

新手特區——

三相感應電動機起動 (3/5, 分5期刊登)

麥家聲

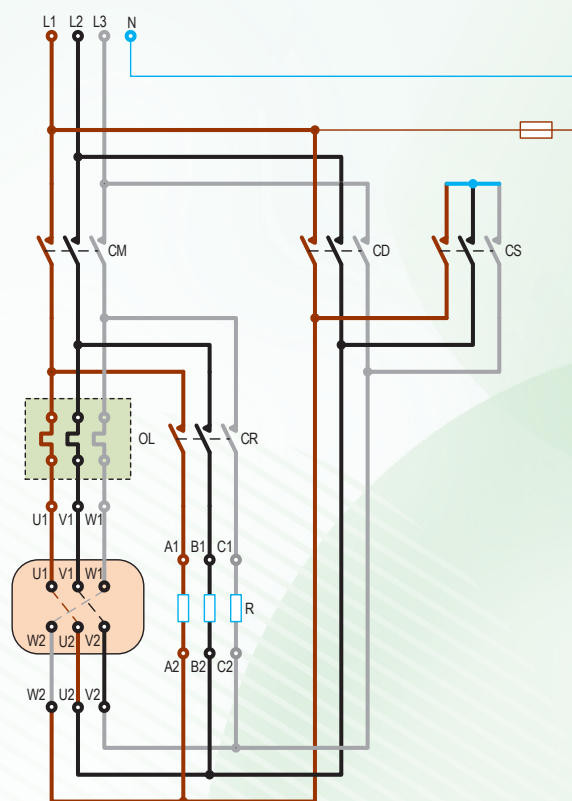
ksmak8888@yahoo.com.hk

http://www.ksmak-sir.com/

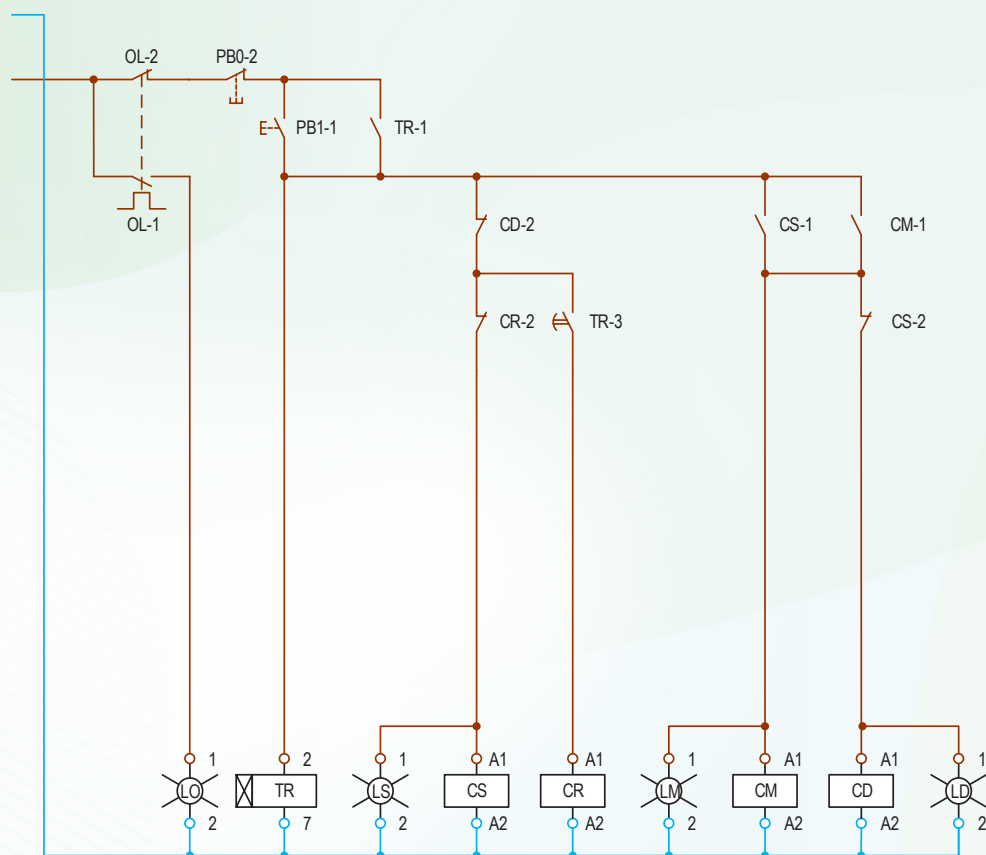
續上期

星角起動方法(Star-delta starter) [閉路轉換]

