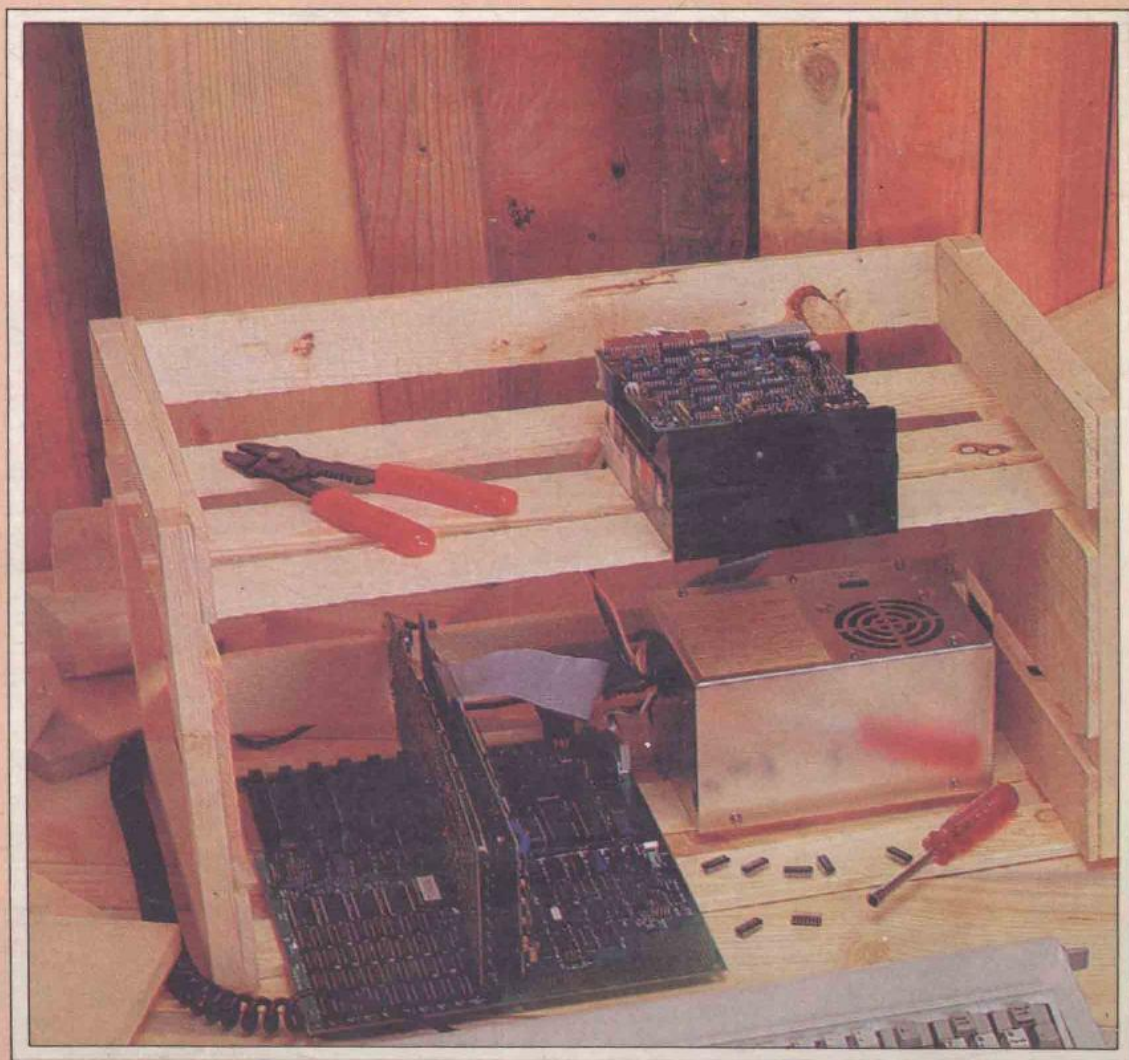


第3級 電腦叢書

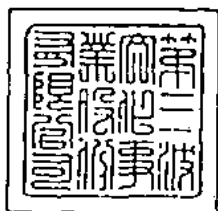
如何自製一台 Z80 電腦

Steve Ciarcia 原著
周敏生 譯



第3級文化事業股份有限公司

版權所有



翻印必究

如何自製一台Z80電腦

譯者：周敏生

住址：中華民國台灣省台北縣三重市仁愛街27巷38-1號

發行人：施振榮

住址：中華民國台北市復興北路315號

發行所：第三波文化事業股份有限公司

住址：中華民國台北市復興北路313巷1號2樓

總經銷：船塢書坊

住址：中華民國台南市博愛路72號

電話：(06)2241795-2255704

印刷所：明翔彩藝印刷有限公司

住址：中華民國台北市西園路二段376號

郵政劃撥帳號：0706767-7 帳號

第三波文化事業股份有限公司

定價：230元

中華民國七十三年九月初版

中華民國七十四年三月再版

出版登記證：局版台業字第3010號

序

幾年以前，當微處理器剛問世時，電腦玩家和電子工程師是不可分的。工程師們整天埋首於工作中，從一部接一部的機器焊接中自得其樂。曾幾何時，完整組合與包裝的電腦系統價格大幅滑落。演變至今，任何人只要有興趣，幾乎不需要考慮任何技術背景，都可擁有及操作電腦，購買一部個人電腦和購買電視機。幾乎已經沒有兩樣，而電腦玩家的境界也提升了。

任何流行時尚的改變，我們都可以由發行的文章，書籍上看出追隨者的主要關心所在。而隨著計算機科學的流行，坊間電腦書架上的書籍所強調的技術也逐漸偏離硬體設計。我們很少再能看到新出版的電腦書名為“邏輯開動作原理”一類的入門書，相反的大多數的電腦書，不是把微電腦硬體看得太簡單就是想把整本“食譜”囫圇吞棗，一下子全部納入篇幅而忽略了一些有趣的素材。

