

## LED電動機模型教具的研製與教學評估

### Teaching Evaluation and Development of LED Motor Model Teaching Aids

彭世興

國立宜蘭大學電機工程系

Shyh-Shing Perng

Department of Electrical Engineering, National Ilan University

#### 摘要

本文以「高亮度LED燈」代替「電動機線圈」的創新概念，研製一個「LED電動機模型教具」。利用LED發光的顏色，顯示電動機線圈通電後，所產生磁場的極性與方向。再以電路控制LED燈的亮滅，產生類似廣告燈的旋轉視覺效果，藉由LED色彩的變化可吸引學生注意，提高學習動機。利用「手動操作」的模式，將旋轉電機「連續」快速的動作方式，分解成「離散」步階的手動操作模式。使學生由一步一步手動的操作過程，觀察LED燈顏色的亮滅變化，體會出電動機建立旋轉磁場的工作原理。本文所研製的「LED電動機模型教具」，應用於實際的「電機機械」教學課程，並經由問卷與成就測驗完成教學成效評估。本文發展的教具與教材，可作為高職、大專院校等開設電機機械理論與實驗課程之教學參考與應用。

**關鍵字：**電動機、電機機械、教具

#### Abstract

In this paper, we create a “newly designed LED motor teaching device” based on the innovative concept of substituting LED for coil inside the motor. The color of LED lights indicates the pole and direction of the magnetic field. With a control circuit to manipulate the LED lights, we can create visual effects that simulate the spinning motion of electromagnetic fields inside a motor. The colorful blinking LED light, resembles the neon sign, can attract students' attention easily and boost their learning motivation. This device will break down the “continuous” rapid action of

rotating electrical machinery, into a “discrete” step-by-step manual operation mode. With the aids of the flashing LED lights, students will gradually understand the principles of rotating electrical machines through hands-on operation. The rotating electrical machinery teaching materials can be used in actual electrical machinery courses. The teaching evaluation estimated by surveys and examinations shows that the rotating electrical machinery teaching materials can significantly enhance the effectiveness of teaching and learning. The teaching aids and teaching materials can also be teaching reference of electrical machinery theoretical and experimental courses in vocational schools and universities.

**Keyword:** rotating electrical machinery, electric machinery, teaching aid

## 壹、前言

旋轉電機設備是現代人生活中不可或缺的裝置，因此「電機機械」、「電機機械實驗」等課程在傳統的電機領域與各種電機類考試中都是核心課程。然而在相關課程的授課過程中，一般只用文字與簡單的圖形來闡述旋轉電動機的動作原理，對許多物理現象，例如「磁場的變化」，因非肉眼所能觀察，學生只能憑空臆測想像，使得「電機機械」等相關課程常被學生認為是艱深難懂的學科。因此國內外大專院校，積極發展各種「電機機械」與「電機驅動控制」課程的教學實驗教具，具有結構可變、簡單、方便的特性，但大都屬於模組化的實驗教學設備，對於旋轉電機動作原理的細部分析缺乏詳實描述。例如一般交流電機通上頻率為 60Hz 的交流電源後，轉子轉動的速度是依電機磁極數決定，二極交流電機轉速約為 3600rpm，四極交流電機轉速為 1800rpm。由於轉子轉動速度很快，一般學生只知道通電後馬達會快速運轉，至於內部詳細的動作機制，則很難去體會了解一部電機如何由靜止的線圈，建立旋轉的磁場。因此本文利用類似廣告燈的旋轉視覺效果，設計以電路控制 LED 燈的亮滅時間，來產生 LED 燈旋轉的視覺效果。並由「手動的操作」，將快速的旋轉磁場分解成每轉 12 個動作區間，可一步一步控制動作區間的變換，讓學生藉由 LED 燈的顏色變化，容易清楚看出旋轉電動機建立旋轉磁場的動作原理，達到有效且快樂的學習效果。

## 貳、文獻探討

科技知識的學習常以實作與實驗為基礎，依「學習經驗塔」的理論(吳清山, 2008)，強調多重感官的直接經驗學習，透過解決問題及實作的經驗，將更具學習成效。(Colin Rose, 2011)在加速學習法的六個基本步驟中，強調學習者必須透過視覺、聽覺和觸覺與肢體動作等感知系統，找出最適合自己的學習方式，才能有效地吸收資訊達成學習目標。所以在電機機械相關課程教學活動中，若能設計教具讓學生動手操作練習，使其對複雜的電機理論能有深入體驗與反思，如此，透過實際體驗與操作，所獲得的學習經驗與成效，是其他教學策略所無法達成的。近年來由於電力電子技術的蓬勃發展，使得電機機械相關課程的教學又重新獲得重視。因此國內外期刊論文探討「電機機械」與「電機驅動」教學實驗平台的相關文獻非常多，大致可歸納為電機教學實驗平台與電腦輔助學習等兩個主要的學習方式。

### 一、電機教學實驗平台的學習方式

例如 Montesinos (2005)提出以 DSP 處理器 TMS320F2812 為基礎，開發一種低成本的直流馬達測試平台，可幫助學生獲得實現 DSP 即時控制的知識，而且可應用在任何類型的數位即時控制技術。Blanche (2007)建立磁阻馬達驅動系統的教學實驗平台，並規劃相關理論與實驗的教學課程。Edward (2009)使用工業級設備來建立一個能量轉換實驗室，不但能節省建置費用，還能讓學生獲得操作實際工業級設備和機器的工作經驗，以提高學生的學習興趣。Colak (2011)介紹一種新型基於網路學習的電機教育工具，包括動畫、電機系統的模擬，並透過網路可進行系統的遠端監控與遠距的實驗教學。Liyanagedera (2013)提出一個電機驅動控制的軟體學習工具，可提供各類馬達的驅動控制實驗課程，例如能操作馬達閉迴路控制，或即時監控馬達的轉速變化等。Hodder(2014)建置一個先進的馬達教學實驗室，以直流馬達控制一個完整的島狀生產線，教學單元包括馬達速度控制、DSP 驅動程式設計、A/D 轉換技術、PI 控制器的設計等。

