

簡易 BJT 電晶體模型

實驗目的

了解雙極電晶體(bipolar junction transistor, BJT)之簡易模型，並測試射極隨耦器(emitter follower)之特性。

實驗元件

電晶體 2N3904 一枚；電阻 4.7M、1M、470k、100k、47k、4.7k、3.3k、1k、270 Ω 各一枚；精密電阻 1k 一枚。

預習問題

1. 何謂 NPN 電晶體？何謂 PNP 電晶體？如何判定電晶體是何種型？
2. 參考補充資料及電子元件資料，查出 2N3904 的接腳，並簡單敘述一下，如何用電表辨別電晶體的三隻接腳及判定電晶體是否是好的？
3. 在實驗程序<二>中，要利用「二極體的特性」實驗中步驟<三>動態二極體特性曲線測試方法量測 BE 接面的特性，請複習「二極體的特性」實驗，並畫出動態特性曲線的電路配置圖。
4. 用 Pspice 模擬實驗程序<四>的電路(步驟 1,4 的條件)，看會得到甚麼結果？

實驗原理

相關知識

1. 雙極電晶體之簡易模型；
2. 電晶體之電流增益(β)；
3. 射極隨耦器。

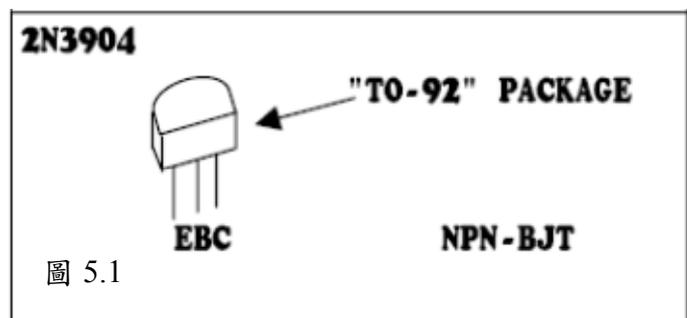
實驗步驟

<一>認識雙極電晶體

雙極電晶體是一個三隻腳的元件，基本上是由兩個很接近且極性相反的 pn 接面串接構成，它的三隻腳分別接到電晶體的射極(emitter, 簡寫 E)、基極(base, B)與集極(collector, C)。基極的摻雜(doping)和其它兩極不同，由此可將 BJT 分為 npn 及 pnp(三個字母分別表示 E、B、C 三極的摻雜種類)兩類。在這個實驗裡我們所要測試的是一個 npn 電晶體。

如何辨識電晶體的三隻腳？如何判定手邊的電晶體是死是活？

要辨識電晶體的三隻接腳，方法有二：(1)查 data book，你會發現 2N3904 的接腳如圖 5.1：(2)假如你對上面的答案沒信心，可以自己用數位電表測，同時你也可以知道電晶體的死活。在說明怎麼測前，讓我們先看一下 BJT 的結構：它有點像兩個方向相反的二極體連在一起但又不十分像(希望你做完這個實驗後，能夠知道他們有何不同)，如圖 5.2：



我們可以利用這個不太像的模型來測電晶體的極性及好壞。

用 DMM 的二極體 (→|—) 檔(即 ohm 檔中之 2k 檔), 此檔會輸出 1mA 的電流給待測元件, 電表顯示的剛好是待測元件兩端的電壓差(此數值也剛好是電阻以 $k\Omega$ 為單位之讀值, 你知道為什麼嗎? 最好是用別的电錶量測是否輸出為 1mA)。

用此檔測每對電晶體的腳(共有幾種可能? 6種), 當正極(紅色)接到 B 極而負極(黑色)接到 C 或 E 極時(for npn transistor only!), 電表會顯示 1mA 通過一二極體的電壓降, 約 0.6~0.7V。其它接法均不導通。

如何分辨 E 和 C 極呢? 由於 E 和 C 極的構造並不對稱, 由上法所量得的電壓降並不相同, BC 接面的電壓降比 BE 的電壓降小一點點(只要你的電表有三位有效數字即可看出)。記錄下你測得不同接面的電壓降? 你能分辨出 E 和 C 極嗎? 和前面查 data book 所得相同嗎?

如何分辨 E 和 C 極呢? 由於 E 和 C 極的構造並不對稱, 由上法所量得的電壓降並不相同, BC 接面的電壓降比 BE 的電壓降小一點點(只要你的電表有三位有效數字即可看出)。

記錄下你測得不同接面的電壓降? 你能分辨出 E 和 C 極嗎? 和前面查 data book 所得相同嗎?

