


ΣΥΝΕΧΕΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΡΕΥΜΑ

- ▶ Εισαγωγή [σελ.1](#)
- ▶ Ηλεκτρική πηγή - ηλεκτρικό κύκλωμα [σελ.3](#)
- ▶ Ένταση ηλεκτρικού ρεύματος [σελ.4](#)
- ▶ Ηλεκτρική τάση - ηλεκτροεργετική δύναμη [σελ.5](#)
- ▶ Ηλεκτρική αντίσταση [σελ.6](#)
- ▶ Νόμος του Ohm για αντιστάση [σελ.7](#)
- ▶ Συνδεσμολογία αντιστάτων [σελ.8](#)
- ▶ Ηλεκτρική ενέργεια - ισχύς [σελ.9](#)
- ▶ Αποτελέσματα ρεύματος - φαινόμενο Τζέιβουλ [σελ.10](#)
- ▶ Διατήρηση της ενέργειας σε κύκλωμα με αντιστάτες [σελ.12](#)
- ▶ Ερωτήσεις - αβιθήσεις [σελ.13](#)

Για γρήγορη περιήγηση χρησιμοποιήστε { τα [links](#) των αριθμημένων σελίδων (λειτουργούν σωστά μόνο στο Ίντερνετ) }
το εικονίδιο  για να επιστρέψετε στον πίνακα περιεχομένων

ΙΑΒΑΣΕ ΑΥΤΟ, ΠΡΙΝ ΞΕΚΙΝΗΣΕΙΣ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ

➤ Κείμενο σε γαλάζιο φόντο ⇨ ΔΙΔΑΚΤΕΑ ΥΛΗ (2012-2013)

- Μεγάλα μαύρα γράμματα ⇨ τα κύρια συμπεράσματα (η περίληψη, για γρήγορη επανάληψη)
- Μικρά μαύρα γράμματα ⇨ πιο δευτερεύοντα ζητήματα, όπως εισαγωγή σε κάθε καινούργιο θέμα, διευκρινίσεις, παρατηρήσεις και αποδείξεις
- Μικρά μπλε γράμματα ⇨ παραδείγματα και αποτελέσματα πειραμάτων

➤ Κείμενο σε μαύρο φόντο ⇨ ΘΕΜΑΤΑ ΕΚΤΟΣ ΔΙΔΑΚΤΕΑΣ ΥΛΗΣ (2012-2013)

- Γνώσεις Φυσικής ή Μαθηματικών, εκτός διδακτέας ύλης, που υπενθυμίζονται στην εισαγωγή κάποιων θεμάτων
- Παρατηρήσεις - επιπλέον θέματα - απλές αποδείξεις, εκτός διδακτέας ύλης, που μπορεί να συμπληρώσουν τη διδασκαλία ή τη μελέτη
- Εξισώσεις, που προκύπτουν συνδυαστικά και δεν αναφέρονται στο σχολικό βιβλίο, αλλά χρειάζονται στη λύση ασκήσεων (αν τις χρησιμοποιήσει ο μαθητής, πρέπει να τις αποδείξει)

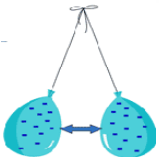


Όπου υπάρχει αυτό το εικονίδιο, κάνε κλικ για να δεις σχετικό βίντεο ή προσομοίωση ενός φαινομένου.

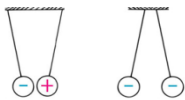


ΕΙΣΑΓΩΓΗ

**Ηλέκτριση,
ηλεκτρικές δυνάμεις,
ηλεκτρικό φορτίο,
ηλεκτρικό πεδίο**



**Ελκτικές και απωστικές
ηλεκτρικές δυνάμεις**



Σίγουρα κάποτε έχει πέσει στην αντίληψή μας η περίεργη συμπεριφορά σωμάτων, όταν πριν έχουν υποβληθεί σε τριβή με κάποιο άλλο σώμα. Για παράδειγμα:

- ▶ Όταν τα μαλλιά μας είναι στεγνά και χτενιζόμαστε, η χτένα τριβείται σ' αυτά και κατόπιν έλκει τρίχες από τα μαλλιά μας.
- ▶ Όταν μεταφέρουμε μια πλαστική σακούλα, αυτή τριβείται πάνω στα ρούχα μας και, μόλις πλησιάζει στο δέρμα μας, έλκει τρίχες από αυτό.

