

Κεφάλαιο 6

ΕΙΔΙΚΑ ΘΕΜΑΤΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Ενότητα 6.1

Ανόρθωση του εναλλασσόμενου ρεύματος

“Διδακτικοί στόχοι”

Με τη μελέτη της ενότητας αυτής οι μαθητές θα είναι σε θέση:

- *Να περιγράφουν τη λειτουργία απλών μονοφασικών και τριφασικών ανορθωτικών διατάξεων.*
- *Να περιγράφουν τα μέρη από τα οποία αποτελείται ένα απλό τροφοδοτικό.*

6.1.1 Εισαγωγή – Ανορθωτές

Για την παραγωγή, μεταφορά και διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας στους διάφορους καταναλωτές χρησιμοποιείται, όπως είναι γνωστό, εναλλασσόμενο ρεύμα. Οι περισσότερες συσκευές που καταναλώνουν ηλεκτρική ενέργεια (φωτιστικά σώματα, ηλεκτρικοί κινητήρες, οικιακές συσκευές, κτλ.) λειτουργούν με εναλλασσόμενο ρεύμα.

Υπάρχουν όμως και σημαντικές εφαρμογές του ηλεκτρισμού που λειτουργούν με συνεχές ρεύμα, όπως η ηλεκτροδύση, διάφορες ηλεκτρικές συσκευές, ειδικοί ηλεκτρικοί κινητήρες, κ.ά. Για την τροφοδοσία αυτών των εφαρμογών μπορούν να χρησιμοποιηθούν γεννήτριες συνεχούς ρεύματος, ηλεκτρικά στοιχεία και συσσωρευτές, το μεγαλύτερο όμως μέρος της απαιτούμενης ενέργειας με τη μορφή συνεχούς ρεύματος, παρέχεται από ανορθωτές.

Οι ανορθωτές είναι το κύριο στοιχείο των διατάξεων που μετατρέπουν το εναλλασσόμενο ρεύμα σε συνεχές. Η χρήση τους επιβάλλεται για λόγους οικονομικούς και τεχνικούς, γιατί, τις περισσότερες φορές, συμφέρει να χρησιμοποιηθεί το υπάρχον δίκτυο εναλλασσόμενου ρεύματος, παρά να εγκατασταθούν γεννήτριες ή άλλες συσκευές παραγωγής συνεχούς ρεύματος.

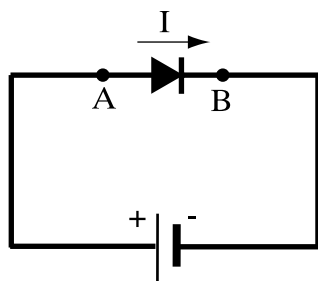
Ως ανορθωτές χρησιμοποιούνται διάφορα ηλεκτρονικά στοιχεία: λυχνίες κενού, λυχνίες αερίων, δίοδοι ημιαγωγών, θυρίστορ, κτλ.

Παλαιότερα χρησιμοποιούνταν πολύ οι λυχνίες. Σήμερα χρησιμοποιούνται, σχεδόν αποκλειστικά, δίοδοι και θυρίστορ, που κατασκευάζονται από ημιαγώγιμα υλικά (κυρίως πυρίτιο). Σε ειδικές εφαρμογές, όπου απαιτούνται υψηλές τάσεις και μεταφέρονται μεγάλες ποσότητες ηλεκτρικής ενέργειας, χρησιμοποιούνται ηλεκτρονικές λυχνίες, π.χ. λυχνίες ατμών υδραργύρου.

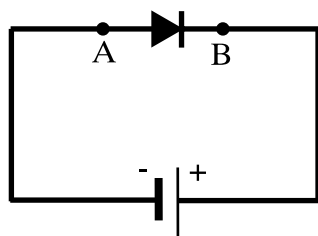
Στην ενότητα αυτή θα αναφερθούμε μόνον στις **διόδους ημιαγωγών**.

Η δίοδος ημιαγωγών είναι ένα στοιχείο που κατασκευάζεται συνήθως από δύο στρώματα πυριτίου, τα οποία έχουν προσμίξεις και άλλων ατόμων. Στο ένα στρώμα, λόγω των προσμίξεων, έχει δημιουργηθεί περίσσεια ελεύθερων ηλεκτρονίων, ενώ στο άλλο στρώμα, που βρίσκεται σε επαφή με το πρώτο, έλλειμμα ηλεκτρονίων. Μεταξύ των δύο στρωμάτων, σχηματίζεται μια **περιοχή φραγμού**, όπως ονομάζεται, στην οποία οφείλεται η χαρακτηριστική ιδιότητα της διόδου:

□ Η διόδος συμπεριφέρεται διαφορετικά, ανάλογα με τη φορά διέλευσης του ηλεκτρικού ρεύματος.



Αν $V_A > V_B$ η διόδος άγει



Αν $V_A < V_B$ η διόδος δεν άγει

Σχήμα 6.1.1: Συμβολική παράσταση διόδου και συνθήκες λειτουργίας της

Ο ακροδέκτης Α της διόδου ονομάζεται **άνοδος** και ο ακροδέκτης Β **κάθοδος** της διόδου (Σχ. 6.1.1).

Αν η τάση (διαφορά δυναμικού) που εφαρμόζεται στα άκρα της διόδου έχει φορά από Α προς Β ($U_A > U_B$) **η διόδος άγει**, αφήνει δηλαδή το ρεύμα να περνά.

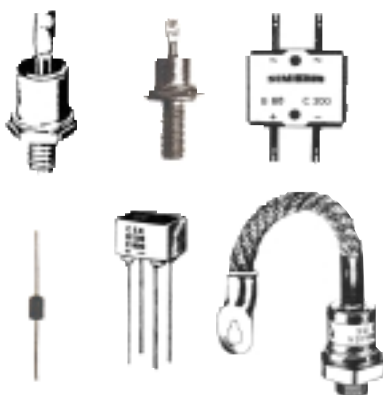
Αν η τάση έχει την αντίθετη φορά ($U_A < U_B$) η διόδος δεν άγει, δεν αφήνει δηλαδή το ρεύμα να περνά. (Στην πραγματικότητα περνά ένα πολύ μικρό ρεύμα). Η διόδος δηλαδή συμπεριφέρεται ως μονωτής.

Η τάση κατά την οποία άγει η διόδος ονομάζεται **ορθή** τάση και η τάση αντίθετης φοράς, **ανάστροφη** τάση.

Αν η ανάστροφη τάση ξεπεράσει μια τιμή, χαρακτηριστική για την κάθε διόδο, τότε η αγωγιμότητά της αυξάνεται απότομα και η διόδος διασπάται, με κίνδυνο να καταστραφεί από υπερένταση.

Οι διόδοι κατασκευάζονται σε διάφορα μεγέθη, ανάλογα με το ρεύμα λειτουργίας τους κατά την ορθή φορά, το οποίο μπορεί να είναι μερικά mA, έως μερικές δεκάδες A. Άλλο βασικό χαρακτηριστικό της διόδου είναι η μέγιστη ανάστροφη τάση που μπορεί να εφαρμοστεί στα άκρα της, χωρίς να διασπαστεί.

Όταν το ρεύμα λειτουργίας της διόδου είναι σημαντικό, τότε η διάδος τοποθετείται πάνω σε μεταλλικό πλαίσιο με περυσία ψύξης, για να διοχετεύεται η αναπτυσσόμενη θερμότητα προς το περιβάλλον.



Σχήμα 6.1.2: Διάφοροι τύποι διόδων ημιαγωγών

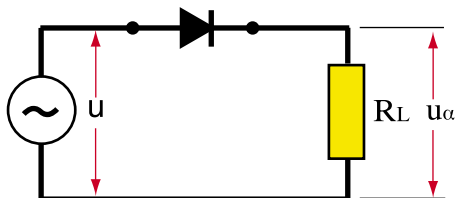
6.1.2 Μονοφασικά κυκλώματα ανόρθωσης

Τα κυκλώματα ανόρθωσης του μονοφασικού εναλλασσόμενου ρεύματος διακρίνονται σε κυκλώματα απλής και πλήρους ανόρθωσης.

Στην απλή ανόρθωση αποκόπτεται η αρνητική ημιπερίοδος του εναλλασσόμενου ρεύματος, στην πλήρη ανόρθωση, η αρνητική ημιπερίοδος μετατρέπεται σε θετική ανορθωμένη τάση.

α) Κύκλωμα απλής ανόρθωσης.

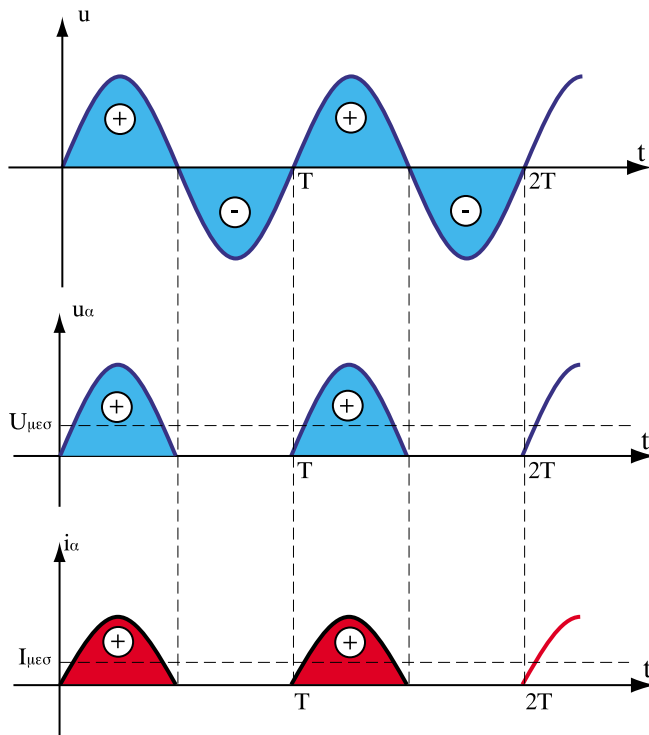
Στο κύκλωμα της απλής ανόρθωσης, μια διάδος συνδέεται σε σειρά με καταναλωτή (ηλεκτρικό φορτίο) που έχει αντίσταση R_L (Σχ.6.1.3.)



Σχήμα 6.1.3: Κύκλωμα απλής ανόρθωσης

Η διόδος άγει μόνο, όταν υπάρχει στα άκρα της ορθή τάση. Επιτρέπει έτσι στο ρεύμα να διαρρέει το κύκλωμα μόνο κατά τη διάρκεια της θετικής ημιπεριόδου της εναλλασσόμενης τάσης. Κατά τη διάρκεια της αρνητικής ημιπεριόδου, στα άκρα της διόδου εφαρμόζεται ανάστροφη τάση και δεν διέρχεται ρεύμα.

Στο Σχ.6.1.4. φαίνονται οι κυματομορφές της τάσης και του ρεύματος που διαρρέει το φορτίο R_L .



Σχήμα 6.1.4: Κυματομορφές τάσης και ρεύματος στην απλή ανόρθωση του Σχ. 6.1.2., σε σχέση με την ημιτονοειδή τάση της πηγής

Το ανορθωμένο ρεύμα που παράγεται μ' αυτό τον τρόπο έχει μεν πάντοτε την ίδια φορά, δεν είναι όμως συνεχές. Αν συνδεθεί ένα αμπερόμετρο κατασκευασμένο να μετρά το συνεχές ρεύμα, θα πρέπει να δείχνει διαφορετική ένδειξη κάθε χρονική στιγμή, από μία μέγιστη μέχρι μία μηδενική. Δηλαδή, η βελόνα του οργάνου θα πρέπει να πάλλεται συνεχώς, ή τα ψηφία του, αν είναι ψηφιακό, να αλλάζουν συνεχώς τιμές.

Στην πραγματικότητα οι ενδείξεις των οργάνων (αμπερομέτρων, βολτομέτρων) δεν παρακολουθούν τις ταχύτατες μεταβολές της κυματομορφής του ανορθωμένου ρεύματος, αλλά λόγω της αδράνειας και του μηχανισμού απόσβεσης των ταλαντώσεων που διαθέτουν, οι δείκτες τους ισορροπούν σε μια θέση, που αντιστοιχεί στη **μέση τιμή** των ανορθωμένων μεγεθών (τάσης, έντασης).

Στο Σχ.6.1.4. έχει σημειωθεί η μέση τιμή της ανορθωμένης τάσης $V_{\mu\epsilon\sigma}$ και του ανορθωμένου ρεύματος $I_{\mu\epsilon\sigma}$

Η ευθεία της μέσης τιμής έχει την εξής ιδιότητα: Το εμβαδόν που περικλείεται από την ευθεία της μέσης τιμής και τα σημεία της καμπύλης της ανορθωμένης κυματομορφής, που είναι πάνω από την ευθεία αυτή, είναι ίσο με το εμβαδόν που περικλείεται από την ευθεία της μέσης τιμής και τα σημεία της καμπύλης που είναι κάτω από την ευθεία της μέσης τιμής.

Η μέση τιμή της ανορθωμένης τάσης στην **απλή ανόρθωση**, αποδεικνύεται ότι δίνεται από τη σχέση:

$$U_{\mu\epsilon\sigma} = 0,45 U \quad \text{όπου: } U_{\mu\epsilon\sigma} \text{ η μέση τιμή της ανορθωμένης τάσης}$$

$$U \text{ η ενεργός τιμή της τάσης του}$$

$$\text{εναλλασσόμενου ρεύματος.}$$

Η **ενεργός τιμή της ανορθωμένης τάσης** είναι:

$$U_{\epsilon\nu} = 0,5U \quad \text{όπου: } U_{\epsilon\nu} \text{ η ενεργός τιμή της ανορθωμένης τάσης}$$

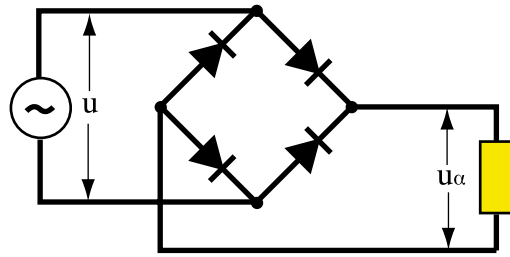
$$U \text{ η ενεργός τιμή της τάσης του}$$

$$\text{εναλλασσόμενου ρεύματος.}$$

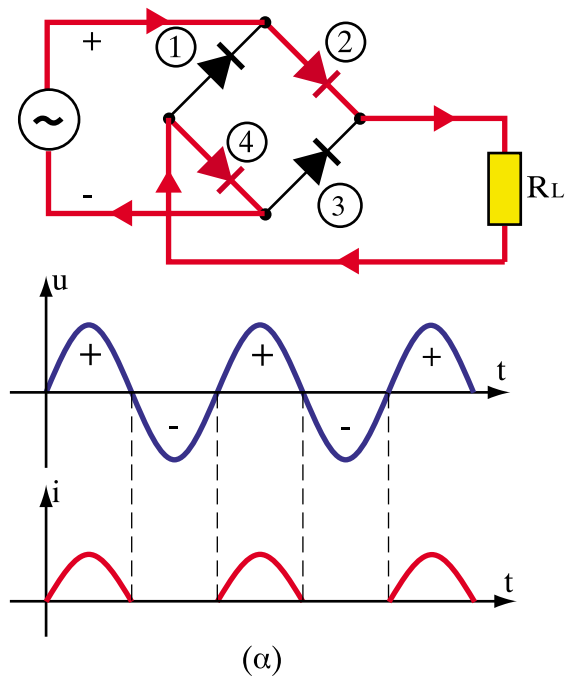
Η τελευταία σχέση είναι προφανής, αφού κατά την ανόρθωση έχουν αποκοπεί οι αρνητικές ημιπερίοδοι, δηλαδή οι μισές ημιπερίοδοι του Ε.Ρ.

β) Κύκλωμα πλήρους ανόρθωσης με γέφυρα.

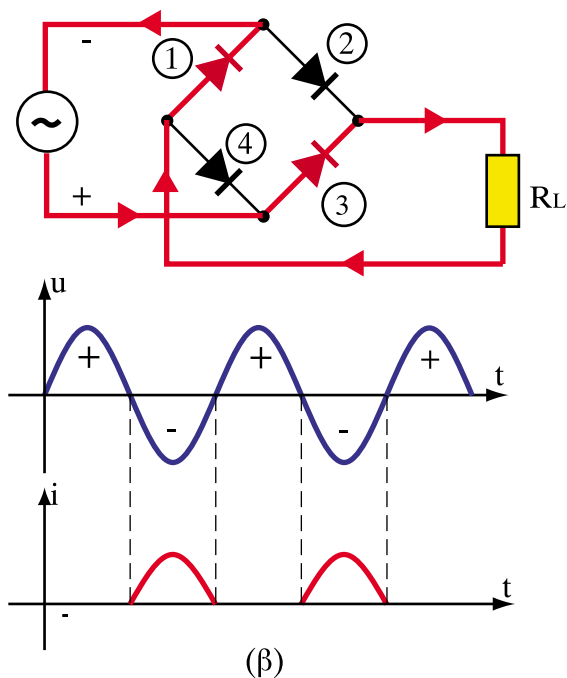
Στο κύκλωμα πλήρους ανόρθωσης χρησιμοποιείται γέφυρα με 4 διόδους που συνδέονται, όπως στο Σχ. 6.1.5.



Σχ. 6.1.5.: Κύκλωμα πλήρους ανόρθωσης με γέφυρα

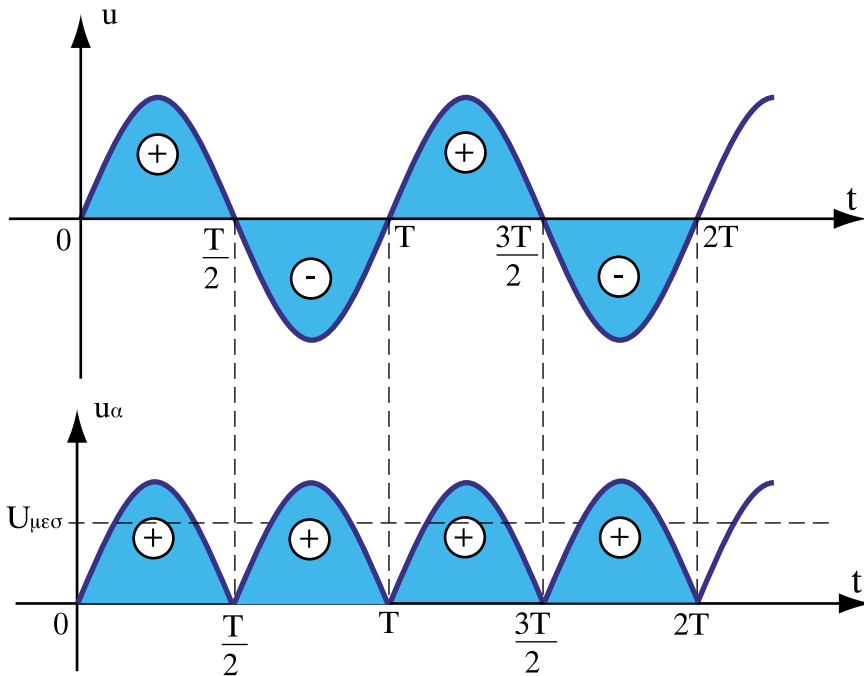


Σχήμα 6.1.6.(α): Κατά τη διάρκεια της θετικής ημιπεριόδου του Ε.Ρ. στα άκρα των διόδων 2 και 4 εφαρμόζεται ορθή τάση, ενώ στα άκρα των διόδων 1 και 3 ανάστροφη τάση. Το ρεύμα ακολουθεί τη διαδρομή που σημειώνεται στο σχήμα



Σχήμα 6.1.6.(β): Κατά τη διάρκεια της αρνητικής ημιπεριόδου του Ε.Ρ. στα άκρα των διόδων 1 και 3 εφαρμόζεται ορθή τάση, ενώ στα άκρα των διόδων 2 και 4 ανάστροφη. Το ρεύμα ακολουθεί τη διαδρομή που σημειώνεται στο σχήμα

Το ωμικό φορτίο R_L διαρρέεται από ρεύμα ίδιας φοράς και κατά τις δύο ημιπεριόδους της εναλλασσόμενης τάσης U . Οι κυματομορφές της τάσης στην πλήρη ανόρθωση φαίνονται στο Σχ. 6.1.7.



