

LA LEGGE DI FARADAY-NEUMANN

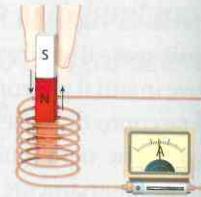
Un campo magnetico che varia genera in un circuito una corrente *indotta*, che dipende da tre grandezze: la rapidità di variazione del campo magnetico esterno, l'area del circuito indotto e la sua orientazione. Si ha corrente indotta quando varia il flusso di campo magnetico attraverso la superficie che ha per contorno il circuito indotto.

Legge di Faraday-Neumann

$$f_{em} = -\frac{\Delta \Phi(\vec{B})}{\Delta t}; \quad f_{em} = -\frac{d\Phi(\vec{B})}{dt}$$

forza elettromotrice media = $\frac{\text{variazione del flusso del campo magnetico}}{\text{intervallo di tempo}}$

forza elettromotrice istantanea = derivata del flusso del campo magnetico rispetto al tempo



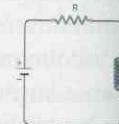
- La forza elettromotrice indotta media è direttamente proporzionale alla rapidità con cui varia il flusso di campo magnetico; la forza elettromotrice indotta istantanea è uguale alla derivata temporale del flusso di campo magnetico, cambiata di segno.
- Nel caso di circuito in moto, la corrente indotta è interpretata come l'effetto della forza di Lorentz che agisce sugli elettroni di conduzione nel circuito.

Legge di Lenz

- Il verso della corrente indotta è sempre tale da opporsi alla variazione di flusso che la genera.
- La legge di Lenz è espressa, dal punto di vista matematico, dal segno «meno» che compare nella legge di Faraday-Neumann.
- La legge di Lenz afferma la validità del principio di conservazione dell'energia: se il campo indotto, per esempio, accentuasse un aumento di flusso totale, questo creerebbe una corrente indotta più intensa e quindi un nuovo campo magnetico indotto, innescando un processo senza fine.

Induttanza o coefficiente di autoinduzione

$$\Phi(\vec{B}) = Li \quad \text{flusso del campo magnetico} = \text{induttanza} \times \text{corrente elettrica}$$



- L'induttanza L è la costante di proporzionalità tra il flusso del campo magnetico attraverso il circuito e la corrente che fluisce nel circuito stesso. Si misura in henry (H): $1 H = \frac{1 Wb}{1 A}$.
- L è caratteristica del circuito e del materiale in cui è immerso.

Legge di Faraday-Neumann per l'autoinduzione

$$f_{em} = -L \frac{\Delta i}{\Delta t} \quad \text{forza elettromotrice media} = -(\text{induttanza}) \cdot \frac{\text{variazione della corrente elettrica}}{\text{intervallo di tempo}}$$

$$f_{em} = -L \frac{di}{dt} \quad \text{forza elettromotrice istantanea} = -(\text{induttanza}) \times (\text{derivata della corrente elettrica rispetto al tempo})$$

- Per avere induzione elettromagnetica non è necessario un campo magnetico esterno: l'**autoinduzione** è la produzione di una forza elettromotrice indotta a causa della variazione di corrente che si ha nel circuito stesso.

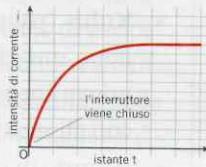
Corrente del circuito RL

Un circuito *RL* è costituito da un generatore di tensione collegato in serie a una resistenza e a un'induttanza.

Chiusura

$$i(t) = \frac{f_{em}}{R} \left(1 - e^{-\frac{R}{L}t}\right)$$

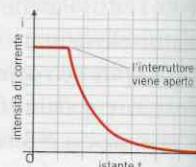
- La corrente prima aumenta rapidamente, poi tende a raggiungere il valore di equilibrio.



Apertura

$$i(t) = \frac{f_{em}}{R} e^{-\frac{R}{L}t}$$

- La corrente continua a scorrere per un certo tempo dopo l'apertura del circuito.



I CIRCUITI IN CORRENTE ALTERNATA

La tensione elettrica degli impianti domestici è generata nelle centrali elettriche dagli *alternatori*, dispositivi che trasformano energia cinetica in energia elettrica e che sono un'applicazione della legge sperimentale dell'induzione elettromagnetica.

Forza elettromotrice alternata

$$f_{em}(t) = f_0 \sin(\omega t) \quad \text{forza elettromotrice alternata} = (\text{ampiezza della forza elettromotrice}) \cdot \sin(\text{velocità angolare spira} \cdot \text{tempo})$$

- La tensione alternata è prodotta dall'**alternatore**, in cui una spira rettangolare ruota all'interno di un campo magnetico: la variazione del flusso di campo magnetico genera nella spira una corrente indotta.
- ω è la velocità angolare costante della spira attorno al suo asse; f_0 è detto ampiezza della forza elettromotrice.
- La tensione alternata cambia continuamente valore, ma si ripete uguale dopo un periodo T , impiegato dalla spira a fare un giro completo.

Corrente alternata

$$i(t) = i_0 \sin(\omega t)$$

corrente alternata = (ampiezza della corrente) · sen(velocità angolare spira · tempo)

- Scorre con intensità variabile.
- Il verso cambia ogni metà periodo.

Valore efficace della corrente alternata

$$i_{eff} = \frac{i_0}{\sqrt{2}} \quad \text{corrente efficace} = \frac{\text{valore massimo della corrente}}{\sqrt{2}}$$

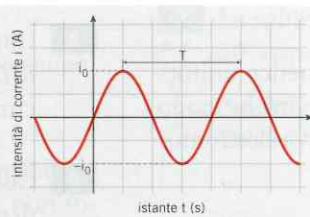
- Rappresenta l'intensità di una corrente continua che eroga la stessa potenza fornita dalla corrente alternata.

Valore efficace della forza elettromotrice alternata

$$f_{eff} = \frac{f_0}{\sqrt{2}}$$

$$\text{forza elettromotrice efficace} = \frac{\text{ampiezza della forza elettromotrice}}{\sqrt{2}}$$

- Permette di scrivere la potenza media dissipata come $\bar{P} = i_{eff} f_{eff}$.
- Dire che la tensione domestica è 220 V significa in realtà che $f_{eff} = 220$ V.



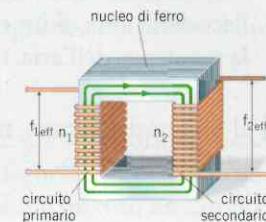
Trasformatore

Dispositivo capace di modificare il valore della tensione e della corrente alternata.

Tensioni e correnti efficaci per il trasformatore

$$f_{2eff} = f_{1eff} \frac{n_2}{n_1}; \quad \frac{i_{2eff}}{i_{1eff}} = \frac{f_{1eff}}{f_{2eff}}$$

- Le tensioni efficaci in ingresso f_{1eff} e in uscita f_{2eff} sono direttamente proporzionali al numero di spire delle due bobine.
- Il quoziente n_2/n_1 si chiama rapporto di trasformazione.



Circuiti in corrente alternata

Circuito puramente ohmico

$$f_{em}(t) = R i(t)$$

- Forza elettromotrice e corrente sono in fase e direttamente proporzionali.

Circuito puramente induttivo

$$f_{em}(t) = f_0 \sin(\omega t) \quad i(t) = -\frac{f_0}{\omega L} \cos(\omega t)$$

- La corrente ritarda di un quarto di periodo rispetto alla forza elettromotrice.

Circuito puramente capacitivo

$$f_{em}(t) = f_0 \sin(\omega t) \quad i(t) = C f_0 \omega \cos(\omega t)$$

- La corrente anticipa di un quarto di periodo rispetto alla forza elettromotrice.

Impedenza Z di un circuito RLC in serie

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}$$

- L'impedenza Z è definita dalla relazione $f_{eff} = Zi_{eff}$ fra i valori efficaci della forza elettromotrice e della corrente.
- ωL è la reattanza induttiva: l'effetto di una bobina in serie è direttamente proporzionale a ω .
- $\frac{1}{\omega C}$ è la reattanza capacitiva: il contributo di un condensatore è inversamente proporzionale a ω .
- Per $LC = 1/\omega^2$, Z assume il suo valore minimo, cioè $Z = R$ (condizione di risonanza).

