



# 逢甲大學學生報告 ePaper

報告題名：

揚聲器之等效迴路建立與模擬

作者：黃祥瑞、何世全

系級：電聲碩士學位學程

學號：M9900521、M9907104

開課老師：黃錦煌 老師

課程名稱：電聲換能器設計

開課系所：電聲碩士學位學程

開課學年：九十九學年度 第一學期



## 中文摘要

為了解不同參數的改變在揚聲器上所呈現的反應，利用固定的箱體及中小型揚聲器單體在不同變數中進行量測與模擬。透過等效迴路的繪製並使用 Mathematica 之程式進行如頻率響應(SPL)曲線模擬，並藉由 Klippel 量測來取得不同變數變化之曲線，經由比較兩者曲線的發展趨勢來進行分析。量測實驗主要以四個區塊的變化來進行，並使用 B&K 麥克風進行收音。而從模擬結果我們可以觀察出在模擬的情況下，高頻隨著非線性的增加較容易有差異與偏差，但整體而言，與實際曲線的趨勢發展是相似的。單體進行裝箱會使共振頻率的上升，導音管的安置則是提升低頻的表現。而從量測的結果得知，吸音棉的添加可改善高頻的不平坦，角錐(Cone)的安置則讓諧波失真下降，奇次諧波的減少則對於 sound quality 具有正面的影響。



**關鍵字：**enclosure、TS 參數、吸音棉、導音管

## 目 次

一. 中文摘要.....	1
二. 簡介.....	3
三. 研究方法.....	3
四. 結果與討論	
一. 模擬預期結果與實測結果	
1. 封閉式音箱.....	10
2. 添加導音管效應.....	11
3. 添加吸音棉效應.....	12
4. 安置角錐效應.....	14
五. 結論.....	16
六. 未來研究.....	17
七. 參考文獻.....	17

## 簡介

為了讓換能器的理論與實務能有所契合，在這次的期末報告中我們將對揚聲器進行量測與模擬，透過觀察與比較來進行分析。在實際量測的部分使用 Klippel 對單體進行測量，以取得其 TS 參數與變數。在模擬的部分，則在 Mathematica 上建立揚聲器的等效迴路，並利用 TS 參數代入，進行模擬。在這次的實驗中，會對於 1. 單體有無裝箱 2. 有無安置導音管 3. 有無添加吸音棉 4. 角錐(Cone) 的安置等四個方向進行實驗，進而觀察不同變數在 SPL 上的影響，並與模擬的 SPL 曲線進行比較。

## 研究方法

研究方法主要以兩個大方向進行，第一個大方向是以 Klippel 進行實體的量測。第二個大方向是以 Mathematica 進行等效迴路的模擬。而變數的方面則在兩大方向下以四個區塊進行實驗，1.單體是否放置箱體(enclosure)所造成的差異 2.封閉式音箱(Closed Box) 與導音管式音箱 (Vented Box) 的差異 3.添加吸音棉(fibrous material)所帶來的改變 4.角錐材料的安置的影響。透過 Klippel 的量測，我們可以得到單體的 TS 參數，而 TS 參數在等效迴路的建立中是非常重要的參數。單體的編號為 2LA570，TS 參數如 Fig.2 所示。接著我們將單體安置在障板上進行測試，在無響室中使用 B&K 麥克風收音，麥克風量測距離為 1 公尺，如 Fig.3 所示。同樣的我們將對此進行等效迴路的建立，並經由執行 Mathematica 進行模擬。等效迴路圖如 Fig.1 所示。

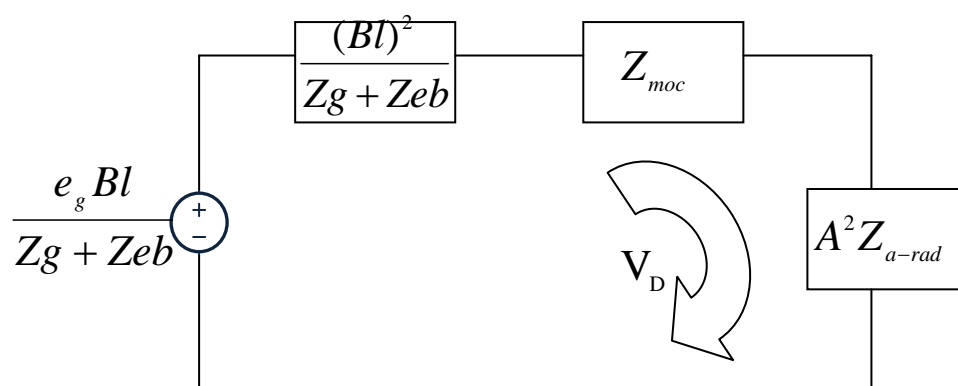


Fig.1 單體等效迴路圖

Name	Value	Unit	Comment
<b>Electrical Parameters</b>			
Re	6.09	Ohm	electrical voice coil resistance at DC
Le	0.300	mH	frequency independent part of voice coil inductance
L2	0.489	mH	para-inductance of voice coil
R2	4.70	Ohm	electrical resistance due to eddy current losses
Cmes	219.99	μF	electrical capacitance representing moving mass
Lces	8.81	mH	electrical inductance representing driver compliance
Res	22.33	Ohm	resistance due to mechanical losses
fs	114.3	Hz	driver resonance frequency
<b>Mechanical Parameters (using laser)</b>			
Mms	9.662	g	mechanical mass of driver diaphragm assembly including air load and voice coil
Mmd (Sd)	9.206	g	mechanical mass of voice coil and diaphragm without air load
Rms	1.967	kg/s	mechanical resistance of total-driver losses
Cms	0.201	mm/N	mechanical compliance of driver suspension
Kms	4.98	N/mm	mechanical stiffness of driver suspension
Bl	6.627	N/A	force factor (Bl product)
Lambda s	0.141		suspension creep factor
<b>Loss factors</b>			
Qtp	0.759		total Q-factor considering all losses
Qms	3.527		mechanical Q-factor of driver in free air considering Rms only
Qes	0.963		electrical Q-factor of driver in free air considering Re only
Qts	0.756		total Q-factor considering Re and Rms only
Vas	2.1290	l	equivalent air volume of suspension
n0	0.317	%	reference efficiency (2 pi-radiation using Re)
Lm	87.22	dB	characteristic sound pressure level (SPL at 1m for 1W @ Re)
Lnom	87.15	dB	nominal sensitivity (SPL at 1m for 1W @ Zn)
rmse Z	3.63	%	root-mean-square fitting error of driver impedance Z(f)
rmse Hx	2.63	%	root-mean-square fitting error of transfer function Hx (f)
Series resistor	0.00	Ohm	resistance of series resistor
Sd	86.59	cm	diaphragm area

