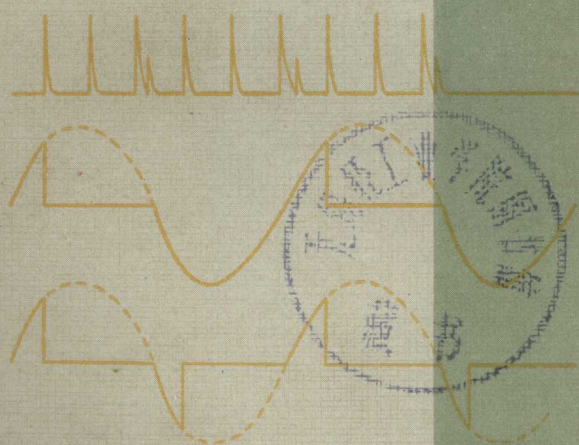


上海圖書館藏

0393917

工業電子

余政光編著



大中國圖書公司印行

N/168
-46
江南大学图书馆



91535857

工業電子

余政光 編著



大中國圖書公司印行

編 輯 大 意

- 一、本書係遵照教育部民國六十五年六月修訂公布的五年制工業專科學校，電子工程科工業電子課程標準編輯而成。
- 二、本書全冊十一章，可供五年級上下學期，每週授課三小時使用。
- 三、本書所用名詞，悉依照教育部公布之電機工程名詞為準，並附英文原名，以資對照。
- 四、本書對現代工業電子基本實用，控制與各轉換元素皆有詳細之闡述，以期使學生能熟悉相關電路控制之功用及維護方法。
- 五、本書雖經悉心校訂，仍難免有瑕疵之處，敬祈諸先進不吝指正幸！

編 者 謹 識

中華民國六十六年二月

工業電子

目 錄

第一章 半導體裝置

1-1 矽控整流器 (SCR)	1
1-2 觸發二極體 (Diac) 與三極交流開關 (Triac)	7
1-3 單接合電晶體 (UJT)	9
1-4 電晶體開關	14
1-5 光源作用開關	26

第二章 主要控制信號簡介

2-1 正弦波	33
2-2 方塊波	33
2-3 脈 波	34
2-4 鋸齒波	35

第三章 繼電器控制系統

3-1 光電控制器	36
3-2 電阻感測繼電器	40

第四章 PNPN 控制電路

4-1	PNPN之基本工作	44
4-2	SCR電路及觸發電路	44
4-3	Triac電路及觸發電路	64
4-4	程序單接面電晶體與其應用	67
4-5	蕭克萊二極體與其應用	79

第五章 時間延遲的方法

5-1	被動時間延遲元件與其應用	86
5-2	類比時間延遲	116
5-3	定時源	123
5-4	數位時間延遲	134
5-5	時間延遲與定時器的應用	138

第六章 相移控制的方法

6-1	AC移相電路及其應用	148
6-2	數位移相控制電路	162

第七章 數位順序控制

7-1	數位控制概念	181
7-2	電驛階梯圖	210
7-3	順序系統設計	213
7-4	應用固態邏輯	221
7-5	程式控制器	229

第八章 馬達應用控制

8-1 各種馬達簡介.....	243
8-2 分數馬力交流馬達之控制	250
8-3 直流馬達之控制.....	256
8-4 數位馬達之控制.....	270

第九章 強電流控制

9-1 概 論.....	274
9-2 固態電阻焊接器.....	277
9-3 SCR接觸器	295

第十章 直流電源與控制

10-1 整流電路，濾波和穩壓.....	299
10-2 大電流的穩壓電源.....	314
10-3 直流電源的數位控制.....	318
10-4 電子穩棍.....	325

第十一章 各種工業穩定控制

11-1 回授控制.....	330
11-2 伺服機構.....	333
11-3 自動調整.....	358
11-4 程序控制.....	361

附 錄.....	370
----------	-----

工業電子

第一章 半導體裝置

1-1 矽控整流器 (SCR)