ESERCIZI

DOMANDE SUI CONCETTI

1 Una spira formata da filo conduttore flessibile è posta in un campo magnetico.

► Descrivi tre modi per indurre nella spira una corrente elettrica.

2 Perché, mentre la calamita ruota, nel circuito si accende la lampadina?

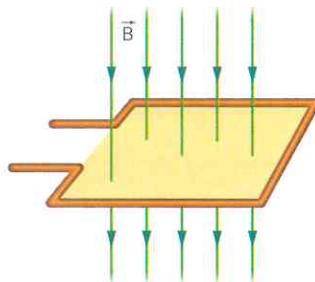
3 Una spira di materiale conduttore è parallela alle linee di un campo magnetico uniforme in cui è immersa, e si muove mantenendosi parallela al campo magnetico. Perché la spira non è attraversata da corrente elettrica?

4 Hai a disposizione un campo magnetico uniforme e una matassa di filo conduttore. In che modo puoi utilizzarli per aumentare la forza elettromotrice indotta?

5 Un magnete rettangolare cade a terra, dove si trova un grosso anello di materiale conduttore. La lunghezza del magnete è parallela alla direzione del moto.

► Il magnete cadendo sull'anello si muove con l'accelerazione di un corpo in caduta? (Trascura la resistenza dell'aria.)

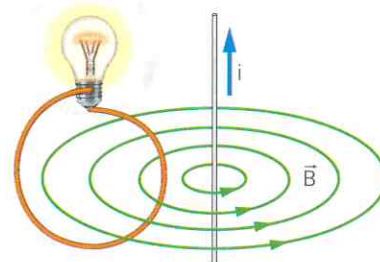
6 Il valore del campo magnetico nella figura aumenta nel tempo.



► Indica il verso del campo magnetico indotto e quello della corrente indotta.

► Cambia qualcosa se il campo esterno diminuisce nel tempo?

7 La corrente che fluisce nel filo rettilineo della figura diminuisce nel tempo.



► Qual è il verso della corrente indotta nella spira circolare a sinistra del filo?

8 Che significato fisico si può attribuire al termine R/L nella formula della corrente che fluisce in un circuito RL dopo la chiusura dell'interruttore?

9 Cosa rappresenta il coefficiente di autoinduzione di un circuito?

10 Il coefficiente di autoinduzione L di una bobina dipende dall'intensità di corrente che attraversa la bobina? Da cosa dipende?

11 La corrente che percorre un solenoide raddoppia il suo valore: come varia la densità volumica di energia magnetica nel solenoide?

12 Perché alla chiusura di un circuito, che contiene un'induttanza L , viene immagazzinata l'energia $\frac{1}{2}LI^2$?

13 La somma delle tre forze elettromotorie di un sistema trifase è nulla poiché sono sfasate di un terzo di periodo l'una dall'altra. Le tre tensioni hanno la stessa ampiezza e la stessa frequenza. Immagina che ciascuna delle tensioni sia rappresentata da un vettore.

► Come devono essere disposti i tre vettori perché la loro somma sia il vettore nullo?

14 Qual è la legge fisica sulla quale è basato il funzionamento dell'alternatore?

15 Un circuito puramente induttivo ha un'induttanza



ESERCIZI

di 0,5 H ed è collegato a un generatore che mantiene una forza elettromotrice alternata con una tensione massima di 310 V e una frequenza di 50 Hz.

► Assegna dei valori al tempo e riporta su un grafico l'andamento della forza elettromotrice e quello della corrente rispetto al tempo, evidenziando il loro sfasamento.

16 In quale tipo di circuito la forza elettromotrice ai capi di un resistore e la corrente elettrica che lo attraversa sono in fase?

17 A che tipo di circuito è equivalente un circuito *RLC* in serie in condizione di risonanza?

18 Quando, in un circuito *RLC* in serie, si ha l'angolo di sfasamento nullo?

19 In un circuito *LC* le differenze di potenziale ai capi dell'induttanza e del condensatore non sono in fase, cioè raggiungono il loro valore massimo in istanti diversi. Qual è la loro differenza di fase?

20 L'analogia meccanica del circuito *LC* è una massa attaccata a una molla ideale. Qual è l'analogia meccanica del circuito *RLC*?

21 Il rapporto tra correnti e forze elettromotrici $\frac{i_{2\text{eff}}}{i_{1\text{eff}}} = \frac{f_{1\text{eff}}}{f_{2\text{eff}}}$ è pensato su un rendimento ideale del trasformatore.

► Se un trasformatore reale dovesse avere un rendimento dell'80% come si modificherebbe la relazione precedente?

► Un trasformatore potrebbe funzionare alimentato con una corrente continua pulsante?

22 Un trasformatore potrebbe funzionare alimentato da una corrente continua pulsante? Spiega perché.

23 Un acceleratore lineare costruito per elettroni può essere usato anche per accelerare protoni?

24 Che vantaggi offre il ciclotrone rispetto a un acceleratore lineare?

1 LA CORRENTE INDOTTA

1 Una spira circolare ha un'area di $12,6 \text{ cm}^2$ ed è immersa in un campo magnetico di $0,0060 \text{ T}$ le cui linee di campo sono perpendicolari alla superficie della spira.

► Calcola il flusso del campo magnetico attraverso la spira.

$[7,6 \times 10^{-6} \text{ Wb}]$

2 La spira dell'esercizio 1 compie una rotazione di 30° rispetto alla posizione precedente.

► Calcola il nuovo valore del flusso del campo magnetico.

$[6,5 \times 10^{-6} \text{ Wb}]$

3 Un circuito quadrato di lato 10 cm è immerso in un campo magnetico. Le linee del campo formano un angolo di 45° con il piano della spira. In questa posizione il flusso di campo attraverso la superficie è di $7,5 \times 10^{-23} \text{ Wb}$.

► Calcola il campo magnetico che genera il flusso.

$[1,1 \text{ T}]$

4 L'area di ognuna delle spire che formano una bobina è pari a $2,0 \text{ cm}^2$. La bobina è percorsa da una corrente che genera al suo interno un campo magnetico di $0,25 \text{ T}$. Il flusso del campo attraverso la bobina è di $1,0 \text{ Wb}$.

► Calcola il numero di spire della bobina.

$[2,0 \times 10^4]$

5 Una spira conduttrice circolare di raggio $2,4 \text{ cm}$ è immersa in un campo magnetico uniforme di $90 \mu\text{T}$, inizialmente perpendicolare al piano della spira. Successivamente la spira ruota intorno al suo diametro con una velocità angolare costante di 10 rad/s . Considera un intervallo di tempo di $0,010 \text{ s}$.

► Calcola il valore del flusso finale del campo magnetico attraverso la spira.

$[1,6 \times 10^{-7} \text{ Wb}]$

ESERCIZI

2 LA LEGGE DI FARADAY-NEUMANN

- 6** The flux of the electromagnetic field through a circuit of resistance $37\ \Omega$ rises from $3.1\ \text{Wb}$ to $10.5\ \text{Wb}$ in $20\ \text{s}$.

► Calculate the electromotive force (emf) and the current through the circuit during this time lapse.

[$0.37\ \text{V}; 0.010\ \text{A}$]

7

Una spira circolare di raggio $2,5\ \text{cm}$ è immersa in un campo magnetico di modulo $0,15\ \text{T}$. All'inizio è posta perpendicolarmente alle linee di campo. Successivamente subisce una rotazione di 30° . La rotazione avviene in $10\ \text{s}$.

► Calcola la variazione del flusso del campo magnetico.

► Calcola la forza elettromotrice indotta.

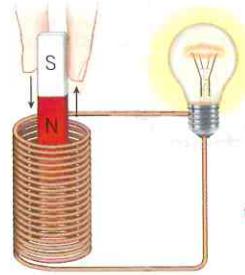
[$-3,9 \times 10^{-5}\ \text{Wb}; 3,9 \times 10^{-6}\ \text{V}$]

8

PROBLEMA SVOLTO

Una bobina è composta da 20 spire, ognuna con un'area di $4,0\ \text{cm}^2$, ed è collegata a un circuito che contiene una lampadina da torcia elettrica, ma nessun generatore. Avvicinando e allontanando una calamita, il campo magnetico medio sulla superficie della bobina passa dal valore zero al valore di $9,4\ \text{mT}$. Un ragazzo sposta la calamita vicino e poi lontano dalla bobina due volte al secondo.

