

投稿類別：  
工程技術類

篇名：  
OTL 功率放大器實作與研究

作者：  
李坦融。臺北市立松山高級工農學校。電子科二年智班。  
鍾丞翔。臺北市立松山高級工農學校。電子科二年智班。  
羅采奕。臺北市立松山高級工農學校。電子科二年智班。

指導老師：  
陳茂璋老師  
林麗雲老師

## 壹、前言

### 一、研究動機

平常生活中，有些人會靠聽音樂來紓解在生活中所受到的壓力，當我們覺得音量太高或是音量太低的時候就會想要調整音量，這時候，靠的就是電路中的功率放大器，而不同的擴音器可能具有的分貝增益和頻率響應都不同。我們將透過本次實作來了解功率放大器的相關知識，以及探討電路在不同頻率的情況下，電路功能會有何改變。

### 二、研究目的

- (一) 了解 OTL 電路的工作原理。
- (二) 了解電晶體及其特性。
- (三) 了解頻率的高低對 OTL 放大器的增益影響。

### 三、研究方法

本研究主要是透過 OTL 功率放大器的實作，以了解其工作原理，以及研究不同頻率會如何影響功率放大器的放大效果，並得知其特性。

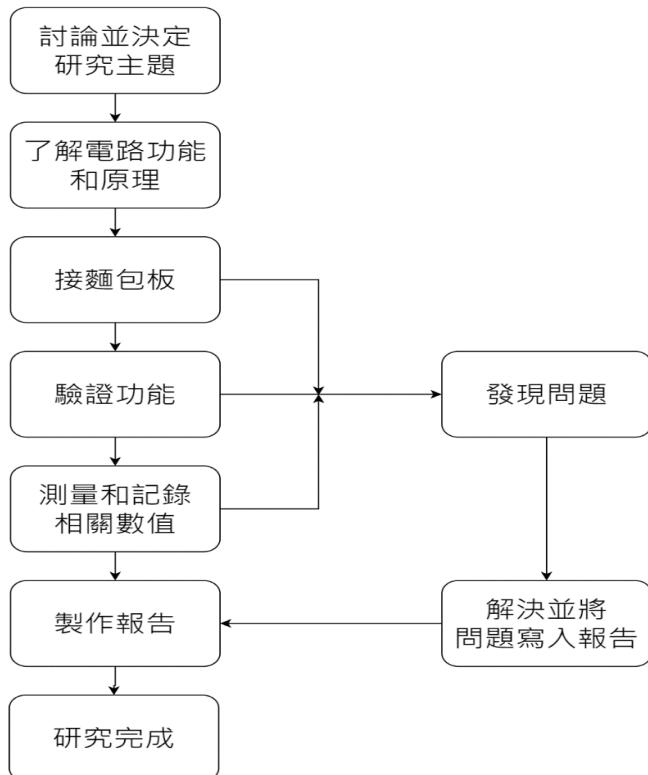


圖 1 研究流程圖

## 貳、正文

## 一、電晶體的重要參數

電晶體是電路中的主角，有 NPN 電晶體和 PNP 電晶體兩種，本電路所採用的 2SA684 屬於 PNP 電晶體，2SC1384 屬於 NPN 電晶體。下列如表（一）～表（四）為電晶體 2SA684、2SC1384 的參數，以及有關 BCE 接腳的最大額定電壓比較。

## (一) 電晶體 2SA684 介紹

表（一）絕對最大額定值

參數	符號	等級
集極到基極電壓	$V_{CB}$	-60V
集極到射極電壓	$V_{CE}$	-50V
射極到基極電壓	$V_{EB}$	-5V
集極電流	$I_C$	-1A
集極功耗	$P_C$	0.75W

(表一資料來源：2SA684 data sheet。2020 年 9 月 20 號，  
取自 <http://www.unisonic.com.tw/datasheet/2SA684.pdf>)

表（二）電氣特性

參數	符號	測試	等級
集極-基極電壓	$BV_{CBO}$	$I_C=10\mu A, I_E=0A$	-60V
集極到射極電壓	$BV_{CEO}$	$I_C=5mA, I_B=0A$	-50V
射極到基極電壓	$BV_{EBO}$	$I_E=10\mu A, I_C=0A$	-5V
直流電流增益	$H_{FE}$	$V_{CE}=-10V, I_C=-500mA$	85340

(表二資料來源：2SA684 data sheet。2020 年 9 月 20 號，  
取自 <http://www.unisonic.com.tw/datasheet/2SA684.pdf>)

