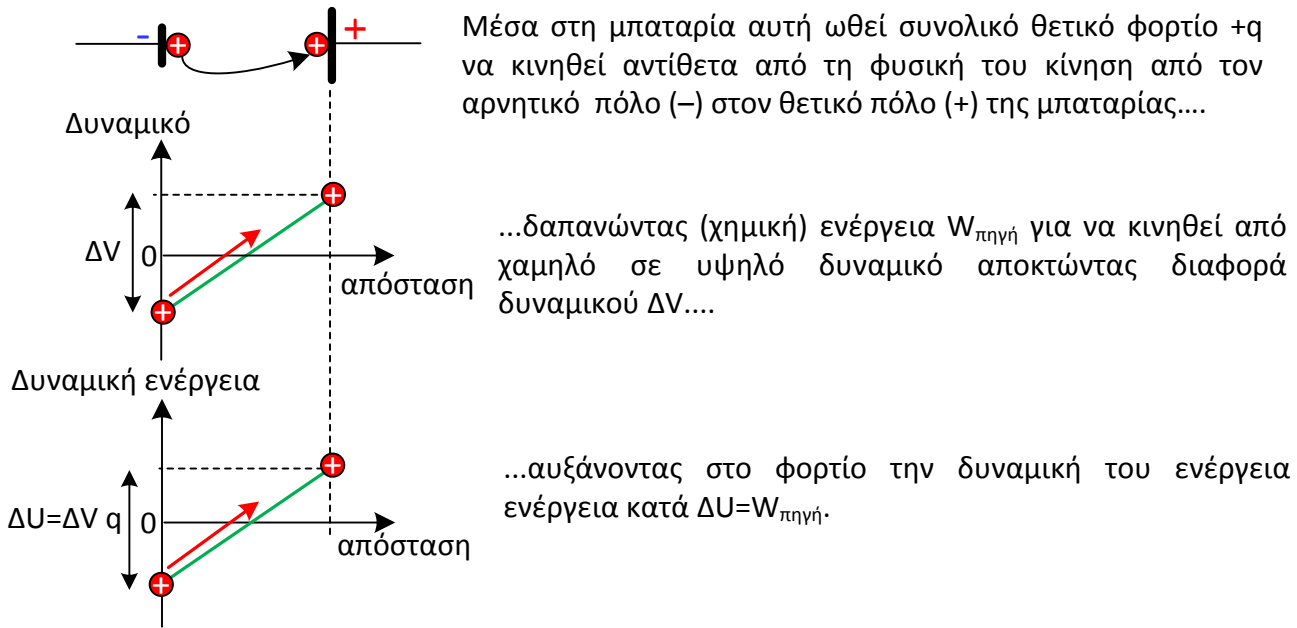
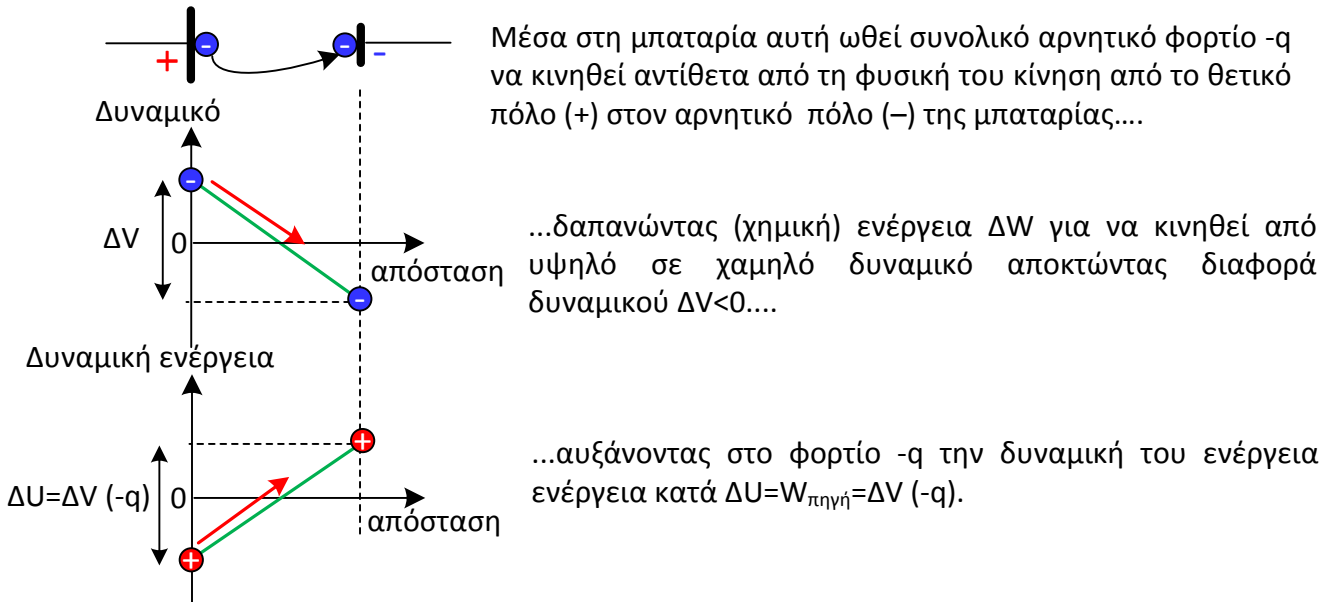


Ηλεκτρικές πηγές

Περίπτωση που οι φορείς ηλεκτρικού ρεύματος είναι θετικά φορτία.



Περίπτωση που οι φορείς ηλεκτρικού ρεύματος είναι αρνητικά φορτία (ηλεκτρόνια).



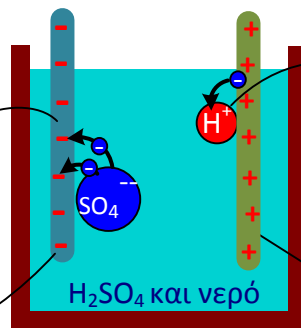
ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ

Φορτισμένη μπαταρία μολύβδου-οξέος

Τα ηλεκτρόδια της μπαταρίας αποκτούν περίσσεια θετικού και αρνητικού φορτίου καθώς σε αυτά τα ιόντα H^+ και SO_4^{2-} του υδατικού διαλύματος H_2SO_4 εκφορτίζονται .

Ρίζες SO_4^{2-} αποβάλουν από 2 ηλεκτρόνια στην κάθοδο και έτσι αυτή φορτίζεται αρνητικά.

Αρνητικό (-) ηλεκτρόδιο (κάθοδος) από καθαρό Pb



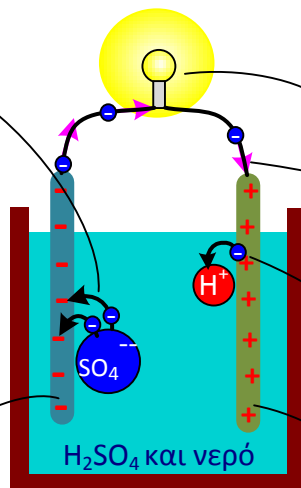
Ιόντα H^+ αποσπώνε από ένα ηλεκτρόνιο από την άνοδο και έτσι αυτή φορτίζεται θετικά.

Θετικό (+) ηλεκτρόδιο (άνοδος) περοξίδιο του μολύβδου PbO_2 .

Διάλυμα θεικού οξέος H_2SO_4 που διασπάται σε θετικά (H^+) & αρνητικά (SO_4^{2-}) ιόντα.

Αν συνδέσουμε τους πόλους της φορτισμένης μπαταρίας μέσω αγωγών και λαμπτήρα θα κυκλοφορήσει ρεύμα και θα ανάψει ο λαμπτήρας.

Συγκεκριμένα τα ηλεκτρόνια που αποδίδουν τα ιόντα SO_4^{--} στο - ηλεκτρόδιο του Pb (κάθοδος) προωθούνται στο κύκλωμα...



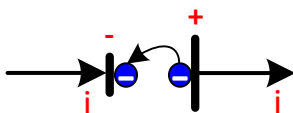
...διέρχονται από το λαμπτήρα όπου αποδίδουν την ενέργειά των...

...ακολουθώς έλκονται από το + ηλεκτρόδιο PbO_2 (άνοδος) όπου αναπληρώνουν τα ηλεκτρόνια που μεταπηδούν στα ιόντα H^+ που τα εξουδετερώνουν.

Κάθοδος (Pb)

Άνοδος (PbO_2)

Τελικά φαίνεται πως μέσα στην πηγή ηλεκτρόνια από το + πηγαίνουν στο - αντίθετα από τη φυσική τους κίνηση...



...μετατρέποντας χημική ενέργεια σε δυναμική ενέργεια, την οποία αποδίδουν στο κύκλωμα και ανάβει ο λαμπτήρας.

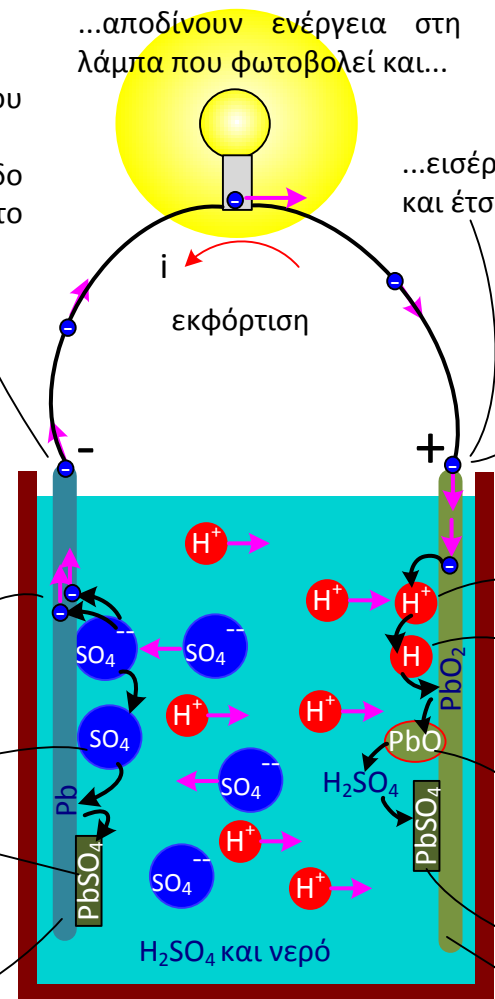
Αφού η κίνηση των ηλεκτρονίων είναι αντίθετη από την φυσική τους κίνηση μέσα στη μπαταρία, τότε αυτή αποδίδει ενέργεια στο κύκλωμα.

Οι πλήρεις διεργασίες που πραγματοποιούνται μέσα στην μπαταρία κατά τη διάρκεια της εκφόρτισης περιγράφονται παρακάτω.

...αποδίνουν ενέργεια στη λάμπα που φωτοβολεί και...

Ηλεκτρόνια που αποβάλλονται από την κάθοδο διαρρέουν το κύκλωμα...