► Qual è il modulo della forza elettromotrice media indotta nel circuito da tale variazione di flusso?



■ Strategia e soluzione

- L'area di una spira della bobina è $A_1 = 4,0 \times 10^{-4}\ \text{m}^2$; essendo composta da $n = 20$ spire, essa è equivalente a un'unica spira di area

$$A = nA_1 = 20 \times 4,0 \times 10^{-4}\ \text{m}^2 = 8,0 \times 10^{-3}\ \text{m}^2.$$

- Il valore iniziale del campo magnetico è $B_i = 0\ \text{T}$ e quello finale è $B_f = 9,4 \times 10^{-3}\ \text{T}$, per cui la variazione del flusso magnetico è

$$\Delta\Phi(\vec{B}) = \Phi_f - \Phi_i = AB_f - AB_i = 8,0 \times 10^{-3}\ \text{m}^2 \times (9,4 \times 10^{-3}\ \text{T} - 0\ \text{T}) = 7,5 \times 10^{-5}\ \text{Wb}.$$

- Visto che la calamita è mossa avanti e indietro due volte al secondo, questa variazione di flusso avviene nell'intervallo di tempo $\Delta t = 0,5\ \text{s}$.
- Ora sostituiamo i valori numerici trovati nella legge di Faraday-Neumann (scritta senza il segno meno perché il problema chiede il modulo della f_{em}) e otteniamo:

$$f_{em} = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{7,5 \times 10^{-5}\ \text{Wb}}{0,5\ \text{s}} = 1,5 \times 10^{-4} \frac{\text{Wb}}{\text{s}} = 1,5 \times 10^{-4}\ \text{V}.$$

■ Discussione

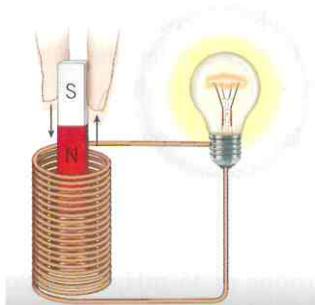
Nel circuito c'è una lampadina da torcia elettrica, che non si illumina con una forza elettromotrice indotta di $0,15\ \text{mV}$. Per ottenere una f_{em} adeguata, per esempio $1,5\ \text{V}$, dobbiamo aumentare la forza elettromotrice indotta di $10\ 000$ volte.

Potremmo ottenere questo effetto diminuendo della stessa misura il valore, che sta al denominatore della formula di Faraday-Neumann. Ma questo significa avvicinare e allontanare la calamita $20\ 000$ volte al secondo.

La forza elettromotrice indotta è quindi troppo bassa per accendere la lampadina. In pratica occorre utilizzare dispositivi più adatti allo scopo, come la dinamo o l'alternatore, in cui i campi magnetici sono più elevati e il numero di spire è più grande.

- 9** Una bobina è composta da 35 spire, di raggio 2,0 cm, ed è collegata a un circuito che non contiene un generatore. Avvicinando e allontanando una calamita, il campo magnetico medio sulla superficie della bobina varia di 5,8 mT. La calamita viene spostata vicino e poi lontano dalla bobina quattro volte al secondo.

► Calcola il modulo della forza elettromotrice media indotta nel circuito da tale variazione di flusso.



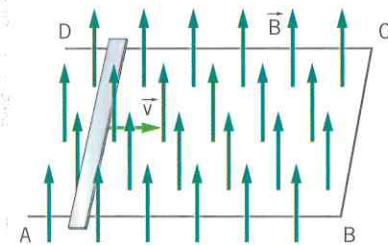
$$[1,0 \times 10^{-3} \text{ V}]$$

- 10** Considera una bobina posta nelle stesse condizioni sperimentali dell'esercizio precedente, composta da un numero diverso di spire di uguale area, e in grado di produrre una forza elettromotrice di 0,45 V.

► Da quante spire è formata?

$$[1,6 \times 10^4]$$

- 11** Una sbarra conduttrice chiude un circuito a forma di U, immerso in un campo magnetico di intensità 0,4 T diretto perpendicolarmente alla superficie del circuito, come nella figura. La sbarra viene spostata verso destra, a partire dalla posizione *AD*, alla velocità di 3,0 cm/s. *AB* misura $2,0 \times 10^{-1}$ m e il lato *BC* misura $1,0 \times 10^{-1}$ m. La sbarra si muove per un intervallo di tempo di 3,0 s. Il circuito ha una resistenza di $5,0 \Omega$.

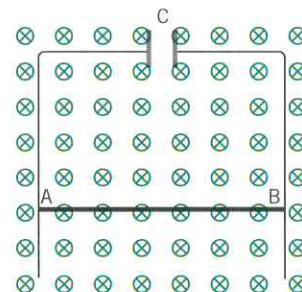


► Calcola la variazione di flusso nell'intervallo di tempo dato.

- Calcola l'intensità di corrente che circola nel circuito a causa dello spostamento della sbarra.

$$[3,6 \times 10^{-3} \text{ Wb}; 2,4 \times 10^{-4} \text{ A}]$$

- 12** Il circuito mostrato nella figura è immerso in un campo $B = 1,1 \text{ T}$ omogeneo, costante e perpendicolare al circuito, con verso entrante nel foglio. La sbarretta conduttrice *AB* che chiude il circuito, inizialmente in quiete, di massa $m = 0,10 \text{ kg}$ e lunga $l = 1,0 \text{ m}$, è libera di scivolare senza attrito sotto l'azione del proprio peso. La capacità del condensatore è $C = 0,80 \text{ F}$. Trascura le resistenze e l'attrito dell'aria.

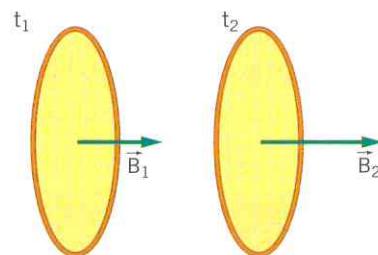


► Calcola l'accelerazione con cui cade la sbarretta.

$$[0,92 \text{ m/s}^2]$$

3 LA LEGGE DI LENZ

- 13** Una spira metallica di area pari a 31 cm^2 è inserita in un campo magnetico che varia di $0,18 \text{ T}$ in $1,0 \text{ s}$. Nella figura è disegnata la situazione della spira nel campo in due istanti successivi.



► Calcola il valore della forza elettromotrice indotta.

► Disegna direzione e verso del campo magnetico indotto.

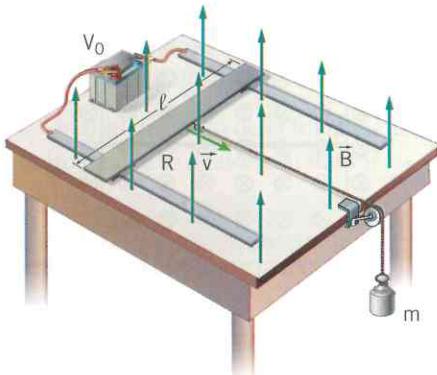
► Indica il verso della corrente indotta nella spira dalla variazione di flusso.

$$[5,6 \times 10^{-4} \text{ V}]$$

ESERCIZI

- 14** ★★★ Su un piano orizzontale sono posti due binari rettilinei paralleli di resistenza trascurabile e collegati a un generatore che fornisce una differenza di potenziale $V_0 = 101$ V. Su di essi è libera di muoversi una sbarra di lunghezza $l = 1,0$ m e resistenza $R = 10 \Omega$ perpendicolare ai binari. La sbarra è collegata, tramite una corda inestensibile e di massa trascurabile che scorre su una carrucola, a un corpo di massa $m = 102$ g che muovendosi verso il basso sotto l'azione della sua forza-peso tende a tirare la sbarra facendola scivolare sui binari. Tutto il sistema è immerso in un campo magnetico $B = 10$ T uniforme, costante e perpendicolare al piano delle rotaie. Trascura tutti gli attriti e la resistenza dei binari.

► Calcola la velocità di regime della sbarra.



[10 m/s]

18

PROBLEMA SVOLTO

Un circuito RL contiene un generatore con una forza elettromotrice di 4,6 V, una resistenza da 27Ω e un'induttanza da $8,1 \times 10^{-5}$ H.

