

SONY

# 電晶體電路及應用

Taizo Yamada 原著

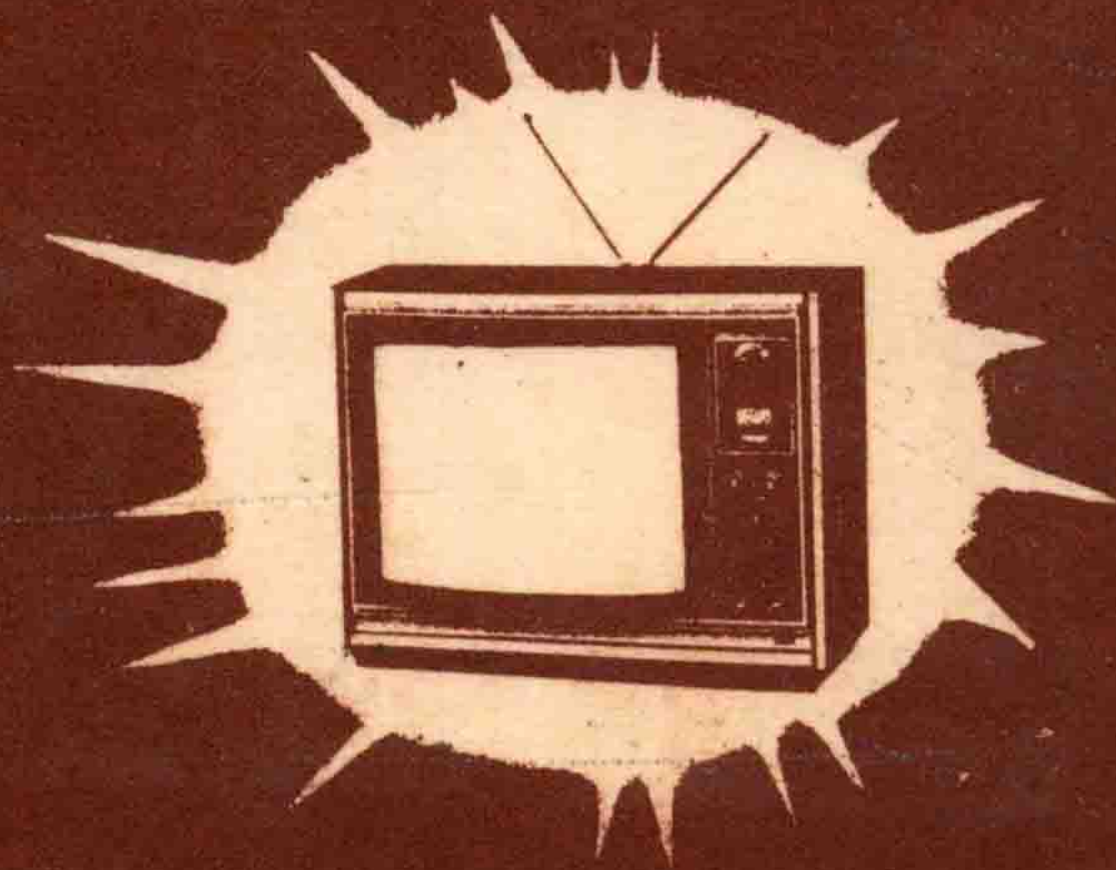
崔承慰 譯著

電晶體電路分析・設計・應用  
特麗霓虹彩色電視

SONY

**TRANSISTOR CIRCUITS  
AND APPLICATIONS**

(3 vol. in 1)



中央圖書出版社出版

SONY

# 電晶體電路及應用

Taizo Yamada 原著

崔承慰 譯著

電晶體電路分析・設計・應用  
特麗霓虹彩色電視

**SONY**

***TRANSISTOR CIRCUITS  
AND APPLICATIONS***

(3 vol. in 1)

中央圖書出版社出版

SONY 電晶體電路及應用  
( SONY TRANSISTOR CIRCUITS  
AND APPLICATIONS )

究必印翻✦有所權版  
整元拾捌佰壹幣台新價實

行政院新聞局出版事業登記證  
局版台業字第〇九二〇號

譯著者：崔 承 慰

原著者：Taizo Yamade

發行者：林 在 高

出版者：中央圖書出版社

發行所：台北市衡陽路二十二號

發行所：中央圖書供應社

台北市衡陽路二十二號

電話：三三一五七二六  
三七一八九三

郵政劃撥帳戶：九一四號

印刷所：聯和印製廠有限公司

台北市寶興街二十一號

中華民國七十年五月二版

編號：2572

# 譯者序

目前坊間已有很多關於電晶體及電晶體電路方面的書籍，但是往往偏於理論而不適合實用。本書原著為日本新力（SONY）公司的工程訓練教材，原著者 Taizo Yamada 負責該公司的技術訓練工作。

本書特色為理論與實用並重，內容深入淺出，並無繁複的數學公式，讀者容易瞭解。全書計分三大部分：第一部分為電晶體基本電路分析；第二部分為實用電路，包括調幅接收機電路、調頻接收機電路、立體聲接收機電路及電視接收機電路。以新力產品型式的電路加以分析說明，對於各級電路及有關元件的作用解釋詳盡；第三部分為彩色電視機電路及其應用，亦以新力產品型式有關電路為主，加以分析，最後對彩色電視機的基本調整亦有詳細說明，包括落點（landing）調整、靜態及動態收斂調整、白平衡調整以及其他電路調整。本書可供大專及高工電子科系學生及電子從業人員研讀參考用。

