

Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales
(Sevilla)



Ingeniería Industrial

Departamento de Ingeniería Electrónica

PROYECTO FIN DE CARRERA:
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN
CONVERTIDOR MONOFÁSICO DE
CINCO NIVELES CON CONTROL
BASADO EN DSP

Autor: José Francisco Campos Bizcocho.
Tutor: Ramón C. Portillo Guisado.

	Proyecto Fin de Carrera	Alumno
	Diseño e implementación de un convertidor monofásico de cinco niveles con control basado en DSP	José Francisco Campos Bizcocho

A mis padres, José y Manolita, a mi hermano, Antonio Luis, y a toda mi familia por su apoyo en todos estos años de estudio.

A mi tutor, Ramón, por todas sus enseñanzas, como profesor, tutor y, sobre todo, como amigo.

A todo el Laboratorio de Electrónica de Potencia, por hacer del trabajo de cada día un encuentro de amigos.

	Proyecto Fin de Carrera	Alumno
	Diseño e implementación de un convertidor monofásico de cinco niveles con control basado en DSP	José Francisco Campos Bizcocho

Índice

<u>1. Introducción.....</u>	<u>7</u>
<u>2. Convertidor DC/AC.....</u>	<u>8</u>
2.1. Introducción.....	8
2.2. Tecnología Inverter.....	8
2.3. Funcionamiento del convertidor DC/AC.....	10
2.4. Pérdidas en el sistema.....	18
2.4.1. Pérdidas en conducción.....	18
2.4.2. Pérdidas en conmutación.....	22
2.4.3. Pérdidas en los diodos.....	23
2.4.4. Pérdidas totales.....	25
2.5. Cálculo térmico.....	26
<u>3. Medidas.....</u>	<u>29</u>
3.1. Medidas de tensión.....	29
3.1.1. Tensión de condensadores.....	30
3.1.2. Tensión de salida.....	38
3.2. Medidas de corriente.....	39
3.2.1. Corriente de salida de los condensadores.....	39
<u>4. Señales de disparo.....</u>	<u>40</u>
4.1. Circuito de disparo.....	40
4.1.1. Dimensionado de componentes.....	41
<u>5. Diseño físico del convertidor.....</u>	<u>43</u>
5.1. Especificaciones.....	43
5.2. Alimentaciones del convertidor.....	44

	Proyecto Fin de Carrera	Alumno
	Diseño e implementación de un convertidor monofásico de cinco niveles con control basado en DSP	José Francisco Campos Bizcocho

<u>6.</u>	<u>Adaptación del DSP.....</u>	<u>45</u>
6.1.	Tablas de estados y de Karnaugh.....	47
6.2.	Señales de la placa del DSP.....	54
<u>7.</u>	<u>Resultados experimentales.....</u>	<u>56</u>
<u>8.</u>	<u>Líneas futuras de trabajo.....</u>	<u>61</u>
	<u>Anexo I</u>	<u>63</u>
	<u>Anexo II</u>	<u>79</u>
	<u>Anexo III</u>	<u>128</u>
	<u>Referencias</u>	<u>135</u>

	Proyecto Fin de Carrera	Alumno
	Diseño e implementación de un convertidor monofásico de cinco niveles con control basado en DSP	José Francisco Campos Bizcocho

Índice de figuras

Figura 1. Esquema del convertidor DC/AC de cinco niveles.....	10
Figura 2. Puente de IGBT's del convertidor DC/AC.....	11
Figura 3. Conexión durante el nivel 2.	12
Figura 4. Conexión durante el nivel 1.	13
Figura 5. Conexión durante el nivel 0.	14
Figura 6. Conexión durante el nivel -1.	14
Figura 7. Conexión durante el nivel -2.	15
Figura 8. Período completo de la señal modulada con las portadoras.	16
Figura 9. Comparación de las portadoras con la señal modulada.	16
Figura 10. Salida del convertidor DC/AC y del filtro de salida.....	17
Figura 11. Ampliación de la salida del convertidor DC/AC con las señales triangulares.	18
Figura 12. Período completo de disparos del IGBT 1 a 50Hz.....	19
Figura 13. Período completo de disparos del IGBT 2 a 50Hz.....	20
Figura 14. Período completo de disparos del IGBT 3 a 50Hz.....	20
Figura 15. Período completo de disparos del IGBT 4 a 50Hz.....	21
Figura 16. Corriente por los diodos inferiores del convertidor DC/AC.	24
Figura 17. Corriente por los diodos superiores del convertidor DC/AC.	25
Figura 18. Esquema eléctrico para el análisis térmico.....	27
Figura 19. Medidas en el esquema del sistema.....	29
Figura 20. Adaptación del primario del sensor LV 25-P.....	30
Figura 21. Conexión del sensor LV 25-P.	31
Figura 22. Adaptación del secundario del sensor LV 25-P.	32
Figura 23. Esquema simplificado de la salida del sensor.	34
Figura 24. Resistencia equivalente de R3 desde la entrada.....	35
Figura 25. Entrada (creciente) y salida (decreciente) de la adaptación de la medida de tensión.	36
Figura 26. Análisis paramétrico del filtro respecto al valor del condensador C1.....	37
Figura 27. Análisis en frecuencias para C1=2'2nF.	38
Figura 28. Conexión de los terminales del LA 25-NP para medir la máxima corriente.	39
Figura 29. Circuito de disparo de los IGBT's.	40
Figura 30. Máquina de estados de la PAL de los disparos.	46
Figura 31. Salidas de la PAL de los disparos.	52
Figura 32. Simulación del comienzo de cuenta del contador.....	53
Figura 33. Simulación del fin de cuenta del contador.	54
Figura 34. Señales de salida del convertidor.....	56
Figura 35. Señales de inicio y fin de cuenta de tiempos muertos.....	57
Figura 36. Entrada y salida de un optoacoplador.	58
Figura 37. Tiempo de retraso en el optoacoplador.	58
Figura 38. Entrada y salida de señales a través del driver.	59
Figura 39. Retraso producido a través del driver.	59
Figura 40. Salida del convertidor.	60
Figura 41. Topología de convertidor de cinco niveles monofásico en cascada.	61

	Proyecto Fin de Carrera	Alumno
	Diseño e implementación de un convertidor monofásico de cinco niveles con control basado en DSP	José Francisco Campos Bizcocho

Índice de tablas

Tabla 1. Disparos de los IGBT's según el nivel.	11
Tabla 2. Ciclos de trabajo por ramas en cada IGBT.....	22
Tabla 3. Conmutaciones por ramas en cada IGBT.	23
Tabla 4. Tabla de estados de la PAL de disparos.....	47
Tabla 5. Tablas de Karnaugh y ecuación lógica para Q0.....	48
Tabla 6. Tablas de Karnaugh y ecuación lógica para Q1.....	49
Tabla 7. Tablas de Karnaugh y ecuación lógica para Q2.....	50
Tabla 8. Tabla y ecuación para el IGBT1.	50
Tabla 9. Tabla y ecuación para el IGBT2.	51
Tabla 10. Tabla y ecuación para el IGBT3.	51
Tabla 11. Tabla y ecuación para el IGBT4.	51
Tabla 12. Tabla y ecuación para IC.....	51