

逢甲大學學生報告 ePaper

揚聲器音箱之部份物件變化之分析與量測

Analysis and measurement of changes in some of the objects horn speakers.

作者：傅柏翔、王琮衍

系級：電聲碩士學位學程

學號：M0226593、M0205891

開課老師：黃錦煌

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：102 學年度 第一 學期



中文摘要

揚聲器是音響系統的核心，它的品質直接決定了整個系統的效果。揚聲器的構造很單純，藉著線圈吸放磁鐵，來推動鼓膜的前後移動，電流給線圈的電發生磁場效應，正極—正極時會排斥（此時會振膜會往內收）；負極—正極（此時振膜會往外擴），這瞬間一收一擴的節奏會造成波(聲波)，就可以使揚聲器發出該頻率的聲音，和我們講話的喉嚨振動是同樣的效果。

揚聲器發音原理中知道單體靠共振來發音的，所以他的箱體也是非常重要的，現代揚聲器箱體很多都是塑膠的，但是塑膠外殼的共振聲最差，所以我們使用木質材料來當作箱體，木質音箱會明顯優於塑料箱體。

早期揚聲器的製作，都是透過資深喇叭工程師依單體的狀況，利用經驗來做部分的調整，而現在學術理論的發展與成長，都可以先透過模擬與運算來了解現狀設計的喇叭與音箱搭配起來的音質為何。

此次我們利用公司所提供的早期產品(揚聲器、木箱、風管...等)，來進行以下之電路模擬與實際量測之比較。

而此次實際量測的部份是採用逢甲之美律電聲實驗室的 KLIPPEL & SoundCheck 等儀器來做測試，用此來驗證模擬的曲線與實測能相符。

關鍵字：

量測、模擬、揚聲器

Abstract

The speaker is the core of the audio system, its quality directly determines the effect of the whole system. The speaker's structure is very simple, through the coil suction magnet, to promote the tympanic membrane before and after moving, current to the coil of the electric field effect, anode - cathode will reject (at this time will diaphragm to adduction); anode - cathode (the diaphragm to expand), this moment is one of a the rhythm of the expansion will cause the wave, can make the speaker sends out the sound frequency, and we speak throat vibration is the same effect.

The speaker sound principles that monomer by resonance to pronunciation, so his body is also very important, modern loudspeaker are a lot of plastic, but plastic shell of acoustic resonance is the worst, so we use wood as a box, wooden box will be significantly better than the plastic box.

Making early speaker, is through the senior engineers in the horn monomer status, to do some adjustments by experience, and now the academic development and growth, can be the first through the simulation and operation to understand the speaker and speaker design situation with sound quality are.

This we use early products provided by the company (speakers, wooden box, wind pipe... And so on), to compare the following circuit simulation and actual measurement.

The actual measurement is part of the beauty of FCU electroacoustics laboratory KLIPPEL & SoundCheck instruments to do the test, the test curve and practical simulation can match.

Keyword :

analysis 、 measurement 、 speakers

目 次

一、摘要.....	5
二、動機與目的.....	6
三、揚聲器單體.....	7
3-1、單體結構縱面剖面圖.....	7
3-2、單體的等效電路.....	7
3-3、等效電路之簡化.....	8
3-3-1、Electrical Part.....	8
3-3-2、Mechanical Part.....	8
3-3-3、Acoustical Part.....	8
3-4、整理 3-3-1~3，等效電路簡化.....	9
3-5、將電端與聲學端等效到機械端.....	9
3-6、用 KLIPPEL 量測之數值.....	10
3-7、單體的模擬與量測曲線.....	11
四、封閉音箱.....	12
4-1、封閉音箱之外觀.....	12
4-2、封閉音箱的等效電路.....	13
4-3、等效電路之簡化.....	13
4-4、整理 4-3-1~3，等效電路簡化.....	14

4-5、將電端與聲學端等效到機械端.....	14
4-6、封閉音箱的模擬與量測曲線.....	16
五、導音管.....	19
5-1、導音管裝配在音箱之外觀照片.....	19
5-2、導音管式音箱的等效電路.....	20
5-3、等效電路之簡化.....	20
5-3-1、Electrical Part.....	20
5-3-2、Mechanical Part.....	20
5-3-3、Acoustical Part.....	20
5-4、整理 5-3-1~3，等效電路簡化.....	21
5-5、將電端與聲學端等效到機械端.....	22
5-6、導音管裝配在音箱的模擬與量測曲線.....	23
七、結論.....	28

一、摘要：

揚聲器實際上是一種把可聽範圍內的音頻信號，通過換能器（喇叭單體），把它轉變為具有足夠聲壓的可聽聲音。揚聲器是音響系統的喉舌，直接影響播音的音質，是音響系統最關鍵的部份。因此，如何選擇聲音宏亮、音質優美、失真極微揚聲器，是眾多愛樂者共同追求的目標。

揚聲器是音響系統的核心，它的品質直接決定了整個系統的效果。揚聲器的構造很單純，藉著線圈吸放磁鐵，來推動鼓膜的前後移動，電流給線圈的電發生磁場效應，正極—正極時會排斥（此時會振膜會往內收）；負極—正極（此時振膜會往外擴），這瞬間一收一擴的節奏會造成波(聲波)，就可以使揚聲器發出該頻率的聲音，和我們講話的喉嚨振動是同樣的效果。

揚聲器發音原理中知道單體靠共振來發音的，所以他的箱體也是非常重要的，現代揚聲器箱體很多都是塑膠的，但是塑膠外殼的共振聲最差，所以我們使用木質材料來當作箱體，木質音箱會明顯優於塑料箱體。

二、動機與目的：

早期揚聲器的製作，都是透過資深揚聲器工程師依單體的狀況，利用經驗來做部分的調整，而現在學術理論的發展與成長，都可以先透過模擬與運算來了解現狀設計的單體與音箱搭配起來的音質為何。

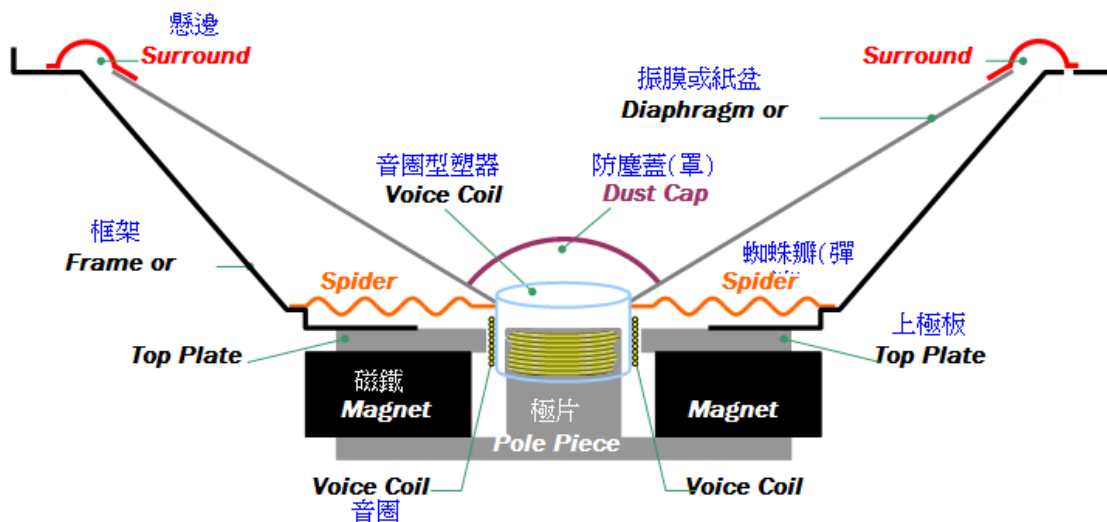
此次我們利用公司所提供的早期產品(揚聲器、木箱、風管、吸音綿...等)，來進行以下之電路模擬與實際量測之比較：

- (1).揚聲器單體
- (2).封閉音箱：2款寬度與高度相同，但深度不同的音箱來進行比較。
- (3).風管：分為封閉式箱體與有風管之箱體。有風管之箱體部份在細分為風管孔徑大小與長短之差異來。