Σχήμα 6.1.7: Κυματομορφές της τάσης στην πλήρη ανόρθωση

Η μέση τιμή της ανορθωμένης τάσης στην πλήρη ανόρθωση δίνεται από τη σχέση:

$$U_{\text{μεσ}} = 0,9 U \quad \text{όπου } U_{\text{μεσ}} \text{ η μέση τιμή της ανορθωμένης τάσης}$$

U η ενεργός τιμή της τάσης του εναλλασσόμενου ρεύματος.

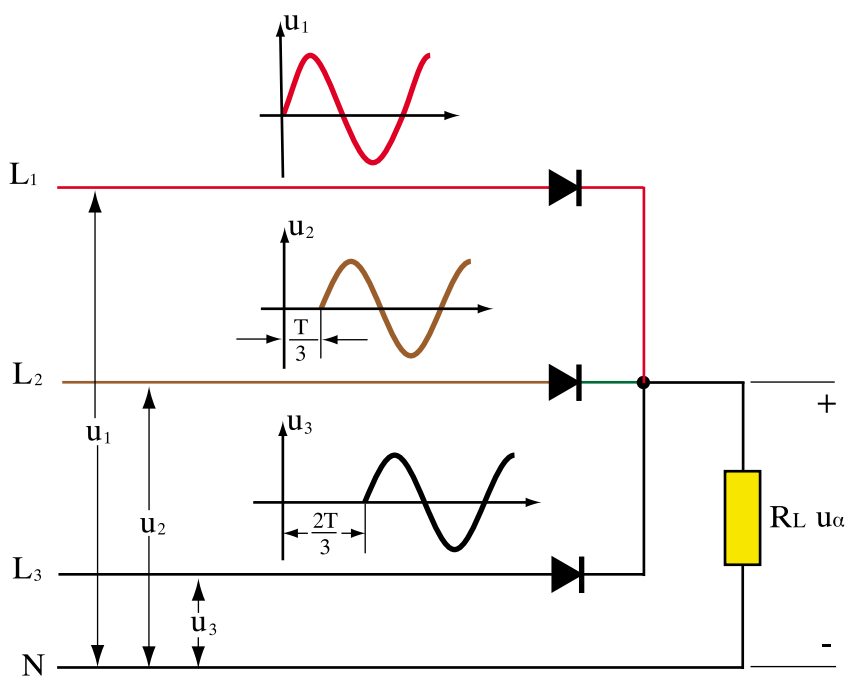
Η ενεργός τιμή του πλήρως ανορθωμένου ρεύματος $U_{\text{εν}}$ είναι προφανώς ίση με την ενεργό τιμή του εναλλασσόμενου ρεύματος U .

$$U_{\text{εν}} = U$$

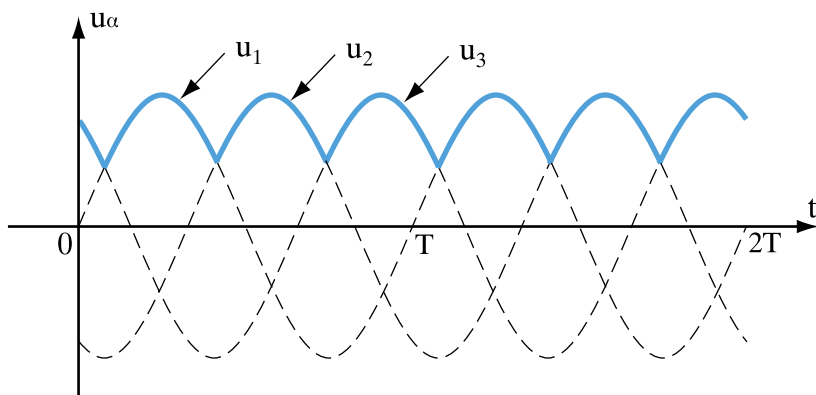
6.1.3 Τριφασικά κυκλώματα ανόρθωσης

α) Κύκλωμα απλής ανόρθωσης

Στο Σχ. 6.1.3.α παρουσιάζεται ένα κύκλωμα απλής τριφασικής ανόρθωσης, το οποίο τροφοδοτείται από ένα τριφασικό δίκτυο 4 αγωγών (τρεις φάσεις L_1, L_2, L_3 και ο ουδέτερος N). Η στιγμιαία τάση u_α στα άκρα του ωμικού φορτίου R_L προκύπτει από τις θετικές ημιπεριόδους καθεμιάς από τις 3 φάσεις (Σχ.6.1.8.).



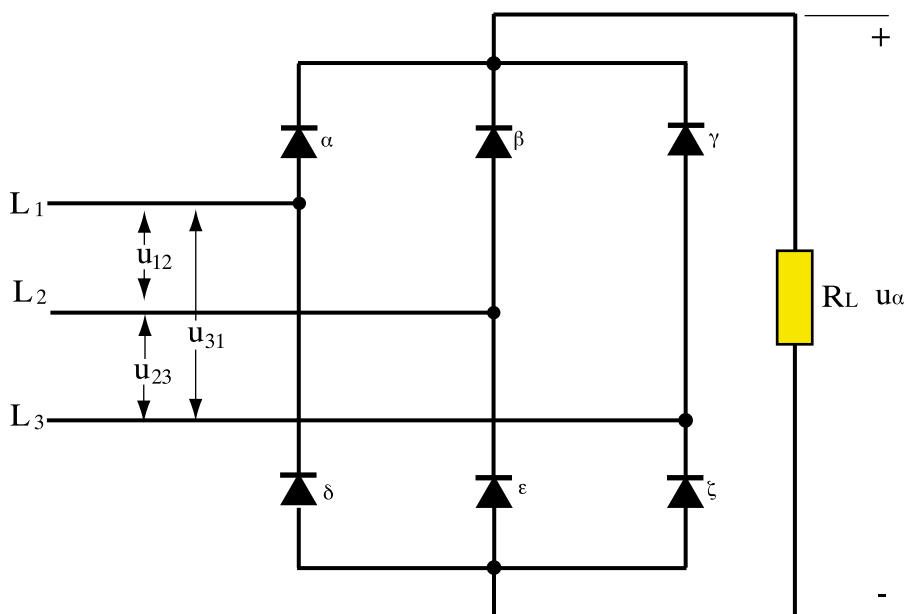
Σχήμα 6.1.8: Κύκλωμα απλής τριφασικής ανόρθωσης



Σχήμα 6.1.9: Η κυματομορφή της ανορθωμένης τάσεως προκύπτει από τις κυματομορφές των 3 θετικών ημιπεριόδων. Η ανορθωμένη τάση παρουσιάζει 3 κυματούσεις ανά περίοδο T

β) Κύκλωμα πλήρους ανόρθωσης

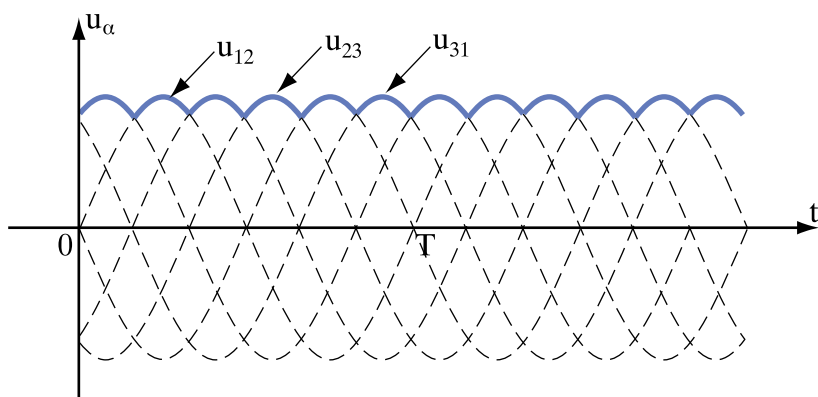
Στο Σχ.6.1.10. παρουσιάζεται μια τριφασική γέφυρα η οποία κάνει πλήρη ανόρθωση του τριφασικού ρεύματος.



Σχήμα 6.1.10: Τριφασική γέφυρα ανόρθωσης

Στα άκρα της γέφυρας εφαρμόζεται η πολική τάση του δικτύου. Καθώς εναλλάσσεται η πολικότητα των πολικών τάσεων U_{12} , U_{23} , U_{31} , που συνδέονται στη γέφυρα, κάθε χρονική στιγμή 3 από τις 6 διόδους αποκτούν ορθή τάση και οι άλλες 3 ανάστροφη, με αποτέλεσμα να εξασφαλίζεται συνεχής ροή ρεύματος ίδιας φοράς στο φορτίο R_L . Για παράδειγμα μια χρονική στιγμή μπορούν να άγουν οι διόδους α, ε, ζ και να είναι αποκομμένες οι δ, β, γ. Σε άλλη χρονική στιγμή άγει η ζ, α, β και είναι αποκομμένες οι γ, δ, ε, κ.ο.κ (Σχ. 6.1.10).

Στην πλήρη τριφασική ανόρθωση οι αρνητικές ημιπεριόδους των πολικών τάσεων U_{12}, U_{23}, U_{31} συνεισφέρουν και αυτές στην ανορθωμένη τάση. (Σχ. 6.1.11).



Σχήμα 6.1.11: Η ανορθωμένη τάση u_α της τριφασικής γέφυρας προκύπτει από τις τιμές των πλήρως ανορθωμένων κυματομορφών των 3 πολικών τάσεων u_{12} , u_{23} , u_{31} . Η ανορθωμένη τάση της γέφυρας παρουσιάζει 6 κυματούσεις ανά περίοδο T

6.1.4. Εξομάλυνση και σταθεροποίηση της ανορθωμένης τάσης

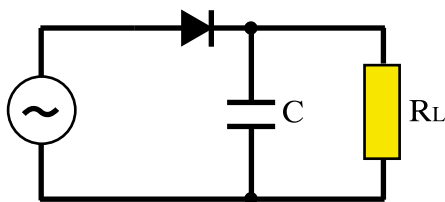
Το ανορθωμένο ρεύμα και η ανορθωμένη τάση που παράγεται από τις ανορθωτικές διατάξεις, που αναφέρθηκαν στις προηγούμενες παραγράφους (§ 6.1.2 και § 6.1.3), έχουν μεν την ίδια φορά δεν είναι όμως συνεχή.

Παρουσιάζουν μια **κυμάτωση** λιγότερο ή περισσότερο έντονη ανάλογα με τον τύπο της ανορθωτικής διάταξης που χρησιμοποιήθηκε (μονοφασική, τριφασική, απλή, πλήρης).

Για να λειτουργούν σωστά οι περισσότερες συσκευές που τροφοδοτούνται με ανορθωμένο ρεύμα, απαιτείται το ανορθωμένο ρεύμα και η τάση να **εξομαλυνθούν**, να αποκτήσουν δηλαδή κατά το δυνατόν τη μορφή του συνεχούς ρεύματος (ευθεία γραμμή στο διάγραμμα $u - t$ ή $i - t$).

Η **εξομάλυνση** αυτή επιτυγχάνεται με κατάλληλα **φίλτρα** τα οποία συνδέονται στο κύκλωμα μετά την ανορθωτική διάταξη.

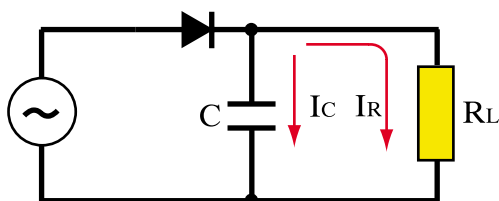
Η πιο απλή τεχνική φιλτραρίσματος είναι να συνδεθεί παράλληλα με το φορτίο R_L ένας πυκνωτής. (Σχ.6.1.12).



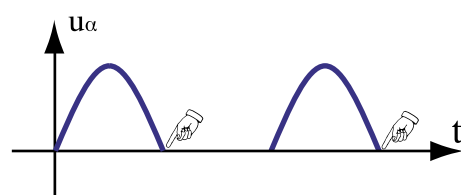
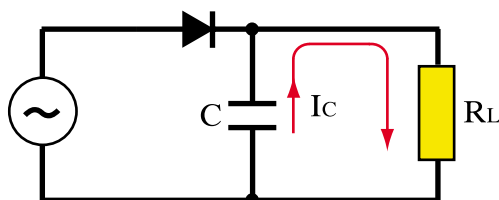
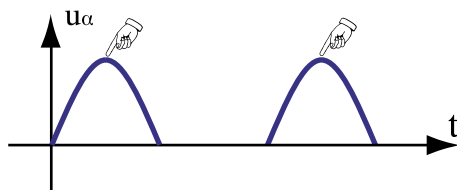
Σχήμα 6.1.12: Φίλτρο πυκνωτή C συνδεδεμένο παράλληλα με το φορτίο L_C

Η λειτουργία του πυκνωτή είναι η εξής:

Όταν η ανορθωμένη τάση παίρνει τις υψηλότερες τιμές της (στις κορυφές της κυματομορφής), ο πυκνωτής φορτίζεται (Σχ.6.1.13 (α)).



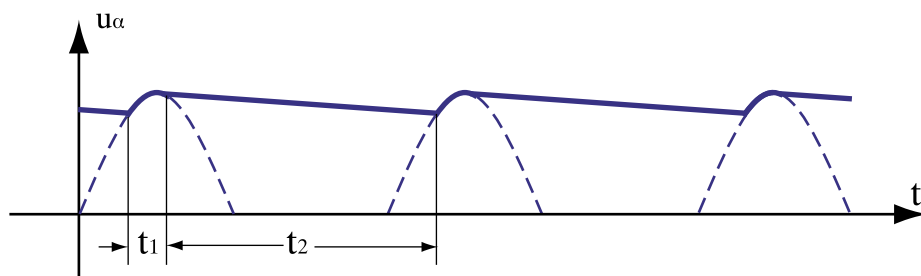
(α)



Σχήμα 6.1.13: (α) Όταν η τάση παίρνει τιμές στις κορυφές της κυματομορφής, ο πυκνωτής φορτίζεται
(β) Όταν η τάση μηδενίζεται, ο πυκνωτής εκφορτίζεται και τροφοδοτεί το φορτίο

Όταν η τάση μειώνεται, κατά τα χρονικά διαστήματα μεταξύ των κορυφών της κυματομορφής, ο πυκνωτής **εκφορτίζεται** μέσω της αντίστασης R_L .

Έτσι διατηρείται το ρεύμα στο φορτίο R_L , ακόμη και αν η τάση της κυματομορφής μηδενίζεται. Διατηρείται επίσης μια τάση στα άκρα της R_L , όσο διαρρέεται από ρεύμα, σύμφωνα με το νόμο του Ωμ: $U = R_L \cdot I_C$ (Σχ. 6.1.14).



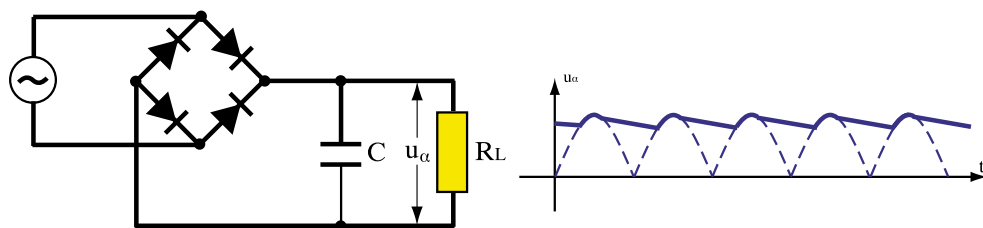
Σχήμα 6.1.14: Μορφή της εξομαλυσμένης κυματομορφής της τάσης στην απλή ανόρθωση του Σχ. 6.1.12

t_1 : χρόνος φόρτισης πυκνωτή

t_2 : χρόνος εκφόρτισης πυκνωτή

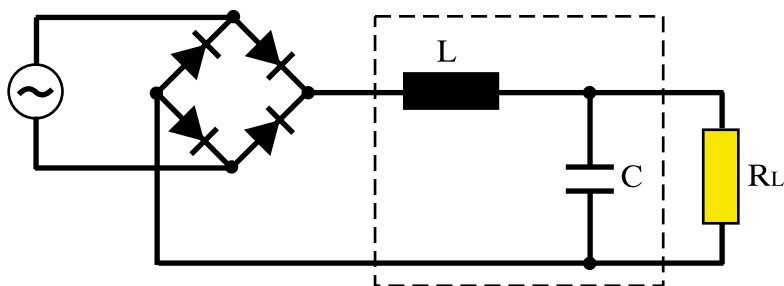
Η αποτελεσματικότητα του φίλτρου με πυκνωτή καθορίζεται από τη σταθερά χρόνου $\tau = R_L \cdot C$ του κυκλώματος. Πρέπει η χωρητικότητα C του πυκνωτή σε συνδυασμό με το φορτίο R_L να επιλεγούν έτσι, ώστε ο πυκνωτής να εκφορτίζεται ελάχιστα στο χρονικό διάστημα που μεσολαβεί μεταξύ δύο διαδοχικών κορυφών της κυματομορφής του ανορθωμένου ρεύματος. Με αυτό τον τρόπο, η εξομαλυσμένη κυματομορφή θα πλησιάζει, όσο το δυνατόν περισσότερο, προς την ευθεία γραμμή.

Στο Σχ. 6.1.15 έχει σχεδιαστεί ένα κύκλωμα πλήρους ανόρθωσης με γέφυρα με την προσθήκη φίλτρου πυκνωτή.



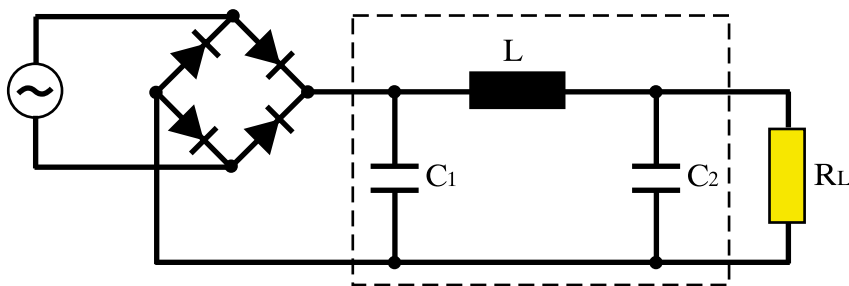
Σχήμα 6.1.15: Κύκλωμα πλήρους ανόρθωσης με φίλτρο πυκνωτή

Εκτός από τους πυκνωτές χρησιμοποιούνται και πηνία για την εξομάλυνση του ανορθωμένου ρεύματος. Το πηνίο, που παρουσιάζει μια αυτεπαγωγή L , αντιδρά σε κάθε μεταβολή του ρεύματος προκαλώντας χρονική καθυστέρηση, τόσο στην αύξηση, όσο και στη μείωση του ρεύματος που διέρχεται μέσα από αυτό (Νόμος του Lenz). Μειώνει έτσι την κυμάτωση του ρεύματος και της τάσης του φορτίου, ενεργώντας συμπληρωματικά στη δράση του πυκνωτή.



