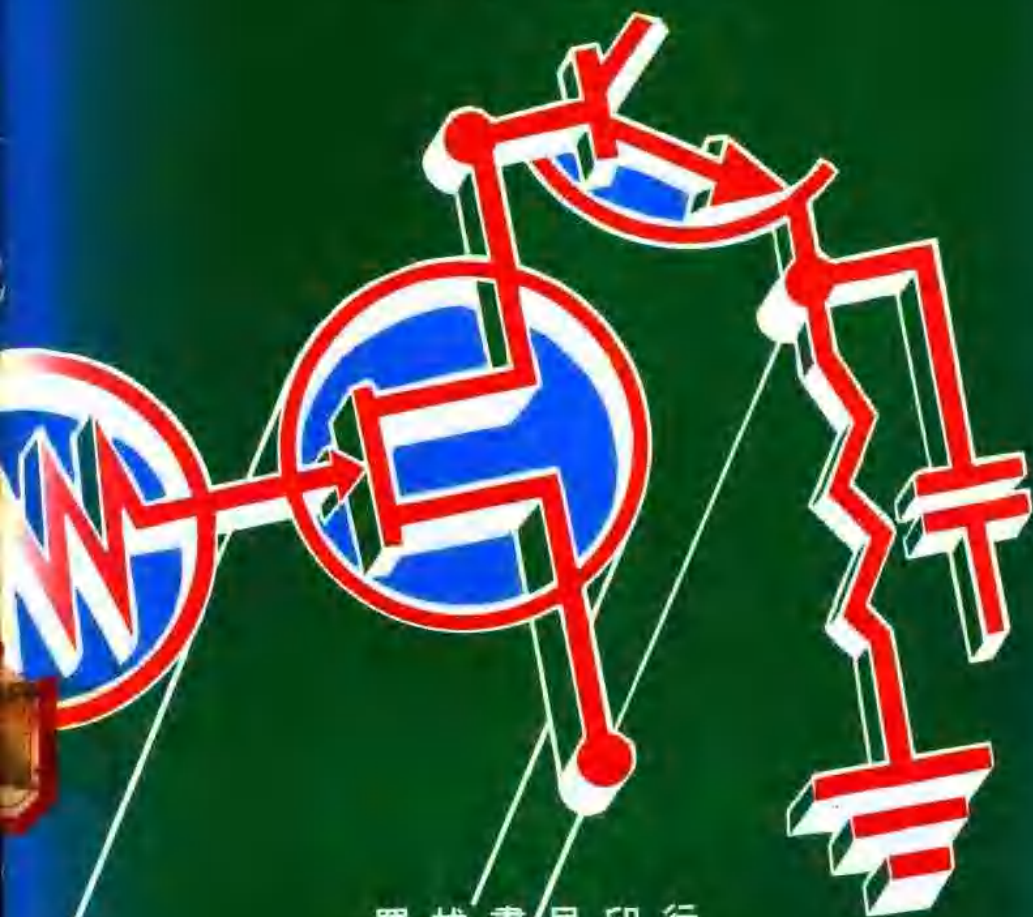


電子學 2

彭信成 戴建耘／編譯

施 純 協／校閱



羅拔書局印行

電 子 學

2

彭信成 戴建耘／編譯

施 純 協／校閱

羅拔書局印行

電 子 學 2

編譯者：彭信成 · 戴建耘

出版兼：羅拔書局

澳門大馬路 381 號二樓 F 座

印刷者：振興印刷公司

澳門龍巖街 152 號地下

H. K. \$ 20.00

序

電子學①出版以來，受到讀者的厚愛，不斷的來函鼓勵，給我們很大的信心。同時不少關愛我們的讀者不斷的詢及電子學②的消息。本書能順利出版，應對愛護與關懷我們的讀者深深的致謝。

