



電機學與實驗課程 - 三相感應電動機

課程內容

- 一、 旋轉磁場
- 二、 轉差率
- 三、 三相感應電動機轉速控制
- 四、 電機學實驗

一、旋轉磁場

直流電機的基本運作原理就是旋轉磁場的產生，並且造成轉子的旋轉，而轉子旋轉的速度則做旋轉磁場的速度而定，現在要來解釋利用交流電源如何使旋轉磁場在定子上以及氣隙上產生。

現在先考慮圖 17.25 中的定子結構，而在定子繞組分為 a-a', b-b 以及 c-c'。各線圈在空間中以彼此間隔 120° 排列，並且通入三相的電源到線圈中。我們回憶第 7 章所介紹到的交流電源，可以發現三相電源彼此之間相互間隔也是 120°，如圖 17.26 所示。這個三相的電源可以表示為

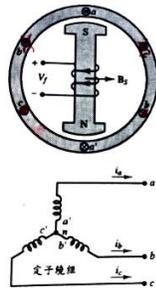


圖 17.25 三相二極式定子

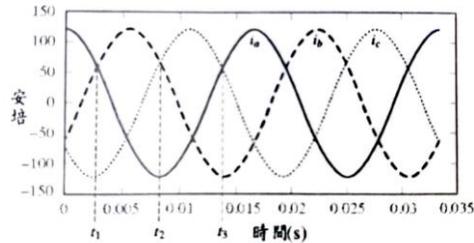


圖 17.26 通入定子繞組的三相電流

$$v_a = A \cos(\omega_e t)$$

$$v_b = A \cos\left(\omega_e t - \frac{2\pi}{3}\right)$$

$$v_c = A \cos\left(\omega_e t + \frac{2\pi}{3}\right)$$

其中 ω_e 為交流電源的頻率，或稱為線頻率。定子繞組的排列方式將使得磁通在空間中的分佈會近似成為弦波的形狀，只需要在定子表面上的繞組以特定的模式排列起來即可。由於線圈之間彼此間隔 120°，空間中的總磁通量分佈會等於這三個繞組分別產生的磁通量的總和，並且如圖 17.27 所示。因此一個三相的電機之中的磁通會在空間中旋轉，在圖 17.28 中以向量的方式表現出來，而其振幅不變。如果我們靜止在定子上觀察這個磁通，我們會發現磁通會如同圖 17.27 的弦波變化方式的磁通分佈。

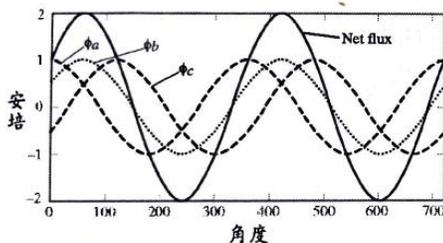


圖 17.27 三相定子中的磁通量分佈，為一個角度的函數

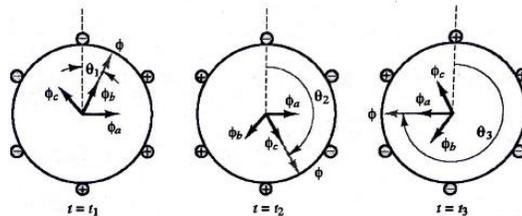


圖 17.28 一個三相電機中的旋轉磁場

由於圖 17.27 中的旋轉磁場是由圖 17.26 中的電流所產生的，因此旋轉磁場的頻率必定會與電源的頻率相同。在圖 17.25 中的定子中，具有二個磁極。然而，我們也可以利用不同的繞組組合出更多的磁極。例如，圖 17.29 表示出了一個四極的定子結構。

一般來說，旋轉磁場的速度由外加電流源的頻率 f 以及磁極的數目 p 來決定：

$$n_s = \frac{120f}{p} \text{ rev/min}$$

或

$$\omega_s = \frac{2\pi \times 120f}{p}$$

其中 n_s (或者 ω_s) 通常稱為同步速度。而不管是交流電動機或者是交流發電機，其繞組的結構是相同的，差別只在於功率的流向。在發電機中，所產生的是電磁轉矩，其是用來反抗電機旋轉的反轉矩；這個轉矩會與原動機的動作方向相反。在電動中，在電樞上所產生轉動的電壓會反抗外加電壓：這個電壓我們稱之為反 (或逆) 電動勢。在交流電動機以及交流發電機中的旋轉磁場都應用上了。

如同前面所提到的，在交流機中的定子上磁場會產生旋轉，因此轉子會持續的保持追逐定子磁場，但卻永遠無法追上。因此轉子的轉動速度會與在定子以及轉子繞組上面的極數有關，而其所產生的轉矩大小為一個與定子磁場以及轉子磁場之間夾角 γ 的函數。而精確的轉矩描述會與產生磁場的方式有關，並且分成同步機以及感應機兩種情況。不管在任何的旋轉電機下，要能夠產生轉矩，其定子以及轉子的極數必須要相等才好。此外，磁極的數目還必須是偶數，因為一個 N 極必定會對應到一個 S 極。其中一個我們所希望的特性是轉動電機具有固定轉矩的能力。在固定轉矩的情況下，我們可以避免因為轉矩的變動而引起在電機本身以及零件的震動 (如負載，轉軸，以及皮帶傳動裝置)。但是一個固定轉矩的情況通常無法達成，即使在後面我們會介紹如何可利用多相電源的激勵來產生固定轉矩。一個基本的原則是我們想要，在儘可能的情況下，在每一個磁極中產生固定的磁通量。

二、轉差率

感應電動機在架構上比起其他電機機械相對要來的簡單，因此，是最為普遍被使用的電動機。感應電動機在定子部分的繞組和同步機相似；因此，圖 17.25 中的三相繞組的架構同樣適用在感應電動機上。感應電機（大部分使用在電動機）的主要好處在於，不需要在轉子上加上額外的電源。典型的轉子架構有兩種：鼠籠型 (squirrel cage)，繞組型 (wound rotor)。在鼠籠型的結構中包含了許多的導體橫桿在 2 個端點分別短路起來並且埋在轉子中；而繞組型的轉子包含了多相的繞組，與定子的結構相似，但也將繞組短路。

在任何一個轉子架構下，感應電動機都是利用定子磁場的耦合產生轉子電流的運作模式。這種運作模式於變壓器的原理很相似，也就是定子電流（一次側線圈上）同時會在轉子上感應出電流（二次側線圈上）。在大部分的感應電動機中，轉子不需要外加的電源連接而且不需要換向片或是滑環，因此架構上十分簡單又堅固耐用。而不同於同步電動機，感應電動機不運作在同步速度之下，而運作在比同步轉速較低的速度下，其速度大小視負載的情況而定。圖 17.37 說明了一個鼠籠型感應電動機的外觀結構。接下來的討論我們會以鼠籠型的結構為基準。

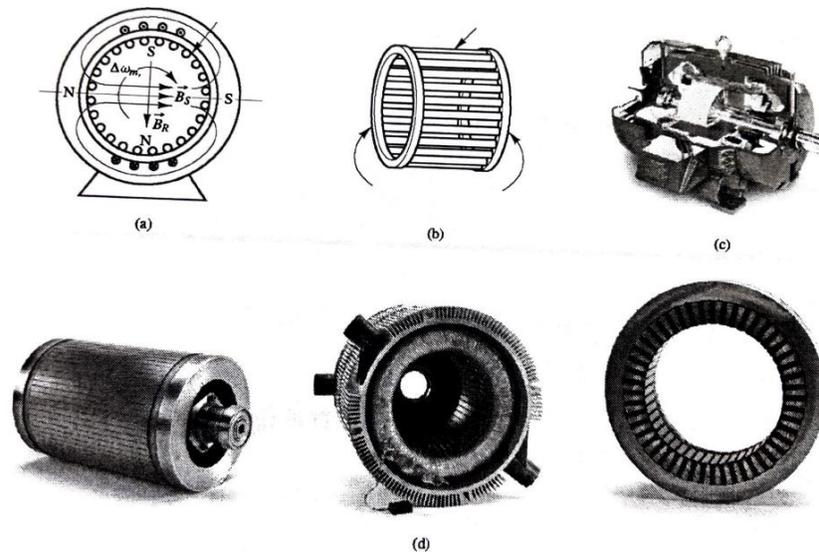


圖 17.37 (a)鼠籠型感應電動機 (b)轉子上的導體 (c)鼠籠型感應電動機的結構照片
(d)Smokin' s Bckey 電動機的外貌；轉子、定子，以及定子的截面圖

