

# 轟天雷的祕密

## 高中組應用科學科第三名

台北市內湖高級中學

作者：羅志偉、謝志昌、徐佩伶、黃雯琪

指導教師：陳聲台

### 一、研究動機

近年來電視及各種媒體上不斷地有諸如下列的廣告出現：“聽電視的時代來臨了”，“超重低音”，“轟天雷”等，這些動聽的詞句主要是描述該項產品能以極小的體積容量，發出澎湃豐沛的低音來。詳細觀察這類喇叭，其音箱障板上總開有一個神秘的孔洞，並以一支導管延伸至音箱內部，一般人稱其為低音反射管，這反射管到底有甚麼功用？它對低音究竟有何影響？好奇心驅使我展開一系列的研究。

### 二、研究目的

- (一) 研究喇叭的阻抗曲線及其低頻共振。
- (二) 研究密閉式音箱對喇叭低頻共振的影響。
- (三) 研究反射式音箱對喇叭低頻共振的影響。
- (四) 設計一套電子儀器測量喇叭的共振參數。

### 三、研究器材

- (一) 動態阻抗測試器（自製）。
- (二) 對數放大器（自製）。
- (三) 麥克風等化器（自製）。
- (四) 多孔道實驗音箱（自製）。

### 四、研究過程

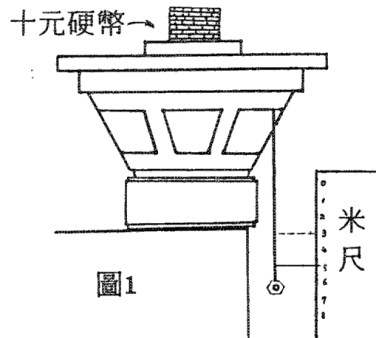
(一) 喇叭的動態阻抗及其低頻共振

1. 任何類似彈簧般的振動體系都會有一個符合自身共振的固有頻率，以標準彈簧而言這個頻率為： $T = 2\pi \sqrt{m/k} \dots \dots (1)$

我設計了一個實驗（圖1）測量喇叭的恢復力與紙盆的位移，發現兩者確實有正比關係。

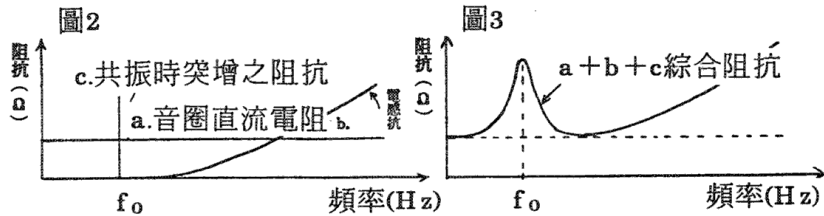
2. 當外來驅策力之頻率與彈性振動體之固有頻率相同時將起大幅度的振盪，此即

為“共振”喇叭的共振頻率常低於100Hz。



3. 喇叭在不同的頻率下振動，其電子阻抗（圖2、3）呈現動態變化，至少有三個原因促成喇叭的動態阻抗曲線：

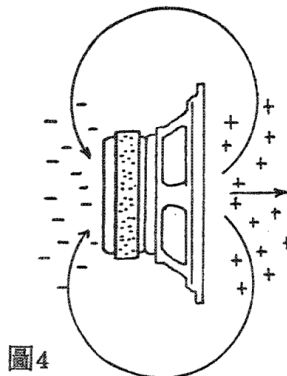
- ①音圈銅絲有直流電阻，多在 $4\sim 8\Omega$ 之間。
- ②音圈的感抗 $X_L = \omega L = 2\pi fL$ 故在高頻端電感抗必大為升高。
- ③在喇叭的共振頻率上，音圈的振幅極大，線圈與磁場交割的速率增加很多，依法拉第感應定律，線圈上的感應電壓將隨著線圈交割速率的增加而升高，共振時感應電壓升至最高，這電壓有阻止信號電流繼續流入喇叭的趨勢，這相當於音圈兩端的阻抗被等效地升至最高了。



