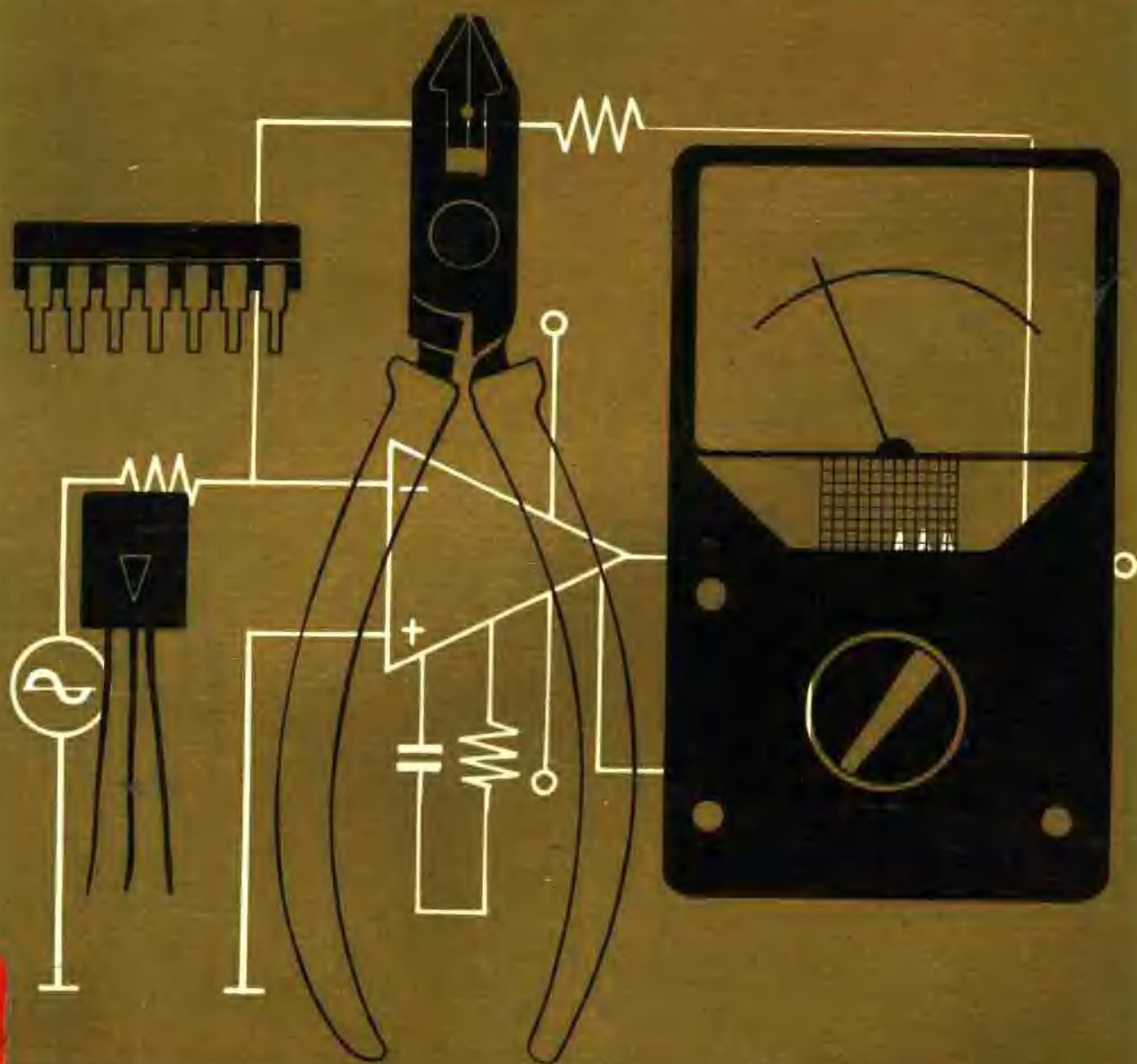


最新部訂課程標準

電子實習 (3)