由前面的介紹中我們已經知道在定子上的旋轉磁場是如何運作。現在假定我們放入一個鼠籠型的轉子到旋轉磁場中，定子磁場會在鼠籠中的導體上產生感應電壓，而如果定子磁場是由 3 相電源所產生，則在轉子上的感應電流（這個電流由於在鼠籠上被 2 個短路環所短路，因此電流只會在橫桿導體上循環流動）也會是三相的電流，而且大小由感應電壓的振幅以及轉子上的阻抗來決定。由於轉子電流是由定子的磁場所感應出來的，因此在轉子上感應磁場的極數以及磁場的轉速也會和定子相同，假設此時轉子是靜止的。因此，當一個定子磁場剛加入時，轉子的磁場會與定子的磁場同步，而定子磁場與轉子磁場相對於彼此之間的大小為固定。因此，根據之前的討論可知，可以產生一個啟動轉矩 (starting torque)。

如果這時的啓動轉矩足夠讓轉子轉動，則轉子會開始加速到達本身的工作轉速。然而，感應電動機將永遠無法到達同步速度；因為如果這時轉子的轉速到達同步速度，則在旋轉的定子磁場上觀察轉子將會是靜止的而彼此之間沒有相對的運動，在這種情況下將無法出現感應電壓。因此，感應電動機的轉速將被限制在同步轉速 n_s 以下。假設轉子的轉速為 n ，而轉子的轉速與定子磁場的轉速差為 $(n_s - n)$ 。在等效上我們可以想像轉子以 $(n - n_s)$ 的速度向後倒退，而這個速度我們稱之為轉差速度 (slip speed)。而我們定義轉差率 (slip)， s 為：

$$s = \frac{n_s - n}{n_s}$$

因此我們可以將轉子的轉速表示為：

$$n = n_s(1 - s)$$

其中轉差率 s 為負載的函數，並且與電動機的建構和轉子的型態（鼠籠型或繞組型）有關。由於轉子的本身與定子的磁場具有一個相對運動，在轉子上會感應出一個電壓，此電壓的頻率我們稱之為轉差頻率 (slip frequency)，與兩者的相對速度有關。這會引起一個有趣的現象：轉子的磁場相對於轉子具有一個轉差速度 (sn_s) 的速度差，但轉子實際上是以 $(1 - s)n_s$ 的速度在旋轉，因此轉子磁場的淨轉速其實為：

$$sn_s + (1 - s)n_s = n_s$$

也就是同步速度。因此，我們發現轉子的磁場其實是運轉在同步速度之不，雖然轉子本身的機械轉速小於同步速度。這個現象很重要，因為我們發現定子磁場與轉子磁場會持續保持相對上為靜止狀態，因此可以產生一個淨轉矩。

同如在直流的情形，同步電動機中，一些重要的特性討論如啓動轉矩，最大轉矩以及轉矩-轉速曲線，我們將在看過一些分析的例子之後會作簡單的介紹。

三、三相感應電動機轉速控制

如同前面一節所提到的，當電源為固定頻率時，交流電動機的轉速只能在同步速度或者在同步速度的附近。一些簡單的方法可以在有限的範圍做交流感應機的轉速控制 (speed control in an AC induction machines)。另外其他一些比較複雜的方法，包括利用了一些較先進的電力電子電路，使得電動機可以在很大的頻寬下控制轉矩以及轉速。在下面的小節中我們來看看其中的一些方法。

極數控制法 (Pole Number Control)

在感應電機中要能夠控制速度最簡單的方法就是改變極數。方程式 17.55 描述了交流電機的同步速度與外加的頻率以及磁極的數目之間的關係。當外加的頻率為 60Hz，調整定子的極數下面的設定可以使電動機運轉在下面的速度：

定子極數	2	4	6	8	10
轉速, rev/min	3600	1800	1200	800	600

電動機定子上的繞組纏繞使得定子的極數可以改變，並且在需要轉換速度的時候利用切換的方法達成極數的改變。但要注意的是時序上的掌握要精準，以免傷害到電機本身。

轉差率控制 (Slip Control)

由於轉子的轉速與轉差率有關，利用控制轉差率可以達到改變電動機轉速的目的。由於電動機的轉矩的下降與電壓的平方成比例（如方程式 17.82 所描述），當我們減少電動機的電壓時，便有可能使得電動機的轉矩改變，進而改變轉差率。這種改變轉速的方法可以時的電動機保持在穩定的操作下。參考圖 17.42，我們只能運用在轉速超過 c 點，也就是轉速超過崩潰轉矩之後。

轉子控制 (Rotor Control)

當感應電動機是用繞組型轉子時，我們可以利用滑環來連接轉子上的電阻。當我們增加轉子上的電阻時便會使得轉子的損失增加，因而產生轉子的速度下降的現象。這個方法同樣只適用在電動機的轉速在崩潰轉矩以後。要注意的是，當我們改變轉子上的電阻，轉矩轉速曲線也會跟著改變。

頻率調整 (Frequency Regulation)

最後要介紹兩種方法都會在電機本身引起額外的損失。如果我們使用一個可變頻率的電源，電動機的速度控制可以完全沒有額外的損失。如方程式 17.55，電動機的轉速直接與電源的頻率相關（因為電源的頻率直接決定了定子磁場的旋轉速度）。然而，為了要在不同的速度之下保持固定的轉矩，電動機的電壓也必須跟著頻率來調變。因此，一般來說，V/Hz 的比值必須保持固定。

然而，這種情形在電動機剛啓動並具有較小的頻率時，卻不容易達成。通常在啓動時，外加電壓會升高，使得電動機運作在正常的 V/f 比值之上。

變頻驅動裝置 (Adjustable-Frequency Drives)

近 20 年來電力電子以及微控制器 (參考第 11 章以及第 14 章) 的進步，提供了在工業應用上的交流電機一個變頻驅動裝置 (adjustable-frequency drives) 的裝置，直到了直流驅動裝置的出現並且提供更容易的速度控制爲止。一個頻率可調的驅動裝置包含了四個主要的部份，如圖 17.45 所示。

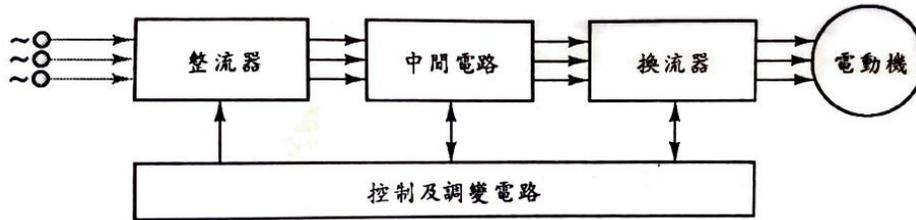


圖 17.45 頻率可調的驅動裝置的一般示意圖

在圖 17.45 的示意圖中，我們假設由外部加上了一個三相的交流電源。這個三相的交流電源會先經過控制以及非控制的整流器 (rectifier，參考第 8 章中的非控制整流器以及第 11 章控制整流器的介紹) 的整流。而中間電路 ((intermediate circuit) 被用來對整流過的電壓以及電流做進一步的處理。而換流器 (inverter) 主要是用來將經過固定的直流電壓轉換爲可變頻率以及可變振幅的交流電壓，通常利用脈波振幅調變 (pulse-amplitude modulation, PAM) 或者是脈波寬度調變 (pulse-width modulation, PWM) 的技術。

圖 17.46 說明如何利用一系列適當的脈波來近似一個頻率可調整的弦波電流和電壓。這種用來產生波形的重要技術主要是來自於簡單的電壓源換流器 (voltage-source inverter) 中電源切換的觀念，我們在第 11 章已經介紹過。直流-交流換流器具有許多不同的作法。讀者可以在隨書所附的光碟片中找到更多有關換流器的資訊。