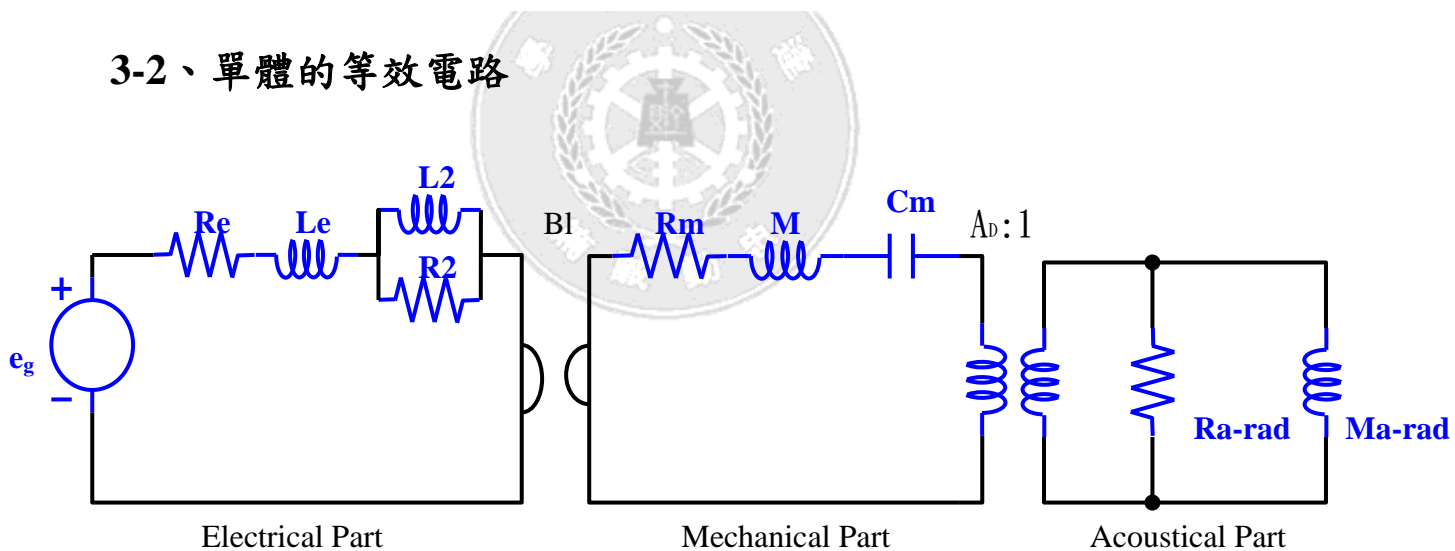
而此次實際量測的部份是採用逢甲之美律電聲實驗室的 KLIPPEL & SoundCheck 等儀器來做測試，用此來驗證模擬的曲線與實測能相符。

三、揚聲器單體

3-1、單體結構縱面剖面圖



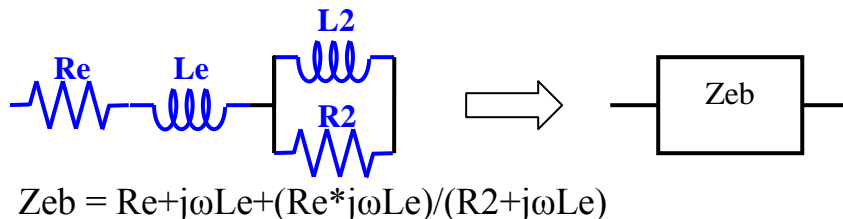
3-2、單體的等效電路



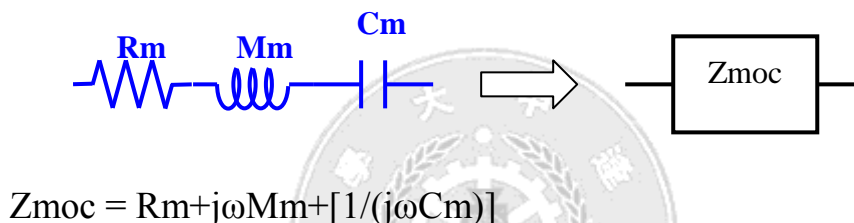
P.S. B_l (磁通量)、 A_D (振膜面積)

3-3、等效電路之簡化

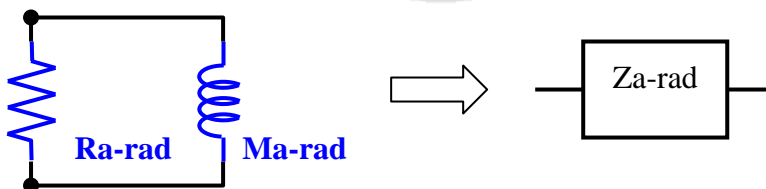
3-3-1、Electrical Part



3-3-2、Mechanical Part



3-3-3、Acoustical Part

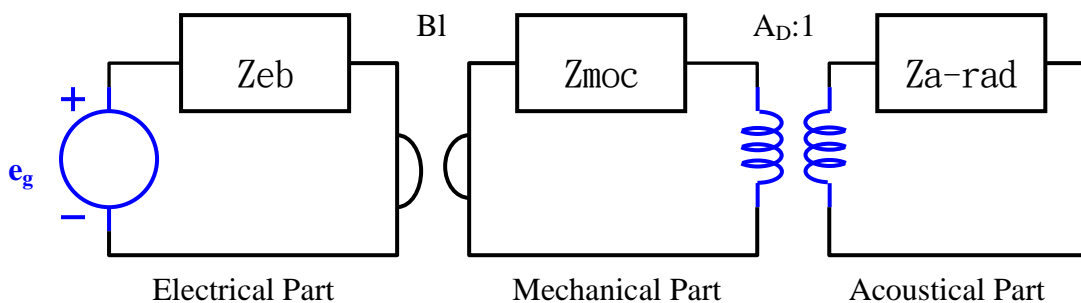


$$R_{a-rad} = [(\rho * c) / A_D] * [(B_i^2) / B_r]$$

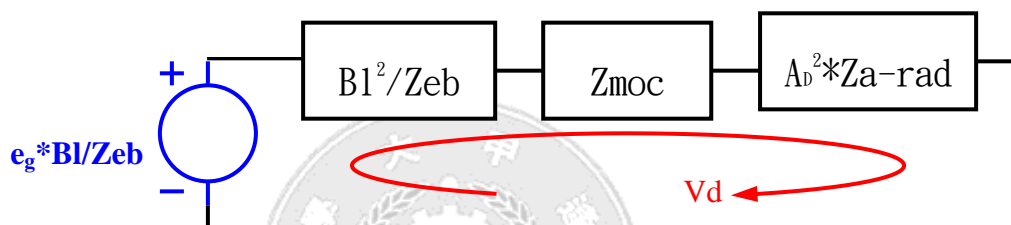
$$M_{a-rad} = [(\rho * a) / A_D] * B_i$$

$$Z_{a-rad} = (A_D^2) * (R_{a-rad} * j * \omega * M_{a-rad}) / (R_{a-rad} + j * \omega * M_{a-rad})$$

3-4、整理 3-3-1~3，等效電路簡化為下圖



3-5、將電端與聲學端等效到機械端



整體阻抗 $Z = Bl^2/Zeb + Zmoc + A_D^2 * Za-rad$

振模速度： $Vd = Z^{-1} \times (e_g \times Bl) / Zeb$

體積速度： $U = Vd * Ad$

若揚聲器裝置於無限障板時，聲壓可近似為

$$P = j * [\rho_0 * k * c * U / (2 * \pi * r)] * e^{(-j * k * r)}$$

r 為軸向距離，Ad 為振模有效面積

聲壓公式： $SPL = 20 \text{Log}_{10}(p/p_{ref})$

3-6、用 KLIPPEL 量測之數值

	參數	數值	單位	備註
Electrical Parameters	R_e	3.25	Ohm	Electrical voice coil resistance at DC
	L_e	0.155	mH	Frequency independent part of voice coil inductance
	R_2	3.64	Ohm	Electrical resistance due to eddy current losses
	L_2	0.282	mH	Para- inductance of voice coil
Mechanical Parameters	M_{ms}	7.599	g	Mechanical mass of voice coil and diaphragm including air load and voice coil
	R_{ms}	1.33	Kg/s	Mechanical resistance of total-driver losses
	C_{ms}	0.647	mm/N	Mechanical compliance of total-driver losses
Other Parameters	Bl	4.268	N/A	Force factor (Bl product)
	S_d	70.88	cm ²	Diaphragm Area
	e_g	1	v	Rated volts

Electrical Parameters

R_e	3.25	Ohm	electrical voice coil resistance at DC
L_e	0.155	mH	frequency independent part of voice coil inductance
L_2	0.282	mH	para-inductance of voice coil
R_2	3.64	Ohm	electrical resistance due to eddy current losses
C_{mes}	417.15	μF	electrical capacitance representing moving mass
L_{ces}	11.79	mH	electrical inductance representing driver compliance
R_{es}	13.69	Ohm	resistance due to mechanical losses
f_s	71.8	Hz	driver resonance frequency

Mechanical Parameters

(using laser)			
M_{ms}	7.599	g	mechanical mass of driver diaphragm assembly including air load and voice coil
$M_{md} (S_d)$	6.925	g	mechanical mass of voice coil and diaphragm without air load
R_{ms}	1.330	kg/s	mechanical resistance of total-driver losses
C_{ms}	0.647	mm/N	mechanical compliance of driver suspension
K_{ms}	1.55	N/mm	mechanical stiffness of driver suspension
Bl	4.268	N/A	force factor (Bl product)
λ_s	0.062		suspension creep factor

Loss factors

Q_{tp}	0.495		total Q-factor considering all losses
Q_{ms}	2.576		mechanical Q-factor of driver in free air considering R_{ms} only
Q_{es}	0.611		electrical Q-factor of driver in free air considering R_e only
Q_{ts}	0.494		total Q-factor considering R_e and R_{ms} only

