

ΤΑ 3 ΒΑΣΙΚΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

4.1 Εισαγωγικά

Αναφέρθηκε στα προηγούμενα ότι σε κάθε ηλεκτρικό στοιχείο υπάρχει, πάντοτε, μια μαθηματική σχέση που συνδέει την τάση $V(t)$ στα άκρα του στοιχείου με το ρεύμα $i(t)$ που διαρρέει το στοιχείο.

Παρακάτω θα εξετάσουμε τα 3 θεμελιώδη ηλεκτρικά στοιχεία της θεωρίας κυκλωμάτων και τις αντίστοιχες σχέσεις $V(t)$, $i(t)$ για το κάθε ένα από αυτά.

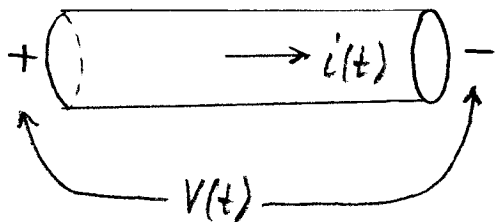
Σημειώνεται ότι τα 3 αυτά θεμελιώδη ή α στοιχεία εκφράζουν φυσικές αρχές του ηλεκτρομαγνητισμού και καλύπτουν πλήρως κάθε φαινόμενο που μπορεί να παρατηρηθεί σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα.

4.2 Νόμος του Ohm, ωμική αντίσταση R

Ο νόμος του Ohm προέκυψε από πειραματικά δεδομένα και αφορά κυρίως μεταλλικούς αγωγούς του π.λ. ρεύματος.

Συγκεκριμένα:

- Σε ένα μεταλλικό αγωγό, εφαρμόζεται τάση $V(t)$ στα άκρα του, και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την ροή ρεύματος $i(t)$.



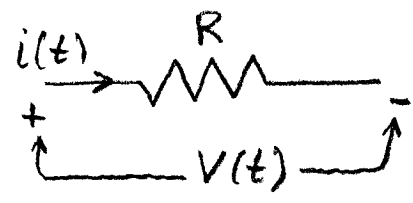
Αποδεικνύεται πειραματικά ότι, σε ένα μεταλλικό αγωγό πάντως, τα μεγέθη $v(t)$ και $i(t)$ είναι ανάλογα, δηλαδή

$$V(t) = R i(t)$$

όπου $R = \frac{V(t)}{i(t)}$ = ωμική αντίσταση σε Ohm (Ω)

$$1 \Omega = \frac{1 \text{ Volt}}{1 \text{ Amp}}$$

Σύμβολο ωμικής αντίστασης R



$$V(t) = R i(t)$$

$$\text{ή } i(t) = \frac{1}{R} i(t)$$

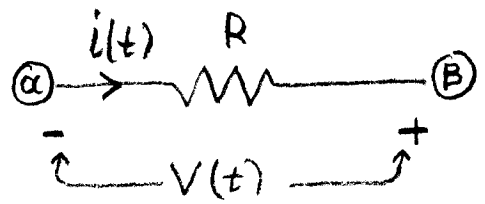
όπου $\frac{1}{R} = G$ αγωγιμότητα [Ω]⁻¹

Ισχύει πάντα $R > 0$

- Άρα με συσχετισμένες φορές αναφοράς $V(t)$, $i(t)$, όπως στο ανωτέρω σχήμα, γράφεται η σχέση $V(t) = R i(t)$ οπότε αν $i(t) > 0$ τότε και $V(t) > 0$ και αν $i(t) < 0$ τότε και $V(t) < 0$ πράγμα κλασικά φυσιολογικό

- Στην περίπτωση που δεν έχουμε συσχετισμένες φορές αναφοράς

π.χ.



τότε η σχέση γράφεται

$$\underline{V(t) = -R i(t)}$$

Παρακάτω δίνεται η εξήγηση:

Έστω $i(t) > 0$ πρόσημο που σημαίνει ότι θετικά φορτία

κινούνται από το (α) προς το (β)

Αυτό προϋποθέτει ότι το σημείο (α) βρίσκεται σε υψηλότερο δυναμικό από το (β) δηλαδή ισχύει $V_{\alpha\beta}(t) > 0$

Επομένως: $V(t) = V_{\beta\alpha}(t) = -V_{\alpha\beta}(t) < 0$

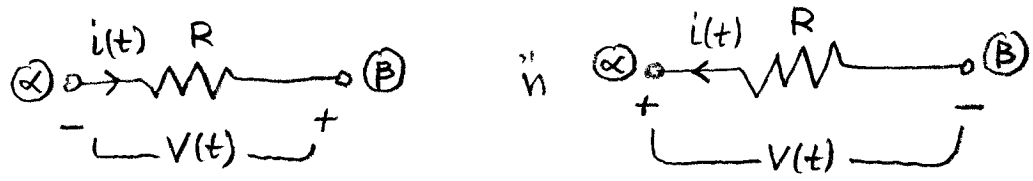
Καταληξίμε λοιπόν στο συμπέρασμα:

- αν $i(t) > 0$ τότε οπωσδήποτε $V(t) < 0$

Με όμοιους συλλογισμούς θα προκύψει και ότι:

- αν $i(t) < 0$ τότε οπωσδήποτε $V(t) > 0$

και εφ' όσον $R > 0$ πάντα, στην περίπτωση μη συσχετισμένων φορμών αναφοράς

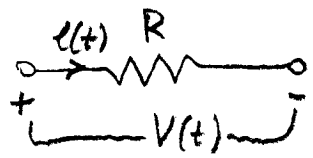


η σχέση γράφεται

$$V(t) = -R i(t)$$

Η ωμική αντίσταση είναι μια "καταβόθρα", ηλεκτρικής ενέργειας, δηλαδή μετατροπή των ηλεκτρικών ενεργειών σε θερμότητα η οποία διασκορπίζεται στο περιβάλλον

- Ισχύς σε ωμική αντίσταση



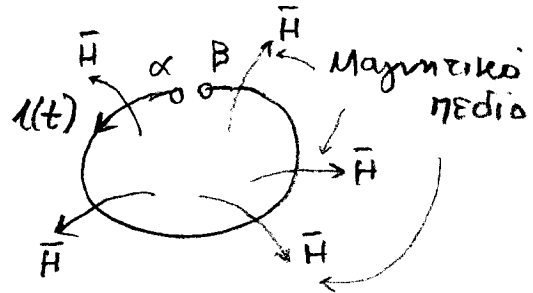
$$P_R(t) = V(t) \cdot i(t) = R i(t) \cdot i(t) = R i^2(t)$$

ή ισοδύναμα $P_R(t) = \frac{V^2(t)}{R}$ (Watts)

4.3 Αυτεπαγωγή, ηνίο L

Θα αναφερθούμε στο φαινόμενο της αυτεπαγωγής χωρίς μαθηματική περιγραφή αλλά με κλάι λόγια...

Έστω ένας αγωγός σε σχήμα σπείρας (ο αγωγός μπορεί να έχει οποιοδήποτε σχήμα αλλά ειδικά το σχήμα σπείρας βοηθάει πολύ)



Έστω ότι ο αγωγός διαρρέεται από ένα ρεύμα $i(t)$ το οποίο μεταβάλλεται χρονικά. Το ρεύμα αυτό δημιουργεί ένα μαγνητικό πεδίο του οποίου οι δυναμικές γραμμές εμπεριέχονται με τον σπειροειδή αγωγό.

Εφ' όσον το ρεύμα $i(t)$ είναι μεταβαλλόμενο το μαγνητικό πεδίο $\vec{H}(t)$ είναι και αυτό μεταβαλλόμενο

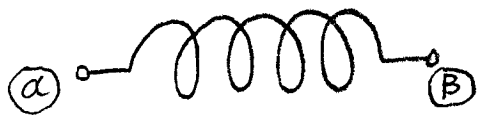
Το μεταβαλλόμενο αυτό μαγνητικό πεδίο γίνεται αιτία να αναπτυχθεί μια ηλεκτρεγερτική δύναμη (έχει διαστάσεις τάσεως) στα άκρα $\alpha - \beta$ του αγωγού

Το φαινόμενο αυτό αποτελεί τον Νόμο της Ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής (Νόμος Faraday)

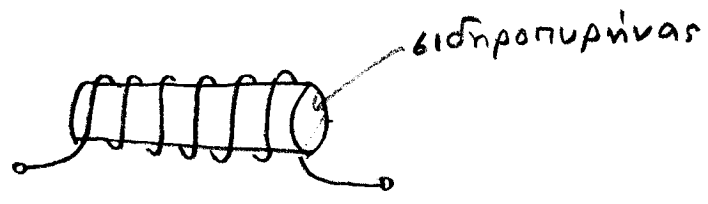
Συνοπτικά

- Χρονική μεταβολή του ρεύματος που διαρρέει έναν αγωγό \longrightarrow Ανάπτυξη διαφοράς δυναμικού στα άκρα του.

