國立成功大學

能源工程國際學士學位學程

Formosa Integrated Research Spherical Tokamak

(FIRST)之電流供應器的開發

專題生

F04119554 陳俊邑

指導教授:張博宇博士 太空與電漿科學研究所

- 一、FIRST 的電流供應器
 - 1-1 動機與概要
 - 1-2 Matlab裡 simulink 的模擬
 - 1-2-1 H-bridge 介紹及用途
 - 1-2-2 PWM 概念
 - (1) 原理及用途
 - (2) 與 H-bridge 的應用
 - 1-2-3 simulink 之電路架設及結果
 - 1-3 LabVIEW 的電路架設
 - 1-3-1 LabVIEW 環境與介面
 - (1) 結果分析
 - 1-3-2 DAQ 卡之使用
 - 1-3-3 量測練習
 - 1-4 未來計畫
- 二、附錄

一、 FIRST 的電流供應器

1-1 動機與概要

核融合技術在極端條件下的研究是能源科學與物理學中的一個重要領域。 為了模擬太陽內部極高溫、高壓的環境,許多實驗技術已經被開發出來,例如 使用托卡馬克(Tokamak)來限制並控制電漿,促使核融合反應。在這些實驗中, 透過高溫和強磁場來模擬太陽的核融合條件,進而探討材料及能量的變化過 程。

FIRST 計畫 (Formosa Integrated Research Spherical Tokamak)的開發, 是國科會磁約束高溫電漿計畫。目的是建立台灣第一座球形托卡馬克裝置,以 觀察和研究等離子體在極端環境下的行為,並估算托卡馬克裝置內核融合反應 的效率及其潛在的能源利用。而在這項計畫中有很多子計畫,我負責的是子計 畫一裡電流供應的部分。

1-2 Matlab裡 simulink 的模擬

在模擬電路的軟體中,我們選擇了 Matlab 的 simulink,因為它有圖形化建 模環境、精確的時域與頻域分析,且在模擬完之後還能在 MATLAB 上做數據處理。 在 simulink 的模擬中,包含了 PWM 的運作,並加入 H-bridge 提供正負電流之輸 出。

1-2-1 H-bridge 介紹及用途

H-Bridge 是一種電路結構,如圖一所示,通過四個開關元件來控制負載的 電流流向,從而實現電機的正轉、反轉,而這些開關以對角方式排列。當開關 S1 和 S4 同時閉合時,電流流過電動機朝一個方向運轉(Forwards),使輸出為正值; 而當 S2 和 S3 閉合時,電流流過電動機的方向相反,從而實現反向運轉 (Backwards),讓輸出為負值。







圖一:H-bridge 之架構

1-2-2 PWM 概念

PWM (Pulse Width Modulation,脈寬調變)是一種控制信號的方式,通過 調整輸出信號的脈衝寬度(「開」的時間與「關」的時間比例)來控制平均電壓 或平均功率的技術。

(1) 原理及用途與種類:

PWM 用了工作週期(Duty Cycle)的概念,如圖二所示,它是指在一個完整的 開闢週期內,信號處於「開」狀態的時間佔總時間的比例。它決定了輸出信號的 有效值,也就是負載接收到的平均功率或電壓。

Duty Cycle(%)=(總時間/開時間)×100%

工作週期越高,負載得到的平均電壓越高;工作週期越低,平均電壓就越低。

- 100%工作週期:信號完全「開」,等效於持續輸出最大電壓。
- 50%工作週期:信號「開、關」各一半,負載電壓等效於原始電壓的一半
- 0%工作週期:信號完全「關」,負載沒有電壓輸出。

雖然信號在某一時刻不是完全「開」就是完全「關」,但通過快速的開關頻率,負載接收到的是等效的平均值,所以能把開關這種數位訊號轉成類比訊號, 這樣一來就可以依照自己的需求去設計出需要或想得到的輸出。



圖二:PWM 之原理

PWM 主要有兩種常見的調變方式,分別是雙極性 PWM(Bipolar PWM)和單極性 PWM(Unipolar PWM),它們在開關模式和輸出電壓特性上有所區別。(以 sin wave 為例)

Bipolar PWM 的工作原理是在同一 H-bridge 中的上下兩個開關以互補方式 運行,當一個開關打開時,另一個開關就關閉,如圖三所示。這種互補的開關行 為代表我們只需要考慮兩個獨立的開關信號,通常分別是 Vg1和 Vg3。這些信號是 通過比較 sin wave 之 Vm 和 triangular wave 之 Vcr 來生成的。逆變器的端子 電壓分別表示為 VAN和 VBN,其輸出電壓則為 VAB = VAN - VBN。由於 VAB波形在正負 直流電壓之間切換,這種調制方式被稱為 Bipolar PWM。Bipolar PWM 的一個特點是,所有四個開關元件會同時進行切換,導致輸出電壓在+Va 和-Va 之間快速 切換。這種切換模式使雙極性 PWM 適用於控制電機或電源轉換系統中的交流輸出。



