

投稿類別：工程技術類

篇名： BCD 加法器的實現與優化

作者：

何承泰。市立楊梅高中。電子二甲

指導老師：

簡樹桐 老師

壹、前言

一、研究動機

高二上學期的數位邏輯實習課程中，有些單元與我們日常生活息息相關，其中 BCD 碼加法器實習最令我感到興趣。既然是加法的運算為何還要多「BCD」三個字呢？然而人類習慣使用 10 進制，不同於電腦世界的 0 與 1 的 2 進制，為了要讓一般的加法運算結果，能即時顯示給人類知道此運算結果。在 BCD 的加法電路演算法中，加入了修正的邏輯電路，來滿足人類對此訊息的閱讀需求。

在進行這單元的實習時，會常常因為被加數、加數、運算結果三者的四位元顯示 LED 燈的擺置順序方式，讓使用者無法馬上理解運算的結果。有鑑於此，想來改善此一缺點，考慮結合七段顯示器元件將目前 2 進位碼的值，以 10 進制的數值顯示，方便我們閱讀，這也是我想要寫這篇小論文的主要動機。

二、研究方法

（一）利用 Tina 電路模擬軟體模擬 BCD 加法器，並加入七段解碼器與七段顯示器元件電路，進行運算模擬。

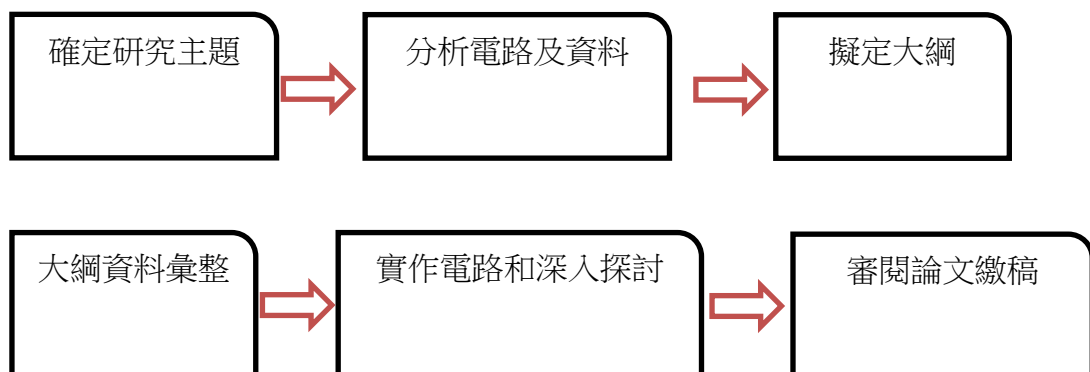
（二）利用麵包板實作實現在 Tina 軟體中所模擬的電路設計，以驗證設計無誤。

（三）利用 Altium Designer 專業電路板繪圖軟體，繪製該 BCD 加法器與顯示電路，並透過 PCB 佈線的相關功能，完成此電路的元件面與佈線面的佈局設計。