電子學②共分七章，第十章為A類放大器，包括A C負載線，最佳工作點，大信號之增益及阻抗等，作詳細的說明。

十一章B類放大器，對非線性失真及互補射極耦合電路等有詳細的探討，對音頻後級放大的原理有深入的說明，為製作擴大機之最佳參考資料。

十二章C類放大器，說明C類放大電路的原理，C類調諧放大器及其動作以及倍頻電路之介紹，說明扼要，給讀者清晰的觀念。

十三章場效應電晶體，介紹了各種型式的F E T結構及特性。十四章F E T電路分析，介紹各種偏壓方法，A C的放大器及與雙極性電晶體的比較。

十五章分貝和密勒定理，對功率增益以分貝表示的方法作詳細的說明。而密勒定理的證明及對電晶體電路作更深入的分析探討。

十六章頻率響應，對各種影響頻率的因素作一分析。

本書以淺顯與輕鬆之筆調，使讀者易於接受，為電子，電機等學生的良好參考書籍，亦為社會青年進修的良伴。本書每章節後均有重點復習，為該章節的精神所在，幫助讀者把握單元重點，可作要點的復習，助益極大。

本書之編譯，感謝二位恩師，師大工教研究所所長許振聲教授給予指導，以及師大工業教育系施純協教授百忙中作校閱，特此致謝。

彭信成 戴建耘謹識

目 錄

第十章 A類放大器	1
10-1 電晶體的Q點（靜態工作點）	4
10-2 交流負載線	9
10-3 基極驅動型的負載線	15
10-4 A類放大器的最佳Q點在那裏？	24
10-5 A類放大器的最大負載功率	30
10-6 大信號的增益與阻抗	35
第十一章 B類放大器	53
11-1 基本理想推挽式的動作	55
11-2 非線性失真	61
11-3 Q點的設定法	63
11-4 B類射極隨耦器的完整電路	68
11-5 B類電路的功率觀念	74
11-6 溫度效應	79
11-7 互補對電晶體	85
11-8 其它的B類放大器電路	87
第十二章 C類放大器	109
12-1 C類電路的基本動作	111
12-2 基本C類電路的其它動作觀念	115
12-3 調諧式C類放大器	121

12- 4	調諧式C類電路的調諧動作	125
12- 5	功率關係	128
12- 8	倍頻觀念	131

第十三章 場效應電晶體 141

13- 1	接面場效應電晶體的認識	143
13- 2	JFET 洩極曲線	147
13- 3	互導曲線 (Transconductance Curve)	151
13- 4	空乏——增強型MOSFET	154
13- 5	增強型MOSFET	160
13- 6	總結	164

第十四章 FET 電路分析 171

14- 1	閘極偏壓	173
14- 2	實際的偏壓電路	176
14- 3	源極偏壓	180
14- 4	電流源偏壓	182
14- 5	P 通道 JFET 偏壓	186
14- 6	MOSFET 的偏壓	190

第十五章 分貝 (dB) 及密勒定理 223

15- 1	功率增益的分貝計算	225
15- 2	串級的功率增益	228
15- 3	貝電壓增益	234
15- 4	密勒定理	241
15- 5	密勒定理的證明	251
15- 6	電晶體電路的精確分析	254
15- 7	拼合參數 (h - 參數)	261

