

科學圖書大庫

實用固態電子線路
設計手冊

譯者 張家銘

徐氏基金會出版

科學圖書大庫

實用固態電子線路
設計手冊

譯者 張家銘

徐氏基金會出版

徐氏基金會科學圖書編譯委員會
監修人 徐銘信 發行人 王洪鎧

科學圖書大庫

版權所有

不許翻印

中華民國六十八年七月一日初版

實用固態電子線路設計手冊

基本定價 2.00

譯者 張家銘 現任自動控制機械維護工程師

本書如發現裝訂錯誤或缺頁情形時，敬請「刷掛」寄回調換。謝謝惠顧。

(67)局版臺業字第1810號

出版者 臺北市徐氏基金會 臺北市郵政信箱53-2號 電話 7813686號
發行者 臺北市徐氏基金會 郵政劃撥賬戶第 1 5 7 9 5 號
承印者 大興圖書印製有限公司 三重市三和路四段一五一號 電話9719739

原 序

在電子界方面，沒有任何事，會比得上成功的設計一具合乎自己要求的線路更感到欣慰的，電子線路的設計原則上有兩種方式進行，一是使用解析方式（即數學方式），另一是使用實驗方式，本書採用後者為其重點。

有人說過，能真正考驗所學的知識就是作實驗；對學電子的人而言，電子的確是一門很有趣的知識，我希望讀者將書中技術的重點以實驗方式，把全書貫通，使讀者自己感覺到學習如何設計是一大樂趣。

本書的每一章中，我們首先將一些線路和元件的工作情形作一簡單的說明和討論，接着，詳細解釋如何選用適當元件來製作線路，這樣一步一步的把設計步驟列出，讀者只要具有對交流和直流線路歐姆定律的基本知識和知道如何用一些簡單的測試儀表，如多用表、示波器和交流信號產生器等就足夠應用了。

讀者在本書中各重點部分會看到一些短的例題和測驗題，一部分習題需利用書中的公式來求解答，另外的只需做選擇性的回答；例如“當線路中 R_2 減少時，點 A 的電壓將（增加、減少、不變）。”利用這種智力上的實驗（Mental experiment）得到的答案與書後的正確解答做一比較，讀者可以測驗出對本書內容了解的程度。

當讀者把這本書看完後，就可以利用簡單的元件，開始設計基本的線路，同時也學習到一些有價值觀察力，利用實驗的手段，來修改某些線路，以符合讀者自己的要求。

本人在此願對 George B. Rentowski, P. E. 先生的幫忙和指教，深致謝忱，同時對內人 Betty 繕稿打字的耐性表示敬佩。

JEROME E. OLEKSY

譯 序

近十多年來，固態電子學的蓬勃而神速進步，電子技術應用範圍日漸廣泛，新發明的電子裝置不斷的推出，使得從事電子技術工作者必須不斷吸收新知，才不致脫節，目前坊間電子方面書籍甚多，但大部分均偏重於高深的理論及數學方式的表達，這些對擔任實用電子技術工作者而言並不完全合適，因此譯者特別選擇這本以實用為着眼的書供國人參考。

本書的特色是以實用為基礎，用深入淺出的實驗方式描述線路之工作原理及元件作用，來說明線路設計的重要步驟。

全書共分九章並附習題解答，書中詳述電源供應線路、場效應電晶體線路、運算放大器、微分線路、波形產生器、音頻功率放大器及已調電源供應等線路的工作原理及實用設計要點，對從事實用電子設計和檢修工作者及高工、專科電子科學生而言，是一本完善的實用電子技術書籍。

譯者翻譯時，詞句上力求簡明平易，以口語的筆法譯述，絕無生澀難以了解的感覺，希望讀者看完本書後，對實用電子設計有一基本的認識，但因平日工作繁忙，公餘時間有限，匆促付梓，倘有疏誤之處在所難免，尚祈國內學者、專家不吝指教並提供寶貴卓見。

張家銘 謹序于台北市

中華民國六十八年 三月一日

目 錄

原 序

譯 序

第一章 電源供應

固態二極體.....	1
半波整流器.....	4
全波整流器.....	12
全波整流電橋.....	14
設計步驟摘要.....	18

第二章 電晶體放大器設計 (單級)

二極電晶體.....	24
偏 壓.....	26
交流信號的放大.....	31
分壓式偏壓.....	35
溫度的影響.....	40
總 結.....	40

第三章 電晶體放大器的設計 (串接式)

