

工程設計專題－學習歷程

巫玟槿

民國113年2月4日

Abstract

本文首先介紹了工程製圖的學習過程，包括使用Autodesk Inventor軟體繪製草圖和製作模型。接著，文中敘述了基礎電學的學習內容，涵蓋了N型與P型半導體的差異、電晶體原理、達靈頓電路等知識。

而後則是無刷馬達的專題製作，此專案的主要目標是設計並製作一個在25W轉速達10000rpm的馬達，並且深入了解各種影響轉速的參數以及電子元件的原理。文中詳細地記錄了專案的分工、進度表、資料搜集、零件清單（BOM表）等詳細信息。在製作過程中，作者參與了馬達的3D建模、控制電路設計與製作，並進行了調校分析，以優化馬達的性能。最終，團隊通過實際測試證明其效能，成功製作出25W轉速高達15000rpm的馬達。

最後，作者反思了整個學習過程，表示透過這次專題，不僅對無刷馬達的設計和製作有了深入的了解，也對電子、電路學等領域產生了更多興趣。文章同時也提及作者利用這次機會學習了LATEX排版技巧，為未來的學術研究打下基礎。

Contents

1 工程製圖- Autodesk Inventor	1
2 基礎電學	2
2.1 半導體	2
2.2 電晶體	2
2.3 達靈頓電路	3
3 無刷馬達專題	4
3.1 專案目標	4
3.2 分工	4
3.3 資料搜集	5
3.4 BOM表	7
3.5 製作過程	8
3.5.1 3D建模	8
3.5.2 控制電路	9
3.6 調校分析	10
3.7 成果展示	11
4 心得與反思	12
References	13
References	13

1 工程製圖- Autodesk Inventor

為了讓我們之後能順利產出有水準的作品，老師教導我們如何使用工程製圖，首先是要依照標示繪製出相應草圖（Figure 1），其後再學習擠出、圓角、組合等，最後做出一個指尖陀螺的模型（Figure 2）。而因為我先前在FRC有接觸過工程製圖（包含Fusion 360和Inventor），因此在這個部分的學習對我而言並不困難。

