

Tabla de contenido

1. Introducción	1
1.1. Motivación	1
1.2. Hipótesis	3
1.3. Objetivos	3
1.3.1. Objetivo general	3
1.3.2. Objetivos específicos	4
1.4. Alcances	4
2. Marco teórico	5
2.1. Introducción	5
2.2. Regulación de frecuencia en sistemas eléctricos	5
2.2.1. Control de frecuencia en SEP tradicionales dominados por máquinas sincrónicas	6
2.2.2. Características de los convertidores de potencia	9
2.2.3. Respuesta de sistemas sin máquinas sincrónicas ante desbalances de potencia	10
2.2.4. Analogía entre tensión en link DC y velocidad de giro de masas rotatorias	12
2.3. Definición y control de micro-redes	12
2.3.1. Concepto de micro-red	13
2.3.2. Desafíos en el balance de generación/demanda en micro-redes aisladas	14
2.4. Arquitecturas de control en sistemas eléctricos	15
2.4.1. Control jerárquico en micro-redes	15
2.5. Control de variables de salida de convertidores	18
2.5.1. Clasificación de modos de operación de convertidores	19
2.5.2. Convertidores <i>grid-following</i>	20
2.5.2.1. Observaciones sobre el PLL de convertidores <i>grid-following</i>	22
2.5.3. Convertidores <i>grid-forming</i>	24
2.5.4. Convertidores <i>grid-supporting</i>	26
2.6. Control de la repartición de carga	28
2.6.1. Métodos sin enlaces de comunicación (basadas en controladores <i>droop</i>)	29
2.6.2. Métodos basados en enlaces de comunicación	40
2.6.3. Conclusiones	45
2.7. Análisis de sensibilidad de repartición de carga entre convertidores	45

2.7.1.	Convertidores <i>grid-forming</i> sin controladores <i>droop</i>	46
2.7.2.	Convertidores <i>grid-forming</i> con <i>droop</i> P/f	48
2.7.3.	Convertidores <i>grid-forming</i> con <i>droop</i> P/ δ	51
2.8.	Revisión de trabajos en SEP 100 % basados en TGVCC	55
2.8.1.	“Operation paradigm of an all converter interfaced generation bulk power system”	56
2.8.2.	“New options in system operations”	59
2.8.3.	Conclusiones	68
3.	Metodología	71
3.1.	Introducción	71
3.2.	Etapas 1: Requerimientos de control para TGVCC en caso de estudio base	72
3.3.	Etapas 2: Operación del sistema con 1 GS	74
3.4.	Etapas 3: Operación del sistema sin GS	75
4.	Caso de estudio base	76
4.1.	Punto de operación	76
4.2.	Contingencias simuladas	78
5.	Resultados y análisis	79
5.1.	Requerimientos de control para TGVCC en caso de estudio base	79
5.1.1.	Sintonización de controladores de TGVCC	79
5.1.1.1.	Desempeño de sintonización TGVCC definitiva	84
5.1.2.	Sintonización de PSS's de generadores sincrónicos	86
5.1.3.	Inclusión de control <i>droop</i> en convertidores <i>grid-following</i>	89
5.2.	Operación del sistema con 1 GS	95
5.3.	Operación del sistema con 100 % de TGVCC	97
5.3.1.	Reemplazando GS slack por convertidor <i>grid-supporting</i>	97
5.3.2.	Reemplazando GS slack por convertidor <i>grid-forming</i>	102
6.	Conclusiones	106
6.1.	Trabajos futuros	107
	Bibliografía	108
A.	Modelos <i>grid-following</i> WECC implementados en TGVCC futuras	119
B.	Implementación modelo <i>grid-forming</i> en DIgSILENT	121
C.	SEN chileno proyectado para el 2046	123
D.	Resultados adicionales	124
D.1.	Requerimientos de control para TGVCC en caso de estudio base	124
D.2.	Operación del sistema con 1 GS	131
D.3.	Operación del sistema con 100 % de TGVCC	132