Fig.2 單體 2LA570 的 TS 參數



Fig.3 於無響室進行單體量測 感謝 美隆股份有限公司提供單體

對其進行迴路分析，主要 3 個 domain 為 Electrical domain、Mechanical Domain、Acoustical Domain。

Electrical Domain 為  $Z_g$ 、 $Z_{eb}$ ，Mechanical Domain 為  $Z_{moc}$ ，Acoustical Domain 為  $A^2 Z_{a-rad}$ 。

其中我們定義  $Z_g = R_g$  (Generator 的阻抗)  $Z_{eb} = R_e + j\omega L_e$  (單體線圈

阻抗)， $Z_{moc} = R_m + j\omega m_m + \frac{1}{j\omega C_m}$  (開迴路阻抗)  $Z_{a-rad} = \frac{R_a * j\omega m_a}{R_a + j\omega m_a}$  (聲

輻射阻抗)， $A$  為振膜有效面積。而為了比較單體裝箱所帶來的差

異，接著我們將單體放置到箱體中，並將其開孔處以膠帶封起，視為

封閉式音箱進行量測實驗。同樣的我們將其建立等效迴路，如 Fig.4。

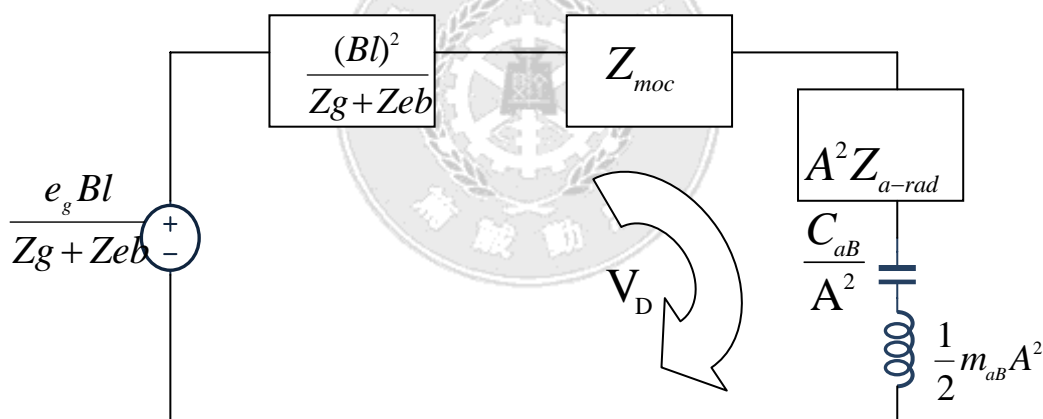


Fig.4 封閉式音箱 Closed Box 等效迴路

在封閉式音箱的迴路分析下必須考量箱體內的有效質量  $m_{ab}$  與柔順度

$C_{ab}$  所帶來的影響，所以與未裝箱單體最大的差異在於  $\frac{C_{ab}}{A^2}$  與  $\frac{1}{2} m_{ab} A^2$