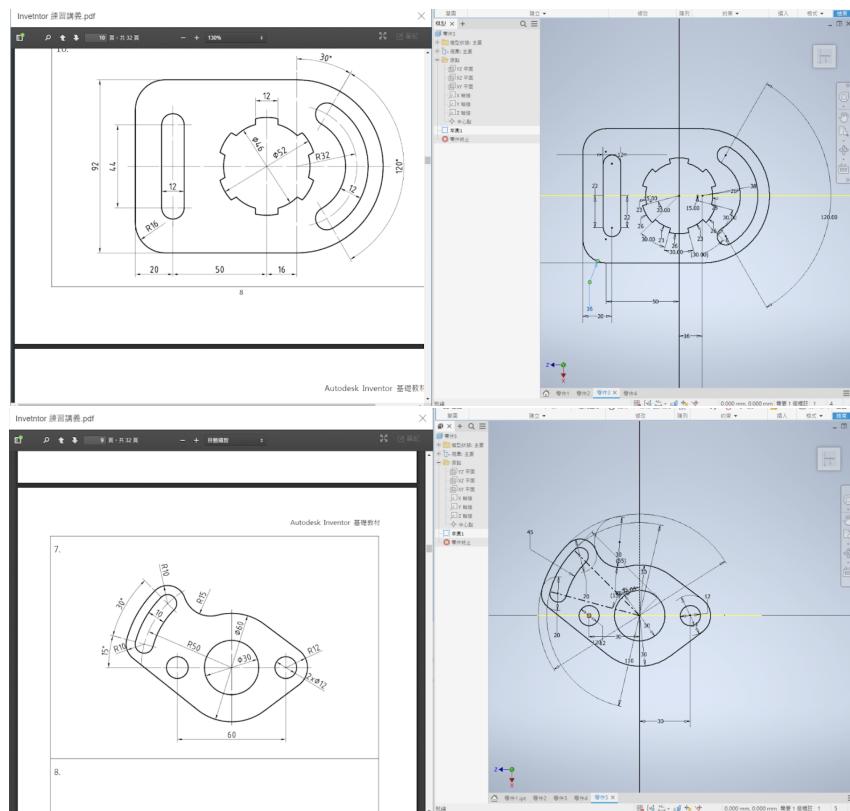


Figure 1: 課堂中所繪製的草圖



Figure 2: 指尖陀螺模型

2 基礎電學

在這個部分老師除了告訴我們之後製作無刷馬達所需知識外，也向我們科普了許多相關知識，例如N型與P型半導體的差異、電晶體原理、達靈頓電路，以下便一一列舉。

2.1 半導體

1. N型半導體：在半導體材料中，摻雜了能提供自由電子的雜質，這些自由電子可以自由移動，因此N型半導體的導電性較純淨的半導體高，而其電子濃度亦較高。
2. P型半導體：在半導體材料中，摻雜了能提供正電洞的雜質，這些正電洞可以自由移動，因此P型半導體的導電性較純淨的半導體高，而其電洞濃度亦較高。

2.2 電晶體

1. 二極體：一種基本的半導體元件，主要由P型和N型半導體材料構成。其工作原理是當二極體正向偏壓時，即P型半導體連接正極，N型半導體連接負極時，電流可以流過二極體；反向偏壓則阻止電流流過。
2. BJT（雙極性接面電晶體）：由兩個PN接面組成，分為NPN和PNP兩種類型。以NPN型為例，當基極（Base）接收小電流，它會控制從發射極（Emitter）到集極（Collector）的大電流。基極至發射極接面正向偏壓，而集極至基極接面反向偏壓。這使得發射極的電子被吸引到基極，進而流向正向偏壓的集極，從而產生放大效果。
3. FET（場效應電晶體）：主要通過電壓來控制電流，其結構包括源極（Source）、閘極（Gate）和汲極（Drain）。當閘極施加正電壓時，會在源極和汲極之間形成一個導電通道。電子從源極流向汲極，通過閘極電壓的控制來調節這個通道的導電性，從而控制電流流動。

2.3 達靈頓電路

1. 介紹：達靈頓電路是一種由兩個電晶體組成的放大電路，能夠將輸入的微弱電流放大成較大的電流。
2. 原理：當輸入電流通過第一個電晶體時，會使得第一個電晶體開啓，並且將電流放大，進而使得第二個電晶體開啓，並且將電流再次放大，最後輸出的電流會是輸入電流的數倍，因此若手指觸碰到輸入端，人體的微弱電流便能夠使得達靈頓電路輸出較大的電流，進而點亮燈泡。
3. 電路圖如Figure 3

