

INDICE

Prefacio	XIII
Capítulo 1. Motores Eléctricos – J. Kirtley	1
1.1. Motores eléctricos	1
1.2. Tipos de motores	2
1.2.1. Motores de cd	2
1.2.2. Motores de ca	3
1.3. Descripción de retos de libro	4
Capítulo 2. Terminología de definiciones – N. Ghai	7
2.1. Tipos de motores	7
2.1.1. ca y cd	7
2.1.2. Sincronismo y de inducción	7
2.1.3. Polo saliente y rotor cilíndrico	8
2.1.4. Motores monofasicos y trifásicos	8
2.1.5. Otras variaciones	8
2.2. Clases de sistemas de aislamiento	9
2.3. Códigos y normas	
Capítulo 3. Fundamentos de Fuerzas Electromagnéticas y Mecanismos de perdidas – J. Kirtley	13
3.1. Introducción	13
3.2. Proceso de conversión de energía	13
3.2.1. Enfoque energético a las fuerzas electromagnéticas	14
3.2.2. Coenergía	16
3.2.3. Generalización al medio continuo	18
3.2.4. Imanes permanentes	19
3.2.5. Descripción de maquina eléctrica	20
3.3. Impedancia superficial de conductores uniformes	24
3.3.1. Caso lineal	25
3.3.2. Hierro	27
3.4. Bibliografía	39
Capítulo 4. Motores de inducción – J. Kirtley y N. Ghai	41
4.1. Teoría del motor inductor polifásico	41
4.1.1. Principios de operación	41
4.1.2. Características de construcción	42
4.1.3. El campo giratorio	43
4.1.4. Par, deslizamiento e impedancia del rotor	46
4.1.5. Análisis de motores de inducción	47
4.1.6. Diagrama circular	48
4.1.7. Circuito equivalente	49
4.1.8. Par y potencia	51
4.1.9. Factor de servicio	53
4.1.10. Eficiencia y factor de potencia	53
4.1.11. Corriente a plena carga	54
4.1.12. Pares y corrientes de arranque	54
4.2. Evaluación de diseño de motores de inducción	57
4.2.1. Introducción	57
4.2.2. Modelo de transformación del motor de inducción	58
4.2.3. Entrehierro efectivo: coeficiente de Carter	64

4.2.4. Operación: equilibrio de energía	64
4.2.5. Modelo de maquina de jaula de ardilla	66
4.2.6. Resistencia de rotor de orden armónico y perdidas de carga vagabunda	76
4.2.7. Modelos de ranuras	78
4.2.8. Ranuras profundas	79
4.2.9. Jaulas múltiples	80
4.2.10. Efectos de anillo frontal del rotor	83
4.2.11. Fricción del aire	83
4.2.12. Excitación y perdidas en el circuito magnético	85
4.2.13. Cuerpos de rotor de hierro sólido	86
4.2.14. Perdidas por las armónicas en acero macizo	89
4.1.15. Perdidas vagabundas	92
4.3. Clasificación de los tipos de motor	94
4.3.1. Clasificación de acuerdos con la aplicación	94
4.3.2. Clasificación de acuerdos con el tipo eléctrico	95
4.3.3. Clasificación de acuerdo con la protección ambiental y método de enfriamiento	96
4.4. Pruebas del motor de inducción	98
4.4.1. Pruebas de rutina	98
4.4.2. Pruebas de prototipo	99
4.4.3. Pruebas de eficiencia	101
4.4.4. Prueba de temperatura	104
4.5. Datos	104
4.5.1. Categorías nominales de salida del motor	104
4.5.2. Rendimiento de los motores medianos	106
4.5.3. Rendimiento de los motores de inducción grande	107
4.6. Control y simulación del motor de inducción	110
4.6.1. Introducción	110
4.6.2. Modelo elemental	111
4.6.3. Modelo de simulación	115
4.6.4. Modelo de control	116
4.6.5. Estrategia orientada al campo	118
4.2. Evaluación de diseño de motores de inducción	57
4.2.1. Introducción	57
4.2.2. Modelo de transformador del motor de inducción	58
4.2.3. Entrehierro efectivo: coeficiente de Carter	64
4.2.4. Operación: equilibrio de energía	64
4.2.5. Modelo de maquina de jaula de ardilla	66
4.2.6. Resistencia del rotor de orden armónico y perdidas de cargas de vagabunda	76
4.2.7. Modelo de ranuras	78
4.2.8. Ranuras profundas	79
4.2.9. Jaulas múltiples	80
4.2.10. Efectos de anillo frontal del rotor	83
4.2.11. Fricción del aire	83
4.2.12. Excitación y perdida en el circuito magnético	85
4.2.13. Cuerpos de rotor de hierro sólido	86
4.2.14. Perdidas por las armónicas en acero macizo	89

