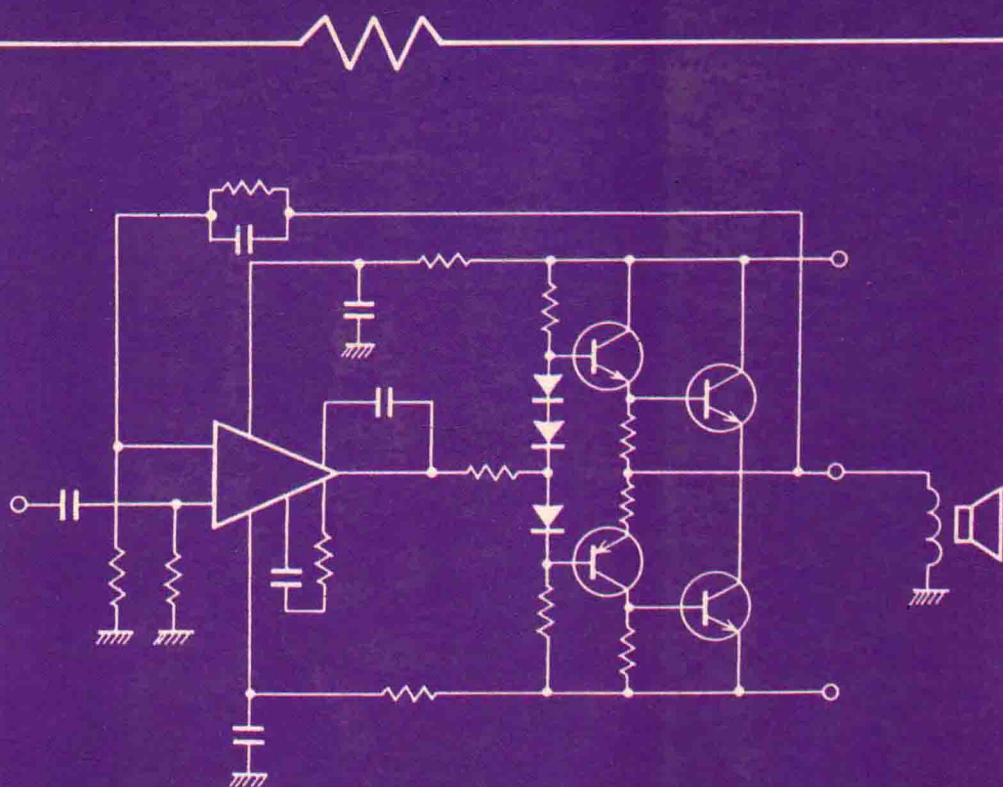


線性放大電路(I)