譯者 崔 承 慰

中華民國 67 年 3 月

# 目 錄

譯者序

## 第一部 電晶體電路分析、設計及應用

### 第一章 電晶體電路的電壓放大率

1-1	電晶體中電流的流動 .....	1
1-2	電晶體中的常數 $\alpha$ 及 $\beta$ .....	2
1-3	施加於電晶體的偏壓及輸入信號 .....	4
1-4	電壓及電流放大率的計算 (功率增益) .....	9
1-5	負荷電阻值的影響 .....	15
1-6	負荷電路上的損失 .....	26
1-7	直接耦合放大電路 .....	30
1-8	負回授放大器 .....	40

### 第二章 輸入電阻

2-1	決定輸入電阻值的因素 .....	53
2-2	輸入電阻 $h_i$ 及 $r_i$ .....	56
2-3	輸入電阻匹配及電壓增益之間的關係 .....	59

### 第三章 射極耦合器

3-1	輸入電阻及電壓放大率 .....	67
3-2	輸出電阻 .....	69

### 第四章 溫度補償

4-1	集極截止電流 ( $I_{CBO}$ ) .....	73
4-2	$I_{CBO}$ 對電路的影響 .....	75
4-3	減小 $R_2$ 的方法 .....	78
4-4	使用熱阻器的方法 .....	79

## VI 目 錄

4-5	加入穩定電阻器的方法 .....	81
4-6	穩定因數 $S$ 及線路常數的決定 .....	83
4-7	防止熱逸散時的 $S$ 值 .....	92
4-8	旁路電容器 .....	94
<b>第五章 A 類單端功率放大</b>		
5-1	匹配變壓器 (輸出變壓器) .....	103
5-2	等效電路 .....	106
5-3	輸出電流對輸入信號的流動, 以及 $I_{PP}$ 與 $E_{PP}$ ...	107
5-4	輸出電壓及電源電壓之間的關係 .....	110
5-5	輸出功率的計算 .....	112
5-6	效率 .....	117
5-7	絕對最大定額 .....	118
5-8	實際輸出功率及其效率 .....	124
<b>第六章 推挽式功率放大</b>		
6-1	A 類推挽式功率放大 .....	133
6-2	B 類推挽式功率放大 .....	137
6-3	B 類推挽式放大的輸出功率 .....	138
6-4	B 類推挽式放大的效率 .....	140
6-5	推挽式電路中的變壓器及功率增益 .....	143
6-6	B 類推挽式電路的特性 .....	149
6-7	交越失真 .....	152
<b>第七章 OTL (無輸出變壓器) 推挽電路</b>		
7-1	OTL 的原理 .....	155
7-2	OTL 之輸出功率的計算 .....	160
7-3	ITL-OTL 電路 .....	163
7-4	複合電路 .....	167
7-5	OTL (SEPP) 電路的輸出阻抗 .....	171

<b>第八章</b>	<b>調幅接收機電路</b>	
8-1	6石至9石電晶體接收機方塊圖的一般描述	177
8-2	高頻放大電路	183
8-3	變頻電路	209
8-4	中頻放大電路	243
8-5	調幅及檢波電路	274
8-6	低頻放大電路	292
<b>第九章</b>	<b>調頻接收機電路及無線微音器</b>	
9-1	調頻接收機的雜音及其補償	301
9-2	調頻無線電接收機的方塊圖	311
9-3	射頻放大電路	315
9-4	變頻電路	317
9-5	中頻放大電路	321
9-6	限制器	323
9-7	鑑頻器(調頻檢波)	325
9-8	自動頻率控制(AFC)電路	330
9-9	無線微音器	333
<b>第十章</b>	<b>立體聲接收電路</b>	
10-1	立體聲廣播的基本原理	337
10-2	立體聲接收機的原理	339
<b>第十一章</b>	<b>電視接收機電路</b>	
11-1	電視接收機的方塊圖	355
11-2	超高頻調諧器	355
11-3	極高頻調諧器	359
11-4	視像中頻放大電路	360
11-5	視頻檢波電路	368
11-6	視頻放大電路	371
11-7	聲音電路	376
11-8	同步信號分離電路	377
11-9	垂直電路	380

## VIII 目 錄

11-10	水平電路	384
11-11	水平同步 AFC 電路	391
11-12	遮沒電路	392
11-13	高壓電路及 S 形補償	393

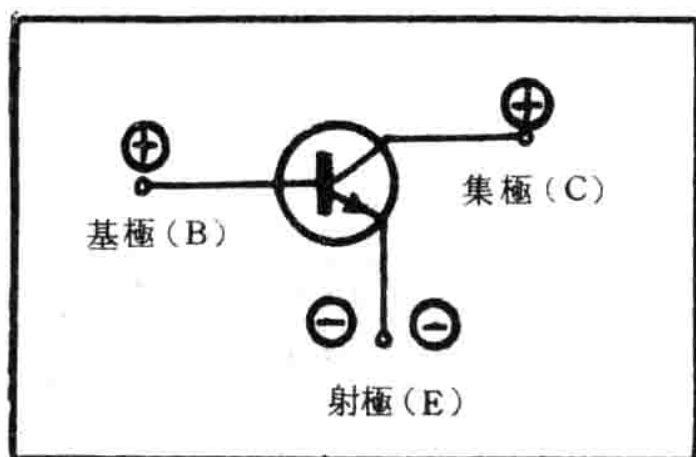
## 第二部 特麗霓虹彩色電視

1.	彩色及視覺	397
2.	彩色電視系統	400
3.	NTSC 的原理及其信號	402
4.	NTSC 系統的多工制 (Multiplex) 通信技術	405
5.	$E_I$ 及 $E_Q$ 信號	408
6.	彩色電視機用的陰極射線管 (Cathode ray tube, 簡稱 CRT)	412
7.	彩色電視機的組成	417
8.	調諧器	419
9.	彩色副載波的視像中頻 (VIF) 頻帶特性	427
10.	視像中頻放大 (VIF) 電路 (KV-1810 U 型)	429
11.	聲頻陷波器	430
12.	自動雜訊消除 (ANC) 及自動增益控制 (AGC) 電路	431
13.	聲音中頻及聲頻 (SIF-AF) 放大器	433
14.	視頻放大器電路	435
15.	彩色信號復原電路	441
16.	偏向及高壓電路	450
17.	映像管電路及有關組件	458
18.	電源供給電路 (電源調整器)	474
19.	落點及收斂之間的差別	480
20.	基本調整一	482
21.	基本調整二	486
22.	基本調整三	499
23.	基本調整四 - 電路	501



