

ALEXANDER GRAY

Ex Profesor de Electrotecnia de la Cornell University

G. A. WALLACE

Profesor de Electrotecnia de la MacGill University

ELECTROTECNIA

FUNDAMENTOS TEORICOS Y APLICACIONES PRACTICAS

Adaptación a la 8.^a edición norteamericana por

RAFAEL CANO MARIN Y JOSE CRUZ ALMEIDA

Ingenieros de Telecomunicación



TOLLE, LEGE

AGUILAR

INDICE GENERAL

| | |
|--|---------|
| PRÓLOGO | Pág. IX |
| CAP. I.—UNIDADES MECÁNICAS FUNDAMENTALES. SISTEMA MKS | 3 |
| 1-1. Longitud: metro, <i>pág.</i> 3.—1-2. Masa: kilogramo, 3.—1-3. Tiempo: segundo, 4.—1-4. Fuerza: newton, 4.—1-5. Trabajo o energía: julio, 4. 1-6. Potencia: vatio; kilovatio, 4.—1-7. Calor: kilogramo-caloría; Btu, 4. | |
| CAP. II.—MATERIA Y ELECTRICIDAD | 5 |
| 2-1. Constituyentes de la materia, <i>pág.</i> 5.—2-2. Propiedades de los protones y electrones, 5.—2-3. Estructura del átomo, 6.—2-4. Cargas eléctricas, 7.—2-5. Corriente eléctrica, 8.—2-6. Aisladores, conductores y resistencias, 8.—2-7. Velocidad de la corriente eléctrica, 9.—2-8. Corrientes eléctricas producidas por rozamiento, 10.—2-9. Corrientes eléctricas producidas por acciones químicas, 10.—2-10. Teoría de la pila de Volta, 10.—2-11. Sentido de la corriente, 12.—2-12. Fuerza electromotriz y potencial, 12.—2-13. Asociación de pilas voltaicas en paralelo y en serie, 3.—2-14. Galvanoplastia y afinado, 14.—2-15. Unidad de intensidad de corriente eléctrica. Amperio internacional, 15.—2-16. Valor de la teoría electrónica dentro de la electrotecnia, 15. | |
| CAP. III.—MAGNETISMO. PROPIEDADES DE UN CAMPO MAGNÉTICO | 17 |
| 3-1. Imanes, <i>pág.</i> 17.—3-2. Imanes permanentes, 17.—3-3. Campo magnético de un imán de barra, 18.—3-4. Campo magnético alrededor de un conductor por el que circula corriente, 19.—3-5. Campo magnético alrededor de dos conductores paralelos por los que circula corriente en sentidos opuestos, 20.—3-6. Campo magnético de un solenoide, 21. 3-7. Fuerza sobre un conductor por el que circula una corriente cuando se encuentra en un campo magnético, 22.—3-8. Rueda de Barlow, 23. 3-9. Unidad de intensidad de corriente eléctrica. El amperio, 24. 3-10. Unidad de fuerza electromotriz. El voltio, 24.—3-11. Inducción electromagnética, 24.—3-12. Sentido de la fem inducida, 26.—3-13. Flujo magnético; símbolo Φ . El weber, 27.—3-14. Resumen de las propiedades de una corriente eléctrica, 28.—3-15. Resumen de las propiedades de un campo magnético, 29.—Problemas, 29. | |
| CAP. IV.—CIRCUITOS ELÉCTRICOS Y RESISTENCIA ELÉCTRICA | 31 |
| 4-1. Paso de la corriente eléctrica por un conductor, <i>pág.</i> 31.—4-2. Ley de Ohm, 31.—4-3. Resistencia específica, 32.—4-4. Conductividad, 32. 4-5. Variación de la resistencia con la temperatura, 34.—4-6. Leyes de Kirchhoff, 36.—4-7. Caída de potencial en un circuito de distribución, 39.—4-8. Relación entre fuerza electromotriz y diferencia de potencial, 40.—4-9. Principio de superposición, 41.—4-10. Teorema de Thévenin, 43.—4-11. Transformaciones Y- Δ , 45.—4-12. Amperímetros de corriente continua, 47.—4-13. Voltímetros de corriente continua, 49. 4-14. Resistencia en paralelo para los amperímetros, 51.—4-15. Medida de resistencias utilizando un voltímetro y un amperímetro, 52. 4-16. Resistencias, 54.—4-17. Reóstatos, 55.—4-18. Reóstato de columna de carbón, 55.—4-19. Reóstatos de líquido, 56.—4-20. Elementos de calefacción, 57.—Problemas, 57. | |
| CAP. V.—TRANSFORMACIÓN DE ENERGÍA. TRABAJO Y POTENCIA | 61 |
| 5-1. Transformación de energía mecánica en energía eléctrica, <i>pág.</i> 61. 5-2. Generadores y motores eléctricos, 62.—5-3. Potencia disipada en una resistencia. Experimentos de Joule, 63.—5-4. Teorema de la transferencia máxima de potencia, 64.—5-5. Ejemplos de trabajo y potencia, 65.—Problemas, 67. | |
| CAP. VI.—CIRCUITOS MAGNÉTICOS Y PROPIEDADES MAGNÉTICAS DEL HIERRO | 70 |
| 6-1. Intensidad magnética o fuerza magnetizante. Símbolo H , <i>pág.</i> 70. 6-2. Ley de Ampère, 72.—6-3. Intensidad magnética en el centro de | |

