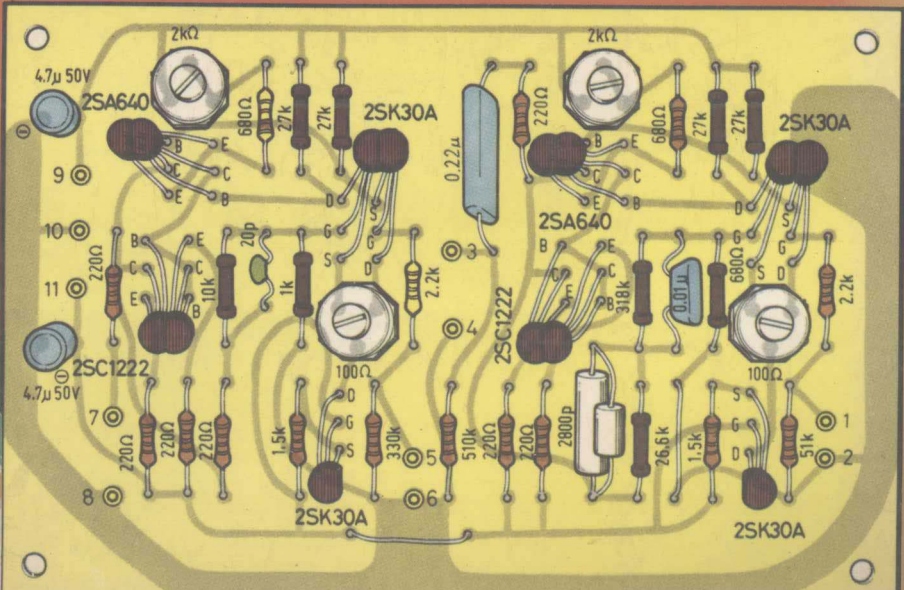


# 晶體管電路設計初步

Beginner's Guide To Transistor Circuits



# 晶體管電路設計初步

曾煥燃編著

香港萬里書店出版

---

**晶體管電路設計初步**

曹煥燾編著

出版者：萬里書店有限公司  
香港北角英皇道486號三樓  
電話：5-632411 & 5-632412

承印者：志豪印刷公司  
香港柴灣祥利街7號十二樓A座

定價：港幣十一元  
版權所有 \* 不准翻印

---

(一九八一年六月印刷)

# 目 次

<b>第一章 電路設計基礎</b> .....	1
<b>晶體管的工作電路</b> .....	1
發射極接地電路.....	1
集電極接地電路.....	1
基極接地電路.....	2
<b>晶體管的“性格”</b> .....	3
h 參數.....	3
極限參數.....	5
電氣特性.....	6
因使用的電流、電壓所引起的參數變化.....	8
因溫度而產生的特性變化.....	8
<b>施加偏壓的方法</b> .....	10
必要的偏壓.....	10
固定偏壓.....	11
電流回輸偏壓電路.....	13
自偏壓電路.....	19
不好的偏壓電路.....	19
兩級直接交連的偏壓電路.....	20
<b>輸出和工作電流</b> .....	22
增益和輸出.....	22
電阻負荷的工作電流.....	24
變壓器負荷的工作電流.....	28
<b>阻抗和匹配</b> .....	29
匹配的必要.....	29

阻抗變換 .....	30
使用變壓器的阻抗匹配 .....	30
選擇變壓器時的要點 .....	31
輸出端也要匹配 .....	33
利用射極輸出器匹配 .....	34
利用高 $h_{FE}$ 的管子匹配 .....	36
電容器的設計 .....	36
輸入交連電容 .....	36
級間交連電容 .....	38
射極傍路電容 .....	39
高頻低落的容量 .....	41
其他要點 .....	42
調諧電路 .....	42
晶體管的 $h_{FE}$ .....	44
三級電路的 CR .....	45
大容量不一定好 .....	46
VR 的接綫位置 .....	47
加指示燈的方法 .....	48
電路應盡可能簡單 .....	48
電源的選擇和壽命 .....	48
<b>第二章 收音機的設計</b> .....	<b>52</b>
不同的電路設計 .....	52
收音機的構成 .....	52
設計的順序 .....	53
甲類功率放大電路的設計 .....	53
激勵級的設計 .....	59
2 級直接交連電路的設計 .....	63
乙類推挽功率放大電路的設計 .....	66
SEPP 電路的設計 .....	69
高頻放大電路的設計 .....	74
收音機的設計 .....	80

