

# Índice analítico

## **1. FUNDAMENTOS DE ELECTROMECHANICA, 1**

- 1.1. Conversión de energía electromecánica, 2
- 1.2. Relación entre inducción electromagnética y fuerza electromagnética, 2
- 1.3. Ley de Faraday de la inducción electromagnética, 4
- 1.4. Factores que afectan la magnitud de la fem inducida, 5
- 1.5. Sentido de la tensión inducida. Regla de Fleming, 9
- 1.6. Ley de Lenz, 10
- 1.7. Generadores elementales, 12
- 1.8. Comprobación de la regla de Fleming de la mano derecha mediante la ley de Lenz, 13
- 1.9. Polaridad de un generador elemental, 14
- 1.10. Fem senoidal generada por una bobina que gira en un campo magnético a velocidad constante, 14
- 1.11. Rectificación con colector de anillos rozantes, 16
- 1.12. Devanado de anillo de Gramme, 19
- 1.13. Valores nominales de la tensión, corriente y potencia de las máquinas eléctricas, 24
- 1.14. Fem media generada en un cuarto de revolución, 26
- 1.15. Fórmula fundamental de la tensión de un generador de c.c., para la fem entre escobillas, 27
- 1.16. Fuerza electromagnética, 28
- 1.17. Factores que afectan la magnitud de la fuerza electromagnética, 29
- 1.18. Dirección de la fem y regla de la mano izquierda, 30
- 1.19. Fuerza contraelectromotriz, 31
- 1.20. Comparación de la acción de motor con la de generador, 32

## **2. CONSTRUCCION Y DEVANADO DE LAS MAQUINAS, 45**

- 2.1. Posibilidades de las máquinas, 45

- 2.2. Construcción de la máquina de corriente continua (c.c.), 46
- 2.3. Construcción de la máquina síncrona (inductor fijo), 48
- 2.4. Construcción de la máquina síncrona de inductor móvil, 49
- 2.5. Construcción de la máquina asíncrona de inducción, 50
- 2.6. Circuitos y campos magnéticos de la máquina de c.c., 51
- 2.7. Reactancia del inducido, 52
- 2.8. Circuitos y campos magnéticos en la máquina de c.a., 53
- 2.9. Cálculos de flujos magnéticos, 54
- 2.10. Devanados de inducido, 57
- 2.11. Devanados imbricado y ondulado. Analogías y diferencias, 58
- 2.12. Devanados. Resumen, 63
- 2.13. Devanados del inducido de la máquina síncrona de c.a., 64
- 2.14. Devanados de media bobina y de bobina completa, 65
- 2.15. Devanados de cuerdas o de paso fraccional, 66
- 2.16. Factor de distribución o de zona. Devanados distribuidos, 69
- 2.17. Efecto del paso fraccional y de la distribución de las bobinas sobre la forma de la onda, 71
- 2.18. Fem generada en una máquina síncrona de c.a., 74
- 2.19. Frecuencia de la máquina síncrona de c.a., 76

### **3. RELACIONES DE LA TENSION DE LAS MAQUINAS DE C.C. GENERADORES DE C.C., 85**

- 3.1. Generalidades, 85
- 3.2. Tipos de generador de c.c., 86
- 3.3. Diagrama esquemático y circuito equivalente de un generador shunt, 86
- 3.4. Diagrama esquemático y circuito equivalente de un generador serie, 88
- 3.5. Diagrama esquemático y circuito equivalente de un generador compound, 89
- 3.6. El generador con excitación independiente, 92
- 3.7. Características de la tensión en vacío de un generador de c.c., 92
- 3.8. Líneas de resistencia de excitación del generador autoexcitado, 96
- 3.9. Producción de la autoexcitación en un generador shunt, 98
- 3.10. Resistencia de excitación crítica, 99
- 3.11. Razones por las que un generador shunt autoexcitado puede no desarrollar tensión, 99
- 3.12. Efecto de la carga en impedir la autoexcitación de un generador shunt, 100
- 3.13. Características carga-tensión de un generador shunt, 102
- 3.14. Efecto de la velocidad sobre las características en vacío y en carga de un generador shunt, 105
- 3.15. Regulación de la tensión en un generador, 106
- 3.16. Generador serie, 108
- 3.17. Generador compound, 109
- 3.18. Características del generador compound aditivo, 110
- 3.19. Regulación del grado de compoundaje de los generadores compound aditivos, 112
- 3.20. Características del generador compound diferencial, 114

- 3.21. Comparación de las características tensión-carga de un generador, 115
- 3.22. Efecto de la velocidad sobre las características tensión-carga de los generadores compoUND, 116