（四）透過 Altium Designer 輸出該電路所需的電腦輔助製造的相關雕刻與鑽孔參數，並將這些參數送至雕刻機，進行電路板雕刻。

（五）經雕刻機雕刻後產出電路 PCB 板，對此 PCB 板進行所有元件的焊接，以驗證電路的完整性和可行性。

三、研究流程



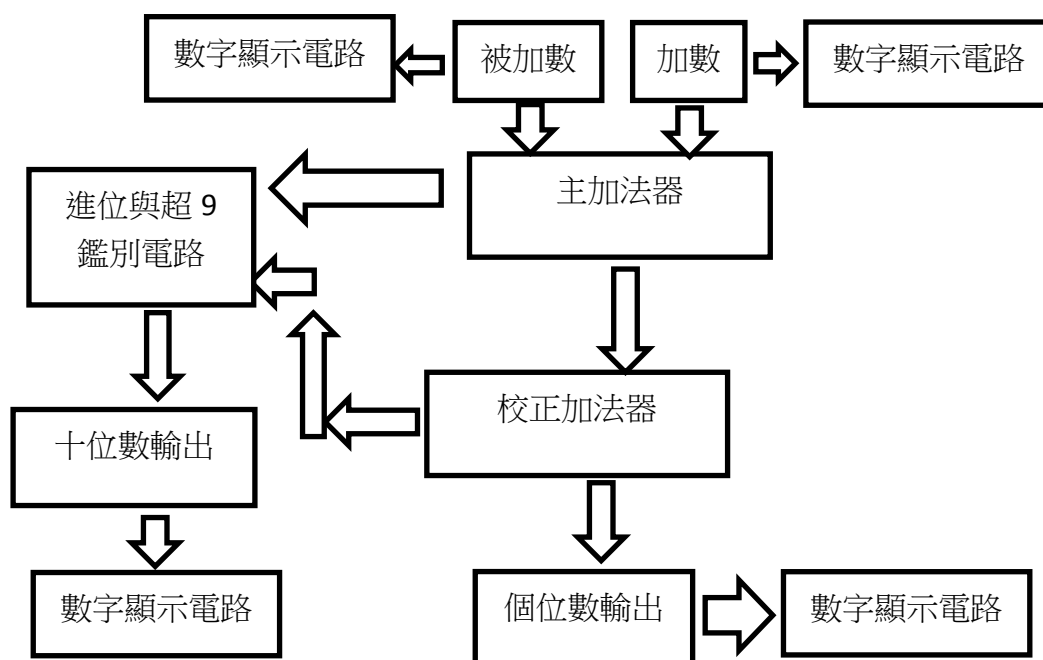
貳、正文

一、BCD 加法器功能介紹與問題解析

本電路的主要功能為設計一兩位數的加法電路，被加數與加數都是一位數，運算結果為兩位數。BCD 加法器電路運算的數值範圍為：最小值的運算 $0+0=0$ ，最大值的運算 $9+9=18$ 。被加數與加數的數值用指撥開關設定。

原 BCD 加法器電路中主加法器處理負責加數和被加數運算，進位與超九鑑別電路用來判斷運算結果是否超過九，如果有超過九或是有進位輸出，校正加法器就會加六給鑑別電路，而最後的結果由校正加法器和鑑別電路分別輸出。

本論文研究最主要優化被加數、加數、運算結果的數值，將原本二進位表示的數值，透過七段顯示器與解碼器，顯示對應的數值，方便使用者觀看結果。其電路系統方塊圖如圖（一）所示。



圖（一） BCD 加法器過程自繪圖

二、電路系統方塊圖各功能介紹

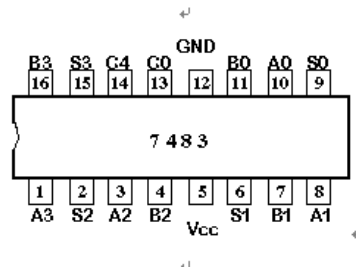
（一）主加法器功能介紹

主加法器是由 7483 這顆數位 IC 所組成，7483 數位 IC 本身是 TTL 的 IC，而運算的過程都是以四位元的二進制數(從 0000 到 1001)來完成，A4 A3 A2 A1 端負責被加數的部分，B4 B3 B2 B1 端是負責加數的部分。

不過當運算的結果超過 9 時，在 7483 數位 IC 的 C4 端就會輸出 1，而 C4 端也就是判斷電路是否該進位，當 C4=0 時，整體電路不進位，C4=1 時，電路就會採取進位的動作，這也是 BCD 碼的特別之處，之後再搭配後面的相關電路，完成運算的結果。而主加法器的 C0 端，是接上前級的進位輸入。Vcc 端基本上接 +5 伏特，超過 +5 伏特會有整個電路燒壞的可能。GND 端接地。

