ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΤΑΛΑΝΤΩΣΗ

Ο πυκνωτής και το πηνίο

Πυκνωτής, C

Αποτελείται από δύο οπλισμούς, μονωμένους μεταξύ τους, που μπορούν να αλληλεπιδρούν. Κατά τη φόρτιση η πηγή μετακινεί φορτίο **q** από τον ένα οπλισμό στον άλλο και έτσι φορτίζονται με αντίθετα φορτία **+q** και **−q** (έλλειμμα και πλεόνασμα ηλεκτρονίων αντίστοιχα).

Φορτίο του πυκνωτή ονομάζεται αυτό που **μετακινήθηκε** κατά τη φόρτιση από το ένα οπλισμό στον άλλο, δηλαδή **q**, πάντα θετικό, αφού εξάλλου θεωρούμε ότι τα φορτία που μετακινούνται στο κύκλωμα είναι θετικά (θυμηθείτε τη συμβατική φορά του ρεύματος).

Η τάση v_C μεταξύ των οπλισμών του πυκνωτή είναι ανάλογη με το φορτίο **q**, και ο *συντελεστής αναλογίας* είναι η χωρητικότητά **C** του πυκνωτή:

$$\boxed{C = \frac{q}{v_C}} \qquad \boxed{v_C = \frac{q}{C}} \qquad \boxed{q = C \cdot v_C}$$

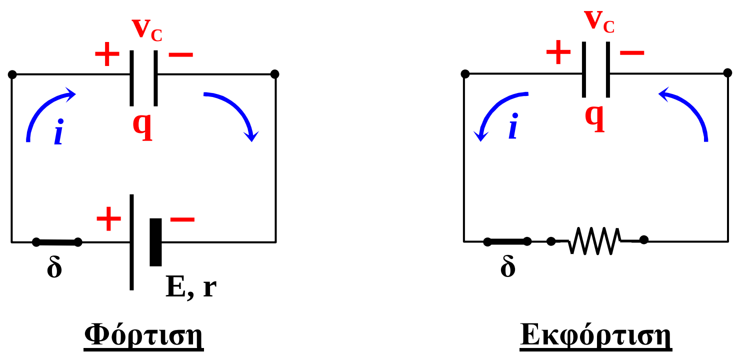
Η χωρητικότητα ενός πυκνωτή εκφράζει την ικανότητά του να «**συγκρατεί**» φορτίο και να αποθηκεύει ηλεκτρική ενέργεια.

Εξαρτάται από τα γεωμετρικά του χαρακτηριστικά, και από το μονωτικό υλικό μεταξύ των οπλισμών (αέρας ή κάποιο άλλο διηλεκτρικό).

Π.χ. σε επίπεδο πυκνωτή είναι: $\boxed{C = \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot \frac{S}{\ell}}$

Μεταξύ των οπλισμών του δημιουργείται, όταν είναι φορτισμένος, ομογενές ηλεκτρικό πεδίο με ένταση: $\boxed{E = \frac{v_C}{\ell}}$

Φόρτιση – εκφόρτιση, ενέργεια φορτισμένου πυκνωτή



ΣΧΗΜΑ 1

- *Φόρτιση του πυκνωτή:*

Στο αριστερό *Σχήμα 1* βλέπουμε τη φόρτιση ενός πυκνωτή που ήταν αρχικά, προτού δηλαδή να κλείσουμε το διακόπτη δ, αφόρτιστος (**q = 0**, v_C **= 0**).

Μόλις κλείσουμε τον διακόπτη το κύκλωμα διαρρέεται (για λίγο) από ρεύμα **i** που το προκαλεί η πηγή. Τα **q** και $\mathbf{v_C}$ αυξάνονται σταδιακά ενώ η ένταση **i** του ρεύματος μειώνεται.

Σύντομα, **ο πυκνωτής φορτίζεται πλήρως και το ρεύμα μηδενίζεται**. Τότε, η **τελική κατάσταση** του κυκλώματος είναι: $\boxed{i = 0}$ $\boxed{v_C = E}$ $\boxed{q = Q = C \cdot E}$

Ο πυκνωτής **λειτουργεί κατά τη φόρτιση σαν αποδέκτης**. Αντιστέκεται δηλαδή στη φόρτιση (παρατηρήστε την πολικότητα της $\mathbf{v_C}$ και τη φορά του ρεύματος). Έτσι παίρνει ενέργεια από την πηγή, που αποταμιεύεται με μορφή **ενέργειας ηλεκτρικού πεδίου**:

$$\boxed{U_E = \frac{1}{2} \cdot \frac{q^2}{C}} \quad \text{ή} \quad \boxed{U_E = \frac{1}{2} \cdot C \cdot v_C^2}$$

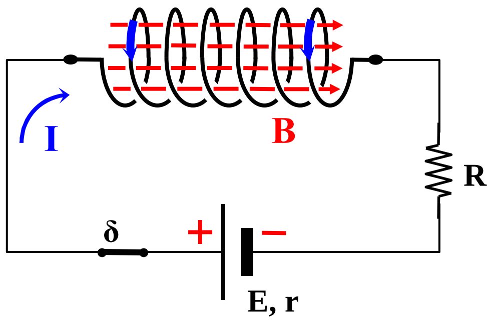
- *<u>Εκφόρτιση του πυκνωτή:</u>*

Στο δεξιό κύκλωμα του *Σχήματος 1* βλέπουμε την εκφόρτιση ενός πυκνωτή, που είχε κάποιο αρχικό φορτίο **q = Q** προτού κλείσουμε το διακόπτη δ.