Σχετικά με παρόμοιες παρατηρήσεις, η επιστημονική έρευνα έδειξε ότι:

Όταν δύο σώματα από οποιοδήποτε υλικό τρίβονται μεταξύ τους, μετά έλκει το ένα το άλλο. Επειδή η συμπεριφορά αυτή πρωτοπαρατηρήθηκε στο υλικό ήλεκτρο (=απολιθωμένο ρετσίνη), όταν τριβόταν, γι' αυτό τα σώματα που τρίβονται λέμε ότι **ηλεκτρίζονται** –συμπεριφέρονται δηλαδή όπως το ήλεκτρο όταν τριβεται– και είναι πλέον **ηλεκτρισμένα**.

Η έλξη, όμως, είναι η μία όψη τής συμπεριφοράς των ηλεκτρισμένων σωμάτων, διότι κάθε ηλεκτρισμένο σώμα πάντα έλκει το σώμα με το οποίο ηλεκτρίστηκε (με τριβή). Ωστόσο, προς όλα τα υπόλοιπα ηλεκτρισμένα σώματα δεν εκδηλώνει μόνο ελκτικές δυνάμεις...

Για παράδειγμα, αν τρίψουμε στα μαλλιά μας ένα φουσκωμένο μπαλόνι, βλέπουμε ότι το (ηλεκτρισμένο) μπαλόνι έλκει και ανασηκώνει (ηλεκτρισμένες) τρίχες από αυτά.

Αν όμως τρίψουμε στα μαλλιά μας ένα δεύτερο μπαλόνι, διαπιστώνουμε ότι τα δύο (ηλεκτρισμένα) μπαλόνια απωθούνται.

Δηλαδή:

Ένα ηλεκτρισμένο σώμα έλκει μια ομάδα από τα άλλα ηλεκτρισμένα σώματα, αλλά απωθεί τα υπόλοιπα. Οι ελκτικές ή απωστικές δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρισμένων σωμάτων δρουν (και) από απόσταση και τις λέμε **ηλεκτρικές δυνάμεις**.

Για να ερμηνεύσουμε αυτή τη συμπεριφορά των σωμάτων, θεωρούμε ότι έχουν μια ιδιότητα, που τη λέμε **ηλεκτρικό φορτίο** –ή απλώς **φορτίο**, για συντομία.

Θεωρούμε ότι όσο ισχυρότερες ηλεκτρικές δυνάμεις ασκεί ένα ηλεκτρισμένο σώμα, τόσο περισσότερο ηλεκτρικό φορτίο φέρει (και το αντίστροφο).

Η παρατήρηση ότι τα ηλεκτρισμένα σώματα είτε έλκονται είτε απωθούνται έδωσε στους ερευνητές την ιδέα ότι ανήκουν σε δύο μεγάλες ομάδες.

Ηλεκτρισμένα σώματα από την ίδια ομάδα απωθούνται, ενώ σώματα από διαφορετικές ομάδες έλκονται.

Θεωρούμε ότι τα σώματα τής μιας ομάδας φέρουν ένα διαφορετικό είδος φορτίου από τα σώματα τής άλλης.

Τα δύο είδη ηλεκτρικού φορτίου που υπάρχουν στη φύση ονομάστηκαν **θετικό** κι **αρνητικό**.

Δύο σώματα με ετερόσημα φορτία (ένα με θετικό κι ένα με αρνητικό φορτίο) έλκονται.

Δύο σώματα με ομόσημα φορτία (και τα δύο με θετικό ή και τα δύο με αρνητικό φορτίο) απωθούνται.

Το ηλεκτρικό φορτίο έγινε κατορθωτό να μετρηθεί.

Τη μονάδα μέτρησης τού φορτίου στο S.I. την ονομάσαμε **κουλόμπ (C)**.

Διαπιστώθηκε ότι, το ελάχιστο φορτίο που υπάρχει στη φύση το κατέχουν δύο συστατικά σωματίδια των ατόμων, το πρωτόνιο και το ηλεκτρόνιο. Το πρωτόνιο έχει το μικρότερο θετικό φορτίο ($+1,6 \cdot 10^{-19}$ C) και το ηλεκτρόνιο το μικρότερο αρνητικό φορτίο ($-1,6 \cdot 10^{-19}$ C).

