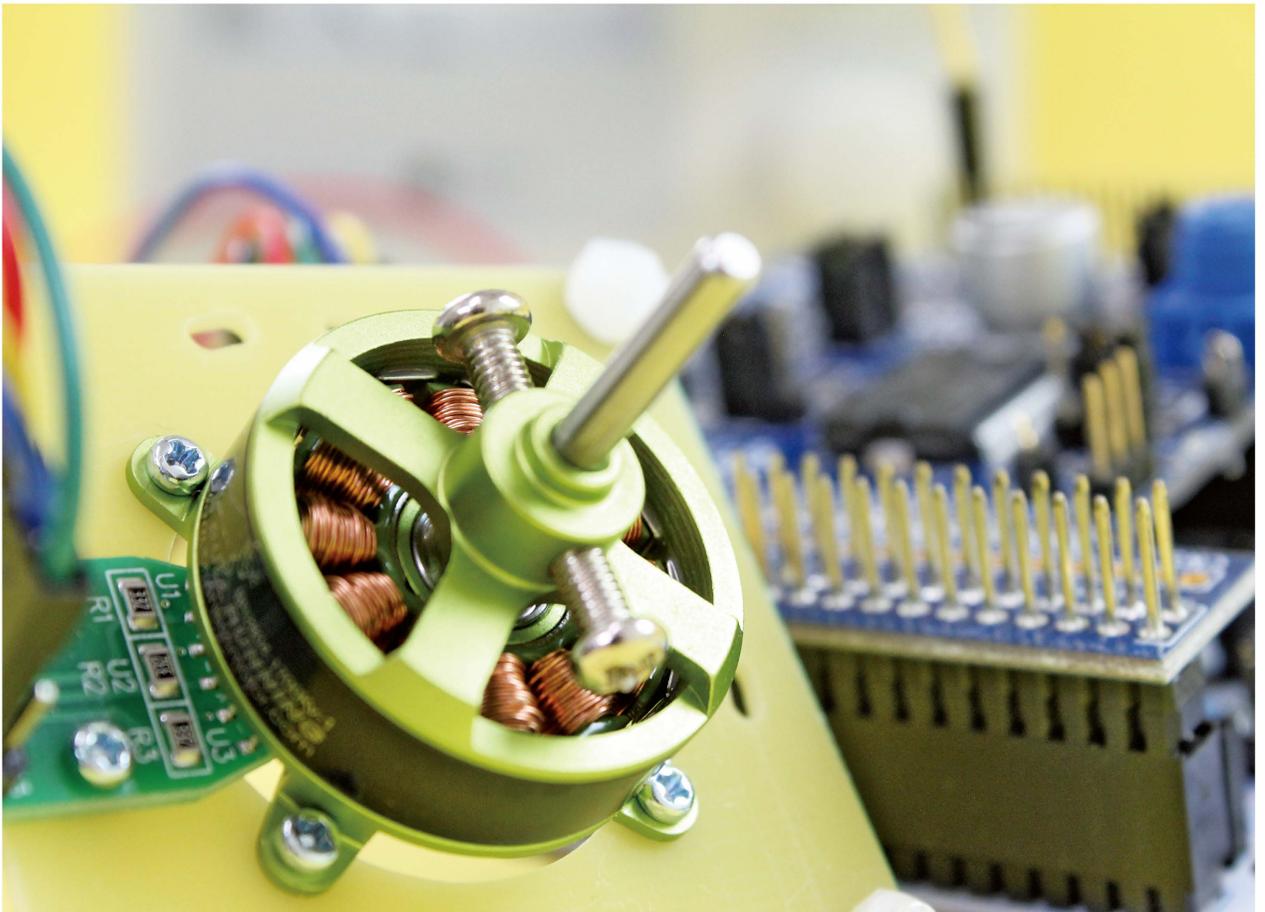


EVカー/ドローン/小型ロボ/
パワー・アシスト装置



STマイコンで始める ブラシレス・モータ制御

大黒 昭宜 著



本書の内容
を試せる

スタータ・キット発売中

このPDFは、CQ出版社発売の書籍
「STマイコンで始めるブラシレス・モータ制御」の一部見本です。
内容・購入方法はこちら/下記Webサイトをご覧ください。
内容 : <https://shop.cqpub.co.jp/hanbai/books/48/48011.html>
ホール・センサ基板/ケーブルなど