Μόλις κλείσουμε τον διακόπτη το κύκλωμα διαρρέεται (για λίγο) από ρεύμα **i** που τώρα το προκαλεί ο ίδιος ο πυκνωτής. **Λειτουργεί δηλαδή σαν πηγή**, δίνοντας στο κύκλωμα την ενέργεια που είχε αποθηκεύσει κατά την φόρτισή του. Τα **q**, $\mathbf{v_C}$ και **i** μειώνονται σταδιακά και σύντομα μηδενίζονται. Τελικά: **q = 0**, $\mathbf{v_C = 0}$, **i = 0**.

<u>Πηνίο, L</u>

Το ιδανικό πηνίο (σωληνοειδές) αποτελείται από σύρμα <u>αμελητέας αντίστασης</u>, τυλιγμένο έτσι ώστε να σχηματίζει **N** διαδοχικές κυκλικές σπείρες επιφάνειας **S**, με παράλληλα επίπεδα, πάνω στον ίδιο άξονα (άξονας του σωληνοειδούς) που καταλαμβάνουν μήκος ℓ.



ΣΧΗΜΑ 2

Όταν διαρρέεται από ρεύμα **I** δημιουργείται στο εσωτερικό του ομογενές μαγνητικό πεδίο, με ένταση: $\boxed{B = \mu \cdot \mu_0 \frac{N}{\ell} \cdot I}$

Το ιδανικό πηνίο δεν παρουσιάζει καθόλου αντίσταση στο σταθερό ρεύμα **I** που το διαρρέει. Έτσι η τιμή του ρεύματος καθορίζεται από τα άλλα στοιχεία του κυκλώματος: **I = E/(R+r)**.

Όταν όμως <u>μεταβάλλεται το ρεύμα</u> τότε, εξαιτίας του φαινόμενου της αυτεπαγωγής, αναπτύσσεται στο πηνίο ΗΕΔ από αυτεπαγωγή:

$$\boxed{E_{αυτ} = -L \cdot \frac{di}{dt}}$$

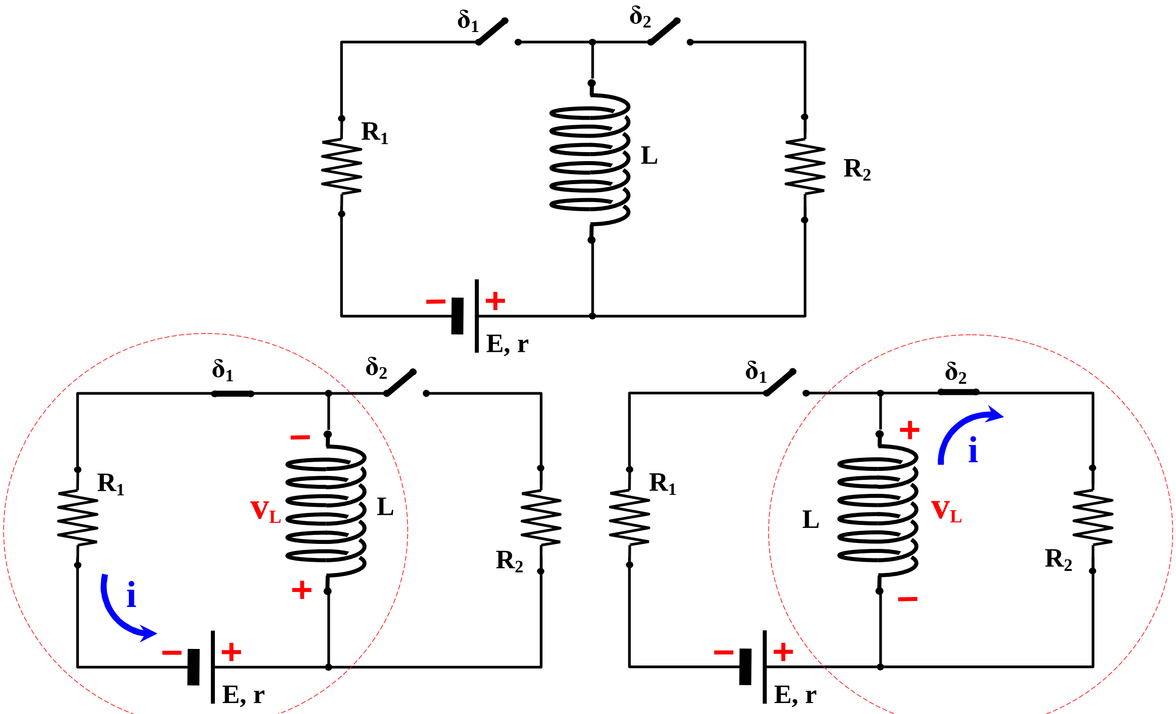
Το αρνητικό πρόσημο είναι μια υπενθύμιση της σωστής πολικότητας (Lenz). Η $\mathbf{E_{αυτ}}$ είναι ένα θετικό μέγεθος, και έχει πάντα τέτοια πολικότητα ώστε να αντιστέκεται στη μεταβολή **di** του ρεύματος (στην αύξηση δηλαδή ή στη μείωση του ρεύματος).