Όπως προαναφέραμε το φαινόμενο είναι έντονο σε αγωγούς με σχήμα σπείρας ή καλλίτερα πολλών συνεχόμενων σπειρών. Μια τέτοια μορφή αγωγού λέγεται πηνίο

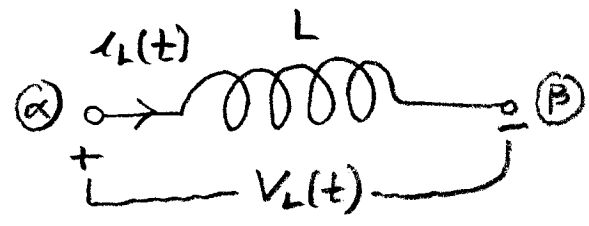


Στο εσωτερικό των σπειρών υπάρχει κενό (αέρας) ή ειδηροπυρήνας



Χωρίς απόδειξη θα διατυπώσουμε την σχέση που συνδέει την τάση με το ρεύμα για ένα πηνίο

Σύμβολο του πηνίου



παρατήρησης:
- συσχετισμένες
φορές αναφοράς
 $V_L(t), i_L(t)$

ισχύει
$$V_L(t) = L \frac{di_L(t)}{dt}$$

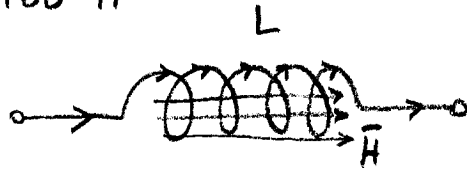
όπου L : συντελεστής αυτεπαγωγής σε μονάδες Henry [H]

$$1 H = \frac{1 \text{ Volt} \cdot 1 \text{ sec}}{1 A}$$

Παρατηρούμε αμέσως ότι αν $i_L(t) = \text{σταθ}$ αρα $\frac{di_L}{dt} = 0$
τότε και $V_L(t) = 0$

Ένα πηνίο αποθηκεύει ενέργεια (ενέργεια μαγνητικού πεδίου) την οποία μπορεί να αποδώσει

Το παρακάτω σχήμα δείχνει τις δυναμικές γραμμές του μαγν. πεδίου \vec{H}



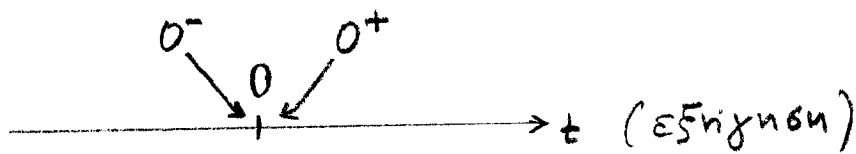
η προηγούμενη σχέση $V_L(t) = L \frac{dI(t)}{dt}$

γράφεται αντιστρόφως ως εξής

$$I_L(t) = I_L(0^-) + \frac{1}{L} \int_0^t V_L(t') dt'$$

όπου $I_L(0^-)$ το ρεύμα του πηνίου στη χρονική στιγμή

$t = 0^-$

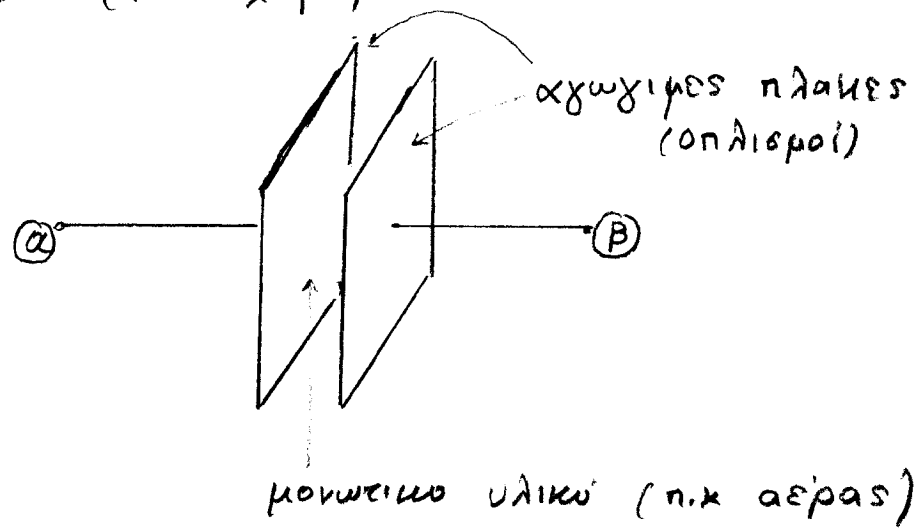


Ένα πηνίο που διαρρέεται από ρεύμα $I(t)$ έχει αποθηκευμένη ενέργεια (στη χρονική στιγμή t)