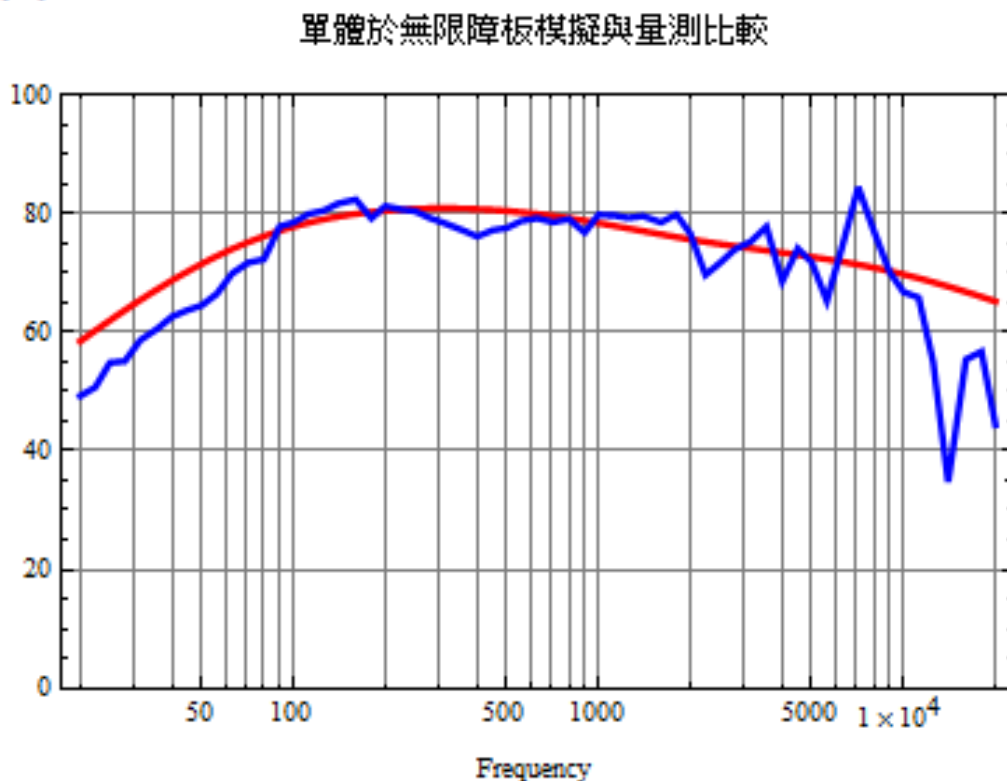
Other Parameters

V_{as}	4.6019	l	equivalent air volume of suspension
η_0	0.267	%	reference efficiency (2 pi-radiation using R_e)
L_m	86.47	dB	characteristic sound pressure level (SPL at 1m for 1W @ R_e)
L_{nom}	87.37	dB	nominal sensitivity (SPL at 1m for 1W @ Z_n)
rmse Z	4.06	%	root-mean-square fitting error of driver impedance $Z(f)$
rmse Hx	1.78	%	root-mean-square fitting error of transfer function $H_x(f)$
Series resistor	0.00	Ohm	resistance of series resistor
S_d	70.88	cm ²	diaphragm area

