
電動機原理

Chapter 2 步進馬達



步進馬達



內容

- 前言
- 基礎
- 步進馬達的特徵
- 步進馬達的種類
- 步進馬達的作動原理、特性及驅動
- 步進馬達的振動
- 步進馬達的應用

前言



前言



- 步進馬達（Stepping Motor）乃是1920年於“可立即轉動及停止”與“能快速正確到達目的位置”的兩項需求下所誕生
- 步進馬達，又叫脈波馬達（Pulse Motor），因為步進馬達最大的特徵是具有依靠脈波電力來產生旋轉，透過控制脈波電力，可控制旋轉的特性
- 輸入脈波數與旋轉角成正比，旋轉速度與輸入頻率成正比，這兩個特性使步進馬達能以數位信號構成開放回路（Open Loop）控制，便能達成一定程度定位的功能

前言



步進馬達的發展背景

過去

- 馬達通常只用於連續運轉的場合
- 只有運轉與停機兩種簡單應用

現在

- 馬達應用場合廣
- 對環境等要求較高
- 小型化, 響應速度快, 起動時間短, 定位準確, 解析度高等皆為其重要訴求
- 數位脈波的觀念

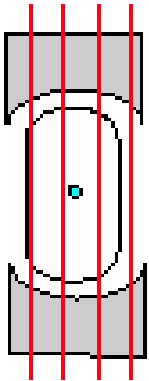
基礎



基礎

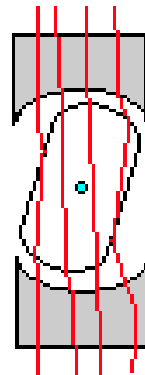
磁阻力

磁力線有走最小磁阻之路徑的趨勢



如左圖，可自由轉動之金屬轉子（非磁鐵），因磁場作用的關係而沿著磁力線方向靜止不動。

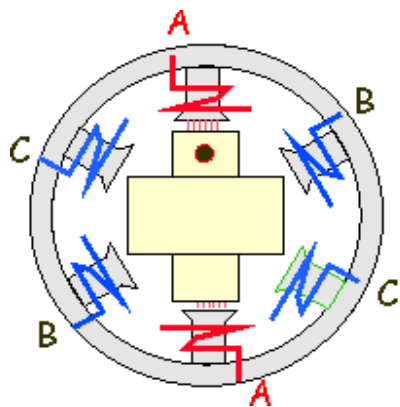
若欲使轉子轉動，則必須施加外力以克服磁力線之恢復力（restorative torque）。右圖之轉子位置處於不穩定狀態，若移除外力，則轉子會回復至左上圖之位置



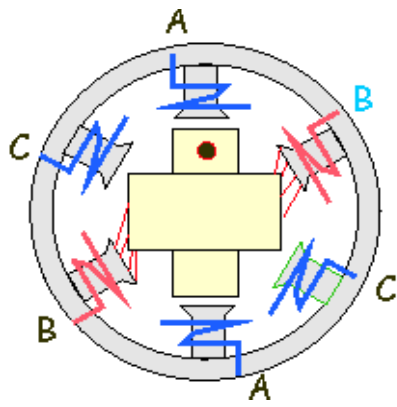
基礎



以可變磁阻型(VR)步進馬達為例

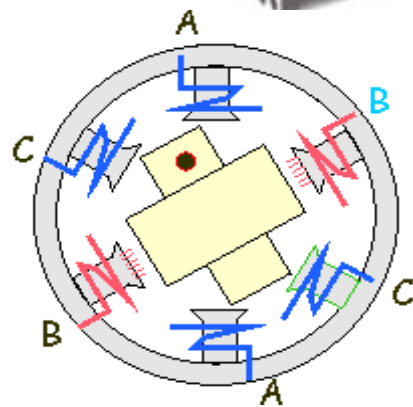


A相激磁



B相激磁

因磁阻力作用轉子開始移動



B相激磁

轉子就定位

步進角:每送一個脈波,步進馬達所轉動一步的角度

PPS: Pulse Per Second-每秒輸入步進馬達之脈波數

步進馬達的特徵



步進馬達的特徵



Good Side

- 系統結構簡單
- 轉速和數位脈波頻率成正比
- 重複及定位精度高，每步3~5%誤差，不因持續運轉而累積
- 控制容易，無須位置回授
- 靜止時，具高保持轉矩
- 價格低（無需位置感測裝置等...）
- 易與電腦或數位機器結合
- 無碳刷滑環等，可靠性高，壽命主要受到軸承限制