...εισέρχονται στην άνοδο και έτσι παράγεται ρεύμα.



Κάθε φορά που ένα H^+ αποσπάει ένα ηλεκτρόνιο από την άνοδο ένα άλλο εισέρχεται από το κύκλωμα στην άνοδο.

Ένα ιόν H^+ φθάνοντας στη άνοδο αποσπά ένα ηλεκτρόνιο και γίνεται ουδέτερο υδρογόνο. $H^+ + e \rightarrow H$

$2H + PbO_2 \rightarrow PbO + H_2O$
Το H αντιδρά με το PbO_2 και παράγει PbO

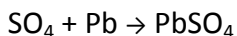
$PbO + H_2SO_4 \rightarrow PbSO_4 + H_2O$
Το PbO αντιδρά με το H_2SO_4 και παράγει $PbSO_4$ που αποτίθεται στο ηλεκτρόδιο

Θετικό (+) ηλεκτρόδιο (άνοδος) διοξειδίου του μολύβδου PbO_2 .

Κάθε φορά που ηλεκτρόνια αποβάλλονται από μία ρίζα SO_4^{--} , ηλεκτρόνια εξέρχονται από την κάθοδο προς το κύκλωμα.

Μία ρίζα SO_4^{--} φθάνοντας στη κάθοδο αποβάλλει 2 ηλεκτρόνια και γίνεται ουδέτερη SO_4
 $SO_4^{--} + 2e \rightarrow SO_4$

Η SO_4 αντιδρά με το Pb του ηλεκτροδίου και γίνεται $PbSO_4$ που αποτίθεται στο ηλεκτρόδιο.



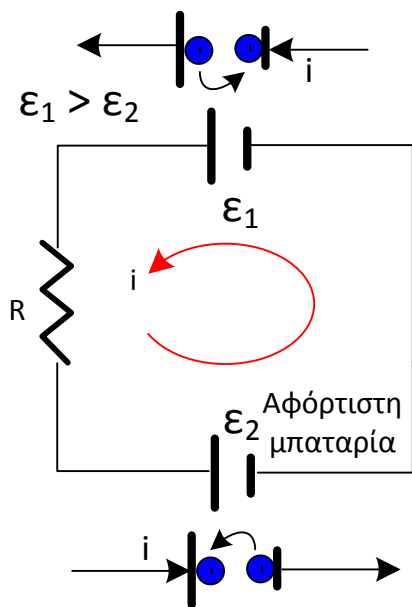
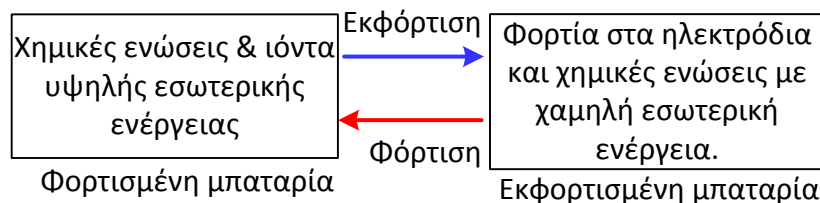
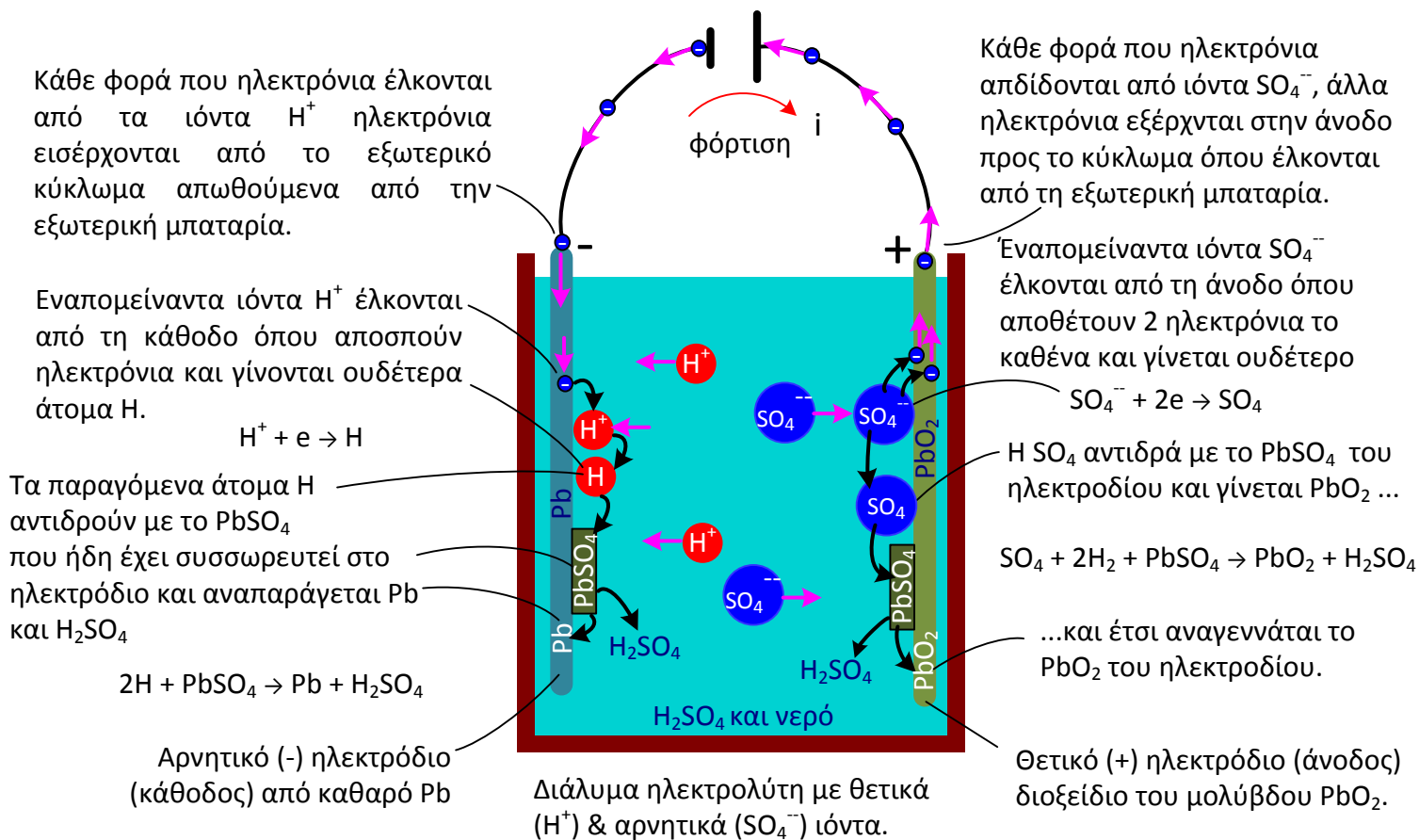
Αρνητικό (-) ηλεκτρόδιο (κάθοδος) από καθαρός Pb

Διάλυμα H_2O θεικού οξέος που διασπάται σε θετικά (H^+) & αρνητικά (SO_4^{--}) ιόντα.

Καθώς όμως εκφορτίζεται η μπαταρία αυξάνεται η απόθεση $PbSO_4$ στα ηλεκτρόδια εμποδίζοντας την εκφόρτιση των ιόντων. Επιπλέον ελαττώνονται τα ιόντα H^+ και SO_4^{--} . Έτσι κάποια στιγμή δεν θα υπάρχουν αρκετά ιόντα για να ανταλλάσσουν ηλεκτρόνια με τα ηλεκτρόδια και δεν παράγει αρκετό ρεύμα. Τότε η μπαταρία θα έχει εκφορτηθεί.

Καθώς όμως εκφορτίζεται η μπαταρία αυξάνεται η απόθεση $PbSO_4$ στα ηλεκτρόδια εμποδίζοντας την εκφόρτιση των ιόντων. Επιπλέον ελαττώνονται τα ιόντα H^+ και SO_4^{--} . Έτσι κάποια στιγμή δεν θα υπάρχουν αρκετά ιόντα για να ανταλλάσσουν ηλεκτρόνια με τα ηλεκτρόδια και δεν παράγει αρκετό ρεύμα. Τότε η μπαταρία θα έχει εκφορτηστεί.

Η μπαταρία όμως επαναφορτίζεται αν συνδέσουμε τα + και - της αφόρτιστης μπαταρίας με το + και -, αντίστοιχα, μιας εξωτερικής μπαταρίας ως εξής.



Η πηγή E_1 προσφέρει ενέργεια γιατί διαρρέεται από ηλεκτρόνια (αντίθετα από τη φυσική τους κίνηση) από το + στο - και έτσι αυτά αυξάνουν τη δυναμική των ενέργεια που κατόπιν προσφέρουν στο κύκλωμα και φορτίζεται η αφόρτιστη μπαταρία.

Η πηγή E_2 απορροφάει ενέργεια και επομένως μπορεί να φορτίζεται γιατί διαρρέεται από ηλεκτρόνια (σύμφωνα με τη φυσική τους κίνηση) από το - στο + και έτσι χάνουν ενέργεια που απορροφάει η μπαταρία και φορτίζεται.

