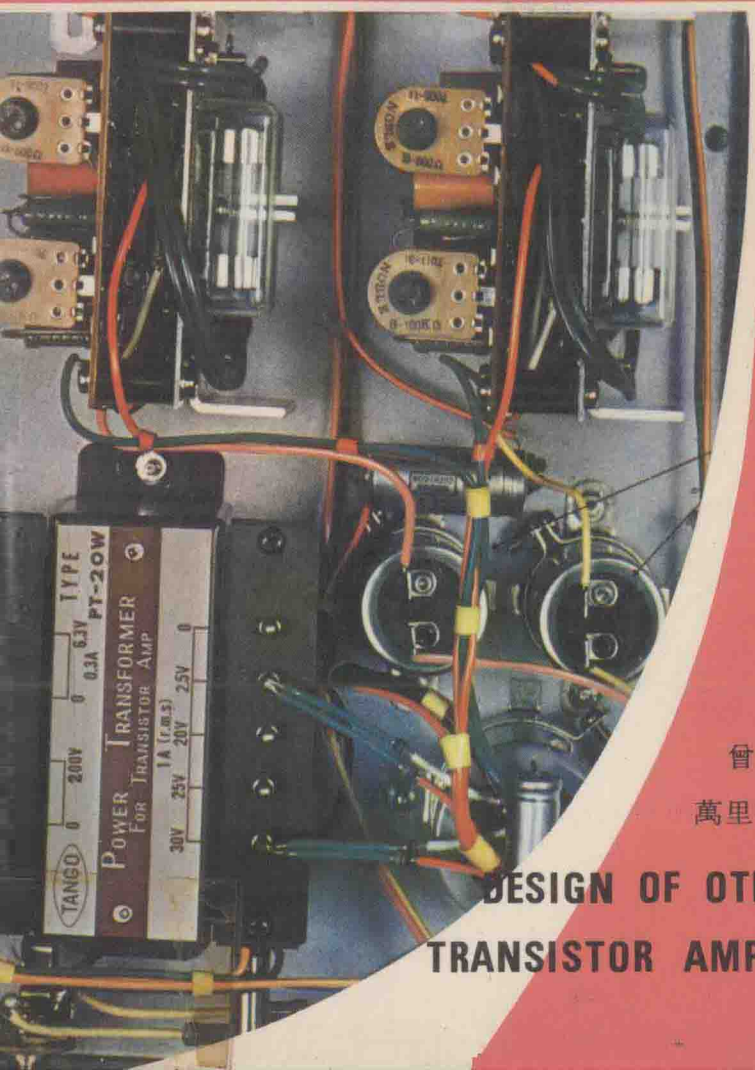


OTL 晶体管放大器 OCL 晶体管放大器

◁設計和製作▷

· 上篇 ·



曾煥燃編譯

萬里書店出版

DESIGN OF OTL, OCL
TRANSISTOR AMPLIFIER

OTL和OCL晶體管放大器

上 篇

曾煥燃編譯

香 港 萬 里 書 店 出 版

OTL和OCL晶體管放大器

上 篇

曾煥燃編譯

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：海聲印刷廠
柴灣新安街四號15樓B座

定價：港幣八元

版權所有 * 不准翻印

(一九八〇年二月印刷)

編譯者的話

隨着半導體製造技術的發展，OTL 和 OCL 放大器已經成為晶體管放大器的主要結構型式。而且，經過無綫電從業員的多年實踐，這種電路的結構型式也日趨完善。

日本日塚茂所著的“晶體管放大器的設計和製作”一書，對晶體管放大器作了較詳盡的介紹，本書主要取材自該書有關 OTL 和 OCL 放大器部分，在編譯過程中，並參考了其他有關書籍雜誌，作了適當的補充。

本書分上、下兩篇。上篇以 OTL 放大器為主，講述放大器的工作原理及設計計算。下篇在上篇的基礎上，介紹了 OCL 放大器及甲類放大器、BTL 放大器，並講述了晶體管放大器的調整方法及故障對策。上下篇雖成系統，但卻有一定的獨立性，這是為了方便讀者購買閱讀和收藏。

雖然，本書是介紹放大器的原理和設計，但計算電路參數時並沒有採用高深的數學，內容比較淺顯易懂。閱讀本書時，只需具有一般中學程度的數學水平便可以。

筆者限於水平，編譯過程中雖然力圖避免出錯，但相信書中還存在不少缺點；同時，限於一己之力，對於書中介紹的製作，未能一一進行裝製，這是筆者深以為憾的，希望讀者在閱讀和實踐後，把發現的錯誤告訴我們，俾再版時改正。

