



經濟部標準檢驗局 102 年度自行研究計畫

報告書編號：102-61

設計高效率低成本之直流無刷馬達驅動器，  
將小家電融入節能減碳之研究

經濟部標準檢驗局臺南分局 編印  
中華民國 102 年 11 月 29 日

「本報告書僅供政府機關參考，請勿轉載」

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                  |          |                                        |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|----------|----------------------------------------|
| 標準檢驗局台南分局 102 年度自行研究報告提要表                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                  |          | 填表人：吳福正<br>填表日期：102.11.29              |
| 研究報告名稱                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 設計高效率低成本之直流無刷馬達驅動器，將小家電融入節能減碳之研究 |          |                                        |
| 研究單位<br>及研究人員                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 第六課<br>劉玫玲、吳福正                   | 研究<br>期程 | 自 102 年 01 月 01 日<br>至 102 年 11 月 29 日 |
| 報 告 內 容 提 要                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                  |          |                                        |
| <p>(一) 研究緣起與目的：</p> <p>高效率馬達過去都使用於電冰箱、冷氣機等大家電上；家庭中最普遍的小家電則注重在量產，研發偏重於外觀設計，電力消耗卻常被忽略；近來由於節能減碳成為趨勢，馬達效率遂成為相關產業在國際市場上競爭的要點。永磁無刷馬達因為轉子為磁性材料，不需激磁電流，可減少轉子功率損失，提昇運轉效能；但因需高價之馬達驅動裝置，致市場未能普及；本研究主要為設計便宜可靠之永磁無刷馬達驅動裝置，以降低永磁無刷馬達家電的售價，實現「節能環保、綠色低碳」的設計理念。</p> <p>(二) 研究方法與過程：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 瞭解無刷馬達驅動原理及其系統架構。</li> <li>2. 以市售無刷馬達電扇之驅動裝置為樣本，確定驅動器之組成模組。</li> <li>3 決定驅動器設計考慮策略。</li> <li>4. 上網尋找適用之模組及比價。</li> <li>5. 驅動器元件成本估計。</li> <li>6. 設計出便宜可靠之驅動裝置。</li> </ol> <p>(三) 研究發現與建議：</p> <p>永磁無刷馬達較有刷馬達或感應馬達結構簡單、便宜；但因永磁無刷馬達需搭配驅動器才能運轉，驅動控制器是永磁無刷馬達的重要零組件之一，除了負責輸入電力的開啟與轉換以驅動馬達轉動之外，還要接受設備系統對功能需求的感測資訊，以進行解析與決策，而使系統設備達成高效能的運轉，其在成本上較難與單純市電即可運轉的感應馬達(無刷馬達電扇之市價較感應馬達售價約貴 1000 元)或僅需相對簡單之變壓和變流裝置的直流馬</p> |                                  |          |                                        |

達競爭，本研究設計出約新台幣 103.8 圓之永磁無刷馬達驅動裝置，其比感應馬達起動電容 8 元之成本，僅多出 95.8 元之價格，將可提高其市場競爭力。

## 目 錄

|                    |    |
|--------------------|----|
| 壹、研究題目.....        | 1  |
| 貳、前言.....          | 1  |
| 參、瞭解無刷馬達驅動原理.....  | 1  |
| 肆、建立馬達系統架構.. ..    | 4  |
| 伍、確定驅動器之組成模組.....  | 5  |
| 陸、馬達驅動器設計考慮策略..... | 6  |
| 柒、模組之選配與價格.....    | 6  |
| 捌、驅動器元件成本估計.....   | 12 |
| 玖、驅動器線路.....       | 12 |
| 拾. 效益.....         | 14 |
| 拾壹. 結論.....        | 14 |

## 壹、研究題目

設計便宜可靠之永磁無刷馬達驅動裝置，將小家電融入節能減碳之研究。

## 貳、前言

高效率馬達過去都使用於電冰箱、冷氣機等大家電上；家庭中最普遍的小家電則注重在量產，研發偏重於外觀設計，電力消耗卻常被忽略；近來由於節能減碳成為趨勢，馬達效率遂成為相關產業在國際市場上競爭的要點。永磁無刷馬達因為轉子為磁性材料，不需激磁電流，可減少轉子功率損失，提昇運轉效能；但因永磁無刷馬達需搭配驅動器才能運轉，驅動控制器除了負責輸入電力的開啟與轉換以驅動馬達轉動之外，還要接受設備系統對功能需求的感測資訊，以進行解析與決策，而使系統設備達成高效能的運轉；其在成本上較難與單純市電即可運轉的感應馬達或僅需相對簡單之變壓和變流裝置的直流馬達競爭，本研究設計出約新台幣 103.8 圓之永磁無刷馬達驅動裝置，其比感應馬達起動電容 8 元之成本，僅多出 95.8 元之價格，將可降低永磁無刷馬達家電的售價，實現「節能環保、綠色低碳」的設計理念。