步進馬達的特徵



Bad Side

- 高速運轉時容易失步
- 在某一頻率容易產生振動或共振現象

步進馬達的特徵

步進馬達的動作特徵

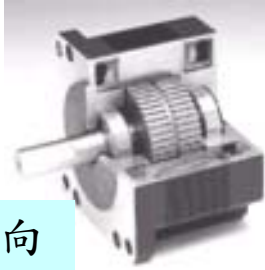
項目	特徵及動作型態
間歇驅動	間歇超低速驅動，係改變輸入脈波的週期來當作可變減速機（電子齒輪）來使用，以達到一小時一個步進，或一天一個步進的動作。
連續旋轉	能單獨作為一個動力源使用，轉速與輸入脈波的頻率成正比，總旋轉角度與輸入脈波總數成正比。
正逆轉	切換磁場方向。在單極通電方面，最好只改變激磁相之順序號碼（電橋型，不需要切換電路，成本低）
變速旋轉	改變輸入脈波之脈波率（可改變輸入頻率）。
多相驅動	能夠藉切換激磁狀態來變化步進角度，扭力，頻率特性。
微步進驅動	能實現電氣性的微步進角度。
無滑動接觸	不必電刷交換電流，所需維護較少，可靠度也較高。

步進馬達的種類



步進馬達的種類

依定子極性分

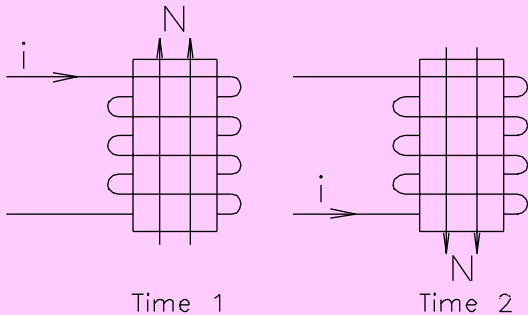


單極性 (Unipolar)

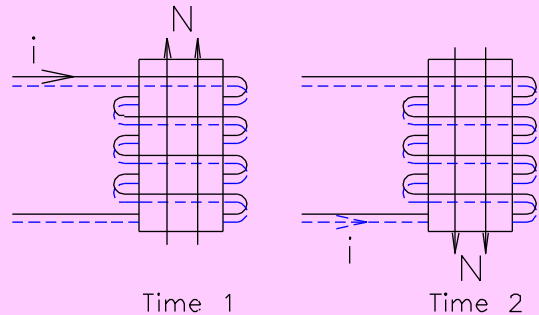
定子齒部的極性不會改變，也就是激磁電流以一定方向流通，使用場合如可變磁阻型步進馬達

雙極性 (Bipolar)

定子齒部的極性可改變，可為單組線圈但電流交互變化，兩組線圈，電流方向不用改變。如永磁型或混合型步進馬達(以下會說明)



雙極性(單繞組)

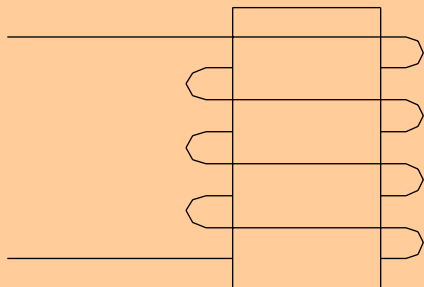


雙極性(雙繞組)