### 二、電腦輔助的學習方式

電腦輔助學習是一種有效的學習方式，已成功的應用在各個領域的教學上，其優點為可增進學生學習的興趣，提升學習的動機，縮減學習的時間，改善學習的成效。在電機機械相關的教學領域上，網路虛擬實驗室與電腦模擬動畫被大量應用，例如 Bal(2010) 使用 Matlab/Simulink 建立一個開關磁阻電動機 (SRM) 的虛擬實驗室，每位學生可透過網際網路進入虛擬實驗室，學生可改變 SRM 的參數，並能透過螢幕觀看 SRM 輸入輸出訊號的響應波

形圖。Jesus (2011)提出遠端網路虛擬實驗室，並應用於土木工程學院之感應電機起動法的教學。Syal(2012)則使用 Matlab/Simulink 軟體建立虛擬實驗室，利用模擬三相感應馬達的無載與堵轉實驗，求出三相感應馬達的單相等效模型電路參數，並進行三相感應馬達的特性模擬實驗。Travassos (2013) 發展一個遠距教學的虛擬實驗室，透過虛擬電子手冊，可使用虛擬實驗室內建或自行開發的儀器設備來完成各教學單元的實驗，由於虛擬實驗室的互動環境，使每個學生更積極地參與學習活動。Ishibashi(2014) 發展一個適合智慧型手機或平板電腦使用的遠距實驗系統，此系統提供一個直流電機和單相交流發電機的遠距控制實驗系統。

然而，上述大都是以「電機驅動控制」的實驗設備為主，較強調整體電機驅動控制法則的建立，藉由個人電腦、系統單晶片、FPGA 或 DSP 微處理器等作為馬達驅動控制的硬體基礎，所建立的實驗平台系統較適合研究所或高年級進階實驗課程的學習，對於入門的教學設備與教材較為缺乏。因此本文針對電機機械初學者，研製一套新型「LED 電動機模型教具」，以「高亮度 LED 燈」代替「電動機線圈」的構想，利用 LED 發光的顏色，顯示磁場的極性與方向。再以電路控制 LED 燈的亮滅，產生旋轉的視覺效果，使學生藉由一步一步手動的操作過程，觀察 LED 燈顏色的亮滅變化，了解包括步進馬達、直流馬達、交流馬達等旋轉電機的動作原理，達到有效教學的目的。

### 三、馬達的工作原理探討

市面上有很多不同種類的馬達或稱電動機，從指甲大小的微型馬達，到大如一間房間的大型電動機，其基本動作原理都是相同的;其基本結構都是由兩組磁場組成。如圖1所示，若其中一組磁場保持固定不動一般稱作「定子」，另一組磁場可旋轉或移動一般稱作「轉子」，依磁場交互作用「同性相斥」、「異性相吸」的原理，使兩組磁場因磁性吸斥力的作用，可驅動轉子旋轉(Chapman 2012)。依轉子磁場和定子磁場的軸向區分，馬達的基本控制結構可區分為：扭力控制結構與位置控制結構。扭力控制結構如圖1(a)所示，轉子和定子磁場的軸向互相垂直，因磁性吸斥力作用的結果，會產生扭力而迫使轉子旋轉。但是轉子旋轉90度後會和定子平行，此時轉子就會被磁場鎖住，即使再強的電流都無法讓其繼續旋轉。位置控制結構則如圖1(b)所示，轉子和定子磁場的軸向平行，其轉子的位置因被定子吸住而使得軸向固定與定子一致。

(一)步進馬達的動作原理

步進馬達屬於位置控制結構，馬達轉子被定子磁場鎖住不能旋轉。如圖2所示必須多放幾組線圈，再依序控制定子線圈的開關狀態，讓不同角度的定子磁場依序動作，導引轉子的轉動，進而使馬達可以一步步的順利旋轉，這就是步進馬達的動作原理。步進馬達的構造，轉子是永久磁鐵，定子由多組電磁線圈組成。每次只選擇其中一組的線圈通電，當定子的各線圈依序輪流通電時，步進馬達轉子也就依序轉動起來。步進馬達各組線圈控制，都只是邏輯式的ON/OFF控制，非常適合用於數位邏輯電路或微電腦控制，這是步進馬達在微型電動機市場非常暢銷的主要原因。像是磁碟機、印表機和掃描器等都是採用步進馬達。控制步進馬達定子線圈通電的輸出頻率，可以控制步進馬達的轉速，控制步進馬達定子線圈通電的順序則可以控制馬達的正反轉。

