

科學圖書大庫

基礎電晶體學自修叢書(一)

半導體與電路理論

譯者 麥光溥

徐氏基金會出版

科學圖書大庫

基礎電晶體學自修叢書(一)

半導體與電路理論

譯者 麥光溥

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

中華民國六十八年二月五日初版

半導體與電路理論

基本定價 2.20

譯者 麥光溥 台灣大學電機研究所碩士

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

序 言

電晶體是在 1943 年問世的，此後十年內它在大多數的電子電路中幫了真空管不少忙，而在這之後又過了十年，我們發現電晶體已開始在取代真空管了。廿年來電子學的教學方式始終是一成不變的，它遵循著相同的系統：先教基本電學，然後是真空管，然後是電子電路，最後比較電晶體與真空管的工作原理而導出電晶體的觀念。

爲什麼像真空管這種已過時的元件要在電子學的教學上扮演著那麼重要的角色？這原因不外是“傳統”。如今這套書打破傳統而面對現實的世界——也就是半導體電子學的世界。在第一冊裡，我們把半導體理論導入基本電學中，第二冊主要討論一些基本電晶體電路，第三冊討論固態電子收音機及電視機電路，最後第四冊則研究數位電路理論。這四冊書構成了研究電晶體理論的完整系列。

研讀本書時，讀者將可充分獲得有關“固態”電子學方面的知識，包括解決疑難的技巧；再加上編排時的採取的特殊線性規畫法，使得本書完全適合讀者自學之用。在每一章後所附的複習題及解答，以及全書最後所附的總測驗將可供讀者對研讀本書的進度及心得作適當之自我檢討。

前言

本書仔細翻譯電子電路及半導體的基本原理。採取一種特殊的編排方式，使這些原理與讀者所熟悉的裝置，由簡單的類似而發生關聯。在這第一冊裡，我們把以後各冊討論所需的各項基本理論先作詳細的介紹，讀者們若能對這些理論經常加以複習運用，則在此後的學習中將可收得心應手之效。

你將在本書中學到什麼？

本書一開始先介紹電晶體，隨即加強讀者對電壓及電流的正確觀念；以後一章中則詳細解釋電阻的特性及其對電流電壓的效應，並使讀者熟悉歐姆定律及克希荷夫定律的應用；此外還有完整的一章專門討論半導體原理，以使讀者能為第二冊的電晶體電路預作準備；最後本書詳細研究交流電路中電感、電容、及電阻的各項特性。

在開始前你應該先知道什麼？

研讀本書的唯一條件是必須具備簡單的數學知識，包括十進位數、基本代數、及三角學。大部份的數學式均極簡單，且所有的名詞都經過完整的定義。

為什麼本書中採用計式的編排法？

過去數年間，專家們曾發展出許多計式的教學方法，雖然這些用計式的編排法所寫成的教本曾引起不少非議，但這種新穎的教學方式已經可證明是極有價值的。目前大多數教育家們似乎都已同意，計畫式教學可以適用於某些特殊題材，為了使讀者在學習本書時能更有效果起見，在此我們先把本書中所使用的計劃格式稍作介紹。

本書中每一章皆分成數個小節，用最適合於學習的次序依次進行。有些小節非常簡短，短至只有一個單獨的句子，其他比較長的小節可能包含了好幾段。每個小節的長短完全取決於當時所欲說明的觀念是否複雜，也取決於讀者當時的了解程度。

本書是設計成每兩頁自成一段落，在這兩頁中先用一些簡短的詞語標出一項或多項觀念，然後舉例詳細說明這些觀念。在每兩頁最後有一些自我測

驗題，大多數測驗題的形式都是填充題，其他少數題目是多選題或簡答題。這些測驗題的答案都附在下一頁的上端，這樣使讀者有機會檢討其答案是否正確，並確定在進行到下一節之前是否已學到足夠的內容。當讀者發現答案不正確時，應該重新研讀一遍，找出答案錯誤的原因，因此這種問答方式將會使你用最有效的方法和最正確的速度來完成本書的研讀工作。

你應當如何研讀本書？

良好的學習習慣自然是最重要的，讀者們應當每天選擇一段固定的時間在一個能專心讀書而完全不被打擾的環境裡研讀本書，這段時間應該是你情緒上的巔峯，並且最能保持頭腦的清醒。