星角形起動電路當電動機由星形轉為角形的瞬間，電磁接觸器轉換時會有一段極短時間完全沒有供電（約 0.25s 斷電）予電動機繞組，當時電動機只靠慣性運行。由於電動機轉子有少許殘磁，這時電動機便處於發電機狀態，令定子繞組感應一個電壓，稱為殘餘電壓。當角形電磁接觸器閉合時，供電電壓與定子繞組的感應殘餘電壓接通，但它們的相位及幅值都不一致，以致造成短路，導致供電電流突然升高，稱為湧浪電流 (Surge current)，也令電動機在此時發生一大聲響。湧浪電流可能導致保護裝置跳脫，長遠也會減低接觸器主觸點的壽命。



(圖：3.1)



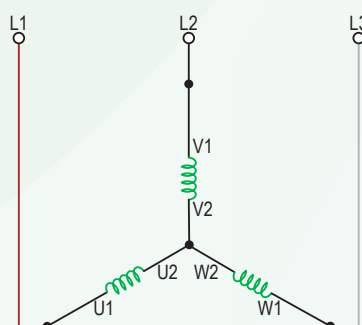
(圖：3.2)

一般要求高的場合（大部份起動時帶有負載），會採用星角閉路轉換（過渡）起動方法 (Closed transition) 來減低由星形轉至角形時的衝擊，令轉換效果更圓滑。閉路轉換方法在原有的星角起動器中增加第 4 個電磁接觸器，再另外附加一組 3 相電阻器，在星與角起動過渡之過程中連接，從而使電動機永遠不會斷開電源，提供電動機更平滑的加速。使用時電阻器的大小必須確保在過渡電路中，能夠有相當大的電流在電機繞組中流動。

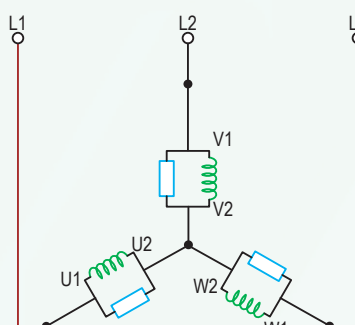
閉路轉換主電路及控制電路如（圖：3.1）及（圖：3.2）所示，它在一般的星角起動器的主電路附加一個電磁接觸器 CR，每對 CR 的主觸點串接一個電阻器 R，電動機主電路起動操作流程及電路連接細節如（表：3.1）所示。

起動操作流程及電路連接細節		電磁接觸器及時間掣工作狀況				
		CM	CS	CR	CD	TR
1. 星形連接起動	(圖：3.3)	1	1	0	0	1
2. 星形連接，過渡電阻並聯繞組	(圖：3.4)	1	1	1	0	1
3. 角形連接，過渡電阻串聯繞組	(圖：3.5)	1	0	1	0	1
4. 角形連接，過渡電阻被短路	(圖：3.6)	1	0	1	1	1
5. 角形連接運行	(圖：3.7)	1	0	0	1	1

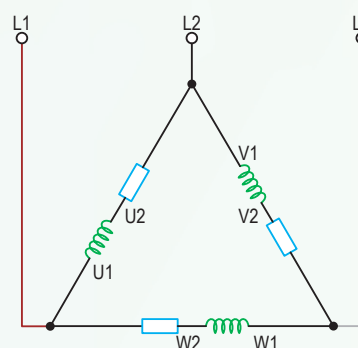
(表：3.1)



