

## Tabla de Contenidos.

<b>1 INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>10</b>
1.1 INTRODUCCIÓN GENERAL.....	10
1.2 TRABAJOS PREVIOS.....	11
1.3 OBJETIVOS.....	12
<i>1.3.1 Objetivo General.....</i>	<i>12</i>
1.4 ALCANCES Y LIMITACIONES.....	12
<b>2 CONVERTIDORES MULTINIVEL EN CASCADA.....</b>	<b>14</b>
2.1 INTRODUCCIÓN.....	14
2.2 CONVERTIDOR FUENTE DE CORRIENTE.....	14
2.3 TOPOLOGÍA CONVERTIDOR MULTINIVEL EN CASCADA.....	15
<b>3 RECTIFICADOR MONOFÁSICO CONTROLADO FUENTE DE CORRIENTE.....</b>	<b>17</b>
3.1 INTRODUCCIÓN.....	17
3.2 RECTIFICADOR FUENTE DE CORRIENTE.....	17
3.3 PUENTE RECTIFICADOR.....	17
3.4 INDUCTANCIA.....	19
3.5 ACOPLAMIENTOS MAGNÉTICOS.....	21
3.6 TARJETA DE DISPARO DEL RECTIFICADOR.....	22
<i>3.6.1 Diseño y características de las señales de control.....</i>	<i>25</i>
3.7 SENSOR DE CORRIENTE.....	27
3.8 TARJETA DE REFERENCIA DE CORRIENTE.....	31
3.9 TARJETA DE CONTROL.....	32
<b>4 INVERSOR MONOFÁSICO FUENTE DE CORRIENTE.....</b>	<b>36</b>
4.1 INTRODUCCIÓN.....	36
4.2 INVERSOR MONOFÁSICO FUENTE DE CORRIENTE.....	36
4.3 SEÑAL DE DISPARO DE LOS IGBT'S.....	37
4.4 MODULACIÓN Y DESFASE DE LAS CELDAS INVERSORAS.....	41
4.5 CIRCUITO DIGITAL DE ACTIVACIÓN DE LOS IGBT'S.....	44
<i>4.5.1 Microcontrolador.....</i>	<i>45</i>
<i>4.5.2 Buffer.....</i>	<i>50</i>
<i>4.5.3 Transmisor de Fibra Óptica.....</i>	<i>51</i>
<i>4.5.4 Fibra Óptica.....</i>	<i>52</i>
<i>4.5.5 Receptor de Fibra Óptica.....</i>	<i>52</i>
<i>4.5.6 Driver de Disparo para IGBT's.....</i>	<i>53</i>
4.6 DISCUSIÓN.....	55
<b>5 RESULTADOS EXPERIMENTALES DEL CONVERTIDOR MULTINIVEL.....</b>	<b>56</b>
5.1 INTRODUCCIÓN.....	56
5.2 RECTIFICADOR.....	56
<i>5.2.1 Corriente en el enlace DC.....</i>	<i>56</i>
5.3 RESULTADOS DEL INVERSOR.....	58
5.4 DISTORSIÓN ARMÓNICA EN VOLTAJES DE SALIDA Y CORRIENTES DE ENTRADA.....	61
5.5 SUMARIO.....	64
5.6 CONCLUSIÓN.....	67
5.7 TRABAJOS FUTUROS.....	67