una circunferencia por la que circula corriente, 74.—6-4. Intensidad magnética en cualquier punto del eje de una circunferencia por la que circula corriente, 74.—6-5. Intensidad magnética en el centro de un solenoide de longitud finita, 75.—6-6. Campo magnético en la proximidad de un conductor recto infinitamente largo, 77.—6-7. Permeabilidad del espacio libre. Símbolo μ_0 , 78.—6-8. Materiales magnéticos. Permeabilidad relativa, 78.—6-9. Reluctancia, 79.—6-10. Curvas de imanación, 82.—6-11. Saturación magnética, 84.—6-12. Circuitos magnéticos mixtos, 85.—6-13. Efecto de desplazar las espiras de excitación de su posición ideal, 86.—6-14. Magnetismo remanente, 88.—6-15. Teoría del magnetismo en el hierro, 88.—6-16. Histéresis, 90.—6-17. Ciclo de histéresis, 90.—Problemas, 91.

CAP. VII.—INDUCCIÓN MUTUA Y AUTOINDUCCIÓN ... 95

7-1. Inducción mutua, *pág.* 95.—7-2. Sentido de la fuerza electromotriz engendrada por inducción mutua, 96.—7-3. Valor numérico de la fem engendrada por inducción mutua, 97.—7-4. Autoinducción. Inductancia, 97.—7-5. Establecimiento y desaparición de la corriente en una bobina, 100.—7-6. Estudio matemático del establecimiento y desaparición de la corriente en un circuito, 101.—7-7. Sistema de encendido en un motor de combustión, 103. Problemas, 104.

CAP. VIII.—MÁQUINA DE TRANSFORMACIÓN DE ENERGÍA EN CORRIENTE CONTINUA ... 106

8-1. Principios fundamentales, *pág.* 106.—8-2. Arrollamiento del anillo de Gramme, 107.—8-3. Colector y escobillas, 109.—8-4. Aislamiento del inducido y del colector, 109.—8-5. Arrollamientos múltiples o imbricados, 109.—8-6. Arrollamientos ondulados o en serie, 112.—8-7. Cálculo de la fuerza electromotriz, 114.—8-8. Laminación del núcleo del inducido, 116.—Problemas, 117.

CAP. IX.—CONSTRUCCIÓN Y EXCITACIÓN DE LAS DÍNAMOS ... 119

9-1. Construcción multipolar, *pág.* 119.—9-2. Construcción del inducido, 120.—9-3. Colector, 121.—9-4. Escobillas, 122.—9-5. Grandes generadores, 123.—9-6. Polos de conmutación, 123.—9-7. Polos y yugo, 124.—9-8. Excitación, 124.

CAP. X.—TEORÍA DE LA CONMUTACIÓN ... 126

10-1. Conmutación, *pág.* 126.—10-2. Teoría de la conmutación, 127.—10-3. Máquinas sin polos de conmutación, 129.—10-4. Escobillas, 130.—10-5. Arrollamiento de cuerdas y conmutación, 131.—Problemas, 132.

CAP. XI.—REACCIÓN DEL INDUCIDO ... 133

11-1. Efecto magnetizante transversal, *pág.* 133.—11-2. Líneas neutras en vacío y con carga, 134.—11-3. Efecto desmagnetizante, 134.—11-4. Reacción del inducido en las máquinas multipolares, 136.—11-5. Efecto de la reacción del inducido sobre la conmutación, 138.—11-6. Arrollamientos de compensación, 138.—Problemas, 139.