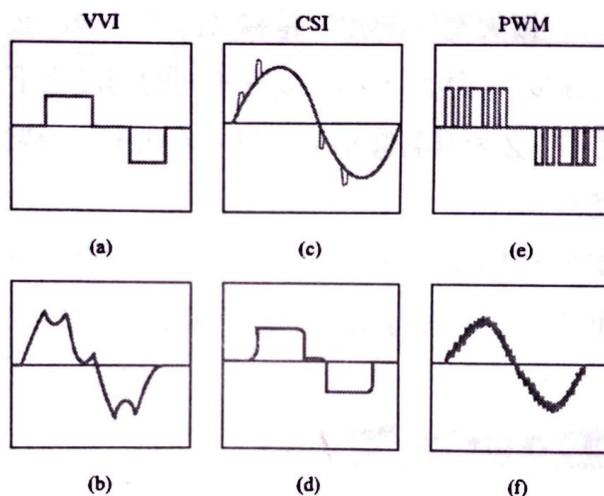


圖 17.46 典型頻率可調的控制器電壓及電流波形



四、電機學實驗

課程實驗項目：

1. 串並聯直流電路實驗
2. 交流電路實驗-RC, RL
3. 交流電路實驗-RLC
4. 暫態電路實驗-RC, RL
5. 控制三相交流馬達啟動-停止
6. 控制三相交流馬達正反轉
7. INVERTER 控制三相交流馬達轉速(內部控制)
8. INVERTER 控制三相交流馬達轉速(外部控制)

注意事項：

1. 電壓 220V，未經老師同意不可送電。
2. 每項實驗均需驗收，有一項以上未完成者成績以不及格論。
3. 每項實驗均需撰寫實驗報告。
4. 學期成績=理論課 x75% + 實驗課 x25%

實驗一：串並聯直流電路實驗

1.1 實習目的

學習直流電路原理與接線，並熟悉電壓與電流量測。

1.2 動作情形

利用示波器或三用電錶量測電壓與電流，並與理論值比較。

1.3 相關知識

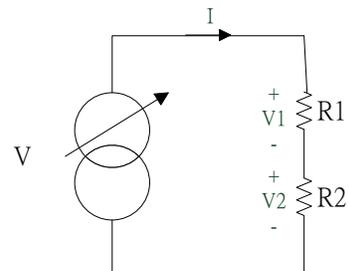
歐姆定律 $V=IR$ ，其中 V 為電壓(伏特)、 I 為電流(安培)、 R 為電阻(歐姆)。

1.4 電路圖

如右圖電路，

$$I=V/(R1+R2)$$

$$V1=IR1=VR1/(R1+R2) \quad , \quad V2=IR2=VR2/(R1+R2)$$



1.5 實習步驟

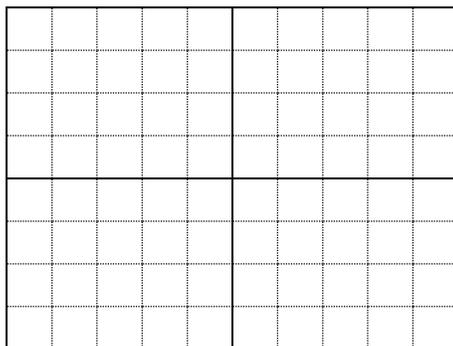
1. 如電路圖接線，電壓源加入 5V 直流電壓，電阻均選擇 330Ω。
2. 量測 $V1$ 與 $V2$ 之電壓記錄之，並與理論計算值比較。
3. 電壓源改用信號產生器提供最大值 5V 頻率為 60Hz、1kHz 之玄波(sin)，
4. 用示波器量測 $V1$ 與 $V2$ 之電壓波形並記錄之。

1.6 材料表

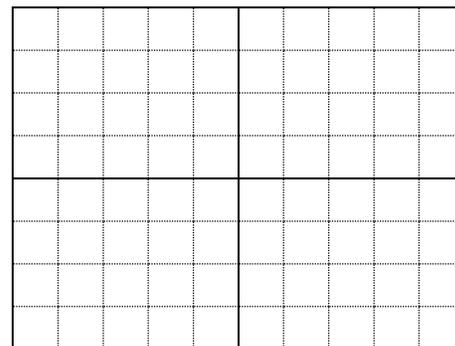
編號	名稱	單位	數量
1	330Ω	式	2

1.7 作業練習

實習步驟 4 示波器量測 V 、 $V1$ 與 $V2$ 之電壓波形，請記錄於下圖並標示出時間與電壓值。



60Hz



1kHz

實驗二：交流電路實驗-RC, RL

2.1 實習目的

學習直流電路原理與接線，並熟悉電壓與電流量測。

2.2 動作情形

利用示波器或三用電錶量測電壓與電流，並與理論值比較。

2.3 相關知識

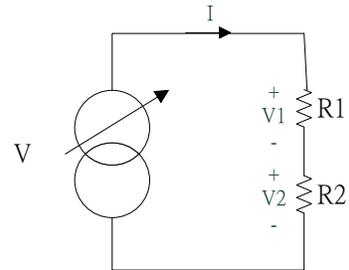
歐姆定律 $V=IR$ ，其中 V 為電壓(伏特)、 I 為電流(安培)、 R 為電阻(歐姆)。

2.4 電路圖

如右圖電路，

$$I=V/(R1+R2)$$

$$V1=IR1=VR1/(R1+R2) \quad , \quad V2=IR2=VR2/(R1+R2)$$



2.5 實習步驟

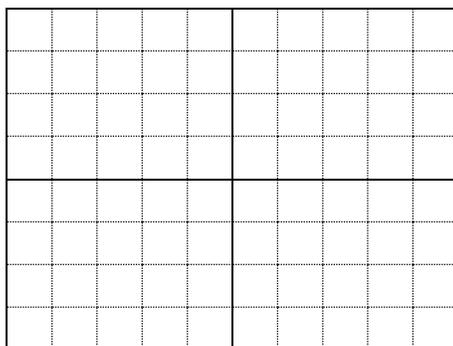
1. 如電路圖接線，電壓源加入 5V 直流電壓，電阻均選擇 330Ω。
2. 量測 $V1$ 與 $V2$ 之電壓記錄之，並與理論計算值比較。
3. 電壓源改用信號產生器提供最大值 5V 頻率為 60Hz、1kHz 之玄波(sin)，
4. 用示波器量測 $V1$ 與 $V2$ 之電壓波形並記錄之。

2.6 材料表

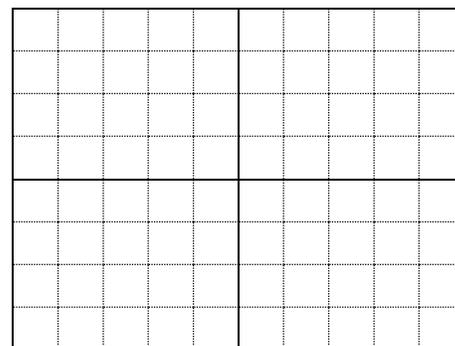
編號	名稱	單位	數量
1	330Ω	式	2

2.7 作業練習

實習步驟 4 示波器量測 V 、 $V1$ 與 $V2$ 之電壓波形，請記錄於下圖並標示出時間與電壓值。



60Hz



1kHz

實驗三：交流電路實驗-RLC

3.1 實習目的

學習直流電路原理與接線，並熟悉電壓與電流量測。

3.2 動作情形

利用示波器或三用電錶量測電壓與電流，並與理論值比較。

3.3 相關知識

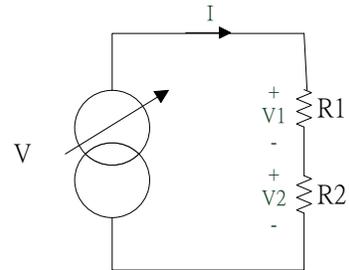
歐姆定律 $V=IR$ ，其中 V 為電壓(伏特)、 I 為電流(安培)、 R 為電阻(歐姆)。

3.4 電路圖

如右圖電路，

$$I=V/(R1+R2)$$

$$V1=IR1=VR1/(R1+R2) \quad , \quad V2=IR2=VR2/(R1+R2)$$



3.5 實習步驟

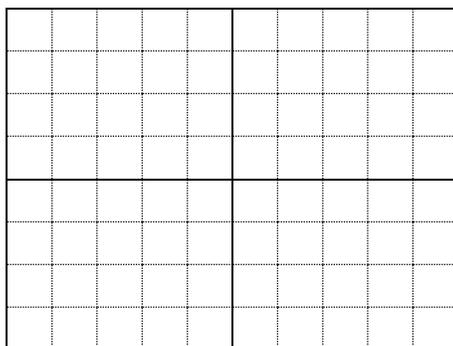
1. 如電路圖接線，電壓源加入 5V 直流電壓，電阻均選擇 330Ω。
2. 量測 $V1$ 與 $V2$ 之電壓記錄之，並與理論計算值比較。
3. 電壓源改用信號產生器提供最大值 5V 頻率為 60Hz、1kHz 之玄波(sin)，
4. 用示波器量測 $V1$ 與 $V2$ 之電壓波形並記錄之。

