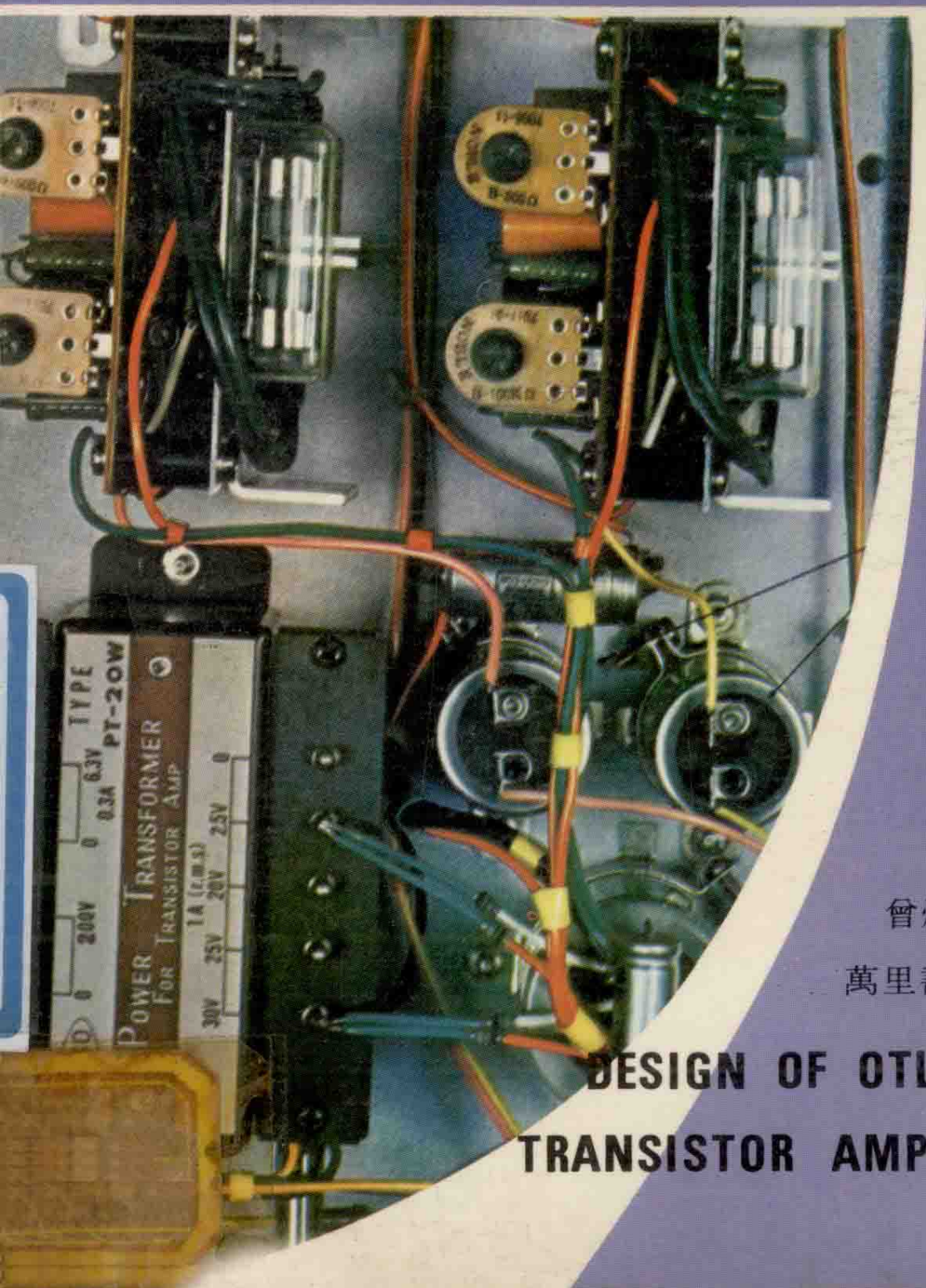


OTL 晶体管放大器 OCL 晶体管放大器

◁ 設計和製作 ▷

· 下篇 ·



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

下 篇

曾煥燃編譯

香港萬里書店出版

OTL和OCL晶體管放大器

下 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 七 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放大器已經成爲晶體管放大器的主要結構型式。而且，經過無線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放大器爲主，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，這是爲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，這是筆者深以爲憾的，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 4 章 直接交連的 SEPP 放大器的基礎	173
4-1 直接交連的 SEPP 電路的基本原理	173
4-1-1 揚聲器交連方式和低頻特性	173
4-1-2 直接交連的 SEPP 放大器的工作原理	176
4-1-3 直接交連的 SEPP 放大器的特徵	178
4-2 差動放大器	182
4-2-1 差動放大器的基本動作	182
4-2-2 共模放大作用	183
4-2-3 差動放大作用	186
4-2-4 共模抑制比	187
4-2-5 反相放大作用	187
4-3 直接交連的放大器所使用的各種差動放大電路	190
4-3-1 基本的一級差動放大電路	190
4-3-2 兩級差動放大電路	193
4-3-3 晶體管恒流源電路	195
4-4 直接交連的 SEPP 放大器的設計方法	196
4-4-1 只有一級差動放大的直接交連放大器	196
4-4-2 兩級差動放大的直接交連放大器	202
4-4-3 附有恒流源的一級差動放大型直接交連放大器	204

4-4-4 中點調整電路的設計.....	205
4-4-5 防止浪湧雜聲的電路.....	208
第 5 章 直接交連的 SEPP 放大器的設計和製作.....	210
5-1 中輸出功率標準型直接交連的 SEPP 放大器.....	210
5-1-1 標準型直接交連放大器的實用電路.....	210
5-1-2 激勵級以後的設計.....	212