筆者在BYTE雜誌開闢專欄已有數年之久，而由讀者的反應中發現，仍然有許多人對硬體設計很有興趣，而且對自己動手做些東西更是熱衷。同時，我們也發現市面上供這些人士參考的素材實在太少了。許多來自於大學、工專、高中、職校的學生，他們都已經看過說明，也詳細研究過方塊圖，但是仍然渴望有實作的解答及系統性的範例，並向筆者發出詢問。遺憾的是，坊間幾乎很難找到這麼一本書。

我們為以下兩類讀者精心設計了“如何自制一台Z80電腦”這本書：一類讀者是擁有探求技術領域的興趣，而希望了解微電腦內部結構的讀者；一類是已經具有基本電子常識，而希望能夠自己製作，而不是掏錢購買一部個人電腦的讀者。當然，對於一般讀者而言，這也是

一本了解電腦技術層次的入門好書。這不是一本由邏輯開始討論的電子入門手冊，更不是一本只供工程師閱讀的書籍，本書的目的乃在提供讀者對於電腦結構實用的，進階式的分析，以及完整的，有效的架構細節。

本書所介紹及製作的電腦，稱為ZAP 電腦，係以標準的Zilog Z 80 微處理器晶片為基礎而架構。所以選用Z 80 是根據它的容易取得及成本低廉，正如ZAP 的其它元件也是根據此一原則而決定。而為了進一步幫助在家中動手製作的讀者，以及考慮到有些讀者可能希望由一本書的後面作為開始，因此筆者在附錄A中列出供應燒錄好的EPROM的一家廠商。

這本書的結構是根據製作時階段性地合理程序而編寫，對於操作原理也力求實用的討論。其目的是雙方面的，讓讀者獲得自行製作的自信心，以及透過實際的範例，讓本書的素材更具吸引力。