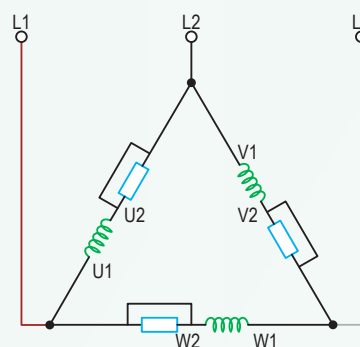
(圖：3.3)



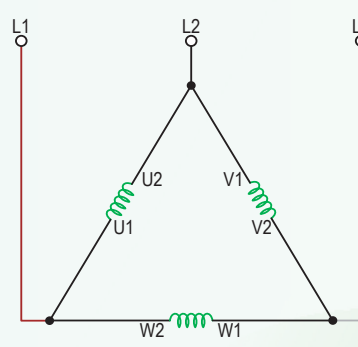
(圖：3.4)



(圖：3.5)



(圖：3.6)



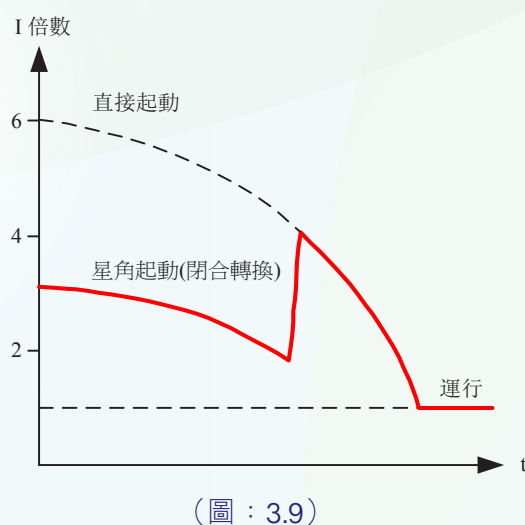
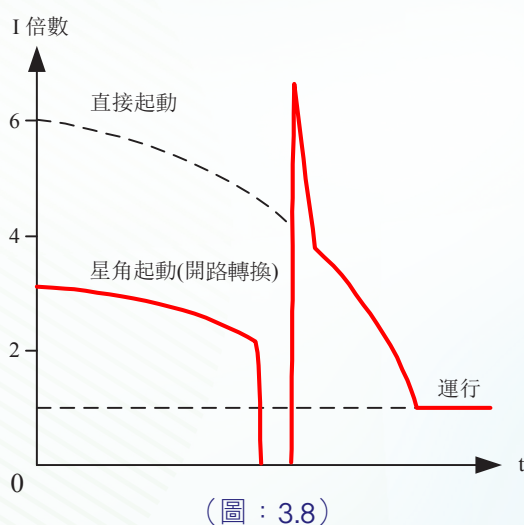
(圖：3.7)

電路工作原理 (圖：3.2)

1. 電動機起動時，首先按下 PB1-1 (起動) 常開按鈕，控制電路電流經 OL-2 常閉觸點，PB0-2 常閉觸點，PB1-1 常開觸點，使通電延遲時間掣 TR 線圈觸發；TR-1 即時常開觸點閉合並自保，電流再經 CD-2 常閉觸點，CR-2 常閉觸點，令電磁接觸器 CS 線圈吸合；CS 主觸點使電動機的 U2、V2、W2 接線端接合，先將電動機星形接法的星點連接；CS-1 常開觸點閉合，使電磁接觸器 CM 線圈吸合；CM 主觸點令三相電源 L1、L2、L3 分別供應至電動機的 U1、V1、W1 接線端，電動機起動，繞組以星形接法運行，如 (圖：3.3) 所示，CM-1 常開觸點旁路 CS-1 常開觸點作自保持；
2. 通電延遲時間掣 TR 計時至預定的時間並動作；TR-3 延時常開觸點閉合，使電磁接觸器 CR 吸合；CR 主觸點令附加電阻與正在接成星形的電動機繞組在該瞬間接成並聯如 (圖：3.4) 所示；
3. CR-2 常閉觸點開路，令電磁接觸器 CS 失電釋放復位，電動機繞組在該瞬間接成角形，惟每個繞組與一支電阻串聯，如 (圖：3.5) 所示；
4. CS-2 常閉觸點復位閉路，令電磁接觸器 CD 吸合；CD 主觸點令該瞬間串聯繞組的電阻被短路，繞組已接成角形，如 (圖：3.6) 所示；
5. CD-2 常閉觸點開路，令電磁接觸器 CR 失電釋放復位，電阻開路，繞組完整地接成角形，電動機正常運行，如 (圖：3.7) 所示；
6. 在任何情況下，當三相電源中斷，按下 PB0-2 (停止) 常閉按鈕或監察電動機電流之過載繼電器 OL-2 常閉觸點開路，整個控制電路的電磁接觸器失電釋放復位。

