SEARS & ZEMANSKY

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΗ ΦΥΣΙΚΗ με Σύγχρονη Φυσική

3η ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΕΚΔΟΣΗ

Τόμος Β

ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΣ
ΟΠΤΙΚΗ - ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΦΥΣΙΚΗ

YOUNG ΚΑΙ FREEDMAN

Θ.Η. Αλεξόπουλος, ΕΜΠ
Ι.Α. Αρβανιτίδης, ΑΠΘ
Α.Α. Αργυρίου, Π. Πατρών
Ε.Α. Δρης, ΕΜΠ
Η.Σ. Ζουμπούλης, ΕΜΠ
Η.Κ. Κατσούφης, ΕΜΠ
Γ.Α. Κουρούκλης, ΑΠΘ
Κ.Ε. Παρασκευαΐδης, ΕΜΠ
Μ.Ν. Πιζάνιας, Π. Πατρών
Ι.Π. Ρίζος, Π. Ιωαννίνων
Θ.Ν. Τομαράς, Π. Κρήτης
Κ. Χριστοδουλίδης, ΕΜΠ

ΔΙΑΦΑΝΕΙΕΣ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑΣ

1. ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΗ

ΕΠΙΛΟΓΗ, ΣΥΝΘΕΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ:
Ηλίας Κατσούφης

ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΚΟ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗΣ:
Τζένη Πάλμου

Απόδοση βιβλίου στην Ελληνική γλώσσα και Επιμέλεια (αλφαβητικά):

Θ.Η. Αλεξόπουλος, *Καθηγητής Φυσικής της Σχολής Εφαρμοσμένων Μαθηματικών και Φυσικών Επιστημών του Ε.Μ. Πολυτεχνείου*

Ι.Α. Αρβανιτίδης, *Αναπλ. Καθηγητής Φυσικής του Τμήματος Φυσικής του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης*

Α.Α. Αργυρίου, *Καθηγητής του Τμήματος Φυσικής του Πανεπιστημίου Πατρών*

Ε.Α. Δρης, *Ομότιμος Καθηγητής Φυσικής της Σχολής Εφαρμοσμένων Μαθηματικών και Φυσικών Επιστημών, του Ε.Μ. Πολυτεχνείου*

Η.Σ. Ζουμπούλης, *Ομότιμος Καθηγητής Φυσικής της Σχολής Εφαρμοσμένων Μαθηματικών και Φυσικών Επιστημών του Ε.Μ. Πολυτεχνείου*

Η.Κ. Κατσούφης, *Ομότιμος Καθηγητής Φυσικής της Σχολής Εφαρμοσμένων Μαθηματικών και Φυσικών Επιστημών του Ε.Μ. Πολυτεχνείου*

Γ.Α. Κουρούκλης, *Ομότιμος Καθηγητής Φυσικής του Τμήματος Χημικών Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης*

Κ.Ε. Παρασκευαΐδης, *τ. Αναπλ. Καθηγητής Φυσικής της Σχολής Εφαρμοσμένων Μαθηματικών και Φυσικών Επιστημών του Ε.Μ. Πολυτεχνείου*

Μ.Ν. Πιζάνιας, *Ομότιμος Καθηγητής του Τμήματος Φυσικής του Πανεπιστημίου Πατρών*

Ι.Π. Ρίζος, *Καθηγητής του Τμήματος Φυσικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων*

Θ.Ν. Τομαράς, *Καθηγητής του Τμήματος Φυσικής του Πανεπιστημίου Κρήτης*

Κ. Χριστοδουλίδης, *Ομότιμος Καθηγητής Φυσικής της Σχολής Εφαρμοσμένων Μαθηματικών και Φυσικών Επιστημών του Ε.Μ. Πολυτεχνείου*

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 31.1 ΡΕΥΜΑ ΣΕ ΠΡΟΣΩΠΙΚΟ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΗ

Στην πινακίδα σήμανσης προσωπικού υπολογιστή αναγράφεται ότι αυτός αντλεί 2,7 A από γραμμή των 220 V – 50 Hz. Γι' αυτόν τον υπολογιστή, (a) πόσο είναι το μέσο ρεύμα, (b) ποια είναι η μέση τιμή του τετραγώνου του ρεύματος, (c) πόσο είναι το πλάτος του ρεύματος;

ΛΥΣΗ

ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ και ΚΑΤΑΣΤΡΩΣΗ: Αυτό είναι ένα παράδειγμα με εναλλασσόμενο ρεύμα. Στο ερώτημα (a) υπολογίζουμε τη μέση τιμή κατά τη διάρκεια ενός πλήρους κύκλου, του εναλλασσόμενου ρεύματος. Στο ερώτημα (b) αναγνωρίζουμε ότι το ρεύμα των 2,7 A που αντλεί ο υπολογιστής είναι η ενεργός τιμή (I_{rms}) του ρεύματος – δηλαδή η *τετραγωνική ρίζα της μέσης τιμής του τετραγώνου του ρεύματος*, $(i^2)_{av}$. Στο ερώτημα (c) χρησιμοποιούμε την Εξ. (31.4) για να συσχετίσουμε το I_{rms} με το πλάτος του ρεύματος.

ΕΠΙΛΥΣΗ: (a) Η μέση τιμή *οποιασδήποτε* ημιτονοειδώς μεταβαλλόμενης ποσότητας, για οποιονδήποτε αριθμό πλήρων κύκλων, είναι μηδέν.

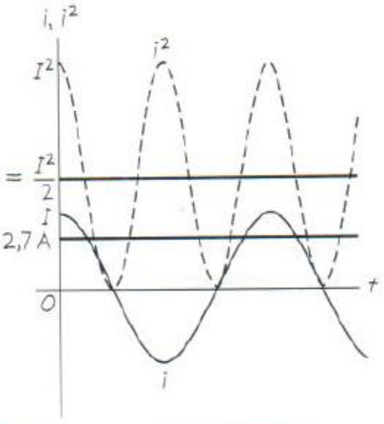
(b) Μας δίνεται ότι $I_{rms} = 2{,}7$ A. Από τον ορισμό της ενεργού τιμής,

$$I_{rms} = \sqrt{(i^2)_{av}}, \text{ άρα } (i^2)_{av} = (I_{rms})^2 = (2{,}7 \text{ A})^2 = 7{,}3 \text{ A}^2$$

(c) Από την Εξ. (31.4), το πλάτος I του ρεύματος είναι

$$I = \sqrt{2}I_{rms} = \sqrt{2}(2{,}7 \text{ A}) = 3{,}8 \text{ A}$$

31.6 Οι γραφικές παραστάσεις μας του ρεύματος i και του τετραγώνου του ρεύματος i^2, ως προς τον χρόνο t.



Στο **Σχ. 31.6** δίνονται οι γραφικές παραστάσεις των i και i^2 συναρτήσει του χρόνου t.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ: Για ποιον λόγο θα μας ενδιέφερε η μέση τιμή του τετραγώνου του ρεύματος; Θυμηθείτε ότι ο ρυθμός με τον οποίο καταναλώνεται ενέργεια σε έναν αντιστάτη R ισούται με i^2R. Ο ρυθμός αυτός μεταβάλλεται αν το ρεύμα είναι εναλλασσόμενο, με αποτέλεσμα να περιγράφεται καλύτερα από τη μέση τιμή του $(i^2)_{av}R = I_{rms}{}^2R$. Θα χρησιμοποιήσουμε την έννοια αυτή στο Εδ. 31.4.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 31.2 ΠΗΝΙΟ ΣΕ ΚΥΚΛΩΜΑ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

Το πλάτος του ρεύματος σε ιδανικό πηνίο δέκτη ραδιοφώνου πρέπει να είναι 250 μA όταν το πλάτος της τάσης είναι 3,60 V και η συχνότητα 1,60 MHz (στο άνω όριο του ραδιοφωνικού φάσματος των AM). (a) Πόση επαγωγική αντίσταση απαιτείται; Πόση θα πρέπει να είναι η αυτεπαγωγή; (b) Αν το πλάτος της τάσης διατηρείται σταθερό, πόσο θα είναι το πλάτος του ρεύματος που διαρρέει το πηνίο στα 16,0 MHz; Στα 160 kHz;

ΛΥΣΗ

ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ και ΚΑΤΑΣΤΡΩΣΗ: Το κύκλωμα μπορεί να περιλαμβάνει και άλλα στοιχεία, αλλά αυτό δεν μας ενδιαφέρει στο συγκεκριμένο παράδειγμα. Το μόνο που κάνουν είναι να τροφοδοτούν το πηνίο με ταλαντωνόμενη τάση· επομένως, αυτά θεωρούνται συγκεντρωμένα στην πηγή εναλλασσόμενου ρεύματος του Σχ. 31.8a. Μας δίνεται το πλάτος του ρεύματος I και το πλάτος της τάσης V. Οι ζητούμενες μεταβλητές-στόχοι στο ερώτημα (a) είναι η επαγωγική αντίσταση X_L στα 1,60 MHz και η αυτεπαγωγή L, τις οποίες βρίσκουμε χρησιμοποιώντας τις Εξ. (31.13) και (31.12). Εφόσον γνωρίζουμε το L, χρησιμοποιούμε αυτές τις δύο εξισώσεις στο ερώτημα (b) ώστε να βρούμε τη X_L και το I σε οποιαδήποτε άλλη συχνότητα.

ΕΠΙΛΥΣΗ: (a) Από την Εξ. (31.13),

$$X_L = \frac{V_L}{I} = \frac{3{,}60 \text{ V}}{250 \times 10^{-6} \text{ A}} = 1{,}44 \times 10^4 \ \Omega = 14{,}4 \text{ k}\Omega$$

Από την Εξ. (31.12), με $\omega = 2\pi f$,

$$L = \frac{X_L}{2\pi f} = \frac{1{,}44 \times 10^4 \ \Omega}{2\pi(1{,}60 \times 10^6 \text{ Hz})} = 1{,}43 \times 10^{-3} \text{ H} = 1{,}43 \text{ mH}$$

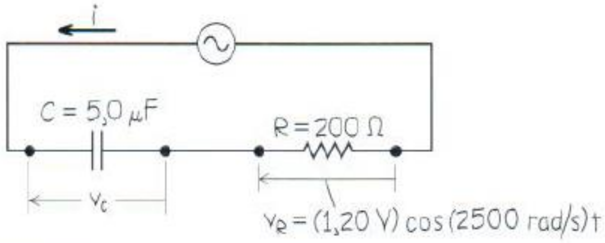
(b) Συνδυάζοντας τις Εξ. (31.12) και (31.13) βρίσκουμε ότι $I = V_L / X_L = V_L / \omega L = V_L / 2\pi f L$. Επομένως, το πλάτος του ρεύματος είναι αντιστρόφως ανάλογο της συχνότητας f. Αφού $I = 250$ μA για $f = 1{,}60$ MHz, τα πλάτη του ρεύματος στα 16,0 MHz ($10f$) και στα 1,60 MHz ($f/10$) θα είναι, αντιστοίχως, το ένα δέκατο (25,0 μA) και δεκαπλάσιο (2500 μA = 2,50 mA) της I.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ: Γενικώς, όσο μικρότερη είναι η συχνότητα ταλαντευόμενης τάσης που εφαρμόζεται στα άκρα πηνίου τόσο μεγαλύτερο είναι το πλάτος του προκύπτοντος ταλαντευόμενου ρεύματος.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 31.3 ΑΝΤΙΣΤΑΤΗΣ ΚΑΙ ΠΥΚΝΩΤΗΣ ΣΕ ΚΥΚΛΩΜΑ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

Αντιστάτης 200 Ω συνδέεται σε σειρά με πυκνωτή 5,0 μF. Η τάση στα άκρα του αντιστάτη είναι $v_R = (1{,}20\ \text{V})\cos(2500\ \text{rad/s})t$ (**Σχ. 31.10**). (a) Διατυπώστε μια έκφραση για το ρεύμα του κυκλώματος. (b) Υπολογίστε τη χωρητική αντίσταση του πυκνωτή. (c) Διατυπώστε μια έκφραση για την τάση στα άκρα του πυκνωτή.

31.10 Το σκίτσο μας γι' αυτό το πρόβλημα.



ΛΥΣΗ

ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ και ΚΑΤΑΣΤΡΩΣΗ: Δεδομένου ότι πρόκειται για κύκλωμα σε σειρά, ο πυκνωτής και η αντίσταση διαρρέονται από το ίδιο ρεύμα. Οι ζητούμενες μεταβλητές μας είναι το ρεύμα i, η χωρητική αντίσταση X_C και η τάση στα άκρα του πυκνωτή v_C. Χρησιμοποιούμε την Εξ. (31.6) για να βρούμε μια έκφραση του i, συναρτήσει της γωνιακής συχνότητας $\omega = 2500$ rad/s, την Εξ. (31.18) για να βρούμε τη X_C, την Εξ. (31.19) για να βρούμε το πλάτος της τάσης στα άκρα του πυκνωτή V_C και την Εξ. (31.16) ώστε να γράψουμε μια έκφραση για τη v_C.

ΕΠΙΛΥΣΗ: (a) Από την Εξ. (31.6), $v_R = iR$, βρίσκουμε

$$i = \frac{v_R}{R} = \frac{(1{,}20\ \text{V})\cos(2500\ \text{rad/s})t}{200\ \Omega}$$
$$= (6{,}0 \times 10^{-3}\ \text{A})\cos(2500\ \text{rad/s})t$$

(b) Από την Εξ. (31.18), η χωρητική αντίσταση για $\omega = 2500$ rad/s είναι

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{(2500\ \text{rad/s})(5{,}0 \times 10^{-6}\ \text{F})} = 80\ \Omega$$

(c) Από την Εξ. (31.19), το πλάτος της τάσης στα άκρα του πυκνωτή είναι

$$V_C = IX_C = (6{,}0 \times 10^{-3}\ \text{A})(80\ \Omega) = 0{,}48\ \text{V}$$

(Η αντίσταση των 80 Ω του πυκνωτή είναι το 40 % της αντίστασης των 200 Ω του αντιστάτη, επομένως η V_C είναι το 40 % της V_R.) Η στιγμιαία τάση στα άκρα του πυκνωτή δίνεται από την Εξ. (31.16):

$$v_C = V_C\cos(\omega t - 90°)$$
$$= (0{,}48\ \text{V})\cos[(2500\ \text{rad/s})t - \pi/2\ \text{rad}]$$

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ: Παρά το ότι το ίδιο *ρεύμα* διαρρέει τόσο τον πυκνωτή όσο και τον αντιστάτη, οι *τάσεις* στα άκρα τους διαφέρουν τόσο ως προς το πλάτος όσο και ως προς τη φάση. Σημειώστε ότι στην έκφραση για τη v_C μετατρέψαμε τις 90° σε $\pi/2$ rad έτσι ώστε όλα τα γωνιακά μεγέθη να έχουν ίδιες μονάδες. Κατά την ανάλυση κυκλωμάτων εναλλασσόμενου ρεύματος, οι φασικές γωνίες δίνονται συχνά σε μοίρες, οπότε να προσέχετε να τις μετατρέπετε σε ακτίνια όταν αυτό είναι απαραίτητο.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 31.4 ΚΥΚΛΩΜΑ *L-R-C* ΣΕ ΣΕΙΡΑ I

Στο κύκλωμα σε σειρά του Σχ. 31.13a, έστω ότι $R = 300\ \Omega$, $L = 60$ mH, $C = 0{,}50\ \mu$F, $V = 50$ V και $\omega = 10.000$ rad/s. Βρείτε τις αντιστάσεις X_L και X_C, την εμπέδηση Z, το πλάτος του ρεύματος I, τη διαφορά φάσης ϕ και το πλάτος της τάσης στα άκρα κάθε στοιχείου του κυκλώματος.

ΛΥΣΗ

ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ και ΚΑΤΑΣΤΡΩΣΗ: Στο πρόβλημα αυτό χρησιμοποιούμε τις έννοιες που αναπτύχθηκαν στο Εδ. 31.2 και στο εδάφιο αυτό σχετικά με τη συμπεριφορά στοιχείων κυκλώματος σε κύκλωμα εναλλασσόμενου ρεύματος. Χρησιμοποιούμε τις Εξ. (31.12) και (31.18) για να προσδιορίσουμε τις X_L και X_C, και την Εξ. (31.23) για να βρούμε τη Z. Κατόπιν χρησιμοποιούμε την Εξ. (31.22) για να βρούμε το πλάτος του ρεύματος και την Εξ. (31.24) για να βρούμε τη γωνία φάσης. Οι σχέσεις στον Πίνακα 31.1 δίνουν τα πλάτη των τάσεων.

ΕΠΙΛΥΣΗ: Η επαγωγική και χωρητική αντίσταση είναι

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

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

συνεχίζεται

Η εμπέδηση Z του κυκλώματος είναι τότε

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{(300\ \Omega)^2 + (600\ \Omega - 200\ \Omega)^2} = 500\ \Omega$$

Για πλάτος τάσης της πηγής $V = 50$ V, το πλάτος του ρεύματος I και η γωνία φάσης ϕ είναι

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

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

Από τον Πίνακα 31.1, τα πλάτη των τάσεων V_R, V_L και V_C στα άκρα του αντιστάτη, του πηνίου και του πυκνωτή, αντιστοίχως, είναι

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

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

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

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ: Όπως στο Σχ. 31.13b, $X_L > X_C$· επομένως, το πλάτος της τάσης στα άκρα του πηνίου είναι μεγαλύτερο από αυτή στα άκρα του πυκνωτή και η ϕ είναι θετική. Η τιμή $\phi = 53^\circ$ σημαίνει ότι η τάση προηγείται του ρεύματος κατά 53°.

Σημειώστε ότι το πλάτος της τάσης της πηγής $V = 50$ V *δεν* ισούται με το άθροισμα των πλατών των τάσεων στα άκρα των επιμέρους στοιχείων του κυκλώματος: $50\ \text{V} \neq 30\ \text{V} + 60\ \text{V} + 20\ \text{V}$. Αντί αυτού, η V είναι το *διανυσματικό άθροισμα* των φασόρων V_R, V_L και V_C. Αν σχεδιάσετε το διάγραμμα φασόρων όπως στο Σχ. 31.13b για το συγκεκριμένο πρόβλημα, θα δείτε ότι τα V_R, $V_L - V_C$ και V αποτελούν ορθογώνιο τρίγωνο πλευρών 3-4-5.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 31.5 ΚΥΚΛΩΜΑ *L-R-C* ΣΕ ΣΕΙΡΑ II

Για το κύκλωμα *L-R-C* σε σειρά του Παραδ. 31.4 βρείτε εκφράσεις της χρονικής εξάρτησης του στιγμιαίου ρεύματος i και των στιγμιαίων τάσεων στα άκρα του αντιστάτη (v_R), του πηνίου (v_L), του πυκνωτή (v_C) και της πηγής εναλλασσόμενου ρεύματος (v).

ΛΥΣΗ

ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ και ΚΑΤΑΣΤΡΩΣΗ: Περιγράφουμε το ρεύμα χρησιμοποιώντας την Εξ. (31.2) η οποία υποθέτει ότι το ρεύμα είναι μέγιστο τη στιγμή $t = 0$. Τότε οι τάσεις δίνονται από την Εξ. (31.8) για τον αντιστάτη, την Εξ. (31.10) για το πηνίο, την Εξ. (31.16) για τη χωρητικότητα και την Εξ. (31.25) για την πηγή.

ΕΠΙΛΥΣΗ:
Το ρεύμα και οι τάσεις ταλαντώνονται με την ίδια γωνιακή συχνότητα $\omega = 10\,000$ rad/s, άρα και με την ίδια περίοδο, $2\pi/\omega = 2\pi/(10\,000 \text{ rad/s}) = 6{,}3 \times 10^{-4}$ s $= 0{,}63$ ms. Από την Εξ. (31.2), το ρεύμα είναι

$$i = I\cos\omega t = (0{,}10 \text{ A})\cos(10\,000 \text{ rad/s})t$$

Η τάση στα άκρα του αντιστάτη είναι σε *φάση* με το ρεύμα, επομένως

$$v_R = V_R\cos\omega t = (30 \text{ V})\cos(10\,000 \text{ rad/s})t$$

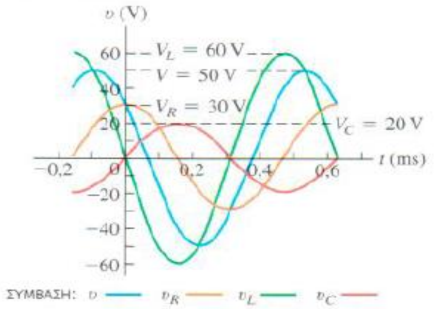
Η τάση στα άκρα του πηνίου προηγείται του ρεύματος κατά 90°, επομένως

$$v_L = V_L\cos(\omega t + 90°) = -V_L\sin\omega t$$
$$= -(60 \text{ V})\sin(10\,000 \text{ rad/s})t$$

Η τάση στα άκρα του πυκνωτή καθυστερεί ως προς το ρεύμα κατά 90°, επομένως

$$v_C = V_C\cos(\omega t - 90°) = V_C\sin\omega t$$
$$= (20 \text{ V})\sin(10\,000 \text{ rad/s})t$$

31.15 Γραφήματα της τάσης v της πηγής, της τάσης του αντιστάτη v_R, της τάσης του πηνίου v_L και της τάσης του πυκνωτή v_C συναρτήσει του χρόνου για την περίπτωση του Παραδ. 31.4. Το ρεύμα, το οποίο δεν απεικονίζεται, είναι σε φάση με την τάση στα άκρα του αντιστάτη.



Στο Παράδ. 31.4 βρήκαμε ότι η τάση της πηγής (ίση με την τάση στα άκρα του συνδυασμού της αντίστασης, πηνίου και πυκνωτή) *προηγείται* του ρεύματος κατά $\phi = 53°$, επομένως

$$v = V\cos(\omega t + \phi)$$
$$= (50 \text{ V})\cos\left[(10\,000 \text{ rad/s})t + \left(\frac{2\pi \text{ rad}}{360°}\right)(53°)\right]$$
$$= (50 \text{ V})\cos[(10\,000 \text{ rad/s})t + 0{,}93 \text{ rad}]$$

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ: Στο **Σχ. 31.15** παρουσιάζονται τα γραφήματα των τεσσάρων τάσεων συναρτήσει του χρόνου. Η τάση του πηνίου είναι μεγαλύτερου πλάτους από αυτήν του πυκνωτή, γιατί $X_L > X_C$. Η *στιγμιαία* τάση v της πηγής είναι πάντα ίση με το άθροισμα των στιγμιαίων τάσεων v_R, v_L και v_C. Μπορείτε να το επαληθεύσετε μετρώντας τις τάσεις που δίνονται στο γράφημα για διάφορες χρονικές στιγμές t.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 31.6 ΙΣΧΥΣ ΣΕ ΣΤΕΓΝΩΤΗΡΑ ΜΑΛΛΙΩΝ

Ένας ηλεκτρικός στεγνωτήρας μαλλιών (σεσουάρ) έχει ονομαστική ισχύ 1500 W (*μέση* ισχύς) στα 120 V (τάση *rms*). Υπολογίστε (a) την αντίσταση, (b) την ενεργό τιμή του ρεύματος, και (c) τη μέγιστη στιγμιαία ισχύ. Υποθέστε ότι ο στεγνωτήρας μαλλιών είναι ιδανικός αντιστάτης. (Η θερμαινόμενη ηλεκτρική αντίσταση συμπεριφέρεται ως αντιστάτης.)

ΛΥΣΗ

ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ και ΚΑΤΑΣΤΡΩΣΗ: Μας δίνεται η $P_{av} = 1500$ W και η $V_{rms} = 120$ V. Οι ζητούμενες μεταβλητές μας είναι η αντίσταση R, η ενεργός τιμή του ρεύματος I_{rms} και η μέγιστη τιμή p_{max} της στιγμιαίας ισχύος p. Επιλύουμε την Εξ. (31.29) ώστε να βρούμε την R, την Εξ. (31.28) ώστε να βρούμε το I_{rms} από τη V_{rms} και την P_{av} και την Εξ. (31.30) ώστε να βρούμε την p_{max}.

ΕΠΙΛΥΣΗ:
(a) Από την Εξ. (31.29), η αντίσταση είναι

$$R = \frac{V_{rms}^2}{P_{av}} = \frac{(120 \text{ V})^2}{1500 \text{ W}} = 9{,}6\ \Omega$$

(b) Από την Εξ. (31.28),

$$I_{rms} = \frac{P_{av}}{V_{rms}} = \frac{1500 \text{ W}}{120 \text{ V}} = 12{,}5 \text{ A}$$

(c) Για ιδανικό αντιστάτη, η τάση και το ρεύμα είναι σε φάση και η γωνία φάσης ϕ είναι μηδέν. Επομένως, από την Εξ. (31.30), η στιγμιαία ισχύς είναι $p = VI\cos^2\omega t$ και η μέγιστη στιγμιαία ισχύς είναι $p_{max} = VI$. Από την Εξ. (31.27), αυτή είναι η διπλάσια της μέσης ισχύος P_{av}, οπότε

$$p_{max} = VI = 2P_{av} = 2(1500 \text{ W}) = 3000 \text{ W}$$

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ: Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την Εξ. (31.7) για να επιβεβαιώσουμε το αποτέλεσμά μας του ερωτήματος (b): $I_{rms} = V_{rms}/R = (120 \text{ V})/(9{,}6\ \Omega) = 12{,}5$ A. Σημειώστε ότι ορισμένοι αδίστακτοι κατασκευαστές στερεοφωνικών ενισχυτών διαφημίζουν τη *μέγιστη* ισχύ εξόδου αντί της, χαμηλότερης, μέσης τιμής.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 31.7 ΙΣΧΥΣ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ *L-R-C* ΣΕ ΣΕΙΡΑ

Για το κύκλωμα *L-R-C* σε σειρά του Παραδ. 31.4, (a) υπολογίστε τον συντελεστή ισχύος, και (b) υπολογίστε τη μέση ισχύ που παρέχεται στο πλήρες κύκλωμα και σε κάθε στοιχείο του χωριστά.

ΛΥΣΗ

ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ και ΚΑΤΑΣΤΡΩΣΗ: Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τα αποτελέσματα του Παραδ. 31.4. Ο συντελεστής ισχύος ισούται με το συνημίτονο της φασικής γωνίας ϕ· χρησιμοποιούμε την Εξ. (31.3) για να βρούμε την παρεχόμενη μέση ισχύ συναρτήσει της ϕ και των πλατών της τάσης και του ρεύματος.

ΕΠΙΛΥΣΗ: (a) Ο συντελεστής ισχύος είναι $\cos\phi = \cos 53° = 0{,}60$.
(b) Από την Εξ. (31.31),

$$P_{av} = \tfrac{1}{2}VI\cos\phi = \tfrac{1}{2}(50\ \text{V})(0{,}10\ \text{A})(0{,}60) = 1{,}5\ \text{W}$$

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ: Αν και η P_{av} είναι η μέση ισχύς που παρέχεται στον συνδυασμό των *L-R-C*, το σύνολο αυτής της ισχύος καταναλώνεται στον *αντιστάτη*. Καθώς δείχνουν τα Σχ. 31.16b και 31.16c, η μέση ισχύς που παρέχεται σε ιδανικό πηνίο ή ιδανικό πυκνωτή είναι πάντοτε μηδέν.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 31.8 ΣΥΝΤΟΝΙΖΟΝΤΑΣ ΕΝΑ ΡΑΔΙΟΦΩΝΟ

Το κύκλωμα σε σειρά του **Σχ. 31.20** μοιάζει με τις διατάξεις που χρησιμοποιούνται σε κυκλώματα συντονισμού των ραδιοφώνων. Συνδέεται στα άκρα πηγής εναλλασσόμενου ρεύματος, σταθερής ενεργού τιμής 1,0 V. (a) Βρείτε τη συχνότητα συντονισμού. Στη συχνότητα συντονισμού βρείτε (b) την επαγωγική άεργη αντίσταση X_L, τη χωρητική άεργη αντίσταση X_C και τη σύνθετη αντίσταση Z· (c) την ενεργό τιμή του ρεύματος I_{rms}· (d) την ενεργό τιμή της τάσης στα άκρα κάθε στοιχείου του κυκλώματος.

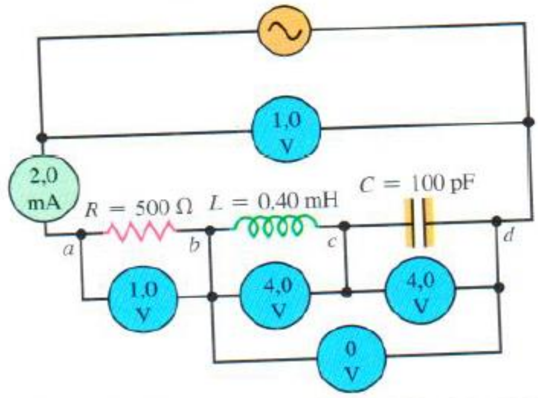
ΛΥΣΗ

ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ και ΚΑΤΑΣΤΡΩΣΗ: Το Σχ. 31.20 δείχνει κύκλωμα *L-R-C* σε σειρά, που διαθέτει ιδανικούς μετρητές για τη μέτρηση της ενεργού τιμής του ρεύματος και ενεργού τάσης, που είναι οι ζητούμενες μεταβλητές μας. Η Εξ. (31.32) δίνει τη σχέση για τη γωνιακή συχνότητα συντονισμού ω_0, από την οποία βρίσκουμε τη συχνότητα συντονισμού f_0. Χρησιμοποιούμε τις Εξ. (31.12) και (31.18) ώστε να βρούμε τις X_L και X_C, οι οποίες κατά τον συντονισμό είναι ίσες· σε συνθήκες συντονισμού, από την Εξ. (31.23), έχουμε ότι $Z = R$. Χρησιμοποιούμε τις Εξ. (31.7), (31.13) και (31.19) ώστε να βρούμε τις τάσεις στα άκρα των στοιχείων του κυκλώματος.

ΕΠΙΛΥΣΗ: (a) Οι τιμές των ω_0 και f_0 είναι

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \frac{1}{\sqrt{(0{,}40 \times 10^{-3}\ \text{H})(100 \times 10^{-12}\ \text{F})}}$$

31.20 Κύκλωμα συντονισμού ραδιοφώνου κατά τον συντονισμό. Οι κύκλοι δηλώνουν τα ρεύματα και τις τάσεις rms.



$$= 5{,}0 \times 10^6\ \text{rad/s}$$

$$f_0 = 8{,}0 \times 10^5\ \text{Hz} = 800\ \text{kHz}$$

Αυτή η συχνότητα αντιστοιχεί στο χαμηλό τμήμα της ραδιοφω-νικής ζώνης AM.

(b) Στη συχνότητα αυτή,

$$X_L = \omega L = (5{,}0 \times 10^6\ \text{rad/s})(0{,}40 \times 10^{-3}\ \text{H}) = 2000\ \Omega$$

συνεχίζεται

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{(5{,}0 \times 10^6\ \text{rad/s})(100 \times 10^{-12}\ \text{F})} = 2000\ \Omega$$

Αφού, όπως προαναφέραμε, κατά τον συντονισμό ισχύει $X_L = X_C$, τότε $Z = R = 500\ \Omega$.

(c) Από την Εξ. (31.26) η ενεργός τιμή της έντασης του ρεύματος κατά τον συντονισμό είναι

$$I_{rms} = \frac{V_{rms}}{Z} = \frac{V_{rms}}{R} = \frac{1{,}0\ \text{V}}{500\ \Omega} = 0{,}0020\ \text{A} = 2{,}0\ \text{mA}$$

(d) Η διαφορά δυναμικού rms στα άκρα του αντιστάτη είναι

$$V_{R\text{-rms}} = I_{rms}R = (0{,}0020\ \text{A})(500\ \Omega) = 1{,}0\ \text{V}$$

Οι ενεργές διαφορές δυναμικού στα άκρα του πηνίου και του πυκνωτή είναι

$$V_{L\text{-rms}} = I_{rms}X_L = (0{,}0020\ \text{A})(2000\ \Omega) = 4{,}0\ \text{V}$$

$$V_{C\text{-rms}} = I_{rms}X_C = (0{,}0020\ \text{A})(2000\ \Omega) = 4{,}0\ \text{V}$$

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ: Οι διαφορές δυναμικού στα άκρα του πηνίου και του πυκνωτή έχουν ίσες ενεργές τιμές και πλάτη, αλλά είναι εκτός φάσης κατά 180°, με αποτέλεσμα το άθροισμά τους να είναι μηδέν σε κάθε χρονική στιγμή. Σημειώστε επίσης ότι κατά τον συντονισμό η $V_{R\text{-rms}}$ ισούται με την τάση της πηγής V_{rms}, ενώ σε αυτό το παράδειγμα η $V_{L\text{-rms}}$ καθώς και η $V_{C\text{-rms}}$ είναι σημαντικά *μεγαλύτερες* από τη V_{rms}.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 31.9 «ΞΥΠΝΑ ΚΑΙ ΜΥΡΙΣΕ (ΤΟΝ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗ)!»

Μια φίλη επιστρέφει στις Ηνωμένες Πολιτείες από την Ευρώπη φέρνοντας μια καφετιέρα ισχύος 960 W, σχεδιασμένη να λειτουργεί σε δίκτυο τάσης 240 V. (a) Τι μπορεί να κάνει ώστε να λειτουργήσει η καφετιέρα στα 120 V; (b) Πόσο ρεύμα θα τραβήξει από τη γραμμή των 120 V; (c) Πόση είναι η αντίσταση της καφετιέρας; (Οι τάσεις δίνονται σε τιμές rms.)

ΛΥΣΗ

ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ και ΚΑΤΑΣΤΡΩΣΗ: Η φίλη μας χρειάζεται έναν μετασχηματιστή ανύψωσης τάσης ώστε να μετασχηματίσει την τάση των 120 V στα 240 V, που απαιτούνται για τη λειτουργία της καφετιέρας. Χρησιμοποιούμε την Εξ. (31.35) για να προσδιορίσουμε τον λόγο των σπειρών N_2/N_1, $P_{av} = V_{rms} I_{rms}$ ώστε να βρούμε το ρεύμα που αντλεί ο αντιστάτης και την Εξ. (31.37) για να υπολογίσουμε την αντίσταση.

ΕΠΙΛΥΣΗ: (a) Για να πάρουμε τάση $V_2 = 240$ V από τάση $V_1 = 120$ V, ο απαιτούμενος λόγος των σπειρών είναι $N_2/N_1 = V_2/V_1 =$ (240 V)/(120 V) = 2. Δηλαδή το δευτερεύον πηνίο (στο οποίο συνδέεται η καφετιέρα) θα πρέπει να διαθέτει διπλάσιο αριθμό σπειρών από το πρωτεύον πηνίο (που συνδέεται στη γραμμή τροφοδοσίας 120 V).

(b) Βρίσκουμε την ενεργό ένταση I_1 στο πρωτεύον των 120 V, χρησιμοποιώντας την $P_{av} = V_1 I_1$, όπου P_{av} η μέση ισχύς την οποία αντλεί η καφετιέρα και άρα η ισχύς με την οποία την τροφοδοτεί η παροχή των 120 V. (Υποθέτουμε ότι δεν χάνεται ενέργεια στον μετασχηματιστή.) Επομένως, $I_1 = P_{av}/V_1 =$ (960 W)/(240 V) = 4,0 A.

(c) Έχουμε ότι $V_1 = 120$ V, $I_1 = 0{,}8$ A και $N_2/N_1 = 2$, επομένως

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

Από την Εξ. (31.37),

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

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ: Ως επαλήθευση $V_2/R =$ (240 V)/(60 Ω) = 4,0 A = I_2, δηλαδή η ίδια τιμή όπως και προηγουμένως. Μπορείτε επίσης να ελέγξετε αυτό το αποτέλεσμα για την τιμή του R χρησιμοποιώντας την έκφραση $P_{av} = V_2^2/R$ για την ισχύ την οποία απαιτεί η καφετιέρα.