以下的幾個重點將可使你在研讀本書時收到最大的效果：

(1)仔細的讀每個句子。本書中沒有一個多餘的字或詞，每個句子都有充分的意義，這對專門名詞的了解是相當重要的。

(2)當你遇到一個圖例時，先讀完正在讀的句子，然後仔細研究這個圖，要確定你已在腦裡建立一個清晰的形像，接著再繼續讀下面的句子，每次遇到需要加強觀念時立即回到前面的例子上去。本書中的每個例圖都經過特殊設計，以加強學習效果。

(3)在每一最右頁的下端，你需要回答幾個問題，這些問題大部份是填充式的。在回答這些問題時，重要的是你務必親自動手填寫，不論是填在書上或填在草稿紙上都行。這樣親手寫下答案會比光用腦子想答案能留下比較深刻的印象，而且這些問題的答案都很簡單，不會增加多少麻煩。

(4)在你翻到下一頁檢討答案之前務必作完所有的問題，如果需要的話可以參考你會讀過的每一部份。假如你在複習之後仍舊無法回答此問題，那麼把它跳過，繼續作其他的部份，只有當這些被跳過未作的問題一直無法解決時，才能翻到下一頁去核對答案。

(5)當你答錯某個問題時，請立即複習與此相關的章節。與其只知道這個問題的答案，倒不如深入探討為什麼採取這個答案的理由，這樣要有效果得多。每個新的章節都和前面的章節有極密切的關係，如果前面的部份印象不夠深刻，在學到後面時會感覺困難。

(6)仔細研究每章後所附的複習題，這些複習題能讓你對本章所學的內容作個約略的估計，並加強你的學習印象。當你遇到不了解的問題時，請重讀與此題相關的部份，一定要重新核對過問題及答案之後，才能繼續進行下一章。

(7)讀完本書後請做完書末的總測驗，這個總測驗替你对全書作個完整的

IV

複習，它提供你一個檢查自己學習成果的機會。在做總測驗時，你可能發現一些學得不夠完全的地方，這時就應該作個適當的複習了！

本書的編排方式其目的是要儘量減少讀者在學習時的困難，如果想由此書中獲得最大的收穫，自然也必需作相當程度的努力才行。但只要能遵循上述的七個重點，你的努力將不會白費，而且將會發現研讀本書是一項愉快而有趣的工作。

目 錄

序 言

前 言

第一章 電晶體導論

電晶體應用.....	1
為什麼使用電晶體.....	2
電源要求.....	3
電晶體原理.....	5
電晶體為一種電流控制元件.....	7
本書內容透視.....	9
摘要問題.....	9
摘要答案.....	10

第二章 電能及磁能

物 質.....	11
原子的結構.....	14
靜電理論.....	17
電磁理論.....	23
摘要問題.....	27
摘要答案.....	27

第三章 電壓與電流

功與能.....	29
電位能.....	31

電壓的產生.....	33
摘要問題.....	52
摘要答案.....	53

第四章 電阻性電路

基本電路原理.....	55
簡單電路分析.....	57
歐姆定律.....	73
半導體二極體.....	91
摘要問題.....	92
摘要答案.....	93

第五章 半導體原理

原子結構.....	94
晶體結構.....	96
半導體材料之種類.....	101
純質晶體.....	103
半導體中的電洞.....	105
半導體材料.....	107
P—N接合面.....	110
整流器.....	114
摘要問題.....	117
摘要答案.....	118

第六章 交流電路中之電感及電容

導體中的電流及磁場·····	119	影響電容值之因素·····	154
電感·····	121	電容器之組合·····	156
決定電感質的因素·····	123	交流電容性電路中電流電壓之 相位關係·····	158
電感性電路中之相位關係·····	125	容抗·····	159
電感器之串聯、並聯、及串— 並聯·····	127	電阻—電容性電路·····	161
電感之感抗·····	129	RC 電路中之時間常數·····	163
濾波器·····	130	RC 電路之時間常數對週期比 ·····	166
變壓器·····	132	串聯 LCR 電路·····	171
電感器之脈衝響應·····	136	串聯共振電路·····	173
阻抗·····	138	並聯 LCR 電路·····	178
電感性電路之功率·····	139	摘要問題·····	182
RL 電路中之時間常數·····	141	摘要答案·····	187
RL 電路中之時間常數對週期 比·····	145	總測驗 ·····	189
電容·····	150		
電容之測量·····	152		