曾煥燃 識於香港北角

目 錄

編譯者的話

第 1 章 晶體管放大器的基礎	1
1-1 晶體管放大電路的原理	1
1-1-1 晶體管放大電路的接地型式	1
1-1-2 發射極接地電路的放大作用	2
1-1-3 基極接地電路的放大作用	5
1-1-4 集電極接地電路的放大作用	6
1-2 晶體管放大電路的計算	7
1-2-1 各種等效電路	7
1-2-2 T 參數等效電路	8
1-2-3 h 參數等效電路	11
1-2-4 直流電路和交流電路	14
1-2-5 電壓放大倍數的計算	17
1-2-6 阻抗的計算	21
1-3 負回輸 (NF) 電路	22
1-3-1 NF 的必要性	22
1-3-2 負回輸的原理	23
1-3-3 電壓負回輸	25
1-3-4 電流負回輸	27
1-3-5 NF 電路的計算	28

第 2 章 互補型 SEPP 放大器的基礎和設計方法	32
2-1 互補型 SEPP 電路的基本原理	33
2-1-1 放大器的構成	33
2-1-2 電壓放大電路	35
2-1-3 互補型電路	37
2-1-4 達林頓接法	38
2-1-5 自舉電路	39
2-1-6 恒流激勵電路	41
2-2 互補型 SEPP 電路的工作	43
2-2-1 準互補型的各種電路	43
2-2-2 準互補型電路的特點	45
2-2-3 全互補型電路	48
2-3 互補型 SEPP 電路的設計方法	50
2-3-1 末級的設計	50
2-3-2 互補級的設計	57
2-3-3 激勵級的設計	60
2-3-4 第一級的設計	65
2-3-5 其他細節的設計	70
2-3-6 電源電路的設計	74
2-3-7 細節的決定和檢查	81
第 3 章 互補型 SEPP 放大器的設計和製作	82
3-1 小輸出功率的準互補型 SEPP 放大器	83
3-1-1 放大器的設計說明	83
3-1-2 小功率準互補型 SEPP 放大器的設計方法	84
3-1-3 放大器的構成	87

3-1-4	功率放大部分的設計	88
3-1-5	均衡放大部分的設計	93
3-1-6	其他設計	93
3-1-7	放大器的特性	99
3-2	中等功率輸出的準互補型 SEPP 放大器	103
3-2-1	輸出中等的準互補型 SEPP 放大器的要點	103
3-2-2	放大器的構成	104
3-2-3	功率放大器部分的設計	107
3-2-4	前置放大部分的設計	109
3-2-5	放大器的構造	112
3-2-6	放大器的特性	115
3-3	大輸出功率的準互補型 SEPP 放大器	118
3-3-1	大輸出功率的準互補型 SEPP 放大器的要點	118
3-3-2	晶體管的選擇	119
3-3-3	激勵級以後的設計	123
3-3-4	第一級的設計	130
3-3-5	增益和負回輸 (NF)	132
3-3-6	電源部分及其他部分的設計	133
3-3-7	放大器的特性	136
3-4	STK-015 準互補型 IC 放大器	139
3-4-1	功率 IC 的特徵	139
3-4-2	功率 IC 的選擇及本機的電路	141
3-4-3	平衡型 SEPP 電路	144
3-4-4	本機的裝製	146
3-4-5	本機的特性	151
3-5	簡易小功率輸出全互補型 SEPP 放大器	151
3-5-1	簡易全互補型 SEPP 放大器的原理	151

3-5-2 設計實務.....	153
3-5-3 特性的檢討.....	159
3-5-4 放大器的製作和特性.....	160
3-6 中輸出功率的全互補型 SEPP 放大器.....	165
3-6-1 全互補型 SEPP 放大器的特徵.....	165
3-6-2 放大器的設計.....	166
3-6-3 放大器的特性.....	171

第1章 晶體管放大器的基礎

本章前兩節介紹了晶體管放大電路的接地型式、等效電路及計算方法，第3節則談到了應用於放大器的負回輸電路。本章主要給出放大電路的基本算式，初入門的讀者，一定要弄清楚它的來龍去脈，對於今後各章介紹的電路，才容易接受。