► Calcola dopo quanto tempo, a partire dall'apertura del circuito, la corrente presente in esso si è ridotta a un valore che è lo 1,0% di quello che si aveva a circuito chiuso. vw

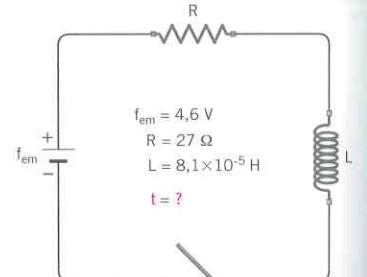
■ Strategia e soluzione

- L'intensità di corrente a circuito chiuso è

$$i_0 = \frac{f_{em}}{R}.$$

- Utilizzando la grandezza i_0 la formula (11), che descrive la corrente all'apertura del circuito, può essere scritta come

$$i(t) = i_0 e^{-\frac{R}{L}t}.$$



4 L'AUTOINDUZIONE E LA MUTUA INDUZIONE

- 15** ★ Un circuito in cui il flusso di un campo magnetico vale $8,0 \times 10^{-5}$ Wb è percorso da una corrente di intensità $8,0 \times 10^{-1}$ A.

► Quanto vale l'induttanza del circuito?

[$1,0 \times 10^{-4}$ H]

- 16** ★ Un circuito ha un coefficiente di autoinduzione di $5,5 \times 10^{-1}$ H. L'intensità della corrente passa da 0 a $5,0 \times 10^{-1}$ A in 4,0 s.

► Calcola la forza elettromotrice indotta nel circuito.

[−69 mV]

- 17** ★ Una coppia di circuiti ha un coefficiente di mutua induzione di 35 mH. All'inizio, la corrente che scorre nel primo circuito ha un'intensità di 0,85 A. In seguito, l'intensità della corrente aumenta fino a 1,8 A in 4,5 s.

► Calcola la variazione del flusso magnetico relativo al secondo circuito.

► Calcola la forza elettromotrice indotta nel secondo circuito.

[$3,0 \times 10^{-2}$ Wb; −7,4 mV]

19

5

20

- Avendo scelto come $t = 0$ s l'istante in cui il circuito viene aperto, la richiesta del problema equivale a sapere qual è l'istante t in cui si ha

$$i(t) = 0,010 i_0.$$

- Ora sostituiamo quest'ultima formula in quella precedente e otteniamo

$$0,010 i_0 = i_0 e^{-\frac{R}{L}t} \implies e^{\frac{R}{L}t} = 1,0 \times 10^2.$$

- Abbiamo così ottenuto un'equazione esponenziale, che si risolve estraendo il logaritmo naturale di entrambi i membri:

$$\frac{R}{L}t = \ln(1,0 \times 10^2) = 4,6 \Rightarrow t = 4,6 \times \frac{L}{R}.$$

- Sostituendo nell'ultimo passaggio i valori numerici otteniamo

$$\begin{aligned} t &= 4,6 \times \frac{L}{R} = 4,6 \times \frac{8,1 \times 10^{-5} \text{ H}}{27 \Omega} = \\ &= 1,4 \times 10^{-5} \frac{\text{Wb}}{\text{A}} \cdot \frac{\text{A}}{\text{V}} = 1,4 \times 10^{-5} \text{ T} \cdot \text{m}^2 \cdot \frac{\text{C}}{\text{J}} = \\ &= 1,4 \times 10^{-5} \frac{\cancel{\text{N}}}{\text{A} \cdot \text{m}} \cdot \cancel{\text{m}^2} \cdot \frac{\text{A} \cdot \text{s}}{\cancel{\text{N}} \cdot \cancel{\text{m}}} = 1,4 \times 10^{-5} \text{ s}. \end{aligned}$$

■ Discussione

I calcoli fatti mostrano che il rapporto L/R ha le dimensioni fisiche di un tempo. In effetti, ciò è necessario per fare in modo che l'esponente $-Rt/L$, che compare nelle formule (10) e (11), sia un numero puro. Il rapporto L/R è chiamato *costante di tempo induttiva*.

Nell'esercizio precedente, il risultato non dipende dal valore numerico della forza elettromotrice. L'importante è solo che questa f_{em} sia diversa da zero.

- 19** Un circuito RL contiene un generatore con una forza elettromotrice di 10 V, una resistenza da $6,2 \Omega$ e una bobina con induttanza 1,5 H.

- Calcola il valore i_0 della corrente a circuito chiuso.
- Calcola dopo quanto tempo dall'apertura del circuito l'intensità della corrente è il 10% di i_0 .
- Determina il valore di i dopo un tempo $t = L/R$.

$$[1,6 \text{ A}; 0,56 \text{ s}; i = i_0 e^{-\frac{R}{L}t}]$$

- Calcola l'energia immagazzinata nel campo magnetico del solenoide.

$$[5,4 \times 10^{-5} \text{ J}]$$

- 21** In un solenoide che ha 600 spire viene fatta scorrere una corrente di 300 mA. Le spire sono avvolte su un supporto cilindrico isolante di raggio 2,25 cm e lunghezza 20,5 cm.

- Calcola l'energia immagazzinata dal campo.
- Calcola la densità di energia nello spazio interno al solenoide.

$$[1,58 \times 10^{-4} \text{ J}; 0,484 \text{ J/m}^3]$$

5 ENERGIA E DENSITÀ DI ENERGIA DEL CAMPO MAGNETICO

- 20** L'avvolgimento di un solenoide è fatto con un filo che ha una resistenza di 36Ω . Il solenoide ha un'induttanza di 5,4 mH. Ai capi dell'avvolgimento c'è una differenza di potenziale di 5,1 V.

- 22** Un solenoide, che contiene 200 spire ognuna di raggio 2,00 cm, ha un'induttanza che vale $6,31 \times 10^{-4} \text{ H}$ ed è attraversato da una corrente di intensità pari a 300 mA.

- Calcola la lunghezza del solenoide.

ESERCIZI

- Calcola la densità di energia del campo magnetico del solenoide.

[10,0 cm; 226 mJ/m³]

- 23** Una bobina di induttanza 0,20 H posta in serie a un resistore di resistenza R è collegata a una pila da 4,5 V. L'energia immagazzinata nel campo magnetico della bobina è 0,020 J.

- Calcola la corrente che attraversa il circuito.
► Calcola il valore della resistenza R .

[0,45 A; 10 Ω]

- 24** Un filo rettilineo è percorso da una corrente di 1,5 A. Un ago magnetico è posto nel vuoto a una distanza di 10 cm dal filo.

- Calcola la densità di energia del campo magnetico nel punto in cui si trova l'ago magnetico.

[3,6 × 10⁻⁶ J/m³]

27



- 25** Un anello superconduttore (con resistenza elettrica nulla) di raggio $R = 1,0$ m è posto inizialmente su un piano orizzontale. L'anello è immerso in un campo magnetico uniforme e costante con direzione parallela al piano orizzontale. L'anello viene ruotato in modo tale da disporsi perpendicolarmente al campo magnetico e per fare ciò viene speso un lavoro $W = 2,0$ J. Il coefficiente di autoinduzione dell'anello è $L = 9,87$ H. Trascura tutti gli attriti.

- Calcola il valore del campo magnetico.

[2,0 T]

28



6 L'ALTERNATORE

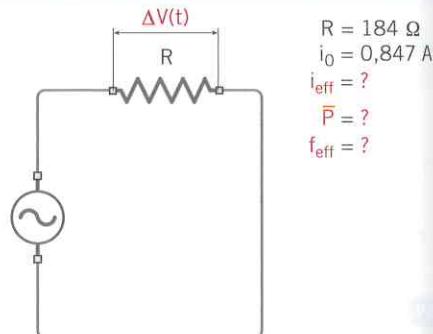
26

PROBLEMA SVOLTO

★

Un resistore con una resistenza di 184 Ω è percorso da una corrente alternata che ha un'ampiezza di 0,847 A.

- Calcola il valore efficace della corrente, la potenza dissipata sul resistore e il valore efficace della tensione alternata ai capi del resistore.



