



Service & Integration & Innovation

步進馬達選用與故障排除

< 步進馬達簡介 >

步進馬達的種類與原理

步進馬達的種類依照結構來分可以分成三種：永久磁鐵 PM 式 (permanent magnet type)、可變磁阻 VR 式 (variable reluctance type)、以及複合式 (hybrid type)。PM 式步進馬達之結構如圖 1(a) 所示，PM 式步進馬達的轉子是以永久磁鐵製成，其特性為線圈無激磁時，由於轉子本身具磁性故仍能產生保持轉矩。PM 式步進馬達的步進角依照轉子材質不同而有所改變，例如鋁鎳鈷系(alnico)磁鐵轉子之步進角較大，為 45° 或 90° ，而陶鐵系 (ferrite) 磁鐵因可多極磁化故步進角較小，為 7.5° 及 15° 。

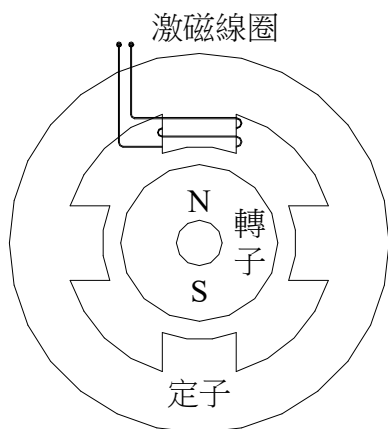


圖 1 (a) PM 式

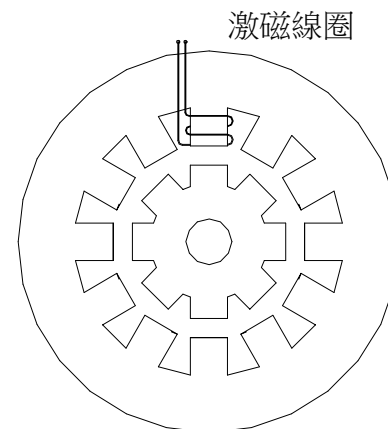


圖 1 (b) VR 式

圖1(b) 為 VR 式步進馬達之結構，VR 式步進馬達的轉子是以高導磁材料加工製成，由於是利用定子線圈產生吸引力使轉子轉動，因此當線圈未激磁時無法保持轉矩，此外，由於轉子可以經由設計提高效率，故 VR 式步進馬達可以提供較大之轉矩，通常運用於需要較大轉矩與精確定位之工具機上，VR 式的步進角一般均為 15° 。

複合式步進馬達在結構上，是在轉子外圍設置許多齒輪狀之突出電極，同時在其軸向亦裝置永久磁鐵，可視為 PM 式與 VR 式之合體，故稱之為複合式步進馬達，複合式步進馬達具備了 PM 式與 VR 式兩者的優點，因此具備高精確度與高轉矩的特性，複合式步進馬達的步進角較小，一般介於 $1.8^\circ \sim 3.6^\circ$ 之間，最常運用於 OA 器材如影印機、印表機或攝影器材上。

電動機動作原理是當轉子通上電流時由於切割定子所產生的磁力線而生成旋轉扭矩造成電動機轉子的轉動；步進馬達的驅動原理也是如此，不過若以驅動訊號的觀點來看，一般直流馬達與交流馬達所使用的驅動電壓訊號為連續的直流訊號與交流訊號，而步進馬達則是使用不連續的脈波訊號，三種電壓訊號的電壓時間圖如圖2所示。

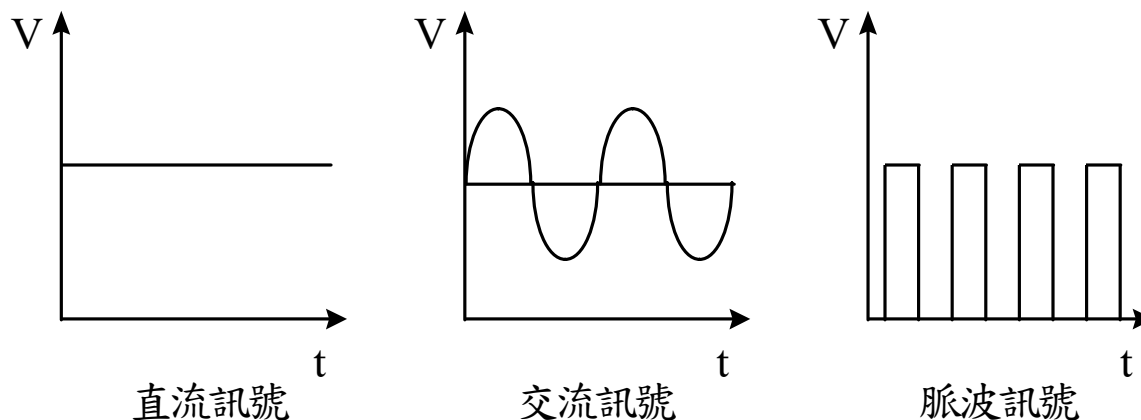


圖 3 三種馬達電壓訊號 電壓-時間 圖

前面介紹過步進馬達的結構，不論是 PM 式、VR 式或複合式步進馬達，其定子均設計為齒輪狀，這是因為步進馬達是以脈波訊號依照順序使定子激磁。

圖 4 所示為步進馬達的驅動原理，圖 4 將圓周分布的定子展開為直線以方便讀者理解，若脈波激磁訊號依序傳送至 A 相、A+ 相、B 相、B+ 相則轉子向右移動（正轉），相反的若將順序顛倒則轉子向左移動（反轉）。

值得注意的是在實際狀況下，定子 A 相與定子 B 相在位置上是相對的，若同時激磁則可提昇轉矩，相同的若四個相都同時激磁則轉子完全靜止處於電磁煞車狀態。

此外，更可以利用電子分相激磁的原理，以電子技術控制各相的脈波電壓值、導通時間，使步進馬達的步進角更細微，做到更精密的定位控制，圖 9 為步進馬達之控制驅動流程圖。

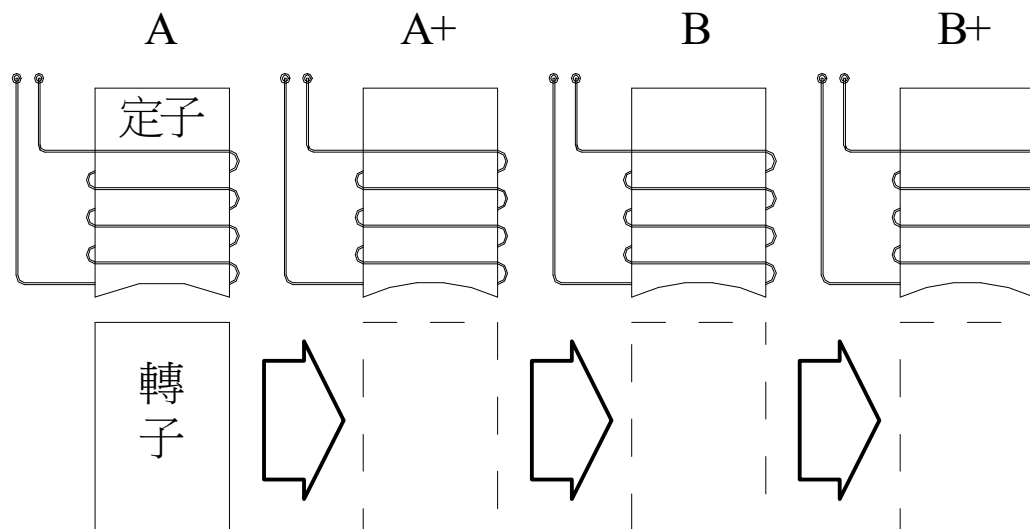


圖 4 步進馬達驅動原理

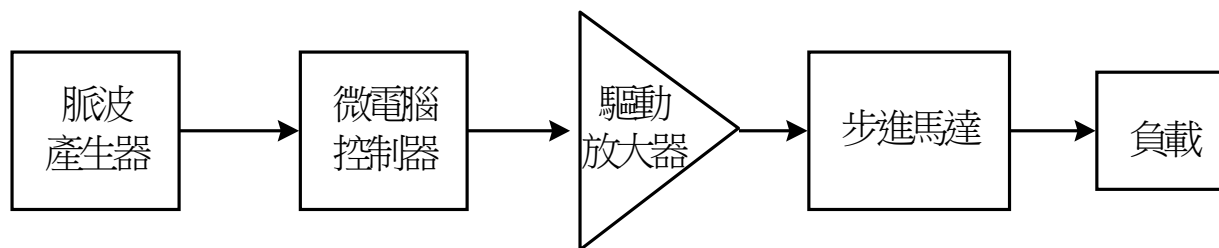


圖 5 步進馬達驅動原理

圖 5 之步進馬達控制流程圖中，步進馬達係由微電腦控制器所控制，當控制訊號自微電腦輸出後，隨即藉由驅動器將訊號放大，達到控制馬達運轉的目的，整個控制流程中並無利用到任何回饋訊號，因此步進馬達的控制模式為典型的閉迴路控制 (Close loop control)。閉迴路控制的優點為控制系統簡潔，無回饋訊號因此不需感測器成本較低，不過正由於步進馬達的控制為開路控制，因此若馬達發生失步或失速的情況時，無法立即利用感測器將位置誤差傳回做修正補償，要解決類似的問題只能從了解步進馬達運轉特性著手。

