

Tabla de Contenido

1. Introducción	1
1.1. Motivación	1
1.2. Objetivos	3
1.3. Alcances	4
1.4. Metodología	4
1.5. Estructura de la tesis	5
2. Marco Teórico	6
2.1. Micro redes	6
2.2. Representación matemática de las variables eléctricas en sistemas trifásicos	8
2.2.1. Sistemas trifásicos:	8
2.2.2. Transformación $\alpha\beta$:	8
2.2.3. Transformación dq	8
2.3. Convertidores de potencia	10
2.3.1. Introducción:	10
2.3.2. Conversores trifásicos de dos niveles:	10
2.3.3. Objetivos del control de inversores:	11
2.3.4. Modulación vectorial:	12
2.4. Sistemas de almacenamiento con baterías	14
2.4.1. Introducción:	14
2.4.2. Tipos de sistemas de almacenamiento:	15
2.5. Filtros	17
2.5.1. Introducción:	17
2.5.2. Tipos de filtros pasivos:	18
2.5.3. Restricciones en el diseño de filtros LCL:	20
2.5.4. Técnicas de diseño de filtros:	22
2.6. Sistema de control de micro redes	23
2.6.1. Introducción:	23
2.6.2. Control primario:	23
2.6.3. Control secundario:	24
2.6.4. Control terciario:	24
2.7. Sistema de control de convertidores	24
2.7.1. Introducción:	24
2.7.2. Convertidores formadores de red:	25
2.7.3. Convertidores alimentadores de red:	29
2.7.4. Convertidores de soporte de red:	30

2.7.5.	Sincronización a la red:	31
2.7.6.	Control Droop:	32
3.	Diseño del esquema de control	37
3.1.	Metodología de diseño	37
3.1.1.	Control PI:	38
3.1.2.	Controlador PI para el sistema estudiado:	39
3.1.3.	Esquema anti-winding up:	41
3.1.4.	Filtros digitales:	42
4.	Simulación	43
4.1.	Sistema estudiado	43
4.2.	Resultados simulación	45
4.2.1.	Partida en negro:	45
4.2.2.	Operación bajo carga inductiva:	46
4.2.3.	Operación bajo desequilibrio:	47
4.2.4.	Distorsión armónica:	49
4.2.5.	Dinámica bajo variaciones de carga:	49
4.2.6.	Conexión con la red:	53
5.	Equipo Experimental	60
5.1.	Topología del BESS	60
5.1.1.	Características del Hardware:	60
5.1.2.	Diseño del filtro LC:	63
5.1.3.	Software utilizado:	66
5.2.	Software implementado en la DSP	67
5.3.	Micro red experimental	70
5.3.1.	Sensores:	70
5.3.2.	Cargas:	70
5.3.3.	Fuente tensión lado DC:	71
6.	Validación de las mediciones del convertidor	73
7.	Resultados experimentales del BESS	76
7.1.	Operación del sistema en régimen permanente bajo carga resistiva	76
7.2.	Operación del sistema en régimen permanente bajo carga inductiva	79
7.3.	Impacto frente a variación carga	80
7.3.1.	Aumento de la carga	81
7.3.2.	Reducción de la carga	83
7.4.	Operación bajo desequilibrio	85
7.5.	Conexión con la red	87
8.	Conclusiones y Trabajo futuro	88
8.1.	Conclusiones	88
8.2.	Trabajo futuro	89
9.	Anexos	91
9.1.	Transformación $\alpha\beta$ a dq	91

9.2.	Ecuaciones de control lazo tensión en ejes dq	91
9.3.	Ecuaciones de control lazo corriente en ejes dq	92
9.4.	Polos de lazo cerrado Control PI con planta de primer orden	93
9.5.	Transformada z para aplicación de filtros	94
9.6.	Resultados simulación	94
9.6.1.	Simulación partida en negro	94
9.6.2.	Simulación aumento de la carga	94
9.6.3.	Simulación disminución de la carga	95
9.6.4.	Simulación de la sincronización	95
9.6.5.	Simulación de la desconexión con la red	96
9.7.	Resultados experimentales	96
9.7.1.	Prueba con disminución de la carga	96
9.7.2.	Prueba con aumento de la carga	97

Bibliografía

98