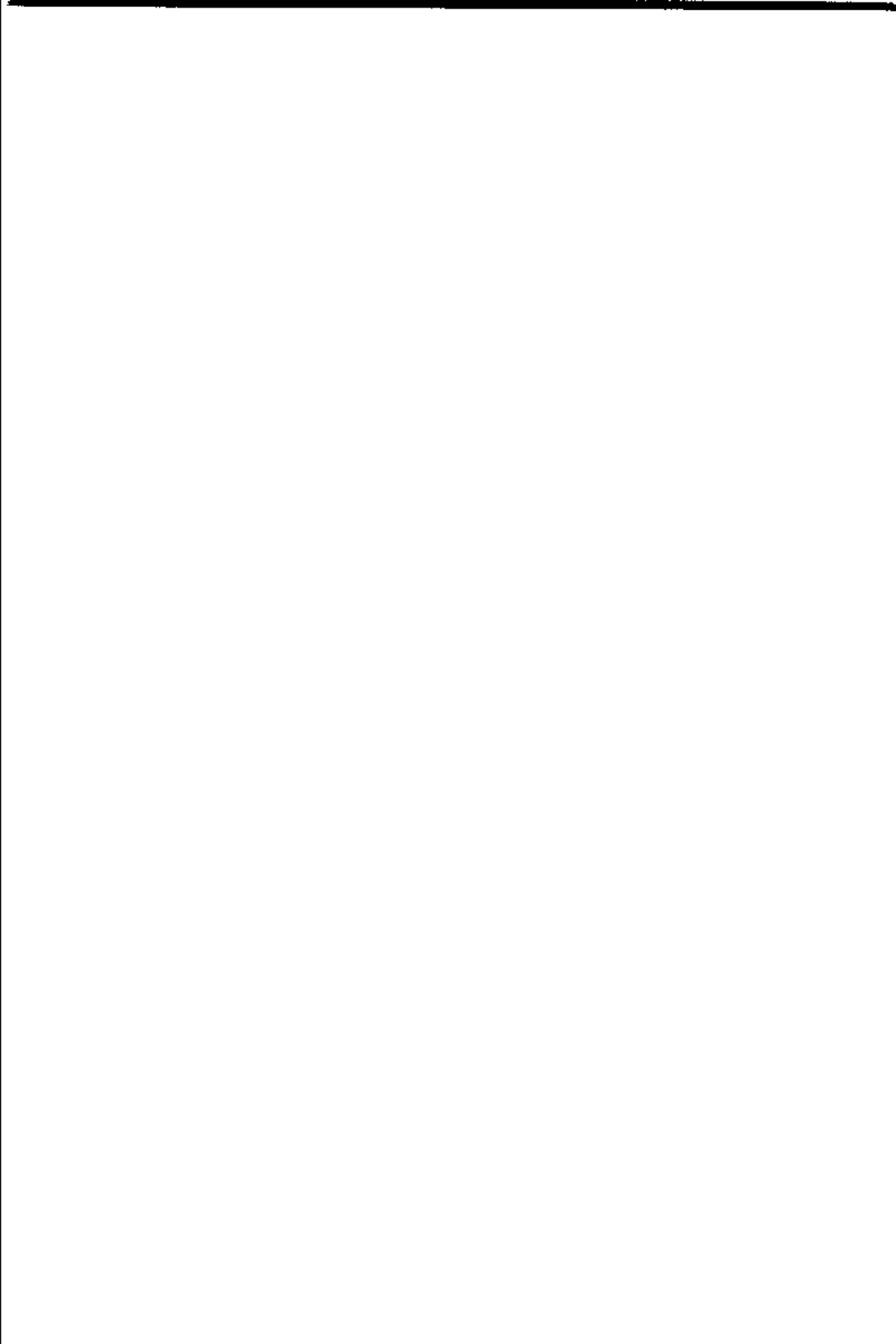
第十六章 頻率效應..... 273

16- 1	滯後網路.....	275
16- 2	相位角與頻率.....	281
16- 3	貝電壓增益與頻率.....	283
16- 4	DC 放大器的頻率響應.....	292
16- 5	上升時間 (TR) 與頻帶寬度 (BW)	294
16- 6	FET 的高頻動作分析	300
16- 7	雙極性電晶體的高頻分析.....	308
16- 8	導前網路.....	315
16- 9	AC 放大器的頻率響應.....	320
16-10	旁路電容.....	322

10

A類放大器

- 10—1 電晶體的Q點(靜態工作點)
- 10—2 交流負載線
- 10—3 基極驅動型的負載線
- 10—4 A類放大器的最佳Q點在那裏？
- 10—5 A類放大器的最大負載功率
- 10—6 大信號的增益與阻抗



基本觀念

前面我們已討論過小信號放大器，既然叫做小信號放大器，它對輸入與輸出信號的峯對峯值就有一定的限制，因此，我們在小信號放大器之後往往再加一級或幾級的功率放大，以獲得大信號輸出。

功率放大器由於偏壓點之不同，約可劃分為四大類：

◆ A 類放大器 (Class A)

或稱為甲類放大器，此種放大器，其信號可有 360° 的導通角度。

◆ B 類放大器 (Class B)