所謂失速是指當馬達轉子的旋轉速度無法跟上定子激磁速度時，造成馬達轉子停止轉動。馬達失速的現象各種馬達都有發生的可能，在一般的馬達應用上，發生失速時往往會造成繞組線圈燒毀的後果，不過步進馬達發生失速時只會造成馬達靜止，線圈雖然仍在激磁中，但由於是脈波訊號，因此不會燒毀線圈。

失速是指轉子完全跟不上激磁速度而完全靜止，失步的成因則是由於馬達運轉中瞬間提高轉速時，因輸出轉矩與轉速成反比，故轉矩下降無法負荷外界負載，而造成小幅度的滑脫。失步的情況則只有步進馬達會發生，要防止失步可以依照步進馬達的轉速 - 轉矩曲線圖調配馬達的加速度控制程式。圖 6 為步進馬達之特性曲線，圖中橫座標的速度是指每秒的脈波數目 (pulses per second)。與一般馬達特性曲線最大的不同點是步進馬達有兩條特性曲線，同時步進馬達可以正常操作的範圍僅限於引入轉矩之間。圖 6 中所示之各個動態特性將分別敘述如下：

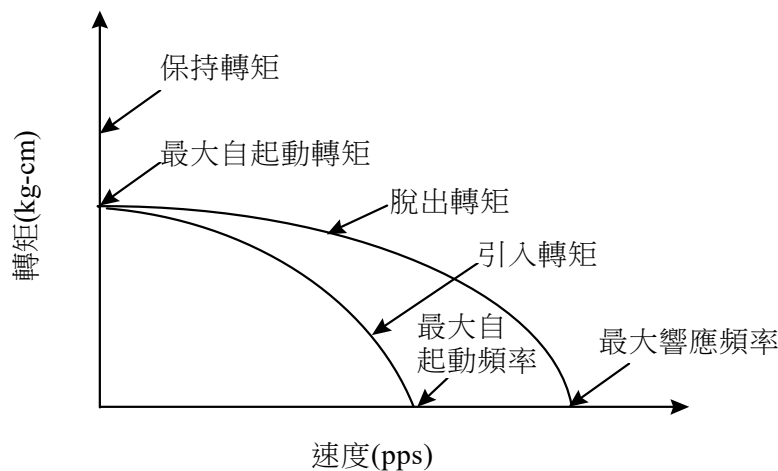


圖 6 步進馬達特性曲線

- **引入轉矩 (pull-in torque)**

引入轉矩是指步進馬達能夠與輸入訊號同步起動、停止時的最大力矩，因此在引入轉矩以下的區域中馬達可以隨著輸入訊號做同步起動、停止、以及正反轉，而此區域就稱作自起動區 (start-stop region)。

- **最大自起動轉矩 (maximum starting torque)**

最大自起動轉矩是指當起動脈波率低於 10pps 時，步進馬達能夠與輸入訊號同步起動、停止的最大力矩。

- **最大自起動頻率 (maximum starting pulse rate)**

最大自起動頻率是指馬達在無負載 (輸出轉矩為零) 時最大的輸入脈波率，此時馬達可以瞬間停止、起動。

- **脫出轉矩 (pull-out torque)**

脫出轉矩是指步進馬達能夠與輸入訊號同步運轉，但無法瞬間起動、停止時的最大力矩，因此超過脫出轉矩則馬達無法運轉，同時介於脫出轉矩以下與引入轉矩以上的區域則馬達無法瞬間起動、停止，此區域稱作扭轉區域 (slew region)，若欲在扭轉區域中起動、停止則必須先將馬達回復到自起動區，否則會有失步現象的發生。

- **最大響應頻率 (maximum slewing pulse rate)**

最大響應頻率是指馬達在無負載 (輸出轉矩為零) 時最大的輸入脈波率，此時馬達無法瞬間停止、起動。

■ 保持轉矩 (holding torque)

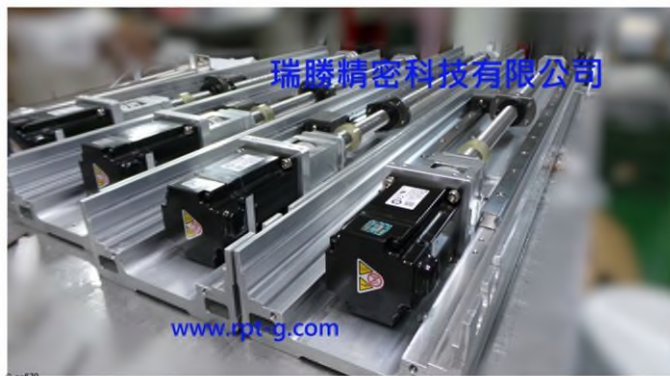
保持轉矩是指當線圈激磁的情況下，轉子保持不動時，外界負載改變轉子位置時所需施加的最大轉矩。

步進馬達轉矩與轉速之關係為指數式反比，也就是當轉速越大時轉矩越小，相反的轉速越小則轉矩越大，這種現象是因為激磁線圈可以視為電感與電阻的串聯電路，當激磁時線圈的電流與電阻、電感的關係如下式所示：

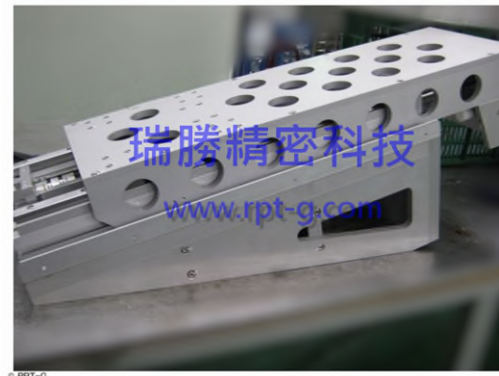
$$(1) \quad i = \frac{V}{R} (1 - e^{-t/\tau})$$

其中時間常數 $\tau = L/R$ 。由式 (1) 可知線圈之激磁電流是隨時間而變，而輸出轉矩則與電流大小成正比，因此當轉速慢時線圈電流有足夠的時間達到最大值，因此輸出轉矩較大；相同的，當轉速提高時激磁訊號變換快速，使得線圈電流減弱造成輸出轉矩下降。

由於步進馬達所使用的驅動訊號為脈波訊號，因此以普通直流電源加在馬達繞組時，馬達是不會連續轉動的。此外，步進馬達的電源線最少有五條，其中一條為共接點，其餘四條分別為 A 相、A+ 相、B 相、B+ 四相的輸入點，有些步進馬達的電源線共有六條，其中兩條為共接點，將 A 相、A+ 相，與 B 相、B+ 四相的輸入點分成兩組。要分辨何者為共接點，何者為輸入點以及正、反轉的激磁順序，可以先用三用電表之歐姆檔量測線圈之電阻值，理論上各相的電阻值應相等，找出共接點後再以低於額定電壓電流之直流電源一一測試，便可找出步進馬達正、反轉的激磁順序。



使用步進馬達的單軸定位平台



使用步進馬達的單軸升降手臂

< 步進馬達選用 >

步進馬達的特徵：

- 以數位控制之高解析度、高精度定位用馬達
- 系統構成簡單
- 高轉矩

適用於：

- 產業用機器設備，如半導體設備、金融、自動化生產設備、光電元件生產設備。

速度範圍：

- 2000 r/min 以下中低速運轉領域 (α step 系列除外)

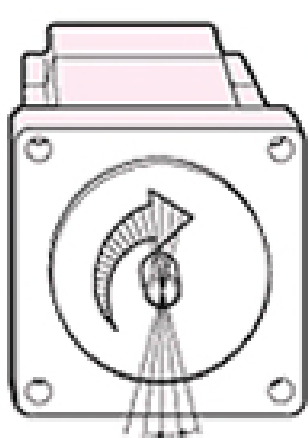
靜止角度誤差：

- ± 3 分 (0.05°) 不會累計誤差

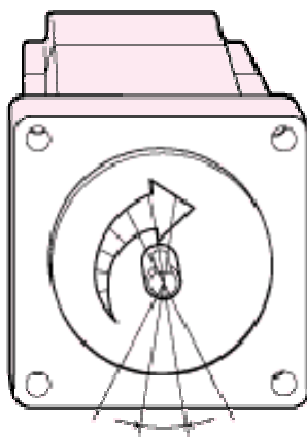
步進馬達種類

■ 依步級角分：

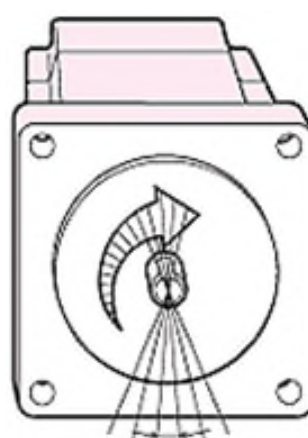
1. 二相步進馬達 ----- 1.8° / Step ex : UMK264A
2. 二相高分解能型步進馬達 ----- 0.9° / Step ex : CSK245MPA
3. 五相步進馬達 ----- 0.72° / Step ex : UPK569AHW2
4. 微步級五相步進馬達 ----- $0.72^\circ \sim 0.00288^\circ$ / Step ex : RK564AA