CQ出版
WebShop検索→



見本

CQ出版社

CQ出版社から購入できるキットの紹介

(キット付き書籍を購入した方は次ページへお進みください)

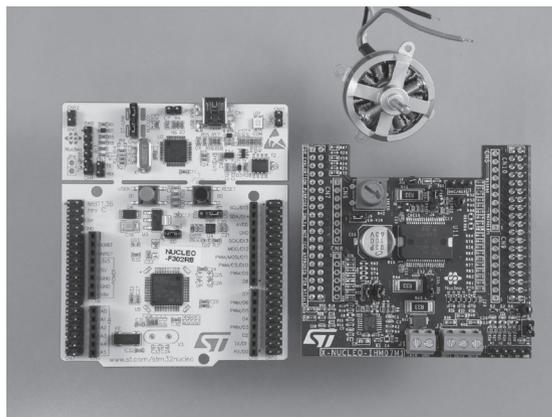


写真1 市販のモータ制御基板セット P-NUCEO-IHM001

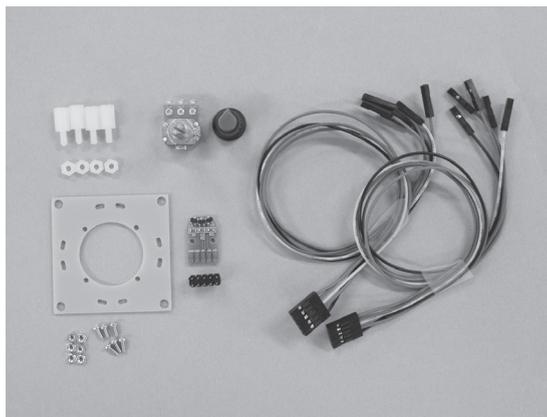


写真2 CQ出版社で用意したホール・センサ基板やケーブル

● 入手先

CQ出版社から購入できます。価格は送料込みで5,500円(税抜き)です。

<https://www.cqpub.co.jp/hanbai/kit.htm>

● キットの中身

▶マイコン基板/モータ・ドライバ基板/モータのセット(写真1)

市販のモータ制御基板セット P-NUCEO-IHM001 (STマイクロエレクトロニクス) は以下の3点で構成されます。

- Cortex-M4 CPU搭載マイコン・ボード：
NUCLEO-F302R8
- L6230モータ・ドライバ・ボード：
X-NUCLEOIHM07M1
- DCブラシレス・モータ：BR2804-1700KV-1

▶ホール・センサ基板やケーブルなど(写真2)

CQ出版社にて以下を用意しました。

- ホール・センサ基板
- コネクタやケーブル
- ボリュウム、キャップ
- スペーサやネジ

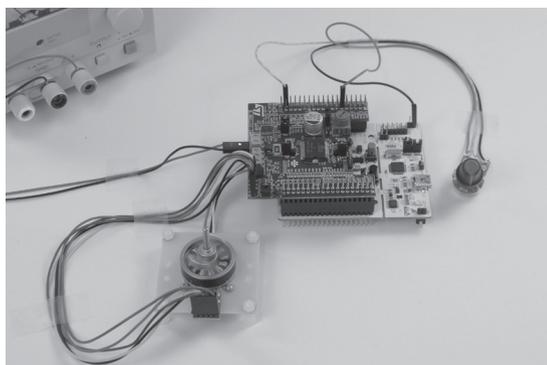


写真3 キットを組み立てた様子

● ご自分で用意するもの

- ACアダプタ (DC9 ~ 12V, 2A) または安定化電源
- PCとの通信用USBケーブル
- オシロスコープ(なくてもOK)