或稱為乙類放大器或稱推挽放大器，它對信號可有 180° 的導通角度。

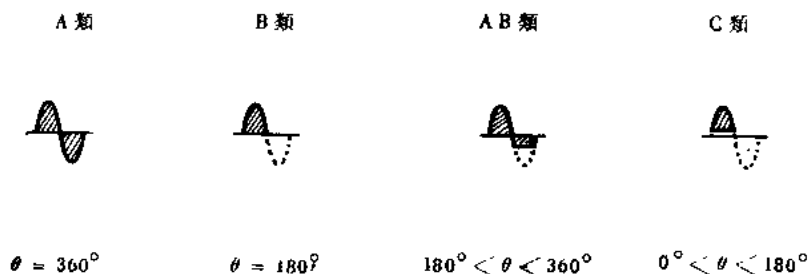
◆ AB 類放大器 (Class AB)

由於 B 類放大器會產生交叉失真的現象，A B 類放大器遂應運而生。它對信號的導通角在 180° 與 360° 之間。

◆ C 類放大器 (Class C)

亦稱為丙類放大器，其對信號之導通角度小於 180° ，通常用於發射系統上。

茲就各類放大器對信號之導通角度劃示如下：



本書為顧及學習之通盤性，將 A B 類放大器於 B 類放大器（第 11 章）一起介紹。

既然我們稱這些電路為功率放大器——那麼，請記住，所謂功率增益

不是一定要同時具有電壓或電流增益，只要兩者之組合後能具有預定的功率增益即可，像射極隨耦器就是最簡單的例子，雖然電壓增益約為1，但電流增益約有 β 左右，結果，合成後的功率增益為 β ，仍然具有功率增益。

總之，電晶體做為小信號放大器時，我們稱它做小信號電晶體，但它的功率消耗較小（約小於 $\frac{1}{2}W$ ）；同樣的，若用於功率放大器時，我們稱為功率晶體，當然，它的功率消耗就較高（大於 $\frac{1}{2}W$ 以上）。

10-1 電晶體的 Q 點（靜態工作點）

前一章我們一再強調着：做電路綫性動作時，電晶體在整個交流信號的週期內，必須維持在 FR 偏壓的要求。也就是說，我們所做的晶體偏壓電路所得的直流集極，電流和電壓值，要求小的 ac（交流）信號驅動電晶體時，必須使電晶體在 ac 的週期之中，射—基極間保持順向偏壓，而集—基極之間維持逆向偏壓。

但是在功率放大器中，由於輸入的小信號已經在前級放大，使得信號變成變化量較大的信號。除非我們小心翼翼地，否則在輸入過大信號的正或負峯值時，電晶體很可能就不再是 FR 偏壓的要求了。

爲了要檢查並預防輸入信號在正或負峯值時，過大的信號強迫使電晶體不在 FR 偏壓的情況，我們可以利用交流負載綫（ac load line）來判斷。這是一種畫圖的分析法，我們將在下一節詳細加以說明，這一節我們先來研究交流負載綫中最重要的一點：靜態工作點，Q 點（quiescent-point）。