4. 想要知道一只喇叭的共振頻率為何，只要測量其動態阻抗，尋找阻抗之最高點，此阻抗對應的頻率即為共振頻率。

#### (二) 密閉式音箱

1. 喇叭低頻響應不佳的最大原因是紙盆前後空氣會發生“音壓短路”現象，若能加上一個封閉的木箱，隔絕喇叭前後的空氣就可清除音壓短路現象。



- 密閉式音箱內的空氣將隨著喇叭前後振動而不斷地被壓縮和稀釋，箱內空氣有如彈簧一般，加上原本就有的紙盆懸邊和蛇腹的彈力作用，使得整體彈力常數升高了，而共振頻率也將跟著上升。
- 音箱體積對喇叭共振頻率影響甚大，經我多次實驗發現所有的密閉式喇叭之低頻共振頻率和音箱體積間都有下列的數學關係： $f_0 \propto V^{-0.3} \dots \dots (2)$ 。

(三)反射式音箱

- 依熱力學第一定律及氣體狀態方程式我們可導出空氣的容積

彈性係數為  $B = -dP / (dV / V) \dots \dots (3)$

聲音速度為  $V = \sqrt{\gamma P / \rho} \dots \dots (4)$

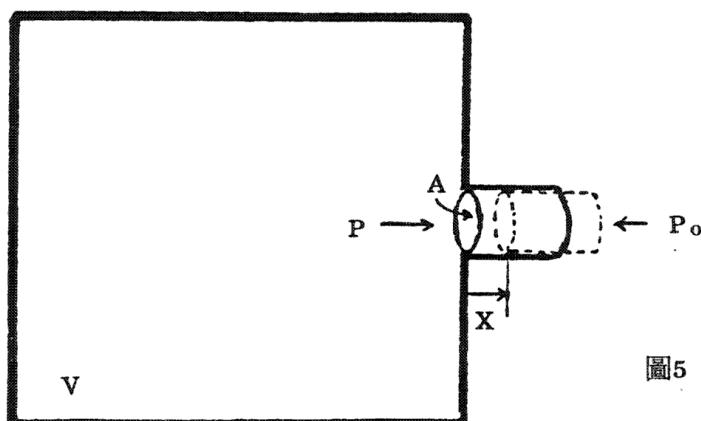


圖5

- 圖5中一個體積為V，開口面積A，導管長度L的反射式音箱，其內部空氣若因某種因素，使氣壓由P\_0上升至P時，導管內的空氣柱將被向外側推擠，若空氣柱位移為X，氣柱受力為

$$F = A(P - P_0) = A \Delta P = A \left( \frac{dP}{dV} \right) \Delta V \dots \dots (5)$$