Σχήμα 6.1.16: Φίλτρο πηνίου και πυκνωτή

Στο Σχ. 6.1.17 έχει σχεδιαστεί ένα πιο εξελιγμένο φίλτρο που αποτελείται από δύο πυκνωτές και πηνίο (φίλτρο χωρητικής εισόδου, Π- τύπου).

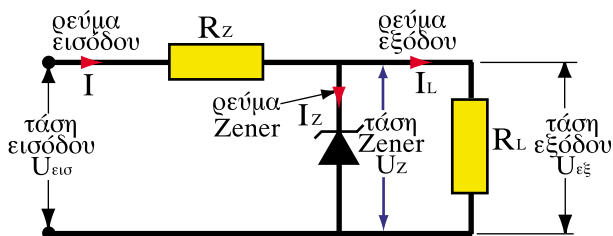


Σχήμα 6.1.17: Εξομάλυνση με φίλτρο χωρητικής εισόδου, Π - τύπου

Με τις παραπάνω ανορθωτικές διατάξεις και με τη σύνδεση του ενός μετά το άλλο περισσότερων φίλτρων – τα οποία αποτελούνται από πυκνωτές, πηνία και αντιστάσεις – είναι δυνατόν να εξομαλυνθεί πλήρως το ανορθωμένο ρεύμα και να έχει τη μορφή της ευθείας γραμμής του συνεχούς ρεύματος.

Εκτός από την εξομάλυνση, υπάρχει και μια πρόσθετη απαίτηση, που πρέπει να καλυφθεί. Η τάση και το ρεύμα, που παράγονται από την ανορθωτική διάταξη, πρέπει να διατηρούνται κατά το δυνατόν **σταθερά**. Η **σταθεροποίηση** αυτή επιτυγχάνεται με κατάλληλες διατάξεις. Όπου απαιτείται σταθεροποίηση με μεγάλη ακρίβεια, χρησιμοποιούνται ως σταθεροποιητές ολοκληρωμένα κυκλώματα με τρανζίστορ και άλλα ηλεκτρονικά στοιχεία.

Μια απλή σταθεροποίηση μπορεί να πραγματοποιηθεί με μια **δίοδο Zener** και μια αντίσταση (Σχ. 6.1.18)



Σχήμα 6.1.18: Απλή διάταξη σταθεροποίησης με δίοδο Zener και αντίσταση R_Z

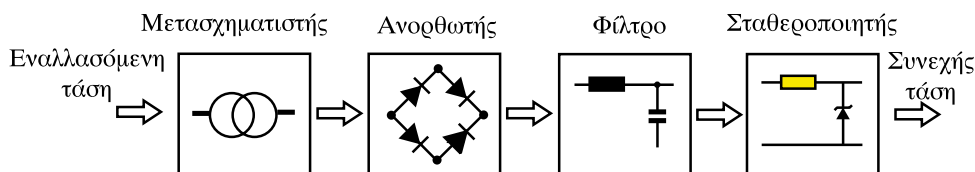
Η δίοδος Zener είναι μια ειδική δίοδος, που διασπάται (γίνεται αγωγίμη), όταν στα άκρα της εφαρμοστεί μια συγκεκριμένη ανάστροφη τάση (τάση Zener). Έχει την ιδιότητα να διατηρεί **σταθερή** στα άκρα της αυτή την τάση, ενώ το ρεύμα που τη διαρρέει μπορεί να μεταβάλλεται μέσα σε μια ευρεία περιοχή τιμών.

Αν στη διάταξη του σχήματος, αυξηθεί η τάση εισόδου, δημιουργείται πτώση τάσεως πάνω στην αντίσταση R_Z και διατηρείται περίπου σταθερή η τάση Zener στα άκρα του φορτίου R_L . Αν αυξηθεί το ρεύμα εξόδου I_L , η δίοδος Zener διατηρεί σταθερό το ρεύμα εισόδου I , μειώνοντας αντίστοιχα το ρεύμα I_Z που τη διαρρέει.

Συνοψίζοντας τα προηγούμενα, μια πλήρης διάταξη που μετατρέπει το εναλλασσόμενο ρεύμα σε συνεχές ονομάζεται **τροφοδοτικό** και περιλαμβάνει:

- **Μετασχηματιστή:** Υποβιβάζει ή ανυψώνει την εναλλασσόμενη τάση ανάλογα με την τιμή της συνεχούς τάσης που θέλουμε.

- **Ανορθωτή:** Δημιουργεί την ανορθωμένη τάση.
- **Φίλτρο:** Εξομαλύνει τις κυματώσεις της ανορθωμένης τάσης.
- **Σταθεροποιητή:** Διατηρεί σταθερή τη συνεχή τάση, ανεξάρτητα από τις μεταβολές στο ρεύμα του φορτίου και τις μεταβολές της εναλλασσόμενης τάσης.



Σχήμα 6.1.19: Σχηματικό διάγραμμα τροφοδοτικού

Ανακεφαλαίωση

- Οι ανορθωτές είναι στοιχεία τα οποία επιτρέπουν τη διόδο του ρεύματος κατά τη μία κατεύθυνση και την απαγορεύουν κατά την αντίθετη. Ο πιο συνηθισμένος τύπος ανορθωτή είναι η διόδος ημιαγωγών.
- Οι ανορθωτικές διατάξεις διακρίνονται σε διατάξεις απλής και πλήρους ανόρθωσης. Διακρίνονται επίσης σε μονοφασικές και τριφασικές.
- Οι διατάξεις **απλής** ανόρθωσης αποκόπτουν την αρνητική ημιπερίοδο του εναλλασσόμενου ρεύματος. Οι διατάξεις **πλήρους** ανόρθωσης εκμεταλλεύονται και την αρνητική ημιπερίοδο του εναλλασσόμενου ρεύματος.
- Το ανορθωμένο ρεύμα παρουσιάζει μια κυμάτωση γύρω από μια **μέση τιμή**.
- Η **εξομάλυνση** της κυμάτωσης του ανορθωμένου ρεύματος πραγματοποιείται με φίλτρα πυκνωτών και πηνίων.
- Η **σταθεροποίηση** αποσκοπεί στο να διατηρεί σταθερή την παραγόμενη συνεχή τάση, ανεξάρτητα από τις μεταβολές του ρεύματος φορτίου και της εναλλασσόμενης τάσης τροφοδοσίας.
- Ένας απλός **σταθεροποιητής** μπορεί να κατασκευαστεί με τη χρήση μιας **διόδου Zener**.
- Ένα **τροφοδοτικό** για την παροχή συνεχούς ρεύματος αποτελείται από το μετασχηματιστή, την ανορθωτική διάταξη, το φίλτρο εξομάλυνσης και το σταθεροποιητή.

Ερωτήσεις

1. Τι είναι οι ανορθωτές; Ποιος τύπος ανορθωτή χρησιμοποιείται περισσότερο στην πράξη;
2. Τι ονομάζουμε ορθή και τι ανάστροφη τάση στα άκρα μιας διόδου;
3. Τι ονομάζουμε απλή και τι πλήρη ανόρθωση; Σε τι υπερέχει η πλήρης από την απλή ανόρθωση;
4. Να σχεδιάσετε ένα κύκλωμα απλής μονοφασικής ανόρθωσης και τη μορφή της ανορθωμένης τάσης σε αυτό.
5. Να σχεδιάσετε ένα κύκλωμα πλήρους μονοφασικής ανόρθωσης, τη μορφή της ανορθωμένης τάσης σε αυτό και να σημειώσετε στο σχήμα τις διόδους, που άγουν κατά τη θετική και την αρνητική ημιπερίοδο του εναλλασσόμενου ρεύματος
6. Να σχεδιάσετε ένα τριφασικό κύκλωμα απλής ανόρθωσης, καθώς και ένα τριφασικό κύκλωμα πλήρους ανόρθωσης με γέφυρα.
7. Πώς ορίζεται η μέση τιμή της ανορθωμένης τάσης; Ποια είναι η τιμή της στην απλή και την πλήρη μονοφασική ανόρθωση;
8. Να εξηγήσετε τη λειτουργία του πυκνωτή που χρησιμοποιείται ως φίλτρο για την εξομάλυνση της ανορθωμένης τάσεως. Πώς επιδρά η τιμή της χωρητικότητας του πυκνωτή στην ποιότητα της εξομάλυνσης;
9. Από τι αποτελείται ένα τροφοδοτικό παροχής συνεχούς ρεύματος;
10. Ποιος είναι ο ρόλος του σταθεροποιητή;
11. Τι είναι η διόδος Zener;

ΕΝΟΤΗΤΑ 6.2

Ηλεκτροχημικές εφαρμογές

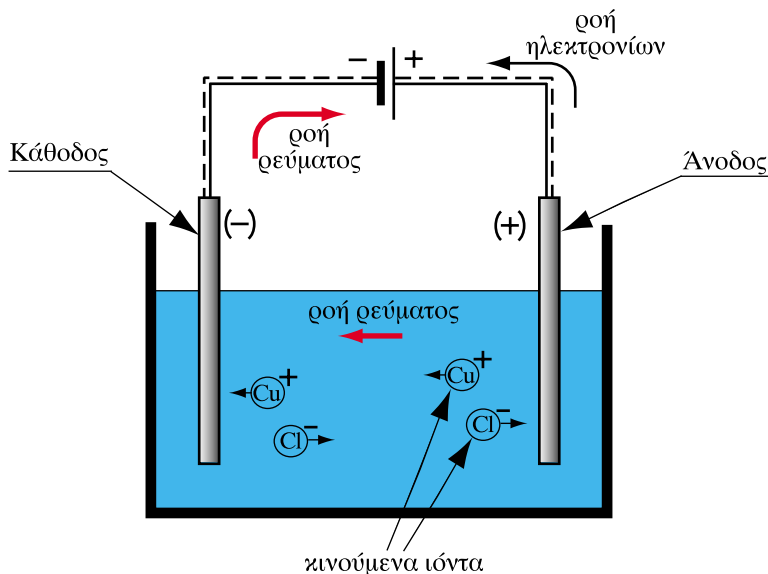
“Διδακτικοί στόχοι”

Με τη μελέτη της ενότητας αυτής οι μαθητές θα είναι σε θέση:

- *Να επεξηγούν το μηχανισμό της ηλεκτρόλυσης.*
- *Να αναφέρουν εφαρμογές της ηλεκτρόλυσης.*
- *Να περιγράφουν το φαινόμενο της ηλεκτρολυτικής διάβρωσης και τα μέτρα που λαμβάνονται για τον περιορισμό του.*
- *Να περιγράφουν την αρχή λειτουργίας των συσσωρευτών.*
- *Να περιγράφουν τη δομή ενός συσσωρευτή μολύβδου.*
- *Να κάνουν υπολογισμούς χρησιμοποιώντας τη χωρητικότητα των συσσωρευτών.*

6.2.1 Ηλεκτρόλυση

Στο 1^ο Κεφάλαιο έγινε αναφορά στο ηλεκτρικό στοιχείο, όπου παράγεται ηλεκτρικό ρεύμα από την κυκλοφορία των αρνητικών και θετικών ιόντων στο διάλυμα του ηλεκτρολύτη του στοιχείου. Η ηλεκτρόλυση είναι η αντίστροφη διαδικασία, κατά την οποία διοχετεύεται ηλεκτρικό ρεύμα σε ένα διάλυμα ή τήγμα χημικής ένωσης με αποτέλεσμα τη χημική διάσπαση της ένωσης στα συστατικά της.



Σχήμα 6.2.1: Σχηματική παράσταση ηλεκτρόλυσης διαλύματος χλωριούχου χαλκού. (CuCl_2)

Στο Σχ. 6.2.1. παρουσιάζεται σχηματικά μια διάταξη για την πραγματοποίηση ηλεκτρόλυσης. Αποτελείται από ένα δοχείο γεμάτο νερό στο οποίο έχουν διαλυθεί κρύσταλλοι ενός άλατος, στο παράδειγμα χλωριούχου χαλκού (CuCl_2), που αποτελεί τον ηλεκτρολύτη.

Στο δοχείο έχουν εμβυπιστεί δύο ηλεκτρόδια από άνθρακα τα οποία έχουν συνδεθεί με αγωγούς στα άκρα πηγής Σ.Ρ.

Το ηλεκτρόδιο που συνδέεται με το **θετικό πόλο** της πηγής, μέσω του οποίου το ρεύμα εισέρχεται στο διάλυμα, ονομάζεται **άνοδος**, ενώ το άλλο ηλεκτρόδιο, απ' όπου εξέρχεται το ρεύμα οδεύοντας στον αρνητικό πόλο της πηγής, **κάθοδος**.

Μέσα στο διάλυμα τα μόρια του CuCl_2 διασπώνται σχηματίζοντας θετικά ιόντα Cu^+ και αρνητικά ιόντα Cl^- . Λόγω της τάσης που εφαρμόζεται, τα θετικά ιόντα (Cu^+) κινούνται προς την κάθοδο, ενώ τα αρνητικά (Cl^-) κινούνται προς την άνοδο. Η προσανατολισμένη κίνηση τόσο των θετικών, όσο και των αρνητικών φορέων του ηλεκτρισμού προς αντίθετες κατευθύνσεις, παράγει, όπως γνωρίζουμε, ηλεκτρικό ρεύμα με φορά τη φορά κίνησης των θετικών φορτίων.

Μόλις φθάσουν τα θετικά ιόντα στο ηλεκτρόδιο της καθόδου, προσλαμβάνουν από την πηγή ηλεκτρόνια, ενώ τα αρνητικά ιόντα αποδίδουν ηλεκτρόνια στο ηλεκτρόδιο της ανόδου. Συντηρείται έτσι η ροή του ρεύματος στους εξωτερικούς αγωγούς, με τη μετακίνηση των ηλεκτρονίων (Σχ.6.2.1).

Στο παράδειγμα, διαχωρίστηκε το άλας του χλωριούχου χαλκού (CuCl_2) στα δύο συστατικά του, χαλκό και χλώριο. Στο ηλεκτρόδιο της καθόδου συγκεντρώθηκαν τα άτομα του Cu σχηματίζοντας ένα κοκκινόχρωμο ίζημα, ενώ στο ηλεκτρόδιο της ανόδου συγκεντρώθηκαν τα άτομα του χλωρίου, τα οποία ενώνονται, ανά δύο, μεταξύ τους σχηματίζοντας αέριο χλώριο (Cl_2).

Αφού το ηλεκτρολυτικό ρεύμα μέσα στο διάλυμα του ηλεκτρολύτη έχει ως φορείς τα ιόντα της χημικής ενώσεως, για να παραχθεί μια ποσότητα **μάζας**, από κάποιο συστατικό, απαιτείται και αντίστοιχη **ποσότητα ηλεκτρικού ρεύματος**, την οποία παρέχει η πηγή Σ.Ρ. του κυκλώματος.

Ένα άλλο χαρακτηριστικό της ηλεκτρόλυσης είναι ότι κάθε διάλυμα ηλεκτρολύτη παράγει μεταξύ καθόδου και ανόδου μια ορισμένη τάση, της τάξης μερικών V (βολτ), που εξαρτάται από τη χημική σύσταση των ηλεκτρολυτών.

Σε πολλές περιπτώσεις, κατά την ηλεκτρόλυση χρησιμοποιούνται ηλεκτρόδια, τα οποία αντιδρούν χημικά με τα συστατικά του διαλύματος ή περιέχονται στο διάλυμα ουσίες που αντιδρούν μεταξύ τους, με αποτέλεσμα τα παραγόμενα τελικά προϊόντα, να είναι διαφορετικά από τα συστατικά στοιχεία της χημικής ένωσης που ηλεκτρολύεται.

Για παράδειγμα, αν ηλεκτρολυθεί διάλυμα θειϊκού οξέος (H_2SO_4) με τη χρήση κατάλληλων ηλεκτροδίων, ως προϊόντα της ηλεκτρόλυσης παράγονται αέριο οξυγόνο (O_2) και αέριο υδρογόνο (H_2). Πρακτικά, αυτό σημαίνει ότι ηλεκτρολύεται το νερό (H_2O) που υπάρχει στο διάλυμα.

6.2.2 Εφαρμογές της ηλεκτρόλυσης

Η ηλεκτρόλυση έχει πολλές εφαρμογές. Κυριότερες απ' αυτές είναι:

1. Επιμετάλλωση

Αντικείμενα από μέταλλα που οξειδώνονται εύκολα, π.χ. από σίδηρο, τοποθετούνται σε κατάλληλο διάλυμα. Τα αντικείμενα αυτά αποτελούν την κάθοδο. Ως ηλεκτρόδιο ανόδου χρησιμοποιείται ανοξείδωτο μέταλλο (ψευδάργυρος, νικέλιο, χαλκός, άργυρος, χρυσός, κ.ά.) το οποίο κατά την ηλεκτρόλυση διαλύεται στο διάλυμα. Τα άτομα του μετάλλου της ανόδου κινούνται στο διάλυμα και προσκολλώνται στις μεταλλικές επιφάνειες των αντικειμένων, που αποτελούν την κάθοδο, σχηματίζοντας έτσι προστατευτική επίστρωση. Το πάχος της επίστρωσης είναι ανάλογο του χρόνου διέλευσης του ηλεκτρολυτικού ρεύματος.

2. Γαλβανοπλαστική

Είναι μέθοδος για την παραγωγή καλουπιών. Αντικείμενα από εύπλαστο υλικό (γύψο, κερί, κτλ.) βυθίζονται σε ηλεκτρολυτικό υγρό και αποκτούν επικάλυψη από το κατάλληλο μέταλλο. Στη συνέχεια απομακρύνεται το εύπλαστο υλικό και απομένει η μεταλλική μήτρα (καλούπι).

3. Παραγωγή αερίων

Με τη μέθοδο της ηλεκτρόλυσης παράγονται αέρια όπως το οξυγόνο, το υδρογόνο, το χλώριο, κ.ά.

4. Παραγωγή μετάλλων

Άλατα μετάλλων ηλεκτρολύονται, με τη χρήση κατάλληλων ηλεκτροδίων και διαλυμάτων και παράγεται καθαρό μέταλλο. Η μέθοδος εφαρμόζεται στην παραγωγή αλουμινίου, χαλκού, μαγνησίου, και άλλων μετάλλων.