兩個參數的建立。



Fig.5 封閉式音箱 Closed Box 感謝 美隆工業股份有限公司提供

第二階段的比較則是探討安裝導音管所帶來的影響，與其在 SPL 曲線上的改變為何。在這階段內我們將原本的開孔裝入長度為 9.7cm 的導音管，如 Fig.6。



Fig.6 長度 9.7cm 之波導管

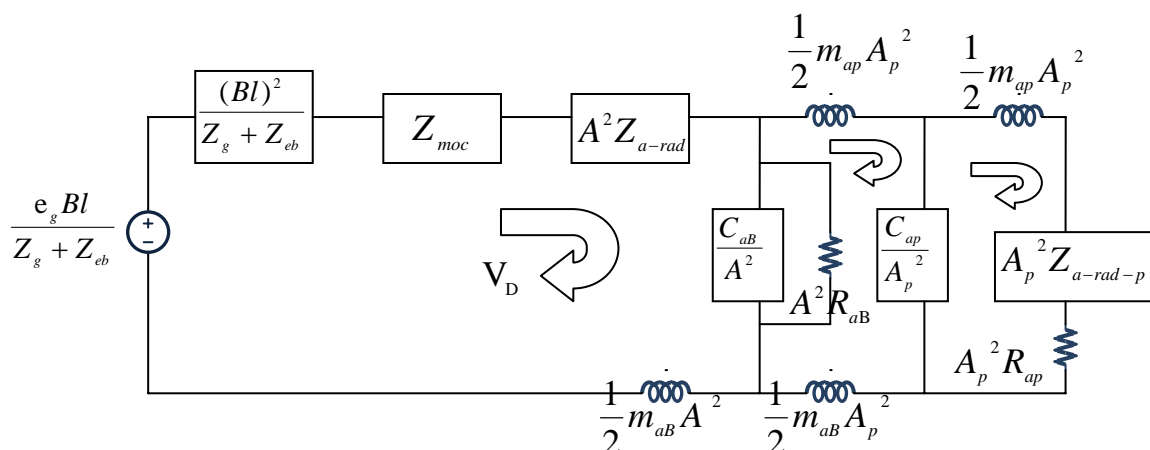


Fig.7 箱體增加導音管之等效迴路

等效迴路的建立考慮到導音管內的有效質量  $m_{ap}$  與有效柔順度  $C_{ap}$ ，故

採用了 2 個 T 矩陣的形式。

第 3 階段的測試是針對吸音棉的安置，透過等校電路的模擬於量測值

來觀察吸音棉對於頻率響應的改變為何。

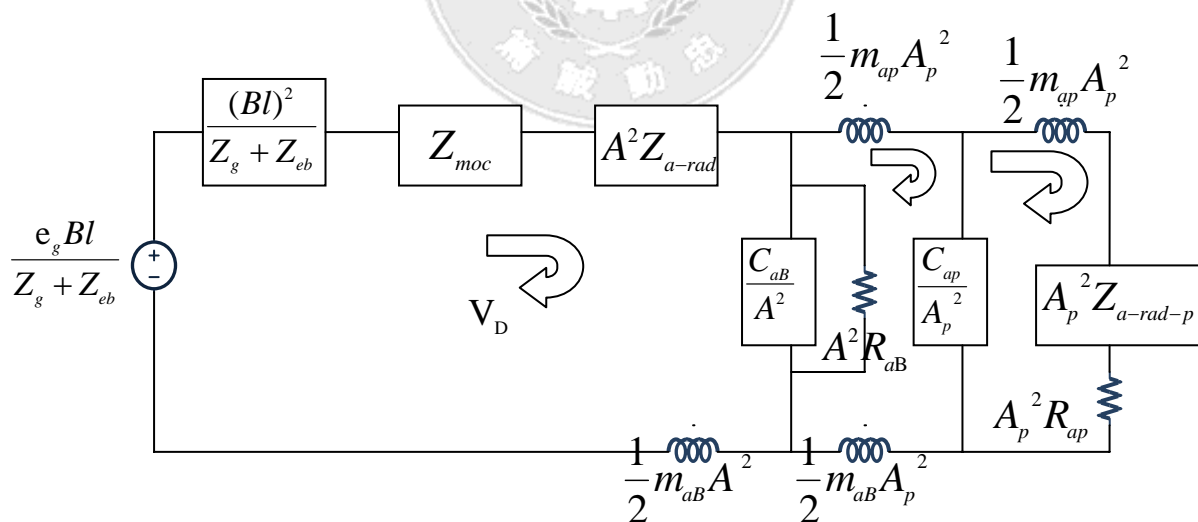


Fig.8 箱體增加吸音棉之等效迴路

吸音棉在等效迴路的建立上，主要以並聯的形式為主(熱能散發)，所

以在箱體有效柔順度  $\frac{C_{aB}}{A^2}$  旁並聯  $A^2 R_{aB}$  來構成。





Fig.9 箱體安置吸音棉

第四階段則是以抑制振動的材料進行實驗，對於揚聲器而言，角錐為頗常見的抑制振動材料，我們將以 Klippel 進行的量測。而在等效迴路上則先假設角錐的改變是對於箱體的強度產生改變，故才有可能在頻率上有所變化。

