

ΦΥΣΙΚΗ: ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΣ

Ε.Ε. 2023-2024

Διδάσκοντες: Σ. ΚΟΣΙΩΝΗΣ, Ε. ΠΑΣΠΑΛΑΚΗΣ, και Ι. ΘΑΝΟΠΟΥΛΟΣ

SEARS & ZEMANSKY

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΗ ΦΥΣΙΚΗ με Σύγχρονη Φυσική

4η ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΕΚΔΟΣΗ

ΜΕ QR CODE ΒΙΝΤΕΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΦΑΝΕΙΣ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑΣ

Τόμος Β

ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΣ
ΟΠΤΙΚΗ - ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΦΥΣΙΚΗ

YOUNG ΚΑΙ FREEDMAN

ΑΠΟΛΟΓΗ - ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ

Θ. Η. Αλεξόπουλος
Ι. Α. Αρβανιτιδής
Α. Α. Αργυρίου
Ε. Α. Δρης
Η. Σ. Ζουμπούλης
Η. Κ. Κατσούφης
Γ. Α. Κουρούκλης
Κ. Β. Παρασκευαΐδης
Μ. Ν. Πιζάνιας
Ι. Π. Ρίζος
Θ. Ν. Τωμαράς
Κ. Χριστοδουλίδης

ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΠΑΠΑΖΗΣΗ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 31

ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟ ΡΕΥΜΑ

ΦΑΣΟΡΕΣ ΚΑΙ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΑ ΡΕΥΜΑΤΑ

Για να τροφοδοτήσουμε με εναλλασσόμενο ρεύμα ένα κύκλωμα, απαιτείται η παρουσία πηγής εναλλασσόμενης ΗΕΔ, ή τάσης. Χρησιμοποιούμε τον όρο **πηγή (ac) εναλλασσόμενης τάσης ή ρεύματος** για οποιαδήποτε διάταξη παρέχει ημιτονοειδώς μεταβαλλόμενη τάση (διαφορά δυναμικού) v ή ρεύμα i .

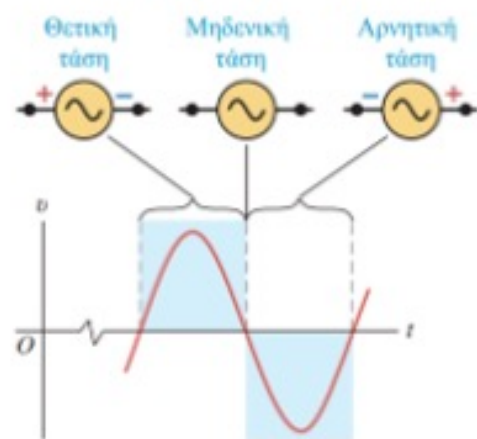
Η ημιτονοειδής τάση μπορεί να περιγραφεί από μια συνάρτηση όπως η:

$$v = V \cos \omega t \quad (31.1)$$

Στην έκφραση αυτή v είναι η **στιγμιαία** διαφορά δυναμικού, V είναι η μέγιστη διαφορά δυναμικού, που ονομάζουμε **πλάτος τάσης**, και ω είναι η **γωνιακή συχνότητα**, η οποία ισούται με το γινόμενο του 2π επί τη συχνότητα f (Σχ. 31.1).

Παρομοίως, ημιτονοειδές ρεύμα μέγιστης τιμής ή **πλάτους ρεύματος** I μπορεί να περιγραφεί ως:

31.1 Η τάση μιας πηγής εναλλασσόμενου ρεύματος.



Ημιτονοειδώς εναλλασσόμενο ρεύμα: $i = I \cos \omega t$ (31.2)

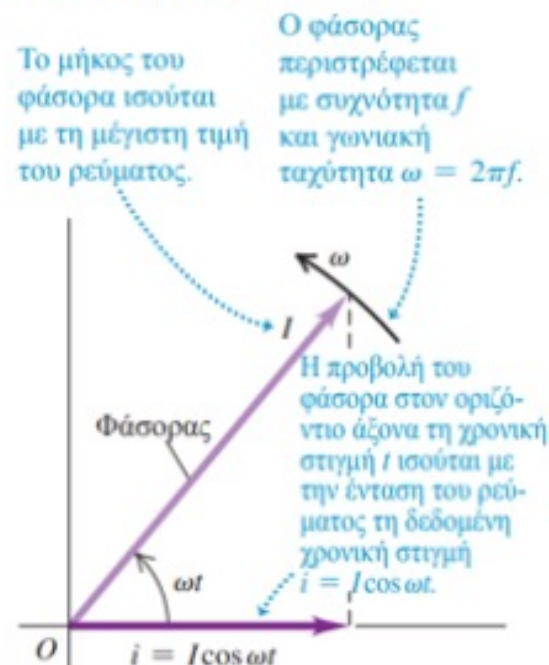
Στιγμιαίο ρεύμα i , Πλάτος ρεύματος (μέγιστο ρεύμα) I , Γωνιακή συχνότητα ω , Χρόνος t .

ΠΡΟΣΟΧΗ Τι ακριβώς είναι ο **φάσοντας**; Ο φάσοντας δεν είναι μια πραγματική φυσική ποσότητα με κατεύθυνση στον χώρο, όπως είναι η ταχύτητα ή το ηλεκτρικό πεδίο. Είναι μάλλον μια **γεωμετρική** οντότητα που μας βοηθά να περιγράψουμε και να αναλύουμε φυσικά μεγέθη τα οποία μεταβάλλονται ημιτονοειδώς με τον χρόνο.!

Διαγράμματα Φάσρα

Για να παραστήσουμε γραφικά ημιτονοειδώς μεταβαλλόμενες τάσεις και ρεύματα, θα χρησιμοποιήσουμε διαγράμματα περιστρεφόμενων διανυσμάτων (Σχ.31.2), τα οποία ονομάζονται **φάσορες** και τα διαγράμματα που τα περιέχουν ονομάζονται **διαγράμματα περιστρεφόμενων διανυσμάτων φάσης**, ή **διαγράμματα φασόρων**.

31.2 Διάγραμμα φάσρα.



Ανορθωμένο εναλλασσόμενο ρεύμα

Πώς μετράμε ένα ημιτονοειδώς μεταβαλλόμενο ρεύμα;

Αν διοχετεύσουμε στο γαλβανόμετρο κατά τον μισό χρόνο και την αντίθετη κατά τον άλλο μισό. Όχι πολύ χρήσιμο.

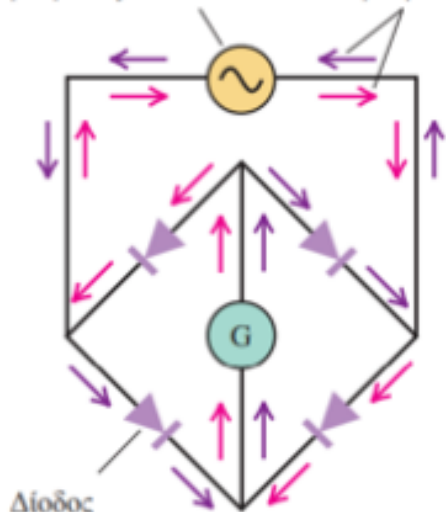
Για να περνά από το γαλβανόμετρο ρεύμα μίας φοράς, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε διόδους. Δίοδος (ή ανορθωτής) είναι μια διάταξη που επιτρέπει στο ρεύμα να διέρχεται κατά τη μία φορά πολύ ευκολότερα απ' ό,τι κατά την αντίθετη· μια ιδανική δίοδος έχει μηδενική αντίσταση για τη μία φορά του ρεύματος και άπειρη αντίσταση για την αντίθετη. Το σχ. παρουσιάζει μια δυνατή διάταξη που ονομάζεται **κύκλωμα πλήρους ανόρθωσης**.