## 參、瞭解無刷馬達驅動原理

### 無刷馬達驅動技術

- 3.1 如何用電子式的做法來切換(圖 1)馬達端 A、B、C 三個接點的電源輸入呢？在電路的設計上，要達成開關切換常見的作法是使用雙極性電晶體 (BJT) 或是金屬-氧化層-半導體-場效電晶體，簡稱金氧半場效電晶體 (Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor, MOSFET)，在選用 MOSFET 時尚需注意到其能承受的最高電流是否足以讓無刷馬達運轉，否則 MOSFET 有燒毀的可能性。圖三為使用三個 P-channel MOSFET 與 N-channel MOSFET 所組成的三個半橋電路，將無刷馬達的 A、B、C 分別接在三個半橋電路的中間，因此，只要送信號將 Q1 與 Q2 導通，便可讓 A 點接正電源，C 點接負電源。

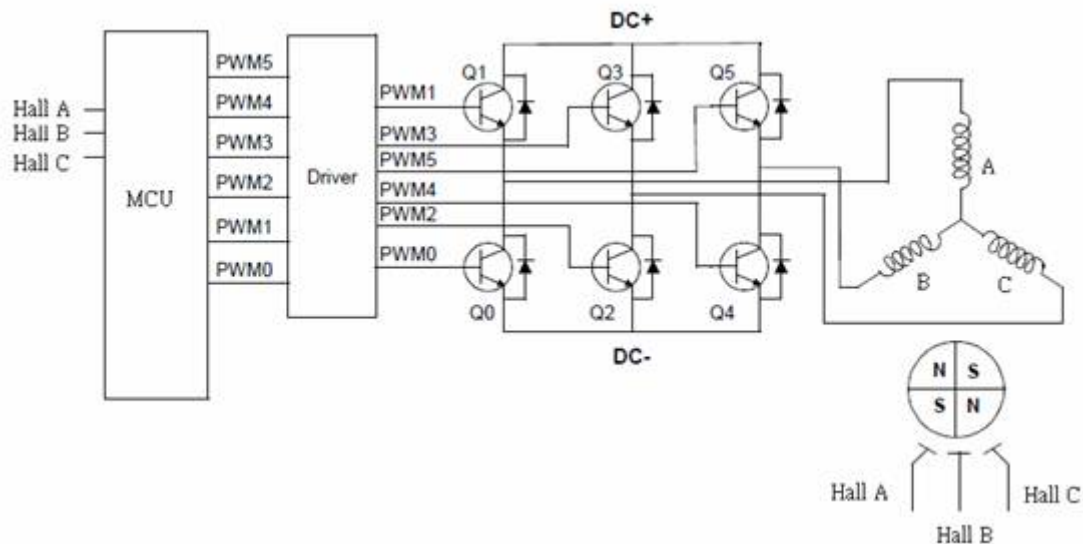


圖 1 無刷馬達驅動電路示意圖

資料出處：Microchip Application note AN899

- 3.2 根據霍爾元件的訊號可將轉子角度由 360 度分為六個不同的區間。每一個區間為 60 度，並且在無刷馬達的三相繞組中同時只有二相繞組導通，在不同的區間產生不同的控制訊號合成不同方向性的磁力，藉此帶動無刷馬達，稱之為六步方波驅動法，如圖 2 所示。

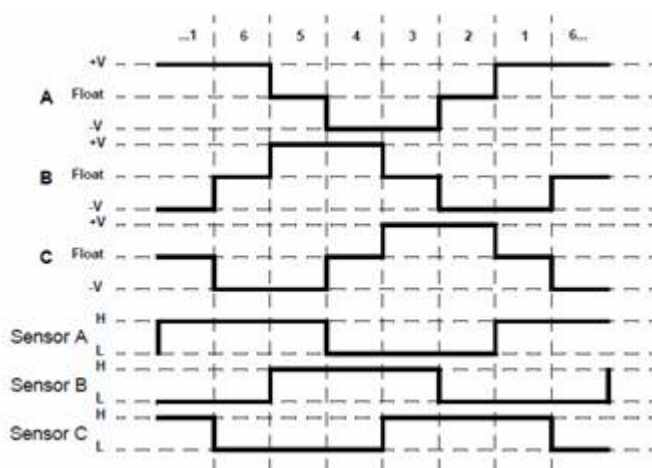


圖 2 六步方波時序圖

資料出處：Microchip Application note AN875

### 3.3 馬達的轉速控制

馬達的轉速與輸入電壓成正比關係，輸入的電壓越大，則馬達轉速會越快。但我們供應馬達電源端的電壓都是固定，那麼要控制馬達轉速則需藉由其他方式來改變輸入馬達的電壓值，因此我們就應用 PWM (Pulse Width Modulation) 的方式來調整輸入馬達的電壓。

