

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 .

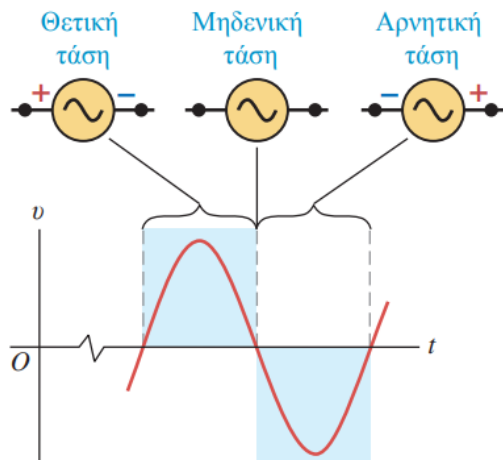
Η ημιτονοειδής τάση μπορεί να περιγραφεί από μια συνάρτηση όπως η:

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

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:

$$i = I \cos \omega t$$

Στιγμιαίο ρεύμα
Πλάτος ρεύματος (μέγιστο ρεύμα)
Γωνιακή συχνότητα
Χρόνος

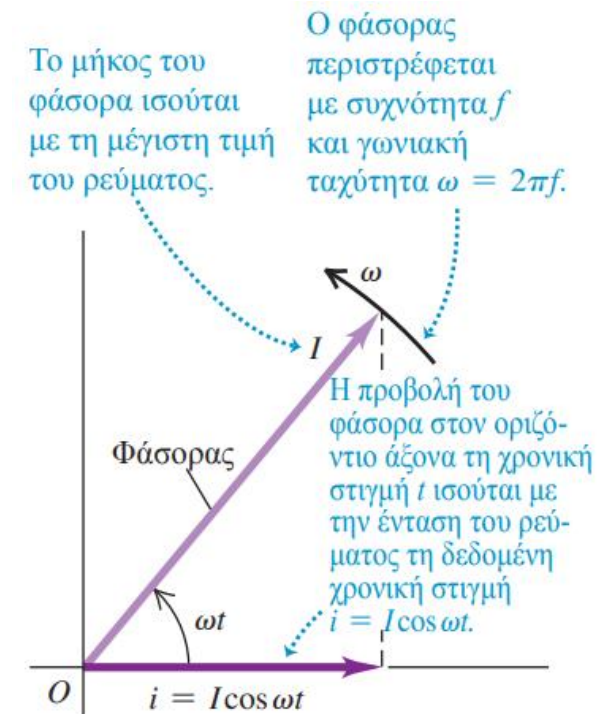
(31.2)

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 Φάσορα

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 φάσορα.



Ανορθωμένο εναλλασσόμενο ρεύμα

Πώς μετράμε ένα ημιτονοειδώς μεταβαλλόμενο ρεύμα;

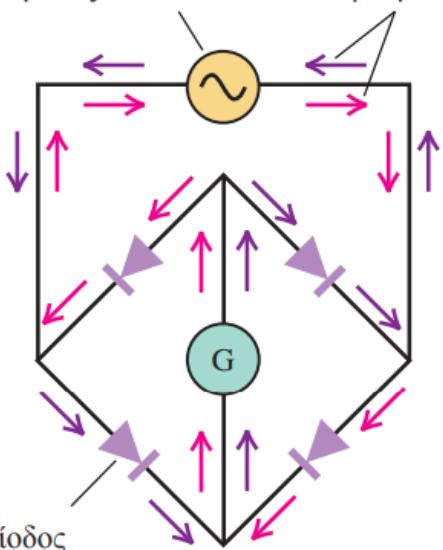
Αν διοχετεύσουμε στο γαλβανόμετρο d'Arsonval **ημιτονοειδές** ρεύμα, η ροπή στο κινούμενο πηνίο μεταβάλλεται ημιτονοειδώς, έχοντας δεδομένη κατεύθυνση κατά τον μισό χρόνο και την αντίθετη κατά τον άλλο μισό. Όχι πολύ χρήσιμο.

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. 31.3α παρουσιάζει μια δυνατή διάταξη που ονομάζεται **κύκλωμα πλήρους ανόρθωσης**.

(α) Κύκλωμα πλήρους ανόρθωσης

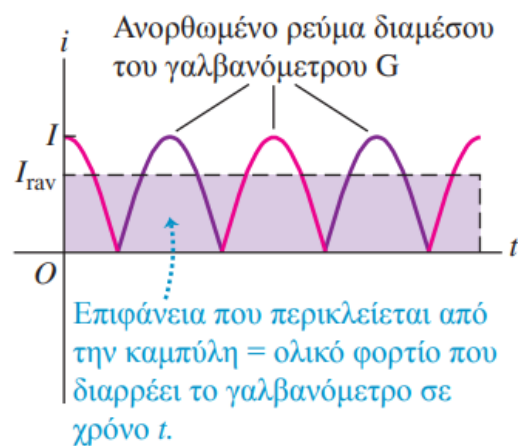
Πηγή εναλλασσόμενου
ρεύματος

Εναλλασσόμενο
ρεύμα



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

(β) Γράφημα του πλήρως ανορθωμένου
ρεύματος και η μέση τιμή του, το ανορ-
θωμένο 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} .

