

【附件三】教育部教學實踐研究計畫成果報告格式(系統端上傳 PDF 檔)

教育部教學實踐研究計畫成果報告
Project Report for MOE Teaching Practice Research Program

計畫編號/Project Number：**PEE107023**

學門分類/Division：**工程學門**

執行期間/Funding Period：**2018/08/01~2019/07/31**

**以 CDIO 實踐培養電聲 PI 型人之創新教學研究
基礎聲學、電聲量測與方法**

計畫主持人：**劉育成 副教授**

執行機構及系所：**逢甲大學電聲碩士學位學程**

繳交報告日期：**2019/09/16**

以 CDIO 實踐培養電聲 PI 型人之創新教學研究

一. 報告內文(Content)

1. 研究動機與目的(Research Motive and Purpose)

電聲學程是全國唯一培養電聲專業人才的搖籃，其不僅具有完整的師資與軟體設備，在教學主軸與課程上更是來自於國內外電聲產業當前實際的需求；此外，由於學程師長與國內電聲產業鏈結相當密切，每年相關的課程規劃也同時因應全球電聲趨勢而不斷地更新與重新設計。10年來，主持人與學程相關師長在有限的資源下，持續以培養國內電聲產業需求之技術與人才而努力。近年來，由於全球電聲產業與技術發展快速，相繼地對於高階電聲人才的需求也同時成倍數的成長；因此，如何有效應用現有資源、時間、人力與物力等條件下，整合相關技術與課程，培養具有更具全面的電聲高階技術人才，是本計畫的動機之一。

現有存在課程與人才訓練間之問題簡述如下：

- (1). 缺乏連貫式主題教學，使得整合所學之效果打折
- (2). 缺乏跨領域的技術整合，難以實現「Π型人」的訓練
- (3). 缺乏主題互動式學習，對於提升學習意願之成效打折
- (4). 缺乏主動學習與獨立思考的訓練

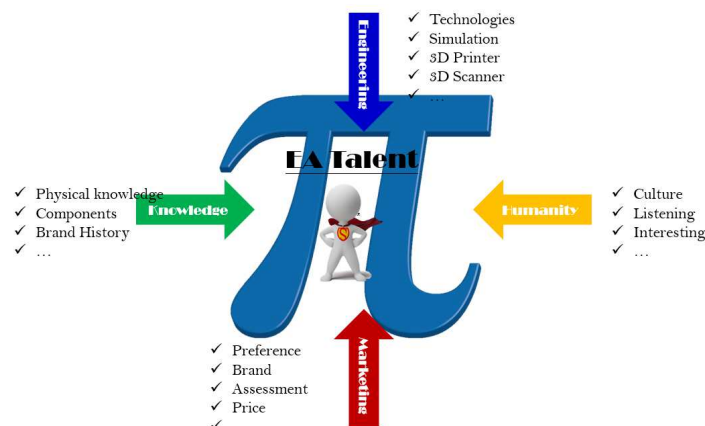
根據以上之教學現場與課程之落差，本人在計畫中提出 CDIO 創新教學策略搭配 PBL 之教學實踐方式，期待對於兩年電聲人才之培育目標如下：

- (1). 有別於畢業論文條件下，具有一個完全自主開發設計且可以於畢業後用於陳述這兩年學習歷程的標的握產品
- (2). 符合電聲產業對於電聲畢業人才擁有技能與核心知識之期待
- (3). 有效降低學用落差
- (4). 以橫向與縱向結合既有課程之方式，創造更有趣的學習歷程
- (5). 落實動手做、做中學、學中覺，實際地完成理論與實務結合之訓練

因此，本計畫乃以學程碩一學生為對象，選用時下最流行之「耳罩式耳機」主題為主軸(PBL)，如下圖(一)所示，橫向整合學期課程，學習專業知識與模擬技術，如基礎聲學、電聲電子學、換能器設計，並延續搭配縱向學年課程，如電聲量測與方法，以團隊合作開發的方式，進行耳機的拆解、設計、製作、優化等過程，藉以培養符合具備跨領域學習之電聲人才需求的電聲Π型人。相關學習如下圖(二)所示。



圖(一)、本計畫研究標的—耳單式耳機



圖(二)、電聲Π型人四大元素

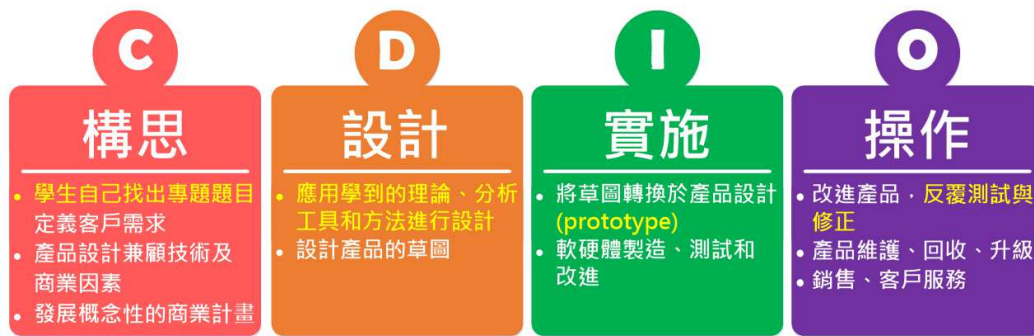
2. 文獻探討(Literature Review)

人力資源的素質是知識經濟時代的重要資產，也是產業升級與提高競爭力的重要關鍵因素，人才的培育制度有賴高等教育的規劃與執行（張國保、袁宇熙，2014）。然而，面對近幾年臺灣人力結構改變與產業結構大幅變化的狀況，高等教育的課程內容，不僅遠遠落後產業的進展，同時也造成高等教育教師教學與學生課程學習兩方面更大的衝擊與挑戰，上述問題需要臺灣高等教育政策方向與產業之間相互銜接與調整，否則勢將導致學用之間的落差更為嚴重。

面對日益競爭激烈的國際化市場，任何嘗試改善現行教育制度的教育工作者，必須考慮兩個問題：

- (一) 學生畢業時，他們該具備哪些知識、能力與態度，才能足以應付變動的市場？同時，該到達哪種的精熟程度？
- (二) 教育單位該如何確保畢業生已經具備上述提及的知識、能力與態度？

麻省理工學院與瑞典的查爾姆斯理工大學、林雪平大學以及皇家工學院於 2000 年，共同推動「構思(Conceive)-設計(Design)-實施(Implement)-操作(Operate)，簡稱 CDIO」工程教育人才培育模式，為近年來國際工程教育領域改革最成功且最具影響力的成果之一。「CDIO」精隨如圖(三)所示。



圖(三)、CDIO 之構思(Conceive)-設計(Design)-實施(Implement)-操作(Operate)

(1). 構思-設計-實施-運作 (Conceive- Design- Implement- Operate, CDIO) 之意涵

CDIO 工程教育的設計靈感是以產品、過程和系統的構思、設計、實施、運作的整個生命週期為背景，以 CDIO 教學大綱和 12 項標準為基礎，強調利用整合式課程設計，讓學生能掌握紮實的工程基礎理論和專業知識，透過主動、解決實際問題為導向的學習方法，以及團隊合作與創新實踐的訓練，獲得工程師所需具備的相關能力(Crawley, Malmqvist, Ostlund, & Brodeur, 2014)

細部解構 CDIO，構思(Conceive)意指利用問卷調查、腦力激盪、藍海策略等方法，分析客戶需求、考量所需技術、商業策略、發展概念性的商業計畫。設計(Design)意指應用 AutoCAD 或 MATLAB 等方法，給予較詳細的資訊描述產品設計，或是設計產品的草圖。實施(Implement)意指利用 3D 列印機、CNC、RP 加工機等器材，將設計轉換為產品、過程或系統，包括產品的軟硬體製造、系統整合與測試。操作(Operate)意指改進設計的產品，以及產品後續的銷售、物流、客戶服務、維護、回收與升級等(AI-Atabi, 2014)。

CDIO 的理念繼承和發展了歐美 20 多年來工程教育改革的理念，形成一個涵蓋人才培育課程大綱和評估 CDIO 的 12 項標準。課程大綱涵蓋 4 大主軸，包括：(一)技術知識和推理能力；(二)個人能力、職業能力和態度；(三)人際能力：團隊合作和溝通；(四)在企業和社會環境之下，能夠構思、設計、實施和運作。四大主軸內容具有普遍性，適用於各領域，皆為產業所需人才應具備之能力。也希望透過教學、學習、實作的整合，培養學生的專業知識和軟能力。同時，CDIO 採用 12 項標準定義 CDIO 課程的特色，亦成為教育改革和評估的準則，並提供持續改善的架構。包括課程理念(標準 1)、課程教學計畫的制訂(標準 2、3、4)、設計-實施的經驗與場域(標準 5、6)、教與學的方法(標準 7、8)、教師發展(標準 9、10)、學習成效評量與教學評估(標準 11、12) (Crawley, Malmqvist, Ostlund, & Brodeur, 2014)。

綜合上述，研究歸納 CDIO 的幾項特色(李靜儀、吳俊哲、王柏婷，2016)，分別為：

- (一) 做中學：透過實際問題，規劃專題導向式學習，並鼓勵從失敗中學習
- (二) 使用者導向設計：以設計思考為主軸，透過使用者需求分析、創意發想與收斂，規劃以人為中心的設計與服務
- (三) 產品行銷企劃：兼顧產品技術與商業營運的設計，甚至是在構思階段撰寫商業營運的計畫書

跨領域團隊合作：利用不同專業背景領域的成員，共同探討複雜問題，藉由各種不同觀點及經驗的腦力激盪，培養溝通與問題解決能力

3. 研究方法(Research Methodology)

3.1. 實驗場域：

本計畫之實踐場域主要以上下學期由主持人教授之兩門主要課程為主，分別為「基礎聲學」與「電聲量測與方法」；過程中將輔以學程其他專業課程，如「電聲電子學」、「換能器設計」等，以及在課程中搭配邀請相關專業業師進行主題式的演講與教學等；藉由多樣化的設計元素與主題的導入，激發學生學習的慾望與動機，並在淺移默化中培養電聲專業所需具備的專業人才。

3.2. 研究對象：(附件一)

本計畫之研究對象主要以電聲碩學位學程碩一的學生為主，人數約 13 人，如圖(四)共，分成三組；其中包含電聲業界先進以及隨班附讀的業界人士。期待藉由多元人才的整合，或畫整個學期歷程，並同時藉由團隊合作的方式，激發彼此不同專業的火花，使得「耳罩式耳機」的開發具有專業與生活化的元素。

逢甲大學上課點名簽列表 列印日期：2019/1/11

課程代碼(選課代號)/課程編碼 CE19310-74081-001(2050)											
課程名稱(班級)：1071-聲學基礎FUNDAMENTALS OF ACOUSTICS(電聲碩一學位學程)[2050]											
修習別(學分數)：必修(3)											
上課時間/地點/教師：(五)07-09 工506-7 劉育成											
上課日期： 月 日 [僅日前修課學生]											
順序	學號	姓名	簽名欄	順序	學號	姓名	簽名欄	順序	學號	姓名	簽名欄
1	M0422580	徐育聖									
2	M0629977	李謙									
3	M0703062	張天然									
4	M0703075	劉陶穎									
5	M0705064	王俊升									
6	M0705477	林彥均									
7	M0705522	洪銘陽									
8	M0705791	陳泓璋									
9	M0706554	陳功資									
10	M0707053	葉治浩									
11	M0717283	李聖榮									
12	M0717635	許祐瑄									
13	M0721113	陳智安									

圖(四)、參與本計畫研究之對象

3.3. 研究架構

有鑑於上述對於本計畫於電聲人才培育之期待，將於一年兩個學期的課程規劃與階段性產出規劃如下圖(五)所示。主要以橫向進行學期課程的整合以及縱向的延續兩個學期的課程，藉以「耳罩式耳機」為主題產品(PBL)，以 CDIO 為整體培育歷程之核心策略，串聯電聲專業技能之訓練，完成符合電聲產業需求之電聲人才之培養。

以下乃針對本計畫對於上下兩學期的教學策略與方式進行簡述。

■ 上學期：

主要以 CDI 為主要的訓練策略與歷程，其中包含三大主軸與其相對應的內容規劃簡述如下：

(a). 發想期(Conceive)：

主要以了解市場上知名耳機為發想的動機，包含知名耳機品牌的了解、歷史發展的了解、經典款的特色、價位的範疇等等，藉以訓練學生尋找資料、彙整資料、重點等等，最後並將相關資料整合彙整在 PPT 與 WORD 中，並於期中進行階段性的報告。透過每組對於不同品牌的報告，不僅可以完成團隊合作之訓練、口條的訓練，並使得修習的同學同時認識並了解三種知名品牌的耳罩式耳機。此外，解由此過程，並同時啟發各組開發的耳機標的，做為未來階段性主軸的研發目標。

(b). **設計期(Design)：**

主要在發想期的階段完成標的的定義與確認後，進一步乃針對專電聲人才技術的訓練，包含整體聲學特性的了解與測試、產品系統拆解、組成元件的了解、幾何尺寸確認、建模等等，利用動手做進而了解耳機的基本組成與特色；過程中並將搭配「換能器設計」之電聲模擬專業技術，建構完整的模擬系統，進而分析標的物的聲學特性，並獲得專業技術的訓練。

(c). **實作期(Implementation)：**

此階段乃以「重製標的物」為主軸，主要搭配 3D 列印搭配 PLA 材質，以及第二階段所建構的 CAD 模型，重新複製耳罩式耳機；本階段是個既複雜又具有挑戰性的過程，也是全方位電聲專業人才養成的重要階段。最後，並於期末進行各組的成果展示與報告。

■ **下學期：**

主要以 DIO 為主要的訓練策略與歷程，其中包含三大主軸與其相對應的內容規劃簡述如下：

(a). **設計期(Design)：**

此階段乃針延續上學期的設計階段，進一步提供多樣化的設計、創新創意的設計發想，包含理論公式的驗證等，藉以滿足學生對於耳機設計既有的初衷想法與創意能量。

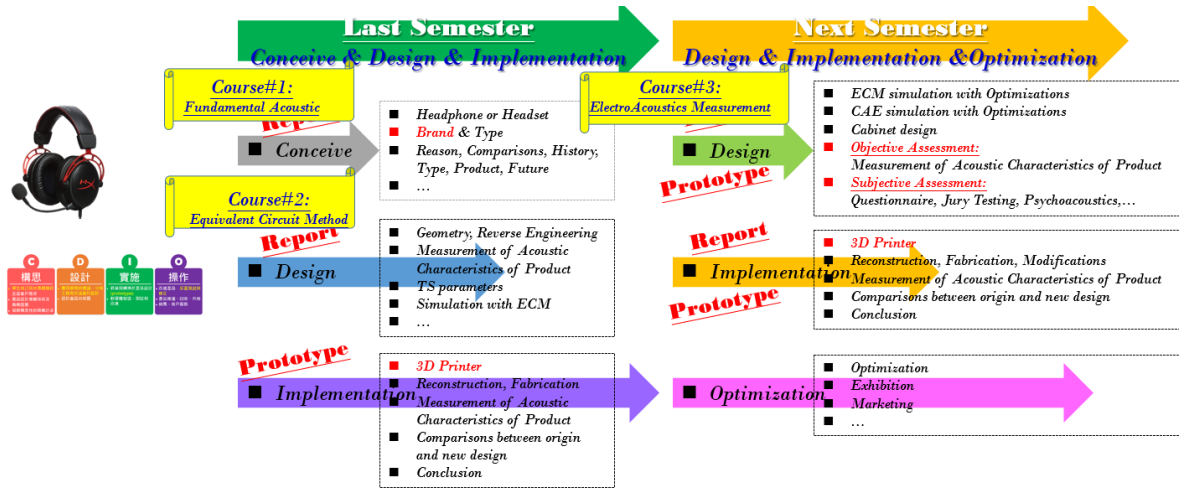
(b). **實作期(Implementation)：**

此階段乃研究上學期的實作階段，並搭配下學期的設計階段進行實作的驗證；過程中並搭配 3D 列印以及 3D 掃描等逆向工程，進行設計階段的實務驗證；過程中將產出各式不同設計的耳機型態，以及對於訪問耳機設計的優點進行實務的驗證；當然，本階段亦將搭配「電聲量測與方法」之課程，進行專業耳機測試技術的培養與訓練，使得學生具備自我驗證的技能

(c). **操作與優化期(Optimization)：**

此階段乃屬於整合前述之發想期、設計期與實作期三個階段，透過上述累積的模擬設計經驗後，進而開發屬於自己創意發想的耳罩式

耳機，包含需要陳述開發的歷程、緣由、設計的理念、特色與優勢；當然也包含聲學特性的剖析等等；使得學生除了具備團隊合作之基本訓練外，更進一步具備表現自我以及闡述產品特色之行銷能力。



圖(五)、本研究計畫規劃之學習歷程

3.4. 學習評量評估

為瞭解參與本計畫之修習同學專業的心得、學習狀況確認與成長，本計畫乃於計畫初期與最終兩個學習端點進行學習成效的評估，主要的方式乃採用問卷的方式進行，問卷如下圖(六)所示。根據本計畫四個階段執行策略 CDIO，乃於問卷中分別對應這四個階段進之修習狀況進行修習狀況的確認；由於本計畫乃第一次執行 CDIO 於電聲人才的專業訓練，因此，雖規劃針對四個階段進行，但由於專業程度訓練的考量，乃縮減至 CDI 三個階段成效進行評估。

107 學年度教育部教學實踐研究計畫之專業學習知能量表		5	4	3	2	1
「以 CDIO 實踐培養電聲II型人之創新教學研究」		非	同	意	非	同
請依個人情況，在適當選項內打「 <input type="checkbox"/> 」，每題都要作答，請勿遺漏，以下題目皆為單項題。		同	意	不	同	意
1. 性別: <input type="checkbox"/> 男 <input type="checkbox"/> 女		意	不	同	意	
2. 年級:						
1. 我熟悉市面上的耳機品牌	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. 我確實或熟悉特定耳機品牌	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. 我瞭解耳機品牌的歷史	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. 我瞭解耳機品牌的發展	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. 我瞭解耳機品牌的特色	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. 我瞭解耳機品牌的經典款項	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7. 我瞭解耳機單體的組成元件	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8. 我瞭解耳機系統組成元件	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9. 我瞭解耳機體腔對響應率影響	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10. 我瞭解耳機體腔對失真率影響	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11. 我瞭解什麼是等效電阻(包含等效電阻的優缺點)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12. 我瞭解等效電阻的理論	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13. 我瞭解等效電阻如何應用在耳機單體設計	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14. 我瞭解等效電阻如何應用在耳機系統(考慮單體與體腔)設計	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
15. 我瞭解等效電阻與耳機單體要求的T/S參數	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
16. 我瞭解耳機單體響應率特性量測	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
17. 我會自行編譯耳機響應率特性量測程序	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
18. 我會自行操作耳機響應率特性量測程序	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
19. 我能解釋耳機響應率特性量測結果	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
20. 我瞭解3D列印機	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
21. 我能自行操作3D列印機	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
22. 我會自行排除3D列印過程產生的問題	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
23. 我建議本專題型式持續應用在電聲學課程	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
24. 我喜歡本專題的課程內容與規劃	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1. 我喜歡這個專題，是因為_____						
2. 我不喜歡這個專題，是因為_____						
3. 我喜歡團隊工作，是因為_____						
4. 我不喜歡團隊工作，是因為_____						
5. 對於這個專題給予額外的建議_____						

圖(六)、學習問卷調查表

下表 1 乃針對上述之研究架構進行統整，包含各階段學習標的、產出、技術學習、搭配的科目等等；並於 2019/05/31 舉辦的「2019 國際電聲論壇」中，以海報型式進行成果的發表。

表 1、研究架構之各階段執行內容

學期	階段	技術學習	基礎課程	補充課程	評量方式 (附件二)
前測					
上學期	發想期(C)	品牌故事	✓ 基礎聲學 ✓ 電聲換能器設計 ✓ 電聲電子學	✓ 畢業校友分享經驗(x1) ✓ 邀請業師專題技術指導(x2)	✓ 口頭報告 ✓ 影片 ✓ WORD ✓ PPT
	設計期(D)	幾何設計、模擬技術			
	實作期(I)	實作製作技術、組裝技術			
後測					
下學期	設計期(D)	幾何設計、模擬技術	電聲量測與方法	✓ 分享經驗(x1) ✓ 邀請業師專題技術指導(x1)	✓ 口頭報告 ✓ WORD ✓ PPT ✓ 2019 國際電聲論壇發表(Poster)
	實作期(I)	實作製作技術、組裝技術			
	操作期(O)	優化技術、行銷技術			

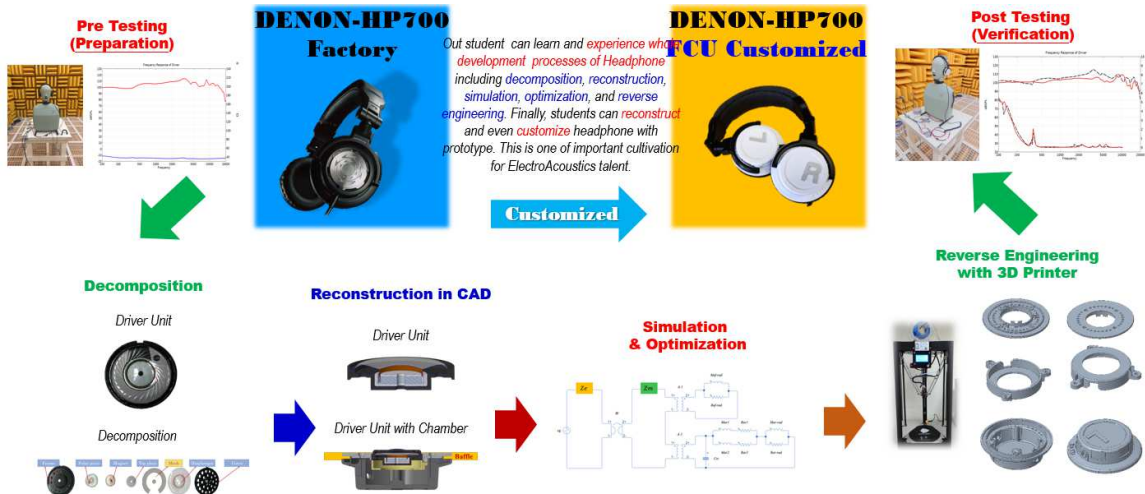
4. 教學暨研究成果(Teaching and Research Outcomes)

(1) 教學過程與成果

產品部分，本計畫三組的成果皆相當豐碩；共同針對 DENON、Audio-Technica 以及 Cooler Master 三個知名品牌的耳機進行了電聲專業知識的訓練，其重製後的結果如圖(七)所示。整體的開發流程如下圖(八)所示。藉由本流程的建構，也同時建立了耳罩式耳機專業開發人才訓練的標準流程，並進一步可作為未來電聲人才培育的教材。

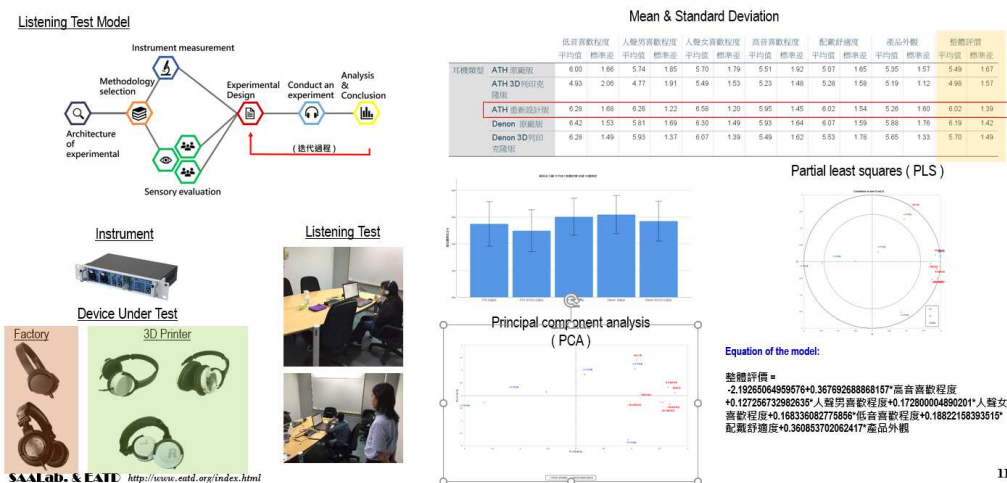


圖(七)、研究對象：DENON、Audio-Technica 以及 Cooler Master



圖(八)、本計畫建構之耳罩式耳機電聲Π型專業訓練流程

除此之外，本研究計畫在下學期並針對聲音品質的研究也進行了開發與聽感的測試調查，也就是所謂的主觀聽測的研究 (Psychoacoustic Assessment)。這是一個相當有趣且重要的開發流程；調查結果如下圖(九)所示，本問卷調查乃針對 46 位非電聲專業的學生所進行的雖機樣本的聽力測試，而測試的音檔皆為音樂；結果顯示，本研究計畫重製的耳罩式耳機中，ATH 重新設計版的音質表現整體評價約為 6.02，比原廠採購的 ATH (5.49) 高，此現象說明了，藉由本計畫重製並優化後的耳罩式耳機，其不僅在客觀參數上(SPL、IMP)具有與原廠產品表現相近的結果，在主觀聆聽上，更具有一定的高音質表現，這就是除了電聲技術的提升外，更具備其他創意設計達到提升音質表現的訓練目的；換句話說，藉由本研究計畫的訓練，的確讓逢甲電聲學程的學生除了具備專業電聲知識技能外，更具有獨立開發屬於高音質、獨特性音質表現耳罩式耳機的能力。



圖(九)、本計畫建構之耳罩式耳機主觀聽測結果

除此之外，各組學習成果並於由主持人所承辦的 2019 國際電聲論壇中進行海報的發表，如圖(十)；過程中並吸引國內外電聲廠商的蒞臨與交流，本

計畫的執行也獲得電聲產業一致的認同與讚許。



圖(十)、三組成果海報

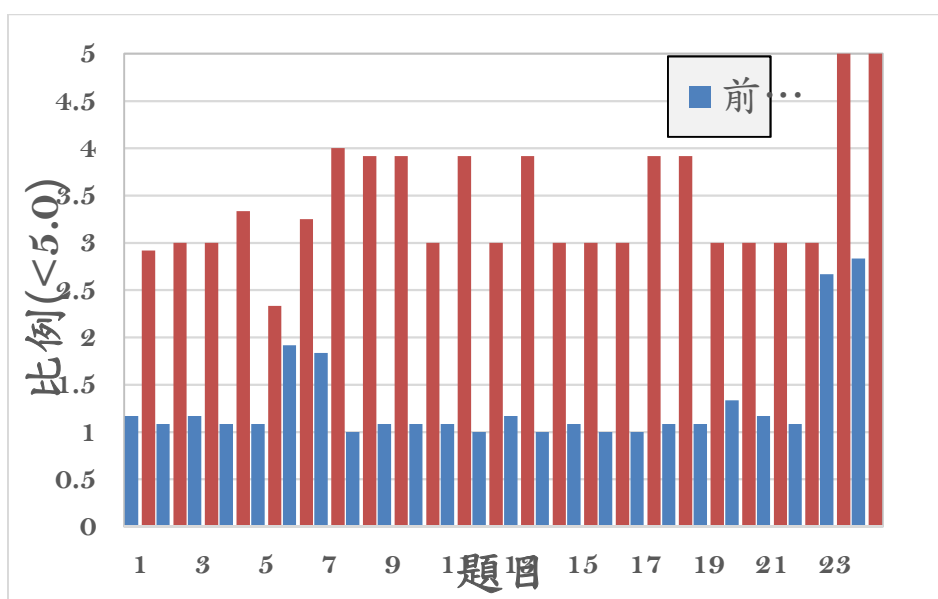
(2) 教師教學反思

整體學習過程中，不僅是學生專業的學習與整合，更是老師對於創新教學方式是否有效應用於電聲II型人的一種挑戰與一種滾動式學習的歷程；對於此例程的規劃與過程中可在改進之處，簡單說明如下：

- 主觀聆聽部分專業度的提升與策略的改進
- 改善分段(CDIO)學習成效掌握方式，確實瞭解學生於各階段的學習狀況
- 同時強化質與量上的學習成效
- 教材是否可以標準化

(3) 學生學習回饋

在學程學習成效部分，本研究計畫乃利用問卷調查的方式針對每位參與的學生進行學程成果的調查，結果如下圖(十一)所示。由結果可清楚得知，13位學生在一年兩個學期的學習後，對於發想期、設計期與實作期等各階段之專業都有明顯的提升，可見本計畫規劃的學習歷程對於電聲專業人才的訓練的確具有相當高質量的價值，而學生對於未來是否持續應用於其他電聲課程上也有幾近滿分的支持，由此可知，本研究規劃訓練流程對於電聲人才訓練具有相當的未來性。



圖(十一)、本計畫前後測之學生學習回饋

二. 參考文獻(References)

- 李靜儀、吳俊哲、王柏婷 (2016)。Conceive-Design-Implement-Operate (CDIO) 理念對臺灣工程教育的啟發。臺灣教育評論月刊，5 (2)，101-104
- 徐新逸 (2001)。如何利用網路幫助孩子成為研究高手？網路專題式學習與教學創新。台灣教育，607，25-34
- 張國保、袁宇熙 (2014)。我國學用合一之現況、問題與解決之道。教育研究月刊，248，5-22
- Al-Atabi, M. (2014). Think Like an Engineer: Use systematic thinking to solve everyday challenges & unlock the inherent values in them. CreateSpace Independent Publishing Platform.
- Crawley, E., Malmqvist, J., Ostlund, S., & Brodeur, D. (2014). Rethinking engineering education: The CDIO Approach (2nd ed). Springer Singapore: Springer.
- Jones, B. F., Rasmussen, C. M., & Moffitt, M. C. (1997). Real-life problem solving: A collaborative approach to interdisciplinary learning. Washington, DC: American Psychological Association.
- Thomas, J. W. (2000). A review of research of project-based learning. Retrieved from <http://www.autodesk.com/foundation>.
- Thomas, J. W., Mergendoller, J. R., & Michaelson, A. (1999). Project-based learning: A handbook for middle and high school teacher. Novato, CA: The Buck Institute for Education.
- Wolk, S. (1994). Project-based learning: pursuits with a purpose. *Educational Leadership*, 52(3), 42-45.