Διάταξη φωτοκυττάρου

αποτελείται από

ρ-τύπου
άμορφο Si
a-Si:H
ενδογενές
n-τύπου
άμορφο Si

Επιφανειακά ηλεκτρόδια

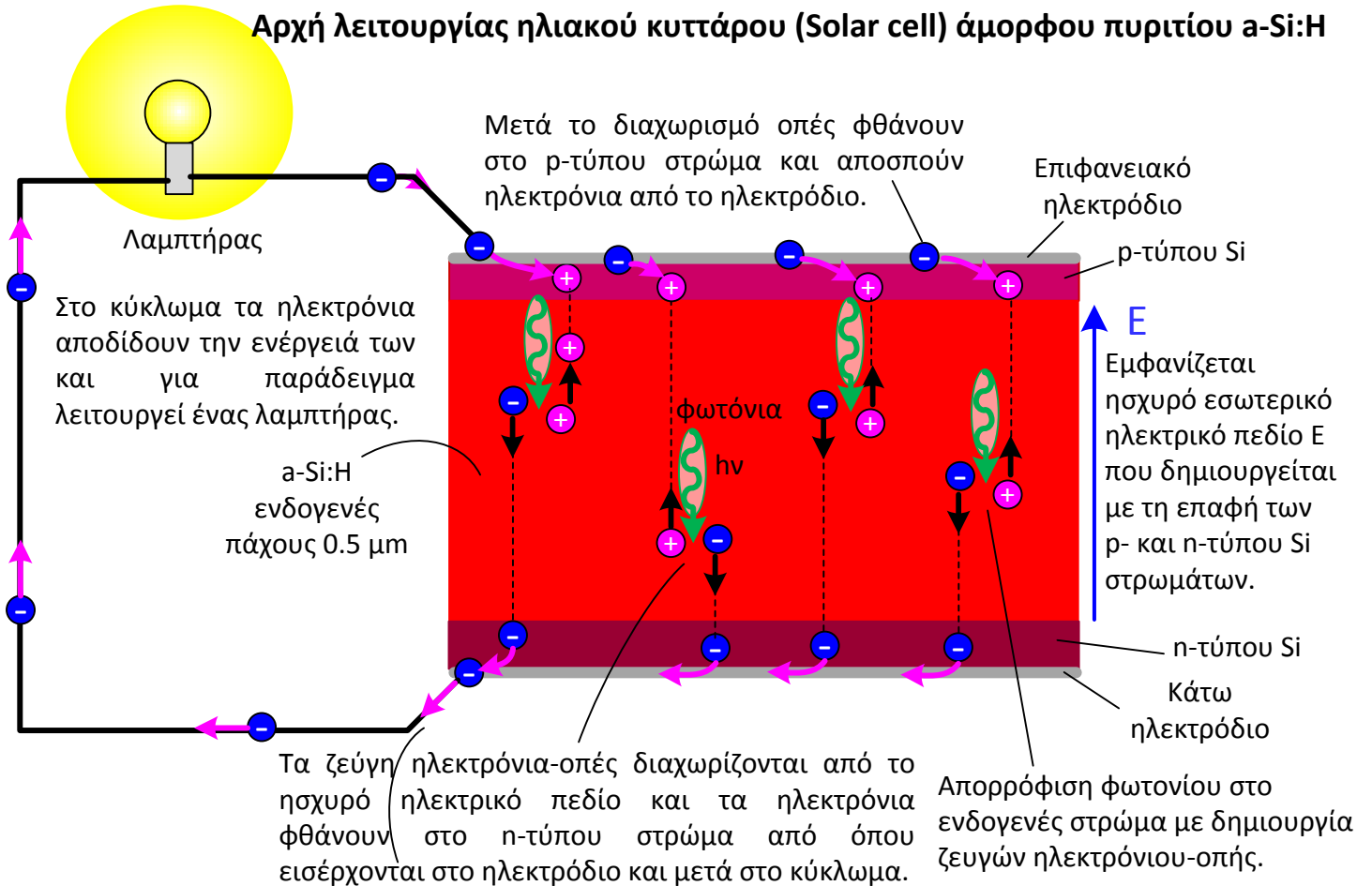
Τα επιφανειακά ηλεκτρόδια είναι λεπτά αφήνοντας μεγάλα ανοίγματα για να διέρχεται το φως

Κάτω ηλεκτρόδιο που καλύπτει ολόκληρη την επιφάνεια.

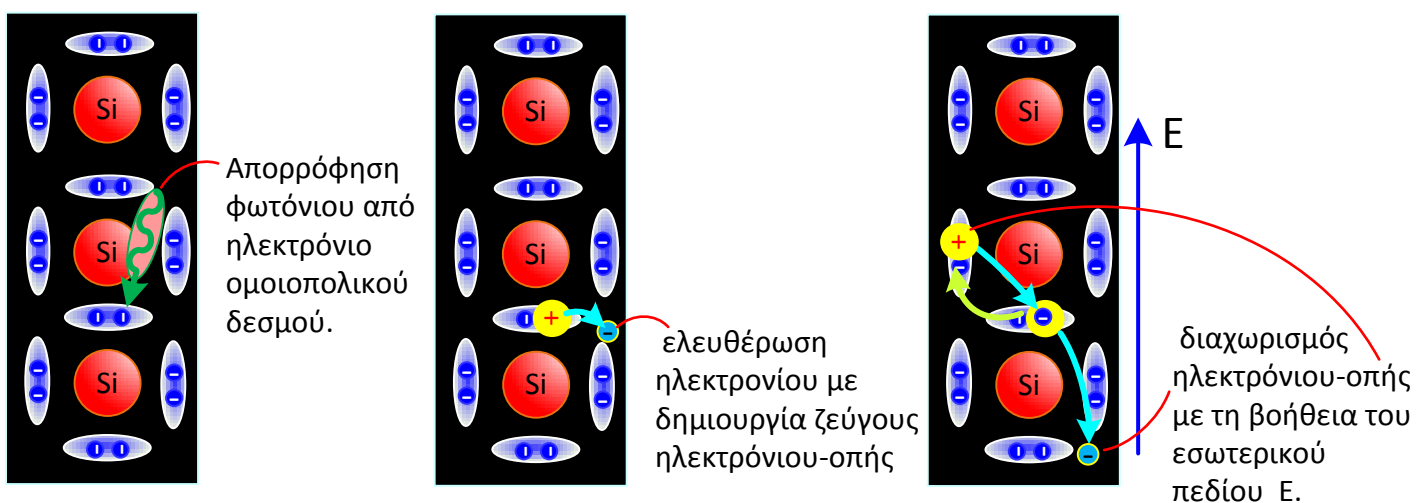
Άμορφο πυρίτιο a-Si:H
φωτοβολταϊκό πάνελ

Επιφανειακά ηλεκτρόδια

Αρχή λειτουργίας ηλιακού κυττάρου (Solar cell) άμορφου πυριτίου a-Si:H

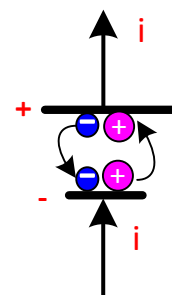
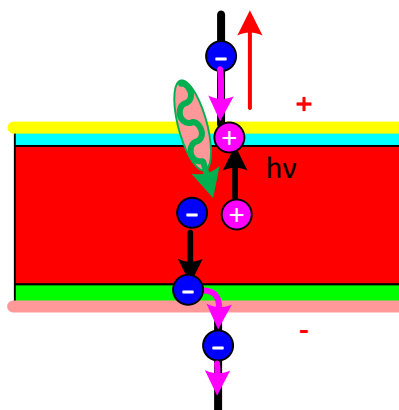


Ο μηχανισμός απορρόφηση φωτονίου και δημιουργίας ηλεκτρονίων οπών και διαχωρισμού των.



ΣΥΝΟΠΤΙΚΑ

Φωτεινή ενέργεια μετετρέπεται σε ηλεκτρική παράγοντας ηλεκτρόνια-οπές που αντλούνται από το εσωτερικό πεδίο E και προωθούνται στο εξωτερικό κύκλωμα παράγοντας ηλεκτρικό ρεύμα i



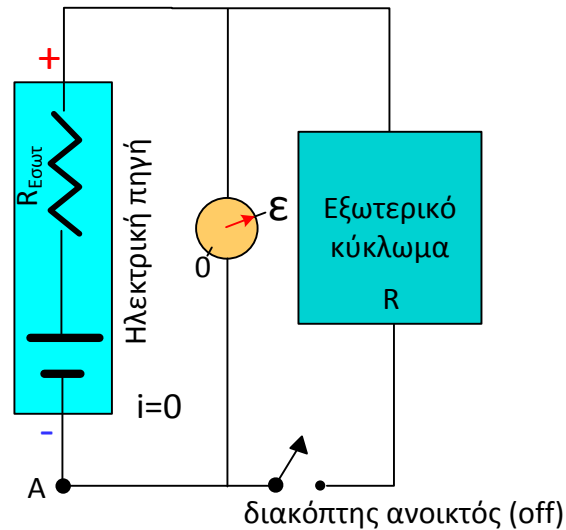
Το ηλιακό κύτταρο ισοδυναμεί με μπαταρία όπου στο εσωτερικό της θετικά και αρνητικά φορτία κινούνται αντίθετα από τη φυσική τους κίνηση αυξάνοντας την δυναμική τους ενέργεια και ωθούνται στο κύκλωμα παράγοντας ρεύμα i .

Κύκλωμα απλού βρόχου

Αρχικά ο διακόπτης είναι ανοικτός (off) και επομένως δεν διαρρέει ρεύμα το κύκλωμα ($i=0$).

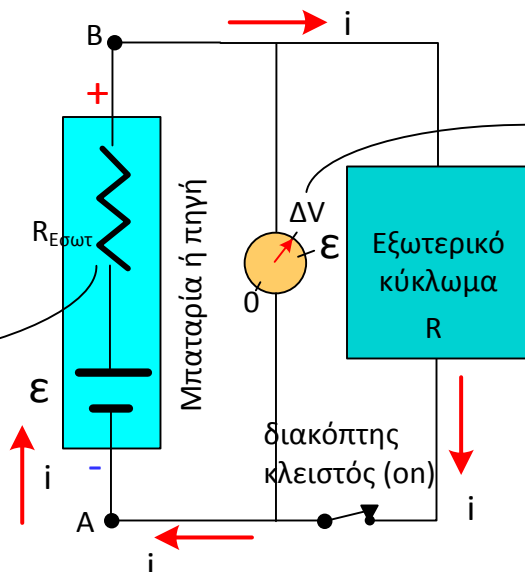
Στη πράξη κάθε ηλεκτρική πηγή όταν διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα παρουσιάζει εσωτερική ηλεκτρική αντίσταση $R_{Εσωτ}$ που θεωρείται συνδεδεμένη στη σειρά με τη πηγή.

Το βολτόμετρο που είναι συνδεδεμένο παράλληλα στο κύκλωμα δείχνει διαφορά δυναμικού ίση με την ηλεκτρεργετική δύναμη \mathcal{E} της μπαταρίας.