5-1-3 第一級差動放大部分的設計.....	215
5-1-4 電源部分及其他.....	218
5-1-5 放大器的特性.....	221
5-2 大輸出功率標準型直接交連的 SEPP 放大器.....	224
5-2-1 直流電路的設計.....	224
5-2-2 交流電路的設計.....	227
5-2-3 電源部分的設計.....	230
5-2-4 機械構造及印刷綫路板.....	231
5-2-5 放大器的特性.....	233
5-3 使用IC TH-9013P的中輸出功率直接交連放大器.....	236
5-3-1 使用功率IC的得失.....	236
5-3-2 本機使用的IC.....	237
5-3-3 電路構成.....	242
5-3-4 製作指南及本機特性.....	243
5-4 具有兩級差動放大的大功率輸出直接交連 SEPP 放大器	244
5-4-1 設計方針.....	244
5-4-2 功率放大部分的設計.....	245
5-4-3 聲道分離器和電源部分.....	249
5-4-4 放大器的特性.....	251

5-5 穩定性高的大輸出功率直接交連 SEPP 放大器	254
5-5-1 電路的設計	254
5-5-2 放大器的特性	259
5-6 使用達林頓功率管的全互補型直接交連放大器	262
5-6-1 達林頓功率管	262
5-6-2 選擇使用的晶體管	264
5-6-3 電路設計	267
5-6-4 放大器的特性	272
第 6 章 甲類放大器和 BTL 放大器	275
6-1 甲類和乙類放大器的特點	275
6-1-1 乙類放大器的回顧	275
6-1-2 甲類放大器	281
6-1-3 甲類和乙類放大器的比較	283
6-2 中輸出功率甲類直接交連放大器	284
6-2-1 輸出電路和激勵級	284
6-2-2 使用零件	289
6-2-3 製作與調整	291
6-3 BTL 放大器的特點	296
6-4 輸出 200W 的 BTL 放大器的設計和製作	297
6-4-1 BTL 電路的說明	297
6-4-2 輸出級和電源部分	301
6-4-3 激勵級的設計	304
6-4-4 本機的電路	304
6-4-5 製作指南及本機特性	309

第 7 章 晶體管放大器的調整和故障對策	315
7-1 功率放大器的調整	315
7-1-1 調整前的準備	315
7-1-2 1 電源式 SEPP 放大器的平衡調整	317
7-1-3 2 電源式直接交連 SEPP 放大器的平衡調整	318
7-1-4 零信時電流的調整	319
7-2 功率放大器的故障對策	321
7-2-1 零信時電流過大	321
7-2-2 電路不能平衡	322
7-2-3 振盪	322
7-2-4 噪聲	325