2 管直接放大式收音機 .....	80
3 管高 1 式收音機 .....	82
5 管高傳真度收音機 .....	88
3 管晶體管檢波收音機 .....	90
2 管來復式收音機 .....	94
使用低壓電源的 2 管收音機 .....	97
超外差式收音機 .....	100
<b>第三章 通話電路的設計 .....</b>	<b>107</b>
<b>標準 3 管對話機 .....</b>	<b>107</b>
對話機的構造 .....	107
放大電路的設計 .....	107
呼叫電路 .....	108
通話轉換開關 .....	110
電路的接法 .....	110
製作要點 .....	111
<b>採用 SEPP 電路的對話機 .....</b>	<b>113</b>
電路的接法 .....	113
製作要點 .....	115
<b>AM 無綫電咪 .....</b>	<b>117</b>
調制的方法 .....	117
振盪電路的設計 .....	120
調制電路的設計 .....	122
電路接綫和製作 .....	125
<b>FM 無綫電咪 .....</b>	<b>128</b>
FM 的方法 .....	128
振盪電路的設計 .....	130
具體電路 .....	130
製作要點 .....	131
<b>第四章 檢知和報知電路的設計 .....</b>	<b>134</b>
<b>檢知電路 .....</b>	<b>134</b>
檢知的對象 .....	134

水的檢知電路 .....	134
光的檢知電路 .....	135
溫度的檢知電路 .....	136
其他檢知電路 .....	138
報知電路 .....	138
蜂鳴器和電鈴 .....	138
電子蜂鳴器 .....	138
繼電器的原理和使用方法 .....	142
繼電器的構造 .....	142
繼電器的工作和選擇方法 .....	143
繼電器的使用方法 .....	145
檢知-報知電路的設計 .....	147
水量報知器 .....	148
郵件報知器 .....	150
光電繼電器 .....	153
自然光源報知器 .....	154
接觸式繼電器 .....	156
利用高頻波的接觸繼電器 .....	159
利用人體電壓的接觸繼電器 .....	163
<b>第五章 時間掣的設計</b> .....	<b>168</b>
時間掣的有關知識 .....	168
用 C、R 控制時間 .....	168
和晶體管的組合 .....	169
用 FET 較有利 .....	170
2 級放大和反轉 .....	171
時間掣的最後一級 .....	172
電子時間掣的缺點 .....	173
時間掣的設計 .....	173
用蜂鳴器報知的時間掣 .....	173
間動作的時間掣 .....	178
“步進式”繼電器 .....	184
附錄：晶體管的使用分類表 .....	190

# 第一章

## 電路設計基礎

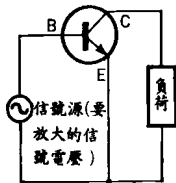
### 晶體管的工作電路

#### 發射極接地電路

晶體管有三種接地方式，其中一種是發射極接地電路。如圖1.1(a)所示，這種電路以發射極作公共端，需要放大的信號施加於基極-發射極之間；放大後的電壓則在接於集電極-發射極間的負荷上取出。

這種電路，除了被放大的信號頻率非常高之外（高頻電路），由於它的增益高，是最普遍被採用的一種電路。當然，在實用上要使電路能夠進行工作，還須像圖1.1(b)那樣加上偏壓。

(a) 電路原理



(b) 實用電路

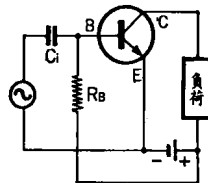


圖 1.1 發射極接地電路

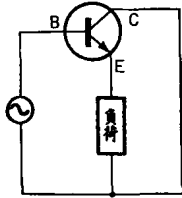
#### 集電極接地電路

圖1.2(a)是集電極接地電路的原理圖，這種電路以集電極作為公共端，信號電壓施加於基極-集電極間；輸出則由發射極-集電極間取出。(b)圖是實際使用時施加偏壓的方法。