3.6 材料表

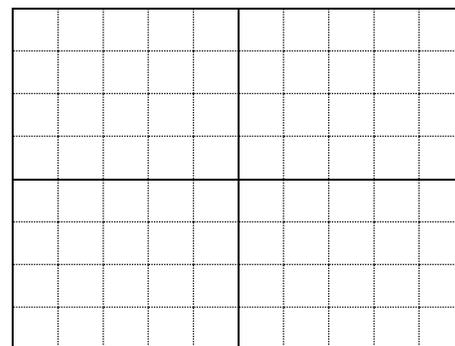
編號	名稱	單位	數量
1	330Ω	式	2

3.7 作業練習

實習步驟 4 示波器量測 V 、 $V1$ 與 $V2$ 之電壓波形，請記錄於下圖並標示出時間與電壓值。



60Hz



1kHz

實驗四：暫態電路實驗-RC,RL

4.1 實習目的

學習直流電路原理與接線，並熟悉電壓與電流量測。

4.2 動作情形

利用示波器或三用電錶量測電壓與電流，並與理論值比較。

4.3 相關知識

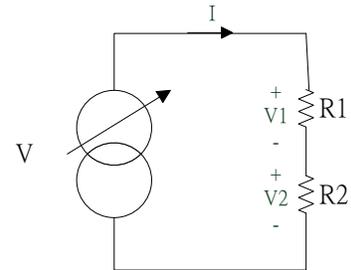
歐姆定律 $V=IR$ ，其中 V 為電壓(伏特)、 I 為電流(安培)、 R 為電阻(歐姆)。

4.4 電路圖

如右圖電路，

$$I=V/(R1+R2)$$

$$V1=IR1=VR1/(R1+R2) \quad , \quad V2=IR2=VR2/(R1+R2)$$



4.5 實習步驟

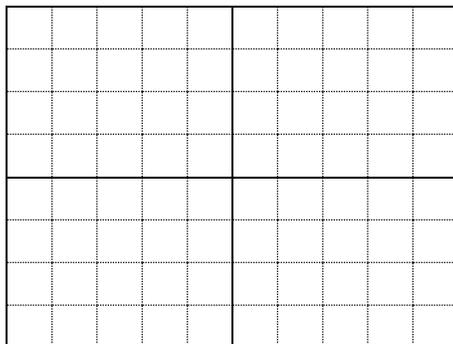
1. 如電路圖接線，電壓源加入 5V 直流電壓，電阻均選擇 330Ω。
2. 量測 $V1$ 與 $V2$ 之電壓記錄之，並與理論計算值比較。
3. 電壓源改用信號產生器提供最大值 5V 頻率為 60Hz、1kHz 之玄波(sin)，
4. 用示波器量測 $V1$ 與 $V2$ 之電壓波形並記錄之。

4.6 材料表

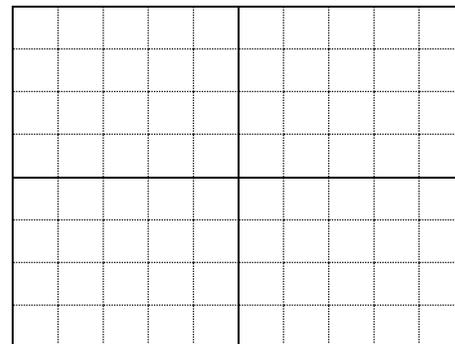
編號	名稱	單位	數量
1	330Ω	式	2

4.7 作業練習

實習步驟 4 示波器量測 V 、 $V1$ 與 $V2$ 之電壓波形，請記錄於下圖並標示出時間與電壓值。



60Hz



1kHz

實驗五：控制三相交流馬達啟動-停止

5.1 實習目的

學習三相 220V 交流馬達啟動-停止之控制原理與接線，並熟悉繼電器之自保持電路原理。

5.2 動作情形

三相 220V 電源送電時綠色指示燈亮，當按下 ON(啟動)按鈕後，繼電器動作且馬達開始運轉(單一方向)，紅色指示燈亮，綠色指示燈熄滅。

當按下 OFF(停止)按鈕後，馬達停止，紅色指示燈熄滅，綠色指示燈亮。

5.3 相關知識

交流電：市用電源以用戶端來說，目前因電力傳輸技術以交流電為主，其頻率為 50HZ 及 60HZ 正弦波，電壓等級為 1P110V，1P220V，3P220V，3P380V，有少數為 3P460V。其中家庭用為 1P110V 與 1P220V，商辦與工廠之插座與電燈為 1P110V 與 1P220V，動力電源(冷氣、動力設備)為 3P220V 與 3P380V。而直流電一般為小功率應用。但現今亦有直流輸電技術慢慢普及。

原動機：目前使用最廣泛之動力馬達為交流感應機(Induction Motor, IM)，區分有單相交流感應機與三相交流感應機。單相交流感應機常用於冰箱、洗衣機、果汁機、冷氣等之一般家電用品，其功率一般在 2HP 以下。三相交流感應機常用於 2HP 以上場合，如商辦大樓之冷氣主機，工廠所用之原動機等。本實驗採用 3P220V 三相交流感應機。

交流感應機轉速計算：交流感應機轉速 N_r 定義為

$$N_r = N_s(1-s) = [120f/P](1-s)$$

其中 N_s 為同步轉速(rpm)， f 為電源頻率， P 為馬達極數， s 為轉差率其定義為

$$s = (N_s - N_r) / N_s$$

同步轉速定義為

$$N_s = 120f/P$$

無熔絲開關：又稱 NFB(No Fuse Breaker)，具有啟斷電源與電流保護功能，一般有 20AT、30AT、40AT、50AT、75AT.....600AT.....等規格，20AT 即表示該電流超過 20A 時 NFB 具有啟斷電路保護功能。

電磁開關：又稱繼電器或電驛(Relay)，一般電磁開關有激磁線圈與 a 接點、b 接點開關，a 接點開關又稱常開開關(Normal Open)，b 接點開關又稱常閉開關(Normal Close)。當激磁線圈通電後具有吸力，會將 a 接點閉合短路，b 接點拉開斷路。當激磁線圈失磁時回到 a 接點斷路，b 接點短路。

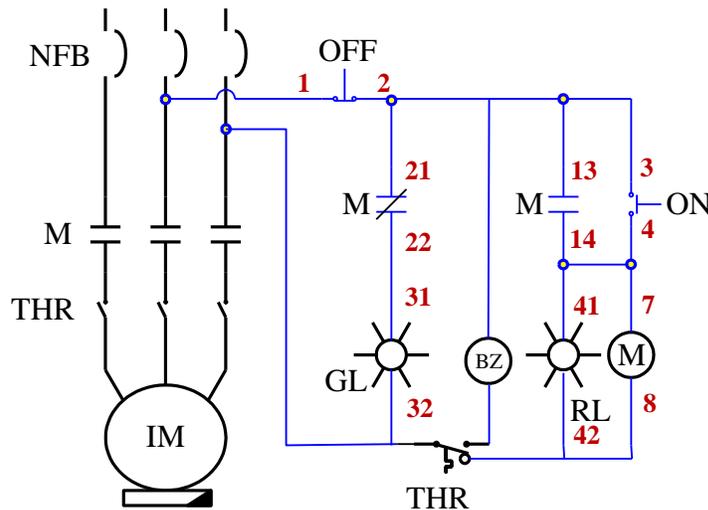
指示燈：指示燈目的在告知操作人員機器(系統)運轉狀態，一般綠燈表示電源正常，紅燈表示運轉狀態，黃燈表示警示狀態。常用規格為 220V。