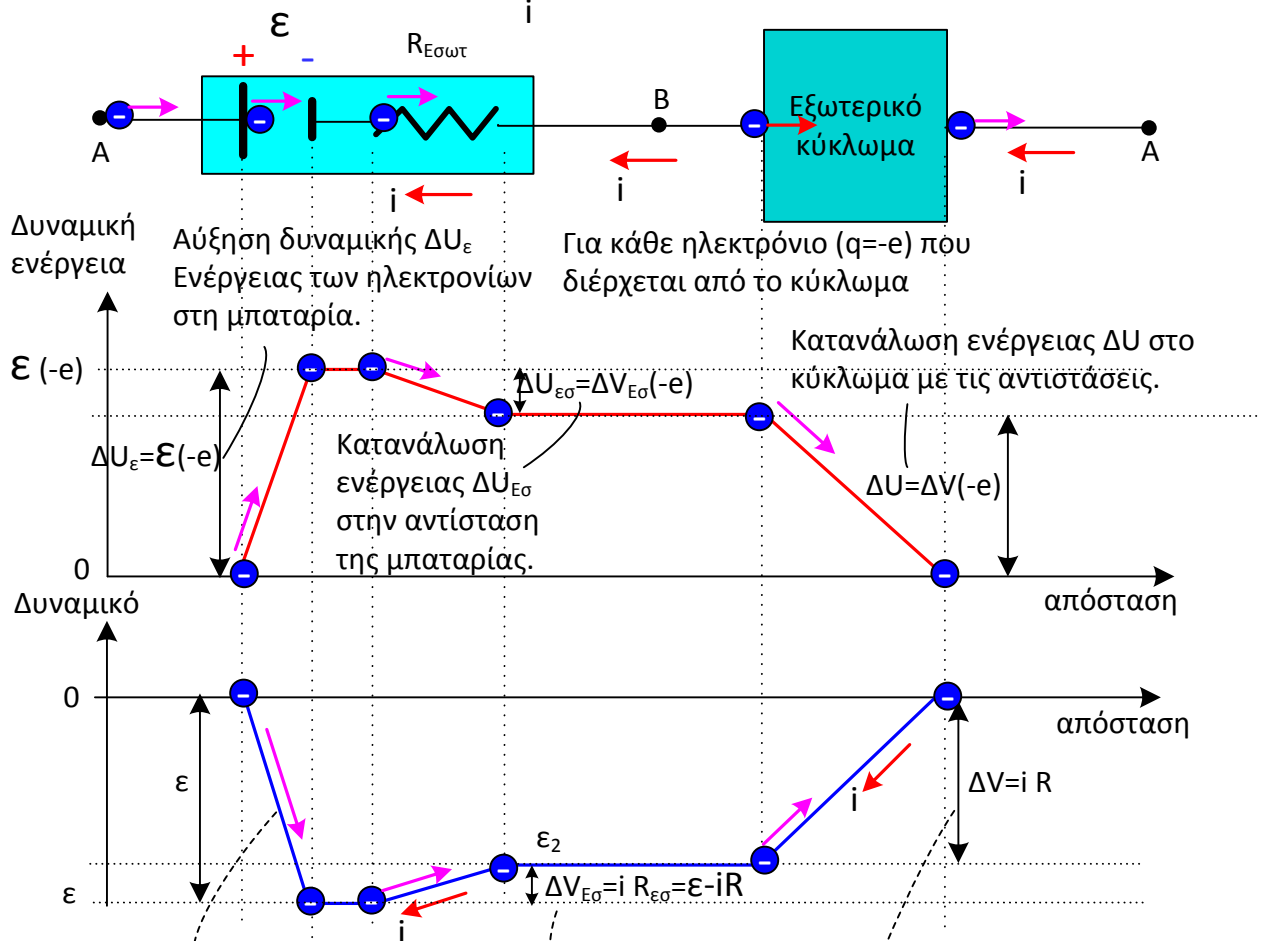
Η ηλεκτρεργετική δύναμη \mathcal{E} της μπαταρίας μετρείται μόνο με ανοικτό το κύκλωμα. Αυτό συμβαίνει γιατί κλείνοντας το διακόπτη (on) το κύκλωμα θα διαρρέεται από ρεύμα i .

Στην πράξη μέσα στη μπαταρία καθώς αντλεί τα ηλεκτρόνια αυτά ωθούνται από το (+) προς το (-). Κατά την κίνησή των μέσα στη μπαταρία χάνουν ένα μικρό ποσό της δυναμικής ενέργειας σαν θερμότητα λόγω τριβών παρουσιάζοντας μια μικρή εσωτερική αντίσταση $R_{Εσωτ}$.



Το βολτόμετρο θα δείχνει μικρότερη διαφορά δυναμικού $\Delta V < \mathcal{E}$ λόγω της απώλειας ενέργειας και πτώσης τάσεως $\Delta V_{Εσω}$ στην εσωτερική αντίσταση της μπαταρίας.

Άρα η ακριβής τιμή της ηλεκτρεργετικής δύναμης \mathcal{E} της μπαταρίας δεν μετρείται με κλειστό το κύκλωμα, μόνο με ανοικτό το κύκλωμα μετρείται.

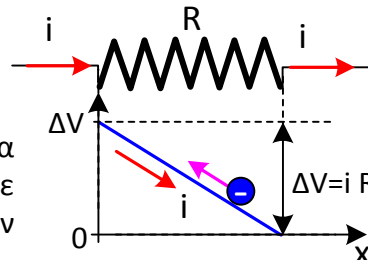


Μέσα στη μπαταρία τα ηλεκτρόνια κινούνται από υψηλό σε χαμηλό δυναμικό αυξάνοντας την δυναμική τους ενέργεια.

Τα ηλεκτρόνια μέσα στις αντιστάσεις $R_{Εσω}$ και R χάνουν ενέργεια που αποδίδεται σαν θερμότητα κινούμενα προς υψηλότερες διαφορές δυναμικού $\Delta V_{Εσω}$ και ΔV , αντίστοιχα.

Οι διαφορές δυναμικού ΔV στα άκρα αντιστάσεων λέγονται **πτώσεις τάσεως**, γιατί...

...το ρεύμα εισέρχεται στην αντίσταση από υψηλό δυναμικό...



...και εξέρχεται από αυτή από χαμηλό δυναμικό.

Η πτώση τάσεως στις αντιστάσεις ισούται με την απώλεια ενέργειας (σε θερμότητα) ανά μονάδα φορτίου (q) $\Delta V = \Delta U / q$

Έτσι τα ηλεκτρόνια κινούνται μέσα στη αντίσταση από χαμηλό σε υψηλό δυναμικό ελαττώνοντας την ενέργειά των κατά ΔU .

Όταν η πηγή καταναλώνει ενέργεια $W_{πηγή}$ για να διέλθει φορτίο q από το κύκλωμα, τότε οι ενέργειες ανά μονάδα φορτίου

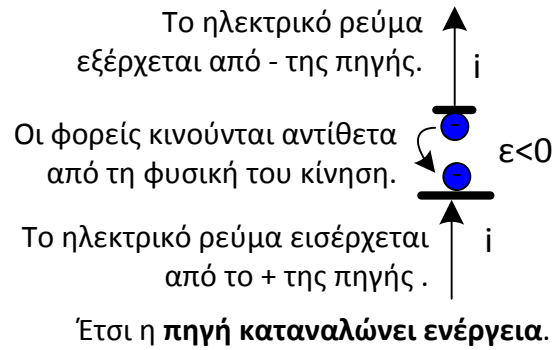
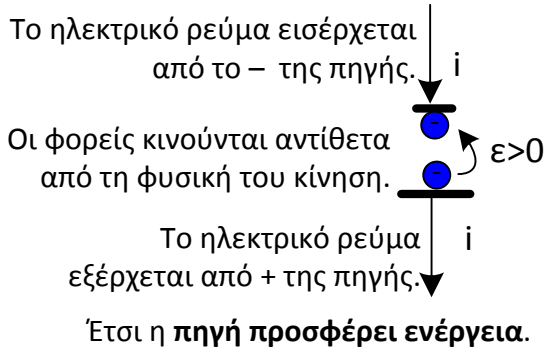
$$\{W_{πηγή}/q\} = \{W_R/q\}$$

$$\varepsilon - \Delta V = 0 \quad \varepsilon - iR = 0$$

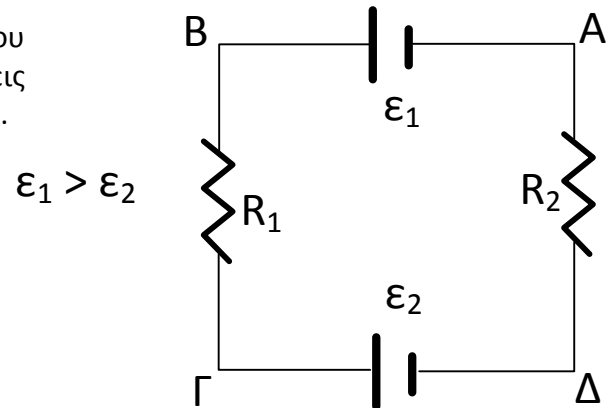
θα ισούνται με τις αντίστοιχες διαφορές δυναμικού

$$\varepsilon = \Delta V$$

2ος κανόνας του Kirchhoff

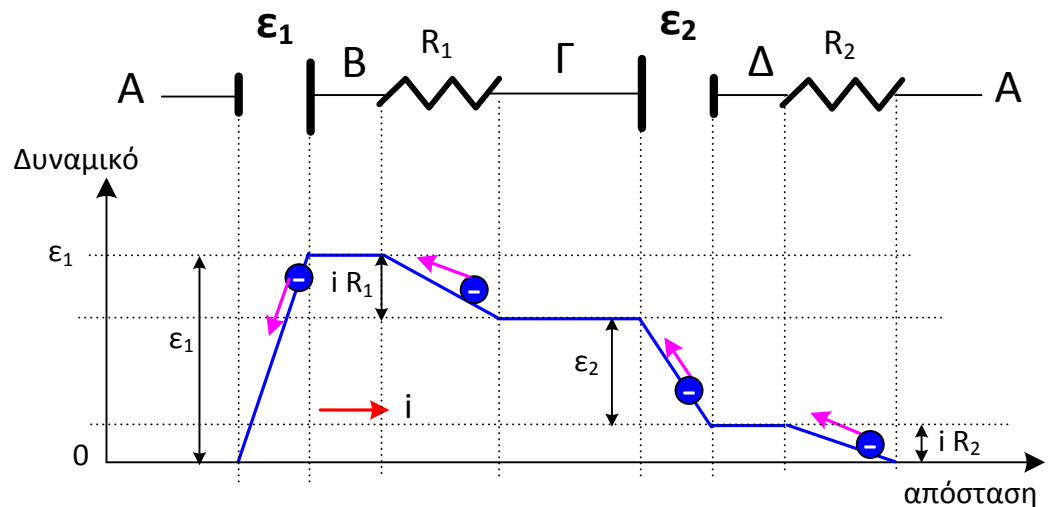
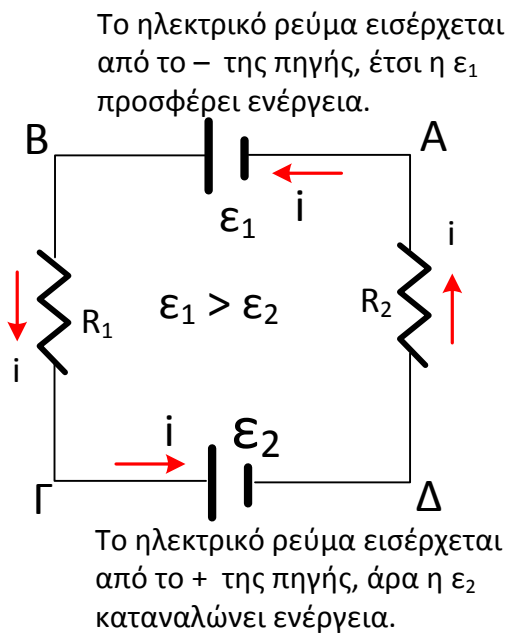


Να βρεθεί το ηλεκτρικό ρεύμα i που διαρρέει το παρακάτω κύκλωμα που περιλαμβάνει δύο ηλεκτρικές πηγές και 2 ηλεκτρικές αντιστάσεις συνδεδεμένα σε σειρά και ικανοποιούνται οι σχέσεις $\varepsilon_1 = 2\varepsilon_2$ και $R_1 = 3R_2$.



Σημειώνω το ρεύμα i_1 που διέρχεται το κύκλωμα, είναι αυτό που επιβάλλει η ισχυρότερη ε_1 .