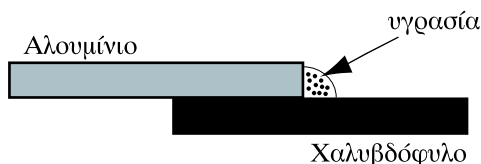
5. Ανοδίωση

Πρόκειται για διαδικασία με την οποία δημιουργείται προστατευτική επίστρωση σε μέταλλα, όπως το αλουμίνιο. Τα αντικείμενα από αλουμίνιο (π.χ. προφίλ αλουμινίου) τοποθετούνται σε διάλυμα ηλεκτρολύτη, ο οποίος ηλεκτρολύεται παράγοντας οξυγόνο (O_2). Το αλουμίνιο ενώνεται χημικά με το οξυγόνο σχηματίζοντας ένα πολύ λεπτό στρώμα οξειδίου του αλουμινίου. Το στρώμα αυτό είναι χημικά ουδέτερο, προστατεύει δηλαδή αποτελεσματικά το αλουμίνιο από τη διάβρωση και επιπλέον επιδέχεται βαφή.

6.2.3. Ηλεκτρολυτική διάβρωση και προστασία

Με τον όρο ηλεκτρολυτική διάβρωση εννοούμε την καταστροφή υλικών λόγω του φαινομένου της ηλεκτρόλυσης.

Ηλεκτρολυτική διάβρωση δημιουργείται στα σημεία επαφής ανόμοιων μετάλλων, π.χ. εκεί, όπου ένα χαλυβδόφυλλο ακουμπά σε ένα φύλλο αλουμινίου (Σχ. 6.2.2.)



Σχήμα 6.2: Στα σημεία επαφής ανόμοιων μετάλλων εμφανίζεται ηλεκτρολυτική διάβρωση

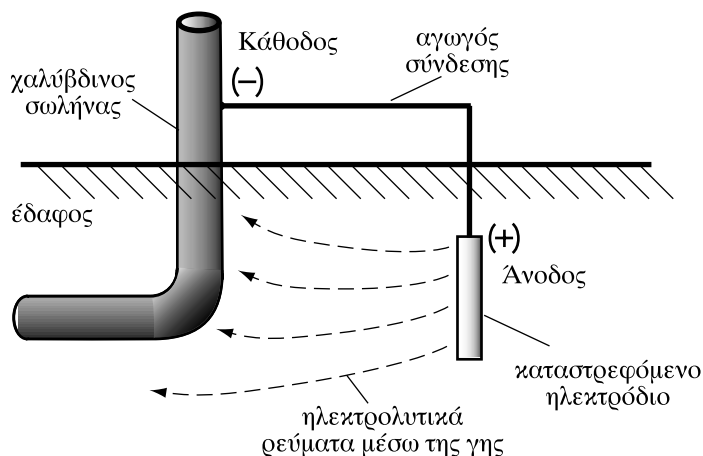
Τα δύο μέταλλα σχηματίζουν ηλεκτρικό στοιχείο. Με την παρουσία υγρασίας κυκλοφορεί ηλεκτρικό ρεύμα από το ένα μέταλλο στο άλλο, με αποτέλεσμα την καταστροφή (διάβρωση) ενός από τα δύο μέταλλα. Στην περίπτωση του παραδείγματος, του αλουμινίου.

Ηλεκτρολυτική διάβρωση προκαλείται και στα ηλεκτρικά κυκλώματα, στα **σημεία σύνδεσης ακροδεκτών** από διαφορετικά μέταλλα, όπως π.χ. στους ακροδέκτες σύνδεσης των αγωγών χαλκού με τους πόλους της μπαταρίας του αυτοκινήτου.

Στις μεταλλικές κατασκευές προκαλείται ηλεκτρολυτική διάβρωση, λόγω της σύνδεσής τους με το δίκτυο γείωσης και των ρευμάτων γείωσης που κυκλοφορούν, μέσω των μεταλλικών κατασκευών, προς τη γη.

Για την προστασία από την ηλεκτρολυτική διάβρωση λαμβάνονται διάφορα μέτρα, όπως π.χ. η χρησιμοποίηση ειδικών συνδέσμων (κλεμμών) για τη σύνδεση των αγωγών χαλκού με τους αγωγούς αλουμινίου.

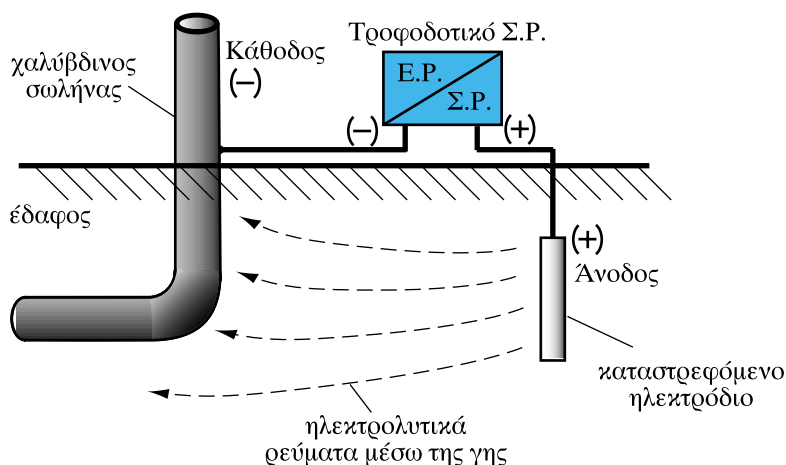
Μια μέθοδος που χρησιμοποιείται ευρύτατα για την προστασία μεταλλικών κατασκευών (σωληνώσεων κτλ.) είναι η χρήση προστατευτικού ηλεκτροδίου (καθοδική προστασία). Χαλύβδινοι σωλήνες που τοποθετούνται στο έδαφος ή σε υγρά μέρη λειτουργούν ως κάθοδος. Ένα ηλεκτρόδιο μαγνησίου το οποίο λειτουργεί ως άνοδος, συνδέεται με αγωγό με τον χαλύβδινο σωλήνα (Σχ.6.2.3).



Σχήμα 6.2.3: Καθοδική προστασία χαλύβδινου αγωγού με καταστρεφόμενο ηλεκτρόδιο μαγνησίου

Μέσω του εδάφους κυκλοφορούν ηλεκτρολυτικά ρεύματα τα οποία καταστρέφουν το ηλεκτρόδιο μαγνησίου, προστατεύοντας το σωλήνα από τη διάβρωση.

Για μεγαλύτερη προστασία η άνοδος και η κάθοδος μπορούν να συνδεθούν σε πηγή συνεχούς ρεύματος, (ενεργητική καθοδική προστασία), όπως φαίνεται στο Σχ. 6.2.4.



Σχήμα 6.2.4: Ενεργητική καθοδική προστασία με καταστρεφόμενο ηλεκτρόδιο και πηγή συνεχούς τάσης

6.2.4. Ηλεκτρικοί συσσωρευτές

Οι συσσωρευτές, όπως και τα ηλεκτρικά στοιχεία, είναι πηγές συνεχούς ρεύματος. Σε αντίθεση με τα ηλεκτρικά στοιχεία, τα οποία, όταν εξαντληθούν, απορρίπτονται, οι συσσωρευτές **αποθηκεύουν** ηλεκτρική ενέργεια, την οποία μπορούν στη συνέχεια να αποδώσουν.

Η λειτουργία των συσσωρευτών περιλαμβάνει δύο στάδια:

- **Τη φόρτιση**, κατά την οποία διοχετεύεται ηλεκτρικό ρεύμα στο συσσωρευτή, το οποίο προκαλεί χημικές αντιδράσεις στα συστατικά του. Η παρεχόμενη δηλαδή ηλεκτρική ενέργεια μετατρέπεται σε χημική ενέργεια αποθηκευμένη στο συσσωρευτή.

- **Την εκφόρτιση**, κατά την οποία η αποθηκευμένη χημική ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική. Ο συσσωρευτής λειτουργεί ως ηλεκτρική πηγή παρέχοντας συνεχές ρεύμα στα ηλεκτρικά φορτία που συνδέονται στους πόλους του.

Όταν η αποθηκευμένη ενέργεια στο συσσωρευτή εξαντληθεί, τότε ο συσσωρευτής μπορεί να **επαναφορτιστεί**.

Ο συσσωρευτής μολύβδου

Ο πιο συνηθισμένος τύπος συσσωρευτή είναι αυτός που αποτελείται από στοιχεία μολύβδου (Pb) και έχει ως ηλεκτρολύτη διάλυμα θειϊκού οξέος (H_2SO_4). Χαρακτηρίζεται ως συσσωρευτής μολύβδου. Η τάση στα άκρα του στοιχείου είναι περίπου 2 V.

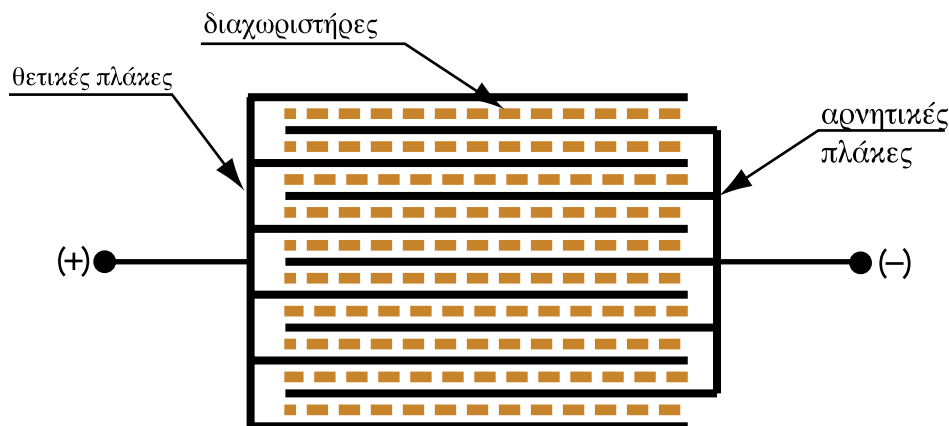
Πολλά στοιχεία τα οποία συνδέονται σε σειρά σχηματίζουν μια συστοιχία. Από την ονομασία της συστοιχίας στα αγγλικά "battery" προέρχεται και η κοινή ονομασία "μπαταρία" του συσσωρευτή.

Ο συσσωρευτής μολύβδου αποτελείται:

- Από ένα **δοχείο** κατασκευασμένο από σκληρό πλαστικό υλικό, το εσωτερικό του οποίου είναι χωρισμένο σε τμήματα, όσα είναι τα στοιχεία που αποτελούν το συσσωρευτή.

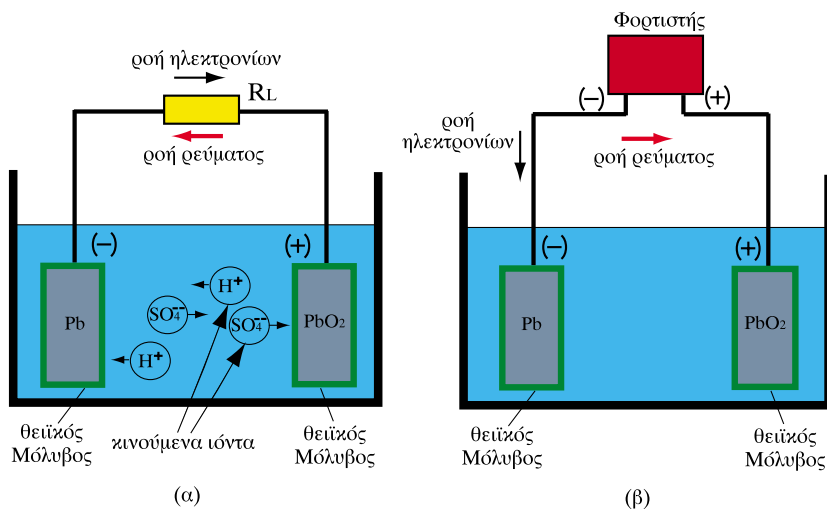
- Από τις **πλάκες** των στοιχείων. Κάθε στοιχείο αποτελείται από μια σειρά θετικών πλακών που συνδέονται αγωγή μεταξύ τους και μια αντίστοιχη σειρά αρνητικών πλακών. Οι πλάκες κατασκευάζονται από κράμα μολύβδου

σε μορφή πλέγματος. Οι θετικές πλάκες έχουν τη χημική σύσταση του υπεροξειδίου του μολύβδου (PbO_2) και οι αρνητικές τη σύσταση του σπογγώδους μολύβδου (Pb). Οι πολλαπλές πλάκες αυξάνουν το εμβαδόν της επιφάνειας και την ικανότητα παροχής ρεύματος του στοιχείου (Σχ.6.2.5).



Σχήμα 6.2.5: Θετικές και αρνητικές πλάκες ενός στοιχείου

- Από τον ηλεκτρολύτη που περιβάλλει τις πλάκες, ο οποίος είναι διάλυμα θειϊκού οξέος (H_2SO_4).
- Από τους διαχωριστήρες. Είναι μονωτικά διαφράγματα από πλαστικό υλικό, τα οποία τοποθετούνται μεταξύ των πλακών. Έχουν πόρους που επιτρέπουν την κυκλοφορία του ηλεκτρολύτη. Χρησιμοποιούν για να μην έρχονται σε επαφή μεταξύ τους, οι θετικές με τις αρνητικές πλάκες.
- Από τα πώματα στο πάνω μέρος του δοχείου, που χρησιμοποιούν για την επιθεώρηση και τον εξαερισμό του συσσωρευτή από τα αέρια που παράγονται κατά τη λειτουργία του.



Σχήμα 6.2.6: Εκφόρτιση και φόρτιση συσσωρευτή μολύβδου

Εκφόρτιση και φόρτιση συσσωρευτή

Κατά την **εκφόρτιση** του συσσωρευτή μέσω του φορτίου R_L η ροή του ρεύματος στο εξωτερικό κύκλωμα πραγματοποιείται με την κίνηση των ηλεκτρονίων. Στο εσωτερικό κύκλωμα το ηλεκτρικό ρεύμα έχει φορείς τα θετικά (H^+) και αρνητικά (SO_4^{--}) ιόντα του ηλεκτρολύτη (H_2SO_4).

Σε αντίθεση με τα απλά ηλεκτρικά στοιχεία, όπου τα ιόντα αντιδρούν χημικά με τα ηλεκτρόδια και τα καταστρέφουν σιγά-σιγά, μέχρι να εξαντληθεί το στοιχείο, στους συσσωρευτές οι χημικές αντιδράσεις δημιουργούν **επίστρωση θειϊκού μολύβδου** ($PbSO_4$) στα δύο ηλεκτρόδια, η οποία τα προστατεύει. Συγχρόνως, κατά την εκφόρτιση **παράγεται νερό** (H_2O). Λιγοστεύουν δηλαδή τα μόρια του H_2SO_4 του διαλύματος και αυξάνονται τα μόρια του H_2O .

Επειδή τα μόρια του H_2SO_4 είναι βαρύτερα από τα μόρια του H_2O , **ελαττώνεται** η πυκνότητα του διαλύματος. Το διάλυμα **αραιώνει**.

Κατά τη **φόρτιση** του συσσωρευτή το θετικό ηλεκτρόδιο συνδέεται με το θετικό πόλο της πηγής Σ.Π., που αποτελεί τον **φορτιστή** του συσσωρευτή, και το αρνητικό ηλεκτρόδιο με τον αρνητικό πόλο της πηγής.

Στο συσσωρευτή κυκλοφορεί ρεύμα αντίθετης φοράς, απ' ότι στην εκφόρτιση.

Οι χημικές αντιδράσεις του ηλεκτρολύτη με τα συστατικά των ηλεκτροδίων, έχουν ως αποτέλεσμα τον επανασηματισμό θειϊκού οξέος (H_2SO_4).

Αυξάνεται επομένως η **πυκνότητα** του διαλύματος.

Για το λόγο αυτό, ο έλεγχος της φόρτισης του συσσωρευτή γίνεται με **πυκνόμετρο**. Όργανο δηλαδή που μετρά τη πυκνότητα των υγρών του συσσωρευτή. Όταν ο συσσωρευτής είναι πλήρως φορτισμένος τα υγρά του έχουν τη μεγαλύτερη πυκνότητα. Όσο εκφορτίζεται μειώνεται η πυκνότητα.

Χωρητικότητα των συσσωρευτών

Χαρακτηριστικό μέγεθος κάθε συσσωρευτή είναι η **χωρητικότητά** του. Η χωρητικότητα είναι το συνολικό ηλεκτρικό φορτίο που μπορεί να δώσει ο συσσωρευτής, όταν εκφορτίζεται .

Η χωρητικότητα ενός συσσωρευτή παρ' όλο που έχει τις διαστάσεις του φορτίου (C), μετριέται σε αμπερώρια (Ah).

Ένας συσσωρευτής που έχει χωρητικότητα 80 Ah μπορεί να τροφοδοτήσει ένα ηλεκτρικό φορτίο με ένταση ρεύματος 0,5 A επί 160h ($0,5A \times 160h = 80h$).

Ο ίδιος συσσωρευτής μπορεί να δώσει ένταση ρεύματος 2 A επί 40h. κ.ο.κ. ($2A \times 40h = 80 Ah$).

Θεωρητικά ένας συσσωρευτής μπορεί να φορτιστεί και να εκφορτιστεί άπειρες φορές. Στην πράξη όμως το όριο ζωής του είναι περιορισμένο.

Τα υψηλά ρεύματα φόρτισης και εκφόρτισης και οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται προκαλούν μόνιμες βλάβες. Η πιο συνηθισμένη είναι η αύξηση του πάχους του στρώματος του $PbSO_4$ στα ηλεκτρόδια, με αποτέλεσμα την αποκόλληση τεμαχίων, που προκαλούν βραχυκυκλώματα μεταξύ των πλακών καθώς επικάθηνται στον πυθμένα του δοχείου.

Η υπερφόρτιση του συσσωρευτή με ρεύμα προκαλεί και έκλυση αερίου υδρογόνου (H_2), το οποίο είναι εκρηκτικό αέριο. Γι' αυτό πρέπει να λαμβάνονται κατάλληλα μέτρα προστασίας, ιδίως κατά τη φόρτιση των συσσωρευτών. Η φόρτιση του συσσωρευτή πρέπει να γίνεται με μικρό ρεύμα και να διαρκεί αρκετές ώρες ανάλογα με το μέγεθος και τον τύπο του συσσωρευτή. Απαιτείται ακόμη καλός εξαερισμός του χώρου όπου είναι τοποθετημένοι οι συσσωρευτές.

Εκτός από τους συσσωρευτές μολύβδου χρησιμοποιούνται και πολλοί άλλοι τύποι συσσωρευτών. Διακρίνονται σε **υγρού και ξηρού** τύπου ανάλογα με την κατάσταση στην οποία βρίσκεται ο ηλεκτρολύτης. Ευρύτατα διαδεδομένοι

είναι οι **αλκαλικοί** συσσωρευτές οι οποίοι χρησιμοποιούν στοιχείο νικελίου – καδμίου (Ni –Cd). Αυτοί σε σχέση με τους συσσωρευτές μολύβδου έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, μικρότερο βάρος και σταθερότερη τάση. Έχουν όμως σημαντικά μεγαλύτερο κόστος.



