

CONTENIDO

Prefacio XI

Acerca del autor XIV

Capítulo 1

Introducción 1

- 1.1 Qué 1
- 1.2 Cuándo 2
- 1.3 Dónde 2
- 1.4 Cómo 3

Capítulo 2

Circuitos en estado estable senoidal 5

- 2.1 Introducción 5
- 2.2 Principios de fasores y de impedancia 5
- 2.3 Análisis de redes monofásicas 10
- 2.4 Redes trifásicas 14
 - 2.4.1 Arreglos de conexiones 15
 - 2.4.2 Condiciones balanceadas 16
 - 2.4.3 Transformaciones de conexiones 21
 - 2.4.4 Análisis 23
- 2.5 Flujo de potencia 28
 - 2.5.1 Circuitos monofásicos 28
 - 2.5.2 Circuitos trifásicos 32
 - 2.5.3 Medición de potencia 34
 - 2.5.4 Corrección del factor de potencia 35
- 2.6 Circuitos con frecuencias múltiples 38
- 2.7 Código para el análisis computacional 39
- Resumen 43
- Problemas 44

Capítulo 3

Circuitos magnéticos y conversión de energía 49

- 3.1 Introducción 49
- 3.2 Leyes y reglas 49

- 3.3 Ferromagnetismo 54
 - 3.3.1 Saturación 54
 - 3.3.2 Histéresis 57
 - 3.3.3 Temperatura de Curie y magnetostricción 57
- 3.4 Circuitos magnéticos 57
 - 3.4.1 Metodología de análisis 58
 - 3.4.2 Efecto de los bordes en el entrehierro 59
 - 3.4.3 Flujo de fuga 61
 - 3.4.4 Circuitos magnéticos en serie 61
 - 3.4.5 Circuitos magnéticos en paralelo 69
- 3.5 Energía e inductancia 76
 - 3.5.1 Inductancia 76
 - 3.5.2 Energía 80
- 3.6 Excitación senoidal 81
- 3.7 Imanes permanentes 83
 - 3.7.1 Clasificación y características 84
 - 3.7.2 Desempeño 85
- 3.8 Conversión de energía 90
 - 3.8.1 Formulación de modelos 90
 - 3.8.2 Fuerza y energía 92
 - 3.8.3 Fuerza y coenergía 98
 - 3.8.4 Sistemas con doble excitación 102
- 3.9 Diseño de solenoides 103
 - 3.9.1 Dimensionamiento burdo 104
 - 3.9.2 Circuito magnético 106
 - 3.9.3 Diseño prueba 108
- 3.10 Código para análisis computacional 113
- Resumen 126
- Problemas 127
- Referencias 130

Capítulo 4

Transformadores 131

- 4.1 Introducción 131
- 4.2 Construcción física 132
- 4.3 El transformador ideal 133
 - 4.3.1 Diagramas de circuito 137

- 4.3.2 Relaciones de tensión y de corriente 137
 - 4.3.3 Relaciones de potencia e impedancia 139
 - 4.4 El transformador real 141
 - 4.4.1 Transformador con núcleo sin pérdidas 141
 - 4.4.2 Propiedades del núcleo ferromagnético 143
 - 4.4.3 Utilidad de las implicaciones de desempeño 152
 - 4.4.4 Placa de datos y polaridad de los devanados 155
 - 4.5 Determinación experimental de los parámetros 156
 - 4.5.1 Pruebas preliminares 157
 - 4.5.2 Prueba de cortocircuito 157
 - 4.5.3 Prueba de circuito abierto 158
 - 4.6 Evaluación del desempeño 161
 - 4.6.1 Análisis voltaje-corriente 161
 - 4.6.2 Circuito equivalente aproximado 163
 - 4.6.3 Eficiencia 166
 - 4.6.4 Regulación de tensión 171
 - 4.6.5 Corriente de arranque 173
 - 4.7 Transformadores de distribución residencial 175
 - 4.8 Autotransformadores 176
 - 4.8.1 Autotransformador ideal 176
 - 4.8.2 Flujo de potencia 178
 - 4.9 Transformadores trifásicos 179
 - 4.9.1 Esquemas de conexión 180
 - 4.9.2 Análisis del desempeño del transformador 183
 - 4.10 Transformador con embobinados en derivación 185
 - 4.10.1 Ajuste fijo de las derivaciones 185
 - 4.10.2 Cambio de puntos de derivación bajo carga 187
 - 4.11 Transformadores de instrumentación 188
 - 4.11.1 Transformadores de potencial 188
 - 4.11.2 Transformadores de corriente 188
 - 4.12 Diseño de transformadores 189
 - 4.12.1 Dimensionamiento del volumen del núcleo 189
 - 4.12.2 Análisis del circuito magnético 192
 - 4.12.3 Parámetros del circuito equivalente 194
 - 4.12.4 Ejemplo de diseño 198
 - 4.13 Código para análisis computacional 203
 - Resumen 221
 - Problemas 222
 - Referencias 227
- Capítulo 5**
- Máquinas de cd 229**
- 5.1 Introducción 229
 - 5.2 Construcción física 229
 - 5.3 Principios de tensión y de par 232
 - 5.3.1 Campo magnético sin carga 232
 - 5.3.2 Tensión inducida en el devanado de la armadura 234
 - 5.3.3 Par electromagnético desarrollado 239
 - 5.4 Clasificación por devanado de campo 241
 - 5.4.1 Devanados de campo básicos 241
 - 5.4.2 Arreglos de conexión del campo 242
 - 5.5 Naturaleza e interacción de los campos magnéticos 243
 - 5.5.1 Circuito magnético principal 243
 - 5.5.2 Interacción de los campos magnéticos 245
 - 5.6 Desempeño del generador 251
 - 5.6.1 Generador de cd excitado separadamente 252
 - 5.6.2 Generador de cd en paralelo (shunt) 254
 - 5.6.3 Generador de cd con excitación en serie 256
 - 5.6.4 Generador de cd compuesto acumulativo (aditivo) 256
 - 5.6.5 Generador compuesto diferencial de cd 258
 - 5.7 Desempeño de motores 259
 - 5.7.1 Motor de cd con excitación en paralelo 261
 - 5.7.2 Motor de cd con excitación en serie 263
 - 5.7.3 Motor compuesto acumulativo de cd 266
 - 5.7.4 Motor de excitación compuesta sustractiva de cd 269