0.72°
(500分割/回転)



1.8°
(200分割/回転)



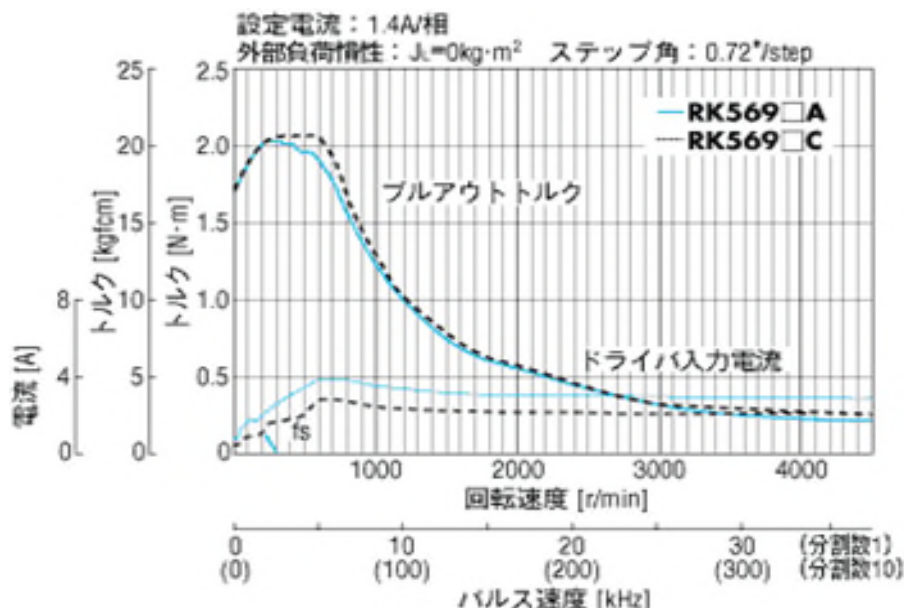
0.9°
(400分割/回転)



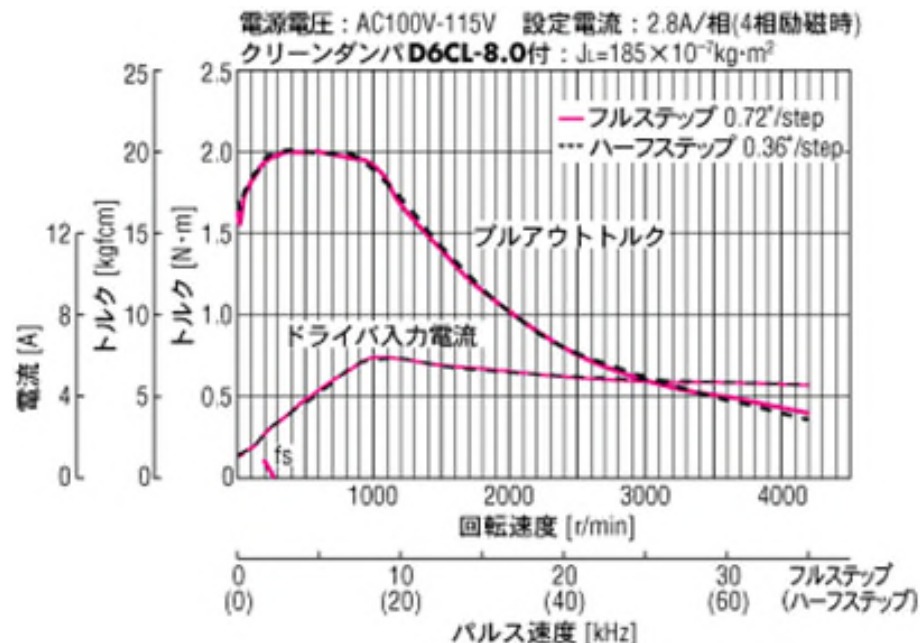
$0.72^\circ \sim 0.00288^\circ$
マイクロステップ

■ 依特性分：

1. 標準型步進馬達：



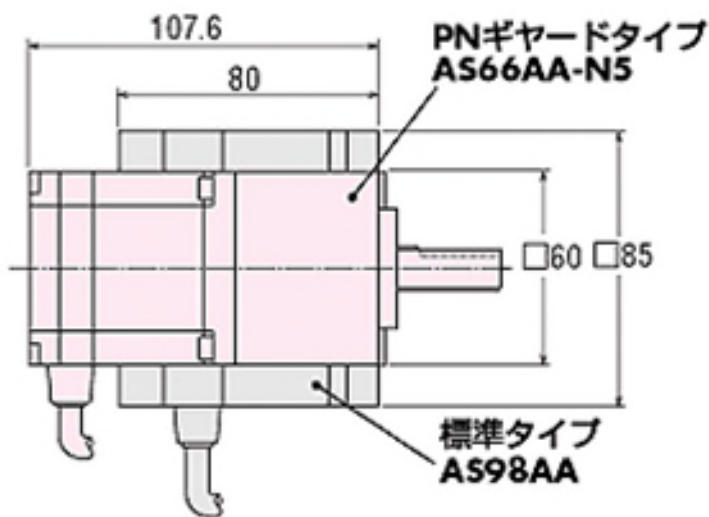
2. 高速型步進馬達：



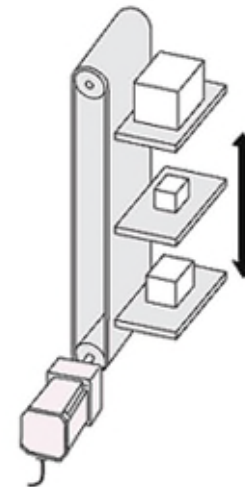
步進馬達減速機

步進馬達加裝減速機優點：

- 小型化：使用與馬達單體同等轉矩之減速機型馬達，外觀尺寸可以小型化。
- 提高剛性 (不容易受負載轉矩變化影響)：馬達於通電狀態下，有外部力量朝出力軸施加轉矩時較不容易產生變形。

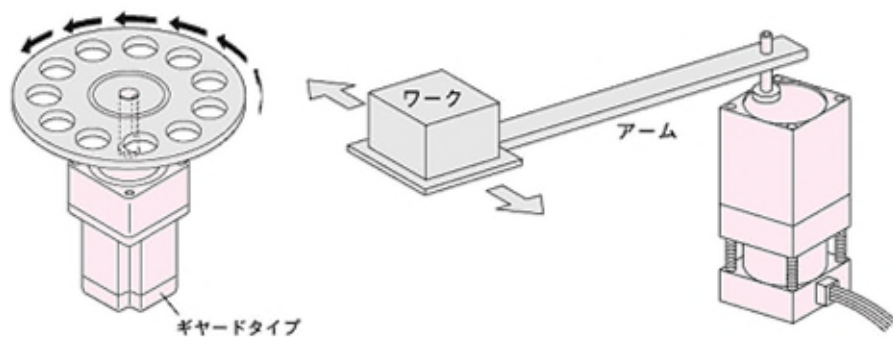


附加減速機的步進馬達

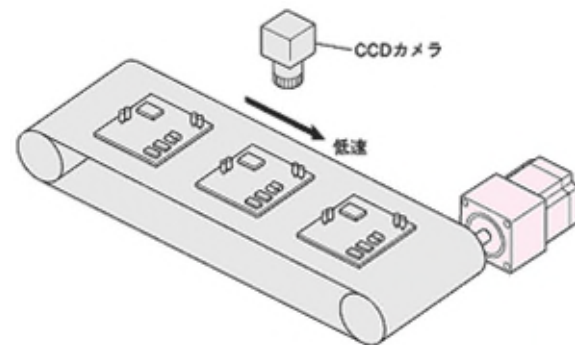


可以用於高轉矩環境的步進馬達

- 縮短定位時間：使用於短時間內驅動慣性較大的物體時，使用附有減速機型馬達，可以比使用一般馬達獲得更短的定位時間。
- 低振動化：馬達本體在低速時所產生的振動，可以靠減速機來降低。