陳本源・杜見成 編著 戚立 校訂



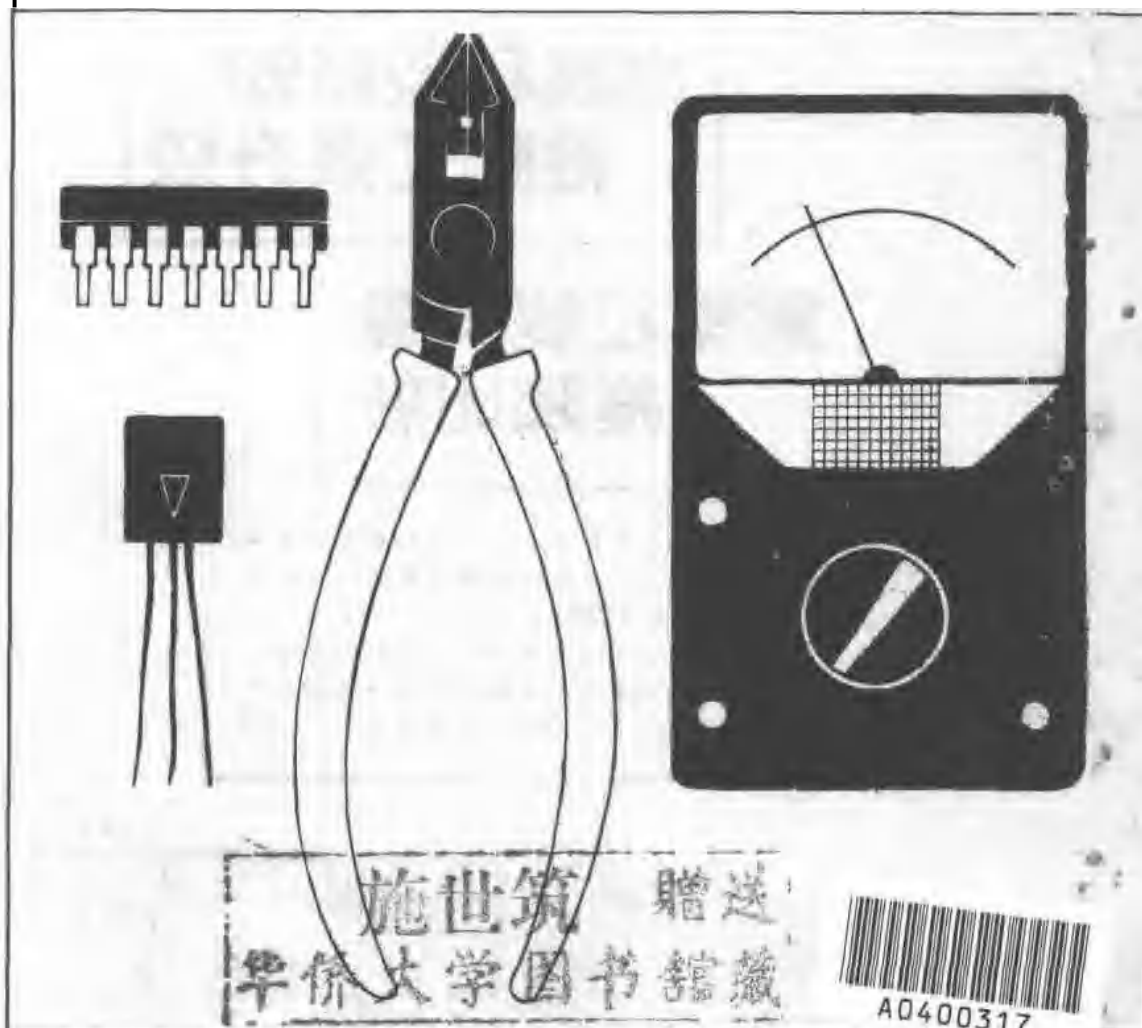
全華科技圖書公司印行

672635

最新部訂課程標準

電子實習 (3)

陳本源・杜見成 編著 戚立 校訂



全華科技圖書公司印行

 **全華圖書**

法律顧問：陳培豪律師

電子實習(3)

陳本源・杜見成 編著

戚立 校訂

出版者 全華科技圖書股份有限公司
地址/台北市德江路76巷20-2號2樓
電話/5071300(總機)
郵政帳號/0100836-1號

發行人 陳 本 源
印刷者 宏懋打字印刷股份有限公司
電話:5084250・5084377

門市部 全友書局(黎明文化大樓七樓)
地址/台北市重慶南路一段49號7樓
電話/3612532・3612534

基 價 4 元
十五版/77年 9 月

行政院新聞局核准登記證局版台業字第〇二二三號

版權所有 翻印必究

圖書編號 0415088

我們的宗旨：

**推展科技新知
帶動工業升級**

**為學校教科書
推陳出新**

**感謝您選購全華圖書
希望本書能滿足您求知的慾望**

「圖書之可貴，在其量也在其質」，量指圖書內容充實，質指資料新穎夠水準，我們本著這個原則，竭心盡力地為國家科學中文化努力，貢獻給您這一本全是精華的“全華圖書”