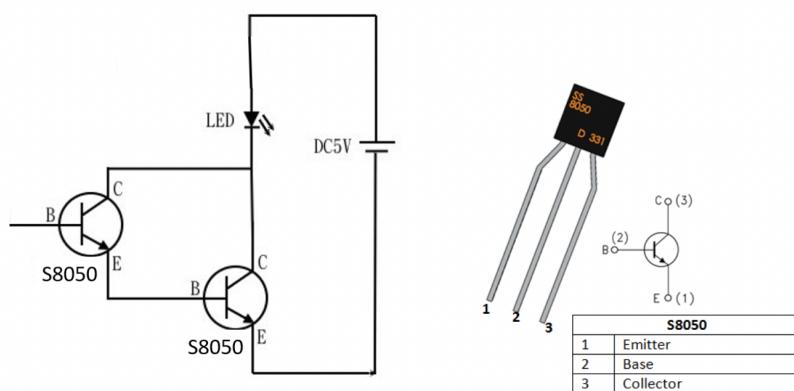


Figure 3: 達靈頓電路圖

4. 實作如Figure 4

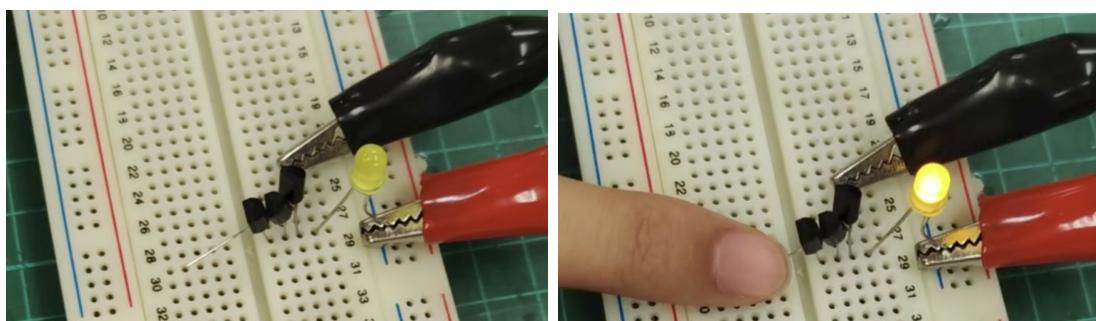


Figure 4: 達靈頓電路實作

3 無刷馬達專題

3.1 專案目標

1. 設計與製作轉速超過10000rpm效能的馬達(25W以內)
2. 認識各參數對轉速的影響
3. 認識電子元件的動作原理
4. 熟練建模軟體協助專題製作
5. 活用加工工具協助專題製作
6. 設計測速工具協助觀察馬達運作
7. 體驗專題製作歷程並編寫完整報告

3.2 分工

經過前段時期的建模與電路實習課程之後，老師讓我們自行依據個人專長，設定六個工作部門，期待我們集結不同屬性的人設，共同完成這一項工程專題活動。

1. PM(Project Manager)：管理與支援工作，並匯整製作專題報告
2. ME(Mechanical Engineer)：科學探索與機械參數設計、主導構想
3. QT(Quality Testing Engineer)：科學探索與機械參數設計、優化設計
4. EE(Electric & Electronic Engineer)：電機研究與電路配線
5. ID(Industrial Designer)：馬達(轉子、定子、感測、測速)設計與建模
6. PE(Process Engineer)：各部件(底座、轉子、定子、支架)加工與組裝

由於我們這組人數比較少，因此我有兼任多個部門，而我主要負責的是QT、EE、PE以及ID。以下是我們專案進度表。

主責	支援	主題工作	11/6	11/13	11/20	11/27	12/4	12/11	12/18	12/25
PM	All	專題分工討論	V							
PM	All	雲端資料分享	V							
PM	All	確認專題條件	V							
PE	All	確認可用資源		V						
PM	All	搜尋與整理資料		V						
ME	All	閱讀與分析資料			V					
ME	EE	瞭解科學原理			V					
ME	QT	分析馬達原理			V					
ME	All	提出設計方案			V					
PE	PM	擬定BOM表			V					
PM	All	採購與取得零件			V					
ID	ME	轉子、定子建模				V	V			
ID	PE	底座、支架建模				V	V			
PE	ID	線圈加工組裝				V	V	V		
PE	ID	底座支架組裝						V	V	
EE	QT	電路實驗與繪圖			V					
EE	PE	電路配線與測試				V				
QT	All	成品調校修正							V	
PM	All	完成專題與報告	V					V	V	V

Table 1: 專案進度表

3.3 資料搜集

1. 電磁科學(ME)

為了瞭解那些參數對轉子的轉速有影響，我們決定引入高二物理學過的轉動公式，可以知道在功率固定的情形下，必須使轉動慣量減小，而藉由微調半徑與質量等參數，能夠有效使轉速提升。再者，磁力也是決定轉速的一大參數，由高三所學過的必歐-沙伐定律可以知道磁力與電流一次方正比且與半徑一次方反比。綜上所述，藉由參數的調整，能夠使馬達狀態最佳化。