使用於旋轉環境的步進馬達



使用於不可產生震動環境的步進馬達

步進馬達減速機種類

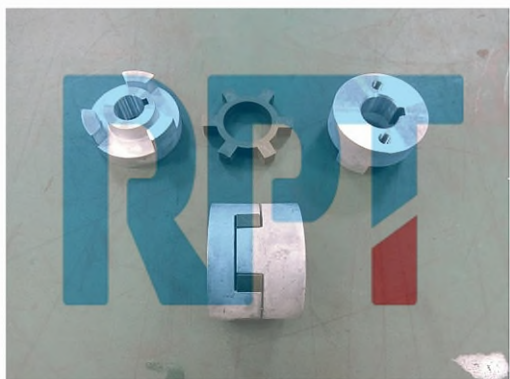
減速機型	齒隙	特徵
諧和式驅動	0 [min]	無齒隙.高精度.高減速比.高解析度
遊星減速機 (附調整齒隙機構)	3 [min]	高容許轉矩.高精度定位.有便於分割比數 (7.2 及 36 比)
遊星減速機	15-35 [min]	齒隙小.高容許轉矩.
平行軸	10-45 [min]	備低減速比.高速運轉.齒隙小低成本
平行軸	1-2°	本公司最小最輕製品
平行軸	1-2°	低至高減速比皆有.低成本型 2 相減速機型步進馬達

步進馬達規格表

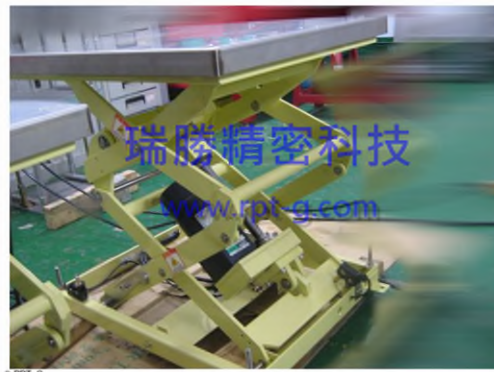
安裝面 (mm)	激磁最大靜止轉矩 (N·m)	轉子慣性慣量 $\times 10^{-4}[\text{J}\cdot\text{kg}^{\circ}\cdot\text{m}^2]$	定格電流 [A/相]	基本步級角 [°]	激磁方式 全步級	半步級
60	1.66	0.56	1.4	0.72	0.72	0.36

- 激磁最大靜止轉矩：馬達於通電狀態 (額定電流) 下，本身保有的最大保持轉矩。
- 轉子慣性慣量：馬達內部轉子慣性慣量 (計算馬達必要轉矩時所需數值)。
- 容許轉矩：減速機內部機械強度之極限值。
- 最大轉矩：瞬間可以使用的最大轉矩 (加速時所使用的最大轉矩)。
- 齒隙：減速機出力軸的齒輪間隙。
- Lost Motion：減速機出力軸朝正轉方向施加一定負載，與朝逆轉方向施加一定轉矩負載時之位移角合計。
- 容許速度範圍：減速機出力軸可運轉之最大轉速。
- 激磁方式：依驅動器而異，有些製品可變更馬達的步級角。

- 靜摩擦轉矩：電磁刹車的規格，電磁刹車的保持轉矩。
- 電源輸入：驅動器最大輸出電壓、頻率、電流值。
- 額定電流：驅動器的電流設定，基本上要配合額定電流使用（影響馬達之升溫、轉矩保持力。
- 減速比：指馬達的輸入轉速與減速機出力軸轉速的比值。
- 步級角：驅動器每輸入一脈波時，馬達出力軸所旋轉之角度。



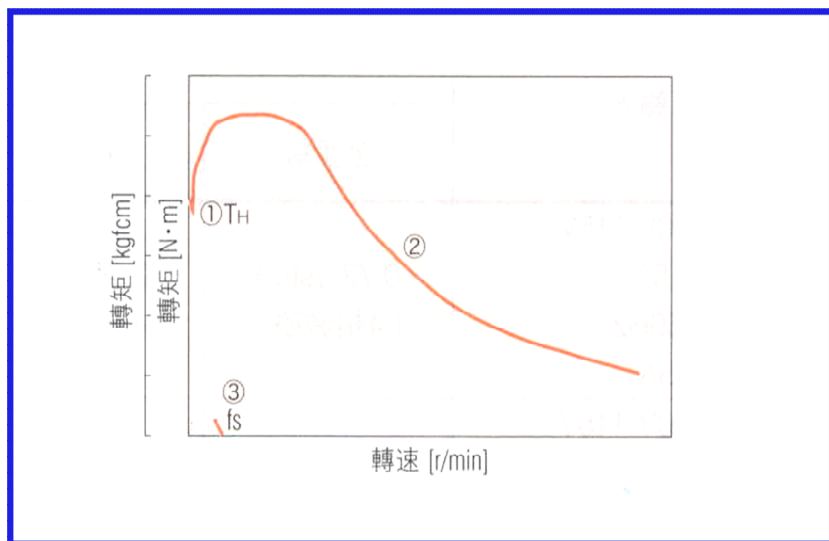
高扭矩步進馬達聯軸器



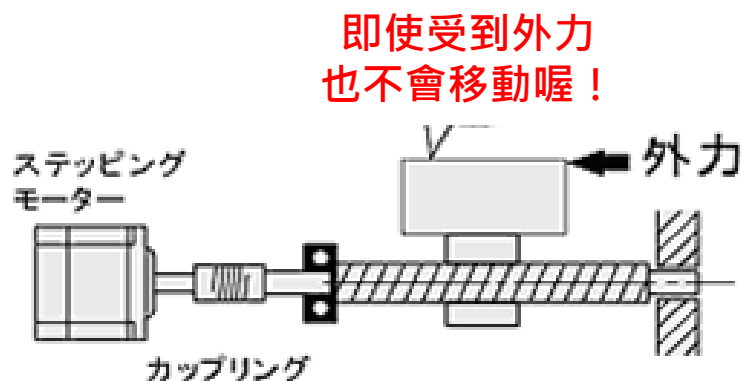
使用步進馬達的電動升降台

轉速與轉矩特性

- 激磁最大靜止轉矩：步進馬達於通電狀態下停止時，本身保有的最大保持轉矩。
- 脫出轉矩：各轉速範圍時所能產生的最大轉矩。
- 最大自啟動頻率：當步進馬達之磨擦負載或慣性負載為 0 時，瞬間 (無加減速時間) 能夠啟動、停止的最大頻率。



轉速・轉矩圖



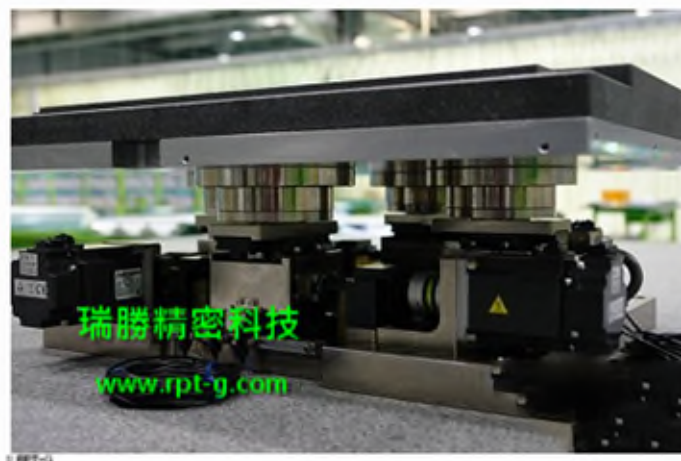
步進馬達帶動螺桿圖

■ 電流調整旋鈕

表示	旋鈕名稱	功能
RUN	· 馬達運轉電流調整旋鈕	· 可調整馬達運轉電流
STOP	· 馬達停止電流調整旋鈕	· 可調整馬達停止時電流

■ 電流調整影響：

1. 馬達溫昇
2. 轉矩
3. 振動
4. 保持力
5. 啟動、停止特性



使用步進馬達驅動的 X-Y 平台

■ 功能切換開關

表示	開關名稱	功能	影響
2P/1P	脈波輸入方式切換	可切換為單脈波或雙脈波方式輸入	依上位控制器輸入形式調整
F/H	步級角切換	以五相為例： F：全步級 0.72°/step H：半步級 0.36°/step	改變工作物速度及行程 運作平滑性
A.C.O/OFF	自動電流 OFF 功能切換	驅動器內部溫度達 80° 以上時自動使馬達電流 OFF	可利用開關進行功能設定・解除
M.B.F/OFF	電磁剎車功能切換(限剎車機型)	切換電磁剎車動作 MBF：經常開放,非通電時動作 OFF：經常動作,信號輸入時解放	剎車解除可方便手動調整機台