為保護您的眼睛，本公司特別
採用不反光的米色印書紙。

編輯大意

1. 本書係遵照教育部民國六十三年二月修訂頒佈之電子科專業實習課程標準編輯而成。
2. 本書著重創造力與解決問題能力的訓練，至於實習中可能發生的問題與困難，則將原因予以分析，並提示讀者應如何解決。爲了適應電子工業發展的趨勢，且兼顧部訂課程標準，此書編撰費盡極大心思。
3. 本書共分六冊，除可供高工六學期電子實習教學之用外，同時也適於作五專電子科及電子工程技術人員之參考資料。各校可斟酌設備與學生程度將相關知識與實習項目加以增刪，實習順序加以調整。
4. 本書曾實際充作省立彰化高工電子科及省立台中高工電子科之教材，經試教結果，尚稱良好。
5. 本書係利用公餘課畢閒暇執筆而成，不妥或錯誤之處恐所難免，至祈先進專家惠賜指正，俾再版時加以訂正是幸。
6. 本書承恩師戚立主任校閱，教育學院余家聲老師、台北工專蕭增雄老師提供意見，謹此致謝。

陳 本 源 謹識於台中

目 錄

實習一 單結合電晶體(UJT)

一、實習目的	1
二、相關知識	1
三、實習項目	6
工作一：UJT 特性曲線測量	6
工作二：利用UJT組成一弛張振盪器	7
四、問 題	9

實習二 矽控整流器(SCR)

一、實習目的	11
二、相關知識	11
三、實習項目	23
工作一：用VOM判斷小功率SCR	23
工作二：SCR 直流觸發實驗	23
工作三：交流觸發實驗	24
工作四：保持電流的實驗	25
工作五：移相電路作相位控制	25
工作六：用單結合電晶體作相位控制實驗	27
工作七：交流與接點開關	28
工作八：交流電子調整器	29
四、問 題	31
相關知識補充：程序單結合電晶體(PUT)	31

實習三 單端推挽放大電路(OTL)

一、實習目的	35
二、相關知識	35
三、實習項目	50

工作一：使用輸入變壓器的 OTL 電路	50
工作二：不用輸入變壓器的小功率 OTL	51
工作三：大功率 OTL 電路	54
四、問 題	55
相關知識補充 A：推挽電路設計便查表	60
相關知識補充 B：乙類推挽式電路設計圖表	64
相關知識補充 C：中功率擴大機之典型設計表	66
相關知識補充 D：功率放大電路故障分析圖	68

實習四 前置放大電路(上)

一、實習目的	69
二、相關知識	69
三、實習項目	90
前 言	90
工作一：RC 衰減型音質控制	90
工作二：音質控制範圍的測量	93
相關知識補充 A：電晶體前置放大電路	100
相關知識補充 B：前置放大電路故障分析圖	111

實習五 差動放大器

一、實習目的	113
二、相關知識	113
三、實習項目	127
工作一：差動放大器的調整與測量（單端輸入、平衡輸出）	127
工作二：雙端輸入式差動放大器	127
工作三：電流鏡電路測試	129
四、問 題	130
五、相關知識補充：簡單易製的對裝電晶體測試器	130

實習六 線性 IC 的基本原理與應用(上)

一、實習目的	133
二、相關知識	133
三、實習項目	154
工作一：輸入偏壓電流與輸入抵補電流測試	154

工作二：輸入抵補電壓的測試與調整	155
工作三：OP AMP 直流放大電路	156
工作四：反相加法器	157
工作五：差動輸入加法器	158
工作六：電壓隨耦器	159
工作七：OP AMP 交流放大電路	160
工作八：有限制作用的直流放大器	162
工作九：電壓表	163
工作十：電壓—電流之轉換	165
工作十一：歐姆表製作	166
工作十二：電子溫度計	167
四、問 題	168

實習七 電源穩壓供給器

一、實習目的	169
二、相關知識	169
三、實習項目	176
工作一：簡單穩壓電源供給器	176
工作二：簡單可調穩壓電源供給器	176
工作三：採用差動電路的穩壓可調電源供給器	177
工作四：從 2V 開始調起的穩壓電源供給器	178
工作五：加限流裝置的穩壓可調電源供給器	178
四、問 題	179
相關知識補充：採用 $\mu A 723$ 的電源供給器	179

實習八 多諧盪器

一、實習目的	181
二、相關知識	181
三、實習項目	194
工作一：不穩態多諧振盪器（集極交連）	194
工作二：單穩態多諧振盪器	199
工作三：雙穩態電路	202
四、問 題	203
相關知識補充：間歇振盪器	203

實習九 R. C相移振盪器

一、實習目的	207
二、相關知識	207
三、實習項目	211
工作一：用 TR 組成 RC 相移振盪電路	211
工作二：用線性 IC 做相移振盪電路	212
四、問題	213

實習十 維恩電橋振盪器

一、實習目的	215
二、相關知識	215
三、實習項目	218
工作一：用電晶體組成的維恩電橋振盪器	218
工作二：用線性 IC 組成維恩振盪電路	219
工作三：利用 FET 振幅穩定的維恩電橋振盪電路	220
四、問題	222