#### 4. RELACIONES DE PAR EN MAQUINAS DE C.C. MOTORES DE C.C., 125

- 4.1. Generalidades, 125
- 4.2. Par, 126
- 4.3. Ecuación fundamental del par de una máquina de c.c., 131
- 4.4. Fuerza contraelectromotriz o tensión generada en un motor, 132
- 4.5. Velocidad del motor como función de la fuerza contraelectromotriz y el flujo, 133
- 4.6. Fuerza contraelectromotriz y potencia mecánica desarrollada por el inducido de un motor, 135
- 4.7. Relación entre el par y la velocidad del motor, 137
- 4.8. Arrancadores para los motores de c.c., 139
- 4.9. Características del par electromagnético de los motores de c.c., 142
- 4.10. Características de velocidad de los motores de c.c., 145
- 4.11. Regulación de la velocidad, 152
- 4.12. Par externo, potencia nominal y velocidad, 153
- 4.13. Inversión del sentido de giro, 154
- 4.14. Efecto de la reacción de inducido, sobre la regulación de velocidad de todos los motores de c.c., 155

#### 5. REACCION DE INDUCIDO Y CONMUTACION EN LAS MAQUINAS ELECTRICAS, 165

- 5.1. Generalidades, 165
- 5.2. Campo magnético producido por la corriente del inducido, 166
- 5.3. Efecto del flujo de inducido, 167
- 5.4. Desplazamiento del plano neutro en el generador respecto al motor, 170
- 5.5. Compensación de la reacción de inducido en las máquinas de c.c., 171
- 5.6. El proceso de conmutación, 176
- 5.7. Tensión de reactancia, 179
- 5.8. Reacción de inducido en la máquina de c.c., 181
- 5.9. Resumen de la reacción de inducido en las máquinas, 184

#### 6. RELACIONES DE TENSION EN LAS MAQUINAS DE C.A. ALTERNADORES, 195

- 6.1. Generalidades, 195
- 6.2. Construcción, 196
- 6.3. Ventajas constructivas del inducido fijo y campo móvil, 196
- 6.4. Motores de accionamiento, 199
- 6.5. Circuito equivalente de una máquina síncrona monofásica y de una polifásica, 201
- 6.6. Comparación entre el generador de c.c. con excitación independiente y el alternador síncrono con excitación independiente, 202

- 6.7. Relación entre la tensión generada y la tensión en bornes en un alternador para distintos factores de potencia de carga, 203
- 6.8. Regulación de tensión de un alternador síncrono de c.a. para distintos factores de potencia, 207
- 6.9. Impedancia síncrona, 209
- 6.10. El método de la impedancia síncrona (o fem) para la predicción de la regulación de tensión, 210
- 6.11. Suposición inherentes en el método de la impedancia síncrona, 216
- 6.12. Corriente de cortocircuito y uso de reactivancias limitadoras de corriente, 218

## **7. FUNCIONAMIENTO EN PARALELO, 227**

- 7.1. Ventajas del funcionamiento en paralelo, 227
- 7.2. Relaciones de tensión y de corriente para fuentes de fem en paralelo, 228
- 7.3. Funcionamiento en paralelo de generadores con derivación, 231
- 7.4. Condiciones necesarias para el funcionamiento en paralelo de los generadores en derivación, 233
- 7.5. Funcionamiento en paralelo de generadores compuestos, 233
- 7.6. Condiciones necesarias de funcionamiento en paralelo de generadores compound, 234
- 7.7. Procedimiento para la puesta en paralelo de generadores, 237
- 7.8. Condiciones necesarias para el funcionamiento en paralelo de alternadores, 238
- 7.9. Sincronización de alternadores monofásicos, 239
- 7.10. Efectos de la corriente sincronizante (circulatoria) entre alternadores monofásicos, 242
- 7.11. Reparto de carga entre alternadores, 250
- 7.12. Oscilación de los alternadores, 253
- 7.13. Sincronización de alternadores polifásicos, 255
- 7.14. Sincronoscopios, 258
- 7.15. Indicador de orden de sucesión de fases, 259
- 7.16. Resumen de reglas para puesta en paralelo de alternadores polifásicos, 260

## **8. RELACION DE PAR EN LAS MAQUINAS DE C.A. MOTORES SINCRONOS, 271**

- 8.1. Generalidades, 271
- 8.2. Construcción, 273
- 8.3. Funcionamiento de los motores síncronos, 273
- 8.4. Arranque de los motores síncronos, 275
- 8.5. Arranque de un motor síncrono como motor de inducción mediante sus devanados amortiguadores, 276
- 8.6. Arranque de un motor síncrono en carga, 278
- 8.7. Funcionamiento del motor síncrono, 279
- 8.8. Efecto del aumento de carga a excitación normal del motor síncrono, 284
- 8.9. Efecto del aumento de carga en condiciones de subexcitación, 287