Σε όσα σώματα υπάρχει πλειοψηφία ηλεκτρονίων, υπάρχει και περίσσεια αρνητικού φορτίου. Τέτοια σώματα λέμε ότι **φέρουν αρνητικό φορτίο** ή ότι είναι **αρνητικά φορτισμένα**. (Αυτή είναι η μια ομάδα των ηλεκτρισμένων σωμάτων.)

Σε όσα σώματα υπάρχει πλειοψηφία πρωτονίων, υπάρχει και περίσσεια θετικού φορτίου. Τέτοια σώματα λέμε ότι **φέρουν θετικό φορτίο** ή ότι είναι **θετικά φορτισμένα**. (Αυτή είναι η δεύτερη ομάδα των ηλεκτρισμένων σωμάτων.)

Ο χώρος γύρω από κάθε φορτισμένο σώμα είναι μια περιοχή δράσης ηλεκτρικών δυνάμεων προς όποιο άλλο φορτισμένο σώμα βρεθεί εκεί και τον λέμε **ηλεκτρικό πεδίο**.

Σε όσα σώματα οι πληθυσμοί πρωτονίων και ηλεκτρονίων είναι ίσοι, υπάρχει ισόποσο θετικό και αρνητικό φορτίο (δηλαδή μια ισορροπία φορτίου). Τέτοια σώματα –όταν τα φορτία τους είναι κατανεμημένα ομοιόμορφα– δε συμπεριφέρονται όπως τα ηλεκτρισμένα και τα λέμε **ηλεκτρικά ουδέτερα**.

Όταν ηλεκτρικά ουδέτερα σώματα ηλεκτρίζονται (και αποκτούν φορτίο), αυτό που συμβαίνει στο μικρόκοσμο είναι ότι διαταράσσεται η ισορροπία θετικού και αρνητικού φορτίου, εξαιτίας μετακίνησης **ελεύθερων** ηλεκτρονίων από ένα σώμα σε άλλο.

**Ηλεκτρικοί
αγωγοί/μονωτές**

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

Τα ελεύθερα ηλεκτρόνια παρουσιάζουν όμωσ διαφορετική ευκινήσια 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, ιστοί ζωντανών οργανισμών, χύμα τής Γης, διαλύματα ηλεκτρολυτών, υγρός αέρας και ιονισμένα αέρια.

Σε μια πλαστική σακούλα λοιπόν 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 αγωγίμο μεταλλικό σώμα και κατόπιν, μέσω του αγωγίμου 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 ευκινήσιας των ηλεκτρικών φορτίων): στο γνωστό μας **ηλεκτρικό ρεύμα**.

▶ Οι μεταλλικοί αγωγοί περιέχουν τεράστιο πλήθος από ελεύθερα ηλεκτρόνια (περίπου $10^{23}/\text{cm}^3$), που 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 το σώμα που τα περιέχει 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.

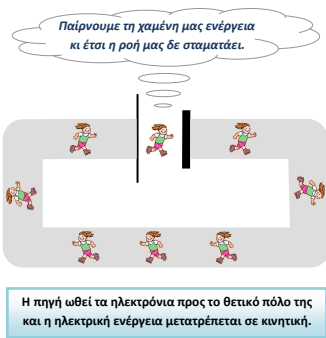


ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΠΗΓΗ - ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΚΥΚΛΩΜΑ

Έχουμε μάθει ότι, όποιο σώμα βρεθεί σε βαρυτικό πεδίο, κατέχει βαρυτική (δυναμική) ενέργεια, εξαιτίας της αλληλεπίδρασής του με το σώμα (ή τα σώματα) που δημιουργούν το πεδίο. Αν το σώμα αφηθεί 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 αλληλεπίδρασής του με το φορτισμένο σώμα (ή τα σώματα) που δημιουργούν το πεδίο. Αν το σώμα αφηθεί 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 τον 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 – φωτιστοσκευαία 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 τού κυκλώματος
- ☑ **ηλεκτρικές πηγές**, που τροφοδοτούν με ηλεκτρική ενέργεια τα ελεύθερα ηλεκτρόνια των αγωγών
- ☑ **ηλεκτρικές συσκευές**, που λειτουργούν χρησιμοποιώντας ηλεκτρική ενέργεια.

