

# Contenido

## CAPÍTULO 1. SEIS EXPERIMENTOS

1. Ley de Kirchoff sobre las corrientes, 19; 2. Ley de Kirchoff sobre voltajes, 21; 3. Ley de Ohm, 23; 4. Autoinductancia, 27; 5. Inductancia mutua, 28; 6. El campo magnético, 29; 7. Fórmulas de inductancia, 31; 8. Capacitancia, 34; 9. Constante dieléctrica, 37; 10. Campo eléctrico, 39; 11. Energía, trabajo y potencia, 40; 12. Fuentes, 41; 13. Resumen, 43; 14. Símbolos, 44; 15. Unidades, 44.

## CAPÍTULO 2. CIRCUITOS

1. Idealización, 51; 2. Concentración, 52; 3. Ecuaciones del circuito, 53; 4. Corriente alterna estable, 54; 5. Corriente alterna a través de una resistencia, 55; 6. Corriente alterna a través de una inductancia, 56; 7. Corriente alterna a través de una capacitancia, 57; 8. Teorema para circuitos lineales, 58; 9. Ecuación del circuito, 59; 10. Corriente inicial, 61; 11. La componente forzada, 62; 12. La componente natural, 62; 13. La componente natural sola, 63; 14. La constante de tiempo, 64; 15. Voltaje alterante, 65; 16. Condiciones iniciales, 67; 17. Cuatro reglas para solución, 68; 18. Voltaje exponencial, 68; 19. Impedancia y admitancia, 70; 20. Polos y ceros, 70; 21. Funciones de transferencia, 72; 22. Un circuito con capacitancia y resistencia, 72; 23. Voltaje aplicado alterno, 74; 24. Voltaje aplicado exponencial, 76; 25. Polos y ceros de funciones de redes, 78; 26. Una ecuación de nodo, 79; 27. Corriente alterna, 81; 28. Ecuaciones de energía única, general, 83; 29. La integral particular, 84; 30. Ecuaciones lineales, generalidades, 85; 31. Circuito con doble energía, 86; 32. Ejemplo, 88; 33. Voltaje exponencial, 90; 34. Amortiguación crítica, 92; 35. Ejemplo de amortiguación crítica, 93; 36. Función admitancia, amortiguación crítica, 94; 37. Respuesta oscilatoria, 95; 38. Resumen, 96.

### CAPÍTULO 3. ALGEBRA COMPLEJA

1. La necesidad de números imaginarios, 105; 2. El plano complejo, 107; 3. Definiciones, 108; 4. Forma trigonométrica, 111; 5. Teorema de Euler, 113; 6. Multiplicación y división en la forma exponencial, 114; 7. Potencias y raíces, 115; 8. Ejemplos, 117; 9. Una línea giratoria en el plano complejo, 118; 10. La exponencial compleja, 119; 11. Respuesta oscilatoria, 121; 12. Frecuencia natural y factor de amortiguamiento, 123; 13. Condiciones iniciales, 123; 14. El plano  $s$  complejo, 124; 15. Funciones de redes y el plano complejo  $s$ , 125; 16. Polos en valores complejos de  $s$ , 128; 17. Una analogía, 131; 18. Interpretación gráfica, 131; 19. Polos y respuestas naturales, 133; 20. Resumen, 134.

### CAPÍTULO 4. CORRIENTE ALTERNA ESTABLE

1. Corriente estable, 139; 2. Corriente alterna efectiva, 139; 3. Potencia, 141; 4. Potencia promedio, 142; 5. Valores de la potencia promedio cuadrática, 143; 6. Relaciones rms para ondas senoidales, 144; 7. Ejemplo numérico, 146; 8. Uso práctico de los valores rms, 147; 9. Potencia en una inductancia, 148; 10. Potencia en una capacitancia, 150; 11. Instrumentos, 151; 12. Instrumento de bobina móvil, 151; 13. Instrumento del tipo dinamómetro, 155; 14. Instrumento de tipo de hierro dulce, 156; 15. Un circuito para amperímetro rectificador, 158; 16. Circuito para amperímetro con termopar, 159; 17. Voltímetro de pico, 159; 18. Osciloscopio de rayos catódicos, 160; 19. Vatímetro, 161; 20. Fasores, 162; 21. Formulación matemática, 164; 22. La forma exponencial, 165; 23. Aplicación al circuito LR, 166; 24. La forma componente-real, 168; 25. Transformadas, 170; 26. Impedancia y admitancia, 171; 27. La frecuencia como una componente de  $s$ , 172; 28. Transformación de operaciones, 174; 29. Resumen, 175.

