

ステッピングモーターユニット CVK シリーズ用ドライバの制御と回路技術

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. はじめに

CVK シリーズは従来のステッピングモーターユニットから、大幅に特性を改善した商品です(図1参照)。RENGA No.179において、CVK シリーズの特長について紹介しました⁽¹⁾。

CVK シリーズの特長として、2相ステッピングモーター用ドライバと5相ステッピングモーター用ドライバを同一の基板で構成した点、および従来製品と比較し、高トルク化・低振動化という特性面の改善が図られている点が挙げられます。

本稿では、これらの特長を実現したCVK シリーズ用ドライバに盛り込まれている、制御技術と回路技術について紹介します。

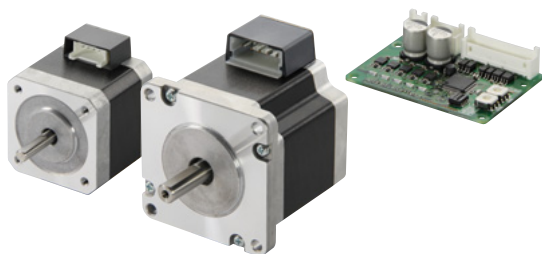


図1 CVK シリーズ

2. 2相・5相ステッピングモーター用ドライバの共用設計

2.1. モーター電流制御のデジタル化

従来のステッピングモーター用ドライバのモーター電流の制御系は、専用ICとアナログ回路の組み合わせに

より構成されています。モーター電流の制御系の構造は、使用する素子と回路構成で決まるため、2相ステッピングモーター用ドライバと5相ステッピングモーター用ドライバは、それぞれ専用の回路とすることが一般的です。

これに対しCVK シリーズ用ドライバは、モーター電流の制御系を高性能マイコンによるデジタル処理で構成しました。マイコンを用いることで、処理内容の変更のみで、2相用の電流制御系と5相用の電流制御系を切り替えることが可能となりました。これがCVK シリーズ用ドライバの特徴である、同一の基板で2相ステッピングモーター用ドライバと5相ステッピングモーター用ドライバを実現できた背景の1つです。次節にて、電流制御系の内部構造について説明します。

2.2. 2相・5相共用の電流制御方式

ドライバの役割はモーターに流れる電流を、位置決めパルス信号に応じて適切に変化させることです。CVK シリーズ用ドライバは、モーターに流れる電流を制御するために、フィードバック制御を用いています。図2にステッピングモータードライバ内部の電流制御系の模式図を示します。電流制御器と電力増幅器の組み合わせにより構成されていることがわかります。

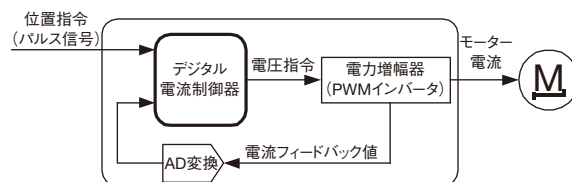


図2 内部制御構造模式図

ステッピングモーターを回転させるためには、回転速度に比例した周波数を持つ交流電流を、モーターの巻線に流す必要があります。図2で示した電流制御器の内部は図3のようになっています。交流電流を制御することがドライバの役割ですが、ドライバ内部では、交流電流を直接制御するのではなく、いったん、交流信号を直流量に変換し、直流量での制御の後、再度交流信号に戻すという制御を行っています。まわりくどく見えますが、この方式には次の利点があります。1点目は、交流⇄直流の変換において、交流の相数を2相または5相に切り替えることで、同一の電流制御器で2相と5相を制御することが可能となる点です。2点目は、交流のまま電流制御を行った場合と比較し、電流の制御性を向上させやすいという点です。