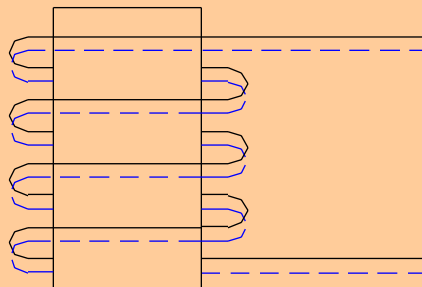
步進馬達的種類

依線圈繞組分

- 單繞組 (Unifilar)
- 雙繞組 (Bifilar)



單繞組



雙繞組

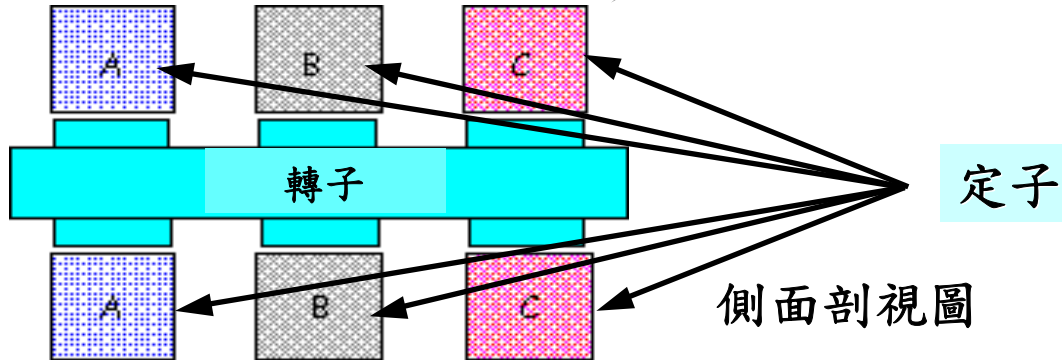
步進馬達的種類

依定子或轉子數目分

- 單組定子 (Single-Stack)
單一定子及轉子
- 多組定子 (Multi-Stack)



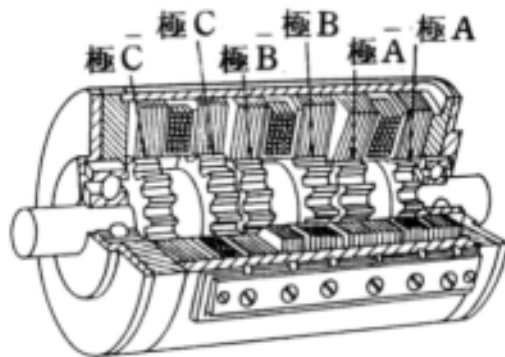
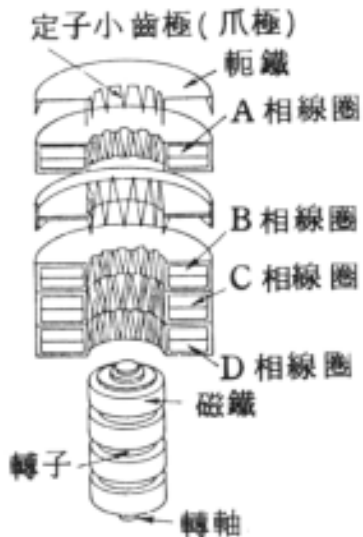
動作原理後面
會細說



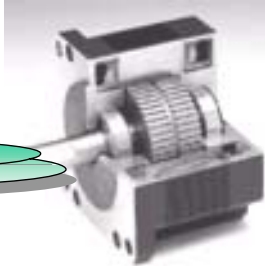
步進馬達的種類

依定子或轉子數目分

多重轉子



步進馬達的種類



待會兒再看後面的作動原理吧！

依激磁方式分

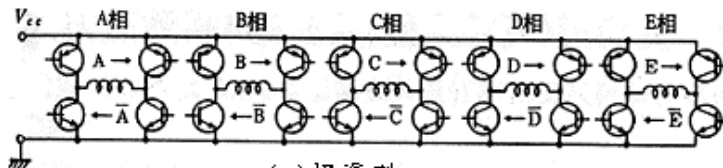
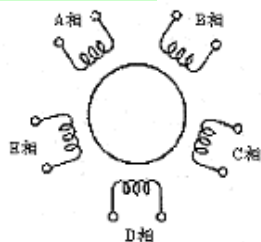
- 2相步進馬達：1相激磁，2相激磁，1-2相激磁
- 4相步進馬達：
 - 4相激磁
 - 雙1-2相激磁（2、3、4、3……）
 - 3-4相激磁
- 5相步進馬達：5相標準接線（4相激磁、4-5相激磁）
 - 5角形接線（4相激磁）
 - 星形接線（2-3相激磁）→（雙極，星形驅動）

