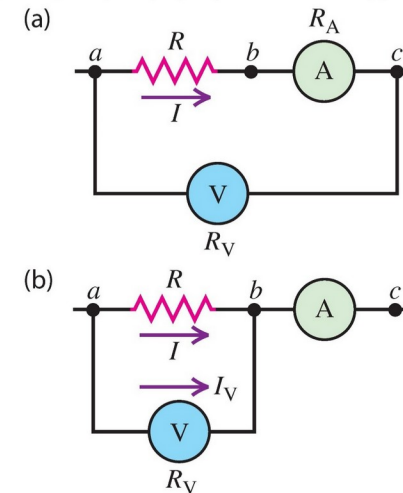
$$V_V = I_{fs}(R_c + R_s) \quad (\text{για βολτόμετρο}) \quad (26.8)$$

26.15 Χρησιμοποιώντας τον ίδιο μετρητή για να μετρήσουμε (a) ρεύμα και (b) τάση.

(a) Αμπερόμετρο κινούμενου πηνίου (b) Βολτόμετρο κινούμενου πηνίου

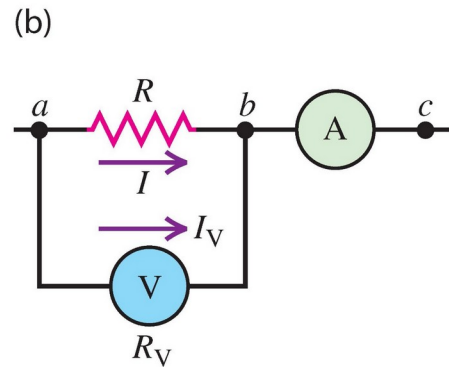
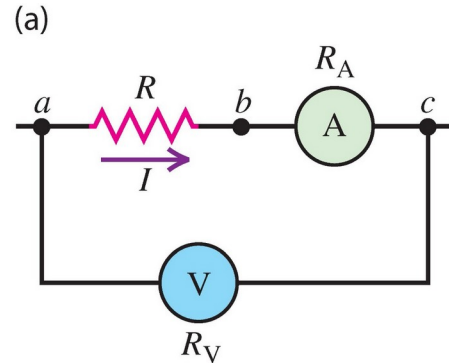


26.16 Μέθοδος αμπερόμετρου-βολτόμετρου για μέτρηση αντίστασης.

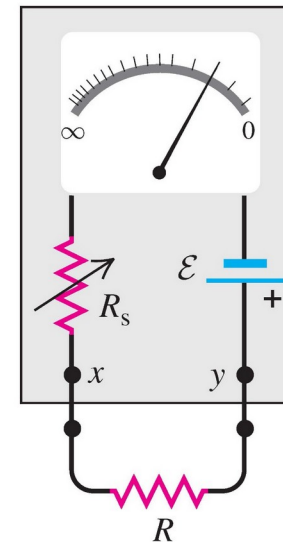


Μέτρηση της αντίστασης – Ωμόμετρο

26.16 Μέθοδος αμπερόμετρου-βολτόμετρου για μέτρηση αντίστασης.



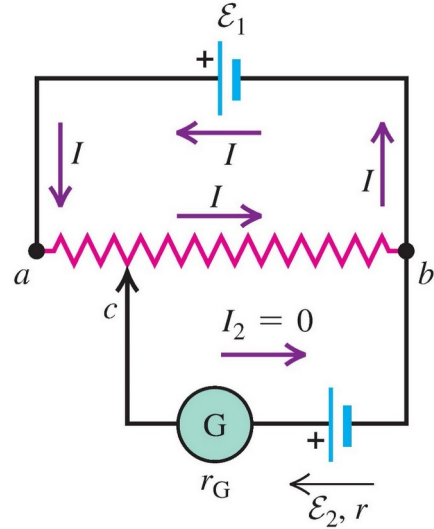
26.17 Κύκλωμα ωμόμετρου. Η αντίσταση R_s είναι μεταβλητή, όπως υποδεικνύεται από το βέλος διαμέσου του συμβόλου της αντίστασης. Για να χρησιμοποιήσετε το ωμόμετρο, πρώτα συνδέστε το x απευθείας με το y και ρυθμίστε την R_s μέχρι ο μετρητής να δείχνει το μηδέν. Έπειτα, συνδέστε το x και το y στα άκρα της αντίστασης R και διαβάστε τη μέτρηση.