29



■ Strategia e soluzione

- Il valore efficace della corrente alternata è dato dalla formula (26):

$$i_{\text{eff}} = \frac{i_0}{\sqrt{2}} = \frac{0,847 \text{ A}}{\sqrt{2}} = 0,599 \text{ A}$$

- Una volta noto i_{eff} , il valore della potenza dissipata può essere calcolato come

$$\bar{P} = R i_{\text{eff}}^2 = (184 \Omega) \times (0,599 \text{ A})^2 = 66,0 \text{ W}$$

- Ora il valore f_{eff} della forza elettromotrice efficace può essere ricavato dalla (28):

$$f_{\text{eff}} = \frac{\bar{P}}{i_{\text{eff}}} = \frac{66,0 \text{ W}}{0,599 \text{ A}} = 110 \text{ V}$$

30



■ Discussione

Una corrente alternata con un'ampiezza di 0,847 A, attraversando una resistenza, produce lo stesso effetto termico di una corrente continua di 0,599 A.

33



27 A un circuito puramente resistivo è applicata una differenza di potenziale alternata con un valore efficace di 110 V. La potenza massima dissipata nel circuito è di 200 W. Calcola:

- il valore efficace della corrente.
- il valore della resistenza del circuito.

$$[1,82 \text{ A}; 60,4 \Omega]$$

28 Un resistore con una resistenza di 150Ω è attraversato da una corrente alternata che ha un'ampiezza di 300 mA. Calcola:

- il valore efficace della corrente.
- la potenza dissipata dal resistore.
- il valore efficace della tensione alternata ai capi del resistore.
- l'ampiezza della forza elettromotrice alternata applicata ai capi del resistore.

$$[212 \text{ mA}; 6,75 \text{ W}; 31,8 \text{ V}; 45,0 \text{ V}]$$

29 Un generatore fornisce una tensione alternata con valore massimo di 80 V e frequenza 50 Hz. Il circuito ha una resistenza totale di 15Ω .

- Calcola il valore massimo della corrente che attraversa il resistore.
- Determina l'equazione che esprime l'andamento della tensione alternata in funzione del tempo.

$$[5,3 \text{ A}; (80 \text{ V}) \sin \left(\left(3,1 \times 10^2 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \right) t \right)]$$

30 Un generatore di tensione alternata è collegato a una stufa di resistenza 250Ω . Il valore massimo

della tensione alternata è di 200 V. Calcola:

- il valore efficace della corrente.
- la potenza dissipata dalla stufa.
- la quantità di calore prodotta per effetto Joule in un intervallo di tempo di 15 min.

$$[0,566 \text{ A}; 80,0 \text{ W}; 7,20 \times 10^4 \text{ J}]$$

31 Una spira circolare di raggio $a = 10 \text{ cm}$ e resistenza R ruota con velocità angolare $\omega = 20 \text{ rad/s}$ attorno al suo asse. La spira è immersa in un campo magnetico di intensità $B = 1,0 \text{ T}$ uniforme e costante. All'istante $t = 0 \text{ s}$ la perpendicolare al piano della spira forma un angolo $\theta_0 = \pi/4$ con la direzione del campo magnetico e la potenza necessaria per la rotazione della spira è $P = 9,87 \text{ W}$.

- Determina il valore della resistenza R della spira.

$$[2,0 \times 10^{-2} \Omega]$$

7 GLI ELEMENTI CIRCUITALI FONDAMENTALI IN CORRENTE ALTERNATA

32 In un circuito puramente ohmico, un resistore di 100Ω è collegato a un generatore che fornisce una forza elettromotrice alternata di valore massimo 240 V, con una frequenza di 50,0 Hz.

- Calcola la pulsazione ω della forza elettromotrice.
- Calcola il valore massimo della corrente che circola nel resistore.
- Scrivi, inoltre, l'espressione della forza elettromotrice in funzione del tempo.

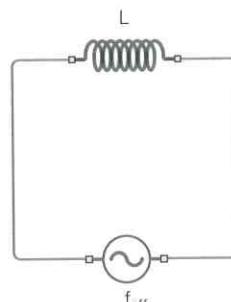
$$[314 \text{ rad/s}; 2,40 \text{ A}; f(t) = (240 \text{ V}) \sin \left(\left(314 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \right) t \right)]$$

33

PROBLEMA SVOLTO

Un circuito puramente induttivo contiene una bobina con un'induttanza di $4,47 \text{ mH}$ e un generatore che mantiene una forza elettromotrice con un valore efficace di $16,0 \text{ V}$ e una frequenza di $50,0 \text{ Hz}$.

- Determina l'ampiezza e il valore efficace della corrente elettrica presente nel circuito.



$$\begin{aligned} L &= 4,47 \text{ mH} \\ f_{\text{eff}} &= 16,0 \text{ V} \\ \omega &= 50,0 \text{ Hz} \\ i_{OL} &=? \\ i_{\text{eff}} &=? \end{aligned}$$

- Nella formula (31) si legge che l'ampiezza della corrente che circola in un circuito puramente induttivo è

$$i_{0L} = \frac{f_0}{\omega L}.$$

Quindi, per risolvere il problema è necessario determinare f_0 e ω .

- Dalla definizione (27) possiamo ottenere

$$f_0 = \sqrt{2} f_{eff} = \sqrt{2} \times (16,0 \text{ V}) = 22,6 \text{ V.}$$

- Dalla seconda delle formule (24) troviamo, inoltre,

$$\omega = 2\pi f = 2\pi \times 50,0 \text{ Hz} = 314 \text{ rad/s.}$$

- Ora possiamo quindi calcolare

$$i_{0L} = \frac{f_0}{\omega L} = \frac{22,6 \text{ V}}{(314 \text{ rad/s}) \times (4,47 \times 10^{-3} \text{ H})} = 16,1 \text{ A.}$$

- Infine, il valore efficace della corrente è:

$$i_{eff} = \frac{i_0}{\sqrt{2}} = \frac{16,1 \text{ A}}{\sqrt{2}} = 11,4 \text{ A.}$$

■ Discussione

La corrente che fluisce nel circuito ha un'intensità piuttosto elevata, che diventerebbe ancora più alta se l'induttanza L fosse più piccola. Per capire questo risultato bisogna pensare che la resistenza R del circuito è nulla e questo fatto, di per sé, implicherebbe una corrente di intensità infinita.

Quindi l'intensità di corrente nel circuito può essere limitata soltanto dal fenomeno dell'autoinduzione: se L è molto piccola l'effetto dell'autoinduzione è trascurabile e la corrente tende comunque a essere infinitamente intensa; più L è grande, più la corrente alternata è ridotta.

- 34** Un circuito puramente induttivo contiene una bobina che ha un'induttanza di 1,5 H e un generatore che mantiene una forza elettromotrice con un valore massimo di 60 V e un periodo di 0,020 s.
- Determina l'ampiezza e il valore efficace della corrente elettrica che attraversa il circuito.

$$[1,3 \times 10^{-1} \text{ A}; 9,0 \times 10^{-2} \text{ A}]$$

- 35** La corrente che circola in un condensatore di capacità 15 μF ha il valore massimo di 20 A. La frequenza del generatore di tensione alternata è di 50 Hz.
- Calcola la forza elettromotrice massima e quella efficace del generatore.

$$[4,2 \times 10^3 \text{ V}; 3,0 \times 10^3 \text{ V}]$$

- 36** Un condensatore e un avvolgimento fanno passare la stessa corrente massima quando sono alimentati dalla stessa differenza di potenziale alternata.

- Stabilisci la relazione che intercorre tra la capacità del condensatore e l'induttanza dell'avvolgimento.

- 37** Un generatore fornisce una tensione alternata di valore efficace 220 V e ha un periodo di 0,020 s. Esso viene collegato separatamente a una resistenza di 150 Ω , poi a un solenoide di induttanza 150 mH e infine a un condensatore di capacità 200 μF .

- Calcola la corrente elettrica massima che attraversa gli elementi circuituali nei tre diversi casi.

$$[2,07 \text{ A}; 6,6 \text{ A}; 20 \text{ A}]$$

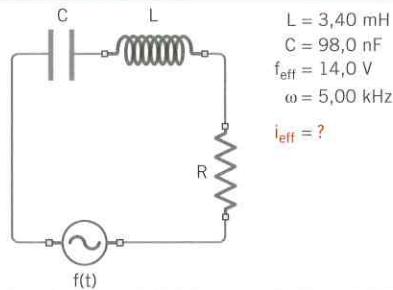
8 I CIRCUITI IN CORRENTE ALTERNATA

38 PROBLEMA SVOLTO

★ ★

Un circuito *RLC* in serie è composto da una resistenza da $250\ \Omega$, una bobina da $3,40\text{ mH}$ e un condensatore da $98,0\text{ nF}$. Il circuito è collegato a una alimentazione alternata con un valore efficace di $14,0\text{ V}$ e una frequenza di $5,00\text{ kHz}$.

