

TÓPICO	EQUAÇÕES RELEVANTES E OBSERVAÇÕES	
*7. Circuitos RL		
Diferença de potencial em um indutor	$\Delta V = \mathcal{E} - Ir = -L \frac{dI}{dt} - Ir$	28-15
onde r é a resistência interna do indutor. Para um indutor ideal, $r = 0$.		
Energizando um indutor com uma bateria	Em um circuito de malha simples, constituído de um resistor com resistência R , um indutor com auto-indutância L e uma bateria com fem \mathcal{E}_0 , a corrente não atinge seu valor máximo I_0 instantaneamente, mas leva certo tempo para atingi-lo. Se a corrente é, inicialmente, zero, seu valor em algum instante t depois é dado por	
	$I = \frac{\mathcal{E}_0}{R} (1 - e^{-t/\tau}) = I_0 (1 - e^{-t/\tau})$	28-25
Constante de tempo τ	$\tau = \frac{L}{R}$	28-26
Retirando energia de um indutor	Em um circuito de malha simples, constituído de um resistor com resistência R e um indutor com auto-indutância L , a corrente não cai a zero no resistor instantaneamente, mas leva certo tempo para diminuir. Se a corrente é, inicialmente, I_0 , seu valor em algum instante t depois é dado por	
	$I = I_0 e^{-t/\tau}$	28-28

Respostas das Checagens Conceituais

- 28-1 Direção oposta à mostrada na Figura 28-12.
 28-2 O agente externo girando a bobina realiza trabalho na bobina. A energia vem do agente externo.

Respostas dos Problemas Práticos

- 28-2 0,555 A
 28-3 3,53 mC
 28-4 1,4 V
 28-5 11 V
 28-6 $3,18 \times 10^5$ A/s
 28-7 $M_{12} = \mu_0 n_2 n_1 \ell \pi r_1^2$
 28-8 $U_m = \frac{1}{2} L I_1^2 = 1,60 \times 10^{-3}$ J
 28-9 71 μ s
 28-10 3,0 kV

Problemas

Em alguns problemas, você recebe mais dados do que necessita; em alguns outros, você deve acrescentar dados de seus conhecimentos gerais, fontes externas ou estimativas bem fundamentadas.

Interprete como significativos todos os algarismos de valores numéricos que possuem zeros em seqüência sem vírgulas decimais.

- Um só conceito, um só passo, relativamente simples
 - Nível intermediário, pode requerer síntese de conceitos
 - Desafiante, para estudantes avançados
- Problemas consecutivos sombreados são problemas pareados.

PROBLEMAS CONCEITUAIS

- 1 • (a) O equador magnético é uma linha na superfície da Terra na qual o campo magnético terrestre é horizontal. No equador magnético, como você orientaria uma folha plana de papel para ter a intensidade máxima do fluxo magnético através dela? (b) E para a intensidade mínima do fluxo magnético?
- 2 • Em um dos pólos magnéticos da Terra, como você orientaria uma folha plana de papel para ter a intensidade máxima do fluxo magnético através dela?

- 3 • Mostre que a seguinte combinação de unidades do SI é equivalente ao volt: $T \cdot m^2/s$.
- 4 • Mostre que a seguinte combinação de unidades do SI é equivalente ao ohm: $Wb/(A \cdot s)$.
- 5 • Uma corrente é induzida em um anel condutor que está no plano horizontal e a corrente induzida está no sentido horário quando vista de cima. Quais das seguintes afirmações poderiam ser verdadeiras? (a) Um campo magnético constante aponta verticalmente para baixo. (b) Um campo magnético constante aponta verticalmente para cima. (c) Um campo magnético cuja magnitude está

aumentando, aponta verticalmente para baixo. (d) Um campo magnético cuja magnitude está diminuindo, aponta verticalmente para baixo. (e) Um campo magnético cuja magnitude está diminuindo, aponta verticalmente para cima.

- 6 • Indique o sentido da corrente induzida no circuito mostrado à direita na Figura 28-37, quando a resistência no circuito à esquerda repentinamente (a) aumenta e (b) diminui. Explique sua resposta.

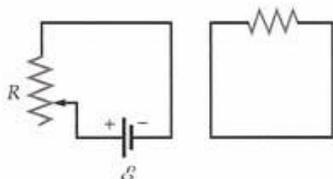


FIGURA 28-37
Problema 6

- 7 • Os planos dos dois anéis circulares na Figura 28-38 são paralelos. Quando vistos da esquerda, existe uma corrente anti-horária no anel A. Se a intensidade da corrente no anel A está aumentando, qual é o sentido da corrente induzida no anel B? Os anéis se repelem ou se atraem? Explique sua resposta.

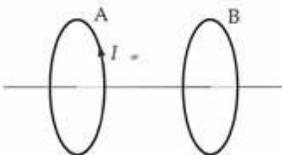


FIGURA 28-38 Problema 7

- 8 • Um ímã em barra se move com velocidade constante ao longo do eixo de um anel, como mostrado na Figura 28-39. (a) Faça um gráfico do fluxo magnético através do anel como função do tempo. Indique no gráfico quando o ímã está à metade do caminho através do anel, indicando este instante por t_1 . Escolha a direção da normal à superfície plana limitada pelo anel para a direita. (b) Faça um gráfico da corrente induzida no anel como função do tempo. Escolha o sentido positivo para a corrente como o horário quando visto da esquerda.



FIGURA 28-39 Problema 8

- 9 • Um ímã em barra está montado na extremidade de uma mola e oscila em movimento harmônico simples ao longo do eixo de um anel, como mostrado na Figura 28-40. O ímã está em sua posição de equilíbrio quando seu ponto médio está no plano do anel. (a) Faça um gráfico do fluxo magnético através do anel como função do tempo. Indique quando o ímã estiver à metade do caminho no anel, identificando estes instantes por t_1 e t_2 . (b) Faça um gráfico da corrente induzida no anel como função do tempo, escolhendo o sentido positivo da corrente como sendo o horário quando visto de cima.