儘管本書基本上可以稱為一本“製作手冊”，但是筆者在提供讀者關於電腦設計時許多“為何”及“如何”的考慮點上也費了很多心思。我們提供讀者許多有趣的主題，如微處理器的內部結構，記憶體映射，輸出入介面，電源供應，週邊的通訊傳輸以及程式規劃等。雖然筆者列出ZAP 的各種規格細節，但是我們的期望是讀者在看完本書後能真正架構出一部屬於自己的“個人”電腦。ZAP 只不過是一部實驗工具而已，我們大可將之擴充以適用於各種應用。

我們將ZAP 分為數個可以獨立檢查及使用的次系統來製作。而第一項工作便是由電源供應器，因為它測試簡單，而且製作成功之後可以讓讀者立即信心百倍。這部提供三種電壓的電源供應器，不但擁有過電壓及溫度過高的保護，而且也具有供擴充後的ZAP 系統使用的足夠電流。

接下來我們依序架構邏輯，並於中間加入測試步驟以確保成功，我們先架構 ZAP 的基本部份，然後由讀者自行選擇希望加上的週邊。書中包括了十六進制顯示器，鍵盤，EPROM 燒錄器，RS-232C 介面，卡帶儲存系統，CRT 終端機，另外也闡有專文說明 ZAP 與類比訊號的介接。我們也提供了可以將 ZAP 轉換為數位語音合成器的電路，以及資料獲取系統。

我們以 1K 的軟體監督程式來協調基本電腦系統及週邊的工作，而所有的軟體我們都以流程圖加以解釋，監督程式是系統中不可或缺的主要部份，而藉著它的幫助，ZAP 才能做為一部電腦終端機，精密的控制器或者是軟體發展系統。

“如何自製一台 Z-80 電腦”是一本充滿趣味的硬體進階書籍。我們儘量拋棄過於細節的微電腦理論說明，而專注於提供已經具有基本電子常識或充滿主動進取精神的讀者實用的分析。謹將這本書獻給所有希望知道微電腦如何製作的讀者。

史提夫·余契爾

目 錄

第一章	電源供應器.....	1
第二章	中央處理器基本概念.....	31
第三章	自己動手做電腦——由基礎著手.....	39
第四章	基本週邊設備.....	97
第五章	ZAP 監督程式軟體.....	133
第六章	EPROM的程式燒錄.....	169
第七章	ZAP 與生活的結合.....	183
第八章	CPT 終端機的製作.....	231
第九章	微處理器.....	249
附錄A	架構技巧.....	357
附錄B	ZAP 作業系統.....	363

第一章

電源供應器

僅僅具有中央處理器電路卡，再加上一些輸出入（I/O）及記憶體，還夠不上稱為一部電腦。打從我們走到電腦旁邊，按下開關開始，系統的正常運作便得有電源供應器的良好運轉才行。一本介紹如何架構電腦系統的書如果不先介紹如何製作適當的電源供應器，顯然會美中不足。

關於直流（DC）電源供應器的文章到處可見。一些常見的類型如 DC 至 DC 及 AC（交流）至 DC 轉換器（Converter），交換式及並聯式（Switching and Shunt）調整器，定電壓變壓器等等。本書並不希望讓每一位讀者成為電源供應器的專家，而是將我們要用來做為 Z 80 應用處理機（Z 80 Applications Processor；ZAP）電源供應器的特殊直流電源供應器做一番介紹。

就大型的電腦而言，DC 供應器必須轉換大量的能量來運轉數以千計的邏輯晶片；當然，製造商必須選擇最有效率的功率轉換方法。但是這些電源供應技術，對於只是希望架構簡單原型機種的我們而言，事實上是太昂貴也太困難了。幸好，ZAP 所需要的功率比大型電腦小了很多，我們可以應用現有的設計方式，加上近年來在調整器（regulator）的進展，來架構我們所需的電源供應器。圖 1-1 為 ZAP 電源供應器的方塊圖。