Ο συντελεστής αυτεπαγωγής L εκφράζει την «**αδράνεια**» του πηνίου στις μεταβολές του ρεύματος και εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του:

$$\boxed{L = \mu\mu_0 \frac{N^2 S}{\ell}}$$

Η $\mathbf{E_{αυτ}}$ εμφανίζεται σαν τάση στα άκρα του πηνίου: $\mathbf{v_L = E_{αυτ}}$.

<u>Αποκατάσταση – διακοπή ρεύματος στο πηνίο, ενέργεια μαγνητικού πεδίου</u>



ΣΧΗΜΑ 3

Στο επάνω κύκλωμα του *Σχήματος 3* είναι και οι δύο διακόπτες $δ_1$, $δ_2$ ανοικτοί.

- *<u>Αποκατάσταση του ρεύματος</u>*:

Κλείνουμε τον διακόπτη $δ_1$ (αριστερό κύκλωμα του *Σχήματος 3*) οπότε το ρεύμα **i** αυξάνεται ξεκινώντας από αρχική τιμή **i = 0**. Το πηνίο αντιστέκεται αναπτύσσοντας ΗΕΔ από αυτεπαγωγή, $\mathbf{v_L = E_{αυτ}}$, καθυστερώντας έτσι την αύξηση του ρεύματος.

Σύντομα το ρεύμα φτάνει στην τελική του τιμή και το πηνίο δεν αντιδρά πλέον. Η τελική κατάσταση του κυκλώματος είναι: $\boxed{\mathbf{v_L = 0}}$ και $\boxed{\mathbf{i = I = E/(R_1+r)}}$

Το πηνίο **κατά την αύξηση του ρεύματος λειτουργεί σαν αποδέκτης**. Αντιστέκεται δηλαδή στη αύξηση (παρατηρήστε την πολικότητα της $\mathbf{v_L}$ και τη φορά του ρεύματος). Έτσι παίρνει ενέργεια από την πηγή, η οποία μετατρέπεται σε **ενέργεια μαγνητικού πεδίου** στο πηνίο:

$$\boxed{U_B = \frac{1}{2}\cdot L \cdot i^2}$$

- *<u>Διακοπή του ρεύματος:</u>*

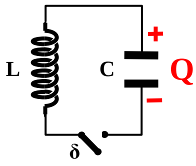
Στη συνέχεια, **ταυτόχρονα**, κλείνουμε τον διακόπτη $δ_2$ και ανοίγουμε τον $δ_1$ (δεξιό κύκλωμα του *Σχήματος 3*). Το πηνίο βρίσκεται στο νέο κύκλωμα με αρχική ενέργεια $\mathbf{U_B = \frac{1}{2}\cdot L\cdot I^2}$ διότι διαρρέεται από **το τελικό ρεύμα I του προηγούμενου κυκλώματος**.

Δεν υπάρχει πλέον η πηγή, το ρεύμα αρχίζει να μειώνεται και το πηνίο αντιδρά στη μείωση του ρεύματος αναπτύσσοντας ΗΕΔ που τείνει τώρα να συντηρήσει το ρεύμα (παρατηρήστε τη νέα πολικότητα της v_L). **Συμπεριφέρεται δηλαδή σαν πηγή**, μετατρέποντας τη μαγνητική ενέργεια σε ηλεκτρική στο κύκλωμα.

Το ρεύμα μειώνεται σταδιακά και τελικά όλα μηδενίζονται: $\boxed{\mathbf{i = 0}}$ $\boxed{\mathbf{v_L = 0}}$

Κύκλωμα L–C ηλεκτρικών ταλαντώσεων

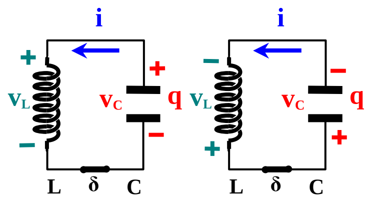
Στο κύκλωμα L–C του διπλανού *Σχήματος 4* ο διακόπτης δ είναι ανοικτός και ο πυκνωτής έχει φορτίο **q** με αρχική τιμή **Q**.



ΣΧΗΜΑ 4

- Μόλις τώρα κλείσουμε τον δ (έστω **t = 0**), το κύκλωμα διαρρέεται από ρεύμα (*Σχήμα 5*, αριστερά) και ο πυκνωτής αρχίζει να εκφορτίζεται μέσω του πηνίου. Η αύξηση του ρεύματος είναι σταδιακή και όχι απότομη, λόγω της ΗΕΔ από αυτεπαγωγή που αναπτύσσεται στο πηνίο, τείνοντας να αντισταθεί στην αύξηση του ρεύματος.

Αν το κύκλωμα είναι ιδανικό (**R = 0**) και δεν υπάρχουν θερμικές απώλειες, τότε ισχύει:



ΣΧΗΜΑ 5

$$\boxed{\mathbf{E = U_E + U_B = σταθερή}}$$

Έτσι, η ηλεκτρική ενέργεια $\mathbf{U_E}$ του πυνωτή **μετατρέπεται σταδιακά όλη** σε ενέργεια μαγνητικού πεδίου $\mathbf{U_B}$ στο πηνίο και τη στιγμή που μηδενίζεται το φορτίο του πυκνωτή (**q = 0**), η ένταση **i** του ρεύματος απόκτά μέγιστη τιμή **I**.

