contém dois enrolamentos: o enrolamento primário, com N_p espiras, e o enrolamento secundário, com N_s espiras. Se o enrolamento primário é ligado a um gerador de corrente alternada, as tensões no primário e no secundário estão relacionadas pela equação

$$V_s = V_p \frac{N_s}{N_p} \quad \text{(transformação da tensão).} \qquad (31\text{-}79)$$

As correntes nos enrolamentos estão relacionadas pela equação

$$I_s = I_p \frac{N_p}{N_s} \quad \text{(transformação da corrente),} \qquad (31\text{-}80)$$

e a resistência equivalente do circuito secundário, do ponto de vista do gerador, é dada por

$$R_{eq} = \left(\frac{N_p}{N_s}\right)^2 R, \qquad (31\text{-}82)$$

em que R é a carga resistiva do circuito secundário. A razão N_p/N_s é chamada de *relação de espiras*.

Perguntas

1 A Fig. 31-19 mostra três circuitos LC oscilantes com indutores e capacitores iguais. Coloque os circuitos na ordem decrescente do tempo necessário para que os capacitores se descarreguem totalmente.

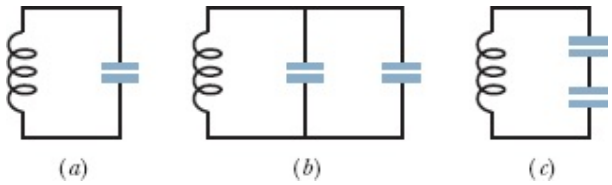


Figura 31-19 Pergunta 1.

2 A Fig. 31-20 mostra os gráficos da tensão v_C do capacitor em dois circuitos LC que contêm capacitâncias iguais e têm a mesma carga máxima Q. (a) A indutância L do circuito 1 é maior, menor ou igual à do circuito 2? (b) A corrente I no circuito 1 é maior, menor ou igual à corrente no circuito 2?

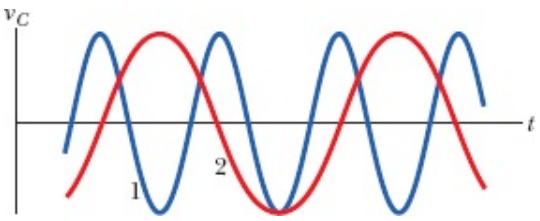


Figura 31-20 Pergunta 2.

3 Um capacitor carregado e um indutor são ligados para formar um circuito fechado no instante $t = 0$. Em termos do período T das oscilações resultantes, determine o tempo necessário para que as seguintes

grandezas passem por um máximo pela primeira vez: (a) U_B, (b) o fluxo magnético no indutor, (c) di/dt e (d) a força eletromotriz do indutor.

4 Quais valores da constante de fase ϕ da Eq. 31-12 permitem que as situações (*a*), (*c*), (*e*) e (*g*) da Fig. 31-1 ocorram no instante $t = 0$?

5 A curva *a* da Fig. 31-21 mostra a impedância Z de um circuito RC excitado em função da frequência angular de excitação ω_d. As outras duas curvas são semelhantes, mas foram traçadas para valores diferentes da resistência R e da capacitância C. Coloque as três curvas na ordem decrescente do valor correspondente de R.

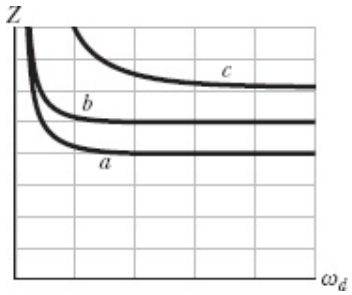


Figura 31-21 Pergunta 5.

6 As cargas dos capacitores de três circuitos LC oscilantes variam segundo as equações (1) $q = 2 \cos 4t$, (2) $q = 4 \cos t$, (3) $q = \cos 4t$ (com q em coulombs e t em segundos). Coloque os circuitos na ordem decrescente (a) da amplitude da corrente e (b) do período das oscilações.

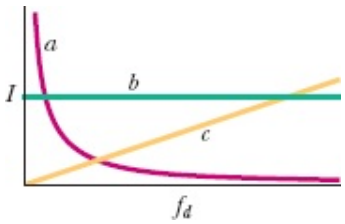


Figura 31-22 Pergunta 7.

7 Uma fonte de força eletromotriz alternada é conectada sucessivamente a um resistor, um capacitor e um indutor. Depois que a fonte é conectada, faz-se variar a frequência de excitação f_d, e a amplitude I da corrente resultante é medida e plotada. Estabeleça a correspondência entre as curvas da Fig. 31-22 e os dispositivos.

8 Os valores da constante de fase ϕ para quatro circuitos RLC série com excitação senoidal são (1) -15^o, (2) 35^o, (3) $\pi/3$ rad e (4) $-\pi/6$ rad. (a) Em que circuito(s) a carga é mais capacitiva que indutiva? (b) Em que circuito(s) a corrente está atrasada em relação à força eletromotriz?

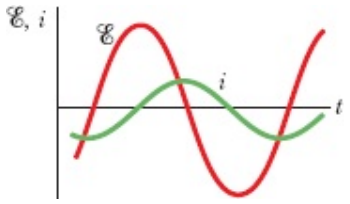


Figura 31-23 Pergunta 9.

9 A Fig. 31-23 mostra a corrente i e a força eletromotriz de excitação $\mathscr{E}$ de um circuito *RLC* série. (a) A constante de fase é positiva ou negativa? (b) Para aumentar a potência transferida para a carga resistiva, é preciso aumentar ou diminuir o valor de L? (c) A outra possibilidade é aumentar ou diminuir o valor de C?

10 A Fig. 31-24 mostra três situações como as da Fig. 31-15. (a) A frequência angular de excitação é maior, menor ou igual à frequência angular de ressonância do circuito na situação 1? (b) Responda à mesma pergunta para a situação 2. (c) Responda à mesma pergunta para a situação 3.

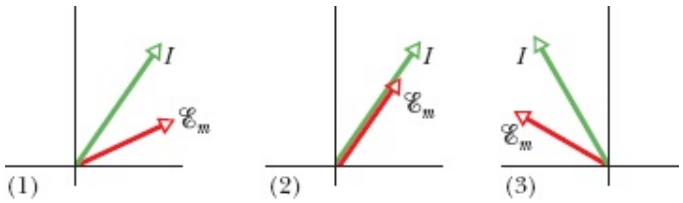


Figura 31-24 Pergunta 10.

