

步進馬達組合

CVK 系列用驅動器控制及回路技術

引頭 一樹

Control and Circuit Technology of the CVK Series Stepping Motor Driver

Kazuki INTO

The stepping motor driver for the CVK Series has realized two features. First, the drivers use compatible hardware for both the 2-phase and 5-phase stepping motor. This feature is accomplished by a digital current control system using a high performance microcomputer, and configurable architecture of half bridge inverters. Second, use of this driver results in high output torque and low vibration. This is achieved by using low loss switching devices and motor current correction based on the motor's magnetic characteristics.

1. 前言

CVK 系列為大幅改善舊有步進馬達組合特性的產品（參照圖 1）。在 RENGA No.179 已介紹 CVK 系列的特色⁽¹⁾。

CVK 系列的特色在於，2 相步進馬達用驅動器及 5 相步進馬達用驅動器使用相同基板構成，與過去產品相比，在特性面進行改善，達到高轉矩化、低振動化。

本資料針對 CVK 系列用驅動器，為了實現這些特色而導入的控制技術及回路技術進行介紹。

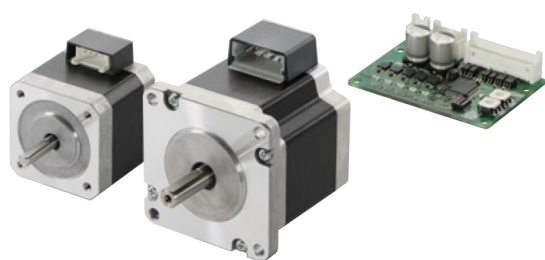


圖 1 CVK 系列

2. 2 相、5 相步進馬達用驅動器的共用設計

2.1. 馬達電流控制數位化

舊有步進馬達用驅動器的馬達電流控制系統，由專用 IC 及類比回路組合而成。馬達電流控制系統的構造，取決於使用元件及回路構成，一般而言 2 相步進馬達用驅動器與 5 相步進馬達用驅動器分別為專用回路。

相對於此，CVK 系列用驅動器的馬達電流控制系統採用以高性能微控制器進行數位處理的構成。由於使用微控制器，只要變更處理內容，就可以切換 2 相用電流控制系統及 5 相用電流控制系統。這是 CVK 系列用驅動器的特徵，能在同一基板實現 2 相步進馬達用驅動器及 5 相步進馬達用驅動器的背景之一。下一節說明電流控制系統的內部構造。

2.2. 2 相、5 相共用的電流控制方式

驅動器的功能為依照定位脈波信號，對流經馬達的電流做適當變化。CVK 系列用驅動器，為了控制流經馬達的電流，使用回授控制。圖 2 為步進馬達驅動器內部的電流控制系統模式圖。由電流控制器與電力增加器組合構成。

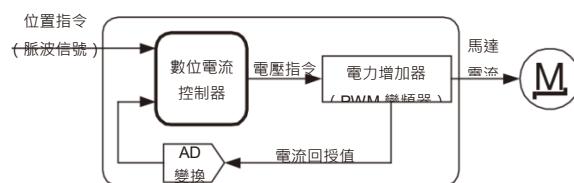


圖 2 內部控制構造模式圖

為了使步進馬達運轉，需要將與轉速頻率成比例的交流電流流過馬達的線圈。圖 2 所示的電流控制器內部則會變成如圖 3。雖然驅動器的功用是控制交流電流，但驅動器內部並非直接控制交流電流，而是採用先將交流信號變換為直流量，控制直流量後，再回復為交流信號的控制方式。聽起來雖然難以理解，此方式其實有以下的優點。第 1 點，交流 \leftrightarrow 直流變換時，將交流相數切換為 2 相或 5 相，可在相同的電流控制器，控制 2 相及 5 相。第 2 點，與在交流電的狀態下進行控制相比，轉為直流後可提高電流的控制性。

