

Corrientes alternas

Capítulo 39 de Halliday & Resnick,
Física, Parte 2

preguntas

1. En la relación $\omega = 2\pi\nu$, ω se mide en radianes/segundo y ν en hertz o ciclos/segundos. El radián es una medida angular. ¿Qué relación tienen los ángulos con las corrientes alternantes?
2. El Prob. 35-6 sugiere una forma de generar una fem alternante como la descrita por la Ec. 39-1. Si la salida de un generador de ca de este tipo se conecta a un circuito RCL como el mostrado en la Fig. 39-1, ¿cuál es la fuente última de la potencia disipada en el circuito? ¿En qué parte del circuito ocurre la disipación de la potencia?
3. Con referencia al circuito de la Fig. 39-1, ¿por qué resulta seguro suponer que (a) la corriente alternante de la Ec. 39-2 tenga la misma frecuencia angular ω que la de la fem alternante de la Ec. 39-1 y (b) que el ángulo de fase de la Ec. 39-2 no varía con el tiempo? ¿Qué ocurriría si cualquiera de estas dos aseveraciones (verdaderas) fuese falsa?
4. ¿Existe alguna analogía, aunque no sea muy cercana, entre los hechos de que (a) el ángulo de fase ϕ de la Ec. 39-2 no dependa del valor de ω de la Ec. 39-1 y que (b) la frecuencia de oscilación de un sistema masa-resorte no dependa de la amplitud de oscilación? Distinguir entre la *naturaleza* del evento físico y su *escala*.
5. ¿En qué aspectos difieren un fasor mayor y un vector? Por ejemplo, se sabe que las fem, las diferencias de potencial y las corrientes *no* son vectores. ¿Cómo se pueden justificar, entonces, construcciones como la de la Fig. 39-5?
6. ¿Cómo varía el valor máximo de la corriente alternante i_m del circuito puramente resistivo de la Fig. 39-2, con la frecuencia angular de la fem aplicada?
7. ¿Se invalidaría en algo la argumentación de la Sec. 39-2 si el diagrama de fasores girase en el sentido de las manecillas del reloj, en vez de girar, como se supuso, en el sentido contrario al de las manecillas del reloj?
8. ¿Es intuitivamente razonable que la reactancia capacitiva ($= 1/\omega C$) varíe al revés con la frecuencia angular, en tanto que la reactancia inductiva ($= \omega L$) varíe de un modo directo con esta cantidad?
9. Durante la Segunda Guerra Mundial, en un gran laboratorio de investigación de los E.U.A., un generador de corriente alternante se encontraba a una distancia de una milla del edificio al cual suministraba potencia. Un técnico aumentó la rapidez del generador para compensar lo que él llamó "la pérdida de frecuencia a lo largo de la línea de transmisión" que conectaba al generador con el edificio del laboratorio. Comentar este procedimiento.
10. Indicar, en sus propios términos, el significado de decir que una diferencia de potencial se "adelanta" o se "atrassa" respecto de una corriente alternante.
11. Si un circuito dado es "más inductivo que capacitivo" (como se mencionó en la Sec. 39-3) es decir, que $X_L > X_C$, ¿significa esto que, para una frecuencia angular dada, (a) L es relativamente "grande" y C es "pequeña" en relación, o (b) tanto L como C son relativamente "grandes"? (c) ¿Para valores fijos de L y de C significa que ω es relativamente "grande" o "pequeña"?
12. Supóngase que, en la Fig. 39-1, $\omega \rightarrow 0$. ¿Se aproxima al valor esperado la Ec. 39-13? Discutir la respuesta.
13. ¿A qué se debe que en la Fig. 39-2, el fasor de la corriente apunte en el mismo sentido que el del fasor del voltaje, pero que en las Figs. 39-3, 39-4 y 39-5 los fasores de la corriente apunten en tres direcciones diferentes? En los cuatro casos, la fem aplicada (Ec. 39-1) es la misma.
14. Considérese el enunciado siguiente: Si $X_L > X_C$, entonces se debe cumplir que $L > 1/C$, independientemente de la frecuencia". ¿Qué es lo que está mal en este enunciado?
15. ¿Se aplican el teorema de la malla de Kirchoff (véase la Sec. 32-2) y el teorema de los nodos de Kirchoff (véase la Sec. 32-5) a los circuitos de ca de muchas mallas, al igual que a circuitos de cd de muchas mallas?
16. ¿Cuál sería el efecto sobre P_{prom} al aumentar (a) R , (b) C y (c) L en el Ej. 5? ¿Cómo cambiaría la ϕ de la Ec. 39-25 en los tres casos mencionados?
17. ¿Es deseable que en una estación de potencia comercial se cuente con un factor de potencia (véase la Ec. 39-25) grande, uno pequeño, o en realidad no importa? ¿Entre qué valores puede variar el factor de potencia? ¿Qué es lo que determina el valor del factor de potencia; las características del generador, de la línea de transmisión, del circuito al cual está conectada la línea de transmisión o la combinación de algunos de estos factores?
18. Si se conoce el factor de potencia ($= \cos \phi$ en la Ec. 39-25) para un circuito RCL dado, ¿se puede decir si la fem alternante aplicada se adelanta o se atrassa respecto