<二>BE 和 BC 接面二極體

這裡我們要看看 BE 和 BC 各兩極間, 是不是真的如同上面所說的, 是兩個二極體。

1. 先將 C 極浮接(即 float, 什麼都不接), 利用「二極體的特性」實驗中動態二極體特性曲線測試方法量測 BE 接面的特性, 畫出你所得的特性曲線? 調整訊號產生器的 DCoffset, 看能不能找出反向崩潰電壓。
2. 將 E 極浮接, 對 BC 二極重複上面步驟。BE 和 BC 兩個接面, 那一個崩潰電壓較小?

<三>簡易電晶體模型及電流增益

當我們利用電晶體來做放大器時, 電晶體三極的偏壓通常是調在所謂的“操作模式”(active mode), 也就是 BE 接面為順向偏壓但 BC 接面為逆向偏壓。這時我們可以用一個簡單的模型來描述 npn 電晶體的行為(如右圖):

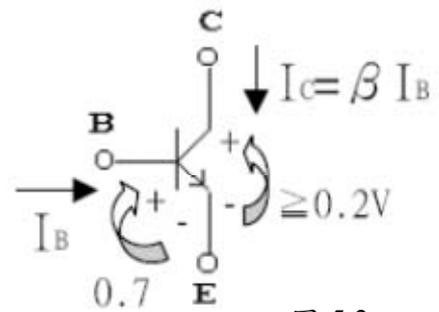


圖 5.3

- (a) $V_{BE} \approx 0.7V$, $V_{CE} \geq 0.2V$;
- (b) $I_C = \beta I_B$ 。

β 即為所謂的共射極電流增益(common emitter current gain), 有時寫做 h_{fe} 。

下面我們要直接測量電晶體在不同 I_C (集極電流)時的電流增益(β)。電路圖如下: $I_C = V_C / 1k$, R 用不同的值(4.7M、1M、470k、100k 及 47k)代替, 記錄所對應之 I_C 、 V_{BE} 和 V_{CE} 值。 I_B 可由 $(5 - V_{BE}) / (R + 4.7k)$ 得到。由 I_B 和 I_C 求出對應的 β ($\equiv I_C / I_B$)。

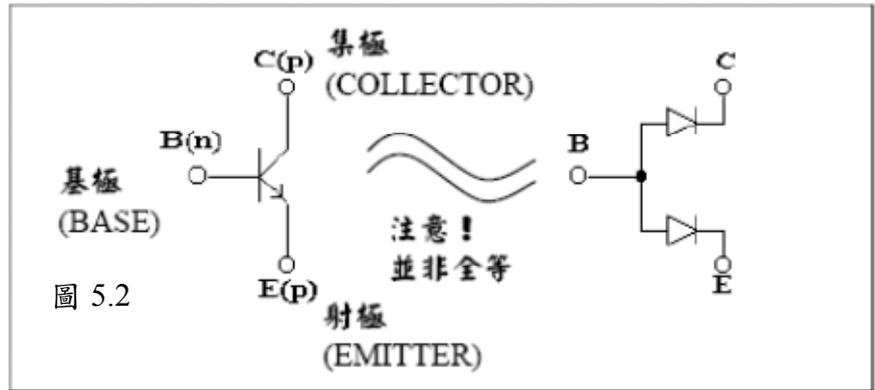


圖 5.2

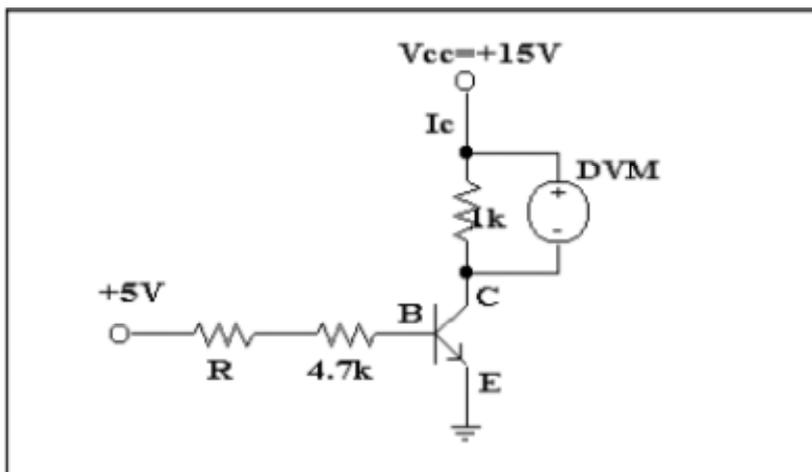


圖 5.4

<四>射極隨耦器(emitter follower)