Δηλαδή ισχύει: $\boxed{\mathbf{E = U_{E,max}} + 0 = 0 + \mathbf{U_{B,max}}}$ ή αλλιώς: $\boxed{\frac{1}{2}\cdot\frac{Q^2}{C} = \frac{1}{2}\cdot L\cdot I^2}$

- Στη συνέχεια (*Σχήμα 5*, δεξιά), η τάση στα άκρα του πηνίου (ΗΕΔ από αυτεπαγωγή) αλλάζει πολικότητα, συντηρώντας τώρα το ρεύμα στο κύκλωμα ώστε η μείωσή του να είναι κι αυτή σταδιακή. Συνεχίζει δηλαδή η μετακίνηση των φορτίων και μετά την εκφόρτιση του πυκνωτή, με αποτέλεσμα να φορτίζεται αυτός πάλι, αλλά με αντίθετη πολικότητα. Έτσι η ενέργεια του μαγνητικού πεδίου $\mathbf{U_B}$ μετατρέπεται ξανά σε ηλεκτρική ενέργεια $\mathbf{U_E}$ και τη στιγμή που μηδενίζεται το ρεύμα (**i = 0**) το φορτίο του πυκνωτή φτάνει πάλι σε τιμή **Q** ίδια με την αρχική, αλλά με αντίθετη πολικότητα από πριν.

Η νέα αυτή ενεργειακή μετατροπή περιγράφεται από τη σχέση:

$\boxed{0 + \mathbf{U_{B,max}} = \mathbf{U_{E,max}} + 0}$ ή αλλιώς: $\boxed{\frac{1}{2}\cdot L\cdot I^2 = \frac{1}{2}\cdot\frac{Q^2}{C}}$

- Είναι εμφανές ότι στη συνέχεια τα δύο πρώτα στάδια του φαινόμενου (εκφόρτιση του πυκνωτή – επαναφόρτιση με αντίθετη πολικότητα) θα επαναληφθούν, και τελικά το κύκλωμα θα επανέλθει στην αρχική κατάσταση από όπου ξεκίνησε τη στιγμή **t = 0**.

- Το φαινόμενο αυτό επαναλαμβάνεται με τον ίδιο τρόπο περιοδικά και ονομάζεται ηλεκτρική ταλάντωση. Η περίοδος **T** της ταλάντωσης καθορίζεται από τις τιμές της χωρητικότητας **C** και της αυτεπαγωγής **L** του κυκλώματος:

$\boxed{\mathbf{T = 2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}}$ και $\boxed{\boldsymbol{\omega} = \dfrac{\mathbf{1}}{\sqrt{\mathbf{L \cdot C}}}}$

ΣΗΜΕΙΩΣΗ 1:

Ως φορτίο **q** ενός πυκωτή έχουμε ορίσει «*αυτό που μετακινήθηκε …*», όπως είδαμε στην αρχή, πρόκειται δηλαδή για μια θετική ποσότητα.

Για να φαίνεται όμως αυτή η ***αλλαγή στην πολικότητα*** του φορτισμένου πυκνωτή, που συμβαίνει στις ηλεκτρικές ταλαντώσεις, ***επιλέξαμε να εισάγουμε τη χρήση θετικού ή αρνητικού προσήμου στο φορτίο του***, ώστε να δηλώνεται η εκάστοτε πολικότητα.

Θυμηθείτε ότι είχαμε κάνει κάτι ανάλογο στα εναλλασσόμενα με την ένταση **i** του ρεύματος, ώστε το θετικό ή αρνητικό της πρόσημο να δηλώνει τη φορά του ρεύματος.

Αυτό ακριβώς θα κάνουμε κι εδώ γενικότερα για όσα μεγέθη αλλάζουν πολικότητα ή φορά, ώστε αυτή να δηλώνεται με το ανάλογο θετικό ή αρνητικό πρόσημο.

Για να επανέλθουμε λοιπόν στο φορτίο **q** του πυκνωτή, αν θεωρήσουμε π.χ. ως «θετική» την πολικότητα που σημειώνεται στο *Σχήμα 4* (θετικός οπλισμός επάνω), τότε το αρχικό φορτίο του πυκνωτή ήταν «θετικό»: **q = +Q.** Στη επόμενη κατάσταση φόρτισης όμως, όπου η πολικότητα έχει αντιστραφεί, το νέο φορτίο του πυκνωτή είναι «αρνητικό»: **q = –Q** (δηλαδή έχει πάλι ίδιο μέτρο, αλλά τώρα ο θετικός οπλισμός είναι κάτω).

ΣΗΜΕΙΩΣΗ 2:

Η ένταση του ρεύματος ορίζεται όπως γνωρίζουμε ως $\mathbf{i} = \dfrac{\mathbf{dq}}{\mathbf{dt}}$, δηλαδή ως «*ο ρυθμός διέλευσης φορτίου από μία διατομή του αγωγού*» και πρόκειται για μια θετική ποσότητα. Επειδή όμως το ρεύμα στην περίπτωσή μας είναι εναλλασσόμενο, θα εισάγουμε κι εδώ ***τη χρήση της αλγεβρικλης τιμής* i, *ώστε με το πρόσημο να δηλώνεται η εκάστοτε φορά***.