Ανορθωμένη μέση τιμή
ημιτονοειδούς ρεύματος

$$I_{rav} = \frac{2}{\pi} I = 0,637 I$$

Πλάτος
ρεύματος

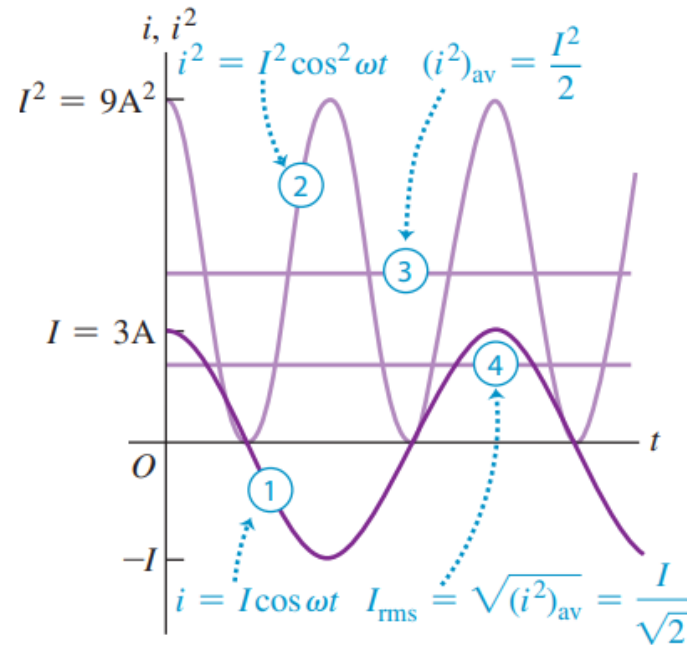
(31.3)

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.



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)

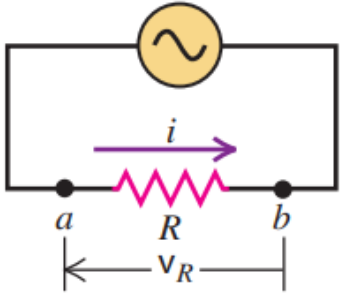
31.5 Ο συγκεκριμένος ρευματοδότης (πρίζα) έχει ενεργό τάση 220 V . Πενήντα φορές ανά δευτερόλεπτο, η στιγμιαία τάση στους ακροδέκτες του μεταβάλλεται από $\sqrt{2} \times 120 \text{ V} = 331 \text{ V}$ σε -331 V , και αντιστρόφως (ΗΠΑ).



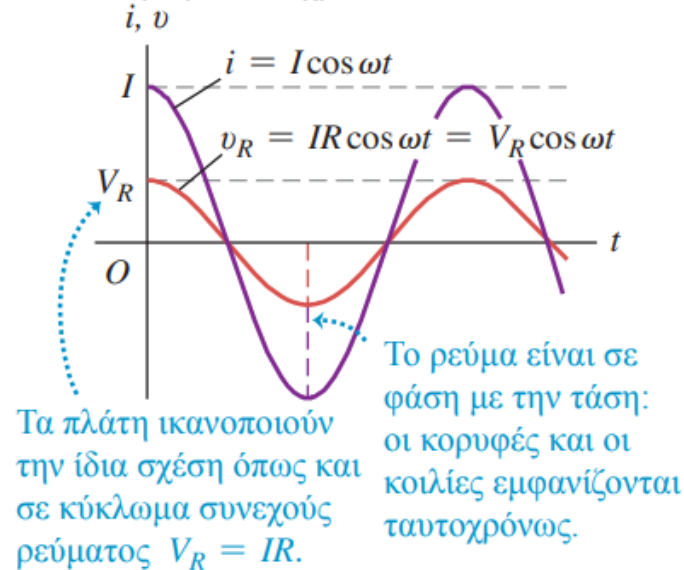
ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΑΕΡΓΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ

Αντιστάτης σε Κύκλωμα Εναλλασσόμενου Ρεύματος

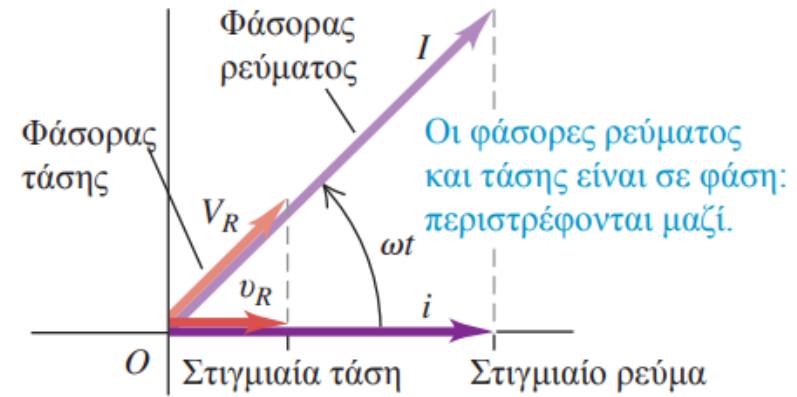
(a) Κύκλωμα με πηγή εναλλασσόμενου ρεύματος και πυκνωτή



(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:

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

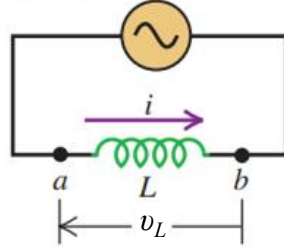
Πλάτος της τάσης στα άκρα αντιστάτη κυκλώματος ac $\rightarrow V_R = IR \leftarrow$ Πλάτος ρεύματος Αντίσταση

(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 την $\mathcal{E} = -L di/dt$: η τάση v_L δεν είναι απλώς ίση με την $\mathcal{E}$. 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