- Determina l'intensità efficace della corrente elettrica che fluisce nel circuito.



■ Strategia e soluzione

- Per risolvere il problema è necessario calcolare l'impedenza del circuito. A questo proposito ricaviamo separatamente i termini

$$\omega L = 2\pi f L = 2 \times 3,14 \times (5,00 \times 10^3 \text{ Hz}) \times (3,40 \times 10^{-3} \text{ H}) = 107 \Omega$$

e

$$\frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{2 \times 3,14 \times 5,00 \times 10^3 \text{ Hz} \times 98,0 \times 10^{-9} \text{ F}} = 325 \Omega.$$

- Ora siamo in grado di calcolare

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2} = \sqrt{250 \Omega^2 + 107 \Omega - 325 \Omega^2} = 332 \Omega$$

e quindi possiamo ricavare l'intensità della corrente efficace, che vale

$$i_{\text{eff}} = \frac{f_{\text{eff}}}{Z} = \frac{14,0 \text{ V}}{332 \Omega} = 0,0422 \text{ A.}$$

■ Discussione

Dalla formula per le correnti di apertura e chiusura sappiamo che il rapporto L/R ha le dimensioni fisiche di un tempo:

$$\left[\frac{L}{R} \right] = [t].$$

Questo ci permette di calcolare le dimensioni fisiche del prodotto ωL :

$$[\omega L] = \left[\omega \frac{L}{R} R \right] = [t]^{-1} [t] [R] = [R].$$

Ciò conferma che, in unità S.I., il prodotto ωL si misura in ohm, come si è scritto sopra. Allo stesso modo, sapendo che

$$[RC] = [t],$$

si trova

$$\left[\frac{1}{\omega C} \right] = \left[\frac{1}{\omega} \frac{1}{RC} R \right] = [t] [t]^{-1} [R] = [R],$$

per cui è confermato che, nel Sistema Internazionale, anche $\frac{1}{\omega C}$ si misura in ohm.

ESERCIZI

39 Un circuito *RLC* in serie costituito da un condensatore di capacità $82 \mu\text{F}$, un'induttanza di $8,0 \text{ mH}$ e una resistenza di 25Ω è alimentato, alla frequenza di $1,0 \text{ kHz}$, con una tensione alternata di valore efficace 50 V .

- Calcola il valore dell'intensità massima e quello efficace della corrente.
- Calcola l'angolo di sfasamento fra la corrente e la tensione.

[$1,3 \text{ A}; 0,92 \text{ A}; 1,1 \text{ rad}$]

40 In un circuito *RLC* sono presenti in serie una resistenza da 15Ω , un condensatore di capacità $6,0 \mu\text{F}$ e una bobina di induttanza 10 mH . Agli estremi del circuito è collegato un generatore con una frequenza di 50 Hz .

- Calcola lo sfasamento tra la corrente e la tensione.

[$-1,5 \text{ rad}$]

41 Un circuito *RLC* in serie contiene una resistenza di $8,0 \Omega$ posta in serie con un'induttanza di $0,50 \text{ H}$ e una capacità di $6,0 \mu\text{F}$. È collegato a un'alimentazione alternata con una tensione massima di $2,0 \times 10^2 \text{ V}$ e una frequenza di 50 Hz . Calcola:

- l'impedenza del circuito.
- la corrente massima che vi circola.
- la frequenza di risonanza.

[$3,7 \times 10^2 \text{ W}; 5,4 \times 10^{-1} \text{ A}; 92 \text{ Hz}$]

42 Una lavatrice ha una resistenza che scalda l'acqua il cui valore può variare da $3,0 \Omega$ a 250Ω . Nella fase iniziale di centrifuga, nel circuito fluisce una corrente di valore efficace pari a $2,27 \text{ A}$. In questa fase, il motore che fa ruotare il cestello può essere paragonato a un'induttanza. La lavatrice è collegata alla rete elettrica domestica che fornisce una tensione efficace di 220 V con una frequenza di 50 Hz . Supponi che nella fase iniziale di centrifuga la resistenza assuma il suo valore minimo.

- Calcola il valore dell'induttanza del motore.

[$3,1 \times 10^{-1} \text{ H}$]

43 Un circuito è formato da una resistenza R in serie a un induttore di induttanza L , di resistenza tra-

scurabile, costituito da $n = 100$ spire di raggio $a = 0,10 \text{ m}$ e lungo $l = 1,0 \text{ m}$. La tensione alternata fornita dal generatore ha una frequenza $v = 50 \text{ Hz}$ e la corrente è in ritardo rispetto alla tensione di $\varphi = \pi/4$.

- Determina il valore della resistenza R .

[$0,12 \Omega$]

44 ★★★ Un elettrodomestico che contiene un circuito *RLC* in serie è collegato alla rete domestica di tensione $V_{eff} = 220 \text{ V}$ e frequenza $v = 50 \text{ Hz}$. Assorbe una corrente $i_{eff} = 7 \text{ A}$ e la resistenza vale $R = 9,36 \Omega$. Tra la capacità e l'induttanza vale la relazione $LC = 2/\omega^2$.

- Ricava il valore di L .

[$0,2 \text{ H}$]

9 IL CIRCUITO *LC*

45 ★★★ Un condensatore di capacità $C = 40 \text{ nF}$ viene caricato con una carica $Q = 3,6 \text{ nC}$ e successivamente collegato a una induttanza $L = 4,2 \text{ mH}$.

- Determina la pulsazione ω del circuito.
- Determina la massima differenza di potenziale che si può misurare ai capi dell'induttanza.
- Determina l'energia presente nel circuito.

[$77 \text{ kHz}; 9,0 \times 10^{-2} \text{ V}; 1,6 \times 10^{-10} \text{ J}$]

46 ★★★ In un circuito *LC* la differenza di potenziale ai capi del condensatore, di capacità $C = 85 \text{ nF}$, è massima al tempo $t_0 = 0 \text{ s}$ e la corrente nell'induttanza diventa massima dopo $\Delta t = 1,2 \times 10^{-6} \text{ s}$. La massima corrente che attraversa l'induttanza è $i_{max} = 24 \text{ mA}$.

- Determina l'induttanza del circuito.
- Determina la massima carica presente nel condensatore.

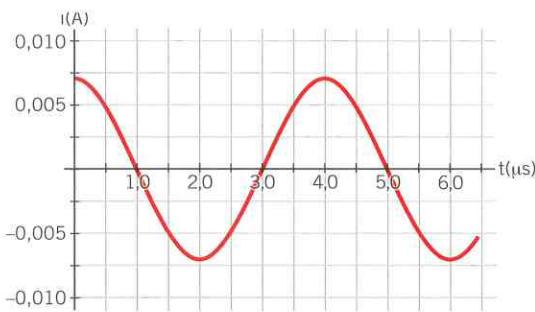
[$6,9 \times 10^{-6} \text{ H}; 1,8 \times 10^{-8} \text{ C}$]

47 ★★★ Nella figura successiva è riportata la corrente di un circuito *LC* con capacità $C = 120 \text{ nF}$.

48
★★★

10

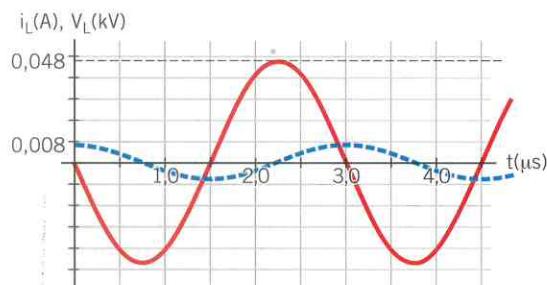
49 ★★★



- Determina la pulsazione del circuito.
- Determina la massima differenza di potenziale ai capi dell'induttanza.