在 PNP 裝置族中，毫無疑問的矽控整流器 (SCR) 是目前最有用的裝置。SCR 一些較大的應用包括繼電器控制 (Relay controls)，時間延遲電路 (Time delay circuits)，電源調整 (Regulated power supplies)，馬達控制 (Motor controls)，保護電路 (Protective circuits)，以及相位控制 (Phase controls) 等。

1. 基本的矽控整流器工作原理

SCR 的符號及相對的四層半導體結構連接，如圖 1-1 所示。若要 SCR 導電，則陽極對陰極必需為正，同時必須在閘極 (Gate) 上加一足夠大的脈動電流來啟動，此電流稱為啟動閘極電流 (Turn-on gate current)，以 I_{GT} 表示。

現將圖 1-1(b) 的四層 PNP 結構以圖 1-2 的等效電路表示，以便易於說明其工作原理。注意圖 1-2 中為一個 NPN 電晶體以及另一個 PNP 電晶體組成。為了討論方便設有一個如圖 1-3(a) 所示的信號將加在圖 1-2(b) 等效電路的閘極上。在 $O \rightarrow t_1$ 期間， $V_{gate} = 0V$ ，圖 1-2(b) 的電路將如圖 1-3(b) 所示 ($V_{gate} = 0V$ ，即表示閘極接地)。對 $V_{BE_2} = V_{gate} = 0V$ 時，基極電流 $I_{B_2} = 0$ 及 I_{C_2} 將接近於 I_{C_0} 。而 Q_1 之基極電流， $I_{B_1} = I_{C_2} = I_{C_0}$ ，因大小不足以啟動 Q_1 。

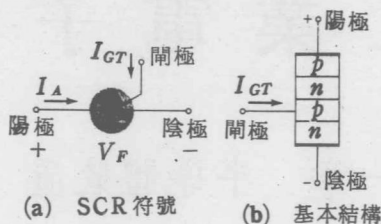


圖 1-1

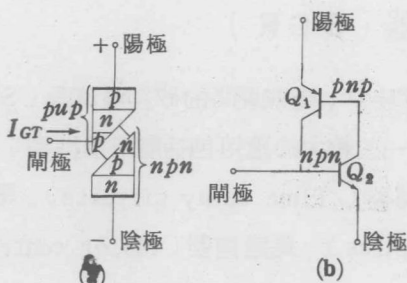


圖 1-2 SCR 等效電路

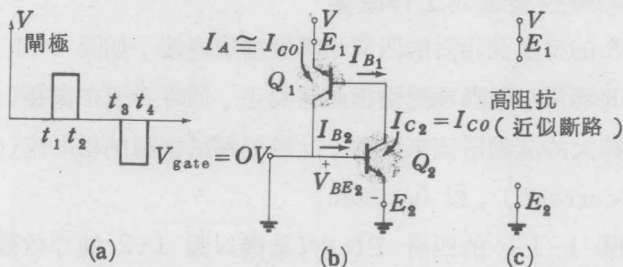


圖 1-3 SCR 截止狀態

因此兩電晶體均在截止 (Off) 狀態，而在每一電晶體的集極和射極間形成一高阻抗，故對 SCR 即以圖 1-3(c) 所示的斷路來表示。

在 $t = t_1$ 時一脈衝 V_g 將加在 SCR 的閘極上。由此輸入所建立的電路條件如圖 1-4(a) 所示，選用的 V_g 電壓需足夠大以啟動 Q_2 ($V_{BE2} = V_g$)。接著 Q_2 的集極電流即增加到足夠大的值以啟動 Q_1 ($I_{B1} = I_{C2}$)。當 Q_1 啟動時， I_{C1} 亦將增加，結果 I_{B2} 亦隨着增加

。 Q_2 的基極電流增加，將使 I_{C2} 更形增大。結果在每一電晶體之集極為再生式地增加。以致陽極到陰極之電阻變成很小，故 SCR 即以圖 1-4 (b) 的短路所示。上述產生再生作用 (Regenerative action)，其典型的啓動時間 (Turn-on time) 為 0.1 到 1 秒。

