

# 新式 3 階段切換技術應用於直流/直流轉換器及 直流/交流變流器之設計

研究生：陳基漳

指導老師：張隆國博士

國立交通大學

電機與資訊學院電機與控制學程（研究所）碩士班

## 摘要

本文提出一含新式共振式輔助電路的 3 階層(three-level)轉換器，並將之應用於半橋式直流轉換器。其架構包括共振電容、可應用於雙向迴路的共振電感與開關的組合電路，不僅可以提供導通時零電壓切換損失，亦可達到中性點箝制功能，避免因開關截止時變壓器漏感與開關寄生電容所造成的震盪。本輔助電路可分別應用於零電壓切換半橋式直流轉換器及變流器的工作模式。3 階層轉換器應用於變流器時，可使原本輸出波形由高電壓的切換，進而轉變為原來一半電壓的切換。不僅降低了電感上的連波電流，同時電晶體的耐壓可降至直流鏈電壓的一半。為了驗證本設計，一 12V/10A, 120 W 的半橋式直流轉換器已實做出來。在各項包括負載變動的模擬和實驗下，結果顯示了開關工作時的電壓電流皆與設計規格符合。

# **A New Three-Level Switching Topology**

## **Application to DC/DC Converter and DC/AC**

### **Inverter Design**


Student : Chi-Chang Chen

Advisor : Dr. Lon-Kou Chang

Degree Program of Electrical Engineering Computer Science

National Chiao Tung University

#### **ABSTRACT**

The logo of National Chiao Tung University is a circular emblem with a gear-like border. Inside the circle, there is a stylized building and the year '1896' at the bottom.

A new 3 level auxiliary circuit applicable to converters and inverters is proposed. The auxiliary circuit includes resonant capacitor, resonant inductor and bi-direction switch. This circuit can provide the natural clamp to eliminate oscillation from the leakage inductance of transformer and the soft switching function to both half-bridge converters and inverters. At the same time the switch can operate with zero-voltage switching while turning on. Furthermore, this circuit also provides the function to reduce half of the voltage stress of switch on the inverter application. The proposed circuit was identified with 12V/10A, 120W DC to DC converter and inverter application.

## 誌 謝

本論文能順利完成，首先要感謝指導教授張隆國博士的悉心照顧與教誨，不僅使我在研究生生涯中得以成長茁壯，同時也引導我在學習的過程中不致迷失方向。感謝老師的指導方使本論文得以順利完成，在此表示最誠摯的謝意。

另外，感謝口試委員廖德誠教授及林君明教授給予本論文的斧正以及建議，使得本論文更加地完整以臻於盡善盡美。

感謝工研院能資所陳慕平博士的啟發與提攜，讓我得以再拾起課本，走自己該走的路，同時對於實驗室陪我度過困難的朋友們，包括晏銘學長、致暉學長、恆毅學長與其他同窗好友，謝謝你們陪我度過這多采多姿的生活。

最後要感謝我所摯愛的麗敏，一直在背後用她的愛與犧牲，默默地支持著我，而來自於她的支持與關心，讓我得以全心全意地專注於功課與工作上。同時謝謝佳勳及佳緯，在我生命中扮演著重要的角色，孩子們，希望你們能好好加油，勇敢地迎接人生未來的挑戰。願將此榮耀和喜悅與我的家人一起分享。

謹將本論文獻給所有關心我的人！

陳基漳

謹誌於交通大學 815 實驗室

中華民國九十五年一月

# 目 錄

中文摘要.....	I
英文摘要.....	X
誌謝.....	
目錄.....	
圖目錄.....	I
表目錄.....	X
第一章 序論.....	1
1.1 研究動機.....	1
1.2 文獻回顧.....	2
1.3 本論文貢獻.....	3
1.4 論文架構.....	4
第二章 多階段電壓位準應用特性與架構.....	5
2.1 前言.....	5
2.2 階數的定義說明.....	6
2.3 多階式轉換器介紹.....	7
2.3.1 隔離型 H 橋式多階轉換器.....	7
2.3.2 電容中性點箝制式多階轉換器.....	8
2.3.3 二極體箝制式多階轉換器.....	12
2.3.4 各式轉換器比較說明.....	15
2.4 脈波寬度調變介紹.....	16
第三章 應用於半橋式直流轉換器的架構與分析.....	20