第4章 直接交連的SEPP放大器的基礎

本章的重點，主要放在差動放大器方面，因為其他各級電路，和上一章介紹的互補型SEPP放大器基本上是一樣的，有了上一章的基礎，要瞭解直接交連的SEPP放大器應該是較容易的。

直接交連的 SEPP 放大器，和前面介紹的互補型 SEPP 放大器其實沒有什麼根本的差別，只不過在輸出級省略了和揚聲器相接的輸出交連電容器，因此這種放大器也叫做 OCL (Output Condenser Less 即無輸出電容) 放大器。

爲了達到不使用輸出電容的目的，上下功率管的中點電位必須保持直流的 0 電位，這樣，直接接上負荷時，才不致把揚聲器的音圈燒毀。因此第一級要使用差動放大器，而電源的供應要採用正負兩電源方式。

4-1 直接交連的SEPP電路的基本原理

4-1-1 揚聲器交連方式和低頻特性

雖然，互補型 SEPP 放大器的性能已經很不錯，但是由於上下功率管的中點輸出端和揚聲器之間的連接，仍然採用輸出交連電容器，因此還會引起下列所講的一些不良現象：

(1) 低頻諧波失真的增大及輸出的低落

圖 4-1 所示是互補型 SEPP 放大器的功率管和負荷的接法，假設 C_1 和 C_2 都是 $2,200\mu\text{F}$ ，那麼，實際上，上側功率管的電容只是 $1,100\mu\text{F}$ 和揚聲器相接，下側功率管的電容則有 $2,200\mu\text{F}$ 和揚聲器相接（假設這裏揚聲器的阻抗是 8Ω ）。

這時，上側的 $1,100\mu\text{F}$ 電容器要通過 18Hz 的信號，下側的電容則要通過 9Hz 的信號才能得 8Ω 的電抗。也就是說，在 18Hz 和 9Hz ，上下電路的增益分別有 3dB 的低落。由於這樣，在 30Hz 以下的低頻，沒有加上負回輸前的輸出波形，便如圖 4-2 那樣產生不平衡的情形。

雖然，這種波形通過施加負回輸會有一定的改善，但是，

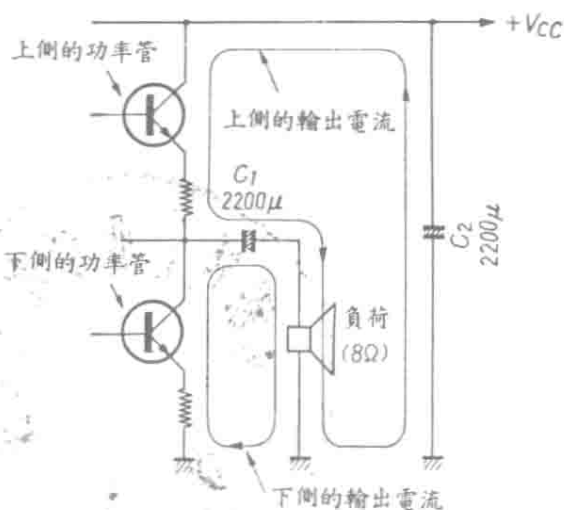


圖 4-1 互補型 SEPP 放大器的輸出電路

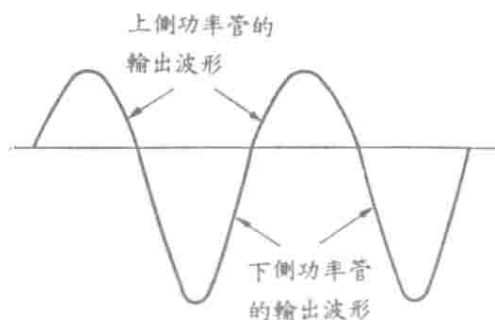


圖 4-2 上下電路不平衡時的輸出波形

如前所述，還沒有施加負回輸前回路增益已經低落，因而負回輸的效果亦不大，基於這樣的理由，在低頻的失真便顯著增大。

(2) 在低頻的頻率特性產生尖峯

如前所述，頻率特性加上負回輸前在低頻是低落的，從 20~40dB，必須加上多量的負回輸，才能使它變得平坦。但是，由於一般信號產生器的振盪範圍都在 20Hz 以上，極其量亦只在 10Hz 以上，因為在此之下的超低頻特性便不一定是平坦的了。