## (二) 電晶體 2SC1384 介紹

表（三）絕對最大額定值

參數	符號	等級
集極到基極電壓	$V_{CB}$	60V
集極到射極電壓	$V_{CE}$	50V
射極到基極電壓	$V_{EB}$	5V
集極電流 (DC)	$I_C$	1A
集極功耗 (TA=25°C)	$P_C$	0.5W

(表三資料來源：2SC1384 data sheet。2020 年 9 月 20 號，

表 (四) 電氣特性

參數	符號	測試	等級
集極到基極電壓	$BV_{CBO}$	$I_C=10\mu A, I_E=0A$	60V
集極到射極電壓	$BV_{CEO}$	$I_C=5mA, I_B=0A$	50V
射極到基極電壓	$BV_{EBO}$	$I_E=10\mu A, I_C=0A$	5V
直流電流增益	$H_{FE}$	$V_{CE}=-10V, I_C=-500mA$	85160340

(表四資料來源：2SC1384 data sheet。2020 年 9 月 20 號，  
取自 <http://www.unisonic.com.tw/datasheet/2SC1384.pdf>)

## 二、電晶體放大器

人類可聽見的音訊頻率範圍，大約在  $20Hz \sim 20kHz$ ，而電晶體基本放大電路共有三種型式：共射極放大電路(CE)、共集極放大電路(CC)、共基極放大電路(CB)，而我們實作的功率放大器包含 CE 及 CC，如圖 2 為共射極放大電路。

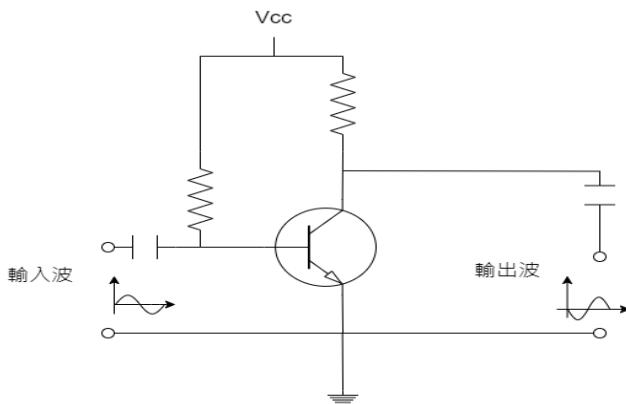


圖 2 共射極放大電路  
(資料來源：蔡朝洋、蔡承佑 (2020)。電子學實習 (上)。  
臺北市：全華圖書股份有限公司。)

## 三、OTL Output Transformer Less 放大器

早期大部分的放大器是依靠內含許多線圈電感的變壓器來運作，不同頻率的信號通過電感所呈現的阻抗各個不一，但為了將它的頻響範圍增大，因此使用的電容也會增加，導致失真等狀況。為了改善這類問題，於是 OTL 放大器的電路誕生了，它的各項能力都優於前者，頻寬既大又不容易失真，非常優異！OTL 放大電路屬於 AB 類；AB 類的電路擁有較高的效率，通常用於低頻放大器，或者用於線性和效率都需有一定水準的設計，如：手機、耳機、揚聲器等。

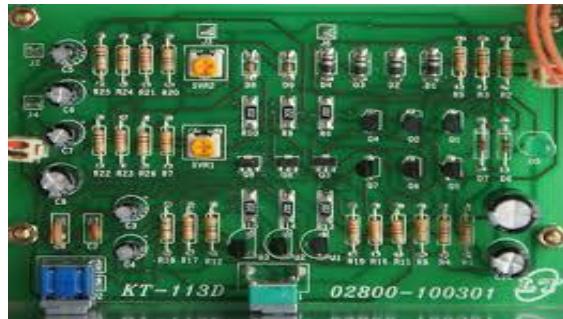


圖 3 音樂盒電路照片

(圖片來源：OTL 功率放大器電路。2020 年 9 月 20 號，  
取自 <https://kknews.cc/zh-tw/digital/j4mamop.html>。)

#### 四、放大器的頻率響應

放大器的頻率響應是指：在輸入信號波形與振幅不變的條件下，放大器於不同的頻率，增益變化的情形。而頻率響應得出來的數值做成的曲線圖可以用來表示放大器的頻寬，也就是電路的工作頻率範圍，但並不是在頻寬範圍內的所有頻率都能使用，舉例來說 AB 類的放大電路適於低頻響應，所以在高頻的地方雖然未超出頻寬但卻已有失真的情況。

#### 五、OTL 方塊圖與電路功能

信號輸入至  $Q_2$  的 B 腳並在 C 腳產生反相波形且放大的輸入信號，形成第一級放大電路，同樣的原理再由  $Q_3$  放大信號形成第二級放大電路，如圖 4。