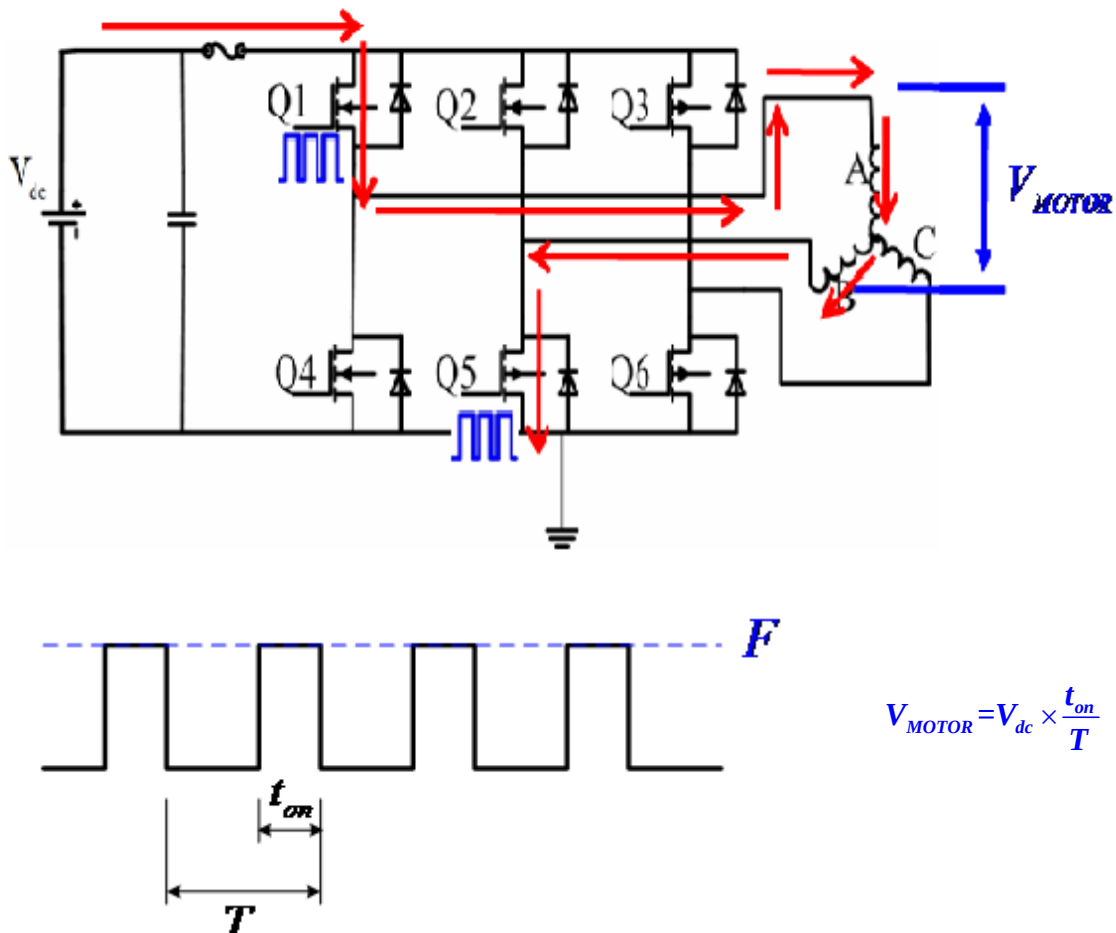


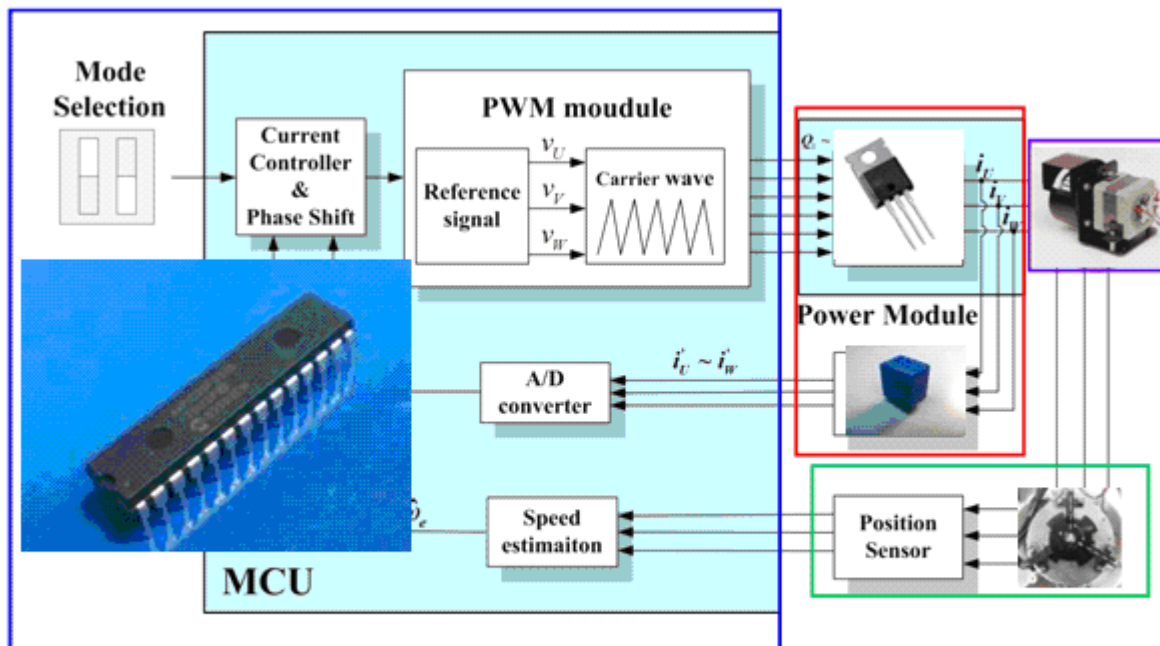
圖 3 馬達轉速與輸入電壓關係

藉著改變 duty cycle，控制輸入馬達的電壓。

### 3.4 微控制器

驅動無刷馬達轉動的電路尚需要一個微控制器 (Micro Control Unit, MCU) 來統整整個驅動電路，其至少需要具備六組具脈波寬度調變 (Pulse Width Modulation, PWM) 並可獨立切換的輸出，以及三個接收霍爾元件的輸入。