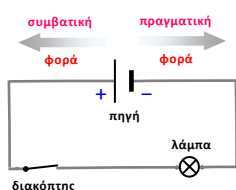
Όταν τα παραπάνω στοιχεία συνδέονται ώστε να σχηματίζεται κλειστή αγωγίμη διαδρομή, τότε το κύκλωμα διαρρέεται από ρεύμα (**κλειστό κύκλωμα**).

Αν υπάρχει διακοπή σε κάποιο σημείο τού κυκλώματος, η ροή των ηλεκτρονίων σταματά. Με τη χρήση **διακοπών** πετυχαίνουμε τη διακοπή τού ρεύματος όποτε το επιθυμούμε.

Σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα:

- ▶ οι **ηλεκτρικές συσκευές** και οι **αγωγοί σύνδεσής** 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**.

Φορά ηλεκτρικού ρεύματος



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 τού ρεύματος.

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

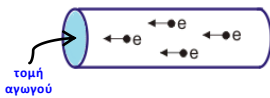
Αυτή η ανακρίβεια στο σχεδιασμό διατηρείται από τότε που πιστευόταν ότι στους αγωγούς ηλεκτρικό ρεύμα συνιστά η προσανατολισμένη κίνηση θετικών φορτίων (που θα ήταν αντίθετη των ηλεκτρονίων).

Όμως, στη μελέτη των περισσότερων ηλεκτρικών φαινομένων η φορά τού 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 κουλόμπ (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.

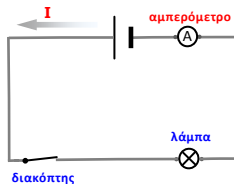
Για να υπολογίσουμε την ένταση ρεύματος σε μια τομή αγωγού, αν γνωρίζουμε ότι είναι σταθερή, διαιρούμε μια ποσότητα φορτίου q που περνά από κει δια τον αντίστοιχο χρόνο t. Έτσι βρίσκουμε πόσα C φορτίου περνούν ανά s από την τομή τού αγωγού.

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

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

☞ 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**).



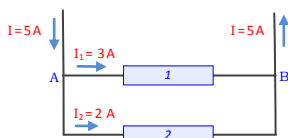
Μπορούμε να μετρήσουμε (εκτός από το να υπολογίσουμε) την ένταση ρεύματος σε μια τομή αγωγού, αν τον διακόψουμε εκεί και παρεμβάλλουμε κατάλληλο όργανο, το **αμπερόμετρο**.

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.

➔ Μέσα σε χρόνο t ένα πλήθος ηλεκτρονίων, με συνολικό φορτίο $q_{πηγ}$, περνά από την πηγή και ανεφοδιάζεται με ένα συνολικό ποσό ηλεκτρικής ενέργειας $U_{πηγ}$.

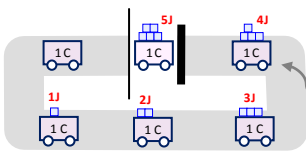
Αν διαιρέσουμε την ενέργεια $U_{πηγ}$ με το φορτίο $q_{πηγ}$, το πηλίκο σημαίνει πόσα J (τζάουλ) ενέργειας προσφέρει η πηγή σε ηλεκτρόνια με συνολικό φορτίο 1 C (κουλόμπ).

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

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

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

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



Στο S.I. μονάδα μέτρησης της 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.]

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.

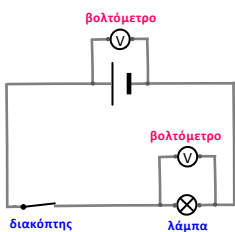
Το πηλίκο αυτό το λέμε **ηλεκτρική τάση καταναλωτή**.