5.4 電路圖

控制三相交流馬達啟動-停止電路圖如下所示，主電路由電源 3P220V 經 NFB 接至電磁開關之主 a 接點(該電磁開關名稱為 M)，接著接至過載保護電驛後接至 IM。控制電路可由任 2 線接出 220V 電源，由電路中可看出當 OFF 按鈕開關按下時，控制電路電源將被切斷，系統將回復至 M 失磁狀態綠燈亮。當 ON 按鈕開關按下時，M 線圈機磁迫使 M 之 a 接點 Close，b 接點 Open，因此馬達啟動，且 ON 按鈕開關並聯之 M 的 a 接點將持續使 M 線圈激磁(即使放開 ON 開關)。該電路又稱自保持電路。此時 RL 燈亮，GL 燈熄，表示馬達運轉中。

當 OFF 按鈕開關按下時，控制電路電源將被切斷，M 失磁，GL 燈亮，RL 燈熄，表示馬達停止但電源正常送電中。

THR 為過電流保護電驛，也就是當馬達過載時 THR 會使得接點動作切斷 M 線圈之電源將馬達電源切斷，並將 BZ(蜂鳴器)之電路接通以達警示作用。



5.5 實習步驟

Step 1：按圖接線。

Step 2：先用三用電表之歐姆檔量測電路是否有短路現象。用手將電磁開關壓下使其 a 接點導通，接著用測試棒依序量測 RS、ST 與 TR 之電阻值，若低於約 10 歐姆時表示電路有短路現象不可送電。

Step 3：送電後 GL 應點亮。

Step 4：按下 ON 按鈕，馬達運轉、GL 熄滅、RL 點亮、M 激磁。

Step 5：按下 OFF 按鈕，馬達停止、GL 點亮、RL 熄滅、M 失磁。

5.6 材料表

編號	名稱	單位	數量
1	3P220V 三相交流馬達	式	1
2	無熔絲開關	式	1
3	電磁開關	式	1
4	指示燈	式	2
5	熱電偶電驛	式	1
6	電線	M	3
7	ON 按鈕開關	式	1
8	OFF 按鈕開關	式	1
9	蜂鳴器	式	1

5.7 作業練習

1. 請觀察指示燈之結構，試說明其工作原理，為何有一顆類似變壓器之元件?
2. 試說明為何要使用電磁開關來控制啟動馬達?
3. 當台電停電後又復電，請問台電復電後該電路工作情形?
4. 試說明馬達啟動之啟動電流與運轉電流之大小關係?何者較大?約相差幾倍?

實驗六：控制三相交流馬達正反轉

6.1 實習目的

學習三相 220V 交流馬達之正反轉控制原理與接線，並熟悉交流馬達旋轉磁場原理。

6.2 動作情形

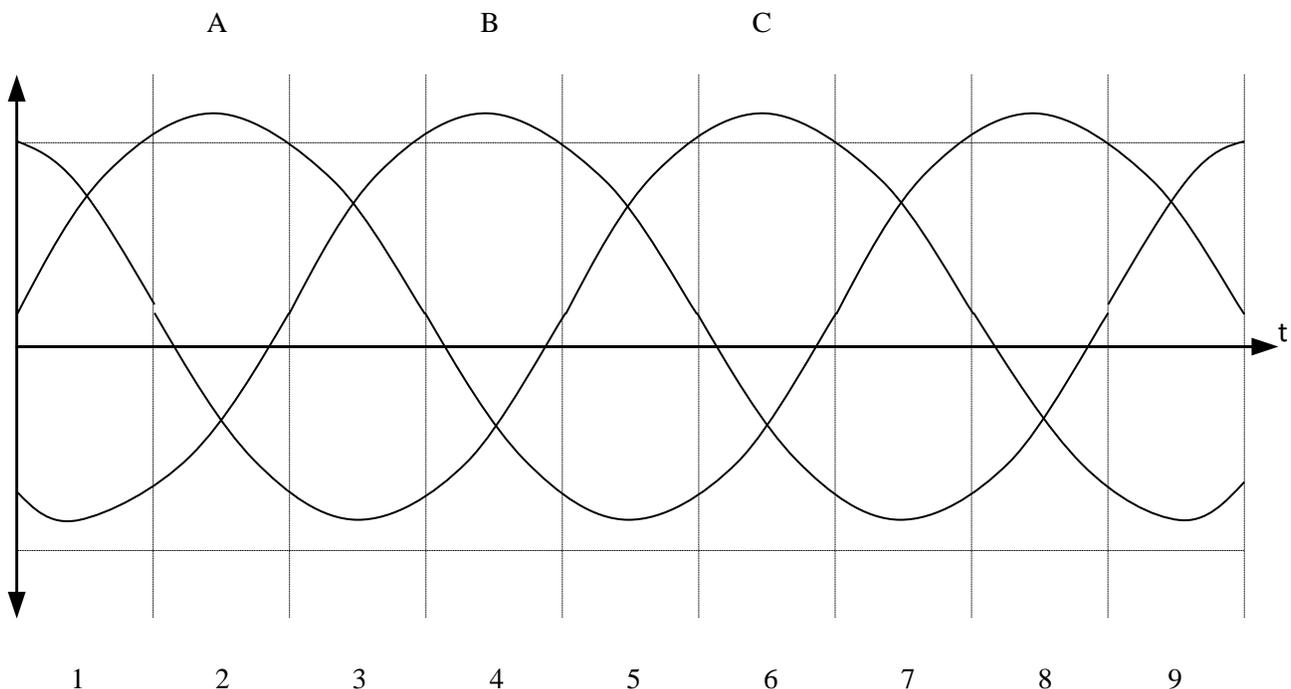
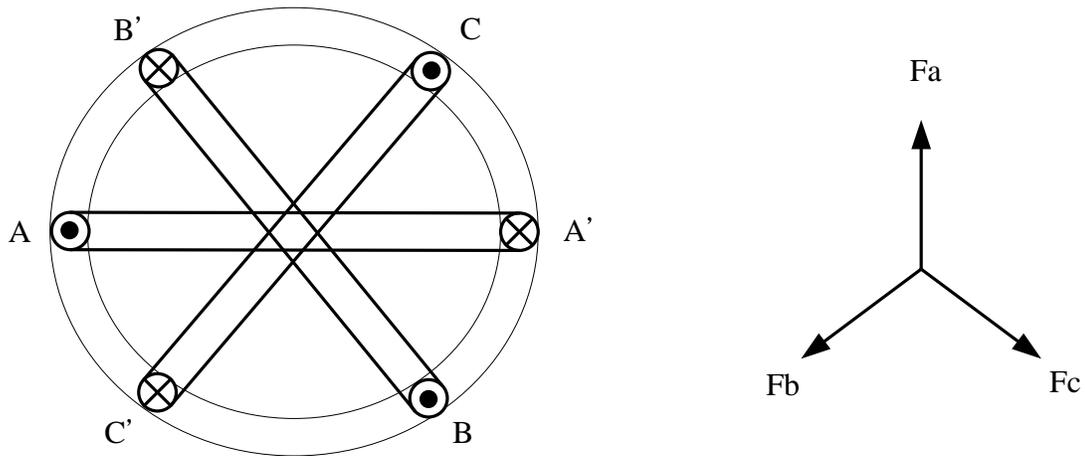
三相 220V 電源送電後，當按下 ON-M 按鈕後，M 繼電器動作且馬達開始正轉，紅色指示燈亮。