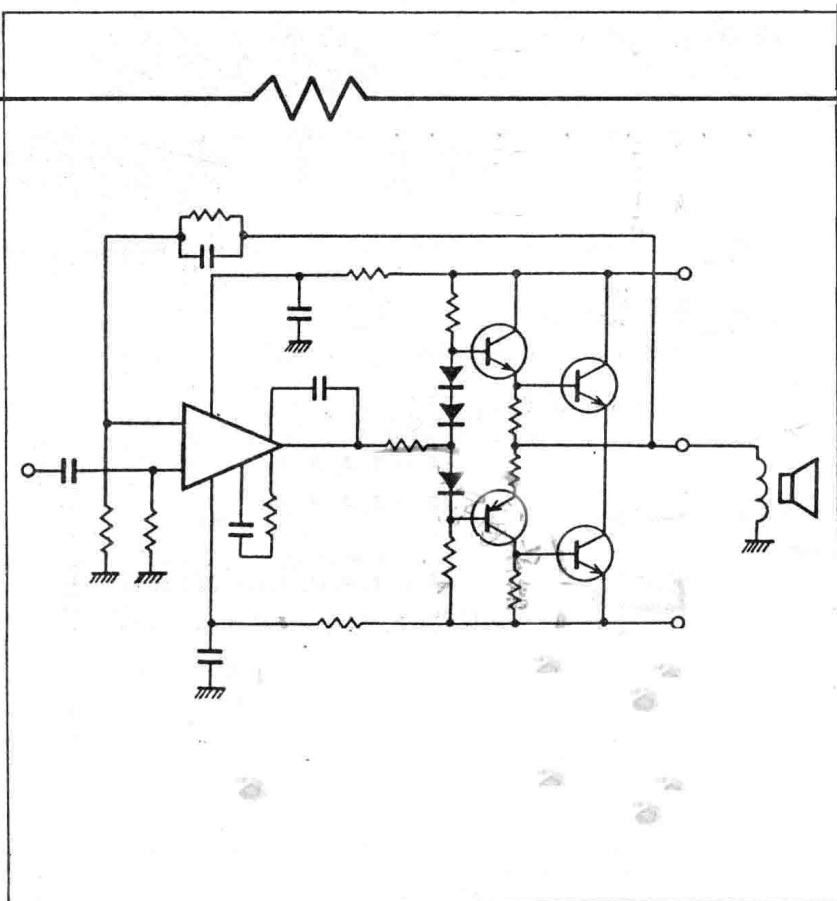
吳顯堂 編譯



全華科技圖書股份有限公司 印行

線性放大電路(I)

吳顯堂 編譯



全華科技圖書股份有限公司 印行



全華圖書

法律顧問：陳培豪律師

線性放大電路(I)

吳顯堂 編譯

出版者 全華科技圖書股份有限公司

地址 / 台北市龍江路76巷20-2號2樓

電話 / 5071300 (總機)

郵撥帳號 / 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

定 價 新台幣 100 元

初版 / 78年 5 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 0211821

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！！



原 序

目前的社會，可說處在電子時代。因為不管從事何種行業，或是在校學生，一定對電子都有直接或間接的深厚關係。

本書是為正在從事電子方面的工作者，與即將學習電子電路者所準備的，一連串“圖解電子電路叢書”中，就放大電路的基本知識，以淺易的手筆進行解說之同時，也希望內容能立刻就有實用價值而編輯的。

另外，想要設計電路之前，必定會先瞭解有關的電路應用問題。本書也依據此一宗旨，進行資料的蒐集。因此，在電路說明的過程中，只列出有助於瞭解的最低限度之數學公式。其他絕大部分的內容，還是儘可能用圖解的方式說明，以便讀者能清楚理解。這樣，跨過數學公式，相信也能對電路的動作原理有正確的認識。不過，想要自行設計放大電路時，這些數學公式却是必不可少的。

插在各節的“例題”和章末的“練習題”是為使讀者對內容能有更深入的瞭解而設的。所以，在此建議，務必把“問題”也做一做。如此，使本書能引導各位進入電子電路之門，則已甚感榮幸。

最後，為蒐集本書之資料，承蒙前輩提供各方面的書籍作為參考，以及出版社之同仁盡力指導與協助，在此一併深深致謝。

著 者 謹 識



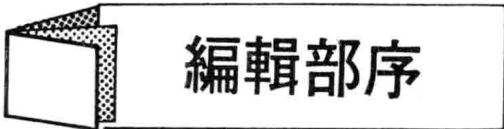
譯 者 序

由於人類追求生活舒適的天性，使社會上不斷湧現新事物，舊事物則因競爭能力的不足而遭淘汰。在電子裝備方面，真空管就因為不如電晶體來得精巧和低消耗功率等條件，終於失去在電子領域中的地位。但曾幾何時，電晶體似乎又要被積體電路所取代。特別是在數位電路方面，此一趨勢更是明顯。因為數位電路是以“1”與“0”的兩極化狀態，進行龐大的電路處理，所以，適合採用積體技術加以簡化。但是在類比電路方面，由於電路特性必須忠實地反應自然存在的型態，因此，電路型態遠比數位電路更具多變性和多樣性。再加上材料特性的不完美與積體技術上的困難，使類比電路的積體化，始終不能像數位電路蓬勃發展。就是目前已積體化的部分，也只不過是把原電路中的部分電晶體和電阻聚集在一起而已，並沒有太大的突破性改變。所以，學會電晶體的類比電路，就不難看懂積體電路中的內部原理。

基於此一事實，學習類比電路，從電晶體的基本放大電路開始，是絕對正確的。本書是將這方面的內容分成上、下兩冊。上册介紹一般的雙極性電晶體在高、低頻放大電路中之應用。最後再闢兩章用以介紹FET和IC的基本原理與應用。下冊將介紹更實用的振盪電路，AM、FM、PM調變及其解調電路原理。最後也另闢兩章，分別介紹聲音多重廣播和光纖通訊等較先進的電子技術。

