

Contenido

Introducción	XIX
PRIMERA PARTE	1
Capítulo 1. Circuitos magnéticos	3
1.1. Problema de diseño	4
1.2. Introducción	5
1.3. Flujo magnético y ley de Ampère	7
1.4. Circuitos magnéticos	9
1.4.1. Excitación de núcleos ferromagnéticos con corriente continua	9
1.4.2. Ley de Ohm para circuitos magnéticos	9
1.4.3. Curva de magnetización y saturación	18
1.4.4. Energía magnética almacenada	20
1.5. Materiales ferromagnéticos	21
1.5.1. Curva de histéresis	23
1.6. Ley de inducción de Faraday	25
1.6.1. Regla de la mano izquierda	28
1.7. Inductancia magnética	29
1.7.1. Diseño de bobinas	31
1.7.2. Formas de núcleos ferromagnéticos	32
1.8. Excitación senoidal en circuitos magnéticos	33
1.8.1. Pérdida de energía por corrientes de Foucault	36
1.9. Aplicaciones de los circuitos magnéticos	39
1.10. Solución del problema de diseño	40
1.11. Problemas propuestos	42
1.12. Resumen	51
1.13. Problemas	52

Capítulo 2. Balance de energía electromecánica	55
2.1. Problema de diseño	56
2.2. Introducción	59
2.3. Transformación de la energía electromecánica	62
2.4. Mecánica de los motores y de los generadores de corriente continua	63
2.5. Relación de fuerza de Biot y Savat	67
2.6. Otras leyes relacionadas	68
2.7. Máquinas de corriente alterna	69
2.8. Máquinas de inducción	72
2.9. Balance de energía	77
2.9.1. Energía y fuerza en sistemas de campos magnéticos	79
2.10. Determinación de la fuerza magnética (coenergía)	82
2.11. Solución del problema de diseño	86
2.12. Problemas resueltos	100
2.13. Resumen	106
2.14. Problemas	106
 SEGUNDA PARTE	 111
 Capítulo 3. Teoría del transformador	 113
3.1. Problema de diseño	114
3.2. Introducción	115
3.3. El transformador eléctrico	117
3.3.1. Estructura del transformador	120
3.3.2. F.E.M inducida	128
3.3.3. Relación de transformación	130
3.3.4. Polaridad	134
3.4. Deducción del circuito equivalente	137
3.5. Análisis de comportamiento bajo distintas cargas.	144
3.5.1. Regulación.	144
3.5.2. Eficiencia	147
3.6. Por ciento y por unidad de impedancia	148
3.7. Autotransformadores.	151
3.7.1. Características de los autotransformadores	152
3.8. Solución del problema de diseño	154

3.9. Problemas resueltos	155
3.10. Resumen	164
3.11. Problemas	166
Capítulo 4. Operación del transformador en sistemas eléctricos	171
4.1. Problema de diseño inicial	172
4.1.1. Diseño de un transformador	172
4.2. Introducción	173
4.3. Conexión de transformadores	174
4.3.1. Requisitos de polaridad, transformación, impedancia, secuencia y desplazamiento angular	179
4.4. Transformador trifásico	183
4.4.1. Características y ventajas	186
4.4.2. Auxiliares: Tanque, boquilla, aceite, etcétera	193
4.5. Clasificación y selección de transformadores	197
4.6. Solución al problema de diseño	200
4.7. Problemas resueltos.	200
4.8. Resumen	212
4.9. Problemas	213
Capítulo 5. Transformadores de distribución	219
5.1. Problema de diseño	220
5.2. Introducción	221
5.3. Conexiones y funcionamientos de los transformadores	221
5.3.1. Polaridad	255
5.3.2. Conexiones de los transformadores en circuitos monofásicos.	256
5.3.3. División de la carga entre transformadores en paralelo	257
5.4. Transformadores monofásicos en circuitos bifásicos	260
5.5. Tres transformadores en circuito trifásico	261
5.6. Características del funcionamiento de la conexión Y-Y	264
5.7. La conexión en Δ abierta o en V	265
5.8. Funcionamiento en paralelo de transformadores conectados en Δ abierta y en Δ cerrada	266
5.9. Características de funcionamiento de las conexiones $\Delta - Y$ e $Y - \Delta$	272
5.10. Funcionamiento en paralelo de conexiones en Y-Y, $\Delta - \Delta$; $\Delta - Y$ y $Y - \Delta$	272
5.11. Conexión en T en los sistemas trifásicos	276