Σχήμα 6.2.7: Συσσωρευτής μολύβδου

Ανακεφαλαίωση

- Ηλεκτρόλυση είναι η διαδικασία κατά την οποία διοχετεύεται ηλεκτρικό ρεύμα σε ένα διάλυμα ή τήγμα χημικής ένωσης με αποτέλεσμα τη χημική διάσπαση της ένωσης στα συστατικά της.
- Η ηλεκτρόλυση εφαρμόζεται στην επιμετάλλωση, στη γαλβανοπλαστική, στην παραγωγή διαφόρων αερίων, στην παραγωγή μετάλλων (π.χ. αλουμινίου, χαλκού), στην ανοδίωση και σε άλλες εφαρμογές.
- Η ηλεκτρολυτική διάβρωση προκαλείται στις επαφές ανόμοιων μετάλλων, λόγω κυκλοφορίας ηλεκτρολυτικών μετάλλων. Συμβαίνει επίσης σε μεταλλικές κατασκευές που είναι τοποθετημένες σε μέρη υγρά. Μια μέθοδος που χρησιμοποιείται ευρύτατα για την προστασία από την ηλεκτρολυτική διάβρωση είναι η καθοδική προστασία.

- Οι ηλεκτρικοί συσσωρευτές είναι πηγές συνεχούς ρεύματος που έχουν τη δυνατότητα να φορτίζονται και να εκφορτίζονται πολλές φορές μέχρι να εξαντλήσουν το όριο ζωής τους.
- Ο βαθμός φόρτισης ενός συσσωρευτή μολύβδου μπορεί να ελεγχθεί αν μετρηθεί η πυκνότητα του διαλύματος του ηλεκτρολύτη.
- Χαρακτηριστικό μέγεθος κάθε συσσωρευτή είναι η χωρητικότητά του που μετριέται σε αμπερώρια (Ah).

Ερωτήσεις

1. Να περιγράψετε το μηχανισμό της ηλεκτρόλυσης, χρησιμοποιώντας το παράδειγμα ηλεκτρόλυσης διαλύματος χλωριούχου χαλκού (CuCl_2).
2. Να αναφέρετε μια μέθοδο ηλεκτρόλυσης κατά την οποία να ηλεκτρολύεται το νερό (H_2O).
3. Είναι δυνατόν να γίνει ηλεκτρόλυση με εναλλασσόμενο ρεύμα; Να δικαιολογήσετε την απάντησή σας.
4. Να αναφέρετε μερικές εφαρμογές της ηλεκτρόλυσης.
5. Τι είναι η ηλεκτρολυτική διάβρωση;
6. Πώς πραγματοποιείται η καθοδική προστασία;
7. Να περιγράψετε τη δομή ενός συσσωρευτή μολύβδου.
8. Να περιγράψετε τη λειτουργία (εκφόρτιση – φόρτιση) ενός συσσωρευτή μολύβδου.
9. Πόσο ηλεκτρικό φορτίο είναι αποθηκευμένο σε έναν φορτισμένο συσσωρευτή που έχει χωρητικότητα 120Ah;
(Απ. 432000 C)
10. Πώς μετριέται ο βαθμός φόρτισης ενός συσσωρευτή;
11. Ένας συσσωρευτής έχει χωρητικότητα 40 Ah και η τάση στους ακροδέκτες του είναι 12V. Ο συσσωρευτής τροφοδοτεί με ρεύμα έναν ηλεκτρικό λαμπτήρα ισχύος 60W. Σε πόσο χρόνο θα εκφορτιστεί τελείως;
(Απ. 8h)
12. Το στοιχείο ενός αλκαλικού συσσωρευτή έχει μέση τάση 1,2V. Πόσα τέτοια στοιχεία πρέπει να συνδέσουμε σε σειρά για να πάρουμε τάση 24 V;
(Απ. 20)

ΕΝΟΤΗΤΑ 6.3

Το θερμοηλεκτρικό φαινόμενο

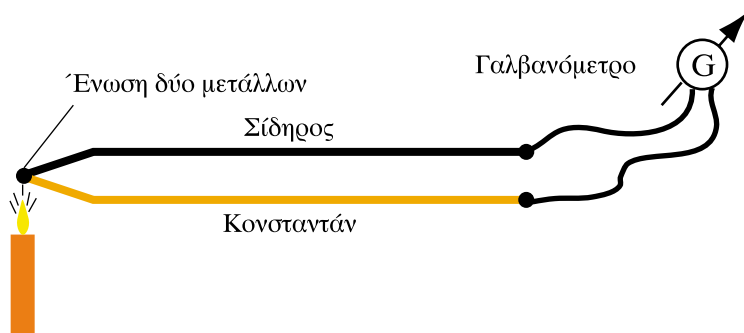
“Διδακτικοί στόχοι”

Με τη μελέτη της ενότητας αυτής οι μαθητές θα είναι σε θέση:

- *Να περιγράφουν την αρχή λειτουργίας του θερμοστοιχείου.*
- *Να αναφέρουν τις κυριότερες εφαρμογές των θερμοστοιχείων.*
- *Να περιγράφουν το φαινόμενο Peltier.*
- *Να εξηγούν πως τα στοιχεία Peltier μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ψύξης.*

6.3.1. Το θερμοστοιχείο

Όταν δύο σύρματα από διαφορετικά μέταλλα ενωθούν, στο ένα άκρο τους και η ένωση αυτή θερμανθεί, τότε μεταξύ των δύο άλλων άκρων εμφανίζεται μια τάση (Σχ. 6.3.1).



Σχήμα 6.3.1: Αρχή λειτουργίας του θερμοηλεκτρικού στοιχείου

Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται **θερμοηλεκτρικό φαινόμενο** και το ζεύγος των δύο μεταλλικών συρμάτων, στα άκρα του οποίου εμφανίζεται τάση, **θερμοστοιχείο** (ή θερμοηλεκτρικό στοιχείο).

Η τάση που παράγεται από το θερμοστοιχείο εξαρτάται:

- Από τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της ένωσης των δύο συρμάτων και των άλλων άκρων τους (Όσο μεγαλύτερη η διαφορά θερμοκρασίας, τόσο μεγαλύτερη η τάση).
- Από το είδος των δύο μετάλλων του θερμοστοιχείου.

Αν η διαφορά θερμοκρασίας είναι αρνητική, αν ψύξουμε, δηλαδή, αντί να θερμάνουμε την ένωση των δύο συρμάτων, τότε η παραγόμενη τάση είναι αντίθετης φοράς.

Η τάση που παράγεται με τα θερμοστοιχεία είναι πολύ μικρή. Για το ζεύγος "σιδήρου – κονσταντάν" (κονσταντάν ονομάζεται ένα κράμα αποτελούμενο από χαλκό και νικέλιο), π.χ. είναι $5,4 \times 10^{-5}$ V ανά βαθμό Κελσίου ($^{\circ}\text{C}$).

Για διαφορά θερμοκρασίας 300°C , η παραγόμενη τάση μεταξύ των άκρων των συρμάτων του προηγούμενου ζεύγους είναι:

$$V = 5,4 \times 10^{-5} \frac{\text{V}}{^{\circ}\text{C}} \times 300^{\circ}\text{C} = 16,2 \cdot 10^{-3} \text{V} = 16,2 \text{mV}$$

Λόγω της μικρής τάσης που αναπτύσσουν τα θερμοστοιχεία δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Χρησιμοποιούνται όμως πολύ, ως θερμόμετρα, ιδίως σε βιομηχανικές εφαρμογές, όπου δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν θερμόμετρα άλλου τύπου, π.χ. για τη μέτρηση πολύ υψηλών ή πολύ χαμηλών θερμοκρασιών. Επειδή το θερμοστοιχείο αποτελείται από συρμάτινους αγωγούς μπορεί να μεταφέρει την ένδειξη της θερμοκρασίας σε μεγάλες αποστάσεις, γεγονός που το κάνει ιδιαίτερα χρήσιμο σε περιπτώσεις που δεν είναι εύκολη η πρόσβαση στο θερμομετρούμενο μέσο.

Ως θερμόμετρο βιομηχανικής χρήσης, αποτελείται από ένα προστατευτικό μεταλλικό στέλεχος μέσα στο οποίο τοποθετείται το ζεύγος των δύο συρμάτων. Οι άλλες άκρες των συρμάτων καταλήγουν σε ένα ευαίσθητο μιλιβολτόμετρο, η κλίμακα του οποίου βαθμολογείται κατ' ευθείαν σε $^{\circ}\text{C}$ (Σχ.6.3.2.).

Μπορεί ακόμη η τάση του θερμοστοιχείου να οδηγηθεί σ' ένα ηλεκτρονικό μικροεπεξεργαστή ή σε ηλεκτρονικό υπολογιστή, ο οποίος καταγράφει και επεξεργάζεται μετρήσεις διαφόρων μεγεθών, όπως συμβαίνει στα διάφορα συστήματα αυτόματου ελέγχου των βιομηχανικών παραγωγικών εγκαταστάσεων.

Μια άλλη εφαρμογή των θερμοστοιχείων είναι η χρήση τους ως ηλεκτρικών πηγών για την τροφοδότηση ιατρικών βηματοδοτών που τοποθετούνται στην καρδιά.

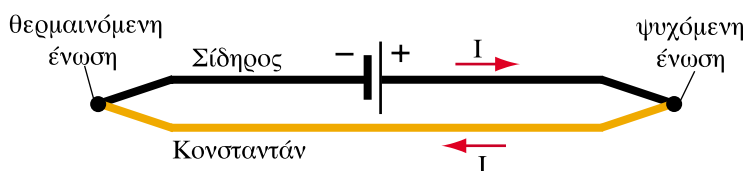


Σχήμα 6.3.2: Βιομηχανικό θερμόμετρο με θερμοστοιχείο

6.3.2 Το φαινόμενο Peltier

Το αντίστροφο του θερμοηλεκτρικού φαινομένου είναι γνωστό ως φαινόμενο **Peltier** (Πελτιέ). Μπορεί να διατυπωθεί ως εξής:

Αν δύο αγωγοί από διαφορετικά μέταλλα ενωθούν μεταξύ τους κατά τα δύο άκρα τους, και συνδεθούν σε ηλεκτρικό κύκλωμα, το οποίο διαρρέεται από ρεύμα, τότε η μία ένωση των αγωγών ψύχεται, ενώ η άλλη θερμαίνεται.



Σχήμα 6.3.3: Σχηματική παράσταση στοιχείου Peltier

Τις τελευταίες δεκαετίες με την ανακάλυψη και τελειοποίηση υλικών από ημιαγωγούς (π.χ. τελουριούχο βισμούθιο Bi_2Te_3) το φαινόμενο Peltier γνώρισε εμπορικές εφαρμογές κυρίως στην **ψύξη**.

Πολλά στοιχεία Peltier συνδέονται ηλεκτρικά σε σειρά, σχηματίζοντας συστοιχία και οι ενώσεις τους προσαρμόζονται πάνω σε μια πλάκα. Στη μια πλευρά της πλάκας καταλήγουν οι θερμαινόμενες ενώσεις και στην άλλη οι ψυχόμενες. Έτσι, η μια πλευρά της πλάκας απορροφά θερμότητα (παράγει ψύξη) ενώ η άλλη πλευρά απάγει την απορροφόμενη θερμότητα στο περιβάλλον.

Η απόδοση ενός τέτοιου συστήματος περιορίζεται από το γεγονός ότι οι ημιαγωγοί που χρησιμοποιούνται στα στοιχεία, πρέπει να παρουσιάζουν μικρή ωμική αντίσταση, ώστε το ρεύμα που τους διαρρέει να έχει ικανοποιητική τιμή. Έτσι όμως πρέπει να έχουν μικρό μήκος, άρα και η πλάκα μικρό πάχος, με συνέπεια να μειώνεται η μονωτική ικανότητα της πλάκας της ψυκτικής συστοιχίας. Μεταδίδεται δηλαδή θερμότητα από τη θερμή στην ψυχρή πλευρά της πλάκας και εξουδετερώνεται ένα μέρος της ωφέλιμης ψύξης.

Σε κάθε περίπτωση εφαρμογής πρέπει να γίνεται συμβιβασμός προκειμένου να επιτευχθεί η καλύτερη δυνατή απόδοση.

Ψυκτικές συστοιχίες Peltier χρησιμοποιούνται σήμερα με επιτυχία σε μικρά φορητά ψυγεία και άλλες σχετικές εφαρμογές.

Ανακεφαλαίωση

- Αν δύο σύρματα από διαφορετικά μέταλλα ενωθούν στο ένα άκρο τους και η ένωση αυτή θερμανθεί, τότε μεταξύ των άλλων άκρων τους εμφανίζεται μια τάση. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται **θερμοηλεκτρικό**. Τα δύο ενωμένα σύρματα αποτελούν ένα θερμοηλεκτρικό στοιχείο ή θερμοστοιχείο.
- Τα θερμοστοιχεία κατασκευάζονται από ζεύγη διαφορετικών μετάλλων. Κυριότερη εφαρμογή τους είναι η μέτρηση της θερμοκρασίας.
- Το φαινόμενο Peltier είναι το αντίστροφο του θερμοηλεκτρικού φαινομένου.
- Στοιχεία Peltier χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές ψύξης.

Ερωτήσεις

1. Ποια είναι η αρχή λειτουργίας του θερμοστοιχείου;
2. Από ποιους παράγοντες εξαρτάται η τάση που παράγεται από το θερμοστοιχείο;
3. Γιατί τα θερμοστοιχεία δε χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας;
4. Πού χρησιμοποιούνται τα θερμοστοιχεία;
5. Τι είναι το φαινόμενο Peltier ;
6. Πώς χρησιμοποιούνται τα στοιχεία Peltier για την παραγωγή ψύξης;

Ενότητα 6.4

Το φωτοβολταϊκό στοιχείο

“Διδακτικοί στόχοι”

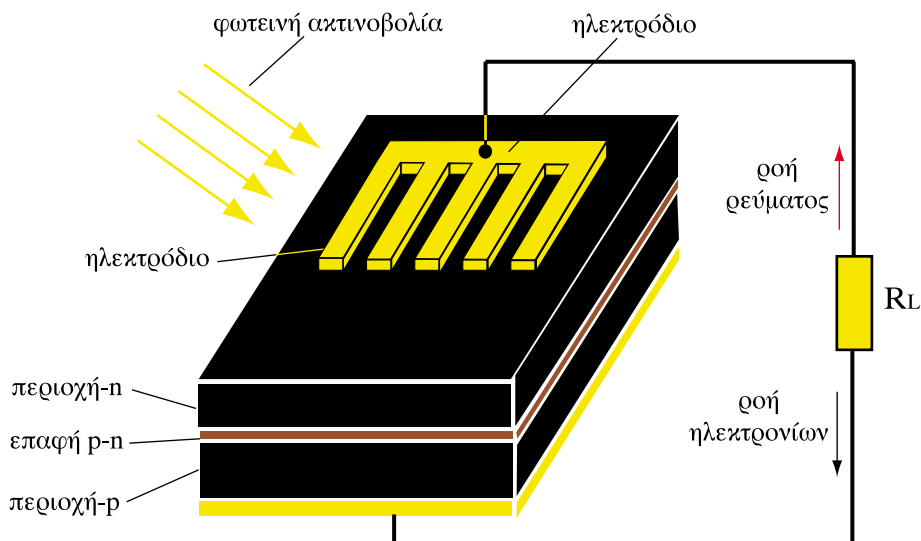
Με τη μελέτη της ενότητας αυτής οι μαθητές θα είναι σε θέση:

- *Να περιγράφουν την αρχή λειτουργίας του φωτοβολταϊκού στοιχείου.*
- *Να αναφέρουν εφαρμογές των φωτοβολταϊκών στοιχείων.*

6.4 Το φωτοβολταϊκό στοιχείο

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία μετατρέπουν την ενέργεια του Ήλιου (ηλιακή ακτινοβολία) σε ηλεκτρική ενέργεια. Η λειτουργία τους βασίζεται στις ιδιότητες των **ημιαγωγών**.

Ο πιο κοινός τύπος φωτοβολταϊκού στοιχείου αποτελείται από δύο στρώματα από ημιαγώγιμο υλικό (π.χ. πυρίτιο), τα οποία είναι σε επαφή το ένα με το άλλο (Σχ. 6.4.1).



Σχήμα 6.4.1: Σχηματική παράσταση φωτοβολταϊκού στοιχείου

Το ένα στρώμα έχει περίσσεια ελεύθερων ηλεκτρονίων και χαρακτηρίζεται ως ημιαγωγός **n – τύπου**, ενώ το άλλο έχει έλλειψη ηλεκτρονίων και χαρακτηρίζεται ως ημιαγωγός **p – τύπου**.

Τα δύο στρώματα έχουν συνολικό πάχος της τάξης δέκατα του χιλιοστού. Το στρώμα **n – τύπου** έχει πάχος μερικών μικρότερων (μm) και καλύπτει την πλευρά του φωτοστοιχείου που εκτίθεται στο φως. Εξωτερικά των δύο στρωμάτων έχουν προσαρμοστεί κατάλληλα μεταλλικά ηλεκτροδία.

Στην επιφάνεια επαφής των δύο στρωμάτων δημιουργείται μια περιοχή στατικού ηλεκτρικού φορτίου, που έχει πάχος της τάξης μερικών ατόμων. Στην περιοχή αυτή που ονομάζεται περιοχή **φραγμού** (ή **επαφή p - n**) δημιουργείται μια ηλεκτρική τάση (**τάση φραγμού**), με αποτέλεσμα η επαφή να παρουσιάζει επιλεκτική αντίσταση στη δίοδο του ηλεκτρικού ρεύματος, ανάλογα με τη φορά του ρεύματος. Οι ιδιότητες του φραγμού καθορίζουν τη λειτουργία του φωτοβολταϊκού στοιχείου.

Αν πέσει στην εξωτερική επιφάνεια του στρώματος n-τύπου φωτεινή ακτινοβολία, τότε **διεγείρονται** από τα προσπίπτοντα φωτόνια, τα άτομα του ημιαγωγού. Ηλεκτρόνια από την εξωτερική στιβάδα των ατόμων, τα οποία αρχικά ήταν δεσμευμένα στα άτομα, μετατρέπονται σε ελεύθερα ηλεκτρόνια, με αποτέλεσμα να δημιουργηθούν στο υλικό **n-τύπου**, πολύ περισσότερα ελεύθερα ηλεκτρόνια.

Τα ηλεκτρόνια που συσσωρεύονται στον ημιαγωγό **n - τύπου** απωθούνται μεταξύ τους, αφού είναι ομώνυμα φορτισμένα σωματίδια και πιέζουν για να μετακινηθούν προς την πλευρά του ημιαγωγού **p - τύπου**. Εμποδίζονται όμως από το φραγμό. Προκαλείται έτσι μεταξύ των δύο στρωμάτων μια διαφορά δυναμικού (ηλεκτρική τάση).

Αν συνδεθούν εξωτερικά τα δύο ηλεκτρόδια με αγωγούς μέσω μιας αντίστασης R_L , τότε θα έχουμε ροή ηλεκτρικού ρεύματος και κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στην αντίσταση (Σχ.6.4.1).

Τα ηλεκτρόνια δηλαδή από τον ημιαγωγό **n - τύπου** διατρέχουν τον αγωγό και την αντίσταση R_L και φθάνουν στον ημιαγωγό **p - τύπου**. Από εκεί διαπερνούν εύκολα το φραγμό και επιστρέφουν στον ημιαγωγό **n - τύπου** για να επαναλάβουν τον κύκλο.