一般互補型 SEPP 放大器，負回輸是從輸出交連電容器的輸出端加上的，即由第一級和第二級之間的交連電容器及負荷和功率管中點間的交連電容器，這兩個電容器來担任。但是，這兩個交連電容器至少存在着 180° 的相位變動，這種通過旁路電容間加上的相位變動，雖然不至於產生低頻振盪，但是亦會發覺近於振盪的情形，它會使低頻頻率特性產生「尖峯」，

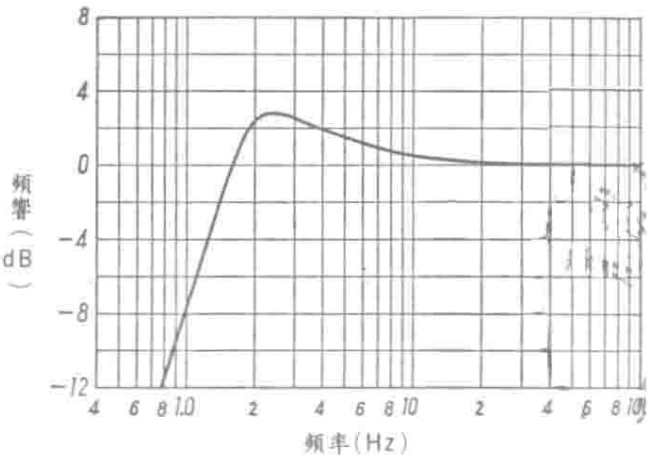


圖 4-3 在低頻出現「尖峯」的頻率特性一例

其情形如圖 4-3 所示。

這個「尖峯」，用 10Hz 以上的信號來測量往往很難測量出來，但對於放大器本身來說，却是不可忽略的。當這個「尖峯」顯著的時候，對放大器是有一定影響的。例如用唱片作為輸入，那麼由於馬達等產生的超低頻如果輸入至放大器，由此而誘發起超低頻振盪，這將使放大器的動作產生不穩定。

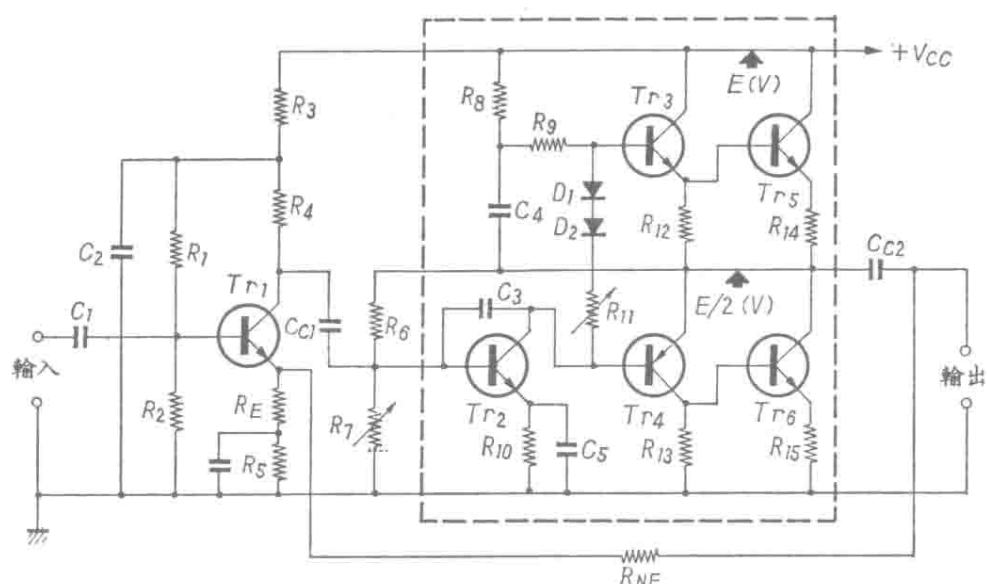
4-1-2 直接交連的 SEPP 放大器的工作原理

我們先來看看圖 4-4(a) 這個互補型 SEPP 電路，如上所述，由於電路中輸出端交連電容的存在，會引起諸多不良的效果，但是能否將 (a) 圖中的輸出電容器拿掉，直接接上揚聲器呢？