FIGURA 28-40 Problema 9

- 10 • Um pêndulo é construído com um pedaço fino e plano de alumínio. No ponto mais baixo de seu arco, ele passa entre os pólos de um ímã permanente intenso. Na Figura 28-41a, a lâmina metálica é contínua, enquanto na Figura 28-41b, há ranhuras na lâmina. Quando solto a partir do mesmo ângulo, o pêndulo que tem ranhuras anda para frente e para trás muitas vezes, mas o pêndulo que não contém ranhuras pára de balançar após não mais do que uma oscilação completa. Explique por quê.

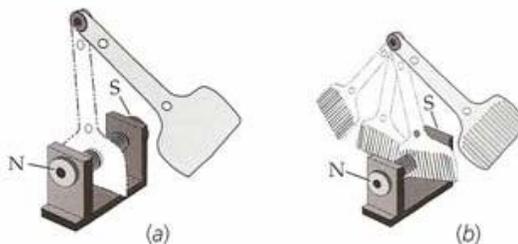


FIGURA 28-41 Problema 10 (Cortesia da PASCO Scientific Co.)

- 11 • Um ímã em barra é abandonado no interior de um tubo longo e vertical. Se o tubo é feito de metal, o ímã rapidamente atinge uma rapidez terminal, mas se o tubo é feito de papelão, o ímã cai com aceleração constante. Explique por que o ímã cai de maneira diferente no tubo de metal em relação ao tubo de papelão.

- 12 • Um pequeno anel quadrado de fio está no plano desta página e um campo magnético constante aponta para dentro da página. O anel está se movendo para a direita, que é a direção $+x$. Determine o sentido da corrente induzida no anel, se houver alguma, se (a) o campo magnético é uniforme, (b) a intensidade do campo magnético aumenta quando x aumenta e (c) a intensidade do campo magnético diminui quando x aumenta.

- 13 • Se a corrente em um indutor for duplicada, a energia armazenada no indutor (a) permanecerá a mesma, (b) duplicará, (c) quadruplicará, (d) será a metade.

- 14 • Dois solenóides têm o mesmo comprimento e raio, e os núcleos de ambos contêm cilindros idênticos de ferro. Entretanto, o solenóide A tem três vezes o número de voltas por comprimento que o solenóide B. (a) Qual solenóide tem a maior auto-indutância? (b) Qual é a razão entre as auto-indutâncias do solenóide A e do solenóide B?

- 15 • Verdadeiro ou falso:
(a) A fem induzida em um circuito é igual ao negativo do fluxo magnético através do circuito.
(b) Pode haver uma fem induzida diferente de zero em um instante quando o fluxo através do circuito é igual a zero.
(c) A auto-indutância de um solenóide é proporcional à taxa de variação da corrente no solenóide.
(d) A densidade de energia magnética em algum ponto do espaço é proporcional ao quadrado da magnitude do campo magnético naquele ponto.
(e) A indutância de um solenóide é proporcional à corrente nele.

ESTIMATIVA E APROXIMAÇÃO

- 16 • **RICO EM CONTEXTO** Seus colegas de beisebol, logo após estudarem este capítulo, estão preocupados sobre a geração de tensão suficiente para tomarem um choque enquanto movimentam bastões de alumínio contra bolas rápidas. Estime o valor máximo possível para a fem induzida por movimento, medida entre as extremidades de bastões de beisebol de alumínio durante o movimento. Você acha que seu time deve mudar para bastões de madeira para evitar eletrocussão?

- 17 • Compare a densidade de energia armazenada no campo elétrico da Terra nas proximidades de sua superfície com aquela ar-

mazenada no campo magnético da Terra nas proximidades de sua superfície.

18 •• Uma professora de física faz a seguinte demonstração sobre fem. Ela pede para dois estudantes segurarem um longo fio conectado a um voltímetro. O fio é mantido frouxo e forma um grande arco. Quando ela diz "Começar", os estudantes começam a girar o fio como se ele fosse uma corda de pular. Os estudantes estão separados por 3,0 m e o arco no fio tem aproximadamente 1,5 m. A fem induzida pelo movimento da "corda de pular" é, então, medida no voltímetro. (a) Estime um valor razoável para a rapidez angular máxima na qual os estudantes conseguem girar o fio. (b) A partir disso, estime o valor máximo da fem induzida pelo movimento no fio. *Dica: Que campo está envolvido na criação da fem induzida?*

19 •• (a) Estime o máximo valor possível para a fem induzida por movimento entre as pontas das asas de uma aeronave comercial em voo. (b) Estime a intensidade do campo elétrico entre as pontas das asas.

FLUXO MAGNÉTICO

20 • Um campo magnético com intensidade de 0,200 T está na direção +x. Uma bobina quadrada tem lados com 5,00 cm de comprimento e uma única volta que faz um ângulo θ com o eixo z, como mostra a Figura 28-42. Determine o fluxo magnético através da bobina quando θ é (a) 0° , (b) 30° , (c) 60° e (d) 90° .

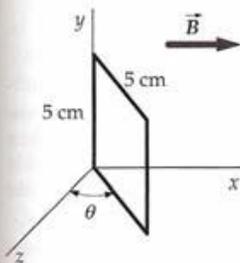


FIGURA 28-42 Problema 20

21 • Uma bobina circular tem 25 voltas e raio de 5,0 cm. Ela está no equador, onde o campo magnético da Terra é 0,70 G, apontando para o norte. O eixo da bobina é a linha que passa pelo seu centro e é perpendicular ao plano da bobina. Determine o fluxo magnético através dela quando o seu eixo é (a) vertical, (b) horizontal com o eixo apontando para o norte, (c) horizontal com o eixo apontando para o leste e (d) horizontal com o eixo fazendo um ângulo de 30° com o norte.

22 • Um campo magnético de 1,2 T é perpendicular ao plano de uma bobina quadrada de 14 voltas com lados de 5,0 cm de comprimento. (a) Determine o fluxo magnético através da bobina. (b) Determine o fluxo magnético através da bobina se o campo magnético faz um ângulo de 60° com a normal ao plano da bobina.

23 • Um campo magnético uniforme \vec{B} é perpendicular à base de um hemisfério de raio R. Calcule o fluxo magnético (em termos de B e R) através da superfície esférica do hemisfério.