輸入阻抗.....	42
射極追隨器.....	47

放大器的回授	52
頻率對 RC 級間交連的反應	59
增益的控制	62
其他設計上的要點	64
設計 RC 交連放大器的步驟	67
總 結	68

第四章 場效應電晶體

接面場效應電晶體特性	69
接面場效應電晶體的放大器	72
金氧半導體場效應電晶體	77
場效應電晶體的應用	81
總 結	86
場效應電晶體名詞解釋	86

第五章 微分放大器和運算放大器

微分放大器	87
運算放大器	95
理想的運算放大器	96
倒反放大器	97
非倒反放大器	98
電壓追隨器	99
加算器	100
積分器	101
微分輸入放大器	103
總 結	105

第六章 積體電路運算放大器運用

輸入補償電壓對輸出的補償	106
輸入偏壓電流引起的輸出補償	108

頻率反應.....	110
積體運算放大器的使用說明.....	113
總 結.....	116
運算放大器的名詞解釋.....	116

第七章 振盪器和波形產生器

移相振盪器.....	119
雙T型振盪器.....	122
方波產生器.....	124
正弦波轉換為方波.....	129
方波轉換三角波.....	129
波形產生器.....	131
總 結.....	134

第八章 音頻功率放大器

互補對稱放大器.....	135
散熱座.....	144
製作功率放大器的要點.....	146
總 結.....	147

第九章 已調電源供應

曾納二極體調整器.....	148
大電流電壓調整器.....	152
可變電壓調整器.....	156
電流限制器.....	160
總 結.....	164

測驗題解答

第一章 電源供應

幾乎所有的電子線路都需要某種形式的電源或電的供應，比如音響或數據器材的放大器在基本上就是一具能量的轉換器，它通常是把直流功率轉換成交流信號的功率；最普通形式的電源就是來自直流電源供應，這種供應可使用電池或用整流線路將交流的電源轉換成適當的直流。電池對一般手提式的器具來說是相當合適，可是用久了電力越來越弱；所以，在電流需求較大或使用電池不方便的器具上，只有用整流式的電源供應才是最為實用的解決方法。

本章中，我們將提到在半導體電子裝置上最常用的幾種整流電源供應線路，它們都屬功率較小的整流器，供應電壓通常在一百伏特或以下，電流輸出最高為一至二安培左右。

我們知道交流電與直流電間的差異是交流電在每一段時間內變換它的電流方向，而直流電只有單一方向。爲了將交流改變成直流，把電流固定爲單一方向，我們所需的電子元件叫二極體或二極管（Diode）。

固態二極體

固態二極體是由兩種不同的半導體材料接合在一起而形成的，半導體材料的導電性不及良好導體，銅，但它的絕緣性又不及絕緣體，玻璃。這種半導體的材料有兩種，一種叫N型材料，另一種叫P型材料，它們是將一定數量的砷、銻、銻等雜質存放在鍍或矽晶體中。如果在製造矽晶體過程中，將砷原子融入，就變爲N型晶體；換句話說，N型晶體內有可以自由運動的負電荷載子（即電子）。同時，如果將銻原子融入矽晶體製造過程中，該晶體內即產生可以自由運動的正電荷載子（即電洞）。

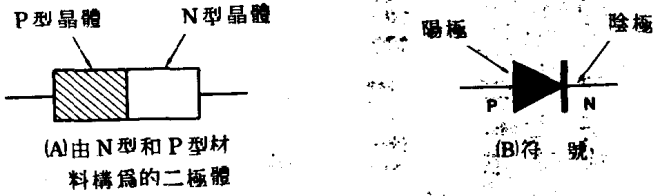


圖 1-1 固態二極體。

目前坊間有許多解釋二極體如何工作及電子、電洞如何產生運動的物理書籍，因此，就實用的立場而言，一般只要了解到固態二極體是由兩種不同的半導體材料——N型和P型接合而成，就足夠應用了。固態二極體如圖 1-1 A，它的符號如圖 1-1 B。二極體 P 型材料稱為陽極，N 型材料稱為陰極，把 N 型和 P 型材料接合成一體稱為接面二極體 (Junction diode)。

根據上面的說明，當陽極電位高於陰極時，二極體開始單方向導電，如圖 1-2 A，圖上二極體標誌的箭頭即指示傳統電流的流向，因此，當二極體導電時，我們稱為順向偏壓 (Forward-biased)。圖 1-2 B 中，陽極比陰極為負，二極體不導電，我們稱二極體狀態為反向偏壓或逆向偏壓 (Reverse-biased or Back-biased)。