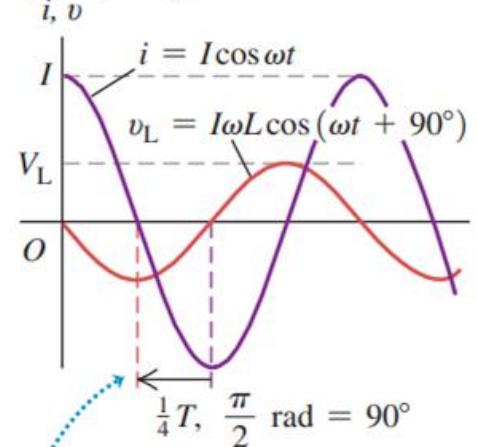
$i = I \cos \omega t$ και η τάση v ενός σημείου ως προς το άλλο είναι $v = V \cos(\omega t + \phi)$ ονομάζουμε τη ϕ γωνία φάσης· αυτή δίνει τη **φάση της τάσης σε σχέση με το ρεύμα**. Ορίζουμε την **επαγωγική άεργη αντίσταση** ή **επαγωγική αναδραστικότητα** X_L ενός πηνίου ως:

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

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.

[Σελίδα 1128]

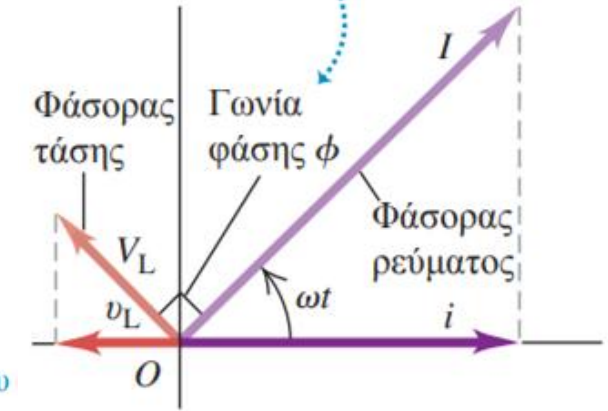
(b) Γραφήματα ρεύματος και τάσης ως προς τον χρόνο



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



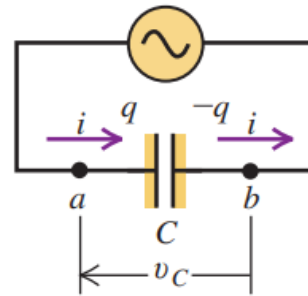
$$v_L = I\omega L \cos(\omega t + 90^\circ) \quad (31.10)$$

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

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. 31.6a. Τότε:

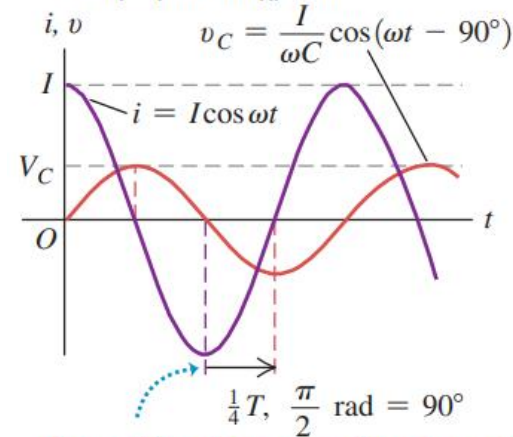
$$i = \frac{dq}{dt} = I \cos \omega t$$

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

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

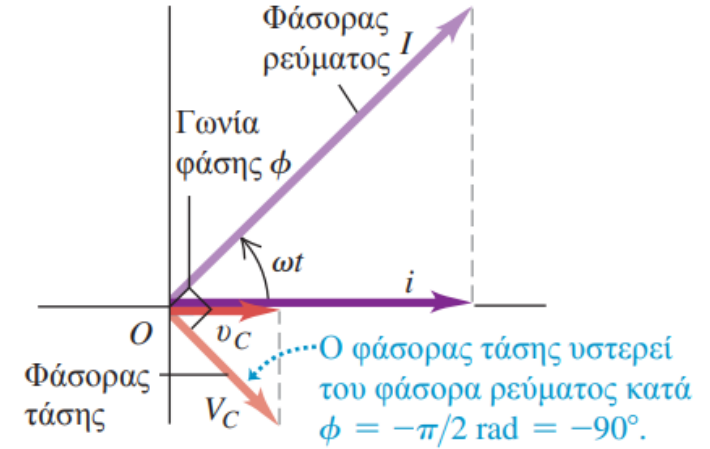
$$v_C = \frac{I}{\omega C} \cos(\omega t - 90^\circ) \quad (31.16)$$

(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:

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

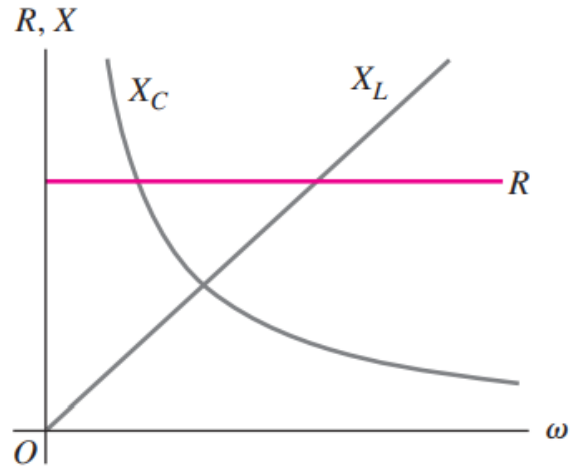
$$X_C = \frac{1}{\omega C} \quad (\text{χωρητική αντίσταση}) \quad (31.18)$$

$$\text{Πλάτος τάσης στα άκρα του πυκνωτή, κύκλωμα ac} \quad V_C = I X_C \quad \text{Πλάτος ρεύματος} \quad \text{Χωρητική αντίσταση} \quad (31.19)$$