<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>68</b>
<b>ANEXO A: DIAGRAMAS ESQUEMÁTICOS, DISEÑOS DE TARJETAS PCB PARA EL RECTIFICADOR MONOFÁSICO FUENTE DE CORRIENTE.....</b>	<b>70</b>
A.1: DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DEL RECTIFICADOR MONOFÁSICO.....	70
A.2: DISEÑO PCB DEL PUENTE RECTIFICADOR.....	71
A.3: DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE LA TARJETA DE DISPARO DEL RECTIFICADOR.....	72
A.4: DISEÑO PCB DE LA TARJETA DE DISPARO DEL RECTIFICADOR.....	73
A.5: DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE LA TARJETA SENSOR DE CORRIENTE.....	74
A.6: DISEÑO PCB DE LA TARJETA SENSOR DE CORRIENTE.....	75
A.7: DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE LA TARJETA DE REFERENCIA DE CORRIENTE.....	76
A.8: DISEÑO PCB DE LA TARJETA DE REFERENCIA DE CORRIENTE.....	77
A.9: DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE LA TARJETA DE CONTROL.....	78
A.10: DISEÑO PCB DE LA TARJETA DE CONTROL.....	79
<b>ANEXO B: PATRONES DE DISPARO Y PROGRAMA DE LOS MICROCONTROLADORES.....</b>	<b>80</b>
B.1: PATRONES DE DISPARO DE LOS MICROCONTROLADORES.....	80
B.2: CÓDIGO DEL PROGRAMA DEL MICROCONTROLADOR ESCLAVO.....	81
B.3: CÓDIGO DEL PROGRAMA DEL MICROCONTROLADOR MAESTRO.....	84
<b>ANEXO C: DIAGRAMAS ESQUEMÁTICOS, DISEÑOS DE TARJETAS PCB PARA EL INVERSOR MONOFÁSICO FUENTE DE CORRIENTE.....</b>	<b>86</b>
C.1: DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DEL CONEXIONADO DE LOS MICROCONTROLADORES MAESTRO Y ESCLAVOS.....	86
C.2: DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DEL TRANSMISOR DE FIBRA ÓPTICA.....	87
C.3: DISEÑO PCB DE LA TARJETA DE TRANSMISIÓN DE FIBRA ÓPTICA.....	89
C.4: CIRCUITO ESQUEMÁTICO DE UNA PIERNA INVERSORA.....	90
C.5: DISEÑO PCB PARA UNA PIERNA INVERSORA.....	91

## **Lista de Tablas.**

Tabla 3-1: Corriente por el enlace DC v/s señal de corriente del conversor de voltaje a corriente. .	31
Tabla 4-1: Estados validos de los transistores en un inversor monofásico fuente de corriente. ....	37
Tabla 4-2: Estados válidos de las ondas comparadas y activación de los transistores. ....	37
Tabla 4-3: Tabla de verdad de un buffer del encapsulado SN74HC244. ....	50

## Lista de Figuras.

Fig. 2.1: Convertidor Multinivel Fuente de Corriente. ....	16
Fig. 3.1: Esquema básico de un rectificador monofásico fuente de corriente controlado. ....	17
Fig. 3.2: Esquema del rectificador de medio puente asimétrico monofásico. ....	18
Fig. 3.3: Formas de onda de un tiristor activado a cierto ángulo $\alpha$ con una carga resistiva. ....	19
Fig. 3.4: Curvas de corriente que circulan por el enlace DC de cada rectificador. ....	20
Fig. 3.5: Inductancia utilizada en el enlace DC de cada una de las celdas monofásicas. ....	20
Fig. 3.6: Acoplamientos Magnéticos utilizados entre celdas. ....	21
Fig. 3.7: Transformador de relación 1:1. ....	22
Fig. 3.8: Circuito integrado TCA785. ....	23
Fig. 3.9: Formas de onda de los pines del TCA785. ....	23
Fig. 3.10: Diagrama esquemático de conexión para el TCA785. ....	24
Fig. 3.11: Configuración del amplificador operacional TL072 como restador diferencial. ....	25
Fig. 3.12: Fotografía del sensor de efecto Hall LTS 25-NP que mide hasta 25A. ....	27
Fig. 3.13: Conexión de los pines del sensor para las diferentes configuraciones. ....	27
Fig. 3.14: Acondicionamiento de la señal entregada por el sensor. ....	28
Fig. 3.15: Convertidor de voltaje a corriente. ....	30
Fig. 3.16: Circuito esquemático de la tarjeta de referencia de corriente. ....	32
Fig. 3.17: Conexión del convertidor de voltaje a corriente de la tarjeta del sensor. ....	33
Fig. 3.18: Controlador PI basado en un amplificador operacional. ....	34
Fig. 3.19: Amplificador inversor conectado a la salida del controlador PI. ....	35
Fig. 4.1: Inversor monofásico fuente de corriente. ....	36
Fig. 4.2: Mapa de Karnaugh para los IGBT's. ....	37
Fig. 4.3: Circuito lógico para la activación de los transistores del inversor. ....	38
Fig. 4.4: Curva senoidal y triangular en un periodo de 20ms. ....	38
Fig. 4.5: Formas de onda de los pulsos de disparo de los transistores del Puente H. ....	39
Fig. 4.6: Activación de los transistores en el inversor. ....	39
Fig. 4.7: Inversor conectado con un condensador en la salida como filtro. ....	40
Fig. 4.8: Forma de onda de voltaje para una carga resistiva. ....	41
Fig. 4.9: Celdas de potencia conectadas en cascada. ....	41
Fig. 4.10: Desfase de las ondas moduladoras y portadoras del inversor para cada celda. ....	42
Fig. 4.11: Salida de voltaje en el Convertidor Multinivel Fuente de Corriente. ....	43
Fig. 4.12: Esquema de componentes en control y modulación de disparos de los IGBT's. ....	44
Fig. 4.13: Circuito Lógico seccionado en las diferentes partes que lo componen. ....	45
Fig. 4.14: Celdas de cada fase controladas por un microcontrolador. ....	47
Fig. 4.15: Conexión de Microcontrolador Maestro a 3 Microcontroladores Esclavos. ....	47
Fig. 4.16: Pulsos generados por el microcontrolador maestro. ....	49
Fig. 4.17: Conexión entre microcontroladores y pines INT0 conectados a resistencia pull-down. ...	49
Fig. 4.18: Disposición del Buffer entre el microcontrolador y el transmisor de fibra óptica. ....	50
Fig. 4.19: Buffer contenido dentro del encapsulado con sus pines de conexión. ....	50