當按下 ON-R 按鈕後，馬達開始反轉，綠色指示燈亮。

當按下 OFF 按鈕後，馬達停止，指示燈熄。

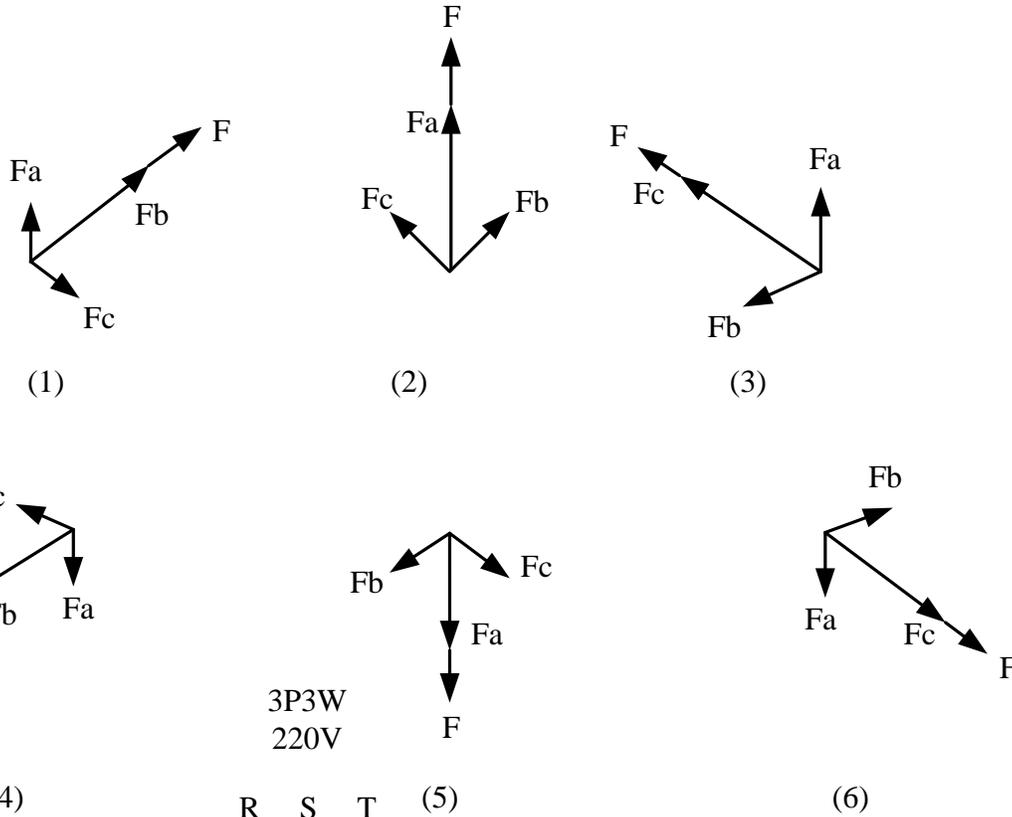
6.3 相關知識

交流感應馬達旋轉磁場：如下圖所示，交流感應馬達定子加上三相電源，因三相電源各相差 120° ，會在定子產生一旋轉磁場。

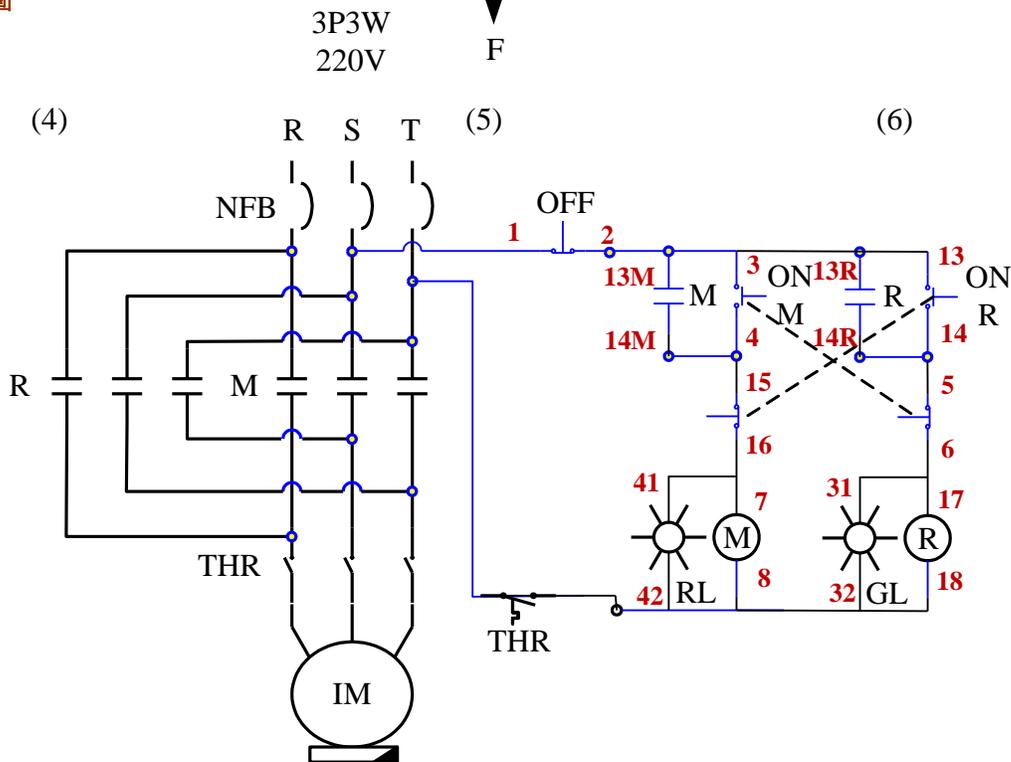


上圖表示交流感應馬達定子空間位置、各相線圈產生磁場向量及三相電源波形圖。其中將三相電源波形圖區分為 6 個時區，第 1 個時區所產生之合成磁場向量如下圖(1)所示，第 2 個時區至第 6 個時區所產生之合成磁場向量如下圖(2)至(6)所示，從圖(1)至圖(6)依時間順序可得一逆時針旋轉之合成磁場，而此合成磁場之空間轉速 $N_s=120f/P$ 。

若將其中任兩相電源對調，則依上述分析步驟可得一順時針之旋轉磁場。本實驗即利用此原理控制馬達正反轉。



6.4 電路圖



控制三相交流馬達正反轉電路圖如上所示，須使用 2 個電磁開關，1 個負責控制正轉，另 1 個負責控制反轉，需特別注意此 2 個電磁開關不可同時動作。欲達到「2 個電磁開關不可同時動作」目的，在控制電路具有「互鎖功能」，即在 M 動作前須先將 R 斷電，反之在 R 動作前須先將 M 斷電，因此電路中使用同時有 a 接點與 b 接點之按鈕開關。

6.5 實習步驟

Step 1：按圖接線。

Step 2：先用三用電表之歐姆檔量測電路是否有短路現象。用手將 M 電磁開關壓下使其 a 接點導通，接著用測試棒依序量測 RS、ST 與 TR 之電阻值，若低於約 10 歐姆時表示電路有短路現象不可送電。

Step 3：接著用手將 R 電磁開關壓下使其 a 接點導通，接著用測試棒依序量測 RS、ST 與 TR 之電阻值，若低於約 10 歐姆時表示電路有短路現象不可送電。

Step 4：送電後按下 ON-M 按鈕，馬達正轉、GL 熄滅、RL 點亮、M 激磁。

Step 5：按下 OFF 按鈕，馬達停止。

Step 6：送電後按下 ON-R 按鈕，馬達反轉、RL 熄滅、GL 點亮、R 激磁。

Step 7：按下 OFF 按鈕，馬達停止。

6.6 材料表

編號	名稱	單位	數量
1	3P220V 三相交流馬達	式	1
2	無熔絲開關	式	1
3	電磁開關	式	2
4	指示燈	式	2
5	熱電偶電驛	式	1
6	電線	M	6
7	O-OFFN 按鈕開關	式	2

6.7 作業練習

1. 試說明交流感應馬達於轉差率為 0 時，轉矩為何為 0?
2. 一交流感應馬達極數 4，額定電壓為 3P220V 60HZ，若運轉時其轉差率為 0.04，試求(1)該馬達之同步轉速 $N_s=?$ rpm, (2) 馬達之轉子轉速 $N_r=?$ rpm。
3. 試繪圖說明欲產生順時針旋轉磁場之電源波形圖。
4. 交流感應馬達為何會產生轉矩?