[$1,6 \times 10^6 \text{ Hz}$; 37 mV]

- 48** Tommaso ha preso delle misure in laboratorio su un circuito LC e alla fine delle misurazioni ha frettolosamente disegnato nel suo quaderno il seguente grafico:



Al momento di preparare la relazione sull'esperimento, si rende conto che ha dimenticato di annotare dati importanti. Ricorda però con certezza che i due grafici rappresentano la corrente e la differenza di potenziale ai capi dell'induttanza, con le unità di misura indicate nella figura.

- Come può Tommaso dedurre dal grafico i valori della pulsazione, della intensità massima di corrente, dell'induttanza e della capacità del condensatore?
- Disegna il grafico della carica del condensatore $Q(t)$ in funzione del tempo.

[$2,1 \text{ MHz}$; $8,0 \text{ mA}$; $2,9 \text{ mH}$; 80 pF]

10 IL TRASFORMATORE

- 49** In un trasformatore il circuito primario ha 900 spire mentre il secondario ne ha 400. La tensione in entrata è quella di rete (220 V).

spire mentre il secondario ne ha 400. La tensione in entrata è quella di rete (220 V).

- Calcola il valore efficace della tensione di uscita.

[$97,8 \text{ V}$]

- 50** Il circuito primario di un trasformatore ha 140 spire mentre il secondario ne ha 660. Al primario viene applicata una tensione di 220 V che genera una corrente di $15,0 \text{ A}$.

- Calcola la corrente del secondario trascurando la dissipazione di energia.
- Il trasformatore ha un rendimento del 95%. Calcola la sua potenza reale.

[$3,18 \text{ A}$; $3,1 \times 10^3 \text{ W}$]

- 51** Un trasformatore è utilizzato in un lettore CD portatile. Il circuito primario, collegato con la presa di corrente ha 660 spire. La tensione efficace in ingresso è 220 V , quella in uscita è $9,0 \text{ V}$.

- Quante spire contiene il circuito secondario?

[27]

- 52** Una tensione efficace di $2,2 \times 10^2 \text{ V}$ è applicata ai morsetti del circuito primario di un trasformatore in cui passa una corrente di 10 A . Nel primario ci sono 100 spire, mentre nel secondario ce ne sono 10 000. Calcola:

- la potenza sviluppata dalla corrente nel primario.
- il valore della tensione efficace ai capi del secondario.
- l'intensità efficace della corrente che passa nel secondario nel caso in cui la potenza fornita dalla corrente nel secondario sia pari all'85% della potenza fornita dalla corrente nel primario.

[$2,2 \times 10^3 \text{ W}$; $2,2 \times 10^4 \text{ V}$; $85 \times 10^{-3} \text{ A}$]

- 53** Un trasformatore ideale ha un rapporto di trasformazione $K = 2\sqrt{3}$. Il circuito primario del trasformatore ha una resistenza R_1 mentre il circuito secondario ha una resistenza R_2 .

- Calcola il rapporto R_2/R_1 .

[12]

ESERCIZI

11 LINAC E CICLOTRONE

54 In un acceleratore lineare vengono iniettati elettroni che nel primo tubo raggiungono un'energia cinetica pari a 1,0 keV ($1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$). La differenza di potenziale tra il primo e il secondo tubo è 2,0 kV.

► Determina l'energia cinetica degli elettroni quando sono nel secondo tubo.

► Determina la velocità degli elettroni quando sono nel secondo tubo.

► Quale frazione rappresenta della velocità della luce nel vuoto?

$$[4,8 \times 10^{-16} \text{ J}; 3,2 \times 10^7 \text{ m/s}]$$

55 In un acceleratore lineare vengono iniettati elettroni che nel primo tubo raggiungono un'energia cinetica pari a 0,50 keV ($1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$). La differenza di potenziale tra ogni tubo e il successivo è 2,0 kV e l'inversione di polarità nel generatore della forza elettromotrice alternata avviene con frequenza $f = 100 \text{ MHz}$.

► Determina la lunghezza del secondo tubo dell'acceleratore affinché gli elettroni ne escano quando è avvenuta la prima inversione di polarità.

(*Suggerimento:* trascura l'intervallo di tempo relativo al passaggio da un tubo all'altro.)

$$[0,15 \text{ m}]$$

56 Nel primo ciclotrone di Lawrence, che aveva un raggio di circa 10 cm, i protoni venivano iniettati alla velocità di $4,0 \times 10^5 \text{ m/s}$ in corrispondenza della separazione tra i due *dee* ed erano sottoposti a un campo magnetico di intensità 1,5 T. La differenza di potenziale tra i due *dee* era di 1800 V.

► Quali sono i raggi della prima e della seconda semicirconferenza percorsa dai protoni?

► Qual è la frequenza di ciclotrone?

$$[2,8 \times 10^{-3} \text{ m}, 4,9 \times 10^{-3} \text{ m}; 2,3 \times 10^7 \text{ Hz}]$$

57 Considera la stessa situazione dell'esercizio precedente.

► Determina il raggio della semicirconferenza

percorsa dai protoni dopo che hanno attraversato 6 volte la zona che separa i due *dee*.

► Determina la frequenza con cui deve essere alternata la differenza di potenziale tra i due *dee* affinché il ciclotrone funzioni correttamente.

$$[1,0 \text{ cm}; 4,6 \times 10^7 \text{ Hz}]$$

PROBLEMI GENERALI

1 Una spira circolare di raggio 5,0 cm ha una resistenza pari a $4,0 \times 10^{-3} \Omega$. Un campo magnetico è disposto perpendicolarmente ad essa e ha un'intensità variabile nel tempo. La variazione di flusso del campo magnetico avviene in 2,0 s e produce nella spira una corrente di 0,50 A. Calcola:

► il valore della forza elettromotrice indotta.

► la variazione di flusso.

► la corrispondente variazione del campo magnetico esterno.

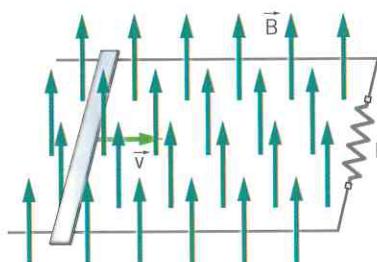
$$[2,0 \times 10^{-3} \text{ V}; 4,0 \times 10^{-3} \text{ Wb}; 0,51 \text{ T}]$$

2 Una sbarretta conduttrice scorre su due guide metalliche parallele appoggiate sopra un piano orizzontale e si muove con velocità costante $v = 20 \text{ cm/s}$. Le guide distano tra di loro 20 cm e sono collegate da un conduttore di resistenza $R = 2,0 \Omega$. La sbarretta si muove in un campo magnetico di intensità 0,50 T, perpendicolare al piano e orientato come nella figura. Calcola:

► la forza elettromotrice indotta agli estremi della sbarretta.

► l'intensità di corrente che l'attraversa.

► la forza di attrito che agisce sulla sbarretta.



(*Maturità scientifica sperimentale, 1997*)

$$[20 \text{ mV}; 10 \text{ mA}; 1,0 \text{ mN}]$$

- 3** Un circuito *RLC* in serie presenta una resistenza di $18\ \Omega$ e una bobina con un'induttanza di 30 mH . È collegato a un generatore di forza elettromotrice alternata, di valore massimo pari a $1,8 \times 10^2\text{ V}$. Il circuito ha una frequenza di risonanza di $1,0\text{ kHz}$. Calcola:

- la capacità del condensatore affinché il circuito si trovi in risonanza.
- l'intensità di corrente massima che può attraversare il circuito.

$$[8,4 \times 10^{-7}\text{ F}; 10\text{ A}]$$

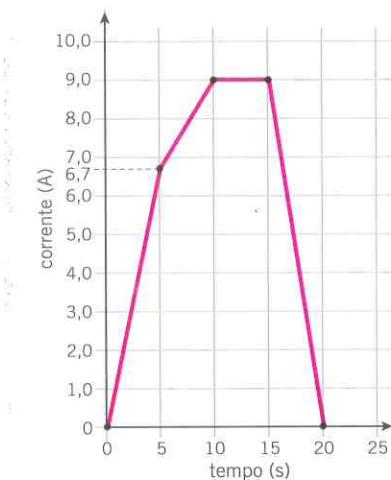
- 4** Un circuito *RL* in serie presenta una resistenza di valore $50\ \Omega$ e un'induttanza di 75 mH . Al circuito è collegato un generatore con una forza elettromotrice di $4,5\text{ V}$ e un interruttore aperto. Quando l'interruttore è chiuso la corrente raggiunge in un dato istante il valore di $0,38\text{ mA}$. Calcola:

- il tempo necessario affinché la corrente raggiunga quel valore.
- l'energia accumulata nell'induttanza quando la corrente assume il suo valore massimo.

$$[6,3\ \mu\text{s}; 3,0 \times 10^{-4}\text{ J}]$$

- 5** Una bobina con induttanza $0,20\text{ H}$ è attraversata da una corrente che varia nel tempo secondo il grafico della figura. Considera intervalli di tempo di 5 secondi. Calcola:

- la forza elettromotrice autoindotta nei singoli intervalli di tempo.
- la forza elettromotrice media nei primi 15 s.



$$[-2,7 \times 10^{-1}\text{ V}; -9,2 \times 10^{-2}\text{ V}; 0\text{ V}; 3,6 \times 10^{-1}\text{ V}; -1,2 \times 10^{-1}\text{ V}]$$

- 6** Al primario di un trasformatore con 3720 spire è applicata una tensione efficace di 300 V . Il secondario ha 124 spire. I suoi morsetti sono chiusi su un circuito puramente ohmico di resistenza $10\ \Omega$. Calcola:

- le correnti efficaci del circuito primario e di quello secondario.
- la potenza fornita dalla corrente nel secondario.

$$[33\text{ mA}; 1,0\text{ A}; 10\text{ W}]$$

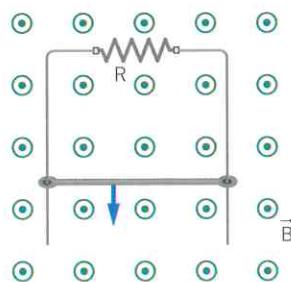
- 7** Il pick-up (o fonorivelatore) di una chitarra elettrica è un dispositivo in grado di convertire le vibrazioni delle corde in impulsi elettrici. È formato da una bobina in rame avvolta attorno a un magnete permanente. Questo magnete produce un campo in grado di magnetizzare le corde metalliche della chitarra che, vibrando, generano una variazione del flusso di campo magnetico attraverso la bobina. Per la legge di Faraday-Neumann, questa variazione di flusso produce una forza elettromotrice indotta, e quindi una corrente che passa da 100 a 550 mA , poi decodificata in segnale acustico.

Supponi che la bobina abbia 50 spire, ognuna di raggio $1,5\text{ mm}$, per una lunghezza di $2,2\text{ cm}$ e che la corrente vari tra i due valori estremi in 10 ms . Calcola:

- il valore dell'induttanza dell'avvolgimento.
- il valore della forza elettromotrice indotta nella bobina.

$$[1,0 \times 10^{-6}\text{ H}; 4,5 \times 10^{-5}\text{ V}]$$

- 8** Per effetto del proprio peso, un conduttore di lunghezza 1 m e massa $0,1\text{ kg}$ scivola in caduta, senza attriti di nessun tipo e partendo da fermo, lungo due guide conduttrici verticali che sono collegate in alto da una resistenza elettrica $R = 10\ \Omega$. Un campo magnetico uniforme di intensità $0,4\text{ T}$ è perpendicolare al piano del circuito. La situazione è rappresentata nella figura;



ESERCIZI

il campo è diretto verso chi legge. Supponi che i conduttori abbiano resistenza nulla. In queste condizioni si genera nel circuito, chiuso dal conduttore mobile, una corrente indotta che tende a rallentare la caduta di quest'ultimo. Determina:

- il verso della corrente indotta.
- la velocità massima di caduta e come essa varia in funzione della resistenza elettrica.

(Elaborato dagli esami di maturità nei licei scientifici sperimentali, 1988)

$[6,1 \times 10^1 \text{ m/s}]$

- 9** Due solenoidi sono concentrici, ossia sono infilati uno dentro l'altro e hanno lo stesso asse. Il primo, più esterno, ha 50 spire per ogni centimetro di lunghezza ed è percorso da una corrente di 1,5 A. Il secondo, all'interno, ha $4,0 \times 10^2$ spire, ognuna di area 10 cm^2 . La corrente che circola nel primo solenoide subisce una variazione e si riduce di un terzo in un centesimo di secondo. In questo modo varia il flusso di campo magnetico nel solenoide interno.

- Calcola il valore della forza elettromotrice indotta nel solenoide interno.
- Stabilisci, tramite la legge di Lenz, il verso della corrente indotta nel secondo solenoide rispetto a quello della corrente nel primo solenoide.

$[1,2 \times 10^{-1} \text{ V}]$

- 10** Una grande spira rettangolare ABCD di lati $AB = a = 2,0 \text{ m}$ e $CD = b = 1,0 \text{ m}$ massa $m = 1,0 \text{ kg}$ e resistenza $R = 10 \Omega$ si muove con una velocità costante v_0 (diretta come AB) lungo un piano orizzontale privo d'attrito. A un certo istante incontra una zona dove è presente un campo magnetico uniforme, costante e perpendicolare al piano orizzontale. Trascurando fenomeni di autoinduzione, troviamo che la velocità della spira ha subito una variazione $\Delta v = -10 \text{ m/s}$ quando è penetrata nel campo per una lunghezza pari a $a/2$.

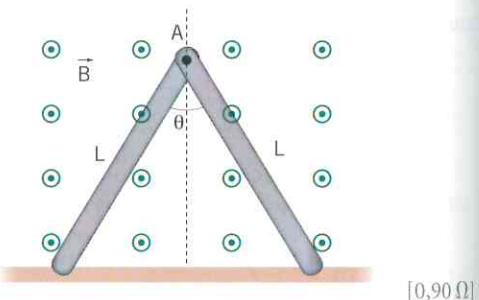
- Determina l'intensità del campo magnetico B .

$[10 \text{ T}]$

1006 |

- 11** Due sottili sbarrette conduttrici, di lunghezza $L = 10 \text{ cm}$ e resistenza complessiva R , sono incernierate nel punto A mentre gli altri due estremi liberi delle sbarrette possono scorrere senza attrito lungo una sottile asta di resistenza trascurabile. Il circuito ha la forma di un triangolo isoscele con angolo al vertice A che può variare nel tempo seguendo la formula $\theta = \alpha t$ con $\alpha = (\pi/6)\text{s}^{-1}$. Al tempo $t = 1,0 \text{ s}$ viene acceso un campo magnetico $B = 0,64 \text{ T}$ uniforme e costante, diretto perpendicolarmente al piano del triangolo. A tempo $t = 2,0 \text{ s}$ la corrente che circola nel triangolo ha intensità $i = 1,6 \text{ mA}$.

- Calcola la resistenza totale R delle due sbarrette.



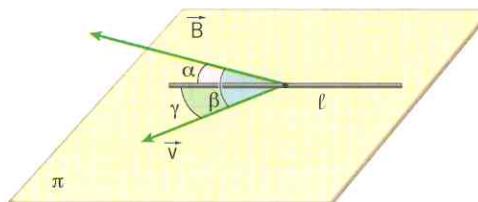
$[0,90 \Omega]$

- 12** Una sbarretta conduttrice rettilinea di lunghezza $l = 0,5 \text{ m}$, disposta sul piano π come mostrato nella prima figura, trasla sullo stesso piano alla velocità $v = 2 \text{ m/s}$, immersa in un campo uniforme di induzione magnetica $B = 0,5 \text{ mT}$. Nella seconda figura la stessa situazione è mostrata da un diverso punto di vista e con riferimento ad una terna cartesiana ortogonale tale che i vettori v e B giacciono sul piano xy . L'angolo tra la sbarretta e il campo d'induzione magnetica è $\alpha = 30^\circ$, quello tra il campo d'induzione magnetica e la velocità è $\beta = 50^\circ$.

- Calcolare la forza elettromotrice indotta tra gli estremi della sbarretta conduttrice.

(Olimpiadi della Fisica, 2001 – Gara nazionale – Prova Teorica – Problema B)

$[0,16 \text{ mV}]$



Rispo

1

2

3

4

5

1

2