第一章 電晶體導論

在本章中將討論電晶體的各種應用，由此討論中可了解電晶體之所以能取代真空管，而成為電子裝置之主要元件的理由。我們發現用來解釋電晶體所以工作的基本原理，與用來解釋一般基本電子電路何以工作的原理完全相同——都是討論電壓、電流及阻抗。電晶體不外乎是一種電流控制元件。本章最後附有一摘要部份，對本書中所討論的內容作一總結。

電晶體應用

自從 1907 年李德佛瑞斯特博士發明了真空管以來，在電子工業方面最大的成就可能就是電晶體的發明了。奇怪的是，電晶體的發展竟開始於真空管發明的前一年；早在 1906 年，矽晶體就已在早期的礦石收音機中被用作晶體偵測器，但電晶體却直到 1948 年才正式加入電子世界中。

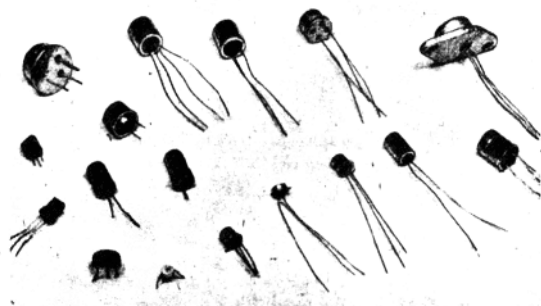


圖 1-1 電晶體有各種不同的大小及形狀

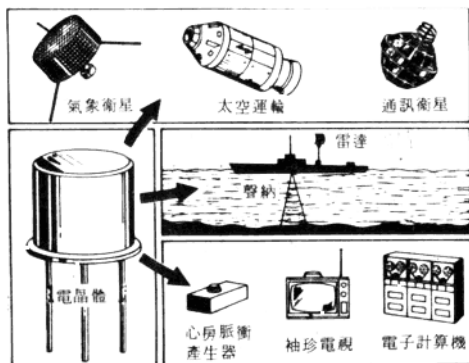


圖 1-2 電晶體的應用

圖 1-2 顯示了電晶體在許多方面的應用，這些應用已成為電晶體獨具的特性了。電晶體之所以如此成功的一個主要原因是它的體積小，因此它在許多小型裝置中被廣泛使用，如袖珍收音機、袖珍電視，乃至於曾拯救許多心臟病患者的心律調整器。在科學界極有成就的太空探測方面，電晶體也是遙遙領先：氣象衛星幫助我們了解自己所身處的世界，而通訊衛星則使我們可以將電視訊號傳送到世界各地；雷達儀在空中探尋飛機、火箭、及氣象資料，而聲納裝置則朝向海底，探測潛艇的踪跡及魚群的位置；在全世界各大辦公室內，各種不同類型的電子計算機日夜不停的工作著，在百萬分之幾秒內處理完以前需要好幾個小時才能做完的資料。

為什麼使用電晶體

究竟是什麼原因，使得電晶體在電子工業中被廣泛使用，而幾乎成為一種獨占性的元件？以下我們將討論它的四個理由——體積、電源要求、壽命、及成本。

體積 在電晶體尚未發展成功以前，真空管是電子應用上的主要元件。由圖

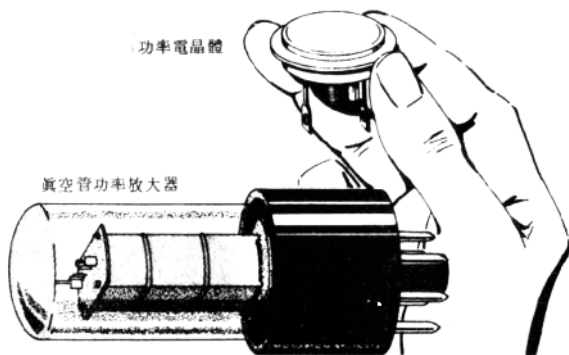


圖 1-3 電晶體比真空管體積小

1-3中我們可以看出，電晶體在和真空管相比較之下是如何的節省空間了。

問題 1-1 真空管正在被 _____ 所取代。

問題 1-2 早期的收音機已利用到 _____ 的原理了。

問題 1-3 電晶體之所以被廣泛使用於袖珍裝置及太空探測方面的主要原因
是因為它的 _____。

我們的答案是：

答案 1-1 電晶體。

答案 1-2 電晶體。

答案 1-3 體積小。

電源要求

由於電晶體的體積小，結構簡單（見圖 1-4），因此電晶體在工作時只需要很小功率的電源。一般而言，一個真空管總是需要很複雜的電源，相較之下，電晶體只需要一個小乾電池就可以工作了。