實驗七：INVERTER 控制三相交流馬達轉速(內部控制)

7.1 實習目的

學習用 Inverter 控制三相 220V 交流馬達之正反轉與轉速控制。

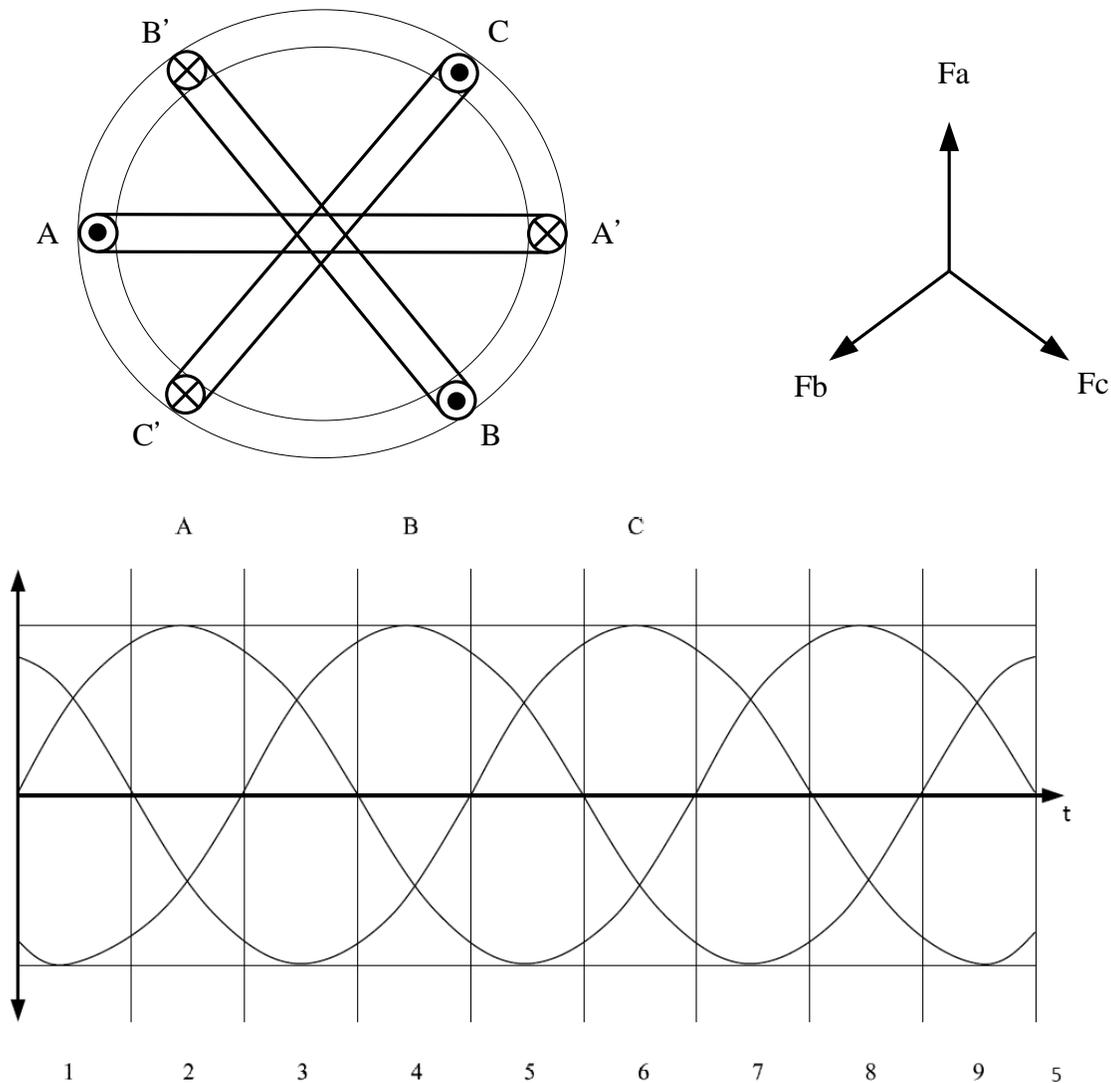
7.2 動作情形

操作 Inverter 之面板按鍵可控制三相 220V 交流馬達之正反轉與轉速控制。

- (1) 控制馬達啟動-停止，轉速約 1800rpm，控制馬達啟動與停止時間均為 10sec。
- (2) 控制馬達正反轉，轉速約 1500rpm。控制馬達啟動與停止時間均為 0.5sec。
- (3) 控制馬達啟動-停止，轉速可由面板之可變電阻控制，轉速控制範圍為 100rpm-3600rpm。

7.3 相關知識

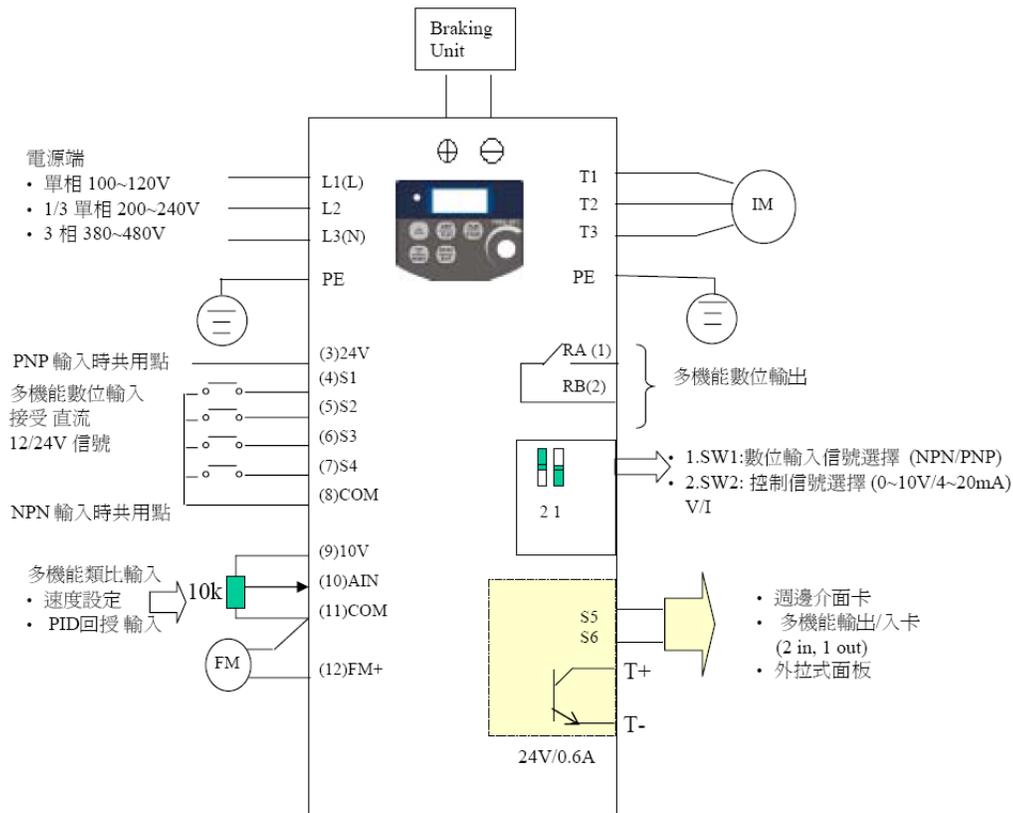
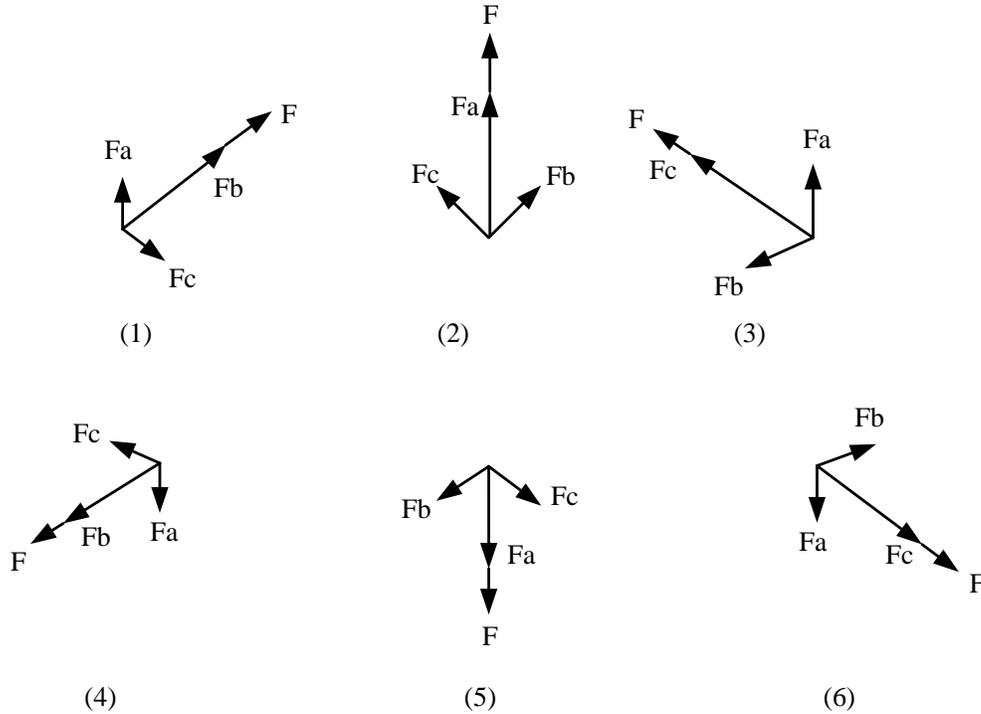
交流感應馬達旋轉磁場：如下圖所示，交流感應馬達定子加上三相電源，因三相電源各相差 120°，會在定子產生一旋轉磁場。