右圖為一十分簡單之射極隨耦器電路：

由上面所提到的電晶體簡單模型，我們可以得到當電晶體在操作區時， $V_{out} \approx V_{in} - 0.7$ 。

1. V_{in} 用一個 1kHz、DC offset 為 0、振幅 1V 的弦波輸入， V_{out} 的波形如何？很差勁是不是？記錄下來。
2. 慢慢將 DC offset 增加，觀察 V_{out} 的變化。記錄下當 DC offset=1V 時之 V_{out} 。
3. 將 DC offset 調回 0V，再將振幅慢慢加大，當大於 6V 時，低於 0V 之輸出波形會變得很奇怪，畫下來。你可以用示波器的 X-Y 模式觀察 $V_{in}(X)$ 和 $V_{out}(Y)$ ，這樣比較容易找出奇怪的原因。
4. 假如 V_{EE} 不接地而改接在 -15V 之直流電源，重複步驟 3， V_{out} 是不是好很多？

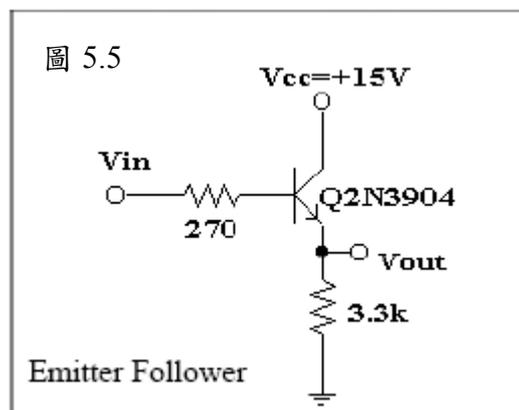


圖 5.5

接著我們再來量射極耦隨器的輸入及輸出阻抗，看看有何特異之處。

將電路改成圖 5.6，我們用 10kΩ 電阻模擬訊號源的輸出阻抗。

5. 測輸出阻抗 Z_{out} ：圖中虛線框框中之電路必須接上。 V_{in} 用 1kHz、DCoffset 為 0、振幅 0.5V 之弦波輸入。測量 V_{out} 訊號之衰減，求出 follower 之 Z_{out} 。
6. 測輸入阻抗 Z_{in} ：圖中虛線框框中的電容及 1k 電阻移去不用。 V_{in} 和上同，比較 a、b 兩點訊號大小，求得 Z_{in} 。

(假如 a、b 兩點訊號差不多大，可將 10k 電阻換成較大電阻試試。)

提示：步驟 1 及 2 之等效電路如圖 5.7：

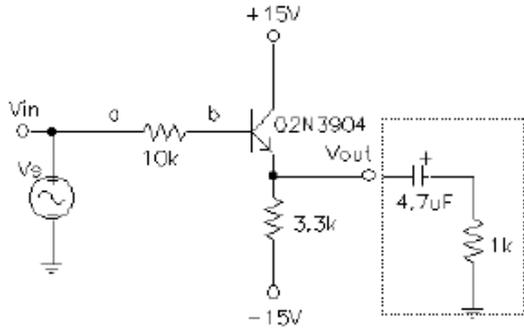


圖 5.6

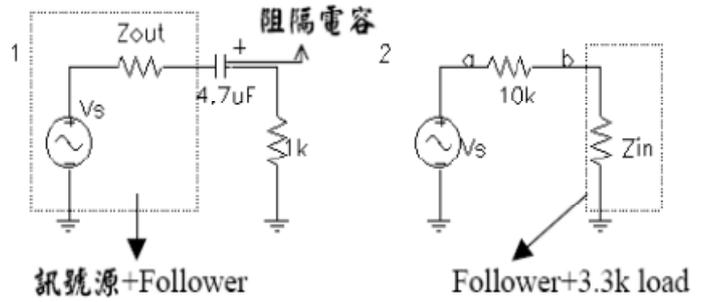


圖 5.7

數據分析與思考問題

1. 由程序<三>之結果，畫出 β 、 V_{CE} 和 V_{BE} 對 I_C 圖，我們提出來的簡易模型好不好？ β 是不是和 I_C 有關？
2. 比較並解釋程序<四>1 和 2 中所得之 V_{out} 。
3. 解釋程序<四>3 的結果。
4. 解釋程序<四>4 的結果。
5. 有一個黑盒子，有三隻腳接出來。黑盒子中可能是一對背對背連接的二極體或是一個電晶體，如圖 5.8。現在只給你兩個三用電表，你能否決定黑盒子裡是什麼？怎麼做？

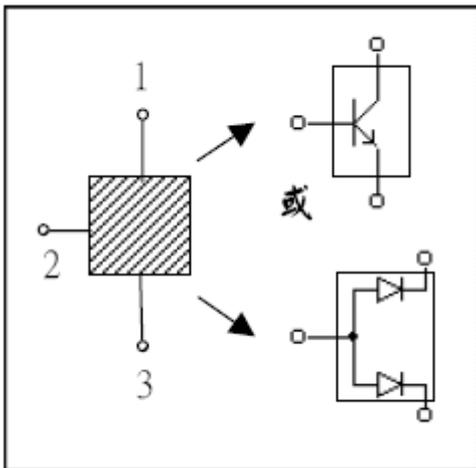


圖 5.8