（二）校正加法器功能介紹

校正加法器也是運用 7483 這顆數位 IC，當運算值超過九時，也就是二進制的 1001 時，校正加法器就會在主加法器的輸出結果再加上六(0110)。反之，校正加法器只會加上零(0000)，而主加法器的輸出是接到校正加法器的 B4 B3 B2 B1 腳，A3 和 A2 端則是接到超九鑑別電路的進位輸出腳。A4 和 A1 則是直接接地，而校正加法器的 C4 端不採取進位的動作，C0、GND 端接地，校正加法器主要的功能是輔助整個電路的完整性。



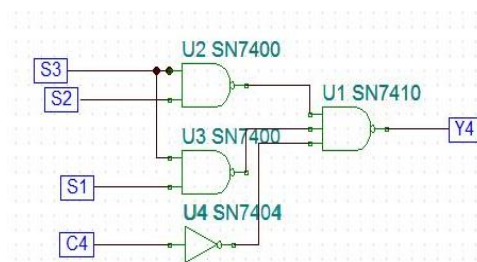
圖（二） 7483 數位 IC 示意圖

（三）進位與超九鑑別電路

對於進位與超九鑑別電路而言，兩 BCD 碼相加的值會在 C4 S3 S2 S1 S0 端分別輸出，而其中的 C4 等於一或是 S3 S2 S1 S0 的結果大於九(1001)時，其進位與超九鑑別電路的 Y4 端會輸出為一，我們就可以依 S3 S2 S1 S0 的結果如果大於九(1001)，其結果會跟 C4 端 OR 起來。而整體的電路是由一顆 7432 數位 IC 和一顆 7408 數位 IC 所組成，相當於兩個 AND 閘和兩個 OR 閘。

S1 S0 S3 S2	00	01	11	10
0 0	0	0	0	0
0 1	0	0	0	0
1 1	1	1	1	1
1 0	0	0	1	1

圖（三） 進位與超九鑑別器設計真值表(自繪)



圖（四） Tina 模擬進位與超九鑑別電路(自繪)

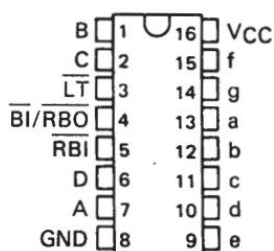
輸入	等效十進制	輸出
C4 S3 S2 S1 S0		Y4
0 0 0 1 1	3	0
0 0 1 1 1	7	0
0 1 0 1 0	10	1
0 1 1 0 0	12	1
0 1 1 1 1	15	1
1 0 0 0 0	16	1
1 0 0 1 0	18	1

圖（五） 進位與超九鑑別電路的輸出示意圖(自繪)

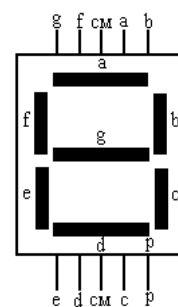
（四）數字顯示電路

數字顯示電路是由 7447 解碼數位 IC 和七段 LED 顯示器所完成，而 7447 解碼數位 IC 多了三個特別的輸入端，分別是燈泡測試輸入端(\overline{LT})、漣波遮沒輸入控制(\overline{RBI})和遮沒輸入/漣波遮沒輸出($\overline{BI/RBO}$)。當燈泡測試輸入端(\overline{LT})=0 時，電路正常動作， $\overline{a} \overline{b} \overline{c} \overline{d} \overline{e} \overline{f} \overline{g}$ 全都輸出 0，而七段 LED 顯示器正常的話，會顯示出 8，不過 \overline{LT} =1 時，7447 數位 IC 的動作會由其他腳控制。

漣波遮沒輸入控制(\overline{RBI})=0 時，七段 LED 顯示器會完全空白，反之，則正常動作。遮沒輸入/漣波遮沒輸出($\overline{BI/RBO}$)端有強迫遮沒輸入和 0 遮沒輸出指示的動作。遮沒輸入(\overline{RBI})當輸入端輸入且輸入 0 時，不管其他輸入端輸入多少，七段 LED 顯示器都輸出為全空白。遮沒輸入/漣波遮沒輸出($\overline{BI/RBO}$)端不接任和信號時，可當 0 遮沒輸出指示。而當漣波遮沒輸入控制(\overline{RBI})端=0 且輸入端 DCBA=0000，也就是 0 遮沒成立時，則遮沒輸入/漣波遮沒輸出($\overline{BI/RBO}$)端輸出為 0，反之則輸出為 1。而在 7447 解碼數位 IC 和七段 LED 顯示器之間，要接上 300 歐姆左右的電阻，當作限流用，為了避免電流太大而燒壞七段 LED 顯示器。