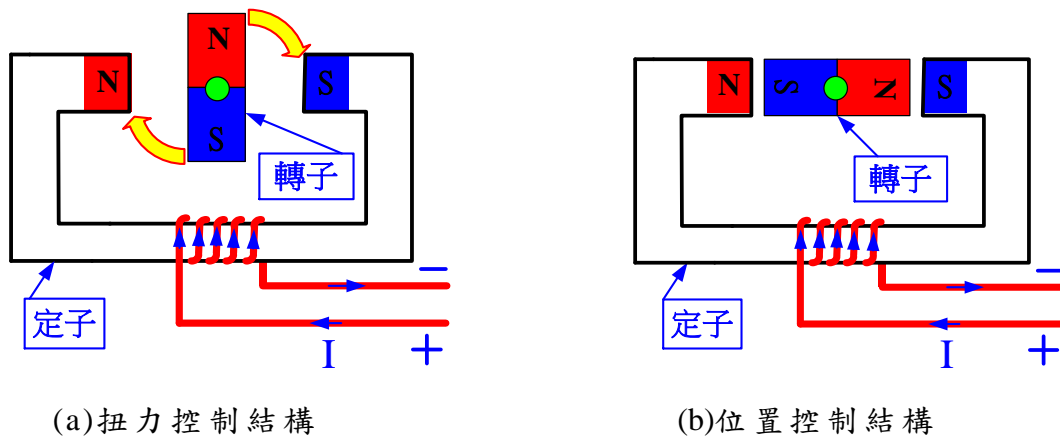


圖 1 馬達的基本控制結構

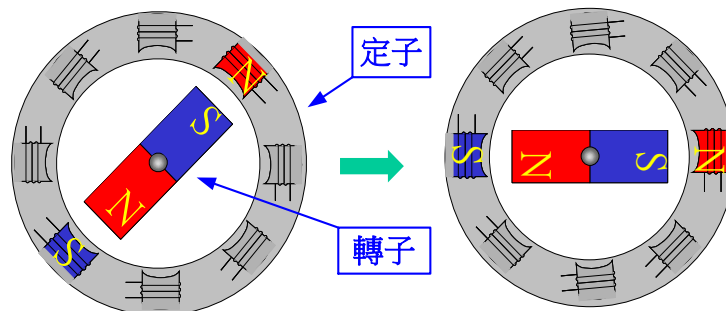


圖2 步進馬達的動作原理

## (二) 直流馬達的動作原理

直流馬達的結構是屬於扭力控制結構。如圖3(a)所示，其轉子和定子磁場相互垂直，因磁場的吸斥作用會產生扭力而讓轉子旋轉。但是轉子一旦旋轉了90度，使得兩個磁場平行時，馬達就會失去扭力而停止轉動。為了使馬達持續不停的旋轉，直流馬達必須設計很特殊的「換向」結構(Chapman 2012)，透過換向裝置改變轉子線圈的電流方向，讓轉子磁場以水平方向分界，達到上半部保持為N極、下半部保持為S極的目的。不論轉子旋轉到任何角度，轉子磁場永遠保持具有和定子磁場垂直的特性。因為兩者永遠保持垂直，所以直流馬達能夠不停的旋轉。上述所謂的「換向」結構就是透過定子上的電刷與轉子線圈的接線銅片(又稱換向片)，來改變轉子線圈的電流方向。如圖3(b)所示，以兩電刷連線(垂直線)為分界線，在電刷連線右邊的轉子線圈電流方向是流入紙面，左邊的轉子線圈電流方向是流出紙面，則轉子線圈電流就能產生上半N極、下半S極的轉子磁場。如此透過電刷可改變轉子線圈電流方向達到改變轉子磁場方向的目的，才能驅使直流馬達持續不停的旋轉，這就是直流馬達的基本動作原理。

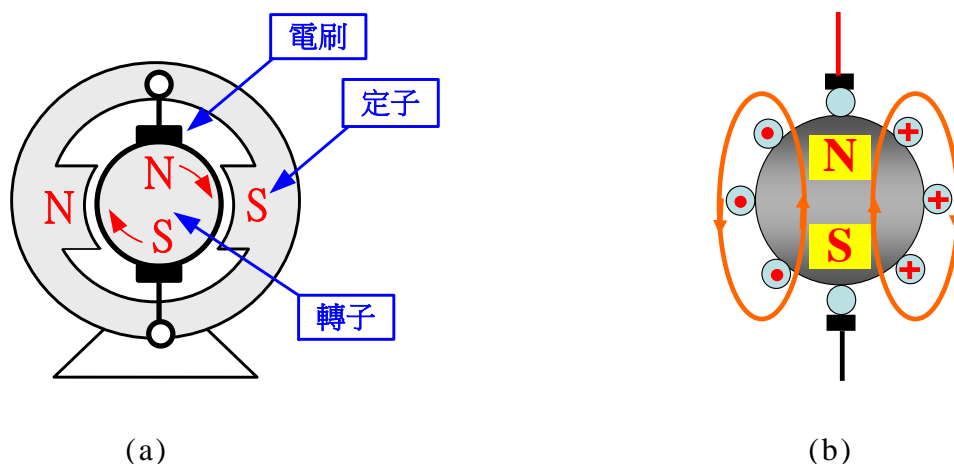


圖3：直流馬達的剖視圖

## (三) 交流馬達的動作原理

交流馬達的動作原理與步進馬達的原理極為類似，屬於位置控制結構。都是藉由定子線圈產生旋轉磁場，因磁性吸斥力作用吸引轉子磁鐵跟著轉動，旋轉磁場的快慢與旋轉方向，決定了轉子的旋轉速度與方向。但步進馬達的電源是直流電，經由一步步的 ON/OFF 控制定子線圈依序通電，使定子建立跑馬燈式的旋轉磁場，讓轉子磁鐵跟著旋轉。而交流馬達的電源是交流電，必須經過特殊安排才能產生旋轉磁場。所謂特殊安排就是交流電機定子線圈安裝放置的空間位置，需要按一定規則放置。定子線圈通電流的時間順序，也有嚴格的規定，如此，數個定子線圈產生的磁場才可合成旋轉磁場，使轉子磁鐵隨定子旋轉磁場轉動。以三相交流馬達來說明，定子線圈要產生旋轉磁場須符合下列兩個條件(Fitzgerald 2013)：

1. 定子線圈擺放的「空間」位置：三相電機之定子線圈的放置空間，必須以 120 度電機角間隔排列放置，如圖 4(a)所示。

2. 定子線圈通電的「時間」順序：A、B、C 三相定子線圈，必須通入時間相位相差為 120 度電機角的三相電流，如圖 4(b)所示，則三相磁場的合成才能產生一個旋轉磁場。