不同廠商生產的二極體有不同的外殼及封裝方式，圖 1-3 所示僅其中幾種。通常大部分二極體在陰極端用一條粗線或粗條來表示，外型大的是用於較大電流。二極體的編號大部分用 1 N 做起頭，例如 1 N 914，1 N 4001 等等，二極體材料不是用鍍就是用矽，本章中我們僅討論

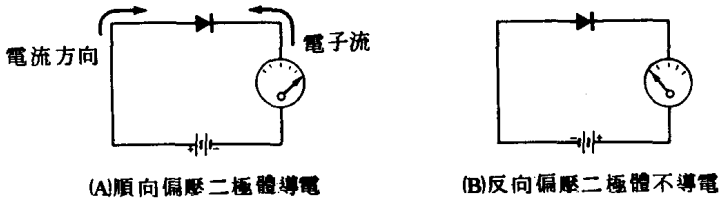


圖 1-2 二極體工作情形。

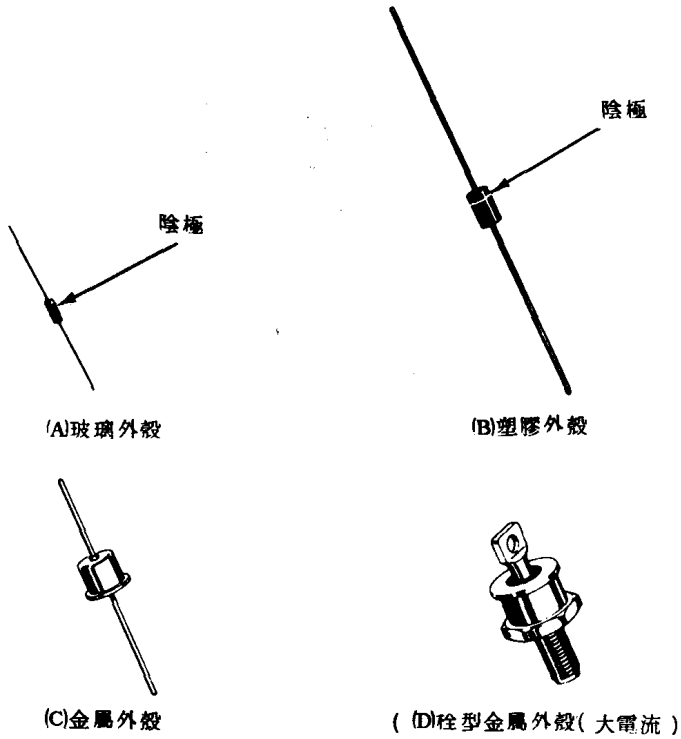


圖 1-3 二極體的封裝。

整流二極體，這種二極體平常都是用矽製成的。

我們用一具簡單的電阻表即可說明二極體的作用——順向偏壓時導電，反向偏壓時不導電。如果把電阻表以圖 1-4 A 的方式接在二極體，則電阻表內的電池對二極體產生順向偏壓及電流流動，所以，電阻表的讀數很低。如果將電阻表的測試端予以對調（即反向偏壓加予二極體），沒有電流流動，電阻表讀數非常高，如圖 1-4 B，最重要需記得，在某一方向量到的是低電阻，另一方向為高電阻。所以，萬一二極體沒有標誌時，用這種簡單方法測試即可決定那一端是二極體陽極，那一端是陰極。不過，使用上述方法，你必須先確定那一支電阻表的測試棒是內部電池的負極，通常表面插口標有共用（Common）者是負端。