在星角閉路轉換起動的過程中，主電路由星轉角在任何情況下，都是用不同的方法接到電源，中間沒有任何中斷電流的瞬間，所以沒有出現發電機的情況。沒有採用閉路轉換法的主流星角形起動法可稱為開路轉換 (Open transition)。設一個接角形電動機用直接起動時會得到 6 倍的額定起動電流，用一般開路轉換星角形起動法的電流曲線如（圖：3.8）所示；用星角形閉路轉換起動法的電流曲線如（圖：3.9）所示，比較兩曲線圖可看到閉路轉換起動電流的衝擊會比開路轉換較低。

由於星角閉路轉換起動方法附加的材料較多，也要定時進行維護，不符合經濟效益，所以這起動法並不是主流的起動方法，只用於有特別需要的場合。



利用星角形閉路轉換起動方法，附加的過渡電阻阻值，可以用以下兩條公式計算，以前者較多採用。例如：電動機的額定功率 $P=5.5\text{kW}$ ，額定電壓 $V_L=380\text{V}$ ，額定電流 $I_L=11.5\text{A}$ ，電阻值以公式計算後應為 11.57Ω 或 30.04Ω 。過渡電阻（水泥線阻）的功率需求，視電動機每小時需要操作的次數作指標，有每小時最多 12 及 30 次兩條公式選擇。以 $R=11.57\Omega$ 來計算，可分別計出 10.4W 及 24.96W 。

$$R = (0.35 \sim 0.4) \times \frac{V_L}{I_L}$$

$$\begin{aligned} R &= (0.35 \sim 0.4) \times \frac{V_L}{I_L} \\ &= 0.35 \times \frac{380}{11.5} \\ &= \underline{\underline{11.57\Omega}} \end{aligned}$$

V_L = 額定電壓或線電壓(V)

I_L = 額定電流或線電流(A)

$$R = \frac{V_L}{I_L}$$

$$\begin{aligned} R &= \frac{V_L}{I_L} \\ &= \frac{380}{11.5} \\ &= \underline{\underline{30.04\Omega}} \end{aligned}$$

R = 過渡電阻(Ω)

P_R = 過渡電阻電阻功率(W)

$$P_R = \frac{V_L^2}{1200 \times R} \text{ (每小時最多12次操作)}$$

$$\begin{aligned} P_R &= \frac{V_L^2}{1200 \times R} \\ &= \frac{380^2}{1200 \times 11.57} \\ &= \underline{\underline{10.4W}} \end{aligned}$$

$$P_R = \frac{V_L^2}{500 \times R} \text{ (每小時最多30次操作)}$$

$$\begin{aligned} P_R &= \frac{V_L^2}{500 \times R} \\ &= \frac{380^2}{500 \times 11.57} \\ &= \underline{\underline{24.96W}} \end{aligned}$$

