

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 fuerzas | 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 |