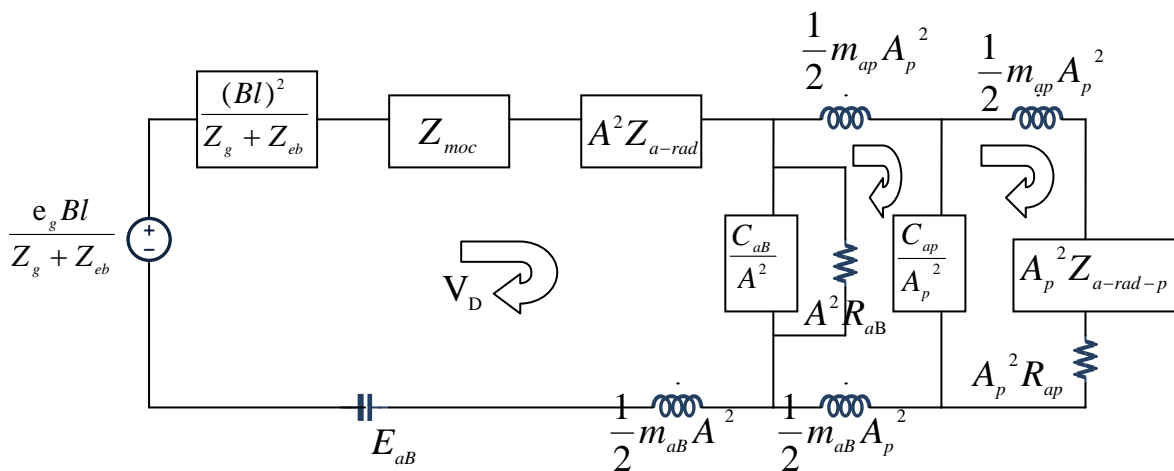


Fig.10 箱體安置角錐後之等效迴路



Fig.11 REBEL 銅合金製角錐

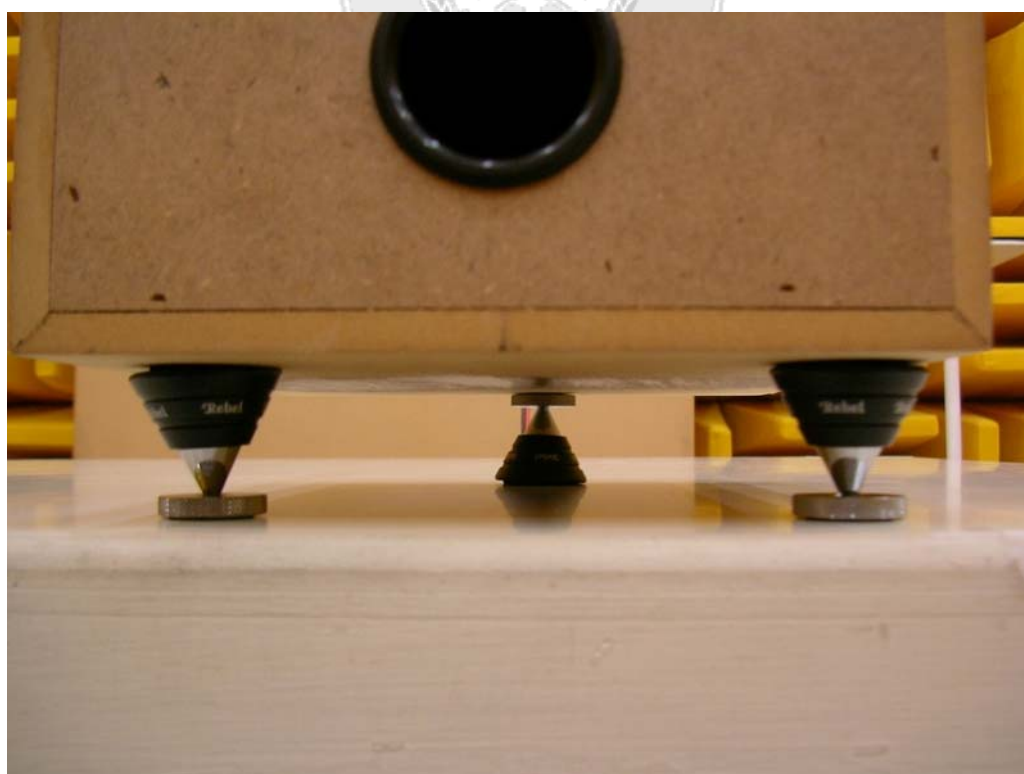


Fig.12 角錐安置擺放

### 結果與討論

#### Frequency Response

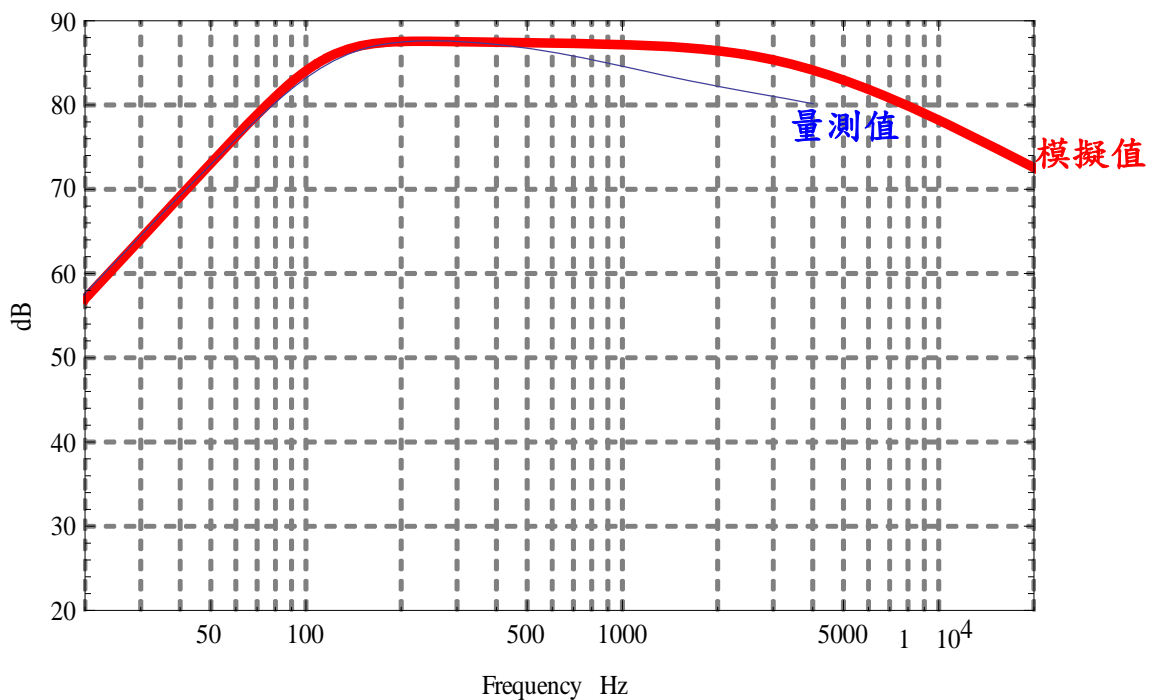


Fig.13 單體安置於障板量測之曲線

#### SPL

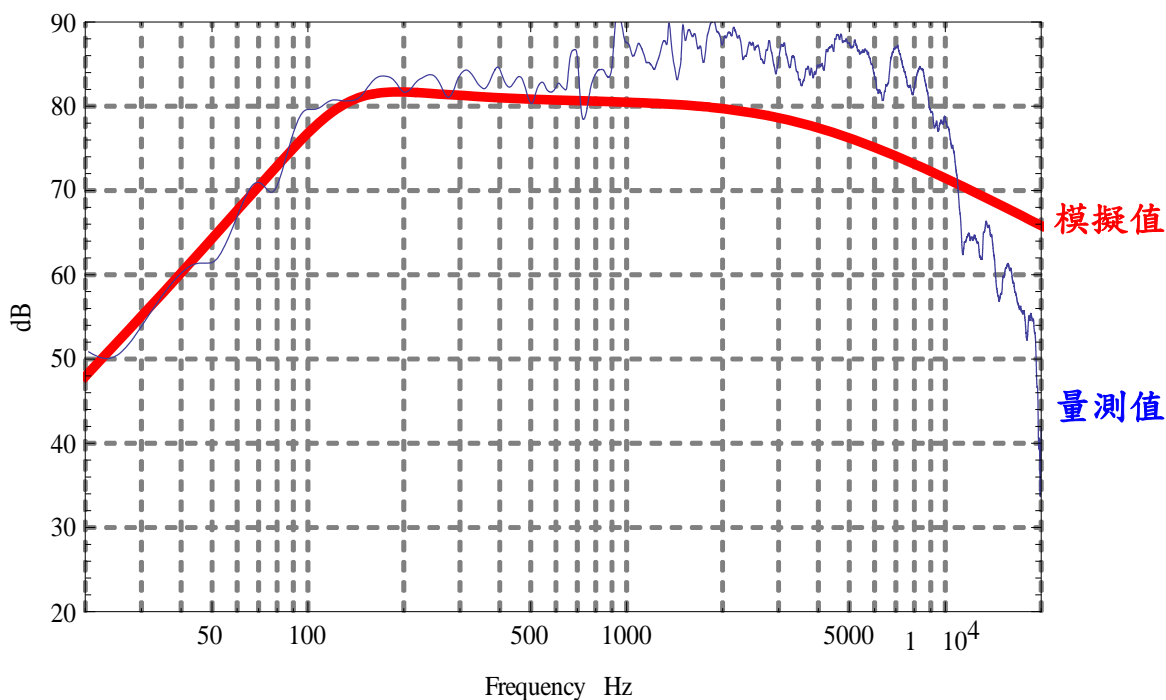


Fig.14 封閉式音箱 SPL 曲線

第一階段小結，經由比較 Fig.13 與 Fig.14 不難發現封閉式音箱的低頻衰退是較未裝箱體的 speaker 來的明顯，這也是因為當單體裝箱後，整體的體積是較小的，而柔順度 C 往往與體積是正比的關係，透過公

