

步進馬達數位解決方案

■作者：Ivan GATCHEV/ 意法半導體產品行銷經理

步進馬達

運轉順暢和高能效是步進馬達驅動器的設計要素。

在最簡單的步進馬達結構中，轉子上有一塊永磁體，定子上有兩組繞組，透過改變定子繞組內的電流方向驅動轉子轉動。每當電流方向變化時，定子磁場方向都會變化，為了與定子磁場方向對齊，轉子將會轉動一個角度。電流方向每變化一次，馬達就會轉動一步。因此，要想控制步進馬達的轉矩和轉速，就必須控制繞組內的電流。步進馬達有全步、半步和微步三個驅動模式。

本文將重點介紹步進馬達及其最新發展，例如，馬達數位技術。

傳統馬達轉速轉矩受限

傳統的電流式控制方法是檢測流經繞組的電流，並將回饋訊號送到控制晶片，然後由控制晶片決定是增加還是降低繞組電流，以取得所需的電流強度。這種控制方法使馬達在寬轉速和寬電源電壓範圍內保持理想的轉矩，非常適用於全步進和半步進馬達驅動，而且實現起來非常容易。

閉環控制電路將電流施加到繞組。反電動勢 (BEMF) 會降低繞組電壓，延長電流達到理想值的時間，因此，反電動勢限制馬達轉速。雖然系統無需知道反電動勢值，但是，不重視且不修正這個數值將會導致系統性能降低。

因為電源電壓變化導致峰值電流有時波動幅度很大，所以，直到現在，工程師還是儘量避免使用電壓式控制方

法。工程師們還想避免反電動勢隨著馬達轉速增加而升高的問題。

智慧電壓式控制系統

在這種情況下，業界出現了能夠補償反電動勢的智慧電壓式控制系統。這種驅動方法使馬達運轉更順暢，微步解析度更高，是對高精準度定位和低機械雜訊要求嚴格的應用的理想選擇。電壓式控制是一種開環控制：當正弦電壓施加到馬達相位時，機電系統將回饋正弦電流。

我們可以用數位方法補償反電動勢和峰流變化。在記住馬達的準確特性 (馬達電感 - 轉速曲線、反電動勢 - 轉速曲線、馬達電阻) 後，計算並施加電壓，以取得理想的電流值。

電壓式控制方法是向馬達施加電壓，而不是恒流。施加的電壓值能夠補償並完全消除反電動勢效應，施加電壓的上升速率與因馬達轉速增加而導致

圖 1：反電動勢 (BEMF) 補償

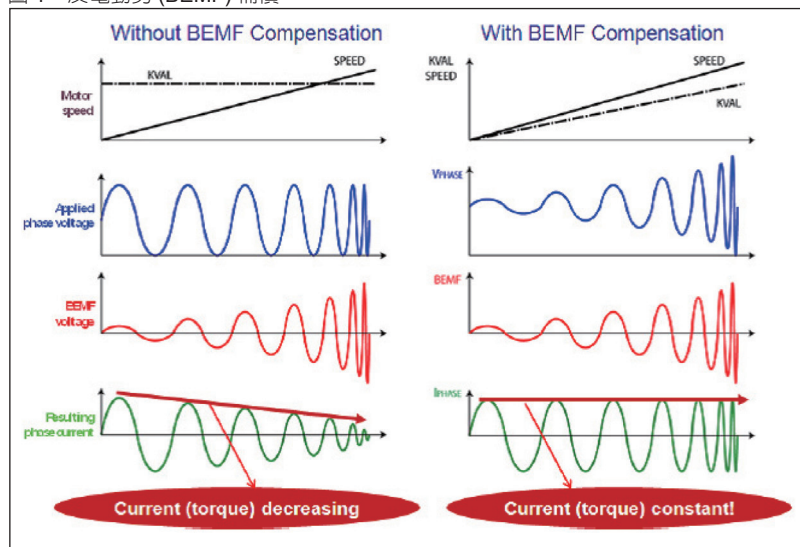
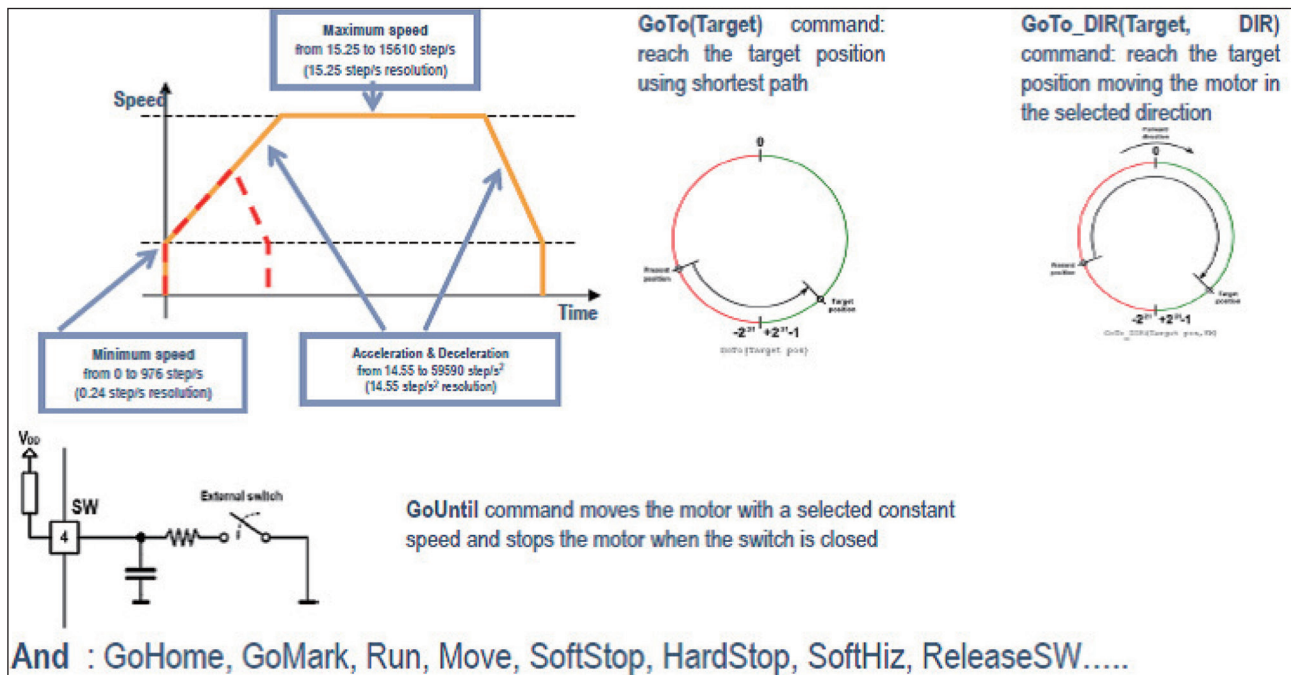