由此，要是能依序熟讀本書，對類比電路的泰半問題當能確實掌握。這也正是筆者在從事這一譯著工作時所期望的目標。願各位能順利成功。

譯者謹誌



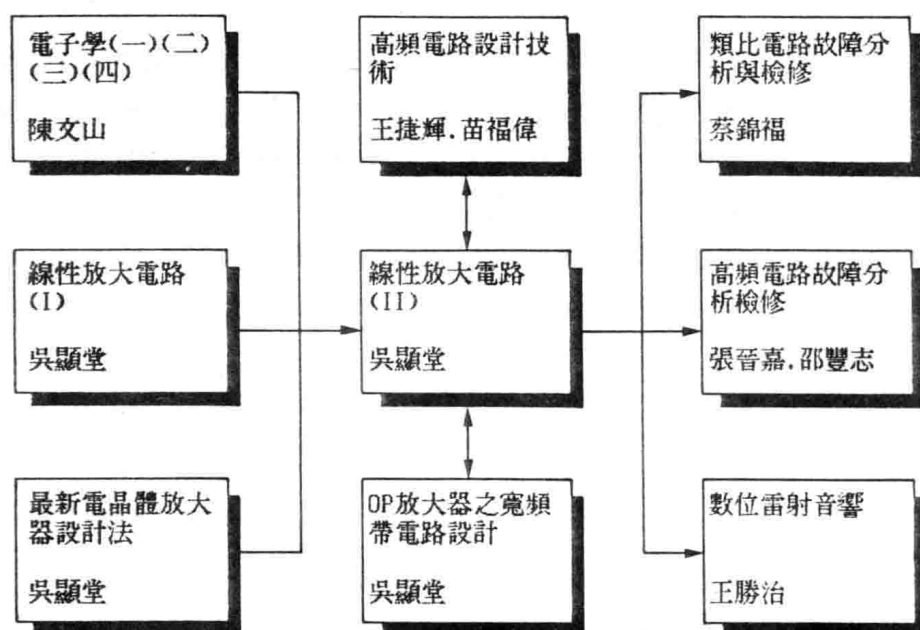
編輯部序

「系統編輯」是我們的編輯方針，我們所提供給您的，絕不只是一本書，而是關於這門學問的所有知識，它們由淺入深，循序漸進。

本書乃是初學電晶體電路與 OP 放大器的入門書籍，全書共分上、下二冊，上冊介紹一般的雙極性電晶體在高、低頻放大電路的應用，並剖析 FET 和 IC 的基本原理與應用；下冊則對實用的振盪電路、AM、FM、PM 調變及解調原理、聲音多重廣播和光纖通訊等較先進的電子技術做一詳盡的討論，對於初學專業知識的電子科同學或稍具電學知識而想學習電子知識的人士而言，本書是最佳的入門書籍。

同時，為了使您能有系統且循序漸進研習相關方面的叢書，我們以流程圖方式，列出各有關圖書的閱讀順序，以減少您研習此門學問的摸索時間，並能對這門學問有完整的知識。若您在這方面有任何問題，歡迎來函連繫，我們將竭誠為您服務。

流程图



目 錄

第一章 放大電路之基礎	1
1.1 放大之原理	1
1.2 基本放大電路	10
1.3 放大倍數	19
1.4 h 參數與等效電路	23
1.5 基本放大電路之放大倍數與輸入、輸出阻抗	28
1.6 放大電路之分類	30
練習題	32
第二章 偏壓電路	35
2.1 偏壓之必要性	35
2.2 偏壓電路之種類與特徵	38
2.3 穩定性	45
2.4 溫度補償電路	47
練習題	50
第三章 低頻小訊號放大電路	53
3.1 CR 交連放大電路之基本原理	53
3.2 頻率特性與電容器	60
3.3 二級 CR 交連放大電路	66
3.4 射極隨耦電路	71
3.5 其他小訊號放大電路	75
練習題	80

第四章 負反饋放大電路	83
4.1 負反饋放大電路之原理	83
4.2 負反饋放大電路之實際問題	90
4.3 雙重負反饋放大電路	97
練習題	103
第五章 功率放大電路	107
5.1 功率放大電路之基本問題	107
5.2 甲類功率放大電路	111
5.3 乙類推挽式功率放大電路	118
5.4 達琳頓接法	122
5.5 SEPP 電路	124
練習題	125
第六章 高頻放大電路	127
6.1 高頻放大電路之基本問題	127
6.2 單調諧電路	130
6.3 中和電路	135
6.4 AGC 電路	136
6.5 幾種高頻放大電路	138
6.6 高頻功率放大電路	141
練習題	143
第七章 FET放大電路	145
7.1 FET 放大電路	145
7.2 偏壓之加法	149
7.3 等效電路	151
7.4 使用 FET 之電路實例	154

