

ΣΥΝΕΧΕΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΡΕΥΜΑ

- ▶ Ηλεκτρικό ρεύμα (σελ. 1)
- ▶ Ηλεκτρική πηγή - Ηλεκτρικό κύκλωμα (σελ. 3)
- ▶ Ένταση ηλεκτρικού ρεύματος (σελ. 4)
- ▶ Ηλεκτρεγερτική δύναμη - Ηλεκτρική τάση (σελ. 5)
- ▶ Ηλεκτρική αντίσταση (σελ. 6)
- ▶ Νόμος του Ωμ για αντιστάση (σελ. 7)
- ▶ Συνδεσμολογία αντιστάτων (σελ. 8)
- ▶ Ηλεκτρική ενέργεια και ισχύς (σελ. 9)
- ▶ Αποτελέσματα ρεύματος - Φαινόμενο Τζάουλ (σελ. 10)
- ▶ Διατήρηση της ενέργειας σε κύκλωμα με αντιστάτες (σελ. 12)
- ▶ Ερωτήσεις - ασκήσεις (σελ. 13)



ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΕΝΟΣ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ

▶ Σε γαλάζιο φόντο ⇨ ΔΙΔΑΚΤΕΑ ΥΛΗ ΓΕΝΙΚΗΣ ΠΑΙΔΕΙΑΣ (2014-2015)

- Μαύρα γράμματα ⇨ θεωρία
- Μπλε πλάγια γράμματα ⇨ παραδείγματα κι αποτελέσματα πειραμάτων

▶ Σε μαύρο φόντο ⇨ ΘΕΜΑΤΑ ΕΚΤΟΣ ΔΙΔΑΚΤΕΑΣ ΥΛΗΣ (2014-2014)

- Υπενθύμηση γνώσεων Φυσικής ή Μαθηματικών
- Παρατηρήσεις - αποδείξεις, που μπορεί να συμπληρώσουν τη διδασκαλία ή τη μελέτη
- Εξιιώσεις, που προκύπτουν συνδυαστικά και δεν αναφέρονται στο σχολικό βιβλίο, αλλά χρειάζονται στη λύση ασκήσεων



Όπου υπάρχει αυτό το εικονίδιο κάνε κλικ για να δεις σχετικό σχετική βιντεο-προσομοίωση ενός φαινομένου.



ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΡΕΥΜΑ

Ηλεκτρικοί αγωγοί/μονωτές

Όπως είδαμε σε προηγούμενη ενότητα, κατά τις διαδικασίες τής ηλεκτρίσης των σωμάτων:

Με μετακίνηση ελεύθερων ηλεκτρονίων μπορεί να μεταφέρεται ηλεκτρικό φορτίο, είτε από σώμα σε σώμα είτε μέσα στο ίδιο σώμα.

Όμως, τα ελεύθερα ηλεκτρόνια παρουσιάζουν διαφορετική ευκινησία σε κάθε υλικό. Αυτή την ιδιότητα τη λέμε **ηλεκτρική αγωγιμότητα** των υλικών.

► Υπάρχουν υλικά με **μικρή ηλεκτρική αγωγιμότητα**, στα οποία το φορτίο μετακινείται δύσκολα.

Έτσι, όταν ηλεκτρίζονται, το φορτίο που αποκτούν παραμένει απομονωμένο στην περιοχή όπου εμφανίζεται. Τέτοια υλικά χαρακτηρίζονται **ηλεκτρικοί μονωτές** (ή **διηλεκτρικά**).

Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα υλικά: γυαλί, διαμάντι, πορσελάνη, κεραμικά, πλαστικά, καουτσούκ, νάιλον, ξηρό ξύλο, ξηρός αέρας κ.ά.

► Υπάρχουν υλικά με **μεγάλη ηλεκτρική αγωγιμότητα**, στα οποία το φορτίο μετακινείται εύκολα.

Όταν ηλεκτρίζονται, το φορτίο που αποκτούν εξαπλώνεται σε όλη την έκτασή τους.

Τέτοια υλικά χαρακτηρίζονται **ηλεκτρικοί αγωγοί**.

Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα υλικά: μέταλλα, ισοί ζωντανών οργανισμών, χρώμα τής Γης, διαλύματα ηλεκτρολυτών, υγρός αέρας και ιονισμένα αέρια.

Σε μια πλαστική σακούλα λουπών που ηλεκτρίζεται, το φορτίο παραμένει συγκεντρωμένο στο σημείο τής τριβής και είδαμε ότι μπορεί να έλξει ή να απωθήσει άλλα ηλεκτρισμένα σώματα.

Αν προσπαθήσουμε όμως να ηλεκτρίσουμε τρίβοντας ένα μεταλλικό σώμα που κρατάμε με το χέρι μας, θα καταλάβουμε ότι είναι μάταιο. Η ηλεκτρίση δε διαπιστώνεται (ενώ συμβαίνει), διότι το φορτίο που εμφανίζεται, μετακινείται μέσα στο αγώγιμο μεταλλικό σώμα και κατόπιν, μέσω του αγώγιμου σώματός μας, διαχέεται στην αγώγιμη Γη.

Ηλεκτρικό ρεύμα

☞ Υπάρχει όμως μια ακόμα διαφορά στη δομή ηλεκτρικών αγωγών/μονωτών, που φαίνεται σε μια άλλη εκδήλωση τής αγωγιμότητας (= της ευκινησίας των ηλεκτρικών φορτίων): στο γνωστό μας **ηλεκτρικό ρεύμα**.

► Οι μεταλλικοί αγωγοί περιέχουν τεράστιο πλήθος από ελεύθερα ηλεκτρόνια (που φτάνουν τα $10^{23}/\text{cm}^3$), τα οποία ξέφυγαν από την έλξη τού πυρήνα και κινούνται άτακτα –χωρίς προτίμηση σε κάποια κατεύθυνση– με ταχύτητες πολύ μεγάλες (της τάξης των km/s).

Όταν το σώμα που τα περιέχει **εισάγεται σε ηλεκτρικό πεδίο**, τα σωματίδια αυτά εξαναγκάζονται να κινηθούν προς την ίδια κατεύθυνση. Την προσανατολισμένη κίνηση φορτισμένων σωματιδίων τη λέμε **ηλεκτρικό ρεύμα**.

Στο εσωτερικό τού αγωγού υπάρχουν και ισάριθμα θετικά ιόντα, που προέκυψαν από τα άτομα τού μετάλλου στα οποία λιγόστεψαν τα ηλεκτρόνια τους.

Όταν βλέπουμε ένα μέταλλο να βρίσκεται στη στερεά κατάσταση, τα θετικά ιόντα συγκρατούνται με ισχυρές δυνάμεις –όμοιες με εκείνες ενός ελατηρίου– και ταλαντώνονται προς όλες τις κατευθύνσεις γύρω από σταθερές θέσεις, τόσο πιο έντονα, όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία.

Τη σταθερή και δύσκαμπτη διάταξη που αποτελεί το σύνολο των θετικών ιόντων τη λέμε (**κρυσταλλικό**) **πλέγμα**.

Εκτός από τους μεταλλικούς (στερεούς) αγωγούς, υπάρχουν υγροί και αέριοι **ηλεκτρικοί αγωγοί** –όπως τα διαλύματα των ηλεκτρολυτών, ο υγρός αέρας και το ιονισμένα αέρια. Σε αυτούς τους αγωγούς τα ευκίνητα σωματίδια που μεταφέρουν ηλεκτρικό φορτίο είναι άλλοτε ηλεκτρόνια και άλλοτε θετικά ή αρνητικά ιόντα.

► Αντίθετα με τους ηλεκτρικούς αγωγούς, στους **μονωτές** η συντριπτική πλειοψηφία των ηλεκτρονίων είναι δεσμευμένα από τα άτομα –πράγμα που σημαίνει ότι το πλήθος των ελεύθερων ηλεκτρονίων είναι ασήμαντο (της τάξης του $1/\text{cm}^3$).

Όταν σώμα από **μονωτικό υλικό εισάγεται σε ηλεκτρικό πεδίο**, δεν ανιχνεύεται ηλεκτρικό ρεύμα, γιατί δεν υπάρχει επαρκής αριθμός ευκίνητων φορτισμένων σωματιδίων για να το δημιουργήσει.