24 • Determine o fluxo magnético através de um solenóide de 400 voltas que tem comprimento igual a 25,0 cm, raio igual a 1,00 cm e conduz uma corrente de 3,00 A.

25 • Determine o fluxo magnético através de um solenóide de 800 voltas que tem comprimento igual a 30,0 cm, raio igual a 1,00 cm e conduz uma corrente de 2,00 A.

26 •• Uma bobina circular tem 15,0 voltas, raio de 4,00 cm e está em um campo magnético uniforme de 4,00 kG na direção +x. Determine o fluxo através da bobina quando a normal unitária do plano da bobina é (a) \hat{i} , (b) \hat{j} , (c) $(\hat{i} + \hat{j})/\sqrt{2}$, (d) \hat{k} , e (e) $0,60\hat{i} + 0,80\hat{j}$.

27 •• Um longo solenóide tem n voltas por unidade de comprimento, raio R_1 e conduz uma corrente I. Uma bobina circular de raio R_2 e com N voltas é coaxial ao solenóide e está equidistante de suas extremidades. (a) Determine o fluxo magnético através da bobina se $R_2 > R_1$. (b) Determine o fluxo magnético através da bobina se $R_2 < R_1$.

28 ••• (a) Calcule o fluxo magnético através do anel retangular mostrado na Figura 28-43. (b) Determine sua resposta para $a = 5,0$ cm, $b = 10$ cm, $d = 2,0$ cm e $I = 20$ A.

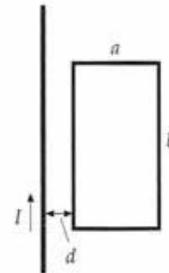


FIGURA 28-43 Problema 28

29 ••• Um condutor cilíndrico longo com raio R e comprimento L conduz uma corrente I. Determine o fluxo magnético por unidade de comprimento através da área indicada na Figura 28-44.

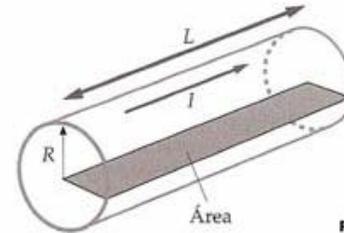


FIGURA 28-44 Problema 29

FEM INDUZIDA E LEI DE FARADAY

30 • O fluxo através de um anel é dado por $\phi_m = (0,10t^2 - 0,40t)$, onde ϕ_m está em webers e t em segundos. (a) Determine a fem induzida como função do tempo. (b) Determine ϕ_m e \mathcal{E} em $t = 0$, $t = 2,0$ s, $t = 4,0$ s e $t = 6,0$ s.

31 • O fluxo através de um anel é dado por $\phi_m = (0,10t^2 - 0,40t)$, onde ϕ_m está em webers e t em segundos. (a) Esboce gráficos do fluxo magnético e da fem induzida como função do tempo. (b) Em que instante(s) o fluxo é mínimo? Qual é a fem induzida neste(s) instante(s)? (c) Em que instante(s) o fluxo é zero? Qual é(são) a(s) fem(s) induzida(s) neste(s) instante(s)?

32 • Um solenóide com comprimento de 25,0 cm, raio igual a 0,800 cm e 400 voltas está em uma região onde um campo magnético de 600 G existe e faz um ângulo de 50° com o eixo do solenóide. (a) Determine o fluxo magnético através do solenóide. (b) Determine a intensidade da fem média induzida no solenóide se o campo magnético é reduzido a zero em 1,40 s.

33 •• Uma bobina circular de 100 voltas tem diâmetro de 2,00 cm, resistência de 50,0 Ω e as suas duas extremidades estão conectadas entre si. O plano da bobina é perpendicular a um campo magnético de intensidade 1,00 T. O sentido do campo é invertido. (a) Determine a carga total que passa através de uma seção transversal do fio. Se a inversão leva 0,100 s, determine (b) a corrente média e (c) a fem média durante a inversão.

34 •• No equador, uma bobina de 1000 voltas com seção transversal de 300 cm² e resistência de 15,0 Ω está alinhada de tal forma que seu plano é perpendicular ao campo magnético da Terra, de 0,700 G. (a) Se a bobina é girada bruscamente em 0,350 s, qual é

a corrente média induzida durante 0,350 s?(b) Quanta carga flui através da seção transversal do fio da bobina durante 0,350 s?

35 •• **APLICAÇÃO EM ENGENHARIA** Um integrador de corrente mede a corrente como função do tempo e integra (soma) a corrente para determinar a carga total que passa por ele. (Como $I = dq/dt$, o integrador calcula a integral da corrente ou $Q = \int I dt$.) Uma bobina circular com 300 voltas e 5,00 cm de raio está conectada a tal instrumento. A resistência total do circuito é 20,0 Ω . O plano da bobina está originalmente alinhado perpendicularmente ao campo magnético da Terra em algum ponto. Quando a bobina é girada de 90° em torno de um eixo que está no plano da bobina, uma carga de 9,40 μC passa pelo integrador de corrente. Calcule a intensidade do campo magnético da Terra naquele ponto.

FEM INDUZIDA POR MOVIMENTO

36 • Um bastão de 30,0 cm de comprimento se move continuamente a 8,00 m/s em um plano perpendicular a um campo magnético de 500 G. A velocidade do bastão é perpendicular ao seu comprimento. Determine (a) a força magnética em um elétron no bastão, (b) o campo eletrostático no bastão e (c) a diferença de potencial entre as extremidades do bastão.

37 • Um bastão de 30,0 cm de comprimento se move em um plano perpendicular a um campo magnético de 500 G. A velocidade do bastão é perpendicular ao seu comprimento. Determine a rapidez do bastão se a diferença de potencial entre as extremidades é 6,00 V.

38 •• Na Figura 28-45, considere que a intensidade do campo magnético seja 0,80 T, que a rapidez do bastão seja 10 m/s, que o comprimento dele seja de 20 cm e que a resistência do resistor seja de 2,0 Ω . (A resistência do bastão e dos trilhos são desprezíveis.) Determine (a) a fem induzida no circuito, (b) a corrente induzida no circuito (incluindo o sentido) e (c) a força necessária para mover o bastão com rapidez constante (considerando que o atrito seja desprezível). Determine (d) a potência exercida pela força encontrada na Parte (c) e (e) a taxa de aquecimento Joule no resistor.