詳細はp.36を参照してください。写真3に実験時の接続の様子を示します。

見本

モータ制御体験キットのハードウェア

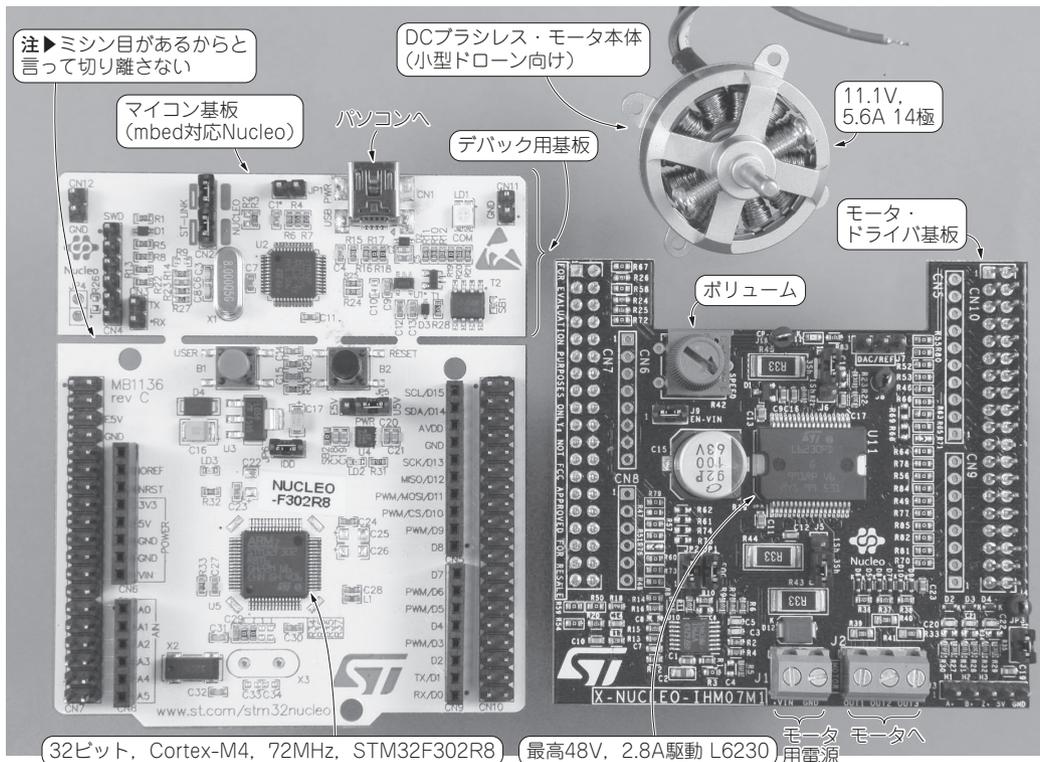


写真1 マイコン基板/モータ・ドライバ基板/モータのセット(市販品) P-NUCLEO-IHM001

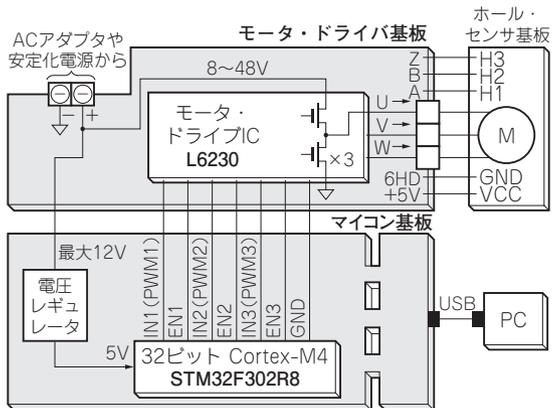


図1 モータのベクトル制御体験にはマイコン基板とモータ・ドライバ基板, ホール・センサ基板を使う

モータ制御の体験に必要なハードウェアは、大きく3種類あります。

- A, 市販のモータ制御キット P-NUCLEO-IHM001
- B, CQ出版社から購入するもの
- C, 読者が用意するもの

以下, 順に説明します。

- A, マイコン基板/モータ・ドライバ基板/モータのセット(市販品) P-NUCLEO-IHM001

P-NUCLEO-IHM001 (STマイクロエレクトロニクス)は, 次の3点で構成されます(写真1, 図1, 表1)。

- 1, Cortex-M4 CPU搭載マイコン基板: NUCLEO-F302R8

見本

表1 P-NUCLEO-IHM001のハードウェア仕様

項目	詳細
型名	NUCLEO-F302R8
メーカー	STマイクロエレクトロニクス
プロセッサ	STM32F302R8 (32ビットCortex-M4 with FPU)
動作速度	最高72MHz
電源電圧	9~12V (マイコン単体は2~3.6V)
クロック	4M~32MHz水晶発振器 (内部8MHz RC発振×16PLL)
RAM	16Kバイト
フラッシュ	32K~64Kバイト
ペリフェラル	I/O端子 - 51本, 7チャンネルDMA, 1チャンネル12ビットA-Dコンバータ0.20μs (最多15チャンネル), 温度センサ, レール・ツー・レール・アナログ・コンパレータ×3, OPアンプ, 18のコンデンサ容量入力, タイマ×9 (6PWM, 2ウォッチドッグ)
外部インターフェース	I ² C, USART, SPI, USB 2.0フルスピード, CAN
デバッグ	Serial wire debug (SWD)

(a) マイコン基板

表2 L6230の端子の意味

端子名	役割
VS _A , VS _B	モータ電圧 V _{IN} : 8~48V
DIAG-EN	チップ・イネーブル
IN1, IN2, IN3	PWM入力, 最高100kHz
