

Instituto Tecnológico de Morelia

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
PROGRAMA DE GRADUADOS E INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA ELÉCTRICA

DEVELOPMENT OF AN ACTIVE POWER FILTER FOR SELECTIVE
HARMONIC COMPENSATION USING A THREE LEVEL CONVERTER AND
3D-SV MODULATION.

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
Doctor en Ciencias en Ingeniería Eléctrica

PRESENTA:

José Luis Monroy Morales

DIRECTOR DE TESIS:

Dr. Máximo Hernández Ángeles

2017



Resumen

Los Filtros de Potencia Activa (APFs) se han utilizado para reducir la distorsión de la forma de onda y mejorar la calidad de la energía. Sin embargo, esta función se puede mejorar mediante la compensación de armónicos selectivos. Dado que un APF tiene restricciones de potencia, es conveniente tener disponible la opción de seleccionar un armónico individual o un conjunto de armónicos particulares para compensar y aplicar la potencia total del APF para eliminar estos armónicos particulares, los cuales tienen un mayor impacto en la Distorsión Total Armónica (THD). Esta tesis doctoral presenta el desarrollo de un nuevo APF basado en un inversor trifásico de tres niveles topología diodo anclado (NPC) con capacidades de compensación armónica selectiva y compensación de potencia reactiva. La compensación de armónicos selectivos utiliza varios Marcos Rotatorios Síncronos (SRF), para detectar y controlar la magnitud y el ángulo de los armónicos de manera individual usando variables d y q . El APF incluye un modulador vectorial tridimensional (3D-SVPWM) para generar las corrientes de compensación. Debido a su topología multinivel, el APF propuesto puede utilizarse en diversas aplicaciones de calidad de la energía a niveles de subtransmisión y distribución. El diseño del sistema de control se analizó inicialmente en simulación por computadora utilizando un modelo matemático, y después se construyó una plataforma experimental de un APF trifásico de 1kW. El cálculo de la corriente de compensación de referencia y el controlador propuesto se implementaron en un DSP F28335 de 32 bits. Simulaciones

y resultados experimentales se muestran para validar y corroborar el funcionamiento adecuado del APF.

Table of Contents

Resumen	I
Abstract	III
Table of Contents	IV
List of Figures	VII
List of Tables	XI
Symbols and Abbreviations	XII
1. Introduction	1
1.1. Background	1
1.2. State of the art	4
1.3. Objectives of the work	7
1.4. Particular objectives	7
1.5. Justification	8
1.6. Contributions	9
1.7. List of publications	10
1.8. Structure of the thesis	12

2. Active Power Filter Operation	14
2.1. Introduction	14
2.2. Basic principles of harmonic compensation	14
2.3. Current filtering calculation methodologies	16
2.3.1. Instantaneous reactive power (IRP)	17
2.3.2. Instantaneous reactive power based on symmetrical components (IRP-SC)	19
2.3.3. Generalized reactive power theory (GIRP)	22
2.3.4. Synchronous reference frame method (SRF)	24
2.3.5. Synchronous current detection method (SCD)	26
2.3.6. ABC reference frame based on symmetrical components (ABCSC)	28
2.4. Topologies based on three-phase three-wire converters for APF	30
2.4.1. Shunt active power filters	31
2.4.2. Series active power filters	32
2.4.3. Combined series and shunt topologies	33
2.5. Topologies based on three-phase four-wire converters for APF	35
3. Space Vector Modulation for Multilevel Converter	38
3.1. Introduction	38
3.2. Multilevel converters topologies	38
3.2.1. Three level converter neutral point clamped	40
3.2.2. Flying capacitor multilevel topology	43
3.2.3. Multilevel configurations with cascaded two-level full-bridge in- verters	45
3.2.4. Additional full-bridge topologies	47
3.3. Space vector modulation	49
3.3.1. Space vector modulation for two level converter	50

3.3.2.	Three dimensional space vector modulation for three level converter	58
3.4.	Control of grid-connected converters	64
3.4.1.	Three-phase three-wire system	64
3.4.2.	Three-phase four-wire system.	69
4.	Selective Harmonic Compensation for Active Power Filters	75
4.1.	Introduction	75
4.2.	Relationship between the harmonic and the sequences	76
4.3.	Harmonic detection $d-q$ using synchronous reference frame	80
4.4.	Active power filter controller	81
4.4.1.	Inner and outer controller	82
4.4.2.	The reactive power controller.	89
5.	Simulations and Experimental Results of the Active Power Filter	92
5.1.	Introduction	92
5.2.	Simulation results	92
5.3.	Experimental results	98
6.	Conclusions and Future Research Work	104
6.1.	Conclusions	104
6.2.	Future research work	105
	References	107