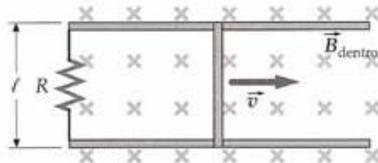


FIGURA 28-45 Problema 38

39 •• Um anel retangular de 10 cm por 5,0 cm (Figura 28-46) com resistência de 2,5 Ω se move a uma rapidez constante de 2,4 cm/s através de uma região que tem um campo magnético uniforme de 1,7 T apontando para fora da página, como mostrado. A frente do anel entra na região do campo no instante $t = 0$. (a) Faça um gráfico do fluxo através do anel como função do tempo. (b) Faça um gráfico da fem induzida e da corrente do anel como funções do tempo. Despreze qualquer auto-indutância do anel e construa seus gráficos incluindo o intervalo $0 \leq t \leq 16$ s.

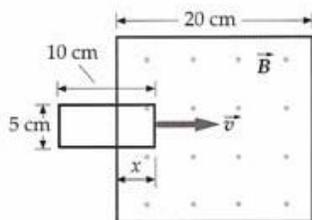


FIGURA 28-46 Problema 39

40 •• Um campo magnético uniforme de 1,2 T está na direção +z. Um bastão condutor de 15 cm de comprimento é paralelo ao eixo y e oscila na direção x com deslocamento dado por $x = (2,0 \text{ cm})\cos(120\pi t)$, onde 120 π tem unidades de rad/s. (a) Determine uma expressão para a diferença de potencial entre as extremidades do bastão como função do tempo. (b) Qual é a máxima diferença de potencial entre as extremidades do bastão?

41 •• Na Figura 28-47, o bastão tem massa m e resistência R. Os trilhos são horizontais, sem atrito e têm resistências desprezíveis. A distância entre os trilhos é ℓ . Uma bateria ideal, com fem \mathcal{E} , está conectada entre os pontos a e b de tal forma que a corrente no bastão é para baixo. O bastão é liberado a partir do repouso em $t = 0$. (a) Deduza uma expressão para a força no bastão como função da rapidez. (b) Mostre que a rapidez do bastão se aproxima de um valor terminal e determine uma expressão para a rapidez terminal. (c) Qual é a corrente quando o bastão está se movendo com a rapidez terminal?

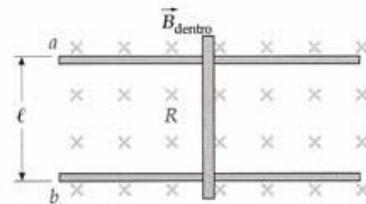


FIGURA 28-47 Problema 41

42 • Um campo magnético uniforme é estabelecido perpendicularmente ao plano de um anel que tem raio igual a 5,00 cm e resistência igual a 0,400 Ω . A intensidade do campo está aumentando a uma taxa de 40,0 mT/s. Determine (a) a intensidade da fem induzida no anel, (b) a corrente induzida no anel, e (c) a taxa de aquecimento Joule no anel.

43 •• Na Figura 28-48, um bastão condutor de massa m e resistência desprezível está livre para deslizar sem atrito ao longo de dois trilhos paralelos que têm resistências desprezíveis, estão separados por uma distância ℓ e conectados por uma resistência R. Os trilhos estão presos a um longo plano inclinado que faz um ângulo θ com a horizontal. Há um campo magnético apontando para cima, como mostrado. (a) Mostre que há uma força retardadora dirigida para cima no plano inclinado dada por $F = (B^2 \ell^2 v \cos^2 \theta)/R$. (b) Mostre que a rapidez terminal do bastão é $v_t = mgR \sin \theta / (B^2 \ell^2 \cos^2 \theta)$.

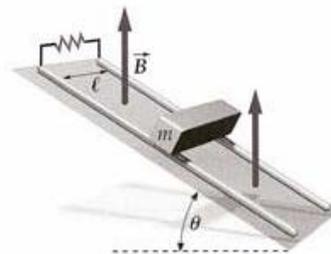


FIGURA 28-48 Problema 43

44 ••• Um bastão condutor de comprimento ℓ gira a uma rapidez angular constante ω em torno de uma de suas extremidades, em um plano perpendicular a um campo magnético uniforme B (Figura 28-49). (a) Mostre que a diferença de potencial entre as extremidades do bastão é $\frac{1}{2} B \omega \ell^2$. (b) Seja o ângulo θ entre o bastão girando e a linha tracejada definida por $\theta = \omega t$. Mostre que a área da região, no formato de torta percorrida pelo bastão durante o tempo t é $\frac{1}{2} \ell^2 \theta$. (c) Calcule o fluxo ϕ_m através desta área e aplique $\mathcal{E} = -d\phi_m/dt$ (lei de Faraday) para mostrar que a fem induzida por movimento é dada por $\frac{1}{2} B \omega \ell^2$.

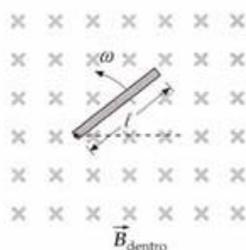


FIGURA 28-49 Problema 44

GERADORES E MOTORES

- 45 • Uma bobina retangular de 2,00 cm por 1,50 cm tem 300 voltas e gira em uma região que tem um campo magnético de 0,400 T. (a) Qual é a máxima fem gerada quando a bobina gira a 60 rev/s? (b) Qual deve ser sua rapidez angular para gerar uma fem máxima de 110 V?
- 46 • A bobina do Problema 45 gira a 60 rev/s em um campo magnético. Se a fem máxima gerada pela bobina é 24 V, qual é a intensidade do campo magnético?