CAP. XII.—CARACTERÍSTICAS DE LAS DÍNAMOS ... 140

12-1. Curvas de saturación en vacío, *pág.* 140.—12-2. Autoexcitación, 141.—12-3. Característica de tensión de una dinamo con excitación independiente o de una magneto, 144.—12-4. Característica de tensión de una dinamo en derivación, 144.—12-5. Dínamos compuestas autoexcitadas, 146.—12-6. Aplicaciones de las dínamos autoexcitadas y de excitación independiente, 147.—12-7. Característica de tensión de una dinamo serie, 148.—12-8. Generadores auxiliares serie, 149.—Problemas, 149.

CAP. XIII.—TEORÍA DEL FUNCIONAMIENTO DE LOS MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA ... 152

13-1. Par electromagnético en una máquina de corriente continua, *pág.* 152.—13-2. Pares motor y resistente en las dínamos y motores, 153.—13-3. Operación del paso de generador a motor, 154.—13-4. Diagrama del balance energético, 155.—13-5. Propiedad de autocontrol de los motores de corriente continua, 156.—13-6. Ecuación de la velocidad, 158.—13-7. Teoría de la conmutación aplicada a los motores, 159.—13-8. Relaciones entre caballo de vapor, par y velocidad, 160.—Problemas, 161.

| | |
|---|-----|
| CAP. XIV.—CARACTERÍSTICAS DE LOS MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA | 162 |
| <i>Motores en derivación:</i> 14-1. Características de funcionamiento, <i>página</i> 162.—14-2. Efecto de la reacción del inducido sobre la velocidad, 163. 14-3. Regulación de la velocidad en los motores en derivación, 163. 14-4. Variación de la velocidad en los motores en derivación mediante control del campo de excitación, 165.—14-5. Variación de la velocidad de un motor en derivación mediante control de la resistencia del inducido, 168.—14-6. Regulación de la velocidad de un motor en derivación, 170.—14-7. Comparación entre la regulación de la velocidad por control de la resistencia de inducido y por control del campo de excitación, 171.—14-8. Sistema Ward Leonard de regulación de velocidad, 172.—14-9. Aplicaciones del sistema Ward Leonard de regulación de velocidad, 173.—14-10. Acción recuperadora del sistema Ward Leonard, 174.—14-11. Empleo de volante en el sistema Ward Leonard, 175. <i>Motores serie:</i> 14-12. Par de arranque, 176.—14-13. Características de funcionamiento, 176.—14-14. Regulación de la velocidad, 177.— <i>Motores compuestos:</i> 14-15. El motor compuesto, 178.—14-16. Motores con composición diferencial, 179.—14-17. Volantes y motores compuestos, 180. 14-18. Campo de aplicación de los motores de corriente continua, 180. 14-19. Efecto de la velocidad en el coste de un motor, 180.—Problemas, 181. | |
| CAP. XV.—PÉRDIDAS, RENDIMIENTOS Y CALENTAMIENTO | 185 |
| 15-1. Pérdidas mecánicas en las máquinas eléctricas, <i>pág.</i> 185.—15-2. Pérdidas en el cobre, 185.—15-3. Pérdidas por la resistencia de contacto de las escobillas, 185.—15-4. Pérdida por histéresis, 186.—15-5. Pérdidas por corrientes de Foucault, 186.—15-6. Resumen de pérdidas de potencia, 187.—15-7. Medida de las pérdidas de potencia, 188.—15-8. Rendimiento total o verdadero de una máquina, 190.—15-9. Calentamiento de las máquinas eléctricas, 192.—15-10. Temperaturas admisibles, 192. 15-11. Límites de la potencia suministrada por las máquinas eléctricas, 193.—15-12. Potencias nominales de las máquinas eléctricas, 193. 15-13. Medida de la elevación de temperatura, 194.—Problemas, 195. | |
| CAP. XVI.—DISPOSITIVOS DE PUESTA EN MARCHA Y REGULACIÓN EN LOS MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA | 198 |
| 16-1. Disyuntores, <i>pág.</i> 198.—16-2. Interruptores de contactos, 201. 16-3. Relé térmico de sobrecarga, 201.—16-4. Contactos en forma de cuernos, 202.—16-5. Fusibles, 202.—16-6. Protección contra sobrecargas y cortocircuitos, 202.—16-7. Dispositivos de arranque para motores en derivación y compuestos, 203.—16-8. Arranque manual con vuelta al reposo por excitación nula, 204.—16-9. Arranque manual con vuelta al reposo por tensión nula, 206.—16-10. Dispositivos de arranque con regulación de velocidad para motores en derivación y compuestos, 206. 16-11. Combinadores de tambor, 208.—16-12. Combinadores para motores serie, 209.—16-13. Dispositivos automáticos de arranque, 209. 16-14. Combinador magnético con regulación definida de tiempo, 210. 16-15. Combinador magnético de fuerza contraelectromotriz, 213.—16-16. Frenado eléctrico, 215.—Problemas, 216. | |
| CAP. XVII.—AMPLIDINA, ROTOTROL Y REGULEX | 218 |
| 17-1. La dinamo como amplificador de potencia en corriente continua, <i>pág.</i> 218.—17-2. La amplidina, 219.—17-3. Control por amplidina con conexión limitadora de corriente, 222.—17-4. Aplicaciones de la amplidina, 222.—17-5. El rototrol y el regulex, 223.—17-6. Control automático de la tensión del arrollamiento, 225. | |
| CAP. XVIII.—PILAS Y ACUMULADORES | 227 |
| 18-1. Pilas secas, <i>pág.</i> 227.—18-2. Pila patrón Weston, 229.—18-3. Funcionamiento del acumulador de plomo, 229.—18-4. Construcción de las placas, 231.—18-5. Construcción de un acumulador de plomo, 232. 18-6. Tensión de un acumulador de plomo, 233.—18-7. Producción de gases durante la carga, 234.—18-8. Capacidad y rendimiento de un acumulador de plomo, 234.—18-9. Carga, 235.—18-10. Densidad del electrolito, 237.—18-11. Aplicaciones de los acumuladores de plomo, 237. 18-12. Acumulador Edison, 237.—18-13. Construcción de las placas, 239. 18-14. Estructura de un acumulador Edison, 239.—18-15. Características de un acumulador Edison, 239.—18-16. Acumulador de níquel-cadmio, 242.—18-17. Acumuladores para aplicaciones especiales, 242.—18-18. Regulación de la tensión en los acumuladores, 242.—18-19. Carga de la batería de un automóvil durante la marcha, 243.—Problemas, 245. | |