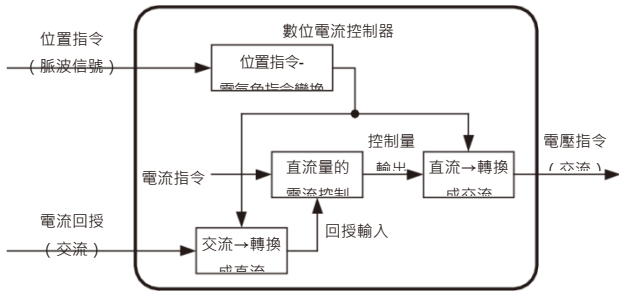


圖 3 數位電流控制器內部構造

2.3. 電力增加器的構成

微控制器輸出的 PWM 信號不具備可驅動馬達的電力，因此必須進行電力增加。透過使用 NchMOS-FET 的半橋回路組合進行電力增加。**CVK** 系列用驅動器搭載 5 個半橋回路系統。控制 5 相步進馬達時，5 個半電橋回路系統全數運作，進行 5 相電流控制。另一方面，控制 2 相步進馬達時，則將 2 個半橋回路系統組合為 H 橋回路，透過 2 個 H 橋回路系統，進行 2 相的電流控制（參照圖 4）。

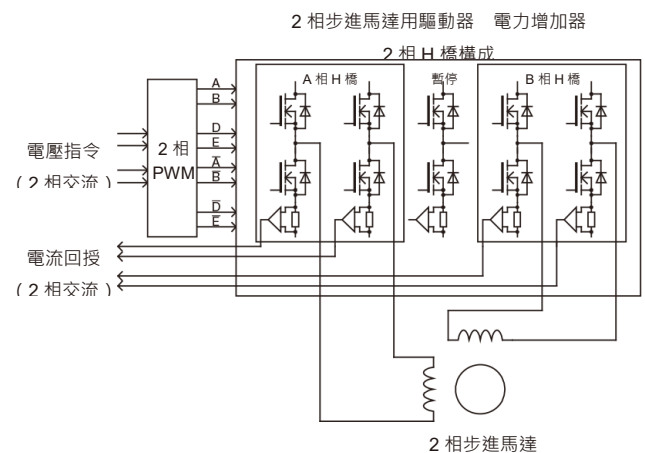
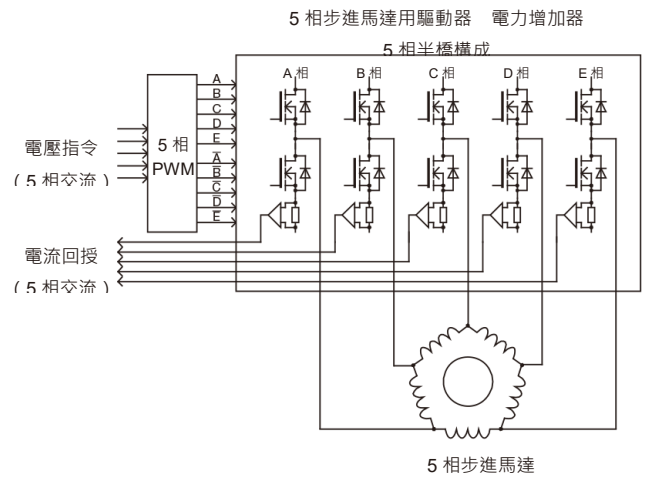


圖 4 電力增加器的構成

依上記所示，2 相步進馬達用驅動器及 5 相步進馬達用驅動器的切換可透過電流控制器的交流 \leftrightarrow 直流變換以變更相數及變更半橋回路組合來進行。這些變更的設定資料，在工廠出貨時已設定在驅動器所搭載微控制器的內藏記憶體中。

將 2 相步進馬達用驅動器及 5 相步進馬達用驅動器的硬體構成共用化，得到的優點不只提高使用方便性。透過零件共用化，售價方面也能彰顯優點。

3. 實現高轉矩化

提高馬達輸出轉矩，是重要的開發主題之一。藉由高轉矩化，可得到增加搬運重量、縮短生產節拍等效果。此外，也可維持相同輸出轉矩，但縮小馬達尺寸，得到讓設備小型化的效果。

