

Tabla de Contenido

Índice de Tablas	vii
Índice de Ilustraciones	viii
1. Introducción	1
1.1. Motivación	1
1.2. Objetivos	2
1.3. Estructura del trabajo	3
2. Generación distribuida en redes de distribución	4
2.1. Generación distribuida	4
2.2. Interfaces de electrónica de potencia	5
2.2.1. Convertidor DC-AC de cuatro piernas	6
2.3. Desbalances en redes de distribución	6
2.3.1. Efectos adversos de oscilaciones de potencia en el DC-link	7
3. Estrategias de control de un VSC	9
3.1. VSC conectado a una red desbalanceada	9
3.2. VSC conectado a una red trifásica de tres hilos	9
3.2.1. Objetivos de control	11
3.3. VSC conectado a una red trifásica de cuatro hilos	14
3.3.1. Consideraciones sobre la potencia compleja instantánea	14
3.3.2. Compensación de oscilaciones de potencia reactiva	15
3.3.3. Compensación de oscilaciones de potencia activa	16
4. Estrategia de Control Colaborativa	20
4.1. Limitaciones de la estrategia con secuencia cero	20
4.2. Saturación de la corriente de secuencia cero	21
4.3. Estrategia de control colaborativa	21
4.3.1. Cálculo de potencias	22
4.3.2. Límite de las corrientes de fase	23
4.3.3. Esquema de control colaborativo	25
5. Diseño del sistema de control	26
5.1. Método DSC	26
5.2. Lazo seguidor de fase (PLL)	27
5.3. Compensación antiwind-up	28

5.4.	Control de la corriente de fase máxima	30
5.4.1.	Sintonización de los controladores	30
5.4.2.	Diseño y discretización de los Filtros	30
5.5.	Control de la potencia oscilante del convertidor	31
5.5.1.	Diseño y discretización de los Filtros	32
5.6.	Controladores de corriente	33
6.	Simulación	36
6.1.	Modelo del sistema	36
6.2.	Simulación de pruebas	38
6.2.1.	Desbalance monofásico	38
6.2.2.	Desbalance bifásico	43
7.	Validación experimental	46
7.1.	Descripción del sistema	46
7.2.	Pruebas experimentales	48
7.2.1.	Desbalance monofásico	49
7.2.2.	Desbalance bifásico	55
8.	Conclusiones	61
8.1.	Trabajos futuros	62
	Bibliografía	64
9.	Anexos	67
9.1.	Transformaciones utilizadas	67
9.2.	Modulación PMW	68

Índice de Tablas

6.1. Parámetros de simulación	38
7.1. Parámetros del sistema experimental	47

Índice de Ilustraciones

2.1.	Sistema eléctrico tradicional (izquierdo) y penetración de DG [1].	5
2.2.	Proceso de conversión de energía de fuentes DG.	6
2.3.	4L-VSC conectado a una red trifásica de cuatro hilos.	6
2.4.	Formas de onda de corrientes.	7
3.1.	Convertidor VSC conectado a la red.	10
3.2.	Estrategia de control usando coordenada dq . Modificado de [11].	13
3.3.	Esquema de control usando coordenadas $\alpha\beta$. Modificado de [11].	13
3.4.	VSC conectado a una red de cuatro hilos.	14
3.5.	Esquema de control para compensar oscilaciones de potencia en la red. Modificado de [13].	18
3.6.	Esquema de control para compensar oscilaciones de potencia en el convertidor [13].	18
4.1.	Esquema de control para la corriente de fase máxima.	24
4.2.	Esquema de control ECC.	25
5.1.	Esquema del método DSC.	26
5.2.	Esquema del PLL utilizado para estimar el ángulo de orientación.	27
5.3.	Diseño del controlador para el PLL.	28
5.4.	Controlador con limitador y antiwindup [23].	29
5.5.	Esquema de control propuesto para controlar la corriente de fase máxima.	30
5.6.	Diagrama de Bode del filtro diseñado.	31
5.7.	Limitador colineal implementado.	32
5.8.	Sistema a lazo cerrado de la corriente de secuencia cero.	34
5.9.	LGR de controladores resonantes.	35
5.10.	Zoom LGR de controladores resonantes.	35
5.11.	Diagrama de Bode controlador resonante.	35
6.1.	Modelo del sistema.	37
6.2.	Voltajes y corrientes del sistema usando ECSC.	39
6.3.	Potencia activa y reactiva del sistema usando ECSC.	40
6.4.	Voltajes y corrientes del sistema usando ECC con $\mu = 1$	41
6.5.	Potencia activa y reactiva del sistema usando ECC con $\mu = 1$	41
6.6.	Voltajes y corrientes del sistema usando ECC con $\mu = 0$	42
6.7.	Potencia activa y reactiva del sistema usando ECC con $\mu = 0$	43
6.8.	Voltajes y corrientes del sistema usando ECSC.	44
6.9.	Potencia activa y reactiva del sistema usando ECSC.	44

6.10. Voltajes y corrientes del sistema usando ECC con $\mu = 0$	45
6.11. Potencia activa y reactiva del sistema usando ECC con $\mu = 0$	45
7.1. Parte del sistema experimental.	47
7.2. Zoom del sistema experimental.	48
7.3. Fuente de poder programable.	48
7.4. Corrientes de fase y del neutro aplicando ECSC.	50
7.5. Potencias y corriente DC lado conversor al aplicar ECSC.	50
7.6. (a) Espectro de las potencias con ECSC. (b) Zoom espectro de potencia. . .	51
7.7. Corrientes de fase y del neutro aplicando ECC con $\mu = 1$	52
7.8. Potencias y corriente DC lado conversor al aplicar ECC con $\mu = 1$	52
7.9. (a) Espectro de potencias aplicando ECC con $\mu = 1$. (b) Zoom espectro. . .	53
7.10. Corrientes de fase y del neutro aplicando ECC con $\mu = 0$	54
7.11. Potencias y corriente DC lado conversor al aplicar ECC con $\mu = 0$	54
7.12. (a) Espectro de potencias antes de aplicar la compensación. (b) Zoom espectro.	55
7.13. (a) Espectro de potencias después de aplicar la compensación. (b) Zoom espectro.	55
7.14. Corrientes de fase y del neutro aplicando ECSC.	56
7.15. Potencias y corriente DC lado conversor al aplicar ECSC.	57
7.16. (a) Espectro de potencias aplicando ECSC. (b) Zoom del espectro.	57
7.17. Corrientes de fase y del neutro aplicando ECC con $\mu = 0$	58
7.18. Potencias y corriente DC lado conversor al aplicar ECC con $\mu = 0$	59
7.19. (a) Espectro de potencias antes de aplicar la compensación. (b) Zoom del espectro.	59
7.20. (a) Espectro de potencias después de activar el lazo de potencia. (b) Zoom del espectro.	60
9.1. Proceso de modulación [24].	68
9.2. Tiempo muerto [24].	69
9.3. PWM por muestreo natural [24].	69