

小型化高功能伴唱擴音機之研究

高中組應用科學科第三名

台北市立內湖高級中學

作者：徐暉雄、劉柏成

指導教師：陳聲台

一、研究動機

我和我的同學都很喜愛唱歌，常常到家中有卡拉OK音響的同學家中練唱。心想若自己也能擁有一套高級的音響系統該有多好，可惜這個希望受到下列幾個事實的限制，必須一一加以克服：

- 1.我已有一套床頭音響，沒有理由要求家人再添設備。
- 2.我的臥房很小，增加器材須考慮其體積大小及擺設位置。
- 3.一般市售卡拉OK的音質距高級音響實在有一段距離。

因此決定開發出一套小型化高功能的伴唱機。

二、研究目的

- (一)探討市售卡拉OK音質不良之原因。
- (二)研究音頻波形混合的原理與技術。
- (三)研究如何在家用音響中加入伴唱功能。
- (四)探討如何利用濾波器及回授技巧，改善伴唱機的音質。
- (五)製作一台實用而高水準的伴唱擴音機。

三、研究設備器材

- (一)直流電源供應器一台
- (二)三用電錶一台
- (三)音頻信號產生器二台
- (四)示波器一台
- (五)Curve Tracer 一台
- (六)直線加熱器一台
- (七)板金工具一組
- (八)電子工具一組

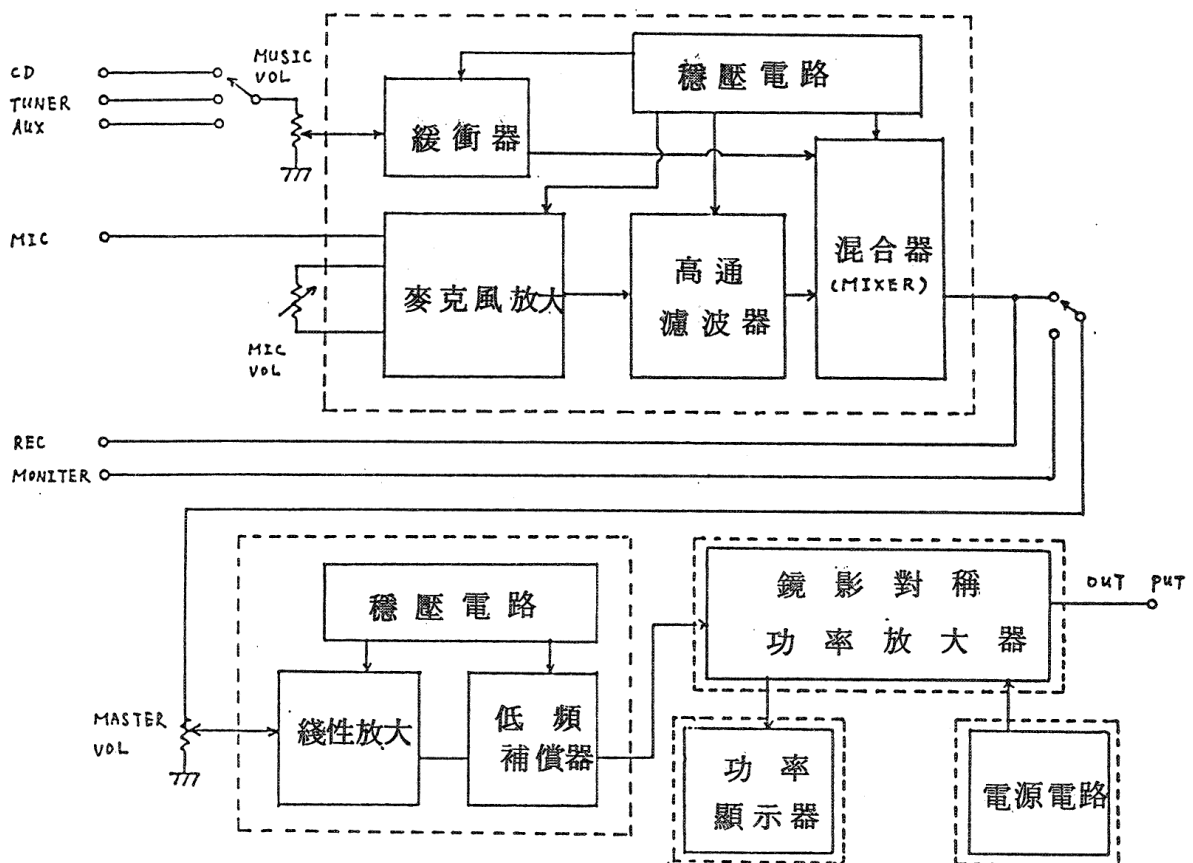
- (九)電阻、電容依設計圖購買一批
- (十)電晶體、IC 一批
- (十一)P C 電路板一大片
- (十二)鍍鋅鐵皮二片
- (十三)鋁製面板一片
- (十四)透明壓克力一大片
- (十五)鋁製散熱片二片
- (十六)輸出入插座一批
- (十七)電位器、旋鈕一批
- (十八)氯化亞鐵溶液一瓶

