

大內實業有限公司

地址：新北市三重區興德路88號7樓

TEL: (02) 8512-1188

FAX: (02) 8511-3535

Extion Co., Ltd.

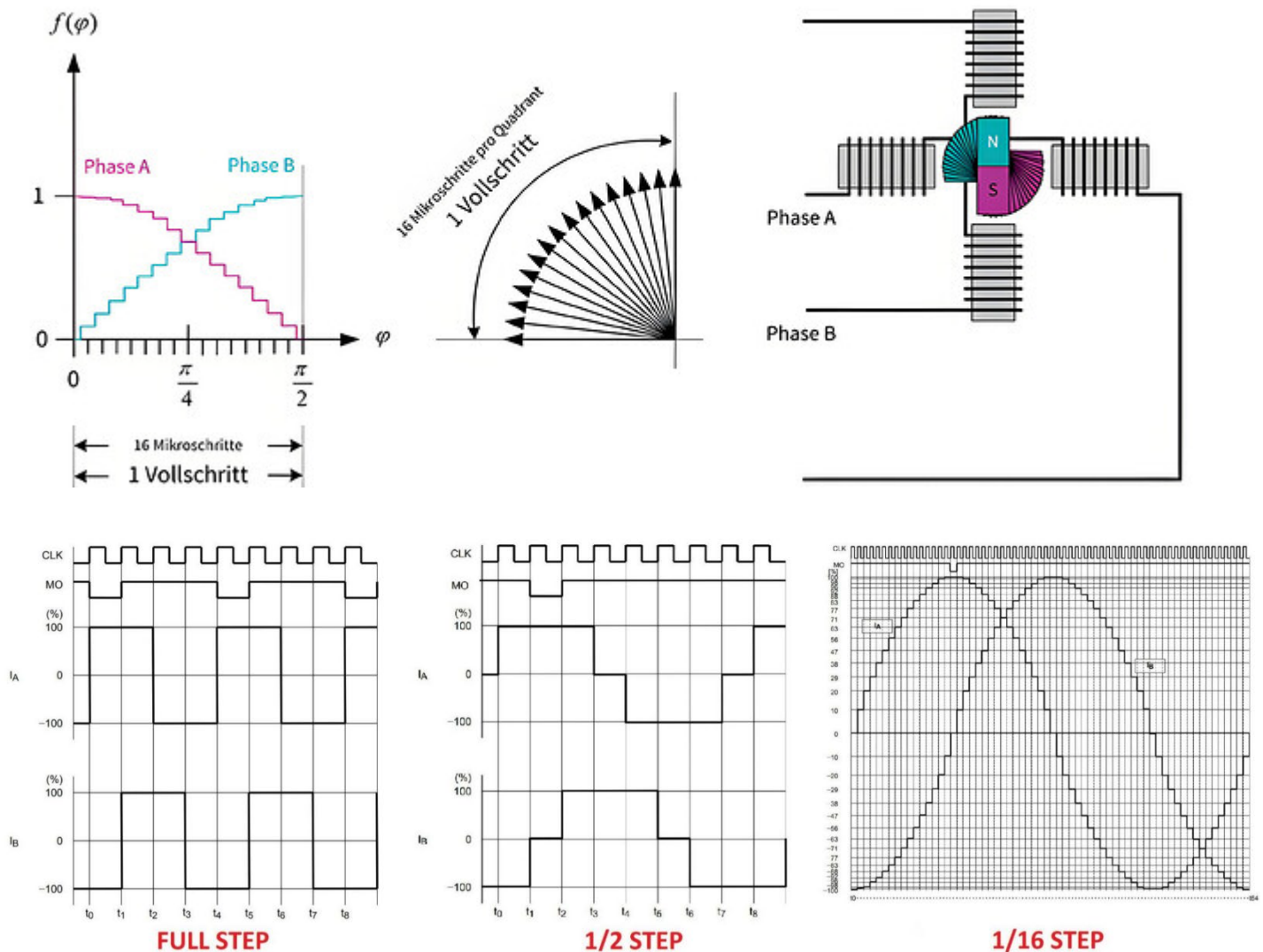
7F., No.88, Xingde Rd., Sanchong Dist.,
New Taipei City 241, Taiwan

