

單結晶體管與 變序式單結管

U.J.T. AND P.U.T.



林 創編著 · 香港萬里書店出版

單結晶體管與變序式單結管

U. J. T. and P. U. T

林 創 編 著

香 港 萬 里 書 店 出 版

半導體普及叢書

單結晶體管與變序式單結管

林劍編著

出版者：香港萬里書店

北角英皇道486號三樓

(P. O. BOX 15635, HONG KONG)

電話：H-712411 & H-712412

承印者：上海印刷有限公司

香港銅鑼灣謝菲道498號

定價：港幣三元六角

版權所有 * 不准翻印

(一九七二年三月版)

前 言

單結晶體管被普遍採用只是六十年代後期的事，但第一枚單結晶體管早已在1953年推出，而矽質的單結晶體管也在1956年面世。改良型的單結晶體管——變序式單結管亦於1969年應運而生。

作為「晶體管普及叢書」的一冊，筆者試圖用最淺白的方法來作原理的闡釋。特別是在第一章中，希望能使稍具晶體管認識的讀者都能對單結晶體管有一個明確的概念。對於較抽象的原理概念，却不希望使用一些「看來擬似」的現象來作比喻，因為這對於讀者在更深入探討問題時是有妨礙的；反之，對於一些較艱深難懂的原理，則只有多花些篇幅從頭談起了。

在第二章裏，是以一個簡單的單結晶體管振盪電路，闡明設計觀點上的一些問題，這種討論可能稍「理論化」，但要從全面去理解它的結構，這一章亦不是多餘的。

單結晶體管在線路上的使用，雖然不可能在第三章中全部列出，但較主要的大體上已包括在內。本章的選材是以實用為主。

第四與第五章談到的是變序式單結管，由於此種電子

器件較新，資料所限，可能不夠全面，這有待再版時補充之。

本書部份文字曾刊於專業雜誌上，收輯成單行本時會補充修訂。

林 創 1971 年冬

出版者的話

在近代的電子工業裏，半導體家族出了許多喧赫一時的“名將”，除了鍺質矽質晶體管較爲人所熟知之外，還有光電管（Photo-cell）、隧道二極管（Tunnel Diode）、霍爾產生器（Hall Generator）、磁敏電阻（Magnetoresistor）、壓敏電阻（Varistor）、熱敏電阻（Thermistor）、熱電耦（Thermocouple）、熱電變換體、溫差致冷器、場效應晶體管（FET）、矽受控整流器（SCR）、單觸面晶體管（U.J.T）、集成電路（IC）……等等。這些新面世的半導體，在無線電領域中，各顯神通，以輕巧的體積，代替了龐然大物。由於它們的固有特性，有些“以一頂兩”，有些填補了電子器件的空白點，促進了電子科學向前發展。

許多半導體電子器件目前正以新的姿態出現在人們的面前，由於缺少了這一類中文專著，它們的特性、用途，甚至它們的名字，也不大爲人所了解，這對於無線電技術的推廣實在是一大障礙，這套“半導體普及叢書”就是爲了滿足這方面的需要而出版的。

爲了普及的緣故，書中盡量簡化數式計算，力求以顯

淺通俗的文句說明原理和應用，希望能使讀者融匯貫通。

古今中外都不例外，某些科學成就，並非單靠幾個專家偶然的靈感所能達致的，而是靠無數人的經驗積累和創造，因此，普及科學佔着非常重要的地位。這套叢書的出版如果能夠在普及和推廣半導體知識方面盡一分棉力的話，則是我們最大的願望。

目 次

第一章 單結晶體管的基本認識及其測量

An Introduction to The Unijunction Transistor
and Its Parametus Measurement 1

1. 什麼是單結晶體管? 2
2. 負電阻元件 3
3. 單結晶體管的特性 4
4. 單結晶體管的原理 9
5. 單結管特性的測量 12

第二章 單結管的特性及其線路效能

A Guide to the Behaiovr of UJT 23

1. 發射極電流與基極電阻之關係 23
2. 單結管的靜態曲線 25
3. 單結管的振盪過程 27
4. 第一基極及第二基極電阻的作用 32
5. 單結管電路的溫度影響 34
6. 供電電源對電路穩定的影響 36
7. 噪聲與紋漣起伏時頻率的變化 37