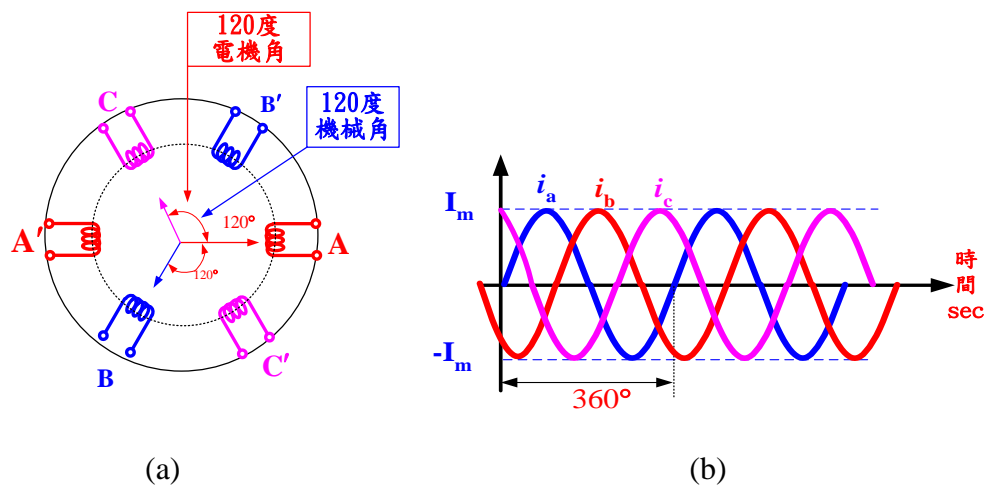


圖 4 三相交流馬達定子線圈擺放的「空間」位置與通電的「時間」波形圖

## 參、研究方法

本文研製的「LED 電動機模型教具」，包括有一 LED 電動機模型及一控制器所組成：

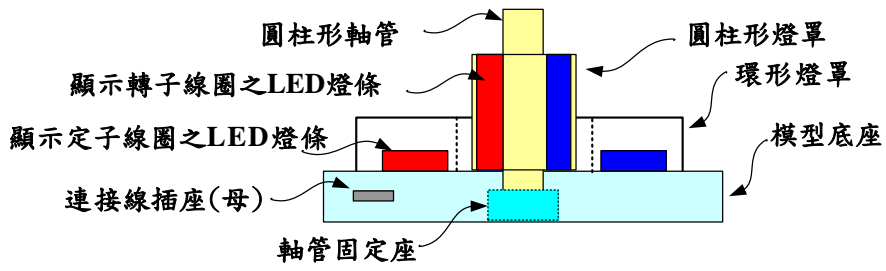
(一). LED 電動機模型的設計：如圖 5 所示，LED 電動機模型設置有一模型底座，該底座上設六組高亮度 LED 燈條，以圓周等距環形排列，用以模擬旋轉電機的定子線圈。每組 LED 燈條由兩種不同顏色的 LED 燈條組成，用以模擬六組電磁線圈的激磁狀態與磁場極性，六組 LED 燈條外面再罩上燈罩。該模型底座中心設有圓柱形軸管，該圓柱形軸管底部由軸管固定

座固定，該圓柱形軸管上安裝有六組高亮度LED燈條，每組LED燈條由兩種不同顏色LED燈條組成，用以模擬旋轉電動機的轉子磁場，外面再罩上圓柱形轉子燈罩，該模型底座設有連接線插座，以方便與控制器接線。

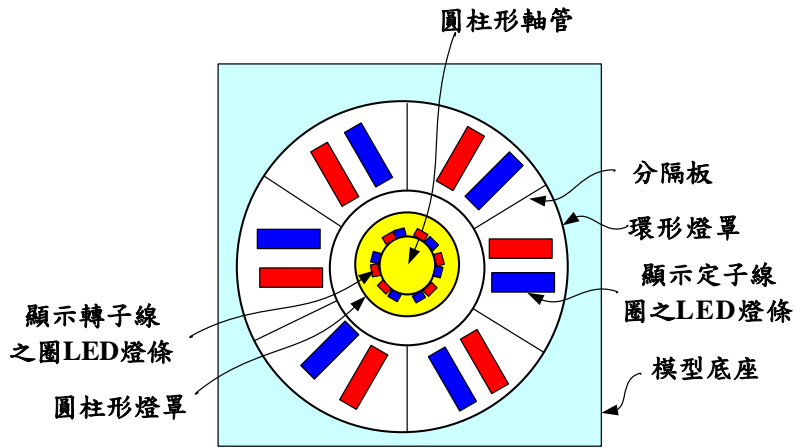
(二). 控制器與控制電路的設計：控制器包括選擇開關、手動開關、自動開關，電源電路、控制電路與驅動電路等。如圖6所示，該控制器外殼內部設置有一電源電路，用以提供LED電動機模型教具所需的直流電源，此外殼內部另設置有一控制電路及一驅動電路，其中控制電路用以執行LED電動機模型教具所需的控制法則；驅動電路用以驅動模型的LED燈條。該控制器外殼頂部設有二按鍵開關，一為手動開關可操作切換離散的動作模式，一為自動開關可設定連續模式的轉速。此外殼頂部另設有一選擇開關，可選擇手動或自動模式。該外殼側邊設有開口作為電源線與連接線的出口，經由連接線插座與LED電動機模型連接組成LED電動機模型教具。

控制電路採用Xilinx的Spartan-3 FPGA晶片發展板，主要是利用硬體描述語言VHDL為設計入口完成控制器的設計。為了方便控制電路的設計與動作原理的說明，本文將一個週期的弦波電源區分為12個工作區間，則每一個工作區間為 $30^\circ$ 電機角度。同時設計用三相交流方波電源代替三相交流弦波電源，如圖7(a)所示為定子三相LED擺放的位置圖，圖7(b)所示為A、B、C三相弦波電源與方波電源的12個工作區間波形圖，方波電源具有三種不同位準的輸出電壓，為了方便觀察以標準化之 $1pu$ 、 $0$ 、 $-1pu$ 表示。三相LED的通電時序邏輯真值表可用表1描述，其中負號表示電壓極性相反或電流流向相反。如圖8所示為三相定子LED通入三相交流方波電源後，依各個動作區間所建立合成磁場的解析圖，圖中動作順序(1)之A、B、C三相方波電源大小分別為 $1pu$ 、 $-1pu$ 、 $-1pu$ ，則A、B、C三相LED通入三相電源後產生的合成磁場大小為 $2pu$ 、方位在 $90^\circ$ 。動作順序(2)之A、B、C三相方波電源大小分別為 $1pu$ 、 $0$ 、 $-1pu$ ，則A、B、C三相LED通入三相電源後產生的合成磁場大小為 $1.732 pu$ 、方位在 $60^\circ$ 。由上述可知當三相馬達依序完成動作(1)~(12)，則定子線圈會建立順時針旋轉一周的合成旋轉磁場。因此只要控制定子線圈通電的動作順序，就可以控制轉子的轉動。只要控制通入交流馬達定子線圈的電源頻率，就可以控制交流馬達的轉速，控制通入交流馬達定子線圈的電源相位，則可以控制交流馬達的正反轉。