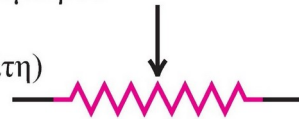
Το Ποτενσιόμετρο

26.19 Ένα ποτενσιόμετρο.

(a) Κύκλωμα ποτενσιόμετρου



(b) Σύμβολο ποτενσιόμετρου
σε κύκλωμα
(μεταβλητού αντιστάτη)



Το ποτενσιόμετρο είναι ένα όργανο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μέτρηση της ΗΕΔ μιας πηγής χωρίς να «τραβά» καθόλου ρεύμα από την πηγή· έχει επίσης και άλλες χρήσιμες εφαρμογές. Ουσιαστικά, αντισταθμίζει μια άγνωστη διαφορά δυναμικού με μια ρυθμιζόμενη, μετρήσιμη διαφορά δυναμικού.

Ψηφιακό πολύμετρο

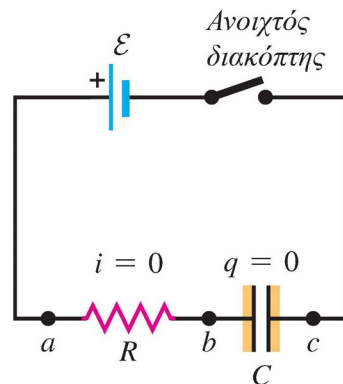
26.18 Αυτό το ψηφιακό πολύμετρο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως βολτόμετρο (κόκκινο τόξο), αμπερόμετρο (κίτρινο τόξο) ή ωμόμετρο (πράσινο τόξο).



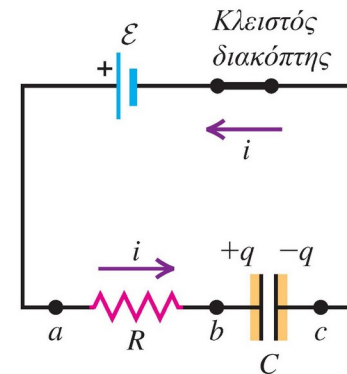
ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ R-C: ΦΟΡΤΙΣΗ ΠΥΚΝΩΤΗ

26.20 Φόρτιση πυκνωτή. (a) Μόλις πριν από το κλείσιμο του διακόπτη, το φορτίο q είναι μηδέν. (b) Όταν κλείσει ο διακόπτης (για $t = 0$), το ρεύμα πηδά από 0 σε \mathcal{E}/R . Καθώς περνάει ο χρόνος, το q πλησιάζει το Q_f και το ρεύμα i πλησιάζει το μηδέν.

(a) Αρχικά αφόρτιστος πυκνωτής



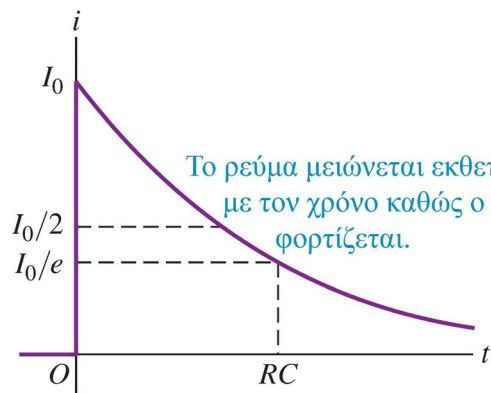
(b) Φόρτιση πυκνωτή



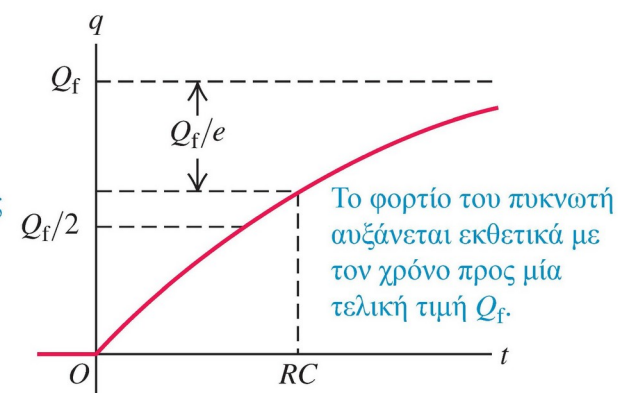
Όταν ο διακόπτης είναι κλειστός, το φορτίο στον πυκνωτή αυξάνεται με τον χρόνο ενώ το ρεύμα μειώνεται.