Η ηλεκτρική τάση που αναπτύσσεται στο φωτοβολταϊκό στοιχείο πυριτίου είναι της τάξης του 0,5V. Η ένταση του ρεύματος εξαρτάται από το **εμβαδόν της επιφάνειας** του στοιχείου, την **ένταση της φωτεινής ακτινοβολίας** και το **βαθμό απόδοσης** του στοιχείου.

Η ακτινοβολία του Ήλιου σε μια επιφάνεια ενός τετραγωνικού μέτρου (1m^2) τοποθετημένη κάθετα στις ακτίνες του Ήλιου, πάνω στην επιφάνεια της γης, παρέχει μέγιστη ισχύ 1000W περίπου ($1000\text{W}/\text{m}^2$).

Η ισχύς αυτή λαμβάνεται κατά τις μεσημβρινές ώρες όταν η ακτινοβολία διασχίζει σχεδόν κάθετα την ατμόσφαιρα.

Τα φωτοστοιχεία μπορούν να μετατρέψουν αυτή την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική με βαθμό απόδοσης μέχρι 20% περίπου.

Προκειμένου να επιτύχουμε μεγαλύτερες τάσεις και εντάσεις για τις διάφορες εφαρμογές, συνδέουμε πολλά φωτοβολταϊκά στοιχεία σε σειρά και παράλληλα και σχηματίζουμε **φωτοβολταϊκές συστοιχίες**. Τα στοιχεία τοποθετούνται σε πλαίσια και συνδέονται μεταξύ τους με λεπτές μεταλλικές ταινίες ή σύρματα. Κατόπιν καλύπτονται με κάλυμμα από διαφανές πλαστικό ή γυαλί για να προστατεύονται από τις καιρικές συνθήκες (Σχ.6.4.2.).



Σχήμα 6.4.2: Φωτοβολταϊκή συστοιχία

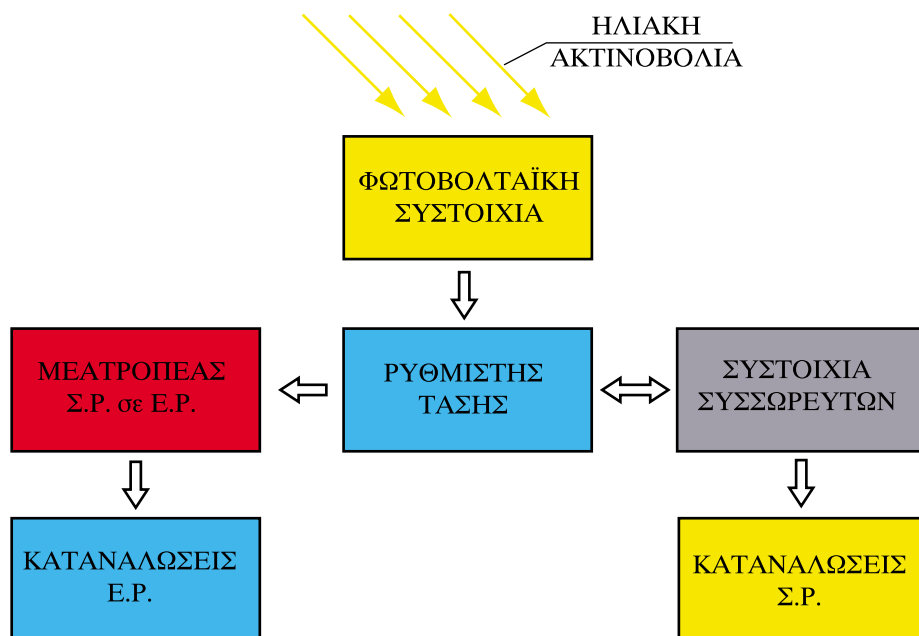
Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία χρησιμοποιούνται σε πλήθος εφαρμογών με παραγόμενη ισχύ από μερικά δέκατα του W έως δεκάδες MW.

Αναφέρουμε ενδεικτικά μερικές από αυτές:

- Τροφοδότηση απομονωμένων καταναλωτών με μικρές ποσότητες ηλεκτρικής ενέργειας, π.χ. φάρων ναυσιπλοΐας, τηλεπικοινωνιακών σταθμών στις κορυφές βουνών, επιστημονικών ερευνητικών σταθμών, ασύρματων τηλεφώνων, τεχνητών δορυφόρων, κτλ.
- Τροφοδότηση αυτόνομων μικρών συστημάτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, συνήθως σε συνδυασμό με ηλεκτρογεννήτριες ή ανεμογεννήτριες, τα οποία χρησιμοποιούνται για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας σε απομονωμένους μικρούς οικισμούς, αντλιοστάσια κτλ.

- Τροφοδότηση φωτοβολταϊκών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μεγάλης ισχύος που λειτουργούν συνδεδεμένοι στο ηλεκτρικό δίκτυο, παράλληλα με τους συμβατικούς σταθμούς.

Ένα τυπικό φωτοβολταϊκό σύστημα για την αυτόνομη τροφοδότηση με ηλεκτρική ενέργεια περιλαμβάνει τα μέρη που φαίνονται στη διάταξη του Σχ.6.4.3:



Σχήμα 6.4.3: Τυπικό διάγραμμα αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος για την τροφοδότηση μικρών και μεσαίων καταναλωτών ηλεκτρικής ενέργειας

Ανακεφαλαίωση

- Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία μετατρέπουν την ενέργεια της φωτεινής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια.
- Η λειτουργία τους βασίζεται στις ιδιότητες της επαφής $p - n$, δύο στρωμάτων ημιαγωγών, από τα οποία ο ημιαγωγός τύπου- n έχει περίσσεια ελευθέρων ηλεκτρονίων, ενώ ο ημιαγωγός τύπου- p , έλλειψη.
- Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία χρησιμοποιούνται σε πλήθος εφαρμογών, από τις οποίες σημαντική διάδοση έχει η τροφοδότηση με ηλεκτρική ενέργεια απομονωμένων καταναλωτών.

Ερωτήσεις

1. Να περιγράψετε τη λειτουργία του φωτοβολταϊκού στοιχείου.
2. Να αναφέρετε μερικές εφαρμογές των φωτοβολταϊκών στοιχείων.
3. Τι είναι μια φωτοβολταϊκή συστοιχία;
4. Περιγράψετε τη τυπική δομή ενός φωτοβολταϊκού συστήματος που χρησιμοποιείται για την τροφοδότηση με ηλεκτρική ενέργεια αυτόνομων καταναλωτών.
5. Ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο έχει βαθμό απόδοσης 16%. Αν η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία έχει ισχύ 1000W/m^2 , πόσα m^2 πρέπει να καλύπτει η επιφάνεια των στοιχείων, για να παραχθεί ηλεκτρική ισχύς ίση με 5MW;

(Απ. 31.250m^2)

ΕΝΟΤΗΤΑ 6.5

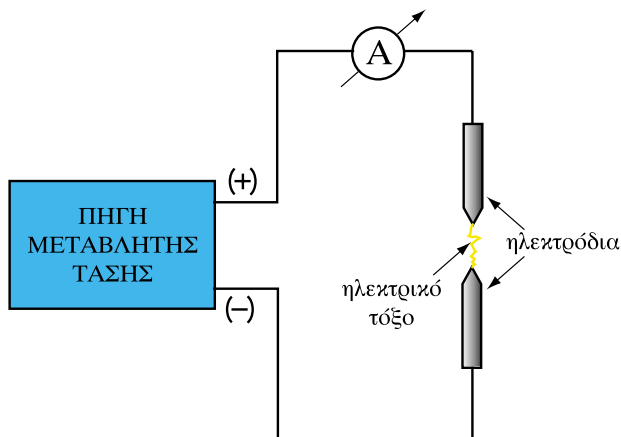
Αγωγιμότητα στα αέρια και στο κενό

“Διδακτικοί στόχοι”

Με τη μελέτη της ενότητας αυτής οι μαθητές θα είναι σε θέση:

- *Να περιγράφουν το μηχανισμό ιονισμού ενός αερίου.*
- *Να αναφέρουν τους παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται ο ιονισμός των αερίων.*
- *Να περιγράφουν τη δομή και τη λειτουργία του καθοδικού σωλήνα.*

6.5.1 Το ηλεκτρικό τόξο



Σχήμα 6.5.1: Σχηματική διάταξη παραγωγής ηλεκτρικού τόξου

Στο Σχ.6.5.1, έχουμε δύο ηλεκτροόδια τα οποία διαχωρίζονται μεταξύ τους από ένα διάκενο αέρα. Τα δύο ηλεκτροόδια συνδέονται με αγωγούς στα άκρα μιας πηγής μεταβλητής τάσης.

Κλείνουμε το διακόπτη της συσκευής με την τάση της πηγής να είναι μηδενική. Στη συνέχεια αυξάνουμε σταδιακά την τάση. Λόγω της πολύ μεγάλης αντίστασης του αέρα μεταξύ των ηλεκτροδίων, η ένδειξη του αμπερόμετρου παραμένει μηδενική, μέχρι η τάση να φθάσει σε κάποια συγκεκριμένη τιμή. Τότε παρατηρούμε ότι μεταξύ των ηλεκτροδίων σχηματίζεται ένα ηλεκτρικό τόξο (ή ηλεκτρικός σπινθήρας) και το κύκλωμα αρχίζει να διαρρέεται από ρεύμα. Η ένταση του ρεύματος εξαρτάται μόνο από τις ηλεκτρικές αντιστάσεις της πηγής και των αγωγών, γιατί με την έναρξη του τόξου ο αέρας έχει πολύ μικρή αντίσταση. Μετά από την εμφάνιση του τόξου μπορεί να μειωθεί η τάση της πηγής, χωρίς να διακοπεί το ρεύμα, επειδή τα μόρια του αέρα, όπως λέμε, **έχουν ιονιστεί** και η αγωγιμότητα του αέρα είναι μεγάλη. Η τάση διάσπασης (έναρξη τόξου) εξαρτάται από την απόσταση των ηλεκτροδίων. Όσο μακρύτερα βρίσκονται το ένα από το άλλο, τόσο μεγαλύτερη τάση απαιτείται.

Το παραπάνω φαινόμενο εκμεταλλευόμαστε στην ηλεκτροσυγκόλληση. Και εκεί πρώτα φέρνουμε σε επαφή το ηλεκτροόδιο με το προς συγκόλληση αντι-

κείμενο και στη συνέχεια, μόλις αρχίσει η αγωγιμότητα, απομακρύνουμε το ηλεκτρόδιο. Το τόξο συντηρείται, ενώ η απαιτούμενη για τη συντήρησή του τάση μειώνεται.

Η εμφάνιση του ηλεκτρικού τόξου οφείλεται όπως αναφέραμε στον **ιονισμό** του αέρα. Στην επόμενη παράγραφο θα δούμε πιο αναλυτικά το μηχανισμό δημιουργίας του ιονισμού στα αέρια.

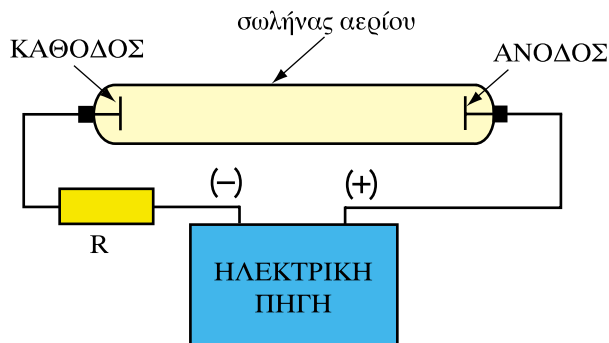
6.5.2 Ιονισμός των αερίων

Ο σχηματισμός ιόντων, δηλαδή η μετατροπή ουδέτερων ατόμων ή μορίων ενός αερίου σε ιόντα, ονομάζεται **ιονισμός** του αερίου.

Πραγματοποιείται, όταν από την εξωτερική στιβάδα ενός ατόμου ξεφύγουν ένα ή περισσότερα ηλεκτρόνια, οπότε το άτομο μετατρέπεται σε **θετικό ιόν**. Αν τα ηλεκτρόνια αυτά προσκολληθούν σε ένα άλλο άτομο, τότε το άτομο αυτό μετατρέπεται σε **αρνητικό ιόν**.

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι με τους οποίους μπορεί να ιονιστεί ένα αέριο:

- Ένας τρόπος είναι να συγκρουστεί το ουδέτερο άτομο με ένα σωματίδιο που κινείται με μεγάλη ταχύτητα, έχει δηλαδή μεγάλη κινητική ενέργεια (π.χ. να συγκρουστεί με ένα ηλεκτρόνιο).
- Άλλος τρόπος είναι να απορροφήσει το άτομο ενέργεια από μια ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, όπως στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο, κατά το οποίο τα άτομα του ημιαγωγού χάνουν ηλεκτρόνια υπό την επίδραση του φωτός, μετατρέπονται δηλαδή σε θετικά ιόντα.



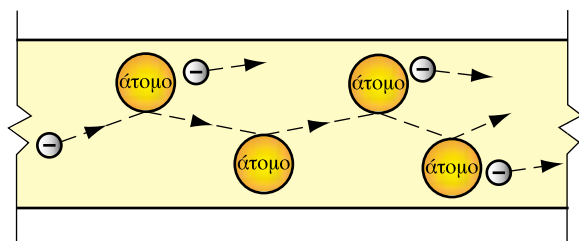
Σχήμα 6.5.2: Σχηματική παράσταση σωλήνα αερίου, όπου συμβαίνει ιονισμός του αερίου λόγω των συγκρούσεων των ηλεκτρονίων με τα άτομα του αερίου

Στο Σχ.6.5.2 έχει συνδεθεί σε ένα κύκλωμα ένας σωλήνας από γυαλί, γεμάτος αέριο, μέσα στον οποίο υπάρχουν δύο ηλεκτρόδια. Στα ηλεκτρόδια εφαρμόζεται η τάση της πηγής.

Η διαδικασία ιονισμού αρχίζει όταν λόγω του ηλεκτρικού πεδίου απελευθερωθεί κάποιο ηλεκτρόνιο από το αρνητικό ηλεκτρόδιο (κάθοδος) και στη συνέχεια αρχίζει να κινείται προς το θετικό ηλεκτρόδιο (άνοδος). Αυτό συμβαίνει γιατί το ηλεκτρόνιο, όντας αρνητικά φορτισμένο, απωθείται από το αρνητικό ηλεκτρόδιο και έλκεται από το θετικό.

Η **ταχύτητα** που αποκτά το ηλεκτρόνιο εξαρτάται από την εφαρμοσμένη τάση μεταξύ των ηλεκτροδίων και την **απόσταση** που διανύει μέχρι να συγκρουστεί με κάποιο μόριο του αερίου.

Εάν η ταχύτητα (η κινητική ενέργεια) του ηλεκτρονίου είναι αρκετά μεγάλη, τότε κατά τη σύγκρουση θα απελευθερωθούν και άλλα ηλεκτρόνια από τα άτομα του αερίου, τα οποία με τη σειρά τους θα κινούνται προς το θετικό ηλεκτρόδιο, συγκρουόμενα με άλλα μόρια (Σχ.6.5.3).



Σχήμα 6.5.3: Οι συγκρούσεις των ηλεκτρονίων με τα άτομα του αερίου απελευθερώνουν και άλλα ηλεκτρόνια

Τα ηλεκτρόνια αποτελούν την κύρια συνιστώσα του ρεύματος στο αέριο. Τα μόρια του αέρα που έχουν χάσει ηλεκτρόνια μετατρέπονται σε **θετικά ιόντα**. Τα θετικά αυτά ιόντα έλκονται από το αρνητικό ηλεκτρόδιο όπου, όταν φθάσουν σε αυτό, προσλαμβάνουν ηλεκτρόνια και μετατρέπονται πάλι σε ουδέτερα μόρια. Η κίνηση των θετικών ιόντων είναι η δευτερεύουσα συνιστώσα του ρεύματος του σωλήνα.

Αν τα αποσπασμένα από την κάθοδο ηλεκτρόνια δεν έχουν αρκετή κινητική ενέργεια, ώστε να αποσπάσουν ηλεκτρόνια από το άτομο του αερίου με το οποίο θα συγκρουστούν, το άτομο και προσλαμβάνει ένα ποσό ενέργειας, λέμε ότι είναι σε κατάσταση **διέγερσης**. Η κατάσταση αυτή είναι ασταθής.

Διαρκεί ελάχιστο χρόνο (10^{-8}s) και το άτομο επανέρχεται στην κανονική του κατάσταση αποβάλλοντας την ενέργεια με τη μορφή **φωτονίου**. Εκπέμπει δηλαδή φωτεινή ακτινοβολία.

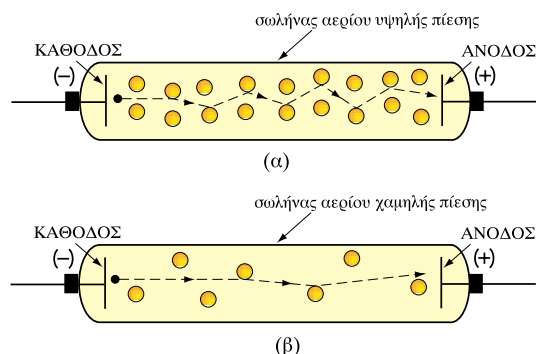
Το χρώμα της ακτινοβολίας αυτής είναι χαρακτηριστικό για κάθε αέριο. Το φαινόμενο έχει εφαρμογή στην κατασκευή λαμπτήρων με σωλήνες αερίου (λαμπτήρες νέον, λαμπτήρες ατμών υδραργύρου, λαμπτήρες ατμών νατρίου, κτλ.), οι οποίοι ονομάζονται λαμπτήρες φθορισμού.

Οι παράγοντες που καθορίζουν την εξέλιξη του φαινομένου ιονισμού των αερίων είναι:

- **Η τάση** μεταξύ των ηλεκτροδίων του σωλήνα. Όσο μεγαλύτερη είναι η τάση μεταξύ των ηλεκτροδίων, τόσο μεγαλύτερη η κινητική ενέργεια που αποκτούν τα ηλεκτρόνια.
- **Η πίεση** του αερίου. Όσο μεγαλύτερη η πίεση του αερίου του σωλήνα, τόσο πιο δύσκολα ιονίζεται το αέριο. Σαν παράδειγμα αναφέρεται ο σπινθήρας στα μπουζί των αυτοκινήτων, ο οποίος απαιτεί υψηλή τάση μερικών δεκάδων χιλιάδων V, επειδή, λόγω της συμπίεσης, το αέριο στο θάλαμο καύσης έχει υψηλή πίεση. Αντίθετα στους λαμπτήρες αερίου, όπου η πίεση του αερίου μέσα στο σωλήνα είναι σημαντικά χαμηλότερη της ατμοσφαιρικής, ο ιονισμός συντηρείται με χαμηλή τάση.

Η ερμηνεία του φαινομένου είναι η εξής:

Η πίεση μέσα στον σωλήνα προσδιορίζει και την πυκνότητα των μορίων του αερίου (Σχ.6.5.4).