INDUTÂNCIA

- 47 • Quando a corrente em uma bobina de 8,00 H é igual a 3,00 A e aumenta a 200 A/s, determine (a) o fluxo magnético através da bobina e (b) a fem induzida na bobina.
- 48 •• Um solenóide de 300 voltas tem raio igual a 2,00 cm e comprimento de 25,0 cm; um solenóide de 1000 voltas tem raio igual a 5,00 cm e também tem 25,0 cm de comprimento. Os dois solenóides são coaxiais, estando um completamente inserido dentro do outro. Qual é a indutância mútua entre ambos?
- 49 •• Um fio isolado com resistência de 18,0 Ω/m e comprimento de 9,00 m será usado para construir um resistor. Primeiramente, o fio é dobrado na metade e, então, o fio duplo é enrolado em um formato cilíndrico (Figura 28-50) para criar uma hélice de 25,0 cm de comprimento com diâmetro de 2,00 cm. Determine a resistência e a indutância deste resistor de fio enrolado.



FIGURA 28-50 Problema 49

- 50 •• Você recebe um fio de comprimento ℓ e raio a e deve transformá-lo em um indutor enrolando-o na forma de uma hélice com seção circular de raio r . As voltas devem estar o mais próximas possível sem sobreposição entre elas. Mostre que a auto-indutância deste indutor é $L = \frac{1}{2} \mu_0 r \ell / a$.
- 51 • Usando o resultado do Problema 50, calcule a auto-indutância de um indutor feito a partir de 10 cm de fio com diâmetro de 1,0 mm, enrolado no formato de uma bobina com raio de 0,25 cm.
- 52 •• Na Figura 28-51, o circuito 2 tem uma resistência total de 300 Ω. Depois de a chave S ter sido fechada, a corrente no Circuito 1 aumenta — atingindo um valor de 5,00 A depois de um longo tempo. Uma carga de 200 μC passa através do galvanômetro no Circuito 2 durante o tempo que a corrente no Circuito 1 está aumentando. Qual é a indutância mútua entre as duas bobinas?

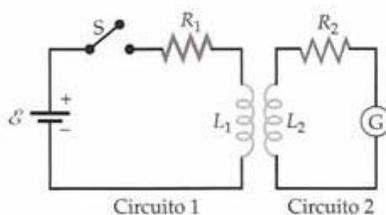


FIGURA 28-51 Problema 52

- 53 ••• Mostre que a indutância de um toróide de seção transversal retangular, como mostrado na Figura 28-52, é dada por $L = \frac{\mu_0 N^2 H \ln(b/a)}{2\pi}$, onde N é o número total de voltas, a é o raio interno, b é o raio externo e H é a altura do toróide.

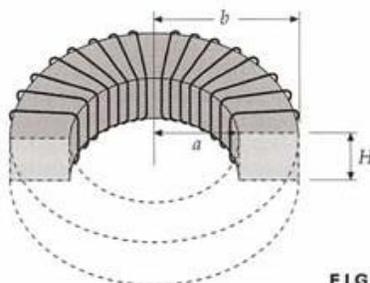


FIGURA 28-52 Problema 53

ENERGIA MAGNÉTICA

- 54 • Uma bobina com auto-indutância de 2,00 H e resistência de 12,0 Ω está conectada a uma bateria ideal de 24,0 V. (a) Qual é a corrente do estado estacionário? (b) Quanta energia está armazenada no indutor quando a corrente estacionária é estabelecida?
- 55 • Em uma onda eletromagnética plana, as magnitudes dos campos elétricos e dos campos magnéticos estão relacionadas por $E = cB$, onde $c = 1/\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}$ é a velocidade da luz. Mostre que, quando $E = cB$, as densidades de energia elétrica e magnética são iguais.
- 56 •• Um solenóide de 2000 voltas tem seção transversal com área igual a 4,0 cm² e comprimento igual a 30 cm. O solenóide conduz uma corrente de 4,0 A. (a) Calcule a energia magnética armazenada no solenóide usando $U = \frac{1}{2} LI^2$, onde $L = \mu_0 n^2 A \ell$. (b) Divida a resposta da Parte (a) pelo volume da região no interior do solenóide para determinar a energia magnética por unidade de volume no solenóide. (c) Confira o resultado da Parte (b) calculando a densidade de energia magnética usando $u_m = B^2/(2\mu_0)$ onde $B = \mu_0 nI$.
- 57 •• Um longo fio cilíndrico tem raio igual a 2,0 cm e conduz uma corrente de 80 A uniformemente distribuída ao longo da área da seção transversal. Determine a energia magnética por unidade de comprimento no interior do fio.
- 58 •• Um toróide com raio médio igual a 25,0 cm e anéis circulares com raios iguais a 2,00 cm é enrolado com um fio supercondutor. O fio tem comprimento igual a 1000 m e conduz uma corrente de 400 A. (a) Qual é o número de voltas do fio? (b) Qual é a intensidade do campo magnético e a densidade de energia magnética no raio médio? (c) Estime a energia total armazenada neste toróide assumindo que a densidade de energia seja uniformemente distribuída na região no interior do toróide.

*CIRCUITOS RL

- 59 • Um circuito consiste de uma bobina com resistência igual a 8,00 Ω e auto-indutância igual a 4,00 mH, uma chave aberta e uma bateria ideal de 100 V — todos conectados em série. Em $t = 0$ a chave

é fechada. Determine a corrente e sua taxa de variação nos instantes (a) $t = 0$, (b) $t = 0,100$ ms, (c) $t = 0,500$ ms e (d) $t = 1,00$ ms.

60 • No circuito mostrado na Figura 28-53, a chave do tipo fechar antes de romper está no contato a há um longo tempo e a corrente na bobina de $1,00$ mH é igual a $2,00$ A. Em $t = 0$ a chave é rapidamente movida para o contato b . A resistência total $R + r$ da bobina e do resistor é $10,0 \Omega$. Determine a corrente quando (a) $t = 0,500$ ms e (b) $t = 100$ ms.

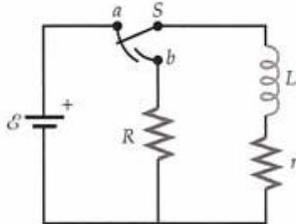


FIGURA 28-53 Problema 60

61 •• No circuito mostrado na Figura 28-54, seja $\mathcal{E}_0 = 12,0$ V, $R = 3,00 \Omega$ e $L = 0,600$ H. A chave, que estava inicialmente aberta, é fechada no instante $t = 0$. No instante $t = 0,500$ s, determine (a) a taxa na qual a bateria fornece energia, (b) a taxa de aquecimento Joule no resistor e (c) a taxa na qual a energia está sendo armazenada no indutor.