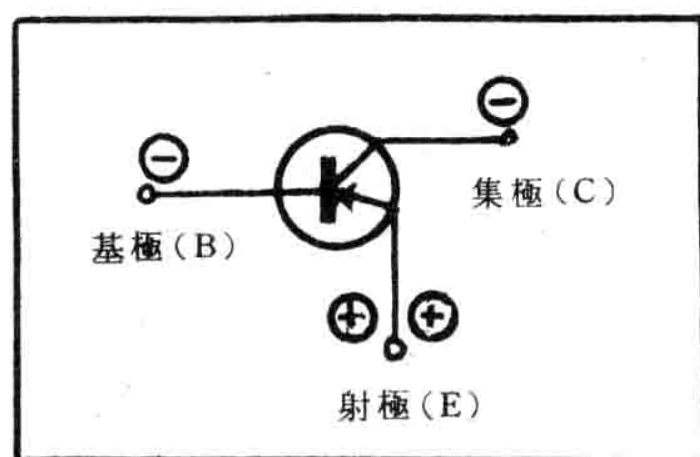
# 第一章 電晶體電路的 電壓放大率

電晶體 (Transistor) 包括 NPN 及 PNP 兩種型式, 如圖 1-1 及 1-2 所示。此二型式的工作原理完全相同, 然而流過兩者的電流方向則相反, 因此其電源的極性亦相反。在本書中, 全部用 NPN 型作解釋, 當有必要時才以 PNP 型來敘述。本書的目的僅在提供讀者對電晶體電路的基本知識, 所以不涉及半導體的物理特性。



NPN 型電晶體

圖 1-1



PNP 型電晶體

圖 1-2

## 1-1 電晶體中電流的流動

如圖 1-3 所示, 流經電晶體的電流是由基極 (Base) 及集極 (Collector) 進入, 而一同從射極 (Emitter) 流出。此可如 (1.1) 式表示之:

$$I_E (\text{射極電流}) = I_C (\text{集極電流}) + I_B (\text{基極電流}) \quad (1.1)$$

## 2. SONY 電晶體電路及應用

若產生電流的電源以電池來代表，如圖 1-4 所示，其中  $V_{CC}$  為主電源，通常自 1.5 至 100 V，及  $V_{BE}$  為輔助電源通常對銻電晶體 (Germanium transistor) 約為 0.2V，對矽電晶體 (Silicon transistor) 則為 0.65 V。

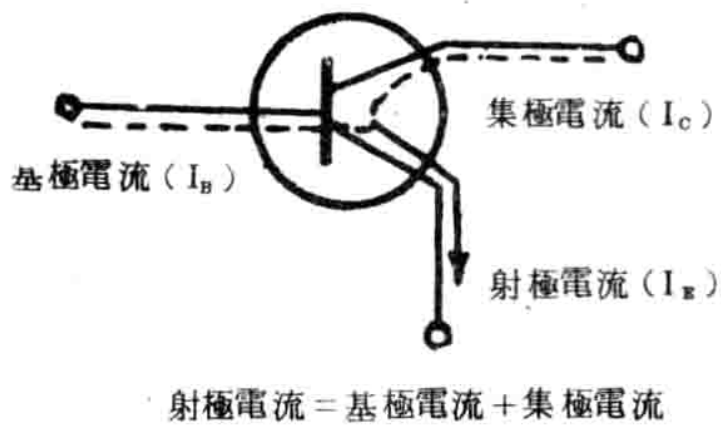


圖 1-3

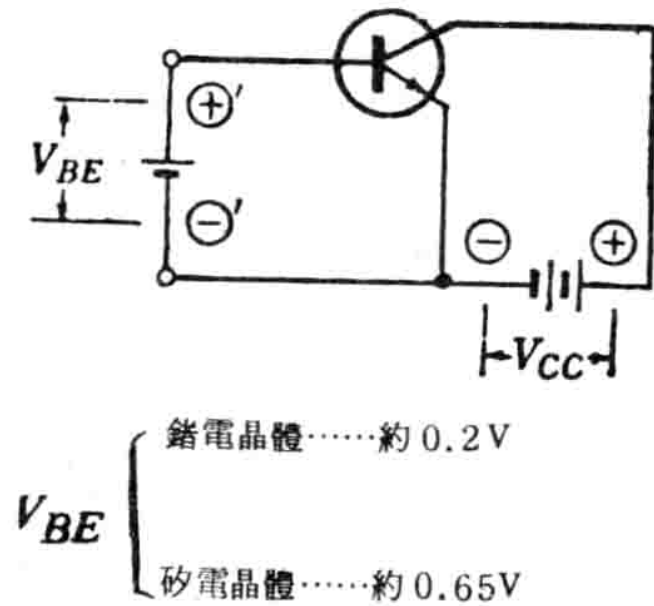


圖 1-4

此輔助電源通常稱為基極偏壓 (Base bias)，且所需電壓通常是由  $V_{CC}$  經過電阻降壓而得。圖 1-5 表示  $V_{BE}$  經由二電阻  $R_1$  及  $R_2$  而得到，代替了電池的使用。