Fig. 3: Waveforms of Bipolar Modulation Scheme

Unipolar PWM 調制需要兩個 sin wave,它們具有相同的幅值和頻率,但相 位相差 180 度。如圖四所示,這兩個 sin wave 與一個共同的 triangular wave 進行比較,從而生成兩個獨立的開闢信號 V_{g1} 和 V_{g3} ,這些信號分別控制逆變器 上方的兩個開闢 S₁ 和 S₈,而 S₂和 S₄其狀況完全與 S₁和 S₃相反,意即 S₁開時 S₄ 關,S₁關時 S₄開;S₃開時 S₂關,S₂關時 S₃開。Unipolar PWM 的一個顯著特點是, 上方的兩個開闢不會同時切換,比起 Bipolar PWM 有很大的不同。在 Bipolar PWM 中,四個開闢元件是同步切換的,而 Unipolar PWM 則實現了分離的開闢操作。 Unipolar PWM 調制的輸出電壓具有明顯的區別。在正半周期內,輸出電壓在 0 和 $+V_d$ 之間切換;在負半周期內,輸出電壓則在 0 和 $-V_d$ 之間切換。因此,這 種調制方式被稱為 Unipolar PWM。單極性 PWM 在實際應用中具有一定的優勢。 因為它能夠降低開闢損耗,在同一時間不會有所有開闢同時工作。這種設計還能 減少電磁干擾 (EMI),使得系統運行更加穩定。





Fig. 4: Waveforms of Unipolar Modulation Scheme

(2) 與 H-bridge 的應用

在實際應用中,PWM 信號通過控制 H-Bridge 的開闢元件導通與關斷,實現 對電機速度與方向的雙重控制。當 PWM 信號控制 H-Bridge 中的開闢時,電流 可以根據需要在正向或反向流過電機,同時通過調節 PWM 的工作週期,控制輸 送到電機的平均電壓,用來實現速度調節

1-2-3 simulink 之電路架設及結果

我先在 Matlab 的 Simulink 上兜出一個電路,如圖五所示,這個電路包含了 PWM 系統、H-bridge、以及濾波器,用來模擬實際電路的可行性。PWM 系統的作 用在於控制電流或電壓的輸出,藉此來設計出所需的負載輸出。H-bridge 則是 用來與 PWM 搭配把負載做出來。濾波器的功能在於消除高頻訊號,確保輸出信號 的穩定性與清晰度。

在模擬的過程中,我們首先確保 PWM 系統的輸出頻率和佔空比是可調的,這 樣可以根據負載的不同需求來實時調整輸出的功率。同時,H-bridge 的設計則 是關鍵,它不僅負責雙向電流控制,還必須與 PWM 系統緊密配合,確保信號能正 確切換。此外,濾波器的設計也經過計算獲得最適合的數值,達到最好的過濾雜 訊的效果。



圖五:Simulink 之模擬電路圖

Simulink上的模擬結果符合我們的預期,電路成功實現了穩定且可控的輸 出,如圖六所示。PWM系統和 H-bridge 的組合能夠達到設計目標。我們也可以 通過調整 PWM 的參數來改變輸出的功率,去滿足不同狀況下的需求。H-bridge 的作用也表現良好,能在不影響電壓穩定性的前提下快速切換電流方向,這對於 控制馬達等設備的運行方向十分有效。H-bridge 與 PWM 的結合使我們能夠在不 增加電路複雜性的情況下實現雙向控制。



圖六:輸入是我自行設計的任意波形,輸出代表線圈上的電流。 結果顯示輸出與輸入波形一致。

1-3 LabVIEW 的電路架設

LabVIEW 是一個圖形化編輯平台(軟體),在軟體與硬體之間扮演著橋樑的角色,它是控制接口和數據傳輸介質,負責將高層次的軟體指令轉換為硬體操作。

上述 Matlab裡 simulink 的電路架設是在軟體中對於電流供應的初步模擬結果,要把結果呈現出來,必須把整個電路硬體化,而電路的前段部分則由 Labview 呈現,後半部則必須把 H-bridge 的真實電路兜出來。



1-3-1 LabVIEW 環境與介面

LabVIEW 有圖形化的編程環境,而虛擬儀器(VI)是電路設計和控制的核心, 每個 VI 包含兩個主要部分:前面板(Front Panel)和圖形程式區(Block Diagram)