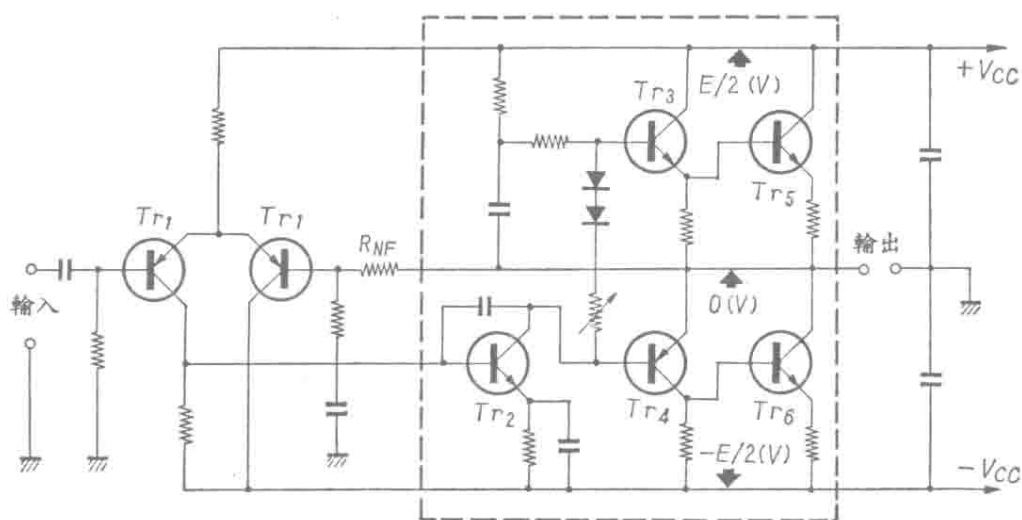
細看 (a) 圖，你便不難明白，這個措施是行不通的。因為上下功率管的中點直流電位高達 $E/2$ ，將這樣大的直流電壓施加於揚聲器上，直流成份的大電流流經揚聲器的音圈，便會即刻把揚聲器燒毀。

要防止這種故障產生，功率管的中點一定要保持 0 電位。為達到此目的，要將電源電壓 E (V) 分成 $+E/2$ 及 $-E/2$ 兩部分，上側的功率管加 $+E/2$ ，下側的功率管加 $-E/2$ 。這時電路的結構如圖 4-4(b) 所示，為了防止負載中有直流成分流過，中點的零電位要求非常穩定，所以電路的輸入端採用了差動放大器。

差動放大器的 T_{r1} 和 T_{r1}' 是對稱的，由於 T_{r1} 的基極電阻是和地相接的， T_{r1}' 的基極電阻末端亦即是上下功率管的中



(a) 互補型SEPP電路



(b) 將(a)圖改為直接交連的電路

(虛線框內的電阻和a相同)

圖 4-4 放大器直接交連輸出的說明圖

點，所以基極電極能夠保持在 0 電位。

爲了使中點 0 電位避免變動，第一級和激勵級之間亦是採用直接交連的方式。並施加直流性質的負回輸使揚聲器間不致

有電流流過。

由於採用了上述多項措施，便能避免 DC 電流流經揚聲器的音圈。

虛線內的電路和一般互補型 SEPP 放大器的電路是一樣的（見 a 圖虛線內的電路）。假如激勵級所用的晶體管（ T_{r2} ）是 PNP 型的，那麼，如圖 4-5 所示，第一級的差動放大器亦要改為使用 NPN 型的晶體管。