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 **υψιπερατό φίλτρο**

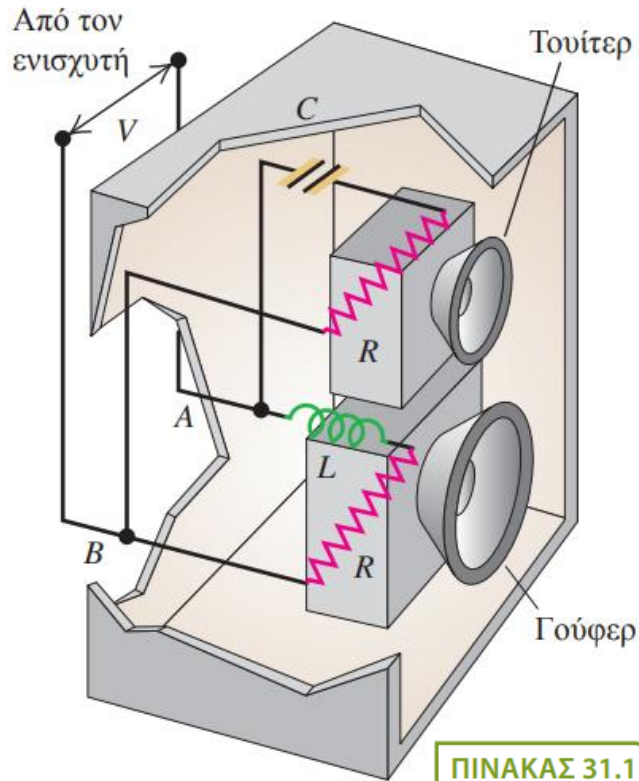
Σύγκριση στοιχείων κυκλωμάτων εναλλασσόμενου ρεύματος

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



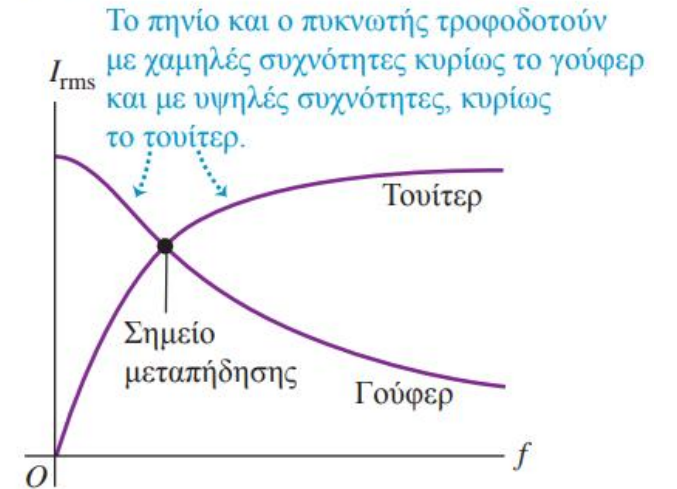
31.12 (a) Τα δύο μεγάφωνα του ηχείου είναι συνδεδεμένα παράλληλα στον ενισχυτή.

(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.