實習十一 樞密特觸發電路

一、實習目的	223
二、相關知識	223
三、實習項目	224
工作一：樞密特電路實驗	224
工作二：利用樞密特電路將正弦波轉變成方波	225
工作三：用 OP Amp 組成樞密特觸發電路	227
工作四：瞭解 AF 信號產生器的線路	228
四、問題	231

實習十二 錄音機

一、實習目的	233
二、相關知識	233
三、實習項目	245
工作一：錄音機控制鈕的認識與操作	245
工作二：交流聲與錄音頭調整	245

工作三：速度測試.....	246
工作四：放音頻率特性測試.....	246
工作五：錄放音頻率特性測試.....	247
工作六：信號雜音比測試.....	247
工作七：打開機殼觀察機械轉動構造.....	248
四、問 題.....	248
相關知識補充：錄音機的維護.....	249
附錄一：dB 的認識.....	251
附錄二：電壓比、電功率比與 dB 換算表.....	257
附錄三：本書實習所用材料表.....	258

實習一 單結合電晶體(UJT)

一、實習目的

1. 瞭解 UJT 的特性
2. 瞭解 UJT 脈波產生電路

二、相關知識

單接合電晶體 (Unijunction Transistor) 又稱為雙基二極體 (Double base diode)。UJT 常被應用在需要產生正向釘形脈沖 (Spike pulse) 的線路, 有時亦被應用在鋸齒波產生電路、時間電路及雙穩網路等。

UJT 為一三端裝置, 其基本結構如圖 1-1 所示。主體為一摻雜較少 (增加電阻特性) 之 N 型矽棒, 約在它的 $2/3$ 長處形成一 PN 接合 (PN Junction) 此為 UJT 名稱的來源。然後

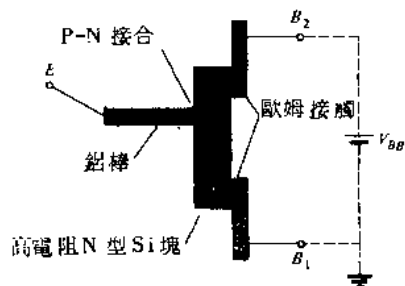


圖 1-1 UJT 基本結構

2 電子實習(3)

在棒的兩端引出兩引線基極 1、基極 2，由 PN 接合面所引出的引線稱為射極(Emitter)。

由結構中可知射極較接近基極 2，距基極 1 較遠，通常以 B_1 做為基準點，而在 B_2 端施加一正壓；如圖 1-2 所示，箭頭所指方向係裝置在順向偏壓之電流方向，即電洞所流之方向。

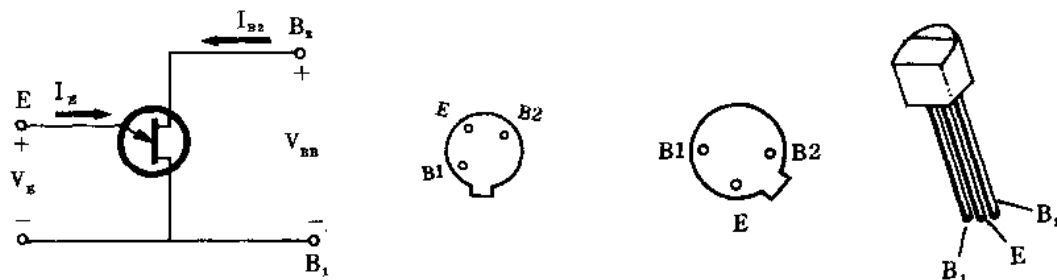


圖 1-2 UJT 的符號與外型

圖 1-3 是 UJT 的等效電路，電路並不複雜，只有兩個電阻，一個二極體。 R_{B1} 用可變電阻表示是因為此電阻隨射極電流 I_E 之增大而降低。就一具有代表性的 UJT 而言，當 I_E 從 0 增至 $50\mu A$ 時，其對應的 R_{B1} 從 $5K\Omega$ 降至 50Ω 。 R_{BB} 表示內部基極電阻，即 $I_E = 0$ 時， B_2 與 B_1 之間的電阻，其典型的範圍在 $4\sim 10K\Omega$ 之間。