Ξεκινώντας από το σημείο A και διαγράφοντας το κύκλωμα σύμφωνα με τη φορά του ρεύματος καταγράφονται οι μεταβολές του δυναμικού.



Με βάση το παραπάνω διάγραμμα των μεταβολών των τάσεων εφαρμόζεται ο δεύτερος νόμος του Kirchhoff ο οποίος γράφεται

$$\varepsilon_1 - iR_1 - \varepsilon_2 - iR_2 = 0, \quad \varepsilon_1 - \frac{1}{2}\varepsilon_1 - iR_1 - \frac{1}{3}iR_1 = 0$$

$$i = \frac{3\varepsilon_1}{4R_1}$$

όπου η ε_1 γράφηκε με + γιατί κατά τη φορά διαγραφής του ρεύματος προσφέρει ενέργεια, ενώ η ε_2 γράφηκε με - γιατί καταναλώνει ενέργεια, όπως και οι δύο αντιστάσεις.

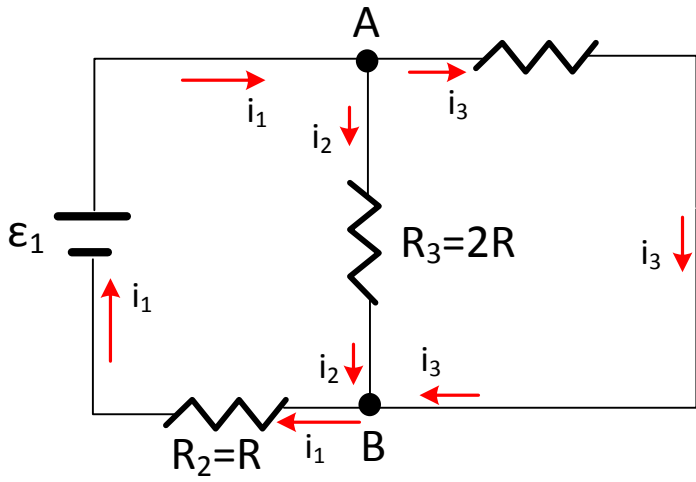
Αν υποθέσουμε ότι είχαμε αρχικά σημειώσει την αντίθετη φορά του ρεύματος, τότε θα γράφαμε

$$-\varepsilon_1 + \varepsilon_2 - iR_1 - iR_2 = 0$$

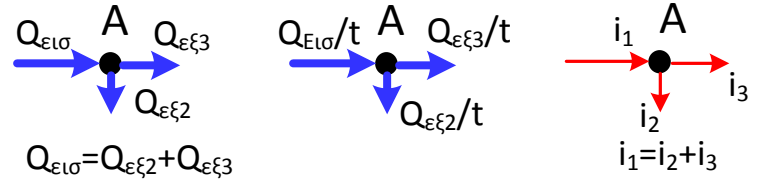
λύνοντας ως προς i βρίσκουμε το αντίθετο ρεύμα από αυτό που υποθέσαμε και έτσι βρίσκουμε πάντα το σωστό ρεύμα χωρίς να νοιαζόμαστε αν προβλέψαμε τη σωστή φορά.

$$i = -\frac{3\varepsilon_1}{4R_1}$$

Κύκλωμα πολλών βρόχων



Παρατηρούμε πως το κύκλωμα αυτό έχει δύο κόμβους στα σημεία A και B όπου το ρεύμα διαμοιράζεται στους δύο διαφορετικούς κλάδους. Στον κάθε κόμβο τα φορτία $Q_{\epsilon_{10}}$ μέσα σε χρόνο t που εισέρχονται θα πρέπει να ισούνται με τον συνολικό φορτίο $Q_{\epsilon_{\xi}}$ στον ίδιο χρονικό διάστημα t που εξέρχονται από τον κόμβο, γιατί φορτίο δεν μπορεί να χάνεται, δηλαδή ο κόμβος να είναι καταβόθρα, ούτε να συσσωρεύεται φορτίο στον κόμβο, ούτε να πηγάζει επιπλέον φορτίο.



πρώτος νόμος του Kirchhoff

Σε κάθε κόμβο ενός κυκλώματος το άθροισμα των ρευμάτων που εισέρχονται στο κόμβο ισούται με το άθροισμα των ρευμάτων που εξέρχονται από τον κόμβο.

$$i_1 = i_2 + i_3$$

Μέθοδος των κόμβων.

Σαν πρώτο βήμα της μεθόδου αυτής σημειώνουμε τα ρεύματα που διαρρέουν όλους τους διαφορετικούς κλάδους του κυκλώματος. Παρατηρούμε ότι η πηγή ϵ_1 με την μεγαλύτερη ηλεκτρερρεγτική δύναμη τείνει να επιβάλει τα ρεύματα που αναγράφονται.

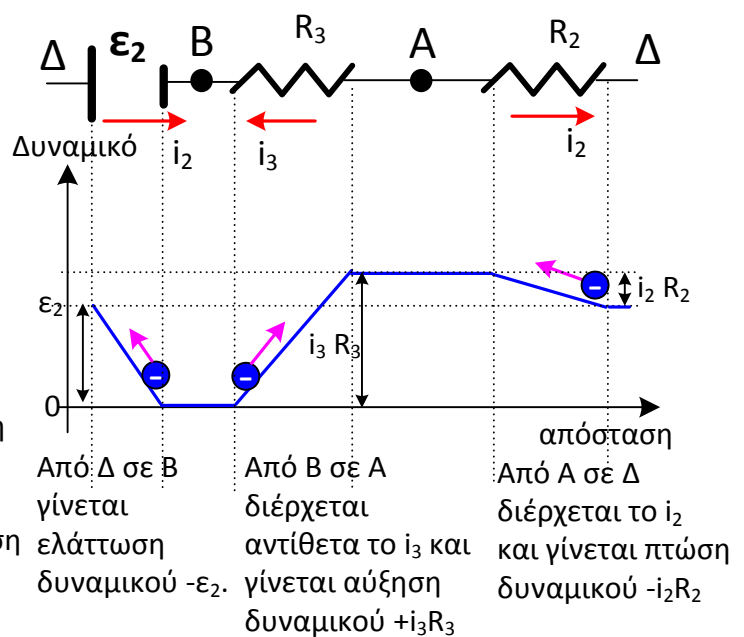
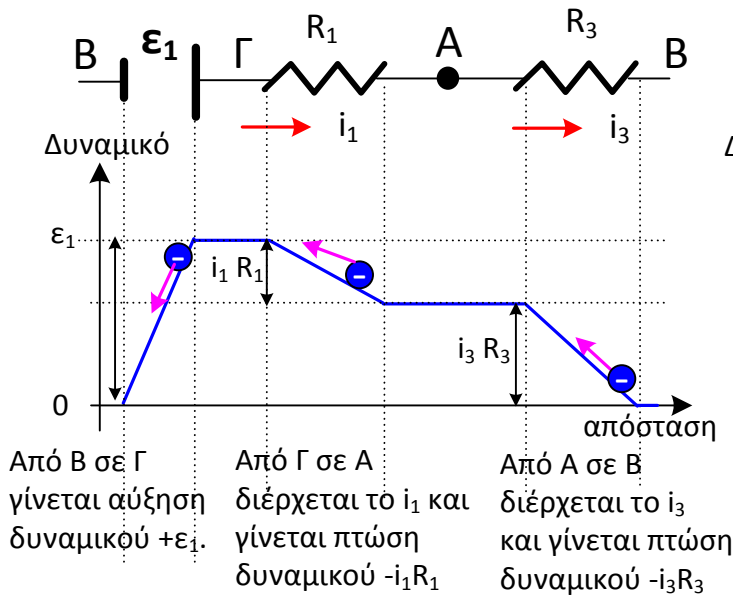
ο πρώτος νόμος του Kirchhoff στους κόμβους A και B δίνει $i_1 = i_2 + i_3$

Στο δεύτερο βήμα καθορίζουμε μια φορά διαγραφής και διαγράφουμε ένα βρόχο και κατά μήκος του βρόχου καταγράφουμε τα στοιχεία του βρόχου καθώς και το ρεύμα που διαρρέει το κάθε στοιχείο του βρόχου. Κατόπιν σημειώνουμε τις διαφορές δυναμικού που συναντάμε. Αθροίζοντας όλες τις διαφορές δυναμικού που συναντάμε, αυτές στο σύνολο θα είναι μηδέν αφού διατρέξουμε όλο το βρόχο μέχρι και επιστρέψουμε στο αρχικό σημείο.

Κατά μήκος των δύο βρόχων καταγράφονται τα ρεύματα και οι μεταβολές του δυναμικού.

Για τον βρόχο ΒΓΑΒ ξεκινώντας από το σημείο B και διαγράφοντας το βρόχο δεξιόστροφα σημειώνω τα στοιχεία του βρόχου και το ρεύμα που διαρρέει το καθένα.

Για τον βρόχο ΔΒΑΔ ξεκινώντας από το σημείο Δ και διαγράφοντας το βρόχο δεξιόστροφα σημειώνω τα στοιχεία του βρόχου και το ρεύμα διαρρέει το καθένα.



Ο δεύτερος νόμος του Kirchhoff γράφεται $\epsilon_1 - i_1 R_1 - i_3 R_3 = 0$

Ο δεύτερος νόμος του Kirchhoff γράφεται $-\epsilon_2 + i_3 R_3 - i_2 R_2 = 0$

Έτσι έχουμε ένα σύστημα τριών εξισώσεων με τρεις αγνώστους τα τρία ρεύματα i_1 , i_2 και i_3 .

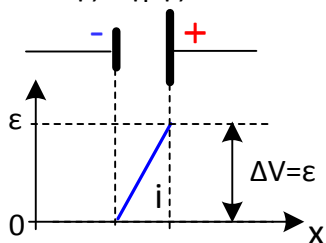
Μπορούμε να παραλείψουμε το διάγραμμα μεταβολής των τάσεων και να γράψουμε απευθείας τις δύο εξισώσεις του νόμου του Kirchhoff ως εξής.

1) Διαλέγουμε ένα σημείο εκκίνησης και μια φορά διαγραφής (δεξιόστροφη ή αριστερόστροφη) κατά μήκος ενός βρόχου και σημειώνουμε τις τάσεις ακολουθώντας τους παρακάτω κανόνες.

Κανόνες που ακολουθούμε για την ανάλυση κυκλωμάτων.

Όταν με τη φορά διαγραφής...

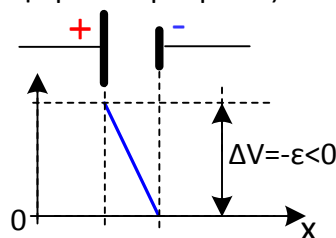
...συναντάμε πρώτα το - της πηγής...



...από - στο + έχουμε αύξηση της τάσεως $\Delta V > 0$ και γράφεται +ε.

Όταν με τη φορά διαγραφής...