圖（六）7447 解碼數位 IC 接腳圖



圖（七）七段 LED 顯示器接腳圖

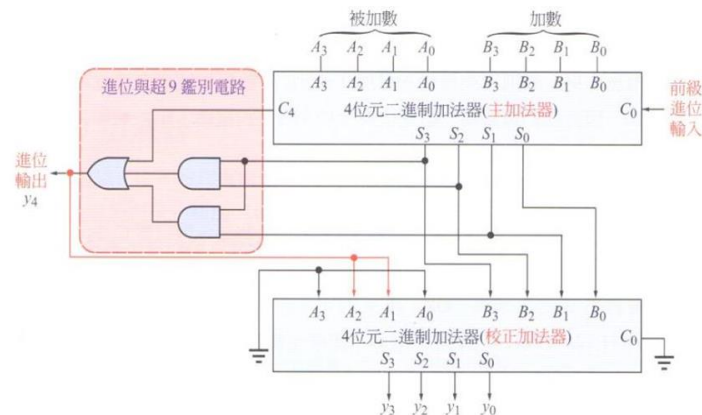
（五）BCD 加法器運算的修正演算法說明

BCD 加法器的進位部分都要仰賴進位與超九鑑別電路，BCD 加法器進位後的數值都是採用四位元二進制，當值到 1001，也就是十進制的九，下一步的值不是直接到 1010，而是 0001 0000，跟平常的二進制是不大相同的。而 BCD 碼和二進制值的差值都差六，也就是 0110，這也就是 BCD 加法器的特別之處。

十進數	BCD 碼	二進制	差值
0	0000	0000	0
1	0001	0001	0
2	0010	0010	0
...
8	1000	1000	0
9	1001	1001	0
10	0001 0000	1010	0110
11	0001 0001	1011	0110
12	0001 0010	1100	0110
13	0001 0011	1101	0110
14	0001 0100	1110	0110
15	0001 0101	0000 1111	0110
16	0001 0110	0001 0000	0110
17	0001 0111	0001 0001	0110

圖（八）BCD 碼與 4 位元二進制數的差值和比較表(自繪)