Η αγωγιμότητα ενός μετάλλου είναι εκατομμύρια φορές μεγαλύτερη από εκείνη ενός μονωτή.

Γι' αυτό, στα καλώδια τής ΔΕΗ το ηλεκτρικό φορτίο μετακινείται πολύ πιο εύκολα μέσα από χιλιόμετρα μεταλλικού σύρματος, όχι όμως και μέσα από τα λίγα εκατοστά τού μονωτή, ο οποίος χωρίζει το σύρμα από τον πύργο που το στηρίζει.



ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΠΗΓΗ - ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΚΥΚΛΩΜΑ

Έχουμε μάθει ότι, όποιο σώμα βρεθεί σε βαρυτικό πεδίο, κατέχει βαρυτική (δυναμική) ενέργεια, εξαιτίας της αλληλεπίδρασης του με το σώμα (ή τα σώματα) που δημιουργούν το πεδίο. Αν το σώμα αφεθεί να επιταχυνθεί από τη βαρυτική δύναμη (δηλαδή να πέσει ελεύθερα), η ενέργεια αυτή μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια. Αντίστοιχα γεγονότα ισχύουν και για το ηλεκτρικό πεδίο.

Κάθε φορτισμένο σωματίδιο, αν βρεθεί σε ηλεκτρικό πεδίο, κατέχει **ηλεκτρική (δυναμική) ενέργεια**, εξαιτίας της αλληλεπίδρασης του με το φορτισμένο σώμα (ή τα σώματα) που δημιουργούν το πεδίο. Αν το σώμα αφεθεί να επιταχυνθεί από την ηλεκτρική δύναμη, η ενέργεια αυτή μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια.

Ηλεκτρικές πηγές

Ηλεκτρική πηγή λέμε μια συσκευή, που έχει διπλό ρόλο:

☑ Διαθέτει δύο φορτισμένους πόλους, οι οποίοι δημιουργούν ηλεκτρικό πεδίο στο χώρο.

Αν συνδέσουμε τους πόλους της πηγής με ένα μεταλλικό αγωγό, το μεγάλο πλήθος των ελεύθερων ηλεκτρονίων του εισάγονται στο πεδίο αυτό. Αποτέλεσμα είναι ότι

> εφοδιάζονται με ηλεκτρική ενέργεια και

> ωθούνται προς το θετικό πόλο της πηγής.

Έτσι δημιουργείται ηλεκτρικό ρεύμα μέσα στον αγωγό.

☑ Με το ρεύμα η ηλεκτρική ενέργεια μετατρέπεται σε κινητική.

Μόλις τα ηλεκτρόνια φτάνουν στην πηγή, ανατροφοδοτούνται με ηλεκτρική ενέργεια.

Έτσι μπορούν να επαναλάβουν την κίνησή τους και συντηρείται το ηλεκτρικό ρεύμα.

Την ενέργεια που η πηγή προσφέρει στα ηλεκτρόνια την εξασφαλίζει από τη μετατροπή μιας αρχικής μορφής ενέργειας, που έχει αποθηκευμένη από την κατασκευή της.

Π.χ., στις πηγές-μπαταρίες είναι χημική ενέργεια, στις πηγές-φωτοστοιχεία είναι φωτεινή ενέργεια και στις πηγές-γεννήτριες είναι μηχανική ενέργεια.

☞ Μια ηλεκτρική πηγή δεν τροφοδοτεί με ηλεκτρόνια έναν αγωγό, αλλά δημιουργεί ηλεκτρικό πεδίο για να κινηθούν τα ήδη υπάρχοντα ελεύθερα ηλεκτρόνια και τους παρέχει την ενέργεια ώστε να συντηρείται αυτή η κίνηση.

Ηλεκτρικό κύκλωμα

Ηλεκτρικό κύκλωμα λέμε ένα σύνολο στοιχείων, που συνδέονται μεταξύ τους και μπορούν να διαρρέονται από ηλεκτρικό ρεύμα.

Τα απαραίτητα στοιχεία ενός τέτοιου κυκλώματος είναι:

☑ **ηλεκτρικοί αγωγοί**, που συνδέουν τα υπόλοιπα στοιχεία του κυκλώματος

☑ **ηλεκτρικές πηγές**, που τροφοδοτούν με ηλεκτρική ενέργεια τα ελεύθερα ηλεκτρόνια των αγωγών

☑ **ηλεκτρικές συσκευές**, που λειτουργούν χρησιμοποιώντας ηλεκτρική ενέργεια.

Όταν τα παραπάνω στοιχεία συνδέονται ώστε να σχηματίζεται **κλειστή αγωγίμη διαδρομή**, τότε το κύκλωμα διαρρέεται από ρεύμα (**κλειστό κύκλωμα**).

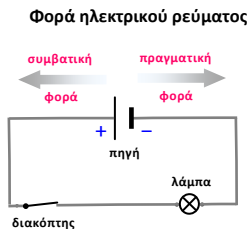
Αν υπάρχει διακοπή σε κάποιο σημείο του κυκλώματος, η ροή των ηλεκτρονίων σταματά.

Με τη χρήση **διακοπών** πετυχαίνουμε τη διακοπή του ρεύματος όποτε το επιθυμούμε.

Σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα:

▶ οι **ηλεκτρικές συσκευές** και οι **αγωγοί σύνδεσης** τους χαρακτηρίζονται **καταναλωτές**, επειδή χρησιμοποιούν (καταναλώνουν) ηλεκτρική ενέργεια και τη μετατρέπουν σε άλλες μορφές.

▶ οι **καταναλωτές** και οι **ηλεκτρικές πηγές** διαθέτουν δύο άκρα (πόλους), με τα οποία συνδέονται στο κύκλωμα –γι' αυτό χαρακτηρίζονται **ηλεκτρικά δίπολα**.



Η ηλεκτρική πηγή συνδέεται, διαμέσου των αγωγών σύνδεσης, με έναν καταναλωτή.

Κλείνοντας το διακόπτη σχηματίζεται κλειστό κύκλωμα.

Η πηγή δημιουργεί ηλεκτρικό ρεύμα στο κύκλωμα και η φορά κίνησης των ηλεκτρονίων **από τον αρνητικό προς το θετικό πόλο** αποτελεί την **πραγματική φορά του ρεύματος**.

Για ιστορικούς λόγους έχει επικρατήσει να σχεδιάζουμε τη **συμβατική φορά του ρεύματος**, που είναι **από το θετικό προς τον αρνητικό πόλο** της πηγής.

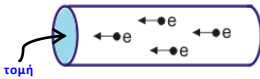
Αυτή η ανακρίβεια στο σχεδιασμό διατηρείται από τότε που πιστευόταν ότι στους αγωγούς ηλεκτρικό ρεύμα συνιστά η προσανατολισμένη κίνηση θετικών φορτίων (που θα ήταν αντίθετη των ηλεκτρονίων).

Όμως, στη μελέτη των περισσότερων ηλεκτρικών φαινομένων η φορά του ρεύματος σχεδιάζεται για να δείξουμε απλά και μόνο ότι "υπάρχει ρεύμα".



ΕΝΤΑΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

Ένταση ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει αγωγό



► Για να εκφράσουμε πόσο ρεύμα περνά από κάποια τομή αγωγού, χρησιμοποιούμε το μονόμετρο μέγεθος **ένταση ρεύματος**.

Όσο περισσότερα κοιλόμπι (C) φορτίου περνούν από την τομή σε ένα δευτερόλεπτο (s), τόσο μεγαλύτερη λέμε ότι είναι η έντασή του εκεί.

Αν, μάλιστα, από την τομή περνούν ίδια C φορτίου σε οποιαδήποτε ίσα διαστήματα διαλέξουμε, τότε θεωρούμε σταθερή την ένταση τού ρεύματος.

Για να υπολογίσουμε την ένταση ρεύματος σε μια τομή αγωγού, αν γνωρίζουμε ότι είναι σταθερή, διαιρούμε μια ποσότητα φορτίου q που περνά από κει δια τον αντίστοιχο χρόνο t.