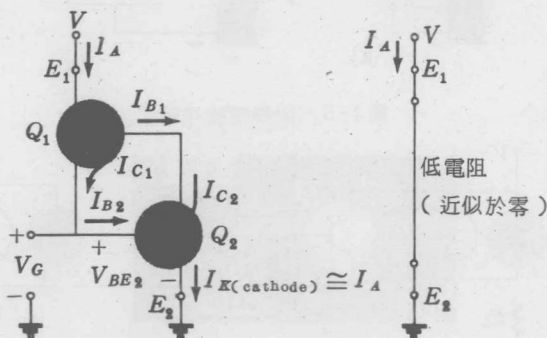


圖 1-4 SCR 導通狀態

對閘極加以觸發，SCR 亦能由裝置之溫度升高，或升高陽極對陰極之電壓到崩潰 (Breakover) 值以導通。

其次所關心的問題是切斷時間 (Turn-off time) 為多長，如何完成切斷？單是移去閘極信號並不能使一個已經導通的 SCR 切斷，但只要在閘極端加一負脈衝即能切斷，如圖 1-3 (a) 所示在 $t = t_s$ 處之信號。常用的兩種 SCR 切斷法為陽極電流中斷法 (Anode current interruption) 和強制換向技術 (Forced commutation technique)。兩種可行的電流中斷法，如圖 1-5 所示。

在圖 1-5 (a) 中，當開關切斷 (串聯中斷) 時， I_A 為零，而在圖 1-5 (b) 中當開關接上 (分路中斷) 時，也得到相同的結果。強制換向法係強迫電流以正向傳導相反的方向流經 SCR。有很多的電路可以完成此工作，最基本的一種型式，如圖 1-6 所示，切斷電路包含一個 NPN 電晶體，一個直流電池組 V_B ，和一個脈波產生器 (

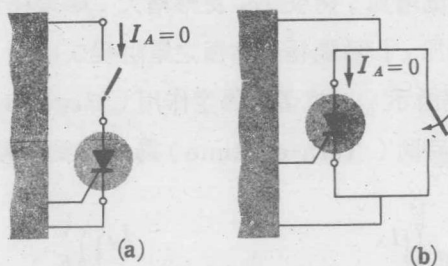


圖 1-5 陽極電流中斷法

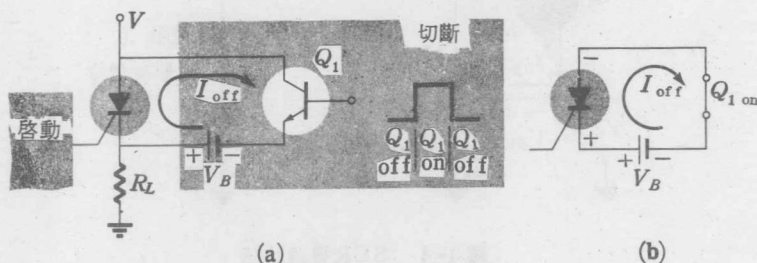


圖 1-6 強制換向技術

Pulse generator)。在 SCR 傳導時，電晶體係在切斷狀態，就是 $I_B = 0$ 及很高的集極至射極阻抗。此高阻抗將切斷電路隔離，使不影響 SCR 的工作。在切斷條件下，一正脈波加至電晶體的基極，使電晶體立刻啟動，以致集極至射極形成很低的阻抗。而電池組電位即如圖 1-6 (b) 所示直接跨在 SCR 上，迫使電流以相反方向流經 SCR 而形成切斷。SCR 的切斷時間，典型值為 $5-30 \mu\text{sec}$ 。