### CAPÍTULO 5. REDES DE DOS TERMINALES

1. Elementos de redes, 181; 2. Impedancia de elementos en serie, 183; 3. Distribución de voltaje, 185; 4. Admitancia de ramas en paralelo, 186; 5. Distribución de corriente, 187; 6. Impedancia de ramas en paralelo, 188; 7. Redes en serie y en paralelo, 189; 8. Distribución de voltaje y corriente, 191; 9. Uso del diagrama de transformadas, 193; 10. Componentes de  $Z$  o  $Y$ , 194; 11. Relaciones de las componentes, 195; 12. Métodos del análisis de circuitos, 196; 13. El método de escalera, 196; 14. Ejemplo, 198; 15. Diagrama funicular, 199; 16. Un ejemplo de resonancia, 200; 17. Redes equivalentes a todas las frecuencias, 203; 18. Polos y ceros en el plano  $s$ , 205; 19. Cambio de escala, 211; 20. Ejemplo, 212; 21. Respuesta transitoria de una red de dos terminales, 213; 22. Caracterización por polos y ceros, 215; 23. Potencia a una red de dos terminales, 218; 24. Potencia y factor de potencia, 219; 25. Potencia activa y reactiva, 220; 26. Potencia compleja, 222; 27. Conservación de la potencia, 225; 28. Unidades, 226; 29. Ejemplos, 226; 30. Resumen, 229.

## CAPÍTULO 6. RESONANCIA

1. Resonancia en serie, 243; 2. Transformadas, 244; 3. Reactancia, 245; 4. Admitancia, 248; 5. Formulación de ecuaciones, 248; 6. Aproximaciones, 250; 7. Curva universal de resonancia, 251; 8. Componentes de la admitancia, 252; 9. Puntos de media potencia, 254; 10. Incremento del voltaje de resonancia, 255; 11.  $Q$  de una bobina, 256; 12. Definición de  $Q$ , 256; 13. Energía en un circuito resonante, 258; 14. Resonancia en paralelo, 261; 15. Resonancia en paralelo en circuitos de dos ramas, 265; 16. Resistencia y reactancia de entrada, 266; 17. Resistencia en la rama capacitiva, 268; 18. Resonancia de una bobina, 268; 19. Sintonización, 270; 20. Circuitos de baja  $Q$ , 271; 21. Definiciones de resonancia, 273; 22. El lugar geométrico de la corriente, 273; 23. Resumen, 275.

## CAPÍTULO 7. REDES DE TRES TERMINALES

1. Redes de dos terminales, 279; 2. Redes de tres terminales; sustituciones  $Y$  y  $\Delta$ , 279; 3. Fórmulas de impedancia, 282; 4. Fórmulas de admitancia, 283; 5. Redes con cuatro o más terminales, 283; 6. Ejemplos, 285; 7. Factores de distribución, 287; 8. Equivalencia general transitoria, 289; 9. Realizabilidad física, 291; 10. Resumen, 292.

## CAPÍTULO 8. ECUACIONES DE REDES

1. Parte de una red, 299; 2. Dirección de referencia, 300; 3. Ecuaciones de rama, 301; 4. Ecuaciones de malla, 304; 5. Ejemplo, 306; 6. Notación estándar, 307; 7. Ejemplo, 309; 8. Ecuaciones de nodo, 312; 9. Soluciones por nodos, 313; 10. Notación estándar, 316; 11. Ejemplo, 317; 12. Método de nodos con fuentes de voltaje conocido, 319; 13. Número de nodos y mallas, 320; 14. Eliminación de nodos o mallas, 322; 15. Dualidad, 324; 16. Resumen, 326.