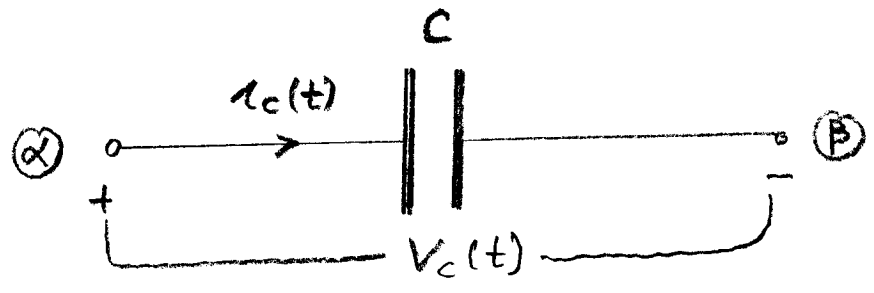
$$W_L(t) = \frac{1}{2} L I^2(t)$$

4.4. Χωρητικότητα, πυκνωτής C

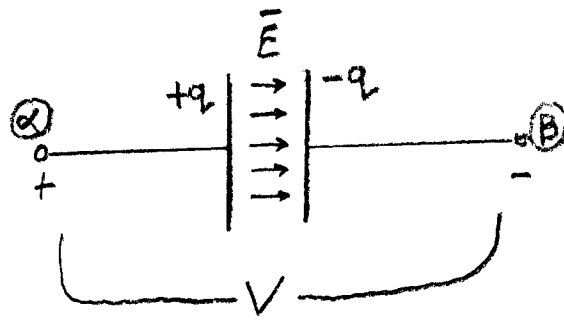
Ο πυκνωτής είναι μια διάταξη που αποτελείται από δύο αγωγικά σώματα (αρχικά δεν έχει σημασία το σχήμα τους) που χωρίζονται από μονωτικό υλικό. Στην πράξη τα δύο αγωγικά σώματα είναι δύο ομοιες πλάκες (βλ. σχήμα)



Το σύμβολο του πυκνωτή είναι το ακόλουθο



το μέγεθος C λέγεται χωρητικότητα του πυκνωτή και έχει μονάδα το Farad [F]

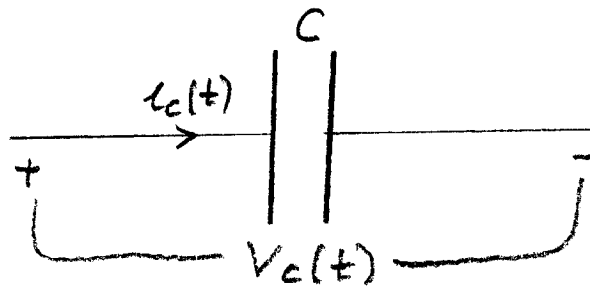


Αν στα άκρα ενός πυκνωτή εφαρμοστεί τάση V τότε μεταξύ των πλακών του θα αναπτυχθεί ένα ηλεκτρικό πεδίο \vec{E} . Στις δύο πλάκες θα συσσωρευτούν ηλεκτρικά φορτία $+q$ και $-q$ αντίστοιχα

Η χωρητικότητα C ορίζεται ως εξής

$$C = \frac{q}{V} \quad \left(1 \text{ Farad} = \frac{1 \text{ Cb}}{1 \text{ V}} \right)$$

Όταν η τάση $V_c(t)$ στα άκρα του πυκνωτή μεταβάλλεται χρονικά τότε διέρχεται ρεύμα δια του πυκνωτή. Το ρεύμα αυτό $i_c(t)$ δίνεται από την σχέση



- συσχετισμένες ποσότητες αναφοράς $V_c(t), i_c(t)$

$$i_c(t) = C \frac{dV_c(t)}{dt}$$

Η σχέση αυτή απορρέει από μία από τις 4 εξισώσεις του Maxwell

Παρατηρούμε ότι αν $V_c(t) = \text{σταθ}$ αρα $\frac{dV_c(t)}{dt} = 0$

τότε $i_c(t) = 0$

Μια προφανής ερώτηση είναι η ακόλουθη:

- Πως είναι δυνατόν να περνάει ρεύμα διαμέσου των πλακών του πυκνωτή αφού υπάρχει μονωτικό υλικό;

Απάντηση:

- Υπενθυμίζεται ότι έχουμε ρεύμα $i_c(t)$ μόνον στην περίπτωση που υπάρχει χρονική μεταβολή του $V_c(t)$

Στην περίπτωση αυτή αλλάζουν συνεχώς τα φορτία $+q(t)$ και $-q(t)$ στις πλάκες και έτσι δημιουργείται το φαινόμενο το $i_c(t)$ να "περνάει" από την μία πλάκα στην άλλη, χωρίς βεββαία να διέρχεται από το μονωτικό υλικό

Η σχέση $i_c(t) = C \frac{dV_c(t)}{dt}$ γράφεται αντίστροφα:

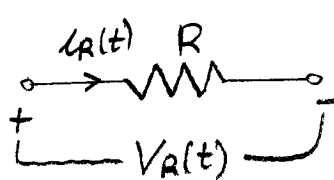
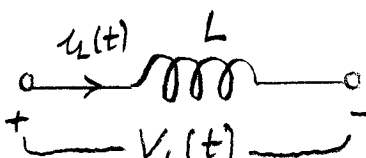
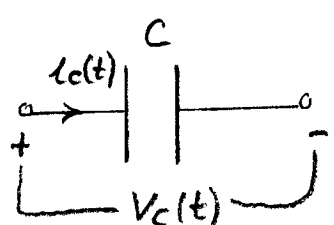
$$V_c(t) = V_c(0^-) + \frac{1}{C} \int_0^t i_c(t') dt'$$

Ο πυκνωτής αποθηκεύει ενέργεια (ενέργεια ηλεκτρικού πεδίου) την οποία μπορεί να αποδώσει

Η αποθηκευμένη ενέργεια ενός πυκνωτή που έχει στα άκρα τάση $V_c(t)$ είναι,

$$W_c(t) = \frac{1}{2} C V_c^2(t)$$

4.5 Σύνοψη. Τα 3 παθητικά ηλεκτρικά στοιχεία

<p>Ωμική αντίσταση R [Ω]</p>		<p>$V_R(t) = R i_R(t)$ $i_R(t) = \frac{1}{R} V_R(t)$ Αποθήκευση ενέργειας: - Οχι</p>
<p>Πηνίο L [H]</p>		<p>$V_L(t) = L \frac{di_L(t)}{dt}$ $i_L(t) = i_L(0^-) + \frac{1}{L} \int_0^t V_L(t') dt'$ Αποθ. ενέργεια $W_L(t) = \frac{1}{2} L i_L^2(t)$</p>
<p>Πυκνωτής C [F]</p>		<p>$i_C(t) = C \frac{dV_C(t)}{dt}$ $V_C(t) = V_C(0^-) + \frac{1}{C} \int_0^t i_C(t') dt'$ Αποθ. ενέργεια $W_C(t) = \frac{1}{2} C V_C^2(t)$</p>

Τα 3 αυτά στοιχεία λέγονται παθητικά διότι δεν παράγουν ενέργεια

- ή καταναλώνουν ενέργεια (ω R)

- ή αποθηκεύουν ενέργεια (δεν καταναλώνουν) (τα L, C)
την ενέργεια που αποθηκεύουν μπορούν να την επιστρέψουν, χωρίς απώλειες (ιδανικά στοιχεία!)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΕΝΕΡΓΗΤΙΚΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ. ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

5.1 Εισαγωγικά

Στο προηγούμενο κεφάλαιο εξετάσαμε τα 3 θεμελιώδη "παθητικά", ηλεκτρικά στοιχεία (δεν παράχουν ενέργεια).

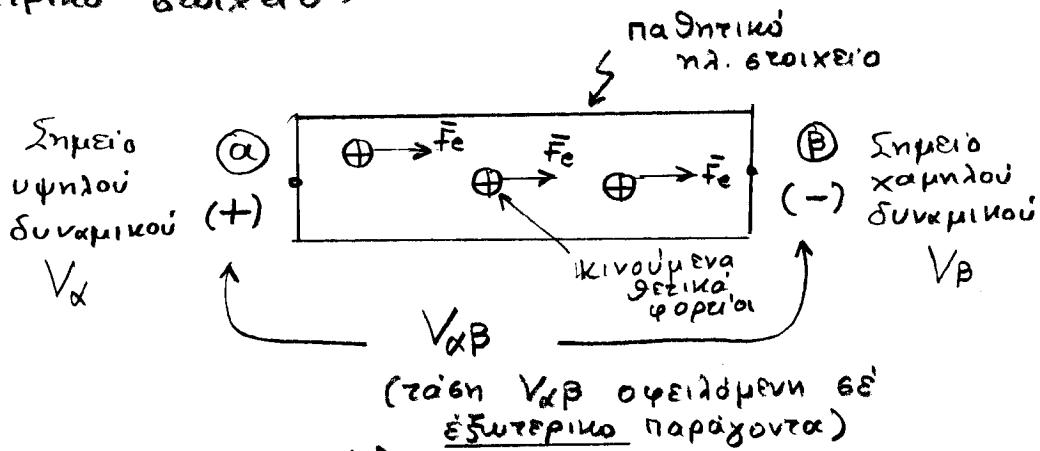
Ωστόσο για να "λειτουργήσει" ένα ηλεκτρικό κύκλωμα χρειάζονται και στοιχεία τα οποία παράχουν ενέργεια δηλαδή στοιχεία "ενεργητικά". Τέτοια στοιχεία είναι οι ηλεκτρικές πηγές

Πριν αναφερθούμε ε' αυτές θα εξετάσουμε 2 θέματα που είναι απαραίτητα για την καύση του αντικείμενου.