Σχήμα 6.5.4: Στο σωλήνα χαμηλής πίεσης τα ηλεκτρόνια διανύουν μεγαλύτερες αποστάσεις προτού συγκρουστούν με τα άτομα. Αποκτούν έτσι μεγαλύτερη ταχύτητα και κινητική ενέργεια

Εάν η πίεση είναι υψηλή, η πυκνότητα των μορίων του αερίου είναι μεγάλη, με αποτέλεσμα να πραγματοποιούνται πολλές και συχνές συγκρούσεις ηλεκτρονίων και ατόμων. Η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών συγκρούσεων είναι μικρή και τα ηλεκτρόνια δεν προλαβαίνουν να αποκτήσουν μεγάλη ταχύτητα και αντίστοιχη κινητική ενέργεια.

Όταν όμως η πίεση είναι χαμηλή, τότε τα ηλεκτρόνια διανύουν μεγαλύτερη απόσταση χωρίς να συγκρουστούν, αποκτώντας έτσι μεγαλύτερη κινητική ενέργεια για τη δημιουργία ιονισμού.

- **Το είδος του αερίου.** Το είδος του αερίου επηρεάζει σημαντικά την τιμή της απαιτούμενης τάσης για να αρχίσει ο ιονισμός. Για παράδειγμα οι ατμοί νατρίου απαιτούν πολύ χαμηλότερη τάση από ό,τι το αέριο νέον.

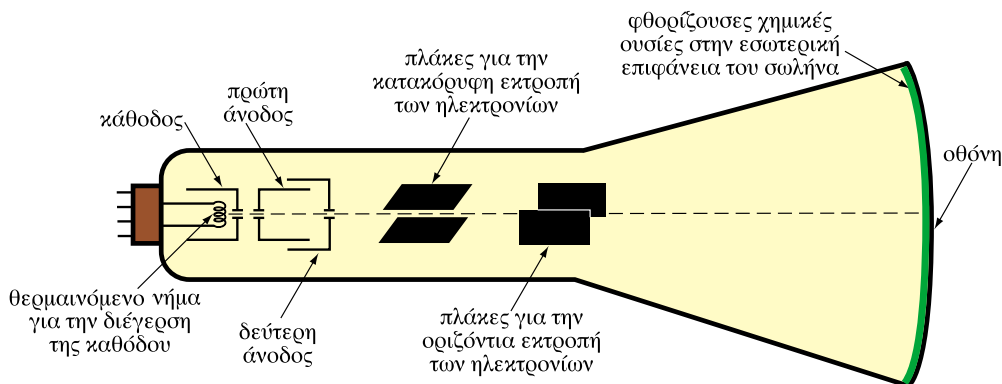
6.5.3 Ο καθοδικός σωλήνας

Αν η πίεση του αερίου μέσα στο σωλήνα της προηγούμενης παραγράφου γίνει πολύ μικρή, της τάξης του ενός εκατομμυρίου φορές μικρότερη από την ατμοσφαιρική, τότε το ρεύμα εξακολουθεί να κυκλοφορεί στο κύκλωμα, αλλά **τα φωτεινά φαινόμενα εξαφανίζονται**. Πρακτικά αυτό σημαίνει ότι έχουμε αγωγιμότητα στο κενό. Το εσωτερικό του σωλήνα είναι σκοτεινό και μόνο τα τοιχώματα του σωλήνα που βρίσκονται απέναντι από την κάθοδο **φθορίζουν**, εκπέμπουν δηλαδή ένα ασθενές πρασινωπό φως.

Ο φθορισμός αυτός οφείλεται στην πρόσπτωση δέσμης ηλεκτρονίων στην επιφάνεια του γυαλιού. Η δέσμη αυτή των ηλεκτρονίων ονομάζεται και καθοδική ακτινοβολία γιατί τα ηλεκτρόνια εκπέμπονται από την κάθοδο του σωλήνα.

Το παραπάνω φαινόμενο αξιοποιείται στους **καθοδικούς σωλήνες**, των οποίων η φθορίζουσα επιφάνεια χρησιμεύει ως οθόνη στους παλμογράφους, τις τηλεοράσεις κτλ.

Στο Σχ. 6.5.5. παρουσιάζεται το σχηματικό διάγραμμα ενός καθοδικού σωλήνα.



Σχήμα 6.5.5: Σχηματικό διάγραμμα καθοδικού σωλήνα

Για τη δημιουργία ηλεκτρονίων χρησιμοποιείται ένα θερμαινόμενο νήμα, το οποίο θερμαίνει την κάθοδο, διευκολύνοντας την απόσπαση ηλεκτρονίων από αυτήν.

Τα ηλεκτρόνια αποκτούν πολύ γρήγορα μεγάλη ταχύτητα καθώς οι συγκρούσεις με τα άτομα του αερίου είναι πολύ σπάνιες, λόγω της μεγάλης αραιώσής του.

Η άνοδος έχει μια οπή, ώστε να διέρχεται μέσα από αυτήν, σε ευθεία γραμμή, μια στενή δέσμη ηλεκτρονίων. Τελικά η δέσμη συναντά τη **φθορίζουσα οθόνη** στο πλατύ άκρο του σωλήνα, όπου σχηματίζει μια φωτεινή κουκίδα.

Καθώς η δέσμη των ηλεκτρονίων κατευθύνεται από την άνοδο προς την οθόνη, υποχρεώνεται να περάσει ανάμεσα από δύο ζεύγη μεταλλικών πλακών, τα οποία ονομάζονται πλάκες εκτροπής. Εφαρμόζοντας τάση μεταξύ των πλακών δημιουργείται ηλεκτρικό πεδίο το οποίο έλκει τα ηλεκτρόνια με αποτέλεσμα την εκτροπή της δέσμης, είτε κατακόρυφα, είτε οριζόντια. Κατά συνέπεια μεταβάλλοντας την τάση στα δύο ζεύγη των πλακών μπορούμε να μετακινούμε την κουκίδα πάνω στην οθόνη.

Αν υποθέσουμε ότι στις πλάκες εφαρμόζεται μια εναλλασσόμενη τάση, τότε η εικόνα της φωτεινής κουκίδας θα δείχνει με ακρίβεια τη μορφή της εναλλασσόμενης τάσης.

Μ' αυτό τον τρόπο, ένας καθοδικός σωλήνας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παρατήρηση και μέτρηση ηλεκτρικών σημάτων, όπως συμβαίνει στον **παλμογράφο**.

Με κάποιες τροποποιήσεις ο καθοδικός σωλήνας χρησιμοποιείται στις τηλεοράσεις και στις οθόνες των ηλεκτρονικών υπολογιστών.

Ανακεφαλαίωση

- Το ηλεκτρικό τόξο οφείλεται στον ιονισμό των μορίων του αέρα.
- Ο ιονισμός ενός αερίου μπορεί να πραγματοποιηθεί αν συγκρουστούν τα άτομα του αερίου με ηλεκτρόνια που έχουν αρκετή κινητική ενέργεια.
- Ο ιονισμός εξαρτάται από την τάση που εφαρμόζεται στο σωλήνα του αερίου, από την πίεση και από το είδος του αερίου.
- Ο καθοδικός σωλήνας δημιουργεί μια στενή δέσμη ηλεκτρονίων που αφήνει φωτεινή κουκίδα πάνω σε μια οθόνη. Η κίνηση της φωτεινής κουκίδας μπορεί να απεικονίζει τη μεταβολή ηλεκτρικών σημάτων και επομένως ο καθοδικός σωλήνας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παρατήρηση και τη μέτρηση ηλεκτρικών μεγεθών.

Ερωτήσεις

1. Πως μπορεί να ιονιστεί ένα αέριο;
2. Γιατί ο ιονισμός είναι εντονότερος όταν το αέριο βρίσκεται σε σωλήνα χαμηλής πίεσης;
3. Ποιοί παράγοντες επηρεάζουν τον ιονισμό ενός αερίου;
4. Πώς παράγεται η φωτεινή ακτινοβολία στους λαμπτήρες φθορισμού;
5. Να περιγράψετε την αρχή λειτουργίας του καθοδικού σωλήνα.

Ενότητα 6.6

Ο Ηλεκτρισμός της γήινης ατμόσφαιρας

“Διδακτικοί στόχοι”

Με τη μελέτη της ενότητας αυτής οι μαθητές θα είναι σε θέση:

- *Να περιγράφουν το μηχανισμό δημιουργίας των ηλεκτρικά φορτισμένων νεφών στην ατμόσφαιρα και των κεραυνών.*
- *Να αναφέρουν μερικά χαρακτηριστικά στατιστικά μεγέθη σχετικά με τους κεραυνούς.*
- *Να έχουν μια γενική εισαγωγική γνώση σχετικά με τους κινδύνους από τους κεραυνούς και τα μέσα προστασίας τους.*

6.6 Ο Ηλεκτρισμός της γήινης ατμόσφαιρας

Το πιο εντυπωσιακό φυσικό φαινόμενο που οφείλεται στον στατικό ηλεκτρισμό και την αγωγιμότητα της γήινης ατμόσφαιρας είναι ο **κεραυνός**. Ο κεραυνός είναι η ηλεκτρική εκκένωση μεταξύ νέφους και γης, που συμβαίνει κατά τη διάρκεια των καταιγίδων.

6.6.1 Δημιουργία ηλεκτρικών φορτίων στην ατμόσφαιρα

Η δημιουργία ηλεκτρικών φορτίων στην ατμόσφαιρα οφείλεται σε δύο παράγοντες:

- Στην υγρασία
- Στα ανοδικά ρεύματα αέρα.

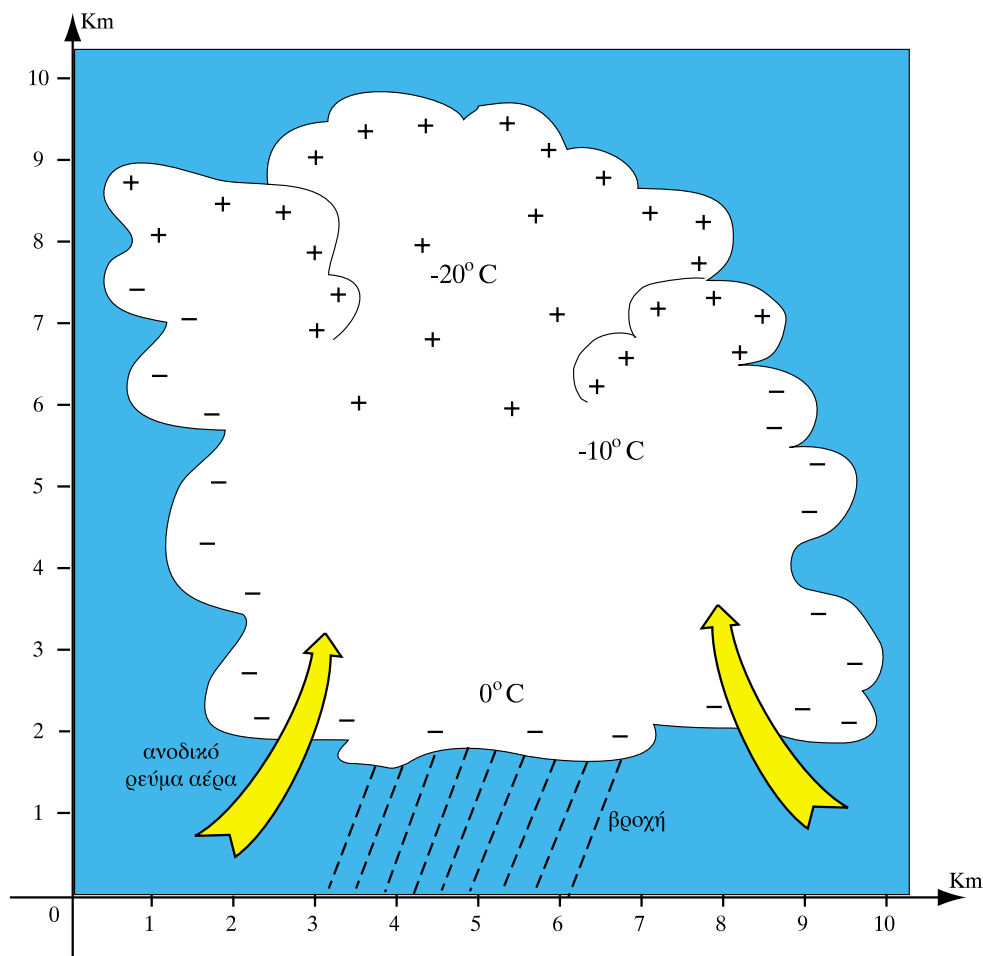
Η ηλιακή ακτινοβολία προκαλεί εξάτμιση του νερού της επιφάνειας της γης (θάλασσα, λίμνες, ποτάμια). Παράλληλα η ηλιακή ακτινοβολία θερμαίνει και την επιφάνεια του εδάφους με αποτέλεσμα να δημιουργούνται ανοδικά ρεύματα στα στρώματα του αέρα που βρίσκονται περιστασιακά πάνω από τις θερμότερες περιοχές του εδάφους.

Καθώς οι υδρατμοί από την εξάτμιση του νερού ανέρχονται στα υψηλότερα στρώματα της ατμόσφαιρας, όπου οι θερμοκρασίες είναι χαμηλότερες, ψύχονται και συμπυκνώνονται σε σταγονίδια σχηματίζοντας τα νέφη (σύννεφα). Ανάλογα με τις επικρατούσες συνθήκες, θερμοκρασίας και ανέμου, τα νέφη μπορούν να μετατραπούν σε νέφη καταιγίδας. Τα σταγονίδια συμπυκνώνονται σε μεγαλύτερες σταγόνες βροχής, σε χαλάζι, ή χιόνι και πέφτουν προς τα κάτω. Κατά τη πτώση τους τα συμπυκνώματα του νερού έρχονται σε επαφή με ανοδικά ρεύματα αέρα. Η τριβή τους με τα μόρια των ρευμάτων δημιουργεί στα νέφη της καταιγίδας ισχυρά ηλεκτρικά φορτία.

Στο Σχ. 6.6.1. παρουσιάζεται ένα τυπικά φορτισμένο νέφος, στο οποίο έχει σημειωθεί η διανομή στο χώρο της **θερμοκρασίας** και των **ηλεκτρικών φορτίων**.

Το πάνω μέρος του νέφους είναι φορτισμένο με **θετικά** φορτία ενώ το κάτω μέρος κυρίως με **αρνητικά φορτία**.

Η απόσταση της κάτω επιφάνειας του νέφους από τη γη, κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 0,5 και 2 km. Το ύψος και η διάμετρος του νέφους είναι της τάξης μερικών χιλιομέτρων.



Σχήμα 6.6.1: Φορτισμένο νέφος

6.6.2 Το ηλεκτρικό πεδίο της ατμόσφαιρας

Στην ατμόσφαιρα υπάρχει πάντα, ακόμη και σε περίπτωση καλοκαιρίας, ένα **ηλεκτροστατικό πεδίο**. Το ηλεκτροστατικό αυτό πεδίο οφείλεται **στον ιονισμό** των αερίων της ατμόσφαιρας (αζώτου, οξυγόνου κτλ.) λόγω της υπεριώδους ακτινοβολίας του ήλιου, της κοσμικής ακτινοβολίας, των ηλεκτρικών φαινομένων, είτε της ακτινοβολίας ραδιενεργών ουσιών του εδάφους. Τα αρνητικά ιόντα του αέρα είναι πιο ευκίνητα από τα θετικά και διοχετεύονται προς τη γη, με αποτέλεσμα μεταξύ ατμόσφαιρας και γης, σε κανονικές συνθήκες, να υπάρχει ηλεκτρικό πεδίο, η ένταση E του οποίου έχει κατεύθυνση από πάνω προς τα κάτω και μέτρο της τάξης των 100 V/m .

Σε περίπτωση κακοκαιρίας μεταξύ του νέφους της καταιγίδας και της γης, δημιουργείται πολύ ισχυρότερο πεδίο με ίδια ή αντίθετη κατεύθυνση, λόγω των ισχυρών αρνητικών ή θετικών φορτίων που επικρατούν στην κάτω επιφάνεια του νέφους.

Η ένταση του πεδίου αυτού μπορεί να γίνει 100 φορές μεγαλύτερη από ό,τι κατά τη διάρκεια της καλοκαιρίας. Η **διαφορά δυναμικού** (ηλεκτρική τάση) μεταξύ νέφους καταιγίδας και εδάφους μπορεί να φθάσει μερικές δεκάδες ή και εκατοντάδες εκατομμύρια V (Volt).

6.6.3 Ο σχηματισμός του κεραυνού

Ο κεραυνός δημιουργείται όταν η **ένταση** του ηλεκτρικού πεδίου ξεπεράσει μια τιμή της τάξης των 10 kV/m.

Η κεραυνική ηλεκτρική εκκένωση ξεκινά από τα αρνητικά φορτία για να καταλήξει στα θετικά. Γι' αυτό συνήθως οι κεραυνοί ξεκινούν από την αρνητικά φορτισμένη επιφάνεια των νεφών και καταλήγουν στο έδαφος. Υπάρχουν όμως και κεραυνοί που ξεκινούν από το έδαφος προς θετικά φορτισμένα νέφη και **αστραπές** που δημιουργούνται ανάμεσα σε νέφη αρνητικά φορτισμένα και νέφη θετικά φορτισμένα.

Η διάσπαση λοιπόν του αέρα αρχίζει από το νέφος με τη δημιουργία **οχετού**, ο οποίος φωτοβολεί με έντονο κυανόλευκο **χρώμα**. Ο οχετός προχωρεί με μεγάλη ταχύτητα προς τα κάτω σχηματίζοντας και διακλαδώσεις.

Όταν ο οχετός φθάσει σε μικρή απόσταση από το έδαφος, αναχωρεί από το έδαφος ένας άλλος οχετός, που ονομάζεται οχετός επιστροφής, για να συναντήσει τον πρώτο. Ο οχετός αυτός ξεκινά κατά προτίμηση από εξάρσεις (προεξοχές) του εδάφους (λόφους, ψηλά δένδρα, ψηλά κτίρια, ιστούς κτλ.).

Όταν οι δύο οχετοί συναντηθούν, πραγματοποιείται η κυρία εκκένωση κατά την οποία το ηλεκτρικό φορτίο του νέφους, που είναι κατά κανόνα αρνητικό, εξουδετερώνεται από το θετικό φορτίο της γης.

Μετά την κύρια εκκένωση, μέσα από τον αγωγίμο δρόμο που έχει δημιουργηθεί, ακολουθούν και άλλες μικρότερες εκκενώσεις. Η συνολική διάρκεια του φαινομένου δεν ξεπερνά το χρόνο του 1 δευτερολέπτου (1s).

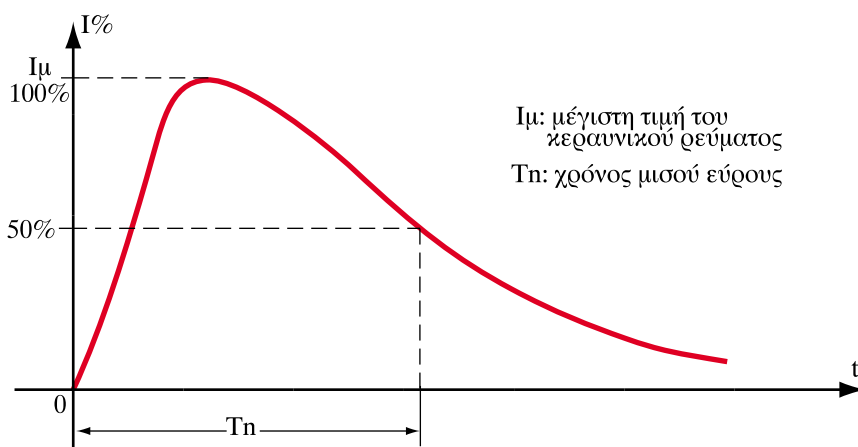
Το ηλεκτρικό φορτίο που εκκενώνεται κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 1 και 20 C, έχουν παρατηρηθεί όμως εκκενώσεις και πολύ μεγαλύτερων φορτίων.