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

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

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

Για παράδειγμα: «Η ηλεκτρική τάση στα άκρα 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

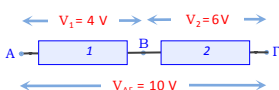
➔ Σε τμήμα κλειστού κυκλώματος χωρίς διακλαδώσεις

μετράμε και βρίσκουμε πάντα:

τάση τμήματος = 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^{ος} κανόνα του Κίρχοφ (Kirchhoff)**.



$$V_{ΑΓ} = V_1 + V_2$$

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** ($\frac{V}{A}$), 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, ακόμα 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

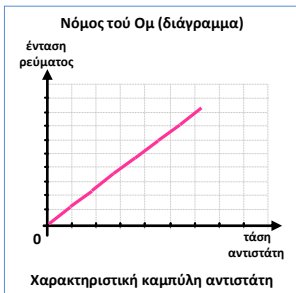
$$\frac{V}{I} = R \text{ (σταθερό)} \quad \text{ή, συνηθέστερα,} \quad I = \frac{V}{R} \quad (\text{με } R: \text{σταθερό})$$

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 υπακούουν 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*».





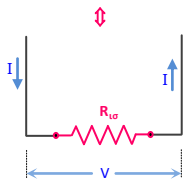
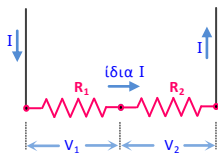
ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ ΑΝΤΙΣΤΑΤΩΝ

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 αντιστατών 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 έναν μόνο, ισοδύναμο αντίστατη (αν τον διαθέταμε). Την αντίστασή του τη λέμε ισοδύναμη αντίσταση του συστήματος των συνδεδεμένων αντιστατών. Ειδικότερα:

Χαρακτηριστικά σύνδεσης αντιστατών 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 αντιστατών.

Τόση τάση θα δημιουργούσε η πηγή και στον ισοδύναμο αντίστατη, 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 του συστήματος φτάνει ρεύμα, έντασης I , που διαρρέει διαδοχικά και τους δύο αντιστάτες.

Δηλαδή, οι δύο αντιστάτες έχουν ίδια ένταση I ρεύματος. Τόση είναι και η ένταση του ρεύματος που θα διέρρε τον ισοδύναμο αντίστατη.

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

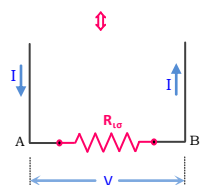
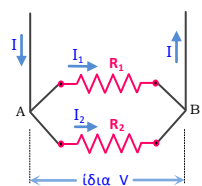
Ομοίως αποδεικνύεται και για περισσότερους από δύο αντιστάτες, οπότε:

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

$$R_{\text{ισ}} = R_1 + R_2 + \dots$$

{ Δηλαδή, ένα σύστημα αντιστατών συνδεδεμένων σε σειρά ισοδυναμεί με έναν αντίστατη αυξημένης αντίστασης, σε σχέση με τις αντιστάσεις που διαθέτουμε.

Χαρακτηριστικά σύνδεσης αντιστατών παράλληλα



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

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

☑ Προσφέρουμε τάση V στο σύστημα των αντιστατών.

Οι αντιστάτες έχουν κοινά άκρα (A, B) και -αποδεικνύεται ότι- η προσφερόμενη τάση V είναι ίδια και για τους δύο. Τόση τάση θα δημιουργούσε η πηγή και στον ισοδύναμο αντίστατη, που -αν είχαμε- θα βάζαμε στη θέση τους.

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

Τόσο ρεύμα θα διέρρε και τον ισοδύναμο αντίστατη.

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 του Ohm, η τάση που προσφέρεται σε κάθε αντίστατη είναι ανάλογη με την ένταση του ρεύματος που τον διαρρέει, οπότε $V = I_1 R_1$ και $V = I_2 R_2$, ενώ για τον ισοδύναμο αντίστατη θα ίσχυε $V = I R_{\text{ισ}}$

-δηλαδή θα έπρεπε να έχει αντίσταση $R_{\text{ισ}} = \frac{V}{I} = \frac{V}{I_1 + I_2} = \frac{V}{\frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2}} = \frac{V}{V \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}}$ 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** αντιστατών συνδεδεμένων παράλληλα ισχύει

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

{ Δηλαδή, ένα σύστημα αντιστατών συνδεδεμένων παράλληλα ισοδυναμεί με έναν αντίστατη μειωμένης αντίστασης, σε σχέση με 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 της ΔΕΗ,) κι ανεξάρτητα η μία από την άλλη.