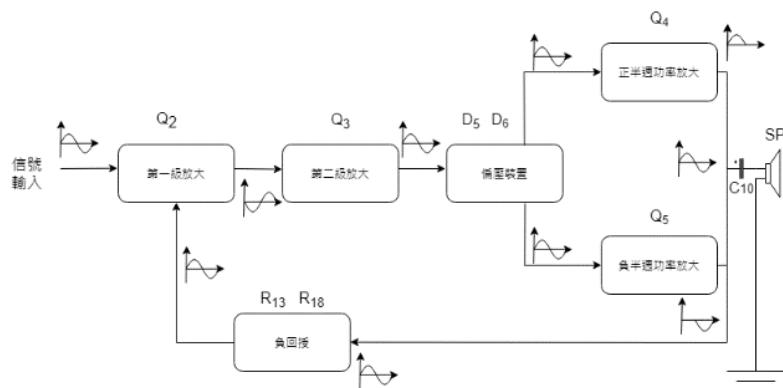


圖 4 OTL 功率放大器之電路功能

## 六、材料表

如表（五）為製作 OTL 功率放大器所需要的材料表。

表（五）OTL 放大器材料表

項次	品名	規格	數量
1	電阻	1/4W 1Ω	2
2	電阻	1/4W 100Ω	1
3	電阻	1/4W 470Ω	1
4	電阻	1/4W 680Ω	1
5	電阻	1/4W 1.2KΩ	1
6	電阻	1/4W 1.5KΩ	1
7	電阻	1/4W 2.2KΩ	1
8	電阻	1/4W 4.7KΩ	1
9	電阻	1/4W 22KΩ	1
10	電阻	1/4W 33KΩ	1
11	半可變電阻	100KΩ	1
12	開關二極體	1N4148	2
13	電晶體	2SA684	2
14	電晶體	2SC1384	2
15	陶瓷電容	100pF (101)	1
16	電解電容	16V 470 μF	2
17	電解電容	16V 100 μF	2
18	電解電容	16V 10 μF	1
19	水泥電阻	20W 8Ω	1

## 七、研究電路圖

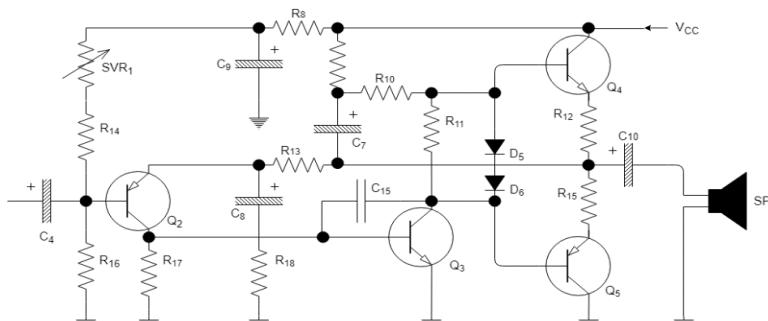


圖 5 OTL 功率放大器之電路圖

正半週信號輸入時，Q4 受順向偏壓立即導通放大，此時 Q5 因受逆向偏壓導致開路，負半週信號輸入時，Q5 受順向偏壓立即導通放大，此時 Q4 則反之，不斷地交替放大正、負半週信號。