BCD 加法器的實現與優化

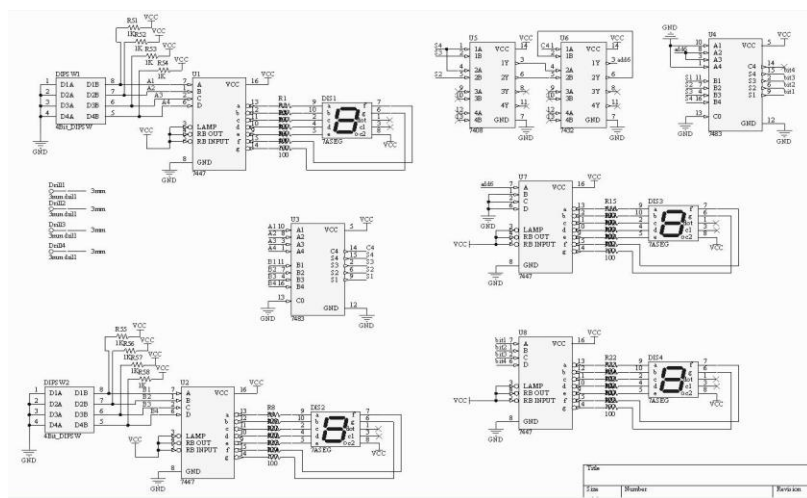


圖（九） BCD 加法器示意圖

三、BCD 加法器實驗過程及結果呈現

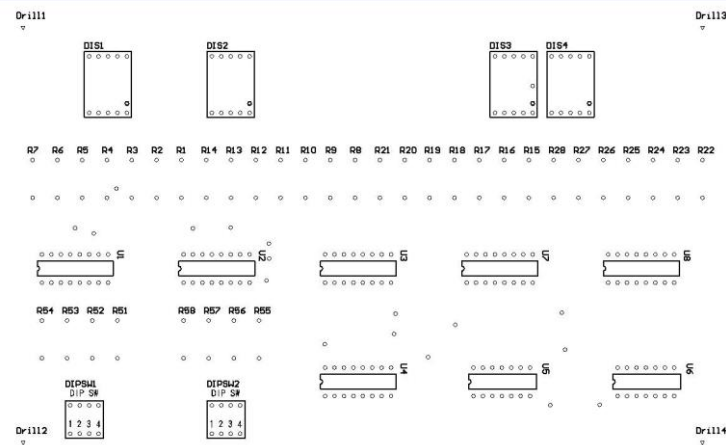
（一）PCB 電路板的設計流程

1. 利用 Altium Designer 進行電路圖繪製，在開啟新的 BCD 加法器專案後，接著掛載零件庫，選取本電路所使用到的元件擺置到圖紙上，透過 NET Table 的網路連接方式快速做元件間的線路連接。如圖（十）所示。



圖（十） BCD 加法器完整電路圖

2. 完成電路圖繪製後，進行電路圖的編譯，檢查電路圖是否有未連接之處或有問題之處。若沒有問題的話，切換至 PCB 的操作環境，進行元件的擺置佈局。將元件擺置至適當的位置，元件的佈局的原則會以同一區域連線的元件擺置在同一區域。請參考圖（十一）元件擺置圖

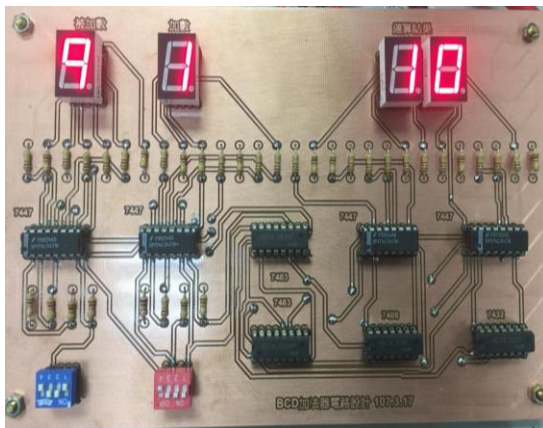
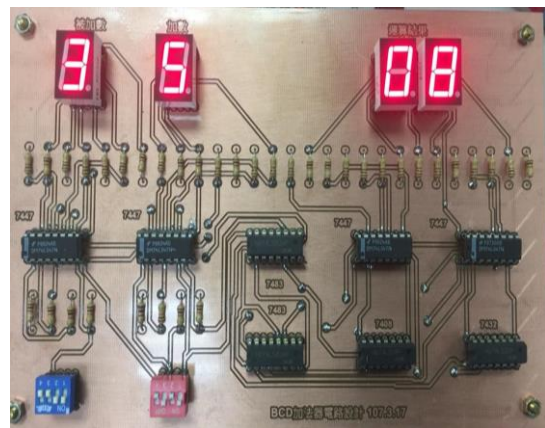


圖（十一） 元件擺置圖

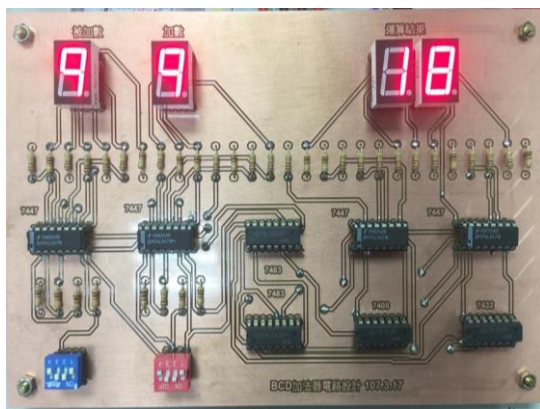
- 完成元件擺置後，設定佈線規則，然後選擇自動佈線功能，完成電路板的全部佈線。完成佈線後，在 PCB 模式輸出輔助製造的參數，提供給雕刻機進行雕刻輸出 PCB 板。