- de la corriente? Si la respuesta es afirmativa, indicar cómo; si es negativa, indicar por qué no.
19. Si en el circuito de la Fig. 39-1 $R = 0$, no puede haber disipación interna de energía por efecto joule en el circuito. Sin embargo, en el circuito existen una fem y una corriente alternantes. Describir cómo es el flujo de la energía en estas condiciones.
 20. Una persona desea reducir su pago por consumo de energía eléctrica: ¿trataría de lograr un factor de potencia ($= \cos \phi$ en la Ec. 39-25) grande o pequeño, o no se debe preocupar por eso? Si realmente importa ese factor, ¿puede hacer algo para modificarlo? Discutir la respuesta.
 21. Si en la Fig. 39-1 se hace $R = 0$, ¿cómo variará la corriente instantánea con el tiempo? ¿Cuál será el valor del ángulo de fase ϕ ? ¿Cuál será el valor promedio de la potencia disipada?
 22. En la Ec. 39-25, ¿el ángulo de fase ϕ es el que existe entre $\varepsilon(t)$ e $i(t)$, o entre ε_{rcm} e i_{rcm} ? Explicar la respuesta.
 23. Según se puede concluir de la Ec. 39-29 y de la Fig. 39-7, la resonancia en los circuitos RCL ocurre cuando la frecuencia angular de la fem alternante (la fuerza impulsora) es exactamente igual a la frecuencia angular natural del circuito LC (no amortiguado). Sin embargo, en la Sec. 15-10 se vio que la resonancia en un sistema masa-resorte amortiguado, según se infiere de la Ec. 15-41 y de la Fig. 15-20, sucede cuando la frecuencia angular de la fuerza impulsora es cercana, *pero no exactamente igual*, a la frecuencia angular natural del sistema masa-resorte (no amortiguado). ¿Existe, en este caso, una falla en el principio de correspondencia? (Sugerencia: ¿En verdad existe una "correspondencia" entre las cantidades indicadas sobre los ejes verticales de las Figs. 15-20 y 39-7? Véase el Prob. 15.)
 24. Indicar algún argumento convincente para mostrar que los circuitos de filtrado, como los de la Fig. 39-9, actúan en forma más eficaz, para valores fijos de L y C , conforme aumenta la frecuencia angular ω de V_{emf} . ¿Qué significa, en este contexto, "más eficaz"?
 25. ¿Por qué la corriente que llega al nodo c no se divide por igual entre las ramas cd y ca de la Fig. 39-8c? Ambas ramas son potencialmente conductoras.
 26. Hacer un dibujo burdo de las formas de onda de la Fig. 39-8b, c en el caso de que los rectificadores no sean "ideales", es decir, cuando la resistencia en el sentido de la conducción no sea realmente cero, aunque sea pequeña, y la resistencia en el sentido inverso no sea infinita, aunque sea muy grande.
 27. Hacer una gráfica de $i-V$ (véanse las Figs. 31-4, 31-5 y 31-6) para el caso del rectificador ideal supuesto en la Sec. 39-6. Incluir en la gráfica las dos polaridades de la diferencia de potencial aplicada V (y de la corriente i correspondiente).
 28. Un transformador para un timbre casero se diseña para un voltaje rcm en el primario de 120 V y un voltaje rcm en el secundario de 6.0 V. ¿Qué sucedería si, durante la instalación, se intercambiarán accidentalmente las conexiones del primario y del secundario? ¿Se tendría que esperar a que alguien tocara el timbre para detectar el error? Discutir la respuesta.
 29. Se dispone de un transformador encerrado en una caja de madera. Las terminales del primario y del secundario se encuentran en lados opuestos de la caja. ¿Cómo se podría determinar la relación entre el número de vueltas entre ellos sin tener que abrir la caja?