選料、接線及測試（基本上與開路轉換差不多）

1. 按電動機的額定功率或額定電流的 1 倍來選擇主電路的斷路器及隔離開關，主及角形電磁接觸器 (AC3)，過載繼電器以不少於電動機額定功率或額定電流的 0.6 或 0.58 倍作評估（觸點電流為相電流 I_P ，只是線電流 I_L 的 0.58 倍）。星形電磁接觸器有需要斷開接星形時電動機和過渡電阻的電流，因此相應地需要有一個更高的接觸器等級，而且閉合轉換通常用於操作頻率較高的設備中，需要更長的電氣壽命，所以星形電磁接觸器同樣用 0.6 或 0.58 倍作評估；過渡電阻電磁接觸器可用 0.27 倍作評估；然後按以上公式計算過渡電阻阻值及功率需求；
2. 根據電動機的額定電流或客戶要求規格來選擇適當的導體來接駁電路；
3. 先測試控制電路（不要接上電動機大線），檢查起動及停止、時間掣、接觸器吸索程序與電路設計要求結果是否一致，有需要須排除故障後才可繼續，惟必須檢測電動機行角形後，若再次按起動按鈕，星形索掣是否會吸索；
4. 其餘的測試方法，與開路轉換大致相同。

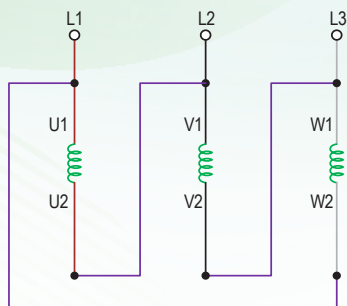
星角起動方法角形的更理想連接法

當採用星角形起動方法，電動機在角形接法下運行時，習慣是會將三相繞組按 U1-U2→V1-V2→W1-W2 連接方法（習慣接法），來構成三角形，然後將 U1、V1、W1 分別接到 L1、L2、L3，即 L1→U1 及 W2，L2→V1 及 U2，L3→W1 及 V2，再根據以上原則配合相關的主控制電路，示意如（圖：3.10）、（圖：3.11）及（圖：3.12）所示。

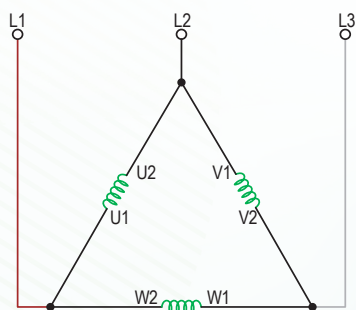
可是現時很多大型的星角起動器製造廠家，會將其星角形起動器產品，當轉為角形連接時，角形繞組會按另一種 U1-U2→W1-W2→V1-V2 連接方法（新的接法），來構成三角形，然後將 U1、V1、W1 分別接到 L1、L2、L3，即 L1→U1 及 V2，L2→V1 及 W2，L3→W1 及 U2，再根據這個新原則更改相關的主控制電路作配合，示意如（圖：3.13）、（圖：3.14）及（圖：3.15）所示。基本上，習慣及新的接法都可以令電動機如常運轉，但新的接法會令電動機在星轉角時，使電動機及相關裝置的負面影響減低。

在討論（開路轉換）星角形起動方法時，得知電動機由星形轉為角形的瞬間，電動機會處於發電機狀態，令定子繞組感應一個殘餘電壓。當角形電磁接觸器閉合時，供電電壓與定子繞組的感應殘餘電壓接通，便構成湧浪電流。根據國際研究機構 (Rockwell Automation, Milwaukee, USA) 發表的研究資料 (Low-Voltage Switchgear and Controlgear) 指出，採用新的星角形起動接法，其優點是可以減少在星角轉換過程時所產生的浪湧電

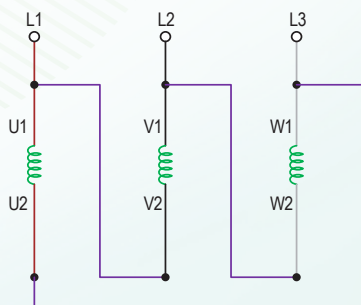
流。這個優點除可以減輕接觸器的負載要求外，也同時減少了電動機內部動態機械應力，因此使用星角形起動方法時，必須考慮採用這種新的接法，尤其在應用大功率電動機時，更為重要。