常見的

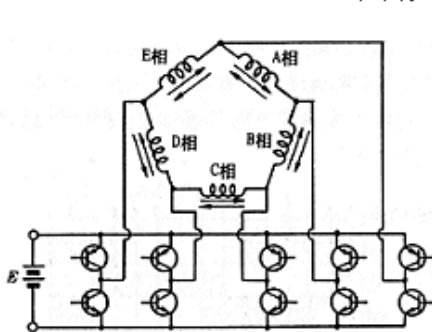
步進馬達的種類



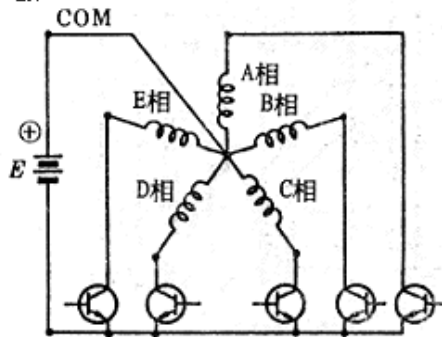
五相步進馬達



(a) 標準型



(a) 五角型

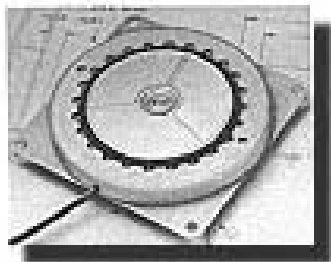
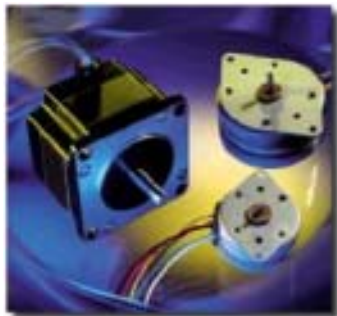