5.12. Protección de transformadores de distribución	279
5.13. Autotransformadores	281
5.14. Cálculo de pérdidas y su optimización	282
5.15. Normas de diseño, pruebas y puesta en servicio	292
5.16. Respuesta al problema de diseño	295
5.17. Resumen	296
5.18. Problemas resueltos	297
5.19. Problemas	305

Capítulo 6. Transformadores de potencia **307**

6.1. Introducción	308
6.2. Introducción a los transformadores de potencia	309
6.3. Tipo de transformadores de potencia	311
6.4. Tipos de aislamiento	316
6.5. Curvas teóricas de calentamiento y refrigeración	319
6.6. Tipos de refrigeración en los transformadores de potencia	321
6.7. Elevación de temperatura debido a cortocircuitos: esfuerzos mecánicos	323
6.8. Conexiones de bancos de transformadores monofásicos y trifásicos	326
6.9. Cálculo de pérdidas y su optimización	329
6.10. Normas de diseño, pruebas, y puesta en servicio	330
6.11. Problemas resueltos	333
6.12. Resumen	349
6.13. Problemas propuestos	353

TERCERA PARTE **357**

Capítulo 7. Motor de inducción polifásico **359**

7.1. Introducción	360
7.2. Principios básicos del motor de inducción trifásico	361
7.3. Principio de funcionamiento del campo magnético rotatorio trifásico	364
7.4. Circuito equivalente para el motor de inducción	365
7.5. Circuito equivalente aproximado	370
7.6. Diagrama de potencias	370
7.7. Ecuación del par electromagnético empleando el circuito aproximado	372
7.8. Ecuación del par electromagnético empleando el circuito equivalente	373

7.9. Análisis del comportamiento dinámico de un motor de inducción	375
7.10. NEMAS y tipos de arranque	377
7.11. Arranque estrella - delta	378
7.12. Motores de inducción con diferentes características en el rotor	380
7.13. Problemas del motor de inducción trifásico	381
Capítulo 8. Máquinas síncronas	395
8.1. Introducción	396
8.2. Clasificación y construcción física	397
8.3. Circuito equivalente de la máquina síncrona	399
8.4. Problemas	404
Capítulo 9. El generador síncrono	411
9.1. Introducción	413
9.2. Tipos de rotores	414
9.3. Sistemas de excitación	415
9.4. Devanado de estator y de rotor	415
9.5. Cálculo del factor de paso	416
9.5.1. Bobinas del rotor	416
9.6. Cálculo del factor de distribución	418
9.7. Velocidad síncrona	420
9.8. Flujo rotatorio de reacción de armadura	420
9.9. Pruebas a generadores: Curva de saturación y prueba de corto circuito	421
9.9.1. Curva de saturación	425
9.10. Diagrama fasorial	426
9.11. Relación de corto circuito y de reactancia síncrona	427
9.12. Operación con carga resistiva y su diagrama fasorial	429
9.13. Operación con carga inductiva y su diagrama fasorial	430
9.14. Operación con carga capacitiva y su diagrama fasorial	430
9.15. Prueba de excitación y de factor de potencia igual a cero ($F.P. = 0$), para la obtención de la reactancia de dispersión por el método del Triángulo de Potier	431
9.16. Diagrama fasorial con la reactancia síncrona	434
9.17. Límite de estabilidad estática del generador	438
9.18. Diagramas circulares y la construcción de la curva de capacidad de un generador	440
9.19. Reactancias del generador en cortocircuito trifásico	441