## 八、實驗操作

## (一) 成品圖

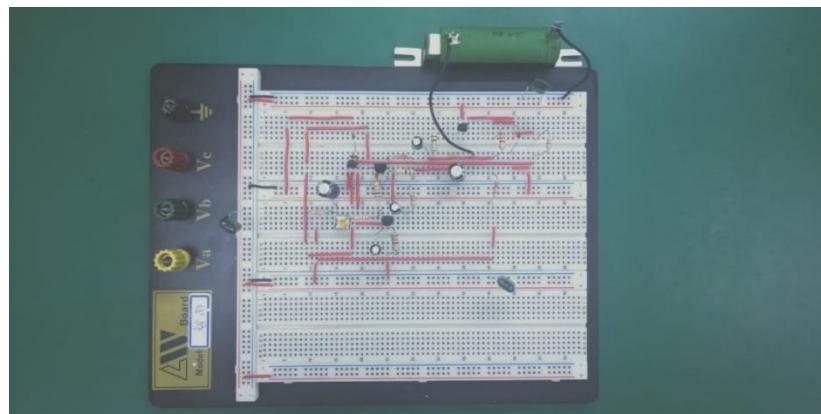


圖 6 OTL 功率放大器成品圖

## (二) 電路測量接法

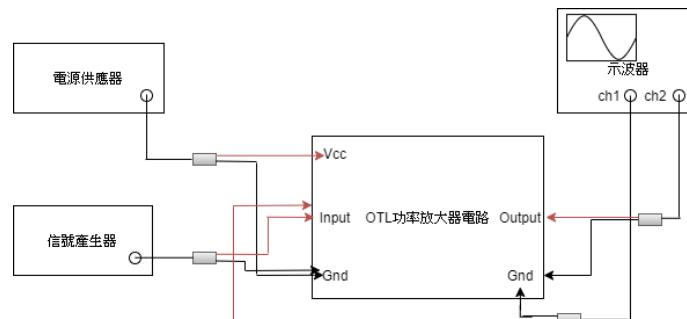


圖 7 OTL 功率放大器測量接法示意圖

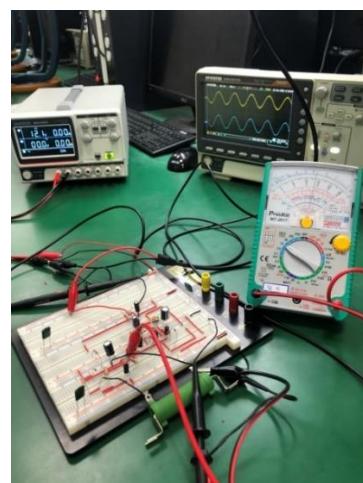


圖 8 OTL 功率放大器測量接法實際圖

圖 8 為 OTL 功率放大器在功能測量時的接線，其中電源供應器調整輸出為+12V，輸出波形為 1KHz，OTL 功率放大器輸出接  $8\Omega/20W$  的線繞電阻代替  $8\Omega$  喇叭。

## (三) 研究結果

輸入 12V 的電源以及從  $C_4$  輸入 1KHz 的正弦波，函數波信號產生器的輸出振幅調至最小，將示波器 CH<sub>1</sub> 探棒接在  $C_4$  的正極（信號輸入端），CH<sub>2</sub> 探棒接在  $C_{10}$  的負極（信號輸出端），調整信號產生器的輸出振幅，直到輸出波形為最大不失真時即停止，此時得到的輸入、輸出波形如圖 9 所示。

此時的  $V_i$  (p-p) 約為 210mV， $V_o$  (p-p) 約為 4.4V，輸出功率為 0.3025W，計算出此時的電壓增益為 20.95 倍，再由此電壓增益的 0.707 倍找出高、低頻的截止頻率，即 20.95 的 0.707 倍，截止頻率的電壓增益約為 14.8 倍，而截止電壓為 14.8 倍乘以 210mV 即 3.1V。