Fig. 4.20: Modo de operación del transmisor de fibra óptica .....	51
Fig. 4.21: Fibras ópticas conectando cada transmisor y receptor. ....	52
Fig. 4.22: Recepción de pulsos de luz convertidos a pulsos eléctricos. ....	53
Fig. 4.23: Circuito que dispara el transistor IGBT.....	54
Fig. 5.1: Curvas experimentales de corriente en el enlace DC para las celdas C1u, C1v y C1w. ....	57
Fig. 5.2: Curvas simuladas de corriente en el enlace DC para las celdas C <sub>1U</sub> , C <sub>1V</sub> y C <sub>1W</sub> .....	57
Fig. 5.3: Patrones de disparo del inversor medidos entre el gate y el emisor del IGBT. ....	58
Fig. 5.4: Voltajes experimentales de salida de cada celda de la fase U. ....	59
Fig. 5.5: Simulación que muestra los voltajes de salida de cada celda de la fase U. ....	59
Fig. 5.6: Formas de onda de voltajes medidas en el convertidor en cada celda de la fase U. ....	60
Fig. 5.7: Simulación de las formas de onda de voltaje de salida de las celdas de la fase U.....	60
Fig. 5.8: Curvas de voltaje de una carga resistiva.....	61
Fig. 5.9: Simulación de curvas de voltaje de la carga. ....	61
Fig. 5.10: Forma de onda de voltaje de carga y gráfico de armónicos de voltaje de carga.....	62
Fig. 5.11: Curvas de corriente de entrada del convertidor multinivel. ....	63
Fig. 5.12: Curva de corriente de entrada y gráfico de armónicos de corriente de entrada. ....	63
Fig. 5.13: Vista frontal del convertidor multinivel en cascada. ....	65
Fig. 5.14: Vista posterior del convertidor multinivel en cascada.....	66
Fig. A.1: Diagrama esquemático del Puente Rectificador.....	70
Fig. A.2: Diseño PCB de la tarjeta del Puente Rectificador. ....	71
Fig. A.3: Esquema de la tarjeta de disparo del rectificador.....	72
Fig. A.4: Esquema PCB de la tarjeta de disparo del rectificador.....	73
Fig. A.5: Diagrama esquemático del sensor de corriente. ....	74
Fig. A.6: Diseño de tarjeta del sensor. ....	75
Fig. A.7: Diagrama esquemático de la tarjeta de referencia de corriente.....	76
Fig. A.8: Diseño PCB de la tarjeta de referencia. ....	77
Fig. A.9: Circuito esquemático de la tarjeta de control.....	78
Fig. A.10: Diseño PCB de la tarjeta de control. ....	79
Fig. C.1: Circuito esquemático de los microcontroladores maestro y esclavo. ....	86
Fig. C.2: Transmisor de fibra óptica individual.....	87
Fig. C.3: Circuito esquemático del conjunto de transmisores de fibra óptica. ....	88
Fig. C.4: Diseño PCB de la tarjeta de transmisión de fibra óptica.....	89
Fig. C.5: Diagrama Esquemático de una pierna inversora. ....	90
Fig. C.6: Diseño PCB de la pierna inversora utilizada en cada celda de potencia.....	91