加入(3)(4)兩式可得

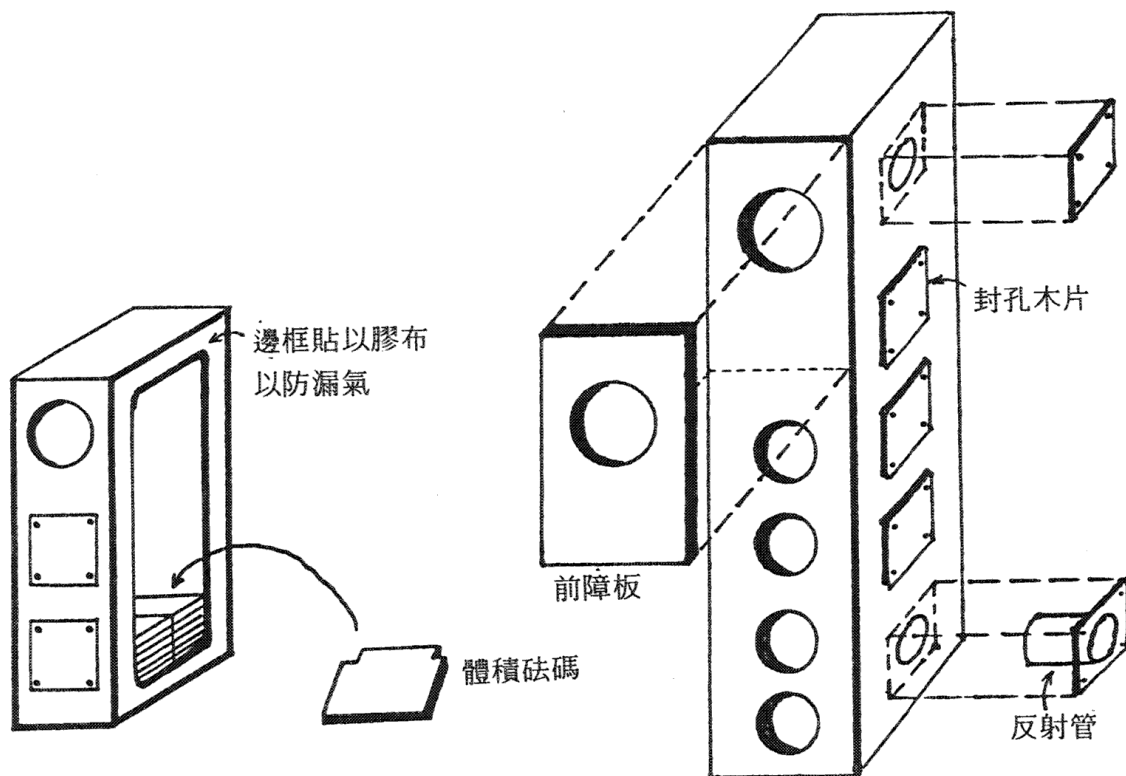
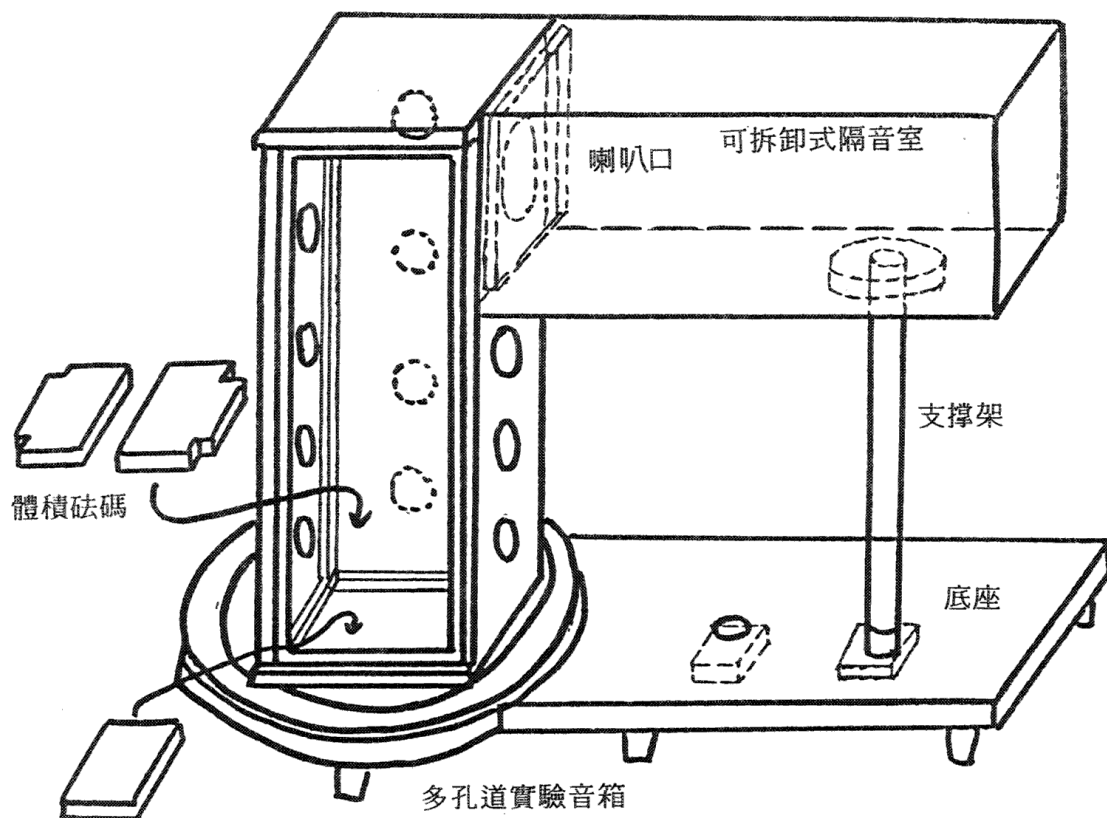
$$F = A \left( \frac{dP}{dV} \right) A \cdot X = A^2 \left( \frac{\gamma P_0}{V} \right) X \dots \dots (6)$$