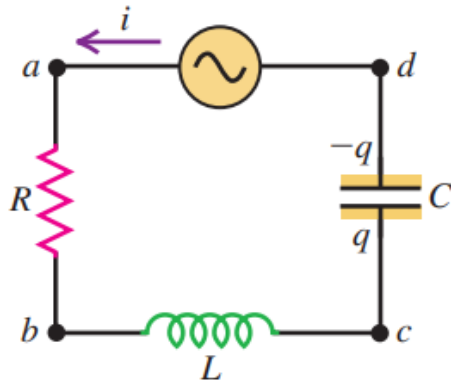
ΠΙΝΑΚΑΣ 31.1

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°

ΤΟ ΚΥΚΛΩΜΑ $L-R-C$ ΣΕ ΣΕΙΡΑ I

(a) Κύκλωμα $L-R-C$ σε σειρά

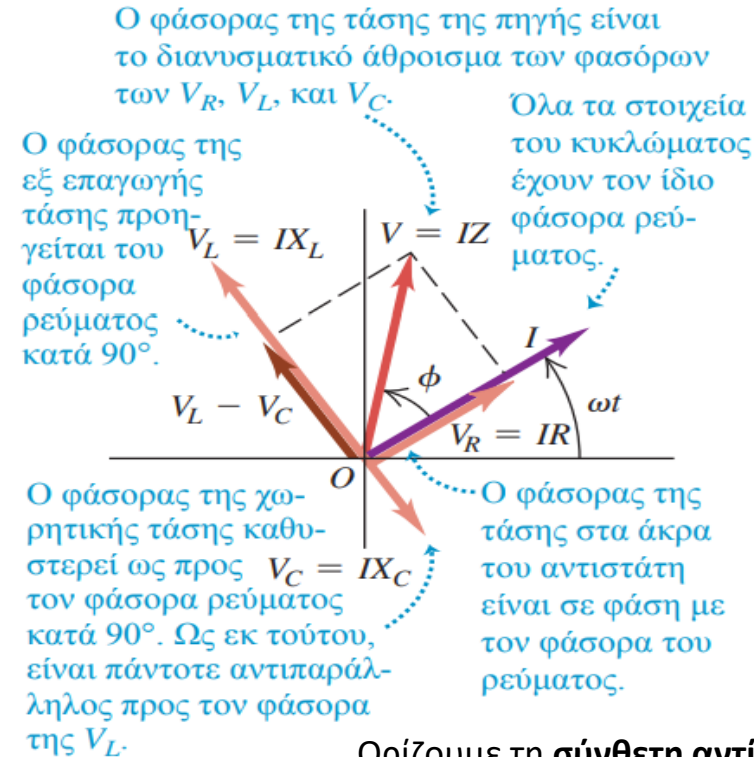


Η στιγμιαία διαφορά δυναμικού v μεταξύ των άκρων a και d ισούται σε κάθε στιγμή με το (αλγεβρικό) άθροισμα των διαφορών δυναμικού v_R , v_L και v_C . Δηλαδή ισούται με το άθροισμα των προβολών των περιστρεφόμενων διανυσμάτων φάσης V_R , V_L και V_C . Το άθροισμα όμως των προβολών τους ισούται με την προβολή του διανυσματικού τους αθροίσματος. Επομένως, το διανυσματικό άθροισμα V πρέπει να είναι ο φάσορας 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:

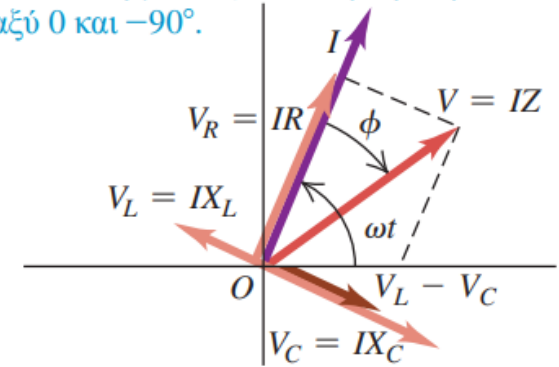
31.13 Κύκλωμα $L-R-C$ σε σειρά, με πηγή ac .

(b) Διάγραμμα φασόρων για $X_L > X_C$



(c) Διάγραμμα φασόρων για $X_L < X_C$

Εάν $X_L < X_C$, ο φάσορας της τάσης της πηγής καθυστερεί ως προς τον φάσορα 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)

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

$$\begin{array}{l} \text{Πλάτος της τάσης} \\ \text{στα άκρα κυκλώματος } ac \end{array} V = IZ \begin{array}{l} \text{Πλάτος ρεύματος} \\ \text{Εμπέδηση του κυκλώματος} \end{array} \quad (31.22)$$

31.14 Μεταξύ της επιφάνειας της γυάλινης σφαίρας που περιέχει αέριο και του ηλεκτροδίου στο κέντρο της εφαρμόζεται εναλλασσόμενη τάση. Οι φωτεινές γραμμές δείχνουν το προκύπτον εναλλασσόμενο ρεύμα που διαρρέει το αέριο. Ακουμπώντας την εξωτερική επιφάνεια της σφαίρας, τα άκρα των δαχτύλων σας και η εσωτερική επιφάνεια της σφαίρας δρουν ως οπλισμοί πυκνωτή και η σφαίρα μαζί με το σώμα σας σχηματίζουν κύκλωμα L-R-C σε σειρά. Το ρεύμα (το οποίο είναι πολύ ασθενές και δεν σας βλάπτει) φθάνει στα δάχτυλά σας γιατί η διαδρομή μέσω του σώματός σας έχει χαμηλή εμπέδηση.



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

Επαγωγική
αναδραστικότητα

Χωρητική
αναδραστικότητα

Γωνιακή συχνότητα

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

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

Χωρητική
αναδραστικότητα

Αντίσταση

Γωνιακή συχνότητα

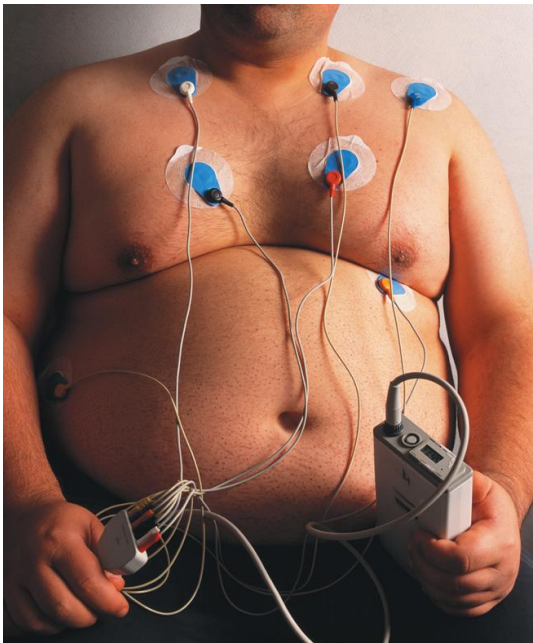
Αν το ρεύμα είναι $i = I \cos \omega t$, τότε η τάση v της πηγής είναι:

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

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 τις οποίες παραγάγαμε σε αυτό και στο προηγούμενο εδάφιο εξακολουθούν να ισχύουν αν αντικαταστήσουμε τα πλάτη με τις αντίστοιχες ενεργές τιμές:

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

ΒΙΟ Εφαρμογή Μέτρηση Σωματικού Λίπους Μέσω Ανάλυσης της Βιοηλεκτρικής Εμπέδησης. Τα ηλεκτρόδια που εφαρμόζονται στο στήθος του υπέρβαρου ασθενή εφαρμόζουν ασθενή εναλλασσόμενη τάση, συχνότητας 50 kHz. Το όργανο που συνδέεται με αυτά μετρά το πλάτος και τη γωνία φάσης του δημιουργούμενου ρεύματος στο σώμα του ασθενή. Αυτά εξαρτώνται από τις σχετικές ποσότητες νερού και λίπους κατά μήκος της διαδρομής του ρεύματος και έτσι δίνουν μια αισθητή μέτρηση της σύνθεσης του σώματος.