#### 肆、建立馬達系統架構



控制器、功率級、感測器、馬達

圖 4 馬達系統架構

馬達驅動器設計必須考量電源規劃、控制功能及保護線路設計，圖 5 是驅動器的設計架構。

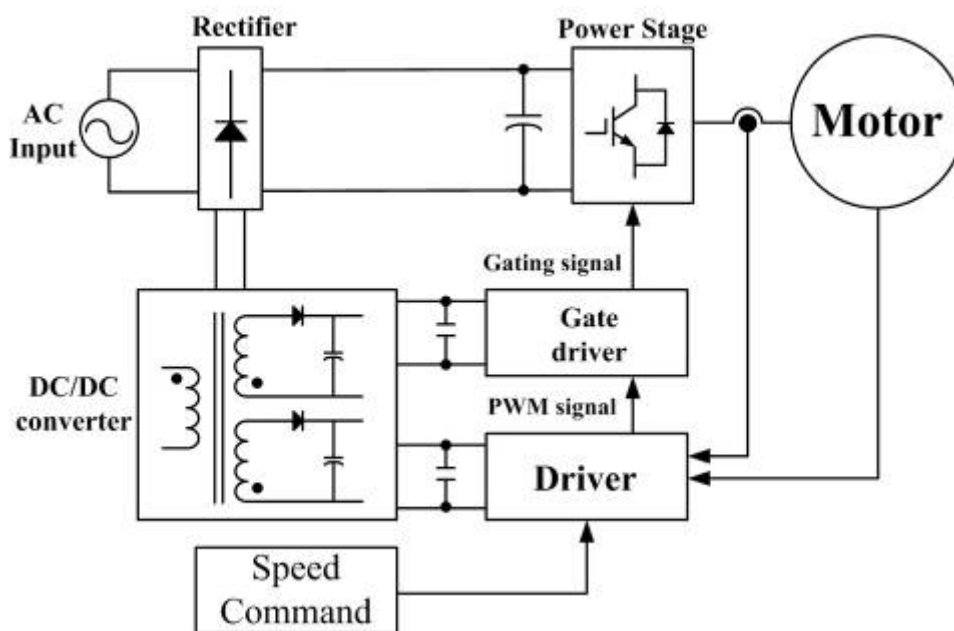


圖 5 馬達驅動器架構

## 伍、確定驅動器之組成模組

### 4.1 驅動器之模組之組成

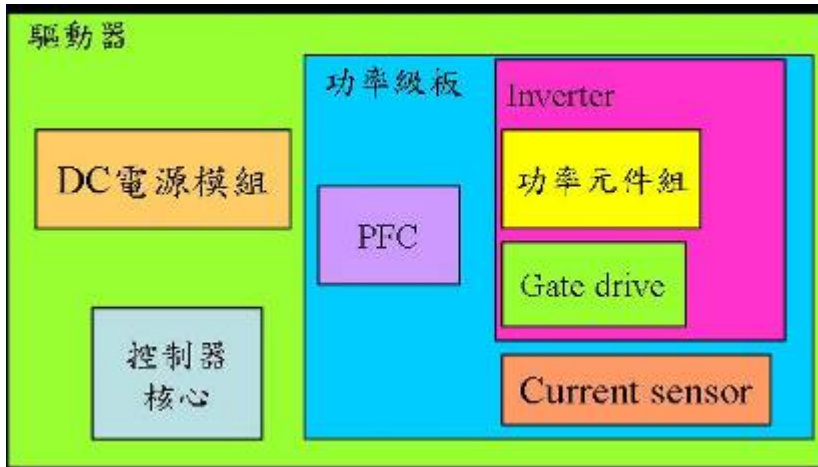


圖 6 驅動器之模組之組成

依圖 6 說明馬達驅動器架構

5.1 驅動器功率級(後級)是由功率元件所組成，Gate drive 的設計是主要的關鍵應用。

5.2 驅動器的組成分成：

- 控制電路板：專用控制 IC、MCU、DSP。
- 功率級板：前級 PFC(功率因數校正)、DC-DC 電源模組、Power Module。

5.3 依照驅動策略的需求與電路保護，還會加裝電流感測元件

5.4 驅動器的最終化是將控制端和功率端完全整合為一。

5.5 驅動器的趨勢是模組化設計，IPM(智慧型功率模組)就是整合型的功率模組產品。

如圖 6 所示，通常包含控制器、開關驅動線路、電流及位置回授線路，主要差別在於電子元件規格選配及控制器程式的撰寫。電子元件規格直接影響到系統的可靠度及成本，如感測器及功率元件選用，高規格的元件不會使系統性能提昇，反而導致開發成本的增加；而選用較小規格雖然花費降低，卻導致產品的可靠度堪慮。故如何挑選適用的元件為驅動器設計的重要環節。