練習題	156
第八章 IC放大電路	157
8.1 IC之基本常識	157
8.2 IC內部之獨特電路	159
8.3 OP放大器之基本常識	162
8.4 使用OP放大器之電路實例	167
練習題	169
練習題解答	171

放大電路之基礎

裝在大門的電子門鈴、對講機，以及大家所擁有的無線電收音機、電視機，所以能由喇叭發出很大的聲響或音樂，是因為裡面裝有能把微弱的電氣訊號放大的電路。

這種放大電路是以電晶體為中心構成的，各種電子電路之最基本部分。

下面準備查證電晶體電路的各部分波形，瞭解如何進行放大等電晶體放大電路的基本知識。再學習要使電晶體能產生放大作用，各個電極所必須加上的適當直流電壓（偏壓），以及利用電晶體的靜態特性，瞭解電流放大作用與 h 參數之同時，也學習如何求取電路的電流、電壓與功率放大倍數之方法。

1.1 放大之原理

1. 放 大

能使輸入電壓波幅加大，又能由輸出端取出的動作，稱為放大（amplification）。能產生這種作用的電路，稱為放大電路。具有這種放大電路的裝置，稱為放大器（amplifier）。

所謂“能把小的輸入信號變為較大的輸出信號”，並不是以一般的裁

2 線性放大電路(I)

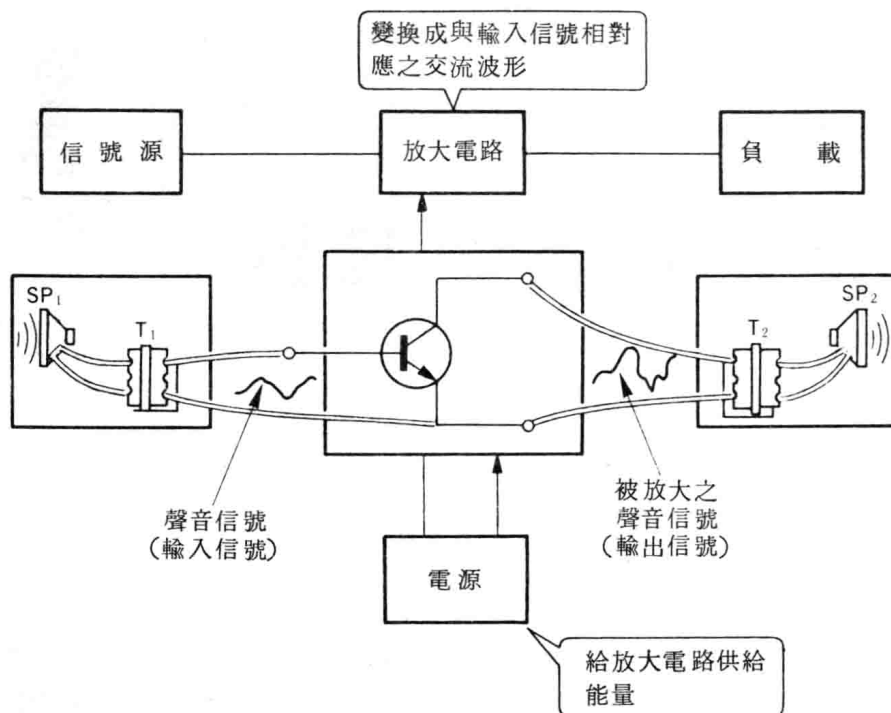


圖 1.1 放大之原理

培法加以養大，而是採用如圖1.1的放大電路，以小的輸入信號電流（或電壓）控制直流電源所供給的電能（electric energy），使做較大幅度的波動，再由輸出端取出的方法。這就是以電晶體構成的放大器之動作型態。