在圖 1-5 中，當流過  $R_2$  的電流為  $I_2$ ，流向  $Tr$  (電晶體) 的電流為  $I_B$ ，則  $V_{BE}$  可表示為

$$V_{BE} = R_2 \cdot I_2 \quad \text{或} \quad V_{BE} = h_i \cdot I_B \quad (1.2)$$

其中  $h_i$  是從基極看入的電晶體內電阻 (Transistor's internal resistance as seen from its base)。下面討論  $I_E$ 、 $I_C$  及  $I_B$  之間的關係。

### 1-2 電晶體中的常數 $\alpha$ 及 $\beta$

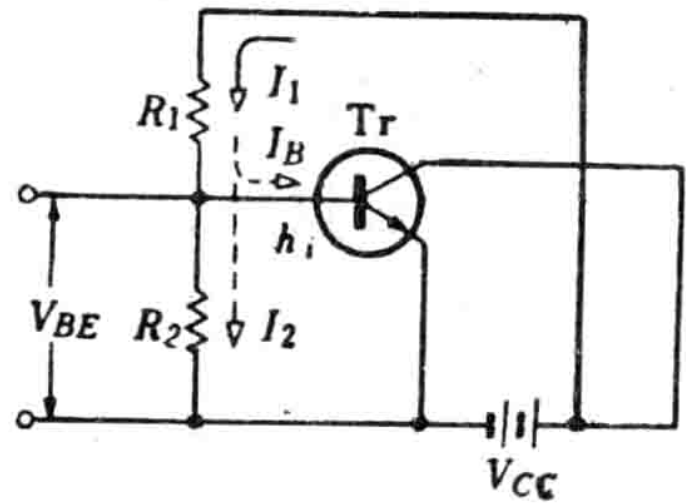


圖 1-5

設  $V_{BE}$  仍以電池來代表。(因爲這樣比使用電阻  $R_1$  及  $R_2$  較易明瞭) 此三個電流之間的關係如式 (1.1) 所示, 但在一般電晶體中  $I_E$  及  $I_C$  的相對值, 當  $I_E$  爲 1 時,  $I_C$  約爲 0.9 至 0.995。因此,

$$I_C = (0.9 \sim 0.995) I_E \quad (1.3)$$

因爲  $I_B$  可從  $I_E$  減去  $I_C$  得到, 故

$$I_B = (0.1 \sim 0.005) I_E \quad (1.4)$$

如 (1.3) 式所知,  $I_C$  的值超過  $I_E$  的 90%, 因此在電晶體電路設計中, 常將  $I_C$  視爲與  $I_E$  相等。

$$I_E \approx I_C \quad (1.5)$$

現在, 設式 (1.3) 中的  $0.9 \sim 0.995$  以  $\alpha$  來代表時, 式 (1.3) 可重寫爲:

$$I_C = \alpha I_E \quad (1.6)$$

因此, 式 (1.4) 爲:

$$I_B = (1 - \alpha) I_E \quad (1.7)$$

且從式 (1.6) 及式 (1.7), 得  $I_C$  與  $I_B$  的比爲:

$$\frac{I_C}{I_B} = \frac{\alpha I_E}{(1 - \alpha) I_E} = \frac{\alpha}{1 - \alpha} \quad (1.8)$$

因此,  $I_C$  與  $I_B$  的比值亦即  $I_C$  爲  $I_B$  的多少倍, 可由式 (1.8) 得之。此比值稱爲  $\beta_{dc}$ , 即

$$\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha} = \frac{I_C}{I_B} \quad (1.9)$$

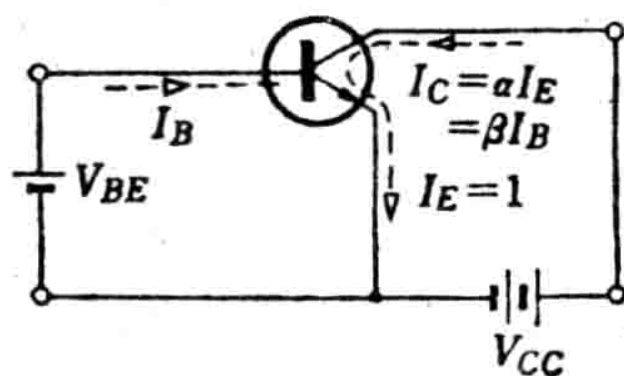


圖 1-6

在半導體工程中， $I_C/I_B$  稱爲  $h_{FE}$ ；而  $I_C$  的變化量  $d(I_C)$  及  $I_B$  的變化量  $d(I_B)$  之比值，亦即  $d(I_C)/d(I_B)$ ，稱爲  $h_{fe}$ 。由於這些值是不同的，故僅當必要時才考慮這些常數。今以  $\beta$  代表集極電流變化與基極電流變化的比值即  $h_{fe}$ ，而以  $\beta_{dc}$  代表  $h_{FE}$ 。式 (1.9) 可由代數式簡化爲

$$\alpha = \frac{\beta}{1 + \beta} \quad (1.10)$$

今  $\alpha$  及  $\beta$  的意義如下：

- $\alpha$ ：基極接地的電流放大率 (Current amplification ratio for grounded base condition)。
- $\beta$ ：射極接地的電流放大率 (Current amplification ratio for grounded emitter condition)。

這樣命名的原因將在稍後解釋。

### 1-3 施加於電晶體的偏壓及輸入信號

今將一個電晶體連接至信號源，諸如微音器 (Microphone) 之類。當此微音器被接成如圖 1-7 所示時，流經  $R_1$  至  $R_2$  及 Tr 的電流  $I_1$ ，有流向微音器的趨勢。