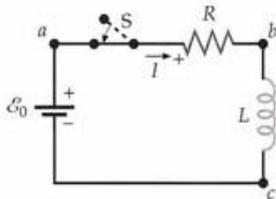


FIGURA 28-54 Problemas 61, 62 e 69

62 •• Quantas constantes de tempo devem passar antes que a corrente no circuito RL (Figura 28-54) que era inicialmente zero atinja (a) 90 por cento, (b) 99 por cento e (c) 99,9 por cento de seu valor de estado estacionário?

63 •• Um circuito consiste em uma bobina de $4,00$ mH, um resistor de 150Ω , uma bateria ideal de $12,0$ V e uma chave aberta — todos conectados em série. Depois que a chave é fechada: (a) Qual é a taxa inicial de aumento da corrente? (b) Qual é a taxa de aumento da corrente quando ela atinge metade de seu valor de estado estacionário? (c) Qual é o valor estacionário da corrente? (d) Quanto tempo leva para que a corrente atinja 99 por cento de seu valor estacionário?

64 •• Um circuito consiste em um grande eletroímã que tem indutância igual a $50,0$ H e resistência de $8,00 \Omega$, uma fonte dc de 250 V e uma chave aberta — todos conectados em série. Quanto tempo depois de a chave ter sido fechada a corrente será igual a (a) 10 A e (b) 30 A?

65 •• **PLANILHA ELETRÔNICA** Dado o circuito mostrado na Figura 28-55, considere que o indutor tenha resistência interna desprezível e que a chave S tenha estado fechada por um longo tempo, existindo uma corrente estacionária no indutor. (a) Determine a corrente na bateria, a corrente no resistor de 100Ω e a corrente no indutor. (b) Determine a queda de potencial no indutor imediatamente depois de a chave S ter sido aberta. (c) Usando uma planilha eletrônica, faça gráficos da corrente no indutor e da queda de potencial no indutor como funções do tempo, para o período durante o qual a chave está aberta.

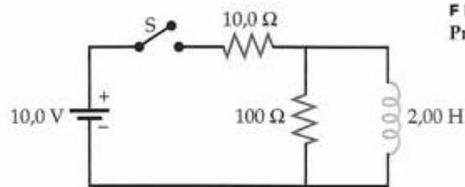


FIGURA 28-55
Problema 65

66 •• Dado o circuito mostrado na Figura 28-56, o indutor tem resistência interna desprezível e a chave S esteve aberta por um longo tempo. A chave é, então, fechada. (a) Determine a corrente na bateria, a corrente no resistor de 100Ω e a corrente no indutor imediatamente após a chave ter sido fechada. (b) Determine a corrente na bateria, a corrente no resistor de 100Ω e a corrente no indutor um longo tempo depois de a chave ter sido fechada. Depois de estar fechada por um longo tempo, a chave é agora aberta. (c) Determine a corrente na bateria, a corrente no resistor de 100Ω e a corrente no indutor imediatamente após a chave ter sido aberta. (d) Determine a corrente na bateria, a corrente no resistor de 100Ω e a corrente no indutor depois de a chave ter permanecido aberta por um longo tempo.

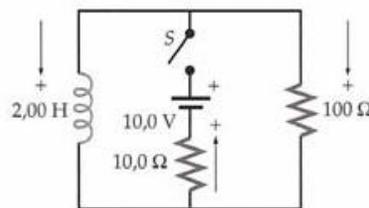


FIGURA 28-56
Problema 66

67 •• Um indutor, dois resistores, uma chave do tipo fechar antes de romper, e uma bateria estão conectados como mostra a Figura 28-57. A chave permaneceu no contato e por um longo tempo e a corrente no indutor é $2,5$ A. Então, em $t = 0$, a chave é rapidamente movida para o contato f . Durante os 45 ms subsequentes, a corrente no indutor cai para $1,5$ A. (a) Qual é a constante de tempo para este circuito? (b) Se a resistência R é igual a $0,40 \Omega$, qual é o valor da indutância L ?

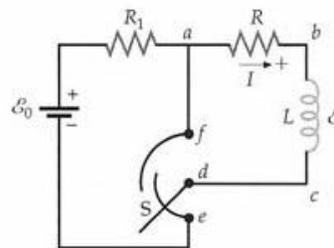


FIGURA 28-57
Problema 67

68 •• Um circuito consiste em uma bobina que tem auto-indutância igual a $5,00$ mH e resistência interna igual a $15,0 \Omega$, uma bateria ideal de $12,0$ V e uma chave aberta — todos conectados em série (Figura 28-58). Em $t = 0$, a chave é fechada. Determine o instante em que a taxa na qual a energia é dissipada na bobina é igual à taxa na qual a energia magnética é armazenada na bobina.

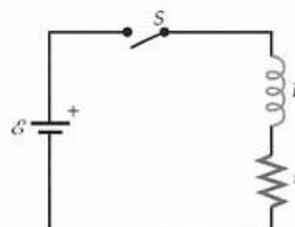


FIGURA 28-58
Problema 68

69 ••• No circuito mostrado na Figura 28-54, seja $\mathcal{E}_0 = 12,0$ V, $R = 3,00 \Omega$ e $L = 0,600$ H. A chave é fechada no instante $t = 0$. Durante o tempo desde $t = 0$ até $t = L/R$, determine (a) a quantidade de energia fornecida pela bateria, (b) a quantidade de energia dissipada no resistor e (c) a quantidade de energia entregue ao indutor. *Dica: Determine as taxas de transferência de energia como funções do tempo e integre.*

PROBLEMAS GERAIS

70 • Uma bobina com 100 voltas tem raio de 4,00 cm e resistência de 25,0 Ω . (a) A bobina está em um campo magnético uniforme que é perpendicular ao plano da bobina. Qual taxa de variação da intensidade do campo magnético induzirá uma corrente de 4,00 A na bobina? (b) Qual taxa de variação da intensidade do campo magnético é necessária se o campo magnético faz um ângulo de 20° com a normal ao plano da bobina?