26.21 Το ρεύμα i και το φορτίο του πυκνωτή q ως συναρτήσεις του χρόνου για το κύκλωμα του Σχ. 26.20. Το αρχικό ρεύμα είναι I_0 και το αρχικό φορτίο του πυκνωτή είναι μηδέν. Το ρεύμα πλησιάζει ασυμπτωτικά το μηδέν και το φορτίο του πυκνωτή πλησιάζει ασυμπτωτικά την τελική τιμή Q_f .

(a) Φόρτιση πυκνωτή: ρεύμα συναρτήσει του χρόνου



(b) Φόρτιση πυκνωτή: φορτίο συναρτήσει του χρόνου



Κύκλωμα R-C, φόρτιση πυκνωτή:

$$q = C\mathcal{E}(1 - e^{-t/RC}) = Q_f(1 - e^{-t/RC}) \quad (26.12)$$

Φορτίο πυκνωτή q Χωρητικότητα C Τελικό φορτίο πυκνωτή $= C\mathcal{E}$
 ΗΕΔ μπαταρίας \mathcal{E} Χρόνος από κλείσιμο διακόπτη t Αντίσταση R

Το στιγμιαίο ρεύμα i είναι η παράγωγος της 26.12 ως προς τον χρόνο.

Κύκλωμα R-C, φόρτιση πυκνωτή:

$$i = \frac{dq}{dt} = \frac{\mathcal{E}}{R} e^{-t/RC} = I_0 e^{-t/RC} = \frac{\mathcal{E}}{R} e^{-t/RC} \quad (26.13)$$

Ρεύμα i ΗΕΔ μπαταρίας \mathcal{E} Χρόνος από κλείσιμο διακόπτη t Αρχικό ρεύμα $= \mathcal{E}/R$
 Ρυθμός μεταβολής φορτίου του πυκνωτή $\frac{dq}{dt}$ Αντίσταση R Χωρητικότητα C

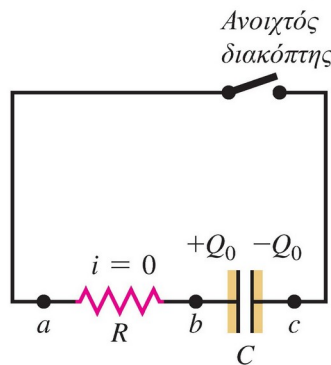
ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ R-C: ΕΚΦΟΡΤΙΣΗ ΠΥΚΝΩΤΗ

26.22 Εκφόρτιση πυκνωτή.

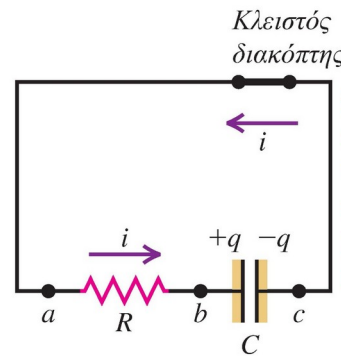
(a) Πριν κλείσει ο διακόπτης τη στιγμή $t = 0$, το φορτίο του πυκνωτή είναι Q_0 και το ρεύμα είναι μηδέν.

(b) Τη στιγμή t , μετά το κλείσιμο του διακόπτη, το φορτίο του πυκνωτή είναι q και το ρεύμα είναι i . Η φορά του ρεύματος είναι αντίθετη προς τη φορά που φαίνεται στο σχήμα· το i είναι αρνητικό. Μετά από πολύ χρόνο, τα q και i τείνουν στο μηδέν.

(a) Πυκνωτής αρχικά φορτισμένος



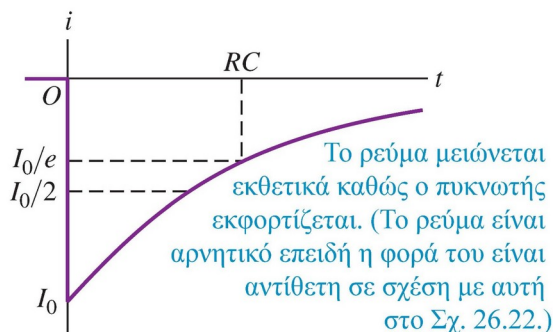
(b) Εκφόρτιση πυκνωτή



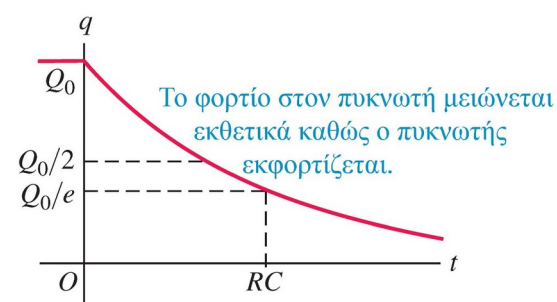
Όταν ο διακόπτης είναι κλειστός, το φορτίο στον πυκνωτή και το ρεύμα μειώνονται με τον χρόνο.