(a) 前視圖



(b) 俯視圖

圖5 LED電動機模型示意圖

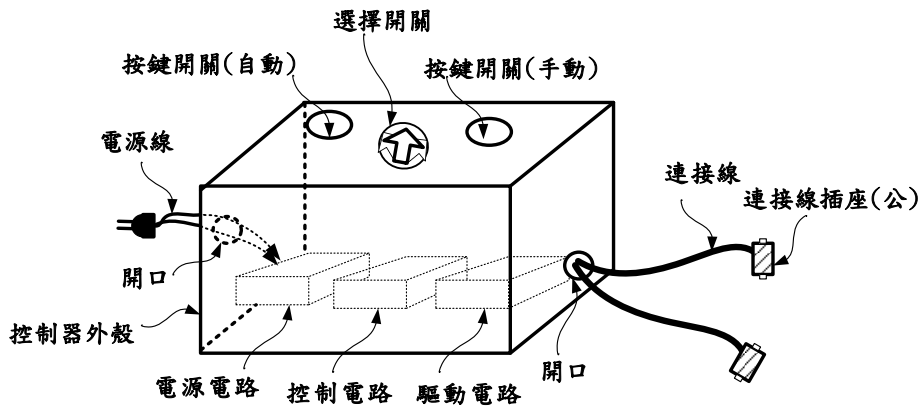
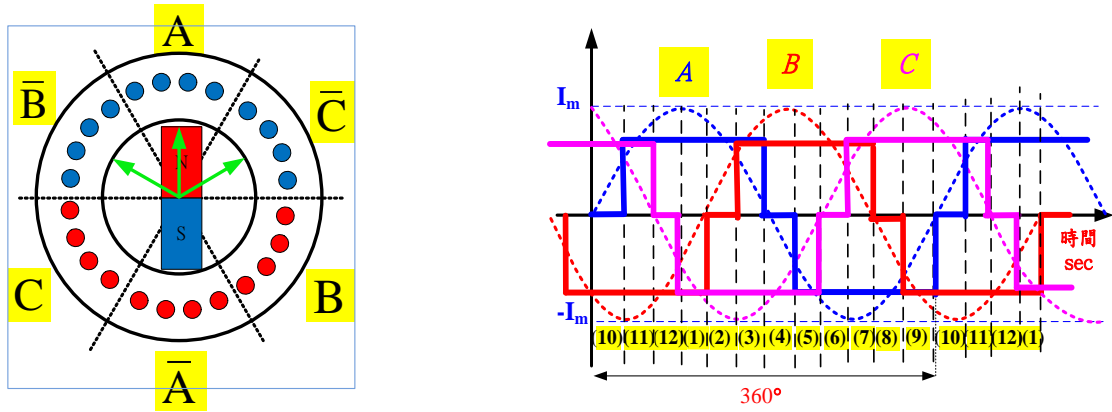


圖6 控制器示意圖



(a) 定子三相 LED 擺放的位置圖

(b) 三相電源波形圖

圖 7：三相繞組擺放位置圖與三相繞組電源波形圖

表 1 三相 LED 的通電時序邏輯真值表

動作順序	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
線圈 A	1	1	1	0	-1	-1	-1	-1	-1	0	1	1
線圈 B	-1	0	1	1	1	1	1	0	-1	-1	-1	-1
線圈 C	-1	-1	-1	-1	-1	0	1	-1	1	1	1	0