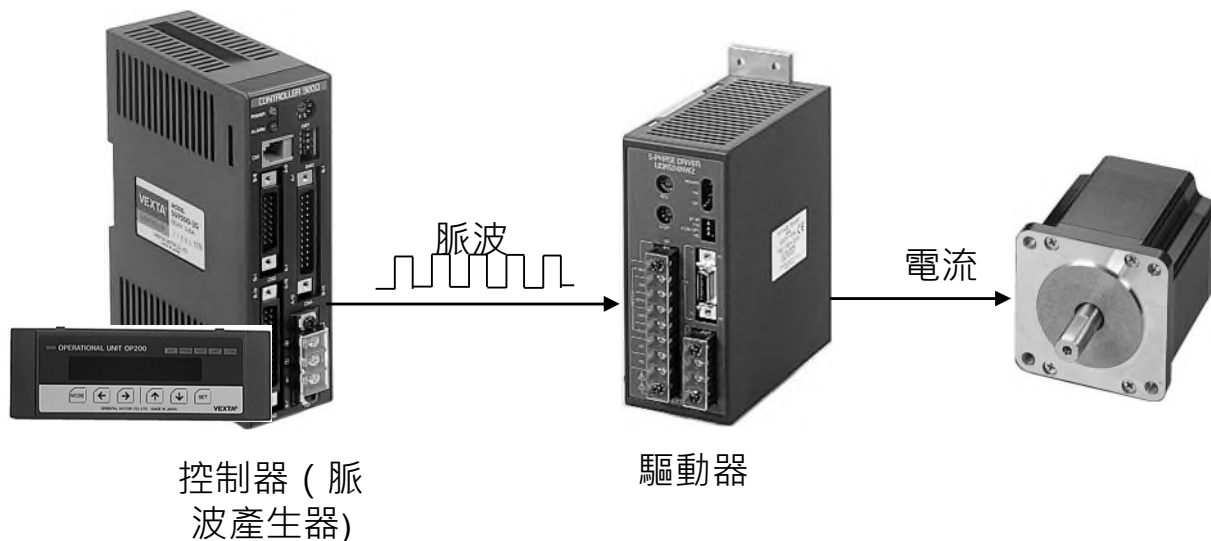
< 步進馬達故障排除 >

欲驅動步進馬達，需要備齊馬達、驅動器、控制器 (脈波產生器) 。

馬達的運轉並非僅靠接通電源即可，而是需要透過從脈波產生器輸出脈波信號後，馬達才會轉動。

在「步進馬達無法按自己的要求運轉」的故障現象中，發生頻率較高的事例如下：

- 馬達完全不動，且無法保持負載。
- 馬達要動不動，動作異常 (雖然馬達發出聲響且有振動，但不回轉) 。
- 進行定位運轉時，稍有偏位。



測定線圈電阻

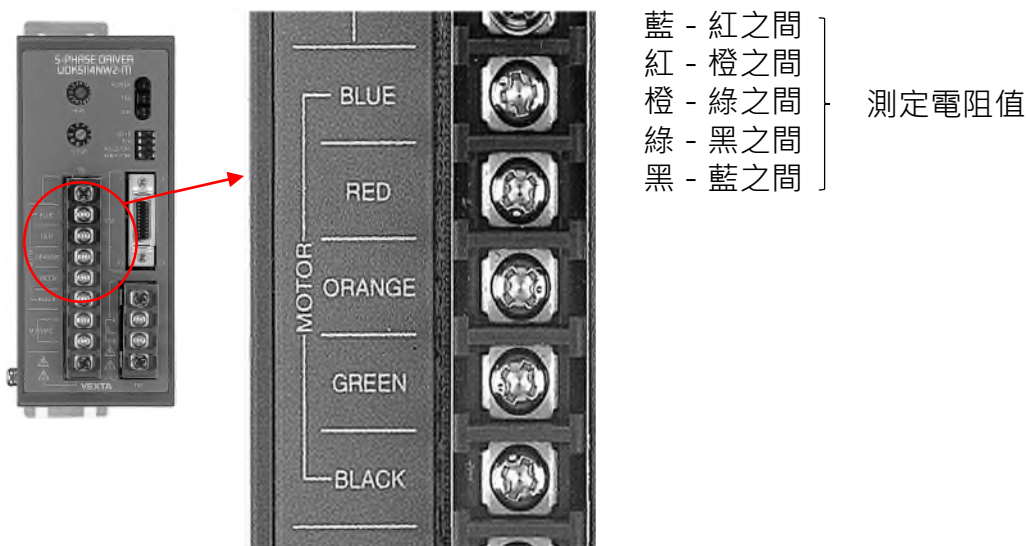
步進馬達是由複數的線圈（電磁鐵）帶動轉子產生運轉的。

線圈或馬達的導線即使有1條發生斷線，步進馬達照樣能夠運轉。但會出現轉矩不足、噪音、振動等現象，造成馬達動作不穩定。

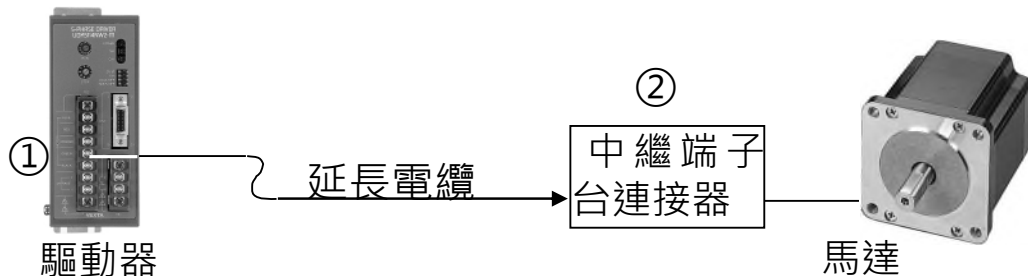
欲穩定驅動步進馬達，首先必須確認線圈。

切斷電源，測定驅動器端子台，馬達導線上的線圈電阻值。

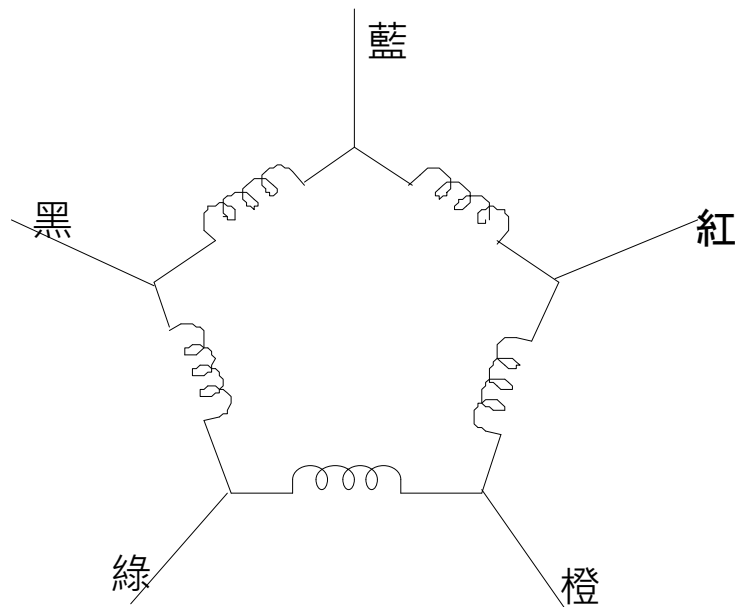
切斷電源，測定驅動器端子台·馬達導線上的線圈電阻值。



若有延長接線時，請在驅動器端子台(①的位置上)及馬達導線(②)上測定。



各線圈電阻值是否有偏差？



- 若某個線圈的電阻值為 0Ω 或幾 $K\Omega$ 以上時，則可判斷為接線錯誤或線圈（或導線）斷線。
- 若電阻值的偏差為 1.3 ~ 1.5 倍左右，則可判斷為導線的接線錯誤。