2. 馬達工程(QT)：

- (a) 有刷馬達與無刷馬達的差異：無刷馬達使用電子元件驅動，無需維護，提供穩定轉速。有刷馬達則因碳刷與整流子接觸磨損需維護。無刷馬達優勢有維護低、速度穩定、轉矩平穩、功率大。(Taiwan Oriental Motor Co., Ltd, n.d.)
- (b) 直流無刷馬達原理：直流無刷馬達（BLDC）的原理主要涉及馬達的基礎構造與運轉原理。這類馬達通常由定子（Stator）和轉子（Rotor）組成，並在定子和轉子間留有一定的空氣間隙。BLDC不使用電刷進行電流換相，轉速由繞組線圈的電壓決定。這類馬達需要透過驅動電路將直流電轉換成三相電流來運作。此外，BLDC的驅動方式，包括使用橋式電路與功率開關進行三相的電流換相，並透過霍爾元件偵測馬達永磁轉子的角度。(DMP Electronics Inc, 2014; 國立成功大學馬達科技研究中心, n.d.)

3. 電子元件(EE)：

- (a) 霍爾IC：一種能準確監測磁場變化的裝置，適合用於感測物件位置與移動。其核心是霍爾元件，能將磁場轉換為電壓，並透過處理電路如運算放大器來強化信號。這種感測器可以分為數位輸出的霍爾效應開關、鎖存IC，以及類比輸出的線性霍爾效應感測器，各自有不同的應用範圍。該技術廣泛應用於各種設備，如筆記型電腦、冰箱門，以及馬達位置監測等。(Soltero, 2021)
- (b) MOSFET：一種四端子的高輸入阻抗半導體元件，包括汲極（D）、源極（S）、閘極（G）和基體（B）。它們有增強型和耗盡型兩大類型，並根據導體材料進一步分為N通道和P通道。MOSFET在電子電路中通常用作開關或放大器，並且具有不同的封裝類型，以適應不同的應用需求。(Components101, 2020)

4. 自製馬達範例(ID、EE)：

- (a) 指尖陀螺轉化為電動馬達的方法，解說設計，並運用元件如電磁鐵、霍爾感知器和光學感應器，同時也提供相關電路和測速方式(Bodnar, 2018)
- (b) 在前文電磁科學的相關資料搜集後，應該要讓磁鐵與電磁鐵在同一平面上才能使馬達轉得更快，因此我們參考了一些自製馬達的範例，並且在此基礎上進行改良(Creative Think, 2023)

3.4 BOM表

品項	規格	數量	單位	來源
強力磁鐵	10mm x 10mm x 4mm厚	10	顆	老師
滾珠軸承	3(內徑)x 10(外徑) x 4mm(厚)	2	顆	蝦皮
漆包線	SWG28#, 0.35mm(線徑)x m(長)	1	捲	露天
MOSFET	P80NF10	1	顆	露天
霍爾IC	A3144	1	顆	露天
二極體	1N4007	2	顆	老師
電阻	1MΩ	1	顆	老師
電阻	1kΩ	1	顆	老師
單芯線	AWG 22#	1	捲	老師
PCB洞洞板	6 x 28 孔	1	片	露天
木板	90 x 200 x 11mm	1	片	老師
樟木合板	3/3.6mm/5.6mm厚	1	片	老師
直流電源供應器1	學校提供	1	台	老師
直流電源供應器2	學校提供	1	台	老師
帶鋸機	學校提供	1	台	老師
雷切機	100W, 900x600mm	1	台	老師
鑽床	1/2HP	1	台	老師
手提電鑽	10.8V	1	隻	老師
金工虎鉗	學校提供	2	隻	老師
F型夾	學校提供	1	隻	老師
耐熱膠帶	10mm	1	捲	老師
熱縮套	Ø5	1	條	老師
機械螺絲	圓頭, M3L55	11	根	老師
彈簧墊片	4mm	1	片	老師
六角螺帽	M3	11	顆	老師
棉線	白色	1	捲	老師