71 •• **APLICAÇÃO EM ENGENHARIA** A Figura 28-59 mostra um desenho esquemático de um gerador ac. O gerador básico consiste em um anel retangular de dimensões a e b e tem N voltas conectadas a anéis de deslizamento. O anel gira (movido por um motor a gasolina) a uma rapidez angular ω em um campo magnético uniforme \vec{B} . (a) Mostre que a diferença de potencial induzida entre os dois anéis de deslizamento é dada por $\mathcal{E} = N B a b \omega \sin \omega t$. (b) Se $a = 2,00$ cm, $b = 4,00$ cm, $N = 250$ e $B = 0,200$ T, a que frequência angular ω deve a bobina girar para gerar uma fem cujo valor máximo é 100 V?

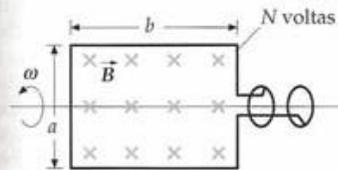


FIGURA 28-59 Problemas 71 e 72

72 •• **APLICAÇÃO EM ENGENHARIA** Antes de 1960, as intensidades de campos magnéticos eram geralmente medidas por uma bobina giratória gaussimétrica. O dispositivo usa uma pequena bobina com múltiplas voltas girando a uma alta rapidez em um eixo perpendicular ao campo magnético. A bobina está conectada a um voltímetro ac através de anéis de deslizamento, como os mostrados na Figura 28-59. Em um projeto específico, a bobina giratória tem 400 voltas e uma área de 1,40 cm². A bobina gira a 180 rev/min. Se a intensidade do campo magnético é 0,450 T, determine a fem máxima induzida na bobina e a orientação da normal ao plano da bobina relativa ao campo para o qual ocorre a máxima fem induzida.

73 •• Mostre que a auto-indutância equivalente para dois indutores que têm auto-indutâncias L_1 e L_2 e estão conectados em série é dada por $L_{eq} = L_1 + L_2$ se não há acoplamento de fluxo entre os dois indutores. (Dizer que não há acoplamento de fluxo entre eles é equivalente a dizer que a indutância mútua entre eles é zero.)

74 •• Mostre que a auto-indutância equivalente para dois indutores que têm auto-indutâncias L_1 e L_2 e estão conectados em paralelo é dada por $\frac{1}{L_{eq}} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2}$ se não há acoplamento de fluxo entre os dois indutores. (Dizer que não há acoplamento de fluxo entre eles é equivalente a dizer que a indutância mútua entre eles é zero.)

75 •• Um circuito consiste em uma bateria de 12 V, uma chave e uma lâmpada de filamento — todos conectados em série. É sabido que uma lâmpada de filamento necessita de uma corrente mínima de 0,10 A para produzir um clarão visível. No circuito, a lâmpada em particular consome 2,0 W quando a chave permanece fechada por um longo tempo. A seguir, um indutor é colocado em série com a lâmpada

da e com o restante do circuito. Se a lâmpada começa a acender 3,5 ms depois de a chave ser fechada, qual é o valor da auto-indutância do indutor? Despreze qualquer tempo para o aquecimento do filamento e considere que o clarão seja observado assim que a corrente no filamento atinja o valor limite de 0,10 A.

76 •• Seu amigo decide gerar potência elétrica girando uma bobina de 100 000 voltas de fio em torno de um eixo no plano da bobina e que passa pelo seu centro. A bobina é perpendicular ao campo magnético da Terra na região onde a intensidade do campo é igual a 0,300 G. Os anéis da bobina têm um raio de 25,0 cm e a bobina tem resistência desprezível. (a) Se o seu amigo gira a bobina a uma taxa de 150 rev/s, qual o valor do pico de corrente que existirá em um resistor de 1500 Ω que está conectado nos terminais da bobina? (b) O valor médio do quadrado da corrente será igual à metade do quadrado da corrente de pico. Qual será a potência média entregue ao resistor? Esta é uma maneira econômica de gerar energia? *Dica: Deve ser gasta energia para manter a bobina girando.*

77 •• A Figura 28-60a mostra um experimento projetado para medir a aceleração devida à gravidade. Um grande tubo plástico é circundado por um fio que está disposto em anéis separados por uma distância de 10 cm. Um forte ímã é solto através da parte de cima do tubo. Quando o ímã começa a cair através de cada anel, a tensão aumenta; então, a tensão rapidamente cai a zero, depois assume um grande valor negativo e novamente retorna a zero. O formato do sinal de tensão é mostrado na Figura 28-60b. (a) Explique a física básica responsável pela geração deste pulso de tensão. (b) Explique por que o tubo não pode ser feito de material condutor. (c) Explique qualitativamente a forma do sinal de tensão na Figura 28-60b. (d) Os instantes nos quais a tensão cruza o valor zero enquanto o ímã cai através de cada anel sucessivamente são dados na tabela a seguir. Use estes dados para calcular um valor para g .

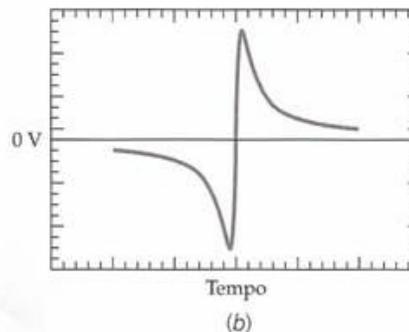
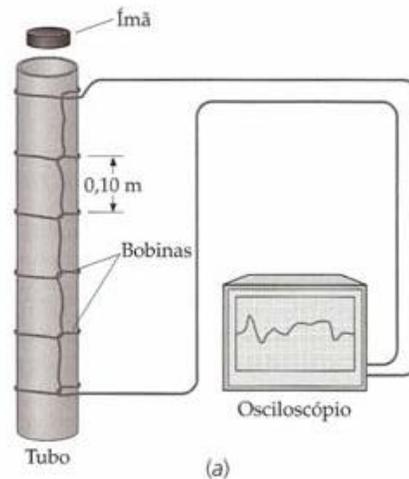


FIGURA 28-60 Problema 77

Número de Voltas	Tempo para Cruzar o Zero (s)
1	0,011189
2	0,063133
3	0,10874
4	0,14703
5	0,18052
6	0,21025
7	0,23851
8	0,26363
9	0,28853
10	0,31144
11	0,33494
12	0,35476
13	0,37592
14	0,39107

78 •• A bobina retangular mostrada na Figura 28-61 tem 80 voltas, 25 cm de largura, 30 cm de comprimento e está localizada em um campo magnético de 0,14 T, que aponta para fora da página, como mostrado. Apenas metade da bobina está na região do campo magnético. A resistência da bobina é 24 Ω. Determine a intensidade e o sentido da corrente induzida se a bobina está se movendo com uma velocidade de 2,0 m/s (a) para a direita, (b) para cima na página, (c) para a esquerda e (d) para baixo na página.