CVK 組合為了實現高轉矩化，對舊有產品的馬達、驅動器這兩方面都進行了改良。為了實現高轉矩化，驅動器需要增加輸出電流值。藉此，能在全速度領域內增加輸出轉矩。

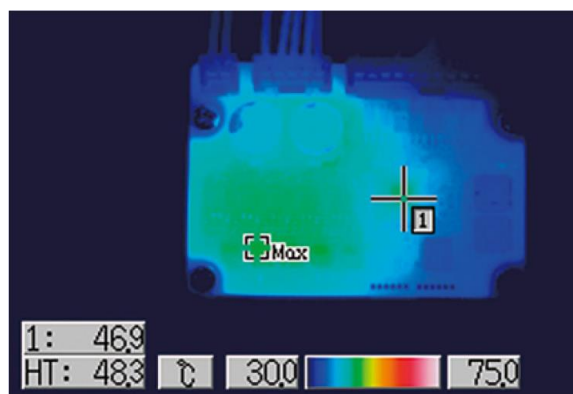
本章介紹實現提升輸出電流值的技術。

3.1. 採用低損失開關元件

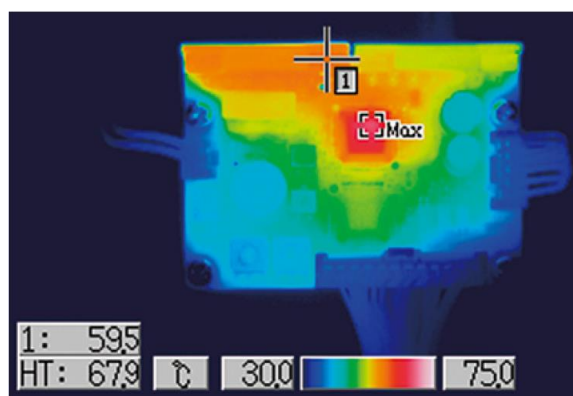
控制馬達電流的開關元件（NchMOS-FET）為搭載於驅動器的電子零件中發熱量最大的零件之一。FET 發熱的主因為當電流流經元件時，會與 ON 電阻變大成正比，增加導通損失。**CVK** 系列用驅動器所採用的低損失 FET 可將過去產品所搭載的 FET 的 ON 電阻減低 1/20。藉此減低發熱量。

圖 5 舊有產品 **CRK566** 及 **CVK566** 驅動器的熱影像觀察影像。馬達電流值統一為 1.4A/相，在相同條件下評估。相對於 **CRK566** 的驅動器最高溫度達 67.9°C，**CVK566** 的驅動器最高溫度只有 48.3°C。兩者的溫度相差約 20°C。

圖 6 為馬達無負載運轉時驅動器損失的比較圖表。損失差最大達 75%，此為驅動器發熱降低的佐證資料。



CVK566 (1.4A / 相)



CRK566 (1.4A / 相)

圖 5 相同運轉條件下的驅動器溫度分布比較

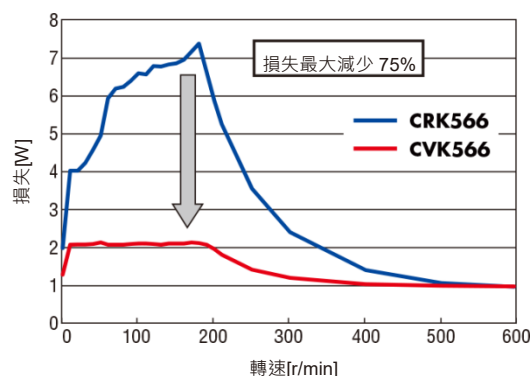


圖 6 馬達無負載時的驅動器損失比較

3.2. 考量電路板散熱的圖樣設計

為確保 FET 的穩定性，重點在降低 FET 的溫度。舊有的驅動器散熱對策，多是將 FET 產生的熱量傳遞至外接鋁製散熱板，讓溫度上升控制在規定值之下。相對於此，**CVK** 系列用驅動器，利用印刷電路板本身，使其發揮做為散熱板的功能，不須再安裝外接鋁製散熱板。為了使印刷電路板作為散熱板時能有效運作，必須降低基板的熱阻值。因此，設計印刷電路板時須注意以下內容。