EN1, EN2, EN3	イネーブル信号 “L” 時にOUTxをハイ・インピーダンスに
OUT1, OUT2, OUT3	モータ3相駆動出力
SENSE1, SENSE2, SENSE3	3相電流検知のためのシャント低抗取り付けピン
CP+, CP-	コンパレータ入力
CPOUT	コンパレータ出力

2. L6230モータ・ドライバ基板: X-NUCLEOIHM07M1

3. DCブラシレス・モータ: BR2804-1700KV-1

このキットの詳細は後述します。チップワンストップやDigi-Keyで購入できます。

● B, CQ出版社から購入するもの

本書のために以下を用意しました。(写真2, 表2)

- ホール・センサ基板
- コネクタやハーネス
基板同士の接続に使用します。
- ボリューム
モータの速度指令に使用します。
- スペーサやねじ
ホール・センサ基板の組み立てに使用します。

項目	型名
型名	X-NUCLEO-IHM07M1
ドライバIC	L6230 (STマイクロエレクトロニクス)
最大/最小電圧	48V/8V
最大/平均電流	2.8A/1.4A
PWM許容周波数	最高100kHz
出力方式	3相
保護回路	過電流検出と保護, 貫通電流防止(デッド・タイムを設ける), 熱測定および過熱保護
コネクタ	STM32 Nucleo boards互換
インターフェース	1相/3相シャント・モータ電流センサ, ホール/エンコーダ・センサ回路, 速度調整のために利用可能なポテンショメータ, デバッグ用D-Aコンバータ, GPIO

(b) モータ・ドライバ基板

項目	詳細	項目	詳細
型名	BR2804-1700KV	連続運転出力	12540rpm
メーカー名	Bull-Running	直列抵抗	0.11Ω
極数, スロット	14極	インダクタンス	0.018mH
電圧	11.1V	誘起電圧 (BEMF)	0.4Vrms/Krpm
電流	5.6A	起動トルク	253gcm
最高回転数	1800rpm		

(c) DCブラシレス・モータ

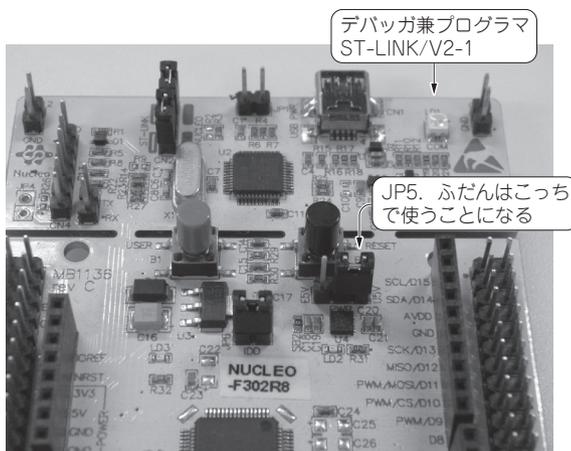


写真2 JP5の設定…PCからのプログラミング時はU5Vに、スタンドアロン時はE5Vに接続

● C, 読者が用意するもの

- ACアダプタまたは安定化電源
モータの駆動用です。モータ・ドライバ基板に接続します。出力電圧DC9~12V, 出力電流2A以上の品を用意してください。
- PCとの通信ケーブル(USB)
USBケーブルはタイプA-タイプBミニタイプBを用意します。