第三章 單結管的幾種基本應用

Common UJT Applications	39
1. 弛張振盪器	39
2. 電碼練習器	41
3. 單結管節拍機	42
4. 單音調電子琴	46
5. 叫門設備	48
6. 黑房計時器	51
7. 彩色沖洗黑房計時器	55
8. 鋸齒波發生器	58
9. 延遲時間電路	59
10. 伸延式延遲電路	61
11. 音頻 AGC 電路	63
12. 改良電池充電器	64
13. 單數 (二進位) 位記憶電路	66
14. 矽控管觸發電路	70
15. 從單結管取得方形脈沖波	72
16. 石英晶體振盪器	73
17. 單結管高頻訊號發生器	75
18. 單結管的代用	76

第四章 變序式單結管

The Programmable Unijunction	79
------------------------------------	----

1. 單結晶體管的缺點	79
2. 變序式單結管	80
3. 變序式單結管的工作原理	84
4. 變序式單結管的 I_P 與 I_V	88
5. 工作上的極限	91
6. 變序式單結管的弛張振盪電路	92

第五章 變序式單結管的應用

Applications of PUT	95
1. 低電壓弛張振盪器	95
2. 脈動式音調振盪器	96
3. 時間電路	98
4. 變序式單結管電路中的頻率細調	100

第一章 單結晶體管的基本認識及其測量

An Introduction to The Unijunction Transistor and Its Parametus Measurement

如果有人問：「有一樣零件，外形如晶體三極管，工作起來又如氖管，最普通是用來作振盪、定時等線路之用，你以為是什麼？」這一個謎語相信很多人都猜不出來。

原來上面這幾句話，正好說明了單結晶體管的外形、工作原理及用途。單結晶體管的英文原名是 **Unijunction Transistor**，意思為單結面的晶體三極管；但實際上，無論在結構或工作原理上，單結晶體管與普通的晶體三極管是截然不同的。與其稱之為三極管，莫如沿用它最原始的名稱——雙基極二極管來得恰當，因為它實實在在是具有二極管的作用。

從它的數度易名來看，由雙基極二極管、半導體閘流管以至單結晶體管，可知它的發展並不是順利的；而且曾有一段時期被人遺忘。由於昔日的售價高昂，只有在必要的線路上，才會動用到單結晶體管，否則都盡可能用較低

廉的零件來代替。而 SCR 矽控整流器繼單結晶體管的原理而崛起，更取代了單結晶體管作為開流管的效用，它受淘汰的局面似乎無可避免。

但隨着半導體製作技術的飛躍進展，單結晶體管的售價急劇下瀉，而能夠與普通的晶體三極管看齊，於是它的前途又露曙光。因為事實上它的確較之普通晶體管具有更多的優點，今日，除了應用於 SCR 作為觸發器外，更被廣泛應用於各式各樣的振盪電路中。

1. 什麼是單結晶體管？

單結晶體管的結構示意圖如圖1-1，一塊 $8 \times 10 \times 60$ 密爾（1吋=1,000密爾）的N型或P型矽塊盛在一個陶瓷質的圓碟上，矽塊的兩端在瓷碟的一方有兩個歐姆式接點（或稱非整流接點，意思是一個普通鐳合點而已，並不如晶體管的結面一樣可以出現整流的現象），這就是兩個基極 B_1 、 B_2 。在矽塊的另一面，有一條3密爾粗的鋁線，用合金的方法結合在矽塊接近 B_2 的一邊地方，這就是發射極E。也就是整個管子的唯一結合點，故所以稱為單結晶體管。

單結晶體管的最大特點，是具有負電阻特性。 B_1 、 B_2 兩個基極間的電阻會隨着發射極電流的增加而低降，當然，發射極與基極間的電阻也同時低減，結果是發射極-基極間電壓下降。電流增加，電壓反下降，這就是負電阻。負