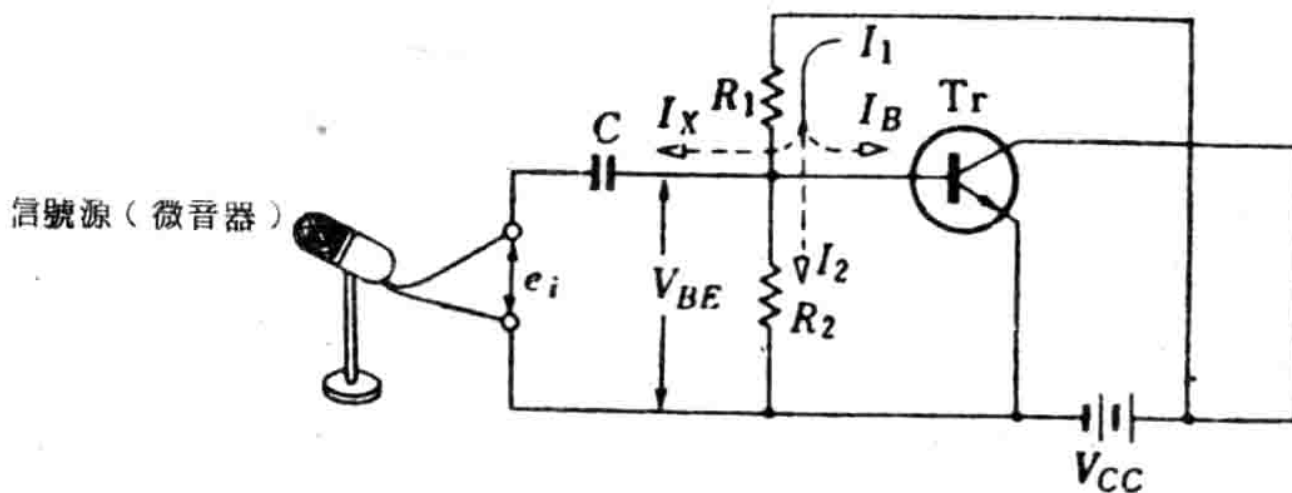


圖 1-7

由於  $I_X$  的流動將減少  $I_B$  電流亦即減少流向 Tr 的電流，而造成電流關係變動的問題。要避免這個問題，可加入一個電容器 C。此電容器 C 不僅隔離直流  $I_X$  的流動，而且容許自微音器來的交流聲頻信號

自由通過。用來連接微音器至電晶體（隔直流用）的電容器稱為耦合電容器（Coupling capacitor）。

當有人對著微音器講話時，即產生 $1 \sim 2 \text{ mV}$ （毫伏）的聲頻電壓。爲了簡化起見，假設此交流信號是一個正弦波的交流電壓，其最大值爲 $1 \text{ mV}$ ，如圖1-8所示。此電流及 $I_2$ 均流經 $R_2$ 而在其上產生 $V_{BE} = 0.7 \text{ V}$ 或 $700 \text{ mV}$ 的直流電壓及 $1 \text{ mV}$ 的交流電壓，如圖1-9所示。此後，由假定爲微音器輸出的正弦波代表交流音頻電流且稱它爲信號電壓或信號電流。

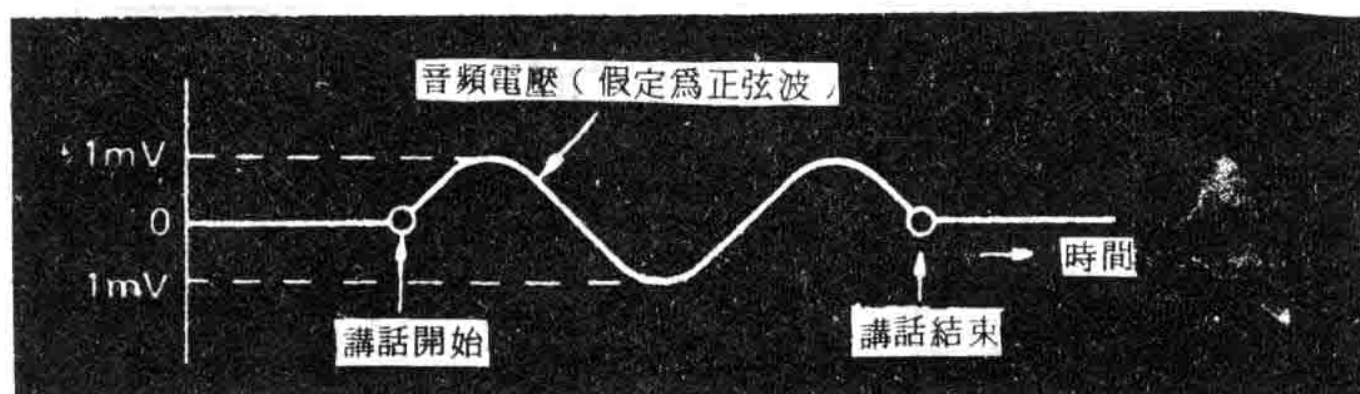


圖 1-8

因爲圖1-9中的混合電壓施加於 $T_r$ 的基極如圖1-10(a)，故流過基極的電流必與它成正比。因此當混合電壓爲 $E_b$ 則正比於它的電流爲 $I_b$ 。

$$\left. \begin{aligned} E_b &\propto I_b \\ \therefore E_b &= h_i \cdot I_b \end{aligned} \right\} \quad (1.11)$$

其中 $h_i$ 代表電阻，爲自基極看入的內電阻，如圖1-5或1-10(b)所示。（ $h_i$ 稱爲輸入電阻）

假定 $h_i$ 爲 $1 \text{ k}\Omega$ ，變換式(1-11)，從 $I_b = E_b/h_i$ ，得

$$\text{當 } E_b = 700 \text{ mV} \text{ , } \quad I_{b_0} = \frac{700 \text{ mV}}{1 \text{ k}\Omega} = 0.7 \text{ mA}$$

$$\text{當 } E_b = 701 \text{ mV} \text{ , } \quad I_{b_r} = \frac{701 \text{ mV}}{1 \text{ k}\Omega} = 0.701 \text{ mA}$$