- 1) 盡量讓銅箔面積最大
- 2) 通孔並列連接

此外，FET 採用的 Device 封裝方式，需可將元件內部產生的熱能有效率地傳導至印刷電路板。將圖 7 CVK 系列用驅動器的印刷電路板截面模式圖，以圖 8 的實際印刷電路板圖樣表示。將 FET 產生的熱量，傳遞至基板的銅箔，以進行散熱。

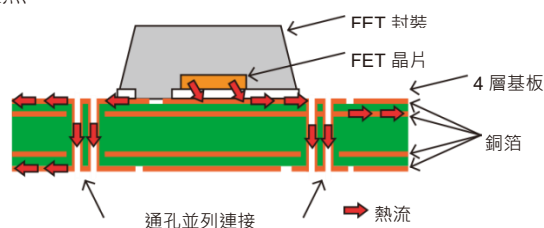


圖 7 FET 及印刷電路板截面模式圖

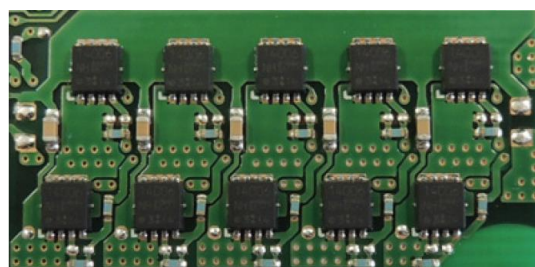


圖 8 實機的印刷電路板模式

透過減低發熱量及散熱到基板的構造，不需安裝外接鋁散熱板，即可增加輸出電流值。

4. 實現低振動化

理想上馬達最好是沒有振動，且能平順運轉，但實際上運轉時多少伴隨振動。此振動稱為運轉振動，將運轉振動控制在最小也是開發的重要課題之一。運轉振動大時，會造成與機器共振成為噪音源，或使搬運物因振動產生位置偏差等問題。

CVK 系列用驅動器使用以下 3 個方法減低運轉振動。

4.1. 透過各相電流檢知提高電流控制性

控制馬達是指控制流經馬達線圈的電流。若能適當控制流經馬達線圈的電流，就能讓馬達更平順運轉。因此，重點在於如何檢知馬達線圈電流。

舊有產品，比方說 5 相步進馬達，使用將連接於馬達上 5 條電纜線電流一次性檢知的全相電流檢知方式。此方法只需要 1 個檢知回路，優點為回路簡單，但無法檢知沒有通過檢知回路的回流電流，因此電流控制不穩定，若要抑制振動還需下一番功夫⁽²⁾。

另一方面，CVK 系列用驅動器為了消除此缺點，採用分別對 5 個電流檢知的各相電流檢知方式。雖然需要 5 個系統的檢知回路，但由於近年微控制器高性能化，因而能實施此種檢知方式。

4.2. 全速度領域實現微步級驅動

步進馬達會在每個步級角運轉、停止，因此特色為可進行高精度定位控制。但是，使其運轉至每個基本步級角時，轉子會產生較大的速度變化，這是造成振動或噪音的原因。為了抑制這些振動，使用微步級驅動。微步級驅動是將步級角以電路細分化的驅動方式。縮小步級角，可讓移動 1 個 step 時的速度變化控制在最小，藉此實現低振動。

CVK 系列用驅動器在全速度領域進行微步級驅動，藉此在全速度領域，可以將因步級動作引起的振動控制在最小。

4.3. 考量磁氣回路特性的電流修正

線圈電流範圍較小時，馬達的輸出轉矩與此電流成比例。隨著電流變大，因電樞反應磁束產生的磁氣飽和現象，電流與轉矩的關係會逐漸脫離比例關係(參照圖 9)。為了使馬達的輸出轉矩變大，脫離比例關係的領域也需有效活用。