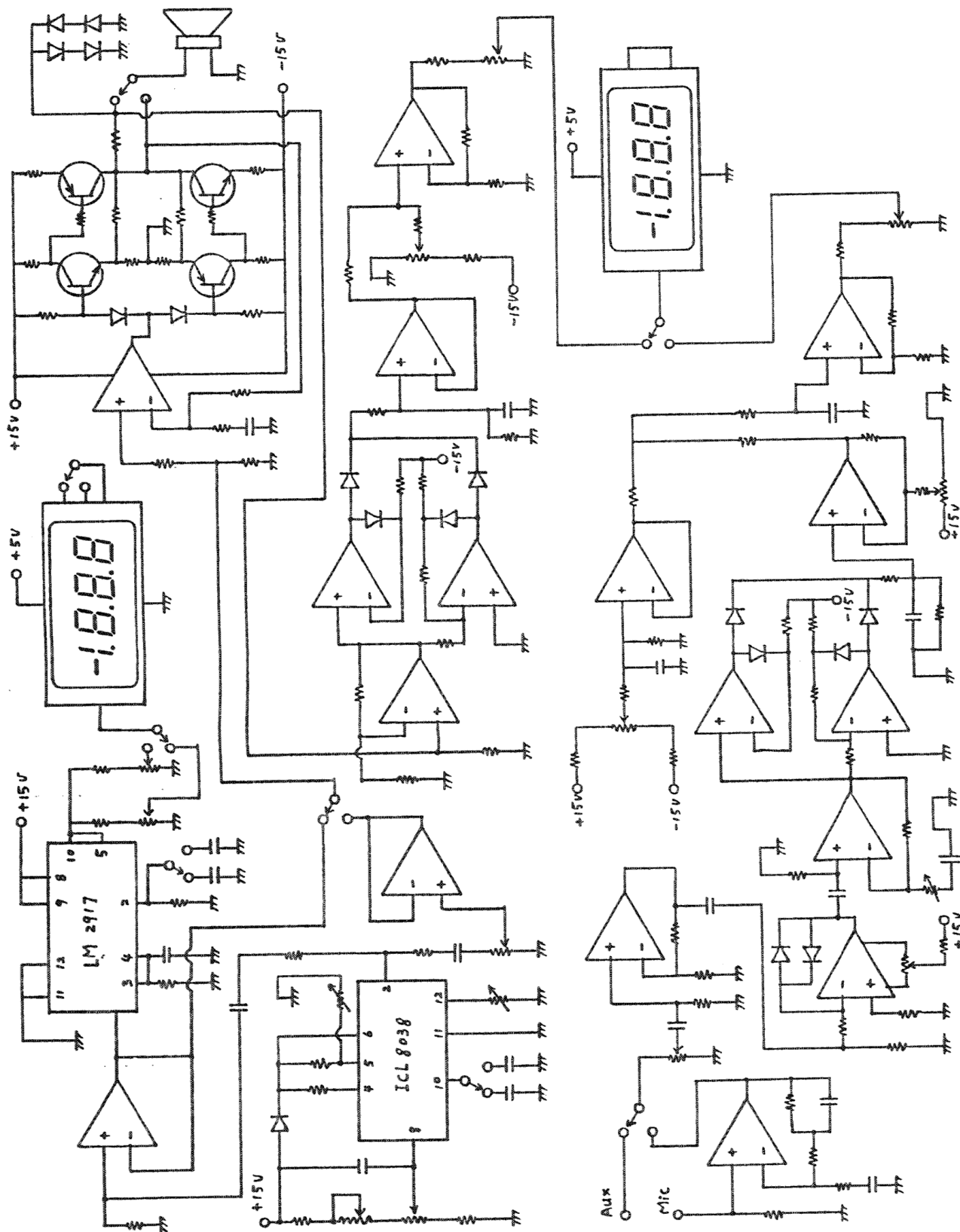
上式除了X以外皆為常數，故F = -KX這是標準的簡諧運動方程式，音箱共振頻率應為

