

Índice

Capítulo 1. Introducción	1
1.1.- Introducción general	1
1.2.- Revisión bibliográfica.....	3
1.2.1.- Trabajos previos.....	3
1.2.2.- Discusión bibliográfica	17
1.3.- Hipótesis de trabajo	19
1.4.- Objetivos	19
1.4.1.- Objetivo general.....	19
1.4.2.- Objetivos específicos	20
1.5.- Alcances	20
1.6.- Metodología	21
Capítulo 2. Diseño del convertidor	22
2.1.- Introducción	22
2.2.- Distintas tecnologías generadoras.....	23
2.2.1.- Conjuntos generador-convertidor	23
2.3.- Descripción del convertidor.....	28
2.3.1.- GSC en modo rectificador	28
2.3.2.- Topología convertidor lado red fuente de voltaje	29
2.3.3.- Switches del GSC	30
2.3.4.- Principio de conmutación de los convertidores	31
2.4.- Transformada de Park.....	32

2.5.-	Modelo matemático del GSC.....	33
2.6.-	Topología del convertidor lado rotor fuente de voltaje	35
2.7.-	PLL	35
2.8.-	Control de voltaje DC	36
Capítulo 3.	Construcción e implementación	40
3.1.-	Introducción	40
3.2.-	Diseño de sensores	40
3.2.1.-	Sensor de voltaje AC	41
3.2.2.-	Sensor de voltaje DC	45
3.2.3.-	Sensor de corriente AC	49
3.3.-	Acondicionamiento de señales.....	51
3.3.1.-	Salida 4-20 [mA] del sensor de voltaje AC	51
3.3.2.-	Salida 4-20 [mA] del sensor de voltaje DC	55
3.3.3.-	Acondicionador de corriente a voltaje para sensores de voltaje AC y DC	56
3.3.4.-	Acondicionador de corriente a voltaje para sensor de corriente AC	60
3.4.-	Circuitos emisor y receptor de fibra óptica.....	62
3.4.1.-	Circuito emisor de fibra óptica	62
3.4.2.-	Circuito receptor de fibra óptica	63
3.5.-	Set-up experimental	64
Capítulo 4.	Resultados	66
4.1.-	Introducción	66
4.2.-	Simulación	66
4.2.1.-	PLL	68
4.2.2.-	Control de voltaje DC	69

4.3.-	Resultados experimentales.....	75
4.3.1.-	PLL	75
4.3.2.-	Señales de disparo GSC	76
4.3.3.-	GSC como rectificador	78
4.3.4.-	RSC en modo inversor	81
Capítulo 5.	Conclusiones	84
5.1.-	Sumario	84
5.2.-	Conclusiones	86
5.3.-	Trabajo futuro	87

Índice de Figuras

Fig. 2.1 Convertidor <i>Back-to-Back</i>	22
Fig. 2.2 Esquema conexión generador de inducción rotor de jaula de ardilla.....	24
Fig. 2.3 Esquema conexión generador sincrónico de imanes permanentes.....	25
Fig. 2.4 Esquema conexión generador de inducción doblemente alimentado.	26
Fig. 2.5 Topología <i>back to back</i> con carga <i>RL</i>	28
Fig. 2.6 Topología <i>back to back</i> con DFIG operando en modos subsíncrono y supersíncrono.....	29
Fig. 2.7 Topología rectificador trifásico fuente de voltaje.	30
Fig. 2.8 Dispositivo embebido del rectificador.	30
Fig. 2.9 Esquema para modelo del GSC.....	33
Fig. 2.10 Topología inversor trifásico fuente de voltaje.....	35
Fig. 2.11 Esquema <i>pPLL</i>	36
Fig. 2.12 Esquema de control propuesto	37
Fig. 2.13 Esquema de entradas y salida PLL.....	38
Fig. 2.14 Control de voltaje DC	38
Fig. 2.15 Desacoplo de corrientes <i>d</i> y <i>q</i> y control de potencias	39
Fig. 2.16 Generación de PWM para GSC	40
Fig. 3.1 Sensor de voltaje AC.....	41
Fig. 3.2 Parte positiva del arreglo resistivo	42
Fig. 3.3 Placa PCB del sensor de voltaje AC	45
Fig. 3.4 Esquema sensor de voltaje DC.....	45
Fig. 3.5 Arreglo resistivo considerado para diseño	46

Fig. 3.6 Placa PCB del sensor de voltaje DC	49
Fig. 3.7 Transductor de corriente LEM LA 25-P	49
Fig. 3.8 Circuito configuración LEM LA 25-P.	50
Fig. 3.9 Circuito PCB de medición de corriente	51
Fig. 3.10 Acondicionador de señal de voltaje a corriente	52
Fig. 3.11 Gráfica del acondicionamiento de señales sensor de voltaje AC.....	53
Fig. 3.12 Placa acondicionadora de señal de voltaje a corriente para sensor de voltaje AC.....	54
Fig. 3.13 Relación salida de voltaje sensor y corriente de salida acondicionamiento.....	55
Fig. 3.14 Circuito conversor de corriente a voltaje	57
Fig. 3.15 Gráfica de conversión de corriente a voltaje	58
Fig. 3.16 Placa acondicionadora de señal de corriente a voltaje para sensor de voltaje AC y DC.....	60
Fig. 3.17 Acondicionamiento de señal para sensor de corriente AC.....	61
Fig. 3.18 Circuito de generación de offset para acondicionamiento de sensor de corriente AC	61
Fig. 3.19 Dispositivo emisor de luz de placa de disparo	62
Fig. 3.20 Placa de disparo para el convertidor	63
Fig. 3.21 Dispositivo receptor de fibra óptica HFBR-2521	63
Fig. 3.22 Driver de recepción y disparo de convertidores.....	64
Fig. 3.23 Montaje sensores de voltaje AC y DC	65
Fig. 3.24 Montaje sensores de corriente AC	65
Fig. 3.25 <i>Set-up</i> experimental.....	66
Fig. 4.1 Esquema simulación del sistema realizada en PSIM	67
Fig. 4.2 Esquema de conexión bloque <i>A/D Converter</i>	68