## 陸、馬達驅動器設計考慮策略

6.1 本次研究主要考慮成本價格策略：電子零件和 MCU 的成本。

6.2 並考慮安全保護

6.2.1 過電流

- 硬體保護：保險絲、硬體電路(類比)。(選配，不計設計成本)
- 軟體保護：使用 MCU 進行數位式的取樣保護。

6.2.2 過電壓

突波電壓(雜訊突波)，一般可透過電容元件來抑制或加裝突波吸收器。(選配，不計設計成本)

6.2.3 過溫保護

- 過電流一定過溫，因已採用 MCU 進行數位式的取樣過電流保護，因此不納入此項設計。(選配，不計設計成本)

6.3 因國內為一般使用環境，故規格之選用忽略環境因素。

6.4 未考慮 EMI 之影響，不計其抑制元件成本。

## 柒、模組之選配與價格

7.1 Driver IC 選配之考量

在市面上已經有許多晶片廠商針對無刷馬達驅動生產專用晶片，如：Atmel、Freescale、Microchip、STMicroelectronics 等廠商。Atmel 針對無刷馬達控制所生產的專用晶片為 ATmega48、ATmega88、ATmega168 系列，有六個 PWM channel，二十三個 I/O，8 組 10bit 的 AD 轉換器。詳細說明可至 <http://www.atmel.com> 參考。

Freescale 出產的晶片為 MC56F83xx/DSP56xxx 系列，用於馬達驅動與變頻控制為一個不錯的選擇。詳細說明可至 <http://www.freescale.com/> 參考。

Microchip 的晶片則是 18Fxx31 系列可選用，其具有 6-8 組可切換輸出的 14 bit PWM channel，以及運動回饋模組，與多達 9 組的 AD 轉換器，詳細說明可至 <http://www.microchip.com> 參考。

STMicroelectronics 則是 ST7MC 系列晶片，詳細說明可至 <http://www.st.com/mcu/> 參考。

茂達電子(Anpec)近日發表單相直流無刷馬達風扇預驅動器晶片 ([Pre-driver IC](#))——APX9280 與 APX9281。該晶片內部均包含完整的轉速控制單元，設計者藉由外部的電壓訊號，除了可自由設定風扇馬達最低轉速，並可提供用於運算轉速的訊號輸出(FG)與馬達鎖死警告訊號輸出(RD)。

APX9280 是一款專為單相直流無刷馬達風扇設計的 Pre-driver IC，主要應用於電流等級較高的馬達風扇，因此內部也提供了電流電壓以及過熱保護功能，設計者透過適當的外部電阻元件可設定風扇最大電流設定以及高電壓的抑制。APX9280 使用 TSSOP-20 封裝對於節省電路板空間有很大的幫助。

APX9281 是一個專為單相直流無刷馬達風扇設計 Pre-driver IC，主要應用於電流等級較高的馬達風扇，因此 IC 內部除了可設定風扇軟啟動(Soft start)，也提供了限電流以及過熱保護功能，設計者透過適當的外部電阻元件可設定風扇最大電流設定。APX9281 使用 SSOP-16 封裝對於節省電路板空間有很大的幫助。

比較高壓馬達專用的整合式 Driver IC，其價格較貴，所以我們採用預驅動晶片(Pre-drive IC)進行設計。

我們採用之 Pre-drive IC 型號為 EUM6867(價格 6 元)