| | |
|--|-----|
| CAP. XIX.—TRANSPORTE Y DISTRIBUCIÓN DE LA CORRIENTE CONTINUA ... | 246 |
| 19-1. Tamaño del conductor, <i>pág.</i> 246.—19-2. Elección de la tensión, 248. 19-3. Sistemas de distribución serie y múltiple, 250.—19-4. Sistema trifilar Edison, 251.—19-5. Dínamo trifilar, 252.—19-6. Contador de vatios-hora para corriente continua, 254.—Problemas, 255. | |
| CAP. XX.—CORRIENTES Y TENSIONES ALTERNAS ... | 257 |
| 20-1. Generadores de corriente alterna o alternadores sencillos, <i>página</i> 257.—20-2. Forma de onda, 259.—20-3. Oscilógrafo, 260.—20-4. Frecuencia, 261.—20-5. Frecuencímetro de lengüetas, 263.—20-6. Valores medios de la intensidad de la corriente y de la tensión, 263.—20-7. Valor eficaz de una corriente alterna, 265.—20-8. Cálculo del valor eficaz de una corriente alterna cuando su gráfica es una curva senoidal, 265. 20-9. Cálculo del valor eficaz de una corriente alterna para una gráfica de forma cualquiera, 266.—20-10. Notaciones, 267.—20-11. Voltímetros y amperímetros utilizados en los circuitos de corriente alterna, 267. Problemas, 269. | |
| CAP. XXI.—REPRESENTACIÓN DE CORRIENTES Y TENSIONES ALTERNAS ... | 270 |
| 21-1. Grados eléctricos, <i>pág.</i> 270.—21-2. Representación vectorial de corrientes y tensiones alternas, 270.—21-3. Vectores giratorios o de fase, 273.—21-4. Suma de dos tensiones senoidales de la misma frecuencia, 274.—Problemas, 276. | |
| CAP. XXII.—CIRCUITOS DE CORRIENTE ALTERNA ... | 277 |
| 22-1. Impedancia, <i>pág.</i> 277.—22-2. Corrientes alternas en circuitos con inductancia, 277.—22-3. Relaciones entre intensidad y tensión, 279. 22-4. Potencia en un circuito inductivo, 281.—22-5. Analogía mecánica, 282.—22-6. Ejemplos de circuitos inductivos y no inductivos, 283. 22-7. Tensión, intensidad y potencia en los circuitos que solo poseen resistencia, 285.—22-8. Resistencia e inductancia en serie, 286.—22-9. Factor de potencia, 289.—22-10. Vatímetro, 290.—22-11. Estado transitorio al cerrar el circuito, 293.—22-12. Condensadores eléctricos. Capacidad, 295.—22-13. Carga y descarga de un condensador, 297.—22-14. Condensadores en corrientes alternas, 299.—22-15. Relaciones entre la tensión y la corriente en un condensador, 300.—22-16. Potencia en un condensador, 302.—22-17. Condensador utilizado para corregir el factor de potencia, 303.—22-18. Resistencia y capacidad en serie, 304.—22-19. Leyes de Kirchhoff aplicadas a los valores eficaces de las intensidades y tensiones alternas, 306.—22-20. Resistencia, inductancia y capacidad en serie, 307.—22-21. Resistencia, inductancia y capacidad en paralelo, 310. 22-22. Dos impedancias en paralelo, 313.—22-23. Línea monofásica de transporte, 315.—Problemas, 318. | |
| CAP. XXIII.—NÚMEROS COMPLEJOS Y ANÁLISIS DE CIRCUITOS ... | 322 |
| 23-1. Método de las magnitudes complejas como representación de vectores giratorios, <i>pág.</i> 322.—23-2. Adición y sustracción de vectores giratorios, 322.—23-3. Multiplicación de números complejos, 323.—23-4. División de números complejos, 327.—23-5. Definiciones de las constantes de los circuitos de corriente alterna, 329.—23-6. Impedancias en paralelo, 331.—Problemas, 334. | |
| CAP. XXIV.—CIRCUITOS POLIFÁSICOS ... | 337 |
| 24-1. Notación con dos subíndices y convenio sobre los signos, <i>pág.</i> 337. 24-2. Generador bifásico, 338.—24-3. Generadores trifásicos, 339.—24-4. La conexión en estrella, 340.—24-5. Cargas conectadas en triángulo sobre una línea trifásica trifilar, 341.—24-6. Tensiones, intensidades y potencia en un alternador conectado en estrella, 342.—24-7. Conexión de cargas a un sistema trifásico trifilar, 345.—24-8. Generador conectado en triángulo, 346.—24-9. Tensiones, intensidades y potencia en un alternador conectado en triángulo, 347.—24-10. Medida de la potencia en circuitos trifásicos de cuatro hilos, 350.—22-11. Medida de la potencia en circuitos trifásicos trifilares con carga equilibrada, 350. 24-12. Gráfica del factor de potencia en función de la relación de las lecturas de los vatímetros para cargas trifásicas equilibradas, 353. 24-13. Caso general de la medida de potencia en un circuito trifásico trifilar, 355.—24-14. Sistema conectado en triángulo, 356.—24-15. Vatímetro polifásico, 356.—24-16. Capacidad nominal en kilovoltios-amperios de los alternadores, 357.—24-17. Equivalencia entre cargas equilibradas en Y y Δ , 357.—24-18. Suma de cargas trifásicas equilibradas, 358.—24-19. Corrección del factor de potencia en corriente tri- | |