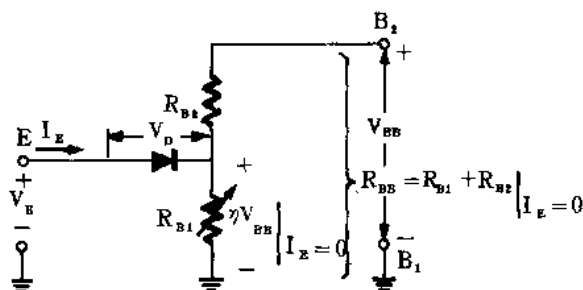


圖 1-3 UJT 的等效電路

$$V_{RB1} = V_{BB} \times \frac{R_{B1}}{R_{B1} + R_{B2}} = \eta \times V_{BB} \quad \left| \quad I_E = 0 \right. \quad \dots\dots\dots (1-1)$$

希臘字母 η (Eta) 稱為固有電阻比 (Intrinsic Standoff Ratio)， η 即

$$\eta = \frac{R_{B1}}{R_{B1} + R_{B2}} \quad \left| \quad I_E = 0 \right. \quad \dots\dots\dots (1-2)$$

當射極上電壓 V_E 大於 $\eta V_{BB} + 0.7V$ 時，二極體受順向偏壓而導電， I_E 開始流過 R_{B1} ，使 R_{B1} 電阻下降。UJT 產生射極電流的電壓為

$$V_F = \eta \cdot V_{BB} + 0.7V \quad \dots\dots\dots (1-3)$$

圖 1-4 為一 UJT 在 $V_{BB} = 10V$ 時的特性曲線。 $V_E = 0$ 時，二極體處在逆向狀態，有一逆向的電流流過二極體，用 I_{E0} 表示，單位為 μA 。射極電壓 V_E 上升時，二極體逆向電壓相對的減小，當 $V_E = V_F$ (峯點) 時，UJT 射極開始導電，使電洞注入到基塊去， R_{B1} 急遽的下降，射極電流 I_E 隨 R_{B1} 的下降而增加，而射極電位 V_E 隨著 I_E 的增加而下降。

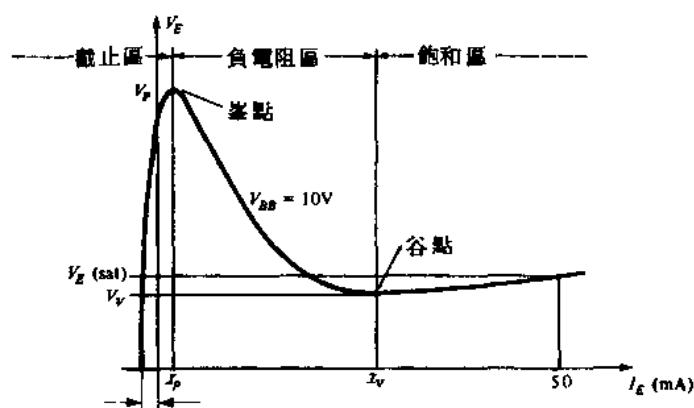


圖 1-4 UJT 靜態射極特性曲線

因此 I_E 又進一步的增加，因而 R_{B1} 又進一步的減小，這種連鎖反應在器件內部形成強烈正反饋過程，結果使得 I_E 急遽增加， V_E 相應下降，此種特性剛好與歐姆定律期望的相反，UJT 呈負電阻特性。

射極電流 I_E 剛開始迅速增大時的 V_E 通常用 V_P 表示，稱為峯點電壓，對應的峯點電流用 I_P 表示。峯點是 UJT 進入負電阻特性的界點，如圖 1-4 所示，特性曲線左側部份， I_E 極小稱為截止區。

當 V_E 下降到谷點 (Valley Point) 電壓時， V_E 又開始隨著 I_E 的增加而增加，谷點通常用 V_V 表示，谷點電流用 I_V 表示。特性曲線上峯點與谷點之間的部份是負電阻區。越過谷點以後， V_E 與 I_E 的變化情況就與 B_1 開路時相近了，因此谷點右側的部份叫飽和區，這一段與截止區一樣也是正電阻特性區，在飽和區 I_E 大，而 V_E 小，相當於 UJT 處於導通狀態。由於受到損耗功率的限制，射極電流通常規定一個額定值，叫最大射極額定電流 $I_{E_{max}}$ （指 RMS 值）。

UJT 的主要參數：

基極間電阻 R_{BB} ：射極開路時，基極 B_1 與基極 B_2 間電阻，一般為 $4 \sim 10 K\Omega$ ，其數值隨溫度上升而增大。

η ：由 UJT 內部結構所決定的常數，一般為 $0.47 \sim 0.75$ 。

峯點電壓 V_P ：UJT 剛開始出現負電阻特性時，射極 E 與第一基極 B_1 間電壓， $V_P = \eta \cdot V_{BB} + V_D$ ， V_D 為等效射極二極體正向壓降， $25^\circ C$ 時約為 $0.67 V$ 。