ημιτονοειδές ρεύμα, η ροπή στο κινούμενο πηνίο μεταβάλλεται ημιτονοειδώς, έχοντας δεδομένη κατεύθυνση

(a) Κύκλωμα πλήρους ανόρθωσης

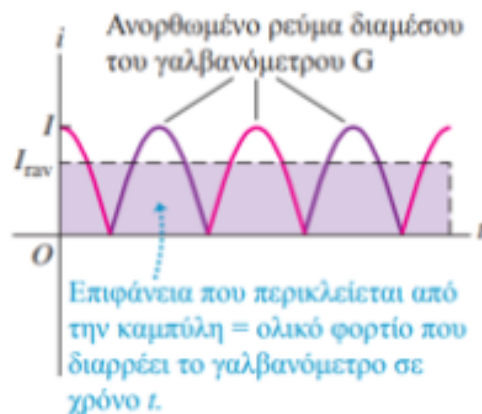
Πηγή εναλλασσόμενου ρεύματος

Εναλλασσόμενο ρεύμα



Δίοδος (το βέλος και η γραμμή δείχνουν την κατεύθυνση προς την οποία μπορεί ή δεν μπορεί να διέλθει το ρεύμα)

(b) Γράφημα του πλήρως ανορθωμένου ρεύματος και η μέση τιμή του, το ανορθωμένο μέσο ρεύμα I_{rav}



Το μέσο **ανορθωμένο ρεύμα** I_{rav} ορίζεται έτσι ώστε το ολικό φορτίο που περνά κατά τη διάρκεια οποιουδήποτε ακέραιου αριθμού κύκλων του ρεύματος να είναι το ίδιο με το αντίστοιχο φορτίο που θα περνούσε αν το ρεύμα ήταν σταθερό και είχε τιμή I_{rav} .

$$\text{Ανορθωμένη μέση τιμή ημιτονοειδούς ρεύματος} \quad I_{\text{rav}} = \frac{2}{\pi} I = 0,637I \quad \text{Πλάτος ρεύματος} \quad (31.3)$$

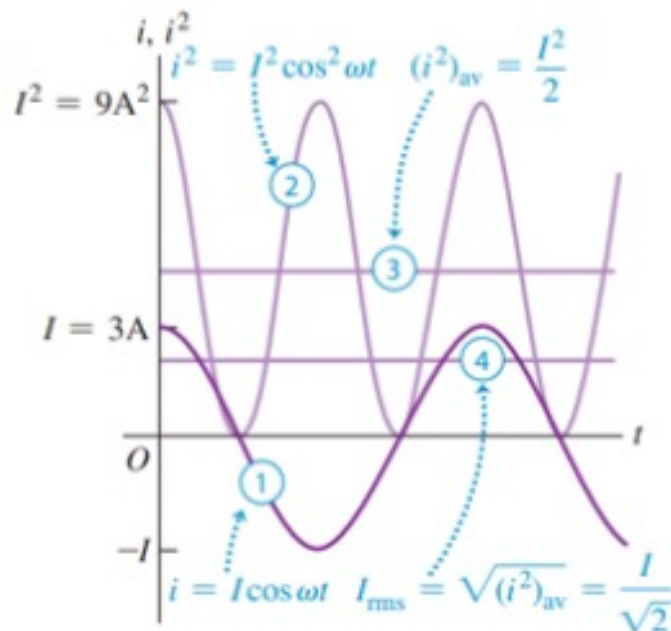
$$(|\sin \omega t|)_{\text{av}} = \frac{\int_0^{\pi/\omega} \sin \omega t \, dt}{\pi/\omega} = \frac{2}{\pi}$$

Ενεργός τιμή ή Ρίζα Μέσου Τετραγώνου (rms)

31.4 Υπολογισμός της ενεργού τιμής (ή ρίζας του μέσου τετραγώνου, rms) εναλλασσόμενου ρεύματος

Σημασία της ενεργού τιμής rms ημιτονοειδώς μεταβαλλόμενης ποσότητας (εδώ του εναλλασσόμενου ρεύματος πλάτους $I = 3 \text{ A}$):

- ① Κάνουμε τη γραφική παράσταση του i συναρτήσει του χρόνου.
- ② Υπολογίζουμε το τετράγωνο του στιγμιαίου ρεύματος i .
- ③ Υπολογίζουμε τη μέση τιμή του i^2 .
- ④ Υπολογίζουμε την τετραγωνική ρίζα αυτής της μέσης τιμής.



Χρησιμοποιούμε την έκφραση

$$\cos^2 A = \frac{1}{2}(1 + \cos 2A)$$

Η μέση τιμή του $\cos 2\omega t$ είναι μηδέν (σε μια περίοδο κάθε θετική τιμή έχει και την αντίστοιχη αρνητική τιμή.)

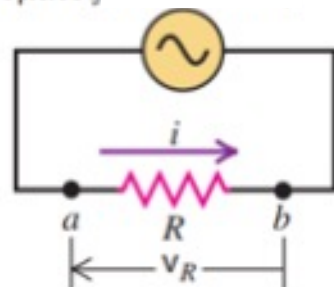
Ενεργός τιμή (rms) ημιτονοειδούς ρεύματος $\rightarrow I_{\text{rms}} = \frac{I}{\sqrt{2}}$ Πλάτος ρεύματος (31.4)

Ενεργός τιμή (rms) ημιτονοειδούς τάσης $\rightarrow V_{\text{rms}} = \frac{V}{\sqrt{2}}$ Πλάτος τάσης (μέγιστη τιμή) (31.5)

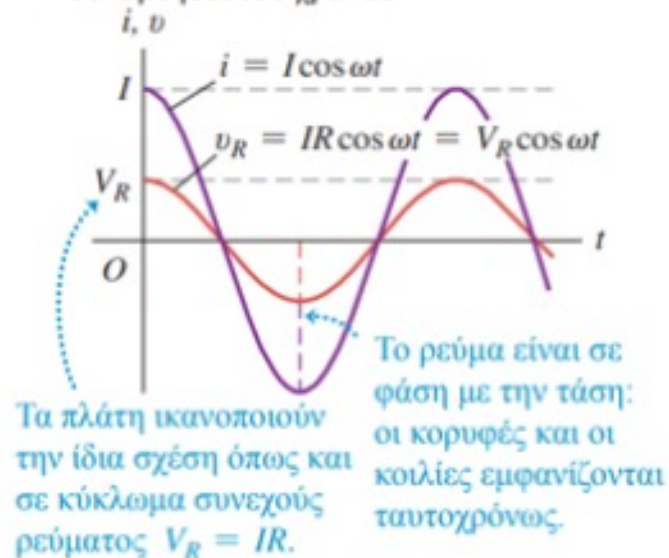
ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΑΕΡΓΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ

Αντιστάτης σε Κύκλωμα Εναλλασσόμενου Ρεύματος

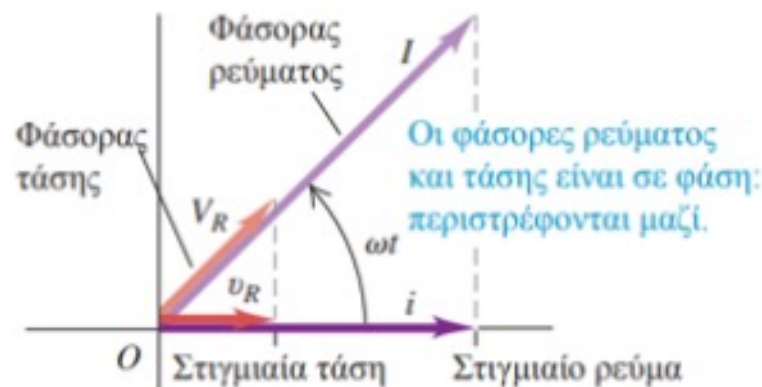
(a) Κύκλωμα με πηγή εναλλασσόμενου ρεύματος



(b) Γραφήματα ρεύματος και τάσης συναρτήσει του χρόνου



(c) Διάγραμμα φασόρων



Το στιγμιαίο δυναμικό v_R στο σημείο a ως προς το σημείο b (δηλαδή η στιγμιαία τιμή της τάσης στα άκρα του αντιστάτη) είναι:

$$v_R = iR = (IR) \cos \omega t \quad (31.6)$$

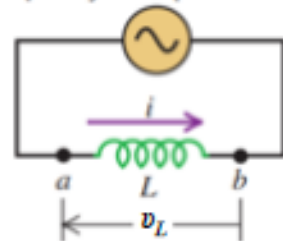
Πλάτος της τάσης στα άκρα αντιστάτη κυκλώματος ac $V_R = IR$ Πλάτος ρεύματος Αντίσταση I R

$$V_R = IR \quad (31.7)$$

Πηνίο σε κύκλωμα εναλλασσόμενου ρεύματος

31.8 Πηνίο L συνδεδεμένο σε πηγή εναλλασσόμενου ρεύματος.

(a) Κύκλωμα πηγής εναλλασσόμενου ρεύματος και πηνίου



Η επαγόμενη ΗΕΔ κατά τη διεύθυνση του i δίνεται από τη $\mathcal{E} = -L di/dt$ η τάση v_L δεν είναι απλώς ίση με τη \mathcal{E} . Αν το ρεύμα στο πηνίο κατευθύνεται κατά τη θετική (αντίθετα προς τους δείκτες του ρολογιού) κατεύθυνση από το a στο b και αυξάνεται, τότε το di/dt είναι θετικό και η επαγόμενη ΗΕΔ κατευθύνεται προς τα αριστερά ώστε να αντισταθμίσει την αύξηση του ρεύματος. Επομένως, το σημείο a βρίσκεται σε υψηλότερο δυναμικό απ' ό,τι το b . Το δυναμικό του a ως προς το b είναι θετικό και δίνεται από τη σχέση $v_L = +L di/dt$, το αρνητικό της επαγόμενης ΗΕΔ (για όλες τις περιπτώσεις φοράς του i ή μεταβολής):

$$v_L = L \frac{di}{dt} = L \frac{d}{dt}(I \cos \omega t) = -I\omega L \sin \omega t \quad (31.9)$$

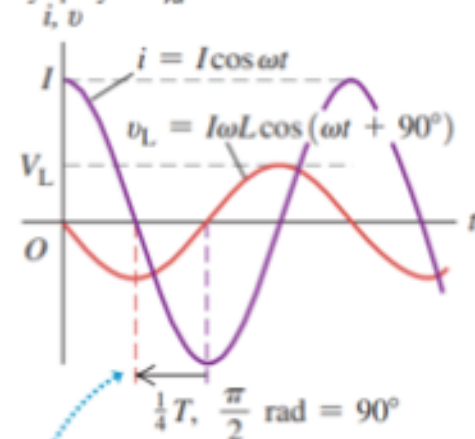
Αυτό το αποτέλεσμα δείχνει ότι η τάση μπορεί να θεωρηθεί ως μια συνάρτηση συνημιτόνου, με ένα «προβάδισμα» 90° ως προς το ρεύμα. Όπως κάναμε και με την Εξ. (31.10), θα περιγράψουμε συνήθως τη διαφορά φάσης της τάσης ως προς το ρεύμα, όχι το αντίστροφο. Αν το ρεύμα i κυκλώματος είναι

$i = I \cos \omega t$ και η τάση v ενός σημείου ως προς το άλλο είναι $v = V \cos(\omega t + \phi)$ ονομάζουμε τη ϕ γωνία φάσης· αυτή δίνει τη **φάση της τάσης σε σχέση με το ρεύμα**. Ορίζουμε την **επαγωγική άεργη αντίσταση** ή **επαγωγική αναδραστικότητα** X_L ενός πηνίου ως:

$$X_L = \omega L \text{ (επαγωγική άεργη αντίσταση)} \quad (31.12)$$

Η επαγωγική αντίσταση X_L είναι ουσιαστικά μια περιγραφή της ΗΕΔ εξ αυτεπαγωγής, η οποία αντιτίθεται σε οποιαδήποτε μεταβολή του ρεύματος που διαρρέει το πηνίο.

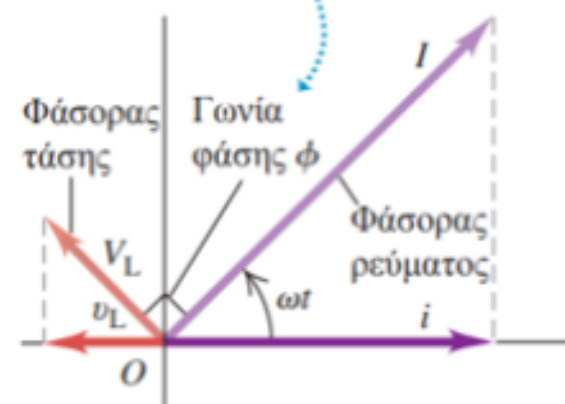
(b) Γραφήματα ρεύματος και τάσης ως προς τον χρόνο



Η καμπύλη της τάσης προηγείται αυτής του ρεύματος κατά ένα τέταρτο του κύκλου (αντιστοιχεί σε $\phi = \pi/2 \text{ rad} = 90^\circ$).

(c) Διάγραμμα φασόρων

Ο φάσορας τάσης προηγείται του φάσορα ρεύματος κατά $\phi = \pi/2 \text{ rad} = 90^\circ$.



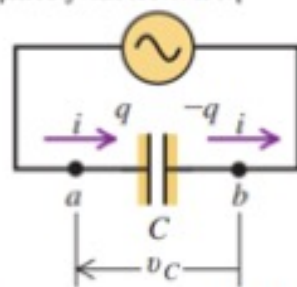
$$v_L = I\omega L \cos(\omega t + 90^\circ) \quad (31.10)$$

$$\text{Πλάτος τάσης στα άκρα του πηνίου, κύκλωμα ac} \quad V_L = I X_L \quad \text{Πλάτος ρεύματος} \quad \text{Επαγωγική αντίσταση} \quad (31.13)$$

Πυκνωτής σε κύκλωμα εναλλασσόμενου ρεύματος

31.9 Πυκνωτής χωρητικότητας C συνδεδεμένος στα άκρα πηγής εναλλασσόμενου ρεύματος.