3.1	前言 .....	20
3.2	系統架構.....	21
3.3	線路原理模式分析.....	21
3.4	小訊號模型推導.....	30
第四章	應用於變流器的架構與分析 .....	41
4.1	前言 .....	41
4.2	系統架構.....	41
4.3	線路原理模式分析.....	42
4.4	模擬線路結果.....	49
第五章	半橋式直流轉換器實體電路設計 .....	51
5.1	前言 .....	51
5.2	半橋式直流轉換器之系統方塊圖 .....	51
5.3	輸出濾波器的設計.....	52
5.4	半橋式轉換器的參數設計.....	54
5.5	輔助電源電路.....	57
5.6	輸出回授補償電路的設計 .....	60
5.7	隔離驅動的電路.....	64
5.8	輔助驅動開關設計.....	65
第六章	模擬與實驗結果討論 .....	67
6.1	前言 .....	67
6.2	半橋式直流轉換器.....	67
6.3	3階段控制電路 .....	69
6.4	零電壓導通控制.....	72
6.5	共振電感電流.....	74
6.6	輸出電感漣波電流 .....	74
6.6	效率分析 .....	75

第七章 結論與展望 .....	77
7.1 結論 .....	77
7.2 展望 .....	77
參考文獻 .....	79



# 圖 目 錄

圖 1.1.	參考文獻[7]所提出的工作週期相移式 PWM 直流轉換器 .....	2
圖 1.2.	參考文獻[8]所提出的 3 階式直流轉換器 .....	3
圖 2.1.	全橋式直交流轉換器 .....	6
圖 2.2.	隔離型全橋式直交流轉換器 .....	7
圖 2.3.	電容中性點箝制式 3 階轉換器 .....	8
圖 2.4.	工作時序 1：電容中性點箝制式 3 階轉換器 .....	9
圖 2.5.	工作時序 2：電容中性點箝制式 3 階轉換器 .....	9
圖 2.6.	工作時序 3：電容中性點箝制式 3 階轉換器 .....	10
圖 2.7.	電容中性點箝制式多階轉換器 .....	11
圖 2.8.	輸出電壓 $+V_{DC}$ 的電壓迴路 .....	12
圖 2.9.	二極體箝制式 3 階轉換器 .....	13
圖 2.10.	工作時序 1：二極體箝制式 3 階轉換器 .....	13
圖 2.11.	工作時序 2：二極體箝制式 3 階轉換器 .....	14
圖 2.12.	工作時序 3：二極體箝制式 3 階轉換器 .....	14
圖 2.13.	二極體箝制式 5 階轉換器 .....	15
圖 2.14.	脈波寬度調變方式 .....	16
圖 2.15.	正弦輸出脈波寬度調變方式 .....	17
圖 2.16.	驅動訊號時序控制 .....	19
圖 3.1.	輔助 3 階段電路於半橋式直流/直流轉換器應用 .....	21
圖 3.2.	開關時序及主要電壓電流波形 .....	22
圖 3.3.	$t_0-t_1$ 時段電路分析模式 1(a)工作迴路(b)等效電路 .....	23
圖 3.4.	$t_1-t_2$ 時段電路分析模式 2(a)工作迴路(b)等效電路 .....	24