峯點電流 I_P ：對應於峯點電壓 V_P 處的電流，數值很小，一般小於 $2 \sim 4$ 微安。

谷點電壓 V_V ：UJT 由負電阻區開始進入飽和區時，射極 E 與第一基極 B_1 間電壓，一般 $1 \sim 2.5 V$ 。

谷點電流 I_V ：對應於谷點電壓 V_V 處的電流，通常為幾毫安。

射極飽和壓降 V_{ES} ：在最大射極額定電流 $I_{E_{max}}$ 時，射極與基極 B_1 間的壓降，一般小於 $4 \sim 5 V$ 。

4 電子實習(3)

損耗功率 $P_{B_2 \text{ max}}$ ：指基極 B_2 最大耗散功率，目前常用的有 300mW 及 500mW 兩種。

absolute maximum ratings: (25°C)

Power Dissipation	300 mw
RMS Emitter Current	50 ma
Peak Emitter Current	2 amperes
Emitter Reverse Voltage	30 volts
Interbase Voltage	35 volts
Operating Temperature Range	-65°C to +125°C
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C

electrical characteristics: (25°C)

	Min.	Typ.	Max.
Intrinsic Standoff Ratio ($V_{BB} = 10V$) η	0.56	0.65	0.75
Interbase Resistance ($V_{BB} = 3V, I_E = 0$) R_{BB}	4.7	7	9.1
Emitter Saturation Voltage ($V_{BB} = 10V, I_E = 50 \text{ ma}$) $V_{E(sat)}$		2	
Emitter Reverse Current ($V_{BB} = 30V, I_{B1} = 0$) I_{EO}		0.05	12
Peak Point Emitter Current ($V_{BB} = 25V$) I_P		0.4	5
Valley Point Current ($V_{BB} = 20V, R_{B2} = 100\Omega$) I_V		4	6

絕對最大額定值 (25°C)

消耗功率	300 毫瓦
射極電流有效值	50 毫安
射極電流之顛值	2 安培
射極反向電壓	30 伏特
基極間電壓	35 伏特
運用溫度範圍	-65°C 至 +125°C
儲存溫度範圍	-65°C 至 +150°C

電的特性 (25°C)

	最小	典型	最大
η ($V_{BB} = 10 \text{ 伏特}$)	0.56	0.65	0.75
$R_{BB} = (V_{BB} = 3 \text{ 伏}, I_E = 0)$	4.7	7	9.1
$V_{E(sat)}$ ($V_{BB} = 10 \text{ 伏}, I_E = 50 \text{ 毫安}$)		2	
I_{EO} ($V_{BB} = 30 \text{ 伏}, I_{B1} = 0$)		0.05	12
I_P ($V_{BB} = 25 \text{ 伏}$)		0.4	5
I_V ($V_{BB} = 20 \text{ 伏}, R_{B2} = 100 \Omega$)	4	6	

表 1-1:

表 1-1

表 1-1 所示為一典型 UJT 規格。 V_P 的數值是隨 V_{BB} 的改變而改變的，即

$$V_P \uparrow = \eta V_{BB} \uparrow + 0.7V$$

固 定

UJT 具有下列特性：

- (1) 峯點電壓 V_P 與 V_{BB} 成線性關係，因此具有穩定的觸發電壓。
- (2) 峯點電流很小，因此所需觸發電流極小。
- (3) 谷點電流為 mA 數量級，峯點電流為 μA 數量級，因此負阻區寬，而且負電阻特性均勻，並具有良好的溫度特性。
- (4) 可以取得較大的脈衝電流。

圖 1-5 是用 UJT 組成的基本弛張振盪電路 (Relaxation oscillator)。當開關閉合時，電容器 C 開始經由電阻 R_1 充電，電容器上的電壓即為 V_E ，在 $V_E < V_P$ 時 UJT 是截止的（受逆向偏壓）。當 $V_E = V_P$ 時，UJT 的 PN 結即受到順向偏壓，E、 B_1 間開始導電，電洞由射極注入 R_{B1} ，使 R_{B1} 的電阻迅速下降，這下降的結果提供了電容器 C 一個低電阻的放電路線，經 R_{B1} 和 R_2 到地，電容器試圖放電到零，但當 $V_E \cong V_V$ 時，注入基片中的電洞減少， R_{B1} 電阻增加，而在射極與 B_1 之間電壓增加。這使得 PN 結介面再次的又被置於逆向偏壓，而電容器又再次的充電，如此 UJT 恢復到原先的狀態，完成了一次工作循環，然後再開始第二次的循環。以上所描述的整個作用是發生在一極短的時間內的，一般是在數 $\mu \text{ sec}$ 之內。