1-1 晶體管放大電路的原理

1-1-1 晶體管放大電路的接地型式

晶體管有集電極、基極、發射極三種電極，它工作時也可以接成集電極接地、發射極接地及基極接地三種電路型式。

發射極接地電路如圖 1-1 所示，這是音頻放大器的基本放大電路。這種接地方式的電流放大倍數高，輸入、輸出阻抗一般，但輸入輸出相位反轉，和電子管陰極接地電路相似。

基極接地電路如圖 1-2 所示，其電流放大倍數小於 1，高頻特性好，因此主要用於高頻電路。不過，其輸入阻抗低，輸出阻抗高，因此不適宜於音頻放大電路的要求，除了特殊目的

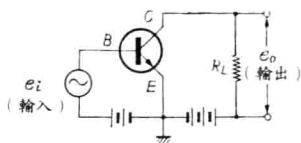


圖 1-1 發射極接地放大電路

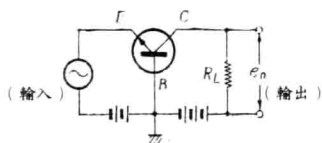


圖 1-2 基極接地放大電路

之外，音頻電路一般不會採用。其輸入輸出相位同相。相對於電子管的柵極接地電路。

最後要談的是集電極接地電路。如圖 1-3 所示，這種電路和電子管的屏極接地電路相似，也叫做發射極輸出器 (Emitter-follower)。這種接地方式的電壓放大倍數小於 1，輸入阻抗高，輸出阻抗低，因此適宜做阻抗變換器。音頻放大器也適宜採用。

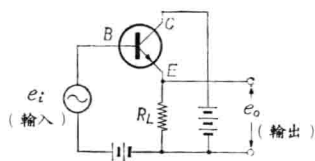
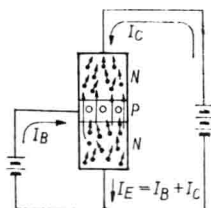


圖 1-3 集電極接地放大電路

1-1-2 發射極接地電路的放大作用

為了使晶體管工作，應在集電極-基極間加上順向電壓，發射極-集電極間加反向電壓，假如是 NPN 型晶體管，其接法如圖 1-4 所示，電子從發射極向基極移動，到基極時，一部

圖 1-4 發射極接地
電路



分 and 基極的空穴結合，由於製造晶體管時基極做得很薄，因此大部分的電子都越過基極-集電極的接合面，而到達集電極。

因為集電極加上高的反向電壓，因此便吸引電子向集電極移動。根據電工學上的規定，電子流和電流的流動方向剛剛相反，因此集電極電流 I_C 是從集電極向發射極流動的。另外，由於有小部分電子和基極的空穴再結合，所以基極上也有微小的基極電流 I_B 流動，由於 I_C 和 I_B 都向發射極流動，因此發射極電流 I_E 是 I_C 和 I_B 之和，即

$$I_E = I_B + I_C \dots\dots\dots (1-1)$$

而直流放大率 (h_{FE}) 則為 I_C 和 I_B 的比值，即

$$I_C / I_B = h_{FE} \dots\dots\dots (1-2)$$

另一方面，集電極電流的變化與基極電流的變化之比，便是交流電流放大率 β (h_{fe} ，用小寫 fe ，以和大寫的 FE 有所區別)：

$$\left| \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \right| = \beta = h_{fe} \dots\dots\dots (1-3)$$

h_{FE} 的值和 β 的值是基本上一樣的， h_{FE} 用於直流方面， β 用於交流方面，因此使用 h_{FE} 和 β 來區分直流和交流電流的放大率。

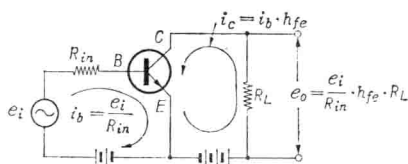


圖 1-5 發射極接地電路的放大原理

如圖1-5所示，在集電極和電源之間串聯接入負荷電阻 R_L ，在基極和電源之間串聯加上輸入信號。假如，我們用 R_{in} 表示串聯阻抗，那麼輸入信號電壓和 R_{in} 之比，便得出基極電流：

$$i_b = e_i / R_{in} \dots\dots\dots(1-4)$$

根據(1-3)式，這個 i_b 的 β (h_{fe}) 倍便是集電極電流的變化。

$$i_c = i_b \cdot h_{fe} = \frac{e_i}{R_{in}} \cdot h_{fe} \dots\dots\dots(1-5)$$