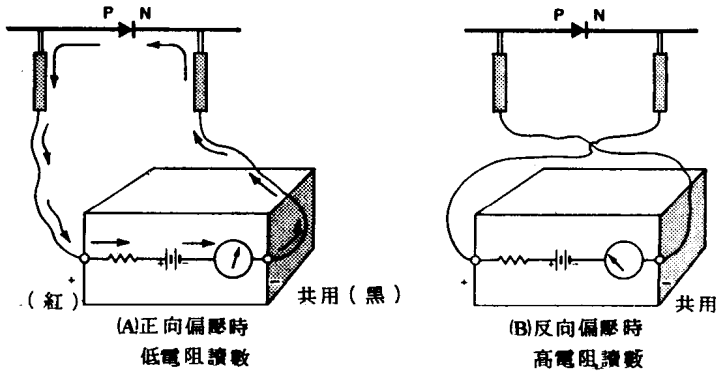


圖 1-4 用歐姆表量二極體工作情形。

半波整流器

我們把二極體當整流器，把它連接在交流信號產生器上，如圖 1-5 A，然後量圖中 A 點對地的電壓（設交流信號產生器輸出為十二伏的正弦波，如圖 1-5 B）。如果量圖中 B 點對地的電壓應多少呢？因為二極體只有在陽極電位比陰極為正時，才通過正半週，換句話說，二極體當在正半週時，就像一具閉路的開關，負半週時，二極體就如同一具開路的開關。所以，負半週時，沒有電流通過 R，整個加在 R 上的波形如圖 1-5C 所示，像上述所提到的二極體，我們稱為半波整流器（Half-wave rectifier）。

加在 R 上的波型就相當一直流，如果你用一直流電壓表量 R 兩端電壓，就可得到一直流電壓，反之，量點 A 至地電壓，直流電壓讀數為零，因此可以說二極體將交流電轉變成直流。上述的直流電壓數值 (V_0) 只等於輸入正弦波峯值 (V_p) 的 0.318 倍，在本例中， V_p 是十二伏，所以 V_0 約等於直流電壓 3.8 伏。

我們曾提到過，當使用順向偏壓時，二極體就好像一具閉路的開關，不過這種說法只是對理論上的理想二極體而言；實際使用的二極體，在導電時，通常會有微小的電壓降落，這種電壓稱順向壓降， V_f ，（Forward voltage drop）。鍍二極體大約為 0.3 伏，矽二極體

約為0.7伏，以圖1-5 C為例，如用矽二極體，加在R上的正半波峯值應為11.3伏。導電二極體所產生的微小電壓降通常是可以不計，不過，在低電壓工作狀況下（波峯值低於10伏以下），也許需考慮到這因素。

儘管我們已經把交流轉換成直流，但是它是脈動的、有變化的直流，可是一般電子器具所要求的都是平穩的、不變的直流。因此我們用最簡單的方法消去脈動，在R的兩端上接上一具大容量的濾波電容，如圖1-6。

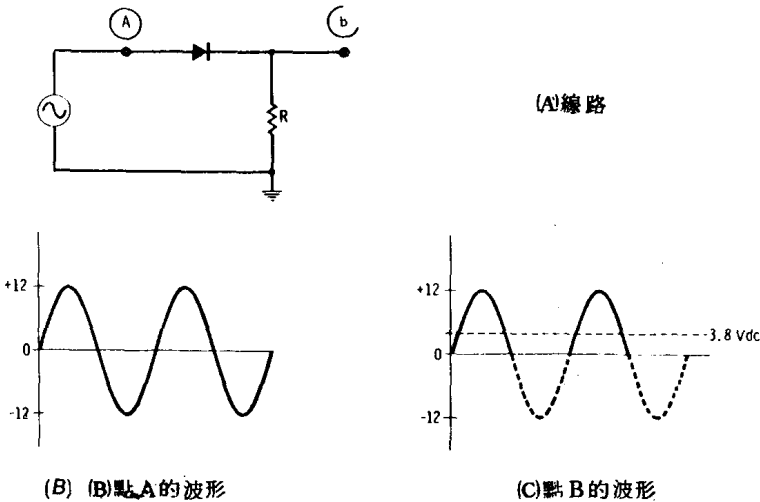


圖 1-5 基本半波整流器。

濾波電路工作情形是這樣的，首先假設電容器未曾充過電，當信號產生器接上後，正半週時有電流流過，在R的兩端產生一電壓，同時，把電容器充滿電；圖1-6 C中時間 t_0 至 t_1 即為充電時間，當時間到達 t_1 後，在點A的電壓開始下降，如圖中虛線表示的正弦波，但是電容器本身仍充滿着地，如果點A正電壓降至比電容器兩端電壓為低時，二極體因處於反向偏壓關係，不導電；此一現象，對電容器而言，變成僅有R跨於兩端，因此，經由R開始放電，如圖1-6 B。只要電容器經R繼續的放電，在時間 t_1 至 t_2 間，就有電壓加諸在R上。如圖1-6 C。