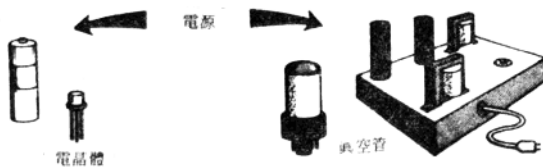


圖 1-4 電晶體的電源條件低

壽命 真空管的結構複雜，使得它隨時都會有損壞的危險。圖 1-5 中顯示了

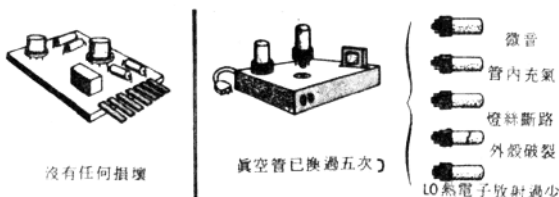


圖 1-5 電晶體比真空管壽命長

幾種真空管損壞的主要原因：熱電子放射過少、外殼破裂、管內充氣、及燈絲斷路。如圖中所示，當使用真空管的裝置已經更換過好幾個真空管時，另一個使用電晶體的裝置都依然完好無恙。電晶體的機械結構和化學結構是如此的簡單，以致於它的壽命在正常的使用情況下幾乎是無限長的。

成本 當電晶體最初問世時，它的價格和被它所取代的真空管幾乎不相上下，但是由於工業進步，電晶體大量生產的結果使它的價格急遽下降，今天我

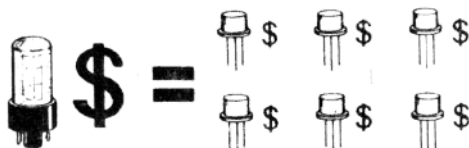


圖 1-6 電晶體比真空管便宜

們可以發現，買一個真空管的成本可以用來買到數個電晶體，這已是不足為奇的事實。

由於電晶體及其他電子零件的價格降低，使得那些使用電晶體的裝置，在維護工作上被大大的簡化了。許多零件的價格是如此的便宜，它們已被視為消耗品，當這些零件損壞時，我們寧願把它們丟棄換新，也不願意費時費力去檢修。

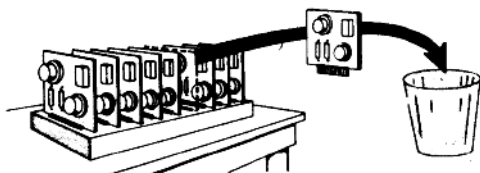


圖 1-7 電晶體零件價格便宜，可作為消耗品

問題 1-4 電晶體在工作時所需要的電源功率較真空管為 _____。

問題 1-5 _____ 的壽命較 _____ 的壽命為長。

問題 1-6 許多電子零件今天之所以被視為隨手可丟棄的消耗品是因為它們的 _____。

我們的答案是：

答案 1-4 小。

答案 1-5 電晶體、真空管。

答案 1-6 成本低。

電晶體原理

用來解釋電晶體操作情形的原理，和那些基本電路的原理是相同的，不外乎電壓、電流及阻抗三項。

電壓 電壓是一種潛在的力，這種力與馬達推動汽車前進的力，及抽水機推動水在水管中流動的力是非常相似的。電壓的來源是電池及電源產生器。正如以上這兩種力一樣，電壓也能造成運動，因此它有時被稱作電動力或電動勢（emf），這種力傳電荷運動而造成電流。

電流 由馬達所產生的力造成汽車的前進，由抽水機所產生的力推動水流動，而電壓所產生的力則造成電流。所謂電流即為一種稱為電子的帶電質點的流動。

阻抗 阻抗的大小可以控制電子流動的速率，正如道路狀況可以控制汽車的

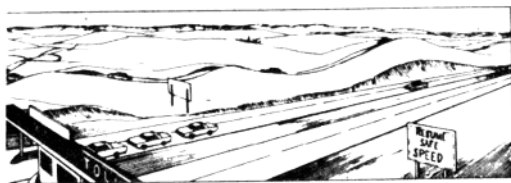


圖 1-8 泥土道路對交通造成高阻力

行駛一樣。見圖 1-8 所示，即使所有的汽車都裝有相同的馬達，我們依然可以斷言，在每單位小時內通過泥土道路的車輛數一定比通過高速公路的車輛數為少。由於泥土道路對交通流量造成比高速公路為大的阻力，因此阻礙了交通流量，即使車輛在任何時刻均具有維持相同速度的能力，它們在面臨不同的路況時也應該隨時調整它們的速度。現在讓我們看看圖 1-9，有兩個抽