(a) Κύκλωμα με μηγή εναλλασσόμενου ρεύματος και πυκνωτή



Για να βρούμε τη στιγμιαία τάση v_C στα άκρα του πυκνωτή—δηλαδή το δυναμικό του σημείου a ως προς το σημείο b —θεωρούμε κατ' αρχάς ότι q είναι το φορτίο στον αριστερό οπλισμό του πυκνωτή στο Σχ. Τότε:

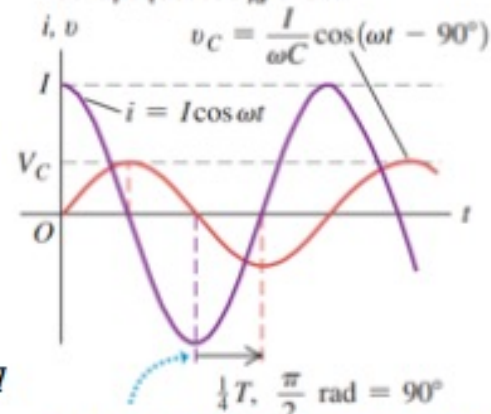
$$i = \frac{dq}{dt} = I \cos \omega t$$

$$q = \frac{I}{\omega} \sin \omega t \quad (31.14)$$

$$v_C = \frac{I}{\omega C} \sin \omega t \quad (31.15)$$

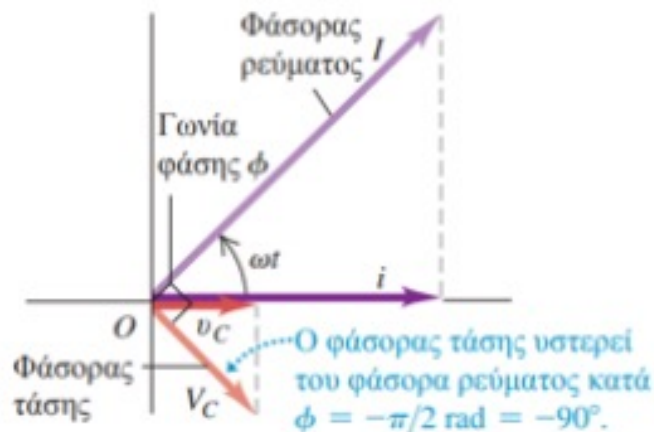
$$v_C = \frac{I}{\omega C} \cos(\omega t - 90^\circ) \quad (31.16)$$

(b) Γραφήματα ρεύματος και τάσης συναρτήσει του χρόνου.



Η καμπύλη τάσης υστερεί ως προς την καμπύλη ρεύματος κατά ένα τεταρτημόριο (αντιστοιχεί σε $\phi = -\pi/2 \text{ rad} = -90^\circ$).

(c) Διάγραμμα φασόρων



Οι Εξ. (31.15) και (32.16) δείχνουν ότι το πλάτος της τάσης V_C είναι:

$$V_C = \frac{I}{\omega C} \quad (31.17)$$

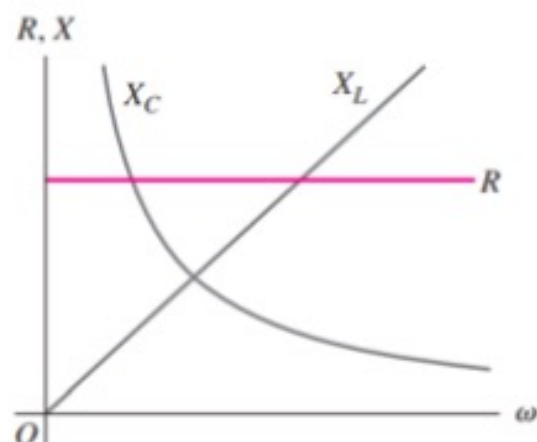
$$X_C = \frac{1}{\omega C} \quad (\text{χωρητική αντίσταση}) \quad (31.18)$$

$$V_C = IX_C \quad (31.19)$$

Οι πυκνωτές έχουν την τάση να επιτρέπουν τη διέλευση υψίσυχνου ρεύματος και να εμποδίζουν το χαμηλής συχνότητας και το συνεχές ρεύμα, ακριβώς αντίθετα απ' ό,τι τα πηνία. Μια διάταξη η οποία επιτρέπει τη διέλευση υψίσυχνων σημάτων ονομάζεται **υψηλερατό φίλτρο**

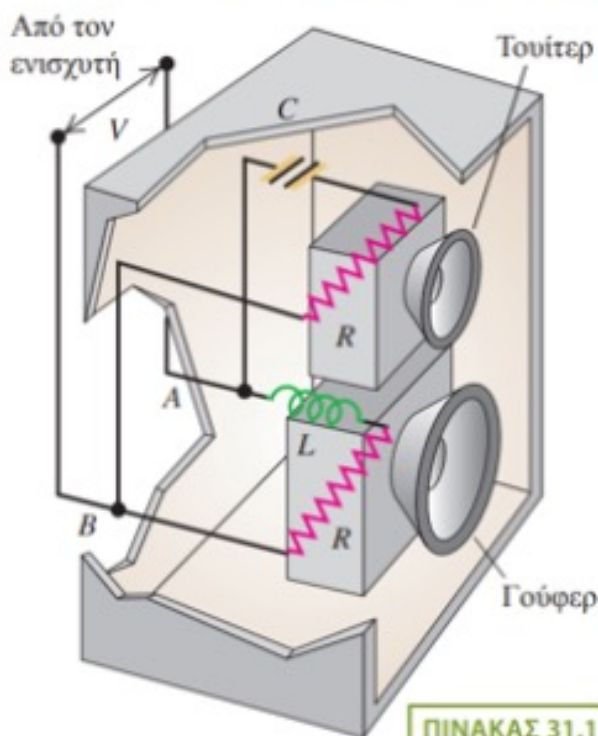
Σύγκριση στοιχείων κυκλωμάτων εναλλασσόμενου ρεύματος

31.11 Γραφήματα των R , X_L , X_C συναρτήσει της γωνιακής συχνότητας ω .



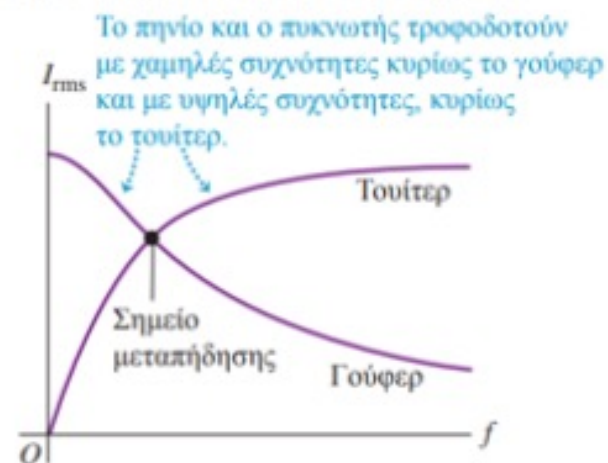
31.12 (a) Τα δύο μεγάφωνα του ηχείου είναι συνδεδεμένα παράλληλα στον ενισχυτή.

(a) Κύκλωμα διαχωρισμού συχνοτήτων σε ηχείο.