可是，時間 t_2 後，輸入電壓開始高過電容器兩端電壓，二極體開

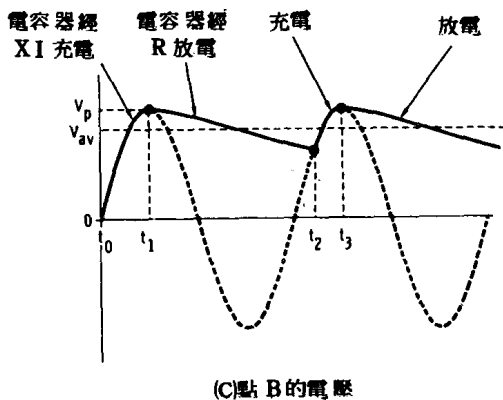
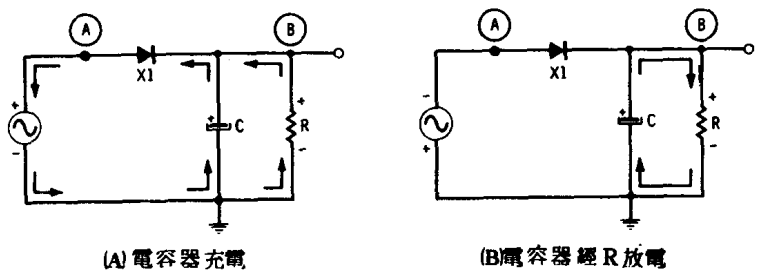


圖1-6 經過整流及濾波後的交流電

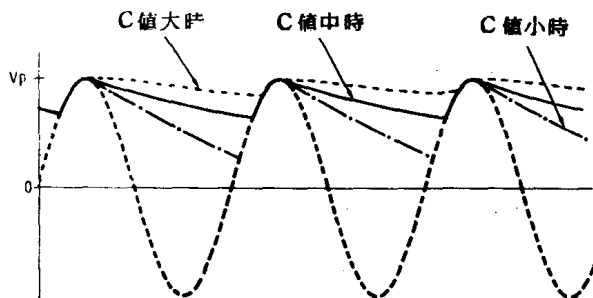


圖 1-7 電容值對濾波的影響。

始處於順向偏壓，使電容器又開始充電等於輸入電壓，圖中 t_2 至 t_3 即表示此一狀態；經過 t_3 以後，二極體變成反向偏壓，電容器又再度開始放電。總之，上述程序一次又一次地重複發生。

把濾波電容器跨接在 R 的目的是使 R 兩端的電壓比較趨於平穩，同時，也使電壓平均值提高。在圖 1-6 C 中，R 兩端的平均直流電壓值 (V_{av}) 約等於輸入電壓波峯至電容器最低電壓之中間值。

儘管如此，跨在 R 兩端電壓仍有小波紋，換句話說，直流電壓上還是有某種程度的漣波。通常，大容量的電容器放電時間可以長久些，所以在兩個相連的波峯間它的放電量並不很大（如圖 1-7 所示）。如果是個線路設計者，不妨選用適當的大電容器，俾將漣波現象減至最小，選用大容量電容器需以不超過需求條件太多為原則，因為尚需顧慮到成本及電容器體積。

如果 R 的值小，則電容器放電愈快，因為流經 R 的電流愈大。同樣的，如果連續充電脈波間的時間較長，則電容器放出較多的電，使直流漣波較顯著，上述的關係知道它的放電電流及充電脈波間的時間，即可以計算出適當的電容量。圖 1-8 中，假設係 60 週的交流電，它充電脈波間的時間為 $1/60$ 秒或為 16.7 毫秒 (ms)，用下列公式即可求出 C 的值

$$C = \frac{I \times t}{V_r}$$

C：是電容量（法拉第）

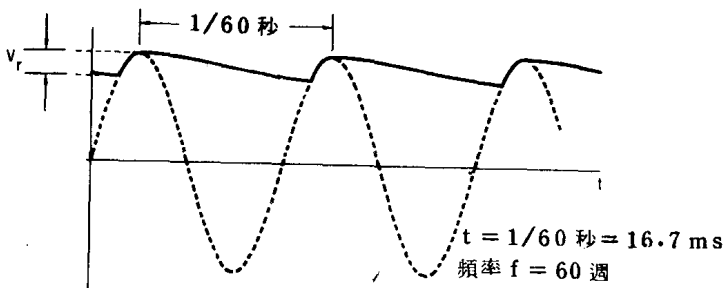


圖 1-8 決定脈波的時間。

I ：是流徑 R 的電流量（安培）

t ：是 16.7 毫秒（以六十週電源計）

V_r ：是漣波的波峯至波谷間電壓（伏特）（Peak-to-peak voltage）

到底漣波電壓的寬容度應多少，通常因器具不同而異，單用一具濾波電容器可以減少漣波(Ripple)至小於點幾伏特。如果，漣波還是太大可另加用濾波器或用電壓調整器，這些問題我們將在後續的章節中討論。