física mediante condensadores, 360.—24-20. Cargas desequilibradas conectadas en A, 362.—24-21. Línea de transporte trifásica, 362.—24-22. Capacidad de las líneas de transporte, 364.—Problemas, 365.

CAP. XXV.—TRANSFORMADORES ... 369

25-1. Principios fundamentales, *pág.* 369.—25-2. Flujo, 374.—25-3. Reactancia de dispersión en los transformadores normales, 376.—25-4. Relación entre tensión y densidad de flujo en un transformador, 377.—25-5. Rendimiento de un transformador, 379.—25-6. Pérdidas por histéresis, 379.—25-7. Pérdidas por corrientes de Foucault, 379.—25-8. Ensayo en circuito abierto, 380.—25-9. Rendimiento diario, 381.—25-10. Circuitos equivalentes de un transformador, 383.—25-11. Ensayo en cortocircuito, 385.—25-12. Reactancia y resistencia expresadas en tanto por ciento, 388.—25-13. Regulación de tensión, 390.—25-14. Transformadores de núcleo y acorazados, 390.—25-15. Transformadores trifásicos, 393.—25-16. Refrigeración de los transformadores, 394.—25-17. Autotransformador, 395.—25-18. Regulación de la tensión de un transformador, 396.—25-19. Transformador de corriente constante, 399.—Problemas, 400.