3-7、單體的模擬與量測曲線

模擬 SPL 曲線結果與 KLIPPEL 量測結果比對，等效回路模擬趨勢與量測相近，故可以透過此模擬來協助開發與設計，以降低成本與時間。

) Out[39]=



紅色為模擬之曲線，藍色為量測之曲線，因為一開始安裝於無限障板，所以低頻表現會比較優良，揚聲器單體安裝於無限障板，會增加低頻表現，減少前後的互相影響。

四、封閉音箱

4-1、封閉音箱之外觀照片



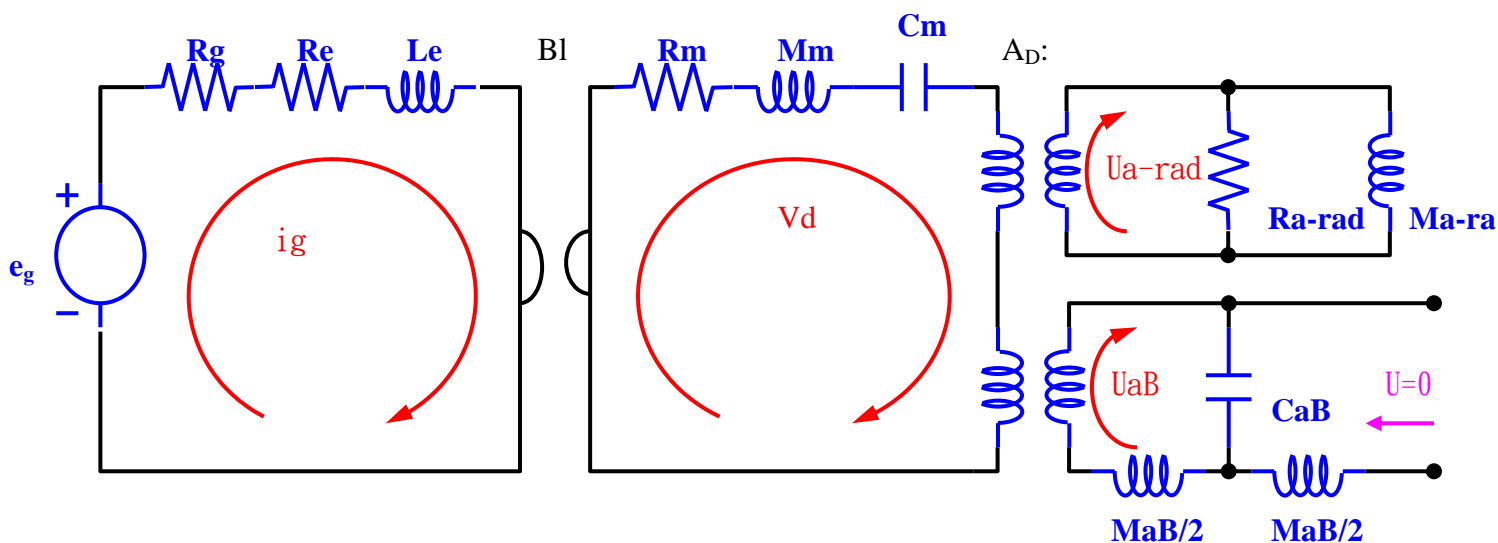
在此針對音箱深度的不同來做探討

(1)木箱(深度較深)之內徑尺寸：寬(151mm)、高(167mm)、深度(160mm)。木板厚度為 10mm

(2)木箱(深度較淺)之內徑尺寸：寬(151mm)、高(167mm)、深度(139mm)。木板厚度為 10mm

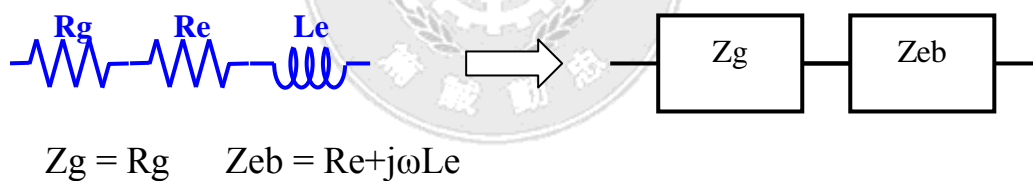
p.s.無風管與吸音綿

4-2、封閉音箱的等效電路

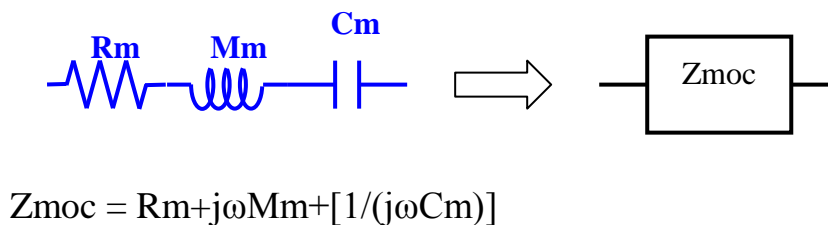


4-3、等效電路之簡化

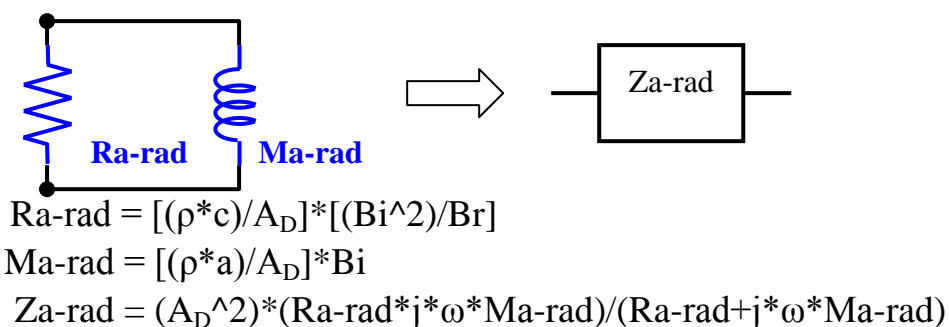
4-3-1、Electrical Part



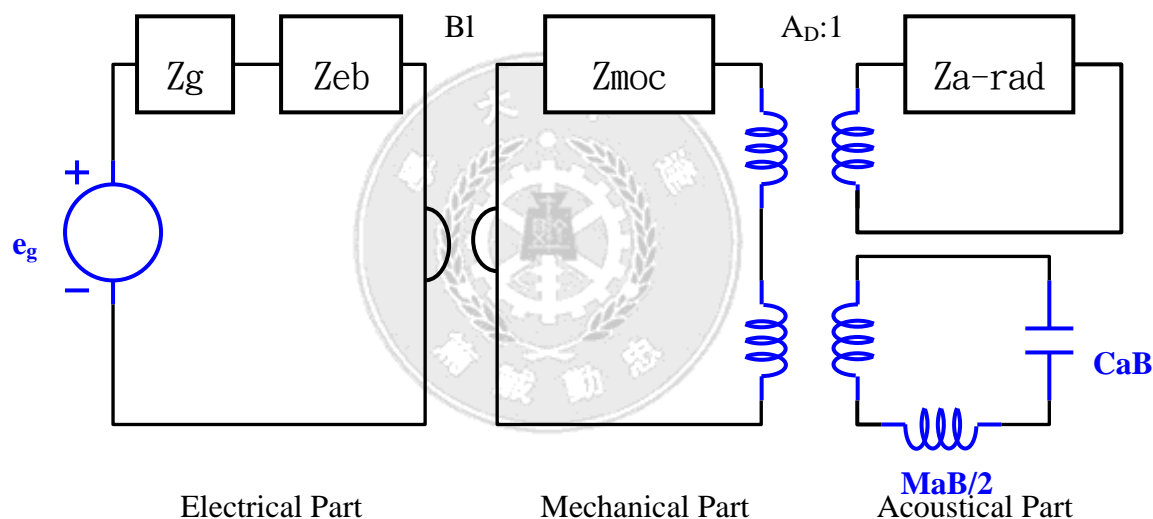
4-3-2、Mechanical Part



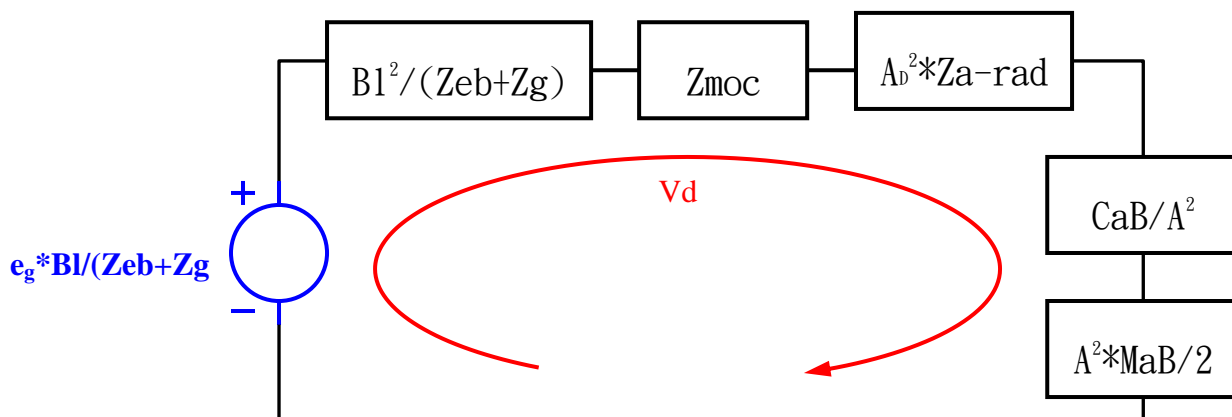
4-3-3、Acoustical Part



4-4、整理 4-3-1~3，等效電路簡化為下圖



4-5、將電端與聲學端等效到機械端：



$$\text{整體阻抗 } Z = Bl^2 / (Z_{eb} + Z_g) + Z_{moc} + A_D^2 * Z_{a-rad} + CaB / A^2 + A^2 * MaB / 2$$

$$\text{振模速度: } V_d = Z^{-1} * (e_g \times Bl) / (Z_{eb} + Z_g)$$

$$\text{體積速度: } U = V_d * A_d$$

$$P = j * [\rho_0 * k * c * U / (2 * \pi * r)] * e^{(-j * k * r)}$$

r 為軸向距離，A_d 為振模有效面積

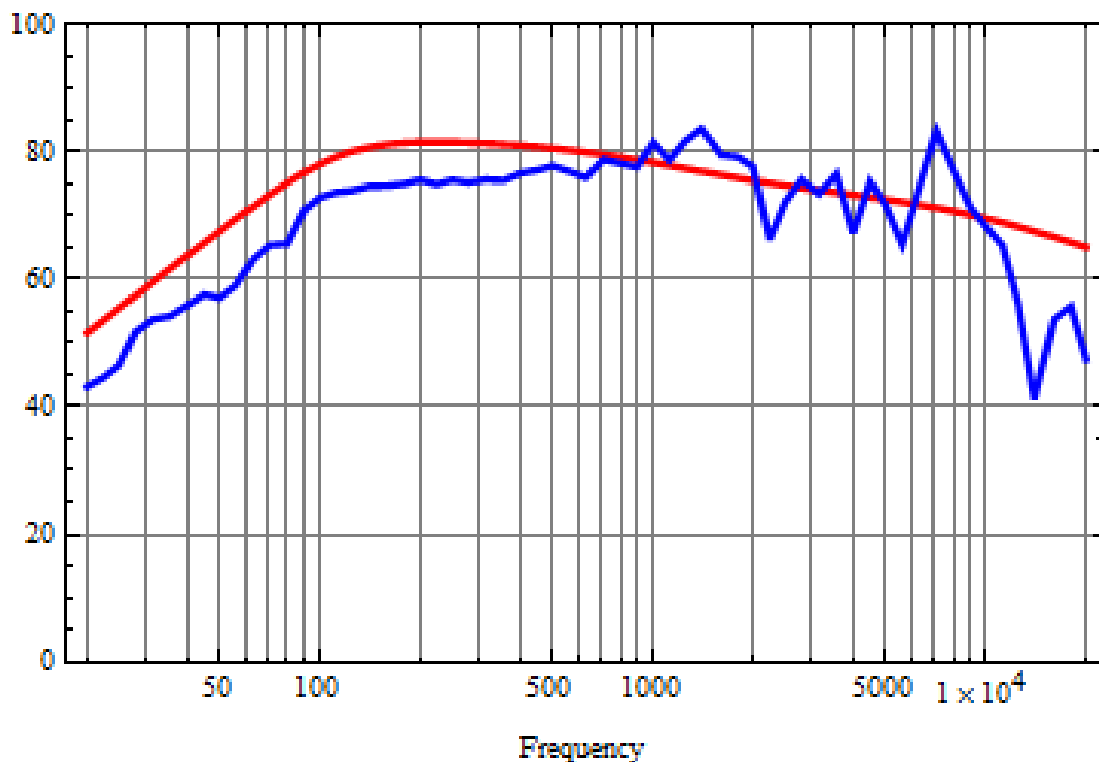
$$\text{聲壓公式: } SPL = 20 \text{Log}_{10}(p/p_{ref})$$