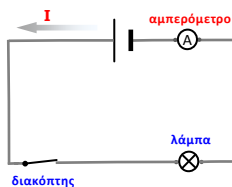
Έτσι βρίσκουμε πόσα C φορτίου περνούν ανά s από την τομή τού αγωγού.

$$\text{ένταση ρεύματος σε τομή αγωγού} = \frac{\text{φορτίο που περνά από την τομή}}{\text{αντίστοιχος χρόνος}}$$

$$\text{ή, συμβολικά, } I = \frac{q}{t}$$

☞ Αν η ένταση δεν είναι σταθερή, το παραπάνω πηλίκο δίνει τη μέση ένταση (την ένταση κατά μέσο όρο δηλαδή).

Στο S.I. μονάδα μέτρησης τής έντασης ρεύματος είναι το **κουλόμπ ανά δευτερόλεπτο** ($\frac{C}{s}$), που τη λέμε και **αμπέρ** (συμβολικά, **A**).



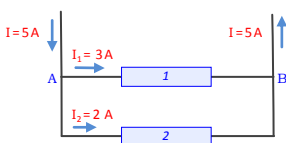
Μπορούμε να μετρήσουμε (εκτός από το να υπολογίσουμε) την ένταση ρεύματος σε μια τομή αγωγού, αν τον διακόψουμε εκεί και παρεμβάλλουμε κατάλληλο όργανο, το **αμπερόμετρο**.

Πειραματικά βρίσκουμε ότι:

Η ένταση τού ρεύματος σε όλες τις τομές κατά μήκος ενός αγωγού είναι ίδια.

Γι' αυτό δε διευκρινίζουμε σε ποια τομή αναφερόμαστε και λέμε γενικά «η ένταση τού ρεύματος στον αγωγό».

1ος κανόνας τού Κίρχοφ



$$I = I_1 + I_2$$

Όσο ρεύμα φτάνει στον κόμβο Α, τόσο συνολικά φεύγει προς τους καταναλωτές 1 και 2. Ισόποσο ρεύμα φτάνει συνολικά και στον κόμβο Β κι απομακρύνεται από αυτόν.

► Σε σημείο διακλάδωσης (**κόμβο**) κλειστού κυκλώματος

μετράμε και βρίσκουμε πάντα:

συνολική ένταση ρευμάτων που φτάνουν = συνολική ένταση ρευμάτων που απομακρύνονται

Αυτό εξηγείται διότι, ανά δευτερόλεπτο, όσο φορτίο φτάνει συνολικά στον κόμβο, τόσο απομακρύνεται.

Το παραπάνω γεγονός είναι γνωστό ως **1^{ος} κανόνας τού Κίρχοφ (Kirchhoff)**.



ΗΛΕΚΤΡΕΓΕΡΤΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ - ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΤΑΣΗ

Ηλεκτρεγερτική δύναμη πηγής

Θεωρούμε ένα κλειστό κύκλωμα.

➔ Σε χρόνο t ένα πλήθος ηλεκτρονίων, με συνολικό φορτίο $q_{πηγ}$, περνά από την πηγή κι **ανεφοδιάζονται** με ένα συνολικό ποσό ηλεκτρικής ενέργειας $U_{πηγ}$.

Αν διαιρέσουμε την ενέργεια $U_{πηγ}$ με το φορτίο $q_{πηγ}$, το πηλίκο σημαίνει πόσα J (τζάουλ) ενέργειας προσφέρει η πηγή σε ηλεκτρόνια με συνολικό φορτίο $1 C$ (κουλόμπ).

Το πηλίκο αυτό το λέμε **ηλεκτρεγερτική δύναμη τής πηγής** και είναι κατασκευαστικό χαρακτηριστικό της.

$$\text{ηλεκτρεγερτική δύναμη πηγής} = \frac{\text{ενέργεια που η πηγή προσφέρει σε ένα πλήθος ηλεκτρονίων}}{\text{συνολικό φορτίο των ηλεκτρονίων αυτών}}$$

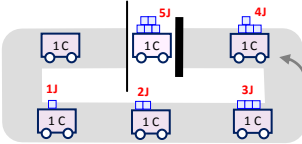
$$\text{ή, συμβολικά, } \mathcal{E}_{πηγ} = \frac{U_{πηγ}}{q_{πηγ}}$$

Στο S.I. μονάδα μέτρησης τής ηλεκτρεγερτικής δύναμης είναι το **τζάουλ ανά κουλόμπ** ($\frac{J}{C}$), που το λέμε και **βολτ** (συμβολικά, **V**).

Για παράδειγμα: «Η ηλεκτρεγερτική μιας μπαταρίας είναι $5 V$ » σημαίνει ότι, κάθε φορά που περνούν από αυτήν ηλεκτρόνια με συνολικό φορτίο $1 C$, **ανεφοδιάζονται** με ηλεκτρική ενέργεια $5 J$.

[Ο όρος "ηλεκτρεγερτική δύναμη" έχει επικρατήσει, αλλά είναι ανεπιτυχής, μιας και δεν πρόκειται για δύναμη.]

Κάθε κουλόμπ φορτίου (ελεύθερων ηλεκτρονίων) του κυκλώματος περνά από την πηγή και παίρνει ηλεκτρική ενέργεια, την οποία "ξοδεύει" στους καταναλωτές του κυκλώματος



Ηλεκτρική τάση καταναλωτή

➔ Η ηλεκτρική ενέργεια που προσφέρει η πηγή μεταφέρεται από τα ελεύθερα ηλεκτρόνια και προσφέρεται στους καταναλωτές, για να μετασχηματιστεί σε άλλες μορφές.

Μέσα σε χρόνο t ένα πλήθος ηλεκτρονίων, με συνολικό φορτίο $q_{κατ}$, περνάει από κάποιον καταναλωτή και **προσφέρει** σ' αυτόν ένα συνολικό ποσό ηλεκτρικής ενέργειας $U_{κατ}$.

Αν διαιρέσουμε την ενέργεια $U_{κατ}$ με το φορτίο $q_{κατ}$, το πηλίκο σημαίνει πόσα J ενέργειας προσφέρουν στον καταναλωτή ηλεκτρόνια με συνολικό φορτίο $1 C$.

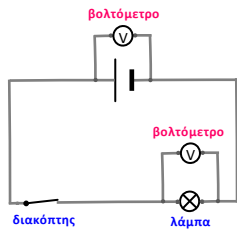
Το πηλίκο αυτό το λέμε **ηλεκτρική τάση καταναλωτή**.

$$\text{ηλεκτρική τάση καταναλωτή} = \frac{\text{ενέργεια που ένα πλήθος ηλεκτρονίων προσφέρει σε καταναλωτή}}{\text{συνολικό φορτίο των ηλεκτρονίων αυτών}}$$

$$\text{ή, συμβολικά, } V_{κατ} = \frac{U_{κατ}}{q_{κατ}}$$

Στο S.I. μονάδα μέτρησης (και) της ηλεκτρικής τάσης είναι το **βολτ (V)**.

Για παράδειγμα: «Η ηλεκτρική τάση μιας λάμπας είναι $12 V$ » σημαίνει ότι, κάθε φορά που περνούν από αυτήν ηλεκτρόνια με συνολικό φορτίο $1 C$, η λάμπα καταναλώνει ηλεκτρική ενέργεια $12 J$.



{ Μπορούμε να μετρήσουμε (εκτός από το να υπολογίσουμε) την ηλεκτρεγερτική δύναμη πηγής και την ηλεκτρική τάση καταναλωτή, χρησιμοποιώντας κατάλληλο όργανο, που το λέμε **βολτόμετρο** και το συνδέουμε στα άκρα τους.

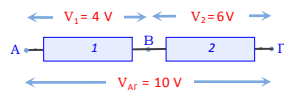
2^{ος} κανόνας του Κίρχοφ

➔ Σε τμήμα κλειστού κυκλώματος χωρίς διακλαδώσεις μετράμε και βρίσκουμε πάντα:

$$\text{τάση τμήματος} = \text{άθροισμα τάσεων καταναλωτών που περιλαμβάνει}$$

Η τάση αυτή εκφράζει πόση "ηλεκτρική ενέργεια προσφέρεται συνολικά στους καταναλωτές για κάθε κουλόμπ φορτίου που περνάει από αυτούς".

Το παραπάνω γεγονός είναι ειδική περίπτωση ενός άλλου κανόνα που ισχύει στα ηλεκτρικά κυκλώματα, γνωστού ως **2^{ου} κανόνα του Κίρχοφ (Kirchhoff)**.