$$f = 1 / [2\pi \sqrt{\left( \frac{\rho L V}{A \rho V^2} \right)}] \dots \dots (7)$$

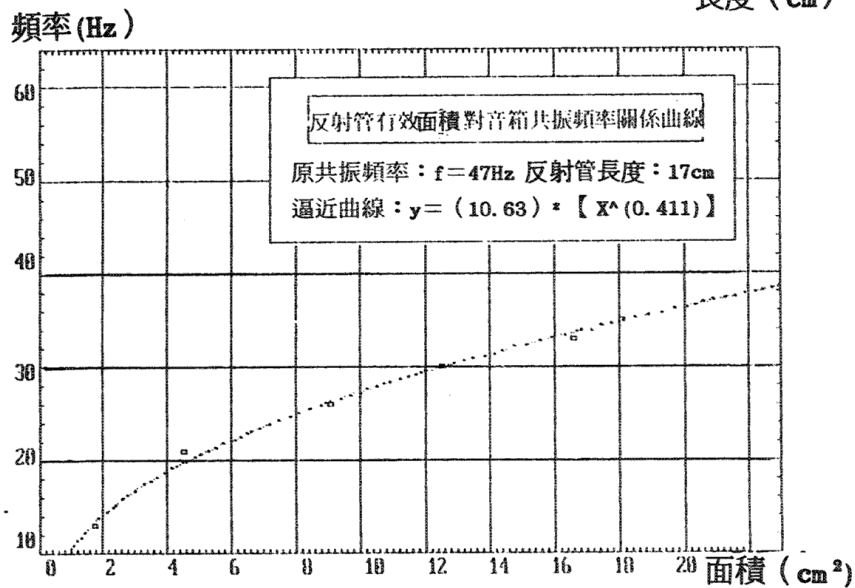
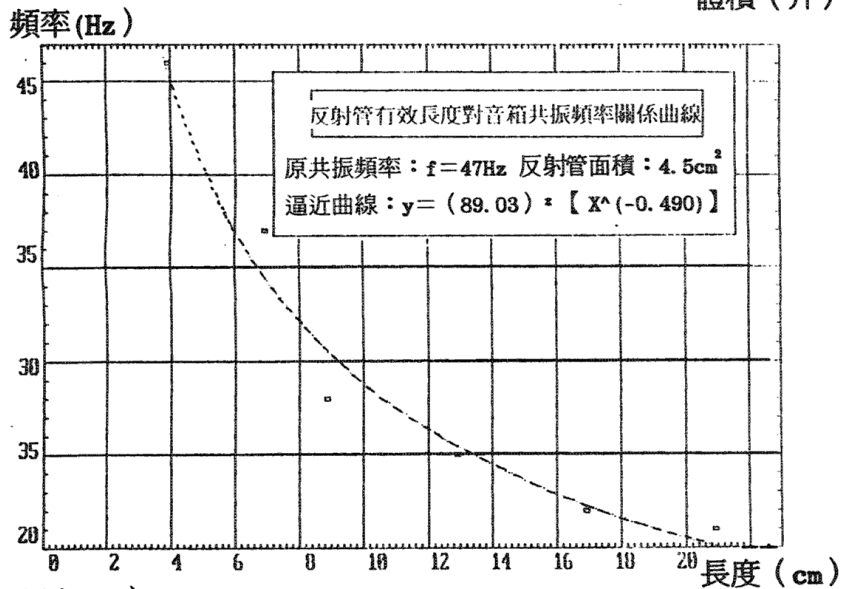
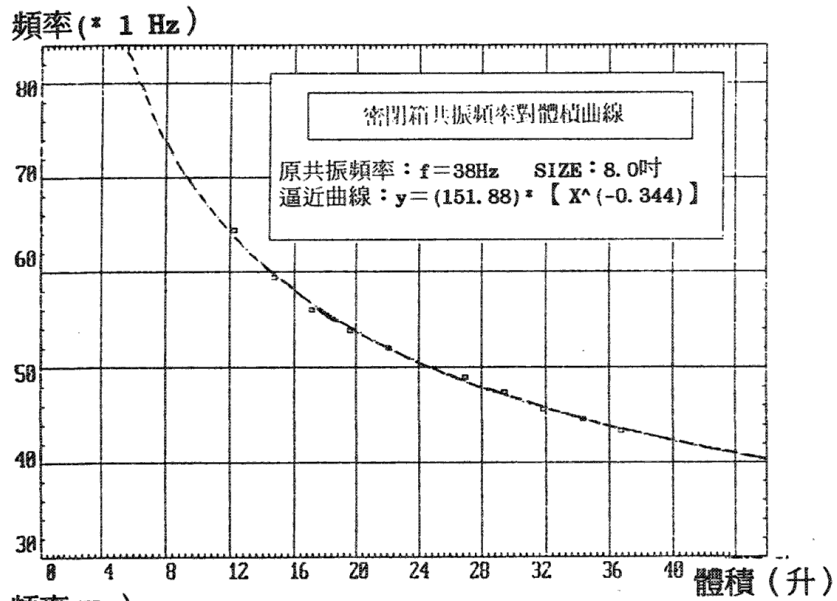
- 一個體積固定的音箱，我們可藉由改變反射管的截面A及管長L來改變音箱的共振頻率，當音箱頻率被調整至與喇叭單體的共振頻率相同時，整個揚聲器系統將在這個共振頻率上共振，低頻聲能輸出必然升高，低頻響應必向下延伸。
- 上述音箱與喇叭共振時，反射管內的氣流大量增加，如此喇叭紙盆的振幅反被壓抑了，因此在共振頻率上，喇叭阻抗反而突然下降，在阻抗曲線上呈現一個凹陷的谷部。