Fig. 4.3 Funcionamiento PLL en simulación.	69
Fig. 4.4 Esquema conexión bloque de control con bloque generador de PWM.....	70
Fig. 4.5 Respuesta del sistema con carga RL de 5 [Ω] y 2 [mH]. Rojo) Voltaje enlace DC. Azul) Corriente de salida del convertidor. Verde) Voltaje de salida del convertidor entre fases A y B.....	71
Fig. 4.6 Respuesta del sistema con carga RL de 30 [Ω] y 2 [mH]. Rojo) Voltaje enlace DC. Azul) Corriente de salida del convertidor. Verde) Voltaje de salida del convertidor entre fases A y B.....	72
Fig. 4.7 Respuesta del sistema con carga RL de 10 [Ω] y 2 [mH]. Rojo) Voltaje enlace DC. Azul) Corriente de salida del convertidor. Verde) Voltaje de salida del convertidor entre fases A y B.....	73
Fig. 4.8 Respuesta del sistema con carga RL de 30 [Ω] y 2 [mH]. Rojo) Voltaje enlace DC. Azul) Corriente de salida del convertidor. Verde) Voltaje de salida del convertidor entre fases A y B.....	74
Fig. 4.9 Enganche a la red (PLL).....	76
Fig. 4.10 Disparos para una rama del GSC.	77
Fig. 4.11 Tiempo muerto de 4 [μ s] aplicado a switches de la misma rama.....	78
Fig. 4.12 Control de voltaje DC en lazo abierto.....	79
Fig. 4.13 Control de voltaje DC con cambio de referencia de 20 a 30 [V] y PLL	80
Fig. 4.14 Control de voltaje DC con cambio de referencia de 30 a 25 [V] y PLL.	77
Fig. 4.15 Respuesta del sistema ante un valor de carga de 5[Ω] y 2 [mH] , operando el enlace DC a 30 [V].....	82
Fig. 4.16 Respuesta del sistema ante una aumento en el valor de la carga RL a 30[Ω] y 2 [mH] , operando con un cambio de voltaje el enlace DC de 20 a 30 [V].	83

Índice de Tablas

TABLA 2.1 Estados válidos del convertidor fuente de voltaje (GSC y RSC)..	32
---	----

Nomenclatura

Vectores

V_s^{abc} : Vector de 3 variables, voltaje trifásico de alimentación $V_s = [V_s^a V_s^b V_s^c]$

I_s^{abc} : Vector de 3 variables, corrientes de entrada al sistema $I_s = [I_s^a I_s^b I_s^c]$

S^{abc} : Vector de 3 variables, estados de conmutación $S = [S^a S^b S^c]$

Escalares

R_s : Resistencia parásita de la inductancia de línea de entrada.

L_s : Inductancia de línea de entrada.

C_{dc} : Condensador de enlace DC.

L_L : Inductancia de línea de carga.

R_L : Resistencia de línea de carga.

v_s^d : Voltaje de alimentación en eje directo.

v_s^q : Voltaje de alimentación en eje de cuadratura.

i_{rsc} : Corriente del convertidor del lado del rotor.

i_c : Corriente del condensador.

i_{dc} : Corriente del lado DC.

v_{dc} : Voltaje del enlace DC.

i_s^d : Corriente de entrada en eje directo.

i_s^q : Corriente de entrada en eje de cuadratura.

- G_{ac} : Ganancia de la conmutación.
- m^d : Moduladora en el eje directo.
- m^q : Moduladora en el eje de cuadratura.
- ω : Frecuencia angular de la red.
- v_{dc}^{ref} : Voltaje de referencia para el enlace DC.
- θ : Ángulo de fase de la red.
- i_q^{ref} : Corriente de referencia para la corriente de entrada en eje de cuadratura

Abreviaciones

Mayúsculas

DFIG	: Doubly Fed Induction Generator
GW	: Giga Watt
MW	: Mega Watt
DC	: Direct Current
GSC	: Grid Side Converter
RSC	: Rotor Side Converter
IEEE	: Institute of Electrical and Electronics Engineers
ACCA	: Asociación Chilena de Control Automático
SIC	: Sistema Interconectado Central
PWM	: Pulse Width Modulation
SING	: Sistema Interconectado del Norte Grande
VOC	: Voltage Oriented Control
LIFAE	: Laboratorio de Investigación de Fuentes Alternativas de Energía
PLL	: Phase Locked Loop
VFOC	: Virtual Flux Oriented Control
VFDP	: Virtual Flux Direct Power Control
AC	: Alternating Current

DSP	: Digital Signal Processor
WECS	: Wind Energy Conversion Systems
GDS	: Generators
CNC	: Computer Number Control
SCIG	: Squirrel Cage Induction Generator
PMSG	: Permanent Magnet Synchronous Generator
IGBT	: Insulated Gate Bipolar Transistor
VSC	: Voltage Source Converter
PI	: Proporcional Integrativo
ADC	: Analog Digital Converter
GND	: Ground
LERAE	: Laboratorio de Energías Renovables y Acondicionamiento Eléctrico
PCB	: Printed Circuit Board

Minúsculas

kHz	: kilohertz
k Ω	: kilo-ohm