其實利用直流等效電路，我們就能夠輕而易舉地得到電晶體未加信號時的靜態工作點（Q），以圖 10-1a 的分壓偏壓電路為例：

① 首先我們立刻可看出 I_E 大約為 $1mA$ ，因此， I_C 大約也是 $1mA$ 。

② 其次，爲得到直流集—射極間的電壓，我們可使用下式，

$$V_{CE} = V_o - V_E$$

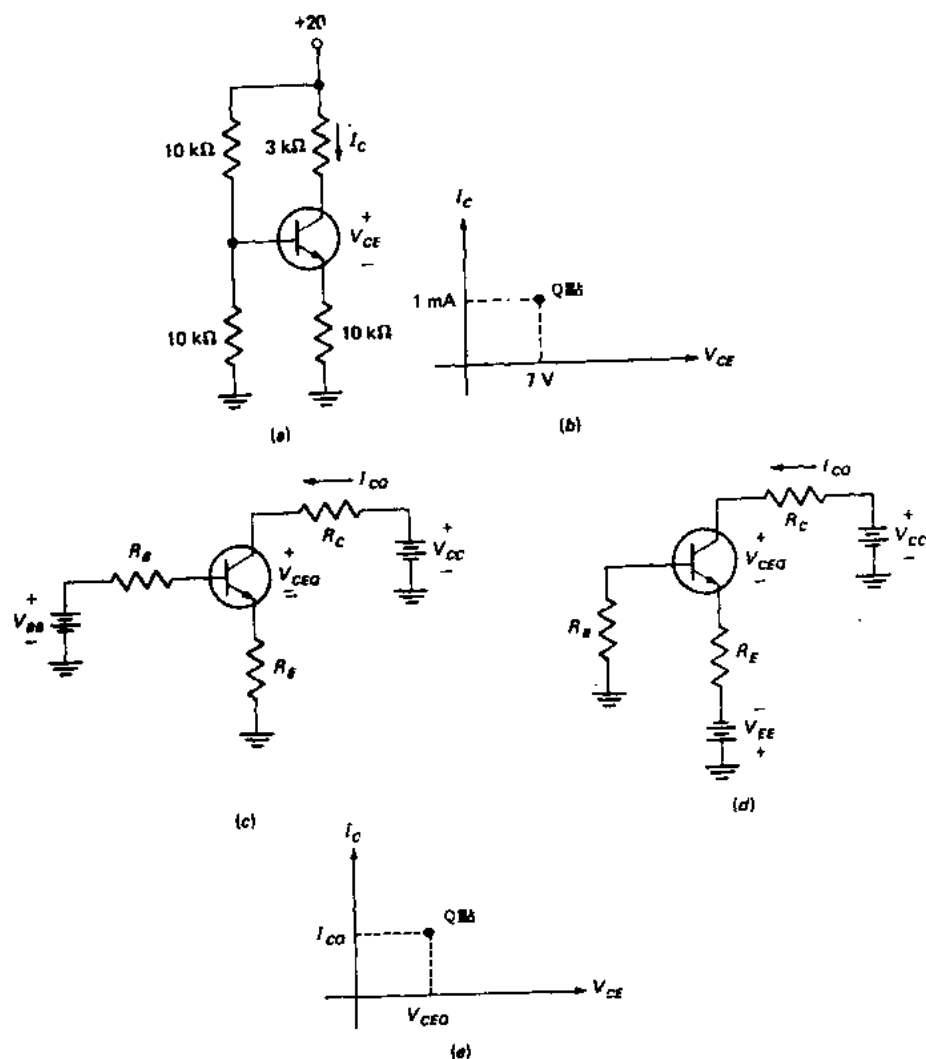


圖10-1 Q點的概念

圖 10-1 a 中，集極對地間的電壓 V_c 等於

$$\begin{aligned} V_c &= V_{CC} - I_c R_c \\ &= 20 - 0.001 (3000) = 17 \text{ V} \end{aligned}$$

另外，射極對地之間的電壓 V_E 為

$$\begin{aligned} V_E &= I_E \cdot R_E \\ &= 0.001 (10000) = 10 \text{ V} \end{aligned}$$

因此，代入已知式中，可得到

$$V_{CE} = V_c - V_E = 17 - 10 = 7 \text{ V}$$

③現在，我們便可立刻畫出 Q 點，如圖 10-1 b 所示。

不管我們所遭遇的偏壓電路是像圖 10-1 c 的基極偏壓原始型電路，或是像圖 10-1 d 所示的射極偏壓原始型電路，畫出 Q 點的過程是與上例相同的，茲歸納如下：

- ①先利用 dc 等效電路計算出 I_c 與 V_{CE} 的值。
- ②其次，在垂直軸上畫出 I_c 的點，而在水平軸上畫出 V_{CE} 的點。
- ③剛才 I_c 與 V_{CE} 此兩點做垂直延長線的交點，就是 Q 點，如圖 10-1 e 所示。
- ④為避免 Q 點的電壓與電流值和其它的數值混淆起見，習慣上皆標示着特別的記號，通常