(a) 星型

步進馬達的種類

依運動型式分為旋轉型及線型

旋轉型(Rotary) 步進馬達



扁平高扭力步進馬達



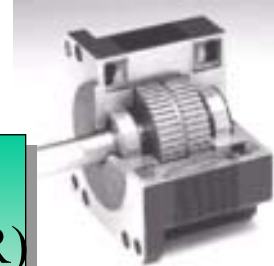
步進馬達的種類

線型(Linear)微步進馬達



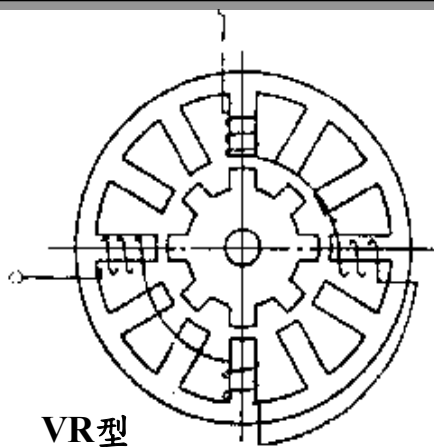
上銀科技 *HIWIN*

步進馬達的種類

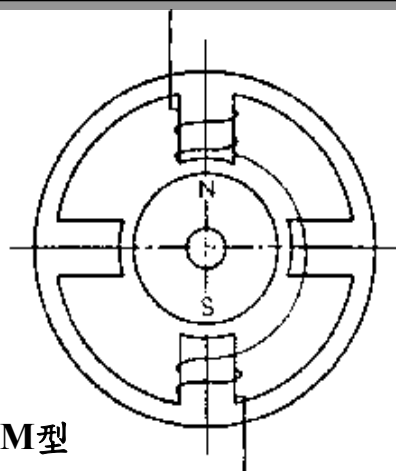


依結構分

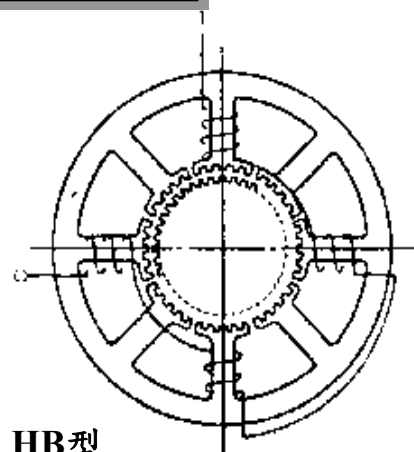
- 可變磁阻式(Variable Reluctance Type, VR)
- 永磁式(Permanent Magnet Type, PM)
- 混合式(Hybrid Type, HB)



VR型



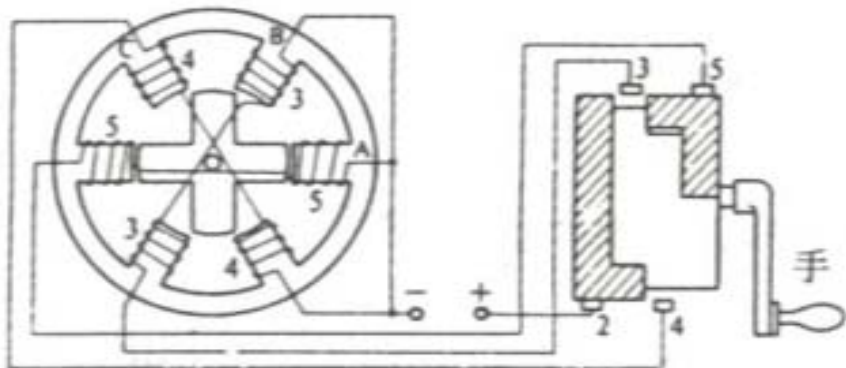
PM型



HB型

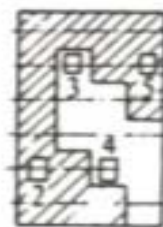
步進馬達的種類

可變磁阻式



(a) 電動機

(b) 旋轉・開關



(c) 旋轉開關的展開圖

1920年代英軍艦艇炮塔之可變磁阻式步進馬達

(使用機械式開關)