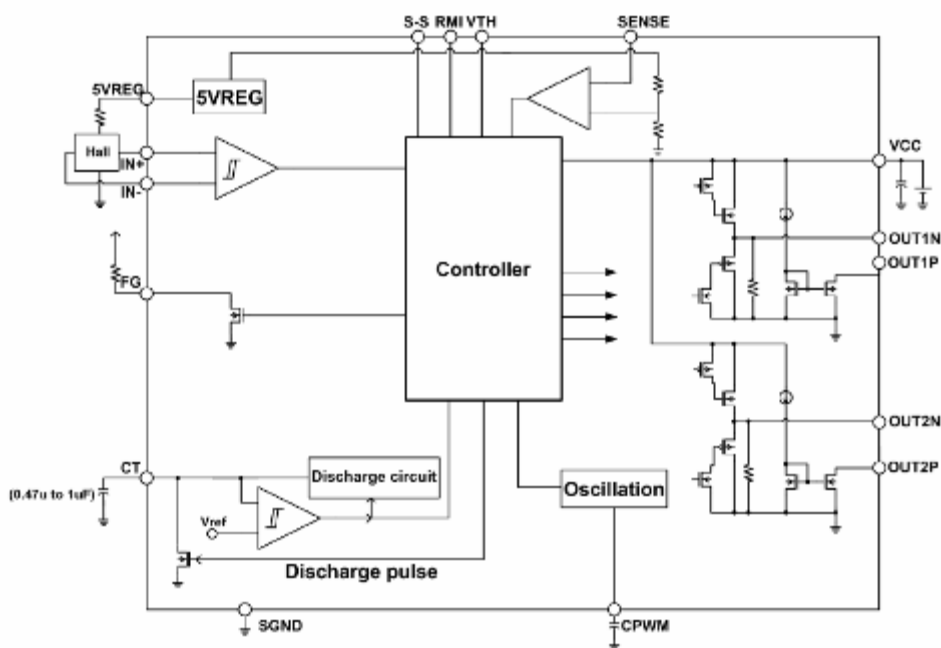


圖 7 EUM6867 架構圖

取自

<http://www.gofotech.com/Datasheet/EUTECH/VIP---EUM6867.pdf>

但因為 Pre-Drive IC 通常為低壓系統，故電源需要經過降壓 (DC/DC) 方可使用。此外，為配合控制器做轉速控制，驅動器上亦保留轉速命令輸入腳位，以配合控制器進行轉速調變。目前採用之 Pre-drive IC 型號為 EUM6867，基本線路如圖 21 所示，具備馬達驅動以及基本保護功能，圖 22 則為目前規劃的驅動器線路。因驅動器上有些許功能需要依照不同馬達進行調整，故計畫初期設計的電路板以能快速驗證功能為主，如圖 23 所示。需要調整的零件為 Pre-Driver IC 之第 4、11 及 12 腳位的外掛電阻及電容，分別為設定限電流保護峰值、堵轉保護啟動時間及緩啟動時間設定。第 4 腳的限電流保護功能主要由一分流電阻  $R_{shunt}$  做限電流設定，只要電阻兩端的跨壓超過 0.2V，則驅動器進入保護模式，限制電流峰值，電流值  $I_{lim}$  可由式(1)計算。而腳位 11 及 12 則是設定堵轉保護啟動時間  $t_1$  及緩啟動時間  $t_2$ 。主要透過對外掛電容  $C_1$  及  $C_2$  的定電流充放電決定時間長短。在充電模式時，腳位 11 的電流為  $2\mu A$ ，放電時則為  $0.2\mu A$ 。腳位 12 則不論充放電皆為  $0.5\mu A$ 。時間  $t$  ( $t_1$  及  $t_2$ ) 約略可由式(2)決定， $I_{charge}$  為各狀態下之對應電流值。

$$I_{lim} = \frac{0.2}{R_{shunt}} \quad (1)$$

$$t = \frac{C \times 2}{I_{charge}} \quad (2)$$

因八極馬達於生產製造及降低震動噪音有較大優勢，故特別針對該馬達與驅動版進行整合式設計以置入馬達後蓋。圖 24、25、26 分別為驅動器的實照及與馬達的組配圖。目前驅動器零件大多以台製為主，避免採用單價較高的國外元件，而成本評估約新台幣 100.5 圓。以下簡單列出零件之參考價格，實際價格將與採購量有關，未詳列出者僅為一般常見之電阻及電容，因價格較低故對總成本影響較小。

## 7.2 DC/DC 模組之選用：

我們採用之 DC/DC 模組型號為 LNK306PN（價格 18.4 元）



維庫電子市場 [www.dzsc.com](http://www.dzsc.com) 搜索

您現在的位置：維庫電子市場網 > IC (最新) > LNK306PN (共找到“768”條查詢結果)

您是否正在找： LNK306P LNK306G-TL LNK306GN-TL LNK306GN LNK306G LNK306DN-TL LNK306DN LNK306DG-TL LNK306 LN

全部庫存 原裝現貨 PDF下載 採購信息 價格行情 发布紧急求购 仅需2分钟 让供应商

搜索： LNK306PN 厂家 封装 批号 精确 搜索

LNK306PN 历史价格 (最低报价：¥1.80 最高报价：¥12.00 平均报价：¥3.83) 更多报价信息 >> LNK306PN PDF下载 LM358技术应用 LNK306PN引脚图

显示： ☒ 完整 ☐ 简洁 筛选： ☐ 支持小批量 ☐ 支持银联在线支付 ☐ 有保证金 ☐ 有营业场所 ☐ 有营业执照

| 供应商                                     | 信用     | 年限 | 所在地 | 型号       | 认证      | 品牌    | 封装    | 批号   | 数量    | 仓库/备注              |
|-----------------------------------------|--------|----|-----|----------|---------|-------|-------|------|-------|--------------------|
| <input type="checkbox"/> 上海左鸿电子科技有限公司   | VIP 3年 |    |     | LNK306PN |         | POWER | DIP-7 | 2011 | 15000 | 可开17%增值税票。原裝現貨，品質  |
| <input type="checkbox"/> 北京捷美创芯电子科技有限公司 | VIP 2年 |    |     | LNK306PN | 保 ¥5000 | POWER | —     | 1209 | 9856  | 全新原裝，价优，可开17% 增值税票 |

取自 <http://www.dzsc.com/suppliers/L/LNK306PN.html>  
 $¥3.83 \times 4.8 = 18.4$  元

## 7.3 Inverter 模組之選用：

我們採用之 Inverter 為 CD4069UBM (價格 8.3 元)

您是否在找： [CD4069UBK](#) [CD4069UBFX](#) [CD4069UBFBR2534](#) [CD4069UBFB](#) [CD4069UBF3A](#) [CD4069UBF/3](#) [CD4069UB...](#)

[全部库存](#) [PDF下载](#) [价格行情](#)

搜索：  厂家  封装  批号  ☐ 精确

CD4069UBM历史价格(最低报价：¥0.32 最高报价：¥15.00 平均报价：¥1.73 ) [更多报价信息>>](#)