11 A Fig. 31-25 mostra a corrente i e a força eletromotriz aplicada $\mathscr{E}$ para um circuito *RLC* série. (a) A curva da corrente é deslocada para a esquerda ou para a direita em relação à curva da força eletromotriz e a amplitude da curva é maior ou menor se o valor de L aumenta ligeiramente? (b) Responda às mesmas perguntas para o valor de C. (c) Responda às mesmas perguntas para o valor de ω_d.

12 A Fig. 31-25 mostra a corrente i e a força eletromotriz $\mathscr{E}$ em um circuito *RLC* série. (a) A corrente está adiantada ou atrasada em relação à força eletromotriz? (b) A carga do circuito é mais capacitiva que indutiva ou mais indutiva que capacitiva? (c) A frequência angular ω_d da força eletromotriz é maior ou menor que a frequência angular natural ω?

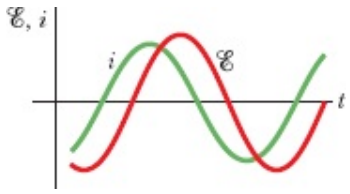


Figura 31-25 Perguntas 11 e 12.

13 O diagrama fasorial da Fig. 31-26 corresponde a uma fonte de força eletromotriz alternada ligada a um resistor, capacitor ou indutor? (b) Se a velocidade angular dos fasores aumentar, o comprimento do fasor que representa a corrente deve aumentar ou diminuir para manter a escala do desenho?

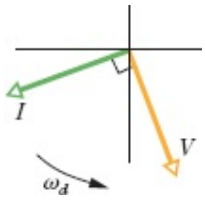


Figura 31-26 Pergunta 13.

Problemas

. - ... O número de pontos indica o grau de dificuldade do problema.

Informações adicionais disponíveis em *O Circo Voador da Física* de Jearl Walker, LTC, Rio de Janeiro, 2008.

Módulo 31-1 Oscilações em um Circuito *LC*

·1 Um circuito *LC* oscilante é formado por um indutor de 75,0 mH e um capacitor de 3,60 μF. Se a carga máxima do capacitor é 2,90 μC, determine (a) a energia total presente no circuito e (b) a corrente máxima.

·2 A frequência de oscilação de um circuito *LC* é 200 kHz. No instante $t = 0$, a placa *A* do capacitor está com a carga positiva máxima. Determine em que instante $t > 0$ (a) a placa estará novamente, pela primeira vez, com a carga positiva máxima, (b) a outra placa do capacitor estará pela primeira vez com a carga positiva máxima e (c) o indutor estará pela primeira vez com o campo magnético máximo.

·3 Em um circuito *LC* oscilante, a energia total é convertida de energia elétrica no capacitor em energia magnética no indutor em 1,50 μs. Determine (a) o período das oscilações e (b) a frequência das oscilações. (c) Se a energia magnética é máxima em um dado instante, quanto tempo é necessário para que ela seja máxima novamente?

·4 Qual é a capacitância de um circuito *LC* oscilante se a carga máxima do capacitor é 1,60 μC e a energia total é 140 μJ?

·5 Em um circuito *LC* oscilante, $L = 1{,}10$ mH e $C = 4{,}00$ μF. A carga máxima do capacitor é 3,00 μC. Determine a corrente máxima.

·6 Um corpo de 0,50 kg oscila em movimento harmônico simples, preso a uma mola que, quando alongada de 2,00 mm em relação à posição de equilíbrio, possui uma força restauradora de 8,0 N. Determine (a) a frequência angular de oscilação, (b) o período de oscilação e (c) a capacitância de um circuito *LC* com o mesmo período, se $L = 5{,}0$ H.

·7 A energia de um circuito *LC* oscilante que contém um indutor de 1,25 H é 5,70 μJ. A carga máxima do capacitor é 175 μC. Para um sistema mecânico com o mesmo período, determine (a) a massa, (b) a

constante da mola, (c) o deslocamento máximo e (d) a velocidade escalar máxima.

·8 Um circuito com uma única malha é formado por indutores (L_1, L_2, ...), capacitores (C_1, C_2, ...) e resistores (R_1, R_2, ...), como na Fig. 31-27*a*. Mostre que, qualquer que seja a sequência de componentes no circuito, o comportamento do circuito é igual ao do circuito *LC* simples da Fig. 31-27*b*. (*Sugestão*: Considere a regra das malhas e veja o Problema 47 do Capítulo 30.)

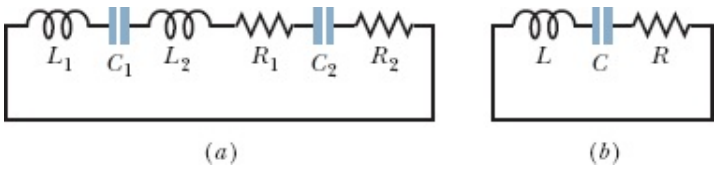


Figura 31-27 Problema 8.

·9 Em um circuito *LC* oscilante com $L = 50$ mH e $C = 4{,}0$ μF, a corrente está inicialmente no máximo. Quanto tempo é necessário para que o capacitor se carregue totalmente pela primeira vez?

·10 Osciladores *LC* têm sido usados em circuitos ligados a alto-falantes para criar alguns dos sons da música eletrônica. Que indutância deve ser usada com um capacitor de 6,7 μF para produzir uma frequência de 10 kHz, que fica aproximadamente na metade da faixa de frequências audíveis?

··11 Um capacitor variável, de 10 a 365 pF, e um indutor formam um circuito *LC* de frequência variável usado para sintonizar um receptor de rádio. (a) Qual é a razão entre a maior frequência e a menor frequência natural que pode ser obtida usando este capacitor? Se o circuito deve ser usado para obter frequências entre 0,54 MHz e 1,60 MHz, a razão calculada no item (a) é grande demais. A faixa de frequências pode ser modificada ligando um capacitor em paralelo com o capacitor variável. (b) Qual deve ser o valor da capacitância adicional para que a faixa de frequências seja a faixa desejada? (c) Qual deve ser a indutância do indutor do circuito?

··12 Em um circuito *LC* oscilante, quando uma energia igual a 75% da energia total está armazenada no campo magnético do indutor, determine (a) a fração da carga máxima que está armazenada no capacitor e (b) a fração da corrente máxima que está atravessando o indutor.