如果圖1.2(a)也採用圖1.1(a)的畫法，像圖1.3那樣，唯一不同



(a) 電路原理



(b) 實用電路

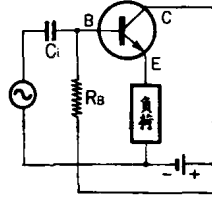
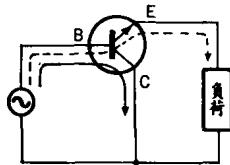


圖 1.2 集電極接地電路

圖 1.3 輸入信號電流的流向



的是，這個圖中是集電極接地，所以信號電流是如實綫箭咀那樣從基極流向集電極，以及如虛綫箭咀所示，從基極流向發射極。

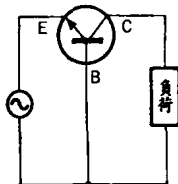
集電極接地電路，還有一種名稱，叫做射極輸出器。

### 基極接地電路

這種電路如圖 1.4(a) 所示，以基極作公共端，信號電流施加於發射極，從集電極將輸出取出。(b) 圖是實際使用時偏壓的接法。

無論是採用哪一種電路，要令晶體管工作，一定要有電源才能起作

(a) 電路原理



(b) 實用電路

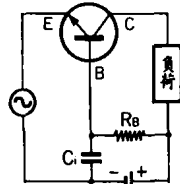


圖 1.4 基極接地電路

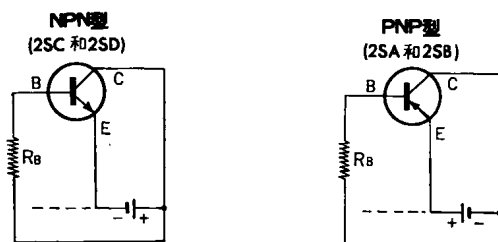


圖 1.5 施加直流電壓的方法

用。像圖 1.5 那樣，在集電極和發射極之間接入電源電壓，從電源向基極施加偏壓，因此直流動作是射極接地方式。

## 晶體管的“性格”

### h 參數

人的體格，需用身高、體重、胸圍等來表示，作為一種電子元件，晶體管也有其特有的“用語”，來表示它的“能力”，這叫做晶體管的規格，雖然表示的“用語”有幾種，但使用得最多的，則是 h 參數。

將晶體管內部的電氣回路，以相似的方式繪畫出來，有助於了解管子的工作，這種電路便叫做等效電路。用 h 參數表示的電路像圖 1.6，各種符號的具體意思，下面會詳細介紹。(a) 圖是一般的畫法，(b) 圖是將電路等效於管子的三個電極，看上去比較直觀，其實兩者一樣，並沒有什麼分別。

$h_i$  (輸入電阻) 這是作為放大元件使用時，妨礙輸入端信號電流的電阻。但是，在實用電路中，由於接上負荷，工作時輸入電阻和  $h_i$  的阻值相差很小，實用上就當作是  $h_i$  也沒有什麼顯著的不同。

$h_r$  (電壓回輸率) 晶體管在輸出端施加電壓，有在輸入端顯現的性質，其比率叫做電壓回輸率。

$h_f$  (電流放大率) 輸入端流出的電流和輸出端流出的電流的比率。

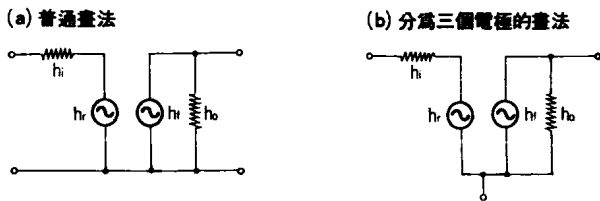


圖 1.6 晶體管的等效電路

如圖 1.7 所示，輸入端有  $i_i$  的電流流入，結果便產生  $i_i \times h_f$  的電流。

$h_o$  (輸出電導) 輸出端也有電阻，所以用  $h_o$  表示，但是這是電導 (電阻的倒數)，所以輸出電阻約等於  $1/h_o$ 。

使用晶體管的方法，有圖 1.1 至圖 1.4 的三種接法，為了區別使用時的參數，射極接地的參數 (記號) 用  $h_{ie}$ 、 $h_{re}$ 、 $h_{fe}$ 、 $h_{oe}$  等來表示，即在參數右傍再加多一 e 字，以示區別。集電極用 c 表示，基極則用 b 表示。