- 8.10. Efecto del aumento de carga en condiciones de sobreexcitación, 287
- 8.11. Resumen del efecto del aumento de carga (despreciando los efectos de la reacción de inducido) bajo excitación constante, 288
- 8.12. Efecto de la reacción de inducido, 288
- 8.13. Ajuste del factor de potencia del motor síncrono a carga constante, 291
- 8.14. Curva en V de un motor síncrono, 294
- 8.15. Cálculo del ángulo de carga y de la tensión generada por fase para un motor síncrono polifásico, 298
- 8.16. Utilización del motor síncrono como corrector del factor de potencia, 307
- 8.17. Par electromagnético desarrollado por fase en un motor síncrono, 310
- 8.18. Características nominales de un motor síncrono, 314
- 8.19. Condensadores síncronos, 314
- 8.20. Límite económico de la mejora del factor de potencia, 316
- 8.21. Cálculo de la mejora del factor de potencia de un motor síncrono usando el método kW-kVAr, 318
- 8.22. Uso del condensador síncrono como reactancia síncrona, 320
- 8.23. Uso del motor síncrono como cambiador de frecuencia, 322
- 8.24. El motor supersíncrono, 323
- 8.25. Tipos especiales de motores síncronos que no emplean excitación de c.c., 324
- 8.26. El motor de inducción síncrono, 325
- 8.27. Motor de reluctancia, 326
- 8.28. Motor de histéresis, 327
- 8.29. Motores subsíncronos, 329
- 8.30. Alimentación de la excitación de c.c. a base de semiconductores — Alimentación estática, 329
- 8.31. Motores síncronos sin escobillas, 330

## 9. MAQUINAS DE INDUCCION POLIFASICAS (ASINCRONAS), 345

- 9.1. Generalidades, 345
- 9.2. Construcción, 346
- 9.3. Producción de un campo magnético giratorio por aplicación de corriente alterna polifásica de inducido estático, 347
- 9.4. Principio del motor de inducción, 350
- 9.5. Conductores rotóricos, fem inducida y par; rotor bloqueado, 353
- 9.6. Par máximo, 359
- 9.7. Características de funcionamiento de un motor de inducción, 361
- 9.8. Características de funcionamiento normales de un motor de inducción, 363
- 9.9. Efecto de la variación de resistencia del rotor, 365
- 9.10. Características de arranque al añadir resistencia al rotor, 366
- 9.11. Características de funcionamiento con la adición de resistencia al rotor, 373

- 9.12. Par del motor de inducción y potencia desarrollada en el rotor, 374
- 9.13. Medida del deslizamiento mediante diversos métodos, 380
- 9.14. Arranque del motor de inducción, 383
- 9.15. Arranque por autotransformador a tensión reducida, 384
- 9.16. Arranque a tensión reducida por resistencia o reactancia en el primario, 386
- 9.17. Arranque estrella-triángulo, 386
- 9.18. Arranque con devanados divididos, 388
- 9.19. Arranque con rotor bobinado, 389
- 9.20. Motor de inducción de arranque directo con rotor de doble jaula, 389
- 9.21. Clasificación de los motores de inducción, 391
- 9.22. Generador de inducción, 396
- 9.23. Convertidores de frecuencia de inducción, 397

## **10. MOTORES MONOFASICOS, 411**

- 10.1. Generalidades, 411
- 10.2. Construcción del motor de inducción monofásico, 413
- 10.3. Par equilibrado de un motor de inducción monofásico en reposo, 413
- 10.4. Par resultante de un motor de inducción monofásico como consecuencia de la rotación del rotor, 415
- 10.5. Motor de inducción (de arranque por resistencia) de fase partida, 418
- 10.6. Motor de arranque por condensador de fase partida, 421
- 10.7. Motor con condensador de fase partida permanente (de un solo valor), 424
- 10.8. Motor con condensador de dos valores, 427
- 10.9. Motor de inducción de espiras de sombra, 429
- 10.10. Motor de inducción de arranque por reluctancia, 431
- 10.11. Motores monofásicos de colector, 434
- 10.12. El principio de repulsión, 434
- 10.13. Motor de repulsión comercial, 438
- 10.14. Motor de inducción de arranque por repulsión, 441
- 10.15. Motor de inducción-repulsión, 442
- 10.16. Motor universal, 444
- 10.17. Motor serie de c.a., 446
- 10.18. Resumen de los tipos de motores monofásicos, 448