圖 2：行為命令



反電動勢上升的速率相同，保證電流幅度對轉速曲線平坦。在已知所需電流後，就可以確定取得該電流需要施加的準確電壓值。因此，電流是由電壓間接控制，如圖 1 所示。

電壓式控制還節省了分流電阻，可取得高微步解析度和極低的轉矩脈動。事實上，意法半導體的 L6470 取得了多達 128 步的微步控制。

這款數位馬達控制驅動器的核心是一個能夠降低微控制器資源佔用率的數位馬達引擎 (DME)。

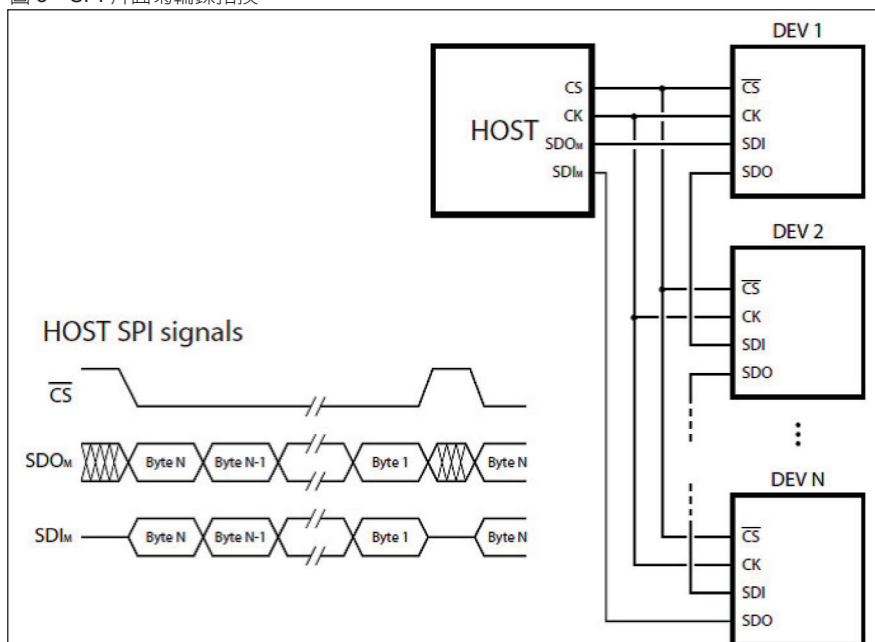
數位馬達控制引擎是由行為命令控制，例如，絕對位置請求，並按照預設轉速曲線邊界驅動馬達運動。全部指令集包括相對位置和絕對位置（達到目標位置）、轉速跟蹤（達到並保持目標轉速）和馬達停止順序，還包括機械位置感測器管理專用命令。圖 2 所示是前述部分命令。