CAP. XXVI.—CONEXIONES DE LOS TRANSFORMADORES ... 402

26-1. Polaridad de los transformadores, *pág.* 402.—26-2. Transformadores monofásicos de distribución, 403.—26-3. Conexiones de transformadores a un sistema trifásico, 403.—26-4. Conexión de transformadores en estrella-estrella, 404.—26-5. Conexión de transformadores en triángulo-triángulo, 405.—26-6. Conexión de transformadores en estrella-triángulo, 406.—26-7. Conexión en V o triángulo abierto, 407.—26-8. Ventajas relativas de las conexiones en estrella y triángulo, 409.—26-9. Transformadores para instrumentos de medida, 412.—Problemas, 414.

CAP. XXVII.—MOTORES POLIFÁSICOS DE INDUCCIÓN ... 416

27-1. Construcción, *pág.* 416.—27-2. Campo giratorio de un motor bifásico de inducción, 417.—27-3. Campo giratorio de un motor trifásico, 419.—27-4. Máquinas multipolares, 420.—27-5. Par motor, 421.—27-6. Deslizamiento, 422.—27-7. Par de arranque, 424.—27-8. Ecuaciones del par motor y de la intensidad en el rotor, 426.—27-9. Variación del par de arranque con la resistencia del rotor, 428.—27-10. Rotor de alta resistencia, 430.—27-11. Motor de inducción de rotor devanado, 430.—27-12. Regulación de la velocidad, 431.—27-13. Rotores con doble jaula de ardilla para pares de arranque elevados, 433.—27-14. Diagramas vectoriales de fase para el motor trifásico de inducción, 434.—27-15. Ensayo en vacío, 437.—27-16. Prueba con rotor parado, 438.—27-17. Cálculo de características, 441.—27-18. Factor de potencia de los motores de inducción, 442.—27-19. Circuito equivalente de un motor de inducción, 442.—27-20. Tipos de rotors en jaula de ardilla, 446.—27-21. Arranque de los motores polifásicos de inducción, 447.—27-22. Comparación de los campos de aplicación de los diferentes tipos de motores de inducción, 449.—27-23. Generador de inducción, 450.—27-24. Motor polifásico de inducción con desfaseamiento de escobillas, 451.—Problemas, 452.

CAP. XXVIII.—ALTERNADORES ... 456

28-1. Alternador monofásico, *pág.* 456.—28-2. Alternadores trifásicos, 459.—28-3. Arrollamientos fraccionarios, 463.—28-4. Detalles de construcción, 463.—28-5. Turboalternadores de vapor, 464.—28-6. Alternador de inducido giratorio, 465.—28-7. Alternador inductor, 466.—28-8. Reacción del inducido en los alternadores, 467.—28-9. Diagrama vectorial de un alternador, 470.—28-10. Curvas características de tensión y regulación de tensión de un alternador, 471.—28-11. Determinación experimental de la impedancia de sincronismo de un alternador, 473.—28-12. Reguladores automáticos, 476.—28-13. Capacidad nominal de los alternadores, 477.—28-14. Rendimiento, 477.—28-15. Corriente de un alternador trifásico en cortocircuito, 478.—Problemas, 480.

CAP. XXIX.—MOTORES POLIFÁSICOS SINCRÓNICOS Y FUNCIONAMIENTO EN PARALELO DE LOS ALTERNADORES ... 483

29-1. Fundamento del funcionamiento de los motores sincrónicos, *página* 483.—29-2. Analogía mecánica, 485.—29-3. Diagramas vectoriales de un motor sincrónico, 485.—29-4. Efecto de variar la excitación de un motor sincrónico, 489.—29-5. Utilización del motor sincrónico para corregir el factor de potencia, 491.—29-6. Condensador sincrónico, 492.

29-7. Funcionamiento en paralelo de alternadores, 493.—29-8. Sincronismo, 494.—29-9. Control de la carga y del factor de potencia en el funcionamiento de alternadores, 495.—29-10. Penduleo, 498.—Problemas, 498.