Table 2: BOM表

3.5 製作過程

3.5.1 3D建模

1. 零件圖

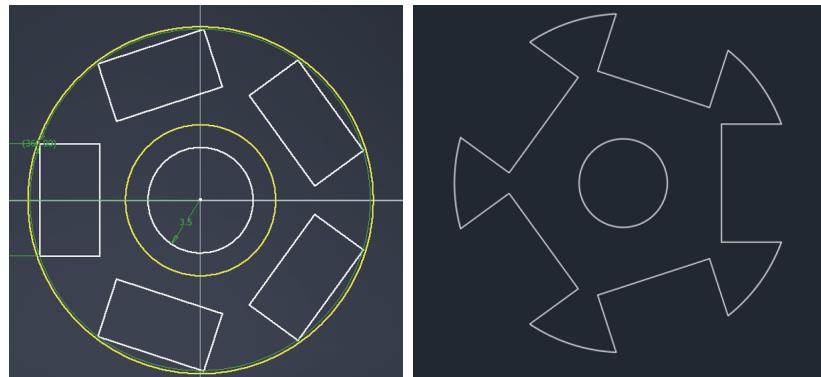


Figure 5: 轉子架草圖



Figure 6: 轉子架草圖(總共三層，上圖為上下兩層(cookie)，下圖為中間層(filling))

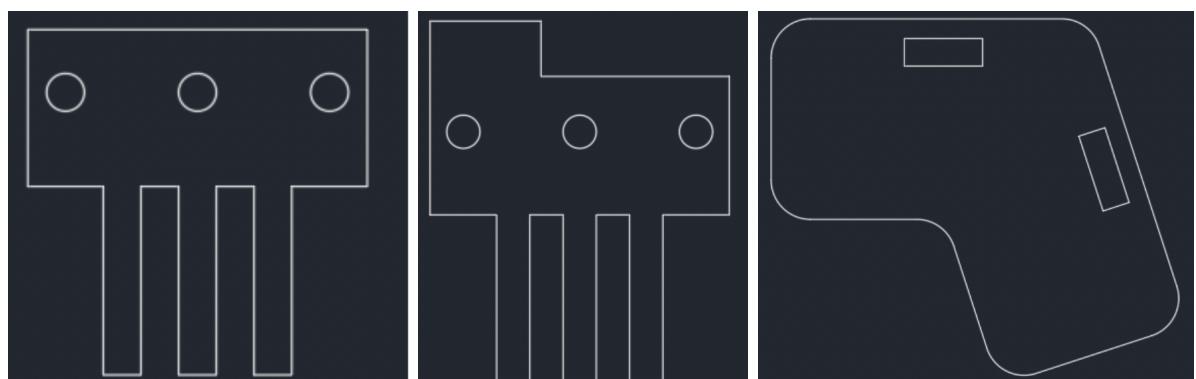


Figure 7: 定子架(前兩個)與霍爾感知架草圖(第二個定子架突出處是為接合霍爾感知架)