Ποια φορά όμως θα θεωρήσουμε θετική; Θα κάνουμε επιλογή θετικήςφοράς ανεξάρτητα από την επιλογή της θετικής πολικότητας που περιγράψαμε πιο πάνω; Ή μήπως αυτές οι δύο επιλογές σχετίζονται μεταξύ τους;

Επειδή η διέλευση φορτίου στο κύκλωμα σχετίζεται άμεσα με τη μεταβολή του φορτίου του πυκνωτή, έχουμε συμφωνήσει ότι ο ρυθμός $\mathbf{i} = \dfrac{\mathbf{dq}}{\mathbf{dt}}$ της διέλευσης φορτίου, ***εκφράζει ταυτόχρονα και το ρυθμό μεταβολής του φορτίου του πυκνωτή***.

Επομένως η επιλογή της «θετικής φοράς» και της «θετικής πολικότητας», δεν μπορεί να είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους (βλέπε και πιο κάτω στις *ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ*). Η αυθαίρετη επιλογή της μίας, καθορίζει έμμεσα και την άλλη.

Για παράδειγμα, στο *Σχήμα 4* επιλέξαμε την πολικότητα που σημειώνεται ως θετική. επομένως το αρχικό φορτίο του πυκνωτή θεωρείται «θετικό», **q>0**. Με το κλείσιμο του διακόπτη (*Σχήμα 5*, δεξιά), το κύκλωμα διαρρέεται από ρεύμα φοράς αντίθετης από αυτή των δεικτών του ρολογιού και ο πυκνωτής εκφορτίζεται, δηλαδή **dq<0**. Μα τότε **i = dq/dt < 0**. Δηλαδή η εν λόγω φορά, αντίθετα από τους δείκτες του ρολογιού, θεωρείται στο παράδειγμα αυτό αρνητική.

Συνοψίζοντας για το παράδειγμα που μελετάμε, γράφουμε στον πιο κάτω πίνακα τις τιμές φορτίου **q** του πυκνωτή και της έντασης **i** του ρεύματος, σύμφωνα με τις συμβάσεις που κάναμε για τα πρόσημα:

***Χρόνος* t**	**0 → T/4**	**T/4 → T/2**	**T/2 → 3T/4**	**3T/4 → T**
***Φορτίο* q**	**+Q → 0**	**0 → –Q**	**–Q → 0**	**0 → +Q**
***Ένταση* i**	**0 → –I**	**–I → 0**	**0 → +I**	**+I → 0**

Αποδεικνύεται ότι οι χρονικές εξισώσεις που περιγράφουν το φορτίο **q** και την ένταση **i** του ρεύματος στο συγκεκριμένο παράδειγμα είναι:

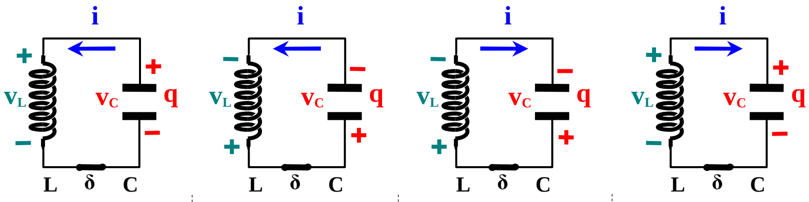
$$\boxed{q = Q\cdot \sigma\upsilon\nu(\omega\cdot t)} \quad \text{και} \quad \boxed{i = -I\cdot \eta\mu(\omega\cdot t)}$$

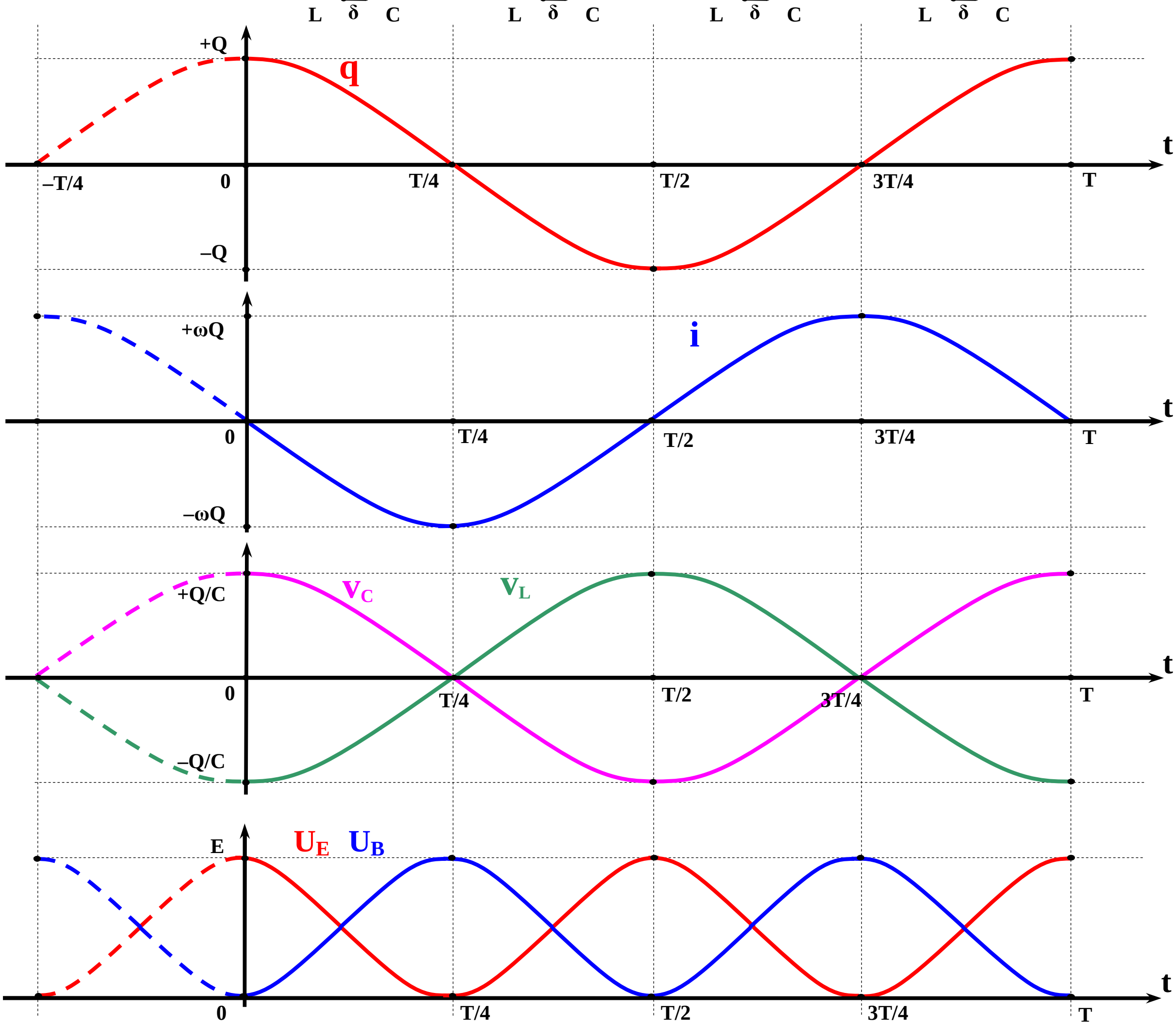
Από τις μέγιστες τιμές των U_B και U_E μπορούμε να υπολογίσουμε το μέγιστο ρεύμα:

$$U_{B,max} = U_{E,max} \;\rightarrow\; \frac{1}{2}\cdot L\cdot I^2 = \frac{1}{2}\cdot\frac{Q^2}{C} \;\rightarrow\; I = \frac{Q}{\sqrt{LC}} \;\rightarrow\; \boxed{I = \omega\cdot Q}$$

Στην επόμενη σελίδα μπορείτε να δείτε τις διαδοχικές καταστάσεις του κυκλώματος κατά τη διάρκεια μιας περιόδου, καθώς και τις αντίστοιχες γραφικές παραστάσεις των διαφόρων μεγεθών της ηλεκτρικής ταλάντωσης, σε σχέση με το χρόνο:

Χρόνος (t)	*0*	→	*T/4*	→	*T/2*	→	*3T/4*	→	*T*
Φορτίο (q)	+Q	|q| ↘	0	|q| ↗	–Q	|q| ↘	0	|q| ↗	+Q
Ρεύμα (i)	0	|i| ↗	–I	|i| ↘	0	|i| ↗	+I	|i| ↘	0
Λειτουργία & ενέργεια πυκνωτή	$U_{E\ max}$	εκφόρτιση (πηγή)	0	φόρτιση (αποδέκτης)	U_{Emax}	εκφόρτιση (πηγή)	0	φόρτιση (αποδέκτης)	U_{Emax}
Λειτουργία και ενέργεια πηνίου	0	αποκατάσταση i (αποδέκτης)	$U_{B\ max}$	διακοπή i (πηγή)	0	αποκατάσταση i (αποδέκτης)	$U_{B\ max}$	διακοπή i (πηγή)	0



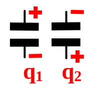


<u>ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΑ ΠΡΟΣΗΜΑ</u>:

- Οι αλγεβρικές τιμές (η εναλλαγή δηλαδή θετικών και αρνητικών τιμών) στα μεγέθη **q**, $\mathbf{v_C}$, $\mathbf{v_L}$ και **i** σχετίζονται από φυσική άποψη, για τα τρία πρώτα με την εναλλαγή της <u>πολικότητας</u>, ενώ για το τελευταίο με την εναλλαγή της <u>φοράς</u>.

  (Κατ' αναλογία, στις μηχανικές ταλαντώσεις τα πρόσημα της απομάκρυνσης **x**, της ταχύτητας **υ**, κλπ. σχετίζονται με την <u>κατεύθυνση</u> των αντίστοιχων διανυσματικών μεγεθών.)

- Πιο συγκεκριμένα, το φορτίο **q** ενός φορτισμένου πυκνωτή είναι εξ ορισμού μια θετική ποσότητα. Σε μια ηλεκτρική ταλάντωση όμως ο πυκνωτής έχει δύο διαφορετικές καταστάσεις φόρτισης, αφού η πολικότητά του αλλάζει περιοδικά. Έτσι <u>μπορούμε αυθαίρετα να θεωρήσουμε θετικό το φορτίο της μιας από τις δύο καταστάσεις και αρνητικό το φορτίο της άλλης</u> (π.χ. $\mathbf{q_1>0}$ και $\mathbf{q_2<0}$).

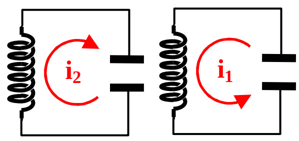


- Η τάση $\mathbf{v_C}$ του πυκνωτή, σύμφωνα με τη σχέση $\mathbf{v_C=q/C}$, είναι ομόσημη με το φορτίο του.