【例題 1-1】

圖 1-6 A 半波整流器求濾波電容器的值應多少？設波峯值間的漣波電壓不得超過 0.5 伏，通過 R 的電流為 20 毫安。

【解答】

$$C = \frac{I \times t}{V_r} = \frac{20 \times 10^{-3} \times 16.7 \times 10^{-3}}{0.5} = 670 \text{ MF}$$

實際應用上，可選用值最相近的標準電容。

購買電容器時，不僅要知道它的電容，更應知道它的工作電壓。所謂工作電壓是指一加在電容器上不會損害電容器的波峯電壓，電源供應系統中它就等於輸入電壓的波峯值。圖 1-6 中的輸入波峯值電壓為十二伏，因此，電容器至少應有十二伏直流工作電壓（Vdcw, working volts dc），當然也可選用工作電壓較大的電容器，可是體積大，價錢貴，超過應當的需求，一般都是用電解質電容器做為濾波電容器，使用這種電容器一定需注意它的極性。

現在討論如何選用二極體，選用時應考慮兩個重要因素，一、有多大的電流通過二極體，二、有多大的反向波峯值電壓加在二極體兩端。製造廠商通常會把平均順向電流值和逆向波峯值電壓（prv, Peak reverse voltage）或反向峯值電壓（piv, Peak inverse voltage）列出來。在前例中，整流二極體通過的平均電流即為通過其負載的電流，等於 20 毫安，所以只要有任何二極體能承受 20 毫安的電流即可採用，你也可用 1 安培或更大的二極體。實際應用上，有人寧可用 1 安培的二極體，因為，1 安培二極體生產的數量多，所以也許在市

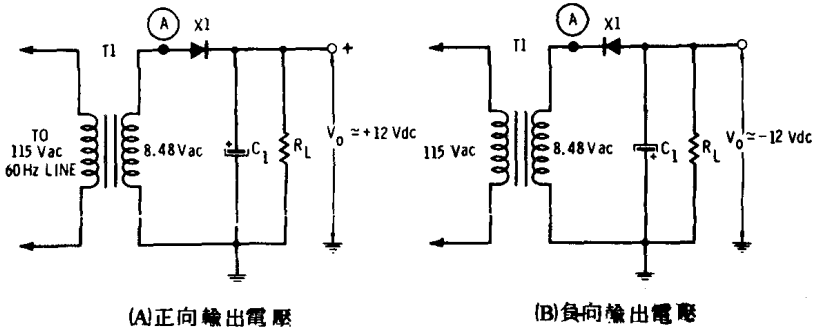


圖 1-9 利用變壓器輸入的整流器。

面上買 1 安培的二極體要比小容量的便宜些。

下一步是如何決定加在二極體兩端的最大電壓，從圖 1-8 中，你可以看出來，當輸入電壓（虛線的正弦波）為負的波峯值時（-12 伏），加在電容器兩端的電壓仍維持近似正 12 伏的波峯值，所以在這瞬間，加在二極體的反向偏壓為電容器電壓加上輸入電壓為 24 伏。也就是說，在半波整流器中，加在二極體的反向波峯值電壓等於兩倍的輸入波峯值電壓。如果要求的電源供應是負的輸出，只需將二極體同濾波電容器的極性反接即可，接路如圖 1-9 B。

變壓器一般是用來升或降電源電壓，以配合供應要求，（變壓器接線如圖 1-9）。變壓器可用於各種不同用途，目前我們僅討論用於整流電源的變壓器。在許多場合裡，電晶體線路的低壓電源供應可採用燈絲變壓器，而且有很好的效果。選用變壓器能考慮兩個主要特性，即二次線圈的電壓及電流。二次線圈電壓通常用均方根值（RMS）計，同你所要求的波峯值電壓有關，因此，應將波峯值電壓換算成均方根值後，再選用適當的變壓器。例如圖 1-5 中的信號產生器如改用變壓器，你所需的二次電壓值應為：

$$\begin{aligned} V_{r.m.s} &= 0.707 V_p \\ &= 0.707 \times 12 \\ &= 8.48 \text{ 伏} \end{aligned}$$

選用變壓器二次電壓完全同於你要求的並不是簡易的事，所以，不