2. 組裝圖



Figure 8: 轉子、定子、霍爾感知支架3D組裝圖

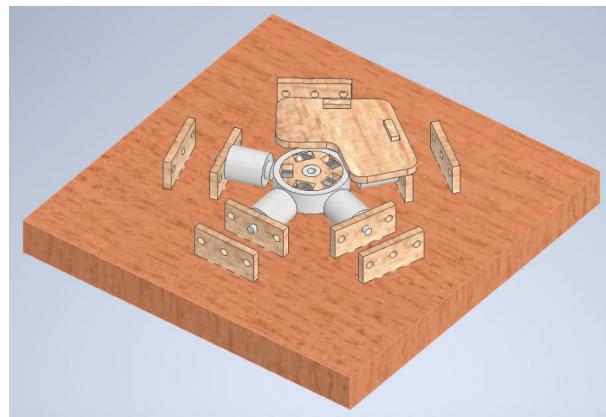


Figure 9: 整組馬達模型3D組裝圖

3.5.2 控制電路

1. 手繪電路圖

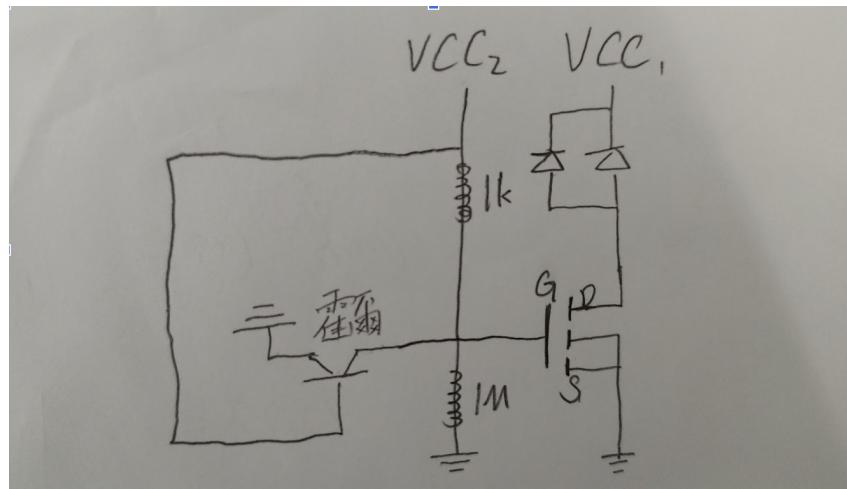


Figure 10: 馬達控制電路手繪圖

2. Tinkercad 電繪電路圖與實體電路

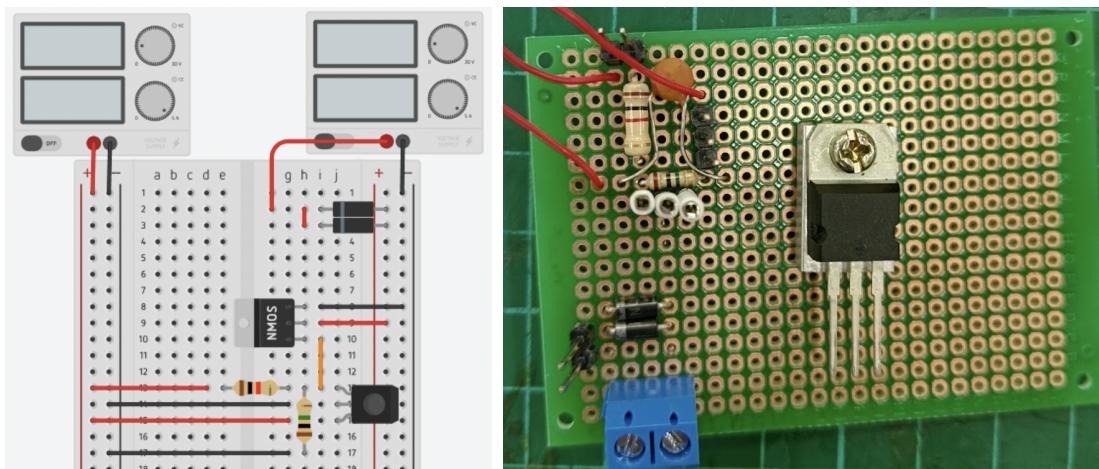


Figure 11: Tinkercad 電繪電路圖與實體電路

3.6 調校分析

問題描述	轉速(rpm)	擬修正說明
從轉子側邊放置霍爾感知器，霍爾接近與遠離磁鐵時，電流有產生改變，但嘗試許久仍無法作動	0	可感測區域太小，試著將霍爾感知器移到轉子上方
成功轉動，但因仍是使用手持霍爾感知器因此無法穩定加速	13000	先找到測試時能使轉子最快的大致位置，再利用膠帶將霍爾感知器固定在設計的固定架上，試圖不斷微調找到最佳位置
轉速略趨穩定，但在加速過程中發現電流與電壓非恆定，似乎會隨轉速加速而不斷變化，因此很容易超過規定25W之規範，且發現在超過20W後轉速的變化就越來越小。	15000	可能能設計出自動的電壓調節器恆定瓦數，並利用視波器觀察反向電動式等會降低轉速之因素。