- Η τάση $\mathbf{v_L}$ στο πηνίο ταυτίζεται με αυτή του πυκνωτή (αφού έχουν κοινά άκρα). Από τον 2^o κανόνα του Kirchhoff (δηλ. $\mathbf{v_C+v_L=0}$) προκύπτει ότι αλγεβρικά οι δύο τάσεις έχουν διαρκώς αντίθετα πρόσημα: $\mathbf{v_L = -v_C}$.

- Η ΗΕΔ από αυτεπαγωγή του πηνίου ταυτίζεται με την τάση $\mathbf{v_L}$ στα άκρα του, αφού το πηνίο είναι ιδανικό (χωρίς αντίσταση): $\boldsymbol{\varepsilon_{\alpha\upsilon\tau} = v_L = L\cdot di/dt}$

- Τέλος, το πρόσημο της έντασης σχετίζεται όπως είπαμε με τη φορά του ρεύματος (του ρολογιού ή την αντίθετη). Κι εδώ <u>μπορούμε αυθαίρετα να αντιστοιχίσουμε ένα πρόσημο σε κάθε φορά</u>, π.χ. $\mathbf{i_1>0}$ και $\mathbf{i_2<0}$.



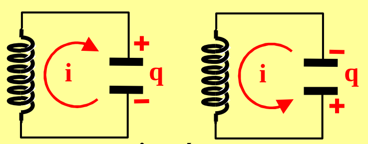
- ***Η επιλογή των προσήμων <u>του φορτίου q</u> και <u>της έντασης i</u> γίνεται ως εξής:***

  ✓ Επιλέγουμε **<u>αυθαίρετα το πρόσημο ΤΟΥ ΕΝΟΣ ΜΟΝΟ</u>** από τα δύο μεγέθη, ανάλογα με το τι μας βολεύει (ή ανάλογα με την εκφώνηση, αν δίνεται κάποια υπόδειξη!). Π.χ., αν ο πυκνωτής είναι αρχικά φορτισμένος, μπορούμε να θεωρήσουμε θετικό το αρχικό του φορτίο. Ή, αν αρχικά το πηνίο διαρρέεται από ρεύμα, μπορούμε να θεωρήσουμε ως θετικό αυτό ρεύμα.

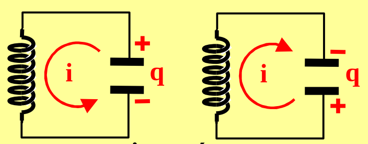
  ✓ Αφού τώρα έχουμε καθορίσει το πρόσημο του ενός από τα δύο μεγέθη, καθορίζουμε και το πρόσημο του άλλου, σύμφωνα με τον εξής κανόνα:

Η ένταση **i** και το φορτίο **q** είναι ***ομόσημα*** όταν ο πυκνωτής ***φορτίζεται***, όταν δηλαδή το ρεύμα κατευθύνεται προς τον θετικό (+) οπλισμό του.

Τα δύο μεγέθη είναι βέβαια ετερόσημα όταν ο πυκνωτής εκφορτίζεται:



q, i ομόσημα



q, i ετερόσημα

Με την εφαρμογή αυτού του κανόνα, οι αλγεβρικές τιμές των **i** και **q** είναι σε συμφωνία με τη σχέση ορισμού της έντασης του ρεύματος:

(ρυθμός μεταβολής του φορτίου του πυκνωτή) $$\boxed{\mathbf{i = \frac{dq}{dt}}}$$

Στο παράδειγμα που μελετήσαμε προηγουμένως, θεωρήσαμε ότι ο πυκνωτής είχε αρχικά θετικό φορτίο (**q** = +**Q**). Στη συνέχεια εκφορτίζεται, επομένως η ένταση **i** έχει αντίθετο πρόσημο, είναι δηλαδή αρνητική.

- Η ηλεκτρική ταλάντωση παρουσιάζει αναλογία με την ΓΑΤ αν θεωρήσουμε την αντιστοιχία: $\boxed{q \leftrightarrow x}$ και $\boxed{i \leftrightarrow \upsilon}$:

ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΤΑΛΑΝΤΩΣΗ	
Γενική μορφή	$x = A\cdot\eta\mu(\omega\cdot t + \varphi_o)$ $\upsilon = \omega\cdot A\cdot\sigma\upsilon\nu(\omega\cdot t + \varphi_o)$

ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΤΑΛΑΝΤΩΣΗ	
Γενική μορφή	$q = Q\cdot\eta\mu(\omega\cdot t + \varphi_o)$ $i = \omega\cdot Q\cdot\sigma\upsilon\nu(\omega\cdot t + \varphi_o)$

Αν για **t=0** *είναι* **x=+A** *τότε:* $\varphi_o=\pi/2$	$x = A\cdot\eta\mu(\omega\cdot t + \pi/2)$ $\upsilon = \omega\cdot A\cdot\sigma\upsilon\nu(\omega\cdot t + \pi/2)$
ή ισοδύναμα	$x = A\cdot\sigma\upsilon\nu(\omega\cdot t)$ $\upsilon = -\omega\cdot A\cdot\eta\mu(\omega\cdot t)$

Αν για **t=0** *είναι* **q=+Q** *τότε:* $\varphi_o=\pi/2$	$q = Q\cdot\eta\mu(\omega\cdot t + \pi/2)$ $i = \omega\cdot Q\cdot\sigma\upsilon\nu(\omega\cdot t + \pi/2)$
ή ισοδύναμα (*<u>περίπτωση σχολικού</u>*)	$q = Q\cdot\sigma\upsilon\nu(\omega\cdot t)$ $i = -\omega\cdot Q\cdot\eta\mu(\omega\cdot t)$