電阻的特性，使單結晶體管可以在線路上履行振盪及放大的作用。

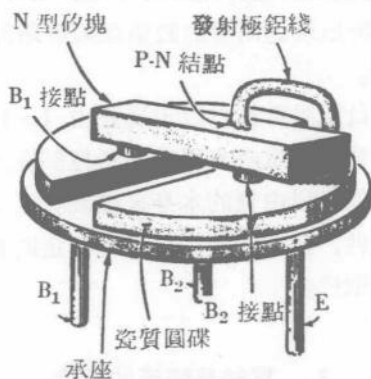


圖 1-1 將單結管內部放大多倍時的結構示意圖

2. 負 電 阻 元 件

負電阻特性並不是單結管所獨有的。不少其他元件也具有同等的性能；如隧道二極管、氬管等，就是最顯著的例子。其他如變阻管、充氣管及四極電子管等都是，但後面這些却往往要利用特別的線路才能表現它的負電阻特性。雖然同是負電阻元件，但單結管却較其他的具有更優越的性能，這一點，可以從它在線路上的工作看出。

隧道二極管的負電阻特性只有在一個特定的電壓數值（一般是低於 $1V$ ）下才顯現出來；因此，只有在一個極狹

窄的工作範圍內才能夠利用到它這一特性。氬管的負電阻特性也同樣有一個特定的電壓，雖然這個電壓較前者為高（60V 左右，主要是決定於充氣的壓力及電極的形狀）。這兩者的負電阻所出現的電壓的數值都與線路無關，而是本身的一個常數。

單結管的負電阻特性可以出現在由 1~16 V 的廣潤範圍內，而且，要將負電阻出現的電壓控制在上述範圍內的任一個數值，都可以由管的本身來控制。正由於它的這一個電壓的可控性，使它能夠用於準確的定時線路上，而不被其他元件所取代。

3. 單結晶體管的特性

單結管的發射極可以與任一個基極配合來使用，作一枚普通的整流二極管，這樣當發射極較基極的電壓為正時，二極管通電（以 N 型單結管而言），較基極為負時，二極管成開路狀態，我們從圖 1-2 的單結管結構等效電路中，可以更清楚地看到這一點。

但在正常的接法時， B_2 是加上正電壓，而 B_1 則加上負電壓（ V_{BB} ），由於 B_1 、 B_2 間有電阻的存在，這電阻稱為基極間電阻 R_{BB} ，電阻的典型數值是 5~10K，因此， B_1 、 B_2 間有電流通過。當發射極無外路電流加入時， B_1 、E、 B_2 三者間組成一分壓器，流通兩個基極的電流在矽塊的發射極結點附近產生一電壓降，因此，在發射極有一個小於 V_{BB}