9.20. Sistemas de regulación de voltaje	442
9.21. Diagrama fasorial	442
9.22. Problemas resueltos	444
9.23. Resumen	452
9.24. Problemas	453
Capítulo 10. Operación de generadores síncronos en estado estable	457
10.1. Introducción	458
10.2. Operación de generadores	459
10.2.1. Características de circuito abierto y de corto circuito	462
10.2.2. Análisis del comportamiento bajo diferentes condiciones de carga	466
10.2.3. Diagrama de Potier	471
10.2.4. Teoría de las dos reactancias. Teoría de Blondel	476
10.2.5. Ángulo de potencia	479
10.2.6. Diagrama de capacidad	480
10.2.7. Operación en paralelo	484
10.3. Especificaciones y normas	487
10.4. Problemas resueltos	488
10.5. Resumen	495
10.6. Problemas	496
Capítulo 11. Operación de motores y condensadores síncronos	501
11.1. Introducción	502
11.2. Motores síncronos	502
11.2.1. Principio de operación y características constructivas	504
11.2.2. Arranque	509
11.2.3. Diagrama fasorial	511
11.2.4. Curvas “V”	516
11.2.5. Análisis de comportamiento bajo diferentes condiciones de carga	517
11.3. Condensadores síncronos	518
11.3.1. Control de tensión y de factor de potencia	519
11.3.2. Arranque	520
11.4. Problemas resueltos	521
11.5. Resumen	529
11.6. Problemas	530

CUARTA PARTE	533
Capítulo 12. Máquinas de corriente continua	535
12.1. Introducción	536
12.2. Partes principales de las máquinas de c.c.	536
12.3. Clasificación de las máquinas de c.c.	538
12.4. Motor serie	538
12.5. Motor paralelo	541
12.6. Motor compuesto	544
12.7. Generador serie	546
12.8. Generador paralelo	547
12.9. Generador compuesto	549
12.10. Problemas	550
Capítulo 13. Accionamientos eléctricos de velocidad variable	557
13.1. Introducción	559
13.2. Característica mecánica de los accionamientos eléctricos	563
13.2.1. Característica mecánica de las máquinas eléctricas	565
13.3. Accionamiento eléctrico de velocidad variable para motores de corriente continua	566
13.3.1. Características mecánicas de motor de corriente continua de excitación independiente	566
13.3.2. Característica mecánica del motor serie	567
13.3.3. Variables de estado y diagramas de bloques para la representación de la máquina de corriente continua	568
13.3.4. Modelado del motor de c.c. en diagrama de bloques	576
13.3.5. Modelado empleando diagrama de bloques para el motor de c.c.	578
13.4. Función de transferencia experimental	579
13.5. Control en cascada en motores de corriente continua	583
13.6. Elementos básicos de electrónica de potencia que conforman el convertidor	584
13.6.1. Convertidor estático de c.c. a c.c.	587
13.7. Diagrama de bloques simplificado de control de posición de un motor	590
13.8. Observador lineal en motores de corriente continua	598
13.9. Retroalimentación de estados	602
13.10. Pasos básicos para la retroalimentación de estado	607
13.11. Accionamiento eléctrico de velocidad variable para motores de inducción	611
13.12. Control por variación de la resistencia del rotor	612