Αν για **t=0** *είναι* **x=0** *και* **υ>0** *τότε:* $\varphi_o=0$	$x = A\cdot\eta\mu(\omega\cdot t)$ $\upsilon = \omega\cdot A\cdot\sigma\upsilon\nu(\omega\cdot t)$

Αν για **t=0** *είναι* **q=0** *και* **i>0** *τότε:* $\varphi_o=0$	$q = Q\cdot\eta\mu(\omega\cdot t)$ $i = \omega\cdot Q\cdot\sigma\upsilon\nu(\omega\cdot t)$

και ούτω καθεξής.

Αντιστοιχία μεγεθών Μηχανικής και Ηλεκτρικής ταλάντωσης

ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΤΑΛΑΝΤΩΣΗ			ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΤΑΛΑΝΤΩΣΗ	
Ιδιότητες του συστήματος				
Σταθερά επαναφοράς	D	$D \to \frac{1}{C}$	Χωρητικότητα	C
Μάζα	m	$m \to L$	Συντελεστής αυτεπαγωγής	L
$\omega = \sqrt{\frac{D}{m}}$	$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{D}}$		$\omega = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}}$	$T = 2\pi\sqrt{L \cdot C}$
Μέγιστες τιμές μεγεθών				
Μέγ. απομάκρυνση (πλάτος):	A		Μέγ. φορτίο πυκνωτή	Q
Μέγ. ταχύτητα:	$\upsilon_{max} = A \cdot \omega$		Μέγ. ένταση ρεύματος	$I = Q \cdot \omega$
Μεγ. επιτάχυνση:	$\alpha_{max} = A \cdot \omega^2$		Μεγ. ρυθμ. μεταβολής ρεύματος	$\left(\frac{di}{dt}\right)_{max} = Q \cdot \omega^2$
Μέγ. δύναμη επαναφοράς:	$F_{max} = D \cdot A$		Μέγ. ΗΕΔ αυτεπαγωγής, Μεγ. τάσεις πην. / πυκν.:	$E_{\alpha\upsilon\tau} = V_L = V_C = \frac{1}{C} \cdot Q$
Μέγ. δυν. / κιν. ενέργεια:	$U_{max} = K_{max} = E$		Μέγ. ηλ. / μαγν. ενέργεια	$U_{E,max} = U_{B,max} = E$
Ολική ενέργεια:	$E = \frac{1}{2} \cdot D \cdot A^2 = \frac{1}{2} \cdot m \cdot \upsilon_{max}^2$		Ολική ενέργεια:	$E = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{C} \cdot Q^2 = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I^2$
Στιγμιαίες τιμές μεγεθών				
x	$x = A \cdot \eta\mu(\omega \cdot t + \varphi_o)$		q	$q = Q \cdot \eta\mu(\omega \cdot t + \varphi_o)$
$\upsilon = \frac{dx}{dt}$	$\upsilon = A \cdot \omega \cdot \sigma\upsilon\nu(\omega \cdot t + \varphi_o)$		$i = \frac{dq}{dt}$	$i = Q \cdot \omega \cdot \sigma\upsilon\nu(\omega \cdot t + \varphi_o)$
$\alpha = \frac{d\upsilon}{dt} \left(= \frac{F}{m}\right)$	$\alpha = -A \cdot \omega^2 \cdot \eta\mu(\omega \cdot t + \varphi_o)$		$\frac{di}{dt} = \frac{\varepsilon_{\alpha\upsilon\tau}}{L}$	$\frac{di}{dt} = -Q \cdot \omega^2 \cdot \eta\mu(\omega \cdot t + \varphi_o)$
$-D \cdot x - m \cdot \alpha = 0$ *(Newton)*			$\frac{1}{C} \cdot q + L \cdot \frac{di}{dt} = 0$ ή $v_C + v_L = 0$ *(Kirchhoff)*	
$F = -D \cdot x$	$F = -F_{max} \cdot \eta\mu(\omega \cdot t + \varphi_o)$		$v_C = \frac{1}{C} \cdot q$	$v_C = V_{max} \cdot \eta\mu(\omega \cdot t + \varphi_o)$
$(F = m \cdot \alpha)$			$v_L = L \cdot \frac{di}{dt}$	$v_L = -V_{max} \cdot \eta\mu(\omega \cdot t + \varphi_o)$
$U = \frac{1}{2} \cdot D \cdot x^2$	$U = E \cdot \eta\mu^2(\omega \cdot t + \varphi_o)$		$U_E = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{C} \cdot q^2$	$U_E = E \cdot \eta\mu^2(\omega \cdot t + \varphi_o)$
$K = \frac{1}{2} \cdot m \cdot \upsilon^2$	$K = E \cdot \sigma\upsilon\nu^2(\omega \cdot t + \varphi_o)$		$U_B = \frac{1}{2} \cdot L \cdot i^2$	$U_B = E \cdot \sigma\upsilon\nu^2(\omega \cdot t + \varphi_o)$

Υλικό Φυσικής - Χημείας.
Επειδή το να μοιράζεσαι πράγματα, είναι καλό για όλους….

Επιμέλεια
Διονύσης Μητρόπουλος