2 SCR 的特性和額定值

圖 1-7 的 SCR 特性曲線提供了各種的閘極電流值。一般用的電流和電壓均註明在特性上。簡要說明各項如下：

(1) 順向超潰電壓 (Forward breakover voltage) $V_{(BE)F}$ ：是比 SCR 進入傳導區時的電壓還高之電壓值。

(2) 保持電流 (Holding current) I_H ：為低於 SCR 在靜態條

件下，由傳導狀態轉換至順向阻斷區 (Forward blocking region) 的電流值。

(3) 順向和反向阻斷區 (Forward and reverse blocking region)：對 SCR 而言：相當於斷路條件之區域，可阻斷由陽極至陰極之電流。

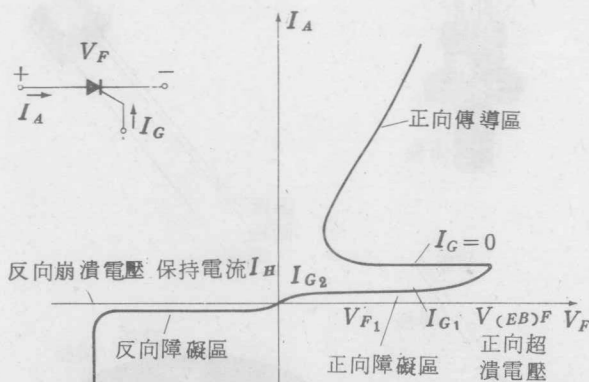
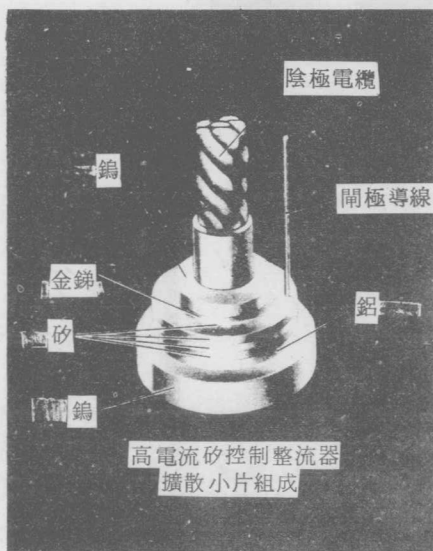
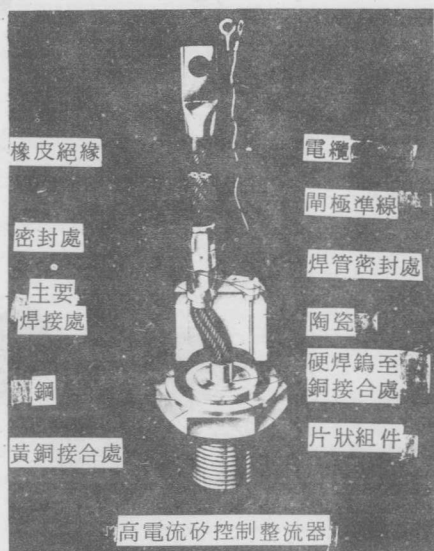


圖 1-7 SCR 的特性曲線



(a)



(b)

圖 1-8 (a) 合金擴散型 SCR (b) 自動散熱 SCR 之結構

(4) 反向崩潰電壓 (Reverse breakdown voltage) : 相當於稽納電位或基本二極體崩潰區域的電壓。

3 SCR 的構造



(Courtesy General Electric Company)

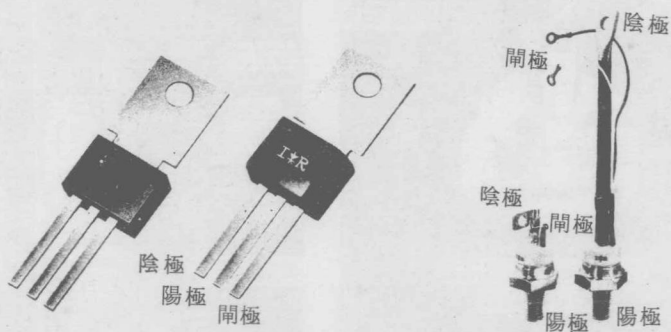


圖 1-9 SCR 外殼結構和端點說明

SCR 的四層圓餅狀基本結構，如圖 1-8(a) 所示。1-8(b) 所示為一種自動散熱式 (Thermal-fatigue-free) 大電流的 SCR 完整結構圖。注意其閘極，陰極和陽極的端點。基座的作用就像散熱器一樣，將熱傳至 SCR 所固定的底板上。SCR 的外殼結構和端點識別將隨其應用不同而異。其他外殼結構和端點之認識均示明於圖 1-9 中。