三. 附件(Appendix)

與本研究計畫相關之研究成果資料，可補充於附件，如學生評量工具、訪談問題等等。

參與人員合影



PowerPoint

Team#1

DENON DJ

Headphone Production and Optimization

耳罩式耳機生產與優化

型號: DN-HP700

音響結構: 零障阻, 斜紋表, 剛性高, 物理散熱


結構: 耳罩的聲學, 耳殼, 耳罩, 耳罩彈簧

製作日期: 2019-01-14



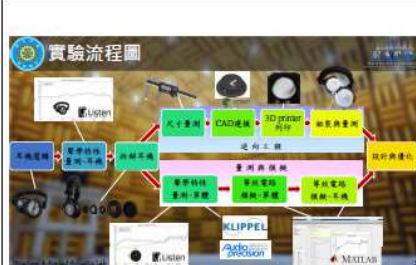
大綱

- 產品目標
- 音響結構
- 耳殼
- 耳罩
- 耳罩彈簧
- 耳殼材料
- 耳殼結構
- 耳殼加工
- 耳罩材料
- 耳罩結構
- 耳罩加工
- 耳罩彈簧
- 耳罩彈簧加工



緣起與目的

在進行耳罩式耳機生產與優化過程中, 我們遇到了許多問題, 這些問題不僅影響了耳機的性能, 也影響了生產效率。因此, 我們決定對耳機生產與優化進行深入研究, 以期提高耳機的性能和生產效率。

品牌歷史

1918年 創始於日本

1938年 推出第一款專業音響設備

1953年 推出第一款專業音響設備

1961年 推出第一款專業音響設備

1977年 推出第一款專業音響設備

1983年 推出第一款專業音響設備

1994年 推出第一款專業音響設備

1995年 推出第一款專業音響設備

1997年 推出第一款專業音響設備



品牌歷史

1918年 創始於日本

1938年 推出第一款專業音響設備

1953年 推出第一款專業音響設備

1961年 推出第一款專業音響設備

1977年 推出第一款專業音響設備

1983年 推出第一款專業音響設備

1994年 推出第一款專業音響設備

1995年 推出第一款專業音響設備

1997年 推出第一款專業音響設備



品牌歷史

1918年 創始於日本

1938年 推出第一款專業音響設備

1953年 推出第一款專業音響設備

1961年 推出第一款專業音響設備

1977年 推出第一款專業音響設備

1983年 推出第一款專業音響設備

1994年 推出第一款專業音響設備

1995年 推出第一款專業音響設備

1997年 推出第一款專業音響設備



品牌歷史

1918年 創始於日本

1938年 推出第一款專業音響設備

1953年 推出第一款專業音響設備

1961年 推出第一款專業音響設備

1977年 推出第一款專業音響設備

1983年 推出第一款專業音響設備

1994年 推出第一款專業音響設備

1995年 推出第一款專業音響設備

1997年 推出第一款專業音響設備



品牌歷史

1918年 創始於日本

1938年 推出第一款專業音響設備

1953年 推出第一款專業音響設備

1961年 推出第一款專業音響設備

1977年 推出第一款專業音響設備

1983年 推出第一款專業音響設備

1994年 推出第一款專業音響設備

1995年 推出第一款專業音響設備

1997年 推出第一款專業音響設備



品牌歷史

1918年 創始於日本

1938年 推出第一款專業音響設備

1953年 推出第一款專業音響設備

1961年 推出第一款專業音響設備

1977年 推出第一款專業音響設備

1983年 推出第一款專業音響設備

1994年 推出第一款專業音響設備

1995年 推出第一款專業音響設備

1997年 推出第一款專業音響設備



經典款項

耳罩式耳機

耳殼式耳機

耳塞式耳機

耳掛式耳機

耳擴式耳機



經典款項

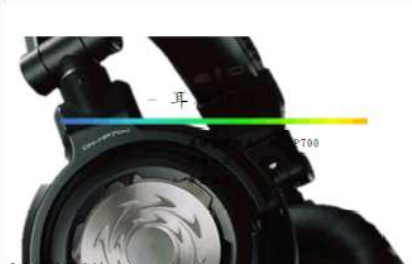
耳罩式耳機

耳殼式耳機

耳塞式耳機

耳掛式耳機

耳擴式耳機

選擇型號特色: DN-HP700

耳罩式耳機

耳殼式耳機

耳塞式耳機

耳掛式耳機

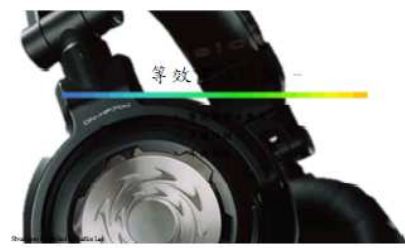
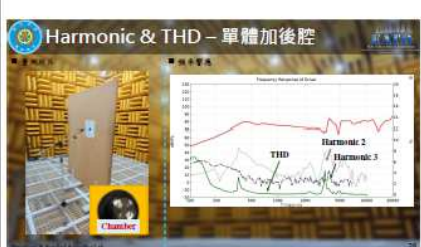
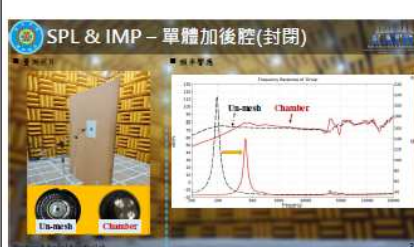
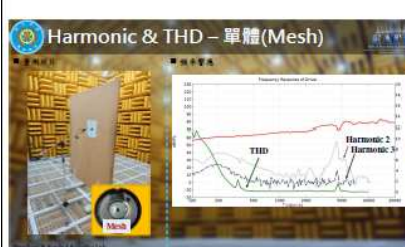
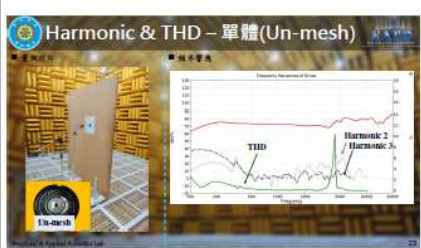
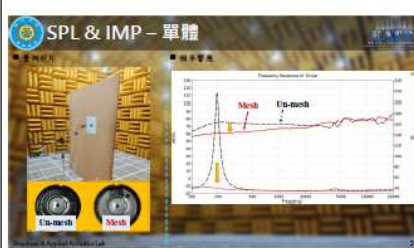
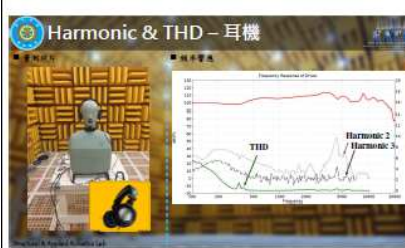
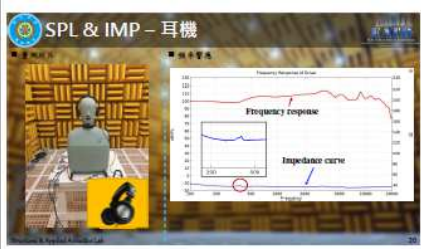
耳擴式耳機





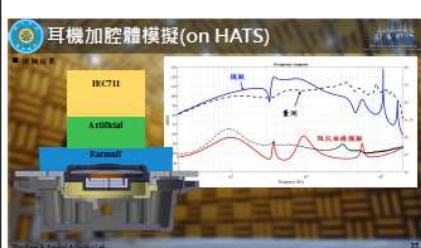
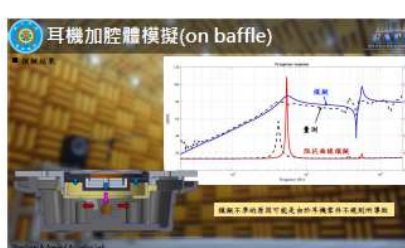
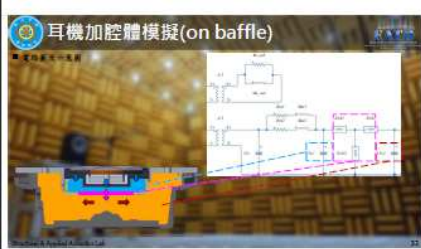
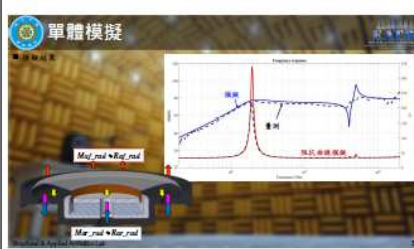
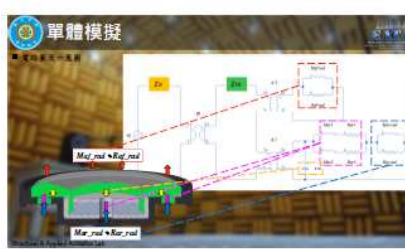
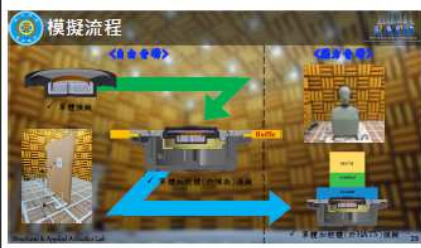

測試儀器及項目

儀器名稱	規格/參數	用途
HATS	半規	SPL
4191	單體 (on-mesh)	2 Harmonic
	單體 (on-mesh)	3 Harmonic
	單體 (on-mesh) + 後腔 (封閉)	THD
		IMP



等效電路參數表

參數	值	單位
M	0.014	Ohm
Lx	0.3338	mH
Lz	0.0181	mH
Rz	1.328	Ohm
R	20.9	Ohm
Qm	0.026	-
Qsp	0.067	kg/s
Qbr	0.050	kg/s
Bl	0.048	Ts
Qbr	0.127	-
Qsp	0.3005	-
Qr	1.268	-



誤差原因探討

誤差原因探討

此圖展示了不同零件的公差範圍，包括耳罩、耳塞、耳殼等。每個零件都標註了不同的公差值，如±0.1mm、±0.05mm等。這些公差值反映了零件在生產過程中的精確度要求。



耳機各部件幾何

耳機各部件幾何

此圖展示了耳機各部件的3D幾何模型，包括耳罩、耳塞、耳殼等。這些模型用於分析零件的幾何形狀和尺寸，以確保其精確性和兼容性。

列印部件 - 上下視圖

列印部件 - 上下視圖

此圖展示了3D列印部件的上下視圖，包括耳罩、耳塞、耳殼等。這些視圖用於比較不同列印參數下零件的形狀和表面質量。

3D列印

3D列印

材料名稱	列印次數	列印時間	材料重量
PLA	4	2hr 30min	17g
PLA	4	5hr 20min	53g
PLA	6	2hr 30min	3g

此圖展示了3D列印的參數和結果。表格列出了不同材料、次數和時間下的列印重量。此外，還展示了列印好的零件樣品。

容積比對

容積比對

此圖展示了容積比對的結果。通過秤重，比較了不同零件的容積。數據如下：

- 原裝耳罩：95.78g
- 3D列印耳罩：29.60g
- 兩者容積接近
- 原裝耳塞：98.94g
- 3D列印耳塞：34.50g
- 兩者容積接近

3D列印

3D列印

此圖展示了3D列印的成品，包括耳罩、耳塞、耳殼等。這些成品展示了不同的表面質量和顏色，以評估3D列印的可行性。

聲學特性比較

聲學特性比較

此圖展示了聲學特性比較的結果。圖表顯示了原裝（Original）和3D列印零件的頻率響應。3D列印零件的響應與原裝零件非常接近，表明其聲學性能良好。

聲學特性比較

聲學特性比較

此圖展示了聲學特性比較的結果。圖表顯示了原裝（Original）和3D列印零件的頻率響應。3D列印零件的響應與原裝零件非常接近，表明其聲學性能良好。



幕後花絮

幕後花絮

此圖展示了幕後花絮，包括零件的生產過程、測試過程等。這些照片記錄了整個研發和生產的細節。

幕後花絮

幕後花絮

此圖展示了幕後花絮，包括零件的生產過程、測試過程等。這些照片記錄了整個研發和生產的細節。

幕後花絮

幕後花絮

此圖展示了幕後花絮，包括零件的生產過程、測試過程等。這些照片記錄了整個研發和生產的細節。

幕後花絮

幕後花絮

此圖展示了幕後花絮，包括零件的生產過程、測試過程等。這些照片記錄了整個研發和生產的細節。

組員分工

組員分工

- 陳功貴
 - 品牌介紹
 - 行銷影片製作
- 陳泓璋
 - 學工程繪圖
 - 耳機構造
- 李聖果
 - 聲學特性量測
 - 耳機構造

Thank for your attention ~

Team#2


Headphone Production and Optimization

耳罩式耳機製作與優化



SAALab. & EATO

簡體



傳統



本廠說明目標



方法流程



耳罩品牌歷史



耳罩品牌歷史



耳罩品牌歷史

日本佔率第一的耳機品牌



耳罩系列款式 - W系列



耳罩系列款式 - A系列



耳罩系列款式 - ADX系列



耳罩系列款式 - ESW系列



耳罩系列款式 - MSR系列



耳罩系列款式 - AR系列



耳罩對比之構造・特色



組件零件

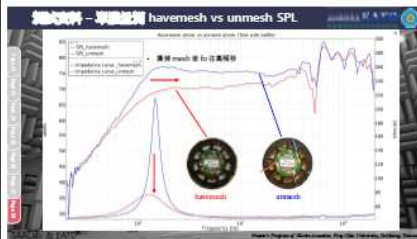
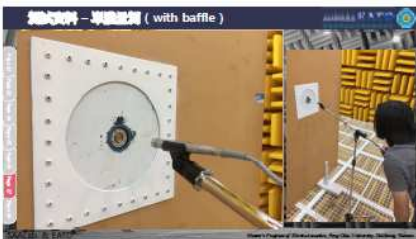
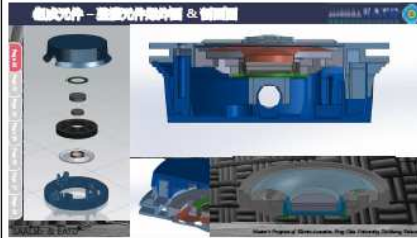
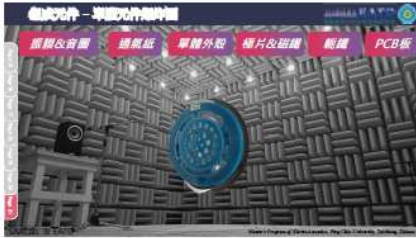
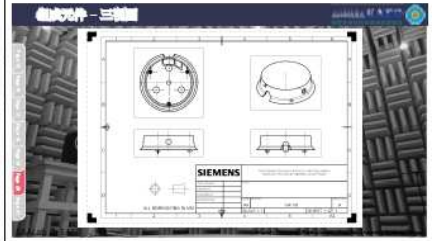
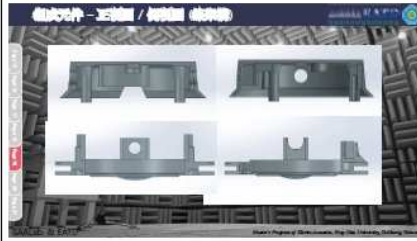


組件零件 - 耳罩零件的種類



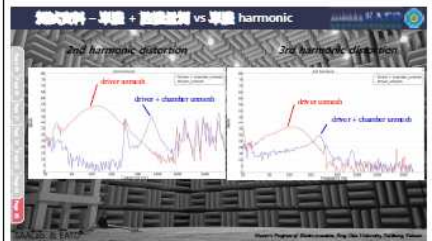
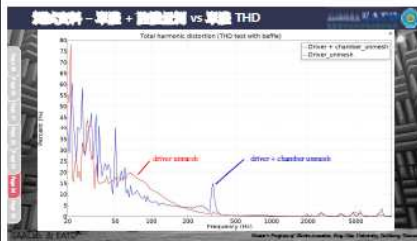
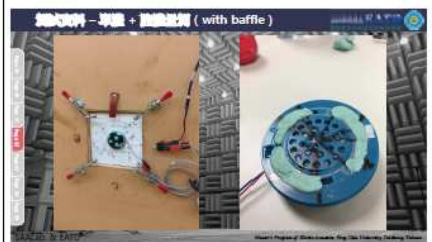
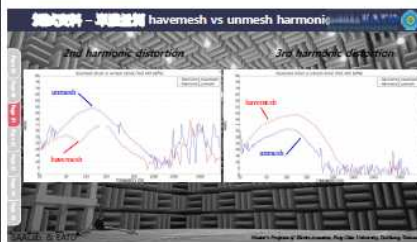
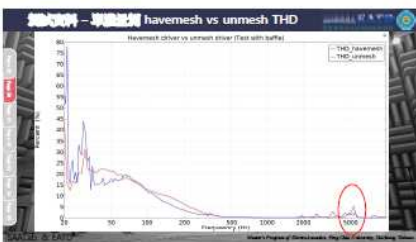
組件零件 - 正逆磁 / 靜電類

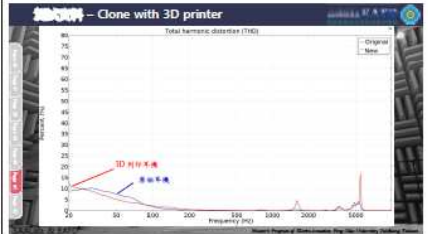
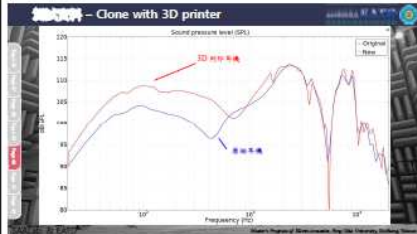
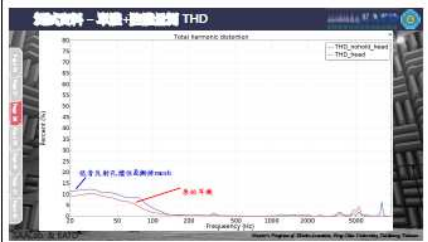
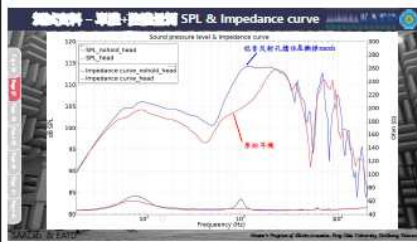




喇叭零件 - 單邊測試 havemesh vs unmesh TS

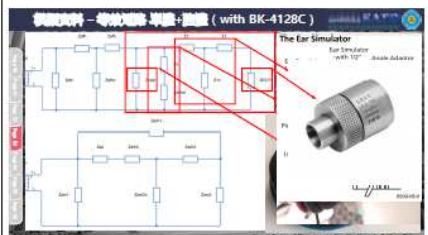
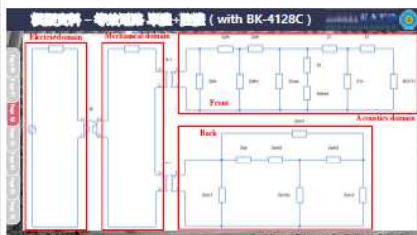
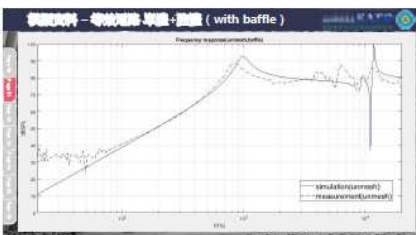
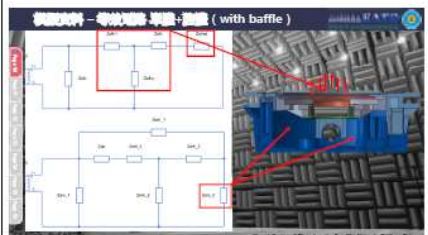
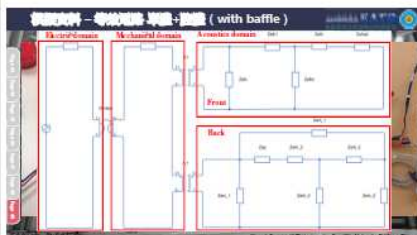
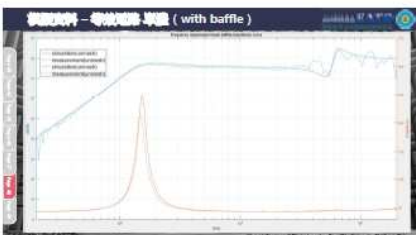
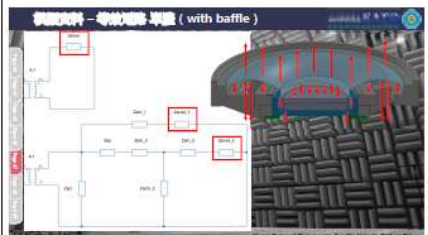
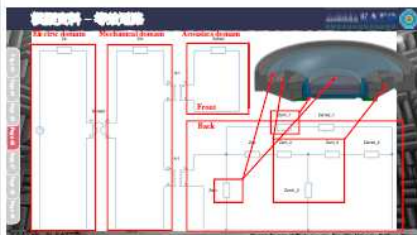
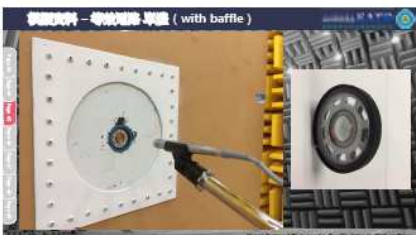
Parameter	Value	Unit
Impedance	8.0	Ω
Qms	0.25	
Qes	0.40	
Qts	0.68	
fs	30.68	Hz
fs20	19.0	Hz
fs30	14.0	Hz
fs40	11.0	Hz
fs50	9.0	Hz
fs60	8.0	Hz
fs70	7.5	Hz
fs80	7.2	Hz
fs90	7.0	Hz
fs100	6.8	Hz
fs110	6.6	Hz
fs120	6.5	Hz
fs130	6.4	Hz
fs140	6.3	Hz
fs150	6.2	Hz
fs160	6.1	Hz
fs170	6.0	Hz
fs180	5.9	Hz
fs190	5.8	Hz
fs200	5.7	Hz
fs210	5.6	Hz
fs220	5.5	Hz
fs230	5.4	Hz
fs240	5.3	Hz
fs250	5.2	Hz
fs260	5.1	Hz
fs270	5.0	Hz
fs280	4.9	Hz
fs290	4.8	Hz
fs300	4.7	Hz
fs310	4.6	Hz
fs320	4.5	Hz
fs330	4.4	Hz
fs340	4.3	Hz
fs350	4.2	Hz
fs360	4.1	Hz
fs370	4.0	Hz
fs380	3.9	Hz
fs390	3.8	Hz
fs400	3.7	Hz
fs410	3.6	Hz
fs420	3.5	Hz
fs430	3.4	Hz
fs440	3.3	Hz
fs450	3.2	Hz
fs460	3.1	Hz
fs470	3.0	Hz
fs480	2.9	Hz
fs490	2.8	Hz
fs500	2.7	Hz
fs510	2.6	Hz
fs520	2.5	Hz
fs530	2.4	Hz
fs540	2.3	Hz
fs550	2.2	Hz
fs560	2.1	Hz
fs570	2.0	Hz
fs580	1.9	Hz
fs590	1.8	Hz
fs600	1.7	Hz
fs610	1.6	Hz
fs620	1.5	Hz
fs630	1.4	Hz
fs640	1.3	Hz
fs650	1.2	Hz
fs660	1.1	Hz
fs670	1.0	Hz
fs680	0.9	Hz
fs690	0.8	Hz
fs700	0.7	Hz
fs710	0.6	Hz
fs720	0.5	Hz
fs730	0.4	Hz
fs740	0.3	Hz
fs750	0.2	Hz
fs760	0.1	Hz
fs770	0.1	Hz
fs780	0.1	Hz
fs790	0.1	Hz
fs800	0.1	Hz

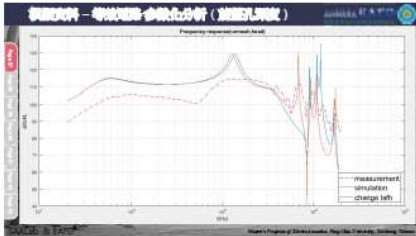
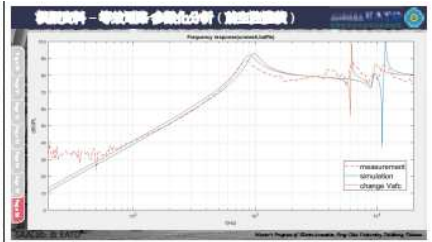
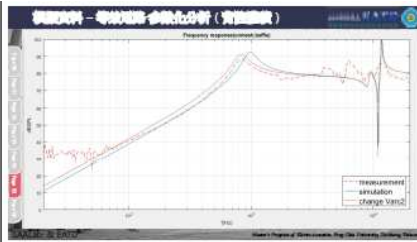
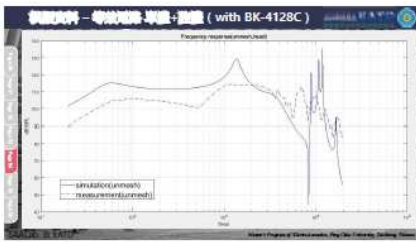