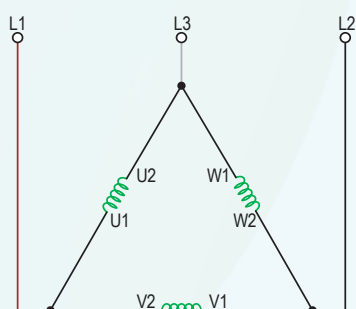
(圖：3.10)



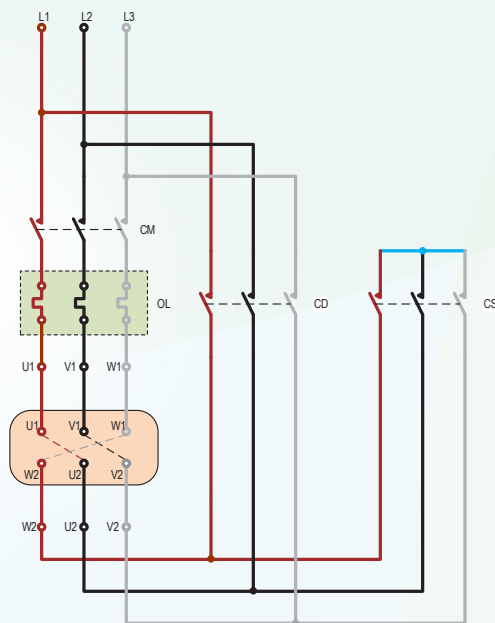
(圖：3.11)



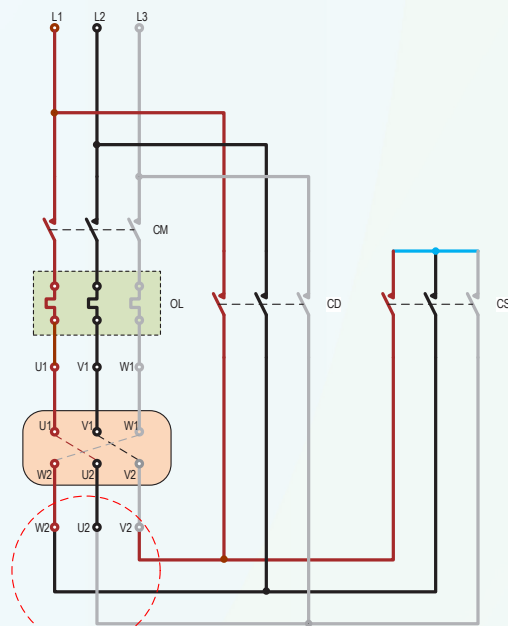
(圖：3.13)



(圖：3.14)



(圖：3.12)



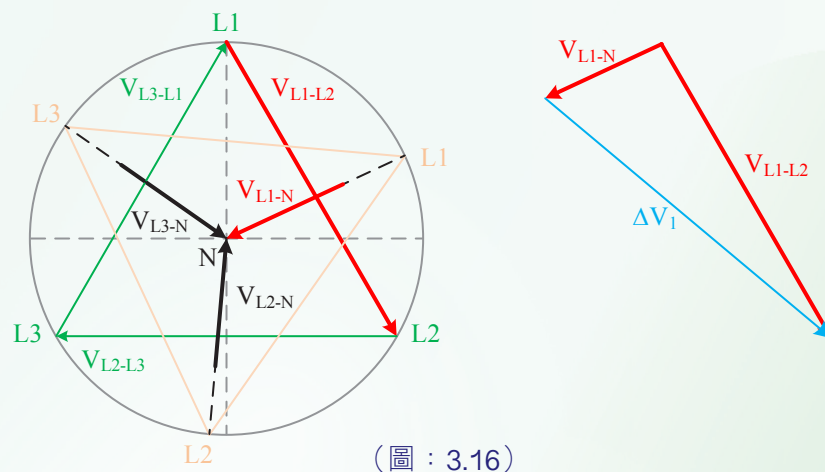
(圖：3.15)