1-2 觸發二極體 (Diac) 與三極交流開關 (Triac)

1. 觸發二極體 (Diac)

觸發二極體 (Diac) 是基本的平行反向半導體結合層，可在任一方向觸發。裝置之特性如圖 1-10(a) 所示，圖中很清楚地說明了在每一個方向均有超潰電壓。每一方向均可使用之條件，使其在交流應用

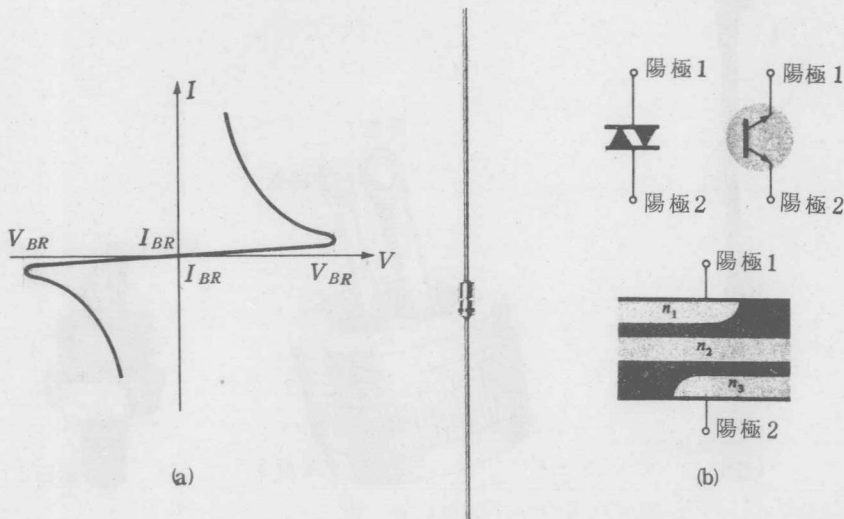


圖 1-10 (a) Diac 之特性 (b) 基本結構和符號

方面非常合適。

Diac 半導體層的基本排列及符號，如圖 1-10 (b) 所示。注意沒有任何一端被視為陰極。故稱為第一陽極和第二陽極，當第一陽極對第二陽極為正時，主要半導體層為 $p_1 n_2 p_3$ 和 n_3 。而第二陽極比第一陽極為正時，則使用 $p_2 n_2 p_1$ 和 n_1 層。