隨輸入與輸出信號的大小，放大電路可分成下列兩種。一種是能使喇叭發出聲音，使天線輻射強大的電波，或使繼電器動作的，輸出功率較大的放大電路。

另一種是用以放大波幅較小的電流或電壓之電路。

前者稱為大信號放大電路，或功率放大電路；後者稱為小信號放大電路。

2. 電晶體的電流放大作用

電晶體是能以微小的基極（輸入）電流控制集極（輸出）電流，使做較大幅度的變化之元件。此一電流放大作用，可用基極接地電路或射極接地電路加以說明。

(a) 電流放大倍數（基極接地電路）

在圖1.2的基極接地電路中，稍微改變基極、射極間電壓 V_{BE} ，使射極電流 I_E 產生 ΔI_E 之變化，則集極電流 I_C 也將有 ΔI_C 之變化。

此時， ΔI_E 與 ΔI_C 之比定為

$$\frac{\Delta I_C}{\Delta I_E} = \alpha = h_{fb} \quad (1.1)$$

其中， α 為基極接地的電流放大倍數（current amplification factor）。又稱為小信號電流放大倍數。數量符號是用 h_{fb} 表示。

另外，直流電流比稱為直流電流放大倍數。數量符號是以 h_{FB} 加以區別。即，

$$\frac{I_C}{I_E} = h_{FB} \quad (1.2)$$

通常，接合型電晶體的 α 或 h_{fb} 是在 $0.95 \sim 0.995$ 之間。也就是不會超過 1。

(b) 電流放大倍數（射極接地電路）

下面再來探討圖1.3的射極接地電路。

現在，同樣使基極、射極間電壓 (V_{BE}) 發生輕微變化，使基極電流 (I_B) 產生 ΔI_B 之變化。由此，射極電流和集極電流也會分別產生 ΔI_E 和 ΔI_C 的變化。此時， ΔI_B 和 ΔI_C 之比，稱為射極接地電流放大倍數，或小信號電流放大倍數。以 β 表示。數量符號則用 h_{fe} 表示。於是，

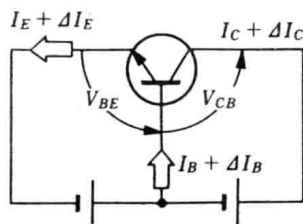


圖 1.2 基極接地電路

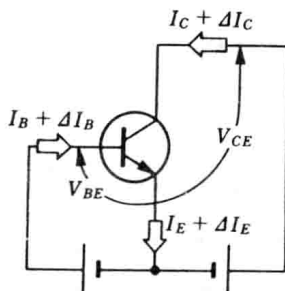


圖 1.3 射極接地電路

4 線性放大電路 (I)

$$\frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} = \beta = h_{fe} \quad (1 \cdot 3)$$

還有，直流電流之比，稱為直流電流放大倍數。數量符號用 h_{FE} 加以區別，即

$$\frac{I_C}{I_B} = h_{FE} \quad (1 \cdot 4)$$

現在，由 (1·1) 式和 (1·3) 式可求得以 α 表示之 $\beta = h_{fe}$ 為

$$h_{fe} = \beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_E - \Delta I_C} = \frac{\frac{\Delta I_C}{\Delta I_E}}{1 - \frac{\Delta I_C}{\Delta I_E}} = \frac{\alpha}{1 - \alpha} \quad (1 \cdot 5)$$

根據 (1·5) 式，假定 $\alpha = 0.995$ ，則 $\beta = 199$ 。這是表示輸入端的基極電流所發生的變化，將使輸出端的集極電流發生 199 倍的變化。這種基極電流的輕微變化就會帶來集極電流的大量變化，稱為電晶體的電流放大作用。

3. 靜態特性

要把電晶體實際地當做電路元件使用，必須澈底地瞭解加在各個電極的電壓，和流過各部分的電流之關係。因為電晶體的特性有非線性的部分，所以，並不能輕易地進行電路計算。通常，必須利用代表電晶體本身的電氣特性之靜態特性，才能進行電路的計算。

雖然，隨接地方式之不同，電晶體的靜態特性也會有所不同，但是在這裡，還是先從最常用的射極接地方式學起。圖 1.4 是求取靜態特性的測試電路。

(a) 輸出特性

在圖 1.4 的測試電路中，先使基極電流 I_B 保持不變，再檢查集極、射極間的電壓 (V_{CE}) 變化所對應的集極電流 (I_C) 變化，就可求得如圖 1.5 的 $V_{CE}-I_C$ 靜態特性。