4-6、封閉音箱的模擬與量測曲線：

模擬 SPL 曲線結果與 KLIPPEL 量測結果比對

11041-

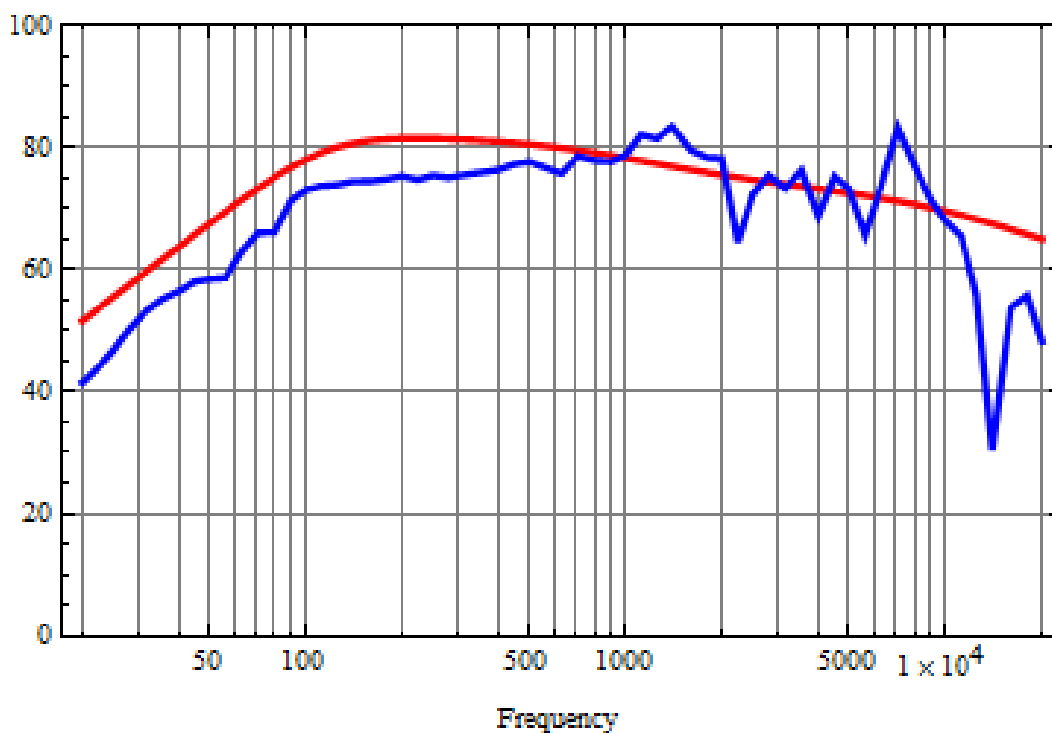
封閉音箱(深13.9cm)模擬與量測比較



紅色為模擬之曲線，藍色為量測之曲線，在高頻部分誤差比較還好，在低頻部分來說模擬與量測有一點點誤差不過趨勢還是正確的。

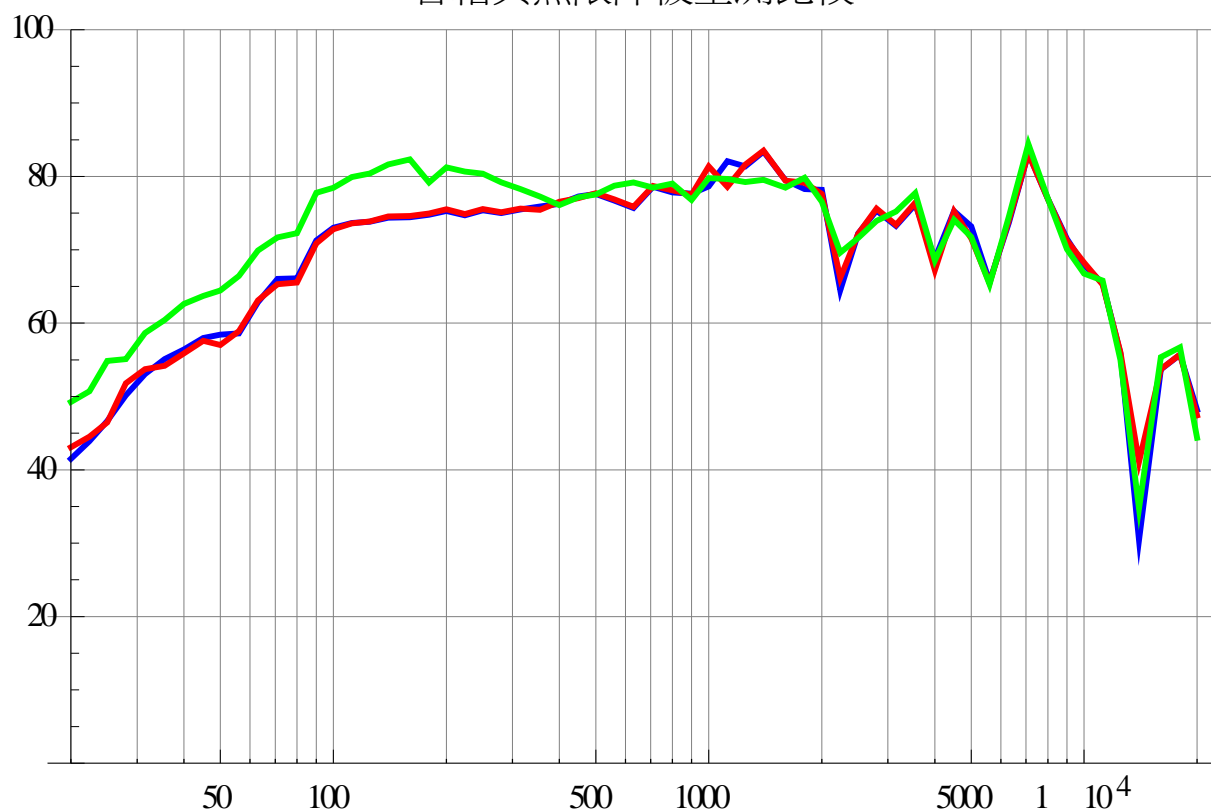
Out[129]=

封閉音箱(深16cm)模擬與量測比較



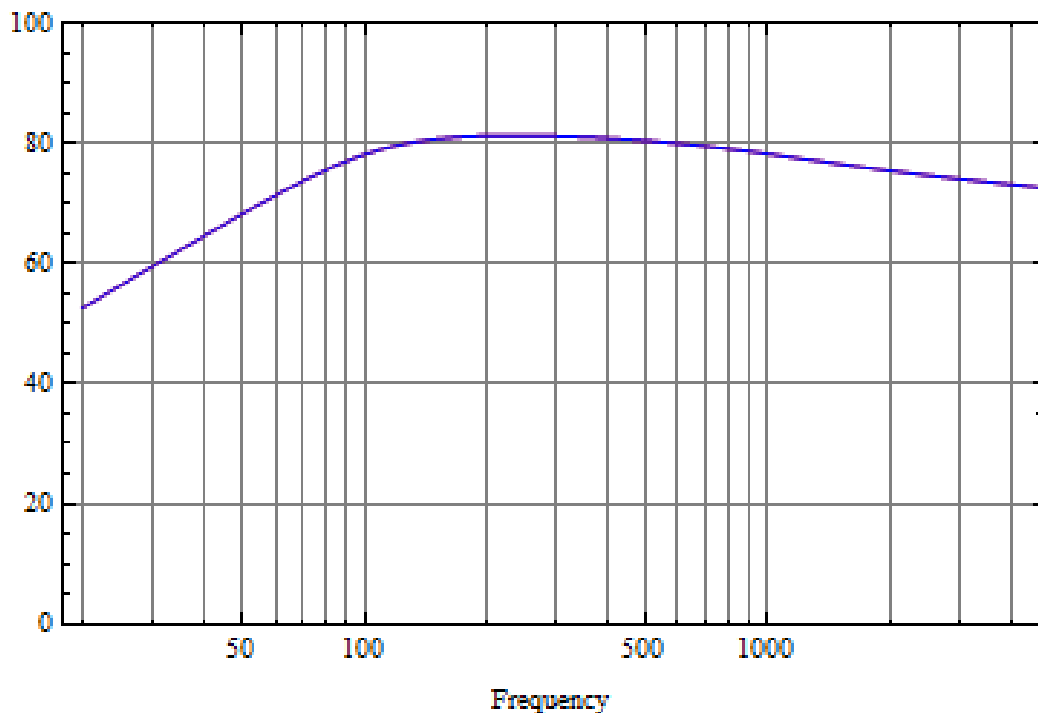
紅色為模擬之曲線，藍色為量測之曲線，跟 13.9cm 的圖一樣在低頻部分誤差比較大，但是此圖在高頻的部分也有些許誤差。

音箱與無限障板量測比較



藍色代表封閉音箱(深 16cm)，紅色代表封閉音箱(深 13.9cm)，綠色則是代表單體安裝於無限障板，從上圖來看，安裝於無限障板的低頻很明顯的比較良好，而深度 16cm 與 13.9cm 則是只有些許的差距而已。

封閉音箱(深13.9cm)(深16cm)模擬比較



藍色代表封閉音箱(深 13.9cm)，紅色代表封閉音箱(深 16cm)，這是音箱模擬出來的比較，因為量測上來說誤差本來就很小了，所以模擬出來的線幾乎為重疊，未來可以增大變數，讓他的變化變大。