步進馬達的運轉條件，除了馬達與驅動器均為良品之外，還需具備以下兩個條件：

- 馬達激磁
- 驅動器接受脈波信號

步進馬達無法按要求運轉時，須對此作重點檢查。

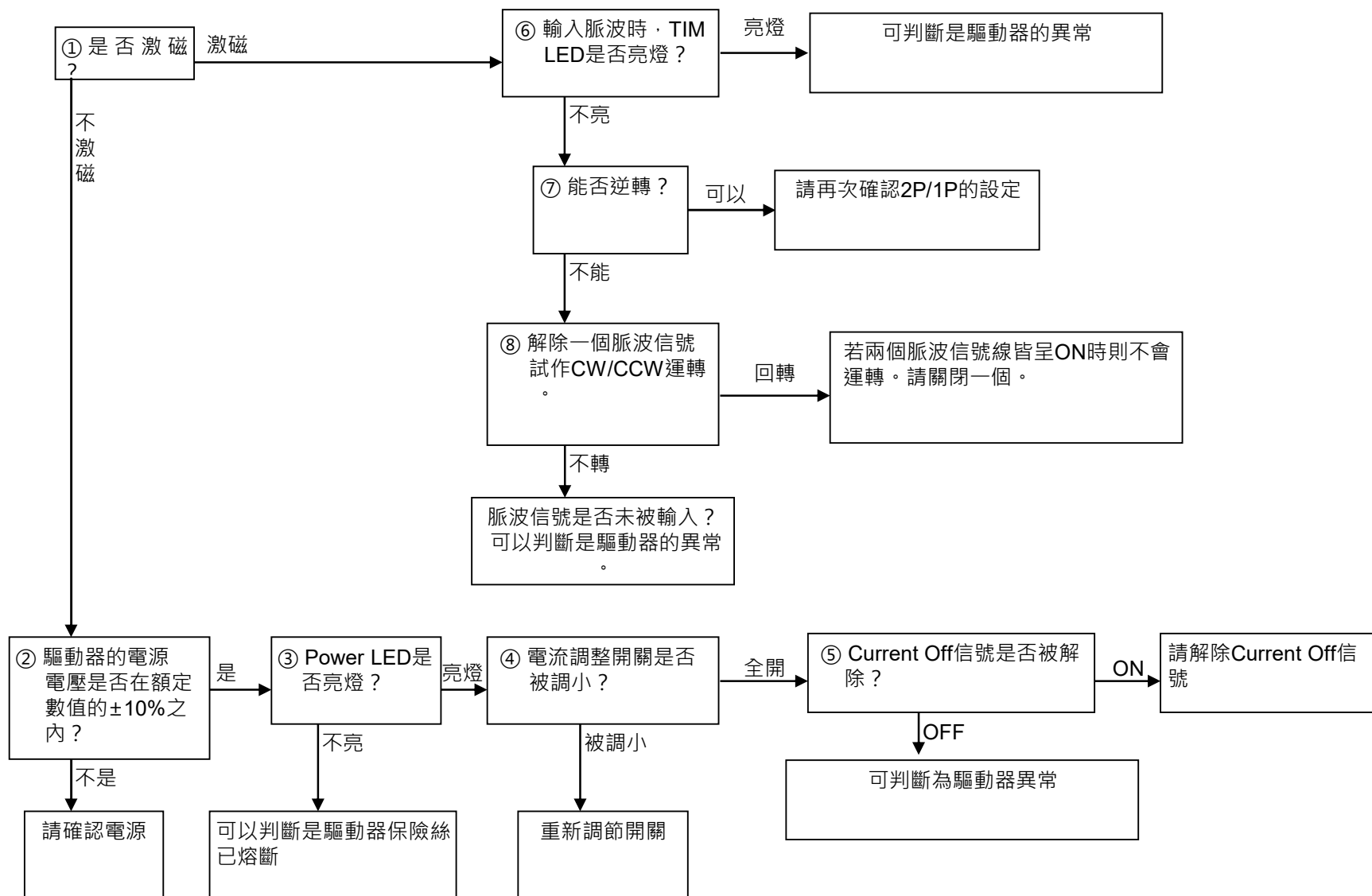
步進馬達在接通電源時，電氣流入線圈，因而線圈會產生磁力。我們把線圈產生磁力的現象叫做「**激磁**」。

步進馬達一旦接通電源立即會進入激磁狀態。此時只要輸入脈波，線圈的 N / S 極便會自動切換，轉子則因電磁鐵的引力而回轉。

要使步進馬達激磁，需要下述條件：

- 接通電源
- 線圈無損壞（ = 線圈能產生磁力 ）
- 驅動器輸出正常電流

故障對策流程圖



- 確認馬達是否激磁：

在無負載狀態下接通電源（不輸入脈波），然後用手轉動馬達出力軸，確認是否有保持力。

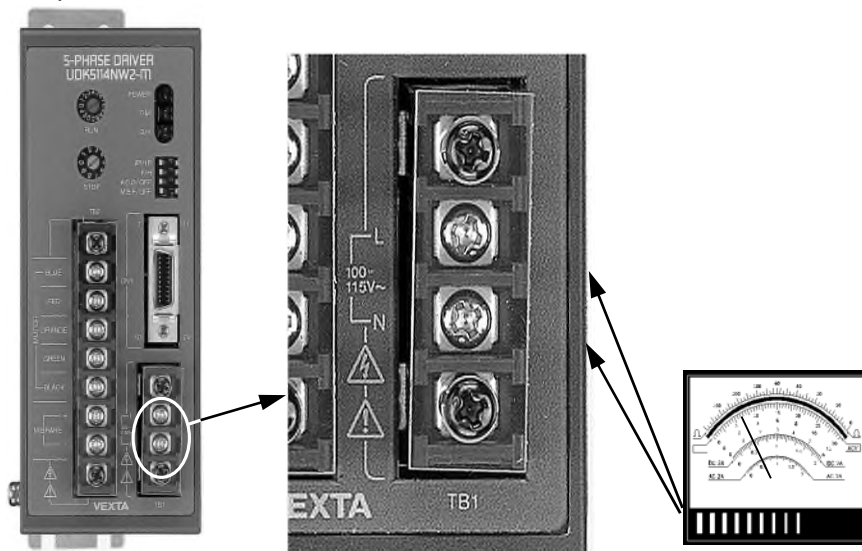


· 若具有保持力，則表示已激磁。

故障對策二：「確認電源電壓」

- 確認驅動器電源電壓是否確實接通：

測定驅動器電源端子上的電壓，並確認施加電壓是否在額定電壓的 $\pm 10\%$ 之內。

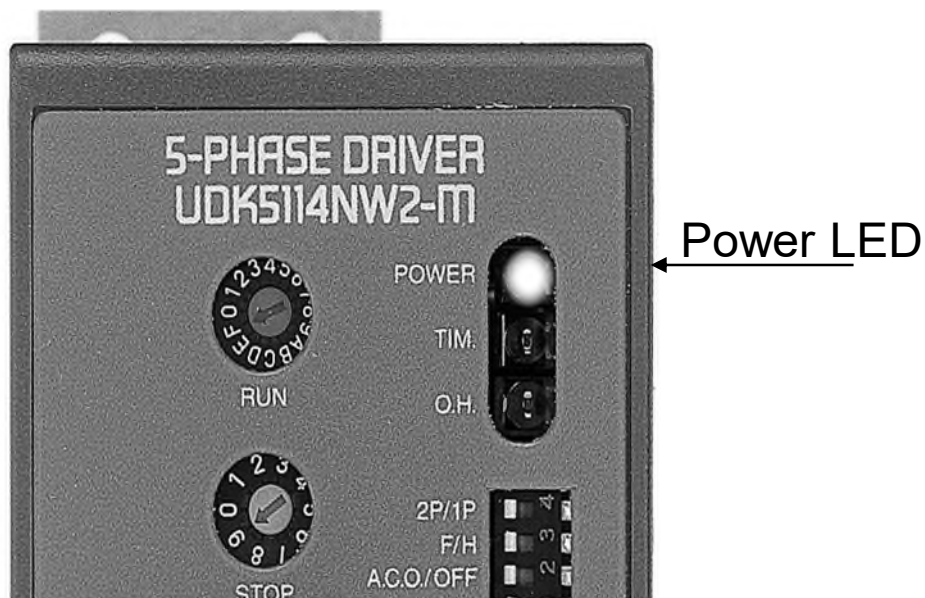


若沒有施加額定 $\pm 10\%$ 以內的電壓，則無法達到目錄上記載的特性值。

故障對策三：「確認Power LED」

- 接通電源，確認驅動器的 Power LED 是否亮燈：

接通電源，確認驅動器的 Power LED 是否亮燈。

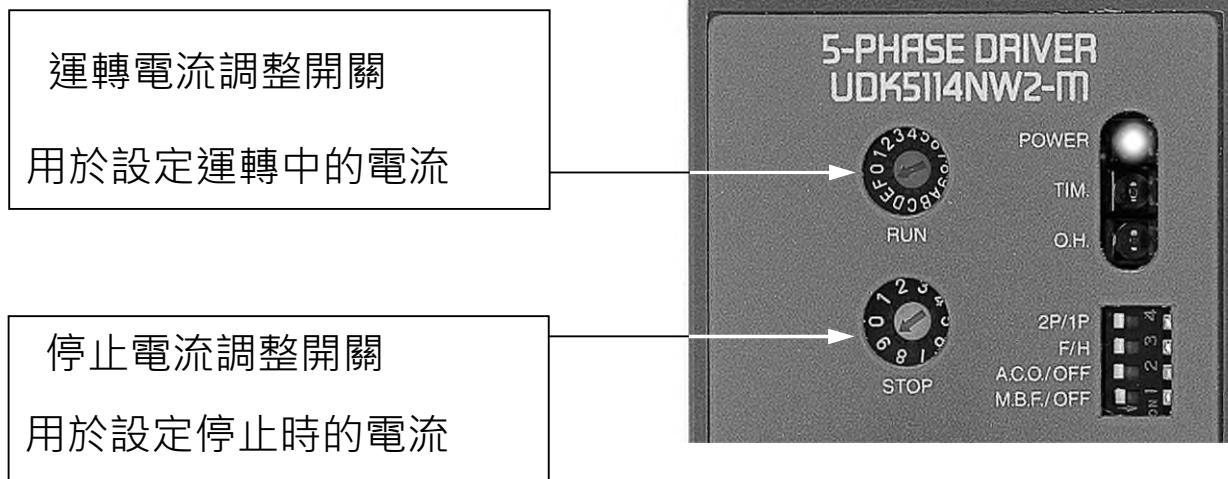


LED 不亮時，可以判斷為驅動器保險絲熔斷。

故障對策四：「確認電流調整開關」

- 使用驅動器上的「運轉電流調整開關 (RUN)」與「停止電流調整開關 (STOP)」可以調整馬達流入的電流，請確認是否錯將電流調整開關調製過小。

確認電流調整開關是否被調小。



若是因為旋鈕被調小而導致轉矩不足，請重新調節旋鈕。

- 當 " Current OFF " 信號被輸入時，流入馬達的電流被切斷，此時馬達不激磁。
請解除 " Current Off " 信號或將信號的連接器拆下，確認是否激磁。拆下連接器後若能激磁，則可判斷為 " Current Off " 信號誤被輸入，請解除信號。