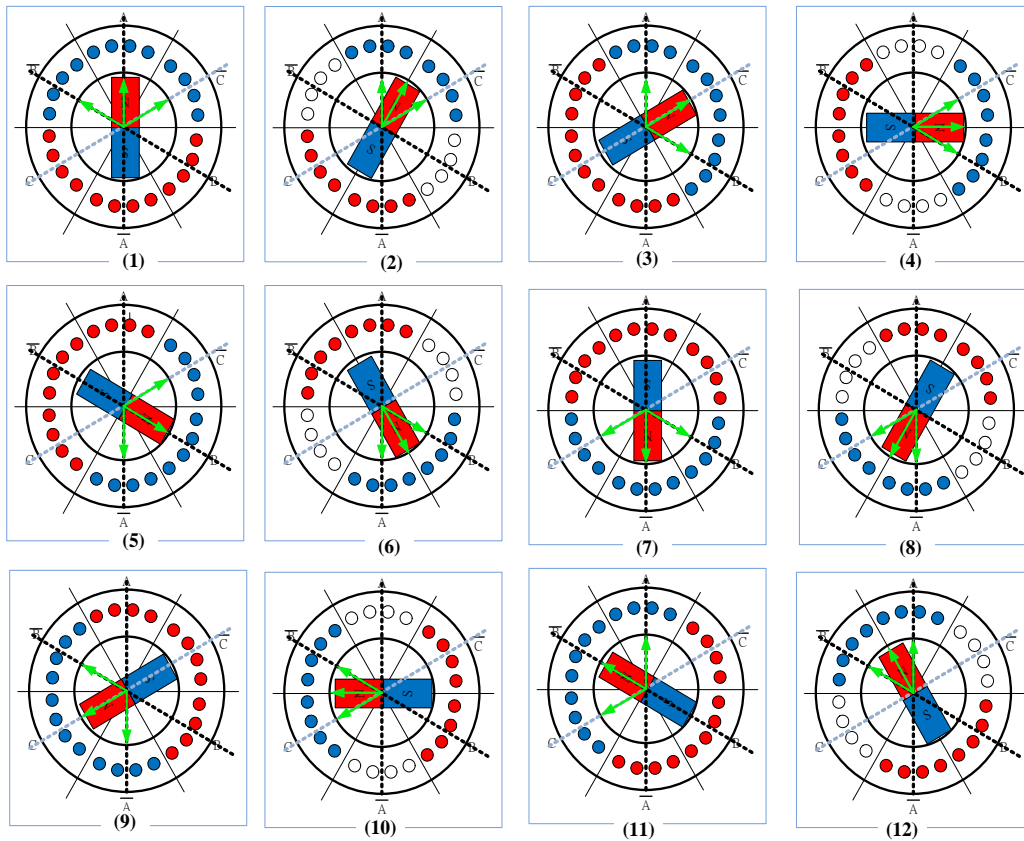


圖 8：定子三相 LED 通電後依動作順序建立合成磁場的解析圖

(三). 驅動電路的設計：如圖9所示為LED電動機模型的驅動電路圖，A、B、C三相LED燈條分別由三個橋式功率開關IO模組驅動，開關IO模組可將直流電源切換控制為+VDC、0、-VDC三種不同位準的交流方波電源，以驅動三相LED燈條。功率開關驅動訊號由FPGA晶片控制，可控制A、B、C三相LED燈條的電流方向。三個橋式功率開關IO模組的主控晶片為L298N，主要規格是控制訊號的電壓為5V、驅動的最大負載電流為2A、驅動的負載電壓為5V~35V及最大功率為25W。如圖10(a)所示為研製完成的LED電動機模型教具外觀照片。

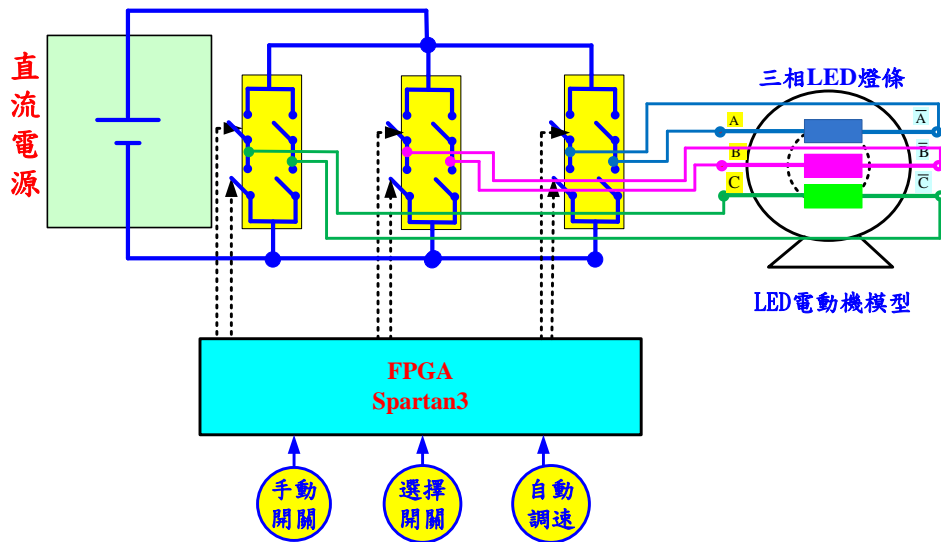


圖9 LED電動機模型驅動電路的設計圖



(a) LED電動機模型教具

(b) 旋轉電機教具

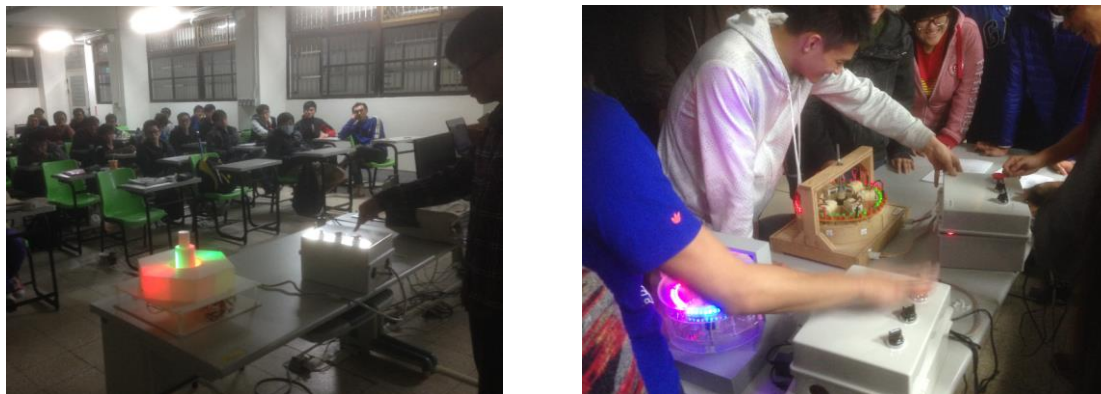
圖10 模型教具外觀照片

### 肆、教學成效評估

為了評估所研製的相關教具教材是否達到增進學生學習成效的目標（楊錦潭、莊宛毓、朱永芳,2005），本文教學成效評估選定國立宜蘭大學電機系三年級甲、乙兩班的的學生為實驗樣本，以電機機械課程的教學活動進行成效評估，各組參與人數如表2所示。分為控制組與實驗組，其中

- (一) 控制組（傳統教學組）：上課方式採用傳統的教學方式，在教室老師使用書本、講義、投影片講解、放映操作影片等方式進行教學。
- (二) 實驗組（教具教學組）：上課方式為傳統教學加上教具輔助教學，為了評估LED電動機模型教具輔助學習的成效，配合本文作者的相關作品如圖10(b)所示旋轉電機

教具(彭世興, 2013)。將實驗組學生區分為A、B、C三組，實驗A組實施旋轉電機教具+LED模型教學，實驗B組實施旋轉電機教具教學，實驗C組實施LED模型教具教學，如圖11所示為實驗組實施教具教學的活動照片。