SECCION 39-1

1. Un generador de ca comercial tiene una ν característica de 60 Hz. ¿Cuál es la frecuencia angular ω y en qué unidades se expresa?
Respuesta: $\omega = 2\pi\nu = 380 \text{ rad/s}$.

SECCION 39-2 Elementos RLC separados

2. Como se muestra en la Fig. 39-3a, un capacitor de $0.50 \mu\text{F}$ se conecta a un generador de ca para el cual $\varepsilon_m = 300 \text{ V}$. ¿Cuál es la amplitud i_m de la corriente alternante que resulta si la frecuencia angular ω es (a) 100 rad/s y (b) 1000 rad/s ?
3. Un inductor de 45 mH tiene una reactancia X_L de 1300Ω . ¿Cuáles deben ser los valores de (a) la frecuencia ν y (b) la frecuencia angular ω aplicadas para que esto sea cierto? (c) Si se aplica una fem alternante $\varepsilon_m = 300 \text{ V}$, como en la Fig. 39-4a, ¿cuál es la amplitud i_m de la corriente alternante que resulta?
Respuesta: (a) $2.9 \times 10^4 \text{ rad/s}$. (b) 4.6 kHz . (c) 0.23 A .

problemas

4. Un capacitor de $1.5 \mu\text{F}$ tiene una reactancia X_c de 12Ω . ¿Cuáles deben ser los valores de (a) la frecuencia ν y (b) la frecuencia angular ω aplicadas para que esto sea cierto? (c) Si se aplica una fem alternante $\mathcal{E}_m = 300 \text{ V}$, como en la Fig. 39-3a, ¿cuál es la amplitud i_m de la corriente alternante que resulta?
5. (a) ¿A qué frecuencia ν tienen la misma reactancia un inductor de 6 mH y un capacitor de $10 \mu\text{F}$? (b) ¿Cuál será el valor de esta reactancia? (c) ¿Cómo resulta esta frecuencia al compararla con la frecuencia natural de resonancia de las oscilaciones libres, si estos componentes se conectan como un oscilador LC (sin resistencia) como en la Fig. 38.1?
 Respuesta: (a) 650 Hz . (b) 24Ω . (c) Son iguales.

SECCION 39-3 Circuito RLC de una malla

6. Repetir el cálculo del Ej. 3 para el caso en que $C = 20 \mu\text{F}$ y las demás cantidades tengan los mismos valores que en el ejemplo. En esta situación nueva, ¿ \mathcal{E}_m se adelanta o se atrasa respecto i_m ? Hacer un diagrama semejante al de la Fig. 39-5.
7. Hacer diagramas a pulso de las Figs. 39-5a y 39-5b para los casos en los que $X_c > X_L$ y $X_c = X_L$.