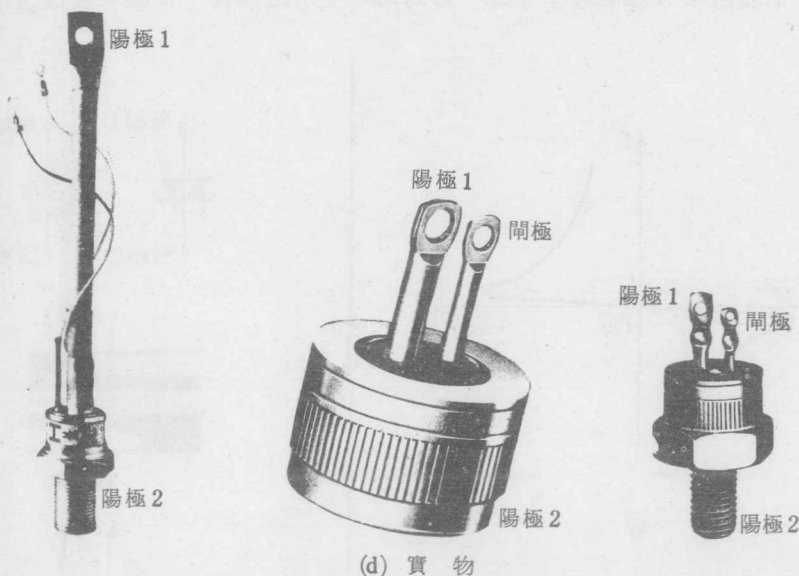
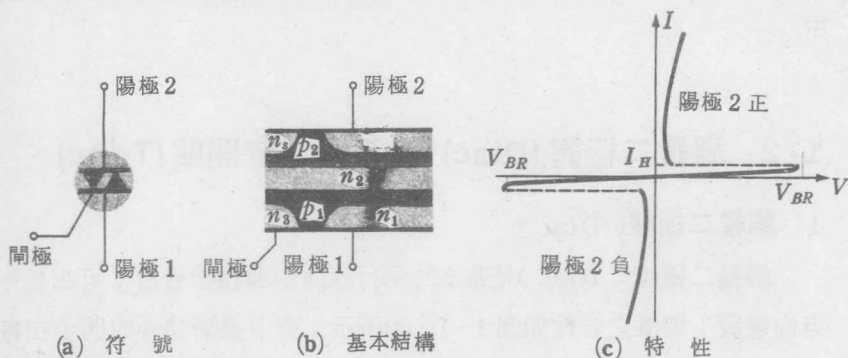


圖 1-11 Triac

2 三極交流開關(Triac)

Triac 基本上是一個 Diac 再加上一個閘極端以控制雙向裝置(Bilateral device)每一方向的啓動條件。換句話說，在每一個方向，閘極電流能夠控制裝置的作用就像 SCR 的情形一樣。但是，在第一和第三象限，Triac 就如圖 1-11 (c)所示和 Diac 有些不同。注意 Diac 特性上並未註明每一方向的保持電流。

裝置之圖形符號和半導體層的構造及其實物，示於圖 1-11 中。在每一可能傳導的方向，其半導體層組的狀態係加在閘極端的信號來控制。

1-3 單接合電晶體(UJT)

UJT 爲三端裝置，具有圖 1-12 所示的基本結構。一片低滲雜(增加電阻特性)的 n 型矽物質，在其同一面的兩端有兩個基極接觸點，另一面熔接有一個鋁棒。此裝置在鋁棒和 n 型矽片的界面形成 $p-n$ 接合。由於只有一個 $p-n$ 接合面，所以稱爲單接面(Unijunction)。又因有兩個基極接觸點，故又稱爲雙基極二極體(Doubasediode)。注意圖 1-12 中，鋁棒熔接在靠近第二基極接觸點，對 V_{BB} 而言，第二基極端對第一基極端爲正。

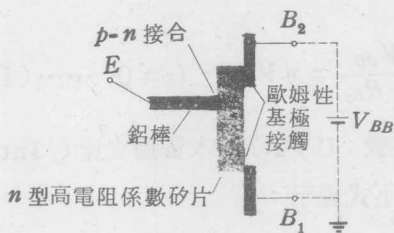


圖 1-12 UJT 的結構

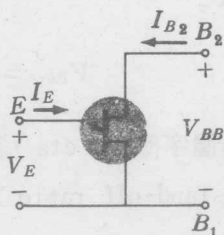


圖 1-13 UJT 的特性

圖 1-13 示明了 UJT 的符號。留意其射極導線係和 n 型物質片所表示的直線成一角度。箭頭所指的方向係指裝置在順向偏壓，活動或傳導狀態時的慣用電流方向。

UJT 的等效電路如圖 1-14 所示，此等效電路有二個電阻（一個固定一個可變）及一個二極體。由於 R_{B1} 的大小係隨電流 I_E 而變，故形如一個可變電阻。