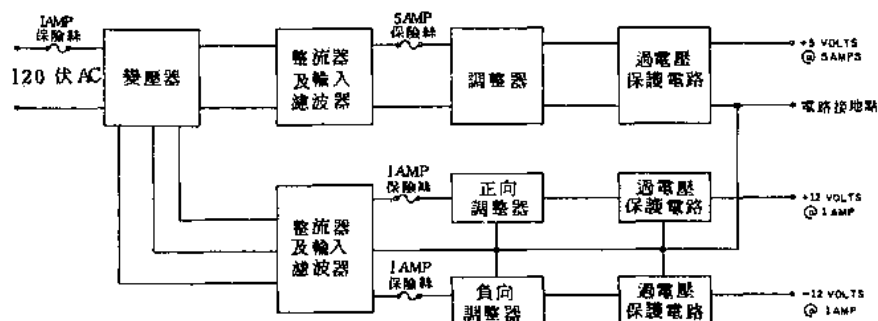


圖 1-1 ZAP 的基本電源供應器方塊圖

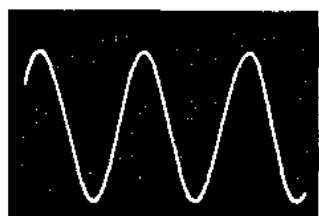
供應 ZAP 功率所需的三種 DC 供應器均由下列三個模組所構成：①變壓器部門，用以將 120 VAC 綫電壓降為電腦所用的較低電壓；②輸入整流器／濾波器，用以將 AC 轉換為低紋波（ripple）DC；③調整器，將輸出穩定於某一固定電壓等級。至於過電壓（Overvoltage）保護電路將另外討論。

許多人常會忽略變壓器及輸入濾波器正確規格的重要性，因為他們往往忽視了濾波器設計不良將會造成的後果。這部份得怪半導體製造商，因為它們提供了太多誇耀其調整器電路的技術訊息。人們很容易便由這些“訊息”獲致：調整器部門是整具電源供應器中惟一值得特別考慮的結論；而事實上，調整器設計的進展以及高功率，三端點調整器的出現，已經使得類比設計在這項應用中日趨沒落。在過去要架構適當的電腦調整器，必須用到二十餘種元件及繁雜的計算，而今天，整個設計只要用到一只簡單裝置便可完成。儘管如此，我們卻也不可輕忽了輸入濾波器部門的重要性，同時更要予以慎密計算。

運轉 ZAP 要用到三個供應電壓。每只供應器都具有輸入濾波器部份。由於 +5 V 的電源供應是最重要的，因此它也受到最大的重視。就現在所討論的目的，我們將供應器分為兩部份：變壓器／輸入濾波器，及輸出調整器。

典型輸入濾波器的方塊圖示於圖 1-2。依最簡單的形式來說它可分為功能如下所述的三個部份：

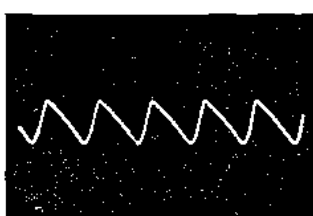
- 將供應器與電源綫隔離，並將 120 VAC 輸入降低為可用的低壓 AC 的變壓器。
- 將 AC 轉為全波 DC 且滿足濾波電容所需充電電流的橋式整流器。
- 在充電週期間維持足夠電壓，以滿足調整器輸入電壓限制的濾波器電容。