$h_{FE}$  (直流電流放大係數)  $h_{fe}$  是小信號電流放大係數， $h_{FE}$  則是直流的放大係數 (見圖 1.8)。

早期的晶體管，如圖 1.9 所示，基極沒有直流流過，集電極也有電流流過，這時表示的  $h_{FE}$  值是無限大，以和實用上的  $h_{fe}$  有所區別。現在製造的晶體管，像圖 1.9 的狀態：“電流不流過基極”——大致已可達到很小，實用上 (有一定範圍) 可將  $h_{fe}$  和  $h_{FE}$  對等。

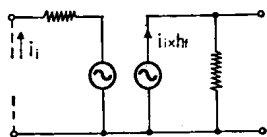


圖 1.7 產生電流

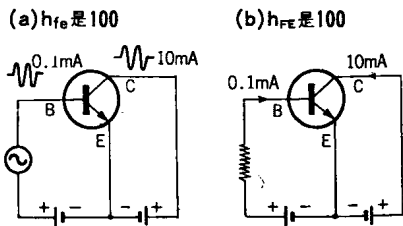


圖 1.8  $h_{fe}$  和  $h_{FE}$  的區別

### 極限參數

由於品種不同，用途各一，施加於晶體管的電壓，能夠容許流過的電流當然也不一樣，這便牽涉到晶體管的極限參數。

**集電極電壓** 這是電源電壓施加於集電極-發射極間的最高值（見圖1.10）。在一些特別場合，也有的施加於集電極-基極之間。

如圖1.11所示，在以變壓器作負荷時，變壓器感應的電壓要加上電源電壓，晶體管有必要能耐得起這些電壓（大約是電源電壓的2倍）。

在圖1.10中，如果用文字記號來表示，(a)圖是  $V_{CE0}$ （表示基極開路，C~E間的電壓），(b)圖可用  $V_{CBO}$  表示。一般  $V_{CE0}$  較高。