··13 Em um circuito *LC* oscilante, $L = 3{,}00$ mH e $C = 2{,}70$ μH. No instante $t = 0$, a carga do capacitor é zero e a corrente é 2,00 A. (a) Qual é a carga máxima do capacitor? (b) Em que instante de tempo $t > 0$ a taxa com a qual a energia é armazenada no capacitor é máxima pela primeira vez? (c) Qual é o valor da taxa máxima?

··14 Para montar um circuito *LC* oscilante, você dispõe de um indutor de 10 mH, um capacitor de 5,0 μF e um capacitor de 2,0 μF. Determine (a) a menor frequência, (b) a segunda menor frequência, (c) a segunda maior frequência e (d) a maior frequência de oscilação que pode ser conseguida combinando esses componentes.

··15 Um circuito *LC* oscilante formado por um capacitor de 1,0 nF e um indutor de 3,0 mH tem uma tensão máxima de 3,0 V. Determine (a) a carga máxima do capacitor, (b) a corrente máxima do circuito e

(c) a energia máxima armazenada no campo magnético do indutor.

··16 Um indutor é ligado a um capacitor cuja capacitância pode ser ajustada por meio de um botão. Queremos que a frequência desse circuito *LC* varie linearmente com o ângulo de rotação do botão, de 2×10^5 Hz até 4×10^5 Hz, quando o botão gira de 180°. Se $L = 1{,}0$ mH, plote a capacitância desejada *C* em função do ângulo de rotação do botão.

··17 Na Fig. 31-28, $R = 14{,}0\ \Omega$, $C = 6{,}20\ \mu$F, $L = 54{,}0$ mH e a fonte ideal tem uma força eletromotriz $\mathscr{E} = 34{,}0$ V. A chave é mantida na posição *a* por um longo tempo e depois é colocada na posição *b*. Determine (a) a frequência e (b) a amplitude das oscilações resultantes.

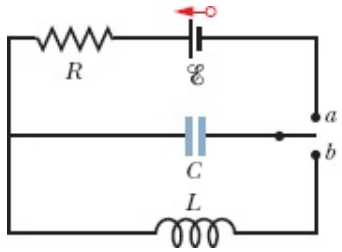


Figura 31-28 Problema 17.

··18 Em um circuito *LC* oscilante, a amplitude da corrente é 7,50 mA, a amplitude da tensão é 250 mV e a capacitância é 220 nF. Determine (a) o período de oscilação, (b) a energia máxima armazenada no capacitor, (c) a energia máxima armazenada no indutor, (d) a taxa máxima de variação da corrente e (e) a taxa máxima de aumento da energia do indutor.

··19 Use a regra das malhas para obter a equação diferencial de um circuito *LC* (Eq. 31-11).

··20 Em um circuito *LC* oscilante no qual $C = 4{,}00\ \mu$F, a diferença de potencial máxima entre os terminais do capacitor durante as oscilações é 1,50 V e a corrente máxima no indutor é 50,0 mA. Determine (a) a indutância *L* e (b) a frequência das oscilações. (c) Qual é o tempo necessário para que a carga do capacitor aumente de zero até o valor máximo?

··21 Em um circuito *LC* oscilante com $C = 64{,}0\ \mu$F, a corrente é dada por $i = (1{,}60)\ \text{sen}(2500t + 0{,}680)$, em que *t* está em segundos, *i* está em ampères e a constante de fase está em radianos. (a) Quanto tempo após o instante $t = 0$ a corrente atinge o valor máximo? (b) Qual é o valor da indutância *L*? (c) Qual é a energia total?

··22 Um circuito série formado por uma indutância L_1 e uma capacitância C_1 oscila com uma frequência angular ω. Um segundo circuito série, contendo uma indutância L_2 e uma capacitância C_2, oscila com a mesma frequência angular. Qual é, em termos de ω, a frequência angular de oscilação de um circuito série formado pelos quatro componentes? Despreze a resistência do circuito. (*Sugestão*: Use as expressões da capacitância equivalente e da indutância equivalente; veja o Módulo 25-4 e o Problema 47 do Capítulo 30.)

··23 Em um circuito *LC* oscilante, $L = 25{,}0$ mH e $C = 7{,}80\ \mu$F. No instante $t = 0$, a corrente é 9,20 mA, a

carga do capacitor é 3,80 μC e o capacitor está sendo carregado. Determine (a) a energia total do circuito, (b) a carga máxima do capacitor e (c) a corrente máxima do circuito. (d) Se a carga do capacitor é dada por $q = Q\cos(\omega t + \phi)$, qual é o ângulo de fase ϕ? Suponha que os dados são os mesmos, exceto pelo fato de que o capacitor está sendo descarregado no instante $t = 0$. Qual é o valor de ϕ nesse caso?

Módulo 31-2 Oscilações Amortecidas em um Circuito *RLC*

··24 Um circuito de uma única malha é formado por um resistor de 7,20 Ω, um indutor de 12,0 H e um capacitor de 3,20 μF. Inicialmente, o capacitor possui uma carga de 6,20 μC e a corrente é zero. Calcule a carga do capacitor após N ciclos completos (a) para $N = 5$, (b) para $N = 10$ e (c) para $N = 100$.

··25 Que resistência R deve ser ligada em série com uma indutância L = 220 mH e uma capacitância C = 12,0 μF para que a carga máxima do capacitor caia para 99,0% do valor inicial após 50,0 ciclos? (Suponha que $\omega' \approx \omega$.)

··26 Em um circuito *RLC* série oscilante, determine o tempo necessário para que a energia máxima presente no capacitor durante uma oscilação diminua para metade do valor inicial. Suponha que $q = Q$ em $t = 0$.

···27 Em um circuito *RLC* oscilante, mostre que $\Delta U/U$, a fração da energia perdida por ciclo de oscilação, é dada com boa aproximação por $2\pi R/\omega L$. A grandeza $\omega L/R$ é chamada de Q do circuito (Q significa *qualidade*). Um circuito de alto Q possui uma baixa resistência e uma baixa perda de energia (= $2\pi/Q$) por ciclo.

Módulo 31-3 Oscilações Forçadas em Três Circuitos Simples

·28 Um capacitor de 1,50 μF é ligado, como na Fig. 31-10, a um gerador de corrente alternada com $\mathscr{E}_m$ = 30,0 V. Determine a amplitude da corrente alternada resultante se a frequência da força eletromotriz for (a) 1,00 kHz e (b) 8,00 kHz.