這個 i_c 的變化是流過負荷電阻時產生的電壓降的變化。即與輸出電壓 e_o 有關：

$$e_o = i_c \cdot R_L = \frac{e_i}{R_{in}} \cdot h_{fe} \cdot R_L \dots\dots\dots(1-6)$$

電壓放大倍數 A 則等於輸出電壓和輸入電壓 e_i 的比值：

$$A = \frac{e_o}{e_i} = \frac{R_L}{R_{in}} \cdot h_{fe} \dots\dots\dots(1-7)$$

上式是放大器設計時的基本公式。看起來，這個公式好像十分簡單，只需將負荷電阻和輸入阻抗的比值乘上 h_{fe} 便可以。其實，認真考慮起來，那是十分複雜的。因為輸入阻抗受各種條件的影響而變化，負荷電阻則要考慮到次級的並聯阻抗等因素。

在圖 1-5 中，當輸入的是信號的正半週時，輸入電壓及輸入電流都是正性的。因此 i_b 增加， i_c 也跟着變大，所以負荷電阻兩端的電壓降增大，集電極電壓變小。也就是說，輸出電壓這時變為負半週，所以，輸入輸出相位有 180° 的反相位變化。

1-1-3 基極接地電路的放大作用

基極接地電路中，直流電流放大率為：

$$h_{FB} = I_C / I_E \cdots \cdots \cdots (1-8)$$

交流電流放大率 α (即 h_{fb}) 則為：

$$\left| \frac{\Delta I_C}{\Delta I_E} \right| = \alpha \cdots \cdots \cdots (1-9)$$

在圖 1-6 中，也可以採用上述同樣的方法來計算。其中， α 仍然用 h_{fb} 來表示：

$$i_e = e_i / R_{in} \cdots \cdots \cdots (1-10)$$

$$i_c = i_e \cdot h_{fb} = \frac{e_i}{R_{in}} \cdot h_{fb} \cdots \cdots \cdots (1-11)$$

$$e_o = i_c \cdot R_L = \frac{e_i}{R_{in}} \cdot h_{fb} \cdot R_L \cdots \cdots \cdots (1-12)$$

將(1-12)除 e_i ，則可以求出放大倍數 A ：

$$A = \frac{e_o}{e_i} = \frac{R_L}{R_{in}} \cdot h_{fb} \cdots \cdots \cdots (1-13)$$

上式和發射極接地時的(1-7)式比較，並沒有什麼變化。不過，發射極接地時， h_{fe} 並不小，有數十以上的數值，而基極接地時， h_{fb} 則小於 1。但是， h_{fb} 雖然小於 1， R_L/R_{in} 的值則是很大的，因此電壓放大倍數仍然很高。

圖 1-6 基極接地電路的放大原理

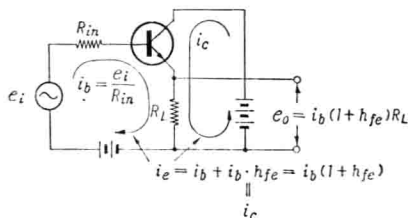
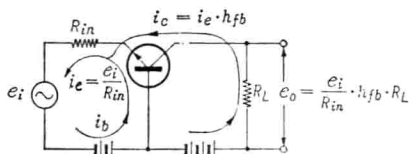


圖 1-7 集電極接地電路的工作原理

接着，我們來看看輸入輸出相位的情形。在 **NPN** 形晶體管的場合，發射極相對於基極來說，所加的是負電壓。由於輸入電壓是串聯輸入的，當輸入電壓的正半週加上時，和發射極本身的負電壓相加，發射極-基極間的電壓便減少，因此射極電流 i_e 、集電極電流 i_c 亦相對地減少。

由於 i_c 減少，負荷電阻 R_L 上的電壓降也跟着減少，因此集電極電壓上升。也就是說，輸入信號正半週時，輸出信號亦為正半週，所以在基極接地電路中，其信號的輸入輸出相位是同相的。

1-1-4 集電極接地電路的放大作用

集電極接地電路的負荷電阻，其接法如圖 1-7 所示，這個負荷電阻是基極電流 I_B 及集電極電流 I_C 流動的特徵。因此，

流過負荷電阻的發射極電流 I_E ，可以用以下的公式來計算：

$$I_E = I_B + I_C = I_B + I_B \cdot h_{FE} = I_B(1 + h_{FE}) \cdots \cdots (1-14)$$