13.13. Control del voltaje de línea	613
13.14. Operación a frecuencia de deslizamiento constante	616
13.14.1. Control de velocidad en lazo cerrado	616
13.14.2. Control de velocidad por límite de corriente	617
13.14.3. Control escalar voltaje/frecuencia	617
13.15. Esquema de control general	621
13.16. Operación voltaje/frecuencia en diferentes zonas de operación	624
13.17. Métodos de control del inversor	625
13.17.1. Convertidor estático de frecuencia (c.c/c.a.) como fuente de voltaje	625
13.17.2. Topología básica de la etapa de alimentación	626
13.17.3. Inversor como fuente de voltaje o fuente de corriente	626
13.17.4. Inversor trifásico (como fuente de voltaje) aplicando el método de los seis pasos	627
13.18. Inversor PWM senoidal	630
13.19. Medición de la distorsión armónica	633
13.19.1. Factor de potencia	633
13.19.2. Armónicos en un motor de inducción	634
13.19.3. Pérdidas por armónicos en el motor de inducción	635
13.19.4. Pulsaciones de par	636
13.20. Formas de corriente, voltaje y velocidad para un esquema v/f	637
13.21. Control en lazo cerrado de velocidad para un motor de inducción utilizando el control de voltaje-frecuencia	640
13.21.1. Esquema de lazo cerrado de velocidad	641
13.21.2. Resultados experimentales de velocidad	643
Capítulo 14. Control vectorial de los motores de inducción	647
14.1. Introducción	649
14.2. Principios de control vectorial con orientación del flujo del rotor	653
14.3. Localización del vector de flujo del rotor	659
14.4. Implementación del control vectorial	661
14.5. Método directo de campo orientado	662
14.6. Método indirecto de campo orientado	664
14.7. Cálculo de la corriente de magnetización modificada	666
14.7.1. Bloque de cálculo de las componentes de corrientes de referencia i^{*ds} e i^{*qs} y de la velocidad de deslizamiento de referencia ω_2	668
14.7.2. Cálculo del vector unitario	669

14.7.3. Transformación inversa de coordenadas	669
14.8. Principios básicos para el desarrollo del control vectorial	670
14.8.1. Técnica de modulación de banda de histéresis	670
14.8.2. Diagrama de conmutación de un controlador de histéresis	673
14.9. Análisis del desempeño del PWM banda de histéresis	676
14.10. Estimación del flujo rotórico	680
14.11. Estimación de la resistencia del rotor	680
14.12. Estimación de la constante de tiempo del rotor mediante un modelo de flujo adaptable del sistema	684
14.12.1. Obtención de los modelos fijo y adaptable del flujo del rotor	684
14.13. Control de flujo y velocidad	688
14.13.1. Control del flujo	688
14.13.2. Control de velocidad	689
14.13.3. Estabilidad del sistema	693
14.14. Respuesta global del control vectorial	694
14.15. Eliminación de sensores de velocidad en accionamientos de motores de inducción	696
14.15.1. Empleo de observadores y estimadores en el control vectorial	696
14.15.2. El filtro de Kalman	700
14.15.3. Covarianza del ruido	701
14.15.4. Estructura del filtro	702
14.15.5. Filtro de Kalman discreto	702
14.15.6. Modelo dinámico del motor de inducción	707
14.15.7. Modelo de Brunsbach	707
14.15.8. Modelo de Vasson	708
14.15.9. Modelo discretizado del motor	709
14.16. Redes neuronales artificiales (RNA) para la estimación de la velocidad	710
14.16.1. Introducción	710
14.16.2. Principios básicos de redes neuronales	713
Capítulo 15. Control directo del par	717
15.1. Introducción	718
15.2. Principios básicos del control directo del par	724
15.3. Esquema convencional del control directo del par	727
15.4. Inversor fuente de voltaje (VSI) empleado en el DTC	729
15.5. Resultados del desempeño dinámico del control directo del par	731

15.6. Problema de la distorsión del flujo del estator cuando ocurre un cambio de sector durante la rotación del flujo magnético del estator en el DTC	735
15.7. Sectores variables en el control directo del par	735
15.8. Lazo cerrado de velocidad en el control directo del par	742

EN LA PÁGINA WEB DEL LIBRO:

Capítulo 16. Máquinas eléctricas especiales

16.1 Introducción

16.2 Energía maremotriz

16.3 Energía geotérmica

16.4 Usos de la energía geotérmica

16.5 Energía nuclear

16.6 La energía eólica

16.7 Energías renovables

16.8 Aplicaciones de las máquinas eléctricas especiales

16.9 Nano máquinas

16.10 Vehículos híbridos y eléctricos

16.11 Bibliografía