◆ I_{CQ} 代表未加交流信號時的集極電流

◆ V_{CEQ} 代表未加交流信號時，集—射極之間的電壓

對照上述四項要點，自行練習下兩例。

【例 10-1】

請求出並畫出圖 10-2 a 中，CE 組態放大器的 Q 點電壓與電流。

解：

首先我們立刻判斷出此為射極偏壓電路。以理想近似值情況而言，射極可視為直流接地（與圖 7-15 a 相同），故 $V_E = 0$ （實際上為 -0.7 V ），因此

$$I_{CQ} \cong I_E \cong \frac{V_{E-E}}{R_E} = \frac{10 \text{ V}}{2 \text{ k}\Omega} = 5 \text{ mA}$$

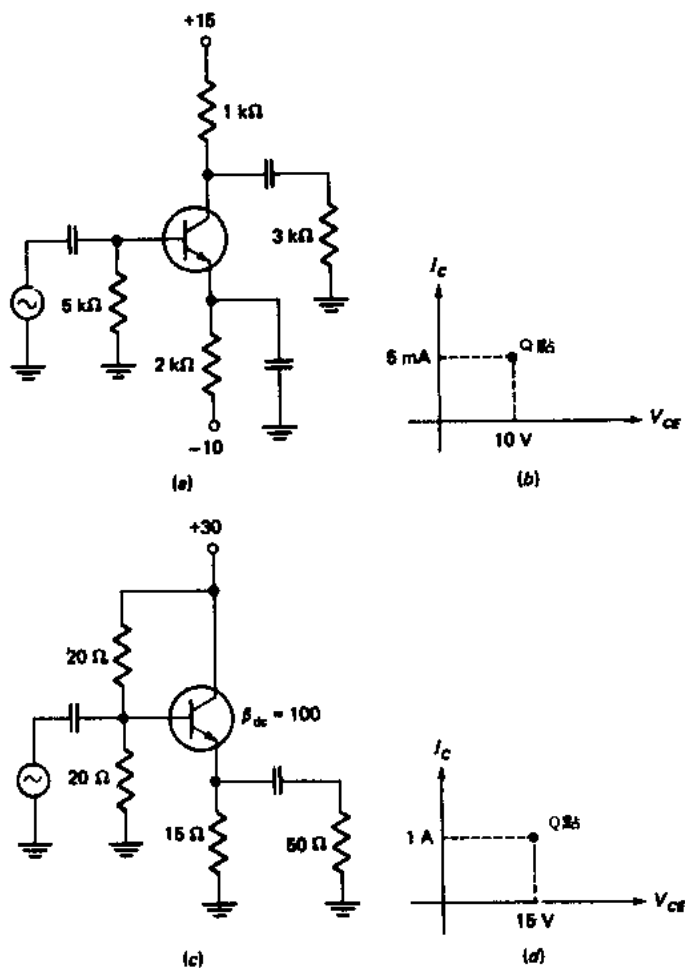


圖10-2 例10-1與10-2

其次，利用 I_c 值求 V_c （如果您需要最精確的結果，可使用式 (7-9) 計算 I_E 值）

$$V_c = V_{cc} - I_c R_c = 15 - 0.005 (1000) = 10 \text{ V}$$

此外，由於 $V_E \cong 0$ ，故可知在 Q 點的 V_{CEQ} 為

$$V_{CEQ} = V_c - V_E \cong 10 \text{ V}$$

最後，再由 I_{CQ} 與 V_{CEQ} 畫出 Q 點如圖 10-2 b 所示，當加入交流信號時，集極電流與電壓就以 Q 點為準，做變化。

【例 10-2】

請求出並畫出圖 10-2 c 射極隨耦器的靜態工作點 Q 點。

解：

- ① 首先我們可看出此電路由於 20Ω 與 20Ω 串聯分壓，故基極的直流戴維寧電壓為 15 V ，此 15 V 幾乎皆降在射極電阻 15Ω 上，因此，

$$I_{CQ} \cong I_E \cong \frac{15 \text{ V}}{15\Omega} = 1 \text{ A}$$

- ② 由於集極電阻為零，故 $V_c = 30 \text{ V}$ ，且已知直流射極電壓為

$$V_E \cong V_B = V_{TH} = 15 \text{ V}$$

因此，

$$V_{CEQ} = V_c - V_E = 30 - 15 = 15 \text{ V}$$

- ③ 依所得之 I_{CQ} 與 V_{CEQ} 再畫之，即可畫出圖 10-2 d 的 Q 點。

〔本單元學習要點〕

▲ 所謂電路的靜態工作點 (Q) 就是指電路未加信號或是 _____ 等效電路所求得的電流與電壓值。

▲ 在電晶體電路的靜態工作點 (Q) 時， I_c 常寫為 _____， V_{CE} 常以 _____ 來代表。

(直流； I_{CQ} ， V_{CEQ})