Table 3: 測試過程

3.7 成果展示

各角度的照片與實測過程如Figure 12，實測影片於此連結。重新回顧本專案目標(見3.1)，我們成功地設計與製作了一個在25W轉速高達15000rpm效能的馬達，並且在製作過程中，我們也學習到了各種電子元件的動作原理，熟練建模軟體，活用加工工具，並且編寫了完整報告，其中美中不足的是原先想利用Arduino讀取霍爾IC訊號，並在LCD上呈現轉速，但因時間不足而未能完成，只能改用手持測速器量測，但在人手不足的情況下，能夠達成如此成果，我們仍然感到非常滿意。

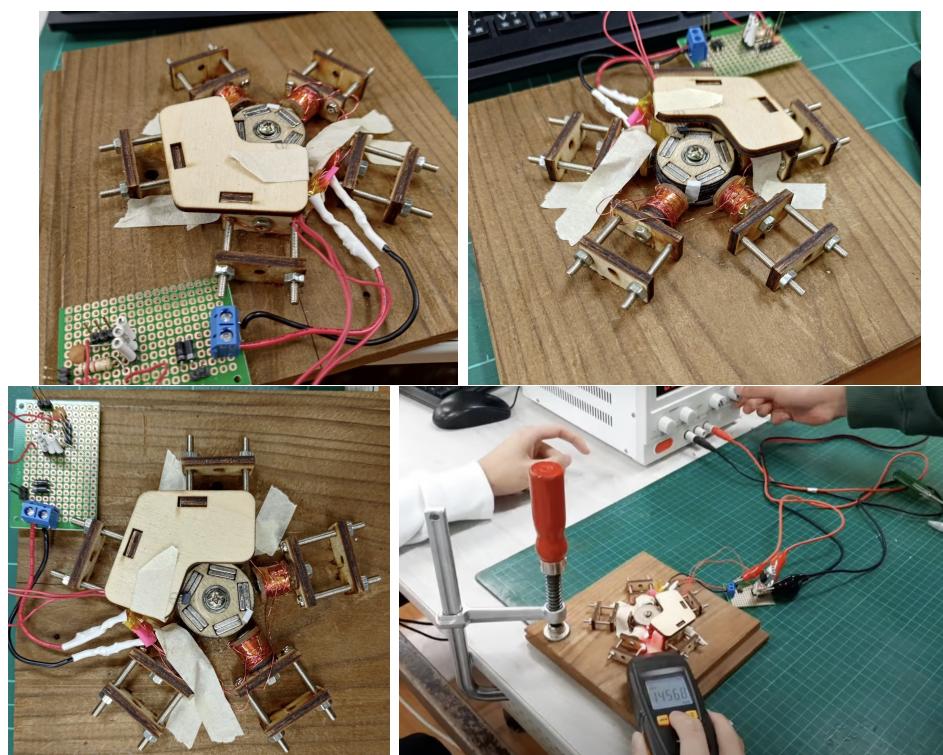


Figure 12: 實體照片，實測影片於此連結

目標	成果
設計與製作轉速超過10000rpm效能的馬達(25W以內)	完成
認識各參數對轉速的影響	完成
認識電子元件的動作原理	完成
熟練建模軟體協助專題製作	完成
活用加工工具協助專題製作	完成
設計測速工具協助觀察馬達運作	部分完成
體驗專題製作歷程並編寫完整報告	完成