26.23 Ρεύμα i και φορτίο πυκνωτή q συναρτήσει του χρόνου για το κύκλωμα στο Σχ. 26.22. Το αρχικό ρεύμα είναι I_0 και το αρχικό φορτίο πυκνωτή είναι Q_0 . Και τα δύο τείνουν ασυμπτωτικά στο μηδέν.

(a) Εκφόρτιση πυκνωτή: το ρεύμα συναρτήσει του χρόνου



(b) Εκφόρτιση πυκνωτή: το φορτίο συναρτήσει του χρόνου



Κύκλωμα R-C, εκφόρτιση πυκνωτή:

$$q = Q_0 e^{-t/RC} \quad (26.16)$$

Αρχικό φορτίο πυκνωτή, Χωρητικότητα, Αντίσταση, Χρόνος από κλείσιμο διακόπτη

Το στιγμιαίο ρεύμα i είναι η παράγωγος ως προς τον χρόνο αυτής της έκφρασης του φορτίου:

$$i = \frac{dq}{dt} = -\frac{Q_0}{RC} e^{-t/RC} = I_0 e^{-t/RC} \quad (26.17)$$

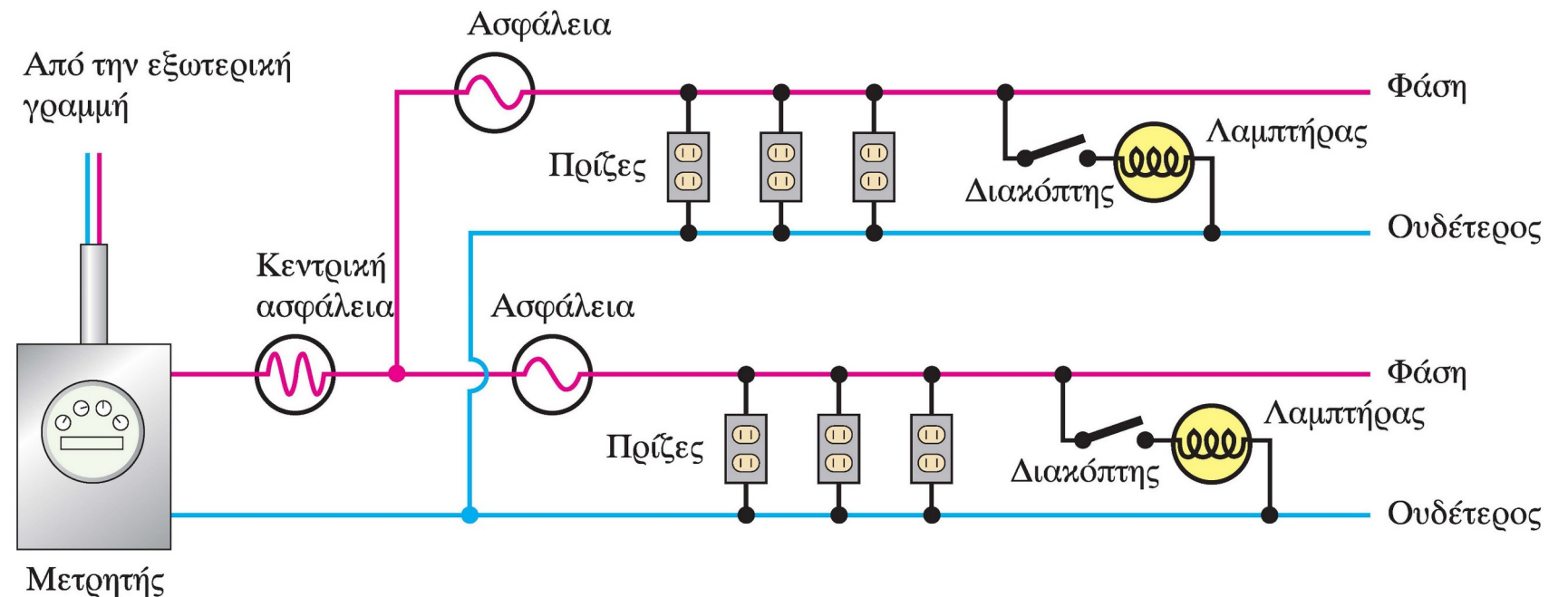
Αρχικό φορτίο πυκνωτή, Χωρητικότητα, Χρόνος από κλείσιμο διακόπτη, Αντίσταση, Αρχικό ρεύμα = $-Q_0/RC$, Ρυθμός μεταβολής φορτίου του πυκνωτή