CAP. XXX.—CONTROL Y APLICACIONES DE LOS MOTORES POLIFÁSICOS ... 500

30-1. Motor sincrónico, *pág.* 500.—30-2. Motores de inducción, 502.—30-3. Regulación de velocidad de los motores de inducción de rotor devanado y de jaula de ardilla, 503.—30-4. Motor polifásico de inducción con desviación de escobillas, 503.—30-5. Arranque de motores sincrónicos y de inducción de jaula de ardilla, 504.—30-6. Arranque de un motor de inducción de rotor devanado, 506.—30-7. Arranque de motores sincrónicos, 508.—30-8. Frenado de los motores de inducción, 508. Problemas, 509.

CAP. XXXI.—MOTORES MONOFÁSICOS ... 511

31-1. Motor monofásico de inducción, *pág.* 511.—31-2. Par de rotación de un motor monofásico de inducción, 511.—31-3. Método de la fase dividida para arrancar motores monofásicos de inducción, 513.—31-4. Motores de inducción con condensador de arranque, 515.—31-5. Motor de inducción con condensador de arranque y condensador de marcha, 515.—31-6. Motores con condensador dividido permanente, 516.—31-7. Regulación de velocidad en los motores monofásicos de inducción, 516.—31-8. Motor universal o motor monofásico serie, 517.—31-9. Motor tipo repulsión-inducción, 521.—31-10. Motor con polos auxiliares de arranque, 522.—31-11. Comparación de los métodos de arranque de los motores monofásicos de inducción, 523.—31-12. Motor monofásico sincrónico, 524.—Problemas, 526.

CAP. XXXII.—TRANSPORTE Y DISTRIBUCIÓN DE LA CORRIENTE ALTERNA. 527

32-1. Redes de alta tensión, *pág.* 527.—32-2. Distribución urbana, 527.—32-3. Construcción aérea de líneas, 528.—32-4. Construcción subterránea, 529.—32-5. Interruptores, 529.—32-6. Disyuntores, 533.—32-7. Condiciones de conversión, 533.—32-8. Grupos motor-generador, 534.—32-9. Conversores rotatorios, 534.—32-10. Distribución en una planta industrial, 534.—32-11. Contador de vatios-hora para corriente alterna, 535.

CAP. XXXIII.—TUBOS TERMOIÓNICOS DE ALTO VACÍO ... 537

33-1. Emisión termiónica de electrones, *pág.* 537.—33-2. Clasificación de los tubos termiónicos, 538.—33-3. Diodo de alto vacío, 538.—33-4. Diodo rectificador, 540.—33-5. Rendimiento y tensión inversa de pico de un rectificador, 541.—33-6. Rectificador de onda completa con condensador en derivación, 542.—33-7. Aplicaciones de los diodos rectificadores de alto vacío, 544.—33-8. Triodo de alto vacío, 544.—33-9. Factores del tubo, 547.—33-10. Características dinámicas de los triodos, 550.—33-11. Distorsión y límites de tensión en los amplificadores, 551.—33-12. Tetodos y pentodos, 553.—33-13. Tubo de haz dirigido, 556.—Problemas, 557.

CAP. XXXIV.—AMPLIFICADORES Y OSCILADORES DE TUBO DE VACÍO ... 558

34-1. Amplificadores de tubo de vacío, *pág.* 558.—34-2. Amplificadores con acoplamiento por resistencia-capacidad, 558.—34-3. El paso final o de salida de un amplificador, 561.—34-4. Amplificador en contrafase, 565.—34-5. Clasificación de los amplificadores, 566.—34-6. Osciladores de tubo de vacío, 567.—34-7. Amplificadores con realimentación negativa, 569.—Problemas, 570.

CAP. XXXV.—SEMICONDUCTORES, RECTIFICADORES DE UNIÓN, TRANSISTORES ... 572

35-1. Semiconductores, *pág.* 572.—35-2. Germanio tipo *n*, 572.—35-3. Germanio tipo *p*, 573.—35-4. Unión *p-n*, 573.—35-5. Propiedades rectificadoras de la unión *p-n*, 575.—35-6. Transistores de tipo de unión, 577.—35-7. Circuito amplificador transistorizado de base común, 579.—35-8. Circuito amplificador transistorizado de emisor común, 582.—35-9. Polarización y realimentación negativa, 586.—Problemas, 587.