10-2 交流負載線

我們都知道，當交流信號驅動放大器時，它會使集極電流 I_c 與集極電壓 V_{ce} 分別產生變動。通常，我們將這些變化量分別定義為 ΔI_c 與 ΔV_{ce} ：

$$\begin{aligned}\Delta I_c &= \text{集極電流的變化量} \\ &= I_c - I_{cq}\end{aligned}\quad (\text{式 } 10-1)$$

$$\begin{aligned}\Delta V_{ce} &= \text{集-射極間電壓的變化量} \\ &= V_{ce} - V_{ceq}\end{aligned}\quad (\text{式 } 10-2)$$

特別注意上兩式中， I_c 與 V_{ce} 表示總數量（Total quantities），也就是，表示在任何時間直流與交流值的和值。可練習下例即可明白。

【例10-3】

假設已知交流信號驅使圖 10-2d 的 I_c 與 V_{ce} 分別變成 $I_c = 1.5 \text{ A}$ 而 $V_{ce} = 7.5 \text{ V}$ ，請求出 I_{cq} 與 V_{ceq} 的變化量。

④

分別參考式（10-1）與（10-2），我們可算出集極電流與電壓的變化量為

$$\Delta I_c = I_c - I_{cq} = 1.5 - 1 = 0.5 \text{ A}$$

$$\Delta V_{ce} = V_{ce} - V_{ceq} = 7.5 - 15 = -7.5 \text{ V}$$

上例 ΔV_{ce} 的結果為負值，表示變成比 V_{ceq} 的值為小。

交流信號的大小就等於變化量

到底電路電壓與電流變化量的大小如何知道呢？這是一個我們所關懷的問題。

交流信號會使電路的電流與電壓皆產生變化，因此，只要善加運用交流等效電路，我們便可算出變化量的大小。

以圖 10-3 a 的 CE 組態放大器為例，首先，可發現此放大器的直流等效電路是與圖 10-1 a 相同的，因此，此放大器的 Q 點可立刻繪出，參考圖 10-3 d： $I_{CQ} = 1\text{mA}$ 而 $V_{CEQ} = 7\text{V}$ 。當加入交流信號時，就使得電路的電流與電壓以 Q 點為基準做上下的變動，這些變化量的大小可從 CE 放大器的交流等效電路來算出，所以，在經過戴維寧的簡化後，集極與基極的交流等效電路被化成圖 10-3 b 所示的電路，我們便可算出變化量的大小。

在第 8 章中，曾一再強調：交流的電流與電壓就等於電流與電壓的總變化量。以符號來表示，可寫為

$$i_c = \Delta I_c = \text{以 Q 點為準的電流變化量}$$

$$v_{ce} = \Delta V_{ce} = \text{以 Q 點為準的電壓變化量}$$

舉個例子來說，假設圖 10-3 a 的交流信號輸入後，使得靜態工作值為 1mA 的集極電流最多可變至 1.5mA ，那麼，最大的交流信號電流就為（以 Q 點為準的最大電流變化量）

$$i_c = \Delta I_c = I_c - I_{CQ} = 1.5\text{mA} - 1\text{mA} = 0.5\text{mA}$$

交流峯值電壓

一旦求出交流信號的峯值電流後，我們便可進一步求交流的峯值電壓。例如，假若已知峯值交流電流為 0.5mA ，我們就應當立刻在腦海中把圖 10-3 b 的交流等效電路看成圖 10-3 c 的電路，有 0.5mA 的電流由地點往上流經 $2\text{k}\Omega$ 電阻。因此，峯值交流電壓等於

$$\begin{aligned} v_{ce} &= \Delta V_{ce} = -\Delta I_c r_c = -0.5(10^{-3}) 2000 \\ &= -1\text{V} \end{aligned}$$