假設星角起動（開路轉換）的電動機採用習慣的 $U1-U2 \rightarrow V1-V2 \rightarrow W1-W2$ 接法，電動機的轉向是順時針，當感應殘餘電壓後，可分別稱為 V_{L1-N} ， V_{L2-N} ， V_{L3-N} ，相位互相相

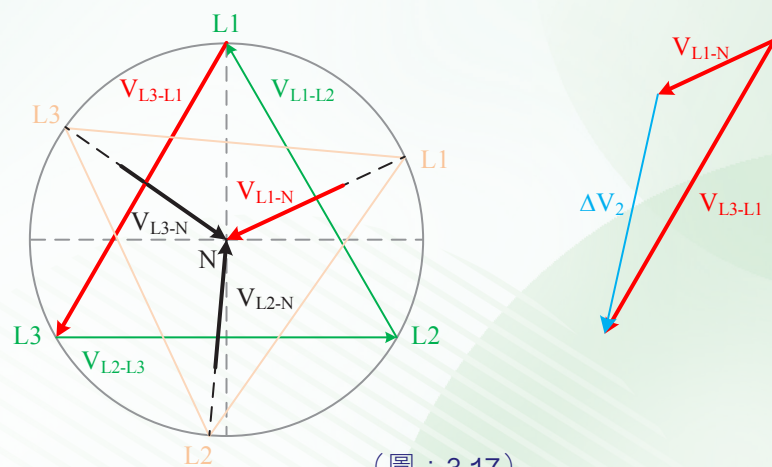
差 120°，相量圖如（圖：3.16）所示。當角形電磁接觸器閉合時，各繞組便獲得 V_{L1-L2} ， V_{L2-L3} ， V_{L3-L1} 電壓。因其餘兩相原理相同，我們只需討論其中一相便可，這時 U1、U2 繞組接到 L1 及 L2，電壓為 V_{L1-L2} ，所以當殘餘電壓 V_{L1-N} 與 V_{L1-L2} 短路後，便成為合成相量和，構成湧浪電壓，這個湧浪電壓稱為 ΔV_1 。

若星角起動（開路轉換）的電動機改為採用新的 U1-U2→W1-W2→V1-V2 接法，電動機的轉向也是順時針，當感應殘餘電壓後，三相殘餘電壓分別也稱為 V_{L1-N} ， V_{L2-N} ， V_{L3-N} ，相位互相相差 120°，相量圖如（圖：3.17）所示。當角形電磁接觸器閉合時，各繞組也獲得 V_{L1-L2} ， V_{L2-L3} ， V_{L3-L1} 電壓。同樣我們只需討論其中一相，這時 U1、U2 繞組接到 L1 及 L3，電壓為 V_{L3-L1} ，所以當殘餘電壓 V_{L1-N} 與 V_{L3-L1} 短路後，成為合成相量和，也構成湧浪電壓，這個湧浪電壓稱為 ΔV_2 。

若比較（圖：3.16）及（圖：3.17）兩個相量圖，發覺 $\Delta V_1 > \Delta V_2$ ，主要原因是新的接法會令 V_{L1-N} 與 V_{L3-L1} 的方向大致相同，所以相量和 ΔV_2 也較小。簡單來說，這表示用新的 U1-U2→W1-W2→V1-V2 接法，較習慣的 U1-U2→V1-V2→W1-W2 接法，產生的湧浪電流會較小，對電動機及相關裝置的影響可減低。



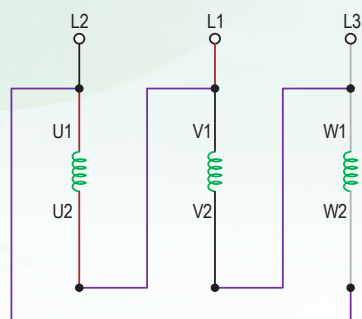
（圖：3.16）



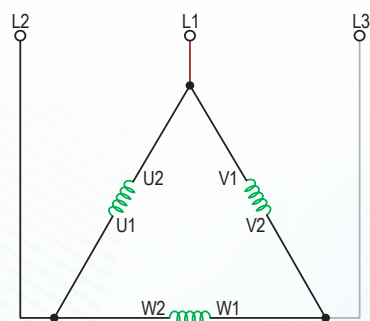
（圖：3.17）

星角起動器的電動機需要逆轉時，習慣上只需將來氣的 3 條大線中任意兩條調位便可。但如果參考上述的討論，這個方法便會將減低浪湧電流的好處刪除，所以最理想的方法，是將電動機的 6 條大線作出適當更改，其實只要改變其中 4 條的佈線及標示位置，