測試材料 - 耳模 - 油壓測試 TS參數

f_s	197.54 Hz
R_{ms}	8.45
L_{ms}	1.04
C_{ms}	0.80
S_d	0.51 cm ²
S_v	43.30 cm ³
f_0	0.09 mHz
R_e	338.5
L_e	0.05 mH
C_e	0.000
R_{sp}	0.00 N/m
L_{sp}	13.88 mm/N
M_{sp}	0.00 g
V_{sp}	0.00
R_{sp}	1.40 T/s
η	66.89 %





電學 & 測研

● 聆聽是人類生活的一部分，它也是我們的中心，它具體是那些不可缺少的產品，由轉音的聲響，我們也發現多種響應……

- 準確度多
- 準確度少
- 數式及內置

電學 & 測研 - SWOT分析

電學 & 測研 - 音響組合-4P

電學 & 測研 - 音響技術

電學 & 測研 - 最新行機組

2019最新力作

使用威力場演繹

總結

● 聆聽是人類生活的一部分，它也是我們的中心，它具體是那些不可缺少的產品，由轉音的聲響，我們也發現多種響應……

● 準確度多

● 準確度少

● 數式及內置

Thank You For Your Attention

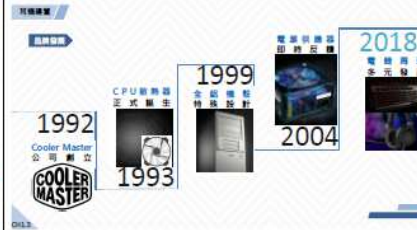
SAALab & EATD

Team#3



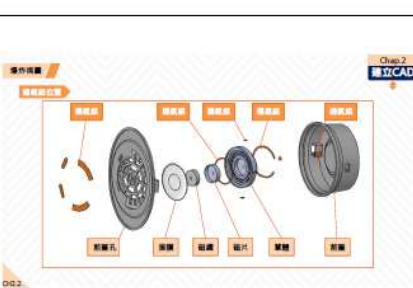
目錄 CONTENT

1. 流程方法 完整步驟摘要
 1. 需求分析
 2. 拆解與裝
 3. 3D掃描
 4. 仿真的製作
2. 本體建置 本體的製作業
 1. 需求分析
 2. 拆解與裝
 3. 3D掃描
 4. 仿真的製作
3. 實體仿造 仿真的製作業
 1. 3D掃描
 2. 3D打印
 3. 3D打印
 4. 3D打印
4. 檢驗與測試 檢驗與測試
 1. 需求分析
 2. 拆解與裝
 3. 3D掃描
 4. 仿真的製作



耳罩式耳機的種類

品牌	型號	重量
Cooler Master	MH751	55g
Audio Technica	ATH-M50x	50g
Sennheiser	HD 598	30g
Sennheiser	HD 599	30g



Chap.2 列印控制



振膜安裝
磁石裝配
彈簧電路
外觀組裝

Chap.2 列印控制



振膜安裝
外觀組裝
彈簧電路
最終檢查


3 PART THREE

實驗量測

單體與耳機實驗量測

- 3.1 量測器材
- 3.2 耳機量測
- 3.3 單體量測
- 3.4 外殼量測

量測器材



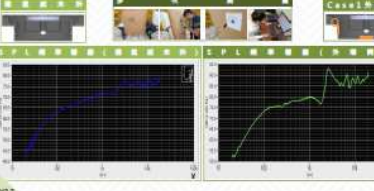
Headset M10 P.1
B&K HATS (Type P.3)
Amplifier (27.4.4.2)
SoundCheck
Anechoic chamber

耳機量測



SPL 頻率響應 (左耳) 右耳
SPL 頻率響應 (左耳) 右耳
SPL 頻率響應 (左耳) 右耳

單體量測



SPL 頻率響應 (左耳) 右耳
SPL 頻率響應 (左耳) 右耳

單體量測



SPL 頻率響應 (左耳) 右耳
SPL 頻率響應 (左耳) 右耳

外殼量測



SoundCheck
Anechoic chamber

外殼量測



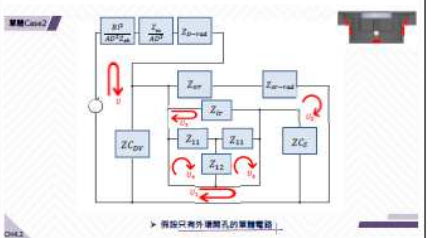
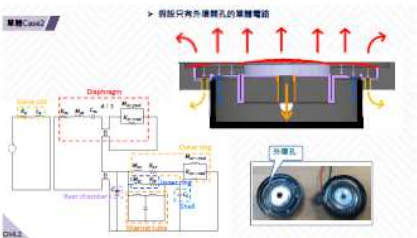
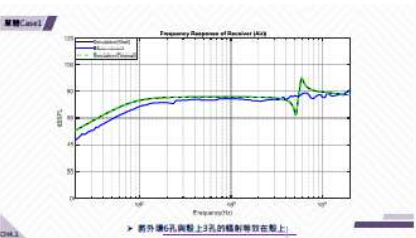
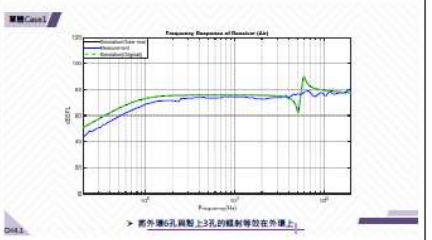
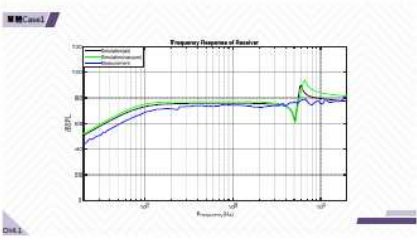
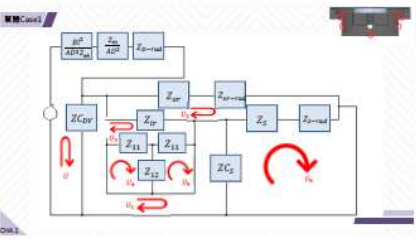
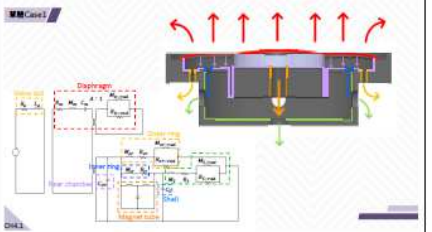
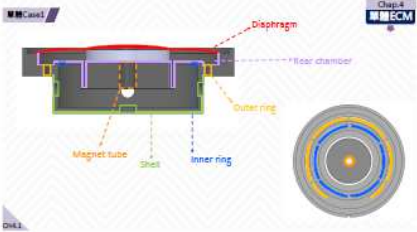
SoundCheck
Anechoic chamber

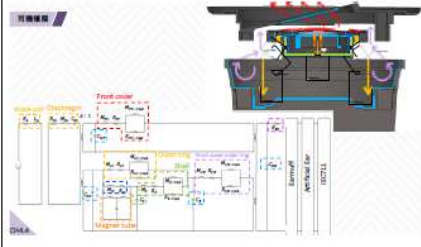
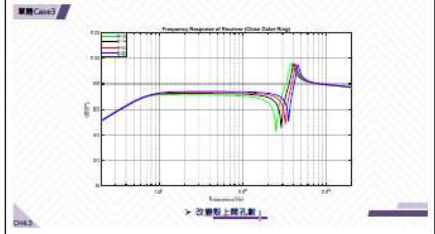
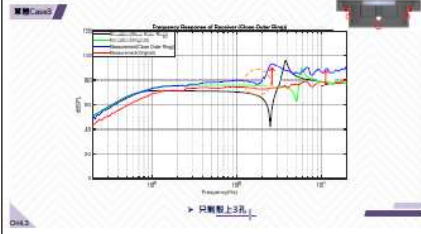
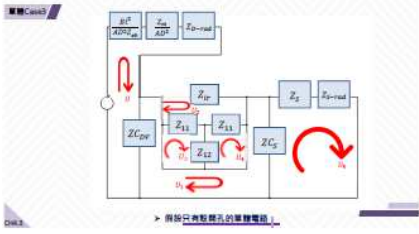
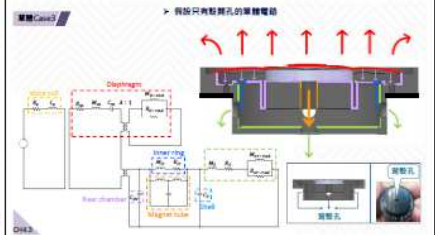
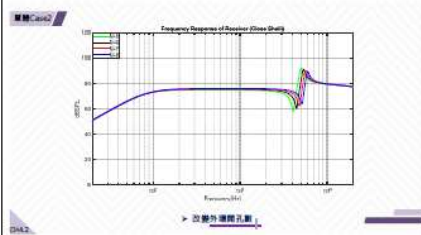
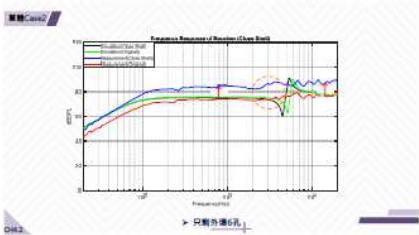
4 PART FOUR

模擬實測

單體及耳機等效電路

- 4.1 單體 Case1
- 4.2 單體 Case2
- 4.3 單體 Case3
- 4.4 耳機量測





Case9

1 電路

電路參數

Z_{in}	容性
Z_{out}	感性
Z_{11}	$3.7528 \times 10^4 \Omega \times \tan(2.6239 \times 10^{-3} \times \omega)$
Z_{12}	$2.7468 \times 10^4 \Omega \times \tan(2.6239 \times 10^{-3} \times \omega)$
感值	0.017
容值	$1.587666 \times 10^{-7} \text{mF}$
電阻	$1.8 \times 10^{-3} \Omega$

可選電路

Case10

人工耳電路

R_{11}	R_{12}	R_{13}	R_{14}
C_{11}	C_{12}	C_{13}	C_{14}

電路參數

R_{in}	10000000
R_{out}	$3.9898 \times 10^4 \Omega \times \tan(2.6239 \times 10^{-3} \times \omega)$
R_{11}	$3.9898 \times 10^4 \Omega \times \tan(2.6239 \times 10^{-3} \times \omega)$
R_{12}	$3.9898 \times 10^4 \Omega \times \tan(2.6239 \times 10^{-3} \times \omega)$
R_{13}	$3.9898 \times 10^4 \Omega \times \tan(2.6239 \times 10^{-3} \times \omega)$
R_{14}	$3.9898 \times 10^4 \Omega \times \tan(2.6239 \times 10^{-3} \times \omega)$

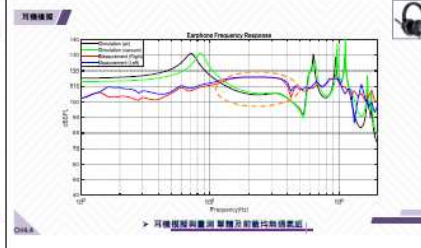
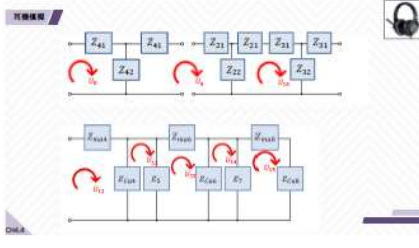
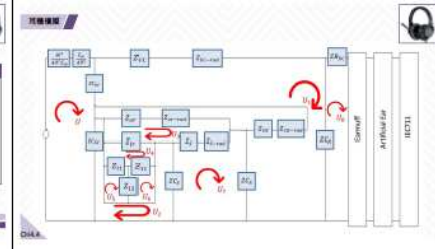
Case11

IEC 711

R_{in}	R_{out}	R_{11}	R_{12}	R_{13}	R_{14}
C_{in}	C_{out}	C_{11}	C_{12}	C_{13}	C_{14}

參數

R_{in}	10000000
R_{out}	$3.9898 \times 10^4 \Omega \times \tan(2.6239 \times 10^{-3} \times \omega)$
R_{11}	$3.9898 \times 10^4 \Omega \times \tan(2.6239 \times 10^{-3} \times \omega)$
R_{12}	$3.9898 \times 10^4 \Omega \times \tan(2.6239 \times 10^{-3} \times \omega)$
R_{13}	$3.9898 \times 10^4 \Omega \times \tan(2.6239 \times 10^{-3} \times \omega)$
R_{14}	$3.9898 \times 10^4 \Omega \times \tan(2.6239 \times 10^{-3} \times \omega)$

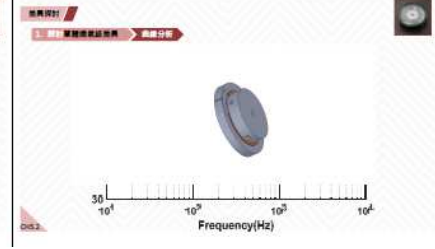
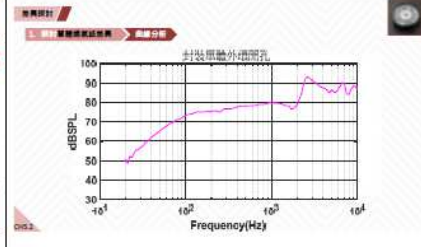
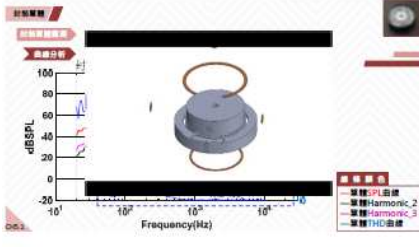


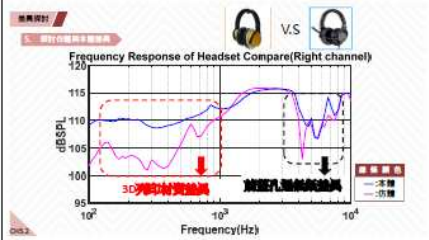
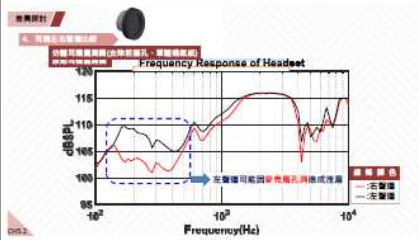
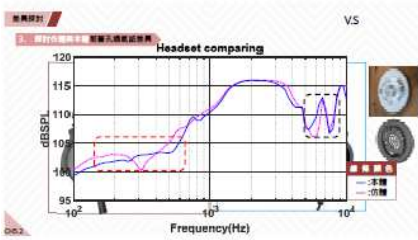
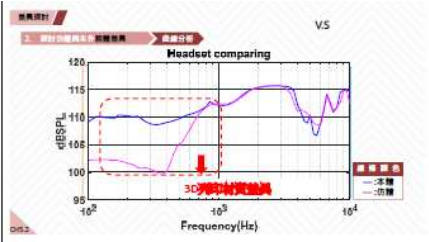
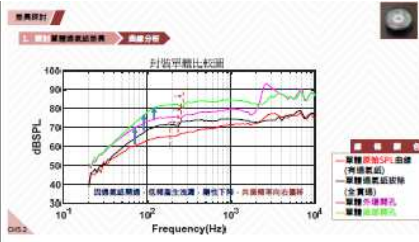
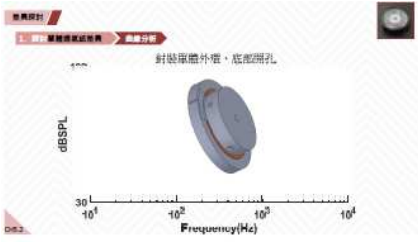
5 PART FIVE

結果探討

單體、本體及仿線模擬曲線

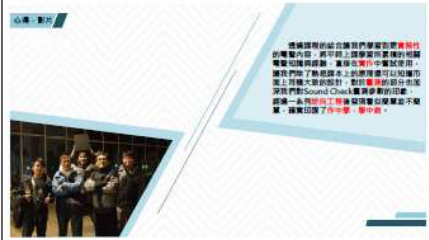
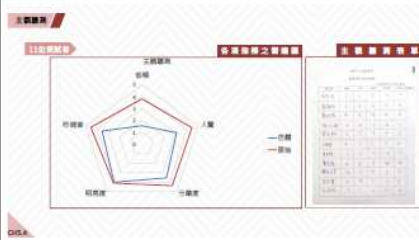
- S1. 仿線模擬
- S2. 本體設計
- S3. 單體設計
- S4. 量測結果





經典設計 / Chip 5 經典設計

改善	改善項目	改善優化
喇叭體積		在1kHz前有拖尾的產生，因材質不同，排列由右側穿孔向後成。
喇叭孔位		在200-400Hz時下降，對高頻影響較大。
喇叭體積		700-1kHz有明顯提升，因喇叭孔位引導大於外殼孔位，高頻聲場變小。



2019

電聲碩士學位學程

Thanks for listening.

感謝您的聆聽

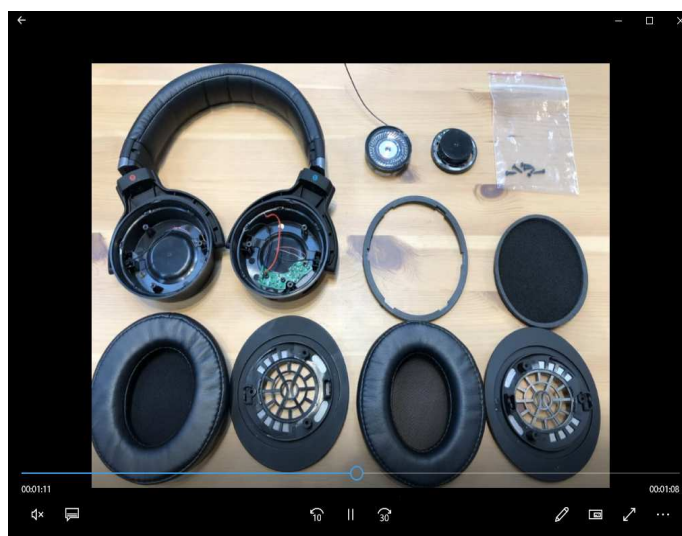
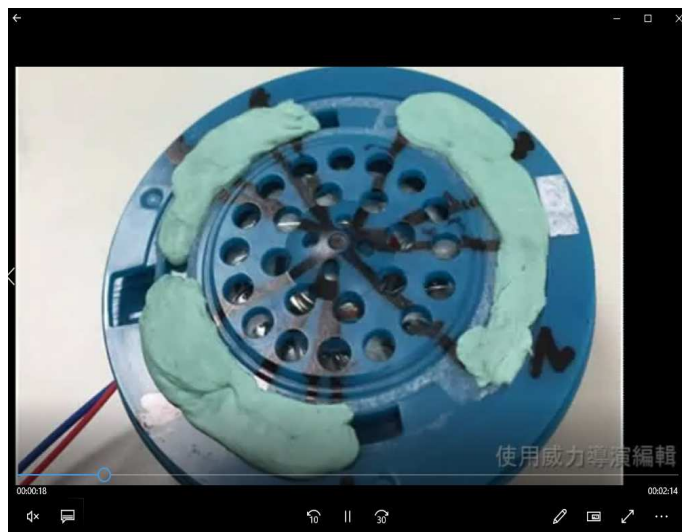
國立交通大學 電聲學系

系主任 謝國祥

主任 謝國祥

成果影片

<https://www.facebook.com/FCUMPEA/?ref=bookmarks>



2019 國際電聲論壇



EATD

2019 國際電聲技術論壇

聲音在生活中扮演著極其重要的角色，
日常生活中再平凡不過的聲音，
卻必須透過許多複雜的電聲元件才能了解其玄妙，
惟人耳所聽不到的聲音更是關鍵。

聲音與空間的對話

Dialogue Between Voice and Space

IEATD Taiwan 2019 國際電聲技術論壇，
將引領您邁入電聲技術的新領域。

主辦單位
電聲博士學位課程
www.ieatd.org

協辦單位
FCU GLORIA
光華大學聲光學系



EATD

國際電聲技術論壇國際聯盟

時間	主題	主講人
08 : 40~09 : 00	報到	
09 : 00~09 : 10	電聲產業現況剖析	逢甲大學 終身榮譽特聘教授 黃錦煌教授
09 : 10~10 : 00	深度學習於音訊分離之應用 Deep Learning for Audio Signal Separation	國立交通大學 電機工程學系 簡仁宗教授
10 : 00~10 : 10	休息茶點	
10 : 10~11 : 00	VIAIDrum 空氣鼓技術發表	樂波智能有限公司 黃興真總監
11 : 00~12 : 00	理性與感性·聽感與儀測之間·該當如何評論聲音	翻面映畫有限公司 林家樑總監
12 : 00~13 : 00	美味午餐&會員交流	
13 : 10~14 : 10	與空間對話-三度空間聲場的實現	台灣聲研音響有限公司 丁泊淳總監
14 : 10~15 : 00	電聲產業趨勢下·麥克風技術的展望	美律實業股份有限公司 張朝森經理
15 : 00~15 : 20	休息茶點	
15 : 20~16 : 10	電聲元件電腦數值模擬與COMSOL Multiphysics 軟體	皮托科技股份有限公司 楊棟焜 處長
16 : 10~16 : 30	綜合座談&技術諮詢晤談	劉育成教授/ 各主講人
16 : 30	研討會結束	





107 學年度基礎聲學報告

DENON DJ



DENON DN-HP700 耳罩式耳機製作

組員：

陳功貴 M0706554

陳泓瑋 M0705791

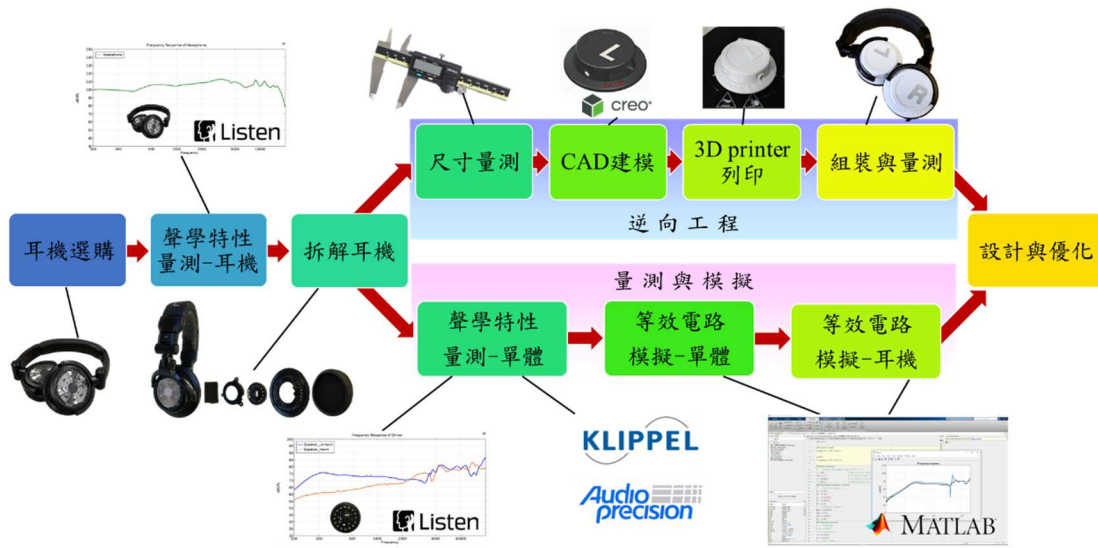
李聖果 M0717283

目錄

1. 緣起與目的	P.1
2. 耳罩式耳機品牌介紹	P.2
3. 選定 DN-HP700 耳罩式耳機之特色	P.3
4. 組成元件	P.3
5. 測試資料	P.4
6. 模擬資料	P.6
7. 逆向工程	P.8
8. 結論	P.12
9. 課程心得	P.13

一、緣起與目的

有於市售大廠牌耳機通常價位較高，而價位包含了聲學、機構及材料，因此我們針對這款 DENON 的 DJ 用耳機，進行聲學特性的量測，透過分析其幾何設計，找出其結構與聲學特性的相對關係，希望能從中學習仿效，並在有限的預算內能設計出一樣優質的耳機。



圖(一) 實 流程圖

二、耳罩式耳機品牌介紹

Denon 來自於 1910 年創立的《日本哥倫比亞株式會社》，是一間日本錄音器材公司，生產配備酒杯形揚聲器的錄音機，1927 年與《哥倫比亞唱片公司》進行資金融合，新公司正式成立，並命名為《日本哥倫比亞錄音器材公司》，當時 DENON 由一群工程師組成，他們的工作是要研製錄音器材作商業用途。當年為日本放送協會(NHK) 及其他廣播電台發展和製造唱盤及卡式錄音機，推出第一個供廣播業界用的專業錄音機和唱片切割車床。

1946 年公司再度易名，改名為《日本哥倫比亞株式會社》，1947 年公司和《Japan Denki Onkyo》合併，更名為 DENON，這個品牌名稱便是由 Denki 和 Onkyo 而來並發展為母公司下的其中一間子公司。

三、 選定 DN-HP700 耳罩式耳機之特色

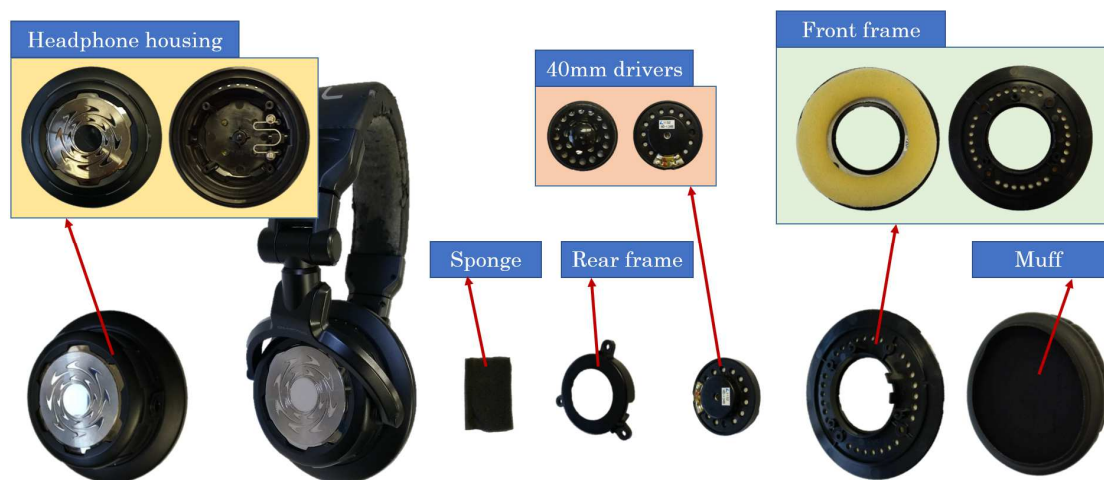
這款耳機主打的是，依照專業 DJ 需求量身訂做的監 耳機，因此它的頻率 應平坦、失真較低，方便我們日後做優化分析，加上耳罩的外型是採用勝元的造型，方便我們逆向工程的建模，以及後的優化。



(圖二) DN-HP700

四、 組成元件

耳機主要分為耳機腔 、耳墊、上蓋、單 、固定支架及腔 內的吸音棉。



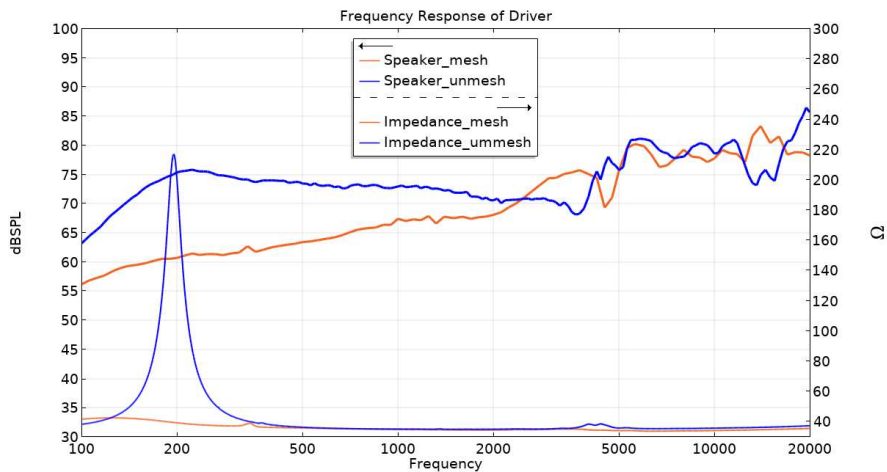
(圖三) 耳機零件組成圖

五、 測試資料

測試時使用逢甲大學中科校區的 SoundCheck 系統進行量測，主要測項有頻率 應、 諧波失真、二次諧波、三次諧波和阻抗曲線；另外也使用了 AP 系統以及真空 量測 T-S 參數。

測試數據如下：

5.1 單 (Mesh & Unmesh) SPL & Impedance Curve



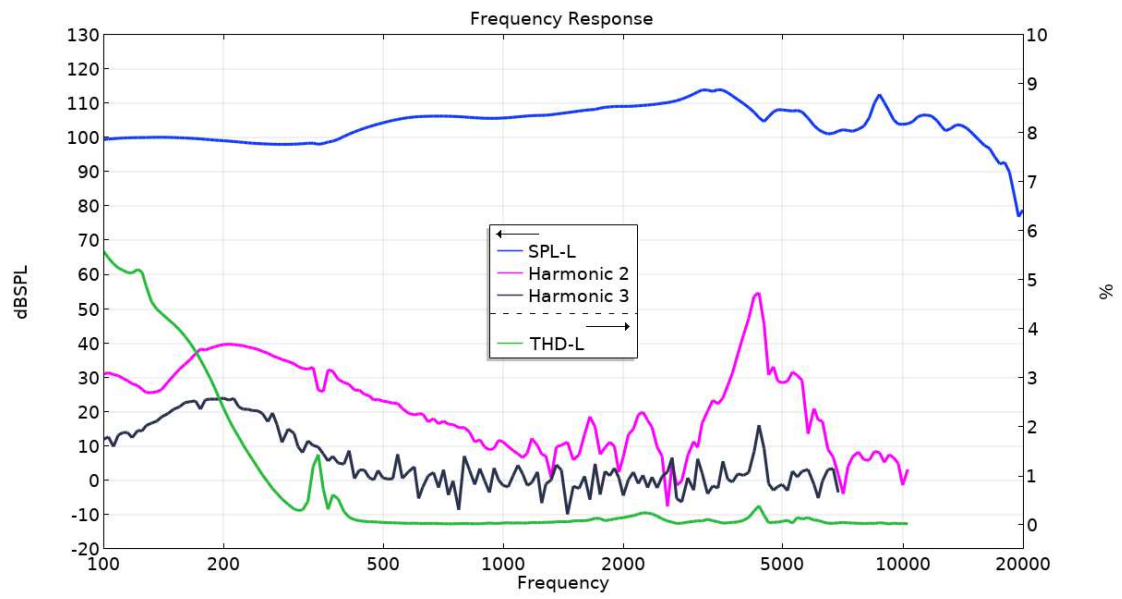
(圖四) 頻率 應曲線

5.2 單 真空中 T/S 參數

	Audio Precision	KILPEL	
<i>Electrical Parameters</i>			
<i>Re</i>	33.79	33.42	Ohm
<i>Le</i>	0.05	0.1115	mH
<i>R2</i>	1.99	1.12	Ohm
<i>L2</i>	0.03	0.016	mH
<i>fs</i>	262.19	259.5	Hz
<i>Mechanical Parameters</i>			
<i>Mms</i>	0.05	0.056	g
<i>Rms</i>	0.00	0.007	kg/s
<i>Cms</i>	6.80	6.652	mm/N
<i>Bl</i>	1.58	1.645	N/A
<i>Loss factors</i>			
<i>Qms</i>	20.47	13.197	-
<i>Qes</i>	1.20	1.1385	-
<i>Qts</i>	1.13	1.048	-

(圖五) T-S 參數

5.3 耳機在人工頭上量測的 SPL、Harmonic & THD

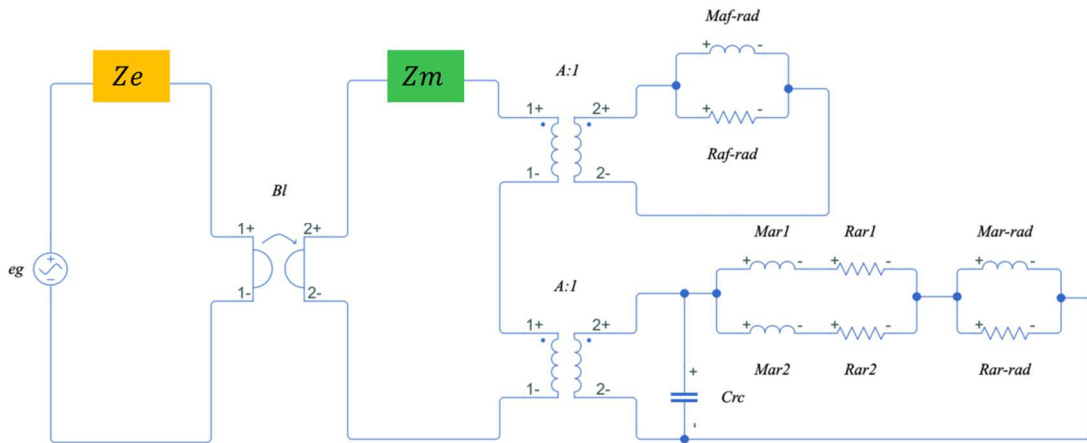


(圖六) 頻率 應與 諧波失真

六、 模擬資料

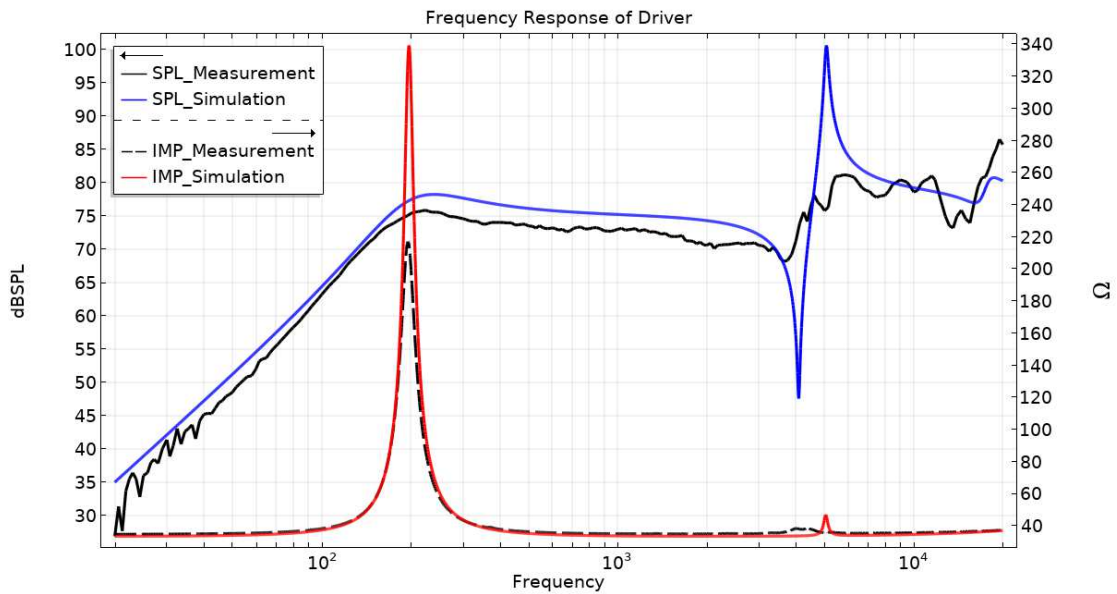
首先進行單 的模擬，由於構造與模型相對 單，結合上課所學能輕易模擬出與量測相近的 勢。

6.1 單 等效電路



(圖七) 等效電路模型

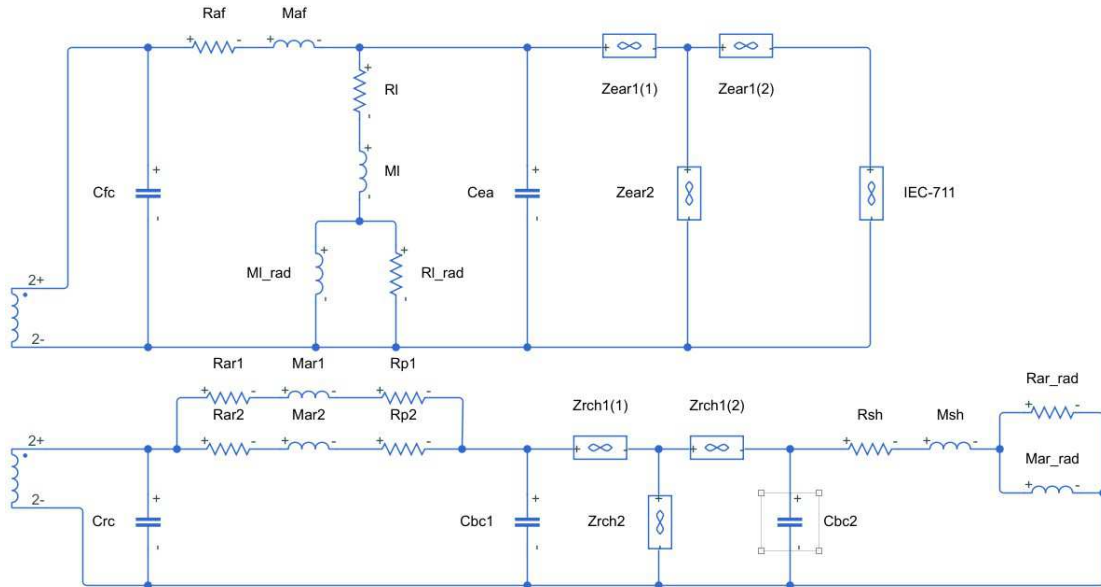
6.1.2 Matlab 等效電路模擬與量測比對



(圖八) 模擬與量測曲線對照

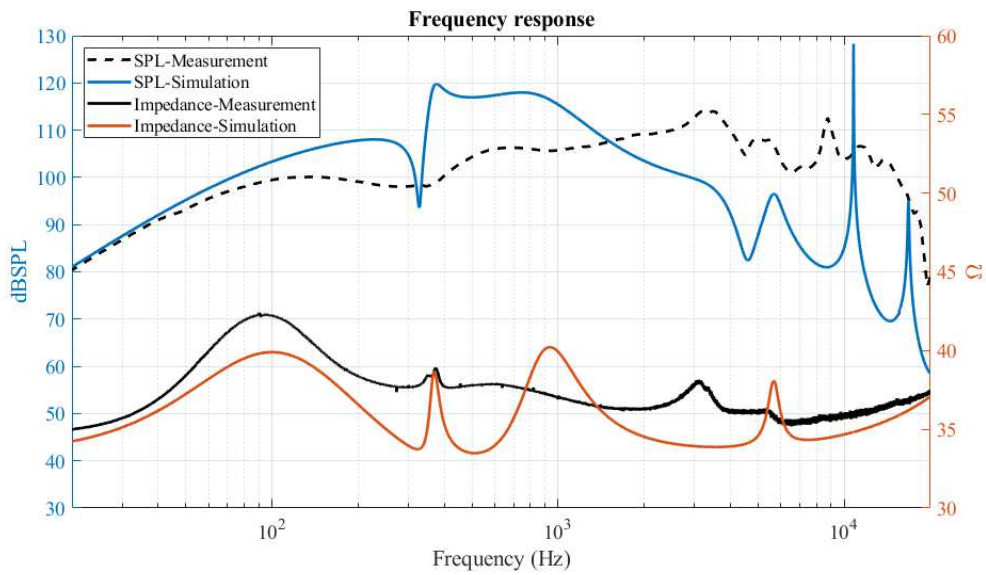
單 模擬準確之後，再帶入後腔、前蓋、人工耳的相 幾何和參
數，模擬耳機於人工頭上的量測狀況。

6.2 耳機在人工頭上量測的 學端等效電路



(圖九) 等效電路模型

6.2.1 Matlab 等效電路模擬與量測比對

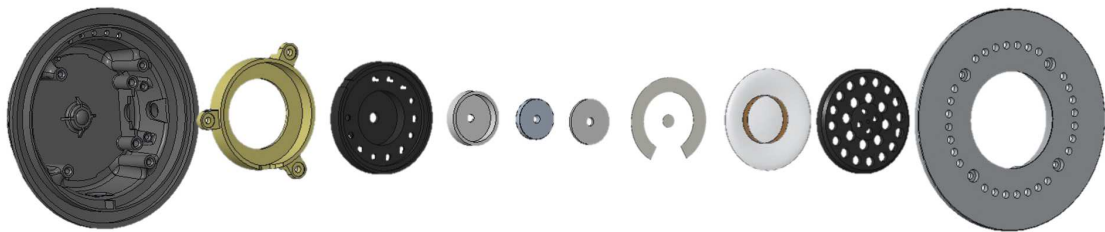


(圖十) 模擬與量測曲線對照

七、 逆向工程

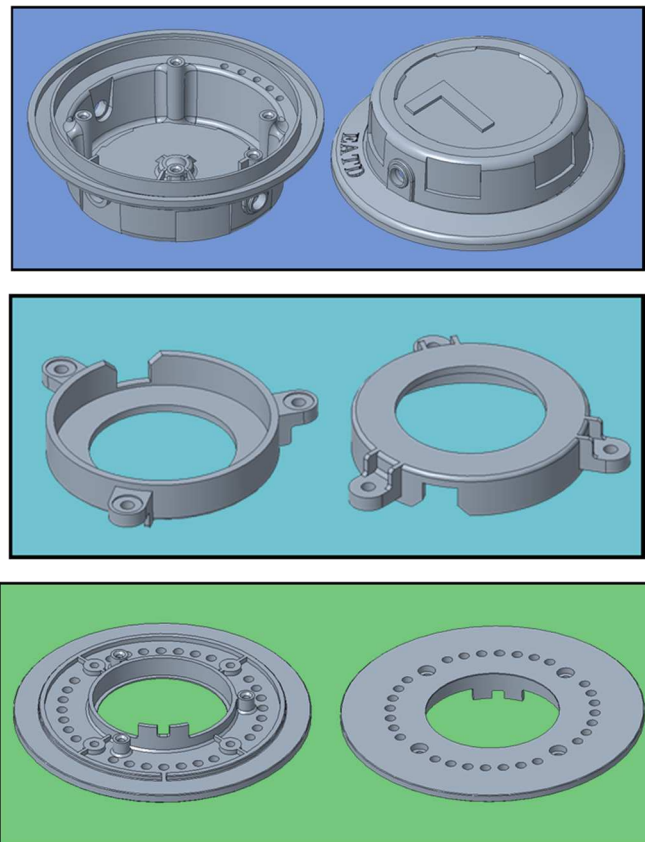
將耳機各部件拆解之後，透過游標卡尺量測，多次列印與比對之後，取得正確的幾何尺寸。再透過 3D printer 列印，比對容積及公差之後進行組裝與量測。

7.1 耳機各部件幾何



(圖十一) 組成元件 CAD 炸圖

7.2 列印部件等角視圖



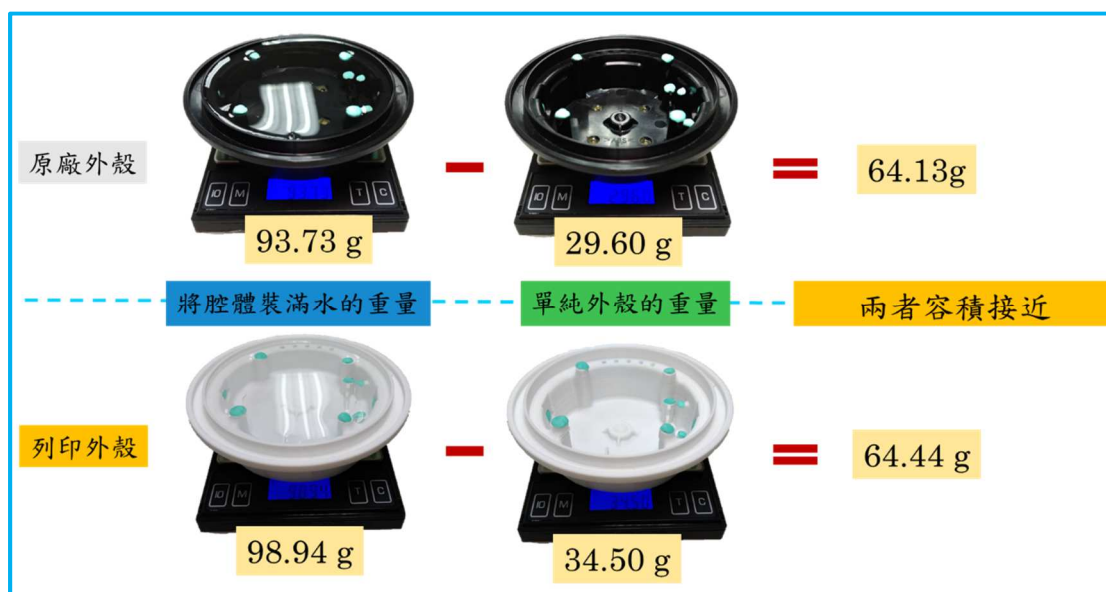
(圖十二) 列印部件(上：耳機腔、中：固定支架、下：上蓋)

7.3 列印紀錄

	列印次數	4
	列印時間	2hr 8min
	用料重量	17 g
	列印次數	4
	列印時間	5hr 21min
	用料重量	53 g
	列印次數	6
	列印時間	29min
	用料重量	3 g

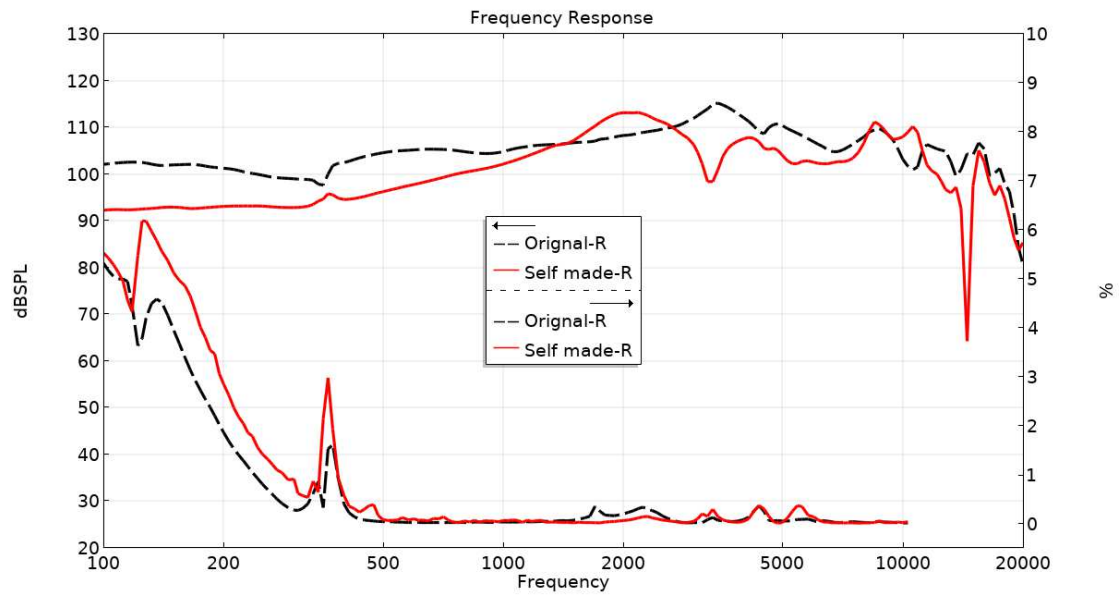
(圖十二) 列印部件(上：耳機腔、中：固定支架、下：上蓋)

7.4 背腔容積比對



(圖十三) 排水容積法量測

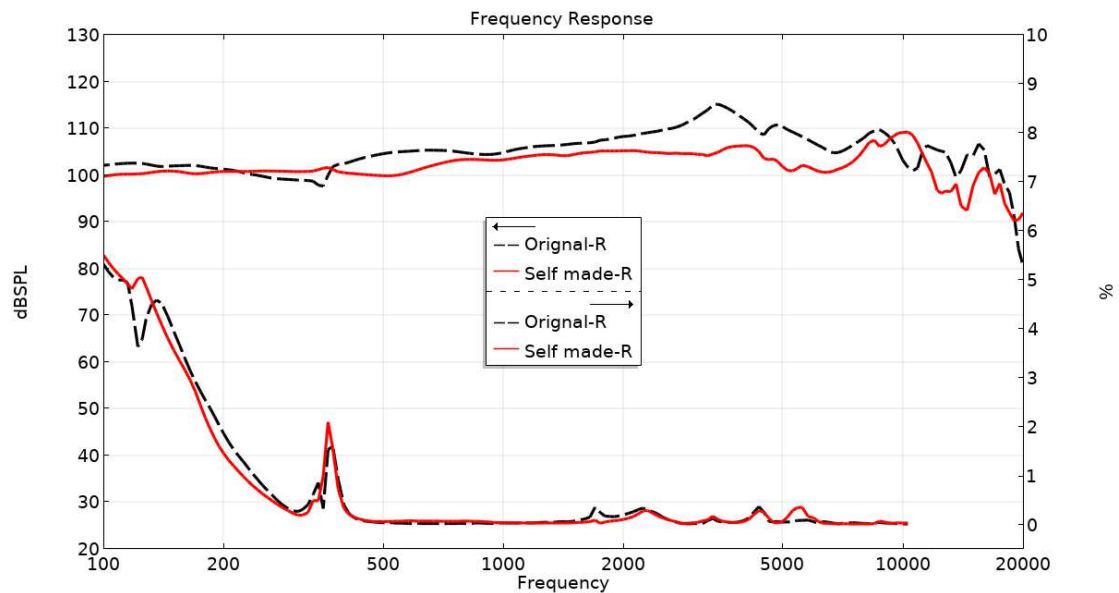
7.5 原廠耳機與逆向工程耳機 SPL 比較(逆向工程無前蓋 Mesh)



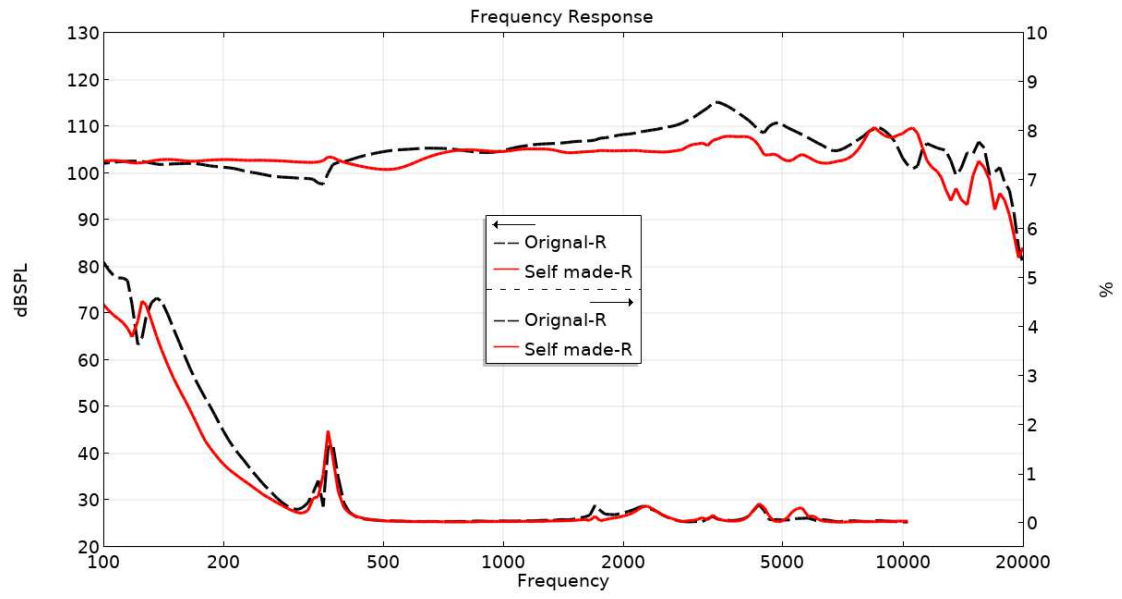
(圖十四) 頻 與失真比較

7.5.1 逆向工程耳機前蓋 貼透氣膠帶，模仿原廠設計。

(貼一層透氣膠帶)



(貼兩層透氣膠帶)



(圖十五) 貼膠帶特性比較

八、結論

■ 量測

- Impedance Curve 與 THD 有相對應的關係。
- Audio Precision 的增加質量法和 KLIPPEL 的雷射，量測 T/S 參數差異不大，但 KLIPPEL 的精度較高。
- 吸音棉、Mesh 對於 SPL、Impedance 和 THD，皆有平滑化的效果。

■ 模擬

- 等效電路無法考慮配戴時的耳反射及配戴角度。
- 實際的幾何結構十分複雜並非理想的幾何，都可能對學特性產生影響，是等效電路法無法準確模擬的地方。
- 實際量測時在配戴及零件接合處可能有洩漏產生，其值無法準確取得。
- 耳機各處的海綿、通氣紙的參數無法取得。

■ 逆向工程

- 透氣膠帶可以代替 Mesh，在學特性上有相似效果。

九、課程心得

李聖果：這次的課程心得 結--收益良多，電 換能器的等效電路， 我能從過去學習電學的角度，去理解機械端及 學端的物理特性，再加上實際的耳機實作，將實際在市面上的產品，拿來分析、模擬、逆向工程， 我們能夠在課程理論中，向外學習，與將來的工作銜接上，能夠更加的有信心。

陳泓 ；這次課程是一個很棒的經 ，除了將這學期所學到的等效電路以及 學的知 加以活用，也在準備報告的過程中對於量測、判 及整理資料和彙整想法更加熟悉，很感 老師們這學期得教導，也給我們這麼棒的資源可以動手實作，比起單純學習書本中的理論，親自嘗試過更是收 滿滿。

陳功貴：學習內容與實作結合，透過上課所學累積知 與實務經 ，理論與經 相互 ，加上與同學們的討論激 ，順利完成這個報告，獲益良多。

107 學年度基礎聲學報告



組員：

李 謙 M0629977

葉治浩 M0707053

林彥均 M0705477

陳智安 M0721113

目錄

一、	緣起	3
二、	目的	3
三、	頭單式耳機品牌介紹	4
	1. 品牌歷史	4
	2. 經典款項	5
	3. 優點及選擇此品牌原因	8
四、	選定 XX 型號頭單式耳機之特色	10
	選用原因與特色:	11
五、	組成元件	11
	ATH-AR1 規格表:	12
	(1) 單體之 TS 參數:	12
	(2) 部件尺寸:	13
	元件工程圖:	15
	(1) 三視圖:	15
	(2) 剖面圖、爆炸圖:	17
六、	測試資料	20
	1、單體 TS 參數:	20
	2、SPL、IMP、THD 曲線	21
	(2)單體加上腔體(with baffle)	24
	(3)單體加上腔體(with BK-4128C)	27
七、	模擬資料	28
	1. 單體(with baffle)	28
	2. 單體加上腔體(with baffle)	29
	3. 單體加上腔體(with BK-4128C)	30
八、	逆向工程	31
	1. 機構	31
	(1)部件圖:	31
	(2)組立圖:	33
	(3)實體圖:	34
九、	結論	35