## CAPÍTULO 9. SOLUCION DE LAS ECUACIONES DE REDES

1. Solución de las ecuaciones de mallas, 331; 2. Admitancias impulsora y de transferencia, 332; 3. Ejemplo, 334; 4. Matrices, 336; 5. Caracterización de una red, 337; 6. Igualdad de admitancia de transferencia, 338; 7. Solución de las ecuaciones de nodo, 339; 8. Ejemplo, 341; 9. Matrices otra vez, 343; 10. Multiplicación de matrices, 344; 11. Igualdad de matrices, 345; 12. Producto de matrices cuadradas, 345; 13. Ciertos teoremas de matrices, 346; 14. La matriz inversa, 347; 15. Solución por matrices de las ecuaciones de nodos, 349; 16. Solución por matrices de las ecuaciones de mallas, 351; 17. Ejemplo, 351; 18. Otras operaciones con matrices, 353; 19. Redes equivalentes, 354; 20. Ejemplo, 355; 21. Demostración, 356; 22. Resumen, 357.

## CAPÍTULO 10. CIRCUITOS ACOPLADOS Y TRANSFORMADOS

1. Acoplamiento magnético, 363;
2. Polaridad de las bobinas, 364;
3. Polaridad del voltaje inducido, 365;
4. Inductancia mutua en ecuaciones de malla, 367;
5. Inductancia total de circuitos acoplados, 368;
6. Inductancia mutua en las ecuaciones de nodo, 370;
7. Coeficiente de acoplamiento, 372;
8. Circuito equivalente, 374;
9. Otros circuitos equivalentes, 374;
10. Circuito equivalente de un transformador, 377;
11. Comparación de transformadores ideales y reales, 379;
12. Impedancia de transformación, 380;
13. Pérdidas en el hierro, 380;
14. Igualdad de inductancias mutuas, 381;
15. Resumen, 382.

## CAPÍTULO 11. TEOREMA DE REDES

1. Teorema de las redes, 387;
2. Teorema de superposición, 387;
3. Ejemplos, 388;
4. Fuentes inoperativas, 390;
5. Teorema de reciprocidad, 391;
6. Teorema de sustitución, 393;
7. Sustitución de fuentes de potencia, 395;
8. Ejemplos, 397;
9. Teorema de Millman, 399;
10. Ejemplo, 400;
11. Teorema de Thévenin, 401;
12. Teorema de Norton, 404;
13. Ejemplos, 405;
14. Teorema de compensación, 407;
15. Corrección del amperímetro, 410;
16. Teorema de máxima transferencia de potencia, 411;
17. Resumen, 415.

## CAPÍTULO 12. METODOS GRAFICOS

1. Tres tipos de diagramas, 427;
2. Reactancia de circuitos sin pérdida, 429;
3. Combinaciones de reactancia y susceptancia, 431;
4. Reglas generales, 432;
5. Impedancia de circuitos resonantes, 433;
6. Reglas generales para lugares geométricos, 435;
7. Circuito resonante paralelo de dos ramas, 436;
8. Geometría analítica del plano complejo, 437;
9. Casos especiales de círculos y líneas rectas, 438;
10. Ejemplo: resistencia y reactancia en serie, 441;
11. Teorema referente a lugares geométricos recíprocos, 442;
12. Teorema referente a lugares geométricos circulares, 442;
13. Dibujando una función recíproca, 444;
14. Ejemplos, 446;
15. Dibujado, 449;
16. Gráficas en el plano  $s$ , 451;
17. Resumen, 453.

## CAPÍTULO 13. ELEMENTOS NO LINEALES

1. Elementos no lineales, 465;
2. Resistencia no lineal, 465;
3. Inductor no lineal, 468;
4. Detector, 470;
5. Transistor, 472;
6. Análisis por series, 473;
7. La serie de Taylor, 474;
8. Ejemplo, 477;
9. Determinación gráfica de los coeficientes, 478;
10. Aplicación práctica, 480;
11. Características con un cambio abrupto, 480;
12. Circuitos rectificadores, 482;
13. Resumen, 485.