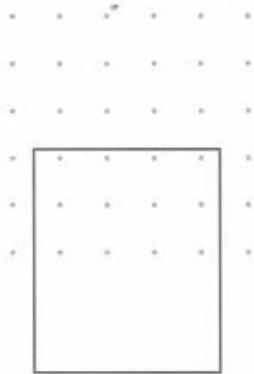


FIGURA 28-61 Problema 78

79 •• Um longo solenóide tem n voltas por unidade de comprimento e conduz uma corrente que varia com o tempo de acordo com $I = I_0 \sin \omega t$. O solenóide tem seção transversal circular de raio R . Determine o campo elétrico induzido em pontos próximos ao plano equidistante das extremidades do solenóide como função do tempo t e da distância perpendicular r do eixo do solenóide para (a) $r < R$ e (b) $r > R$.

80 ••• Um cabo coaxial consiste em dois condutores cilíndricos de paredes muito finas com raios r_1 e r_2 (Figura 28-62). As correntes nos cilindros interno e externo são iguais em magnitude mas têm sentidos opostos. (a) Use a lei de Ampère para determinar o campo magnético como função da distância perpendicular r do eixo central do cabo para (1) $0 < r < r_1$, (2) $r_1 < r < r_2$ e (3) $r > r_2$. (b) Mostre que a densidade de energia magnética na região entre os cilindros é dada por $u_m = \frac{1}{2}(\mu_0/4\pi)I^2/(\pi r^2)$. (c) Mostre que a energia magnética total no volume de um cabo de comprimento ℓ é dada por $U = (\mu_0/4\pi)I^2\ell \ln(r_2/r_1)$. (d) Use o resultado da Parte (c) e a relação entre a energia magnética, corrente e indutância para mostrar que a auto-indutância por unidade de comprimento da disposição do cabo é dada por $L/\ell = (\mu_0/2\pi) \ln(r_2/r_1)$.

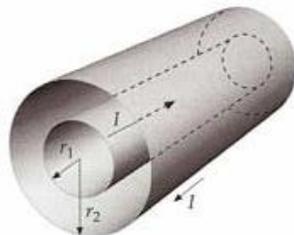


FIGURA 28-62 Problema 80

81 ••• Um cabo coaxial consiste em dois condutores cilíndricos de paredes muito finas com raios r_1 e r_2 (Figura 28-63). As correntes nos cilindros interno e externo são iguais em magnitude mas têm sentidos opostos. Calcule o fluxo através da área retangular de lados ℓ e $r_2 - r_1$ entre os condutores mostrados na Figura 28-63. Use a relação entre o fluxo e a corrente ($\phi_m = LI$) para mostrar que a auto-indutância por unidade de comprimento do cabo é dada por $L/\ell = (\mu_0/2\pi) \ln(r_2/r_1)$.

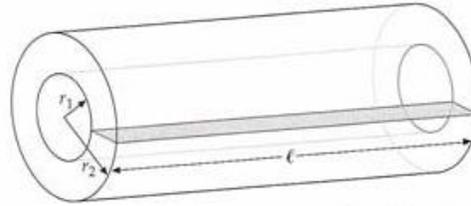


FIGURA 28-63 Problema 81

82 ••• PLANILHA ELETRÔNICA A Figura 28-64 mostra um anel retangular de fio que tem 0,300 m de largura, 1,50 m de comprimento e está no plano vertical, perpendicularmente a uma região que tem um campo magnético uniforme. A intensidade do campo magnético uniforme é 0,400 T e o sentido do campo é para dentro da página. A porção do anel que não está no campo magnético tem 0,100 m de comprimento. A resistência do anel é 0,200 Ω e sua massa é 50,0 g. O anel é solto a partir do repouso em $t = 0$. (a) Quais são a magnitude e o sentido da corrente induzida quando o anel tem uma rapidez para baixo v ? (b) Qual é a força exercida no anel como consequência da corrente? (c) Qual é a força resultante exercida no anel? (d) Escreva a segunda lei de Newton para o anel. (e) Obtenha uma expressão para a rapidez do anel como função do tempo. (f) Integre a expressão obtida na Parte (e) para determinar a distância que o anel cai em função do tempo. (g) Usando uma planilha eletrônica, faça um gráfico da posição do anel como função do tempo (considerando $t = 0$ no início) para valores de y entre 0 m e 1,40 m (isto é, quando o anel deixa o campo magnético). (h) Em que instante o anel deixa completamente a região do campo? Compare este resultado com o tempo que ele levaria se não houvesse campo.



FIGURA 28-64 Problema 82

83 ••• Uma bobina com N voltas e área A está suspensa no teto por um fio que fornece um torque restaurador linear com uma constante de torção κ . As duas extremidades da bobina estão conectadas entre si, ela tem resistência R e momento de inércia I . O plano da bobina é vertical e paralelo a um campo magnético horizontal uniforme \vec{B} quando o fio não está torcido (isto é, $\theta = 0$). A bobina é deslocada em torno de um eixo vertical que passa pelo seu centro por um pequeno ângulo θ_0 e é liberada. A bobina inicia, então, uma oscilação harmônica amortecida. Mostre que o ângulo com a posição de equilíbrio varia com o tempo de acordo com $\theta(t) = \theta_0 e^{-1/2\tau} \cos \omega' t$, onde $\tau = RI/(NBA)^2$, $\omega = \sqrt{\kappa/I}$ e $\omega' = \omega_0 \sqrt{1 - (2\omega_0\tau)^{-2}}$.