差動放大器本身也有多種型式，這一點我們留待 4-3 節再作介紹。

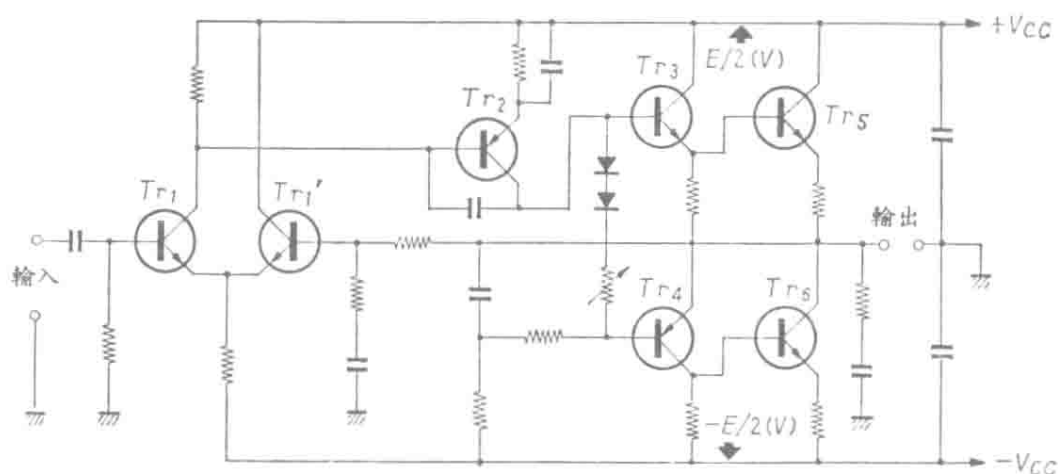


圖 4-5 激勵級使用PNP型晶體管的直接交連 放大器

4-1-3 直接交連的 SEPP 放大器的特徵

(1) 失真率特性

和一般互補型 SEPP 放大器比較，即使是採用同一功率管及互補晶體管直接交連的放大器，其特性也比較好。圖4-4(a)

的虛線內電路完全沒有改動，直接將整個電路改為 (b) 圖的方式試製，得出的結果如圖 4-6 所示，是存在很大的差別的。

低頻特性好，這是直接交連的 SEPP 放大器的特點。除此之外，其總的失真率是低的，就算在大輸出時也保持低的失真率。當然，這也和功率管或互補晶體管在使用範圍內，電路大時 h_{FE} 高有關（參閱圖 4-7）。

至於使用輸出電容器的電路（見圖 4-4a），爲了保持功率管的中點電位，必須通過 R_6 及 R_7 加上 DC 回輸，因爲這樣，AC 信號電壓也必然產生負回輸作用。故此，加於前級的負回輸量，由於這個局部的負回輸影響，將會有所減少。

相反地，在直接交連的電路中，由於完全排除了這個局部負回輸，因而全機能夠加上充分的負回輸，使失真變得很低。

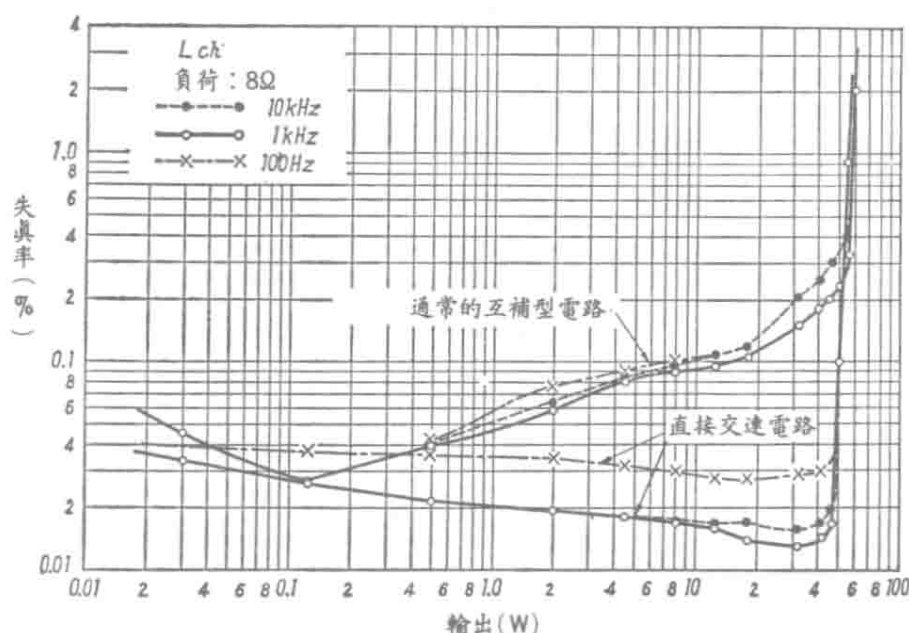
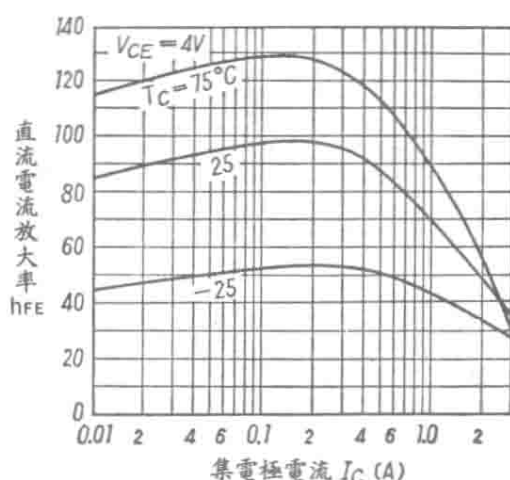