<http://www.extion.com.tw>



微步進驅動（Microstepping）的核心原理

「控制兩相線圈的電流大小比例」取代傳統的「全開 / 全關」切換，讓轉子停在兩個原始步進角之間的任意位置。就是改用連續漸進的電流控制，讓馬達轉子停在兩個物理步距之間的任意位置。



◎核心概念：從「跳躍」變「平滑」

1. 傳統驅動（全步/半步）：

- A 相與 B 相線圈只有「全開」或「全關」。
- 馬達就像在走樓梯，一次跨一大階（例如常見的 1.8° ）。

2. 微步進驅動 (Microstepping)：

- 驅動器同時給 A 相與 B 相不同比例的電流。
- 透過 PWM 技術控制兩相線圈的電流比例，使其呈 正弦波與餘弦波 (Sine / Cosine) 階梯式變化。
- 向量合成：當 $I_A = I \cdot \cos(\theta)$ 且 $I_B = I \cdot \sin(\theta)$ 時，合成磁場的方向就可以被精準控制在兩極之間的任何角度 θ 。
- 透過將電流精細切分，原本一步 1.8° 的距離，就可以被分割成 8 微步、16 微步甚至 256 微步。

◎微步進帶來的特點

項目	傳統驅動 (Full Step)	微步進驅動 (Microstepping)
定位解析度	固定 (例：200 步/圈)	倍增 (例：1/16、1/64，可達數萬步/圈)
運轉平順度	頓挫感強，低速易產生振動與共振	極為平滑，顯著降低噪音與共振
單步轉矩	最大 (100% 保持轉矩)	細分越高，單個微步的增量轉矩越小

◎ 對單步可拉動轉矩 (Holding/Incremental Torque) 的具體的影響

微步進細分 (如 1/16、1/256) 會大幅降低單個微步的「增量轉矩 (Incremental Torque)」。

很多人誤以為「細分越高，定位越精準」，但實際上過高的細分會讓單步力矩小到無法克服馬達內部的摩擦力或外部負載，導致馬達在接收到前幾個脈衝時「完全不動」，直到累積足夠多的脈衝產生足夠力矩後才一次性躍進。

◎不同細分倍數的單步力矩變化表

以滿步保持轉矩 (Holding Torque) 為 100% 計算：

微步細分模式 (1/N)	單步增量轉矩比例 $\sin(90^\circ / N)$	實務定位意義
1/1 (全步)	100.00%	最大動態力矩與單步抗載能力。
1/2 (半步)	70.71%	保留絕大部分力矩，並提升部分平順度。
1/4 細分	38.27%	力矩下降明顯，但運轉噪音顯著降低。

微步細分模式 (1/N)	單步增量轉矩比例 $\sin(90^\circ / N)$	實務定位意義
1/8 細分	19.51%	單步力矩剩不到 20%。
1/16 細分	9.80%	單步力矩剩不到 10%（3D 列印機常用）。
1/64 細分	2.45%	單步力矩極低，極易被負載摩擦力抵銷。
1/256 細分	0.61%	單步力矩僅剩 0.61%。

◎ 關鍵影響與常見誤區：

1. 解析度（Resolution）≠ 精度（Accuracy）：

- **指令解析度：** 設定 1/256 微步時，驅動器每圈可接受 $200 \times 256 = 51,200$ 個脈衝。
- **實際機械精度：** 1/256 的單步力矩僅剩 0.61%。馬達自身的定位磁力矩（Detent Torque，約占 5%~20%）與軸承摩擦力就高於此數值。因此，下達單一 1/256 脈衝時，馬達軸基本上不會移動。

2. 微步進的主要價值是「平順度與防共振」：

- 微步進真正的優點在於大幅降低旋轉時的振動與噪音（降噪可達 90% 以上），並防止馬達在特定轉速下產生共振失步，而非用來取得高靜止負載的超高精度。

3. 轉動時的總轉矩並沒有消失：

- 雖然「單個微步」的力矩很小，但當控制器連續發送 16 個 1/16 脈衝時，馬達轉子會逐漸累積角度偏差，合成力矩會隨之增強，直到足夠推動負載。因此在**連續運轉**時，總輸出轉矩並不會像單步增量轉矩那樣銳減。

關鍵總結：微步進是透過 PWM 精密控制兩相電流比例，達成平滑運轉與高解析度的驅動技術。