五、導音管

5-1、導音管裝配在音箱之外觀照片

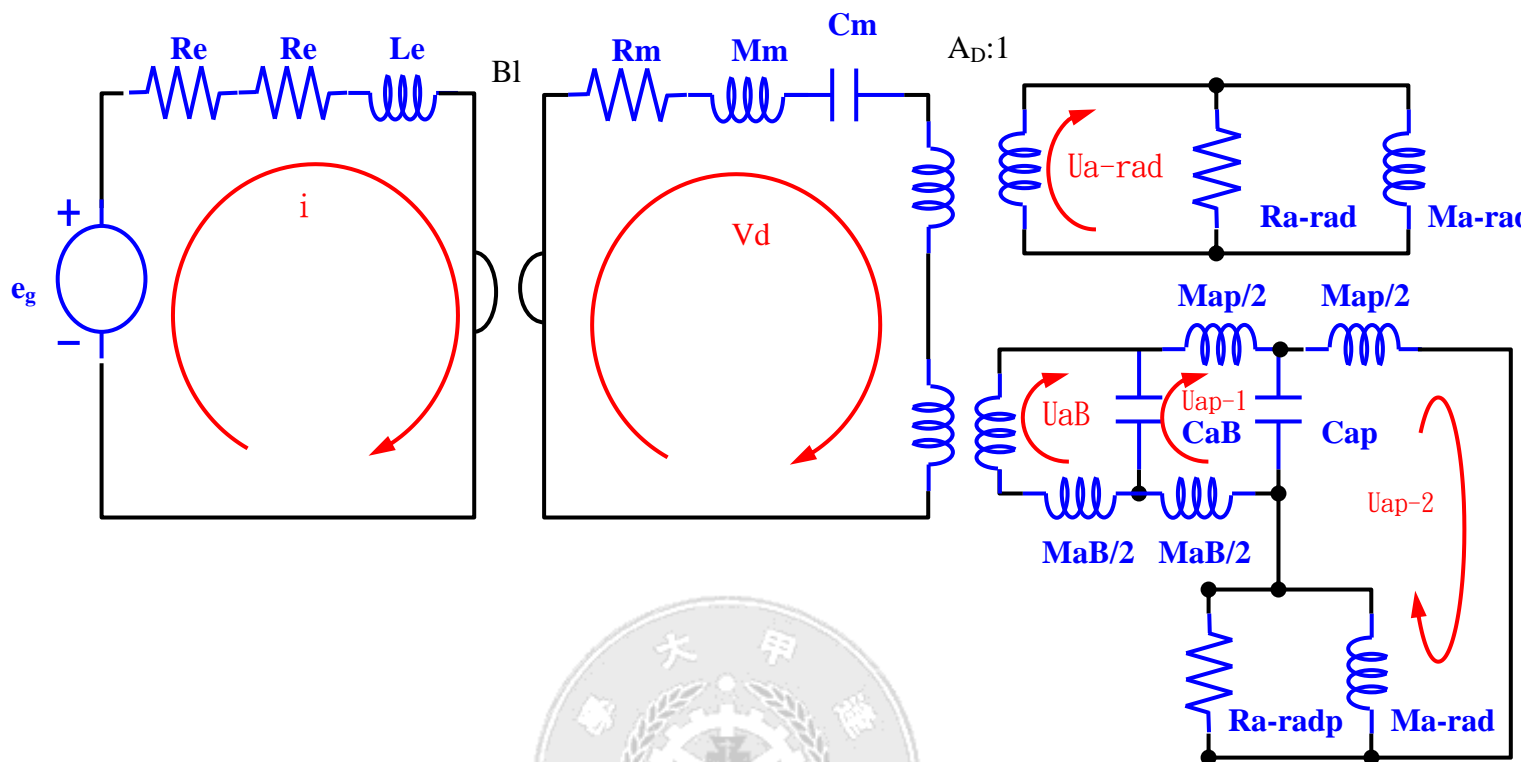


在此針對風管的不同來做探討：

1. 導音管(管徑寬--長)之尺寸：管徑(直徑)為 40mm、管長為 115mm
2. 導音管(管徑窄--長)之尺寸：管徑(直徑)為 35mm、管長為 116mm
3. 導音管(管徑窄--短)之尺寸：管徑(直徑)為 35mm、管長為 85mm

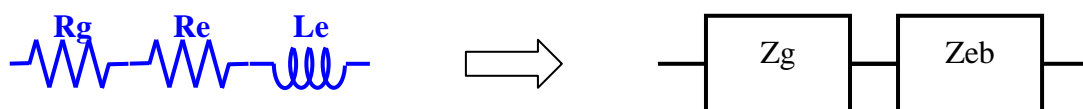
p.s.無吸音綿。音箱採用深度較淺之款式，內徑尺寸：寬(151mm)、高(167mm)、深度(139mm)。

5-2、導音管式音箱的等效電路



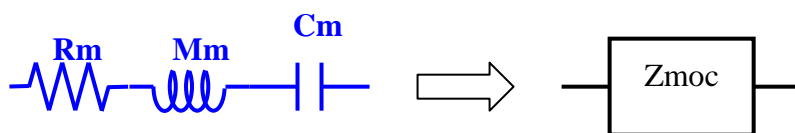
5-3、等效電路之簡化

5-3-1、Electrical Part



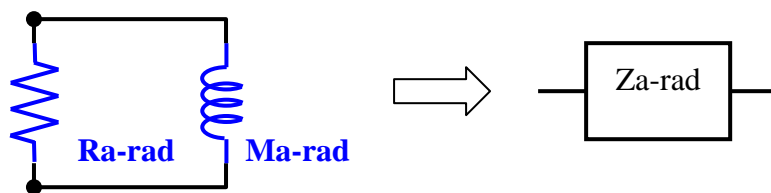
$$Z_g = R_g \quad Z_{eb} = R_e + j\omega L_e$$

5-3-2、Mechanical Part

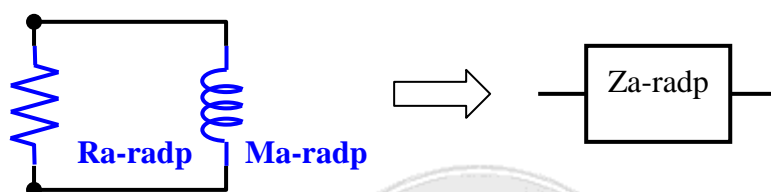


$$Z_{moc} = R_m + j\omega M_m + [1/(j\omega C_m)]$$

5-3-3、Acoustical Part



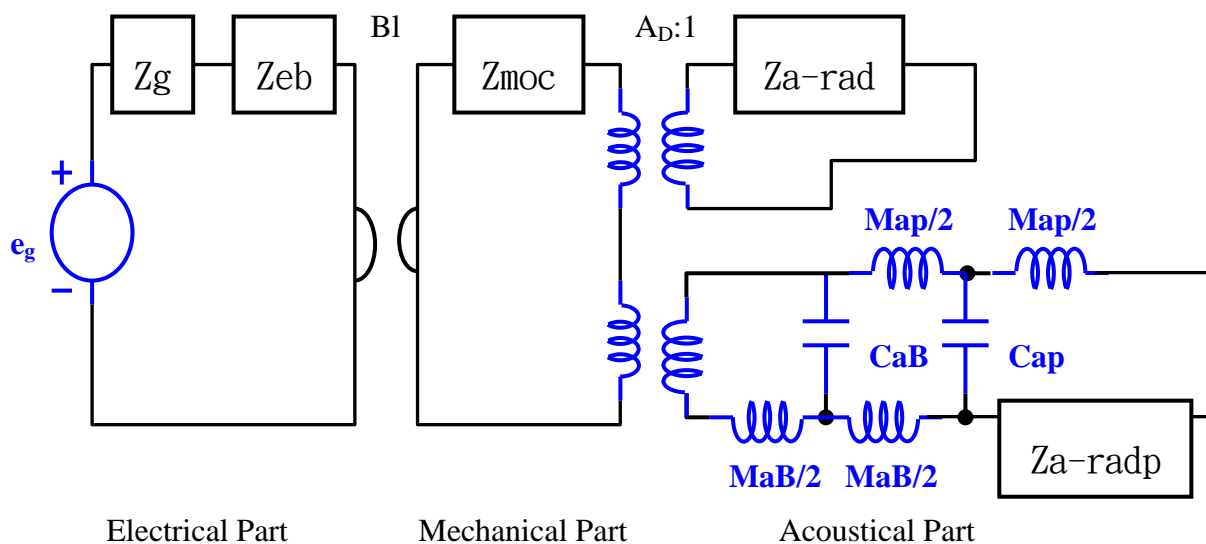
$$Z_{a-rad} = (A_D^2) * (R_{a-rad} * j * \omega * M_{a-rad}) / (R_{a-rad} + j * \omega * M_{a-rad})$$



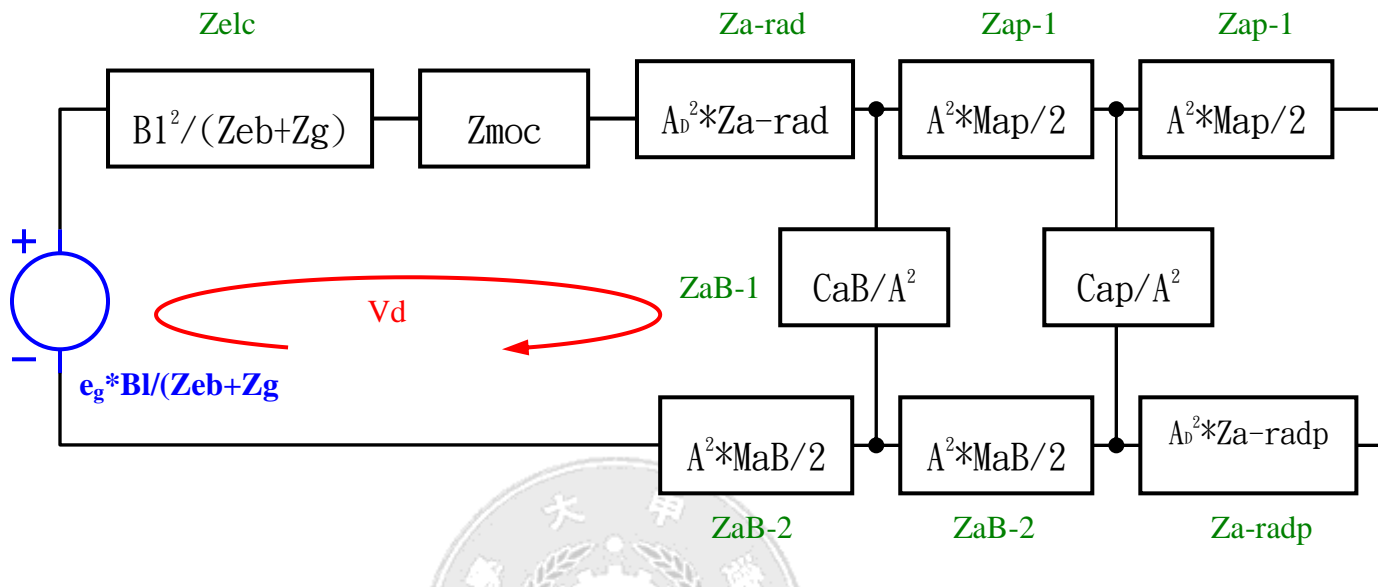
$$Z_{a-radp} = (A_D^2) * (R_{a-rad} * j * \omega * M_{a-rad}) / (R_{a-rad} + j * \omega * M_{a-rad})$$