4.2.15. Perdidas vagabundas	92
4.3. Clasificación de los tipos de motor	94
4.3.1. Clasificación de acuerdo con la aplicación	94
4.3.2. Clasificación de acuerdo con el tipo eléctrico	95
4.3.3. Clasificación de acuerdo con la protección ambiental y método de enfriamiento	96
4.4. Pruebas del motor de inducción	98
4.4.1. Pruebas de rutina	98
4.4.2. Prueba de prototipo	99
4.4.3. Prueba de eficiencia	101
4.4.4. Prueba de temperatura	104
4.5. Datos	104
4.5.1. Categorías nominales de salida del menor	104
4.5.2. Rendimiento de los motores medianos	106
4.5.3. Rendimiento de los motores de inducción grande	107
4.6. Control y simulación del motor de inducción	110
4.6.1. Introducción	110
4.6.2. Modelo elemental	111
4.6.3. Modelo de simulación	115
4.6.4. Modelo de control	116
4.6.5. Estrategia orientada al campo	118
4.7. Control de velocidad del motor de inducción	120
4.7.1. Introducción	120
4.7.2. Control de volts /Hz	120
4.8. Motores de inducción monofasicos	125
4.8.1. Introducción	125
4.8.2. FMM monofasico	127
4.8.3. Rendimiento del motor	130
4.8.4. Arranque	132
4.9. Bibliografía	139
Capitulo 5. Motores Sincronos – J. Kirtley y N. Ghai	141
5.1. Definición	141
5.2. Tipos	141
5.3. Teorías de operación	142
5.4. Corrección del factor de potencia	143
5.5. Arranque	144
5.6. Definiciones de par	147
5.7. Sincronía	149
5.8. Devanados amortiguadores	150
5.9. Excitadores	153
5.10. Capacidades nominales estándares	153
5.11. Eficiencia	153
5.12. Pruebas estándares	153
5.13. accionamiento de cicloconvertidor	155
5.14. Impulsor de motor sincrónico inversor	155
5.15. Aplicaciones del motor sincrónico	157
5.15.1. Selección del motor por velocidad	158
5.15.2. Consideraciones de par de carga	158

5.15.3. Consideraciones de arranque del motor	160
5.15.4. Especificación de los pares del motor	161
5.15.5. Inercia de carga	161
5.15.6. Suministro de potencia	162
5.15.7. Factor de potencia	165
5.15.8. Pulsaciones de par de frecuencia de deslizamiento doble	165
5.16. Maquina sincronía y modelos de devanado	166
5.16.1. Introducción	166
5.16.2. Imagen física: descripción de hoja de corriente	166
5.16.3. Aproximación continua a patrones de devanado	168
5.16.4. La maquina sincronía clásica, de parámetro localizado	170
5.16.5. Operación balanceada	171
5.16.6. Reconciliación de modelos	174
5.16.7. Sistemas por unidad	175
5.16.8. Operación normal	177
5.16.9. Maquinas de polo saliente: teoría de la reacción doble	179
5.16.10. Relación de la capacidad nominal con respecto al tamaño	183
5.16.11. Calculo de la inductancia de devanado	187
5.17. Modelos de simulación de maquina sincronía	193
5.17.1. Introducción	193
5.17.2. Modelo de fase variable	193
5.17.3. Ecuaciones de Park	194
5.17.4. Potencia y par	198
5.17.5. Normalización por unidad	199
5.17.6. Base de mutuales iguales	203
5.17.7. Circuito equivalente	204
5.17.8. Planteamiento del modelo de simulación	206
5.17.9. Modelo controlado por corriente: conexión a un sistema	209
5.17.10. Replanteamiento del modelo	214
5.17.11. Limitantes de red.	215
5.17.12. Ejemplo: falla de línea a línea	216
5.17.13. Maquina de imán permanente	217
5.17.14. Maquinas de IP sin amortiguamiento	219
5.18. Normas	221
5.19. Rendimiento según NEMA MG1	221
5.19.1. Voltaje, frecuencia, velocidad y factor de potencia	221
5.19.2. Variaciones de voltaje y frecuencia	222
5.19.3. Condiciones de operación	222
5.19.4. Evaluación de temperatura	223
5.19.5. Pares y arranques	223
5.19.6. Sobrecargas	224
5.19.7. Vibración	224
5.19.8. Capacidad de resistencia de sobre voltaje	224
5.20. Normas Internacionales (IEC)	225
5.21. Pruebas de motores sincronos	225
5.21.1. Pruebas de rutina	226
5.21.2. Pruebas de prototipo	226
5.21.3. Medición de resistencia	227