SECCION 39-4 Potencia en circuitos de corriente alterna

8. En el texto se vio que $\overline{\sin^2 \omega t} = 1/2$ (valor promedio). Determinar el valor promedio de $\sin^2(\omega t + \phi)$ en donde ϕ es un ángulo de fase (constante).
9. Demostrar que $\overline{\sin \omega t \cos \omega t} = 0$ (véase la Ec. 39-23), utilizando la identidad trigonométrica $2 \sin \omega t \cos \omega t = \sin 2 \omega t$. También hacer una gráfica aproximada de $\sin \omega t \cos \omega t$ en la que se muestre que este valor promedio es cero.
10. El valor promedio de $\mathcal{E}_m \sin \omega t$, calculado sobre muchos ciclos (véase la Fig. 39-6a), es cero. Por otra parte se había visto que $\mathcal{E}_{\text{rcm}} = \mathcal{E}_m/\sqrt{2}$. ¿Cómo se compara el valor promedio de $\mathcal{E}_m \sin \omega t$, promediado sólo sobre medio ciclo, con el valor de \mathcal{E}_m y de \mathcal{E}_{rcm} ?
11. Suponer que en un circuito RCL como el de la Fig. 39-1, $R = 5.0 \Omega$, $L = 60 \text{ mH}$, $\nu = 60 \text{ Hz}$ y $\mathcal{E}_m = 300 \text{ V}$. ¿Para qué valores de C será (a) máximo y (b) mínimo el valor de P_{prom} ? (c) ¿Cuáles son los valores máximo y mínimo y los ángulos de fase y factores de potencia correspondientes? (d) Si en la Ec. 39-25 el $\cos \phi$ es negativo, la Ec. 39-25 parecería indicar que P_{prom} también es negativo. ¿Cuál puede ser el significado de esto? ¿Cuales valores de C harían que el $\cos \phi$ fuese negativo? Discutir la respuesta.
 Respuesta: (a) $120 \mu\text{F}$. (b) Infinito. (c) 9000 W , 420 W ; 0° , 78° ; 1.0 , 0.22 .

SECCION 39-5 Resonancia en circuito de corriente alterna

12. En un circuito RCL como el de la Fig. 39-1, $R = 20 \Omega$, $C = 20 \mu\text{F}$ y $L = 1.0 \text{ H}$ (a) ¿Para qué frecuencia del generador de ca se obtendrá una respuesta máxima del circuito resonante? (b) ¿Para qué frecuencias angulares se obtendrá una respuesta de la mitad del valor máximo? La "respuesta" se define en términos de la corriente rcm medida en el circuito, como en la Fig. 39-7.
13. Un circuito RCL con R_1, C_1, L_1 , conectados como en la Fig. 39-1, presenta una resonancia a la misma frecuencia que otra combinación separada R_2, C_2, L_2 . Si las dos combinaciones se conectan en serie en un solo circuito, ¿a qué frecuencia resonará el circuito combinado?

Respuesta: $\omega = \sqrt{\frac{1}{L_1 C_1}} = \sqrt{\frac{1}{L_2 C_2}}$, independientemente de R_1 y R_2 .

14. Demostrar que a frecuencias mayores que la de resonancia, el circuito de la Fig. 39-7 es principalmente inductivo y que para frecuencias menores que la de resonancia, el circuito es predominantemente capacitivo. ¿Qué significa esta afirmación? ¿Cómo se la puede interpretar en términos de la Fig. 39-5b?
15. Demostrar que la amplitud de las oscilaciones de carga (y no de corriente) en un circuito RCL como el de la Fig. 39-1, es

$$q_m = \frac{\mathcal{E}_m}{\sqrt{(\omega^2 L - 1/C)^2 + (\omega R)^2}}$$

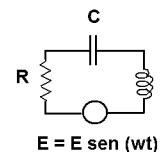


Fig 39.1

(a) ¿Para qué valor de ω se obtendrá una q_m máxima? (b) ¿Aclara en algo este resultado la comparación de las Figs. 15-10 y 39-7, sugerida en la pregunta 23?

Respuesta: (a) $\omega = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{2L^2}}$.

16. La Fig. 39-11 muestra un generador de ca conectado, a través de las terminales a y b , a una "caja negra" que contiene un circuito RCL del que se desconocen su elementos y su disposición. En los alambres de entrada aparece una corriente alterna dada por $i = i_m \text{ sen } (\omega t + \phi)$. (a) ¿Cuál es el factor de potencia? (b) ¿Cuál es la naturaleza del circuito, inductiva o capacitiva? (c) ¿Se adelanta o se atrasa la fem respecto de la corriente? (d) ¿Cuál es la potencia promedio P_{prom} suministrada a la caja por la fuente de fem si $\epsilon_m = 750 \text{ V}$ e $i_m = 12 \text{ A}$? (e) ¿Por qué no se tiene que saber la frecuencia angular ω para poder contestar la pregunta anterior? (f) Si se desea que el circuito resuene, en el sentido sugerido por la Fig. 39-7, ¿Cuál sería la naturaleza de los elementos de circuito que se deberían conectar entre las terminales a y b ? (g) ¿Cuáles serían los valores de ϕ y de P_{prom} en resonancia?
17. Demostrar que el semiancho fraccional de las curvas de resonancia de la Fig. 39-7 está dado, con buena aproximación, por