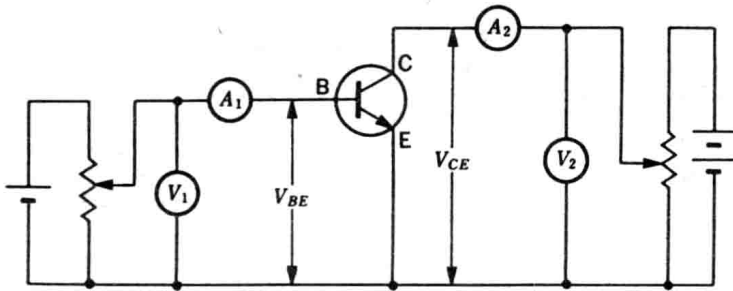
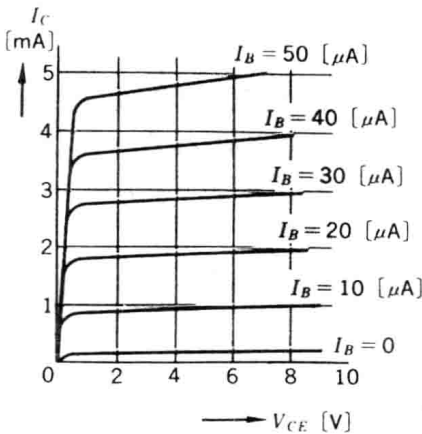


圖 1.4 射極接地之靜態特性測試電路

圖 1.5 $V_{CE} - I_C$ 特性

這就是所謂的集極特性，或稱為輸出特性。由這一靜態特性可瞭解， V_{CE} 在 $0 \sim 1\text{V}$ 附近， I_C 雖然會急遽增加，但是超過 1V 之後， I_C 幾乎不再有何變化。這是由於基極 - 集極間的接合面因擴散而移動之電子，被加於此一接合面的電壓 V_{CE} 引向集極而成集極電流 I_C ，因此，顯示很高的輸出電阻之緣故。

由以上的事實可知，要利用電晶體的放大作用時，必須選擇 I_C 不會急遽變化的 $V_{CE} = 1\text{V}$ 以上之部分。

(b) 輸入特性

將集極 - 射極間電壓 (V_{CE}) 保持不變，再檢查基極 - 射極間的電壓 (V_{BE}) 變化所對應的基極電流 (I_B) 變化，可繪出如圖 1.6 的基極特性（或稱為輸入特性）。

此時，因為基極 - 射極間是加順向電壓，所以，其間的電阻很小。也和 pn 接合層的順向電壓 - 電流特性很相似。

6 線性放大電路 (I)

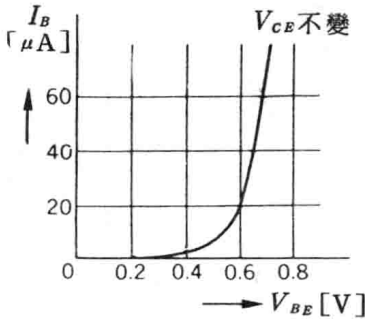


圖 1.6 $V_{BE}-I_B$ 特性

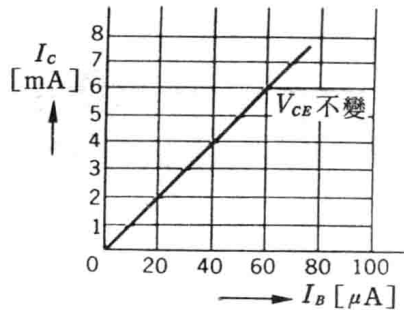


圖 1.7 I_B-I_C 特性

(c) 電流傳輸特性

使集極 - 射極間的電壓 (V_{CE}) 固定不變。輸入端的電流 I_B 與輸出端的電流 I_C 之關係，將如圖 1.7 所示。由該圖所求得的輸入電流對輸出電流之關係為

$$\frac{I_C}{I_B} = \frac{6 \times 10^{-3}}{60 \times 10^{-6}} = 100$$

也就是有 I_B 的 100 倍之 I_C 電流流出。這一 I_B 與 I_C 之比，就是直流電流放大倍數 h_{FE} 。

4. 直流與交流之分離

使電晶體的基極流過直流和交流信號相重疊的電流，集極電路也將流過直流和交流信號相重疊的電流。但是直流電流放大倍數 h_{FE} 和小信號電流放大倍數 h_{fe} ，並不相等。因此，直流成分和交流成分必須分別加以考慮。

為此，各部分的電壓和電流，原則上，是用下列的符號代表。

V_{BE}, V_{CE}, I_B, I_C	直流成分之電壓、電流
v_i, v_o, i_b, i_c	交流成分之電壓、電流
v_{BE}, v_{CE}, i_B, i_C	含有直流成分與交流成分之電壓、電流
V_i, V_o, I_i, I_o	交流成分之電壓、電流有效值
$V_{im}, V_{om}, I_{im}, I_{om}$	交流成分之電壓、電流最大值