• Front Panel:

如圖八,用於顯示儀表和數據輸入輸出,包含圖表、儀錶、控制和指示燈等。 是軟體使用者操控軟體的地方。

▶	Untit	ed 7	Front	Pan	el																				-	-				×	
File	Edi	t Vi	ew	Proj	ject	C	pe	rate		То	ols	٧	Vin	do	w	H	elp											F	TH		n
	5	》函		п	1	5pt	App	olic	atic	on F	on	t •	r	1.	Ŧ	-Qc	÷	*	Ŧ	69	¥	•	Sea	rch		0	4	È		₽	7
				-																										H	^
<																														,	ľ
																														<i>'</i>	-

Front Panel

圖八: LabVIEW 介面

Block Diagram

• Block Diagram:

如圖八,軟體設計員透過連接不同且可視化、直觀的圖形模塊來設計算法和 數據流或是兜出電路。

(LabVIEW 詳細使用方法建議自學 LabVIEW 感測與變路應用, 〔2〕。)

如圖九所示,Labview能夠重現 Matlab上的訊號,能夠給我們實體的 IGBT 之 H-bridge 發出訊號,讓最後的電路能夠把 Matlab 所做的模擬複製到硬體及現 實中。



圖九: LabVIEW 輸出之 PWM 控制訊號

1-3-2 DAQ 卡之使用

DAQ 卡的使用是將模擬信號或數位信號從外部硬體轉換為電腦可處理的數 據或是輸出控制訊號,進而驅動各種外部設備。通過 DAQ 卡,我們可以將來自各 種感測器、訊號產生器或電路的訊號數據傳輸到計算機進行處理、分析和記錄。 在實驗和測試中,DAQ 卡是硬體和軟體之間的橋樑,用於將物理信號轉化為數位 數據,並能透過軟體如 LabVIEW 來進行控制和監控。也能透過 LabVIEW 的圖形化 編程介面,我們能夠快速設置 DAQ 卡的通道參數,如取樣速率、電壓範圍或是 PWM 開關的頻率設定等,去調整輸出控制訊號而改變硬體端的設定。

1-3-3 量測練習

在做DAQ卡傳輸資料之前,為了熟悉DAQ的功能,我練習了溫度量測的測試, 在練習中,我利用LabVIEW進行了溫度測試,測試的方式是通過讀取溫度傳感器 (LM335)的輸出來監控環境溫度變化。LM335的輸出信號經過DAQ卡進入LabVIEW, 進行數據處理與顯示,如圖十所示。

在 LabVIEW 中,我們搭建了一個簡單的程式。而運作的流程是從 DAQ 卡讀取 溫度傳感器的輸出電壓,然後將這個電壓信號轉換為實際溫度。通過公式轉換, 根據 LM335 的特性,每個 0.01V 的變化對應 1°C 的溫度變化。

在 LabVIEW 界面中設置了即時溫度顯示,使用圖形化顯示器來動態監控溫度 變化情況。當時通過熱風槍測試,我們觀察到 LM335 傳感器能夠即時反應環境溫 度變化,並且其輸出電壓與實際溫度有良好的線性關係。





圖十: 量測溫度之 DAQ、LabVIEW 架構

1-4 未來計畫

我們正在把實體的電路兜出來,包含利用 IGBT 組成的 H-bridge。在完成硬 體電路搭建後,我們計劃將 LabVIEW 中的軟體信號與實體電路連接,過程將包括 使用 DAQ 卡將 LabVIEW 中的控制信號傳送至硬體,我們將能夠實際測試軟體控制 與硬體響應的同步性和精確性,並觀察硬體運行時的實際效果。

我們同時將把這些結果與在 Matlab 中使用 Simulink 進行的模擬結果進行對 比。Simulink 中的模擬為我們提供了一個理論基礎, 幫助我們預測電路的工作 狀態以及如何優化系統設計。然而,實體電路的性能往往會受到許多現實條件的 影響,比如元件的非理想特性、溫度變化。因此,這次實驗不僅是驗證軟體模擬 的準確性,也將幫助我們更好地理解硬體系統的實際表現,並確定是否需要進行 進一步的優化和調整。

三、參考文獻

- (1) <u>https://www.ijirst.org/articles/IJIRSTV117111.pdf</u>
- (2) https://down-tw.img.susercontent.com/file/tw-11134207-23030-yrh
 vkzgrhfov96

https://digilent.com/blog/what-is-an-h-bridge/

https://blog.mbedded.ninja/electronics/components/h-bridges/

https://techweb.rohm.com.tw/product/motor/brushed-motor/brushed-motor/ -basic/328/