## CAPÍTULO 14. SERIES DE FOURIER

1. Ondas no senoidales, 491;
2. Adición de componentes, 492;
3. Análisis de ondas, 493;
4. Onda cuadrada, 497;
5. Onda diente de sierra, 500;

6. Síntesis de ondas, 502; 7. Tres clases de simetrías, 504; 8. Funciones impares y pares, 506; 9. Elección de ejes, 509; 10. Simetría de media onda, 510; 11. Límites de integración, 512; 12. Ondas rectificadas, 515; 13. Otra forma trigonométrica de serie, 517; 14. Uso en el análisis de circuitos, 519; 15. Valor rms y potencia, 524; 16. Análisis por integración numérica, 526; 17. Métodos numéricos especiales, 529; 18. Contenido armónico de las ondas, 529; 19. Resumen, 529.

## CAPÍTULO 15. SERIES EXPONENCIALES Y LA INTEGRAL DE FOURIER

1. Formas exponenciales de series, 539; 2. Simetría en series exponenciales, 540; 3. Ejemplos de series exponenciales: Ejemplo 1, 541; 4. Ejemplo 2, 542; 5. Ejemplo 3, 543; 6. Ejemplo 4, 544; 7. Uso en el análisis de circuitos, 545; 8. Pulso recurrente, 547; 9. Integral de Fourier, 549; 10. Análisis del pulso rectangular, 551; 11. Síntesis del pulso rectangular, 552; 12. El efecto de ancho de banda limitado, 553; 13. Par de transformación de Fourier, 556; 14. Convergencia, 556; 15. La transformada de Laplace, 559; 16. Resumen, 562.

## CAPÍTULO 16. LA TRANSFORMACION DE LAPLACE

1. El par de transformación de Laplace, 567; 2. Ejemplo, 568; 3. Transformación de funciones, 570; 4. Más pares de transformadas, 571; 5. Tablas de pares de transformadas, 576; 6. Ejemplo de circuito, 576; 7. Ejemplo de una red, 578; 8. Funciones de transferencias, 579; 9. Solución de una ecuación diferencial, 579; 10. Transformación de operaciones, 581; 11. Linealidad, 582; 12. Diferenciación real, 582; 13. Integración real, 583; 14. Tabulación de transformaciones de operaciones, 585; 15. Ejemplo, 585; 16. Ejemplo con respuesta inicial, 587; 17. Transformación inversa, 588; 18. Fracciones parciales, 589; 19. Una técnica fácil, 590; 20. Factores idénticos, 591; 21. Formas especiales, 592; 22. Transformación inversa por fracciones parciales, 593; 23. Producción de polos complejos por integración de la función de tiempo, 595; 24. Eliminación de polos complejos por diferenciación de la función de tiempo, 596; 25. El teorema del valor inicial, 598; 26. Ejemplo, 598; 27. Traslación compleja, 600; 28. Ejemplos de traslación, 600; 29. Producción de un factor lineal complejo, 602; 30. Derivación de nuevos pares, 602; 31. Voltaje alterno aplicado, 603; 32. Energía inicial, 605; 33. Función de excitación, 607; 34. Cantidad de movimiento, 608; 35. Superposición de excitaciones, 610; 36. Transformación inversa explícita, 612; 37. Resumen, 613.

## CAPÍTULO 17. CONVOLUCION Y LA FUNCION DE IMPULSO

1. La función de impulso, 623; 2. La transformada de  $\delta$ , 625; 3. Análisis operacional, 626; 4. Traslación en tiempo, 627; 5. Convolución, 629; 6. Multiplicación compleja, 630; 7. Transformación inversa por convolución,

632; 8. Análisis de circuito por convolución, 633; 9. Convolución y superposición, 634; 10. Funciones compuestas, 637; 11. Resumen, 640.