在圖 1-5 (b) 中， V_E 的波形在上升與下降時，均為指數，這和任何 RC 網路相同。 V_E 下降部分之衰退率要比上升部份快得多，這是因為放電路線 $(R_{B1} + R_2) \cdot C$ 之時間常數，在正常情況下，要比電容器充電路線 $R_1 \cdot C$ 之時間常數短的多。

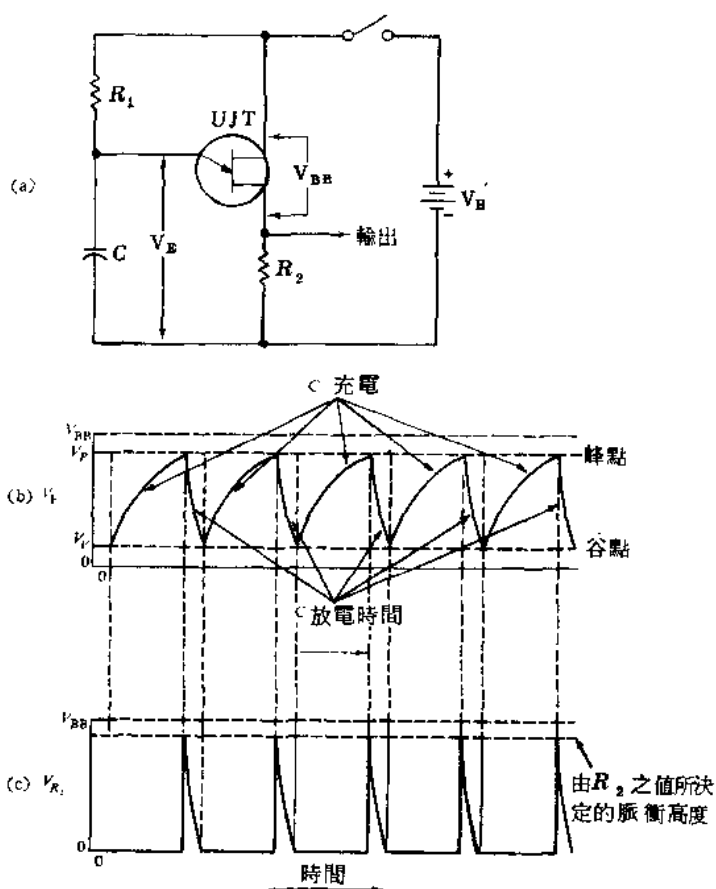


圖 1-5 (a) UJT 弛張振盪器；(b) 射極電壓波形；(c) R_2 的波形

電容器 C 充電到 V_p 所需之時， t_{off} 為

$$t_{off} = R_1 \cdot C \cdot \left[\ln \frac{1}{1-\eta} \right] = 2.3 R_1 \cdot C \log \frac{1}{1-\eta} \quad (1-4)$$

由於 UJT 在操作時導電時間很短，比起截止時 t_{off} 小的很多，故取 t_{off} 之倒數，則可得振盪頻率之良好近似值。若設 $\eta = 0.7$ ，則 $t_{off} = 1.2 R_1 \cdot C$ 。

圖 1-5 的振盪電路，欲能正常的動作，必須滿足兩個條件即

$$\frac{V_{BB} - V_p}{R_1} > I_p \quad (1-5)$$

$$\frac{V_{BB} - V_v}{R_1} < I_v \quad (1-6)$$

若不能滿足第一個條件，UJT 不能從截止轉換為導電，則必須減小 R_1 數值。若不能滿足第二個條件，則 UJT 一旦導電後就永遠導電，不能轉換為截止，則必須增加 R_1 數值。一般 R_1 允許有一個 1000 比 1 的變化範圍，即大約可從 $2 \text{ K}\Omega$ 改變到 $2 \text{ M}\Omega$ 。

圖 1-6 (a) 表示了另一種 t_{ON} 可以控制，且振盪頻率可以精確調整的弛張振盪器，相應的波形在圖中 (b) 和 (c) 繪出。

6 電子實習(3)

當開關 S 閉合時，電容器 C 通過電阻 R_1 和二極體而充電。電容器上的電壓 V_c 上升到如下的值

$$V_c = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{BB}$$

當 $V_c = V_F$ 時，UJT 就導通，二極體 D 的陽極電壓實際上等於 V_F 。在這情況下，二極體是在逆向偏壓，電容器不能像前面討論過的電路中那樣，通過低電阻的 UJT 射極-基極的通路而放電。相反，電容器必須通過電阻器 R_2 到地放電。當 V_c 衰減到 V_V 時，二極體 D 又變成順向偏壓並且電容器開始重新充電。這就完成了一次工作循環。顯而易見，通過適當選擇電阻器 R_2 ，便能控制接通時間 t_{ON} 。