四、研究過程

(一)高傳真音響組合的播放效果是震懾心弦的，其音質與市售的卡拉OK機器大不相同。一般而言，後者講究的只是伴唱功能，並非音品之追求，而前者雖有華麗的音質，却缺少對音源做任意比例混合、調配及輸出的功能。

(二)圖一是我理想中的方塊圖：

(圖一) 高傳真卡拉OK伴唱擴音機方塊圖



- 1.能對任意音源經選擇開關加以選擇作混合並調整其混合比例。
- 2.麥克風訊號先經高通濾波器再混合。
- 3.混合後的訊號可輸送至REC/IN做內線錄音，並能以MONI-TER傳回錄音效果，以利監聽。
- 4.混合後的訊號經低頻補償器再輸出。
- 5.各級加上穩壓電路以求音質純淨。

以下我們分別闡述這些電路的設計理念。

(1)聲音混合電路(如圖三)實際是應用電學中的重疊原理。

$$V_o = i_e R_e = (1 + \beta) i_b R_e$$

$$i_b = i_1 + i_2 = \left[\frac{V_1 - V_b}{R_1} + \frac{V_2 - V_b}{R_2} \right]$$

$$\text{故 } V_o = \left[\frac{V_1 - V_b}{R_1} + \frac{V_2 - V_b}{R_2} \right] (1 + \beta) R_e \dots\dots\dots \textcircled{1}$$

$$\text{但 } V_b = i_b (h_{ie}) + i_e R_e = \frac{V_o h_{ie}}{(1 + \beta) R_e} + V_o$$

V_b 代入①式可得

$$R_1 R_2 V_o + V_o [h_{ie} + (1 + \beta) R_e] \cdot (R_1 + R_2) = (R_2 V_1 + R_1 V_2) \cdot (1 + \beta) R_e$$

整理上式可得

$$V_o = \frac{R_2 V_1}{R_1 + R_2 + \frac{R_1 R_2}{(1 + \beta) R_e}} + \frac{R_1 V_2}{R_1 + R_2 + \frac{R_1 R_2}{(1 + \beta) R_e}} \dots\dots \textcircled{2}$$

由②式可知輸出電壓中含有 V_1 與 V_2 兩種訊源，只要改變 R_1 與 R_2 之比值，就可調配出任意比例之混合信號，這是簡單而實用的電路。

(2)低頻濾除器電路：

一般伴唱機採用廉價麥克風，其低頻部分常模糊不清，甚至使混合後的音樂不堪入耳，因此有必要加以濾除。我們採用二階高通濾波器(如圖三)，而MIC之音量控制納入放大電路之回授系統，可大量降低失真。

運算放大器之 $V_{\oplus} = V_{\ominus} = V_o$

令 $S = j\omega = j2\pi f$

$$V_{\oplus} = i_s R, V_1 = i_s \left(R + \frac{1}{CS} \right) = \frac{V_{\oplus}}{R} \left(R + \frac{1}{CS} \right) = \frac{V_o}{R} \left(R + \frac{1}{CS} \right)$$

因 $i_1 = i_2 + i_3$ 故

$$\frac{V_s - V_1}{\frac{1}{CS}} = \frac{V_1 - V_0}{R} + \frac{V_1}{R + \frac{1}{CS}}$$

$$V_s CS = V_1 CS + \frac{V_1}{R} - \frac{V_0}{R} + \frac{V_1 CS}{RCS + 1}$$

將 V_1 代入上式得

$$V_s CS = \frac{V_0}{R} \left[CS \left(R + \frac{1}{CS} \right) + \frac{R + \frac{1}{CS}}{R} - 1 + \frac{\left(R + \frac{1}{CS} \right) CS}{RCS + 1} \right]$$

$$= \frac{V_0}{R} \left[\frac{R^2 C^2 S^2 + 2RC S + 1}{RCS} \right] = V_0 \frac{(RCS + 1)^2}{R^2 CS}$$