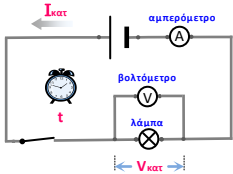
Μπορούμε, έτσι, να ανοιγοκλείνουμε το διακόπτη κάθε συσκευής, θέτοντας την σε λειτουργία, χωρίς απαραίτητα να λειτουργούν και οι άλλες. Επίσης, αν συμβεί βλάβη ή καταστροφή μιας συσκευής του κυκλώματος, αλλά διακόπτεται σ' αυτήν το ρεύμα και οι άλλες συσκευές μένουν ανεπηρέαστες.



ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ & ΙΣΧΥΣ

Ηλεκτρική ενέργεια που παρέχει ηλεκτρική πηγή ή χρησιμοποιεί καταναλωτής

Με βολτόμετρο, αμπερόμετρο, χρονόμετρο και την εξίσωση $U_{\text{κατ}} = V_{\text{κατ}} I_{\text{κατ}} t$ 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 τής 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, η **βατώρα (Wh)**.

$$1 \text{ Wh} = 1 \text{ W} \cdot 1 \text{ h} = 1 \text{ W} \cdot 3600 \text{ s} = 3.600 \text{ W s} \quad \text{και επειδή } 1 \text{ W} \cdot 1 \text{ s} = 1 \text{ J}, \text{ τελικά } 1 \text{ Wh} = 3.600 \text{ J}.$$

Η κατανάλωση ενέργειας των ηλεκτρικών συσκευών στους λογαριασμούς τής 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 κι ασκούνται 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 εκμεταλλευόμαστε στην παραγωγή χημικών στοιχείων (π.χ. υδρογόνου).

Φαινόμενο Τζάουλ

▶ Αναλυτικότερα, εδώ θα ασχοληθούμε με τα θερμικά αποτελέσματα τού 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 τού ηλεκτρικού πεδίου ωθεί τα ηλεκτρόνια προς μια ορισμένη κατεύθυνση (ηλεκτρικό ρεύμα) και έτσι η ηλεκτρική ενέργεια τής πηγής μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια των ηλεκτρονίων.

Τα ηλεκτρόνια, όμως, δεν κινούνται ανεμπόδιστα μέσα στον αγωγό, αλλά συγκρούονται με τα ιόντα τού 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 τού μετάλλου, που –αθροιστικά– αποτελούν τη **θερμική ενέργεια** τού αγωγού.

Η αύξηση τής θερμικής ενέργειας τού αγωγού γίνεται σε μας 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) ισοροπία**.

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 $U_{αντ} = I_{αντ}^2 R t$ κι εφαρμόζοντας την αρχή διατήρησης τής ενέργειας μπορούμε να πούμε ότι:

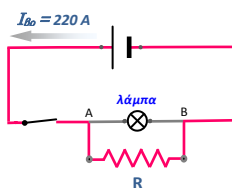
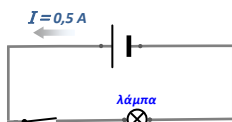
Η θερμότητα που ελευθερώνει στο περιβάλλον ένας αντιστάτης είναι $Q = I_{αντ}^2 R t$.

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

Εφαρμογές τού 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 των αγωγών και συσκευών, η οποία μπορεί να οδηγήσει στην καταστροφή τους.



Η αντίσταση R είναι πολύ μικρότερη από την αντίσταση τού 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 τού κυκλώματος που βρίσκεται μεταξύ τής 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 $V_{πηγ} = 220 V$.

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

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

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

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

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



Αυτόματη και τηκόμενη ασφάλεια

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

Στο εμπόριο κυκλοφορούν συγκεκριμένες τιμές ασφαλειών. Έτσι, για την εκλογή τής κατάλληλης ασφάλειας που θα προστατέψει μια συσκευή, υπολογίζουμε την **ένταση I_k του ρεύματος κανονικής λειτουργίας** της κ_ι, από τις διαθέσιμες ασφάλειες, επιλέγουμε εκείνη με την αμέσως μεγαλύτερη ένδειξη από αυτήν που υπολογίσαμε.