## **11. MAQUINAS ESPECIALES, 461**

- 11.1. Generalidades, 461
- 11.2. Generador con polos de derivación magnética, 462
- 11.3. Generador con tercera escobilla, 464
- 11.4. Máquinas homopolares o acíclicas, 465
- 11.5. Dinamotores, 467
- 11.6. Convertidores síncronos monofásicos, 469
- 11.7. Convertidor rotatorio polifásico, 473

- 11.8. Generadores en sistemas trifilares, 479
- 11.9. Efecto de la resistencia de la línea y de las cargas desequilibradas en las redes trifilares, 482
- 11.10. Convertidores de fase de inducción, 485
- 11.11. Dispositivos sincronizantes (selsyn), 486
- 11.12. Selsyns de potencia y sistemas de enlace sincrónico, 496
- 11.13. Servomotores de c.c., 497
- 11.14. Servomotores de c.a., 501
- 11.15. El generador Rosenberg, 503
- 11.16. La amplidina, 505
- 11.17. Excitatrices de campo múltiples — Rototrol y Regutex, 508
- 11.18. Motores de c.c. sin escobillas, 511

**12. RELACIONES DE POTENCIA Y ENERGIA: RENDIMIENTO, SELECCION DE CARACTERISTICAS NOMINALES Y MANTENIMIENTO DE MAQUINAS ELECTRICAS ROTATIVAS, 531**

- 12.1. Generalidades, 531
- 12.2. Pérdidas en las máquinas, 533
- 12.3. Diagramas de flujo de potencia, 536
- 12.4. Determinación de las pérdidas, 538
- 12.5. Rendimiento de la máquina de c.c., 538
- 12.6. Rendimiento máximo, 541
- 12.7. Efecto combinado del flujo y de la velocidad, 546
- 12.8. Rendimiento de la máquina síncrona de c.a., 548
- 12.9. Ventilación de los alternadores, 550
- 12.10. Rendimiento de la máquina síncrona de c.a. mediante el método del motor de c.c. calibrado, 351
- 12.11. Rendimiento de la máquina asíncrona, 553
- 12.12. Resistencia equivalente del motor de inducción, 554
- 12.13. Rendimiento del motor de inducción mediante los ensayos en vacío y en cortocircuito (rotor bloqueado), 555
- 12.14. Rendimiento del motor de inducción según el método del circuito equivalente carga-deslizamiento de la AIEE, 559
- 12.15. Rendimiento de los motores monofásicos, 562
- 12.16. Factores que afectan las características de las máquinas, 563
- 12.17. Calentamiento, 563
- 12.18. Tensión nominal, 566
- 12.19. Efecto del ciclo de servicio y de la temperatura ambiente sobre la potencia nominal, 566
- 12.20. Tipos de envolturas, 567
- 12.21. Velocidad nominal; clasificaciones de velocidades y reversibilidad, 568
- 12.22. Factores que afectan a la selección de generadores y motores, 571
- 12.23. Mantenimiento, 574

**13. TRANSFORMADORES, 593**

- 13.1. Definiciones fundamentales, 593

- 13.2. Relaciones en un transformador ideal, 596
- 13.3. Impedancia reducida, transformación de impedancia y transformadores reales, 603
- 13.4. Circuitos equivalentes para un transformador de potencia real, 609
- 13.5. Regulación de tensión de un transformador de potencia, 613
- 13.6. Regulación de tensión a partir del ensayo de cortocircuito, 617
- 13.7. Hipótesis inherentes en el ensayo de cortocircuito, 620
- 13.8. Rendimiento del transformador a partir de los ensayos de vacío y de cortocircuito, 621
- 13.9. Rendimiento diario total, 628
- 13.10. Identificación de fases y polaridad de los arrollamientos de un transformador, 630
- 13.11. Conexión de los arrollamientos del transformador en serie en paralelo, 633
- 13.12. El autotransformador, 637
- 13.13. Rendimiento del autotransformador, 646
- 13.14. Transformación trifásica, 648
- 13.15. Armónicos en los transformadores, 656
- 13.16. Importancia del neutro y medios para crearlo, 658
- 13.17. Relaciones de transformación V-V. Sistemas en triángulo abierto, 660
- 13.18. Relaciones de transformación T-T, 663
- 13.19. Transformaciones trifásicas a bifásicas. Conexión Scott, 667
- 13.20. Transformaciones trifásica a hexafásica, 670
- 13.21. Uso de las transformaciones polifásicas en la conversión de potencia, 678

**APÉNDICE, 701**

**ÍNDICE ALFABÉTICO, 719**