

Índice

1. Resumen	8
2. Introducción	14
3. Estado del arte	19
<hr/>	
3.1. <i>La turbina eólica</i>	19
3.2. <i>El multiplicador</i>	26
3.2.1. <i>Par de rozamiento</i>	27
3.2.2. <i>Dinámica de giro del aerogenerador</i>	28
3.2.3. <i>Pares que intervienen y criterio de signos en la ecuación dinámica</i>	29
3.3. <i>Máquina eléctrica usada como generador</i>	30
3.4. <i>Modelo de circuito equivalente en las máquinas de inducción en régimen permanente</i>	32
3.4.1. <i>Criterio de signos de potencias</i>	36
3.4.2. <i>Determinación de potencias</i>	36
3.5. <i>Régimen dinámico en la máquina de rotor bobinado</i>	39
3.5.1. <i>Ejes bifásicos solidarios al estator ($\alpha\beta$) y solidarios al rotor ($\alpha'\beta'$)</i>	39
3.5.2. <i>Ejes bifásicos móviles (dq)</i>	41
3.5.3. <i>Enlaces de flujo</i>	42
3.5.4. <i>Ecuación de tensiones con ejes fijos $\alpha\beta$</i>	45
3.5.5. <i>Ecuación de tensiones con ejes móviles dq</i>	46
3.5.6. <i>Par y potencia electromecánica</i>	47
3.5.7. <i>Simplificación de las ecuaciones</i>	48
3.6. <i>Transitorios de maniobra y perturbaciones</i>	48
3.6.1. <i>Transitorios de maniobra y operación</i>	48
3.6.2. <i>Perturbaciones</i>	50
3.7. <i>El convertidor Scherbius que alimenta el rotor</i>	54
3.7.1. <i>Tipos de modulación sinusoidal (SPWM)</i>	57
3.7.2. <i>Otros tipos de modulación</i>	59
3.7.3. <i>Otros tipos de convertidores</i>	61
3.8. <i>El control del inversor</i>	62
3.8.1. <i>Regulador de corriente</i>	62
3.8.2. <i>Regulador de velocidad</i>	65

4. Comportamiento del modelo en régimen permanente	66
<i>4.1. Justificación</i>	66
<i>4.2. Desarrollo del modelo utilizado</i>	67
<i>4.2.1. Estimación de las pérdidas del hierro del rotor</i>	71
<i>4.3. Balance de potencia del circuito equivalente</i>	72
<i>4.3.1. Componentes de la potencia</i>	72
<i>4.3.2. Fluctuaciones motoras del generador</i>	73
<i>4.3.3. Funcionamiento del generador con bornes abiertos</i>	75
<i>4.3.4. Funcionamiento a plena potencia</i>	78
<i>4.3.5. Datos de partida</i>	81
<i>4.3.6. Resultados</i>	82
5. Comportamiento del modelo en régimen dinámico	95
<i>5.1. Modelo de circuito con pérdidas en el núcleo</i>	95
<i>5.2. Modelo de la red</i>	96
<i>5.3. Conversiones prácticas</i>	97
<i>5.3.1. Potencia con ejes $\alpha\beta$ o dq</i>	99
<i>5.3.2. Par electromecánico</i>	100
<i>5.4. Modelo dinámico de la turbina</i>	100
<i>5.4.1. Respuesta de la turbina con el generador desconectado</i>	103
<i>5.5. Modelo dinámico del generador</i>	105
<i>5.5.1. Conexión del generador a la red</i>	110
<i>5.5.2. Conexión del estator con el rotor abierto</i>	110
<i>5.5.3. Conexión del rotor con el estator abierto</i>	110
<i>5.5.4. Sincronización de la máquina con estator conectado a la red y rotor abierto</i>	112
<i>5.6. Controlador</i>	122
<i>5.6.1. Regulador de corriente y velocidad</i>	122
<i>5.6.2. Diseño del regulador de potencia activa</i>	124
<i>5.6.3. Diseño del regulador de potencia reactiva</i>	126
<i>5.6.4. Otras características del regulador</i>	126
<i>5.6.5. Transitorio de paso a plena carga</i>	127
<i>5.6.6. Variación de la velocidad del viento</i>	137
<i>5.6.7. Transitorio debido a un hueco equilibrado</i>	143
6. Desarrollo de un prototipo y resultados prácticos	147
<i>6.1. Características de las máquinas eléctricas utilizadas</i>	147
<i>6.1.1. Motor simulador de Turbina</i>	147

6.2. <i>Característica del control</i>	151
6.2.1. <i>Esquema del montaje</i>	151
6.1. <i>Características del inversor 2</i>	154
<i>Esquema de modulación</i>	156
6.1.1. <i>Análisis de armónicos</i>	157
6.2. <i>Tarjeta de control FJ64GS</i>	162
6.3. <i>Tarjeta de control F6010A</i>	163
6.3.1. <i>Tarjeta sensora de corriente</i>	166
6.3.2. <i>Tarjeta sensora de tensión</i>	168
6.3.3. <i>Montaje de las tarjetas sensoras de corriente y tensión</i>	169
6.3.4. <i>Encoder de cuadratura con índice de paso por cero</i>	169
6.4. <i>Ordenador</i>	172
6.4.1. <i>Ajustes y calibración</i>	174
6.5. <i>Resultados prácticos obtenidos</i>	175
6.5.1. <i>Tensión del rotor en vacío</i>	175
6.5.2. <i>Característica en carga en régimen permanente</i>	176
6.5.3. <i>Respuesta dinámica</i>	180
6.6. <i>Conclusiones</i>	184
6.6.1. <i>Mejora del sistema actual</i>	187
6.6.2. <i>Líneas de investigación futuras</i>	188
7. Anexos	189
7.1. <i>Funciones m de Matlab ® utilizadas</i>	189
7.2. <i>Funciones Embedded de Matlab ® utilizadas con Simulink</i>	232
7.3. <i>Otras funciones utilizadas</i>	242
8. Bibliografía	245