·29 Um indutor de 50,0 mH é ligado, como na Fig. 31-12, a um gerador de corrente alternada com $\mathscr{E}_m$ = 30,0 V. Determine a amplitude da corrente alternada resultante se a frequência da força eletromotriz for (a) 1,00 kHz e (b) 8,00 kHz.

·30 Um resistor de 50,0 Ω é ligado, como na Fig. 31-8, a um gerador de corrente alternada com $\mathscr{E}_m$ = 30,0 V. Determine a amplitude da corrente alternada resultante se a frequência da força eletromotriz for (a) 1,00 kHz e (b) 8,00 kHz.

·31 (a) Para que frequência um indutor de 6,0 mH e um capacitor de 10 μF têm a mesma reatância? (b) Qual é o valor da reatância? (c) Mostre que a frequência é a frequência natural de um circuito oscilador com os mesmos valores de L e C.

··32 A força eletromotriz de um gerador de corrente alternada é dada por $\mathscr{E} = \mathscr{E}_m \operatorname{sen} \omega_d t$, com $\mathscr{E}_m$ = 25,0 V e ω_d = 377 rad/s. O gerador é ligado a um indutor de 12,7 H. (a) Qual é o valor máximo da corrente? (b) Qual é a força eletromotriz do gerador no instante em que a corrente é máxima? (c) Qual é a corrente

no instante em que a força eletromotriz do gerador é −12,5 V e está aumentando em valor absoluto?

··33 Um gerador de corrente alternada tem uma força eletromotriz = $\mathscr{E}_m \operatorname{sen}(\omega_d t - \pi/4)$, em que $\mathscr{E}_m$ = 30,0 V e ω_d = 350 rad/s. A corrente produzida no circuito ao qual o gerador está ligado é $i(t) = I \operatorname{sen}(\omega_d t - 3\pi/4)$, em que I = 620 mA. Em que instante após t = 0 (a) a força eletromotriz do gerador atinge pela primeira vez o valor máximo e (b) a corrente atinge pela primeira vez o valor máximo? (c) O circuito contém um único componente além do gerador. Trata-se de um capacitor, de um indutor ou de um resistor? Justifique sua resposta. (d) Qual é o valor da capacitância, da indutância ou da resistência desse componente?

··34 Um gerador de corrente alternada com uma força eletromotriz $\mathscr{E} = \mathscr{E}_m \operatorname{sen} \omega_d t$, em que $\mathscr{E}_m$ = 25,0 V e ω_d = 377 rad/s, é ligado a um capacitor de 4,15 μF. (a) Qual é o valor máximo da corrente? (b) Qual é a força eletromotriz do gerador no instante em que a corrente é máxima? (c) Qual é a corrente quando a força eletromotriz é −12,5 e está aumentando em valor absoluto?

Módulo 31-4 O Circuito *RLC* Série

·35 Uma bobina com 88 mH de indutância e resistência desconhecida e um capacitor de 0,94 μF são ligados em série com um gerador cuja frequência é 930 Hz. Se a diferença de fase entre a tensão aplicada pelo gerador e a corrente no circuito é 75°, qual é a resistência da bobina?

·36 Uma fonte alternada, de frequência variável, um capacitor de capacitância C e um resistor de resistência R são ligados em série. A Fig. 31-29 mostra a impedância Z do circuito em função da frequência angular de excitação ω_d. A curva possui uma assíntota de 500 Ω e a escala do eixo horizontal é definida por ω_{ds} = 300 rad/s. A figura mostra também a reatância X_C do capacitor em função de ω_d. Determine o valor (a) de R e (b) de C.

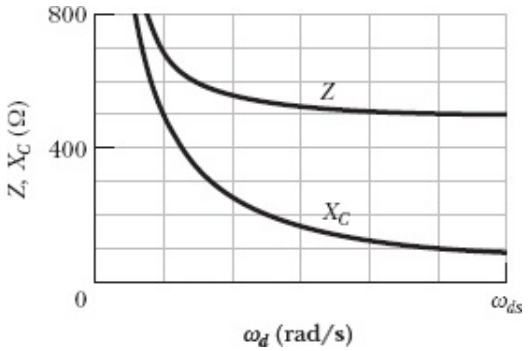


Figura 31-29 Problema 36.

·37 Um motor elétrico possui uma resistência efetiva de 32,0 Ω e uma reatância indutiva de 45,0 Ω quando está em carga. A amplitude da tensão da fonte alternada é 420 V. Calcule a amplitude da corrente.

·38 A Fig. 31-30 mostra a amplitude I da corrente em função da frequência angular de excitação ω_d de um circuito *RLC*. A escala do eixo vertical é definida por I_s = 4,00 A. A indutância é 200 μH e a amplitude da força eletromotriz é 8,0 V. Determine o valor (a) de C e (b) de R.

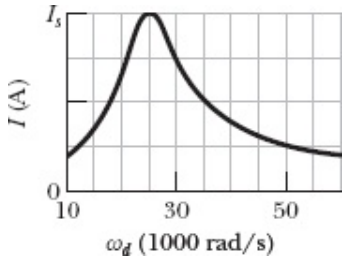


Figura 31-30 Problema 38.

·39 Remova o indutor do circuito da Fig. 31-7 e faça $R = 200\ \Omega$, $C = 15{,}0\ \mu F$, $f_d = 60{,}0$ Hz e $\mathscr{E}_m = 36{,}0$ V. Determine o valor (a) de Z, (b) de ϕ e (c) de I. (d) Desenhe um diagrama fasorial.

·40 Uma fonte alternada com uma força eletromotriz de 6,00 V e com um ângulo de fase de 30,0° é ligada a um circuito *RLC* série. Quando a diferença de potencial entre os terminais do capacitor atinge o valor máximo positivo de 5,00 V, qual é a diferença de potencial entre os terminais do indutor (incluindo o sinal)?

·41 Na Fig. 31-7, faça $R = 200\ \Omega$, $C = 70{,}0\ \mu F$, $L = 230$ mH, $f_d = 60{,}0$ Hz e $\mathscr{E}_m = 36{,}0$ V. Determine o valor (a) de Z, (b) de ϕ e (c) de I. (d) Desenhe um diagrama fasorial.

·42 Uma fonte de corrente alternada, de frequência variável, um indutor de indutância L e um resistor de resistência R são ligados em série. A Fig. 31-31 mostra a impedância Z do circuito em função da frequência de excitação ω_d, com a escala do eixo horizontal definida por $\omega_{ds} = 1600$ rad/s. A figura mostra também a reatância X_L do indutor em função de ω_d. Determine o valor (a) de R e (b) de L.