Table 4: 專案目標成果

4 心得與反思

在課程中，我學習到一個無刷馬達是從無到有建構出來的，與以往製作專案不同，並非直接使用現成的套件拼湊，工程設計這堂課老師帶我們從半導體的原理，告訴我們何為N型、P型半導體，又是如何將排列組合作出二極體、電晶體，做出控制電流方向，甚至在達靈頓電路中更是直接感受到其能讓微弱電流增強的效果。

在進行無刷馬達的專題時，起初只對有刷馬達的原理、安培定律、螺線管和力矩等在物理課上學過的概念有所了解，但對應該如何實作，卻是毫無頭緒，不過在我們開始逐步確定各種參數，如葉片數量、半徑和形狀，並以最大化轉子速率為目標，我們發現轉子的質量（越小越好）、半徑（越小越好）對轉速的影響最大。另一方面，為了減小氣隙，我們將線圈和轉子平行擺放，如此不僅能減小氣隙，還可以最大化磁鐵接收的磁力線。最後，還有自己焊接的電路板，從了解各個零組件的工作原理、電路作動過程、焊接技巧，運用所學從零開始製作一塊電路板，然後通電並進行測試，當一切準備就緒，馬達最終真的開始轉動時，所感到的成就感遠非控制現成馬達所能相提並論的。

我很感謝在我探索電機的道路上有這段旅程，比起先前只是知道不同無刷馬達可能會因為不同廠牌的調校，在扭力、轉速上會有不同的表現，我更了解各種影響馬達的因素，氣隙、磁鐵、轉子、定子……各種要素互相影響，讓我在未來挑選馬達時，有了更多切入的觀點，也在這段時間的學習中，讓我逐漸想在未來更深入了解電子、電路學的相關知識。

此外，在這次的專題製作過程中，我不僅深入了解了工程設計的各個方面，在書寫本文時，因為考量到未來寫文章可能會頻繁使用 \LaTeX 這一強大的文檔排版系統，所以藉此機會使用它（本文 \LaTeX 原始檔案）。不過學習他的過程是困難重重，光是為了在本地端架設環境在VSCode上運行就耗費數個小時，而它的語法和排版規則也與我過去使用的文字處理軟體不同，他就像是簡化版的HTML，不過隨著我逐步深入學習，理解 \LaTeX 的基本結構、命令語法、管理文獻參考和引用，最後產出此文。總的來說，學習 \LaTeX 雖然起初感到困難，但隨著練習和時間的積累，我體會到 \LaTeX 在學術寫作和專業文檔排版中的強大功能和靈活性，也相信其對我未來撰寫論文等學術研究中會有很大的幫助。

References

- Bodnar, D. (2018). *Fidget spinner motors.* <http://trainelectronics.com/FidgetSpinner/>.
- Components101. (2020). *Fundamentals of mosfets and their working.* <https://components101.com/articles/mosfet-symbol-working-operation-types-and-applications>.
- Creative Think. (2023). *Making 6 core permanent magnetic motor.* <https://youtu.be/4tTS13WZG2A>.
- DMP Electronics Inc. (2014). *Roboard 研習營馬達基本認識與bldc 驅動實驗.* <https://www.slideserve.com/billy/roboard-bldc>.
- Soltero, M. (2021). 什麼是霍爾效應感測器?. https://e2e.ti.com/blogs_/taiwan/b/taiwan1/posts/what-is-a-hall-effect-sensor.
- Taiwan Oriental Motor Co., Ltd. (n.d.). 第28回「何謂dc無刷馬達？」. https://www.orientalmotor.com.tw/teruyo_det/teruyo_28/.
- 國立成功大學馬達科技研究中心. (n.d.). 直流無刷馬達. http://km.emotors.ncku.edu.tw/emotor/worklog/EMTRC/motor_learn/elearning/motor/1/lecture_1.4.pdf.