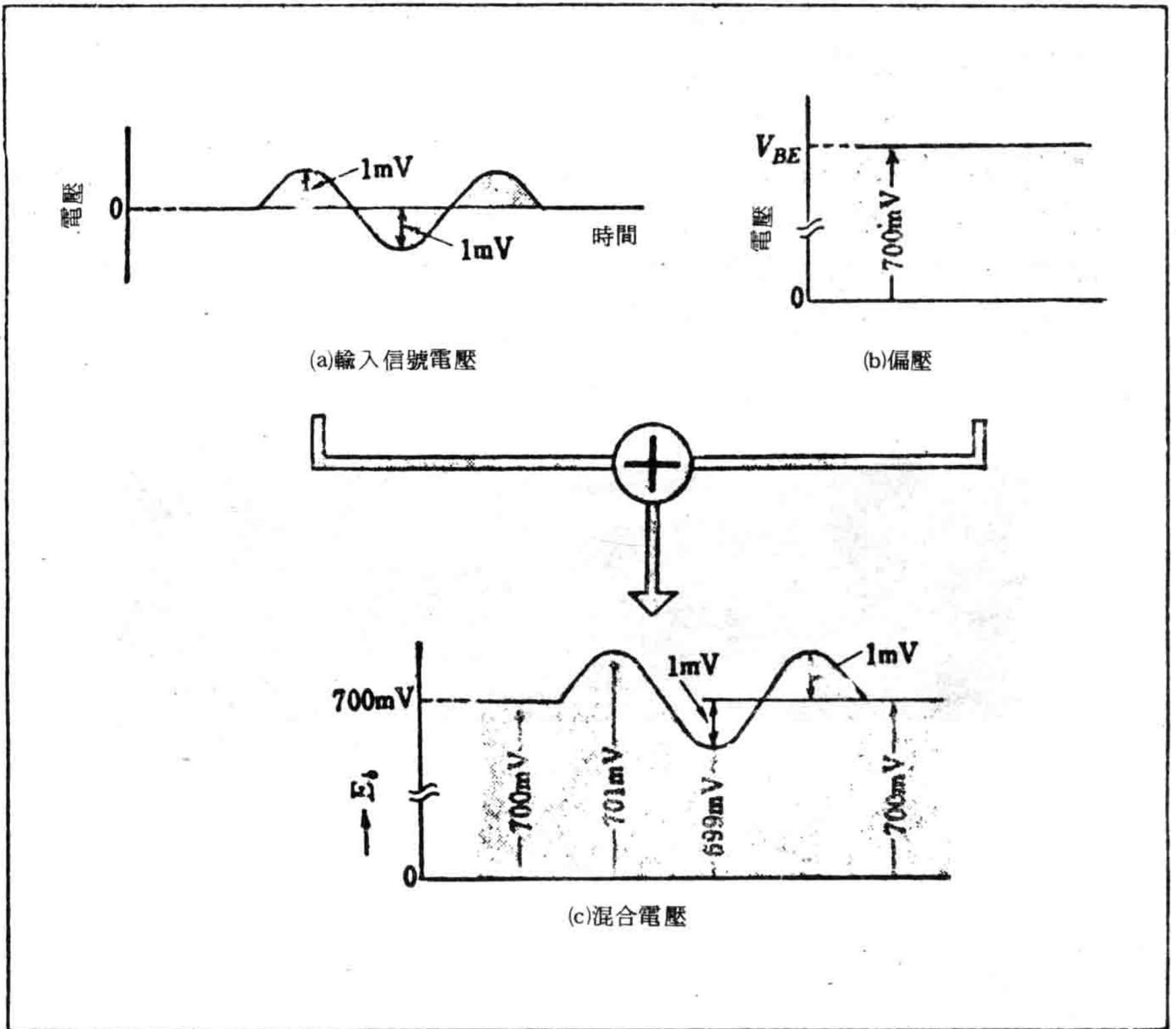


圖 1-9

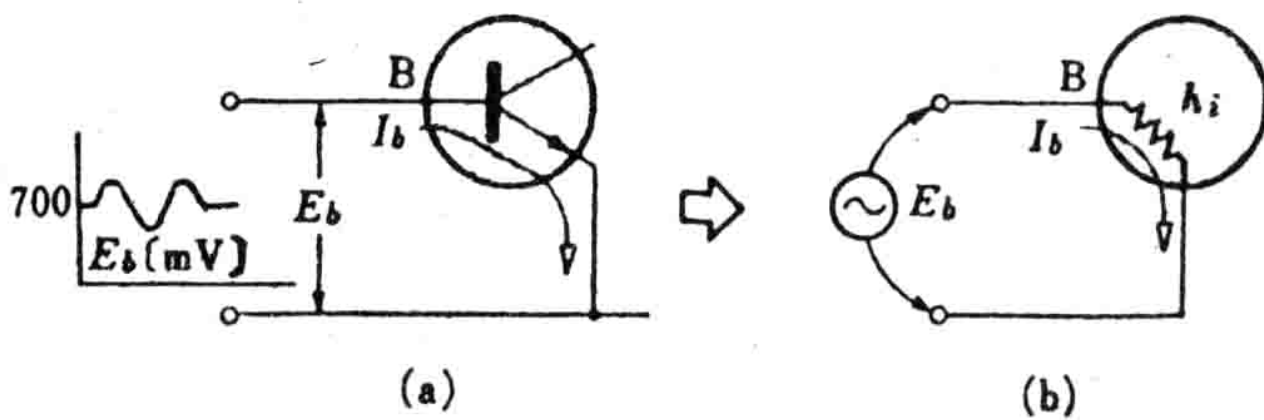


圖 1-10

$$\text{當 } E_b = 699 \text{ mV} , \quad I_{b_2} = \frac{699 \text{ mV}}{1 \text{ k}\Omega} = 0.699 \text{ mA}$$