$V_{AG} = V_1 + V_2$
Στα άκρα Α,Γ του τμήματος του κυκλώματος μετράμε τάση όση και το άθροισμα των τάσεων των καταναλωτών που περιλαμβάνει.

Δεν κρίνεται σκόπιμο να αναφερθεί εδώ ο κανόνας αυτός, διότι χρειάζεται η αναφορά στα δυναμικά σημείων του κυκλώματος, που είναι εκτός ύλης κι, επιπλέον ο κανόνας μπορεί να παραληφθεί χωρίς πρόβλημα στην κατανόηση της υπόλοιπης ύλης.



ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ

Αν στα άκρα διαφορετικών αγωγών προσφερθεί ίδια ηλεκτρική τάση $V_{\alpha\gamma}$ (συνδέοντάς τους π.χ. με μια ίδια μπαταρία), τότε –γενικά– διαρρέονται από ρεύμα διαφορετικής έντασης $I_{\alpha\gamma}$.

Επειδή η τάση είναι κοινή για όλους τους αγωγούς, όσο πιο μικρή είναι η ένταση τού ρεύματος που διαρρέει έναν από αυτούς, σημαίνει ότι

- ▶ ο αγωγός αυτός "αντιστέκεται" περισσότερο στη διέλευση τού ρεύματος
- ▶ και συγχρόνως το πηλίκο $V_{\alpha\gamma} / I_{\alpha\gamma}$ είναι μεγαλύτερο για τον αγωγό αυτό.

Δηλαδή, το πηλίκο $V_{\alpha\gamma} / I_{\alpha\gamma}$ μεγαλώνει όσο περισσότερο ο αγωγός αντιστέκεται στο ρεύμα, γι' αυτό το λέμε **ηλεκτρική αντίσταση τού αγωγού**.

$$\text{ηλεκτρική αντίσταση αγωγού} = \frac{\text{ηλεκτρική τάση αγωγού}}{\text{ένταση τού ρεύματος που τον διαρρέει}}$$

$$\text{ή, συμβολικά, } R_{\alpha\gamma} = \frac{V_{\alpha\gamma}}{I_{\alpha\gamma}}$$

Στο S.I. μονάδα μέτρησης τής ηλεκτρικής αντίστασης είναι το **βολτ ανά αμπέρ** ($\frac{\text{V}}{\text{A}}$), που το λέμε και **ομ** (συμβολικά Ω).

Η αιτία που οι μεταλλικοί αγωγοί παρουσιάζουν αντίσταση στη διέλευση τού ρεύματος είναι οι συγκρούσεις των ελεύθερων ηλεκτρονίων με τα ιόντα τού μεταλλικού πλέγματος.



Η διαφορετική τιμή αντίστασης σε κάθε αγωγό οφείλεται στη θερμοκρασία του αλλά και σε κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του, όπως το μήκος, το εμβαδόν μιας τομής και το υλικό κατασκευής του.

Εκτός από τους αγωγούς, ηλεκτρική αντίσταση παρουσιάζουν όλα τα δίπολα (και οι ηλεκτρικές πηγές). Όπως θα δούμε σε επόμενη ενότητα, αποτέλεσμα τής ηλεκτρικής αντίστασης των διπόλων όταν διαρρέονται από ρεύμα είναι η θέρμανσή τους.



ΝΟΜΟΣ ΤΟΥ ΩΜ ΓΙΑ ΑΝΤΙΣΤΑΤΗ

Στη συνέχεια, θα περιοριστούμε στους μεταλλικούς αγωγούς, που είναι και οι συνηθέστεροι.

Π.χ. οι αγωγοί στις οικιακές και βιομηχανικές εγκαταστάσεις, καθώς και στα κυκλώματα πολλών ηλεκτρικών συσκευών είναι χάλκινοι.

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι για να μεταβάλλουμε την τάση σε έναν αγωγό (π.χ. αλλάζοντας την ηλεκτρική πηγή στην οποία τον συνδέουμε). Μεταβάλλοντας την τάση στον αγωγό, μεταβάλλεται και η ένταση του ρεύματος που τον διαρρέει.

Αν διατηρήσουμε σταθερή τη θερμοκρασία μεταλλικού αγωγού (π.χ. ψύχοντάς τον με κάποιο σύστημα ψύξης), διαπιστώνουμε ότι το πηλίκο V/I της τάσης στον αγωγό προς την ένταση του ρεύματος που τον διαρρέει (δηλαδή η αντίσταση του αγωγού) διατηρεί μια σταθερή τιμή, χαρακτηριστική για τον αγωγό αυτό στη συγκεκριμένη θερμοκρασία.

Δηλαδή τότε, η ένταση του ρεύματος που διαρρέει τον αγωγό είναι ανάλογη με την τάση που του προσφέρεται.

Το πειραματικό αυτό συμπέρασμα είναι γνωστό ως **νόμος του Ωμ (Ohm)** και συμβολικά γράφεται

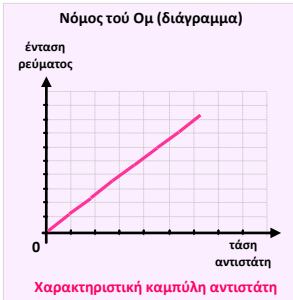
$$\frac{V}{I} = R \text{ (σταθερό)} \quad \text{ή, συνηθέστερα,} \quad I = \frac{V}{R} \quad (\text{με } R: \text{ σταθερό})$$

Τη γραφική παράσταση της έντασης του ρεύματος που διαρρέει έναν αγωγό ως συνάρτησης της τάσης που του προσφέρεται τη λέμε **χαρακτηριστική καμπύλη του αγωγού** και είναι ευθεία που περνά διαγώνια από το μηδέν.

☞ Τονίζουμε ότι ο νόμος του Ωμ δεν ισχύει γενικά για τους αγωγούς, αλλά μόνο για τους μεταλλικούς και μόνο εφόσον διατηρείται σταθερή η θερμοκρασία τους, καθώς διαρρέονται από ρεύμα.

Όσους μεταλλικούς αγωγούς πειθαρχούν στο νόμο του Ωμ τους λέμε **αντιστάτες**.

☞ Ας προσέξουμε τη διάκριση ανάμεσα στον όρο "αντιστάτης", που σημαίνει μεταλλικός αγωγός (ο οποίος υπακούει στο νόμο του Ωμ) και στον όρο "αντίσταση", που σημαίνει το μέγεθος που βαθμολογεί τη δυσκολία του ρεύματος να διέλθει από τον αγωγό. Στη συνέχεια, όμως, για συντομία, μπορεί να λέμε «μια αντίσταση 5 Ω» και θα εννοούμε «έναν αντιστάτη, που έχει αντίσταση 5 Ω».





ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ ΑΝΤΙΣΤΑΤΩΝ

Αν διαθέτουμε αντιστάτες με κάποιες αντιστάσεις, μπορούμε να τους συνδέσουμε με διάφορους τρόπους και να πετύχουμε μια μεγαλύτερη ή μικρότερη ηλεκτρική αντίσταση, σε σχέση με τις διαθέσιμες αντιστάσεις.

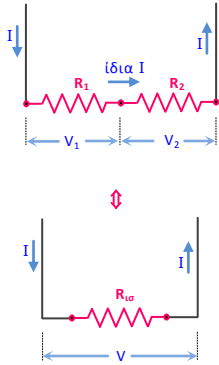
Όταν ένα σύστημα συνδεδεμένων αντιστάτων το συνδέουμε με ηλεκτρική πηγή, παρέχεται σ' αυτό τάση και το κύκλωμα διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα.

Ίδια τάση και ρεύμα θα μπορούσε να δημιουργήσει η πηγή σε ένα μόνο, **ισοδύναμο αντιστάτη**.

Την αντίστασή του τη λέμε **ισοδύναμη αντίσταση** τού συστήματος των συνδεδεμένων αντιστάτων.

Ειδικότερα:

Χαρακτηριστικά σύνδεσης αντιστάτων σε σειρά



$$\begin{aligned} \text{Αν } R_1 &= 20 \, \Omega, R_2 = 30 \, \Omega \\ R_{\text{ισ}} &= 20 \, \Omega + 30 \, \Omega = 50 \, \Omega \end{aligned}$$

➔ Όταν συνδέουμε αντιστάτες διαδοχικά (ώστε να έχουν ένα κοινό άκρο και χωρίς διακλαδώσεις), λέμε ότι τους συνδέουμε **σε σειρά**.