【注意】 欲拆下連接器時，請先切斷電源。



使用於步進馬達的扭力限制皮帶輪組



使用於步進馬達的方形鍵

- 有些驅動器的面板上設有“TIME LED”燈號。
每輸入 10 脈波，“TIME LED”會閃爍一次（半步級時每 20 脈波一次）。所以，透過“TIME LED”可以了解到脈波是否被接受。

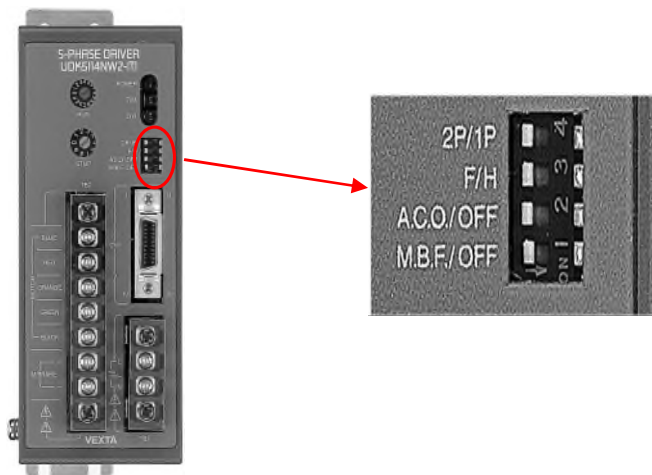
確認脈波輸入時“TIM”LED是否閃爍（或隱約亮燈）。



若“TIM”LED亮燈，則表示驅動器在接受脈波信號。
若雖然LED亮燈，但馬達卻不回轉(亦無音響)，則可判斷為驅動器破損。

- 若有設定錯誤或接線錯誤時，會發生只按一方向旋轉的情況。
檢查時，請確認“TIME LED”是否亮燈。

按逆轉方向輸入脈波，確認是否運轉。
驅動器的“2P/1P”設定錯誤、脈波信號線的接線不良等會產生只按一方向運轉的情形
若能夠逆轉，請再次確認設定及接線狀況。



拆下 CW·CCW 的任何一方的脈波信號線，輸入正轉、逆轉脈波信號。

若拆下一個信號線後馬達運轉，則可判斷 CW·CCW 脈波信號線均呈 ON 狀態。通常請將脈波信號線設定在 OFF。

(兩個信號線均為 ON 時，驅動器無法接受脈波信號。)

檢查時請確認 TIM LED 是否閃爍。

「雖然有噪音及振動，卻不運轉」

步進馬達接通電源，輸入脈波後開始運轉。但有時會發生「馬達要動不動、動作異常」、「雖然有噪音及振動、卻不回轉」的情形。

可推測這是由以下原因造成的故障：

- 馬達因某種原因造成無法發揮全力 (線圈、導線斷線等)。
- 負載過大。
- 急遽加速等運轉條件過於苛刻。

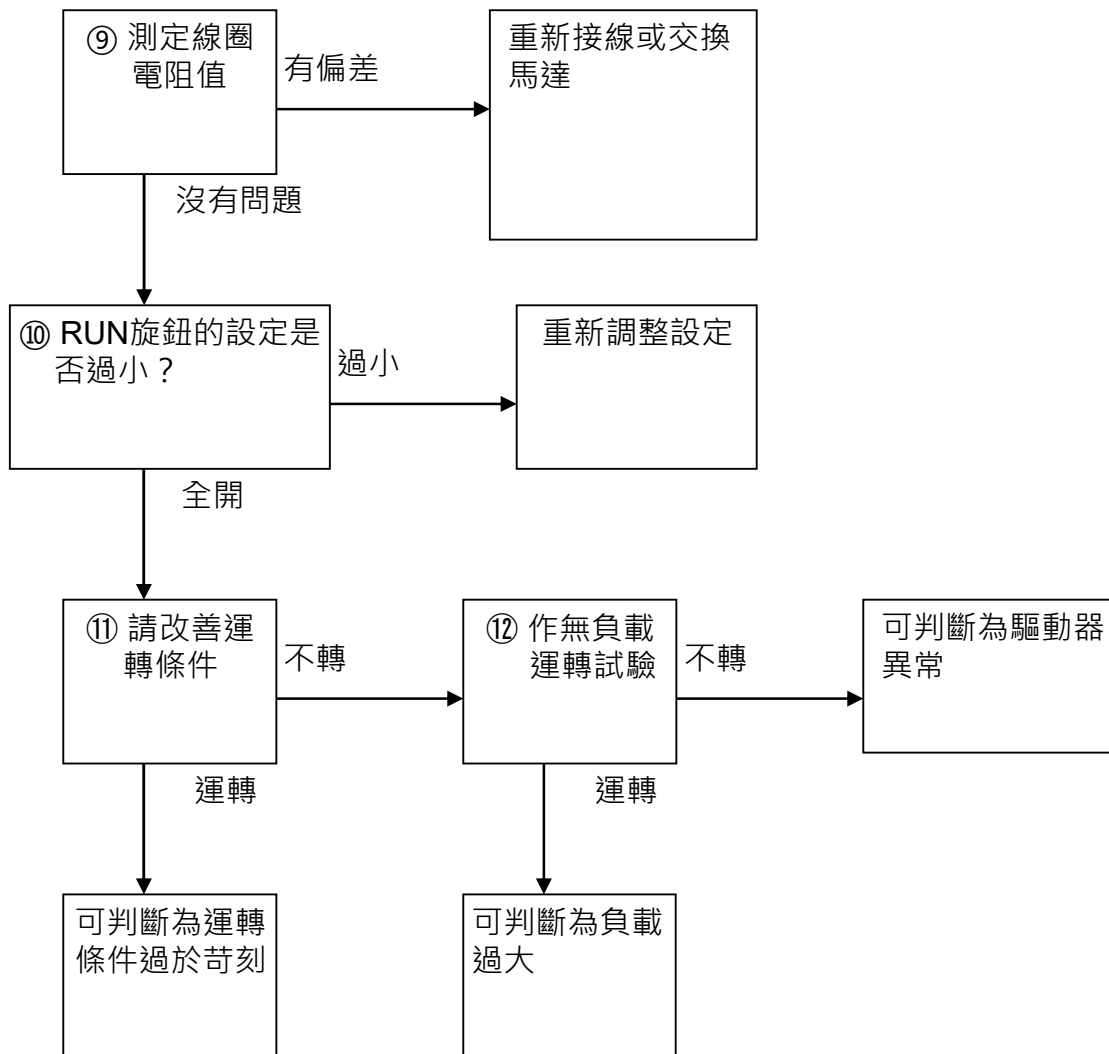
何謂“失步”：

在驅動器上輸入脈波後，線圈的 N / S 極會自動切換。轉子受到電磁鐵的引力影響，以 1 脈波 0.72 度開始運轉。

此時，若急遽加速或負載過大，轉子的電磁鐵無法跟上速度，所以會出現延遲 (或停止) 現象。

我們把這種因負載過大而引起的步進馬達停止動作，叫做「失步」。

「失步」故障對策流程圖



- 確認線圈電阻值：

步進馬達即使在線圈或導線發生斷線 (1~2 條) 的情況下，有時也會運轉。但會出現轉矩不足及振動、噪音過大等現象，無法實現穩定的運轉。

- 確認運轉電流調整開關：

使用驅動器上的「運轉電流調整開關 (RUN)」與「停止電流調整開關 (STOP)」可以調整流入馬達的電流，請確認是否錯將電流調整開關調至過小。

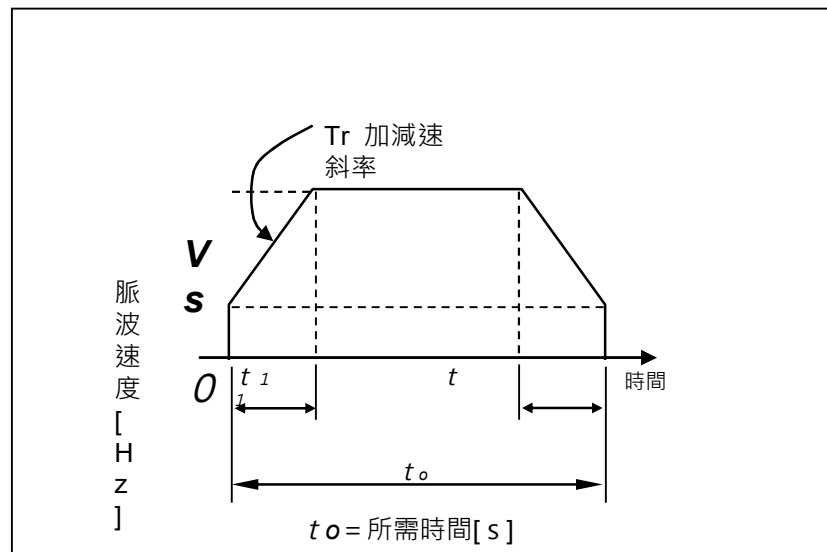


【參考】步進馬達的轉矩過剩時，會有振動增大的傾向。
(過剩的功率會引起振動)
因此，若感覺馬達振動過大時，請將運轉電流調整開關調小。

■ 改善運轉條件：

運轉條件過於嚴苛時 (急遽加速、速度過高等)，會造成轉矩不足而有失步的可能。請將運轉速度 (Vr)、啟動速度 (Vs)、加減速斜率 (Tr) 相對設定於低數值來確認馬達動作。