5.2. Η έννοια της Ηλεκτρεγερτικής Δύναμης (ΗΕΔ)

Σε προηγούμενο κεφάλαιο ορίσαμε την έννοια της ηλεκτρικής τάσης $V_{αβ}$ (ή πτώσης τάσης όπως την αναφέραμε)

Επαναλαμβάνουμε εδώ το τι συμβαίνει σε ένα παθητικό ηλεκτρικό στοιχείο:

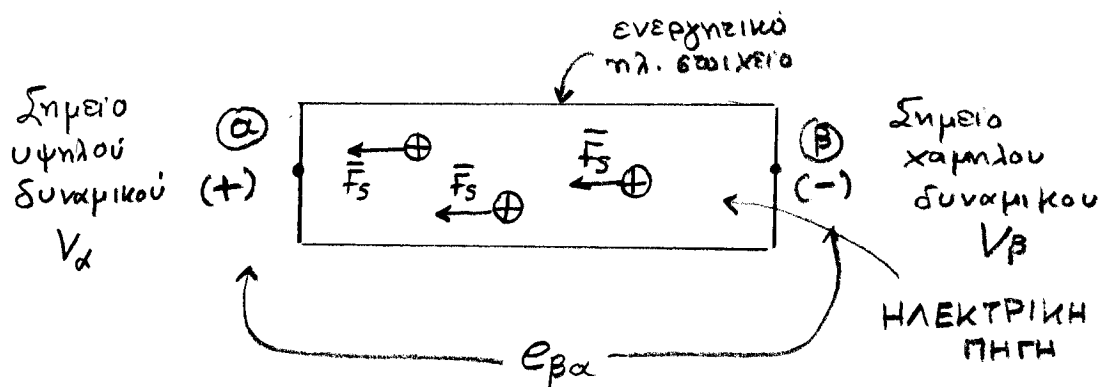


Ισχύει $V_{αβ} > 0$ ($V_α > V_β$)

Τα κινούμενα θετικά φορτία κινούνται από την επίδραση της ηλεκτρικής δύναμης \vec{F}_e από το σημείο (α) (θετικός πόλος) προς το σημείο (β) (αρνητικός πόλος)

Διαφορετικά: απωθούνται από τον (α) και έλκονται από τον (β)

Υπάρχουν όμως και ηλεκτρικά στοιχεία ενεργητικά (ηλ. πηγές)



Στα ενεργητικά ηλεκτρικά στοιχεία αναπτύσσεται (μέσα σ' αυτά) μια δύναμη \vec{F}_s μη ηλεκτρική η οποία κινεί τα ελεύθερα κινούμενα θετικά φορτία προς ένα άκρο (πόλο) π.χ τον (α).
 Η δύναμη \vec{F}_s μπορεί να οφείλεται σε μηχανική, μαγνητική, χημική ή άλλη δράση...

Σημασία έχει ότι μέσα στο στοιχείο τα ελεύθερα κινούμενα φορτία δεν κινούνται από ηλεκτρικές δυνάμεις αλλά από δυνάμεις άλλης φύσεως...

Το σημείο (α) έχει υψηλότερο δυναμικό από το σημείο (β) λόγω της δράσεως της μη ηλεκτρικής δύναμης \vec{F}_s

Η διάταξη του σχήματος είναι μια ηλεκτρική πηγή ορίζεται η ηλεκτρεγερτική δύναμη της πηγής (σε Volt)

ΗΕΔ πηγής : $\epsilon_{βα}$ (Volts)

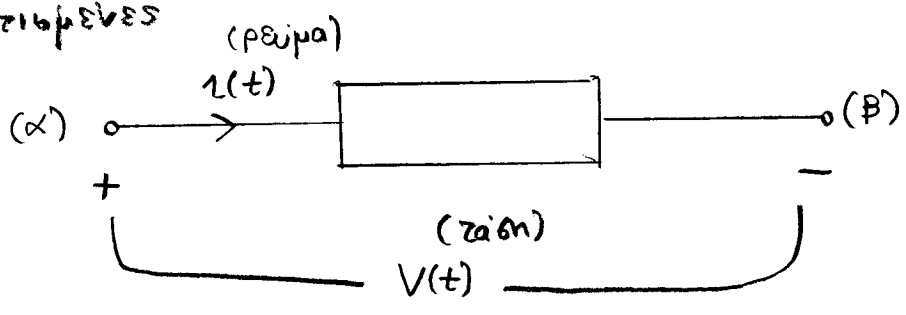
αν $\epsilon_{βα} > 0$ τότε $V_α > V_β$

Ισχύει $\epsilon_{βα} = -\epsilon_{αβ} = V_{αβ}$

\uparrow ανύψωση τάσεως από (β) σε (α) \uparrow πτώση τάσεως από (α) σε (β)