圖 4-6 直接交連型和互補型接法的失真率比較

圖 4-7 2SC1060的 h_{FE} 的特性



另一方面，使用輸出電容器的綫路，由於存在着局部負回輸，因而第一級實際的負荷變得很低，這將進一步影響第一級失真的產生。

(2) 頻率特性

在直接交連的電路，頻率特性曲綫不會產生「尖峯」(Peak)，而採用輸出電容器的電路，至低頻的極限值頻率特性還是平坦的，即使是加上一定的負回輸亦不會產生「尖峯」。但是至超低頻時電平便會低落。決定負回輸量的大小和回輸率 β 的值有關，圖 4-8 便示出了如下的關係

$$\beta = Z_{i2}' / (R_5 + Z_{i2}') \dots\dots\dots(4-1)$$

$$[\text{式中: } Z_{i2}' = Z_{i2} // (R_4 + 1/2\pi f c_2)]$$

在中頻段， $Z_{i2} \gg R_4$ ， $1/2\pi f c_2 \div 0$ ，因而主要由 CR 值決定，可看成 $Z_{i2}' \div R_4$ 。在超低頻段， $1/2\pi f c_2 \rightarrow \infty$ ， $Z_{i2}' \div Z_{i2}$ ，所以 β 增大，電平低落。

所以，「尖峯」就算在超低頻產生，由於實際上 C_2 的值用得十分大，因而對放大器的動作亦完全不會產生影響。

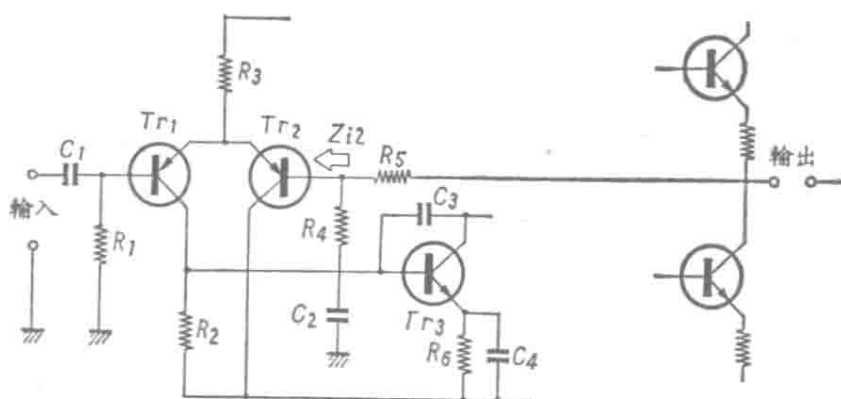


圖 4-8 直接交連型放大器的負回輸的加法

(3) 低頻的穩定性

一般採用輸出電容器的互補型 **SEPP** 放大器，一個電路大約產生 90° 的相位變化，在最壞的情形估計，兩個電路便會產生 180° 的相位變化。加上的負回輸要比原來的反相，亦即是再產生 180° 的變化，合計起來便有可能產生 360° 的相位變動，因此存在着產生正回輸振盪的危險。直接交連的電路就沒有這種情形存在。

(4) 阻尼係數 (Damping factor)

通過以上的說明，我們可知直接交連的放大器，衰減性能在低頻是不會產生低落的。環路增益至直流也是一定的。由於在接近直流的超低頻寧可增大負回輸，因而阻尼係數也有增大的可能。因此在低頻，揚聲器也要能夠作充分的阻尼。

(5) 浪湧雜聲 (Shock noise)

我們知道，在直接交連的放大器電路中，上下側晶體管的中點電位必然要調在 0 電位，因而其中點的穩定度應該是很好的。問題是，這種浪湧雜聲的產生，是在電路踏入穩定狀態之