5.21.4. Polaridad de las bobinas de campo	227
5.21.5. Pruebas de potencial alto	227
5.21.6. Resistencia de aislamiento	228
5.21.7. Pruebas para bobinas de campo cortocircuitadas	228
5.21.8. Corrientes de flechas	228
5.21.9. Secuencia de fase	229
5.21.10. Prueba de sobrevelocidad	229
5.21.11. Vibración	229
5.21.12. Elevación de la temperatura de cojinete	229
5.21.13. Medición de las curvas de saturación, pérdidas segregadas y eficiencia	229
5.21.14. Pruebas de temperatura	235
5.21.15. Otras pruebas	235
5.22. Bibliografía	236
Capítulo 6. Motores sincro (sin escobillas) de imán permanente – J Kirtley	237
6.1. Introducción	237
6.2. Morfología de motor	237
6.2.1. Maquinas de imán superficial	237
6.2.2. Maquinas de flujo concentrado o imán interior	239
6.2.3. Devanados de inducido del entrehierro	240
6.3. Capacidad nominal de orden cero	241
6.3.1. Voltajes de corriente: rotor redondo	241
6.3.2. Teoría de doble reacción	243
6.3.3. Hallazgo de la capacidad de par	248
6.4. Estimación de parámetros	252
6.4.1. Flujo relacionado	252
6.4.2. Devanados de inducidos de entrehierro	255
6.4.3. Motores con imán interior	257
6.4.4. Inductancias de devanado	258
6.5. Capacidad nominal de corriente y resistencia	263
6.5.1. Resistencia	264
6.6. Apéndice 1: Inductancia de devanado de entrehierro	265
6.7. Apéndice 2: Análisis de campo de imán permanente	269
6.7.1. Esquema	270
Capítulo 7. Motores de Corriente Directa – J. Kirtley y N. Ghai	277
7.1. Introducción	277
7.2. Conexiones	281
7.3. Colector	283
7.4. Compensación	285
7.5. Normas	285
7.6. Rendimiento NEMA para motores medianos de cd	286
7.6.1. Condiciones de operación	286
7.6.2. Evaluación de la temperatura	286
7.6.3. Variaciones de voltaje nominal	287
7.6.4. Variaciones de velocidad debidas a la carga	287
7.6.5. Variaciones de la velocidad base debidas al calor	287
7.6.6. Variaciones de la velocidad de base nominal	287
7.6.7. sobrecargas momentáneas	288