5.3. Παραγωγή ή απορρόφηση ισχύος σε ηλεκτρικό στοιχείο

Θεωρούμε και πάλι την γενική μορφή ενός ηλεκτρικού στοιχείου. Οι φορές αναφοράς θεωρούνται συσχετισμένες



Το ηλεκτρικό στοιχείο μπορεί να είναι ενεργητικό ή παθητικό

Με συσχετισμένες φορές αναφοράς (όπως στο σχήμα)

- Αν $i(t) \cdot V(t) > 0$ το ηλ. στοιχείο απορροφά ισχύ την χρονική στιγμή t

- Αν $i(t) \cdot V(t) < 0$ το ηλ. στοιχείο παράγει ισχύ την χρονική στιγμή t

Αν οι φορές αναφοράς δεν είναι συσχετισμένες ισχύουν τα αντίθετα. ακριβώς ($i(t)V(t) > 0$ παράγει και $i(t)V(t) < 0$ απορροφά)

Απόδειξη:

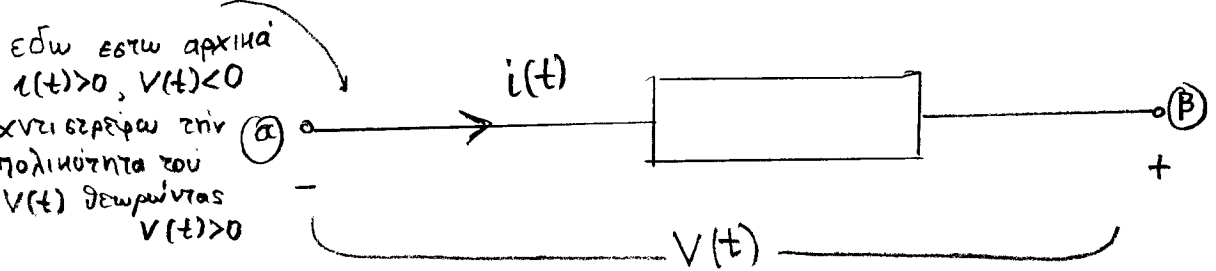
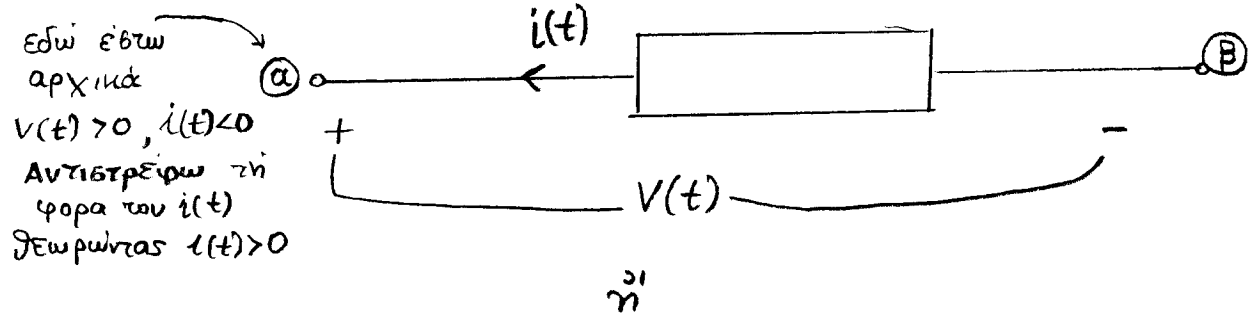
Εστω ότι έχουμε συσχετισμένες φορές αναφοράς και $i(t)V(t) > 0$ πράγμα που σημαίνει ότι $V(t) > 0$ και $i(t) > 0$ ή $V(t) < 0$ και $i(t) < 0$

Ας εξετάσουμε την περίπτωση $V(t) > 0$ και $i(t) > 0$ (ή άλλη περίπτωση είναι ομοια...)

Αν $V(t) > 0$ και $i(t) > 0$ τότε προκύπτει ότι θετικά φορτία κινούνται από το (α) στο (β) υπό την επίδραση της $V(t) = V_{\alpha\beta}(t)$ που οφείλεται σε εξωτερικά αίτια (Είναι τάση όχι ΗΕΔ!)

Άρα το εξωτερικό κύκλωμα (ο "εξω κόσμος..") παράγει έργο (ή ισχύ) το οποίο απορροφά το ηλεκτρικό στοιχείο

Αν έχουμε συχθεσμένες φ. α. και $i(t) \cdot V(t) < 0$ τότε αυτό σημαίνει ότι:



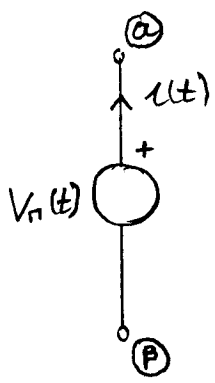
και στις δύο περιπτώσεις έχουμε $V(t) > 0, i(t) > 0$ ή $V(t) < 0, i(t) < 0$

Εξετάσουμε την περίπτωση $V(t) > 0, i(t) > 0$ (η άλλη είναι ομοια...)