☑ Προσφέρουμε τάση V στο σύστημα των αντιστάτων.

Τόση τάση θα δημιουργούσε η πηγή και στον ισοδύναμο αντιστάτη, που -αν είχαμε- θα βάζαμε στη θέση τους.

Η τάση V κατανέμεται στους δύο αντιστάτες.

Ο ένας αποκτά τάση V_1 και ο άλλος V_2 και ισχύει $V = V_1 + V_2$.

☑ Στο ένα άκρο τού συστήματος φτάνει ρεύμα, έντασης I , που διαρρέει και τους δύο αντιστάτες.

Δηλαδή, οι δύο αντιστάτες έχουν ίδια ένταση I ρεύματος. Τόση είναι και η ένταση τού ρεύματος που θα διέρρεε τον ισοδύναμο αντιστάτη.

☑ Σύμφωνα με το νόμο τού Ohm, η τάση που προσφέρεται σε κάθε αντιστάτη είναι ανάλογη με την ένταση τού ρεύματος που τον διαρρέει, οπότε $V_1 = I R_1$ και $V_2 = I R_2$, ενώ για τον ισοδύναμο αντιστάτη θα ισχύει $V = I R_{\text{ισ}}$ -δηλαδή θα έπρεπε να έχει

$$\text{αντίσταση } R_{\text{ισ}} = \frac{V}{I} = \frac{V_1 + V_2}{I} = \frac{V_1}{I} + \frac{V_2}{I} = R_1 + R_2.$$

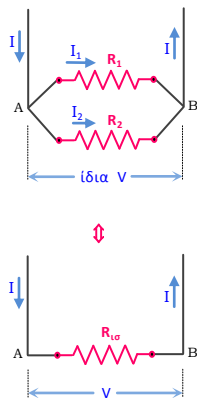
Ομοίως αποδεικνύεται και για περισσότερους από δύο αντιστάτες, οπότε:

Για την **ισοδύναμη αντίσταση** αντιστάτων συνδεδεμένων σε σειρά ισχύει

$$R_{\text{ισ}} = R_1 + R_2 + \dots$$

☐ Ο σκοπός που συνδέουμε αντιστάτες σε σειρά είναι για να πάρουμε μια ισοδύναμη αντίσταση μεγαλύτερη από τις αντιστάσεις που διαθέτουμε.

Χαρακτηριστικά σύνδεσης αντιστάτων παράλληλα



$$\text{Αν } R_1 = 20 \, \Omega, R_2 = 30 \, \Omega$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{R_{\text{ισ}}} &= \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{20} + \frac{1}{30} \\ &= \frac{3}{60} + \frac{2}{60} = \frac{5}{60} = \frac{1}{12} \\ \text{ή } R_{\text{ισ}} &= 12 \, \Omega \end{aligned}$$

➔ Όταν συνδέουμε αντιστάτες στα άκρα τους (ώστε να έχουν και τα δύο άκρα τους κοινά), λέμε ότι τους συνδέουμε **παράλληλα**. Συνδέουμε το σύστημα των αντιστάτων με πηγή. Τότε:

☑ Προσφέρουμε τάση V στο σύστημα των αντιστάτων.

Επειδή οι αντιστάτες έχουν κοινά άκρα (A, B), αποδεικνύεται ότι:

Η προσφερόμενη τάση V παρέχεται και στους δύο αντιστάτες.

Τόση τάση θα δημιουργούσε η πηγή και στον ισοδύναμο αντιστάτη, που -αν είχαμε- θα βάζαμε στη θέση τους.

☑ Στο ένα άκρο τού συστήματος φτάνει ρεύμα, έντασης I .

Τόσο ρεύμα θα διέρρεε και τον ισοδύναμο αντιστάτη.

Η ένταση I κατανέμεται στους δύο αντιστάτες.

Ο ένας αποκτά ρεύμα έντασης I_1 και ο άλλος I_2 και ισχύει $I_{\text{ισ}} = I_1 + I_2$.

☑ Σύμφωνα με το νόμο τού Ohm, η τάση που προσφέρεται σε κάθε αντιστάτη είναι ανάλογη με την ένταση τού ρεύματος που τον διαρρέει, οπότε $V_1 = I R_1$ και $V_2 = I R_2$, ενώ για τον ισοδύναμο αντιστάτη θα ισχύει $V = I R_{\text{ισ}}$ -δηλαδή θα έπρεπε να έχει

$$\text{αντίσταση } R_{\text{ισ}} = \frac{V}{I} = \frac{V}{I_1 + I_2} = \frac{V}{\frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2}} = \frac{V}{V \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} \text{ ή } \frac{1}{R_{\text{ισ}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

Ομοίως αποδεικνύεται και για περισσότερους από δύο αντιστάτες, οπότε:

Για την **ισοδύναμη αντίσταση** αντιστάτων συνδεδεμένων παράλληλα ισχύει

$$\frac{1}{R_{\text{ισ}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

☐ Ο σκοπός που συνδέουμε αντιστάτες παράλληλα είναι για να πάρουμε μια ισοδύναμη αντίσταση μικρότερη από τις αντιστάσεις που διαθέτουμε.

☞ Όλες οι συσκευές μιας οικιακής εγκατάστασης συνδέονται μεταξύ τους παράλληλα, για να λειτουργούν με την ίδια τάση (π.χ. 220 V στο δίκτυο τής ΔΕΗ) κι ανεξάρτητα η μία από την άλλη.

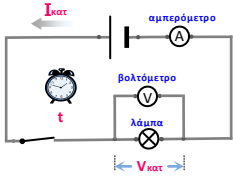
Μπορούμε, έτσι, να ανοιγοκλείνουμε το διακόπτη κάθε συσκευής, θέτοντας την σε λειτουργία, χωρίς απαραίτητα να λειτουργούν και οι άλλες. Επίσης, αν συμβεί βλάβη ή καταστροφή μιας συσκευής, απλά διακόπτεται σ' αυτήν το ρεύμα και οι άλλες συσκευές μένουν ανεπηρέαστες.



ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ & ΙΣΧΥΣ

Ηλεκτρική ενέργεια που παρέχει ηλεκτρική πηγή ή χρησιμοποιεί καταναλωτής

Με βολτόμετρο, αμπερόμετρο, χρονομέτρο και την εξίσωση $U_{\text{κατ}} = V_{\text{κατ}} \cdot I_{\text{κατ}} \cdot t$ μπορούμε να λογαριάσουμε την ηλεκτρική ενέργεια που χρησιμοποιεί η λάμπα



Ηλεκτρική ισχύς που παρέχει ηλεκτρική πηγή ή χρησιμοποιεί καταναλωτής

► Έχουμε πει πως, όταν συνδέουμε καταναλωτές σε κύκλωμα, η πηγή δημιουργεί ηλεκτρικό πεδίο στο εσωτερικό τους, τα ελεύθερα ηλεκτρόνια τους εξαναγκάζονται σε προσανατολισμένη κίνηση και οι καταναλωτές διαρρέονται από ρεύμα. Αν θυμηθούμε πώς είπαμε ότι υπολογίζουμε την ηλεκτρεγερτική δύναμη μιας πηγής και την τάση ενός καταναλωτή...

Η συνολική ηλεκτρική ενέργεια που παρέχει η πηγή είναι:

$$U_{\text{πηγ}} = \mathcal{E}_{\text{πηγ}} q_{\text{πηγ}} = \mathcal{E}_{\text{πηγ}} I_{\text{πηγ}} t$$

Η ηλεκτρική ενέργεια που χρησιμοποιεί κάθε καταναλωτής είναι:

$$U_{\text{κατ}} = V_{\text{κατ}} q_{\text{κατ}} = V_{\text{κατ}} I_{\text{κατ}} t$$

Ειδικά οι καταναλωτές-αντιστάτες πειθαρχούν στο νόμο του Ωμ ($I = V/R$). Έτσι...