Σχήμα 6.6.2: Φωτογραφία κεραυνών. Η έντονη λευκή γραμμή δείχνει τον "οχετό" της κύριας ηλεκτρικής εκκένωσης

Επειδή ο οχετός του κεραυνού απολήγει σε εξάρσεις του εδάφους, ένα από τα κύρια μέτρα αντικεραυνικής προστασίας είναι η δημιουργία τεχνητών εξάρσεων (ράβδοι αλεξικέραυνου) για να πέσει ο κεραυνός σε προκαθορισμένο σημείο.

Η στιγμιαία ένταση του ρεύματος του κεραυνού έχει στο διάγραμμα έντασης – χρόνου τη μορφή του σχήματος (Σχ.6.6.3). Ένα ρεύμα αυτής της μορφής ονομάζεται **κρουστικό**.



Σχήμα 6.6.3: Μορφή του κρουστικού ρεύματος του κεραυνού

Η μεγίστη τιμή I_m του ρεύματος είναι της τάξης μερικών ΚΑ. Συνήθως δεν ξεπερνά τα 20ΚΑ, έχουν όμως παρατηρηθεί και πολύ μεγαλύτερα ρεύματα.

Υπολογίζεται ότι η συχνότητα των ηλεκτρικών εκκενώσεων μεταξύ νεφών (αστραπές) ή μεταξύ νεφών και γης (κεραυνοί) που συμβαίνουν σε όλο τον πλανήτη είναι 100 ανά δευτερόλεπτο.

6.6.4 Συνέπειες από την πτώση των κεραυνών και προστασία

Τα κεραυνικά ρεύματα προκαλούν φαινόμενα:

- θερμικά
- ηλεκτροδυναμικά
- ηλεκτροχημικά.

Στα σημεία όπου τα κεραυνικά ρεύματα συναντούν μεγάλες ωμικές αντιστάσεις (π.χ. λεπτά σύρματα), προκαλούν υπερθέρμανση μέχρι του σημείου τήξης των μετάλλων.

Εύλινες κατασκευές και άλλα εύφλεκτα υλικά που θα βρεθούν στην πορεία του ρεύματος μπορεί να αναφλεγούν.

Μπορούν ακόμη να προκληθούν σοβαρές ρωγμές στην τοιχοποιία των κτιρίων και σε στύλους, λόγω της απότομης εξαέρωσης της υγρασίας που περιέχεται στα υλικά κατασκευής τους.

Προφανώς τα ρεύματα είναι πολύ επικίνδυνα για τον άνθρωπο που θα βρεθεί κοντά σ' αυτά. Προκαλούν τα ίδια συμπτώματα με την ηλεκτροπληξία από τις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις, αλλά σε πολύ μεγαλύτερο βαθμό.

Ιδιαίτερα επικίνδυνα είναι η **βηματική τάση**. Βηματική τάση ονομάζεται η διαφορά δυναμικού που δημιουργείται μεταξύ των σημείων του εδάφους που απέχουν μεταξύ τους 1 m.

Στο σημείο του εδάφους όπου καταλήγει ο κεραυνός, το δυναμικό της γης παίρνει μεγάλες τιμές και μειώνεται σταδιακά όσο μεγαλώνει η απόσταση από το σημείο. Ενδέχεται επομένως τα δύο πόδια του ανθρώπου, που πατά στο έδαφος, να βρεθούν σε μια σημαντική διαφορά δυναμικού (τάση) μεταξύ τους (βηματική τάση), με αποτέλεσμα να διαπεράσει τον άνθρωπο ρεύμα ηλεκτροπληξίας. Για το λόγο αυτό πρέπει κανείς την ώρα της κακοκαιρίας να έχει τα πόδια του κλειστά. Πρέπει ακόμη να μη στέκεται όρθιος, ούτε κάτω από τα

δένδρα και να μην ακουμπά μεταλλικούς σωλήνες ή άλλους αγωγούς του ηλεκτρισμού από τους οποίους θα μπορούσε να περάσει το ρεύμα του κεραυνού.

Τα **ηλεκτροδυναμικά** φαινόμενα είναι υπεύθυνα για την ανάπτυξη ισχυρών δυνάμεων. Στις περιπτώσεις όπου το ρεύμα του κεραυνού διακλαδίζεται σε δύο παράλληλους αγωγούς, λόγω του μαγνητικού πεδίου που δημιουργείται γύρω από τους αγωγούς, μεταξύ των αγωγών αναπτύσσονται ισχυρές ελκτικές δυνάμεις, οι οποίες μπορούν να αποκολλήσουν τους αγωγούς από τις θέσεις τους.

Τέλος τα **ηλεκτροχημικά** φαινόμενα προκαλούν ηλεκτρολυτική αποσύνθεση – σύμφωνα με τους νόμους της ηλεκτροχημείας – στους αγωγούς γείωσης και στις μεταλλικές κατασκευές, από όπου διέρχεται ο κεραυνός, γι' αυτό πρέπει να λαμβάνονται κατάλληλα μέτρα (π.χ. καθοδική προστασία).

Για την προστασία των κτιρίων, των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων και του ανθρώπου λαμβάνονται μέτρα αντικεραυνικής προστασίας, τα οποία θα γνωρίσουμε αναλυτικά στο μάθημα των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων.

Τα μέτρα αυτά περιλαμβάνουν την κατασκευή συστήματος αγωγών εξωτερικά του κτιρίου (αντικεραυνική προστασία με σύστημα κλωβού), την κατασκευή γείωσης, την εσωτερική εγκατάσταση αντικεραυνικής προστασίας και την προστασία των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων και κατασκευών από τις κρουστικές τάσεις (υπερτάσεις) των κεραυνών.

Οι κανονισμοί επιβάλλουν ενισχυμένα μέτρα προστασίας ανάλογα με το βαθμό επικινδυνότητας της κάθε κατασκευής. Μεγαλύτερος κίνδυνος θεωρείται ότι υπάρχει σε ψηλά κτίρια, κτίρια σε μεγάλο υψόμετρο, μεμονωμένα κτίρια, κτίρια σχολείων, νοσοκομείων, κτίρια με ξύλινες κεραμοσκεπές, κτίρια σε περιοχές όπου η συχνότητα πτώσης κεραυνών είναι μεγάλη (π.χ. Δυτική Ελλάδα) κτλ.

Στο Σχ.6.6.4. παρουσιάζεται ενδεικτικά μια τυπική εγκατάσταση εξωτερικής αντικεραυνικής προστασίας για μια οικία σε αγροτική περιοχή.



Σχήμα 6.6.4: Τυπικό σύστημα εξωτερικής αντικεραυνικής προστασίας οικίας

Ανακεφαλαίωση

- Η δημιουργία ηλεκτρικών φορτίων στην ατμόσφαιρα οφείλεται στην υγρασία από την εξάτμιση των επιφανειακών υδάτων και τα ανοδικά ρεύματα αέρα, που δημιουργούν τα νέφη καταιγίδας.
- Μεταξύ ενός νέφους καταιγίδας και της γης δημιουργείται ισχυρό ηλεκτρικό πεδίο, με αποτέλεσμα τη διάσπαση του αέρα και την εμφάνιση ηλεκτρικών εκκενώσεων (κεραυνών).
- Τα κεραυνικά ρεύματα προκαλούν θερμικά, ηλεκτροδυναμικά και ηλεκτροχημικά αποτελέσματα και πρέπει να αντιμετωπίζονται με κατάλληλα συστήματα αντικεραυνικής προστασίας.

Ερωτήσεις

1. Πως δημιουργούνται τα νέφη καταιγίδας;
2. Τι είναι η βηματική τάση και γιατί είναι επικίνδυνη για τον άνθρωπο;
3. Ποιές προφυλάξεις πρέπει να παίρνει κανείς κατά τη διάρκεια μιας καταιγίδας;
4. Σε ποιά σημεία του εδάφους ο κίνδυνος πτώσης κεραυνού είναι μεγαλύτερος;
5. Τι περιλαμβάνουν τα μέτρα αντικεραυνικής προστασίας;

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ

1. Χ. Κανελλόπουλος, Γ. Παληός, Γ. Χατζαράκης "Κυκλώματα συνεχούς και εναλλασσόμενου ρεύματος", Α' Τάξη 1ου Κύκλου του τομέα Ηλεκτρονικών, Ο.Ε.Δ.Β., 1999.
2. Α. Βιδιάδάκης, Χ. Κανελλόπουλος, Α. Μπινιάρης, Γ. Χατζαράκης "Ηλεκτρολογία", Γ' Τάξη Ενιαίου Λυκείου, Ο.Ε.Δ.Β., 1999.
3. Δημόπουλος Φ., Παγιάτης Χ., Πάγκαλος Στ., "Στοιχεία Ηλεκτρολογίας", Τομέας Μηχανολογικός, Ο.Ε.Δ.Β., 2000.
4. Δημητριάδης Φρ. - Λυσώτης Φ. "Ηλεκτρολογία" Δ' Τάξη Τεχνικής κατεύθυνσης, Υπουργείο Παιδείας Κύπρου, 1995.
5. Κοκκινάκης Γ. - Καρύδης Γ. "Ηλεκτροτεχνία Α και Β' τόμος" Ε.Π.Λ., Ο.Ε.Δ.Β.
6. Κοκκινάκης Γ. - Καρύδης Γ. "Ηλεκτροτεχνία Ι και ΙΙ", Ίδρυμα Ευγενίδου, 1989.
7. Πάγκαλος Στ. - Τουλόγλου Στ. "Στοιχεία Ηλεκτρισμού", Εκδόσεις ΙΩΝ, 1992.
8. Βασιλακόπουλος Σπυρίδων "Εφαρμοσμένη Ηλεκτρολογία - Ηλεκτρικά όργανα μετρήσεων" Ίδρυμα Ευγενίδου.
9. "Ηλεκτροτεχνία" Ευρωπαϊκές Τεχνολογικές Εκδόσεις, 1994.
10. R. J. Fowler "Ηλεκτροτεχνία AC-DC", Εκδόσεις Α. Τζιόλα, Θεσσαλονίκη 1999.
11. Siemens A.E., Σειρά εκπαιδευτικών βοηθημάτων "Προγραμματισμένη Εκπαίδευση", Εκδόσεις Παπαζήση, 1970.
12. Herman St. "Ηλεκτρολογία", Εκδόσεις ΙΩΝ, 1999.
13. Ε. Πρωτονατάριος, "Μαθήματα Ειδικής Ηλεκτροτεχνίας", Αθήνα 1979.
14. Γ. Ε. Χατζαράκης "Ηλεκτρικά Κυκλώματα, Τόμος Α' ", Εκδόσεις Α. Τζιόλα, 1998.

15. J. Edminister "Ηλεκτρικά Κυκλώματα", Εκδόσεις ΕΣΠΙ, Αθήνα 1980.
16. Kaufman - Seidman "Εγχειρίδιο Ηλεκτρονικής", Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη 1992.
17. Μόσχοβιτς Μ. "Ηλεκτρικές Εφαρμογές", Α' Τάξη Τ.Ε.Λ., Ίδρυμα Ευγενίδου, 1983.
18. Παλαιοκρασσάς Στ. "Βιομηχανικά Ηλεκτρονικά - Αυτοματισμοί", Γ' Τ.Ε.Λ. Ίδρυμα Ευγενίδου.
19. Θεοφιλόπουλος Κ. "Σημειώσεις επί του Ηλεκτρολογικού Πεδίου" Ε.Μ.Π. 1966.
20. Βλάχος Ι. - Ζάχος Κ. - Κόκκοτας Π. - Τιμοθέου Γ. "Φυσική", Β' Λυκείου, Ο.Ε.Δ.Β. 1975.
21. Ζερβάκος Α. "Τεχνολογία Ηλεκτρονικών Εξαρτημάτων", Αθήνα, 1975.
22. Μάζης Αλκ. "Φυσική", Β' Λυκείου Ο.Ε.Δ.Β., 1996.
23. Κόντος Δ. "Αντικεραυνικός Κώδικας", Εκδόσεις ΕΛΕΜΚΟ, Αθήνα 1987.

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ

1. J. W. Nilsson, S. A. Riedel, "Electric Circuits", Addison Wesley, 1996.
2. C. K. Alexander, M. N. Sadiku "Fundamentals of Electric Circuits", McGraw – Hill, 2000.
3. F. Reza, S. Seely, "Modern Network Analysis".
4. A. Charles, S. Besoer & Ernest, Kuh "Basic Circuit Theory", McGraw – Hill, 1969.
5. "Electric Circuits (Problem Solvers)", REA'S, 1992.
6. Attwood St. "Electric and Magnetic Fields", Dover publications, INC, New York, 1949.
7. Smythe W. "Static and Dynamic Electricity", McGraw – Hill, New York, 1968.
8. Westinghouse Electric Corporation, "Electrical Transmission and distribution Reference Book", Pennsylvania, 1964.

ΛΕΞΙΛΟΓΙΟ

Α

άεργος ισχύς	reactive power
αμπερόμετρο	ammeter
ανοικτό κύκλωμα	open circuit
ανόρθωση	rectification
αντίσταση	resistance (R)
αντιστάτης	resistor
απλή ανόρθωση	half wave rectification
αυτεπαγωγή	inductance (I)

Β

βατόμετρο	wattmeter
βολτόμετρο	voltmeter
βραχυκύκλωμα	short circuit
βρόχος	mesh

Γ

γαλβανοπλαστική	galvanoplasty
γεννήτρια εναλλασσόμενου ρεύματος	AC generator
Γέφυρα Wheatstone	wheatstone bridge
γραμμικό κύκλωμα	linear circuit

Δ

διαιρέτης ρεύματος	current divider
διαιρέτης τάσης	voltage divider
διαφορά δυναμικού	potential difference
διηλεκτρική αντοχή	dielectric strength
διηλεκτρική πόλωση	dielectric polarization
διηλεκτρική σταθερά	dielectric constant
δίοδος	diode
διόρθωση συντελεστή ισχύος	power factor correction
Δυναμική γραμμή	line of force

Ε

εκφόρτιση	discharging
εναλλασσόμενο ρεύμα	
ενεργός τιμή	root mean square value (rms value)
ένταση ηλεκτρικού πεδίου	electric field strength
ένταση μαγνητικού πεδίου	magnetic field strength

επαγωγική αντίδραση
επαγωγικό κύκλωμα
επαγωγικός συντελεστής ισχύος
επαλληλία (υπέρθθεση)

inductive reactance
inductive circuit
inductive power factor
superposition

Z

ζώνη διέλευσης

bandwidth

H

ηλεκτρική άπωση
ηλεκτρική έλξη
ηλεκτρική ισχύς
ηλεκτρική πολικότητα
ηλεκτρική στήλη (στοιχείο)
ηλεκτρικό δίκτυο (σύνθετο κύκλωμα)
ηλεκτρικό κύκλωμα
ηλεκτρικό πεδίο
ηλεκτρικό τόξο
ηλεκτρικό φορτίο
ηλεκτρικό φορτίο (καταναλωτής)
ηλεκτρισμός
ηλεκτρόλυση
ηλεκτρολυτική διάβρωση
ηλεκτρολυτικός πυκνωτής
Ηλεκτροστατική επίδραση
ημιτονικό εναλλασσόμενο ρεύμα

electrical repulsion
electric attraction
electric power
electrical polarity
electric cell
electric network
electric circuit
electric field
electric arc
electric charge
electrical load
electricity
electrolysis
electrolytic corrosion
electrolytic capacitor
electric induction
sinusoidal AC

Θ

Θερμοστοιχείο

thermocouple

I

ιονισμός
ισοδύναμο κύκλωμα

ionization
equivalent circuit

K

καθοδικός σωλήνας
κλάδος
κόμβος
κόμβος αναφοράς
κονσταντάν (ή κονσταντάνη)
κυκλική συχνότητα

cathodic tube
branch
node
reference node
constantan
angular frequency (ω)

Λ

Μ

μαγνητική άπωση	magnetic repulsion
μαγνητική βελόνα	magnetic needle
μαγνητική δύναμη	magnetic force
μαγνητική έλξη	magnetic attraction
μαγνητική ροή	magnetic flux
μαγνητικό κύκλωμα	magnetic circuit
μαγνητικό πεδίο	magnetic field
μαγνητικό πόλος	magnetic pole
μαγνητικό υλικό	magnetic material
μαγνητικός κορεσμός	magnetic saturation
μέγιστη μεταφορά ισχύος	maximum power transfer
μέση ισχύς	average power
μέση τιμή	mean value
μετασχηματιστής	transformer/adaptor
μετατροπή τριγώνου σε αστέρα	delta – wye transformation
μίκρα	mica

Ν

νόμος ρευμάτων Kirchhoff (KCL)	Kirchhoff's current law
νόμος τάσεων Kirchhoff (KVL)	Kirchhoff's voltage
νόμος του Ohm	Ohm's law

Ξ

Ο

Π

παράλληλη συνδεσμολογία	parallel combination
παράλληλος συντονισμός	parallel resonance
παραμένων μαγνητισμός	magnetic remanence
περίοδος	period (T)
πηγή	source
πηνίο	inductor
πλάτος	amplitude
πλήρης ανόρθωση	full wave rectification
πραγματική ισχύς	real power

πυκνότητα ρεύματος
πυκνωτής

electric current density
capacitor

P

ρεύμα

current

Σ

σε σειρά συνδεσμολογίας
σταθερά χρόνου
σταθεροποίηση
σταθεροποιητής
στιγμιαία ισχύς
στοιχείο κυκλώματος
συνδεσμολογία φορτίου σε αστέρα
συνεχές ρεύμα
σύνθετη αντίσταση
συντελεστή ισχύος
συντελεστής μεταπορείας
συντελεστής ποιότητας
συντελεστής προπορείας
συντονισμός σειράς
συσσωρευτής
συχνότητα
συχνότητα συντονισμού

series combination
time constant
stabilization
stabilizer
instantaneous power
circuit element
wye - connected load
direct current (dc)
impedance
power factor (pf)
lagging pf
quality factor (QΠ)
leading pf
series resonance
battery
frequency (f)
resonant frequency (f0)

T

ταντάλιο
τάση
τριγωνική σύνδεση φορτίου
τρίγωνο ισχύος
τριφασικό σύστημα

tantalum (Ta)
voltage
delta - connected load
power triangle
three - phase system

Υ

Φ

φαινόμενη ισχύς
φίλτρο
φορτίο ηλεκτρονίου
φόρτιση
φωτοβολταϊκή συστοιχία
φωτοβολταϊκό στοιχείο

apparent power
filter
charge of electron
charging
photovoltaic array
solar cell

X

χωρητική αντίδραση
χωρητικό κύκλωμα
χωρητικός συντελεστής ισχύος
χωρητικότητα

capacitive reactance
capacitive circuit
capacitive power factor
capacitance (C)

Ψ
-----**Ω**

ωμικό κύκλωμα

resistive circuit