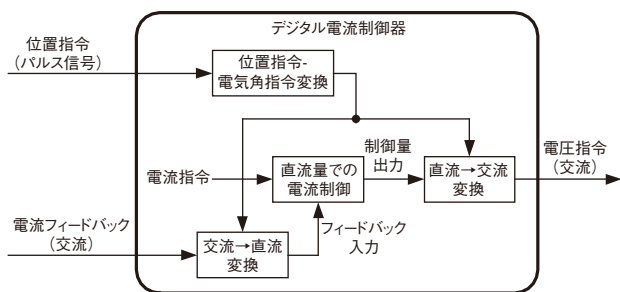


図3 デジタル電流制御器の内部構造

2.3. 電力増幅器の構成

マイコンから出力されるPWM信号はモーターを駆動するだけの電力がないため、電力増幅を行う必要があります。電力増幅はNchMOS-FETを用いたハーフブリッジ回路の組み合わせで行っています。CVKシリーズ用ドライバはハーフブリッジ回路を5系統搭載しています。5相ステッピングモーターを制御する場合は、5系統すべてのハーフブリッジを動作させることで、5相分の電流の制御を行っています。一方、2相ステッピングモーターを制御する場合は、ハーフブリッジを2系統組み合わせることで構成されるHブリッジを2系統構成し、2相分の電流の制御を行っています(図4参照)。

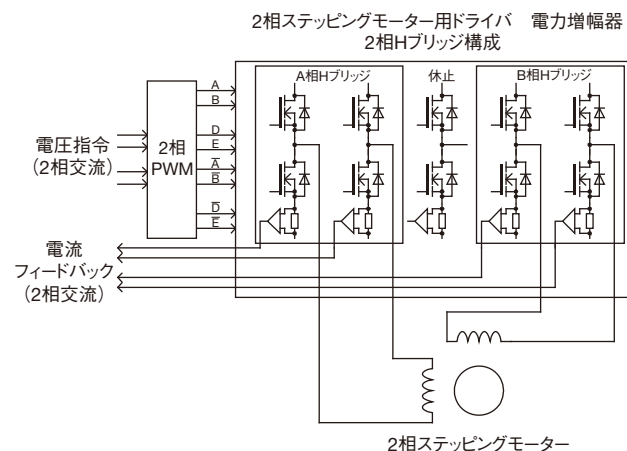
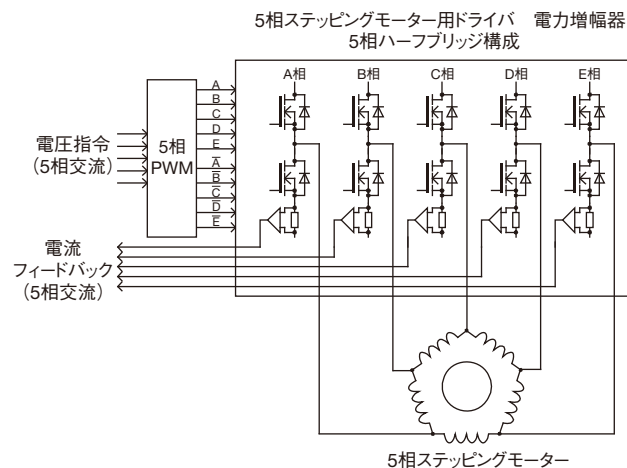


図4 電力増幅器の構成

上記にて、2相ステッピングモーター用ドライバと5相ステッピングモーター用ドライバの切り替えは、電流制御器での交流⇄直流変換の相数の変更、およびハーフブリッジの組み合わせの変更で行えることを示しました。これらの変更は、工場出荷時に、ドライバに搭載されているマイコンの内蔵メモリにデータを設定することで行っています。

2相ステッピングモーター用ドライバと5相ステッピングモーター用ドライバのハードウェア構成を共通化することで得られるメリットは、使い勝手の向上だけではありません。部品の共用化により、価格面でのメリットも実現しています。

3. 高トルク化の実現

モーターの出力トルクの向上は、重要な開発テーマの1つです。高トルク化により、搬送重量を増加させる、タクトタイムを短縮するといった効果を得られます。また、同じ出力トルクを保ったまま、モーターのサイズを小さくすることで装置の小型化が可能になるという効果も得られます。

CVKユニットでは、高トルク化の実現のため、モーター、ドライバの両面において従来品からの改良を行いました。高トルク化の実現のためにドライバに求められたことは、出力電流値を増加させることでした。これにより、全速度域で出力トルクを増加させることが可能になります。