式  $f = \sqrt{\frac{1}{m * C}}$  可以發現，當 C 越小則共振頻率也隨之減少，故在曲

線上的趨勢會為此。

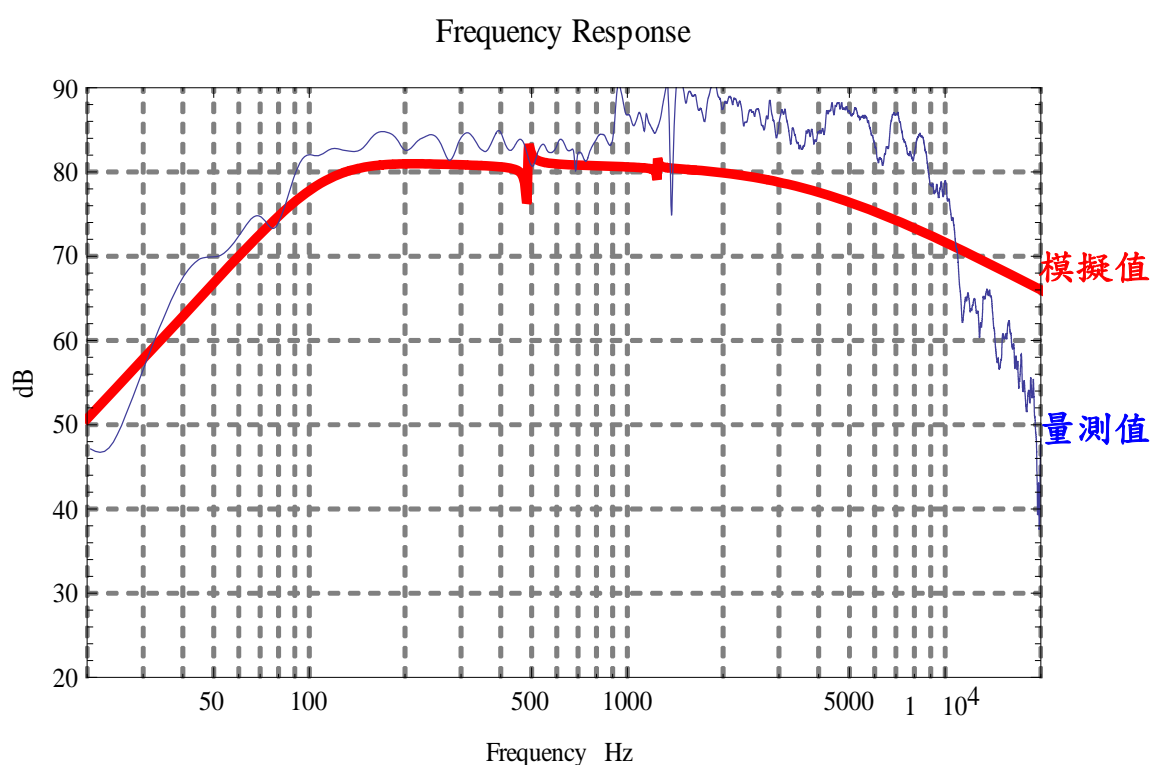


Fig.15 箱體增加導音管之 SPL 曲線

第 2 階段小結，從 Fig.16 兩曲線可以觀察到，其主要的影響在於低頻曲線的平順度與共振頻率點的改變，從 20-100Hz 的區域最為明顯，可見導音管對於低頻的幫助是正面的。而其次的差異是在 1.5KHz 時，導音管產生的 dip 較無導音管的箱體更為明顯，除此之外則無明顯差異。