5-4、整理 5-3-1~3，等效電路簡化為下圖



5-5、將電端與聲學端等效到機械端



整體阻抗 $Z = \begin{pmatrix} Z_{elc} + Z_{moc} + Z_{arad} + Z_{aB1} + Z_{aB2} & -Z_{aB1} & 0 \\ -Z_{aB1} & Z_{P1} + Z_{P2} + Z_{aB1} + Z_{aB2} & -Z_{P2} \\ 0 & -Z_{P2} & Z_{P1} + Z_{P2} + Z_{aradP} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_d \\ V_{ap1} \\ V_{ap2} \end{pmatrix}$;

振模速度： $V_d = [1 \ 0 \ 0] Z^{-1} \begin{pmatrix} \frac{e_g B l}{Z_g + Z_{eb}} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$

體積速度： $U = V_d * A_d$

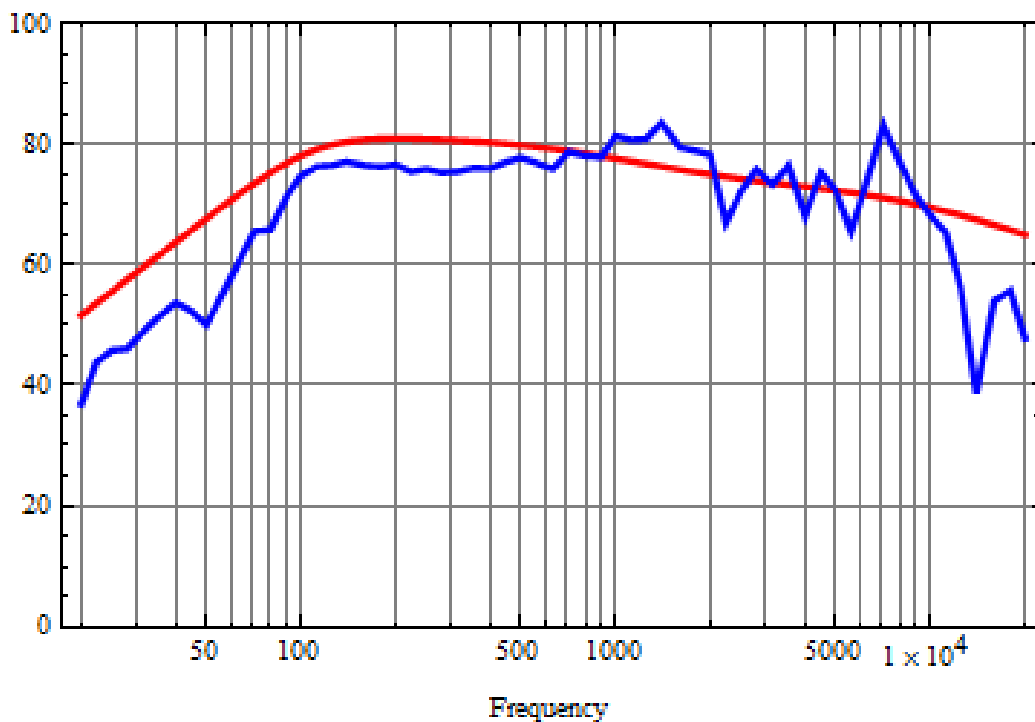
$P = j * [\rho_o * k * c * U / (2 * \pi * r)] * e^{(-j * k * r)}$