(a) LED電動機模型教具助教示範教學

(b) 學生操作旋轉電機教具情形

圖11 實施模型教具教學活動照片

表2 成效評估樣本人數

組別		人數
控制組	(實施傳統教學)	39(電機三甲)
	A組(實施旋轉電機教具+LED模型教學)	18
	B組(實施旋轉電機教具教學)	16
實驗組	C組(實施LED模型教學)	18
總計		91

本文所用的評估量測工具共有兩種，分別是：

- (一)、**成就測驗** (吳明隆, 2013; 余民寧, 2011)：屬於知識性測驗題目，依據教學單元撰寫而成，最後正式的測驗題目，為選擇題共20題。
- (二)、**學習意見調查**：為了解受測者對本研究的相關教具教材的使用滿意度，作為往後修正的依據。所設計的正式問卷調查表共15題，採用李克特式的五點量表法(Five-Point Likert-type scale)來進行研究，受測者從「非常同意」、「同意」、「普通」、「不同意」、「非常不同意」中勾選符合自己意見的選項。

**統計分析：**本文以SPSS軟體作為資料分析之工具，採用多重比較(Post Hoc) 檢定。

(一) **成就測驗：**實驗設計安排在旋轉電機原理介紹單元，實驗組與控制組學生都先進行傳統的教學方式，同時向學生宣布下週會舉行成就測驗，是為前測成績。第二週控制組進行教具操作投影片說明，再觀看操作示範影片，但不進行教具實體輔助教學。實驗組由助教進行教具操作示範說明，並進行分組教具操作實驗教學。此時不預告第三週會再次舉行成就測驗，即為後測成績。表 3 為前後測成績的敘述統計數據，表 4 為前測成績 Post Hoc 檢定結果，表 5 為後測成績 Post Hoc 檢定結果。檢定結果說明如下：

1. 前測成績 Post Hoc 檢定：結果顯示控制組與實驗 C 組的前測成績平均差異很顯著，主要原因是實驗組的分組是依照修課學生學號分組，實驗 C 組的學生多為重修生成績較差，因此依照學號分組方式並不理想，未來應依前測成績做 S 形分組，則可確保各組前測成績平均差異為不顯著。
2. 後測成績 Post Hoc 檢定：結果顯示控制組與實驗 ABC 組的後測成績平均差異都未達顯著，然而觀察前後測成績的敘述統計數據，可發現控制組前後測成績的平均差異分數為-4.4 分，主要原因是不告知後測的情況下，學生因未準備造成後測成績的退步。反觀實驗組在不告知後測的情況下，後測成績的平均分數增加 3.3 分，顯示經由實體的教具操作確實能增進學習成效，其中實驗 A 組實施旋轉電機教具+LED 模型教學的成效最好，平均分數增加 6.4 分，其次是實驗 C 組 LED 模型教學，平均分數增加 4.4 分，再其次實驗 B 組是旋轉電機教具教學，平均分數增加 1.4 分。

表 3 前後測成績敘述統計

組別	個數	前測成績		後測成績	
		平均數	標準差	平均數	標準差
控制組	39	64.783	2.624	60.384	2.975
A	18	60.833	2.977	67.222	3.710

實驗組	B	16	60.938	3.985	62.330	4.753
	C	18	48.889	3.931	53.333	4.022
	全班	52	57.545	2.143	60.882	2.480

表 4 前測成績多重比較(Post Hoc) 檢定

依變數: 前測成績

Tukey HSD

(I) 前測	(J) 前測	平均差異 (I-J)	標準誤	顯著性	95% 信賴區間	
					下界	上界
1	2	3.94928	4.57902	.824	-8.0276	15.9261
	3	3.84511	4.78030	.852	-8.6582	16.3484
	4	15.89372(*)	4.57902	.004	3.9169	27.8706
2	1	-3.94928	4.57902	.824	-15.9261	8.0276
	3	-.10417	5.65902	1.000	-14.9058	14.6975
	4	11.94444	5.49006	.138	-2.4153	26.3042
3	1	-3.84511	4.78030	.852	-16.3484	8.6582
	2	.10417	5.65902	1.000	-14.6975	14.9058
	4	12.04861	5.65902	.151	-2.7531	26.8503
4	1	-15.89372(*)	4.57902	.004	-27.8706	-3.9169
	2	-11.94444	5.49006	.138	-26.3042	2.4153

3	-12.04861	5.65902	.151	-26.8503	2.7531
---	-----------	---------	------	----------	--------

\* 在 .05 水準上的平均差異很顯著。

表 5 後測成績多重比較(Post Hoc) 檢定

依變數: 後測成績

Tukey HSD

(I) 後測	(J) 後測	平均差異 (I-J)	標準誤	顯著性	95% 信賴區間	
					下界	上界
1	2	-6.83761	5.05117	.532	-20.0716	6.3964
	3	-1.94872	5.38570	.984	-16.0592	12.1617
	4	7.05128	5.05117	.505	-6.1827	20.2853
2	1	6.83761	5.05117	.532	-6.3964	20.0716
	3	4.88889	6.19724	.859	-11.3478	21.1255
	4	13.88889	5.90883	.095	-1.5922	29.3699
3	1	1.94872	5.38570	.984	-12.1617	16.0592
	2	-4.88889	6.19724	.859	-21.1255	11.3478
	4	9.00000	6.19724	.471	-7.2367	25.2367
4	1	-7.05128	5.05117	.505	-20.2853	6.1827
	2	-13.88889	5.90883	.095	-29.3699	1.5922
	3	-9.00000	6.19724	.471	-25.2367	7.2367

\* 在 .05 水準上的平均差異很顯著。

(二) 學習意見調查：問卷調查區分為教具設計與教材內容、學習成效、整體滿意度等三個面向，分析整理數據結果如下表 6~8:

表 6 教具設計與教材內容面向

	平均數	標準差
--	-----	-----



1. 教具控制器的設計簡單、操作容易。	4.4902	.67446
2. 教具操作手冊的編輯美觀、說明清楚易懂。	4.2157	.70182
3. 教具的設計，能幫助我了解馬達的分類與構造。	4.4118	.57189
4. 教具的 LED 燈設計，對我了解馬達的工作原理很有幫助。	4.4510	.67272
5. 教具手動操作模式的設計，對我了解馬達的工作原理很有幫助。	4.3922	.66569
6. 教具自動操作模式的設計，對我了解馬達的工作原理很有幫助。	4.2941	.69790