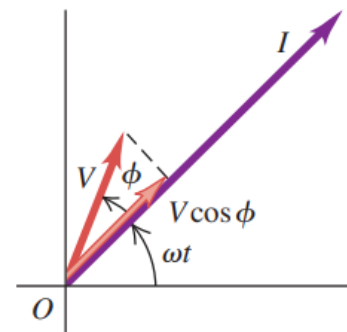
ΙΣΧΥΣ ΣΕ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

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 $= \frac{1}{2} I(V \cos \phi)$, 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.

Μέση ισχύς σε γενικό κύκλωμα ac

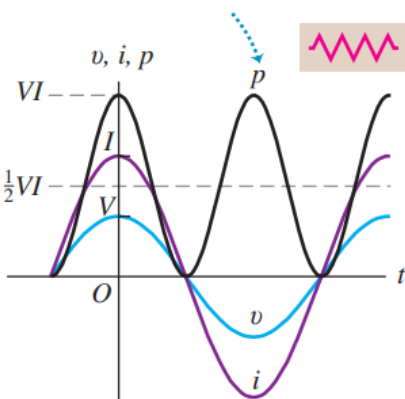
$$P_{av} = \frac{1}{2} VI \cos \phi = V_{rms} I_{rms} \cos \phi \quad (31.31)$$

Γωνία φάσης της τάσης ως προς το ρεύμα

Πλάτος τάσης, Πλάτος ρεύματος, Τάση rms, Ρεύμα rms

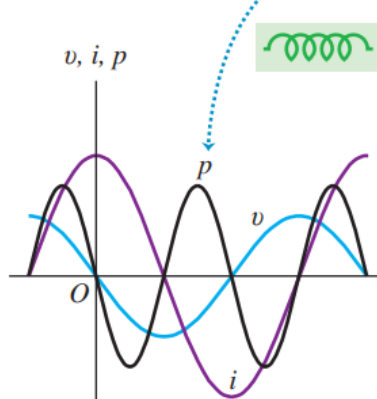
(a) Ιδανικός αντιστάτης

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.

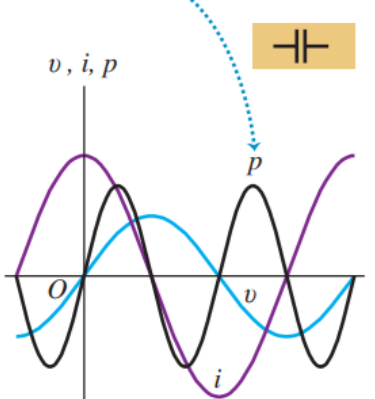


(b) Ιδανικό πηνίο

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

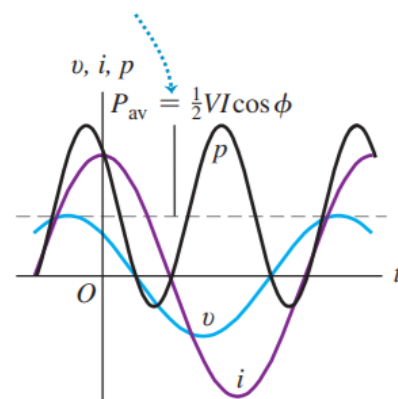


(c) Ιδανικός πυκνωτής



(d) Τυχαίο κύκλωμα εναλλασσόμενου ρεύματος

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



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.

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

ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΣ ΣΕ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

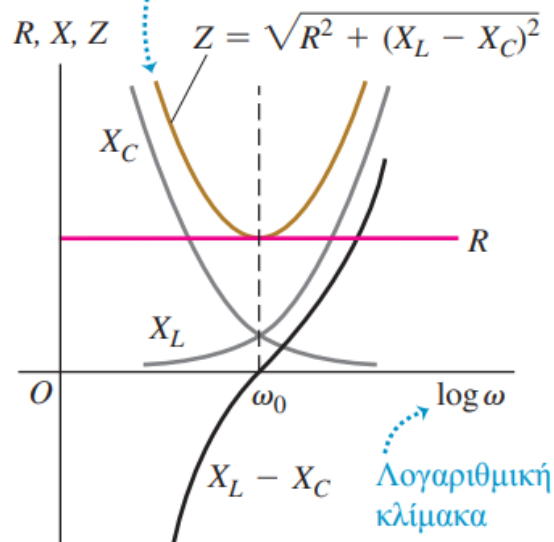
Η μεγιστοποίηση του ρεύματος για μια ορισμένη συχνότητα ονομάζεται συντονισμός.

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.

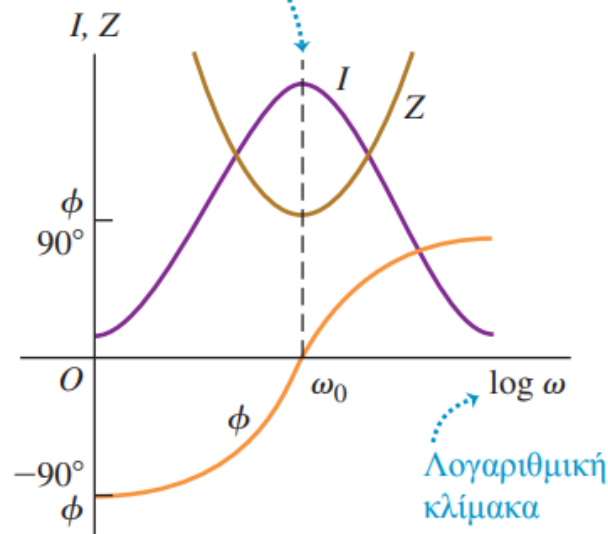
(α) Άεργη αντίσταση, αντίσταση και εμπέδηση συναρτήσει της γωνιακής συχνότητας

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

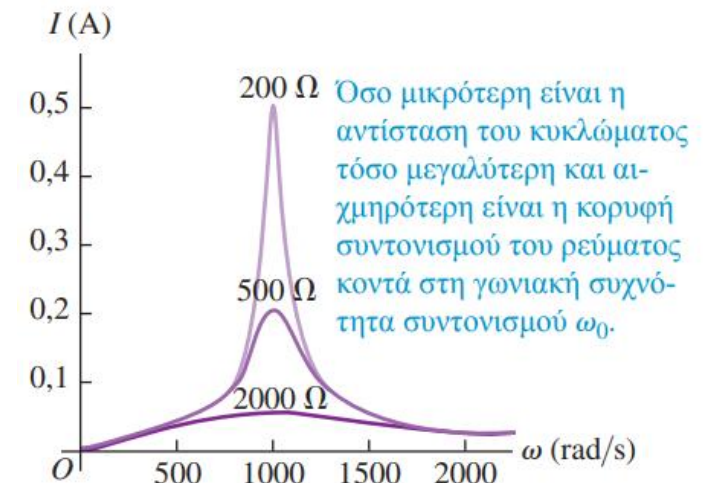


(β) Εμπέδηση, ρεύμα και γωνία φάσης συναρτήσει της γωνιακής συχνότητας

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 $\omega_0 = \sqrt{LC} = 1000 \text{ rad/s}$.

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

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

Αυτεπαγωγή Χωρητικότητα

(31.32)

ΜΕΤΑΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ I

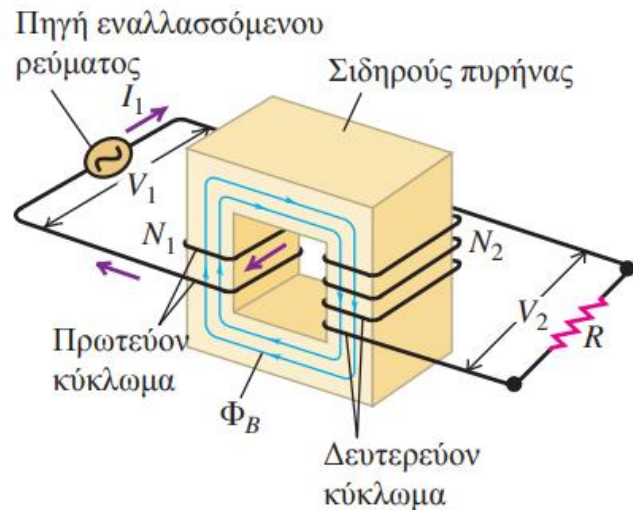
Ένα από τα μεγάλα πλεονεκτήματα του εναλλασσόμενου ρεύματος (ac) σε σύγκριση με το συνεχές ρεύμα (dc) για τη διανομή ηλεκτρικής ενέργειας είναι ότι η ανύψωση και ο υποβιβασμός της τάσης γίνεται πολύ ευκολότερα στο εναλλασσόμενο απ' ό,τι στο συνεχές ρεύμα.

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**, ηλεκτρικά 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:

$$\frac{\text{Τάσεις στα άκρα μετασχηματιστή}}{\text{Πλάτος τάσης ή τιμή rms στο πρωτεύον}} \frac{V_2}{V_1} = \frac{N_2}{N_1} \frac{\text{Αριθμός σπειρών του δευτερεύοντος}}{\text{Αριθμός σπειρών του πρωτεύοντος}} \quad (31.35)$$

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

BIO Εφαρμογή Κίνδυνοι Εναλλασσόμενων Τάσεων Έναντι των Συνεχών

Το εναλλασσόμενο ρεύμα υψηλής τάσης (άνω των 500 V) είναι πιο επικίνδυνο απ' ό,τι το συνεχές ρεύμα στην ίδια τάση. Όταν αγγίξει κάποιος πηγή ρεύματος υψηλής συνεχούς τάσης, υφίσταται συνήθως μυϊκή σύσπαση αρκετά ισχυρή ώστε να απωθήσει το άτομο από την πηγή. Αντίθετα, αγγίζοντας πηγή ρεύματος υψηλής εναλλασσόμενης τάσης, προκαλούνται συνεχείς μυϊκές συσπάσεις οι οποίες δεν επιτρέπουν στο θύμα να αφήσει την πηγή. Η μείωση της συνεχούς τάσης μέσω μετασχηματιστή περιορίζει τον κίνδυνο τραυματισμού.



31.22 Το κυλινδρικό μεταλλικό κουτί κοντά στην κορυφή του στύλου είναι ένας μετασχηματιστής υποβιβασμού τάσης. Μετασχηματίζει την υψηλή εναλλασσόμενη τάση των γραμμών μεταφοράς σε εναλλασσόμενη (220 V) τάση, η οποία διανέμεται κατόπιν στις κατοικίες και επιχειρήσεις που υπάρχουν τριγύρω.



Ενεργειακή Θεώρηση των μετασχηματιστών

Αν συμπληρωθεί το δευτερεύον κύκλωμα με αντίσταση R , τότε το πλάτος ή η ενεργός τιμή του ρεύματος στο δευτερεύον κύκλωμα είναι $I_2 = V_2/R$. Αναλύοντας την ενέργεια προκύπτει ότι η ισχύς που προσφέρεται στο πρωτεύον ισούται με αυτήν που αντλείται από το δευτερεύον (αφού δεν υπάρχει αντίσταση στις περιελίξεις), άρα:

Όταν το δευτερεύον κύκλωμα συμπληρώνεται με αντίσταση R , το αποτέλεσμα είναι το ίδιο με εκείνο που θα προέκυπτε αν η πηγή ήταν απευθείας συνδεδεμένη με αντίσταση ίση με το πηλίκο της R διά του τετραγώνου του λόγου των σπειρών $(N_2/N_1)^2$:

$$\frac{V_1}{I_1} = \frac{R}{(N_2/N_1)^2} \quad (31.37)$$

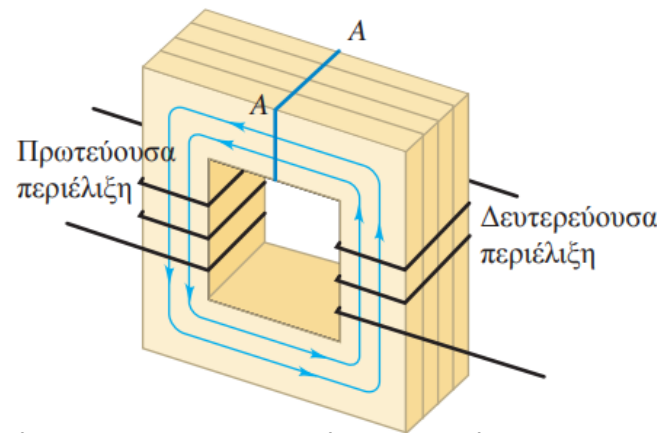
Ο μετασχηματιστής «μετασχηματίζει» όχι μόνο τάσεις και ρεύματα αλλά και αντιστάσεις. Γενικότερα, μπορούμε να θεωρήσουμε ότι ένας μετασχηματιστής «μετασχηματίζει» την **εμπέδηση** του δικτύου με το οποίο συμπληρώνεται το δευτερεύον κύκλωμα.

Όταν πρέπει να συνδέσουμε πηγή εναλλασσόμενου ρεύματος μεγάλης σύνθετης αντίστασης σε κύκλωμα μικρής εμπέδησης, όπως ένας ακουστικός ενισχυτής που συνδέεται με ηχείο, η σύνθετη αντίσταση της πηγής ταιριάζει με εκείνη του κυκλώματος, χρησιμοποιώντας μετασχηματιστή που διαθέτει τον κατάλληλο λόγο περιελίξεων N_2/N_1 .

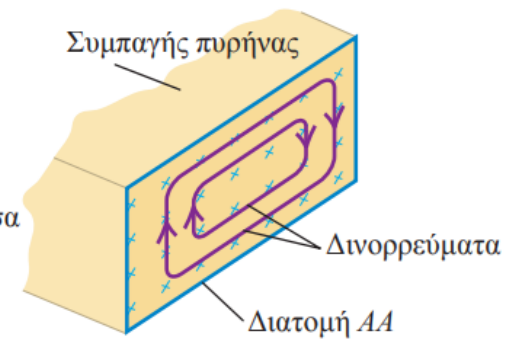
Τα δινορρεύματα προκαλούν επίσης απώλεια ενέργειας στους μετασχηματιστές.

31.24 (a) Πρωτεύουσα και δευτερεύουσα περιέλιξη σε μετασχηματιστή. (b) Δινορρεύματα στον σιδηροπυρήνα, που φαίνονται στη διατομή AA . (c) Χαμηλότερα δινορρεύματα σε ελασματοειδή πυρήνα.

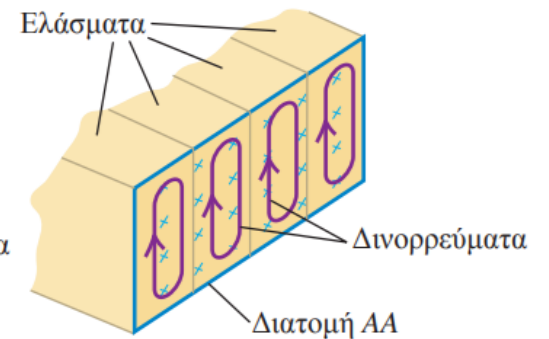
(a) Σκαρίφημα μετασχηματιστή



(b) Μεγάλα δινορρεύματα σε συμπαγή πυρήνα



(c) Μικρότερα δινορρεύματα σε ελασματοειδή πυρήνα



Η επίδραση των δινορρευμάτων μπορεί να ελαχιστοποιηθεί με τη χρήση ελασματοειδούς πυρήνα, δηλαδή ενός πυρήνα αποτελούμενου από λεπτά φύλλα ή ελάσματα.