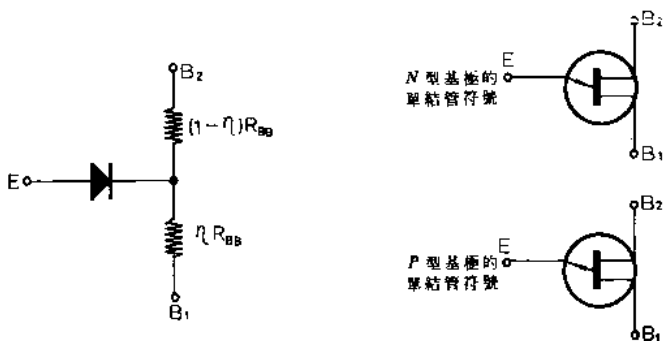


圖 1-2 單結管所用的符號及它的等效結構圖

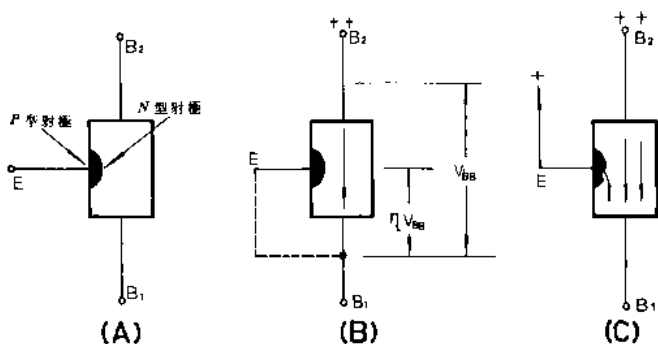


圖 1-3 單結管的工作過程

的電壓出現，見圖 1-3B，無形中，使發射極有一個內偏壓的存在，任何外加的發射極電壓必須高於這個內偏壓，方可使發射極導電。內偏壓的數值由下式決定：

$$V_E = \eta V_{BB} + V_D$$

式中, η (讀音 ets) 是單結晶體管的內分離比 (Intrinsic stand-off ratio); 即以兩基極 B_1 、 B_2 間在矽塊的距離為 1, 發射極與 B_1 極的距離當然是小於 1。 V_{BB} 是加在兩基極間的電壓。 V_D 是發射極 P-N 結上 (即等效電路上的二極管) 的正向電壓降。

當發射極電壓一旦高於它的內偏壓而達到峯點電壓 (V_P) 時 (大約為 0.7V), 發射極的 P-N 結開始導電。單結晶體管畢竟不是單純一隻二極管, 由於發射極是 P 型材料, 發射極電流的主要載流子是空穴, 一旦 P-N 結導電,

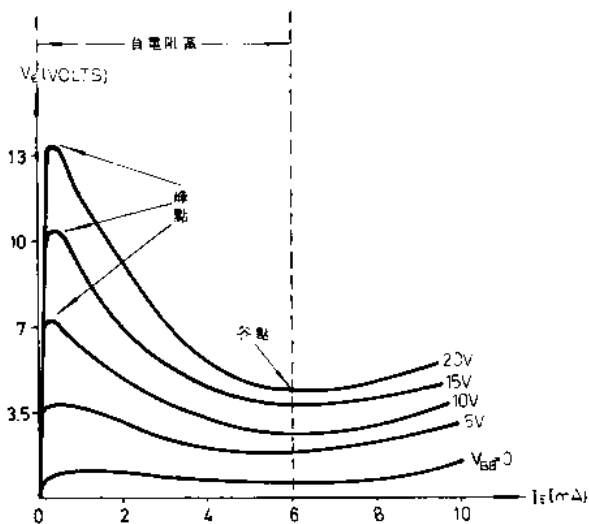


圖 1-4 單結管的射極特性曲線族

發射極的空穴就注入基極的N型材料內，成爲矽塊內的少數載流子，空穴的流動方向是依循矽塊內的電場方向，因 B_2 是加正電壓，而 B_1 是公共的回路端，故電場是自 B_2 至 B_1 ，空穴的流動也就由發射極至 B_1 （圖1-3C）。其結果是使矽塊在發射極至 B_1 的一部份地方上的導電顯著增加，而矽塊的這一部份地方的電阻當然也急劇下降。

另一方面，矽塊的電阻降低使流通於 B_2 、 B_1 間的電流加大，由於所增加的電流比發射極電流大得多，於是就造成了電流放大。同時，因爲發射極與 B_1 間電阻的低降（發射極電壓當然也下降）是發射極電流增高所造成的結果，

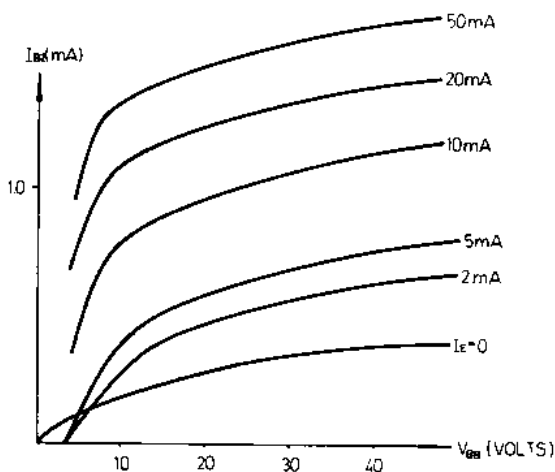


圖 1-5 單結管的基極間特性曲線族