增益 $G(s) = \frac{V_0}{V_s} = \frac{R^2 C^2 S^2}{(RCS + 1)^2}$ 因 $S = j\omega$

$$G(s) = \frac{-R^2 C^2 W^2}{(1 - R^2 C^2 W^2) + j2RCW}$$

$$= \frac{-R^2 C^2 W^2 [(1 - R^2 C^2 W^2) - j2RCW]}{(1 - R^2 C^2 W^2)^2 + 2R^2 C^2 W^2}$$

$$|G(\omega)| = \frac{R^2 C^2 W^2}{\sqrt{(1 - R^2 C^2 W^2)^2 + 2R^2 C^2 W^2}} = \frac{R^2 C^2 W^2}{1 + W^2 R^2 C^2}$$

相角 $\theta = \tan^{-1} \frac{2RCW}{R^2 C^2 W^2 - 1}$

$$G(\text{DB}) = 20 \log |G(\omega)| = 20 \log (R^2 C^2 W^2) - 20 \log (1 + W^2 R^2 C^2)$$

$$= G(\text{DB}_1) + G(\text{DB}_2)$$

當 $W = \frac{1}{RC}$ $G(\text{DB}_1) = 0$

$W = \frac{2}{RC}$ $G(\text{DB}_1) = 12 \text{ db}$

在頻率響應圖上，連結此 2 點可得一條 12 DB/OCT 之漸近線

當 $W = \frac{1}{RC}$ $G(\text{DB}_2) = -6 \text{ DB}$

$W = 0$ $G(\text{DB}_2) = 0$

$W \gg RC$ $G(\text{DB}_2) = -20 \log R^2 C^2 W^2 = -40 \log RCW$

此為一條 -12 DB/OCT 之漸近線。

以不同的W代入③式，可在頻率響應圖上將點一一描出而作出圖四之波德圖。由此圖可知低頻得到足夠的衰減。

(3)揚聲器低頻補償電路：

一般揚聲器在低頻部分有一定程度的衰落。我自用的喇叭是飛利浦的 System 8，由工廠的資料知頻率響應在 160HZ 以下的低音明顯的衰落。爲了求得震懾人心的低音效果，有必要在這段頻率給予補償和提昇。至於 50 HZ 以下的低音，已接近人耳聽聞的下限，可以不用補償，以免徒增功率的負擔。我運用放大器設計圖二中之低頻補償電路，它的每一零件皆納入負回授系統，不會引起任何的失真。

$$V_s = V_{\oplus} = V_{\ominus} = V_o \frac{R_3}{(R_1/R_1CS + 1) + R_2 + R_3}$$

$$\begin{aligned} \therefore G(s) &= \frac{V_o}{V_s} = \frac{(1/(R_1CS + 1)) + R_2 + R_3}{R_3} \\ &= \frac{R_2R_3 + (R_2 + R_3)R_1CS + R_1}{R_3(1 + R_1CS)} \\ &= \left(\frac{R_1 + R_2 + R_3}{R_3}\right) \frac{1 + \left(\frac{R_2 + R_3}{R_1 + R_2 + R_3}\right)R_1CS}{1 + R_1CS} \dots\dots\dots ④ \end{aligned}$$

$$S = 0 \text{ 時 } \log |G(s)| = \log \frac{R_1 + R_2 + R_3}{R_3} \dots\dots \text{極低頻放大率}$$

$$S = \infty \text{ 時 } \log |G(s)| = \log \frac{R_2 + R_3}{R_3} \dots\dots \text{高頻之放大率}$$

頻率轉折點：在④式中

$$\text{令分子} = 0 \quad \text{可得 } W_1 = \frac{R_1 + R_2 + R_3}{R_1(R_2 + R_3)C} \dots\dots \text{補償皆止點}$$

$$\text{令分母} = 0 \quad \text{可得 } W_2 = \frac{1}{R_1C} \dots\dots\dots \text{補償起始點}$$

根據 System 8 喇叭的特性，設計值爲

$$R_1 = 33 \text{ K} \quad R_2 = 18 \text{ K} \quad R_3 = 560 \Omega \quad C = 1082 \mu\text{F}$$