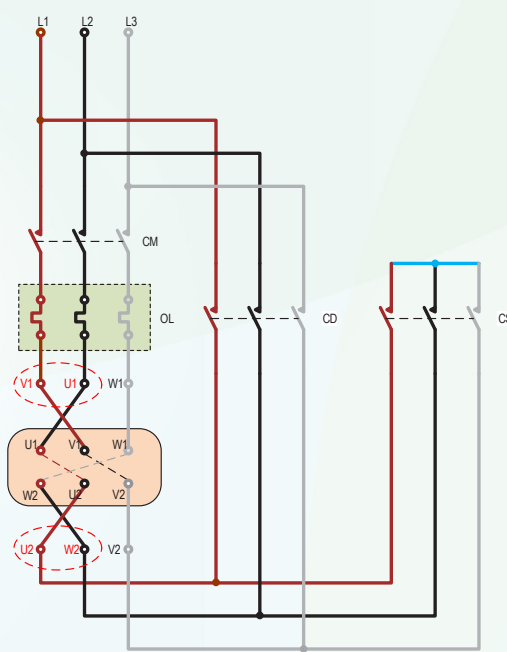
便可同時達到逆轉及減低浪湧電流的目的，接法如（圖：3.18），（圖：3.19），（圖：3.20）所示。



（圖：3.18）



（圖：3.19）

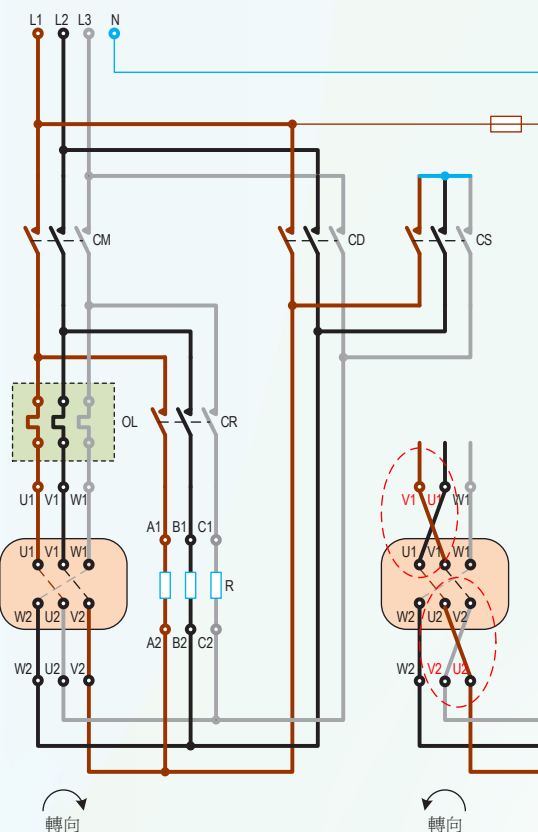


（圖：3.20）

若新的接法表現較優，當採用星角起動器（閉路轉換）時，雖然閉路轉換電動機不會處於發電機狀態，也應採用新的接法。（圖：3.21）為星角起動器（閉路轉換）採用新的接法之電路圖，圖中的主電路於接電動機時，可根據電動機需要的工作轉向，將大線及標示作出適當的更改，便可令電動機轉向。

新手以後若發電星角起動器於角形時的接法，並不是採用習慣的接法，而是用新的接法時，不要以為該廠的電路連接錯誤，它可算是一個要求更嚴謹的方法。👉

未完，下期再續



（圖：3.21）