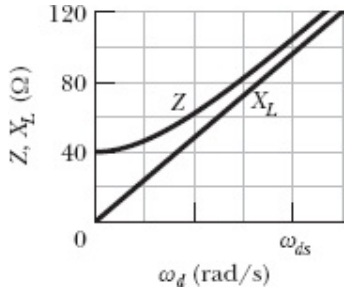


Figura 31-31 Problema 42.

·43 Remova o capacitor do circuito da Fig. 31-7 e faça $R = 200\ \Omega$, $L = 230$ mH, $f_d = 60{,}0$ Hz e $\mathscr{E}_m = 36{,}0$ V. Determine o valor (a) de Z, (b) de ϕ e (c) de I. (d) Desenhe um diagrama fasorial.

··44 Um gerador de corrente alternada com $\mathscr{E}_m = 220$ V e $f_d = 400$ Hz produz oscilações em um circuito *RLC* série com $R = 220\ \Omega$, $L = 150$ mH e $C = 24{,}0\ \mu F$. Determine (a) a reatância capacitiva X_C, (b) a impedância Z e (c) a amplitude I da corrente. Um segundo capacitor com a mesma capacitância é ligado em série com os outros componentes. Determine se o valor de (d) X_C, (e) Z e (f) I aumenta, diminui ou permanece o mesmo.

··45 (a) Em um circuito *RLC*, a amplitude da tensão do indutor pode ser maior que a força eletromotriz do gerador? (b) Considere um circuito *RLC* com $\mathscr{E}_m = 10$ V, $R = 10\ \Omega$, $L = 1{,}0$ H e $C = 1{,}0\ \mu F$. Determine

a amplitude da tensão do indutor na frequência de ressonância.

··46 Uma fonte alternada de frequência variável f_d é ligada em série com um resistor de 50,0 Ω e um capacitor de 20,0 μF. A amplitude da força eletromotriz é 12,0 V. (a) Desenhe um diagrama fasorial para o fasor V_R (tensão do resistor) e para o fasor V_C (tensão do capacitor). (b) Para que frequência de excitação f_d os dois fasores têm o mesmo comprimento? Para essa frequência, determine (c) o ângulo de fase em graus, (d) a velocidade angular de rotação dos fasores e (e) a amplitude da corrente.

··47 Um circuito *RLC* como o da Fig. 31-7 tem R = 5,00 Ω, C = 20,0 μF, L = 1,00 H e $\mathscr{E}_m$ = 30,0 V. (a) Para que frequência angular ω_d a amplitude da corrente é máxima, como nas curvas de ressonância da Fig. 31-16? (b) Qual é o valor máximo? (c) Para que frequência angular $\omega_{d1} < \omega_d$ a amplitude da corrente tem metade do valor máximo? (d) Para que frequência angular $\omega_{d2} > \omega_d$ a amplitude da corrente tem metade do valor máximo? (e) Qual é o valor de $(\omega_{d2} - \omega_{d1})/\omega$, a largura de linha relativa a meia altura da curva de ressonância desse circuito?

··48 A Fig. 31-32 mostra um circuito *RLC*, alimentado por um gerador, que possui dois capacitores iguais e duas chaves. A amplitude da força eletromotriz é 12,0 V e a frequência do gerador é 60,0 Hz. Com as duas chaves abertas, a corrente está adiantada 30,9° em relação à tensão. Com a chave S_1 fechada e a chave S_2 aberta, a corrente está adiantada 15,0° em relação à tensão. Com as duas chaves fechadas, a amplitude da corrente é 447 mA. Determine o valor (a) de R, (b) de C e (c) de L.

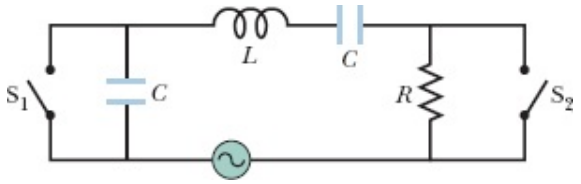


Figura 31-32 Problema 48.

··49 Na Fig. 31-33, um gerador de frequência ajustável é ligado a um circuito formado pela resistência R = 100 Ω, as indutâncias L_1 = 1,70 mH e L_2 = 2,30 mH e as capacitâncias C_1 = 4,00 μF, C_2 = 2,50 μF e C_3 = 3,50 μF. (a) Qual é a frequência de ressonância do circuito? (*Sugestão:* Veja o Problema 47 do Capítulo 30.) Determine o que acontece com a frequência de ressonância (b) quando R aumenta, (c) quando L_1 aumenta e (d) quando C_3 é removido do circuito.

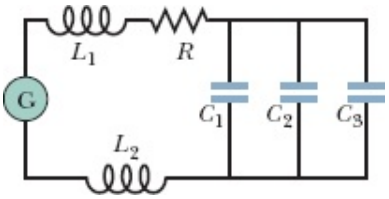


Figura 31-33 Problema 49.

··50 Uma fonte de força eletromotriz alternada, de frequência variável f_d, é ligada em série com um resistor de 80,0 Ω e um indutor de 40,0 mH. A amplitude da força eletromotriz é 6,00 V. (a) Desenhe um

diagrama fasorial para o fasor V_R (a tensão no resistor) e para o fasor V_L (a tensão no indutor). (b) Para que frequência de excitação f_d os dois fasores têm o mesmo comprimento? Para essa frequência de excitação, determine (c) o ângulo de fase em graus, (d) a velocidade angular de rotação dos fasores e (e) a amplitude da corrente.

··51 A largura de linha relativa a meia altura $\Delta\omega_d/\omega$ de uma curva de ressonância, como as que aparecem na Fig. 31-16, é a largura de linha na metade do valor máximo de I dividida pela frequência angular de ressonância. Mostre que $\Delta\omega_d/\omega = R(3C/L)^{1/2}$, em que ω é a frequência angular de ressonância. Observe que a razão $\Delta\omega_d/\omega$ aumenta quando R aumenta, como mostra a Fig. 31-16.

·52 Um voltímetro de CA com alta impedância é ligado sucessivamente aos terminais de um indutor, aos terminais de um capacitor e aos terminais de um resistor em um circuito série ao qual é aplicada uma força eletromotriz alternada de 100 V (rms); nos três casos, o instrumento fornece a mesma leitura em volts. Qual é essa leitura?