（二）實驗結果呈現

經由雕刻機製造輸出 PCB 電路板，並將電路所需的相關零件備齊，使用烙鐵將元件焊至電路板上，以下是對該電路進行實際的結果測試。如下運算式測試 $9+1=10$ ，觀測其運算結果為正確， $3+5=8$ 也是正確無誤。請參考圖（十二）、圖（十三）的顯示結果。

圖（十二） $9+1=10$ 的運算結果圖（十三） $3+5=08$ 的運算結果

最後我們測試最大範圍值 $9+9=18$ 的運算，被加數和加數的數值最高可以到十進制的九，九加上九會等於十八，跟輸出的結果一樣，而且並不會產生溢位的現象，經過以上的測試結果，可以知道電路的完整性是非常的良好。如圖（十四）所示結果。



圖（十四） $9+9=18$ 的運算結果



圖(十五) 雕刻機拍攝圖

參、結論

一、心得

經過這次的優化測試，發現了實作創新的重要性和發展性，兩個沒有太多相關性的電路經過這次的整合後，發展出更貼近我們生活上的實用電路。實作的結果可以一目了然，不需要在像以前一樣看著 LED 燈，心裡面還要心算一下目前的顯示結果。

在完成連接麵包板的時候，加數和被加數的輸出結果都很正常，不過經過運算之後，最終的輸出結果有時正常，有時會有些微的誤差。推測可能的因素為數位 IC 的腳位跟麵包板的連接不夠牢固。在老師的建議與指導下，利用 Altium Designer 這套軟體來設計 PCB 電路板，由雕刻機雕刻輸出 PCB 板。接著使用烙鐵將本電路的相關元件焊接到 PCB 電路板上的對應位置。使用焊接的方式完成成品，可以改善元件間接觸不良的問題，以增加電路整體的穩定性。

二、學習成果

- （一）從本次寫小論文過程中，學習到利用 Tina 電路模擬軟體分析電路，先確認電路設計是否無問題。
- （二）本次的實驗過程中，學習到如何操作 Altium Designer 這套軟體，從繪圖、元件佈局、規則設定、自動佈線、手動佈線修正等一連串的操作步驟，讓我收穫滿滿。
- （三）從這次小論文的撰寫過程中，在實作過程遇到困難，要如何去面對問題且找到解決的方案，雖然花了很多時間仍沒有解決，最後請益老師給予指導

協助，學習到如何找出問題的癥結點，讓問題能夠迎刃而解。

三、未來方向

本次的是利用數位邏輯的基本 IC 完成可顯示數值之 BCD 加法器電路，在目前的高二下課程中，學習到電路板進階設計課程、Arduino 微控制板晶片控制實習、CPLD 邏輯設計等科目。相信未來，我可以利用這些所學的核心專業技能，設計出兩位數的被加（減）數跟加（減）數運算，除了做加法運算之外，也可做減法運算。

肆、引註資料

註一、蕭柱惠（2015）。**數位邏輯實習**。新北市：台科大圖書

註二、蕭柱惠（2015）。**數位邏輯**。新北市：台科大圖書

註三、徐慶堂、黃天祥（2015）。**電子學 I**。新北市：台科大圖書

註四、黃仲宇、梁正編著（2014）。**基本電學 II**。新北市：台科大圖書

註五、張義和（2013）。**新例說 Altium Designer**。新文京出版

註六、7483 數位 IC 接腳圖。加法器。取自 goo.gl/pNemNw

註七、七段 LED 顯示器接腳圖。Electrical。取自 goo.gl/z1a5L4

註八、BCD 碼與 4 位元二進制數的差值和比較表。**解碼器**。取自 goo.gl/Ej8mq4