και στα δύο βήματα παρατηρούμε ότι θετικά φορτία κινούνται προς τον θετικό πόλο της τάσης

Αρα μέσα στο ηλεκτρικό στοιχείο αδρούνται δυνάμεις μη ηλεκτρικές. Το στοιχείο είναι ενεργητικό (ηλ. πηγή)

5.4.1 Πηγή τάσεως ανεξάρτητη (ιδανική)

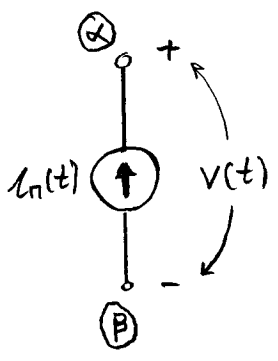


Η τάση της πηγής $V_H(t)$ δεν εξαρτάται (είναι ανεξάρτητη) από το ρεύμα $i(t)$ που δίνει η πηγή (ακόμα και από τη φορά του!).

Δηλ: $-\infty < i(t) < \infty$ και $V_H(t)$ δεδομένο

Προφανώς πρόκειται για ιδανική κατάσταση! Χρησιμοποιείται όμως έτσι στη βασική θεωρία κυκλωμάτων

5.4.2 Πηγή ρεύματος ανεξάρτητη (ιδανική)



Η πηγή δίνει δεδομένο ρεύμα $i_H(t)$, με τη φορά του βέλους, και το ρεύμα αυτό δεν εξαρτάται από την τάση $V(t)$ στα άκρα της πηγής

Δηλ $-\infty < V(t) < \infty$ και $i_H(t)$ δεδομένο

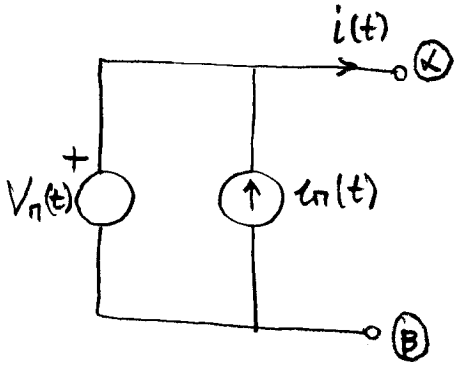
ιδανική κατάσταση και εδώ προφανώς.

Προβέψτε αναφορὰς ότι και στις δύο ανωτέρω περιπτώσεις οι φορές είναι μη συσχετισμένες!

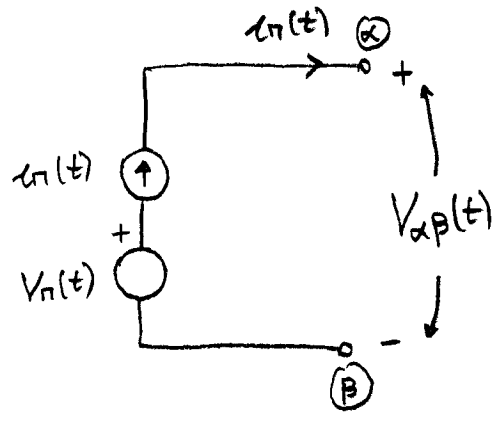
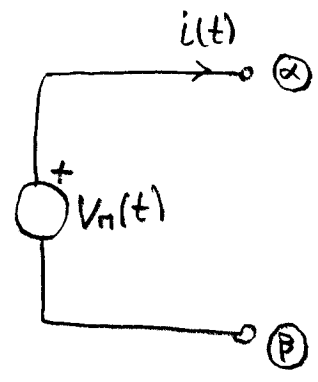
- Αν $V_H(t) \cdot i(t) > 0$ (συνίδως) η πηγή $V_H(t)$ παραγει ισχύ

- Αν $V(t) \cdot i_H(t) > 0$ (συνίδως) η πηγή $i_H(t)$ παραγει ισχύ

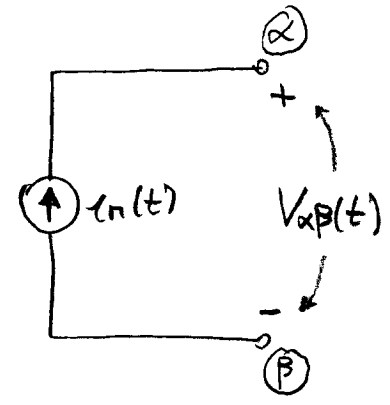
5.4.3 Δύο αξιωματικές περιπτώσεις



ισοδυναμεί με



ισοδυναμεί με



Εξήγηση: