

國立交通大學  
電機與控制工程學系  
碩士論文

*VCM* 應用 *LQG* 方法於光碟機的制振研究

Using VCM to Reduce Optical Disk Vibration with LQG  
Control



研究生：黃匯欽

指導教授：林錫寬 博士

中華民國九十五年六月

# 誌謝

首先，必須感謝我的指導老師林錫寬教授，在這兩年的研究生涯中，老師給了我很多的意見與指導。此外，老師在學術研究上所抱持的嚴謹態度、豐富的學識一直是我深感值得效法的典範。

其次，非常感謝林君明教授、陳傳生教授、鄭木火教授和我的指導教授林錫寬教授，在百忙之中來幫我進行論文口試，也感謝各位老師對本論文的建議與指正，讓我獲益良多以及讓這篇論文更加完備。

感謝王世杰學長、李宗原學長對我的指導，還有工研院的張啓伸學長、吳敏德學長對於這次研究的各種問題給予的指導與幫助，還有鄭啓昌、范存堯、賴威勳、林俊杰、吳宇中幾位學長在我研究過程中對我的指導與建議，

並感謝我的同窗好友典璋、星宇、品齊在修課以及研究的過程中的討論、幫助和支持，使得我在研究所這兩年獲益良多。

最後，我更要感謝我的家人，他們在這段時間內不曾間斷的鼓勵和關懷，使得我能順利完成論文的撰寫。在此僅以本份論文的結果獻給我的家人與其他關心、幫助我師長及朋友，非常的感謝你們。

# VCM 應用 LQG 方法於光碟機的制振研究

## Using VCM to Reduce Optical Disk Vibration with LQG Control

研究生 : 黃匯欽

Student : Hui-Chin Huang

指導教授 : 林錫寬 博士

Advisor : Dr. Shir-Kuan Lin



A Thesis

Submitted to Department of  
Electrical and Control Engineering  
National Chiao Tung University  
in partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master

in

Electrical and Control Engineering

June 2006

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十五年六月

# VCM 應用 LQG 方法於光碟機的制振研究

研究生：黃匯欽                      指導教授：林錫寬 博士  
國立交通大學電機與控制工程學系

## 摘要

光碟機主要的震動是由於旋轉時碟片的不平衡量造成。目前的光碟機通常使用被動式集振器當成減震裝置。一般來說，光碟機在不同的讀取情況下碟機會在多個轉速下工作，不過目前的被動裝置僅僅能某個轉速頻率下發揮效果。這個研究使用了線性高斯二次方法控制 VCM 形成一個主動式的集振器來取代傳統的集振器。以這個主動式的集振器來減少碟機在各種轉速下的震動。



# A Disturbance Observer Applying to the Auto-Focusing System of Digital Video Cameras

Student : Hui-Chin Huang

Advisor : Dr. Shir-Kuan Lin

Department of Electrical and Control Engineering

National Chiao Tung University

## ABSTRACT

Unbalanced disks in rotation will lead to the main vibration of an optical disk drive. Passive vibration absorbers are usually used in current optical disk drives to suppress vibration. Generally, optical disk drives have to make a disk spin at multiple speeds by different read/write conditions. However, the passive vibration absorber only suppresses vibration at a specific rotating speed and may excite vibration at other speeds. This study uses a linear quadratic Gaussian (LQG) to control VCM for active vibration absorbers. Using active vibration absorbers to reduce disk drive vibration at multiple rotating speed.

# 目錄

中文摘要	i
英文摘要	ii
目錄	ii
圖例目錄	v
表格目錄	viii
<b>第一章 緒論</b>	<b>1</b>
1.1 前言 . . . . .	1
1.2 文獻回顧 . . . . .	2
1.3 研究動機與研究目的 . . . . .	2
1.4 問題描述與研究方法 . . . . .	3
1.5 論文架構 . . . . .	4
<b>第二章 光碟機系統與音圈馬達 (VCM)</b>	<b>5</b>
2.1 光碟機構造 . . . . .	5



2.1.1	光機模組 (Macha)	5
2.1.2	主軸馬達與讀寫裝置	7
2.1.3	光碟機上的吸震裝置	7
2.2	音圈馬達 (VCM) 構造	7
2.2.1	音圈馬達工作原理	7
2.2.2	本實驗使用的音圈馬達構造與設計考量	8
2.2.3	音圈馬達模型與實體	10
2.3	使用音圈馬達代替集振器 (Absorber) 的想法敘述	11
2.3.1	本實驗音圈馬達設計要求	11
2.3.2	制振理論	12
2.3.3	可行性實驗	13
<b>第三章 實驗系統與 LQG 方法介紹</b>		<b>15</b>
3.1	系統參數鑑別的方法	15
3.1.1	運動方程式轉換成狀態空間表示式	15
3.1.2	狀態空間表示式中各個參數的鑑別	16
3.2	LQG 實際應用於實驗系統的介紹	16
3.2.1	常用的 LQG 方塊圖與實驗系統的方塊圖	17
3.2.2	以加速規量得主軸馬達的外力	17
3.3	LQG 方法的使用	19
3.3.1	連續系統轉換成離散系統	19
3.3.2	卡爾曼濾波器	19
3.3.3	LQR 方法	21
3.4	模擬結果	22
3.4.1	Kalman Filtering 模擬結果	22

3.4.2	LQG 分析與模擬	27
<b>第四章 實驗結果</b>		<b>32</b>
4.1	實驗平台使用儀器介紹	32
4.1.1	馬達驅動器	32
4.1.2	加速規與雷射測速儀	35
4.1.3	功率放大器與 DAQ 卡轉接盒	38
4.2	DAQ 卡使用方式	39
4.2.1	DAQ 卡硬體考量	39
4.2.2	DAQ 卡軟體考量	40
4.2.3	DAQ 卡使用注意事項	42
4.3	實驗結果與模擬結果比較	43
4.3.1	實驗結果說明	43
4.3.2	Mecha 震動速度與馬達外力加速度訊號分析	45
4.3.3	Mecha 速度與 VCM 輸入電壓訊號分析	47
4.3.4	卡爾曼濾波器估測 Mecha 速度	48
<b>第五章 結論與未來發展</b>		<b>50</b>
5.1	前言	50
5.2	結論	50
5.3	未來發展	51



# 圖例目錄

1.1	不同光碟片造成震動的頻譜分析	3
2.1	市售光碟機俯視圖	6
2.2	Mass 分解示意圖	6
2.3	音圈馬達工作原理圖	8
2.4	音圈馬達結構圖	9
2.5	音圈馬達實體圖	9
2.6	VCM 取代集振器的光碟機	10
2.7	傳統光碟機的力圖	11
2.8	音圈馬達取代集振器的系統力圖	12
3.1	本次實驗使用的 LQG 方塊圖	17
3.2	使用側向力估測縱向力方法的示意圖	18
3.3	加入單位回授矩陣後的波德圖	21
3.4	模擬卡爾曼濾波器估測	23
3.5	加入 $1e^{-2}$ 牛頓雜訊的卡爾曼估測結果	24
3.6	圖 3.5 的詳細圖形	24
3.7	加入 $1e^{-3}$ 牛頓雜訊的卡爾曼估測結果	25
3.8	圖 3.7 的詳細圖形	26
3.9	4000rpm 制振模擬	27

3.10	6000rpm 制振模擬 . . . . .	28
3.11	8000rpm 制振模擬 . . . . .	28
3.12	10000rpm 制振模擬 . . . . .	29
3.13	共振頻率下的制振模擬 . . . . .	29
3.14	平台震動速度與 DAQ 卡輸出電壓關係 . . . . .	30
3.15	圖 3.14 的詳細情況 . . . . .	30
4.1	馬達驅動器外觀 . . . . .	33
4.2	馬達驅動器跳線板 . . . . .	33
4.3	馬達驅動器轉速計 . . . . .	33
4.4	馬達驅動計 RF 訊號輸出端 . . . . .	34
4.5	雷射測速儀主體 . . . . .	35
4.6	雷射測速儀雷射訊號發測接收端 . . . . .	35
4.7	雷射訊號能量顯示光棒 . . . . .	36
4.8	加速規與小鋁塊放置的方向位置 . . . . .	36
4.9	加速規的驅動器 . . . . .	37
4.10	功率放大器 . . . . .	38
4.11	DAQ BNC 轉接盒 . . . . .	39
4.12	實驗平台示意圖 . . . . .	40
4.13	實際實驗平台 . . . . .	41
4.14	DAQ 卡 NI6221 . . . . .	41
4.15	範例程式圖 . . . . .	42
4.16	未啓動 VCM 的 Mecha 震動速度訊號 . . . . .	44
4.17	啓動 VCM 之 Mecha 震動速度訊號 . . . . .	44
4.18	由 daq 卡擷取的實際 Mecha 速度與馬達提供外力圖 . . . . .	46
4.19	圖 4.18 0 秒到 0.1 秒的詳細資料 . . . . .	46

---

4.20 Mecha 上的震動速度與預計輸入 VCM 的電壓 . . . . .	47
4.21 圖 4.20 0 秒到 0.1 秒的資料 . . . . .	48
4.22 Mecha 速度 ( 藍色 ) 與卡爾曼濾波器估測結果 ( 紅色 ) . . . . .	48



# 表格目錄

3.1 卡爾曼濾波器的符號表示表 . . . . .	20
3.2 卡爾曼濾波流程表 . . . . .	20



# 第一章

## 緒論

### 1.1 前言



DVD-ROM 光碟機在我們的生活中已經是一個生活必須用品，隨著光電技術的進步，在線上遊戲與影音多媒體產業的蓬勃發展下，各廠商紛紛投入採用短波長藍紫色雷射光，容量大幅提昇的新一代藍光光碟技術的研發，後續並形成了由 SONY 所主導的「Blue-ray Disc」以及由東芝所主導的「HD DVD」相互競爭的兩種標準，並各自拉攏其餘軟硬體廠商的支持，使得下一代影音光碟的標準陷入分裂的局面，日前 Sony 公司已經有藍光燒錄機產品在市面上正開始發售，甚至已經推出了裝載藍光燒錄機的筆記型電腦。

在高容量光碟片的技術成長下，光碟讀取頭的定位技術越來越精確而且光碟儲存容量大增的同時，光碟磁軌越來越密集，光碟機受到外來震動干擾產生的影響也會在讀取過程中顯得也越來越明顯，爲了使得燒錄光碟機不燒出壞軌的光碟或是在讀取的過程中不跳軌也就是俗稱的挑片，讓生產的產品更有市場競爭力，光碟機本身抗震動的能力也顯得越來越重要。

## 1.2 文獻回顧

我們尋找了相關的研究發現音圈馬達在應用上十分的廣泛，用來當成致動器達到制振效果的在國內相關研究在中央大學有利用音圈馬達配合帶拒濾波器演算法達成平台減震效果 [8]，在雲林科技大學有利用音圈馬達配合虛擬振動吸收器演算法達到制振效果的研究 [9]，而 LQG 的應用則更是琳瑯滿目，以最後結論部分會提到的中央大學應用 LQG 的控制方法配合 RBF 類神經網路在超音波馬達的定位控制上的應用 [10]。

## 1.3 研究動機與研究目的

然而目前幾乎所有的燒錄光碟機抗震機制還是停留在使用橡膠圈製作而成的吸收器 (Isolator) 以及集振器 (Absorber) 來當成主要的抗震元件，使用橡皮圈當成抗震元件的優點是構造簡單與價格便宜，缺點是基於橡膠的特性所以只有在某一個震動的頻率下有吸震的效果。

在燒錄或是讀取的過程中，光碟機會依據不同的碟片種類或是燒錄速度以各種不同的頻率進行讀取與燒錄的動作，在變頻率的各種情況下的橡皮圈吸震效果不佳是可以預期的。

以目前市場主流的 DVD-ROM 光碟機來說，容量有 4.7G 的 DVD 光碟片售價約單片新台幣二十元左右也還算便宜，雖然常常燒出壞軌的光碟片，但是還在可以容許的範圍所以這方面的問題並不十分顯著，然而當以後更大容量的光碟燒錄技術普及後如果容易燒出壞軌的光碟機將因為缺乏競爭力而被市場淘汰，所以我們著手這項進行光碟機減震技術的研究。

本研究的主要目的就是利用音圈馬達 (Voice Coil Motor) 取代傳統的集振器 (Absorber) 抑制主軸馬達產生的固定頻率震動。

本研究是與工研院電光所合作，利用電光所開發出來的音圈馬達 (VCM)，取代傳統光碟機裡的集振器來達到主動制震的效果。

## 1.4 問題描述與研究方法

光碟片在製造的過程中由於加工過程的不完美會造成光碟片上的重量無法完全均勻的分佈，這些不均勻的重量我們稱為碟片的不平衡量。

光碟機在不同的倍數燒錄或是讀取時，碟片的不平衡量在高速下旋轉將會造成系統的內部震動，這個內部的震動的頻率將會隨著不同轉速產生不同頻率的震動，根據工研院電光所的技術報告 [11] 中指出，碟片不平衡量造成的震動經過頻譜分析儀分析後顯示這個震動是在光碟機旋轉的頻率的能量成分最多，其他能量相對低很多的是一些高頻雜訊以及光碟機模組的共振頻率，見圖 1.1，而這個與光碟機主軸馬達旋轉同頻率的成分就是我們這一次研究主要想要消除的對象。

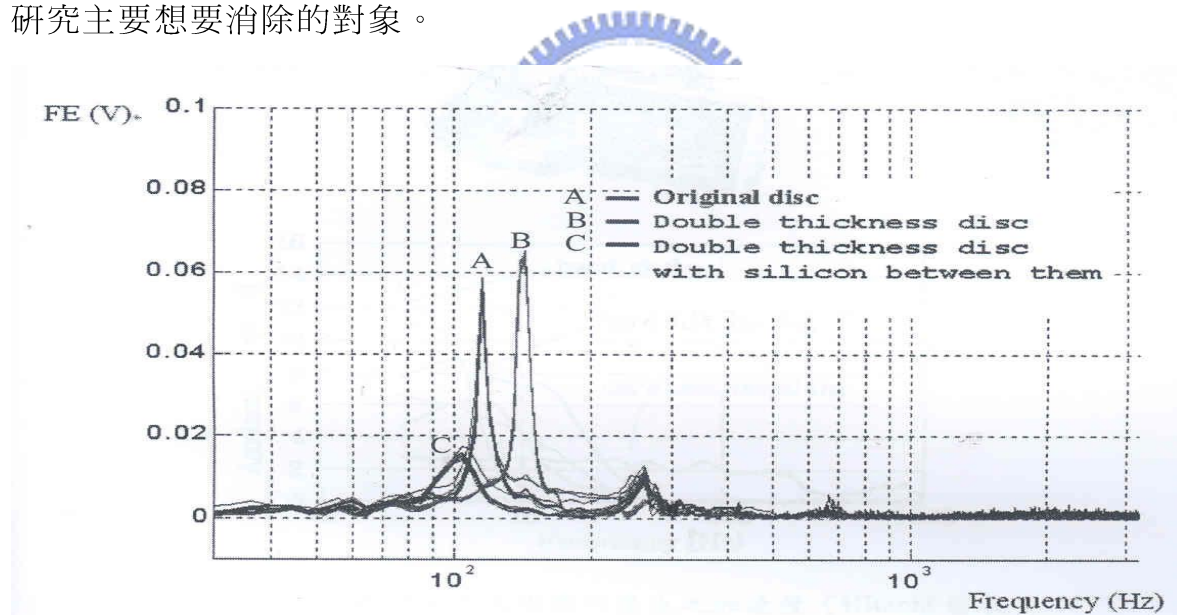


圖 1.1: 不同光碟片造成震動的頻譜分析

本研究採用的是工研院自製的音圈馬達，裝置在光碟機的光機模組 (Mecha) 上，當未啓動音圈馬達時利用音圈馬達本身的物理特性達到與橡膠墊圈集振器相同的效果，一旦啓動音圈馬達後系統上的音圈馬達會產生與外力相反的力抵銷這一個頻率下的外力造成的震動量，在控制方法上我們採用線性二次高斯控制方法 (LQG) 來達到光碟機在固定轉速小幅變化轉速下的主動制振的目的。

選用音圈馬達的理由，是由於音圈馬達體積小耗電少，又可以設計成不同的形狀改變放置於光碟機中取代集振器，利用線圈不同匝數達到適當的驅動的力量達到制震的目的。

控制方法採用線性二次高斯控制方法的理由是由於卡爾曼濾波 (Kalman filtering) 的方法已經發展出一套非常完整的理論，而且優異的抗雜訊特性是目前最常採用的觀察器之一，配合線性二次最佳化 (LQR) 控制方法來達到減震的效果。

## 1.5 論文架構

本論文架構可分為五大章節，分述如下，

**第一章 緒論。** 先針對問題背景、問題產生的原因做描述，接著對解決的方法進行簡單的說明，最後就是論文架構。

**第二章 光碟機系統與音圈馬達 (VCM) 介紹。** 針對工研院電光所研制的音圈馬達以及這次研究所使用的光碟機平台做描述，接著介紹研究想法可行性的測試實驗。

**第三章 實驗系統與 LQG 方法介紹。** 針對本研究的設計原理、實驗方法和系統架構做詳細的介紹。

**第四章 實驗結果。** 在本章中將詳細介紹實驗的過程以及結果還有實驗過程的注意事項等，並且比較與模擬結果的差異。

**第五章 結論與未來發展。** 在最末章中將提出這次研究後發現的優缺點討論，以及提出該如何改進的地方，最後介紹目前可以應用發展的領域。



## 第二章

# 光碟機系統與音圈馬達 (VCM)

在本章中我們將要介紹，傳統的光碟機各個部分的作用以及本次實驗使用的 VCM 構造，最後介紹用音圈馬達取代集振器的方法與由系統鑑別得到系統的狀態空間表示式。



### 2.1 光碟機構造

光碟機係一光、機、電的整合系統，因此在光碟機內部包含了光學系統、硬體電路板及精密的機械構造。光碟機機構猶如人體的骨骼與肌肉，負責承載光學讀取頭、主軸馬達及光碟片等，是光碟機的基本架構。整體的機構組成上可以概略分成光機模組 (Mecha) 及承載機構 (Loader)，由於這次研究不會牽涉到承載機構所以這一部分就省略不介紹。

光碟機需要有優良防震系統、高強度結構，可防止外在或本身運轉時產生之振動，影響光碟機讀取資料特性或噪音產生，本研究就是針對目前使用的傳統防震系統加以改良。

#### 2.1.1 光機模組 (Macha)

圖 2.1 為一個市售光碟機的俯視圖，其中標示 Macha 部分就是光機模組，而 Mass 是集振器 (Absorber) 上的質量，可以由圖 2.2 Mass 分解示意圖知道他們相對位置。

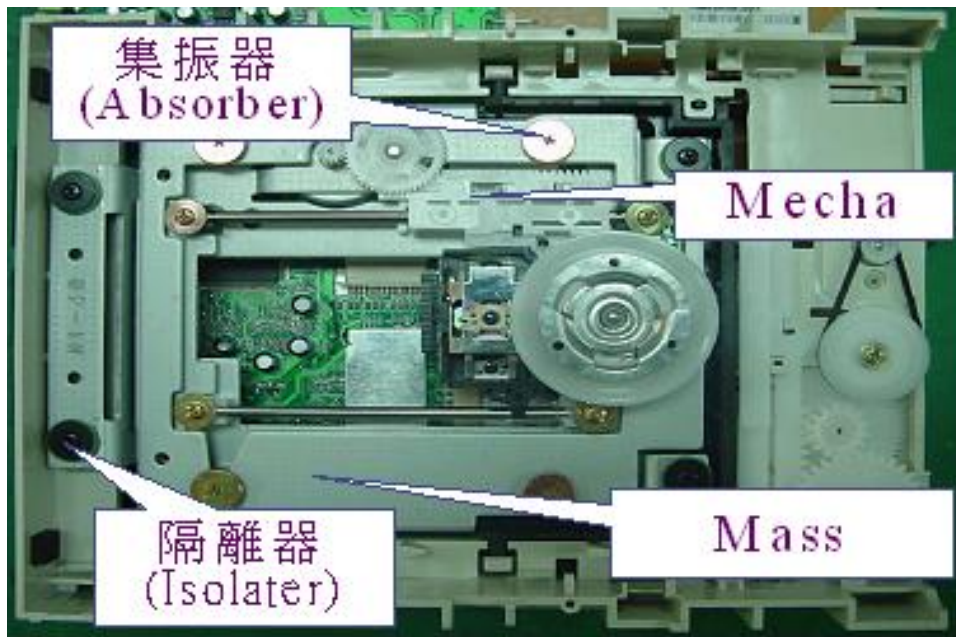


圖 2.1: 市售光碟機俯視圖

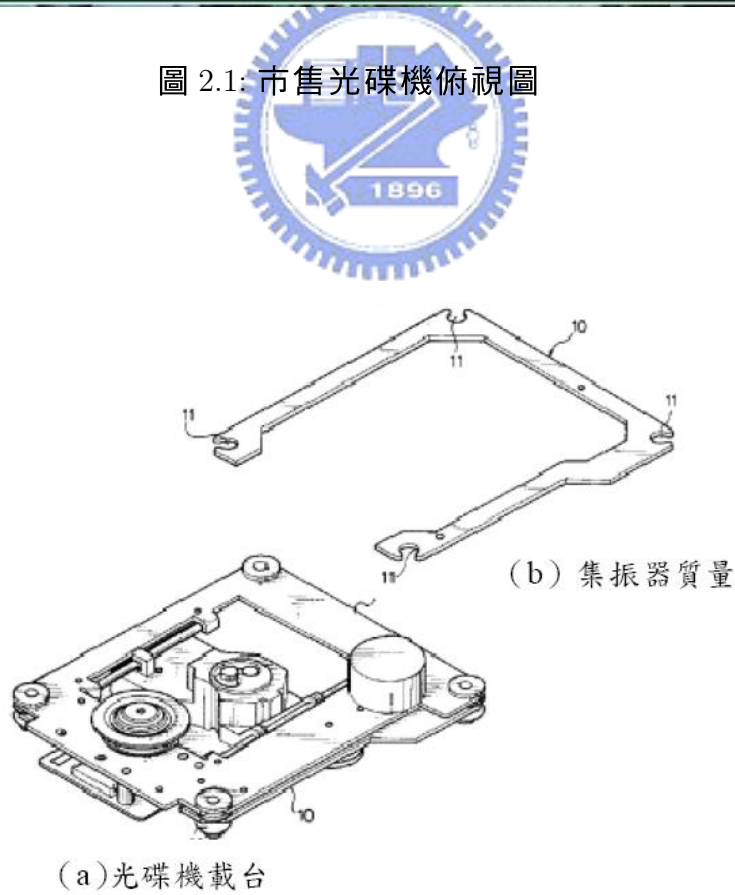


圖 2.2: Mass 分解示意圖

### 2.1.2 主軸馬達與讀寫裝置

讀取裝置上的光學讀取頭將在碟片高速旋轉的時候進行定位與讀取資料的動作，而主軸馬達就是使碟片高速旋轉的動力來源。

由於馬達高速震動會造成讀寫裝置的移動，所以在進行實驗的時候我們會將機台的讀寫裝置以膠帶固定住，使其不會因為每次實驗時都在不同的位置所以造成實驗結果的不同。

### 2.1.3 光碟機上的吸震裝置

由圖 2.1 可以知道光碟機的讀寫裝置直接架設在光機模組上，所以光機模組必須盡量維持穩定，一旦震動太大將會直接影響讀寫裝置工作，後果將是造成讀寫裝置讀取不到資料或是燒錄過程中燒錄到錯誤位置造成資料錯誤的光碟片。所以市售光碟機在機殼固定端與光機模組之間會加入一個被動的吸震裝置—隔離器 (Isolator)，這個吸震裝置傳統上使用橡膠圈，這個橡膠圈由機械觀點看來相當於一個阻尼，具有傳遞外來震動能量的作用，故可以利用這個特性達到將能量傳遞到另外一個鐵片 (Mass) 上藉著 Mass 振動來消耗能量。

另外一個被動的吸震裝置—集振器 (Absorber) 也是一個軟橡膠加上一個有重量的鐵片 (Mass)，其目的是希望碟機震動時，有部分能量傳遞到 Mass 消耗，讓碟機模組上的讀寫裝置受到震動的影響降低。

## 2.2 音圈馬達 (VCM) 構造

本小節將詳細介紹本次實驗用的音圈馬達的結構、設計的考量以及工作原理。

### 2.2.1 音圈馬達工作原理

音圈馬達工作原理如圖 2.3 所示，將一個線圈放入磁場中，當線圈上電流方向與磁場方向垂直可知與磁場垂直部分的線圈將受到向上推力，推力方

向由佛萊明右手定則決定，受到推力大小經過磁場的電流大小乘上磁場的強度，由 (2.1) 決定線圈受力大小與方向。

$$\vec{F} = N \cdot l \cdot \vec{i} \otimes \vec{B} \quad (2.1)$$

其中  $\vec{F}$  表示推力；

$N$  為線圈匝數；

$l$  為導線與磁場垂直的長度；

$\vec{i}$  為垂直通過磁場的電流；

$\vec{B}$  為磁場。

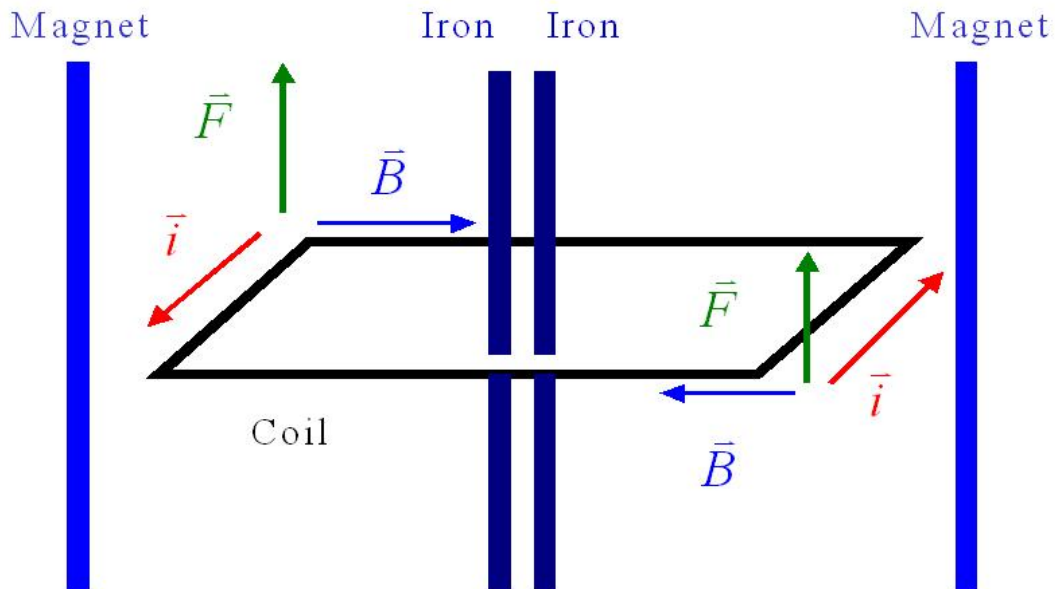


圖 2.3: 音圈馬達工作原理圖

### 2.2.2 本實驗使用的音圈馬達構造與設計考量

本次實驗使用的音圈馬達如圖 2.4 所示，而圖 2.5 是音圈馬達的實體圖，為了解說方便我們採用圖 2.4 解說，音圈馬達是由四個部分構成，其中 A 部分的兩個鐵塊是音圈馬達的上下蓋，B 部分是兩個銅柱，C 部分的鐵塊內有磁鐵產生一個磁場，D 部分是一個類似工字型的銅塊，中間夾有線圈，線圈與磁場方向平行，線圈通弦波時，根據 2.2.1 小節所述，音圈馬達將會上下

運動，移動時線圈被 *C* 銅塊夾住所以 *C* 銅塊與線圈將會一起順著 *B* 鐵柱上下移動，爲了避免 *C* 銅塊撞上 *A* 部分的鐵塊，所以加上了 *B* 部份的銅柱上加上彈簧避免撞擊受損。

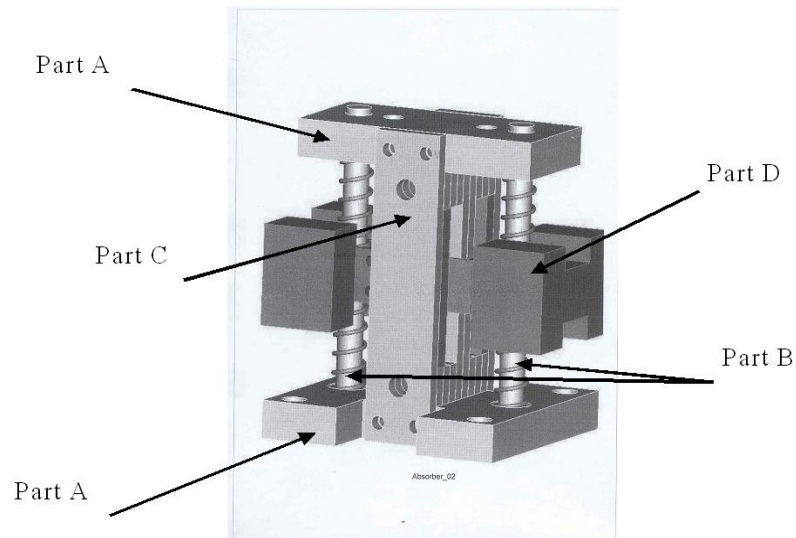


圖 2.4: 音圈馬達結構圖

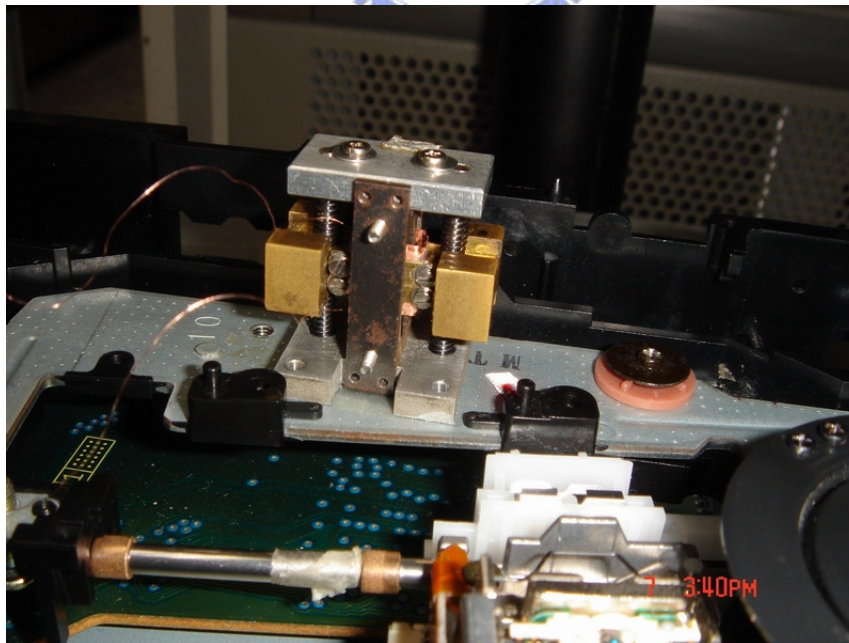


圖 2.5: 音圈馬達實體圖

爲了使音圈馬達在未通電的時候也可以達到被動式集振器的功能，我們在設計上需要考量原來被動式集振器的機械特性，相關設計方法可以參考張啓伸學長的論文”Design of an Adaptive Dynamic Absorber to Reduce Optical Disk Drives Vibration at Multiple Rotating Speeds” [1]。

### 2.2.3 音圈馬達模型與實體

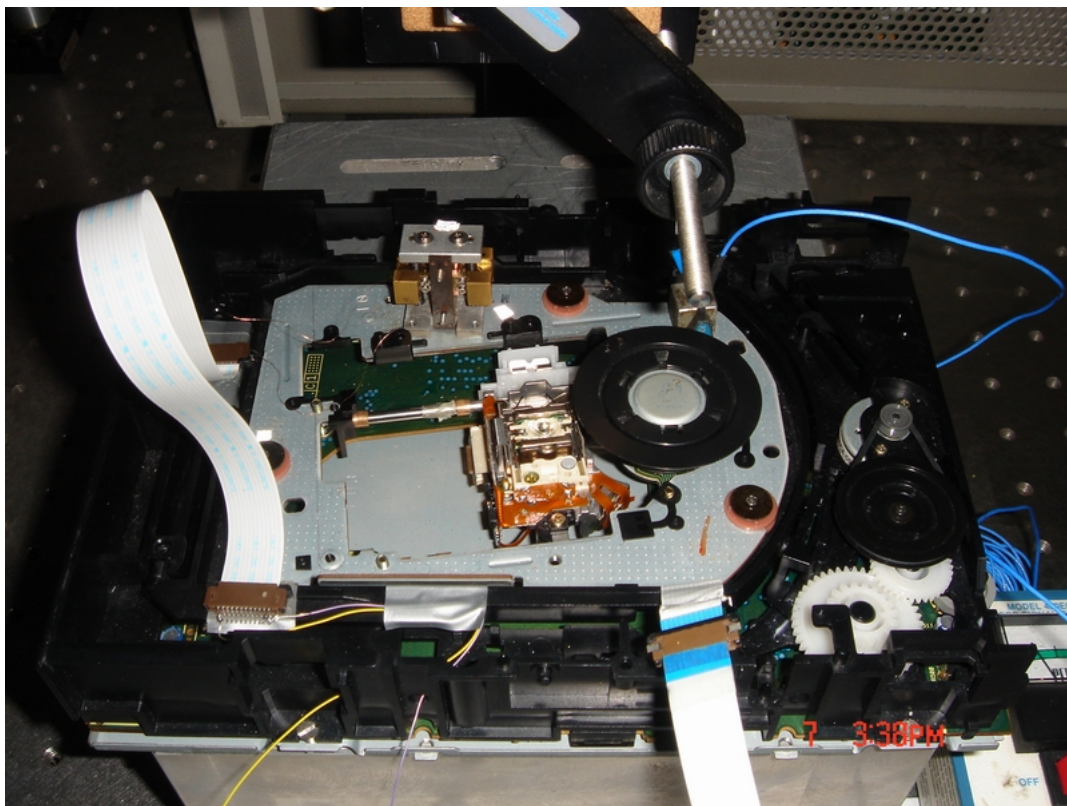


圖 2.6: VCM 取代集振器的光碟機

圖 2.6可知這是目前我們使用 VCM 取代集振器的情形，在這個系統上我們已經將集振器拆除，架上單個 VCM 取代集振器，當 VCM 啓動時將會抑制 Mecha 上的震動，本次實驗不考慮系統的旋轉與扭動的現象，專注於垂直方向上震動的控制。