**集電極電流** 這是集電極容許流過的最大電流，用  $I_c$  表示。不過如圖1.12所示，當使用於大電流時，電流放大係數反而變低，所以決定集電極電流時，除了參考其極限參數之外，也要考慮到電流放大係數這個問題。

**集電極損耗** 晶體管作為放大元件使用時，如圖1.13，接入電源後，從電源供給的電力（ $V_c \times I_c$ ）並不能全部輸出，有大約 30~60% 的損

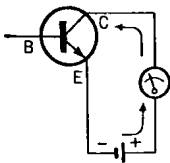


圖 1.9 有電流流過

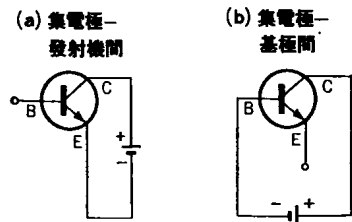


圖 1.10 最大集電極電壓

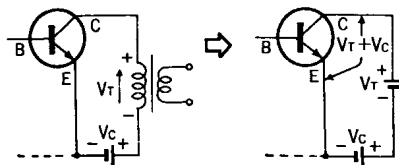


圖 1.11 變壓器時

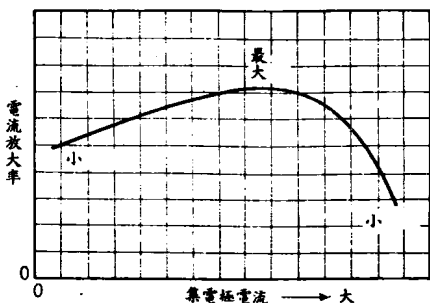


圖 1.12 電流增益的變化

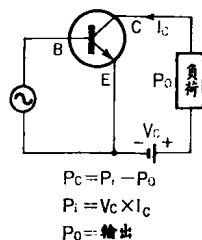


圖 1.13 集電極損耗

耗，這便叫做集電極損耗（符號用  $P_c$  表示）。由損耗產生的熱對晶體管有危害性，它和集電極損耗的極限參數有關。

在圖 1.13 中，如果信號電流完全不流過時（輸出是零），從電源供給的電力便全部變為集電極損耗。

有一點十分重要的是，施加最大電壓及流過最大電流時，這就超過了最大的集電極損耗，這要充分注意到。

除了以上介紹的之外，極限參數還有  $V_{EBO}$ （發射極-基極間電壓）、結溫等參數，這些值都是以  $25^\circ\text{C}$  時作準的；如果使用於高溫的地方，要以極限參數的值較小的數字為標準。例如，極限參數是  $200\text{mW}$  的晶體管，在  $50^\circ\text{C}$  的環境中使用，這時的極限參數便大約只有  $100\sim 150\text{mW}$ 。

### 電氣特性

以下所談的是  $h$  參數的幾種主要的特性：

**集電極截止電流** 如圖 1.14(a) 所示，集電極-基極間加上電壓（比最大集電極電壓低）時，流過的電流叫做集電極截止電流（Collector cut-off current），用  $I_{CBO}$  表示。

把  $I_{CBO}$  大的晶體管，像圖 1.14(b) 那樣採用發射極接地電路的接法，由於  $I_{CBO}$  流過基極-發射極，集電極-發射極間便有數十倍於  $I_{CBO}$

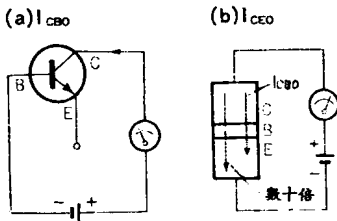


圖 1.14 集電極截止電流

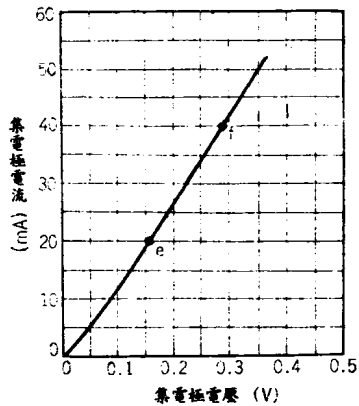


圖 1.15 集電極飽和電壓

的電流流過。雖然這個電流依然是集電極截止電流，不過爲了和  $I_{CBO}$  區別起見，一般用  $I_{CEO}$  表示。無論是前者或後者，其數值當然是越小越好。

**過渡頻率** 這是晶體管使用於哪一頻率範圍的頻率數。一般頻率高電流放大率反而變小，所以一般是  $h_{fe}$ （發射極接地參數）爲 1 時的頻率。

**集電極飽和電壓** 在集電極-發射極間加上一個低電壓，隨着基極電流的增加，雖然集電極電流也跟着增加，但至某一程度時，無論基極電流增至多大，集電極電流也不會再增大。

以圖 1.15 爲例，集電極電流是 20mA 時，施加的電壓一定要在 0.16V（e 點）以上，如果電流是 40mA，則電壓爲 0.29V（f 點）。集電極飽和電壓，一般以  $V_{CE(SAT)}$  表示。

與此相反，在圖 1.16(a) 中，集電極施加的電壓是 6V，如果希望流過的電流是 20mA，那麼可以像 (b) 圖那樣，改接 0.2V 的電源，或串入一適當的電阻，這樣獲得的電流是不變的。