將運轉速度、啟動速度、加減速比率設定於低數值時，若能正常運轉，則可判斷為是因為啟動速度過大，急遽加速或工作物過重造成的故障，請改善運轉條件。



【參考值】 5 相全步級：運轉速度
Vr = 1000 (Hz)
起動速度 Vr = 300 (Hz)
減速比率 Tr = 50 (ms/KHz)

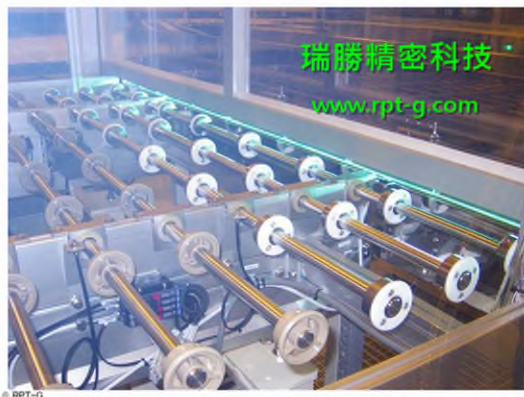
【參考】 因您使用的脈波產生器的能力大小，有時馬達無法做急遽加速。請儘可能在加減速斜率 = 20ms/KHz 以上、起動速度 = 500Hz 以下的條件下使用。

- 在無負載條件下做運轉測試，確認工作物及機構是否負載過大：

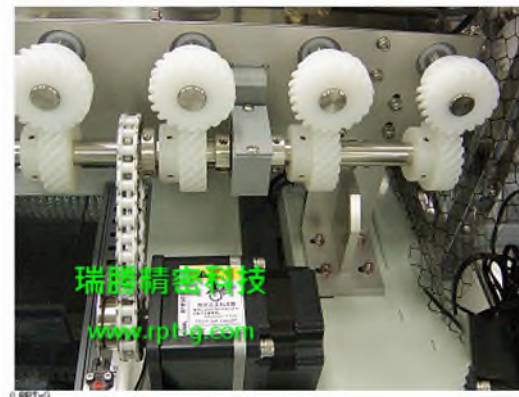
請在無負載條件下、或拆下連軸器等，僅以馬達單體做運轉試驗。

- 無負載條件下若正常運轉，則可判斷為負載過大。請改善運轉條件。
- 無負載條件下仍不運轉時，則可判斷為驅動器破損。

【參考】相對馬達來說，工作物及機構是否負載過大，可以透過計算來確認。



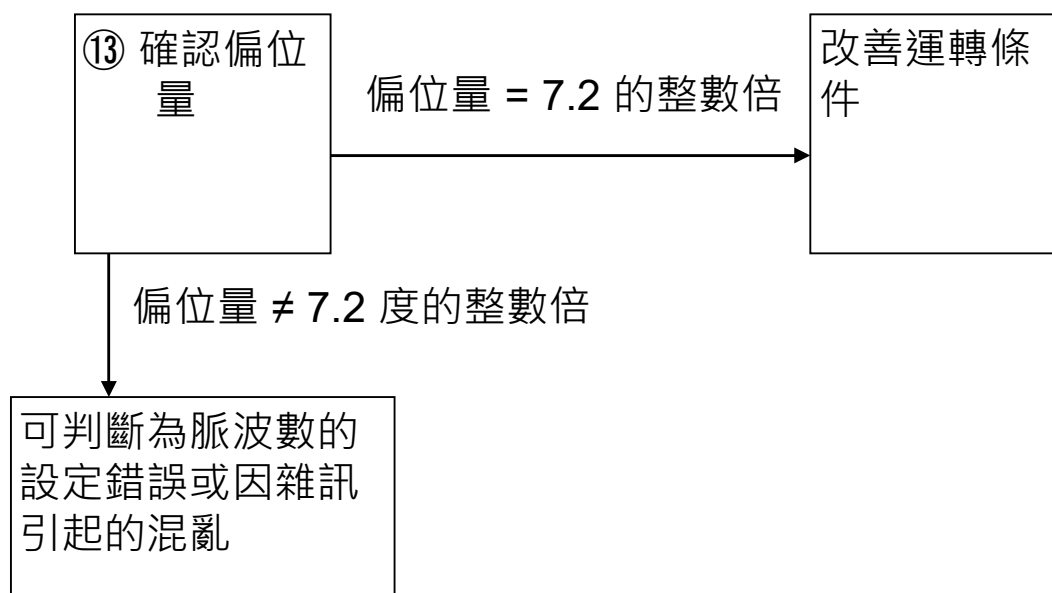
使用步進馬達的玻璃基板傳輸模組



步進馬達搭配塑膠齒輪的傳輸模組

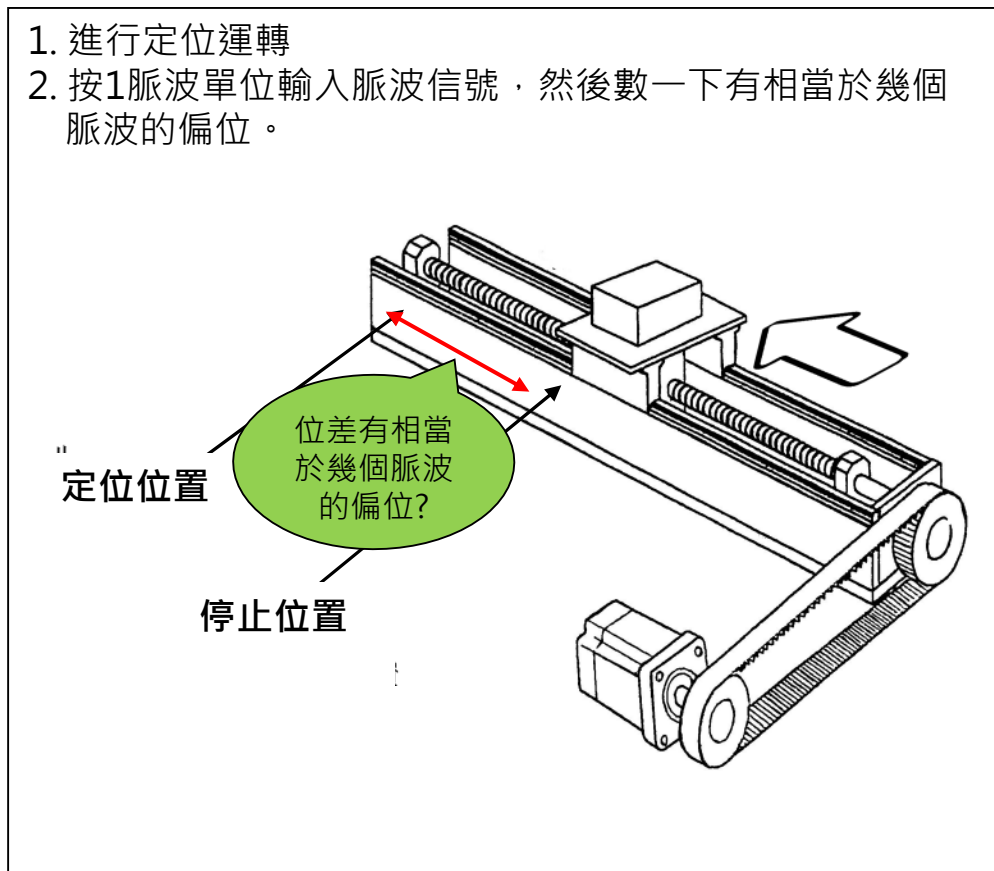
故障對策九：「馬達運轉時有偏位」

- 步進馬達最擅長做精準的定位，但有時會出現微妙的偏為現象：
定位時，若偏位僅在數度之內，則可推測原因為運轉條件過於嚴苛等（急遽加速）。
因步進馬達構造上的原因，若因轉矩不足所引起失步時，則以 7.2 度的整數倍發生偏位。
- 對策流程圖：



- 要了解偏位原因，首先必須確認偏位量：

1. 進行定位運轉
2. 按1脈波單位輸入脈波信號，然後數一下有相當於幾個脈波的偏位。



偏位為幾度？

若偏位量為7.2度的整數倍，則可判斷為失步。此時，只需重新調整運轉模式。→⑪。

若偏差量非為7.2度的整數倍，則請再次確認輸入脈波數。

報告結束

Thank you