該控制器透過具有菊輪鍊功能的高速 SPI 匯流排介面與主微控制器通訊。

透過一個序列介面，一個微控制器能夠管理多個控制器，從而控制多台步進馬達，如圖 3 所示。

除反電動勢外，其它需要補償的參數包括相電流、相電阻和電源電壓。

圖 3：SPI 介面菊輪鍊拓撲



The diagram illustrates the L6470 motor control system's compensation for motor phase resistance variation. It consists of the following components and connections:

- Top Callout:** A blue-bordered box containing the text: "Motor phase resistance increases during operation causing a phase current reduction and a torque loss". A blue arrow points from this box to the output of the PWM + H-Bridge block.
- Central Block:** A large grey rectangle containing the main control logic:
 - KTHERM:** A white box on the left. A blue arrow points from it to a central multiplier.
 - Multiplier:** A white circle with a blue "X" inside. A blue arrow points from the "Sinewave Amplitude" input to it.
 - PWM + H-Bridge:** An orange box on the right. A blue arrow points from the multiplier to it.
- Bottom Callout:** A blue-bordered box containing the text: "Resistance variation can be compensated by a programmable KTHERM coefficient (1 to 1.47)". A blue arrow points from this box to the KTHERM block.
- Output Stage:** To the right of the central block, the output of the PWM + H-Bridge is connected to a motor circuit consisting of a resistor and an inductor in series. A red arrow indicates the current flow through the resistor.

意法半導體的 L6470 和 L6472 都是採用這些創

Block diagram of a closed-loop motor control system:

- 5-bit ADC** measures actual motor supply voltage $V_s + n(t)$.
- Compensation algorithm (COMP)** calculates correction coefficient.
- Multiplier (X)** applies the compensation coefficient to the sinewave amplitude.
- PWM + H-Bridge** outputs the motor supply voltage $V_s + n(t)$.
- Sinewave Amplitude** is the reference input.
- Motor** is represented by an inductor L_{6470} and a resistor.

此外，意法半導體還推出了新產品 PowerSTEP01 的樣品，該產品採用系統封裝，整合數位馬達控制器 (DME) 和 8 個離散功率 MOSFET。

The diagram illustrates the system architecture centered around the **DME core**. Key components and their interconnections include:

- Power and Grounding:** The system is powered by V_{DD} and V_{SS} , with a dedicated V_{SS} pin and a **Charge pump** for V_{SS} . Grounding is established at **DGND** and **AGND**.
- Timing and Control:** **OSC1** and **OSC2** pins are connected to a **Clock gen. & Freq. divider**. **Vrefc** is connected to an **Int. 3V Reg.** and **ADCIN** to an **ADC**.
- Core Interfaces:** The **DME core** is connected to an **Interface** block, which manages V_{DD} and V_{SS} signals. It also interfaces with **Thermal sensing** and **DACs & Comparators** via TH_{SENK} and TH_{SD} signals.
- Output Drivers:** The core controls two sets of output drivers (A1, A2 and B1, B2), each consisting of a **DRIVER** and a **Current sensing** block. These drivers output signals to **OUT_A1**, **OUT_A2**, **OUT_B1**, and **OUT_B2**, which are connected to **PGNDx** pins.
- Protection:** A **UVLO** (Under Voltage Lock Out) block is connected to the **ADC** and the **DME core** to monitor the power supply status.

The diagram illustrates the system architecture for the DME core. At the center is the **DME core** block. It is connected to various peripheral components and power management blocks:

- Power Management:** Includes two **Voltage Reg** (Voltage Regulators) and a **Charge pump**. These are connected to power supply pins: **V3REG**, **VCC**, **VCCOREG**, **VREG**, **CP**, **VBOOT**, and **V5**. Ground pins include **AGND**, **OSGND**, **OSCOUT**, and **PGND**.
- Input/Output:**
 - Inputs:** **ADCN** (connected to an **ADC**), **VSD**, **CS**, **CK**, **SDO**, **SDI**, **STRB**, **FLAG**, **BUSYSYNC**, **STCK**, **SW**, and **DGND**.
 - Outputs:** **HVGA**, **OUTA**, **LVGA**, **HVGA**, **OUTA**, **LVGA**, **PGND**, **HVGR**, **OUTB**, **LVGR**, **HVGR**, **OUTB**, **LVGR**, **PGND**.
- Internal/Control Blocks:**
 - Temperature sensing** block connected to the core.
 - Overcurrent detection** block connected to the core.
 - 18MHz Oscillator** and **Ext. Osc. driver & Clock gen.** connected to the core.
 - SPI** (Serial Peripheral Interface) block connected to the core.
- Signal Processing:** The **ADC** (Analog-to-Digital Converter) is connected to the core.

2016.03/ 電子與電腦