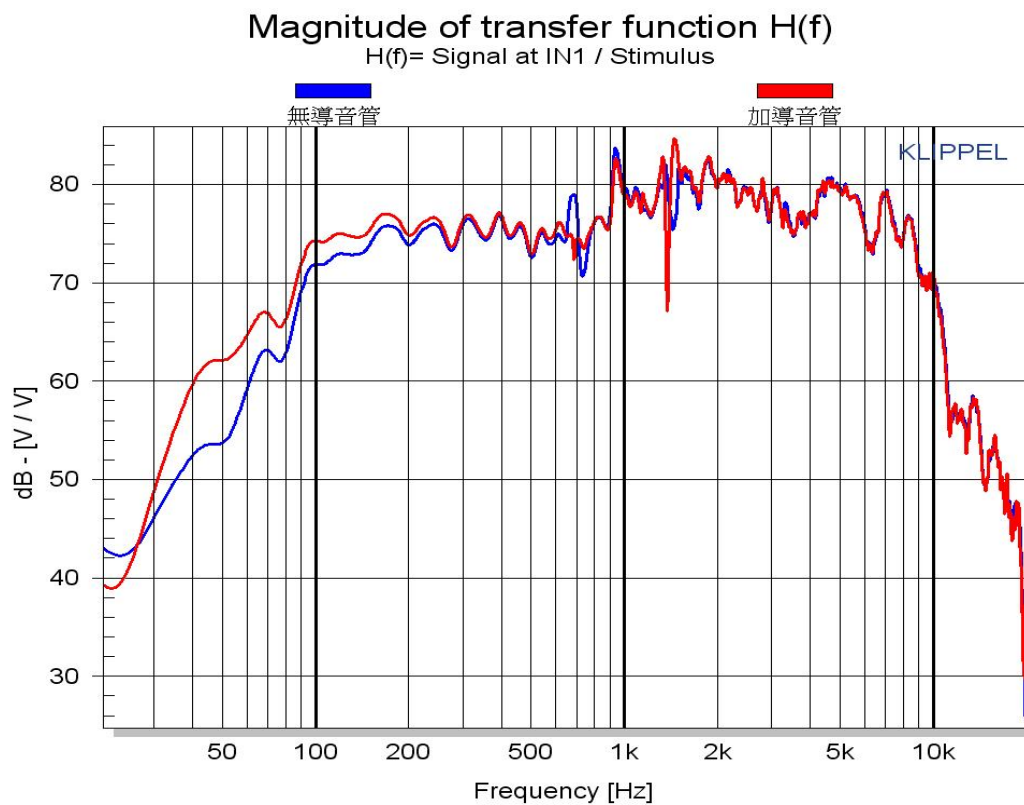


Fig.16 有無安裝導音管之比較圖

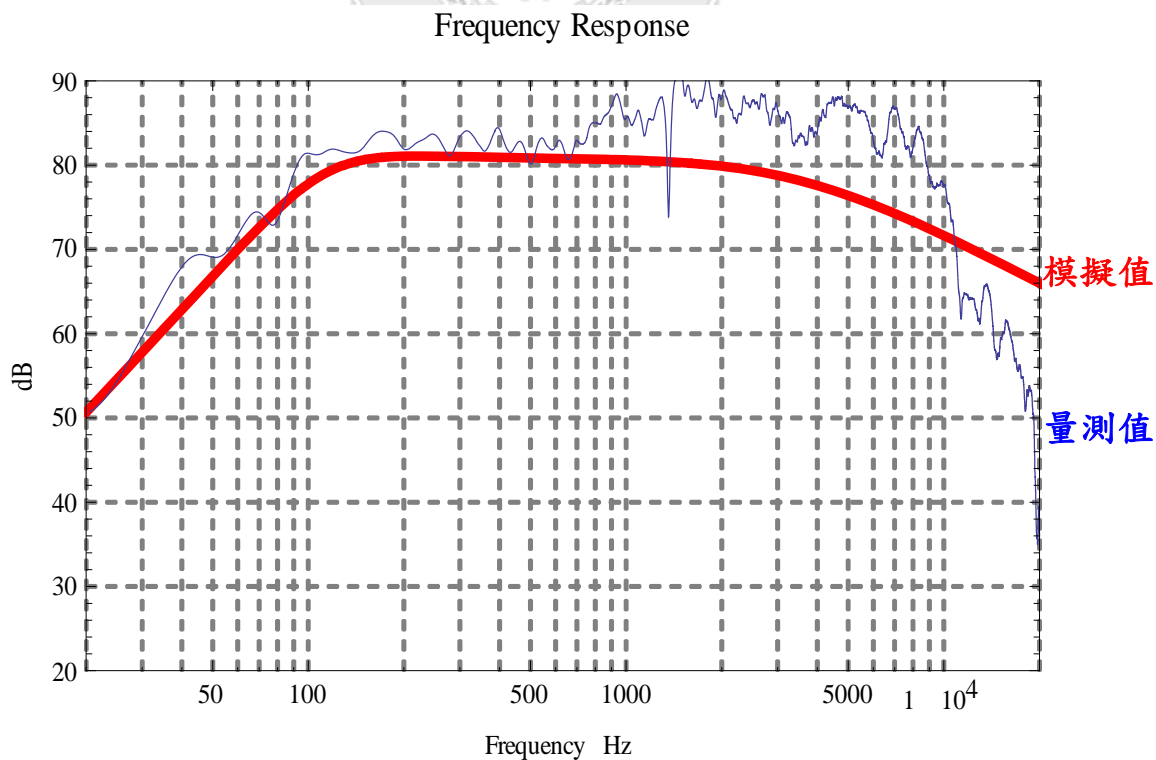


Fig.17 箱體增加吸音棉之 SPL 曲線

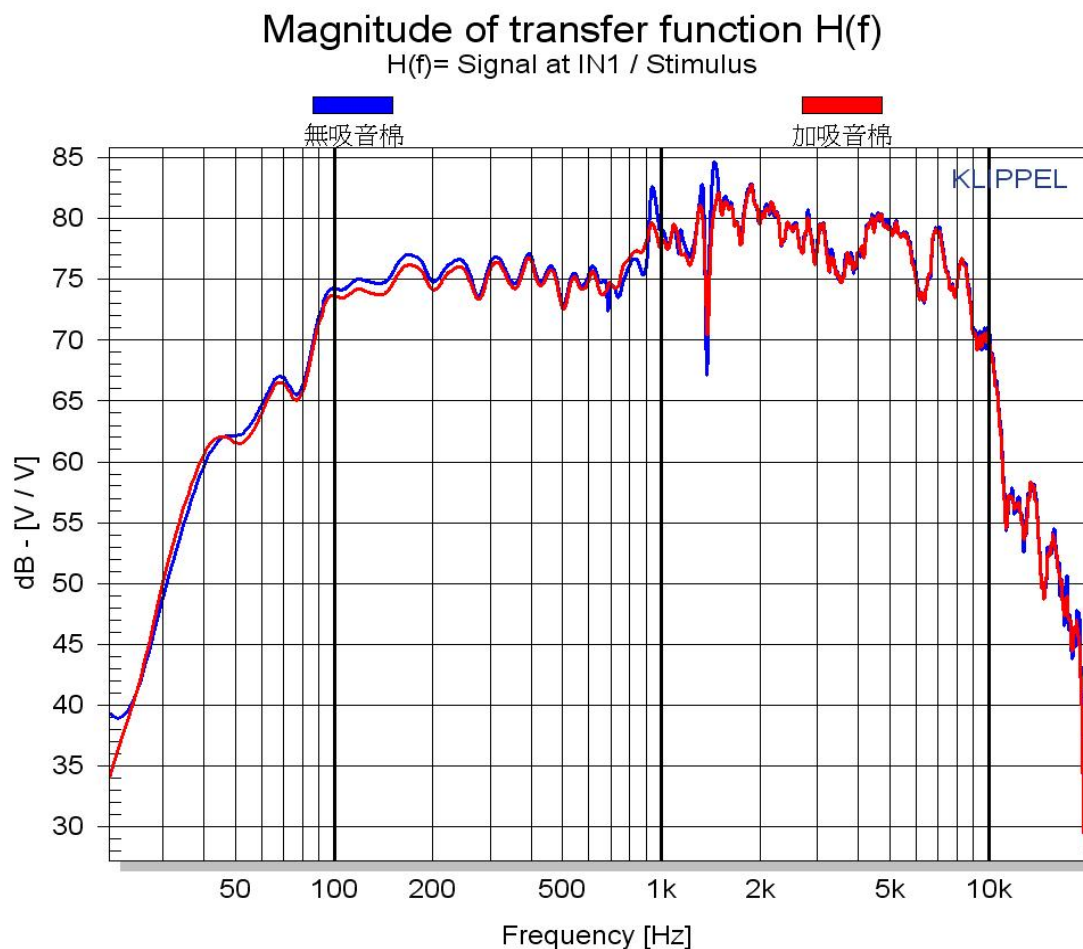


Fig.18 箱體安裝吸音棉與否之比較圖

第三階段小結，此次安裝厚度為 30mm 的吸音棉，而吸音棉為透氣式，故從比較兩者的曲線上可以觀察到，其主要的功能為修飾高頻的 peak，讓其較為平坦，而對於低頻的作用則較無明顯的作用。但因不同材料的吸音棉特性不盡相同，所以必須從箱體的特性去做搭配，讓整個頻率響應可以較為平坦。