Módulo 31-5 Potência em Circuitos de Corrente Alternada

·53 Um aparelho de ar condicionado ligado a uma tomada de 120 V rms é equivalente a uma resistência de 12,0 Ω e uma reatância indutiva de 1,30 Ω ligadas em série. Determine (a) a impedância do aparelho e (b) a potência consumida pelo aparelho.

·54 Qual é o valor máximo de uma tensão alternada cujo valor rms é 100 V?

·55 Que corrente contínua produz a mesma energia térmica, em um resistor, que uma corrente alternada com um valor máximo de 2,60 A?

··56 Um *dimmer* típico, como os que são usados para regular a luminosidade das lâmpadas do palco nos teatros, é composto por um indutor variável L (cuja indutância pode ser ajustada entre zero e $L_{máx}$) ligado em série com uma lâmpada B, como mostra a Fig. 31-34. O circuito é alimentado com uma tensão de 120 V rms, 60 Hz; a lâmpada é de 120 V, 1000 W. (a) Qual deve ser o valor de $L_{máx}$ para que a potência dissipada na lâmpada possa variar entre 200 e 1000 W? Suponha que a resistência da lâmpada é independente da temperatura. (b) É possível usar um resistor variável (ajustável entre zero e $R_{máx}$) em vez de um indutor? (c) Nesse caso, qual deve ser o valor de $R_{máx}$? (d) Por que não se usa esse método?

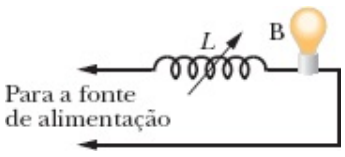


Figura 31-34 Problema 56.

··57 Em um circuito *RLC* como o da Fig. 31-7, suponha que R = 5,00 Ω, L = 60,0 mH, f_d = 60,0 Hz e $\mathscr{E}_m$ = 30,0 V. (a) Para qual valor de capacitância a potência dissipada na resistência é máxima? (b) Para qual valor de capacitância a potência dissipada na resistência é mínima? Determine (c) a dissipação máxima, (d) o ângulo de fase correspondente e (e) o fator de potência correspondente. Determine também (f) a

dissipação mínima, (g) o ângulo de fase correspondente e (h) o fator de potência correspondente.

··58 Mostre que a potência dissipada na resistência R da Fig. 31-35 é máxima quando R é igual à resistência r do gerador de corrente alternada. (Na discussão do texto, supusemos tacitamente que $r = 0$.)

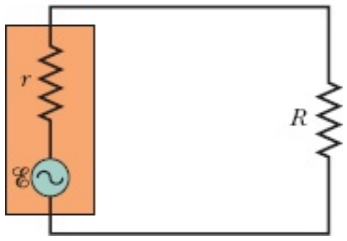


Figura 31-35 Problemas 58 e 66.

··59 Na Fig. 31-7, $R = 15{,}0\ \Omega$, $C = 4{,}70\ \mu F$ e $L = 25{,}0$ mH. O gerador produz uma força eletromotriz com uma tensão rms de 75,0 V e uma frequência de 550 Hz. (a) Qual é a corrente rms? Determine a tensão rms (b) em R, (c) em C, (d) em L, (e) em C e L juntos e (f) em R, C e L juntos. Determine a potência média dissipada (g) em R, (h) em C e (i) em L.

··60 Em um circuito RLC série oscilante, $R = 16{,}0\ \Omega$, $C = 31{,}2\ \mu F$, $L = 9{,}20$ mH e $\mathscr{E} = \mathscr{E}_m \operatorname{sen} \omega_d t$ com $\mathscr{E}_m = 45{,}0$ V e $\omega_d = 3000$ rad/s. No instante $t = 0{,}442$ ms, determine (a) a taxa P_g com a qual a energia está sendo fornecida pelo gerador; (b) a taxa P_C com a qual a energia do capacitor está variando, (c) a taxa P_L com a qual a energia do indutor está variando e (d) a taxa P_R com a qual a energia está sendo dissipada no resistor. (e) A soma de P_C, P_L e P_R é maior, menor ou igual a P_g?

··61 A Fig. 31-36 mostra um gerador de CA ligado aos terminais de uma "caixa-preta". A caixa contém um circuito RLC, possivelmente com mais de uma malha, cujos componentes e ligações são desconhecidos. Medidas realizadas do lado de fora da caixa revelam que

$$\mathscr{E}(t) = (75{,}0\ \text{V}) \operatorname{sen} \omega_d t$$
$$\text{e}\quad i(t) = (1{,}20\ \text{A}) \operatorname{sen}(\omega_d t + 42{,}0°).$$

(a) Qual é o fator de potência? (b) A corrente está adiantada ou atrasada em relação à força eletromotriz? (c) O circuito no interior da caixa é mais indutivo ou mais capacitivo? (d) O circuito no interior da caixa está sendo excitado na frequência de ressonância? (e) Deve haver um capacitor no interior da caixa? (f) Deve haver um indutor no interior da caixa? (g) Deve haver um resistor no interior da caixa? (h) Qual é a potência fornecida à caixa pelo gerador? (i) Por que não é preciso conhecer o valor de ω_d para responder a essas perguntas?

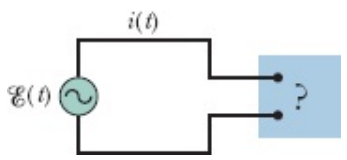


Figura 31-36 Problema 61.

Módulo 31-6 Transformadores

·62 Um gerador fornece 100 V ao enrolamento primário de um transformador, que possui 50 espiras. Se o enrolamento secundário possui 500 espiras, qual é a tensão no secundário?

·63 Um transformador possui 500 espiras no primário e 10 espiras no secundário. (a) Se V_p é 120 V (rms), quanto é V_s, com o secundário em circuito aberto? Se o secundário está ligado a uma carga resistiva de 15 Ω, determine (b) a corrente no primário e (c) a corrente no secundário.

·64 A Fig. 31-37 mostra um *autotransformador*, um componente no qual uma bobina com três terminais é enrolada em um núcleo de ferro. Entre os terminais T_1 e T_2 existem 200 espiras, e entre os terminais T_2 e T_3 existem 800 espiras. Qualquer par de terminais pode ser usado como os terminais do primário, e qualquer par de terminais pode ser usado como os terminais do secundário. Para as escolhas que resultam em um transformador elevador de tensão, determine (a) o menor valor da razão V_s/V_p, (b) o segundo menor valor da razão V_s/V_p e (c) o maior valor da razão V_s/V_p. Para as escolhas que resultam em um transformador abaixador de tensão, determine (d) o menor valor da razão V_s/V_p, (e) o segundo menor valor da razão V_s/V_p e (f) o maior valor da razão V_s/V_p.