$$\frac{\Delta\omega}{\omega} = \frac{\sqrt{3}R}{\omega L},$$

en donde ω es la frecuencia de resonancia y $\Delta\omega$ es el ancho del pico de resonancia cuando $i = \frac{1}{2}i_m$. Nótese (véase el Prob. 38-22) que esta expresión puede escribirse como $\sqrt{3}/Q$, la cual muestra con claridad que un circuito de "Q grande" tiene un pico de resonancia agudo, es decir, una $\Delta\omega/\omega$ pequeña.

SECCION 39-6 Rectificadores y filtros de corriente alterna

18. ¿Cuáles son los valores de (a) $V_{\text{dc,rem}}$ y de (b) P_{prom} en el resistor R de la Fig. 39-8, en cada uno de los casos mostrados?
19. En los tres casos mostrados en la Fig. 39-8, sombrear las áreas que se anulen entre sí para formar \bar{V}_{dc} .
20. ¿Cuál es la (menor) frecuencia fundamental ν_0 del "rizo de ca" de la forma de onda rectificada a onda completa de la Fig. 39-8c? Suponer que el generador de ca tiene $\nu = \omega/2\pi = 60 \text{ Hz}$.
21. Demostrar que el factor de atenuación en el circuito de la Fig. 39-12, para el cual $R_1 \gg R_2$ y tanto V_{ent} como V_{sal} son diferencias de potencial constante, es $V_{\text{sal}}/V_{\text{ent}} = R_2/R_1$. Comparar con la Fig. 39-9 y con la Ec. 39-38, en las cuales el factor de atenuación (de ca) es (aproximadamente) X_C/X_L . Discutir las analogías y las diferencias.
22. (a) Demostrar que el factor de atenuación $V_{\text{sal,m}}/V_{\text{ent,m}}$ (véanse la Ec. 39-38 y la Fig. 39-9) se puede escribir, para $\omega \gg \omega_0$ como $(\omega_0/\omega)^2$. En esta expresión, ω es la frecuencia angular de entrada y ω_0 es la frecuencia angular de resonancia ($= \sqrt{1/LC}$) de la combinación LC filtro. (b) Demostrar que $\omega \gg \omega_0$ corresponde a $X_L \gg X_C$. ¿Es razonable este resultado?
23. Demostrar, utilizando argumentos cualitativos, que el filtro de tres etapas de la Fig. 39-13 es más eficiente que el filtro de una sola etapa de la Fig. 39-9. Hacer un esquema con su equivalente de cd, es decir, reemplazar a L por R_1 y a C por R_2 , con $R_1 \gg R_2$. Obtener el factor de atenuación de cd $V_{\text{sal}}/V_{\text{ent}}$, en donde estas dos últimas cantidades son potenciales de cd.
- Respuesta: $(R_2/R_1)^3$.
24. Demostrar que en las aplicaciones en las que intervengan bajas corrientes y altos voltajes (como en las fuentes para los cinescopios de televisión), el inductor L de la Fig. 39-9 puede reemplazarse por un "gran" resistor R y aún así, lograr una reducción sustancial en la componente de ca de V_{ent} , sin una gran reducción de la componente de cd.

SECCION 39-7 El transformador

25. Una línea de transmisión de ca transfiere energía con un ritmo $P_{\text{prom}} = 5.0 \text{ MW}$ desde una planta generadora hasta una fábrica. (a) ¿Cuál es la corriente en la línea

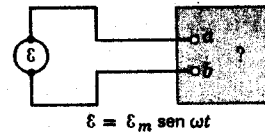


figura 39-11
Prob. 16.

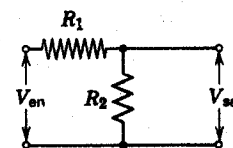


figura 39-12
Prob. 21.