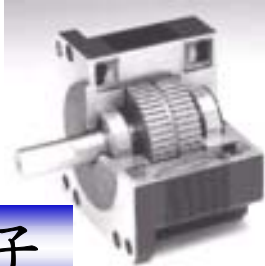
步進馬達的種類

PM型最常用的

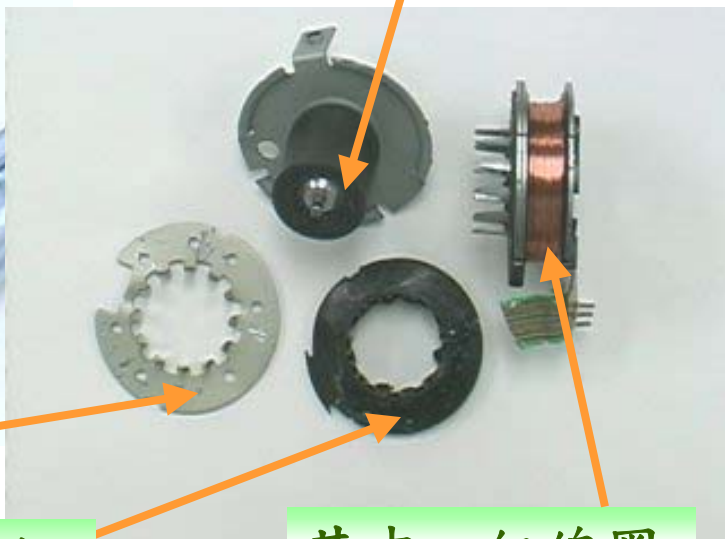
永磁式-爪極式

定子構造

多極著磁轉子



爪（板金彎曲）



塑膠護套

其中一組線圈

步進馬達的種類

永磁式-爪極式

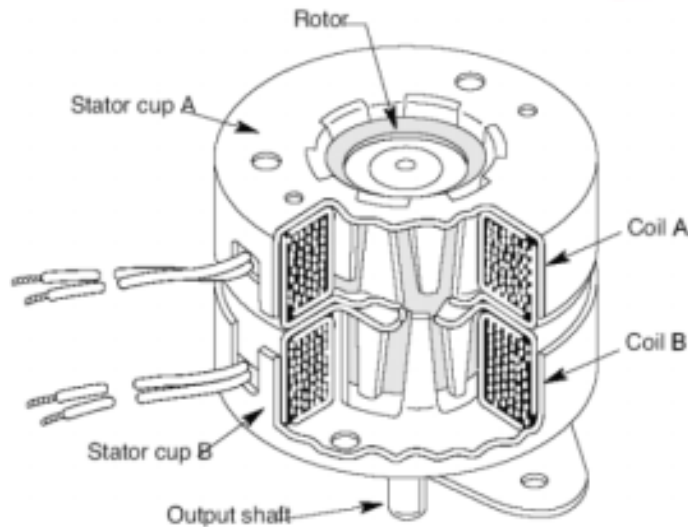
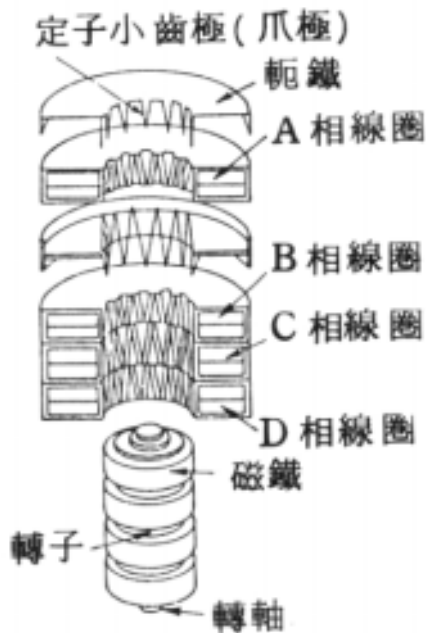
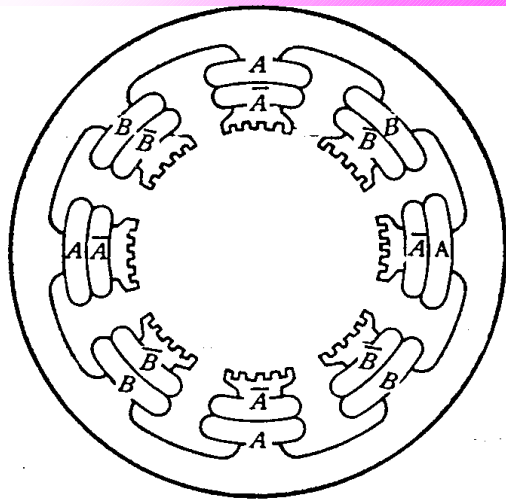


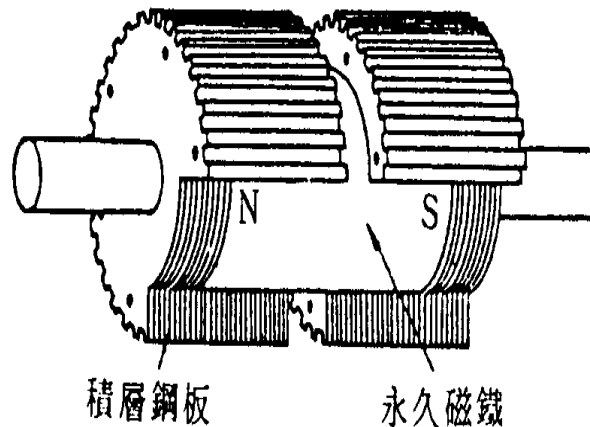
Diagram courtesy of Airpax Corp., USA

步進馬達的種類

混合式



定子結構



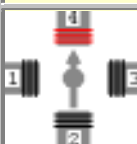
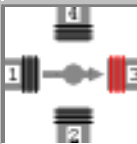
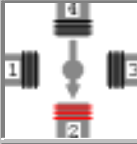
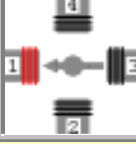
轉子結構