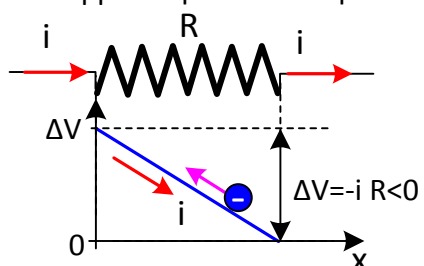
είναι αντίθετη από την φορά του ρεύματος...



...από + στο - έχουμε μείωση της τάσεως $\Delta V < 0$ και γράφεται -ε.

Όταν η φορά διαγραφής...

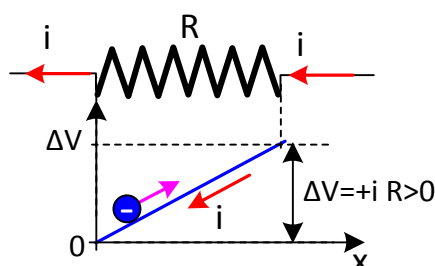
...συμπίπτει με την φορά του ρεύματος που διαρρέει την αντίσταση...



...έχουμε πτώση τάσεως $\Delta V < 0$ στην αντίσταση και γράφεται $-iR$.

Όταν η φορά διαγραφής...

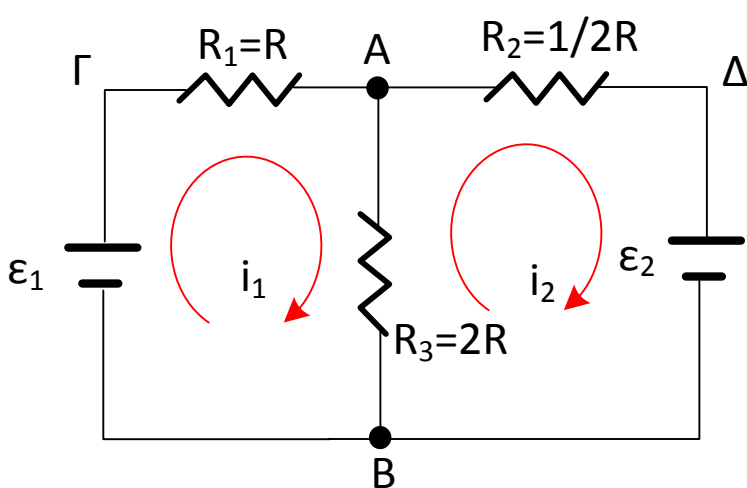
...είναι αντίθετη από την την φορά του ρεύματος που διαρρέει την αντίσταση...



...έχουμε πτώση τάσεως στην αντίσταση αντίθετη από τη φορά διαγραφής στο βρόχο και επομένως έχουμε αύξηση της τάσεως $\Delta V > 0$ στην φορά διαγραφής και γράφεται $+iR$.

Πρέπει να σημειώσουμε πως τις φορές των ρευμάτων στους διάφορους κλάδους του κυκλώματος μπορούμε να τις σημειώνουμε τυχαία στην αρχή και να προχωρήσουμε στη παραπάνω διαδικασία να προσδιορίσουμε τα ρεύματα. Αν ένα ρεύμα προσδιοριστεί αρνητικό, τότε θα πρέπει να αντιστραφεί η φορά που αρχικά υποθέσαμε.

Εν συνεχεία θα εφαρμόσουμε τη εναλλακτική μέθοδο των βρόχων



Συγκεκριμένα, διατρέχοντας το βρόχο ΒΓΑΒ με τη φορά του ρεύματος i_1 γράφουμε το δεύτερο νόμο του Kirchhoff εισάγοντας τις τάσεις σύμφωνα με τους παραπάνω κανόνες. Επιπλέον λαμβάνουμε υπ' όψιν ότι το ρεύμα που διαρρέει την R_3 στον κοινό κλάδο ΑΒ είναι το i_1 (άρα $-i_1 R_3$) κατά τη φορά διαγραφής και το i_2 αντίθετο ρεύμα i_2 αντίθετο από τη φορά διαγραφής (άρα $+i_2 R_3$) και γράφουμε

$$\varepsilon_1 - i_1 R_1 - i_1 R_3 + i_2 R_3 = 0.$$

Παρόμοια διατρέχοντας το βρόχο ΔΒΑΔ με τη φορά του ρεύματος i_2 και λαμβάνοντας υπ' όψιν ότι το ρεύμα που διαρρέει την R_3 στον κοινό κλάδο ΑΒ είναι το i_2 κατά τη φορά διαγραφής (άρα $-i_2 R_3$) και το ρεύμα i_1 που είναι αντίθετο από τη φορά διαγραφής (άρα $+i_1 R_3$) και γράφουμε

$$-\varepsilon_2 - i_2 R_3 + i_1 R_3 - i_2 R_2 = 0$$

Λύνοντας το σύστημα των παραπάνω δύο εξισώσεων βρίσκουμε τα ρεύματα i_1 και i_2 που διαρρέουν τους δύο βρόχους, ενώ το κλάδο ΑΒ θα διαρρέει το ρεύμα $i_1 - i_2$.

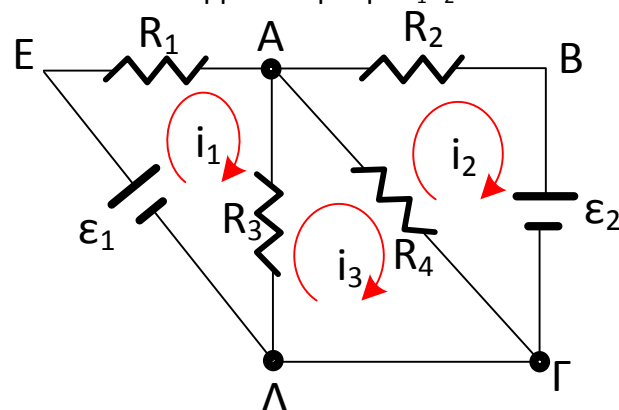
Να βρεθεί το ηλεκτρικό ρεύμα i που διαρρέει το διπλανό κύκλωμα με τρεις βρόχους που περιλαμβάνει δύο ηλεκτρικές πηγές και 4 ηλεκτρικές αντιστάσεις όπου ικανοποιούνται οι σχέσεις $\varepsilon_1 = 1/2\varepsilon_2$ και όλες οι αντιστάσεις είναι ίσες με R .

Εφαρμόζοντας τη μέθοδο των βρόχων για τους 3 βρόχους θα βρείτε το σύστημα με 3 εξισώσεις με τα 3 άγνωστα ρεύματα τα οποία βρίσκονται επιλύοντάς το.

$$\varepsilon_1 - i_1 R_1 - i_1 R_3 + i_3 R_3 = 0$$

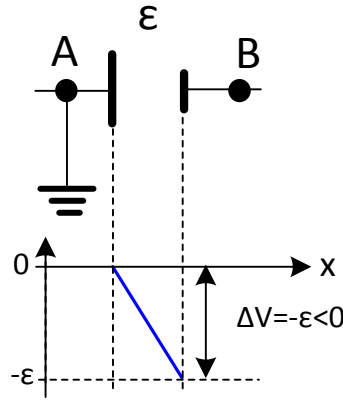
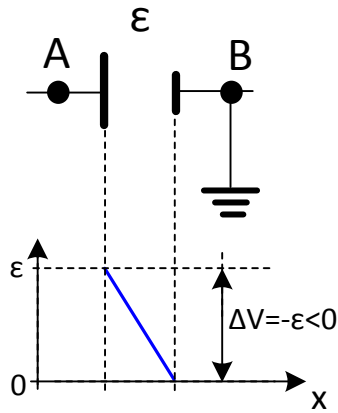
$$-\varepsilon_2 - i_2 R_4 + i_3 R_4 - i_2 R_2 = 0$$

$$-i_3 R_4 + i_2 R_4 - i_3 R_3 + i_1 R_3 = 0$$



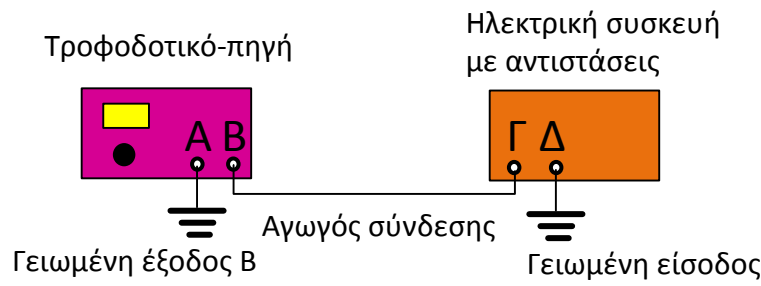
Γείωση σε πηγή

Γειώνοντας τον αρνητικό πόλο της πηγής, αυτός αποκτά μηδενικό δυναμικό, ενώ ο θετικός πόλος αποκτά $+ε$ δυναμικό.

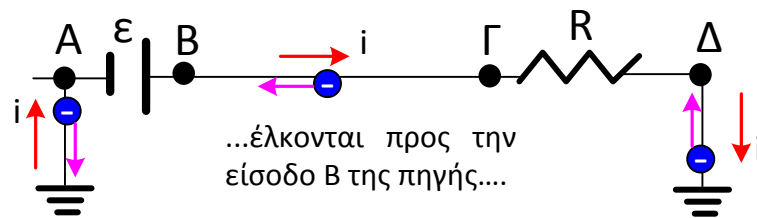


Γειώνοντας τον θετικό πόλο της πηγής, αυτός αποκτά μηδενικό δυναμικό, ενώ ο αρνητικός πόλος αποκτά $-ε$ δυναμικό.

Γείωση σε κύκλωμα



Ηλεκτρόνια αποβάλλονται από την γειωμένη είσοδο A της πηγής...



...εισέρχονται από την γειωμένη είσοδο Δ και διέρχονται μέσα από τις αντιστάσεις της συσκευής.