照片 1-1 飽和變壓器
的 120 VAC RMS
輸出入波形。



照片 1-2 整流器波形



照片 1-3 各種負載
下的紋波波形。

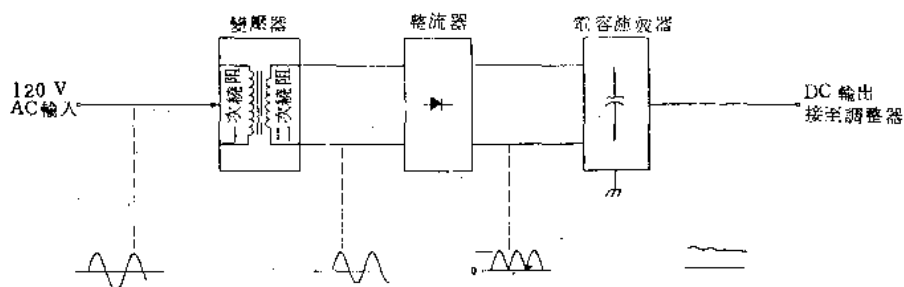


圖 1-2 典型輸入濾波器方塊圖

輸入濾波器的設計

我們也許會認為變壓器的規定，是電源供應器設計的第一項考慮因素。這樣的想法只能算對了一半。大略的輸出電壓可以很快地決定，但確實的需要，則必須由所要的輸出電壓往回做整體的分析才能求算出來。在實用上，只有當我們能自行製造所需的變壓器時，合理的推測及仔

細分析兩者之間的差異才會變得有意義。然而在大多數的情況下，我們却必須信任坊間具有標準輸出電壓之變壓器。因此，我們在此地的討論方式也是基於實用的電源供應器設計，而不涉及對我們不具特殊意義的工程細節。

一般送到變壓器一次繞阻端的電壓，是 120 VAC RMS（均方根）的正弦波。圖 1-2 所示為濾波器部份各點上的電壓波形。照片 1-1 說明 120 VAC 實際上為 340 V 峯對峯（peak to peak）值，在做元件絕緣及安置時，必須特別注意到此。

二次繞組端的輸出電壓同樣亦為正弦波，但是電壓值較小。接著它被送到全波整流電橋，而其波形有如照片 1-2 所示。我們當會發現，在峯與峯之間有一小段平坦的部份。由於我們所面對的是實際元件而非理論模式，因此我們必須知曉一些特性。矽二極體具有臨限（threshold）特性，因此跨越各二極體時會有大約 1 V 的電壓降。此一電壓降在全波電橋的設計中具有其重要性，正如圖 1-3a、1-3b 以及照片 1-2 所示，當二極體串聯時此一電壓降亦具累積效果。在電橋中 2 V 的電壓降是一項極重要的考慮因素，而且必須納入計算中。

電壓調整器必須具有某一特定的最低 DC 電壓，才能維持固定的電壓輸出。如果供應的電壓低於此一最低點，則輸出的穩定性將大為降低。因此我們利用濾波器電容，將正弦波經整流後的尖峯予以“平滑化”。當二極體導電時，電容儲存足夠的電量以便在下個充電週期之前保持最低以上的電壓（實際上我們不希望太接近極限值）。輸入到變壓器的電壓為 60 Hz，但是由於全波整流的特性，充電週期變為 120 Hz。照片 1-3 所示為週期性的充電／放電現象。介於週期中兩尖峯值之間的電壓變動大小稱為紋波（ripple），波形中包括紋波的最大電壓稱為峯值電壓（peak voltage）。以上兩者非常重要，圖 1-4 說明二者的關係。