一、緣起

在電聲學課程裡，我們不僅有專業的理论課程，也包含了豐富的實作及量測課程。而本次課程便是由我們各組自行選擇一款市面上的耳機，進行拆解、分析，並研究如何透過機構改善去提升其性能，讓我們在專業理論課程外，也能多一些接觸到實際產品製作、設計的機會，使我們更加接近實際產業。

二、目的

- 1、藉由自己動手拆卸與重新設計，能夠更加認識耳機內部的構造。
- 2、能夠在拆卸與重新設計過程中活用上課學到的相關知識，累積實務經驗。
- 3、經過重新設計後，能使耳機的性能有所提升，並達到預期優化的目的。

而為了達成以上目的，我們粗略分成 4 個步驟：

STEP1 挑選耳機：

由所有組員共同選擇出，同時符合單體尺寸及預算要求。

STEP2 構造拆解：

拆解耳機得到腔體幾何結構並分析，同時建立其構造圖。

STEP3 腔體克隆: 利用 3D Printer 仿製出相同腔體，並以此為基礎進行量測。

STEP4 分析及重新設計:

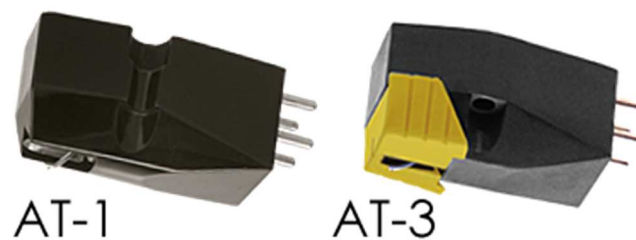
進一步對腔體進行構造優化，並分析不同改變帶來的聲學特性。

三、 頭罩式耳機品牌介紹

耳機品牌: Audio-Technica 鐵三角

1. 品牌歷史

於 1962 年以黑膠唱頭起家，並於 1967 年推出自行研發的 VM 系列唱頭，其中 VM 唱頭不同於當時傳統的電磁式唱頭，有兩組電磁迴路，能呈現更好的分離度，恰巧與當時黑膠唱片正從單聲道轉變為立體聲道，使得鐵三角知名度大增。



圖、鐵三角生產之黑膠唱頭

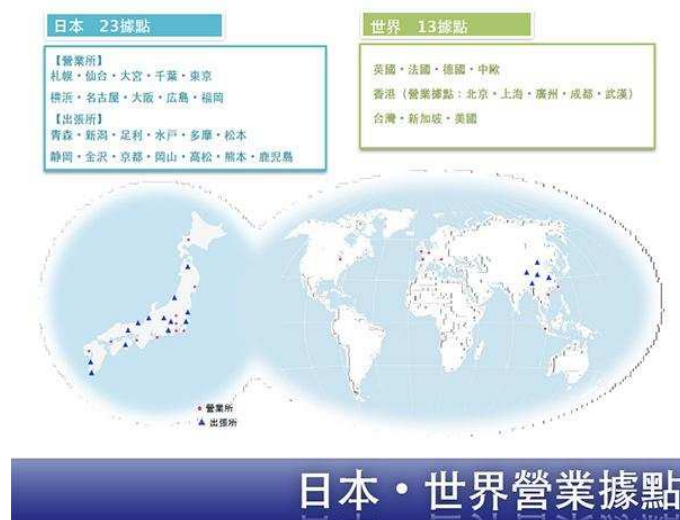
在黑膠唱頭打響知名度後，於 1974 年藉著唱頭打響的知名度以及通路，順勢推出第一款耳罩 AT-700，開創新的銷售市場。但於 1982 年後，CD 唱片逐漸普及，類比器材的銷售量也逐年下降，因此除了電聲產業，鐵三角也開創了不同領域的產品線，例如:

自動壽司機。



圖、左:AT-700、右:鐵三角自動壽司機

而於 1993 鐵三角廢止了股票買賣以及業外投資，藉著財務改革，鐵三角也於 1997 年 3 月份清償了所有借款，營業利潤也提升了 5%，而如今鐵三角在日本有 23 個據點，在全世界則有 13 個據點。



圖、鐵三角銷售據點

2. 經典款項

(1) ATH-W 系列:

特點為木殼作為後腔材質，音色溫潤，低頻表現出色，也是現役旗艦機種尚未換版本的型號。(W5000 為 2005/12/02 發售)

關鍵技術：波門杜爾鐵鈷合金磁氣回路、OFC 8N 材質捲繞式音圈。



圖、ATH-W5000

(2)ATH-A 系列:

與 W 系列相同，為鐵三角多年旗艦耳罩中的熱門款式，外殼則使用金屬，依價格有鎂合金到鈦金屬等設計，音色在中高頻表現出色，但低頻力道及深度尚待改善。

關鍵技術：雙重空氣阻尼結構機殼、鎂合金製障板、3D 翼狀頭墊構造。



圖、ATH-A2000Z

(3)ATH-ADX 系列:

鐵三角產品中少見的開放式設計，在聲音的表現上，以廣闊的音場凸顯與 W、A 系列兩者的不同，而售價也是除了紀念款 L 系列，全產品中最高的。

關鍵技術: 波門杜爾鐵鈷合金磁氣回路、高硬度鍍鎢振膜、特殊蜂巢型沖孔機殼、與障版一體成型的單體。



圖、ATH-ADX5000

(4)ATH-ESW 系列:

唯一鐵三角生產的高階貼耳式耳罩系列，聲音表現上與 W 系列有所相似，但其中特別凸顯中頻部分，為一調性相當特殊的產品。

關鍵技術:A2DC 端子、一體成形切削外殼



圖、ESW990H

(5)ATH-MSR 系列:

鐵三角中高階的革新耳罩，價格較傳統耳罩式低廉，攜帶上也輕便許多，而聲音表現上有著高解析並不失鐵家特色的音韻，此產品也是鐵三角改變其銷售方針的里程碑。

關鍵技術：雙層空氣控制技術、PCB 板抑制失真、磁鐵部分開孔設計。



圖、MSR7SE

3. 優點及選擇此品牌原因

(1)多樣性以及經典性:

鐵三角在這十幾年來，對於多樣變化的市場，一直都有推出讓消費者滿意的產品，如去年推出的無線耳機、攜帶方便又不

失音韻的 MSR 系列，但在公司的經典產品上，也絲毫不馬虎，以最新的技術翻新舊的經典產品，帶給死忠粉絲各式各樣的驚喜。

(2)獨特的調音:

鐵三角一直以來在耳機調音的部分非常講究，並且在各種不同的型號間，都有其特別的調音，個系列間都有其愛好者，而其中凸顯中高頻的調音是鐵三角最為出色的，雖然早期常因過度強調中高頻，使得產品僅能適用於少數樂風。

而在近幾年新技術的引進下，如應用於 CKR 系列的相推式動圈結構，或是應用於 A 系列的雙層空氣阻尼結構，都大大的降低低頻的缺陷，使的鐵三角的聲音，每年都在不斷的進步。

基於以上原因，我們選擇此品牌作為本組專題耳機。

四、 選定 XX 型號頭罩式耳機之特色

本組選定 ATH-AR1 耳機進行研究:



圖、ATH-AR1

規格:

ATH-AR1 售價: \$1,600
便攜型耳罩式耳機

輕量&小型化仍具備強而有力音效

- 新設計的 $\varnothing 40\text{mm}$ 驅動單元，提供清澈的中高頻，以及強而有力的低頻。

並採取能夠抑制失真的頂部安裝PCB方式，使振膜順暢運動，得以抑制失真，提供高音質表現。

- 可摺疊的設計，輕鬆攜帶。
- 輕量化設計，長時間佩戴也不感壓力。
- 輕便小巧的耳上式小耳罩設計。

Technical Data

耳機

■ 型式	密閉式動圈型
■ 驅動單元	$\varnothing 40\text{mm}$
■ 輸出感度	103dB/mW
■ 頻率響應	5 ~ 30,000Hz
■ 最大承受功率	1,000mW
■ 輸入阻抗	47 Ω
■ 輸入端子	$\varnothing 3.5\text{mm}$ 鍍金立體聲迷你插頭/L型
	1.2m
■ 導線長度	1.2m
■ 重量	約110g

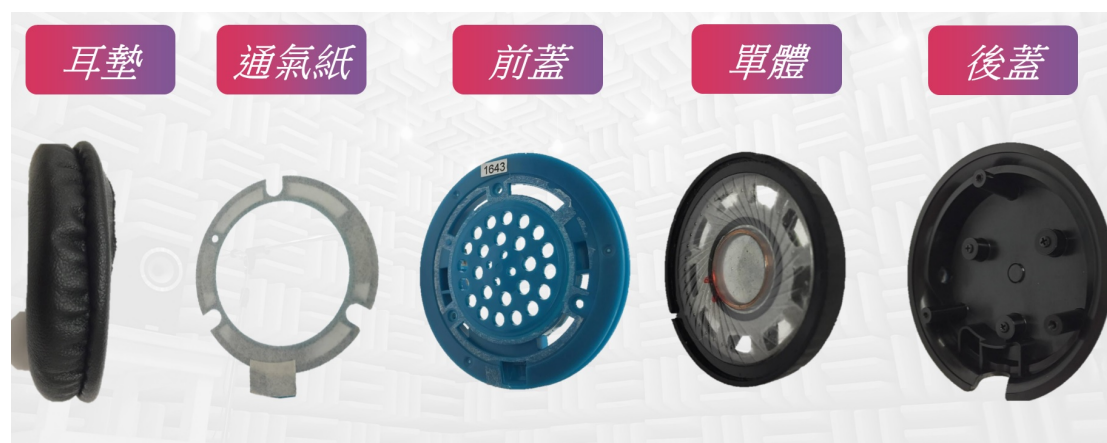
圖、耳機規格(來自於官網)

選用原因與特色:

- (1) 容易進行拆解的密閉式動圈耳機，且驅動單元之尺寸滿足選擇規範。
- (2) 在單體頂部加裝 PCB 板以及頭戴可折疊式設計，提供了輕便性以及高音質的優勢。
- (3) 經各組員聆聽測試各考慮耳機後，一致認為此耳機之音質以及聲音表現符合本組目標，並且在價格部分，也十分經濟實惠，是個高 C/P 值的選擇。

五、 組成元件

ATH-AR1 組成元件:



圖、組成元件



圖、單體組成元

ATH-AR1 規格表:

(1) 單體之 TS 參數:

Parameter	Value	Lower Limit	Upper Limit
F_s	197.54 Hz	----	----
Q_{MS}	8.45	----	----
Q_{ES}	1.04	----	----
Q_{TS}	0.93	----	----
S_D	5.54 cm ²	----	----
R_E	43.39 Ω	----	----
L_E	0.09 mH	----	----
R_z	3.92 Ω	----	----
L_z	0.05 mH	----	----
K_{rm}	----	----	----
E_{rm}	----	----	----
K_{xm}	----	----	----
E_{xm}	----	----	----
R_{MS}	0.01 Ns/m	----	----
C_{MS}	15.88 mm/N	----	----
M_{MS}	0.04 g	----	----
V_{AS}	0.69 l	----	----
Bl	1.46 Tm	----	----
η_o	0.49 %	----	----

(2) 部件尺寸:

1. 前蓋、背腔:

前蓋孔(大)半徑	aafh1	0.181 cm
前蓋孔(大)面積	Aafh1	$(aafh1)^2 * \pi * 24$ cm ²
前蓋孔(大)深度	lafh1	0.2 cm
前蓋孔(小)半徑	aafh2	0.1 cm
前蓋孔(小)面積	Aafh2	$(aafh2)^2 * \pi * 4$ cm ²
前蓋孔(小)深度	lafh2	0.16 cm
前蓋孔等效半徑	aafht	$\sqrt{(Aafh1 + Aafh2) / \pi}$ cm
前空腔體積	Vafc	2.45 cm ³
低音反射孔等效面積	Aarh3	0.1925 cm ²
低音反射孔等效半徑	aarh3	$\sqrt{Aarh3 / \pi}$ cm
低音反射孔深度	larh3	0.5 cm
背腔體積	Vafc2	23.74 cm ³

2. 單體:

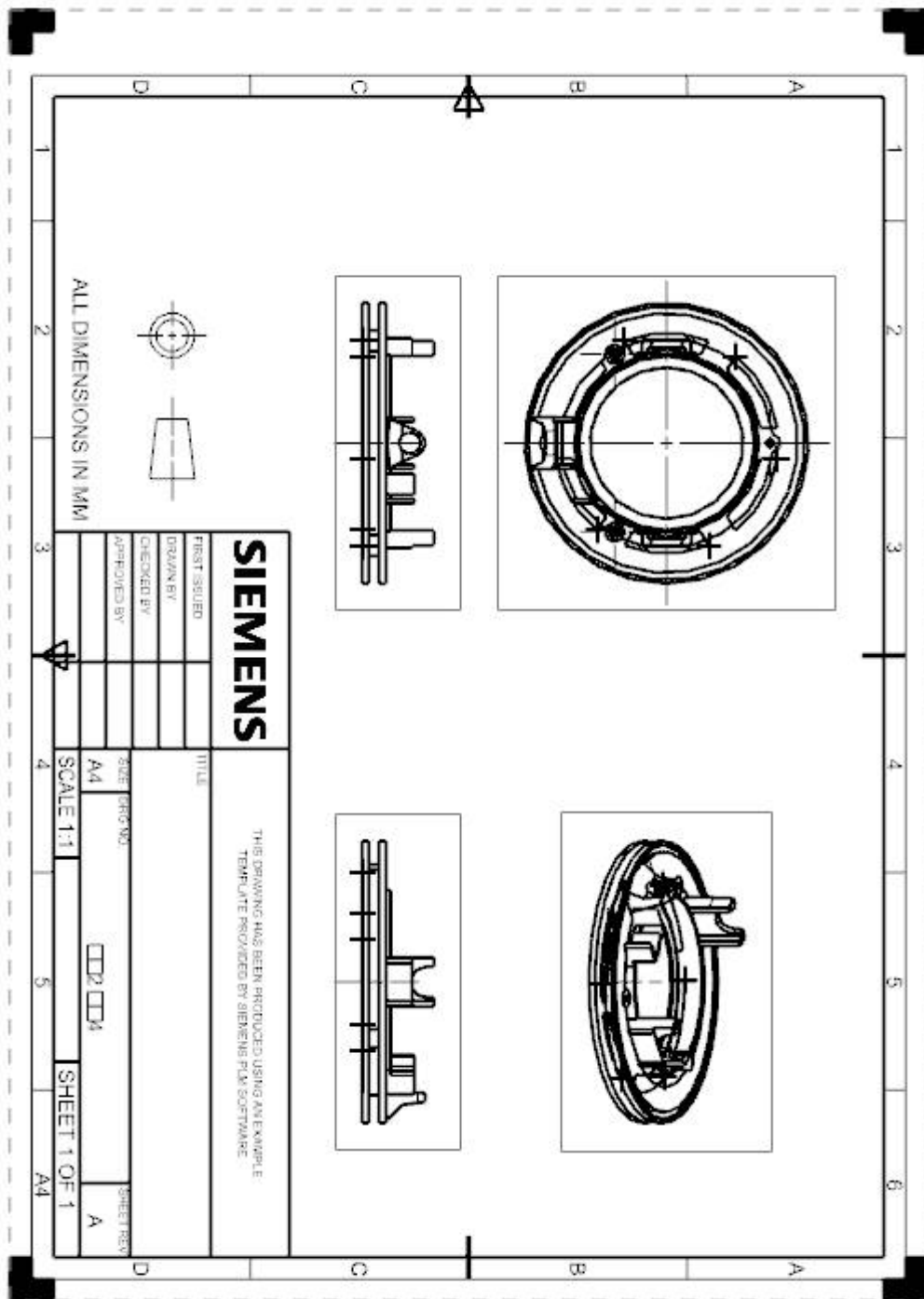
振膜有效面積	AD	5.54 cm
後蓋孔(大)面積	Aarh1	1.018 cm ²
後蓋孔(小)面積	Aarh2	0.035 cm ²

後蓋孔等效半徑	aarh	$\sqrt{(Aarh1+Aarh2)/\pi}$	cm^2
後蓋孔深度	larh	0.15	cm
後空腔體積	Varc	1.99	cm^3
後空腔深度	larc	0.22	cm

元件工程圖：

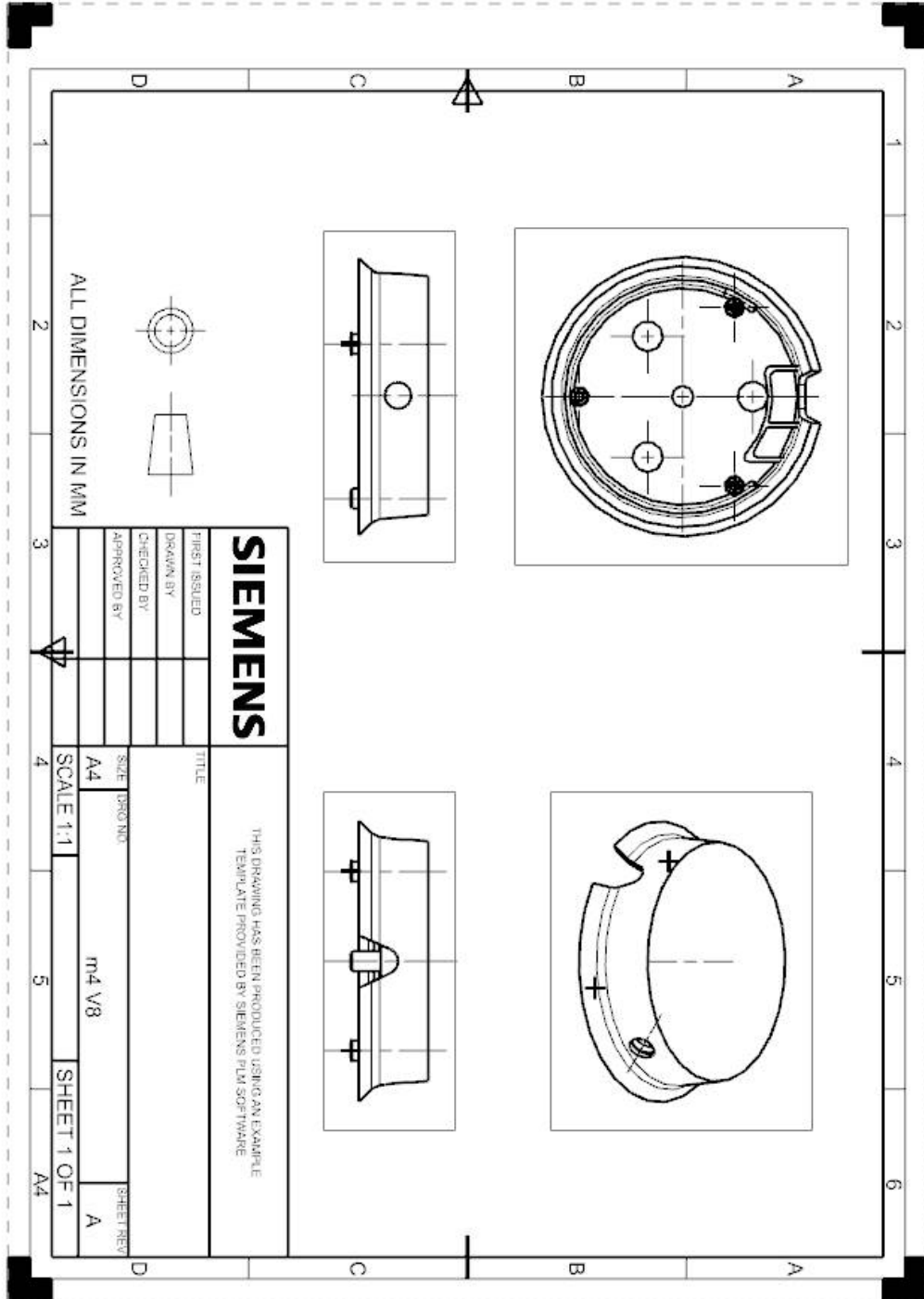
(1) 三視圖：

1、前蓋(無前蓋孔)：



圖、前蓋三視圖

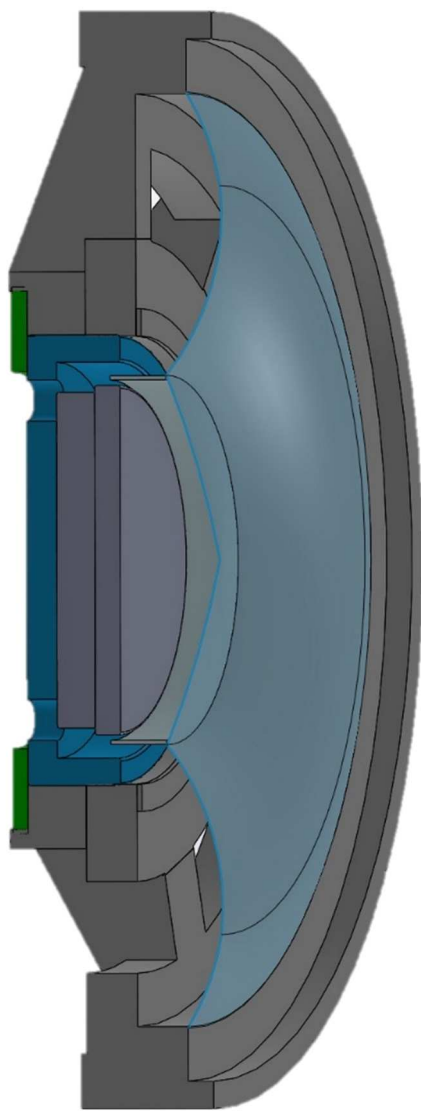
2、後腔:



圖、後腔三視圖

(2) 剖面圖、爆炸圖：

1、剖面圖：



圖、單體剖面圖

107 學年度基礎聲學報告



MH751 頭罩式耳機製作

組員：張天然 M0703062

劉陶穎 M0703075

王俊升 M0705064

洪銘陽 M0705522

許祐瑄 M0717635

目錄

一、緣起.....	1
二、目的.....	1
三、頭罩式耳機品牌介紹.....	2
四、選定 MH751 型號頭罩式耳機之特色.....	3
五、組成元件.....	5
六、測試資料.....	7
6.1 單體 TS 參數.....	7
6.2 單體 SPL 曲線.....	7
七、模擬資料.....	8
7.1 Case 1 原始單體完整等效電路.....	8
7.2 原始單體方塊圖.....	9
7.3 模擬與量測結果比較.....	9
7.4 Case 2 只有外環開孔等效電路.....	10
7.5 外環開孔方塊圖.....	11
7.6 模擬與量測結果比較.....	11
7.7 改變開孔數量模擬結果.....	12
7.8 Case 3 只有背殼上開孔等效電路.....	13

7.9 背殼開孔方塊圖.....	14
7.10 模擬與量測結果比較.....	14
7.11 改變開孔數量模擬結果.....	15
7.12 耳機整體等效電路圖.....	16
7.13 耳機整體方塊圖.....	17
7.14 模擬與量測結果比較.....	18
八、逆向工程.....	19
8.1 原始耳機量測數據.....	19
8.2 仿體耳機量測數據(只改變前腔體)	20
8.3 原始耳機量測數據.....	21
8.4 仿體耳機量測數據(除去前蓋通氣紙)	22
8.5 仿體耳機量測數據(單體除去通氣紙)	23
8.6 逆向工程過程圖.....	25
8.7 工程圖與 CAD 圖.....	27
8.8 3D 列印仿體圖.....	31
8.9 仿體組裝.....	32
8.10 耳機仿體.....	33
九、結論.....	34
9.1 單體比較.....	34

9.2 探討仿體與本外腔體差異.....	35
9.3 探討仿體與本體前蓋通氣紙差異.....	35
9.4 耳機左右聲道比較.....	36
9.5 探討仿體與本底體差異.....	37
9.6 結論.....	37
十、課程心得.....	38

一、緣起

這學期在課堂中學到許多理論與知識。才知道一副小小的耳機中有許多值得探討的學問。振膜的有效面積；腔體的體積；通氣孔的數量、半徑、深度；通氣紙的材質……等等。每一個小地方都會影響耳機表現。因此我們希望經由本次的耳機實作課程，將理論的部分學以致用，我們將市面上的耳機進行拆解，對各部件進行研究，除了觀察各部件對耳機的影響外，對外觀的設計我們也會進行改造，打造出一隻個人專屬的耳機。

二、目的

對本次所採用的耳機—MH751 進行量測與主觀聽測後，我們希望能夠針對我們認為 MH751 表現較不足的地方進行改善，透過理論，對改變各部件所造成的影響先進行模擬，模擬出我們所希望的表現之後，將部件 3D 列印出之後組合，進行測試，將模擬和實際量測結果相互驗證，最終的目的是希望能夠做出表現比原先更佳的耳機。

三、 頭罩式耳機品牌介紹

選擇酷碼(Cooler Master)的主要原因是因為「電競產業」，近年來電子競技蓬勃發展並跨足各國際舞台，帶來的經濟效益不容小覷，所有和電腦周邊相關的品牌無一不想搶攻電競市場，酷碼是以生產個人電腦散熱器起家，舉凡空冷散熱器、水冷散熱器、機殼風扇、機殼及周邊產品…等，都可以看到酷碼的足跡，在市場上也有一定的知名度。

為了更貼近玩家的需求，近幾年來也推出了機械式鍵盤、電競滑鼠、電競耳機…等相關周邊商品，對於耳機的部分，酷碼算是比較年輕的品牌，在音質上的表現可能不及鐵三角(Audio-Technica)、聲海(Sennheiser)…等知名廠商，但我們認為年輕反倒是酷碼的優點，在日後能有更多的發展空間，這也是我們挑選酷碼這個品牌的原因之一。

對於日後耳機優化的部分可能會有較明顯的改變。客戶族群的分類也會造成廠商在研發重點上的不同，例如電競耳機的主要目標是聲音的辨位而不是在於音樂音質上的表現。

由於酷碼本身不是專攻耳機市場，所以現階段耳機產品的數量較少，也就沒有所謂的經典款項，但這次選購的 MH751 這款耳機不論是在外型上的設計或是價格的部分，我們認為是優於之前的款式，想必 MH751 日後會是酷碼的入門首選。

四、 選定 MH751 型號頭罩式耳機之特色

在第一眼看到 MH751 我的目光就被他吸引住了，代表尊爵的黑色配上神秘的紫色，給人一種不可小看的感覺。



圖 盒裝 MH751

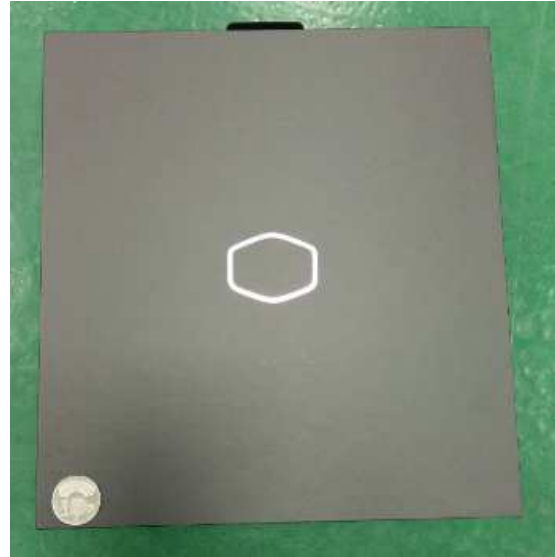


圖 MH751 內盒

盒子整體拿起來十分有重量感，質感也很佳，以兩千元以下價位的耳機來說，非常地精緻的。光是從包裝就可以看出酷碼(Cooler Master)，對 MH751 的用心。