Η ηλεκτρική ενέργεια που χρησιμοποιεί κάθε αντιστάτης είναι:

$$U_{\text{αντ}} = V_{\text{αντ}} q_{\text{αντ}} = V_{\text{αντ}} I_{\text{αντ}} t$$

κι επειδή $V = I R$:

$$U_{\text{αντ}} = I_{\text{αντ}}^2 R t$$

ή επειδή $I = V/R$:

$$U_{\text{αντ}} = \frac{V_{\text{αντ}}^2}{R} t$$

► Όπως έχουμε μάθει, «ισχύ» λέμε το μονόμετρο φυσικό μέγεθος, με το οποίο εκφράζουμε πόσο γρήγορα μεταβιβάζεται ή μετατρέπεται ενέργεια. Έτσι...

Ηλεκτρική ισχύ πηγής λέμε το ρυθμό με τον οποίο παρέχει ενέργεια στο κύκλωμα.

Ηλεκτρική ισχύ καταναλωτή λέμε το ρυθμό με τον οποίο το ρεύμα μεταφέρει ενέργεια σ' αυτόν.

Όταν μεταφέρονται ισόποσα τζάουλ (J) ενέργειας σε κάθε δευτερόλεπτο (s), θεωρούμε ότι η ισχύς είναι σταθερή.

Αν γνωρίζουμε, λοιπόν, ότι η ισχύς είναι σταθερή και θέλουμε να την υπολογίσουμε, διαιρούμε μια -οποιαδήποτε- ποσότητα ενέργειας που μεταφέρεται με τον αντίστοιχο χρόνο.

Βρίσκουμε, τότε, πόσα τζάουλ (J) ενέργειας μεταφέρονται ανά δευτερόλεπτο (s).

$$\text{ηλεκτρική ισχύς πηγής} = \frac{\text{ηλεκτρική ενέργεια που παρέχει η πηγή}}{\text{αντίστοιχος χρόνος}}$$

$$\text{ή, συμβολικά, } P_{\text{πηγ}} = \frac{U_{\text{πηγ}}}{t}$$

$$\text{κι επειδή } U_{\text{πηγ}} = \mathcal{E}_{\text{πηγ}} I_{\text{πηγ}} t, \text{ είναι } P_{\text{πηγ}} = \mathcal{E}_{\text{πηγ}} I_{\text{πηγ}}$$

$$\text{ηλεκτρική ισχύς καταναλωτή} = \frac{\text{ηλεκτρική ενέργεια που χρησιμοποιεί ο καταναλωτής}}{\text{αντίστοιχος χρόνος}}$$

$$\text{ή, συμβολικά, } P_{\text{κατ}} = \frac{U_{\text{κατ}}}{t}$$

$$\text{κι επειδή } U_{\text{κατ}} = V_{\text{κατ}} I_{\text{κατ}} t, \text{ είναι } P_{\text{κατ}} = V_{\text{κατ}} I_{\text{κατ}}$$

Ειδικά οι καταναλωτές-αντιστάτες πειθαρχούν στο νόμο του Ωμ ($I = V/R$). Έτσι...

Η ηλεκτρική ισχύς που χρησιμοποιεί κάθε αντιστάτης είναι:

$$P_{\text{αντ}} = \frac{U_{\text{αντ}}}{t} = V_{\text{αντ}} I_{\text{αντ}}$$

$$\text{κι επειδή } V = I R, \quad P_{\text{αντ}} = I_{\text{αντ}}^2 R$$

$$\text{ή επειδή } I = V/R, \text{ είναι } P_{\text{αντ}} = \frac{V_{\text{αντ}}^2}{R}$$

Στο S.I. μονάδα μέτρησης της ηλεκτρικής ισχύος είναι το $\frac{1 \text{ J}}{\text{ s}}$, που τη και λέμε **βατ** (συμβολικά **W**).

Λογαριασμός ρεύματος



Ας δούμε πώς λογαριάζει το κόστος λειτουργίας των ηλεκτρικών συσκευών η Δ.Ε.Η.

Κάθε συσκευή αναγράφει πάνω της την ισχύ λειτουργίας της (το ρυθμό με τον οποίο καταναλώνει ηλεκτρική ενέργεια).

Η ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνει η συσκευή είναι $U_{\sigma} = P_{\sigma} t$ (ανάλογη της διάρκειας λειτουργίας).

Στις οικιακές και βιομηχανικές χρήσεις των συσκευών βολεύει να μετράμε τη διάρκεια λειτουργίας σε ώρες (h).

Μια συσκευή με ισχύ 1 W που λειτουργεί για 1 h, καταναλώνει ενέργεια $U_{\sigma} = 1 \text{ W} \cdot 1 \text{ h} = 1 \text{ Wh}$.

Το γινόμενο 1 W · 1 h είναι μια βολική μονάδα ενέργειας, που τη λέμε **βατώρα (Wh)**.

1Wh = 1 W · 1 h = 1 W · 3600 s = 3.600 W s και επειδή 1 W · 1 s = 1 J, τελικά **1 Wh = 3.600 J**.

Η κατανάλωση ενέργειας των ηλεκτρικών συσκευών στους λογαριασμούς της Δ.Ε.Η. μετριέται σε **κιλοβατώρες: 1 kWh = 1.000 Wh = 3.600.000 J**

Η Δ.Ε.Η., κάθε 4 μήνες, καταγράφει πόσες kWh ηλεκτρικής ενέργειας καταναλώνουν συνολικά οι ηλεκτρικές συσκευές μας.

Πολλαπλασιάζοντας με το κόστος κάθε kWh, προκύπτει η χρέωση για την ηλεκτρική ενέργεια που πρέπει να πληρώσουμε.



ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΡΕΥΜΑΤΟΣ - ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΖΑΟΥΛ

Η ηλεκτρική ενέργεια που προσφέρει μια ηλεκτρική πηγή σε ένα κύκλωμα υφίσταται μετατροπές στους καταναλωτές, προκαλώντας μια σειρά από αποτελέσματα, όπως:

- ▶ **Θερμικά αποτελέσματα.** Το ηλεκτρικό ρεύμα προκαλεί τη θέρμανση των σωμάτων που διαρρέει. Πολλές ηλεκτρικές συσκευές αξιοποιούν αυτό το αποτέλεσμα και παράγουν θερμότητα από ηλεκτρική ενέργεια (π.χ. η ηλεκτρική κουζίνα).
- ▶ **Ηλεκτρομαγνητικά αποτελέσματα.** Οι ρευματοφόροι αγωγοί συμπεριφέρονται ως μαγνήτες. Έτσι, ασκούν μαγνητικές δυνάμεις, είτε μεταξύ τους είτε προς άλλους μαγνήτες είτε προς σιδερένια σώματα. (π.χ. ηλεκτρομαγνητικοί γερανοί).
- ▶ **Φωτεινά αποτελέσματα.** Σε κάποιες περιπτώσεις το ηλεκτρικό ρεύμα, όταν διαρρέει την ύλη, προκαλεί την εκπομπή φωτός (π.χ. λαμπτήρας φθορισμού).
- ▶ **Χημικά αποτελέσματα.** Σε κάποιες περιπτώσεις το ηλεκτρικό ρεύμα, όταν διαρρέει την ύλη, προκαλεί χημικές μεταβολές –δηλαδή το σχηματισμό νέων χημικών ουσιών. Αυτό το εκμεταλλεύομαστε στην παραγωγή χημικών στοιχείων (π.χ. υδρογόνου).

Φαινόμενο Τζάουλ

➔ Αναλυτικότερα, εδώ θα ασχοληθούμε με τα θερμικά αποτελέσματα του ρεύματος, που έχουν πολλές εφαρμογές.

❓ Οι ηλεκτρικές πηγές, οι αγωγοί και οι συσκευές θερμαίνονται όταν διαρρέονται από ρεύμα. Γιατί όμως; Ουμίζουμε:

Όταν μια ηλεκτρική πηγή συνδέεται σε μεταλλικό αγωγό,

- ☑ δημιουργεί στο εσωτερικό του ηλεκτρικό πεδίο και
- ☑ προσφέρει ηλεκτρική ενέργεια στα ελεύθερα ηλεκτρόνια του.

Η δύναμη του ηλεκτρικού πεδίου ωθεί τα ηλεκτρόνια προς μια ορισμένη κατεύθυνση (ηλεκτρικό ρεύμα) και έτσι η ηλεκτρική ενέργεια της πηγής μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια των ηλεκτρονίων.