圖 3.5.	$L_r$ 與 $C_{r2}$ 串聯諧振等效電路 .....	24
圖 3.6.	$t_2$ - $t_3$ 時段電路分析模式 3(a)工作迴路(b)等效電路 .....	27
圖 3.7.	$t_3$ - $t_4$ 時段電路分析模式 4(a)工作迴路(b)等效電路 .....	27
圖 3.8.	$t_4$ - $t_5$ 時段電路分析模式 5(a)工作迴路(b)等效電路 .....	28
圖 3.9.	$t_5$ - $t_6$ 時段電路分析模式 6(a)工作迴路(b)等效電路 1(c)等效電路 2 .....	29
圖 3.10.	$t_6$ - $t_7$ 時段電路分析模式 7(a)工作迴路(b)等效電路 .....	30
圖 3.11.	無隔離輔助 3 階層電路於半橋式直流/直流轉換器 .....	31
圖 3.12.	模式 1 等效電路 .....	31
圖 3.13.	模式 4 等效電路 .....	33
圖 4.1.	3 階層輔助線路在直流/交流轉換器應用 .....	42
圖 4.2.	閘級開關控制時序 .....	42
圖 4.3.	$t_0$ ~ $t_1$ 時段電路分析模式 1(a)工作迴路(b)等效電路 .....	43
圖 4.4.	$t_1$ ~ $t_2$ 時段電路分析模式 2(a)工作迴路(b)等效電路 .....	43
圖 4.5.	$t_2$ ~ $t_3$ 時段電路分析模式 3(a)工作迴路(b)等效電路 .....	44
圖 4.6.	$t_3$ ~ $t_4$ 時段電路分析模式 4(a)工作迴路(b)等效電路 .....	47
圖 4.7.	$t_4$ ~ $t_5$ 時段電路分析模式 5(a)工作迴路(b)等效電路 .....	48
圖 4.8.	傳統半橋式變流器輸出電感輸入電壓波形 .....	49
圖 4.9.	電感電流輸出波形及 $V_{AB}$ (a)傳統架構(b)加上輔助箝制電路 .....	50
圖 4.10.	加上輔助箝制電路後開關截止時 $V_{DS}$ 與閘級訊號 .....	50
圖 5.1.	3 階層半橋式轉換器系統方塊圖 .....	52
圖 5.2.	低頻濾波器 .....	52
圖 5.3.	輸出電感及電容的漣波電流 .....	53
圖 5.4.	反馳式輔助電源電路 .....	57
圖 5.5.	IC TL431 內部等效結構 .....	58
圖 5.6.	柔性啟動動作時序 .....	58



圖 5.7.	限流保護動作說明.....	58
圖 5.8.	系統的控制方塊圖.....	59
圖 5.9.	工作週期對輸出電壓的頻率響應圖.....	59
圖 5.10.	(a)補償電路 (b) 補償電路之頻率響應.....	62
圖 5.11.	系統之波德圖.....	63
圖 5.12.	隔離驅動設計電路(a)實際電路(b)驅動波形.....	64
圖 5.13.	全輔助開關驅動設計電路.....	65
圖 5.14.	驅動設計延遲時序圖.....	66
圖 6.1.	開關的開極驅動電壓 $V_{GS}$ (20 V/div).....	68
圖 6.2.	UC3525 死區時間(Dead Time)控制, Out A(pin10/ch1)及 Out B(pin14/ch2).....	68
圖 6.3.	輸出為 12V/10A時變壓器電壓 $V_{AB}$ (ch2)及初級電流 $I_{lk}$ (ch1).....	69
圖 6.4.	輸出為 12V/5A時變壓器電壓 $V_{AB}$ (ch2)及初級電流 $I_{lk}$ (ch1).....	70
圖 6.5.	輸出為 12V/1A時變壓器電壓 $V_{AB}$ (ch2)及初級電流 $I_{lk}$ (ch1).....	70
圖 6.6.	輸入為 180V <sub>DC</sub> 時變壓器電壓 $V_{AB}$ (ch2)及初級電流 $I_{lk}$ (ch1).....	71
圖 6.7.	輸入為 220V <sub>DC</sub> 時變壓器電壓 $V_{AB}$ (ch2)及初級電流 $I_{lk}$ (ch1).....	71
圖 6.8.	上臂開關 $S_1$ 的開極電壓 $V_{GS}$ 電壓(ch2)及 $V_{DS}$ 電壓(ch1).....	73
圖 6.9.	下臂開關 $S_3$ 的開極電壓 $V_{GS}$ 電壓(ch1)及 $V_{DS}$ 電壓(ch2).....	73
圖 6.10.	變壓器 AB 兩端電壓(ch2)及共振電感電流(ch1)2A/div.....	74
圖 6.11.	輸出電感漣波電流.....	75
圖 6.12.	輸入線電壓與效率的關係.....	76

# 表 目 錄

表 2.1. 3 階層電路比較表.....16