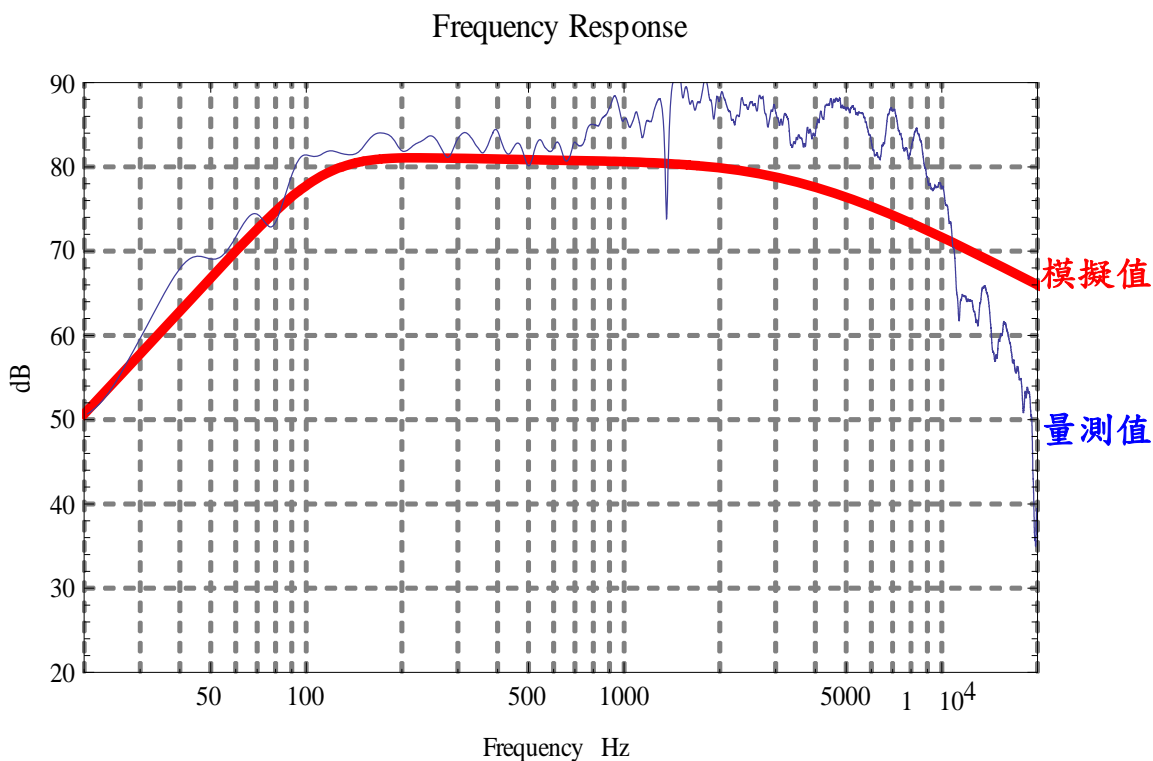


Fig.18 箱體安裝角錐之 SPL 曲線

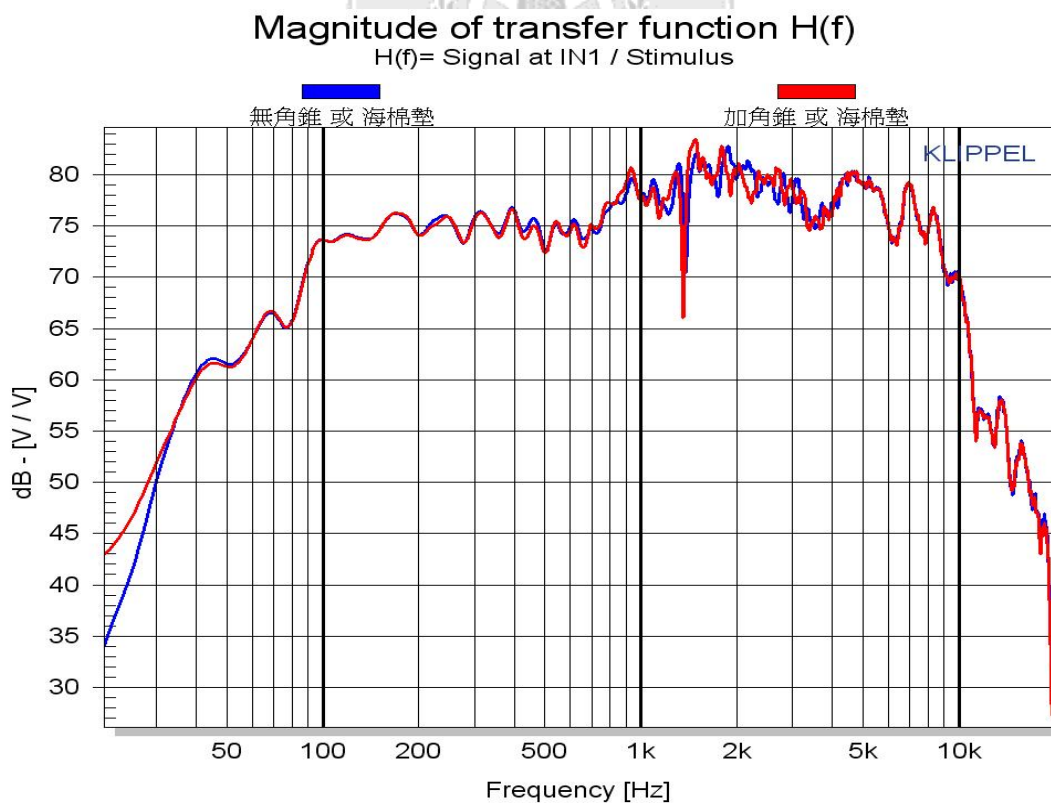


Fig.19 有無安裝角錐之 SPL 比較圖

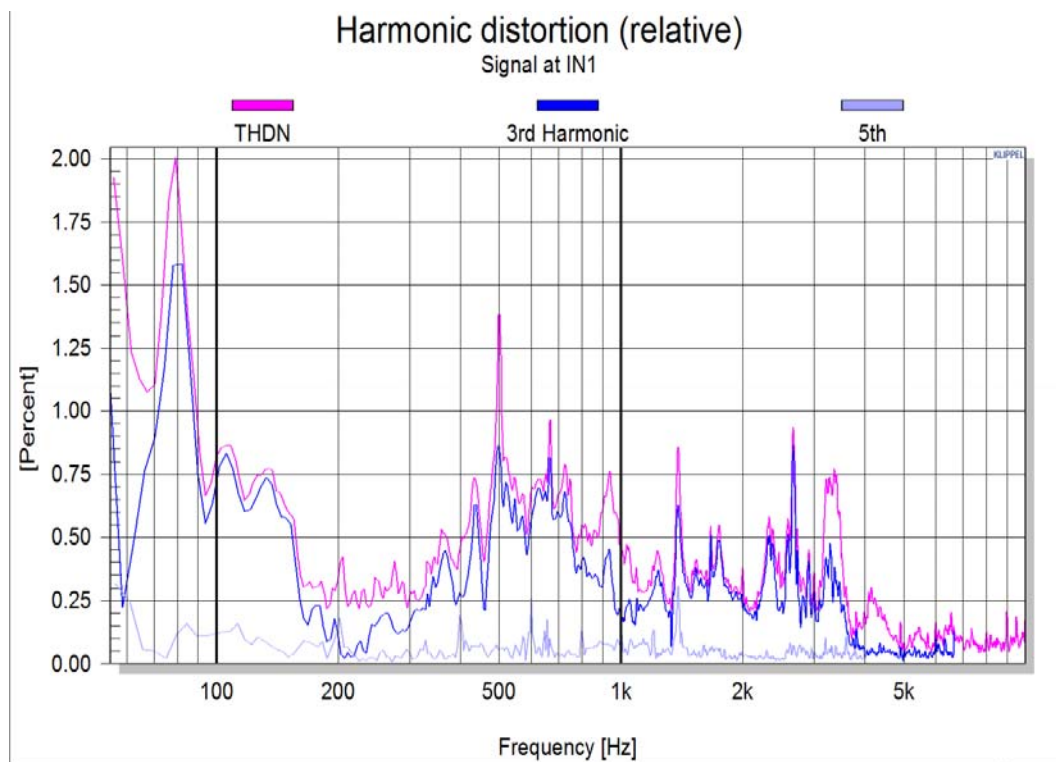


Fig.20 未安置角錐前之諧波失真圖

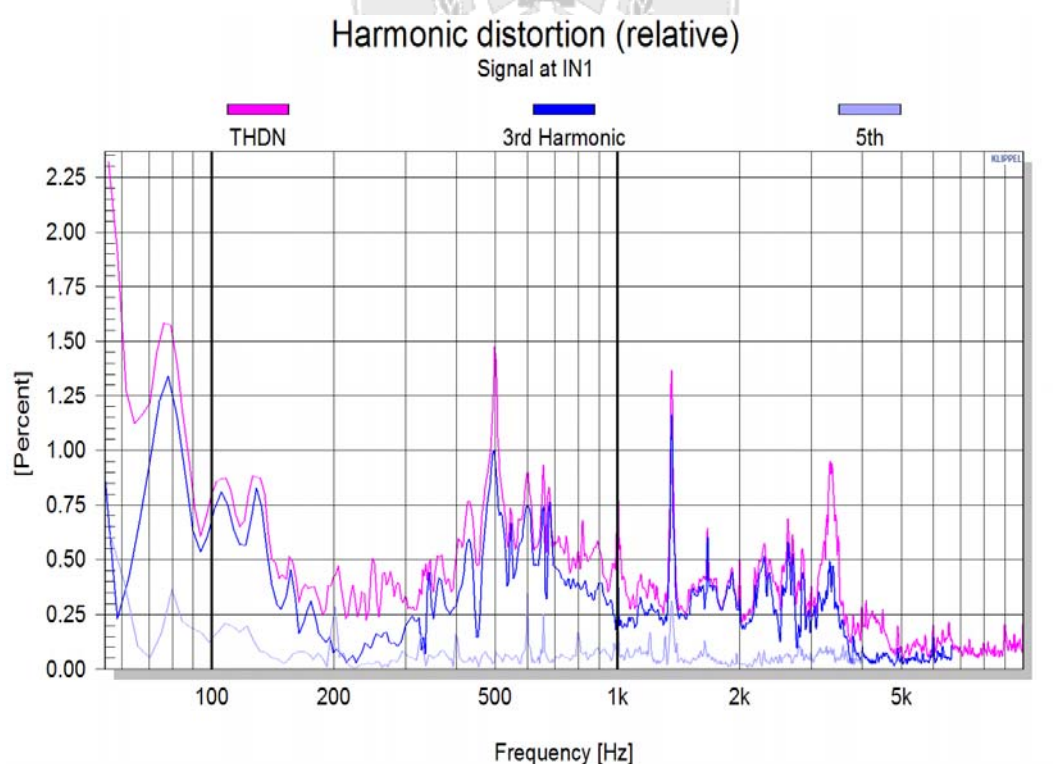


Fig.21 安置角錐後之諧波失真圖



第四階段小結，Fig. 19 是與無安裝角錐的箱體進行比較，觀察可看出在角錐的安置下，主要影響在低頻，兩者可以差異至 10dB。而在等效迴路上則先假設角錐的改變是對於箱體的強度產生改變，故才有可能在低頻上增加。模擬的趨勢與實際量測值頗為接近，可以假定角錐在此的改變會是在箱體的柔順度上改變，增加箱體的柔順度進而提升低頻。而比較未安裝角錐與安裝角錐的諧波失真圖可以發現，安置角錐後有效的降低總諧波失真，也相對降低奇次失真的值。故在 Sound Quality 的改善上也會有正面的幫助(人耳對於奇次諧波較為敏感，故奇次諧波的減少代表著較不悅耳的部分也會相對減少)。