代入以上設計值可得

$$f_1 = 163 \text{ HZ} \quad \text{低頻增益} = 39.28 \text{ DB}$$

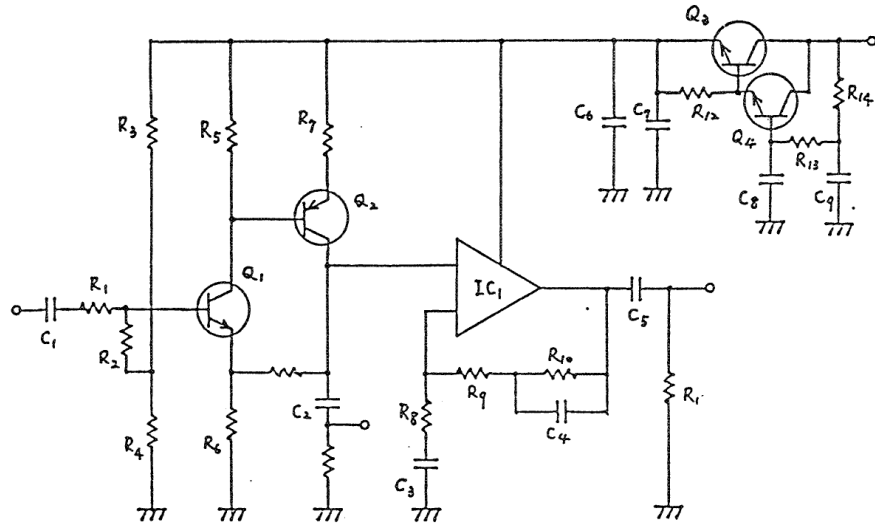
$$f_2 = 58 \text{ HZ} \quad \text{高頻增益} = 30.40 \text{ DB}$$

低音提昇量為低頻增益與高頻增益之差

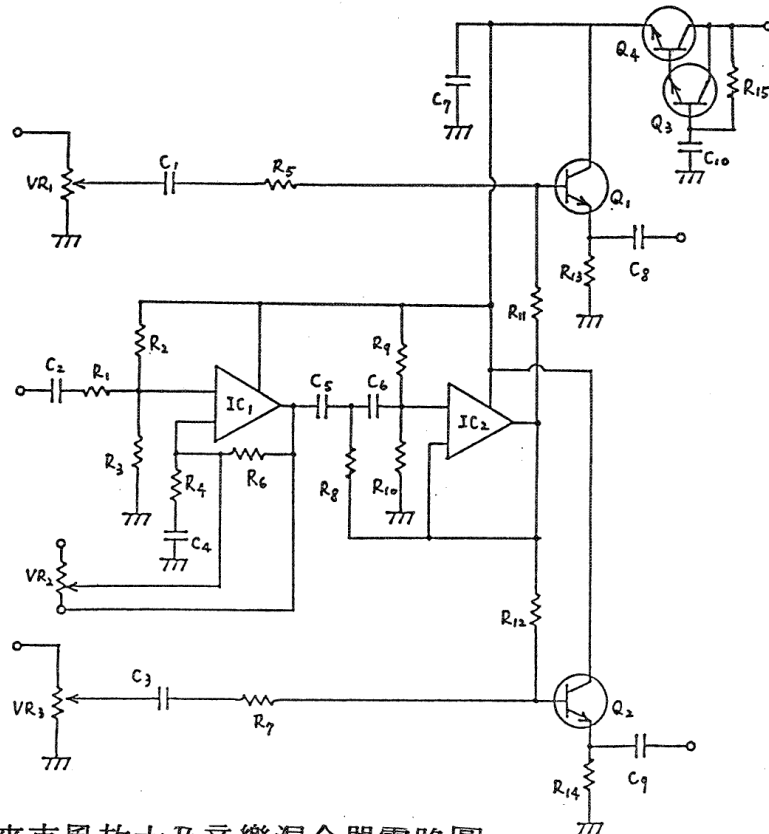
$$\text{即 } 20 \log \left\{ \frac{R_1 + R_2 + R_3}{R_3} \right\} - 20 \log \left\{ \frac{R_2 + R_3}{R_3} \right\}$$