31.12 (b) Γραφήματα του πλάτους του ρεύματος στο τουίτερ και στο γούφερ συναρτήσει της συχνότητας για δεδομένο πλάτος τάσης του ενισχυτή.

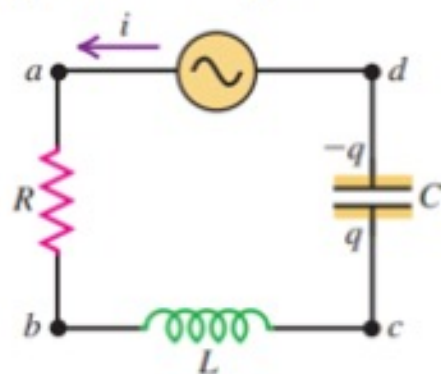
(b) Γραφήματα ρεύματος rms συναρτήσει της συχνότητας για δεδομένη τάση ενίσχυσης.



ΠΙΝΑΚΑΣ 31.1 Στοιχεία Κυκλωμάτων Εναλλασσόμενου Ρεύματος

Στοιχείο Κυκλώματος	Σχέση Πλάτους	Μέγεθος Κυκλώματος	Φάση της v
Αντιστάτης	$V_R = IR$	R	Σε φάση με το i
Πηνίο	$V_L = IX_L$	$X_L = \omega L$	Προηγείται του i κατά 90°
Πυκνωτής	$V_C = IX_C$	$X_C = 1/\omega C$	Καθυστερεί του i κατά 90°

(a) Κύκλωμα L - R - C σε σειρά



Η στιγμιαία διαφορά δυναμικού v μεταξύ των άκρων a και d ισούται σε κάθε στιγμή με το (αλγεβρικό) άθροισμα των διαφορών δυναμικού v_R , v_L και v_C . Δηλαδή ισούται με το άθροισμα των προβολών των περιστρεφόμενων διανυσμάτων φάσης V_R , V_L και V_C . Το άθροισμα όμως των προβολών τους ισούται με την προβολή του διανυσματικού τους αθροίσματος. Επομένως, το διανυσματικό άθροισμα V πρέπει να είναι ο φάσοντας που παριστάνει την τάση v στα άκρα της πηγής καθώς και τη στιγμιαία ολική τάση v_{ad} στα άκρα της σειράς των τριών στοιχείων.

επομένως μπορούμε να ξαναγράψουμε την Εξ. (31.20) ως εξής:

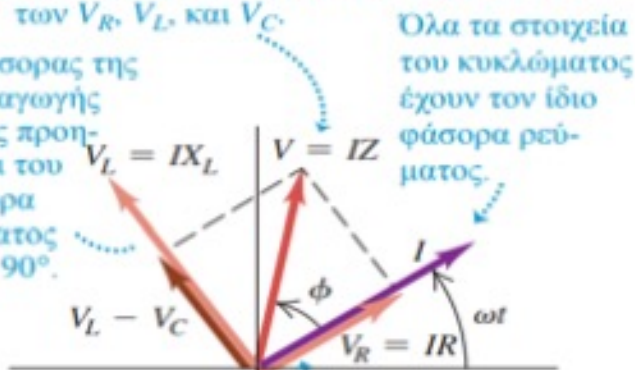
ΤΟ ΚΥΚΛΩΜΑ L - R - C ΣΕ ΣΕΙΡΑ I

31.13 Κύκλωμα L - R - C σε σειρά, με πηγή ac .

(b) Διάγραμμα φασόρων για $X_L > X_C$

Ο φάσοντας της τάσης της πηγής είναι το διανυσματικό άθροισμα των φασόρων των V_R , V_L , και V_C .

Ο φάσοντας της εξ επαγωγής τάσης προηγείται του φάσοντας ρεύματος κατά 90° .

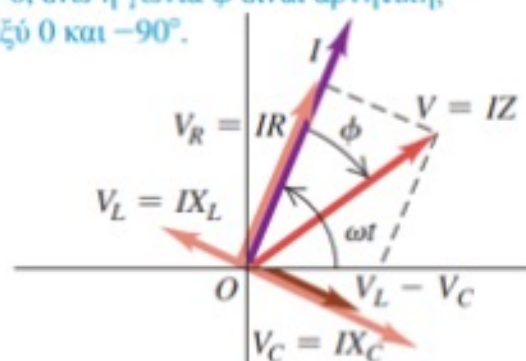


Ο φάσοντας της χωρητικής τάσης καθυστερεί ως προς $V_C = IX_C$ τον φάσοντας ρεύματος κατά 90° . Ως εκ τούτου, είναι πάντοτε αντιπαράλληλος προς τον φάσοντας της V_L .

Όλα τα στοιχεία του κυκλώματος έχουν τον ίδιο φάσοντας ρεύματος.

Ο φάσοντας της τάσης στα άκρα του αντιστάτη είναι σε φάση με τον φάσοντας του ρεύματος.

(c) Διάγραμμα φασόρων για $X_L < X_C$
Εάν $X_L < X_C$, ο φάσοντας της τάσης της πηγής καθυστερεί ως προς τον φάσοντας του ρεύματος, $X < 0$, ενώ η γωνία ϕ είναι αρνητική, μεταξύ 0 και -90° .



$$V = \sqrt{V_R^2 + (V_L - V_C)^2} = \sqrt{(IR)^2 + (IX_L - IX_C)^2}$$

$$\text{ή} \quad V = I\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \quad (31.20)$$

Ορίζουμε τη **σύνθετη αντίσταση** ή **εμπέδηση** Z του κυκλώματος ως τον λόγο του πλάτους της τάσης στα άκρα του κυκλώματος προς το πλάτος του ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα. Από την Εξ. (31.20) η σύνθετη αντίσταση του κυκλώματος L - R - C σε σειρά είναι: (μόνο για L - R - C σε σειρά)

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

Πλάτος της τάσης στα άκρα κυκλώματος ac

$$V = IZ$$

Πλάτος ρεύματος

Εμπέδηση του κυκλώματος

$$(31.22)$$

L-R-C II

Η Σημασία της Εμπέδησης και της Γωνίας Φάσης

Εμπέδηση κυκλώματος
L-R-C σε σειρά → $Z = \sqrt{R^2 + [\omega L - (1/\omega C)]^2}$ (31.23)

Αντίσταση → R
Επαγωγική αναδραστικότητα → ωL
Χωρητική αναδραστικότητα → $1/\omega C$
Γωνιακή συχνότητα → ω

$$\tan \phi = \frac{V_L - V_C}{V_R} = \frac{I(X_L - X_C)}{IR} = \frac{X_L - X_C}{R}$$

Γωνία φάσης της τάσης
ως προς το ρεύμα σε κύκλωμα
L-R-C σε σειρά → $\tan \phi = \frac{\omega L - 1/\omega C}{R}$ (31.24)

Επαγωγική αναδραστικότητα → ωL
Χωρητική αναδραστικότητα → $1/\omega C$
Αντίσταση → R
Γωνιακή συχνότητα → ω

Αν το ρεύμα είναι $i = I \cos \omega t$, τότε η τάση v της πηγής είναι:

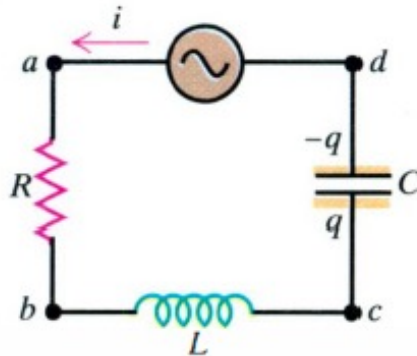
$$v = V \cos (\omega t + \phi) \quad (31.25)$$

Για κάθε ημιτονοειδώς μεταβαλλόμενη ποσότητα, η ενεργός τιμή της είναι πάντοτε $1/\sqrt{2}$ επί το πλάτος. Περιγράψαμε τα μεγέθη των τάσεων και των ρευμάτων ως προς τις **μέγιστες** τιμές τους, τα **πλάτη** τάσης και ρεύματος. Όλες οι σχέσεις μεταξύ τάσης και ρεύματος εξακολουθούν να ισχύουν αν αντικαταστήσουμε τα πλάτη με τις αντίστοιχες ενεργές τιμές:

$$V_{\text{rms}} = I_{\text{rms}} Z \quad (31.26)$$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Στο κύκλωμα με σύνδεση σε σειρά υποθέστε ότι $R = 300 \Omega$, $L = 60 \text{ mH}$, $C = 0,50 \mu\text{F}$, $V = 50 \text{ V}$ και $\omega = 10\,000 \text{ rad/s}$. Βρείτε τις άεργες αντιστάσεις X_L και X_C , τη σύνθετη αντίσταση Z , το πλάτος του ρεύματος I , τη γωνία φάσης ϕ και το πλάτος της τάσης στα άκρα του κάθε στοιχείου του κυκλώματος.



Η άεργη αντίσταση του κυκλώματος είναι

$$X = X_L - X_C = 600 \Omega - 200 \Omega = 400 \Omega.$$

και η σύνθετη αντίσταση Z είναι

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{(300 \Omega)^2 + (400 \Omega)^2} = 500 \Omega.$$

Το πλάτος της τάσης V είναι 50 V και το πλάτος του ρεύματος είναι

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{50 \text{ V}}{500 \Omega} = 0,10 \text{ A}.$$

Η γωνία φάσης ϕ είναι

$$\phi = \arctan \frac{X_L - X_C}{R} = \arctan \frac{400 \Omega}{300 \Omega} = 53^\circ.$$

Επειδή η ϕ είναι θετική, γνωρίζουμε ότι η τάση προηγείται του ρεύματος κατά 53° . το πλάτος της

τάσης V_R στα άκρα του αντιστάτη είναι

$$V_R = IR = (0,10 \text{ A})(300 \text{ V}) = 30 \text{ V}.$$

το πλάτος της τάσης V_L στα άκρα του πηνίου είναι

$$V_L = IX_L = (0,10 \text{ A})(600 \Omega) = 60 \text{ V}.$$

το πλάτος της τάσης V_C στα άκρα του πυκνωτή είναι

$$V_C = IX_C = (0,10 \text{ A})(200 \Omega) = 20 \text{ V}.$$

ΛΥΣΗ

$$X_L = \omega L = (10\,000 \text{ rad/s})(60 \text{ mH}) = 600 \Omega.$$

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{(10\,000 \text{ rad/s})(0,50 \times 10^{-6} \text{ F})} = 200 \Omega.$$

https://videos.papazissi.gr/EX31_4/

ΙΣΧΥΣ ΣΕ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

Στιγμιαία ισχύς σε οποιοδήποτε συνδυασμό R, L, C :

$$p = vi = [V \cos(\omega t + \phi)] [I \cos \omega t] \quad (31.30)$$

$$p = [V(\cos \omega t \cos \phi - \sin \omega t \sin \phi)] [(I \cos \omega t)] = VI \cos \phi \cos^2 \omega t - VI \sin \phi \cos \omega t \sin \omega t$$

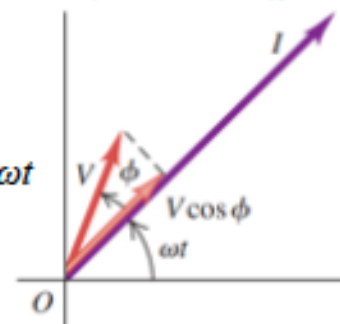
Μέση ισχύς σε γενικό κύκλωμα ac

Γωνία φάσης της τάσης ως προς το ρεύμα

$$P_{av} = \frac{1}{2} VI \cos \phi = V_{rms} I_{rms} \cos \phi \quad (31.31)$$

Πλάτος τάσης Πλάτος ρεύματος Τάση rms Ρεύμα rms

Μέση ισχύς $= \frac{1}{2} I(V \cos \phi)$, όπου $V \cos \phi$ είναι η συνιστώσα της V σε φάση με το I .



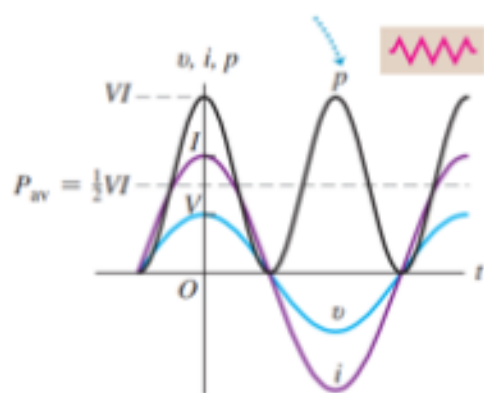
31.17 Χρησιμοποιώντας φάσορες για τον υπολογισμό της μέσης ισχύος για τυχαίο κύκλωμα εναλλασσόμενου ρεύματος.

Ο παράγοντας $\cos \phi$ ονομάζεται συντελεστής ισχύος του κυκλώματος. Για ιδανικό αντιστάτη, $\phi = 0$, $\cos \phi = 1$ και $P = V_{rms} I_{rms}$. Για ιδανικό πηνίο ή πυκνωτή, $\phi = \pm 90^\circ$, $\cos \phi = 0$ και $P_{av} = 0$. Για κύκλωμα $L-R-C$ σε σειρά ο συντελεστής ισχύος ισούται με τον λόγο R/Z .

Ένας χαμηλός συντελεστής ισχύος (μεγάλη γωνία φάσης ϕ θετικής ή αρνητικής) είναι συνήθως ανεπιθύμητος σε κυκλώματα ισχύος. Ο λόγος είναι ότι απαιτείται, για δεδομένη διαφορά δυναμικού, μεγάλη τιμή ρεύματος ώστε να αποδοθεί μια ορισμένη ισχύς. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα μεγάλες απώλειες $i^2 R$ στις γραμμές μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας

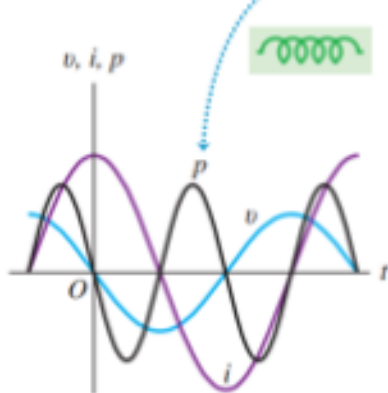
(a) Ιδανικός αντιστάτης

Για αντιστάτη, η $p = vi$ είναι πάντα θετική γιατί τα v και i είναι είτε και τα δύο θετικά είτε και τα δύο αρνητικά, σε κάθε χρονική στιγμή.