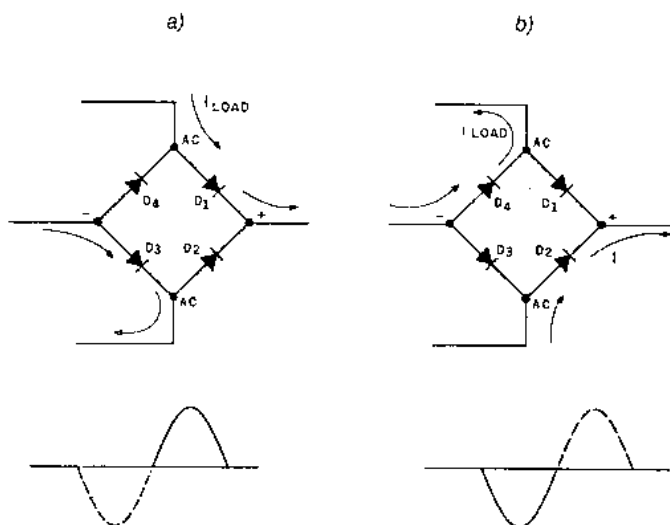


圖 1-3 全波電橋中電流的方向

- a) AC週期的正半週，電流經 D_1 及 D_3 ； D_2 及 D_4 則不導電。 $V_{D1} + V_{D3} \approx 2V$ 。
 b) AC週期的負半週，電流經 D_2 及 D_4 ； D_1 及 D_3 則不導電。 $V_{D2} + V_{D4} \approx 2V$ 。

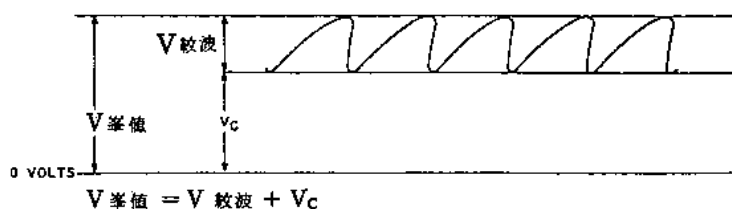


圖 1-4 輸出電壓為穩態電壓及紋波電壓的加成

有了以上這些基本認識之後，接下來我們可以開始考慮手頭上這個特殊的個案：設計 $5V$ ， $5A$ 電源供應器。根據我們稍後將會討論到的理由，供應器的 $5V$ 調整器部份，若要正常運作，則所需的絕對最低限為 $8.5V$ 。也就是說，不管 V_{PEAK} 及 V_{RIPPLE} 為何，最後的 V_C 電位不能

低於 8.5 V，否則調整器會失效。藉著為我們自己留些餘裕，假定 $V_c = 10\text{ V}$ ，我們可以在計算上稍微粗略些，但仍能有相當好的設計。若超出 10 V 太多，雖然仍能符合標準，但是會增加功率損耗，同時也可能造成對調整器的傷害。持著保守一些的態度總是比較好，經驗告訴我們加上一些保險還是值得的。

我們現在知道 10V 是設計的目標，因此可以適當地選擇其它濾波元件以達成此一目標。圖 1-5 為 5 V 供應器的濾波器電路。 R_s 為變壓器二次繞阻的電阻值。就 5 至 8 A 的變壓器而言，平均值大約為 0.1 歐姆。現有的數值包括：

$$V_c = V_{\text{調整器最小輸入電壓}} = 10\text{ V}$$

$$I_{\text{out}} = I_{\text{調整器負載}} = 5\text{ A}$$

$$R_s = R_{\text{變壓器二次電阻}} = 0.1\text{ ohm}$$

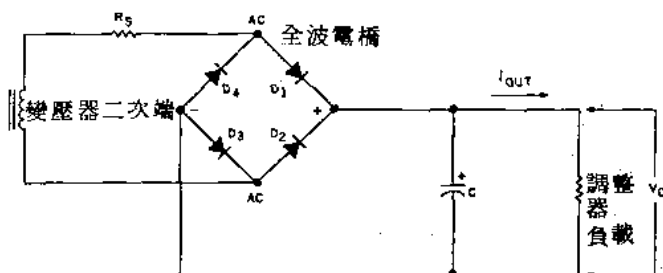


圖 1-5 5 V 電源供應器的濾波電路

V_{PEAK} 可以是任何調整器額定的最大輸入電壓，但是 V_{PEAK} 越大，則電路的功率消耗也愈大。設計電源供應器的第一條定理就是： V_{PEAK} 應較 V_c 高大約 25%，這樣可以使電容值保持在合理範圍內。 V_c 對 $(V_{\text{PEAK}} - V_c)$ 的比率，稱為濾波電容的紋波因子 (ripple factor)。