圖 MH751 盒內



圖 音源線及麥克風

MH751 的音源線及麥克風可以拆卸下來，對於攜帶及收納十分的便利。我們猜測或許之後麥克風可以根據使用者需求更換。

在經過小組成員間的主觀聽測後，我們認為 MH751 在低頻的表現蠻優異的，但是在中高頻的部分就略顯遜色，這會是我們想要著手進行改善的部分。

五、組成元件

5.1 拆解後全組件圖



5.2 組件 CAD 圖(前蓋、單體、腔體組裝圖)



5.3 爆炸圖



5.4 耳機整體圖(不含耳罩布)



六、 測試資料

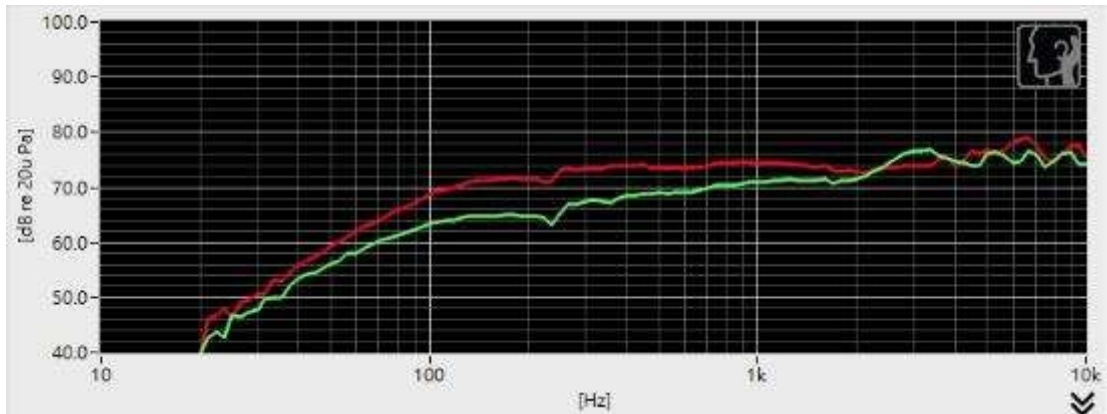
(包含單體 TS 參數、SPL 曲線、IMP 曲線等)

6.1 單體 TS 參數

單體 T/S 參數表 Air		
Name	Value	Unit
Re	26.07	ohm
R2	1.87	ohm
Le	0.18	mH
L2	0.032	mH
Mms	0.155×10^{-3}	kg
Rms	0.009	kg/s
Cms	15.42	mm/N
Bl	2.239	T · m
Sd	66.6×10^{-4}	m^2

單體 T/S 參數表 Vaccum		
Name	Value	Unit
Re	26.07	ohm
R2	3.02	ohm
Le	0.176	mH
L2	0.028	mH
Mms	0.078×10^{-3}	kg
Rms	0.004	kg/s
Cms	23.094	mm/N
Bl	1.814	T · m
Sd	66.6×10^{-4}	m^2

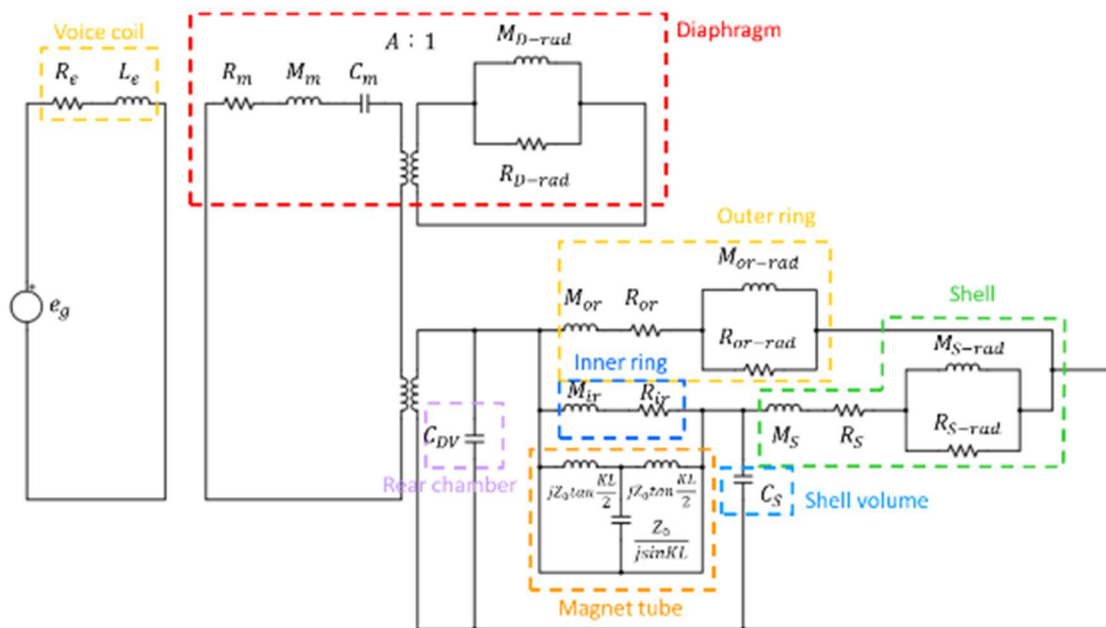
6.2 單體 SPL 曲線(紅線:無通氣紙;綠線:有通氣紙)



七、 模擬資料

(等效電路模擬圖、模擬結果、重新設計等)

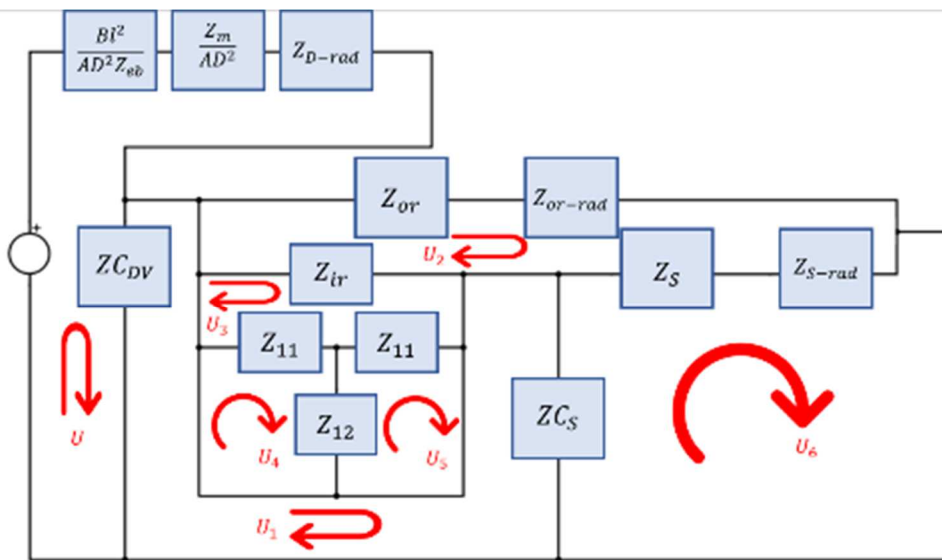
7.1 Case 1 原始單體完整等效電路



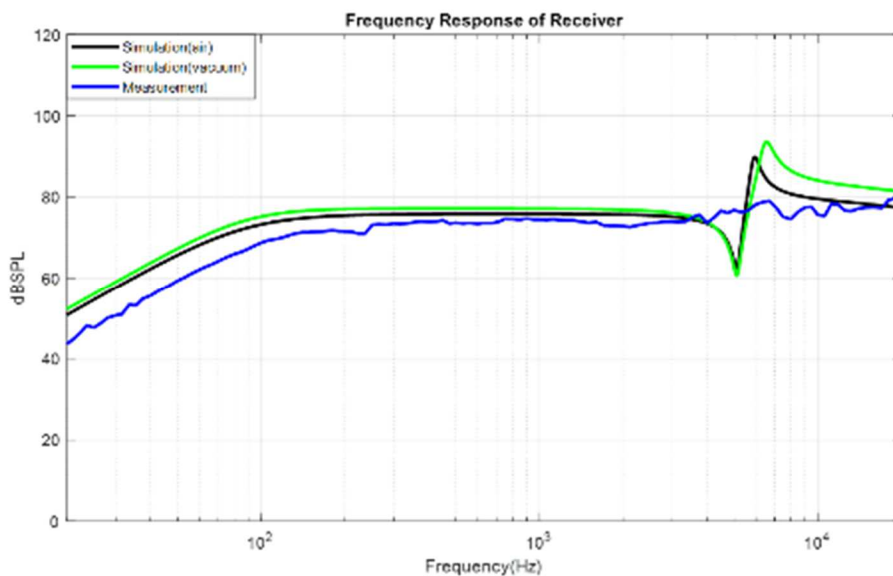
耳機會發出聲音，主要是來自單體的振動，而單體有兩個方向的輻射路徑，振膜向上振動時會直接輻射到空氣中，振膜向下振動時會先經過後空腔(Rear chamber)，同時流經外環(Outer ring)、內環(Inner

ring)及磁鐵管(Magnet tube)的部分，流經外環的空氣透過外環 6 個孔洞輻射到空氣中，流經內環及磁鐵管的空氣進入單體背殼(Shell)，在透過背殼上的 3 個孔洞輻射到空氣中。

7.2 原始單體方塊圖

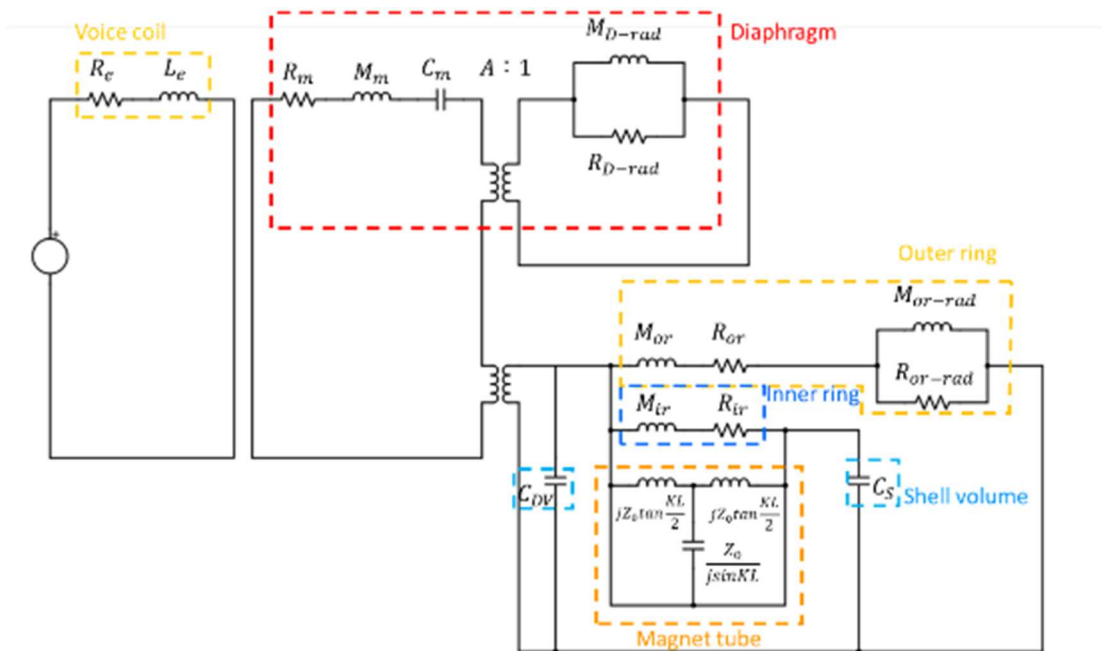


7.3 模擬與量測結果比較



趨勢大致上有符合，模擬曲線比量測曲線還高的原因，我們認為是因為內環通氣紙沒有撕開，由於內環通氣紙在振膜正下方，所以無法拆除，如果想先拆除背殼再除去通氣紙，也會因會破壞背殼而導致單體損毀，而模擬的部分，我們假設通氣紙是全部去除的，因此造成此誤差的原因，我們認為跟內環通氣紙有關。

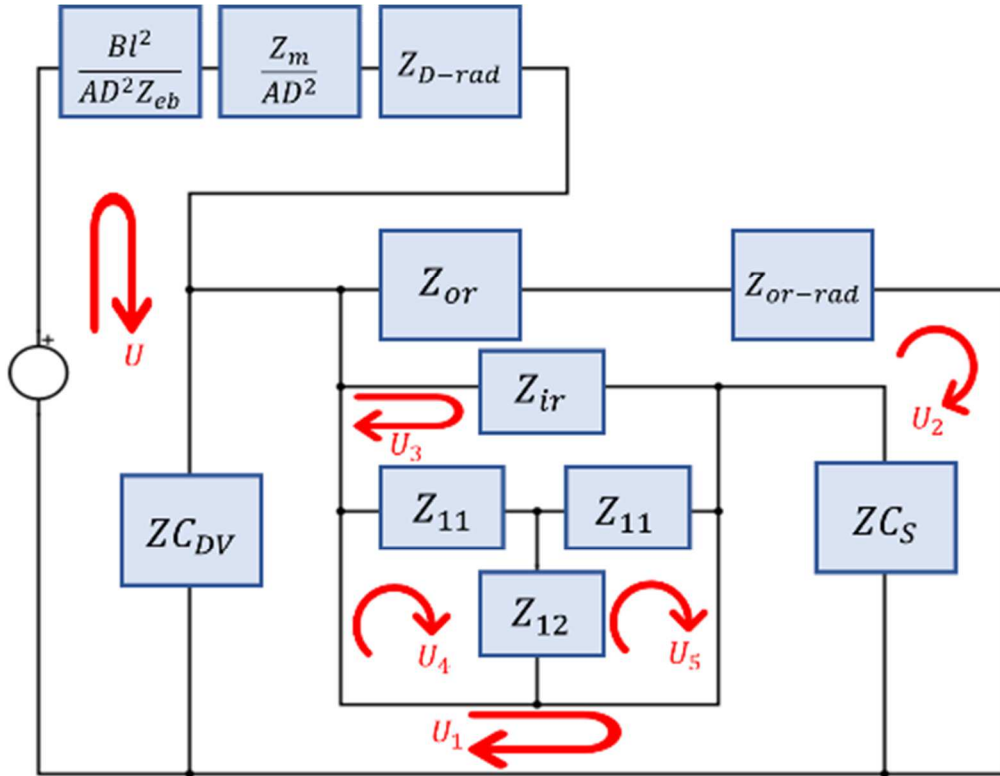
7.4 Case 2 只有外環開孔等效電路



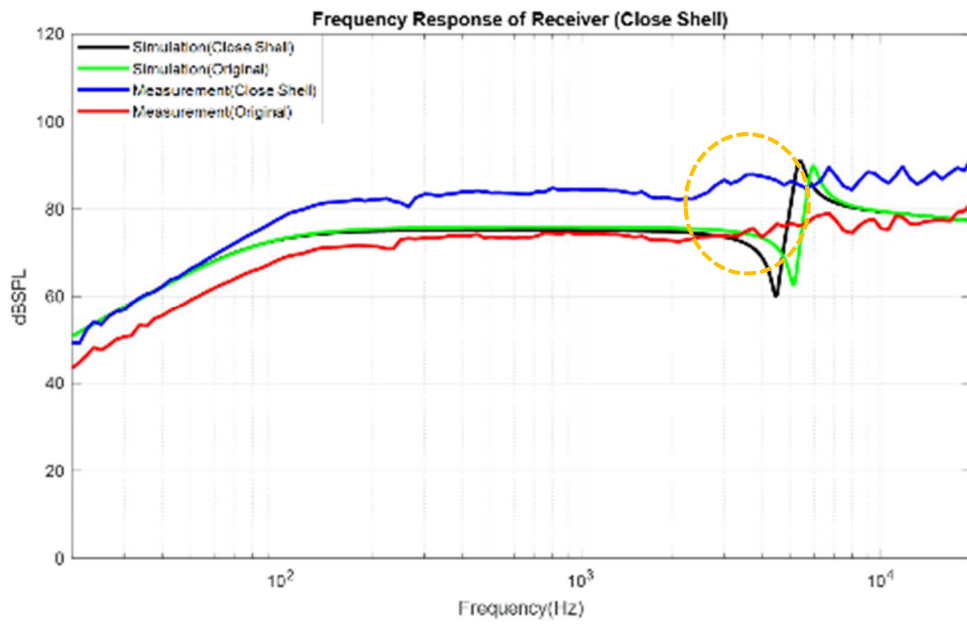
振膜向上振動時，空氣會直接輻射到空氣中，振膜向下振動時，空氣會先經過後空腔(Rear chamber)，同時流經外環(Outer ring)、內環 (Inner ring)及磁鐵管(Magnet tube)的部分，流經外環的空氣透過外環 6 個孔洞輻射到空氣中，流經內環及磁鐵管的空氣進入單體背殼(Shell)，和原本電路不同的地方在於空氣直接透過外環 6 個孔洞輻射到空氣

中。

7.5 外環開孔方塊圖

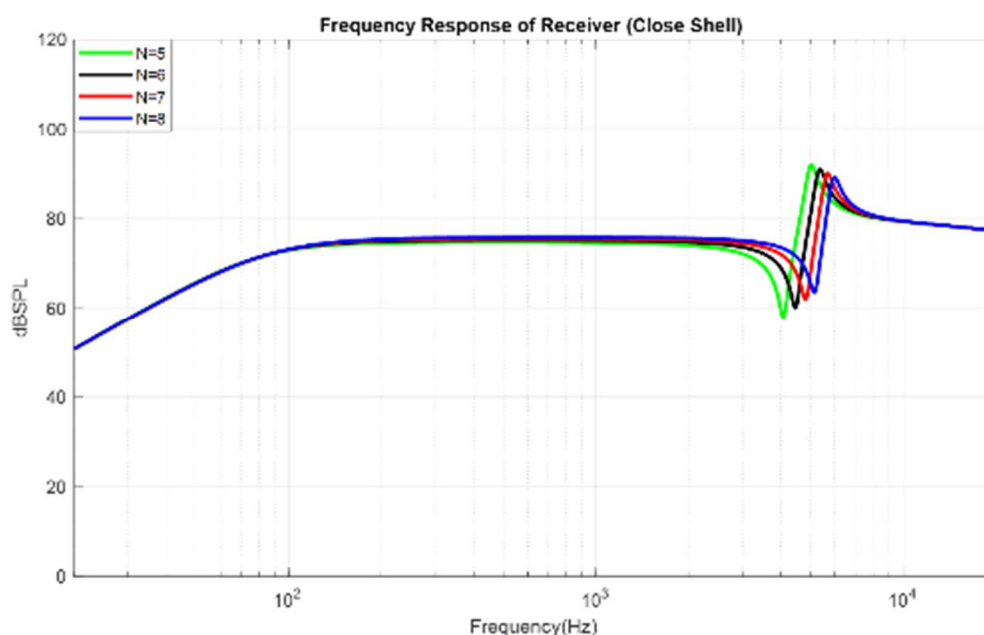


7.6 模擬與量測結果比較



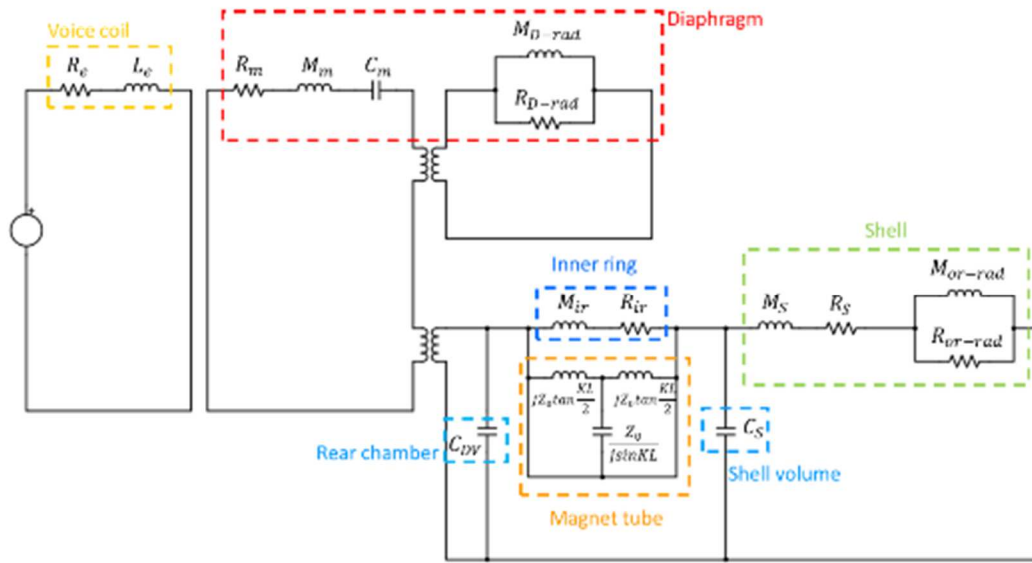
黑色和藍色曲線為背殼上孔洞都封閉僅剩外環 6 個孔洞的模擬及量測結果，綠色和紅色曲線為原始模擬及量測結果，從圖中可以發現只有外環開孔時，整體的曲線會有上升的趨勢，這個部分模擬的結果與量測不相符，但可以看出再 5 kHz 的時候，不論是模擬或量測曲線都會有往前的趨勢，所以我們認為外環開孔會影響中高頻的曲線。

7.7 改變開孔數量模擬結果



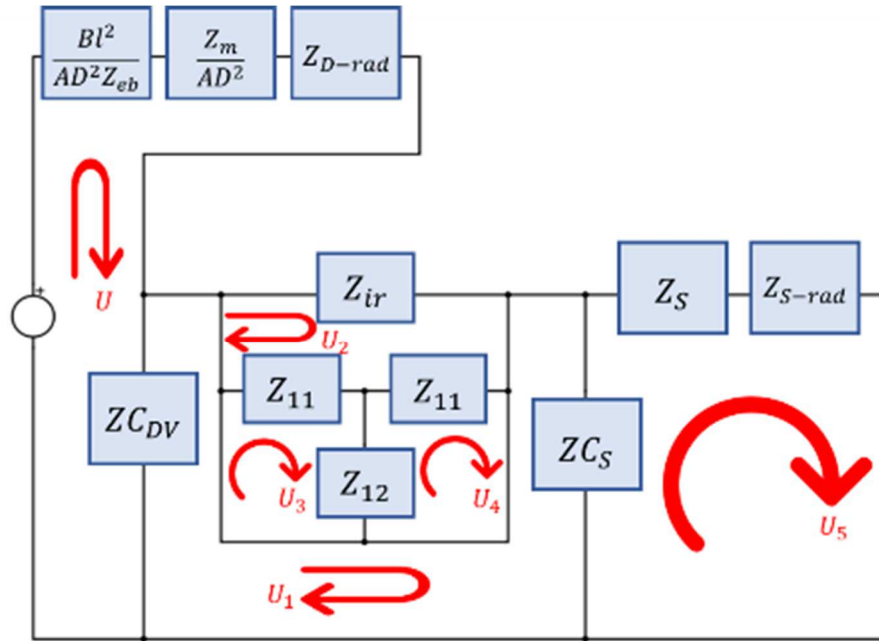
隨著外環開孔數目的增加，頻寬也會變寬，波峰和波谷間的差距也會越來越小，低頻的部分沒有明顯的改變。

7.8 Case 3 只有背殼上開孔等效電路

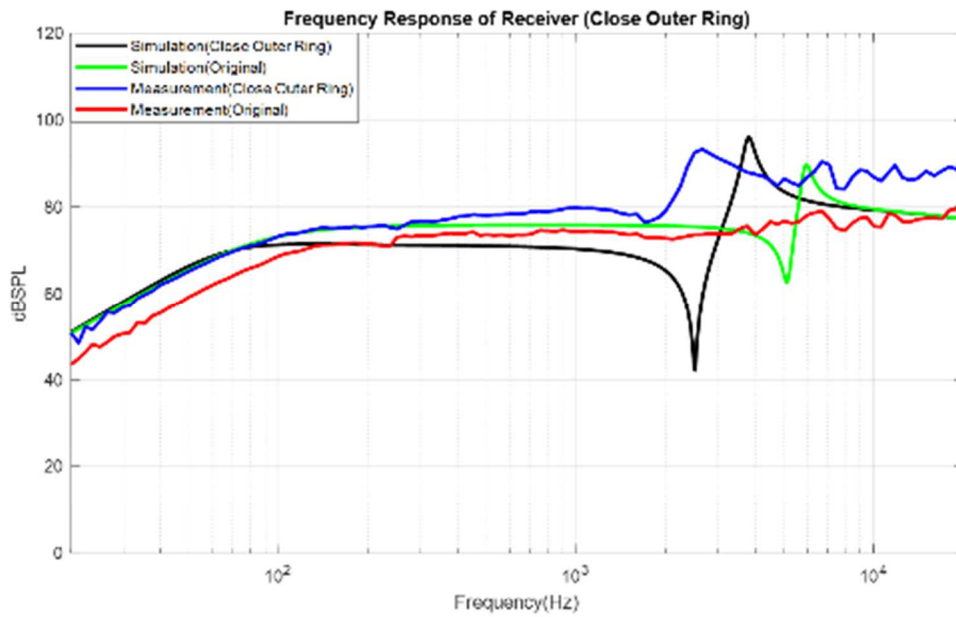


振膜向上振動時，空氣會直接輻射到空氣中，振膜向下振動時，空氣會先經過後空腔(Rear chamber)，同時內環(Inner ring)及磁鐵管(Magnet tube)的部分，流經內環及磁鐵管的空氣進入單體背殼(Shell)，再透過殼上的 3 個孔洞輻射到空氣中，和原本電路不同的地方在於空氣直接透過背殼上的 3 個孔洞輻射到空氣中。

7.9 背殼開孔方塊圖



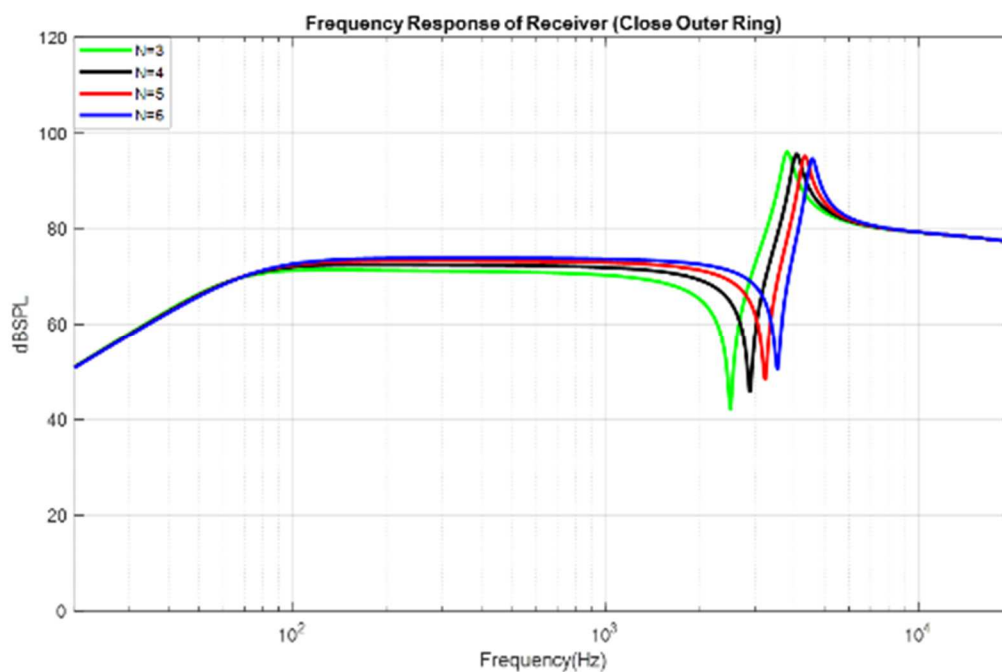
7.10 模擬與量測結果比較



黑色和藍色曲線為外環上孔洞都封閉僅剩背殼 3 個孔洞的模擬及量測結果，綠色和紅色曲線為原始模擬及量測結果，從圖中可以發現只有背殼開孔時，整體的曲線會有上升的趨勢，這個部分模擬