Τα ηλεκτρόνια, όμως, δεν κινούνται ανεμπόδιστα μέσα στον αγωγό, αλλά συγκρούονται με τα ιόντα του μεταλλικού πλέγματος, μεταβιβάζοντάς τους ένα μέρος από την κινητική τους ενέργεια.

(Αυτή είναι και η αιτία που οι μεταλλικοί αγωγοί εμφανίζουν ηλεκτρική αντίσταση, όπως είδαμε.)

Σε ένα μεταλλικό αγωγό, λοιπόν, η ηλεκτρική ενέργεια που προσφέρει μια ηλεκτρική πηγή χρησιμοποιείται για την αύξηση των κινητικών ενεργειών των ηλεκτρονίων και των ιόντων του μετάλλου, που –αθροιστικά– αποτελούν τη **θερμική ενέργεια** του αγωγού.

Η αύξηση τής θερμικής ενέργειας του αγωγού γίνεται σε μια αντιληπτή από την αύξηση τής **θερμοκρασίας** του, γεγονός που το λέμε **φαινόμενο Τζάουλ** (Joule).

Μόλις δημιουργείται διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ αγωγού και περιβάλλοντος, η επιπλέον θερμική ενέργεια που απέκτησε ο αγωγός διαρρέει στο περιβάλλον κι αποκαθίσταται **θερμική (θερμοκρασιακή) ισορροπία**.

Την ποσότητα θερμικής ενέργειας που ο αγωγός αποβάλλει στο περιβάλλον –λόγω διαφοράς θερμοκρασίας με αυτό– τη λέμε **θερμότητα** (συμβολικά **Q**).

Σε έναν αντιστάτη όλη η ηλεκτρική ενέργεια που παίρνει από το ρεύμα γίνεται θερμότητα (θερμική ενέργεια που διαφεύγει στο περιβάλλον δηλαδή). Ξέροντας ότι η ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνει είναι $U_{\text{αντ}} = I_{\text{αντ}}^2 R t$ κι εφαρμόζοντας την αρχή διατήρησης τής ενέργειας μπορούμε να πούμε ότι:

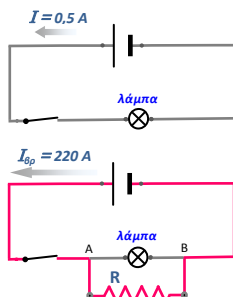
Η θερμότητα που ελευθερώνει στο περιβάλλον ένας αντιστάτης είναι $Q = I_{\text{αντ}}^2 R t$.

Η εξίσωση αυτή είναι γνωστή ως **νόμος του Τζάουλ** (Joule).

Εφαρμογές του φαινομένου Τζάουλ

➔ Το φαινόμενο Τζάουλ έχει:

- ▶ θετικές εφαρμογές, όπως οι ηλεκτρικές συσκευές παραγωγής θερμότητας (π.χ. κουζίνα μαγειρέματος, θραστήρας, θερμάστρα, θερμοσίφωνα, σίδερο σιδερώματος κλπ.)
- ▶ αλλά και αρνητικές συνέπειες, όπως η υπερθέρμανση αγωγών και συσκευών, που μπορεί να οδηγήσει στην καταστροφή τους.



Η αντίσταση R είναι πολύ μικρότερη από την αντίσταση του λαμπτήρα, γι' αυτό το ρεύμα που δημιουργεί η πηγή «επιλέγει» να περάσει κυρίως από αυτήν.

Βραχυκύκλωμα σε ένα κύκλωμα λέμε ότι συμβαίνει όταν δύο σημεία του

- ▶ συνδεθούν με αγωγό πολύ μικρής αντίστασης ή
- ▶ φθαρεί η μόνωση κι ακουμπήσουν μεταξύ τους.

Τότε, στο τμήμα του κυκλώματος που βρίσκεται μεταξύ της πηγής και των σημείων που βραχυκυκλώνονται το ρεύμα αυξάνεται πολύ και, από την υπερθέρμανση, το τμήμα κινδυνεύει να πάθει ζημιά ή να ξεσπάσει πυρκαγιά.

Ας δούμε, για παράδειγμα, το κύκλωμα δίπλα, που περιλαμβάνει μια λάμπα αντίστασης $R_L = 440 \Omega$ και μια πηγή, που το τροφοδοτεί με τάση $V_{\text{πηγ}} = 220 \text{ V}$.

Η πηγή δημιουργεί ρεύμα έντασης $I = \frac{V_{\text{πηγ}}}{R_L} = \frac{220}{440} \text{ A} = 0,5 \text{ A}$.

Βραχυκυκλώνουμε τα άκρα A, B της λάμπας, συνδέοντάς τα με αγωγό αντίστασης $R = 1 \Omega$.

Για την ισοδύναμη αντίσταση του κυκλώματος έχουμε τώρα $\frac{1}{R_{\text{ισ}}} = \frac{1}{R_L} + \frac{1}{R} = \frac{1}{440} + \frac{1}{1} = \frac{1}{440} + \frac{440}{440} = \frac{441}{440}$,

δηλ. $R_{\text{ισ}} = 1 \Omega$, οπότε τώρα η πηγή δημιουργεί ρεύμα βραχυκύκλωσης, έντασης $I_{\beta\rho} = \frac{V_{\text{πηγ}}}{R_{\text{ισ}}} \approx \frac{220}{1} \text{ A} = 220 \text{ A}$,

πολύ μεγάλης κι επικίνδυνης για το (κόκκινο) τμήμα του κυκλώματος μεταξύ τής πηγής και των σημείων A, B.



Αυτόματη και τηκόμενη ασφάλεια

Ηλεκτρική ασφάλεια λέμε έναν ηλεκτρικό διακόπτη, που τον παρεμβάλλουμε (σε σειρά) σε ηλεκτρικό κύκλωμα, για να το προστατέψει από ζημιές που μπορεί να προκληθούν από βραχυκύκλωμα ή υπερφόρτωσή του.

Κάθε ασφάλεια χαρακτηρίζεται από μια (μέγιστη) ένταση ρεύματος που μπορεί να τη διαρρέει (π.χ. ασφάλεια 2 Α). Μόλις ξεπεραστεί αυτή η τιμή, η ασφάλεια προκαλεί διακοπή στο ρεύμα.

- ▶ Ένας τύπος ασφάλειας είναι η **τηκόμενη**, που αποτελείται από εύτηκτο μέταλλο. Μόλις το ρεύμα ξεπεράσει την καθορισμένη τιμή έντασης, το μέταλλο λιώνει και το ρεύμα σταματά.
- ▶ Ένας άλλος τύπος ασφάλειας είναι η **αυτόματη**, που αποτελείται από ένα διμεταλλικό έλασμα. Μόλις το ρεύμα υπερβεί την καθορισμένη τιμή, το έλασμα λυγίζει (η ασφάλεια «πέφτει») και το ρεύμα σταματά.

Για να προστατέψουμε μια συσκευή με ασφάλεια, χρειάζεται να υπολογίζουμε την **ένταση I_k του ρεύματος κανονικής λειτουργίας** τής συσκευής. Επειδή στο εμπόριο κυκλοφορούν ασφάλειες με ορισμένες μόνο τιμές έντασης, επιλέγουμε την ασφάλεια με την αμέσως μεγαλύτερη τιμή από τη I_k .

❓ Ας δούμε πώς γίνεται ο υπολογισμός τής I_k .

Για να λειτουργεί μια συσκευή σύμφωνα με τις προδιαγραφές που κατασκευάστηκε, πάνω της αναγράφονται δύο χαρακτηριστικά κανονικής λειτουργίας της:

- η **τάση V_k κανονικής λειτουργίας**

Αν η συσκευή τροφοδοτηθεί με τάση $V > V_k$, κινδυνεύει να καταστραφεί. [Υπάρχει πάντα ένα μικρό περιθώριο ανοχής.]

Αν $V < V_k$, η συσκευή υπολειτουργεί ή δε λειτουργεί καθόλου.

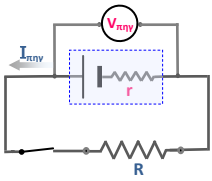
- η **ισχύς P_k κανονικής λειτουργίας**

Όταν λειτουργεί κανονικά, η ισχύς που καταναλώνει η συσκευή είναι $P_k = V_k I_k$.