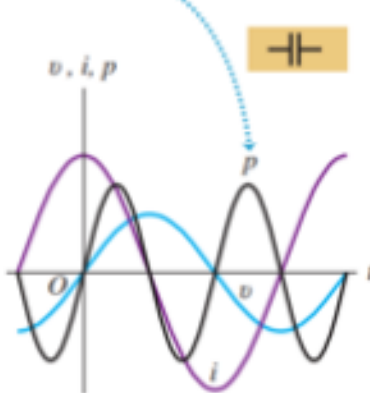


(b) Ιδανικό πηνίο

Για πηνίο ή πυκνωτή, η στιγμιαία ισχύς $p = vi$ εναλλάσσεται μεταξύ θετικής και αρνητικής τιμής και η μέση ισχύς είναι μηδέν.

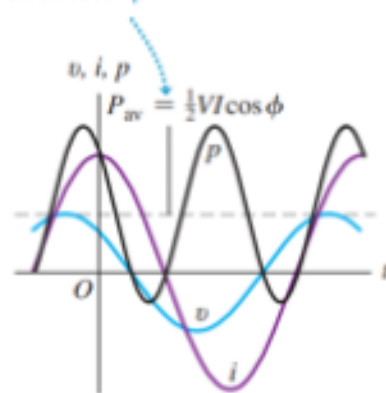


(c) Ιδανικός πυκνωτής



(d) Τυχαίο κύκλωμα εναλλασσόμενου ρεύματος

Για τυχαίο συνδυασμό αντιστάτων, πηνίων και πυκνωτών, η μέση ισχύς είναι θετική.



ΣΥΜΒΑΣΗ: Στιγμιαίο ρεύμα i — Στιγμιαία τάση στα άκρα του στοιχείου κυκλώματος, v — Στιγμιαία ισχύς εισόδου στο στοιχείο κυκλώματος, p —

31.16 Γραφήματα ρεύματος, τάσης και ισχύος συναρτήσει του χρόνου για (a) ιδανικό αντιστάτη, (b) ιδανικό πηνίο, (c) ιδανικό πυκνωτή, και (d) τυχαίο κύκλωμα εναλλασσόμενου ρεύματος, το οποίο μπορεί να διαθέτει αντίσταση, επαγωγική αντίσταση και χωρητική αντίσταση.

ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΣ ΣΕ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

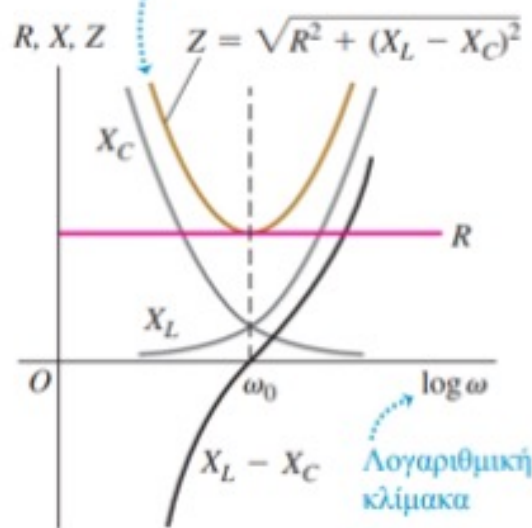
Η μεγιστοποίηση του ρεύματος για μια ορισμένη συχνότητα ονομάζεται συντονισμός.

Η πρακτική σπουδαιότητα των κυκλωμάτων $L-R-C$ σε σειρά είναι αποτέλεσμα του τρόπου με τον οποίο τα κυκλώματα αυτά αποκρίνονται σε πηγές διαφορετικής γωνιακής συχνότητας ω .

31.18 Πώς οι μεταβολές της γωνιακής συχνότητας κυκλώματος εναλλασσόμενου ρεύματος επηρεάζουν (α) την άεργη αντίσταση, την αντίσταση και την εμπέδηση, και (β) την εμπέδηση, το πλάτος του ρεύματος και τη γωνία φάσης.

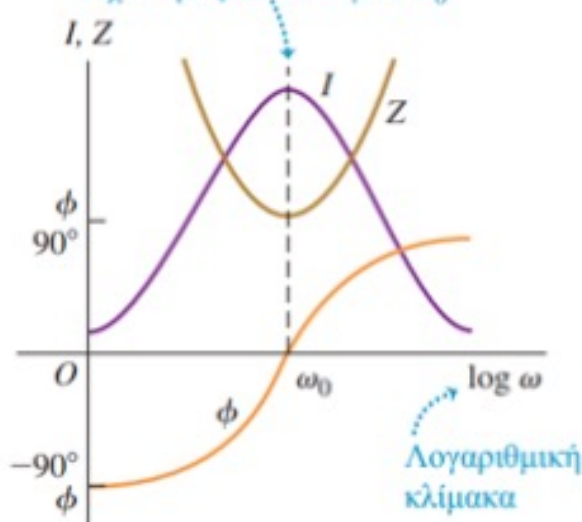
(α) Άεργη αντίσταση, αντίσταση και εμπέδηση συναρτήσει της γωνιακής συχνότητας

Η εμπέδηση Z γίνεται ελάχιστη για τιμή εκείνη της γωνιακής συχνότητας, στην οποία $X_C = X_L$.

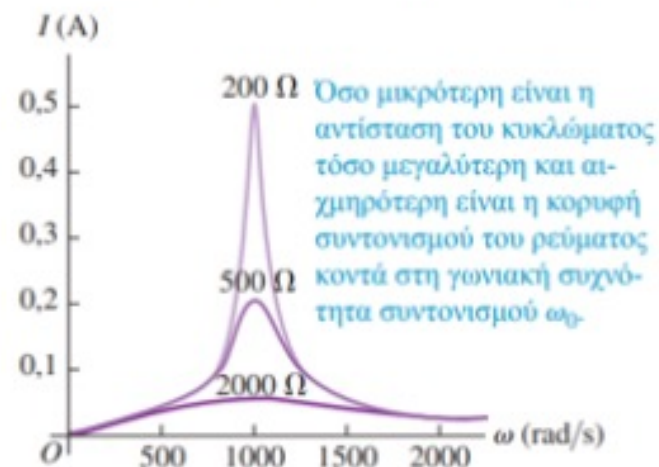


(β) Εμπέδηση, ρεύμα και γωνία φάσης συναρτήσει της γωνιακής συχνότητας

Το ρεύμα γίνεται μέγιστο στην τιμή εκείνη της γωνιακής συχνότητας για την οποία η εμπέδηση γίνεται ελάχιστη. Είναι η τιμή της γωνιακής συχνότητας συντονισμού ω_0 .



31.19 Γράφημα του πλάτους I του ρεύματος συναρτήσει της γωνιακής συχνότητας ω κυκλώματος $L-R-C$ σε σειρά με $V = 100 \text{ V}$, $L = 2,0 \text{ H}$, $C = 0,50 \mu\text{F}$ και τρεις διαφορετικές τιμές της αντίστασης R .



Η καμπύλη αυτή, που ονομάζεται **καμπύλη απόκρισης** ή **καμπύλη συντονισμού**, εμφανίζει μέγιστο για τιμή γωνιακής συχνότητας συντονισμού $\omega_0 = 1000 \text{ rad/s}$.