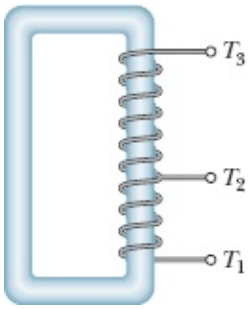


Figura 31-37 Problema 64.

··65 Um gerador de CA alimenta uma carga resistiva em uma fábrica distante por meio de uma linha de transmissão de dois cabos. Na fábrica, um transformador abaixador de tensão reduz a tensão do valor de transmissão V_t (rms) para um valor muito menor que é mais seguro e conveniente para ser usado na fábrica. A resistência da linha de transmissão é 0,30 Ω/cabo e a potência do gerador é 250 kW. Se V_t = 80 kV, determine (a) a queda de tensão ΔV na linha de transmissão e (b) a potência P_d dissipada na linha. Se V_t = 8,0 kV, determine o valor (c) de ΔV e (d) de P_d. Se V_t = 0,80 kV, determine o valor (e) de ΔV e (f) de P_d.

Problemas Adicionais

66 Na Fig. 31-35, suponha que o retângulo da esquerda representa a saída (de alta impedância) de um amplificador de áudio, com r = 1000 Ω. Suponha que R = 10 Ω representa a bobina (de baixa impedância) de um alto-falante. Para que a transferência de energia para a carga R seja máxima, devemos ter $R = r$, o que, nesse caso, não é verdade. Entretanto, os transformadores podem ser usados para "transformar" resistências, fazendo com que estas se comportem eletricamente como se fossem maiores

ou menores do que realmente são. (a) Modifique o circuito da Fig. 31-35 de modo a incluir um transformador entre o amplificador e o alto-falante para casar as impedâncias. (b) Qual deve ser a relação de espiras do transformador?

67 Um gerador de corrente alternada produz uma força eletromotriz $\mathscr{E} = \mathscr{E}_m \operatorname{sen}(\omega_d t - \pi/4)$, em que $\mathscr{E}_m$ = 30,0 V e ω_d = 350 rad/s. A corrente no circuito ligado ao gerador é dada por $i(t) = I \operatorname{sen}(\omega_d t + \pi/4)$, em que I = 620 mA. (a) Em que instante após t = 0 a força eletromotriz atinge o valor máximo pela primeira vez? (b) Em que instante após t = 0 a corrente atinge o valor máximo pela primeira vez? (c) O circuito contém um único componente além do gerador. Trata-se de um capacitor, de um indutor ou de um resistor? Justifique sua resposta. (d) Qual é o valor do componente?

68 Um circuito *RLC* série é excitado por um gerador com uma frequência de 2000 Hz e uma amplitude de 170 V. A indutância é 60,0 mH, a capacitância é 0,400 μF e a resistência é 200 Ω. (a) Qual é a constante de fase em radianos? (b) Qual é a amplitude da corrente?

69 Um gerador com uma frequência de 3000 Hz aplica uma força eletromotriz de 120 V de amplitude a um circuito *RLC* série. A resistência do circuito é 40,0 Ω, a capacitância é 1,60 μF e a indutância é 850 μH. Determine (a) a constante de fase em radianos e (b) a amplitude da corrente. (c) O circuito é mais capacitivo, mais indutivo ou está em ressonância?

70 Um indutor de 45,0 mH possui uma reatância de 1,30 kΩ. (a) Qual é a frequência de operação do circuito? (b) Qual é a capacitância de um capacitor com a mesma reatância na mesma frequência? Se a frequência for multiplicada por dois, qual será a nova reatância (c) do indutor e (d) do capacitor?

71 Um circuito *RLC* é excitado por um gerador com uma força eletromotriz com 80,0 V de amplitude e uma corrente com 1,25 A de amplitude. A corrente está adiantada de 0,650 rad em relação à tensão. Determine (a) a impedância e (b) a resistência do circuito. (c) O circuito é mais indutivo, mais capacitivo ou está em ressonância?

72 Um circuito *RLC* série é alimentado de tal forma que a tensão máxima no indutor é 1,50 vez a tensão máxima no capacitor e 2,00 vezes a tensão máxima no resistor. (a) Qual é o ϕ do circuito? (b) O circuito é mais indutivo, mais capacitivo ou está em ressonância? A resistência é 49,9 Ω e a amplitude da corrente é 200 mA. (c) Qual é a amplitude da força eletromotriz de excitação?

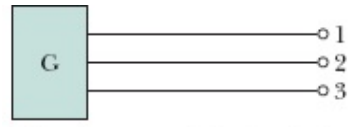
73 Um capacitor de 158 μF e um indutor formam um circuito *LC* que oscila com uma frequência de 8,15 kHz e uma amplitude de corrente de 4,21 mA. Determine (a) a impedância, (b) a energia total do circuito e (c) a carga máxima do capacitor.

74 Um circuito *LC* oscilante tem uma indutância de 3,00 mH e uma capacitância de 10,0 μF. Determine (a) a frequência angular e (b) o período de oscilação. (c) No instante t = 0, o capacitor é carregado com 200 μC e a corrente é zero. Faça um esboço da carga do capacitor em função do tempo.

75 Em um circuito *RLC* série, a força eletromotriz máxima do gerador é 125 V e a corrente máxima é 3,20 A. Se a corrente está adiantada de 0,982 rad em relação à força eletromotriz do gerador, determine

(a) a impedância e (b) a resistência do circuito. (c) O circuito é mais capacitivo ou mais indutivo?

76 Um capacitor de 1,50 μF possui uma reatância capacitiva de 12,0 Ω. (a) Qual é a frequência de operação do circuito? (b) Qual será a reatância capacitiva do capacitor se a frequência for multiplicada por dois?



Linha de transmissão de três fios

Figura 31-38 Problema 77.

77 Na Fig. 31-38, um gerador trifásico G produz energia elétrica, que é transmitida por três fios. Os potenciais dos três fios (em relação a uma referência comum) são $V_1 = A$ sen $\omega_d t$ para o fio 1, $V_2 = A$ sen$(\omega_d t - 120^o)$ para o fio 2, e $V_3 = A$ sen$(\omega_d t - 240^o)$ para o fio 3. Alguns equipamentos industriais pesados (motores, por exemplo) possuem três terminais e são projetados para serem ligados diretamente aos três fios. Para usar um dispositivo mais convencional de dois terminais (uma lâmpada, por exemplo), basta ligar o dispositivo a dois dos três fios. Mostre que a diferença de potencial entre *dois fios quaisquer* (a) oscila senoidalmente com frequência angular ω_d e (b) tem uma amplitude $A\sqrt{3}$.