當  $I_b$  流入基極時則集極電流  $I_c$  的流動與  $I_b$  成正比（見圖 1-11）。因為由式（1.9）得知“直流集極電流與基極電流之比值為  $\beta$ ”，故  $I_b$  及  $I_c$  之間的關係為

$$\left. \begin{aligned} \frac{I_c}{I_b} &= \beta \\ \therefore I_c &= I_b \beta \end{aligned} \right\} (1.12)$$

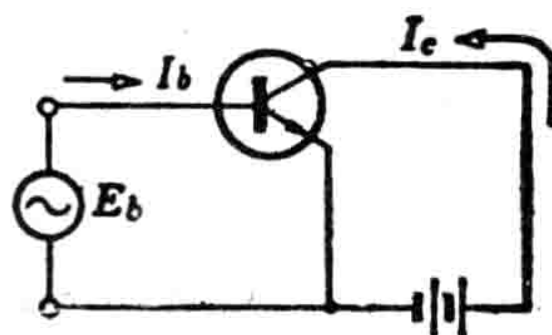


圖 1-11

假定  $\beta = 100$ ，當  $I_b$  分別為 0.7、0.701 或 0.699 mA 時， $I_c$  的值相對為

$$\begin{aligned} I_{c_0} &= 0.7 \times 100 = 70 \text{ mA} \\ I_{c_1} &= 0.701 \times 100 = 70.1 \text{ mA} \\ I_{c_2} &= 0.699 \times 100 = 69.9 \text{ mA} \end{aligned}$$

圖 1-12 表示  $I_b$  及  $I_c$  之間的關係。

當此二正弦波互相比較時，在  $I_c$  邊的振幅比值為：

$$\frac{(70.1 - 70) \text{ mA}}{(0.701 - 0.7) \text{ mA}} = \frac{0.1 \text{ mA}}{0.001 \text{ mA}} = 100$$

自上式可瞭解，正弦波（信號）集極電流與基極電流的比亦為  $\beta$ 。

現在考慮信號電壓大於 1 mV 甚多的情形。

圖 1-13(a) 表示偏壓  $V_{BE}$  是 0.65 V 且混合輸入信號振幅自零往上增加。

當信號振幅小時，流入基極的電流與電壓波形成正比。然而，當基極電壓降至 0.6 V 以下如圖 1-13(a) 波形的陰影部分所示，基極電流就不能正比於電壓波形而被截割（Clip）。此並非指電流在 0.6 V 時