聲壓公式： $SPL = 20 \text{Log}_{10}(p/p_{ref})$

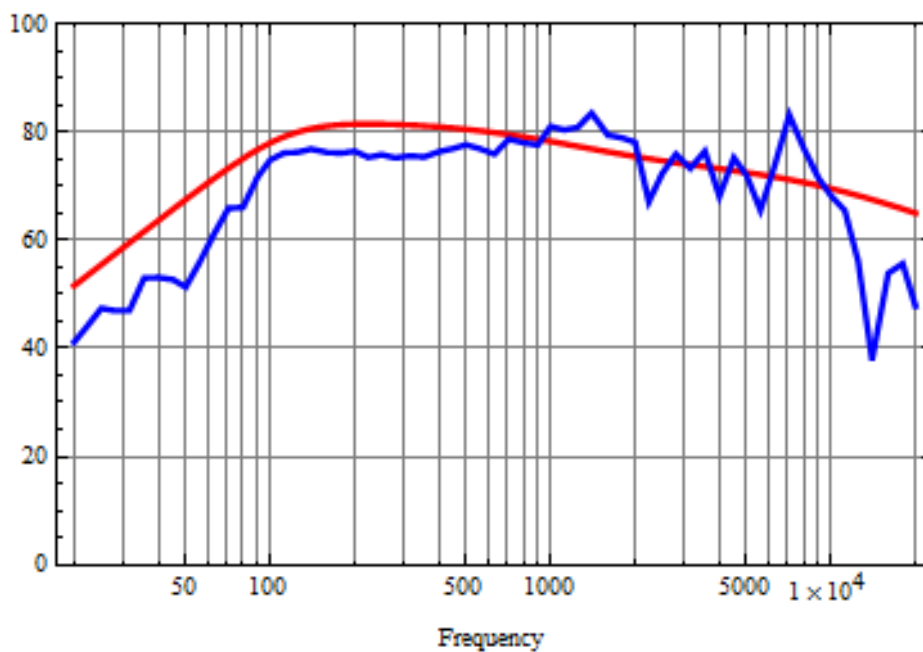
5-6、導音管裝配在音箱的模擬與量測曲線

模擬 SPL 曲線結果與 KLIPPEL 量測結果比對

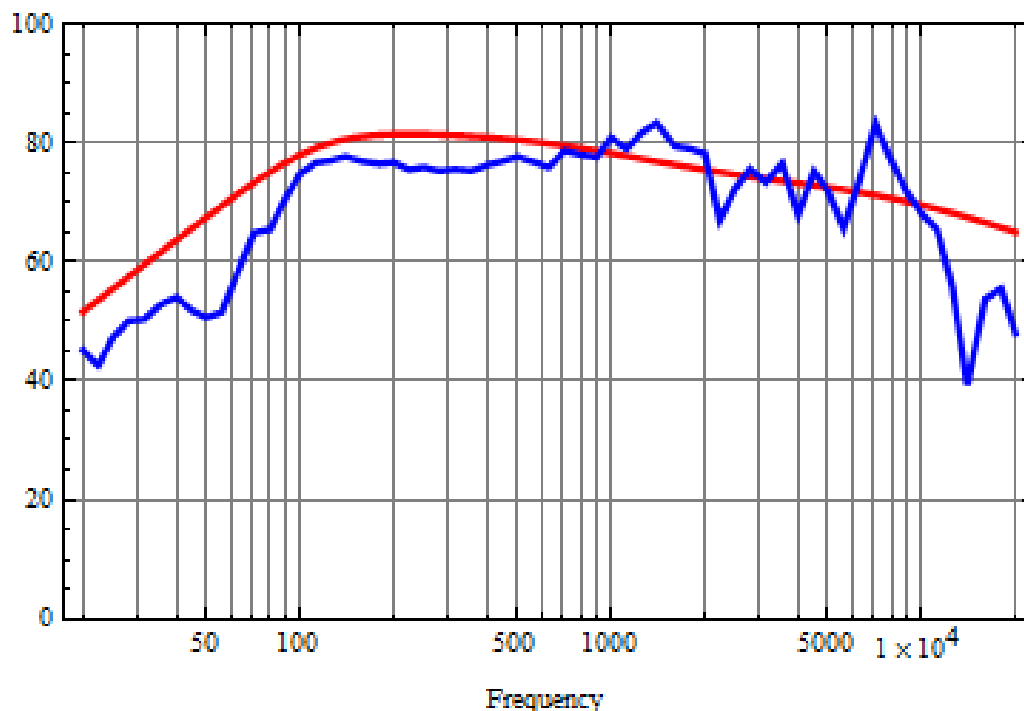
音箱加導音管(直徑4cm 長11.5cm)模擬與量測比較



音箱加導音管(直徑3.5cm 長11.5cm)模擬與量測比較

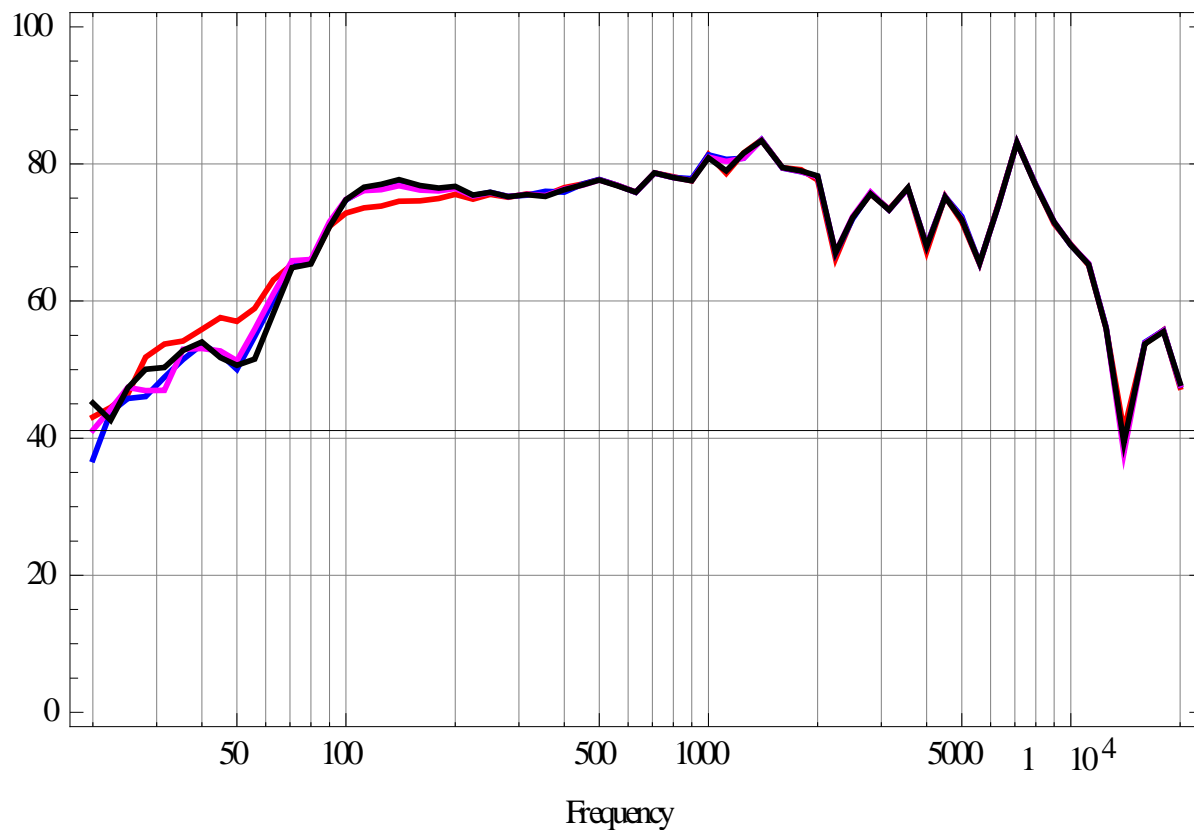


音箱加導音管(直徑3.5cm 長8.5cm)模擬與量測比較



這是經過學長教導後改出來的曲線，沒有 dip 出現了，從上面三個圖來看，紅色皆為模擬之曲線，藍色皆為量測之曲線，頻率 100 到頻率 10000 之間以模擬和量測來比對是誤差較微小的部分。下面會有三個導音管與無導音管的比較。

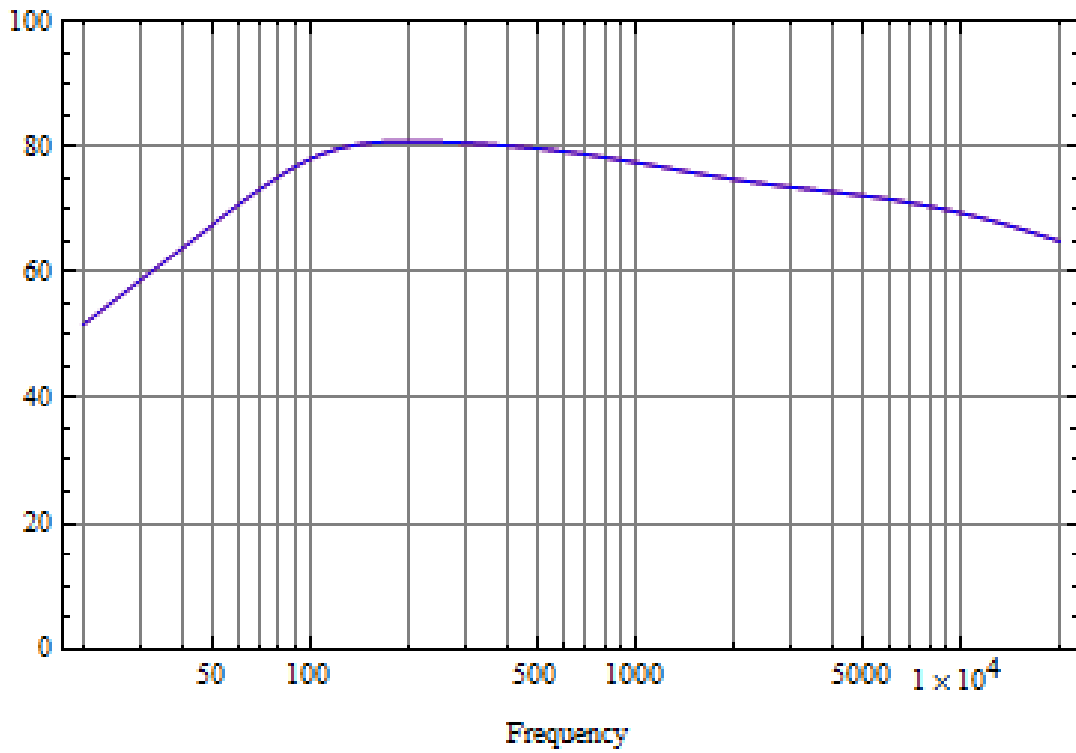
導音管量測比較



紅色為無導音管，藍色為導音管(直徑 4cm 長 11.5cm)，紫色為導音管(直徑 3.5cm 長 11.6cm)，黑色為導音管(直徑 3.5cm 長 8.6cm)，從上圖來比較無導音管在於頻率 100-200 之間表現比有裝導音管的來的不好，然而其他三者的數據在於低頻部分有些許的差別，在高頻部分則是幾乎重疊。

Out[70]=

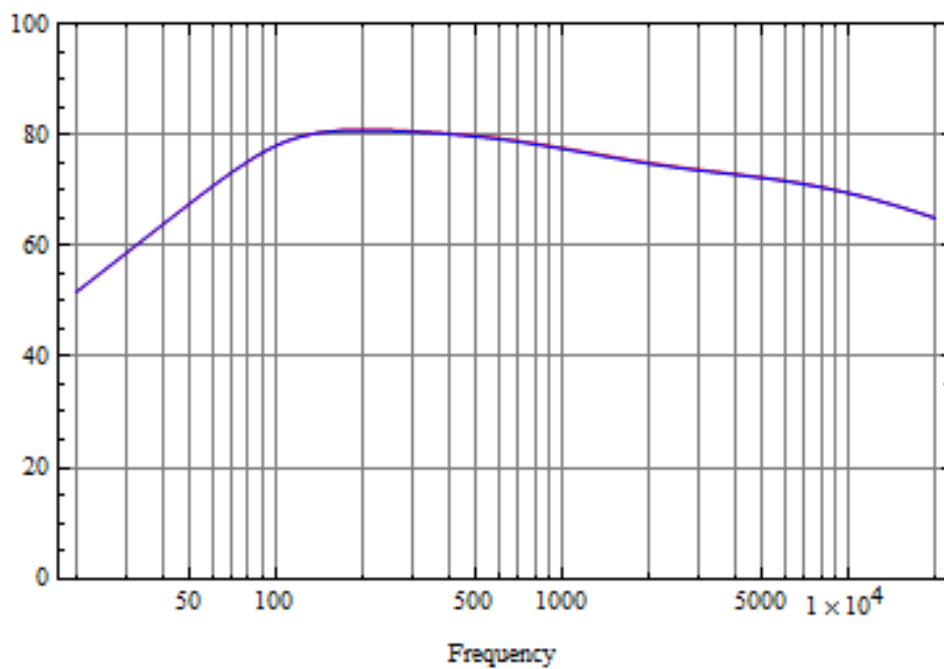
導音管(直徑3.5cm 長11.5cm)(直徑3.5cm 長8.5cm)模擬比較



紅色為較深 11.5cm 藍色為深 8.5cm 的模擬圖。



導音管(直徑4cm 長11.5cm)(直徑3.5cm 長11.5cm)模擬比較



紅色為較半徑 4cm 藍色為半徑 3.5cm 的模擬圖。因為我們是採用現成的導音管來量測，未來可再多考慮老師所說的規則，圖形改變應該會比較大。



七、結論與未來展望

這次我們的報告該開始的時候遇到了很多的困難，後來又回去研讀院長的上課書籍，也詢問了很多的學長，後來才慢慢地進入正軌，於理論方面，院長的上課的書籍對我們幫助良多，而量測方面則要感謝學長一步一步耐心地帶領我們完成，我們這次量測出來的數據和模擬的數據兩者比較起來誤差還算是可以接受範圍以內，不過就量測得出來的數據方面來看，也許是我們給的條件差距不大，不過相信有了此次的經驗後，未來也可以把要設的變因更加大膽且有方向一點，這樣量測出來的數值也許就會有明顯的改變了。

最後要感謝學長們耐心回答我們問題與帶領我們量測，也要感謝院長的書籍和教導與帶領我們，讓我們有這個機會可以更加瞭解與把量測與理論結合。

參考文獻

- [1] Jin H. Huang, Electro-acoustic transducers 上課講義, 2013。