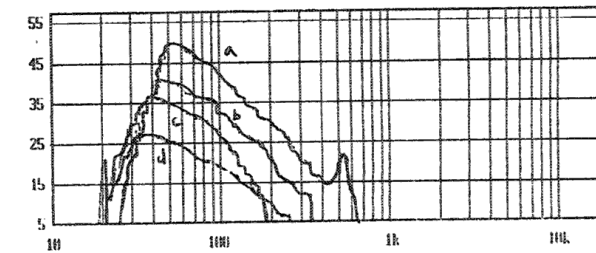
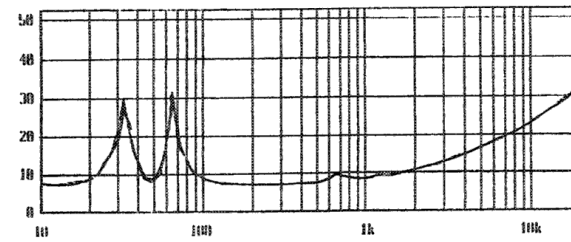
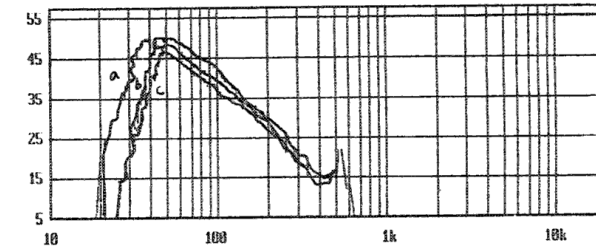
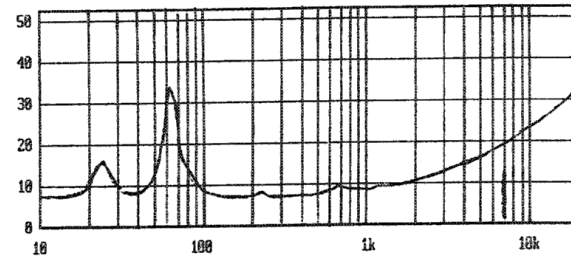
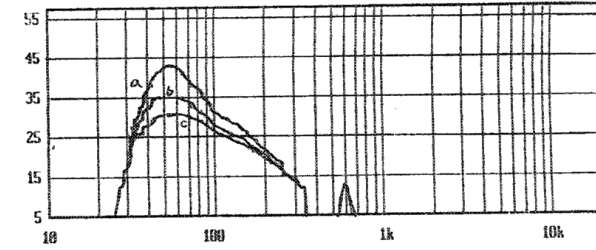
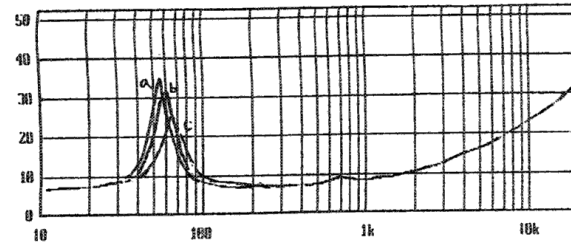