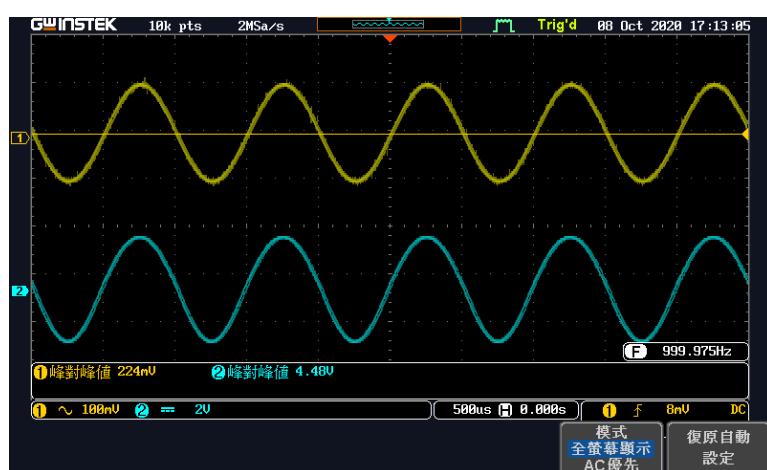


圖 9 1KHz 時的測試波形

調高信號的頻率，尋找高頻截止頻率點，如圖 10，210KHz 為此電路的高頻截止頻率  $f_H$ 。

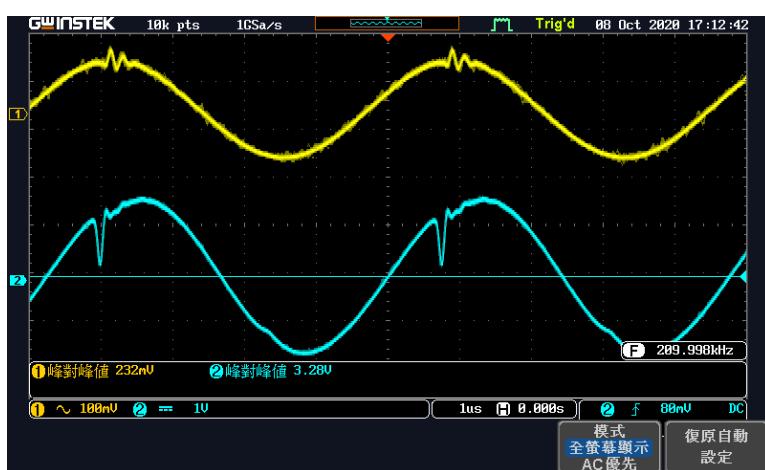


圖 10 高頻截止頻率的測試波形

## OTL 功率放大器實作與研究

調低信號的頻率，尋找低頻截止頻率點，如圖 11，45Hz 為此電路的低頻截止頻率  $f_L$ 。



圖 11 低頻截止頻率的測試波形

由圖 10、圖 11 找到此電路的頻寬為  $f_H-f_L=209.955\text{KH}_z$ 。依據表（六）調整信號頻率，測試各頻率的電壓增益，再換算成 dB 值並記錄，依得到的數據依序繪製頻率響應特性表如表（六）和頻率響應曲線如圖 12 所示。

表（六）頻率響應數據結果

信號頻率 (Hz)	輸入峰值 (mV <sub>P-P</sub> )	輸出峰值 (V <sub>P-P</sub> )	增益 $A_v = \frac{V_o}{V_i}$	分貝增益 (dB)
45	210	2.9	13.9	23
50	210	3.2	15.2	23.6
100	210	4.2	19.8	25.9
500	210	4.5	21.5	26.5
1K	210	4.4	20.95	26.4
2K	210	4.6	21.7	26.7
5K	210	4.6	21.7	26.7
10K	210	4.6	21.7	26.7
20K	210	4.6	21.7	26.7
50K	210	4.3	20.57	26.2
100K	210	4.0	19	25.5
150K	210	4.0	19	25.5
200K	210	3.3	15.8	23.9
210K	210	3.0	14.2	23



圖 12 頻率響應曲線

## 九、問題與討論

Q<sub>1</sub>：為什麼理想功率和輸出功率數據差異甚大？

A<sub>1</sub>：因為電路內部本身有阻抗元件—電容，所以在運作時，會有一定的能量損失。

Q<sub>2</sub>：高頻的測試波形有出現變形？

A<sub>2</sub>：高頻的信號輸入波形可以看出已經有出現高頻震盪的現象了，再經由電路把波形的高頻震盪現象放大了，也造成相位失真，可知此電路的高響應不良。

Q<sub>3</sub>：那為什麼低頻的測試波形卻沒有出現變形？

A<sub>3</sub>：我們的 OTL 功率放大器屬於 AB 類，而 AB 類的放大器適用於低頻放大，所以高頻放大很容易就失真了。

## 參、結論

經過這次的研究，我們從這個 OTL 功率放大器中了解到了 AB 類放大器頻率響應的狀況，可以得知此種電路真的比較適合用在低頻放大，因為我們在測量中發現從 1KHz 往高頻截止頻率  $f_H$  的過程中，在快接近時，它早已有失真的情況，調到  $f_H$  的同時，它甚至出現了相位失真。我們從這個實作中也發現音頻放大衰減的因素，知道生活中與音頻有關的電器是如何將訊號利用放大電路推動喇叭。在這次的實作中，我們發生了一些錯誤，如：負載極性接反導致電壓錯誤，電晶體 BCE 接腳接錯等的問題，其實只要細心都是能預防的，當作是給我們一個警惕吧！

## 肆、引註資料

江賢龍、周進文（2015）。**最新基礎電子實習含丙級工業電子學科試題與術科實作**。新北市：台科大圖書股份有限公司。

江賢龍、周玉崑（2020）。**電子學實習（上）**。新北市：台科大圖書股份有限公司。

楊仁元、李月娥（2020）。**電子學實習（上）**。新北市：科友實業股份有限公司。

蔡朝洋、蔡承佑（2020）。**電子學實習（上）**。臺北市：全華圖書股份有限公司。

OTL 功率放大器電路。2020 年 9 月 30 號，  
取自 <https://kknews.cc/zh-tw/digital/j4mamop.html>。

2SA684 data sheet。2020 年 9 月 20 號，  
取自 <http://www.unisonic.com.tw/datasheet/2SA684.pdf>

2SC1384 data sheet。2020 年 9 月 20 號，  
取自 <http://www.unisonic.com.tw/datasheet/2SC1384.pdf>