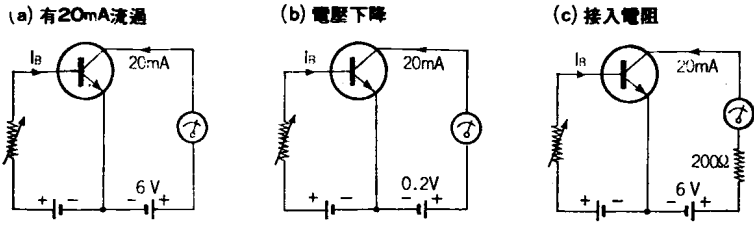


圖 1.16 電流不變

### 因使用的電流、電壓所引起的參數的變化

晶體管的特性參數，受限於測量時使用的電流、電壓。實際使用時，因電流的不同，會如圖 1.17 那樣，有多少變化，這是設計時應該注意到的。

集電極電壓如有變化，雖然也會像圖 1.18 那樣產生變化，但比較小些，實際使用時可以當成沒有變化來處理。

### 因溫度而產生的特性變化

圖 1.19 是電流放大係數的溫度特性，因溫度的變化，會產生如圖

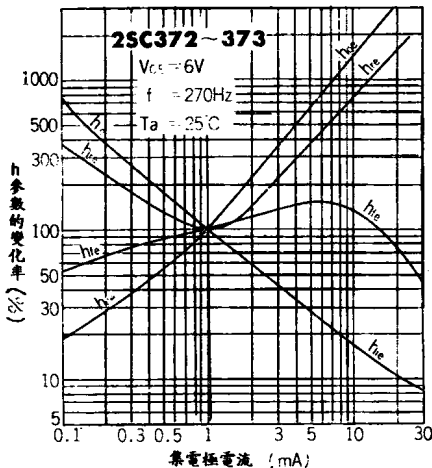


圖 1.17 因集電極電流變化所引起的 h 參數的變化

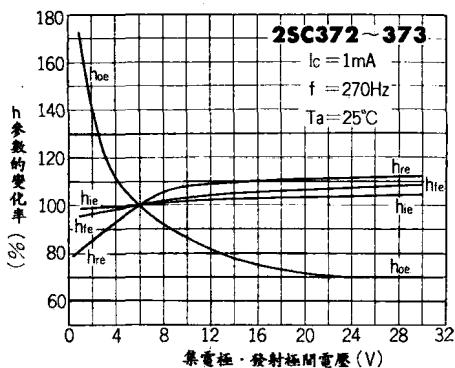


圖 1.18 因集電極電壓變化所引起的 h 參數的變化

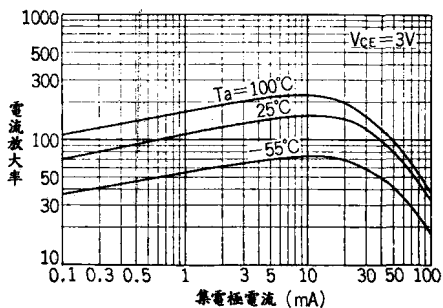


圖 1.19 因溫度變化所引起的電流增益的變化

所示的變化。至於集電極電流的變化和電流放大係數的變化則如圖1.17所示。

圖 1.20 是最大集電極損耗的溫度特性，在  $25^\circ\text{C}$  以下，最大允許有  $200\text{mW}$  的損耗，但在  $50^\circ\text{C}$  時，則只有  $150\text{mW}$ 。所以設計時，應以產品使用場所的最高溫度為基準。

這裏舉例的幾個特性圖（圖 1.17~圖 1.20），是 2SC 372 和 2SC 373 的特性。



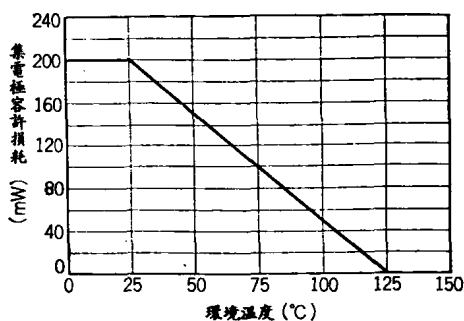


圖 1.20 環境溫度和容許集電極損耗

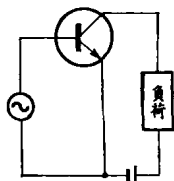
## 施加偏壓的方法

### 必要的偏壓

晶體管接成發射極接地方式使用時，如圖 1.21(a)，如果信號電壓的波形是圖 (b) 上方那樣，那麼基極電流(集電極電流也一樣)便如 (b) 圖下方所示。

這表明，基極-發射極間（實際上這是一個二極管）如果不加上一個數值的電壓，便沒有電流流過。所以，不單只在輸入端（基極-發射極間）加上信號電壓（交流），如果施加的電壓（不論正面或反面）沒有達到 0.1V（指鍍管）及 0.5V（指矽管）以上，便沒有電流流過（見圖 1.22）。

(a) 放大電路



(b) 電壓、電流的變化

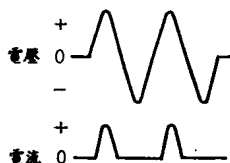


圖 1.21 基極只是施加信號電壓時