## CAPÍTULO 18. REDES DE DOS PUERTOS

1. Redes con dos pares de terminales, 643; 2. Fórmulas útiles, 644; 3. Tipos de problemas, 646; 4. Ecuaciones de malla, 646; 5. Ecuaciones de nodo, 648; 6. El problema de transferencia, 650; 7. Ejemplo, 650; 8. El problema de transmisión, general, 653; 9. Conjuntos de parámetros, 654; 10. Casos especiales, 655; 11. Ecuaciones inversas, 659; 12. Redes en cascada, 660; 13. El problema de transmisión: impedancia de imagen, 661; 14. Función de transferencia de imagen, 664; 15. Funciones de atenuación y fase, 667; 16. Nepers, 667; 17. Razón de potencia, 668; 18. Decibels, 668; 19. El problema de inserción, 672; 20. Emparejamiento de imagen en impedancias, 674; 21. Resumen, 675.

## CAPÍTULO 19. FILTROS ELECTRICOS

1. Filtros de ondas eléctricas, 683; 2. Filtro ideal, 684; 3. Diseño por pérdida por inserción, 685; 4. Diseño por atenuación de imagen, 686; 5. Realización, 688; 6. Perfeccionamiento, 689; 7. Redes reactivas, 690. 8. Función de transferencia de imagen, 690; 9. Impedancia de imagen, 693; 10.  $z_0$  real e imaginaria, 695; 11. Cómo trabajan los filtros, 696; 12. Terminación práctica, 696; 13. Un ejemplo, 697; 14. Tipos de filtros, 699; 15. Filtros de red inversa: paso bajo, 700; 16. Filtro de red inversa: paso alto, 703; 17. Atenuación de filtros de red inversa, 704; 18. Desventajas de los filtros de red inversa, 705; 19. Secciones en cascada, 706; 20. Secciones derivadas  $m$ , 708; 21. Atenuación de las secciones derivadas  $m$ , 711; 22. Diseño para impedancia de imagen constante, 712; 23. Características de las secciones derivadas  $n$ , 715; 24. Medias secciones terminales, 716; 25. Filtros compuestos, 717; 26. Filtros de banda, 720; 27. Diseño, 723; 28. Ejemplo de diseño, 723; 29. Comportamiento no ideal de los filtros prácticos, 729; 30. Filtros de celosía, 730; 31. Diseño de celosía, 732; 32. Resumen, 734.

## CAPÍTULO 20. CIRCUITOS TRIFASICOS

1. Sistemas balanceados y desbalanceados, 743; 2. Ventajas de la operación trifásica, 744; 3. Generación trifásica, 744; 4. Conexiones de carga trifásica, 746; 5. Conexiones de transformador, 748; 6. Reducción a monofásico, 749; 7. Voltajes de línea a línea y de línea a neutro, 751; 8. Corrientes de línea y de fase, 752; 9. Cargas equivalentes, Y y  $\Delta$ , 753; 10. Potencia trifásica, 754; 11. Potencia instantánea constante, 755; 12. Ejemplo: carga trifásica balanceada, 757; 13. Ejemplo: transformador conectado en Y, 758; 14. Ejemplo: transformador conectado en  $\Delta$ , 761; 15. Cargas desbalanceadas, 763; 16. Conexiones poco usuales, 768; 17. Indicador de secuencia y fase, 769; 18. Sustitución  $\Delta$ -Y, 772; 19. Medición de potencia, 773; 20. Eficiencia de transmisión, 775; 21. Resumen, 776.

## CAPÍTULO 21. COMPONENTES SIMÉTRICAS

1. El método, 783; 2. Síntesis, 783; 3. Análisis, 785; 4. Relaciones en un circuito trifásico, 787; 5. Fuentes de secuencia negativa y de secuencia cero, 788; 6. Falla de línea a neutro, 789; 7. Falla de línea a línea, 791; 8. Falla de dos líneas a neutro, 793; 9. Interconexión de redes de consecuencia, 793; 10. Ejemplo, 796; 11. Síntesis, 798; 12. Notación matricial, 800; 13. Potencia, 801; 14. Potencia a una red general, 803; 15. Resumen, 804.

APÉNDICE 1. DETERMINANTES	809
APÉNDICE 2. BIBLIOGRAFIA	815
APÉNDICE 3. FUNCIONES TRIGONOMETRICAS	819
APÉNDICE 4. RESPUESTAS A PROBLEMAS SELECCIONADOS	825
ÍNDICE	837