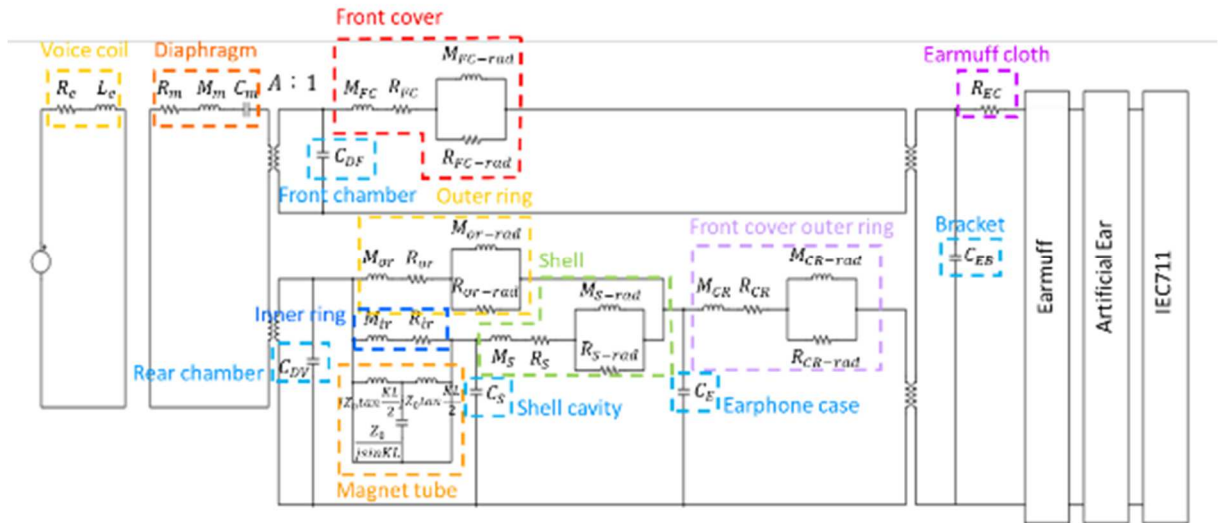
的結果與量測不相符，但可以看出不論是模擬或是量測結果在 2 kHz 左右會有下降的趨勢，波峰和波谷也有較明顯差距。

7.11 改變開孔數量模擬結果



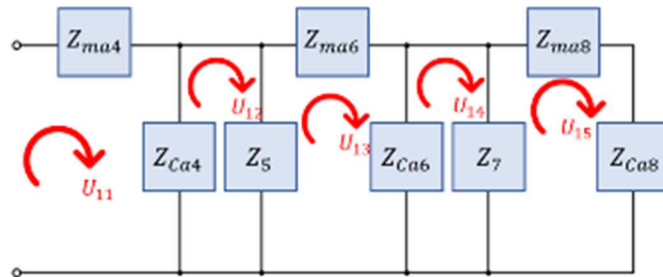
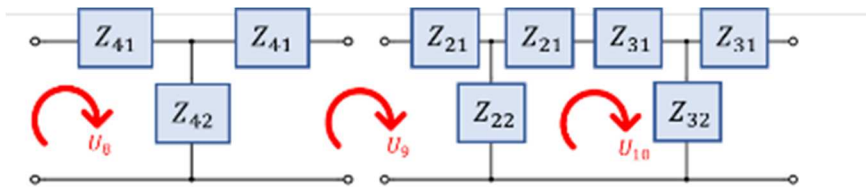
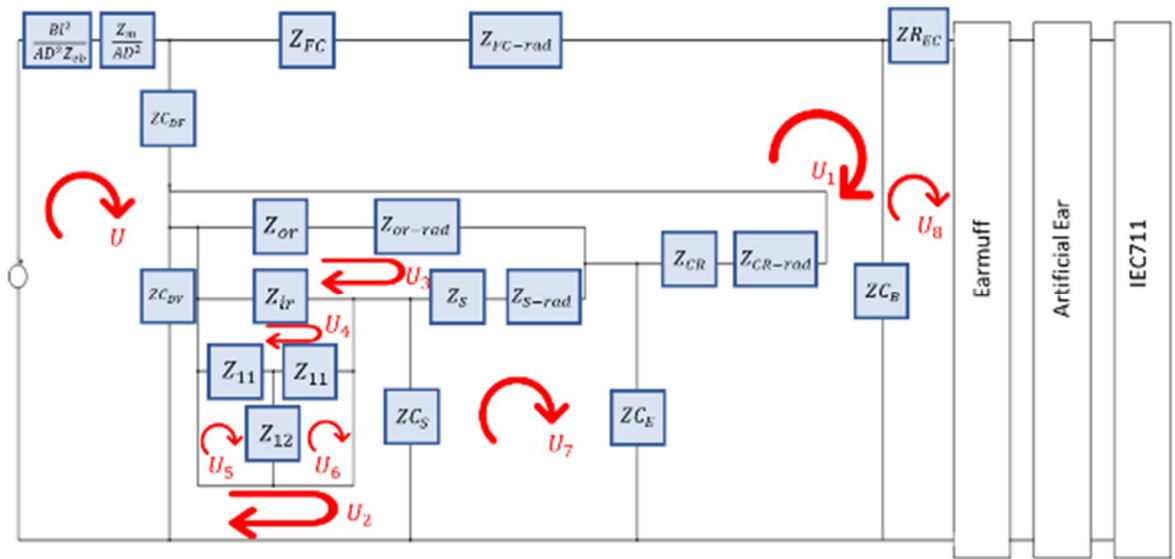
隨著背殼上孔洞數目的增加，頻寬也會變寬，波峰和波谷間的差距也會越來越小，但是差距還是比 Case 2 來的多，低頻的部分沒有明顯的改變。

7.12 耳機整體等效電路圖

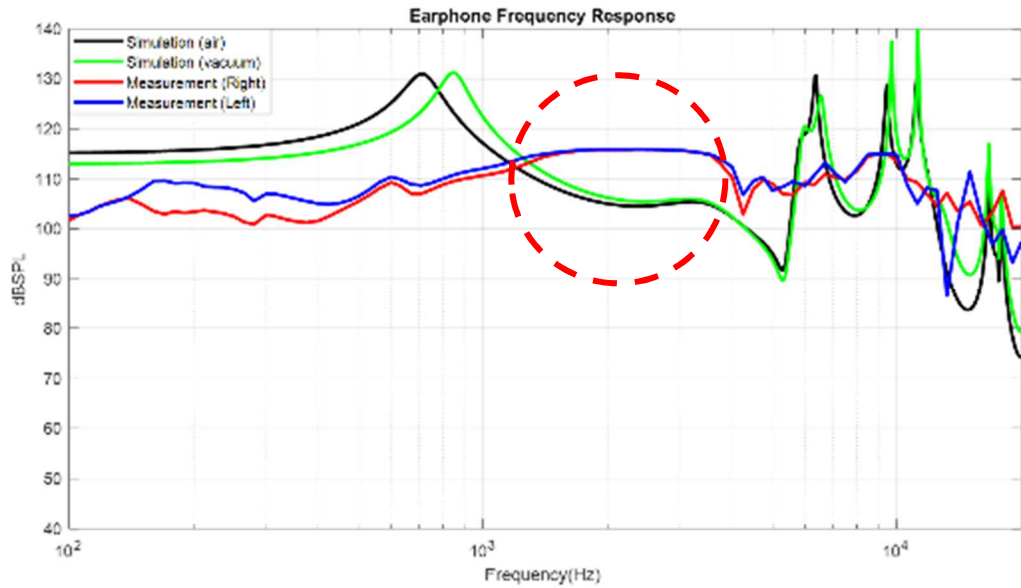


振膜向上振動時，空氣先經過前空腔(Front chamber)，在通過前蓋孔流向耳罩支架，振膜向下振動時，空氣會先經過後空腔(Rear chamber)，同時流經外環(Outer ring)、內環(Inner ring)及磁鐵管(Magnet tube)，流經內環及磁鐵管的空氣進入單體背殼(Shell)，接著流經耳機殼腔體(Earphone case)並與流經外環孔洞的空氣匯流，在通過前蓋外環孔洞流到耳罩支架，接著通過耳罩布後由耳罩流出，緊接著流向人工耳和 IEC 711。

7.13 耳機整體方塊圖



7.14 模擬與量測結果比較

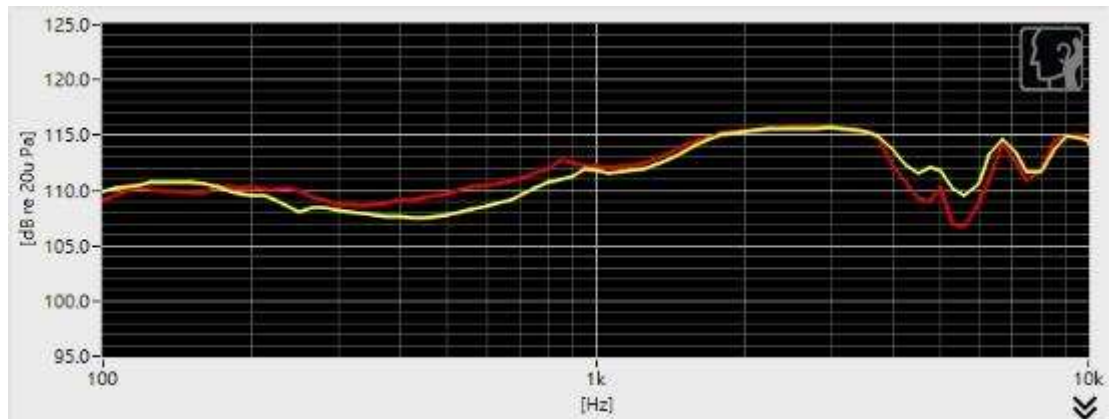


在中頻的部分，模擬和量測的趨勢不相符，我們也有假設是否與耳罩洩漏的問題有關，即使在電路裡加入洩漏情形，模擬與量測結果在中頻的部分也不會得到改善，我們可為可能與腔體的形狀有關，在高頻的部分可以發現量測與模擬結果是相對符合的。

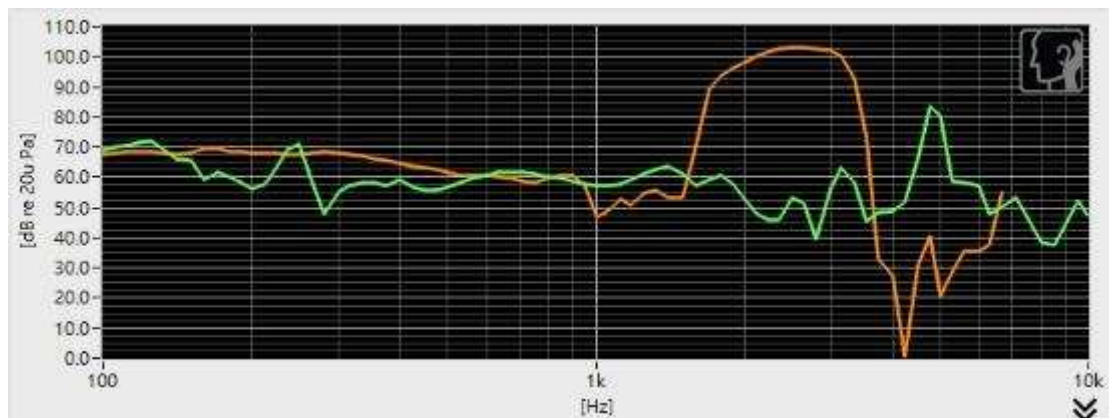
八、 逆向工程

8.1 原始耳機量測數據

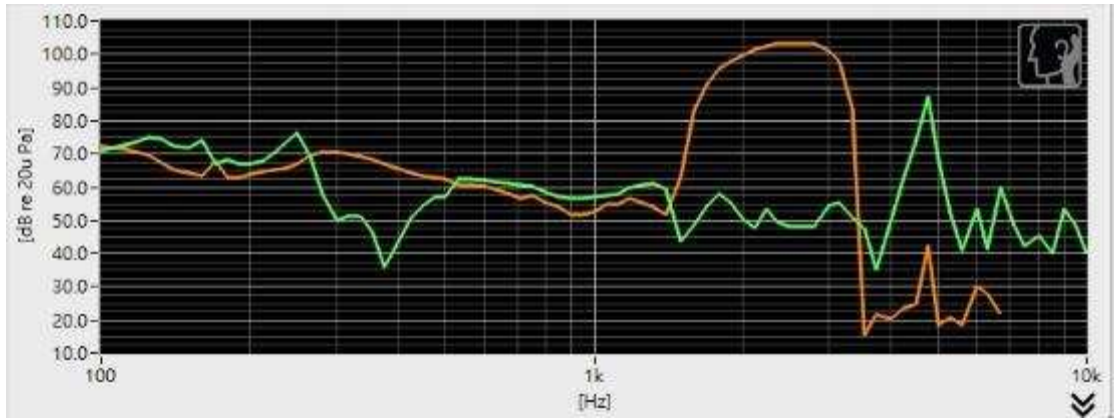
a. 耳機量測 SPL 曲線(紅線:右耳;黃線:左耳)



b. 右耳量測第二次及第三次諧波失真(綠線:第二次;橘線:第三次)

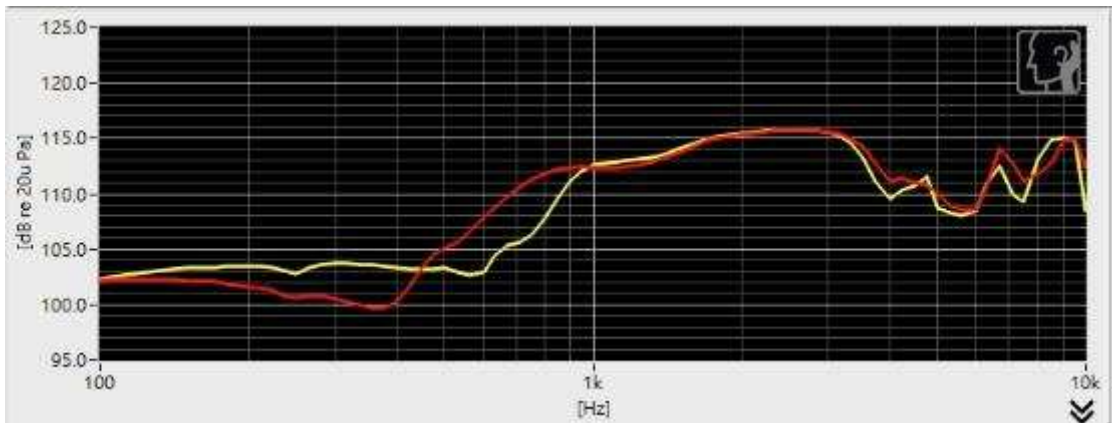


c. 左耳量測第二次及第三次諧波失真(綠線:第二次;橘線:第三次)

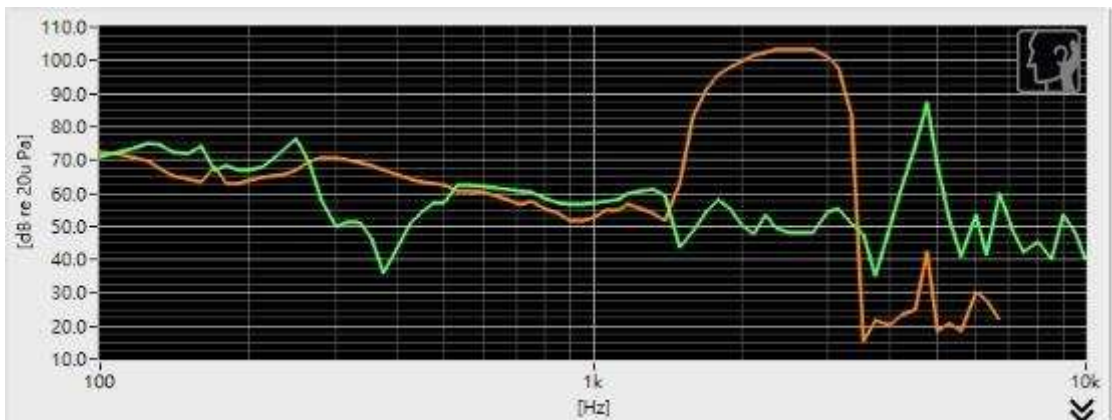


8.2 仿體耳機量測數據(只改變前腔體)

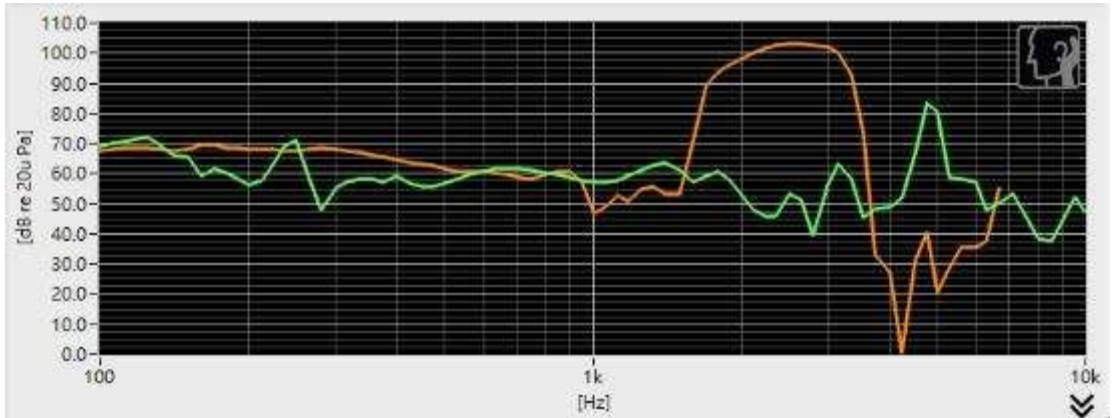
a. 耳機量測 SPL 曲線(紅線:右耳;黃線:左耳)



b. 右耳量測第二次及第三次諧波失真(綠線:第二次;橘線:第三次)

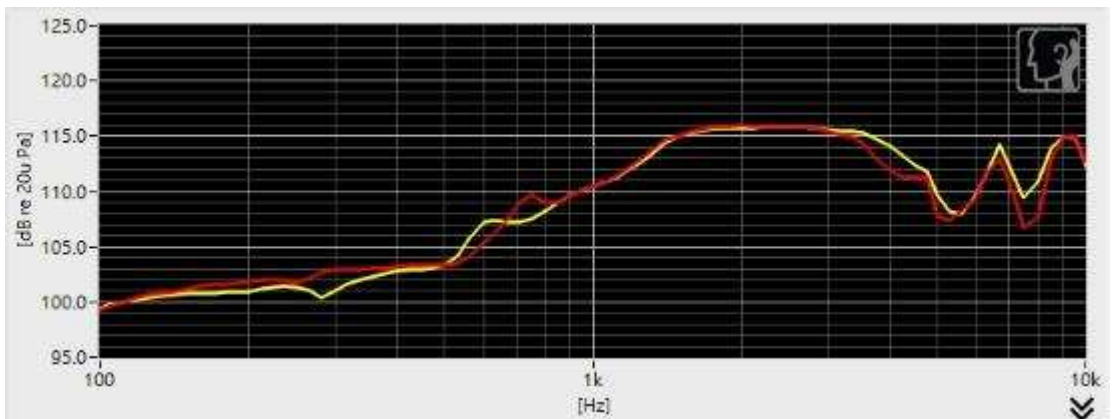


c. 左耳量測第二次及第三次諧波失真(綠線:第二次;橘線:第三次)

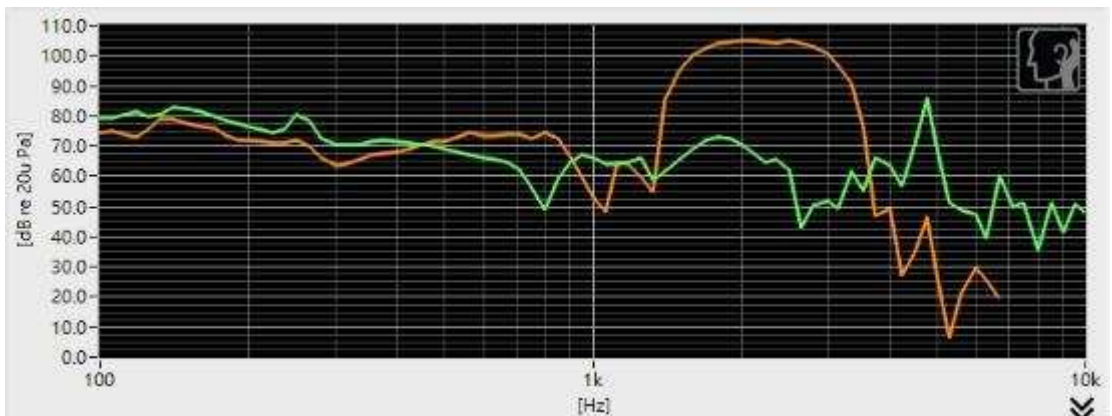


8.3 原始耳機量測數據(除去前蓋通氣紙)

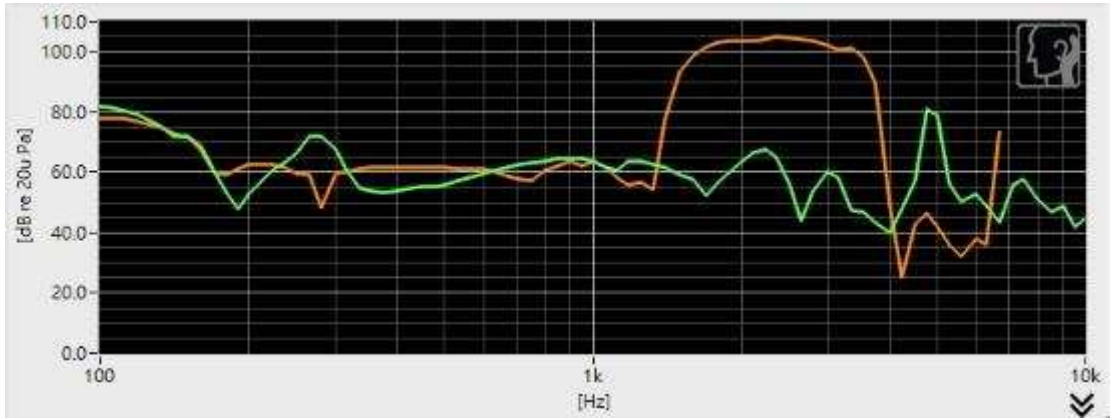
a. 耳機量測 SPL 曲線(紅線:右耳;黃線:左耳)



b. 右耳量測第二次及第三次諧波失真(綠線:第二次;橘線:第三次)

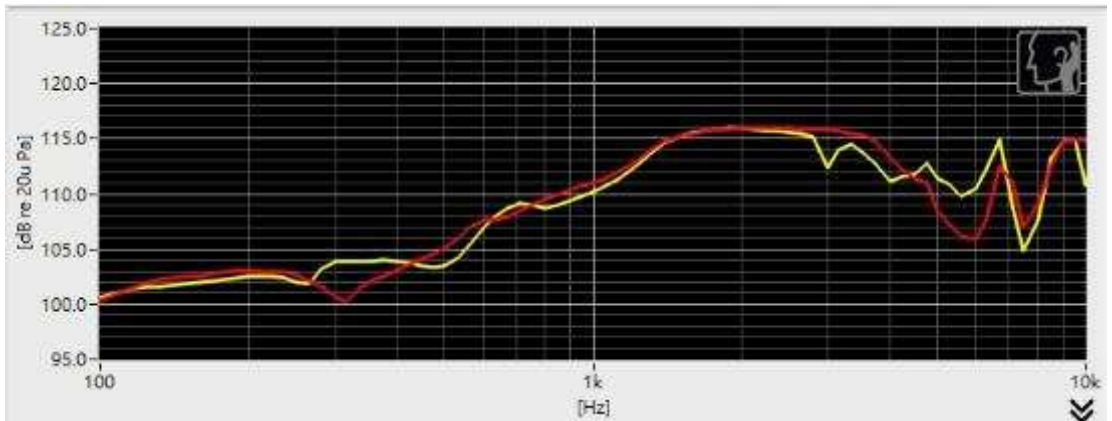


c. 左耳量測第二次及第三次諧波失真(綠線:第二次;橘線:第三次)

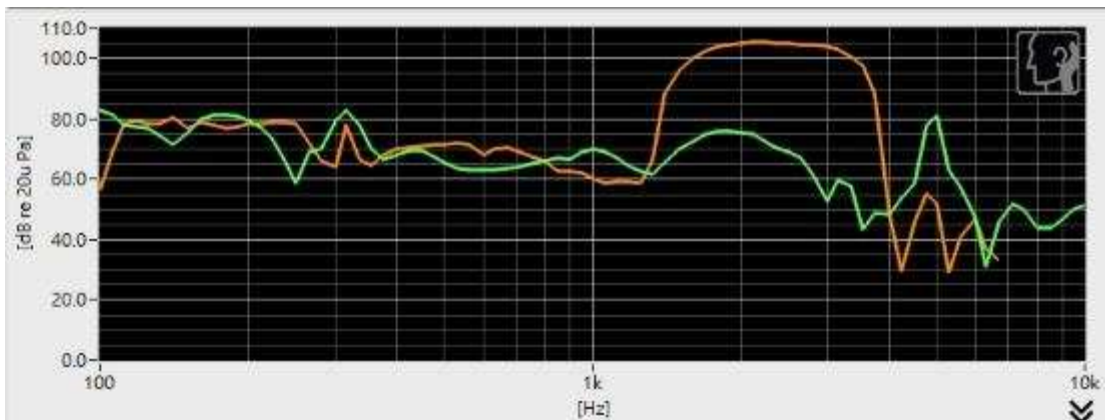


8.4 仿體耳機量測數據(除去前蓋通氣紙)