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

Σχηματικό διάγραμμα μέρους της εγκατάστασης σπιτιού

26.24 Σχηματικό διάγραμμα μέρους της εγκατάστασης σπιτιού. Παρουσιάζονται μόνο δύο κλάδοι κυκλωμάτων, αλλά στην πραγματικότητα μπορεί να υπάρχουν περισσότεροι. Στις πρίζες μπορεί να μπαίνουν συσκευές και λάμπες. Η «γείωση» προστασίας που κανονικά δεν διαρρέεται από ρεύμα δεν φαίνεται στο σχήμα.

Υπάρχει και τρίτη γραμμή, που δεν φαίνεται στο σχήμα, η οποία λέγεται «γείωση» προστασίας ή απλώς «γη». Είναι αγωγός που σύμφωνα με τις προδιαγραφές τις οποίες πρέπει να πληρούν όλα τα δίκτυα διανομής δεν συνδέεται με καμιά γραμμή του εξωτερικού δικτύου μεταφοράς αλλά είναι συνδεδεμένος με πολύ καλό αγωγό (χάλκινο) βυθισμένο σε μεγάλο βάθος στο έδαφος. Αυτό γίνεται στον πίνακα διανομής, όπου είναι και ο μετρητής, στην είσοδο του σπιτιού.



Υπερφορτώσεις κυκλώματος και βραχυκυκλώματα

26.25 (a) Σε περίπτωση υπερβολικού ρεύματος, το λεπτό σύρμα του κράματος μολύβδου-κασσίτερου που εκτείνεται κατά μήκος της ασφάλειας μέσα στο διαφανές κάλυμμα θα λιώσει. (b) Ο διακόπτης σε αυτόν τον αυτόματο θα γυρίσει εάν το μέγιστο επιτρεπόμενο ρεύμα ξεπεραστεί.
(a)

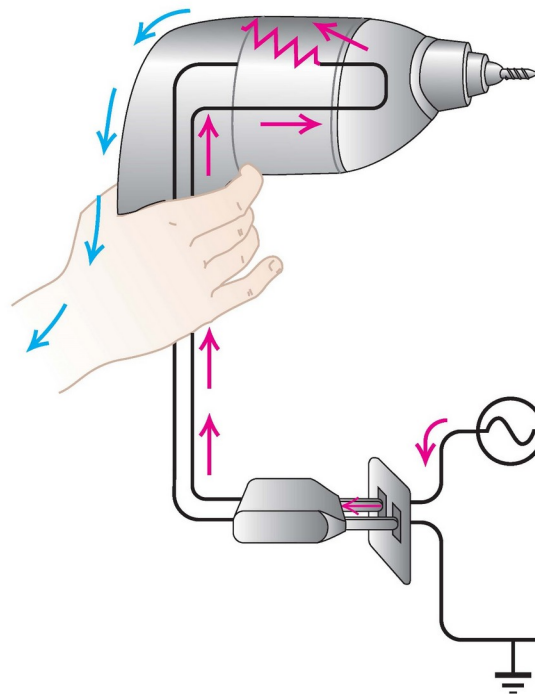


(b)



26.26 (a) Αν ένα ελαττωματικό ηλεκτρικό δράπανο συνδεθεί σε πρίζα με φως που έχει δύο ακροδέκτες, ο χρήστης μπορεί να δεχτεί «χτύπημα ρεύματος». (b) Αν το ίδιο ελαττωματικό δράπανο συνδεθεί σε πρίζα και αντίστοιχο φως τριών ακροδεκτών, ο χρήστης που κρατάει τη συσκευή δεν θα αισθανθεί τίναγμα, διότι το ρεύμα διέρχεται από τον τρίτο ακροδέκτη γείωσης (στο σχήμα δείχνεται με πράσινο), ο οποίος συνδέεται με το έδαφος παρακάμπτοντας το σώμα του ανθρώπου, διότι η διαδρομή προς το έδαφος είναι φτιαγμένη έτσι ώστε να παρουσιάζει πολύ μικρότερη αντίσταση. Αν το ρεύμα προς το έδαφος είναι αρκετά μεγάλο, «καίγεται» η ασφάλεια.

(a) Φως με δύο ακροδέκτες



(b) Φως με τρεις ακροδέκτες