CAP. XXXVI.—TUBOS DE GAS Y TUBOS ESPECIALES ... 588

36-1. Diodos de gas de cátodo caliente, *pág.* 588.—36-2. Tiratrones, 589.—36-3. Rectificadores de arco de mercurio: el Ignitrón y el Excitrón, 592.

36-4. Diodos reguladores de tensión, 593.—36-5. Fototubos, 594.
36-6. Fotocélulas semiconductoras del tipo de unión, 595.—36-7. Relé controlado por la luz, 596.—36-8. Osciloscopio de rayos catódicos, 597.
36-9. Circuito electrónico fundamental para regulación de tiempo, 599.
Problemas, 601.

CAP. XXXVII.—RECTIFICACIÓN DE POTENCIA ... 603

37-1. Rectificación monofásica de onda completa, *pág.* 603.—37-2. Filtros, 604.—37-3. Suministro de potencia continua para amplificadores y osciladores, 605.—37-4. Rectificación trifásica, 605.—37-5. Rectificación hexafásica, 607.—37-6. Circuito rectificador hexafásico en doble estrella, 607.—37-7. Circuito rectificador puente trifásico en onda completa, 609.—37-8. Control de salida de los rectificadores tiratrones, 611.
37-9. Control de salida de los rectificadores con ignitrón, 613.—Problemas, 614.

CAP. XXXVIII.—REACTORES O REACTANCIAS SATURABLES Y AMPLIFICADORES MAGNÉTICOS ... 616

38-1. Reactores saturables, *pág.* 616.—38-2. Reactor saturable serie con circuito de control de baja impedancia, 618.—38-3. Efecto de la variación de la corriente de control, 621.—38-4. Efecto de reducir la tensión de corriente alterna, 622.—38-5. Reactor saturable serie con autoexcitación, 622.—38-6. Reactor saturable paralelo con doble autoexcitación, 623.—38-7. Efecto de la variación de la corriente de control, 625.
38-8. Efecto de la inductancia sobre la carga, 626.—38-9. Amplificador magnético en contrafase, 626.—Problemas, 627.

CAP. XXXIX.—ALUMBRADO ELÉCTRICO ... 629

39-1. Incandescencia, *pág.* 629.—39-2. Lumen, 630.—39-3. Intensidad luminosa, 630.—39-4. Lámparas de incandescencia de filamento de wolframio, 631.—39-5. Lámparas serie de wolframio para alumbrado público, 632.—39-6. Lámparas fluorescentes, 633.—39-7. Reflexión, 637.
39-8. Brillo y contraste de brillo, 638.—39-9. Deslumbramiento, 638.
39-10. Coeficiente de utilización. Factor de depreciación, 639.—39-11. Tipos de instalaciones de alumbrado, 640.—39-12. Índice de espacio, 641.
39-13. Separación entre los focos luminosos, 641.—39-14. Suspensión de los focos de luz, 644.—39-15. Comentarios ulteriores respecto a la separación de los focos de luz, 647.—39-16. Iluminación directa mediante un manantial puntual, 647.—Problemas, 649.

CAP. XL.—CURSO PRÁCTICO ... 650

Experimento 1. Medida de resistencia, *pág.* 650.—Experimento 2. Resistencia del inducido, 651.—Experimento 3. Control de velocidad de un motor en derivación, 653.—Experimento 4. Dínamo en vacío, 654.—Experimento 5. Dínamo con carga, 654.—Experimento 6. Pruebas de frenado en los motores de corriente continua, 655.—Experimento 7. Pérdidas de potencia en máquinas de corriente continua, 656.—Experimento 8. R , L y C en paralelo, 656.—Experimento 9. R , L y C en serie, 657.—Experimento 10. Transformador, 658.—Experimento 11. Alternador, 659.—Experimento 12. Motor de inducción, 659.—Experimento 13. Motor sincrónico, 661.—Experimento 14. Conexiones del transformador trifásico, 662. Experimento 15. Características del triodo, 663. Experimento 16. Parámetros del pentodo, 664.—Experimento 17. Amplificador de tensión con tubo de vacío, 665.—Experimento 18. Características del transistor, 666.—Experimento 19. Amplificador magnético, 667.

APÉNDICE ... 668

SOLUCIONES DE LOS PROBLEMAS ... 673

ÍNDICE ALFABÉTICO DE MATERIAS ... 689