❓ Ας δούμε πώς γίνεται ο υπολογισμός αυτός.

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

Θα εφαρμόσουμε τη διατήρηση της ενέργειας σε κλειστό κύκλωμα που περιλαμβάνει πηγή και συνδεδεμένους αντιστάτες (ή συσκευές-καταναλωτές που αποτελούνται μόνο από αντιστάτες, π.χ. ηλεκτρική σόμπα).

Μια ηλεκτρική πηγή –όπως είπαμε– παρουσιάζει αντίσταση r στη διέλευση του ρεύματος, οπότε στο κύκλωμα, εκτός από τις αντιστάσεις των αντιστατών που συνδέσαμε, έχουμε και την εσωτερική αντίσταση της πηγής.

Σε κλειστό κύκλωμα η τάση $V_{πηγ}$ στους πόλους της πηγής είναι η τάση που προσφέρει στους αντιστάτες που συνδέονται απευθείας (παράλληλα) σ' αυτήν.

Εκφράζει τα τζάουλ ηλεκτρικής ενέργειας που κάθε κουλόμπ φορτίου προσφέρει κάθε τέτοιο καταναλωτή.

❓ Ας δούμε πόση είναι αυτή η τάση.

Νόμος του Ομ για κλειστό κύκλωμα μόνο με αντιστάτες

► Αν η πηγή έχει ηλεκτρεγερτική δύναμη $\mathcal{E}_{πηγ}$ και διαρρέεται από ρεύμα έντασης $I_{πηγ}$, τότε σε χρόνο t προσφέρει ενέργεια: $U_{πηγ} = \mathcal{E}_{πηγ} I_{πηγ} t$, που καταναλώνεται

στους συνδεδεμένους αντιστάτες: $U_{αντ} = I_{πηγ}^2 R t$

και στο εσωτερικό της πηγής: $U_r = I_{πηγ}^2 r t$

Από την αρχή διατήρησης της ενέργειας $U_{πηγ} = U_{αντ} + U_r$

$$\text{ή } \mathcal{E}_{πηγ} I_{πηγ} t = I_{πηγ}^2 R t + I_{πηγ}^2 r t$$

$$\text{ή } \mathcal{E}_{πηγ} = I_{πηγ} R + I_{πηγ} r$$

$$\text{ή } \mathcal{E}_{πηγ} = I_{πηγ} (R + r)$$

$$\text{ή } \mathcal{E}_{πηγ} = I_{πηγ} R_{ολ}$$

$$\text{ή } I_{πηγ} = \frac{\mathcal{E}_{πηγ}}{R_{ολ}}$$

Η τελευταία εξίσωση είναι γνωστή ως **νόμος του Ομ για κλειστό κύκλωμα μόνο με αντιστάτες** και δίνει την ένταση του ρεύματος που διαρρέει την πηγή.

Τάση ηλεκτρικής πηγής

► Επίσης, από την παραπάνω εξίσωση $\mathcal{E}_{πηγ} = I_{πηγ} R + I_{πηγ} r$

$$\text{επειδή } I_{πηγ} R = V_{πηγ}$$

$$\text{παίρνουμε } \mathcal{E}_{πηγ} = V_{πηγ} + I_{πηγ} r$$

Από την τελευταία εξίσωση υπολογίζουμε την τάση $V_{πηγ}$ που θα μετρούσαμε σε μια πηγή.

Η τάση αυτή ταυτίζεται με την ηλεκτρεγερτική δύναμη της πηγής (δηλαδή $\mathcal{E}_{πηγ} = V_{πηγ}$), **μόνο αν**

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

Ρεύμα βραχυκύκλωσης ηλεκτρικής πηγής

► Λέμε ότι **βραχυκυκλώνουμε μια ηλεκτρική πηγή**, όταν συνδέουμε τους πόλους της με αγωγό αμελητέας αντίστασης ($R = 0$).

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

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

και είναι το μέγιστο που μπορεί να τη διαρρέει.

Τη γραφική παράσταση της έντασης του ρεύματος που διαρρέει μια ηλεκτρική πηγή ως συνάρτησης της τάσης της τη λέμε **χαρακτηριστική καμπύλη της πηγής** και είναι η ευθεία στο διπλανό σχήμα.