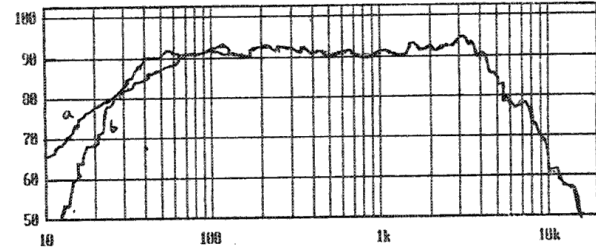
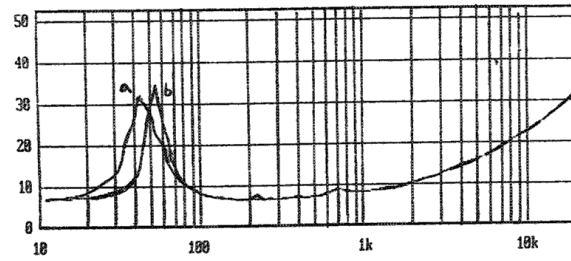
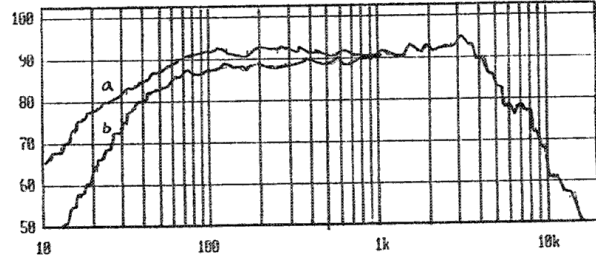
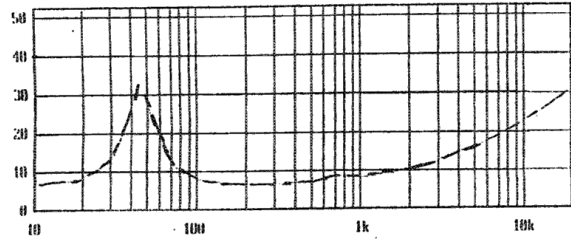
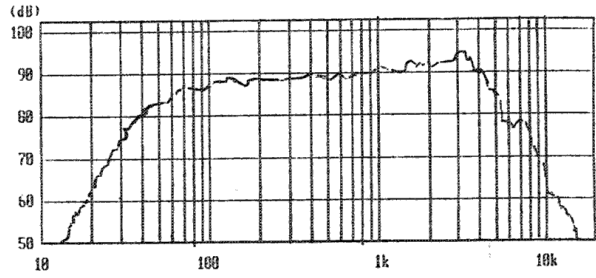
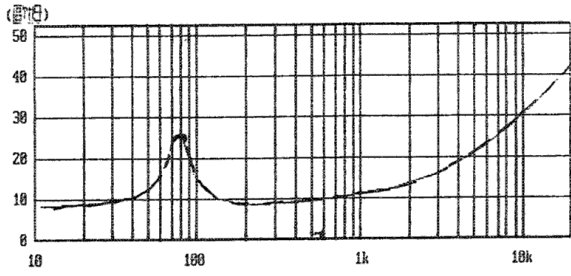
五、實驗設置 (受限於篇幅僅列出部分裝置圖形，說明從略)