5.8	Control de motores	271
5.8.1	Control de arranque	271
5.8.2	Control de velocidad	272
5.9	Diseño de motores de cd	275
5.9.1	Clasificaciones y estandarizaciones	276
5.9.2	Dimensionamiento del volumen y del diámetro interior	277
5.9.3	Diseño de la armadura	279
5.9.4	Diseño de polos de campo	286
5.9.5	Análisis del circuito magnético	288
5.9.6	Diseño del devanado de campo	290
5.9.7	Refinamiento del diseño	291
5.9.8	Diseño muestra	291
5.10	Códigos para el análisis computacional	299
	Resumen	310
	Problemas	311
	Referencias	316

Capítulo 6

Motores de inducción 317

6.1	Introducción	317
6.2	Clasificación y construcción física	317
6.3	Devanado y fmm del estator	319
6.3.1	Devanados de estator	319
6.3.2	Fmm del devanado	319
6.3.3	Onda viajera del entrehierro del estator	326
6.3.4	Velocidad síncrona	327
6.4	Acción y deslizamiento del rotor	328
6.4.1	Tensiones inducidas en el devanado del rotor	328
6.4.2	Onda viajera del entrehierro del rotor	331
6.5	Circuito equivalente	333
6.6	Determinación experimental de los parámetros	335
6.6.1	Prueba con rotor bloqueado	336
6.6.2	Prueba en vacío	337
6.7	Naturaleza y cálculos del desempeño	340
6.7.1	Flujo de potencia en el motor de inducción	340
6.7.2	Determinación del par desarrollado	341
6.7.3	Naturaleza del par desarrollado	348

6.7.4	Sensibilidad a la frecuencia de los parámetros del rotor	352
6.7.5	Evaluación del desempeño de la máquina	353
6.8	Arranque a tensión reducida	355
6.8.1	Arranque por autotransformador	357
6.8.2	Arrancador de estado sólido	358
6.9	Control de velocidad	358
6.9.1	Control de la resistencia del rotor	359
6.9.2	Control de tensión	359
6.9.3	Cambio de polos	360
6.9.4	Control por frecuencia	361
6.10	Motores monofásicos	366
6.10.1	Campo en el entrehierro	367
6.10.2	Circuito equivalente	368
6.10.3	Naturaleza del desempeño	370
6.10.4	Devanado auxiliar de arranque	373
6.11	Diseño de motores de inducción	375
6.11.1	Clasificaciones y estandarizaciones	375
6.11.2	Dimensionamiento del volumen y del diámetro interior	377
6.11.3	Diseño del estator	379
6.11.4	Diseño del rotor	385
6.11.5	Parámetros de circuito equivalente	389
6.11.6	Refinamiento del diseño	395
6.11.7	Ejemplo de diseño	396
6.12	Código para el análisis computacional	404
	Resumen	417
	Problemas	417
	Referencias	420

Capítulo 7

Máquinas síncronas 421

7.1	Introducción	421
7.2	Clasificación y construcción física	422
7.2.1	Devanado y fmm del estator	422
7.2.2	Devanados del rotor y campos del entrehierro	425
7.3	Tensiones generadas y circuito equivalente	428
7.3.1	Flujos y voltajes de los devanados	429

- 7.3.2 Circuito equivalente por fase: caso de rotor redondo (cilíndrico) 431
 - 7.3.3 Linealización magnética 434
 - 7.4 Parámetros del circuito equivalente a partir de los datos de prueba 437
 - 7.5 Desempeño del generador 441
 - 7.5.1 Diagrama fasorial del generador síncrono 441
 - 7.5.2 Par electromecánico desarrollado 443
 - 7.5.3 Generadores síncronos aislados 445
 - 7.5.4 Generadores síncronos interconectados 449
 - 7.6 Desempeño del motor 455
 - 7.7 Desempeño de la máquina de polos salientes 458
 - 7.8 Motores autosíncronos 465
 - 7.8.1 Motores de *cd* sin escobillas 465
 - 7.8.2 Motores de reluctancia conmutada 470
 - 7.9 Diseño de máquinas síncronas 476
 - 7.9.1 Estándares y clasificaciones 476
 - 7.9.2 Dimensionamiento del volumen y diámetro interior 477
 - 7.9.3 Diseño del estator 479
 - 7.9.4 Dimensionamiento del entrehierro 483
 - 7.9.5 Diseño del rotor 483
 - 7.9.6 Parámetros de circuito equivalente 491
 - 7.9.7 Refinamiento del diseño 492
 - 7.9.8 Ejemplo de diseño 492
 - 7.10 Código para análisis computacional 499
 - Resumen 511
 - Problemas 512
 - Referencias 515
- Apéndice A**
- Factores de devanado 517**
- A.1 Factor de distribución 517
 - A.2 Factor de paso 520
 - A.3 Factor de devanado 521
- Apéndice B**
- Factores de conversión 523**
- Apéndice C**
- Tablas de alambre magneto 525**
- C.1 Alambre redondo con película de aislante 525
 - C.2 Alambre cuadrado con película de aislante 526
- Índice 527**