步進馬達的動作原理及驅動



步進馬達的動作原理

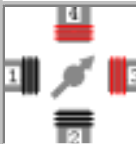



1 相激磁方式

步數	Coil4	Coil3	Coil2	Coil1	
1	on	off	off	off	
2	off	on	off	off	
3	off	off	on	off	
4	off	off	off	on	

★力矩較小、振動較大且容易失步

步進馬達的動作原理

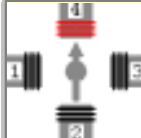
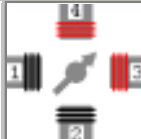
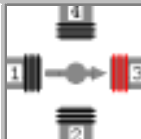
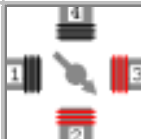
2 相激磁方式

步數	Coil4	Coil3	Coil2	Coil1	
1	on	on	off	off	
2	off	on	on	off	
3	off	off	on	on	
4	on	off	off	on	

★振動較低，可接受的PPS數較高，不易失步

步進馬達的動作原理

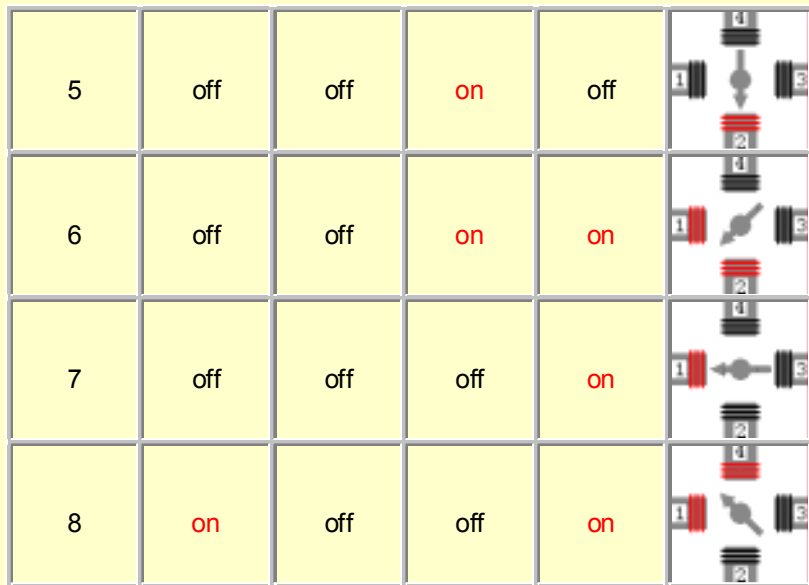
1-2 相激磁方式

步數	Coil4	Coil3	Coil2	Coil1	
1	on	off	off	off	
2	on	on	off	off	
3	off	on	off	off	
4	off	on	on	off	

續下頁

步進馬達的動作原理

1-2 相激磁方式



★每次移動半個基本步進角，振動程度最小

步進馬達的動作原理

三種激磁方式之比較



	步進角度	耗損功率	特性
1相激磁	一個步進角	P	<ol style="list-style-type: none">1. 耗損功率小2. 步進時易產生錯亂
2相激磁	一個步進角	2P	<ol style="list-style-type: none">1. 耗損功率較大.2. 溫度上升快3. 轉矩較大4. 步進時較穩定.
1-2相激磁	半個步進角	1.5P	<ol style="list-style-type: none">1. 特性介於上二者之間2. 步進角度是原步進角的1/2,可做較精密的控制.