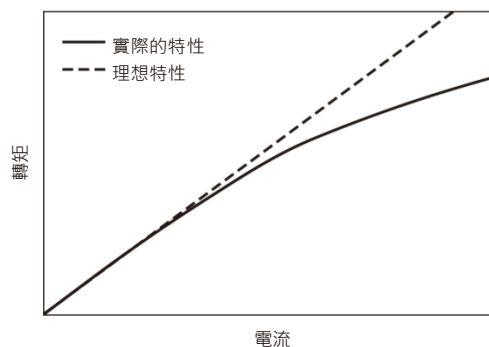


圖 9 電流—轉矩特性畸變的範例

變更激磁相位時的輸出轉矩變動稱為轉矩漣波。理論上，各相發生的轉矩大小，若為正弦波，則不會發生轉矩漣波。馬達電流與產生的轉矩的關係若為線性，使流經各相的電流成為正弦波，則不會發生轉矩漣波，但如前述，馬達電流與發生的轉矩的關係並非線性。因此，若將流經各相的電流值改為正弦波，電流值變大時，轉矩會發生畸變，導致發生振動。也就是，若要让高輸出轉矩及低振動兩者同時成立，就必須在控制上下足功夫。

因此，**CVK** 系列用驅動器對於流過馬達的正弦波電流相位實施適當的修正處理。藉由此修正處理，產生修正電流—轉矩特性的畸變修正效果，讓高輸出轉矩及低振動兩者同時成立。也一併改善了靜止角度誤差。

圖 10 為藉由此相位修正處理，可以讓運轉振動特性改善的說明圖表。有效進行修正處理，可大幅改善振動最高值。

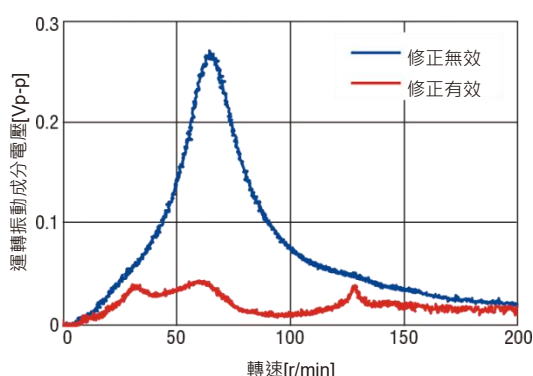


圖 10 藉由相位修正處理改善運轉振動例 CVK266

相位修正量的最佳值依照馬達的磁氣特性而變化。因此，與馬達組合的驅動器需要分別設定最佳的補正量。

東方馬達同時開發馬達及驅動器，考慮馬達的磁氣特性，進行電流控制，並引導出高性能，是本公司特有的優勢。

5. 總結

本資料針對 **CVK** 系列用驅動器搭載的各種技術進行介紹。

CVK 系列的特色為 2 相與 5 相可互換安裝，這是透過使用微控制器數位電流控制及切換電力增加器的半橋組合而實現。

採用損失小的開關元件及對基板散熱的構造，讓馬達電流可以增大，在全速度範圍可高輸出轉矩化。低振動化則採用可提高電流控制性的回路構成、數位電流控制，以及依照馬達磁氣特性的電流修正技術而實現。

東方馬達將更進一步發展由開發 **CVK** 組合所得到的技術，持續開發能回應客戶要求的產品。

參考文獻

- (1) 瀨谷 茂樹，「步進馬達組合 DC 電源輸入 **CVK** 系列的特色」，RENGA，No 179，(2014)，pp12-17
- (2) 新免 浩，榊原 昭宏，「5 相步進馬達組合 **RK II** 系列的特色」，RENGA，No 177，(2013)，pp4-10

作者



引頭 一樹

回路事業部