取自 [http://www.dzsc.com/stock\\_cd4069ubm.html](http://www.dzsc.com/stock_cd4069ubm.html)  
 $¥1.73 \times 4.8 = 8.3$  元

#### 7.4 HVIC 之選用：

下述「」內文章取材自：

[http://www.mem.com.tw/article\\_content.asp?sn=0909020015](http://www.mem.com.tw/article_content.asp?sn=0909020015)

「HVIC 簡化馬達設計控制

對於馬達控制應用，現在大部分的變頻器設計人員都面臨著一系列重大挑戰，如由控制極寬脈衝寬度調變(PWM)切換模式以防止系統出現電力故障、短路、過電流及過熱的情況。為協助設技人員達到有關要求，且為變頻器設計提供高速切換效能，越來越多的設計人員漸漸趨向在半導體元件中採用高壓閘極驅動器(HVIC)，以處理閘極驅動的要求。

看起來，用 HVIC 來設計變頻器似乎非常直接和簡單，透過閘極驅動器可簡單選取絕緣柵雙極電晶體(IGBT)或金屬氧化物半導體場效電晶體(MOSFET)，再調節閘極電阻達到電壓變化、控制切換速度及功率損耗的標準，並在有限的空間中設計印刷電路板(PCB)以控制這些功能。」

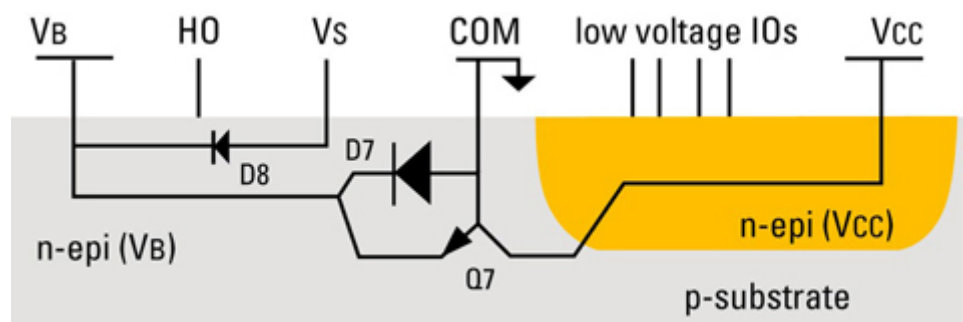


圖 8 典型的 HVIC 裝置結構圖

我們選用 iT2103 之 HVIC，每個單價 9 元，需 2 個，總價 18 元。

### 7.5 Mosfet 之選用

我們選用 P0260AI 之 Mosfet，每個單價 5 元，需 4 個，總價 20 元。

### 7.6 Capacitor 之選用

採用之 Capacitor 規格為 450V/33uF，單價為 0.05 元



**供應鋁電解電容450v33uf 33uf450v 16x25**  
型號/規格:供應鋁電解電容450v33uf 33uf450v 16x25品牌/商  
標:itec環保類別:無鉛環保型安... 2013-12-01  
[深圳市福田區昊地洋通電子經營部](#)

廣東  
深圳

¥0.01/pcs  
1000pcs起訂  
**詢價**

[http://www.dzsc.com/product/sell\\_search.html?keyword=450V%2F33uF&ic\\_sel=supplygoods&Submit=%26nbsp%3B](http://www.dzsc.com/product/sell_search.html?keyword=450V%2F33uF&ic_sel=supplygoods&Submit=%26nbsp%3B)

¥0.01×4.8=0.05 元

該模組價 15 元。

### 7.7 Inductance 之選用

採用之 Inductance 規格為 PK0807-102K-UL，單價為 5 元

### 7.7 其他元件

其他元件(Resistors, capacitors 等)約需 15 元

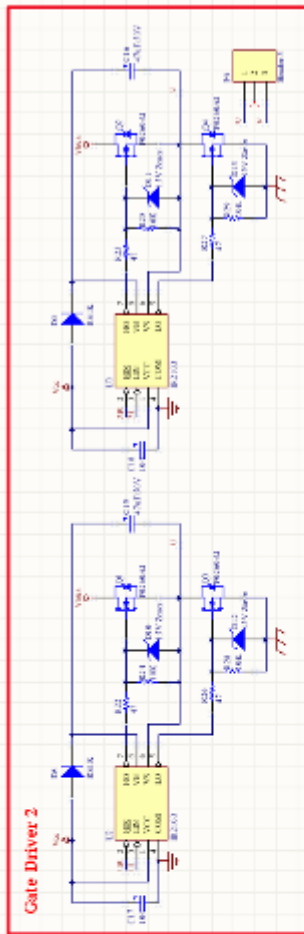
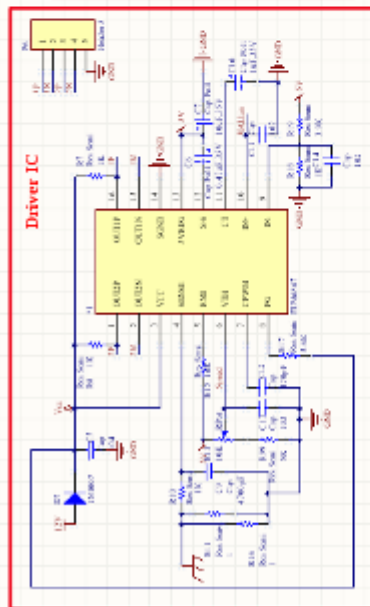
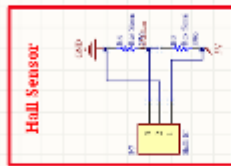
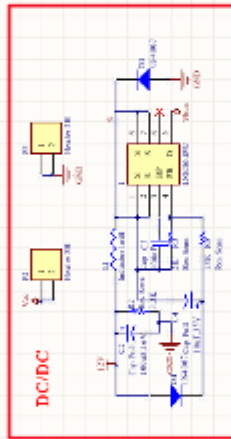
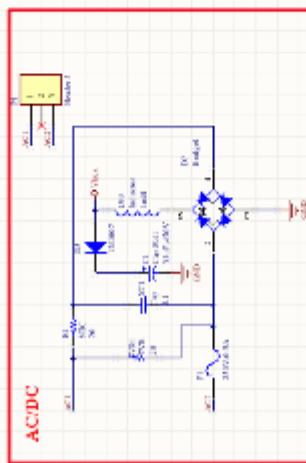
## 捌、驅動器元件成本估計