取決於輸入電壓 e_i 的各個交流電流 i_b 、 i_c 及 i_e 則有如下的關係：

$$i_e = i_b(1 + h_{fe}) \cdots \cdots (1-15)$$

因而，輸出電壓 e_o 是

$$e_o = i_e \cdot R_L = i_b(1 + h_{fe})R_L \cdots \cdots (1-16)$$

另一方面，輸入電壓 e_i 是 (1-16) 式求出的 e_o 和 R_{in} 上的電壓降之和，即

$$e_i = i_b \cdot R_{in} + e_o = i_b \cdot R_{in} + i_b(1 + h_{fe})R_L \cdots \cdots (1-17)$$

至於電壓放大倍數，則只需將 (1-16) 式除 (1-17) 式便可求出：

$$\begin{aligned} A = \frac{e_o}{e_i} &= \frac{i_b(1 + h_{fe})R_L}{i_b \cdot R_{in} + i_b(1 + h_{fe})R_L} \\ &= \frac{(1 + h_{fe})R_L}{R_{in} + (1 + h_{fe})R_L} \div 1 \cdots \cdots (1-18) \end{aligned}$$

和 R_L 比較， R_{in} 是十分小的，因此在集電極接地電路中，可將放大倍數 $A = 1$ 來考慮。

● 1-2 晶體管放大電路的計算

1-2-1 各種等效電路

計算電子管電路時，可用互導 (g_m)、內阻 (r_p) 及放大率 (μ) 求出等效電路，並進行電路的計算。

在晶體管電路中，只要使用前面介紹過的 α 、 β 、 h_{FE} 、 h_{FB} 、 R_{in} 等各種參數便可以。不過，應當分清基極電阻，集電極電阻及發射極電阻，因為這些參數會因晶體管的接地方式不同而有所差別。

所以，計算晶體管電路時，應考慮採用各種不同的計算方法，因而在實際計算中採用的參數等效電路，也有以下幾種不同的型式：

- (1) T 參數等效電路
- (2) h 參數等效電路
- (3) y 參數等效電路
- (4) Z 參數等效電路

以上各種參數等效電路，音頻放大器主要採用的是 T 參數等效電路及 h 參數等效電路，本書使用的主要是 T 參數等效電路，不過 h 參數等效電路有時也會用到，所以這兩種電路，下面都會介紹。

1-2-2 T 參數等效電路

爲了使實用電路計算時較爲方便及易於理解其工作原理，人們便將實用電路簡化。這種簡化了的電路，就是所謂等效電路。將晶體管的三種接地方式，用穩壓電源或恒流源和電阻表示的等效電路，就叫做 T 參數等效電路。所謂穩壓電源，是其內部電阻爲 0、電壓穩定、與負荷電阻無關的電源；至於恒流源，是內部電阻無限大、電流穩定、與負荷電阻無關的電源。

T 參數等效電路如圖1-8或圖1-9所示，將晶體管接成穩壓

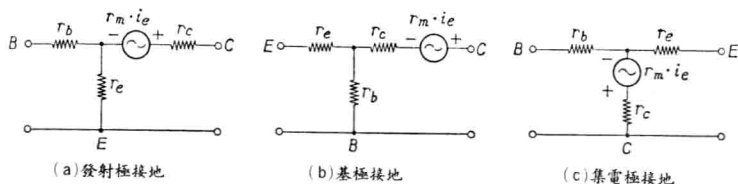


圖 1-8 T 參數穩壓源等效電路

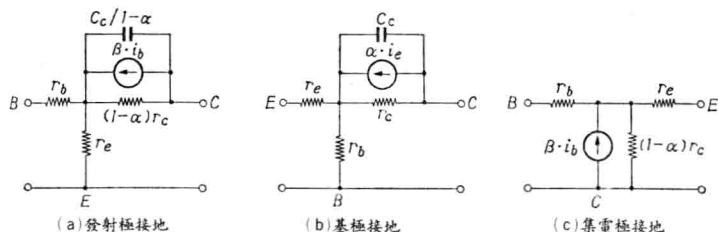


圖 1-9 T 參數恒流源等效電路

電源或恒流源，是因集電極、基極、發射極電阻的接法不同而有所不同。關於 T 型等效電路的各個參數，其代表意義如下：

r_b ：以基極作輸入端的「基極電阻」。

r_c ：基極-集電極結和集電極間的反向電阻，叫做「集電極電阻」。

r_e ：基極-發射極結和發射極間的順向電阻，叫做發射極電阻。

α ：基極接地的電流放大率 h_{fb} 。

β ：發射極接地的電流放大率 h_{fe} 。

r_m ：發射極-基極等效轉移電阻。