資料分析：「旋轉電機教具教材」的設計與教材內容，由問卷結果顯示，操作容易、使用方便，在功能設計上受到肯定。

表 7 學習成效面向

	平均數	標準差
7. 教具能幫助我了解直流馬達的工作原理。	4.2941	.64169
8. 教具能幫助我了解步進馬達的工作原理。	4.4706	.61165
9. 教具能幫助我了解交流馬達的工作原理。	4.4314	.64047
10. 使用教具學習，能幫助我理解上課的學習內容。	4.5686	.53870
11. 使用教具能讓我對學習內容記得更清楚。	4.5098	.64413
12. 使用教具學習，能提高我學習電機機械的興趣。	4.4510	.67272

資料分析：「電機教具教材」的學習成效，由問卷結果顯示，肯定本文研製的教具能幫助學習者更容易了解電機的理論知識。

表 8 整體滿意度面向

	平均數	標準差
13. 在傳統課堂授課，加上教具的輔助學習，對我的學習	4.5294	.54233

成效很有幫助。

14. 我喜歡使用教具當作輔助學習工具。	4.6471	.52244
15. 整體而言，我對教具的輔助學習感到滿意。	4.5882	.57189

資料分析：由問卷結果顯示平均數在 4.5 以上，表示學生對「電機教具教材」的整體滿意度非常良好。

## 伍、結論

本文研製的「LED 電動機模型教具」，係以「高亮度 LED 燈」代替「電動機線圈」的模式，利用 LED 發光的顏色，顯示電動機線圈通電後，所產生磁場的極性與方向。再以電路控制 LED 燈的亮滅，產生類似廣告燈的旋轉視覺效果，使學生藉由一步一步手動的操作過程，觀察 LED 燈顏色的亮滅變化，了解包括步進馬達、直流馬達、交流馬達等旋轉電機的動作原理，達到有效教學的目的。相關教具教材實際應用於國立宜蘭大學電機系的「電機機械」教學課程，經由學習成就測驗完成教學成效評估，由於受到實驗分組的影響，使本文無法用統計方法證明所研製的教具，具有顯著的教學成效，未來實驗組與控制組的分組將依前測成績做 S 形分佈，使各組成員差異減到最小，確保教學成效評估的正確性。另外由問卷結果顯示，在功能設計與操作便利性上受到學生肯定，在學習成效及整體滿意度的表現非常良好。

## 誌謝

本文之研究承行政院科技部編號 MOST 103-2511-S-197 -002 計畫支持研究經費，謹此誌謝。

## 參考文獻

吳清山、林天祐(2008)。學習地圖。教育研究月刊。

楊錦潭、莊宛毓、朱永芳(2005)，符合 SCORM 2004 SN 規範的適性化教材設計對學習成效之研究，國立高雄師範大學通識教育中心&資訊教育研究所。

- 吳明隆 (2013), *SPSS 統計應用學習實務:問卷分析與應用統計*, 三版, 知城數位科技。
- 余民寧 (2011), *教育測驗與評量—成就測驗與教學評量*, 三版, 心理出版社。
- 彭世興、李志文、吳德豐、江茂欽、謝俊男(2013,5), *旋轉電機教具的研製與教學評估*, 第二屆工程與科技教育研討會, 台北, 第 12-25 頁。
- Bal, G., Bayhan, S., (2010). *Internet based virtual electric machine lab: Switched reluctance motor*, 2010 4th International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT), 1 - 5.
- Blanke, B., Andrada, P., & Lopez, J. (2007). *An education and research prototyping platform for switched reluctance motor drives*. Proceedings of the Power Electronics and Applications, 1-8.
- Chapman, S. J. (2012). *Electric Machinery Fundamentals*, 5/e, New York: McGraw-Hill.
- Colin Rose, (2011). *Accelerated Learning for the 21st Century: The Six-Step Plan to Unlock Your Master-Mind*, Random House Publishing Group.
- Edward, R. C., ( 2009, February), *An Energy Conversion Laboratory Using Industrial-Grade Equipment*, IEEE Transactions on Power Systems, vol. 24, no.1, 3-11.
- Fitzgerald, A. E., Kingsley, C., Umans, S.D. (2013). *Electric Machinery*, 7/e, Singapore: McGraw-Hill.
- Ishibashi, M., Fukumoto, H., Furukawa, T. , Itoh, H. ; Ohchi, M., (2014). *Development of a web-based remote experiment system for electrical machinery learners*, 2014 International Power Electronics Conference (IPEC-Hiroshima 2014 - ECCE-ASIA), 724-729.
- Jesus, F., A., Garcia-Gutierrez, P.A., Gordillo-Iracheta, C., (2011, May). *Development of an integrated virtual-remote lab for teaching induction motor starting methods*. Promotion and Innovation with New Technologies in Engineering Education, FINTDI.2011, 1-5.
- Liyanagedera, C.M., Kulatunga, N.A., (2013). *Multi-motor controller as an educational tool*, 2013 IEEE International Electric Machines & Drives Conference (IEMDC), 1348 - 1351.
- Montesinos, D., Galceran, S., Sudria, A. & Gomis, O. (2005). *A laboratory test bed for PM brushless motor control*. Proceedings of the Power Electronics and Applications, 1-6.
- Syal, A., Gaurav, K., Moger, T., (2012). *Virtual laboratory platform for enhancing undergraduate level induction motor course using MATLAB/Simulink*, IEEE International Conference on Innovative Practices and Future Trends, AICERA.2012, 1 - 6.

Travassos Valdez, M., Machado Ferreira, C., Barbosa, F.P.M. (2013). *Electrical engineering teaching and distance learning using a desktop virtual reality system*, 2013 48th International Universities' Power Engineering Conference (UPEC), 1-4.