### 結論

透過這次的實驗與模擬，讓我們可以大致掌握不同變數所帶來的影響，導音管的安裝與否對於低頻的反應呈現正比的關係。而此次使用的吸音棉則是針對高頻進行吸收，讓高頻平坦。而角錐則是在低頻帶起明顯的提升，可以助於改善箱體共振頻率，並降低奇次諧波失真，可有效提升 Sound Quality。而等效迴路的建立對於觀察揚聲器在參數變化下其趨勢發展頗有幫助，但由於高頻(1KHz 之後)含括非線性的參數較多，所以在模擬上會有些許誤差(許多的 dips 較難以模擬)。

## 未來研究

此次的報告中，主要使用線性系統來進行建構等效迴路，故在非線性區會有一定的誤差，而在波導管的等效迴路上也仍未使用 mutual impedance 的形式進行模擬，故在參數的考慮上較以課本 7-15 頁提供的方向為主。而在為來研究的方向除了可朝考量非線性系統，亦可往雙單體揚聲器進行探討。雙單體的揚聲器於日常生活中也較為常見，故在實際探討上有很大的空間。

## 參考文獻

Jin H. Huang, "ELECTROACOUSTIC TRANSDUCERS", 2010

郭晟宇，"可攜式揚聲器之分析與模擬"，逢甲大學機械工程研究所碩士論文, 2007(7)