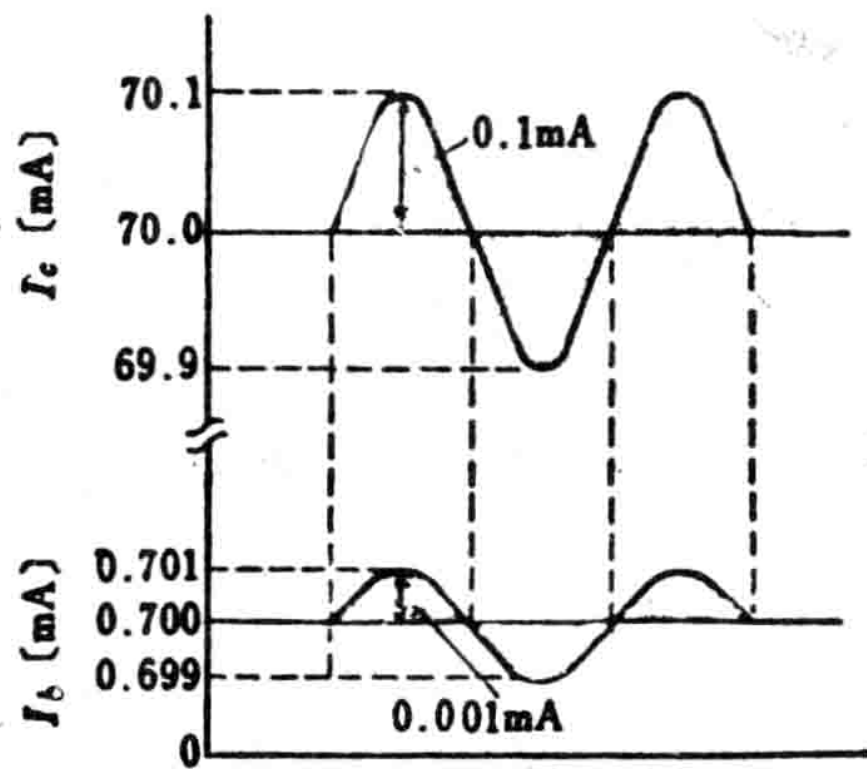


圖 1-12

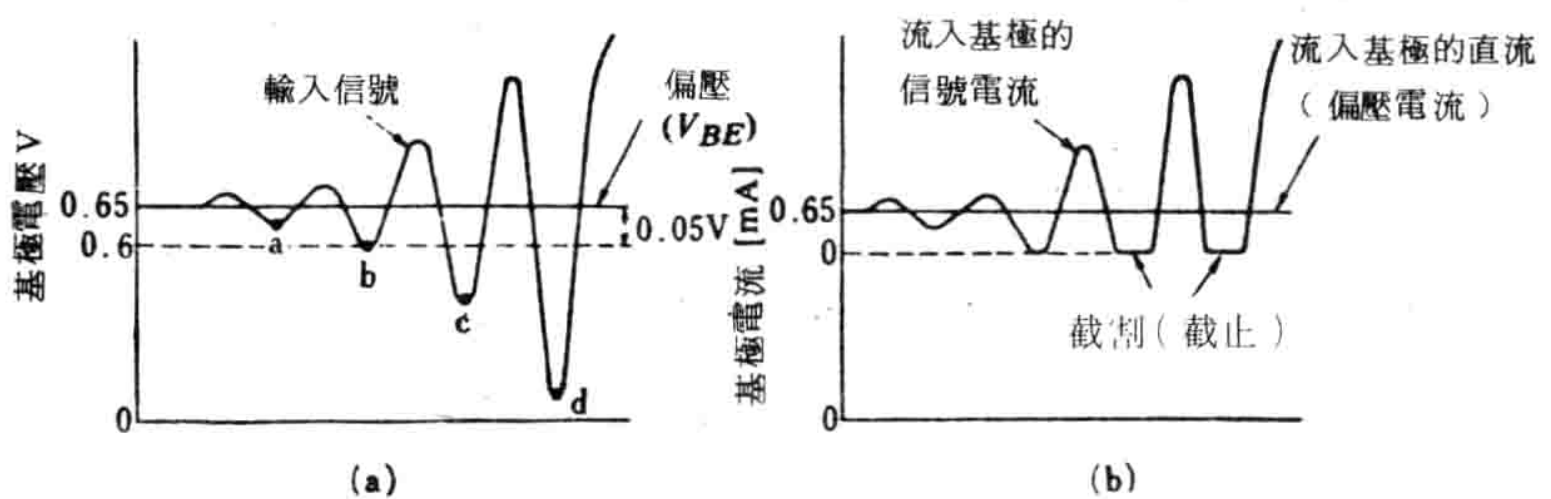


圖 1-13

突然截止，而是當電壓降至 0.6 V 以下時，電流逐漸減少到截止的狀態。所有的矽晶體在 0.6 V 時都發生此種現象。對鍺晶體則發生在 0.15 至 0.2 V 時。由於它是半導體中電子的移動所造成的，故在設計如放大器一類的設備時，必須特別注意防止它。當基極電流中斷時的偏壓稱為**截止偏壓** (Cut-off bias voltage)。如前所述，截止偏壓並非指電流突然截割的某一點電壓。須知，矽晶體的截止偏壓為 0.6 V，而鍺晶體為 0.15 V；同理，如基極電流如圖 1-13(b) 所示，則集極



電流亦以相同的方式流動。

現在設有一個振幅很大的輸入信號  $0.1\text{ V}$  饋入電晶體時，其偏壓必須比  $0.6\text{ V}$  大  $0.1\text{ V}$  即  $0.7\text{ V}$ ，如圖 1-14 所示。否則，將導致如圖 1-13(b) 的截割波形。當  $h_i$  被調整至  $1\text{ k}\Omega$  時，流入基極的偏壓電流可由下式得到。

$$0.7\text{ V}/1\text{ k}\Omega = 0.7\text{ mA}$$

因此，當  $\beta$  為 100 時，集極電流  $I_c$  為：

$$I_c = 0.7 \times 100 = 70\text{ mA}$$

所以，當大振幅的輸入信號被處理時，其偏壓必須預先決定有足夠高，以防止到達截止電壓。此導致偏壓電流的增加，而使流過集極的直流電流增加。

在多級電晶體放大器

中，因為信號的振幅於每一級都會增加，結果其集極電流亦增加，故偏壓必須提高。由於集極電流的增加，電晶體雜音亦將增加，因此在設計放大器時第一級必須選擇低雜音的電晶體。此外，為了獲得所容許的最低集極電流，其偏壓電流應儘可能小。第一級所產生的雜音將會被以後的數級所放大，而很難在以後各級中減低。所以，「必須仔細考慮以消除第一級的雜音」。此為設計電晶體放大器的一個重要因素。

#### 1-4 電壓及電流放大率的計算（功率增益）

圖 1-15 說明當輸入信號  $e_i$  施加於電晶體的基極(B) 時，則輸出信號電壓  $e_o$  跨於集極(C) 上產生。

將上圖簡單的想像成一個方盒，而非“一個電晶體”。當  $e_i$  假設為  $0.1\text{ V}$  且在  $e_o$  得到  $10\text{ V}$ ，則在方盒中輸出信號  $e_o$  及輸入信號  $e_i$  的比值  $A$  為：

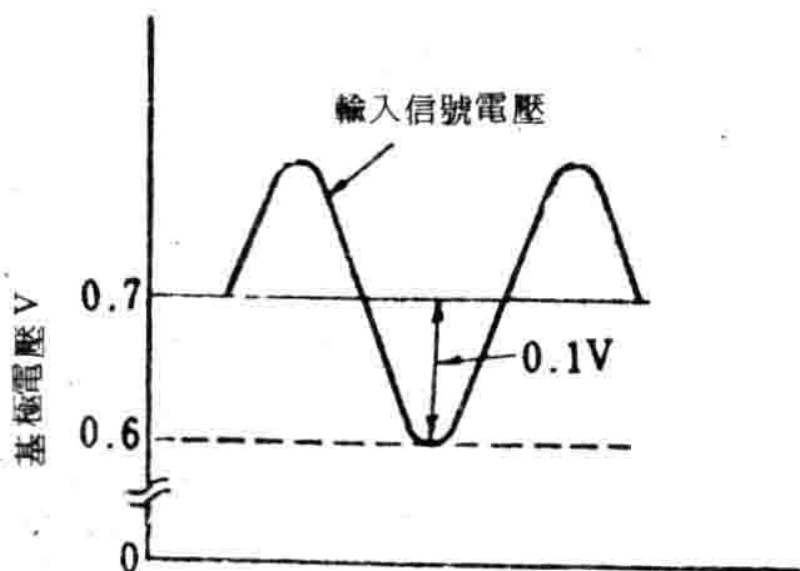


圖 1-14