7.6.8. Conmutación con éxito	288
7.6.9. Sobrevelocidad	288
7.6.10. Operaciones con corrientes alternas rectificadas	288
7.6.11. Operaciones con fuente de alimentación de voltaje variable	288
7.6.12. Vibración	289
7.6.13. Otros rendimientos	289
7.7. Rendimiento NEMA para motores de cd grandes	289
7.7.1. Tipos de motor	290
7.7.2. Sobrecargas continuas	290
7.7.3. Sobrecargas momentáneas	290
7.7.4. Condiciones de operación	290
7.7.5. Sobrevelocidad	291
7.7.6. Variación de voltaje nominal	291
7.7.7. Tiempo de inversión de motores de laminadoras de inversión en caliente	292
7.7.8. Conmutación con éxito	292
7.7.9. Fundamento con corrientes alternas rectificadas	292
7.7.10. Vibración	292
7.7.11. Elevación de temperatura	293
7.7.12. Otros rendimientos	293
7.8. Bibliografía para motores de cd	295
Capítulo 8. Otros Tipos de Motores Eléctricos y Aparatos relacionados – J. Kirtley	297
8.1. Generadores de inducción	297
8.2. Motores de inducción sincronos	298
8.3. Motores lineales	300
8.4. Motores de alta frecuencia	302
8.5. Motores de paso a paso	302
8.6. Motores de histéresis	304
8.7. Motores de colector de corriente alterna	305
8.7.1. Clasificación	305
8.7.2. Motor en serie directo monofasico	306
8.7.3. Motor en serie compensado monofasico	307
8.7.4. Motores universales	307
8.8. Aplicaciones para motores de fracciones de caballos de fuerza	309
8.8.1. Ámbito	309
8.8.2. Propósito	309
8.8.3. Selección de tipo	309
8.8.4. Capacidades nominales	312
8.8.5. Condiciones de servicio	312
8.8.6. Protección térmica	313
8.8.7. Reversibilidad	313
8.8.8. Características mecánicas	313
8.8.9. Entradas de motores monofasicos pequeños	314
8.8.10. Pruebas de aplicación	314
8.8.11. Motores de propósitos específico	315
8.8.12. Motores sincrónico pequeños	315
8.9. Motores de par alto	317
8.9.1. Introducción	317

8.9.2. Maquina de rotor cilíndrico	317
8.9.3. Maquinas de flujo axial	321
8.9.4. Motor de paso como maquina de IP	325
8.9.5. Maquina de flujo transversal	327
8.10. Sugerencias para lecturas adicionales acerca de las aplicaciones para los motores de fracciones de caballos de fuerzas	333
Capitulo 9. Ruido de Motor y Sonidos del Producto – R. Lyon	335
9.1. El papel del sonido en la aceptación del producto	335
9.2. Descripciones y causas de los sonidos del motor	336
9.3. Calidad del sonido (SQ, “Sound Quality”) y pruebas de un jurado	336
9.4. Control de ruido (NC, Noise Control) contra el diseño para la SQ	339
9.5. Medición del sonido del motor	342
9.6. Ejemplos de fuentes de sonido del motor	344
9.6.1. Desequilibrio o desbalance	346
9.6.2. Desviación magnética	347
9.6.3. Deslizamiento de rotor	348
9.6.4. Magnetoestricción	348
9.6.5. Ruido de escobillas	349
9.6.6. Chillido de las escobillas	350
9.7. Resonancias estructurales y amplificación de la repuesta	352
9.7.1. Gimoteo del motor	352
9.8. Vibraciones no lineales y “saltos” en la repuesta	353
9.9. Reducción de la irradiación de sonido mediante el desacoplamiento del aire	356
9.9.1. Aislamiento y tratamiento de amortiguación	356
9.9.2. Desacoplamiento por perforación	359
9.10. Calidad de sonido del producto como una actividad amplia de las compañías	360
9.10.1. Mercadotecnia	360
9.10.2. Planeación del producto	362
9.10.3. Diseño de producto	362
9.10.4. Ingeniería de fabricación	363
9.10.5. Fabricación	363
9.10.6. Garantía de calidad	363
Capitulo 10. Accionamientos de Energías Servomecánica y Electrónicos para Motores – S. Leeb	365
10.1. Convertidores de potencia: lineal vs. conmutada	366
10.1.1. Convertidores lineales	367
10.1.2. Convertidores de conmutación cd - cd	370
10.1.3. Convertidor reductor con circuito de control de voltaje	375
10.2. Servomecanismo e motor de cd para control de posición y velocidad	381
10.2.1. Analogía de circuito	382
10.2.2. Impulsor de fuente de corriente servo de velocidad	385
10.2.3. Impulsor de fuente de voltaje servo de velocidad	390
10.2.4. Impulsor de fuente de corriente practica de servo de velocidad	391
10.2.5. Circuitos de control de posición	393
10.3. Electrónica de potencia para sistemas de impulsión de ca	393
10.4. Referencias	398

Índice	399
Acerca de los autores	405