Γωνιακή συχνότητα συντονισμού κυκλώματος $L-R-C$ σε σειρά

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

Αυτεπαγωγή Χωρητικότητα

(31.32)

ΜΕΤΑΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ I

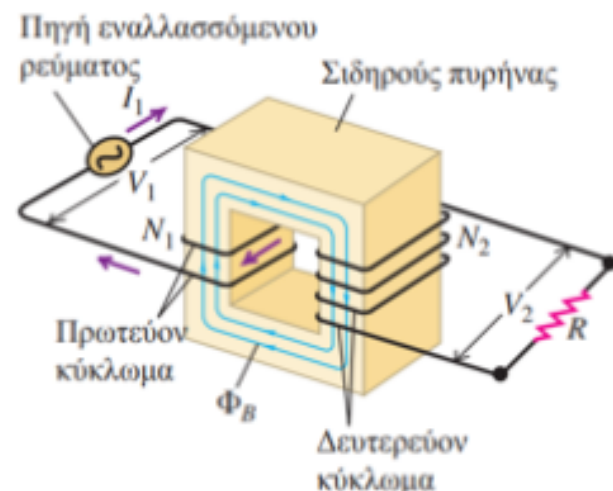
Ένα από τα μεγάλα πλεονεκτήματα του εναλλασσόμενου ρεύματος (ac) σε σύγκριση με το συνεχές ρεύμα (dc) για τη διανομή ηλεκτρικής ενέργειας είναι ότι η ανύψωση και ο υποβιβασμός της τάσης γίνεται πολύ ευκολότερα στο εναλλασσόμενο απ' ό,τι στο συνεχές ρεύμα.

Πώς Λειτουργούν οι Μετασχηματιστές

31.21 Σχηματικό διάγραμμα ιδανικού μετασχηματιστή ανύψωσης τάσης. Το πρωτεύον πηνίο είναι συνδεδεμένο με πηγή εναλλασσόμενου ρεύματος· το δευτερεύον πηνίο είναι συνδεδεμένο με διάταξη αντίστασης R .

Η επαγόμενη ΗΕΔ ανά σπείρα είναι η ίδια και στις δύο περιελίξεις, επομένως καθορίζουμε τον λόγο των τάσεων στους ακροδέκτες τους ρυθμίζοντας τον λόγο του αριθμού των σπειρών:

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{N_2}{N_1}$$



Το Σχ. 31.21 δείχνει έναν ιδανικό μετασχηματιστή. Τα κύρια στοιχεία του είναι δύο πηνία, ή **περιελίξεις**, ηλεκτρικώς μονωμένα μεταξύ τους, αλλά περιελιγμένα στον ίδιο πυρήνα. Ένας τυπικός πυρήνας είναι κατασκευασμένος από υλικό όπως ο σίδηρος, πολύ μεγάλης σχετικής διαπερατότητας K_m . Αυτό περιορίζει τις δυναμικές γραμμές του μαγνητικού πεδίου που δημιουργείται από το ρεύμα στο ένα πηνίο σχεδόν ολοκληρωτικά μέσα στον πυρήνα. Συνεπώς, σχεδόν όλες αυτές οι δυναμικές γραμμές του πεδίου διέρχονται μέσα από το άλλο πηνίο, μεγιστοποιώντας την **αμοιβαία επαγωγή** των δύο περιελίξεων.

Η μαγνητική ροή Φ_B είναι η ίδια, σε κάθε χρονική στιγμή, σε κάθε σπείρα του πρωτεύοντος και του δευτερεύοντος πηνίου. Το πρωτεύον πηνίο έχει N_1 σπείρες και το δευτερεύον N_2 σπείρες. Όταν η μαγνητική ροή μεταβάλλεται εξαιτίας των μεταβαλλόμενων ρευμάτων στα δύο πηνία, οι επαγόμενες ΗΕΔ που προκύπτουν είναι:

$$\mathcal{E}_1 = -N_1 \frac{d\Phi_B}{dt} \quad \text{και} \quad \mathcal{E}_2 = -N_2 \frac{d\Phi_B}{dt} \quad (31.33)$$

Η ροή **ανά σπείρα** Φ_B είναι η ίδια και στα δύο πηνία, στο πρωτεύον και στο δευτερεύον, οπότε:

$$\frac{\mathcal{E}_2}{\mathcal{E}_1} = \frac{N_2}{N_1} \quad (31.34)$$

Αφού οι \mathcal{E}_1 και \mathcal{E}_2 ταλαντώνονται αμφότερες με συχνότητα ίδια με της πηγής εναλλασσόμενου ρεύματος, η Εξ. (31.34) δίνει επίσης τον λόγο των πλατών, ή αυτόν των ενεργών τιμών των επαγόμενων ΗΕΔ:

$$\text{Τάσεις στα άκρα μετασχηματιστή} \quad \frac{V_2}{V_1} = \frac{N_2}{N_1} \quad (31.35)$$

Πλάτος τάσης ή τιμή rms στο δευτερεύον
Αριθμός σπειρών του δευτερεύοντος
Αριθμός σπειρών του πρωτεύοντος
Πλάτος τάσης ή τιμή rms στο πρωτεύον

Επιλέγοντας τον κατάλληλο λόγο αριθμού σπειρών N_2/N_1 μπορούμε να πάρουμε οποιαδήποτε τάση στο δευτερεύον πηνίο από δεδομένη τάση στο πρωτεύον.

Π Α Ρ Α Δ Ε Ι Γ Μ Α

Μια φίλη φέρνει στις Ηνωμένες Πολιτείες από την Ευρώπη μια συσκευή και δηλώνει ότι είναι η καλύτερη καφετιέρα του κόσμου. Δυστυχώς, ήταν σχεδιασμένη να λειτουργεί από γραμμή 240 V και να αντλεί την ισχύ των 960 W που χρειάζεται. α) Τι μπορεί να κάνει ώστε να λειτουργήσει η καφετιέρα στα 120 V; β) Πόσο ρεύμα θα τραβήξει από τη γραμμή των 120 V; γ) Πόση είναι η αντίστασή της; (Οι τάσεις δίνονται σε ενεργές τιμές.)

ΛΥΣΗ α) Για να πάρει $V_2 = 240 \text{ V}$ με $V_1 = 120 \text{ V}$, η φίλη μας χρειάζεται έναν μετασχηματιστή ανύψωσης με λόγο περιελίξεων $(240 \text{ V})/(120 \text{ V}) = 2$.

β) Θεωρώντας έναν ιδανικό μετασχηματιστή, η ισχύς είναι

$960 \text{ W} = I_1 (120 \text{ V})$ και άρα $I_1 = 8,0 \text{ A}$. Επομένως, το δευτερεύον ρεύμα είναι 4,0 A.

γ) Με τις τιμές $V_1 = 120 \text{ V}$, $I_1 = 8,0 \text{ A}$ και $N_2/N_1 = 2$, έχουμε

$$\frac{V_1}{I_1} = \frac{120 \text{ V}}{8,0 \text{ A}} = 15 \Omega.$$

$$R = 2^2(15 \Omega) = 60 \Omega.$$

Για να ελέγξουμε, $(240 \text{ V})/(60 \Omega) = 4,0 \text{ A}$ και $V_2 I_2 = (240 \text{ V}) \times (4,0 \text{ A}) = 960 \text{ W}$.

https://videos.papazissi.gr/EX31_9/