Ενέργεια, ισχύς, παραγόμενη θερμότητα σε κυκλώματα

$$P_{\text{πηγής}} = \frac{dW}{dt} = \varepsilon \frac{dq}{dt} = \varepsilon i$$

Η παραπάνω ενέργεια dW που καταναλώνεται από την πηγή ανεβάζει την δυναμική ενέργεια του στοιχειώδους φορτίου dq κατά $dU = \Delta V dq$ η οποία αποδίδεται στην αντίσταση σαν θερμότητα και έτσι η τάση υφίσταται πτώση τάσεως ΔV και καταναλώνεται ισχύς

$$P_{\text{θερμότητα}} = \frac{dU}{dt} = \Delta V \frac{dq}{dt} = \Delta V i = i^2 R = P_{\text{πηγής}} = \varepsilon i$$

Η απώλεια ενέργειας σαν θερμότητα είναι σημαντικό πρόβλημα και πρέπει να μειωθούν στις γραμμές διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας. Αν η ισχύς αυτή μεταφερθεί με την σχετικά χαμηλή διαφορά δυναμικού $\Delta V_{\text{χαμηλή}}$ που θα διατεθεί στην κατανάλωση, τότε από τις γραμμές μεταφοράς θα διέλθει ρεύμα

$$i = \frac{P_{\text{Πόλης}}}{\Delta V_{\text{χαμηλή}}}$$

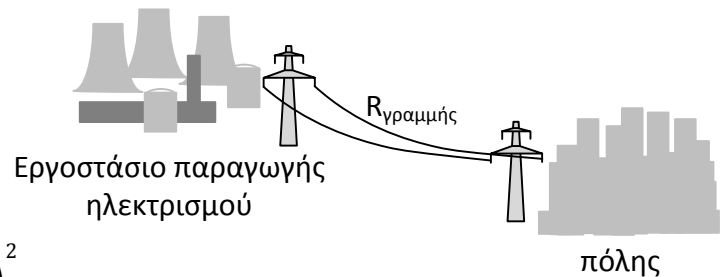
Και απώλεια στις γραμμές μεταφοράς λόγω θερμότητας θα είναι $P_{\text{θερμότητα}} = i^2 R = \left(\frac{P_{\text{Πόλης}}}{\Delta V_{\text{χαμηλή}}} \right)^2 R$

αν η τάση ενισχυθεί κατά 1000 φορές, δηλαδή $\Delta V_{\text{υψηλή}} = 10^3 \Delta V_{\text{χαμηλή}}$, η ίδια ισχύς μεταφέρεται με 1000 φορές μικρότερο ρεύμα i'

$$i' = \frac{P_{\text{Πόλης}}}{\Delta V_{\text{υψηλή}}} = 10^{-3} i$$

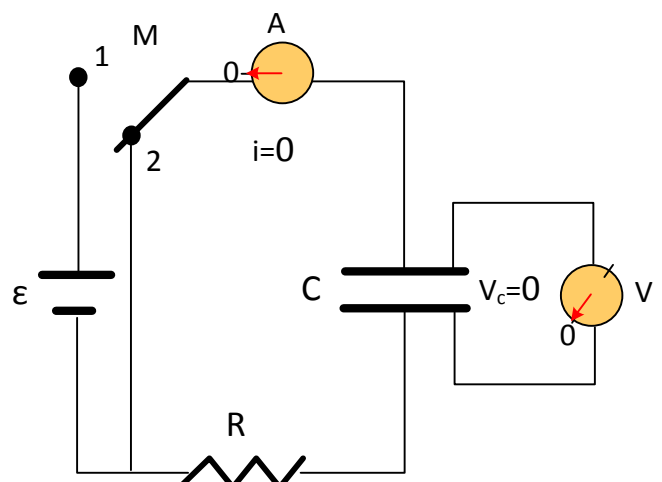
Έτσι οι θερμικές απώλειες θα είναι πολύ 1 εκατομύριο φορές μικρότερες

$$P_{\text{θερμότητα}}' = i'^2 R = (10^{-3} i)^2 R = 10^{-6} P_{\text{θερμότητα}}$$



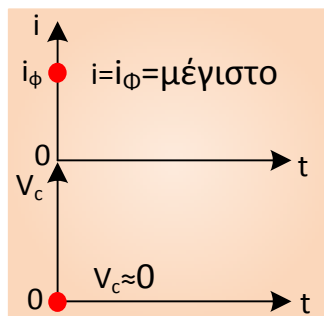
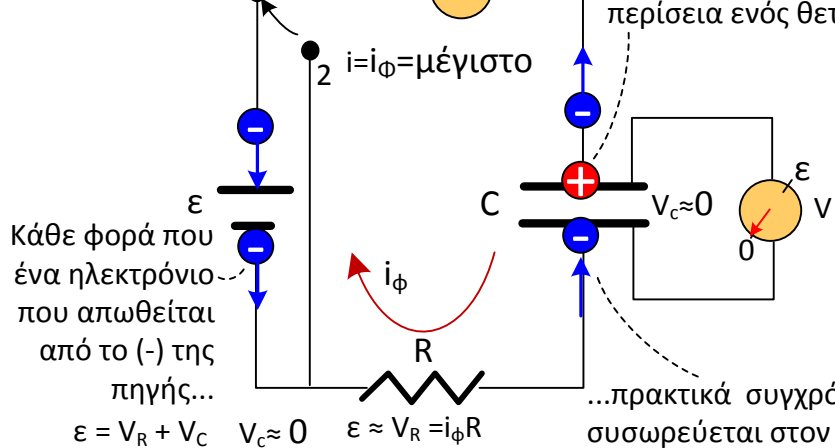
Κύκλωμα RC

Το κύκλωμα RC περιλαμβάνει πηγή ηλεκτρεργετικής δύναμης ε , ηλεκτρική αντίσταση R και πυκνωτή χωρητικότητας C στη σειρά. Το κύκλωμα διαθέτει επίσης μεταγωγέα M ο οποίος είναι αρχικά στη θέση 2 όπου ο πυκνωτής είναι βραχυκυκλωμένος και εξασφαλίζει ότι αυτός έχει εκφορτιστεί και είναι έτοιμος για φόρτιση.

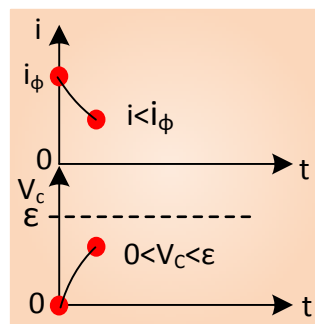
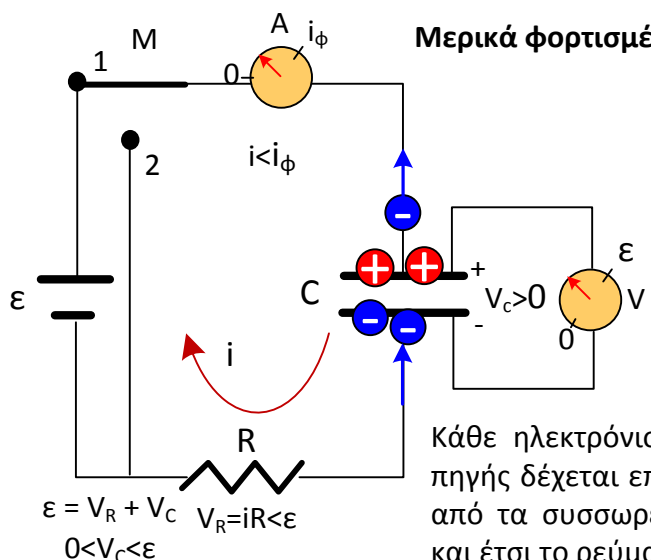


Φόρτιση πυκνωτή Τα πρώτα ηλεκτρόνια φθάνουν πρακτικά ανεμπόδιστα στον οπλισμό και επομένως το ρεύμα είναι στην αρχή μέγιστο και ονομάζεται **ρεύμα φόρτισης i_ϕ** .

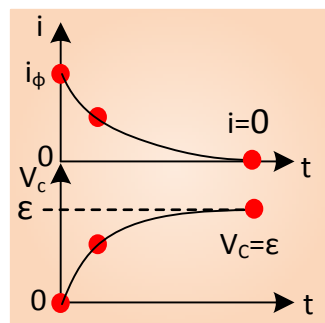
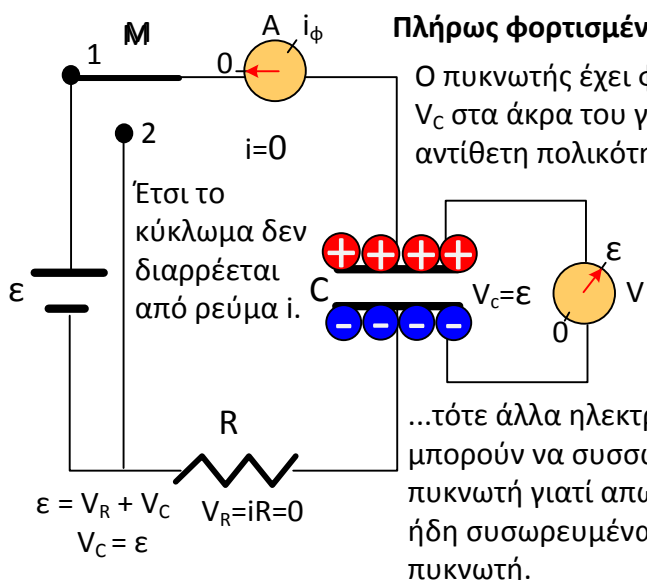
Θέτοντας το μεταγωγέα M στη θέση 1 ξεκινά η φόρτιση.



Μερικά φορτισμένος πυκνωτής



Πλήρως φορτισμένος πυκνωτής



Οι γραφικές παραστάσεις $i(t)$ και $V_c(t)$ φόρτισης του πυκνωτή.

Σε κάθε χρονική στιγμή ισχύει : $\epsilon - V_R - V_C = 0$

$$\epsilon - IR - \frac{Q}{C} = 0 \quad \epsilon - R \frac{dQ}{dt} - \frac{Q}{C} = 0 \quad \text{Διαφορική εξίσωση χωριζομένων μεταβλητών}$$

$$\frac{dQ}{C\epsilon - Q} = \frac{dt}{RC}$$

Όμως όταν ο πυκνωτής έχει φορτιστεί ισχύει: $C\epsilon = Q_{op}$

Όπου Q_{op} το οριακό φορτίο που φορτίζεται ο πυκνωτής γιατί:

$$C = Q_{op}/V_C = Q_{op}/\epsilon$$

Σε τυχαία χρονική στιγμή t κατά τη φόρτιση το φορτίο είναι $Q(t)$

Με ολοκλήρωση προκύπτει:

$$\int_0^{Q(t)} \frac{dQ'}{Q_{op} - Q'} = \int_0^t \frac{dt'}{RC}$$

Κατά τη φόρτιση το αρχικό φορτίο είναι 0 και το τελικό είναι $Q_{op}=C\epsilon$

$$\ln\{Q_{op} - Q\} - \ln\{Q_{op}\} = - \frac{t}{RC}$$

$$-\ln\{1 - Q/(Q_{op})\} = \frac{t}{RC} \quad \{1 - Q/(C\epsilon)\} = e^{-t/RC} \quad Q(t) = Q_{op} (1 - e^{-t/RC})$$

Το φορτίο του πυκνωτή σε τυχαίο χρόνο t

Το ρεύμα φόρτισης του πυκνωτή

$$i = dQ(t)/dt = Q_{op}/RC e^{-t/RC} \quad i(t) = i_{\phi op} e^{-t/RC}$$

όπου $i(t=0) = V_C/R = i_{\phi op} = i_0$ είναι το μέγιστο ρεύμα φόρτισης i_0 όταν $t=0$ και ο πυκνωτής είναι αφόρτιστος.

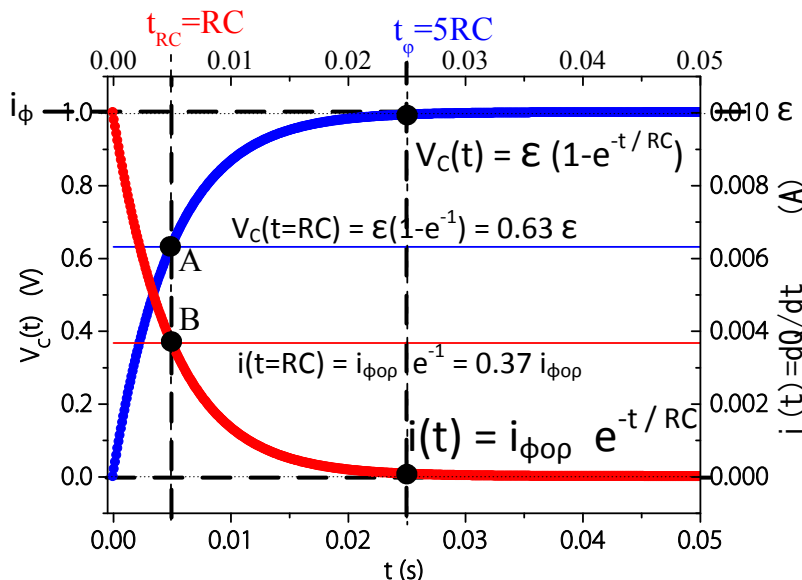
Για τη τάση φόρτισης του πυκνωτή ισχύει:

$$V_C(t) = Q(t)/C \quad \text{από } Q(t) = Q_{op} (1 - e^{-t/RC}) \quad V_C(t) = \epsilon (1 - e^{-t/RC})$$

Η τάση του πυκνωτή κατά τη φόρτιση.

Πρακτικά ο χρόνος $t=t_{\phi}=5RC$ προσδιορίζει το χρόνο φόρτισης γιατί τότε η V_C φθάνει μερικά (7) χιλιοστά πιο κάτω από τη μέγιστη τιμή φόρτισης ϵ γιατί:

$$\text{όταν } t=t_{\phi op}=5RC \text{ τότε : } V_C(t) = \epsilon (1 - e^{-t/RC}) = \epsilon (1 - e^{-5RC/RC}) = \epsilon (1 - e^{-5}) = \epsilon (1 - 0.007) = \epsilon 0.993 \cong \epsilon$$



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΦΟΡΤΙΣΗΣ

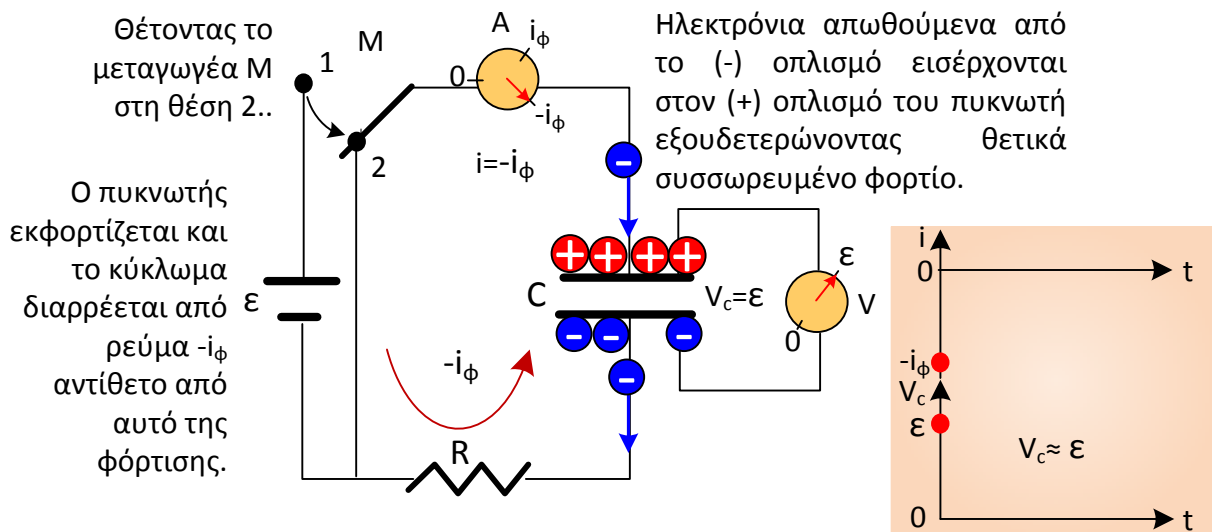
Όταν $t=RC$, τότε η V_C φθάνει το 0.63 της μέγιστης τάσης φόρτισης ϵ (σημείο A).

Όταν $t=RC$ τότε το $i(t)$ φθάνει το 0.37 του μέγιστου ρεύματος φόρτισης $i_{\phi op}$ (σημείο B).

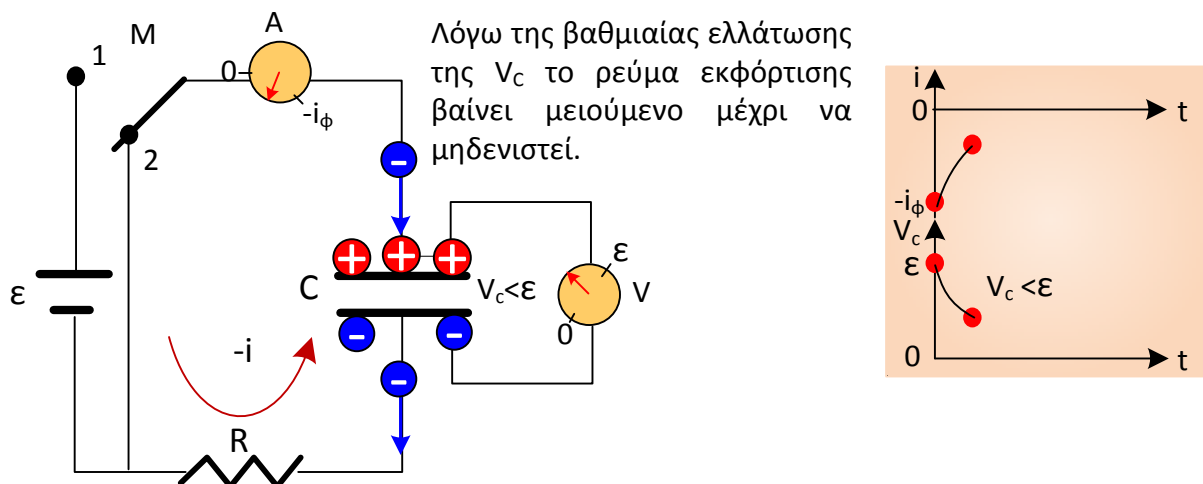
Τα χαρακτηριστικά σημεία A και B των διαγραμμάτων $V_C(t)$ και $i(t)$ χρησιμοποιούνται για να προσδιοριστεί πειραματικά η χαρακτηριστική σταθερά RC του κυκλώματος.

Όταν $t=t_{\phi op}=5RC$ τότε $i(t_{\phi}) = 0.007i_0 \cong 0$ τότε το ρεύμα πρακτικά μηδενίζεται γιατί φορτίστηκε ο πυκνωτής.

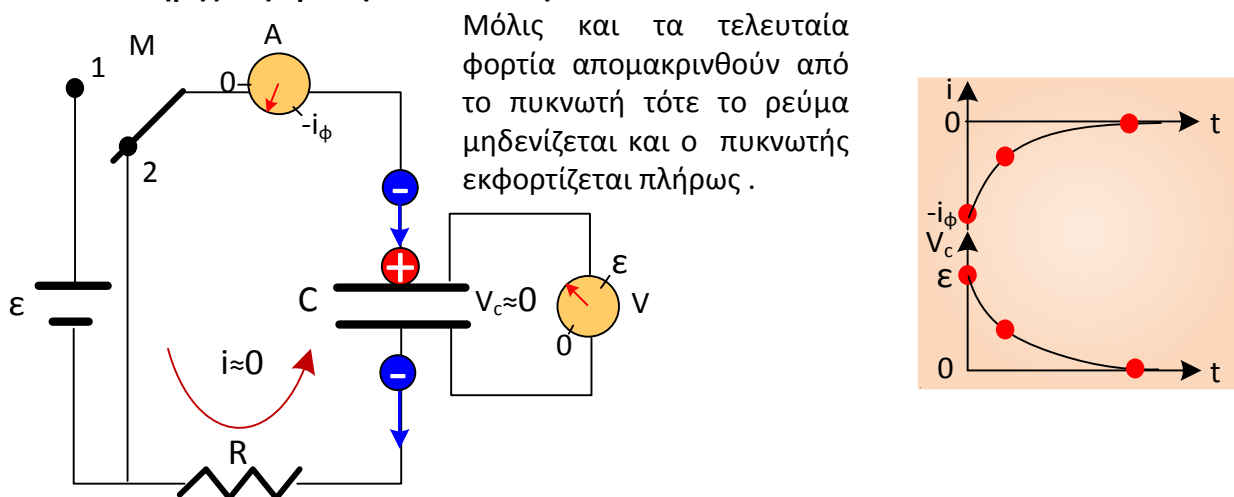
Εκφόρτιση πυκνωτή Αρχικά πλήρως φορτισμένος πυκνωτής



Πλήρης εκφόρτιση του πυκνωτή



Πλήρης εκφόρτιση του πυκνωτή



Βάζω «-» και στους 2 όρους και έτσι τελικά έχουν αντίθετο πρόσημο δίνοντας άθροισμα 0 γιατί έχουμε $dQ < 0$ λόγω της ελάττωσης του φορτίου.

Σε κάθε χρονική στιγμή της εκφόρτισης ισχύει :

$$-V_R - V_C = 0$$

$$\frac{dQ}{dt} R - \frac{Q}{C} = 0$$

$$-\frac{dQ}{dt} R = \frac{Q}{C}$$

$$\int_{Q_{op}}^{Q(t)} \frac{dQ}{Q} = - \int_0^t \frac{dt}{RC}$$

Διαφορική εξίσωση χωριζομένων μεταβλητών

$$\ln(Q(t)/Q_{op}) = -t/RC$$

$$Q(t) = Q_{op} e^{-t/RC}$$

Το φορτίο κατά την εκφόρτιση του πυκνωτή

$$V_C(t) = Q(t)/C = Q_{op}/C e^{-t/RC}$$

$$V_C(t) = \varepsilon e^{-t/RC}$$

Η τάση κατά την εκφόρτιση του πυκνωτή

$$i(t) = dQ(t)/dt = -Q_{op}/RC e^{-t/RC}$$

$$i(t) = -\varepsilon/R e^{-t/RC}$$

Το ρεύμα κατά την εκφόρτιση του πυκνωτή

Είναι αρνητικό γιατί είναι αντίθετο από αυτό της φόρτισης

**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΦΟΡΤΙΣΗΣ**