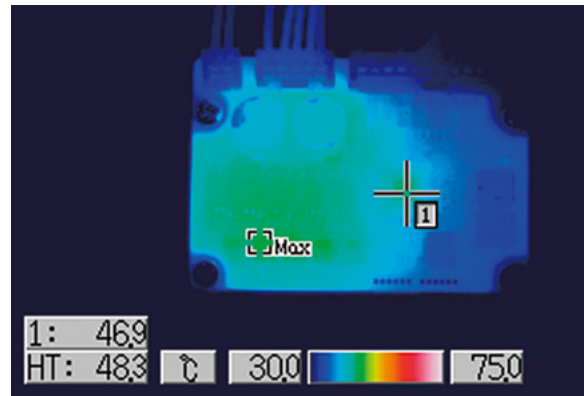
本章では、出力電流値の向上を実現した技術について紹介します。

3.1. 低損失スイッチング素子の採用

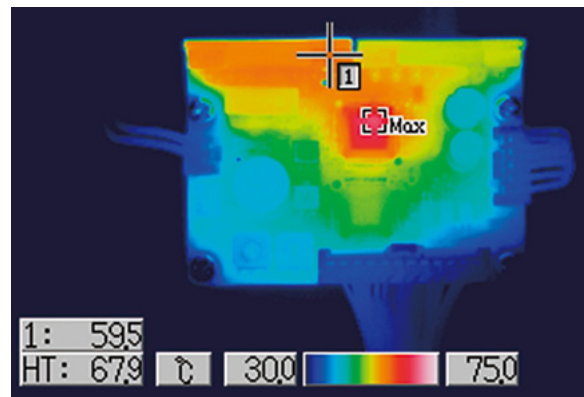
モーター電流を制御するスイッチング素子 (NchMOS-FET) は、ドライバに搭載されている電子部品の中で発熱が大きい部品の1つです。FETの発熱の主要因は、素子に電流を流した際に、オン抵抗の大きさに比例して増加する導通損失です。**CVK**シリーズ用ドライバは、従来製品に搭載されているFETのオン抵抗を1/20に低減した低損失のFETを採用しました。これにより、発熱量自体を低減しています。

図5は従来品の**CRK566**と、**CVK566**のドライバのサーモグラフィー画像です。モーター電流値を1.4A/相に合わせ、同一条件で評価を行いました。**CRK566**のドライバは最高温度が67.9℃に達しているのに対し、**CVK566**のドライバの最高温度は48.3℃に収まっています。両者の温度差は約20℃に及びます。

図6はモーターを無負荷で運転した場合に、ドライバの損失を比較したグラフです。損失の差は最大で75%に及び、ドライバの発熱が低くなっていることを裏付けるデータです。



CVK566 (1.4A/相)



CRK566 (1.4A/相)

図5 同一運転条件でのドライバ温度分布比較

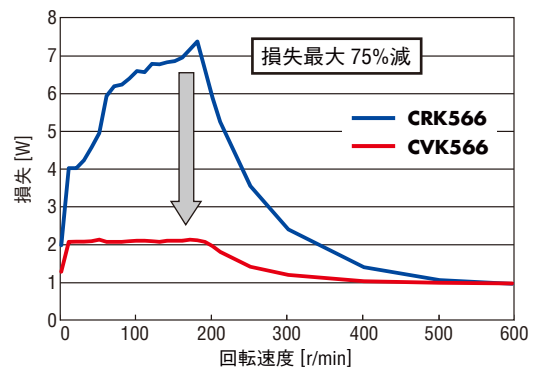


図6 モーター無負荷時のドライバ損失の比較

3.2. 基板への放熱を考慮したパターン設計

FETの信頼性を確保するためには、FETの温度を低く抑えることが重要です。従来のドライバの熱対策は、FETで発生した熱を、外付けのアルミニウム製放熱板に逃がすことで温度上昇を規定値に抑えるというものでした。これに対し、**CVK**シリーズ用ドライバでは、プリント基板自体を放熱板として機能させることで、外付けのアルミ放熱板を不要としています。プリント基板を放熱板として有効に働かせるためには、基板の熱抵抗を下げる必要があります。そのため、プリント基板は以下の内容に留意し設計しました。

- 1) 銅箔の面積を極力広く確保
- 2) スルーホール並列接続

また、FETは素子内部で発生した熱を効率よくプリント基板に伝えるパッケージを持つデバイスを採用しました。図7にCVKシリーズ用ドライバのプリント基板断面模式図を、図8に実機のプリント基板パターンを示します。FETで発生した熱は、基板の銅箔を伝わることで放熱されます。

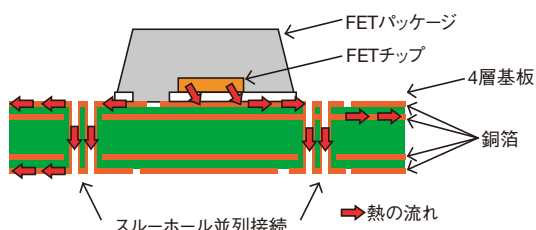


図7 FETおよびプリント基板断面模式図

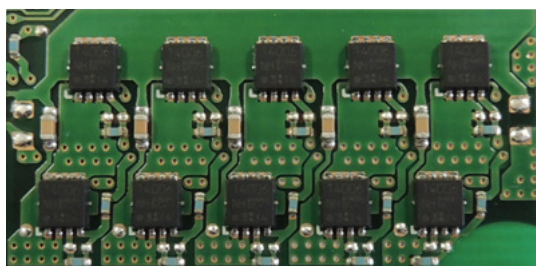


図8 実機のプリント基板パターン

発熱量自体の低減、および基板への放熱構造により、外付けのアルミ放熱板を装着することなく、出力電流値の増加が可能となりました。

4. 低振動化の実現

モーターは振動がなくなめらかに回転することが理想ですが、実際には多少の振動を伴いながら回転することとなります。この振動を回転振動と呼んでおり、回転振動を小さく抑えることも開発における重要なテーマの1つです。回転振動が大きいと、機器と共振して騒音源となったり、搬送物が振動でずれるなどの弊害が生じます。

CVKシリーズ用ドライバでは、以下に示す3つの方法により回転振動の低減を行っています。

4.1. 各相電流検出による電流制御性向上

モーターを制御するという事は、モーター巻線に流す電流を制御するということです。モーター巻線に流す電流を適切に制御できれば、モーターをよりなめらかに回転させることが可能です。そのためには、モーター巻線電流をどのように検出するのかという点がポイントとなります。

従来品は、5相ステッピングモーターの場合、モーターに接続されているケーブル5本分の電流を一度に検出する全相電流検出方式を用いています。この方法は検出回路が1つで済み、回路が簡単というメリットがある一方、検出回路を通らず還流してしまう電流は検出できず、このため電流制御が不安定となり、振動を抑えるには工夫が必要でした⁽²⁾。

一方、CVKシリーズ用ドライバではこのデメリットを無くすために、5つの電流をおのおの検出する各相電流検出方式を採用しています。検出回路は5系統必要となりますが、近年のマイコンの高性能化により、検出が可能となりました。

4.2. 全速度域でのマイクロステップ駆動の実現

ステッピングモーターは、ステップ角ごとに回転・停止するため、位置制御が高精度に行えるのが特長です。しかし、基本ステップ角ごとに回転させた場合、ローターには大きな速度変化が生じるため、これが振動や騒音の原因となる場合があります。この振動を抑えるために用いられるのがマイクロステップ駆動です。マイクロステップ駆動はステップ角を電氣的に細分化する駆動方式です。ステップ角を小さくすることで1ステップ移動時の速度変化を小さく抑え、これにより低振動を実現することが可能です。

CVKシリーズ用ドライバは全速度域でマイクロステップ駆動を行っており、これにより全速度域で、ステップ動作起因の振動を小さく抑えています。

4.3. 磁気回路特性を踏まえた電流補正

巻線の電流が小さい領域では、モーターの出力トルクは、この電流に比例します。電流が大きくなるに従い、電機子反作用磁束により生じる磁気飽和現象のため、電流とトルクの関係は徐々に比例関係から外れていってしまいます(図9参照)。モーターの出力トルクを大きくするためには、比例関係から外れる領域も有効に活用する必要があります。