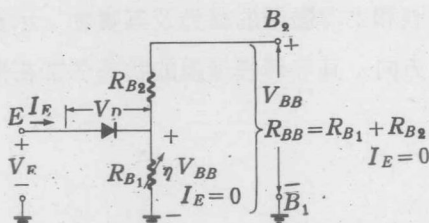


圖 1-14 UJT 的等效電路

事實上，一個代表性的 UJT，當 I_E 由 0 變至 $50 \mu A$ 時，對應的 R_{B1} 可由 $5 K\Omega$ 降到 50Ω 。基極內電阻（Interbase resistance） R_{BB} ，係當 $I_E = 0$ 時，裝置內 B_1 和 B_2 端點的電阻和以式表示如下：

$$R_{BB} = R_{B1} + R_{B2} \quad I_E = 0 \quad \dots\dots\dots (1-1)$$

R_{BB} 典型值在 $4-10 K\Omega$ 之間。圖 1-12 的鋁棒位置可決定，在 $I_E = 0$ 時， R_{B1} 和 R_{B2} 的相對值。 V_{RB1} ($I_E = 0$) 的大小可用分壓定律表示。

$$V_{BB1} = \frac{R_{B1} V_{BB}}{R_{B1} + R_{B2}} = \eta V_{BB} \quad I_E = 0 \quad \dots\dots (1-2)$$

希臘字母 η (eta) 稱為裝置 (UJT) 的本質獨立比 (Intrinsic stand-off ratio)，以下式表示：

$$\eta = \frac{R_{B1}}{R_{B1} + R_{B2}} \quad I_E = 0 \quad \dots\dots\dots (1-3)$$

當加於射極之電位 (V_E) 大於由二極體順向電壓降 V_D 及 $V_{RB_1} = \eta V_{BB}$ 之值時二極體即導電，假設以短路表示，則 I_E 將流經 R_{B_1} 。以方程式表示射極激發電位為

$$V_P = \eta V_{BB} + V_D \dots\dots\dots (1-4)$$

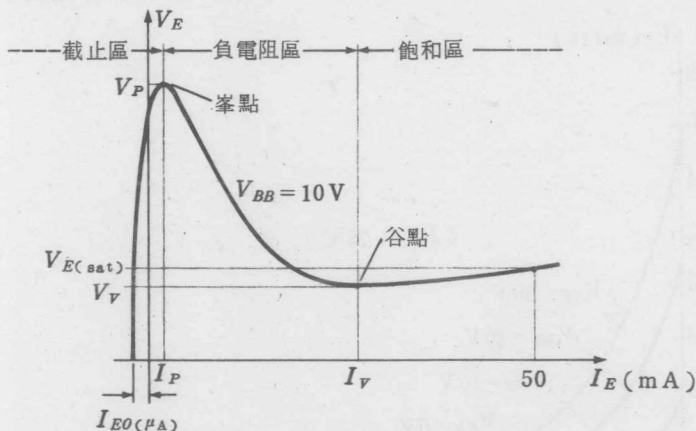


圖 1-15 UJT 靜態射極特性曲線

圖 1-15 所示為一個代表性 UJT，在 $V_{BB} = 10\text{ V}$ 時的特性曲線。注意，射極電位至峯點左邊， I_E 的大小從未超過 I_{E_0} （以 μA 為單位）。電流 I_{E_0} 很像通常雙極電晶體的逆向漏電流 (Reverse leakage current) I_{C_0} 。此區域，如圖中所示，稱為截止區 (Cutoff region)。一旦在 $V_E = V_P$ 時開始導電，則射極電位 V_E 即隨 I_E 之增加而降低。這完全和前面所討論的電阻 R_{B_1} 隨電流 I_E 之增加而減小的現象符合。因此，UJT 有一負電阻區，可以很穩定又可靠的使用於前面所列的應用範圍。最後，可以達到谷點 (Valley point)，而且 I_E 繼續增加並使此裝置進入飽和區。在此區中，其特性接近於圖 1-14 所示等效電路的二極體。

當傳導時，電洞由 P 型鋁棒注入 n 型薄片，而形成活動區的電阻