表 1 驅動器元件成本估計

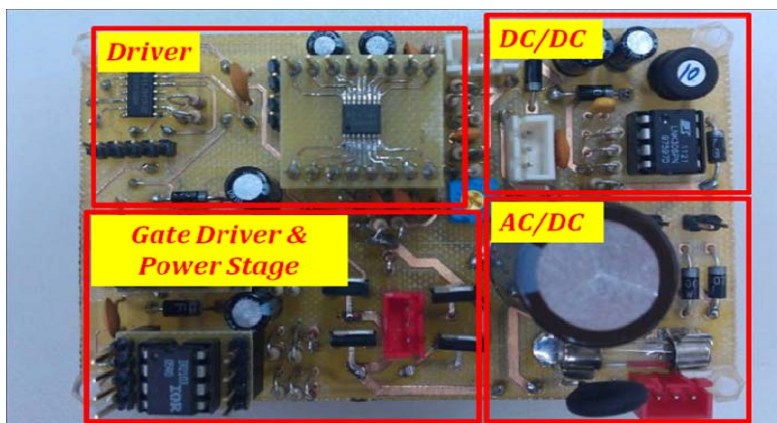
| 型號             | 功能                    | 數量 | 單價   | 總價   |
|----------------|-----------------------|----|------|------|
| EUM6867QIR1    | Pre-driver            | 1  | 6    | 6    |
| LNK306PN       | DC/DC                 | 1  | 18.4 | 16.5 |
| CD4069UBM      | Inverter              | 1  | 8.3  | 8.3  |
| iT2103         | HVIC                  | 2  | 9    | 18   |
| P0260AI        | Mosfet                | 4  | 5    | 20   |
| 450V/33uF      | Capacitor             | 1  | 15   | 15   |
| PK0807-102K-UL | Inductance            | 1  | 5    | 5    |
| 其他元件           | Resistors, capacitors |    |      | 15   |

總價 103.8 元。

## 玖、驅動器線路



| Rev | Rev | Rev |
|-----|-----|-----|
| 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| 1.1 | 1.1 | 1.1 |
| 1.2 | 1.2 | 1.2 |
| 1.3 | 1.3 | 1.3 |
| 1.4 | 1.4 | 1.4 |
| 1.5 | 1.5 | 1.5 |
| 1.6 | 1.6 | 1.6 |
| 1.7 | 1.7 | 1.7 |
| 1.8 | 1.8 | 1.8 |
| 1.9 | 1.9 | 1.9 |
| 2.0 | 2.0 | 2.0 |



## 拾. 效益

永磁無刷馬達較有刷馬達或感應馬達結構簡單、便宜；但因永磁無刷馬達需搭配驅動器才能運轉，驅動控制器是永磁無刷馬達的重要零組件之一，除了負責輸入電力的開啟與轉換以驅動馬達轉動之外，還要接受設備系統對功能需求的感測資訊，以進行解析與決策，而使系統設備達成高效能的運轉，其在成本上較難與單純市電即可運轉的感應馬達(無刷馬達電扇之市價較感應馬達售價約貴 1000 元)或僅需相對簡單之變壓和變流裝置的直流馬達競爭，本研究設計出約新台幣 103.8 圓之永磁無刷馬達驅動裝置，其比感應馬達起動電容 8 元之成本，僅多出 95.8 元之價格，將可提高其市場競爭力。

## 拾壹. 結論

我國家電產業自民國 38 年大同電器成立後，至今已有 50 餘年的發展歷史，隨著國民所得的提升，家電產品變成生活不可或缺的必需品。在炎熱的夏日，通常造成全國用電量激增及尖峰時刻用電短缺的現象。而因為發電而產生的溫室氣體會導致全球暖化及氣候劇烈變化，所以節能減碳已經是全球注目的議題。故若能使用高效能電器，將有助於降低能源消耗。

無刷馬達具有高效率、操作範圍廣、無需維修等優越的性能，已廣泛應用在各個領域。本研究利用馬達設計理論期能設計價廉之驅動器。對產業界而言，如何簡化馬達製程節省成本及提升馬達性能為所追求之目標。