78 Um motor elétrico ligado a uma tomada de 120 V, 60 Hz desenvolve uma potência mecânica de 0,100 hp (1 hp = 746 W). (a) Se o motor consome uma corrente rms de 0,650 A, qual é a resistência efetiva do motor do ponto de vista da transferência de energia? (b) A resistência efetiva é igual à resistência dos enrolamentos do motor, medida com um ohmímetro com o motor desligado da tomada?

79 (a) Em um circuito *LC* oscilante, qual é a carga, em termos da carga máxima *Q* do capacitor, quando a energia do campo elétrico é 50,0% da energia do campo magnético? (b) Que fração de período deve transcorrer após o instante em que o capacitor está totalmente carregado para que essa situação aconteça?

80 Um circuito *RLC* série é excitado por uma fonte alternada cuja frequência é 400 Hz e cuja força eletromotriz tem uma amplitude de 90,0 V. A resistência do circuito é 20,0 Ω, a capacitância é 12,1 μF e a indutância é 24,2 mH. Determine a diferença de potencial rms (a) no resistor, (b) no capacitor e (c) no indutor. (d) Qual é a potência média dissipada no circuito?

81 Em um circuito *RLC* série excitado com uma frequência de 60,0 Hz, a tensão máxima no indutor é 2,00 vezes a tensão máxima no resistor e 2,00 vezes a tensão máxima no capacitor. (a) De que ângulo a corrente está atrasada em relação à força eletromotriz do gerador? (b) Se a força eletromotriz máxima do gerador é 30,0 V, qual deve ser a resistência do circuito para que a corrente máxima seja de 300 mA?

82 Um indutor de 1,50 mH em um circuito *LC* oscilante armazena uma energia máxima de 10,0 μJ. Qual é a corrente máxima?

83 Um gerador de frequência ajustável é ligado em série com um indutor L = 2,50 mH e um capacitor C = 3,00 μF. Para que frequência o gerador produz uma corrente com a maior amplitude possível no

circuito?

84 Um circuito *RLC* série possui uma frequência de ressonância de 6,00 kHz. Quando é excitado com uma frequência de 8,00 kHz, o circuito possui uma impedância de 1,00 kΩ e uma constante de fase de 45°. Determine o valor de (a) *R*, (b) *L* e (c) *C* nesse circuito.

85 Um circuito *LC* oscila com uma frequência de 10,4 kHz. (a) Se a capacitância é 340 μF, qual é a indutância? (b) Se a corrente máxima é 7,20 mA, qual é a energia total do circuito? (c) Qual é a carga máxima do capacitor?

86 Quando está em carga e funcionando com uma tensão rms de 220 V, um motor consome uma corrente rms de 3,00 A. A resistência do motor é 24,0 Ω e a reatância capacitiva é zero. Qual é a reatância indutiva?

87 O gerador de corrente alternada da Fig. 31-39 fornece uma força eletromotriz de 120 V e 60,0 Hz. Com a chave aberta como na figura, a corrente está adiantada de 20,0° em relação à força eletromotriz do gerador. Quando a chave é colocada na posição 1, a corrente fica atrasada de 10,0° em relação à força eletromotriz do gerador. Quando a chave é colocada na posição 2, a amplitude da corrente é 2,00 A. Determine o valor (a) de *R*, (b) de *L* e (c) de *C*.

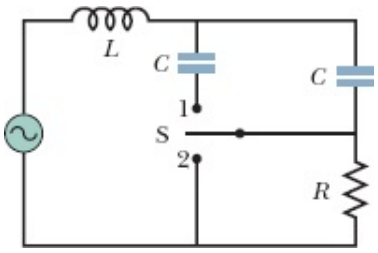


Figura 31-39 Problema 87.

88 Em um circuito *LC* oscilante, $L = 8{,}00$ mH e $C = 1{,}40$ μF. No instante $t = 0$, a corrente é máxima e tem o valor de 12,0 mA. (a) Qual é a carga máxima do capacitor durante as oscilações? (b) Em que instante de tempo $t > 0$ a taxa de variação da energia armazenada no capacitor é máxima pela primeira vez? (c) Qual é o valor da taxa de variação?

89 No caso de um circuito *RLC* série, mostre que em um ciclo completo de período *T* (a) a energia armazenada no capacitor não varia; (b) a energia armazenada no indutor não varia; (c) a energia fornecida pela fonte alternada é $(T/2)\,\mathscr{E}_m I \cos\phi$; (d) a energia dissipada no resistor é $TRI^2/2$. (e) Mostre que os resultados dos itens (c) e (d) são iguais.

90 Que capacitância deve ser ligada a um indutor de 1,30 mH para que a frequência de ressonância do circuito seja de 3,50 kHz?

91 Um circuito série com a combinação resistor-indutor-capacitor R_1, L_1, C_1 tem a mesma frequência de ressonância que um segundo circuito com uma combinação diferente, R_2, L_2, C_2. As duas combinações são ligadas em série. Mostre que a frequência de ressonância do novo circuito é a mesma dos dois circuitos

separados.

92 Considere o circuito da Fig. 31-40. Com a chave S_1 fechada e as outras duas chaves abertas, a constante de tempo do circuito é τ_C. Com a chave S_2 fechada e as duas outras chaves abertas, a constante de tempo do circuito é τ_L. Com a chave S_3 fechada e as outras duas chaves abertas, o circuito oscila com um período T. Mostre que $T = 2\pi\sqrt{\tau_C \tau_L}$.

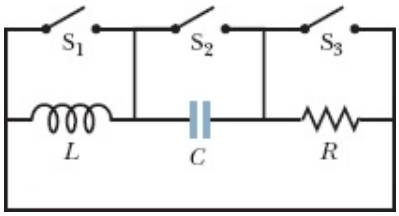


Figura 31-40 Problema 92.

93 Quando a força eletromotriz do gerador do Exemplo 31.07 é máxima, qual é a tensão (a) do gerador, (b) do resistor, (c) do capacitor e (d) do indutor? Some as tensões, com os sinais apropriados, para mostrar que os resultados satisfazem a regra das malhas.

[1]Do inglês *r*oot *m*ean *s*quare. (N.T.)