## 六、實驗結果





## 七、結 論

- (一) 音箱共振頻率與其體積的0.3次方成反比。
- (二) 音箱共振頻率與反射管長度的一0.5次方成反比。
- (三) 音箱共振頻率與反射管截面積的0.5次方成正比。
- (四) 在密閉箱中喇叭共振頻率將會提高，體積越小提高越多。
- (五) 在反射式音箱中喇叭動態阻抗呈現一凹陷的山谷，凹陷的頻率若正好是喇叭的共振頻率，則系統達到最佳共振。
- (六) 以種態阻抗之變化來尋找喇叭及音箱的共振頻率，這是既有效，又方便的測量法，值得推廣。
- (七) 喇叭低頻響應的優劣影響整體音樂效果甚鉅。最近市售喇叭的設計，多趨向於體積小型化，低頻重量化，廠商充分地運用反射管來增強低頻的震攝效果，“轟天雷”即以此得名。

## 八、參考資料

- |                    |            |       |
|--------------------|------------|-------|
| (一) 高級中學物理課本第1、2兩冊 |            | 國立編譯館 |
| (二) 大學物理學          | Sears原著    | 徐氏基金會 |
| (三) 物理學基本原理        | Halliday原著 | 東華書局  |
| (四) 基本電路學          | Daser原著    | 曉園書局  |
| (五) 積體電子學          | Millman原著  | 曉圖書局  |
| (六) 揚聲器之設計         | 賴耿揚編譯      | 啓學出版社 |
| (七) 圖解揚聲器          | 王明淵編譯      | 正言出版社 |
| (八) 電子儀器製作         | 江達群編著      | 五洲出版社 |
| (九) 無線電界各期雜誌       |            |       |
| (十) 音樂與音響各期雜誌      |            |       |
| (十一) 音響論壇各期雜誌      |            |       |

## 評語

1. 作者提出低音喇叭及其音箱，反射管的低頻變因與量測，做一比較系統性的探討，主題具有創意。
2. 由電磁式的喇叭的動作原理，頻率響應，共振、阻抗曲線…等各種變因的相關性探討，對音學或聲音重現之品質有系統性的量測，符合科學態度之研究精神。
3. 作品一在低音喇叭音學上的研究成果，呈現完整。



4. 作者表達之技術能力良好。

5. 具實用性之教育價值。