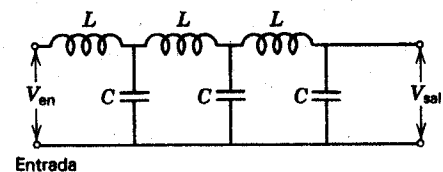


figura 39-13
Prob. 23.

si el voltaje de transmisión V_{rcm} es de 120 V? ¿Si $V_{rcm} = 80$ kV? (c) ¿Cuál es la relación entre las pérdidas térmicas (joule) de energía en ambos casos? Suponer que el factor de potencia $\cos \phi = 1$.

Respuesta: (a) 42 kA, (b) 63A, (c) 4.5×10^5 .

26. El embobinado primario de un transformador tiene 500 vueltas y el secundario tiene 10 vueltas. (a) Si el voltaje $V_{1,rcm}$ en el primario es de 120 V, ¿cuál es el voltaje $V_{2,rcm}$ en el secundario, suponiendo que su circuito esté abierto? (b) Si ahora el secundario tiene una carga resistiva R' de 15 Ω , ¿cuáles son los valores de $i_{1,rcm}$ y de $i_{2,rcm}$? Suponer un transformador ideal, para el cual $\phi = 0$.
27. La salida de un rectificador de onda completa (véase la Fig. 39-8c) se conecta a un transformador (ideal), para el cual el factor de aumento es de 2:1. Hacer un esquema que muestre la forma de onda que aparecería en el secundario, suponiendo que éste sea un circuito abierto.
28. Comparar las cantidades $\phi_m(t)$, $\mathcal{E}(t)$, $V_1(t)$, $V_2(t)$, $V_{1,rcm}$, $V_{2,rcm}$, $i_1(t)$, $i_2(t)$, $i_{1,rcm}$ e $i_{2,rcm}$, en la Fig. 39-10, cuando (a) el interruptor S está abierto y (b) el interruptor S está cerrado. Suponer un transformador ideal, para el cual $\phi = 0$.
29. Demostrar que $i_1(t)$, en el circuito primario de la Fig. 39-10, no cambia si a través del generador se conecta directamente una resistencia $R' [=R(N_1/N_2)^2]$ y a la vez se desconectan el transformador y el circuito del secundario. Es decir,

$$i_1(t) = \frac{\mathcal{E}(t)}{R'}$$

En este sentido se puede decir que un transformador no sólo "transforma" diferencias de potencial y corrientes, sino también resistencias. En el caso más general, aquel en el que la carga en el secundario contiene elementos capacitivos e inductivos, se dice que el transformador transforma *impedancias*, véase a manera de ejemplo, el Prob. 31.

30. En el Prob. 7 del Cap. 32 se aseguró que la potencia disipada por una resistencia externa en un circuito de cd es máxima cuando $R = r$, en donde r es la resistencia interna de la fuente (de cd) de fem. En la misma forma, demostrar que la disipación promedio de potencia P_{prom} en la R de la Fig. 39-14 es máxima cuando $R = r$, en donde r es la resistencia interna del generador de ca. En el texto se ha supuesto, tácitamente, que $r = 0$; ahora se supone que $r \neq 0$.
31. *Acoplamiento de impedancias.* En el Prob. 29 se menciona que un transformador puede servir como un dispositivo para transformar resistencias (o en general, impedancias). En el Prob. 30 también se vio que (véase la Fig. 39-14) la transferencia de potencia de un generador de ca (con una resistencia interna r) a una carga resistiva R es máxima cuando $R = r$. Suponer que, en la Fig. 39-14, $r = 1.0$ k Ω , $R = 10\Omega$, $\omega/2\pi = 60$ Hz y $\mathcal{E}_{rcm} = 120$ V. Diseñar un transformador tal que, al interponerse entre el generador de ca y la carga, asegure una transferencia de potencia máxima a R . Suponer un transformador ideal, para el cual $\phi = 0$. Esta técnica se utiliza, por ejemplo, cuando es necesario transferir con eficiencia potencia de un amplificador de audio (con impedancia grande) a un altoparlante (con impedancia pequeña).
Respuesta: $N_1/N_2 = 10$.

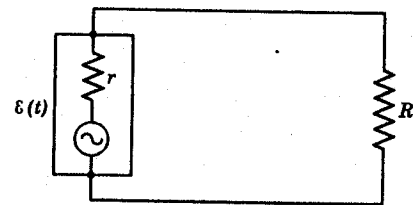


figura 39-14
Prob. 30.