$$Y_s = \frac{V_{\text{PEAK}} - V_c}{V_c} = \frac{12.5 - 10}{10} = 25\%$$

在 5 A 時，紋波因子為 25%，可以使電容的紋波電流落於可接

受的額定範圍內，同時也使我們不必去研究電容製造商的規格。紋波因子並無特殊限制，但應儘可能的低。

求算電容質

我們已經知道電容必須在峯值輸入為 12.5V 下維持 10 V。

$$\left. \begin{array}{l} V_{\text{PEAK}} = 12.5 \text{ V} \\ V_C = 10 \text{ V} \\ V_{\text{RIPPLE}} = 2.5 \text{ V} \end{array} \right\} V_C = V_{\text{PEAK}} - V_{\text{RIPPLE}}$$

其次要考慮的地方，就是選擇一個可以達到上述目標的電容器。以下所示為可以節省大量計算的規則：

$$C = \frac{dt}{dv} I$$

其中

C = 電容 farad 值 = ?

I = 最大調整器電流 = 5 A

dt = 電容充電時間 = 8.3 ms (120 Hz)

dv = 容許的紋波電壓 = 2.5 V

代入吾人電路的數值，可得

$$C = \frac{(5)(8.3 \times 10^{-3})}{(2.5)} = 16.6 \times 10^{-3} \text{ 法拉第}$$

或

$$C = 16,600 \text{ 微法拉第 (}\mu\text{F)}$$

通常市面上的電解質電容器的誤差為 + 50 及 - 20 %。為了安全起見以及方便尋找現有的電容，因此最好採用 20,000 μF 。額外的 3,400 μF 進一步減少了 0.4 V 紋波，並給我們一些“保險”。有關電容的另一項考慮因素為操作電壓。由於設計指出 V_{PEAK} 為 12.5 V，這應當是個合理的額定值。但是，經驗告訴我們變壓器在停止操作時輸出電壓會較

標示值為高，同時當綫電壓高達 125 VAC 時，115 VAC 下，12.5 V 的額定電壓會達到 13.6 V。因此電容器額定電壓應選擇 15 VDC，但是筆者建議各位採用較高的標準值，20 VDC。

由上可知電容為 20,000 μ F，20 VDC。整流器可以是單晶片全波電橋，也可以採用四只二極體連接。由於電橋通常是整套包裝好的，因此我們必須標明四個端點，而不是由四只二極體的極性個別判斷。四個端點分別標記為兩個 AC 輸入端，及 +，- 輸出端。

整流器

選擇整流器 (rectifier) 時有三項主要考慮因素，分別為額定突波電流 (Surge Current Rating)，額定連續電流 (Continuous Current Rating)，以及額定 PIV (峯值反向電壓) 值。上述三項考慮因素應予以特別注意。

電源剛打開時，電容器為完全放電狀態。事實上，此時電容器對於電壓源而言，瞬間阻抗為 0。因此剛開始時電流所面對的阻抗僅包括變壓器的二次繞阻及連接綫而已；設計師因此往往會另外加上一只串聯電阻以限制突波電流。

電路中的突波電流為：

$$I_{\text{SURGE}} = \frac{V_{\text{PEAK}}}{R_s} = \frac{12.5}{0.1} = 125 \text{ A}$$

而電容的時間常數為：

$$\tau \cong R_s \times C \cong (0.1)(20 \times 10^{-3}) = 2 \text{ ms}$$

依據直接的推論，只要 I_{SURGE} 小於二極體的額定突波電流，則突波電流不會對二極體產生損害。同時

$$\tau < 8.3 \text{ ms}$$

除非我們已經選定二極體電橋，否則我們無法得知額定突波電流，

但是可以先決定另外兩個參數。

選用的電橋可以為下列二者之一：

Motorola MDA 980 - 2 : $I_{\text{CONT}} = 12\text{A}$, $I_{\text{SURGE}} = 300\text{A}$,
 $\text{PIV} = 100\text{V}$