可得提昇量約為 9 DB

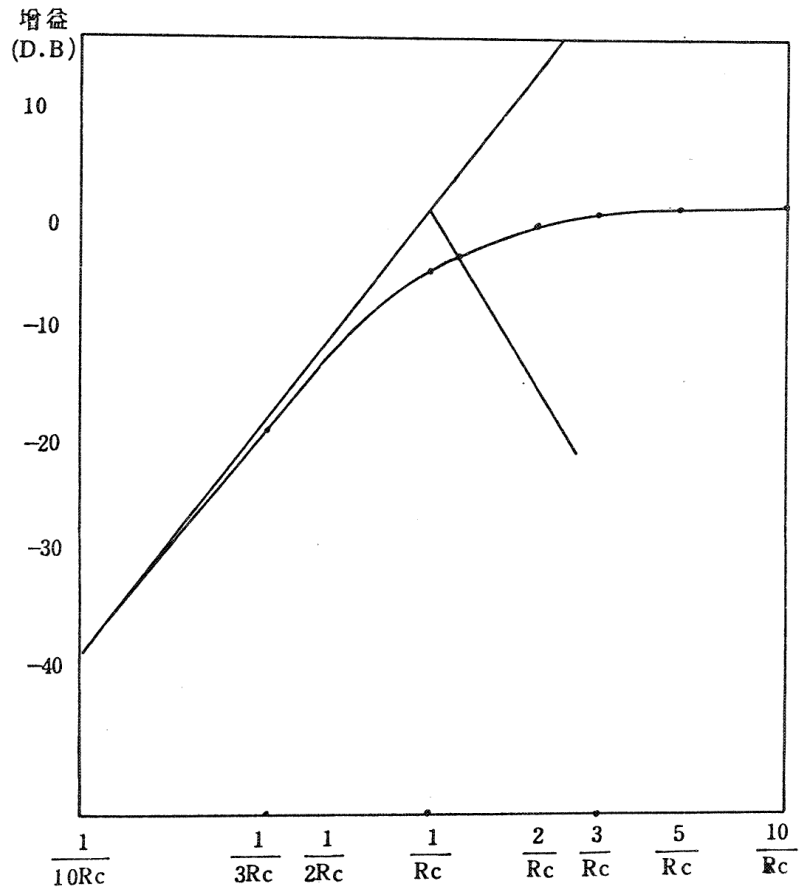
圖六為此低頻補償器的波德圖，它能對揚聲器於 58 HZ — 163 HZ 頻段內做有效的補償，使綜合響應平直而有極佳的效果。圖二為此部分的詳圖，所有零件皆經多次實驗才決定。



(圖二) 綫性放大器及低頻補償電路圖



(圖三) 麥克風放大及音樂混合器電路圖



(圖四) -12 d b / ocT濾除器頻率響應圖

System 8 45 - 20000 Hz

使用單體:

低音單元: AD8066/w8

高音單元: ADO162/T8

功率容量: 35瓦

額定阻抗: 8 歐姆

驅動功率: 4 瓦

協振頻率: 85 赫

頻 域: 45 - 20000 赫

容 積: 15 公升

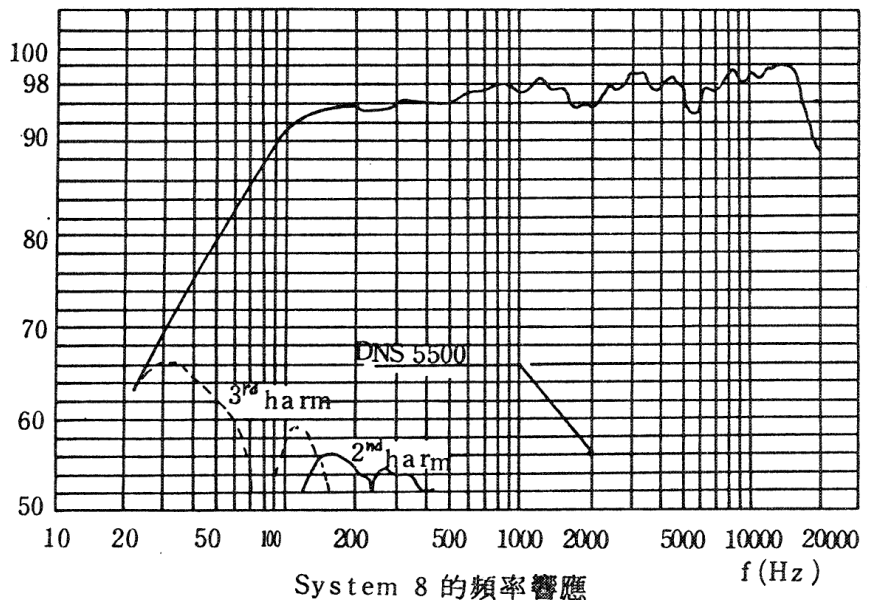
內 徑: 35.7 × 26.2 × 17 公分

深 度: 17 公分

厚 度: 1.8 公分

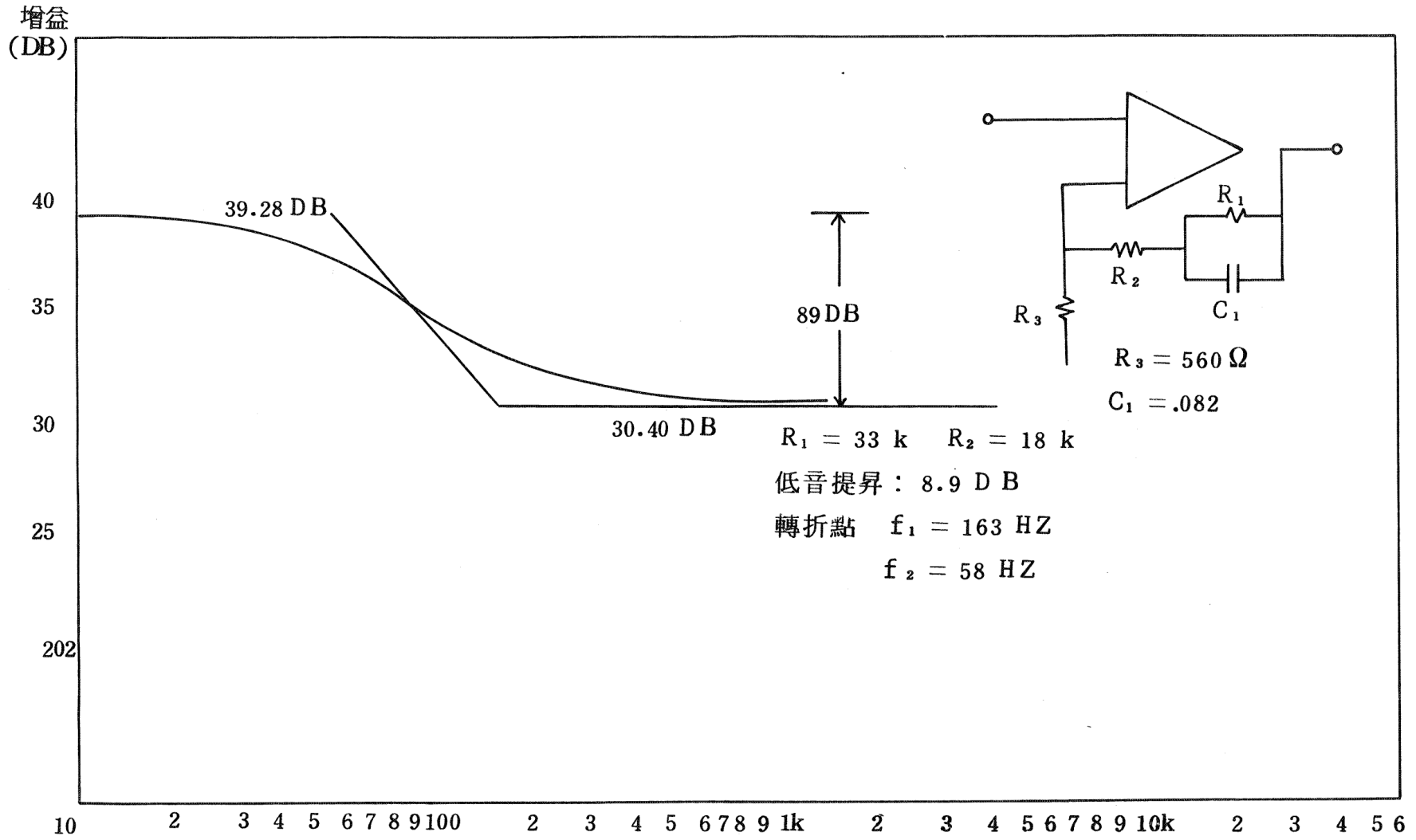
吸音材料: 玻璃棉

35 × 25 × 4 公分



System 8 的頻率響應

(圖五) 飛利浦喇叭套件規格資料



(圖六) 喇叭低頻補償器頻率響應圖