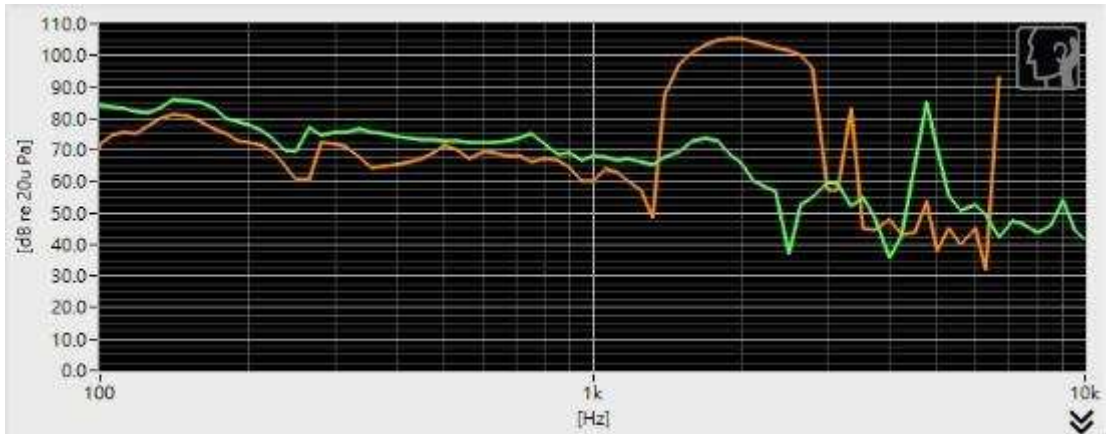
a. 耳機量測 SPL 曲線(紅線:右耳;黃線:左耳)



b. 右耳量測第二次及第三次諧波失真(綠線:第二次;橘線:第三次)

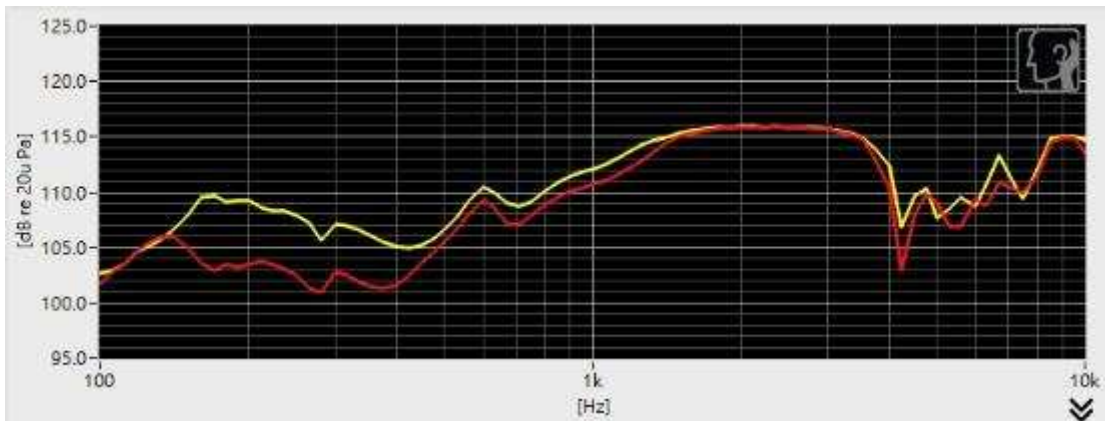


c. 左耳量測第二次及第三次諧波失真(綠線:第二次;橘線:第三次)

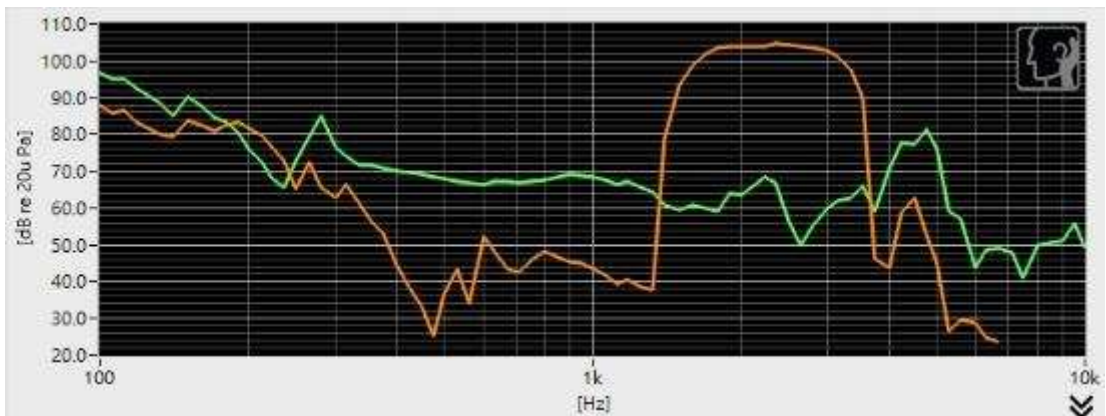


8.5 仿體耳機量測數據(單體除去通氣紙)

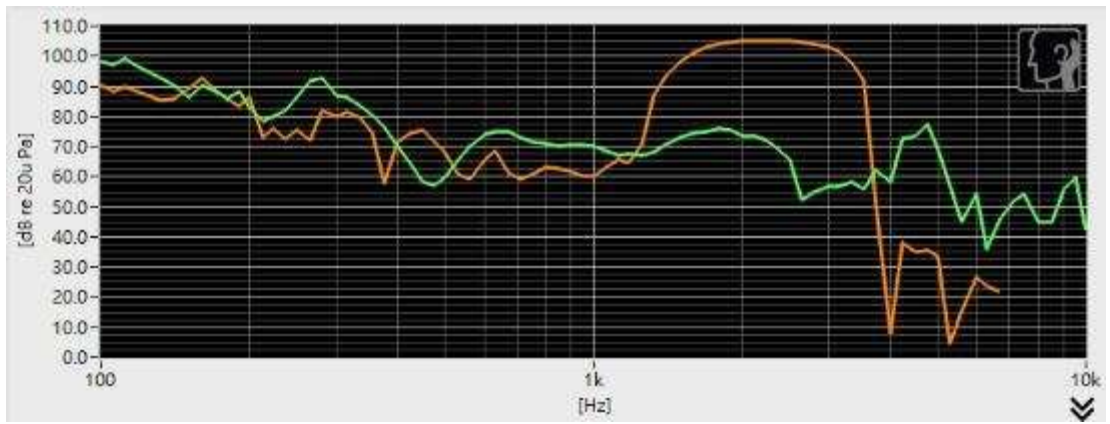
a. 耳機量測 SPL 曲線(紅線:右耳;黃線:左耳)



b. 右耳量測第二次及第三次諧波失真(綠線:第二次;橘線:第三次)

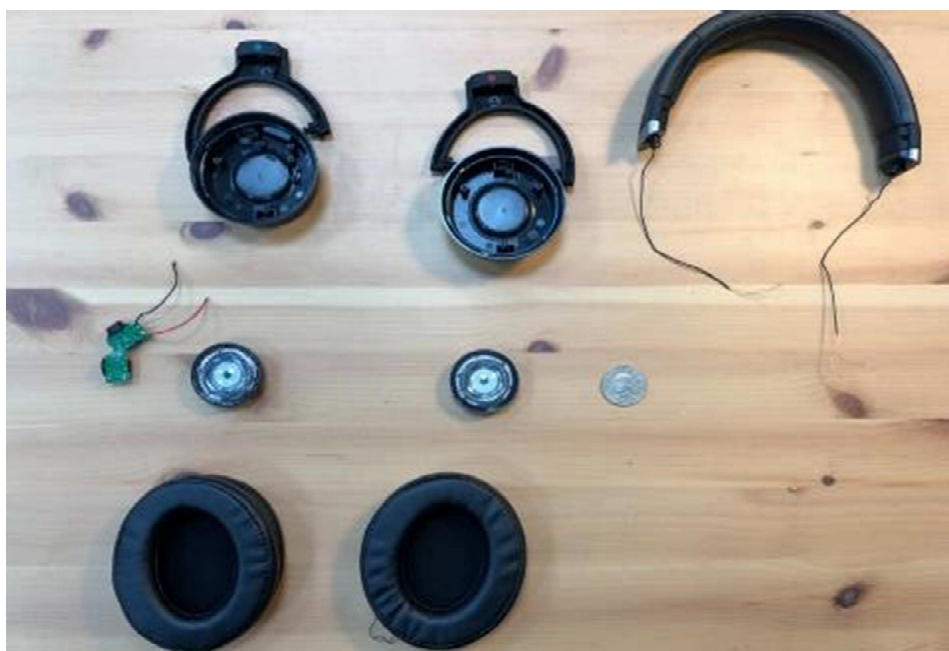


c. 左耳量測第二次及第三次諧波失真(綠線:第二次;橘線:第三次)



8.6 逆向工程過程圖

a. 所有零件圖



b. 拆解流程

(1) 拆解支架



(2) 拆開腔體



(3) 拆解單體



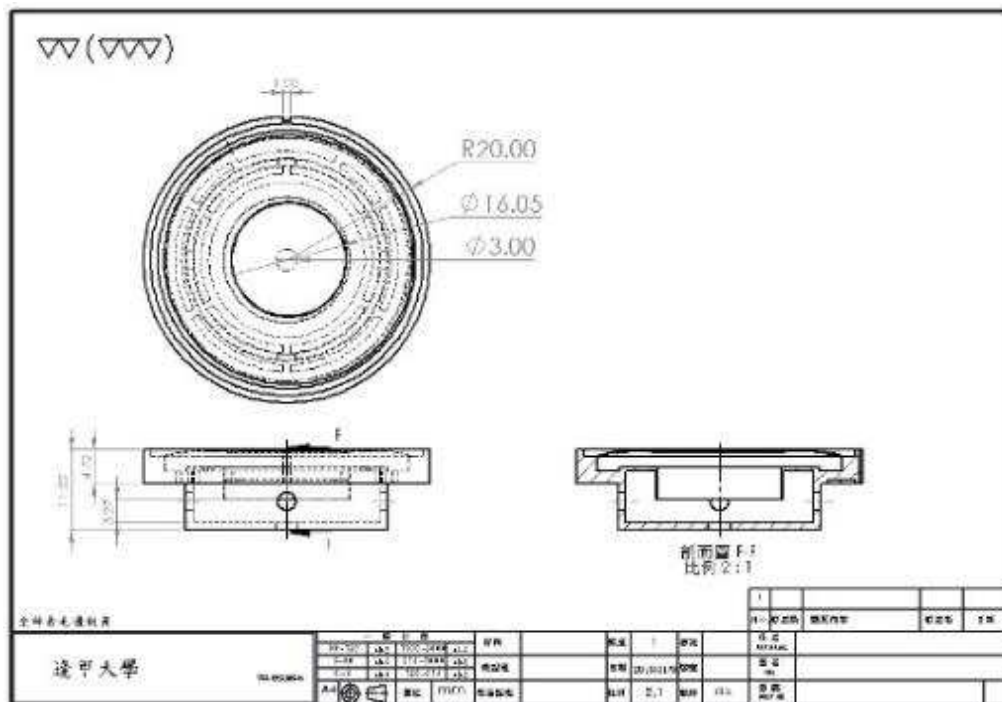


8.7 工程圖與 CAD 圖

a. Scan



b. 單體工程圖



c. 前蓋模型(R)



d. 前蓋模型(L)



e. 前蓋孔模型



f. 單體模型



8. 組合圖與爆炸圖



h. 耳機模型



8.8 3D 列印訪體圖

a. 前蓋孔仿體



b. 前蓋仿體



8.9 仿體組裝

a. 組裝過程

(1)組裝支架



(2)組裝單體



(3) 焊錫電路



(4) 外殼組裝



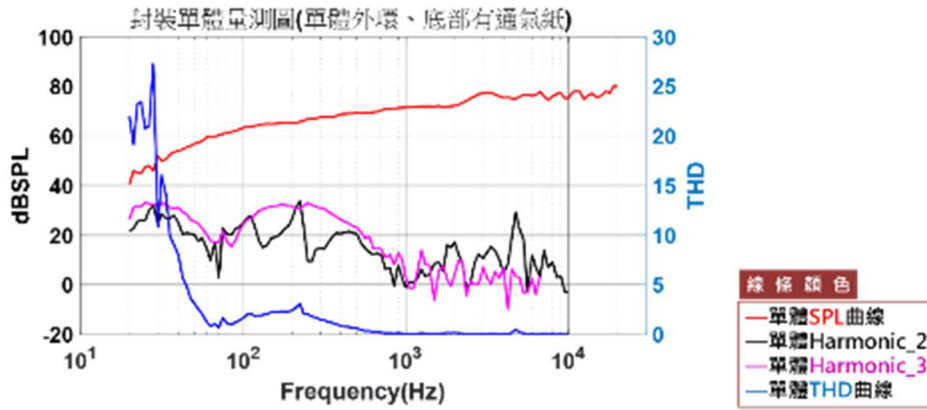
8.10 耳機仿體



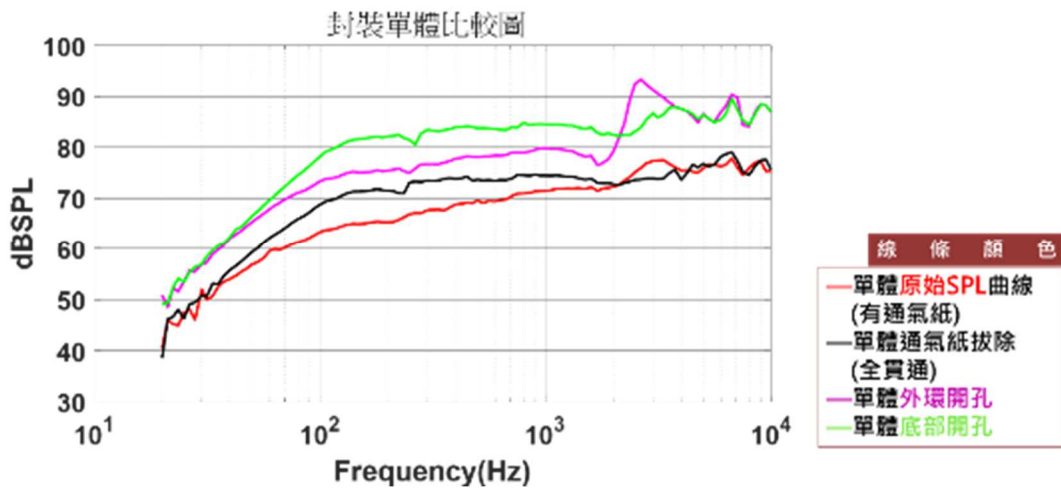
九、 結論

9.1 結果比較

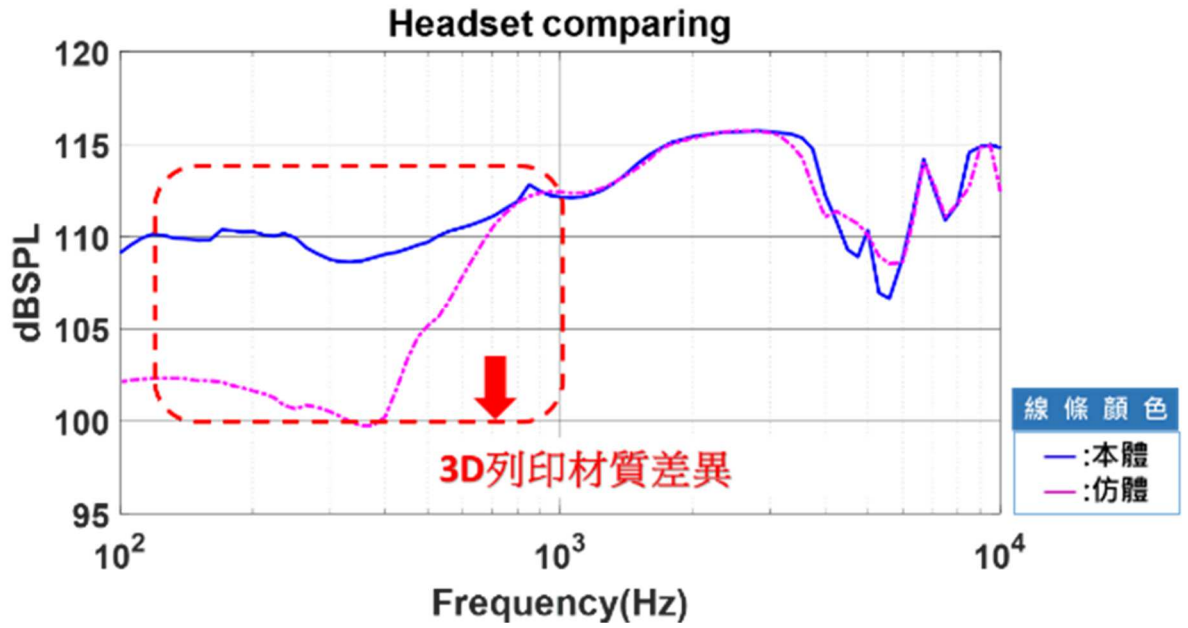
a. 封裝單體量測圖



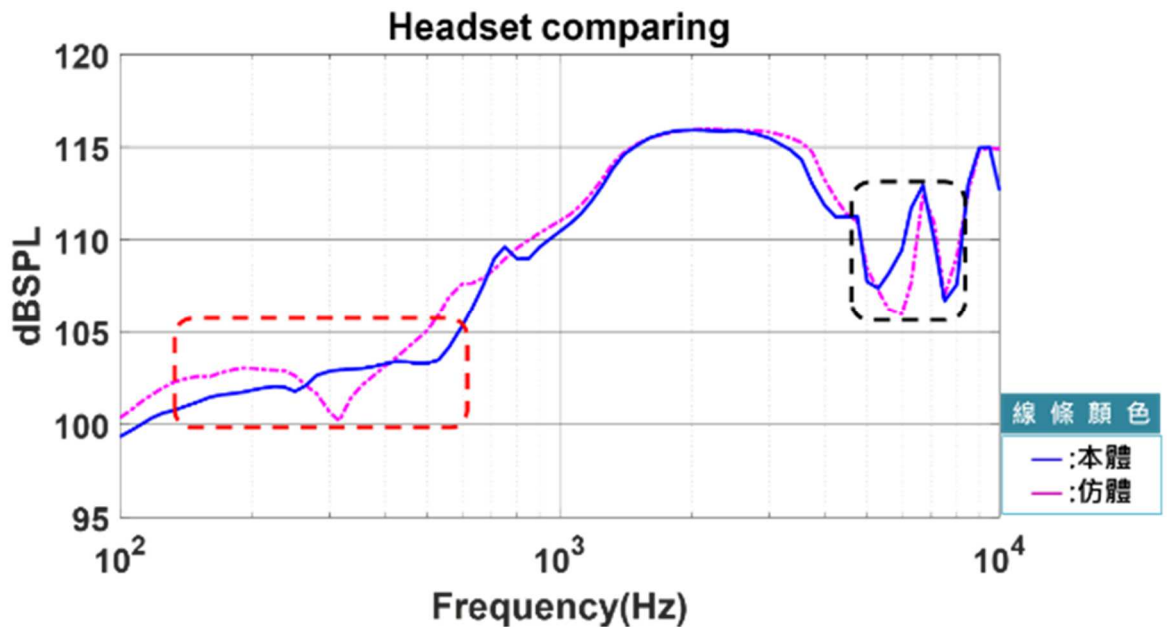
b. 探討封裝單體有無通氣紙之差異



9.2 探討仿體與本外腔體差異

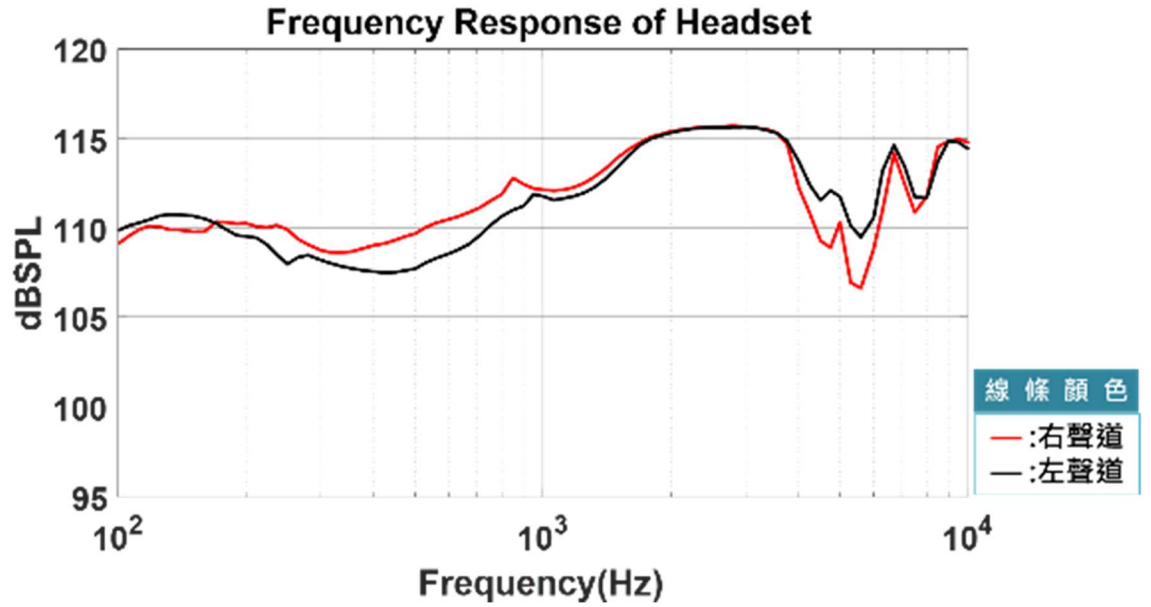


9.3. 探討仿體與本體前蓋通氣紙差異

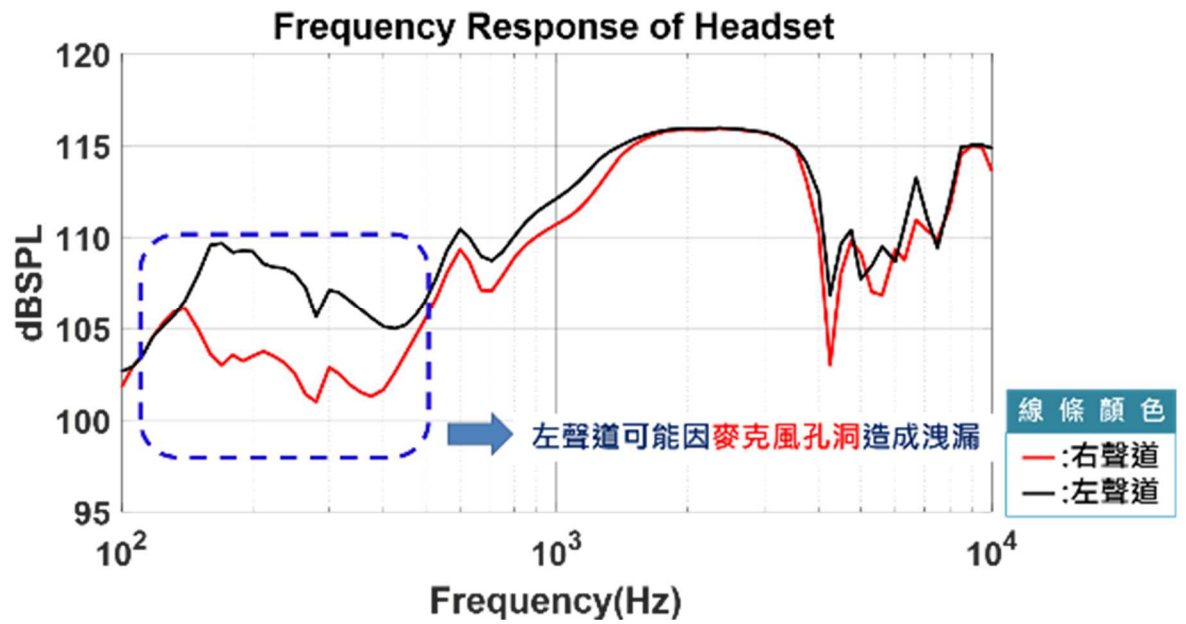


9.4 耳機左右聲道比較

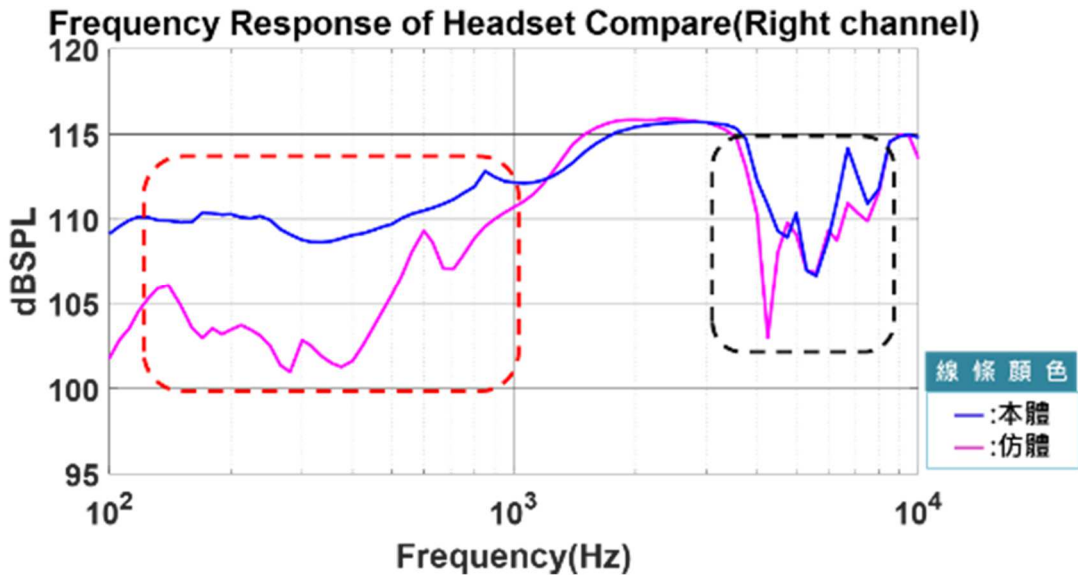
a. 原始耳機



b. 仿體耳機



9.5. 探討仿體與本底體差異



9.6 結論

改變項目	差異變化
前腔體 	在1kHz前有洩漏的產生。 因材質不同，或列印品有細小孔洞造成。
前蓋孔通氣紙移除 	在第一共振頻率下降，在300Hz時有變化。
單體通氣紙移除 	700~1kHz有明顯提升，且底部孔洞引響大於外環孔洞，高頻段差異較小。

十、 課程心得

劉陶穎: 透過課程的結合讓我學習到更實務性的電聲內容，也感謝學程提供資源讓我們能拆開千元耳機了解其構造，不拆不知，拆了才發現耳機腔體的前蓋通氣孔竟然有如此多的設計，更甚至單體的通氣紙，每層設計都有其一定的影響；最後的逆向工程仿製深刻體會到設計產品的困難，凡事不能只看表面更深入的了解過後才發現簡單並不簡單!

張天然: 課程豐富，實務性質高，學習內容直接與實作結合，透過平時上課與學習累積電聲相關知識與經驗，在實作中直接嘗試使用，在逆向工程中了解耳機拆解流程與內部構造，與上課內容互相比對了解電路模擬，學習電聲量測相關設備與軟體。

洪銘陽: 透過此次專題的實做，讓我對理論的部分有較清楚的了解，例如空洞位置的不同會影響不同頻段的曲線，模擬的部分結合換能器的等效電路，除了課本上的原理還可以知道市面上耳機大致的設計，對於量測的部分也有初步的認識，整體收穫豐富。

許祐瑄: 在這次的耳機實作中，對耳機量測有了初步的認識，實作的過程結合了電聲換能器和聲學基礎課程所學之內容，將課本所學之內容實際應用，一副耳機對其構造稍作改變，其結果都顯示出了

明顯的差異，應證了課本裡公式及理論的結果。

王俊升: 在這次的實作中，不僅能讓我更加了解耳機的基本構造，也加深對使用 Sound Check 量測參數的使用印象。在聲學轉換電路的過程中，我們不僅可以使用 Matlab 來模擬參數，也能透過量測來確定自己的模擬是否準確。藉由這次的報告使我了解到學長們的論文中，數據能那麼準確一定是費心又費力，能夠考慮得如此詳細，且將資料都數據化、電路化事件多難的事。