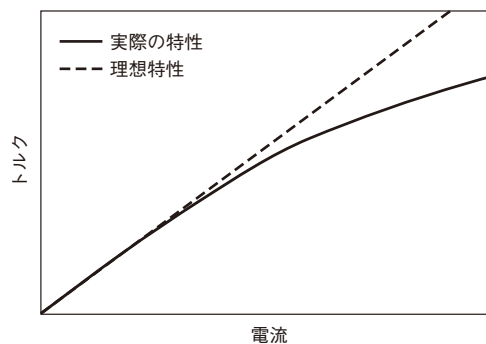


図9 電流—トルク特性の歪みの例

励磁位相を変えたときの出力トルクの変動をトルクリップルと呼びます。理論上は、各相で発生するトルク大きさを正弦波状にすることで、トルクリップルは発生しません。モーター電流と発生するトルクの関係が線形であれば、各相に流す電流を正弦波状にすることで、トルクリップルが発生しませんが、前述のとおり、モーター電流と発生するトルクの関係は線形ではありません。そのため、各相に流す電流値を正弦波とすると、電流値が大きくなる箇所でトルクの歪みが発生し、振動の原因となってしまいます。つまり、高出力トルクと低振動を両立するためには制御上での工夫が求められます。

そこで、**CVK**シリーズ用ドライバは、モーターに流す正弦波電流の位相を適切に補正する処理を行っています。この補正処理により、電流—トルク特性の歪みを補正する効果を生み出し、低振動と高出力トルクを両立しました。併せて静止角度誤差も改善できています。

図10はこの位相補正処理によって、回転振動特性がどの程度改善されるかを示したグラフです。補正処理を有効にすることで、振動のピーク値が大幅に改善されています。

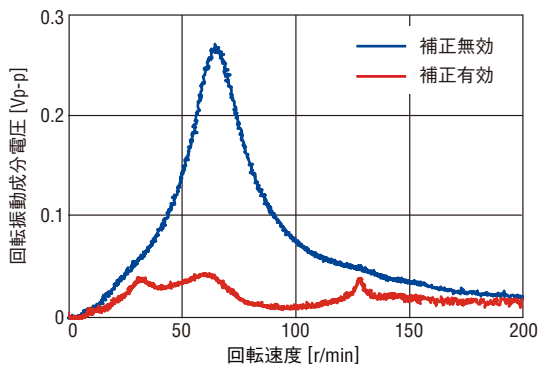


図10 位相補正処理による回転振動の改善例 **CVK266** の場合

位相補正量の最適値は、モーターの磁気特性によって変化します。そのため、モーターと組み合わせるドライバごとに、最適な補正量を設定しています。

モーターの磁気特性を考慮したうえでの電流制御を行い、高い性能を引き出すというのは、モーターとドライバ両方の開発を行っている、オリエンタルモーターならではの強みです。

5. まとめ

本稿では**CVK**シリーズ用ドライバに搭載されている各技術について紹介しました。

CVKシリーズの特長である2相5相取付互換は、マイコンを用いたデジタル電流制御、および電力増幅器であるハーフブリッジの組み合わせを切り替えることで実現しています。

損失の小さいスイッチング素子の採用、ならびに基板への放熱構造の採用により、モーター電流の増大を可能とし、全速度域で高出力トルク化を図りました。低振動化は、電流制御性の向上が可能な回路構成の採用、デジタル電流制御の採用、さらにモーターの磁気特性を踏まえた電流補正技術により実現しました。

オリエンタルモーターでは、**CVK**ユニットの開発により得られた技術をさらに発展させ、お客様のご要望に応える商品開発を引き続き行ってまいります。

参考文献

- (1) 瀬谷 茂樹,「ステッピングモーターユニットDC電源入力**CVK**シリーズの特長」,RENGA, No 179, (2014),pp12-17
- (2) 新免 浩,榎原 昭宏,「5相ステッピングモーターユニット**RKII**シリーズの特徴」,RENGA, No177, (2013), pp4-10

筆者



引頭 一樹

回路事業部