上圖表示交流感應馬達定子空間位置、各相線圈產生磁場向量及三相電源波形圖。其中將三相電源波形圖區分為 6 個時區，第 1 個時區所產生之合成磁場向量如下圖(1)所示，第 2 個時區至第 6 個時區所

產生之合成磁場向量如下圖(2)至(6)所示，從圖(1)至圖(6)依時間順序可得一逆時針旋轉之合成磁場，而此合成磁場之空間轉速 $N_s=120f/P$ 。

若將其中任兩相電源對調，則依上述分析步驟可得一順時針之旋轉磁場。本實驗即利用此原理控制馬達正反轉。



變頻器(Inverter)：Inverter 之外觀圖如下頁所示，由 TECO 出產，其接線電路圖如上圖所示。主電路部分(大功率電路)為電源輸入之 L1, L2 與 L3，輸出接馬達本體為 T1, T2 與 T3，PE 為接地點。其餘接點為小信號之輸出入阜。

Inverter 之電源可用單相或三相電源，輸出只能控制三相馬達。Braking Unit 可接一功率電阻用於馬達停止之煞車用途，可使馬達迅速停止。控制信號接點區分輸入接點與輸出接點，接點 4 至 7 為供外接開關使用，接點 8 為上述接點之接地點。接點 9-11 為供外接可變電阻控制用。其餘功能請參閱使用說明書。

控制功能分為面板直接控制(又稱內部控制)與遙控控制(又稱外部控制)，其相關說明如下所示。



- **Remote/Local 切換功能**

- **Local mode**

- 運轉命令僅自於面板上的 **RUN/STOP** 鍵,與運轉參數設定來源(**F04**)無關
 - 頻率命令
 - C41=001：僅自於面板上的 **UP/DOWN** 鍵,與頻率參數設定來源(**F05**)無關
 - C41=001：僅自於面板上的 **VR** 鍵,與頻率參數設定來源(**F05**)無關

- **Remote mode**

- 運轉命令來自於運轉參數設定來源(**F04**)
 - 頻率命令來自於頻率參數設定來源(**F05**)

- 切換模式鍵為 **▼/RESET** 和 **DATA/ENT** 同時按下即可切換(必須在停機)

Inverter 之基本功能參數表如下頁所示，共有 54 個功能參數。未列出部分請參閱使用手冊。F04 主要在設定控制命令之來源，以本實驗為例 F04 應設定為 000 表示 Inverter 之控制命令直接由面板按鈕控制。而下一個實驗為例 F04 應設定為 001 表示 Inverter 之控制命令直接由外部端子控制。

基本功能參數表

F	功能說明	範圍/代碼	出廠設定	備註
00	變頻器馬力代碼			
01	加速時間 1	00.1~999 秒	05.0	*1 *2
02	減速時間 1	00.1~999 秒	05.0	*1 *2
03	馬達轉向	000：馬達正轉 001：馬達反轉	000	*1
04	運轉指令來源	000：keypad 001：外部端子 002：通訊控制	000	
05	頻率指令來源	000：面板上下鍵設定頻率 001：面板可變電阻 VR 設定頻率 002：TM2 端子類比訊號輸入 003：頻率 UP/DOWN 控制由多機能輸入接點 004：通訊設定頻率	000	
06	外部控制運轉模式	000：正轉/停止-反轉/停止 001：運轉/停止-正轉/反轉 002：3-wire—運轉/停止	000	
07	頻率上限	01.0 ~200Hz	50.0/60.0	*2
08	頻率下限	00.0 ~200Hz	00.0	*2
09	停止方式	000：減速停止 001：自由停止	000	
10	監控參數	000：不顯示 001：顯示	000	*1
11	端子 S1 功能設定	000：正轉 001：反轉	000	
12	端子 S2 功能設定	002：多段速指令 1 003：多段速指令 2 004：多段速指令 3 005：寸動指令	001	
13	端子 S3 功能設定	006：外部急停(E.S.) 007：外部遮斷(b.b.) 008：第二段加減速切換 009：重置(Reset)	005	
14	端子 S4 功能設定	010：UP 頻率設定 011：DOWN 頻率設定 012：控制信號切換 013：通訊中控制信號切換 014：加/減速禁止 015：主輔速切換 016：PID 功能禁止 017：類比頻率信號輸入(端子 AIN) 018：PID 回授信號(端子 AIN)	006	
15	端子 AIN 功能設定	019：直流煞車信號	017	
16	AIN 信號選擇	000：0~10V(0~20mA) 001：4~20mA(2~10V)	000	
17	AIN 增益值(%)	000~200	100	*1
18	AIN 偏壓值(%)	000~100	000	*1

7.4 電路圖

接電源與馬達電路即可。

7.5 實習步驟

Step 1：接電源線與馬達線路。

Step 2：輸入控制函數 F 之功能設定：控制馬達啟動-停止，轉速約 1800rpm，控制馬達啟動與停止時間均為 10sec。

Step 3：測試馬達啟動-停止功能。

Step 4：輸入控制函數 F 之功能設定：控制馬達正反轉，轉速約 1500rpm，控制馬達啟動與停止時間均為 0.5sec。

Step 5：測試馬達正反轉功能。

Step 6：輸入控制函數 F 之功能設定：馬達啟動-停止，轉速可由面板之可變電阻控制，轉速控制範圍為 100rpm-3600rpm。

Step 7：測試馬達控制功能。

7.6 材料表

編號	名稱	單位	數量
1	3P220V 三相交流馬達	式	1
2	無熔絲開關	式	1
3	電線	M	6
4	Inverter	式	1

7.7 作業練習

1. 請問功能 F07 與 F08 之功能為何?
2. 就你所知，請說明利用 Inverter 控制感應馬達之優點為何? 又其可應用於何種場合?
3. 請問 Inverter 利用何原理來控制馬達轉速?
4. 請問本實驗之 Inverter 能否用來控制直流馬達? 原因為何?
5. 若 Inverter 裝設於工廠之現場，而有一監控中心欲監視該 Inverter 之工作情形，試問應如何才能達到目的。

實驗八：INVERTER 控制三相交流馬達轉速(外部控制)

8.1 實習目的

學習用 Inverter 之外部(遠端)控制三相 220V 交流馬達之正反轉與轉速控制。

8.2 動作情形

用 Inverter 之外部可控制三相 220V 交流馬達之正反轉與轉速控制。

- (1) 控制馬達啟動-停止，轉速約 1800rpm，控制馬達啟動與停止時間均為 10sec.。
- (2) 控制馬達正反轉，轉速約 1500rpm。控制馬達啟動與停止時間均為 0.5sec.。
- (3) 控制馬達啟動-停止，轉速可由面板之可變電阻控制，轉速控制範圍為 100rpm-3600rpm。

8.3 相關知識

同時驗五。

8.4 電路圖

接電源與馬達電路，同時由控制端子接引出至按鈕及可變電阻。

8.5 實習步驟

Step 1：接電源線與馬達線路。

Step 2：輸入控制函數 F 之功能設定：控制馬達啟動-停止，轉速約 1800rpm，控制馬達啟動與停止時間均為 10sec.。

Step 3：由外部按鈕控制馬達啟動-停止功能。

Step 4：輸入控制函數 F 之功能設定：控制馬達正反轉，轉速約 1500rpm，控制馬達啟動與停止時間均為 0.5sec.。

Step 5：由外部按鈕控制馬達正反轉功能。

Step 6：輸入控制函數 F 之功能設定：馬達啟動-停止，轉速可由面板之可變電阻控制，轉速控制範圍為 100rpm-3600rpm。

Step 7：由可變電阻控制馬達控制功能。

8.6 材料表

編號	名稱	單位	數量
1	3P220V 三相交流馬達	式	1
2	無熔絲開關	式	1
3	電線	M	6
4	Inverter	式	1

8.7 作業練習

1. 請問 Inverter 利用何原理來快速控制馬達停止?
2. 你覺得北市捷運之機動車原動機應屬哪一種馬達?為什麼?