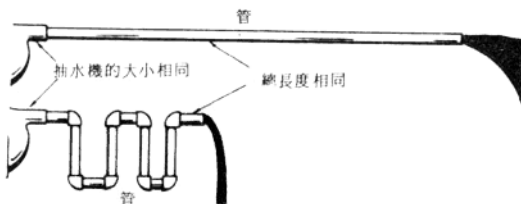


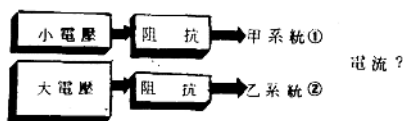
圖 1-9 那個管對水流的阻力較小？

水機具有相同的抽水能力，但其中之一接著直管，另外一個則接著相同長度的彎曲管，我們發現在每分鐘內流經彎管的加侖數必定比流經直管的加侖數為少。

問題 1-7 在上例中，彎管比直管對水流產生較 _____ 的 _____。

問題 1-8 每分鐘內流經 _____ 管的水量將較 _____ 管為大。

問題 1-9 在下圖甲系統及乙系統中，何者將造成較大之電流？ _____。

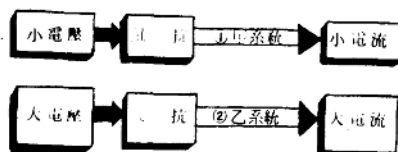


我們的答案是：

答案 1-7 大、阻力。

答案 1-8 直、彎。

答案 1-9 在此例中，乙系統會造成較大之電流，由於此兩系統之阻抗完全相同，故電壓較高之系統將造成較大之電流。



電晶體為一種電流控制元件

猶如阻抗控制電流，電晶體也可以控制電流。如圖 1-10 所示，我們若在輸入端加以一小量電流，將會在輸出端產生大量的電流，雖然並非所有情形皆屬如此，但至少在本書中所討論的電晶體屬於此類，第二冊中對電晶體將會作更詳細的討論。至少目前我們應該了解，電晶體是一種阻抗性元件，當輸入電流改變時，輸出阻抗也隨之改變。

圖 1-11 中顯示出電晶體的一項能力，正因此項能力，使電晶體今天成為如此重要的零件。在左邊的電晶體中，我們輸入一小電流，經由此電晶體的輸出阻抗可在輸出端獲得一相當大的電流，但在右邊的電晶體中，輸入電流被增加了，造成輸出阻抗的減小，因此增加了輸出電流。

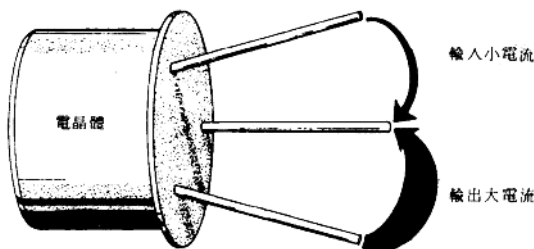


圖 1-10 電晶體用電流來控制電流

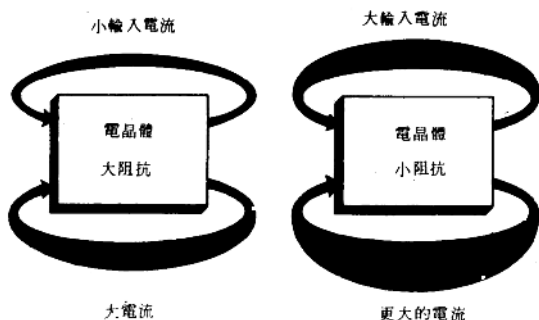


圖 1-11 輸入電流改變造成輸出阻抗改變

- 問題 1-10 電晶體的輸出 _____ 會因輸入 _____ 的改變而產生變化。
- 問題 1-11 若要減小電晶體的輸出電流，應該 _____ 電晶體的輸出阻抗。
- 問題 1-12 若要減小電晶體的輸出阻抗，應該 _____ 其輸入電流。
- 問題 1-13 電晶體控制電流時，正如同一個可變 _____。