Motorola MDA 990 - 2 : $I_{\text{CONT}} = 27\text{A}$, $I_{\text{SURGE}} = 300\text{A}$,
 $\text{PIV} = 100\text{V}$

上列二電橋的額定突波均為 300 A，因此可以滿足吾人所需。

PIV

所謂的 PIV（峯值反向電壓）是在二極體損壞之前所能加於其上的最大電壓。二極體和電容的特性不同，暫態(transient)的出現，一不小心就會將它燒壞。在 115 VAC 輸入端上出現 400 V 的暫態並不足為奇，但這將使吾人原先的 12.5 V 突然跳升至 43 V！因此電橋整流器的額定 PIV 值最少應為 50 V。多花一些錢，我們可以擁有 PIV 值為 100 V 的電橋。記住，為了保險而多花的一點錢絕對比一部電腦少。

連續電流

最後一項考慮因素是額定連續電流。儘管調整器的輸出是設定在 5 A，但我們選用的調整器若發生短路時，電流將高達 7 A。雖然這並非標準操作過程，但卻有發生的可能性。因此，筆者建議使用的最起碼標準元件為 12 A，50 PIV 的電橋。較佳的選擇則是 12 A，100 PIV。或者我們可以另外多花 15 % 的費用而選用 27 A，100 PIV 的元件。最後一種設計選擇顯得很突兀，但若電容器突然短路時，這種選擇卻可以挽救二極體電橋。6 A 的變壓器在短路時有可能達到 12 A 以上，但是卻不大可能達到 27 A。上述兩種選擇皆能符合設計要求，讀者可由

成本效益上予以比較選用。

變電器

接下來考慮變壓器的選擇。我們已經知道跨越各元件上的電壓降，根據這些數值吾人據以計算所需的二次電壓RMS（均方根）值如下：

$$\begin{aligned}V_{SEC(RMS)} &= \frac{V_C + V_{RIPPLE} + V_{RECT}}{\sqrt{2}} \\&= \frac{10 + 2.5 + 2.0}{1.414} \\&= 10.25 \text{ V}\end{aligned}$$

V_{RECT} = 各二極體電壓降——（分別為約1 V左右）

實用上，選擇10 V，6 A的標準變壓器即可適用。

+及-12V電源供應的元件選擇，也是依上述方式來計算及衡量，不同的是所需電流僅為1 A，同時由於特殊的整流器結構，建議讀者採

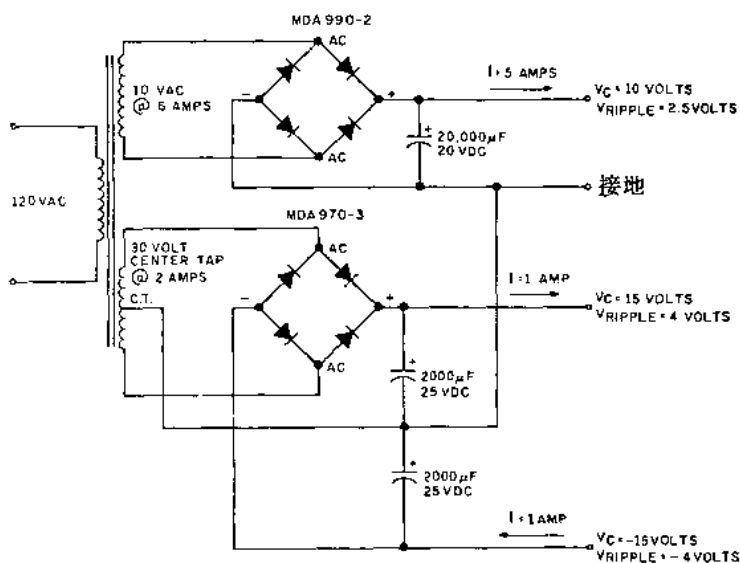


圖 1-6 變壓器及輸入濾波器部份之電路圖