Έτσι υπολογίζουμε την **ένταση I_k του ρεύματος κανονικής λειτουργίας** της: $I_k = \frac{P_k}{V_k}$



ΔΙΑΤΗΡΗΣΗ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΚΥΚΛΩΜΑ ΜΕ ΑΝΤΙΣΤΑΤΕΣ



Πολική τάση ηλεκτρικής πηγής

Όπως έχουμε πει, η ηλεκτρεγερτική δύναμη $\mathcal{E}_{πηγ}$ μιας ηλεκτρικής πηγής σημαίνει "πόσα τζάουλ ενέργειας προσφέρει η πηγή σε ηλεκτρόνια με συνολικό φορτίο ένα κουλόμπ" και τη μετράμε με βολτόμετρο, που το συνδέουμε στους πόλους της. Επίσης είπαμε ότι και οι ηλεκτρικές πηγές παρουσιάζουν μια "εσωτερική" αντίσταση r στο ηλεκτρικό ρεύμα. Έτσι, σε ένα κλειστό κύκλωμα, η ενέργεια ανά κουλόμπ φορτίου που δίνει η πηγή (η ηλεκτρεγερτική της δύναμη δηλαδή) δε φτάνει όλη στο εξωτερικό κύκλωμα, γιατί ένα μέρος της αυξάνει τη θερμική ενέργεια της ίδιας της πηγής, εξαιτίας της εσωτερικής της αντίστασης. Μπορούμε λοιπόν να πούμε:

$$(\text{ηλεκτρεγερτική δύναμη πηγής}) = (\text{τάση που δίνει στο εξωτερικό κύκλωμα}) + (\text{τάση που δίνει στο εσωτερικό της})$$

- ▶ Η τάση που δίνει η πηγή στο εξωτερικό κύκλωμα είναι αυτή που θα μετρούσαμε στους πόλους της, γι' αυτό τη λέμε **πολική τάση της πηγής**, $V_{πηγ}$.
 Αν το εξωτερικό κύκλωμα είναι μόνος ένας αντιστάτης, με αντίσταση R , όλη η πολική τάση δίνεται σ' αυτόν:
 $V_{πηγ} = I_{πηγ} R$

Τότε, σε χρόνο t η πηγή προσφέρει συνολικά στο κύκλωμα ηλεκτρική ενέργεια $U_{πηγ} = \mathcal{E}_{πηγ} I_{πηγ} t$, που

- ▶ ένα κλάσμα της καταναλώνεται στο εσωτερικό της: $U_r = I_{πηγ}^2 r t$
- ▶ και το υπόλοιπο στο συνδεδεμένο αντιστάτη: $U_{αντ} = I_{πηγ}^2 R t$

Από την αρχή διατήρησης της ενέργειας

$$\begin{aligned} U_{πηγ} &= U_{αντ} + U_r \\ \text{ή} \quad \mathcal{E}_{πηγ} I_{πηγ} t &= I_{πηγ}^2 R t + I_{πηγ}^2 r t \\ \text{ή} \quad \mathcal{E}_{πηγ} &= I_{πηγ} R + I_{πηγ} r \\ \text{ή} \quad \mathcal{E}_{πηγ} &= V_{πηγ} + I_{πηγ} r \end{aligned}$$

Με την τελευταία εξίσωση υπολογίζουμε την πολική τάση που θα μετρούσαμε σε μια πηγή. Βλέπουμε ότι ταυτίζεται με την ηλεκτρεγερτική δύναμη της πηγής ($\mathcal{E}_{πηγ} = V_{πηγ}$), μόνο αν

- ☑ η εσωτερική αντίσταση της πηγής είναι ασήμαντη ($r = 0$) ή
- ☑ το κύκλωμα είναι ανοιχτό ($I_{πηγ} = 0$)

Νόμος του Ομ για κλειστό κύκλωμα μόνο με αντιστάτες

- ▶ Επίσης η προηγούμενη εξίσωση γράφεται

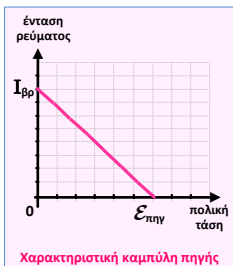
$$\begin{aligned} \mathcal{E}_{πηγ} &= I_{πηγ} R + I_{πηγ} r \\ \mathcal{E}_{πηγ} &= I_{πηγ} (R + r) \\ \text{ή} \quad \mathcal{E}_{πηγ} &= I_{πηγ} R_{ολ} \\ \text{ή} \quad I_{πηγ} &= \frac{\mathcal{E}_{πηγ}}{R_{ολ}} \end{aligned}$$

Η τελευταία εξίσωση είναι γνωστή ως **νόμος του Ομ για κλειστό κύκλωμα μόνο με αντιστάτες**.

Με αυτήν υπολογίζουμε την ένταση του ρεύματος που διαρρέει την πηγή, σε ένα τέτοιο κύκλωμα.

☞ Την αποδείξαμε για έναν αντιστάτη, αλλά αποδεικνύεται ότι ισχύει κι όταν το R αντιπροσωπεύει την ισοδύναμη αντίσταση περισσότερων αντιστατών (ή συσκευών-καταναλωτών που αποτελούνται μόνο από αντιστάτες, π.χ. ηλεκτρική σόμπα).

Ρεύμα βραχυκύκλωσης ηλεκτρικής πηγής



- ▶ Λέμε ότι **βραχυκυκλώνουμε μια ηλεκτρική πηγή**, όταν συνδέουμε τους πόλους της με αγωγό αμελητέας αντίστασης ($R \approx 0$).

Έτσι, από το νόμο του Ομ για κλειστό κύκλωμα $I_{πηγ} = \frac{\mathcal{E}_{πηγ}}{R_{ολ}} = \frac{\mathcal{E}_{πηγ}}{R + r}$ προκύπτει ότι:

Το ρεύμα βραχυκύκλωσης μιας ηλεκτρικής πηγής είναι

$$I_{βρ} \approx \frac{\mathcal{E}_{πηγ}}{r}$$

και είναι το μέγιστο που μπορεί να τη διαρρέει.

Τη γραφική παράσταση της έντασης του ρεύματος που διαρρέει μια ηλεκτρική πηγή σε συνάρτηση με την πολική της τάση τη λέμε **χαρακτηριστική καμπύλη της πηγής** και είναι η ευθεία στο διτλανό σχήμα.



ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ - ΑΣΚΗΣΕΙΣ

Με βάση τη [διδασκτέα ύλη Φυσικής Β' Λυκείου \(2014-2015\)](#), προτείνω να λυθούν (ανά ενότητα και με την αναφερόμενη σειρά) οι παρακάτω ερωτήσεις / προβλήματα
 ▶ από το σχολικό βιβλίο ΦΥΣΙΚΗ ΓΕΝΙΚΗΣ ΠΑΙΔΕΙΑΣ (σελ. 119-134)

Ηλεκτρικό ρεύμα	Ερ. 30
Ένταση ηλεκτρικού ρεύματος	Ερ. 32, 33
Ηλεκτρεγερτική δύναμη - Ηλεκτρική τάση	
Ηλεκτρική αντίσταση	Ερ. 8, 34, 2
Νόμος του Ωμ για αντιστάτη	Ερ. 3 – Πρ. 4, 5, 6, 7, 8, 9
Συνδεσμολογία αντιστατών	Ερ. 17, 18, 35, 19, 16 – Λυμένο Πρ.2, σελ. 113 – Πρ. 10, 11, 12, 13, 14, 21
Ηλεκτρική ενέργεια και ισχύς	Ερ. 37, 12, 24, 25, 4 – Παρ.8, σελ. 90 – Πρ. 24, 25, 29
Αποτελέσματα ρεύματος - Φαινόμενο Τζάουλ	Ερ. 5, 13, 14 – Παρ.10, 11 σελ. 95, 96 – Πρ. 26, 28, 30, 32, 33, 34, 35
Διατήρηση τής ενέργειας σε κύκλωμα με αντιστάτες	Ερ. 21, 23, 29 – Πρ. 36, 37, 40
Επανάληψη	Ερ. 31, 6, 7, 9, 15, 20, 22, 26, 38 – Πρ. 39