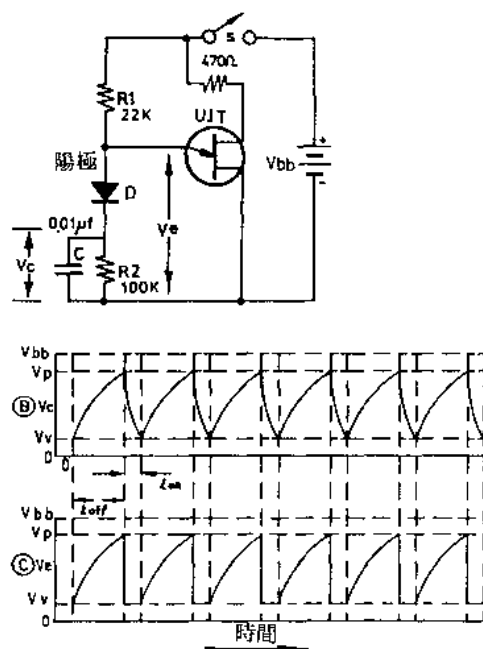


圖 1-6 (a)改進的弛張振盪器；(b)電容器的電壓波形；(c)射極的電壓波形

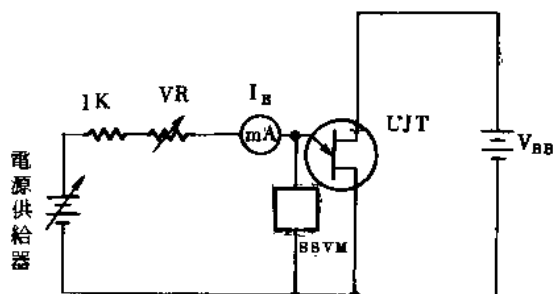
三、實習項目

工作一：UJT特性曲線測量

工作程序：

- (1) 使用的 UJT 廠牌是_____。編號為_____。
- (2) 射極不接，以 VOM Ω 檔測 UJT 的 R_{BB} 電阻為_____ $K\Omega$ 。VOM 的測試棒位置調換，測出來的 R_{BB} 電阻為_____ $K\Omega$ 。
- (3) VOM 轉至 Ω 檔 RX100，測 E 與 B_1 的順向電阻為_____，E 與 B_2 的順向電阻為_____。利用此電阻的不同，可以用 VOM 判斷出 UJT 的 E、 B_1 、 B_2 電極。（E 與 B_1 的順向電阻大於 E 與 B_2 的順向電阻）

- (4) 按工作圖(一)接妥電路， V_{BB} 由AC12V經半波整流濾波後供給之。 VR 置於中間位置。電源供給器的電壓由最低開始調起。
- (5) 開始產生 I_E 之前的 V_E 是 _____ V，此電壓即為 $V_{BB} =$ _____ V 的 V_P 值。若此電壓第一次沒仔細觀察出，可關掉電源，降低電源供給器的電壓，然後再一次的測量。



工作圖(一)

- (6) 開始有 I_E 流過後，改變 VR 使 I_E 如下的數值。

VR 用 100K

VR 用 10K

$I_E = 20 \mu A$	$V_E =$ _____ V	$I_E = 2 mA$	$V_E =$ _____ V
$I_E = 50 \mu A$	$V_E =$ _____ V	$I_E = 3 mA$	$V_E =$ _____ V
$I_E = 100 \mu A$	$V_E =$ _____ V	$I_E = 4 mA$	$V_E =$ _____ V
$I_E = 200 \mu A$	$V_E =$ _____ V	$I_E = 5 mA$	$V_E =$ _____ V
$I_E = 400 \mu A$	$V_E =$ _____ V	$I_E = 10 mA$	$V_E =$ _____ V
$I_E = 800 \mu A$	$V_E =$ _____ V	$I_E = 15 mA$	$V_E =$ _____ V
$I_E = 1 mA$	$V_E =$ _____ V	$I_E = 25 mA$	$V_E =$ _____ V

- (7) 在谷點的 $V_V =$ _____ V， $I_V =$ _____ mA。(I_E 增加， V_E 開始增加的那一點)
- (8) 根據以上所得的數值，繪出一UJT在 $V_{BB} =$ _____ V 的靜態射極特性曲線。



工作二：利用UJT組成一弛張振盪器

工作程序：

- 按工作圖(二)接妥電路， V_{BB} 由AC12V經整流濾波供給之。
- 改變 VR ，用示波器觀察 E 、 B_1 、 B_2 上的波形。
- VR 置於 $50 K\Omega$ ，將 E 、 B_1 、 B_2 波形的相關位置繪於以下空欄中。
(示波器垂直輸入轉至DC，並測出其波形變化電壓)