見本

1 番基本のセンサ付き制御

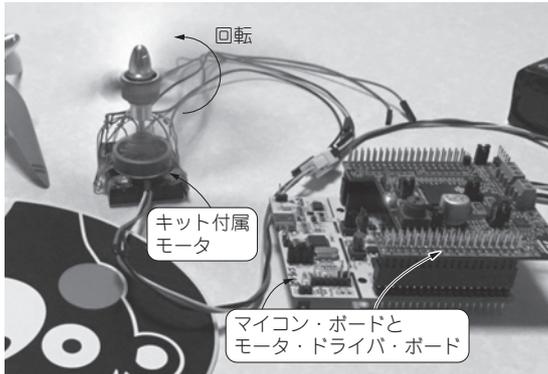


写真1 まずは基本方式「矩形波駆動」でDCブラシレス・モータを回す

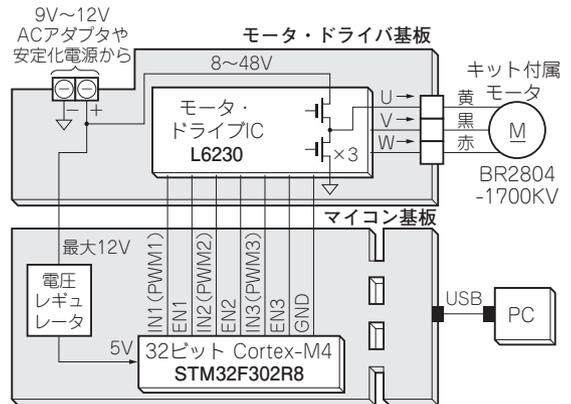


図1 DCブラシレス・モータ3大制御制覇のための実験構成

基本の「センサ付き矩形波駆動」で回してみる

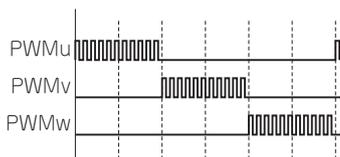
DCブラシレス・モータの制御(写真1, 図1, 図2)には以下の3つがあります。

- 矩形波駆動
- 正弦波駆動
- ベクトル制御

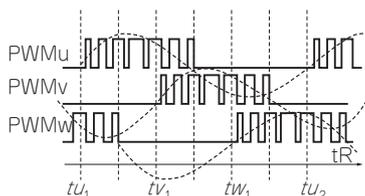
図2の中で最も基本となるのは「矩形波駆動」です。他の2つと比べて最も演算負荷が少なく、8ビット・

マイコンでも十分駆動できます。演算負荷が少ない点で、他の2方式よりも最高回転数をたたき出しやすい方式です。コスト・パフォーマンスに優れているため、多くの機器で使われています。

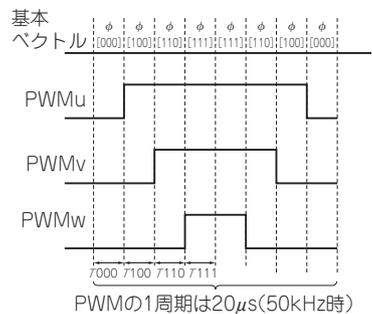
PWM駆動をすることで、回転数や出力を調整します。ただし、静音性および効率は、のちに紹介する正弦波駆動とベクトル制御よりも劣ります。



(a) 矩形波駆動



(b) 正弦波駆動

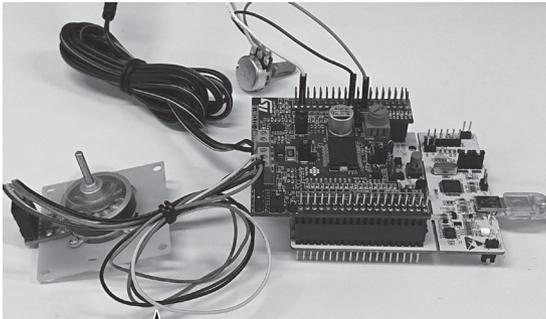


PWMの1周期は20μs(50kHz時)
(c) ベクトル制御(空間ベクトル駆動)

図2 PWM信号の出力を適切に制御すればいろんな駆動方式が実現できる

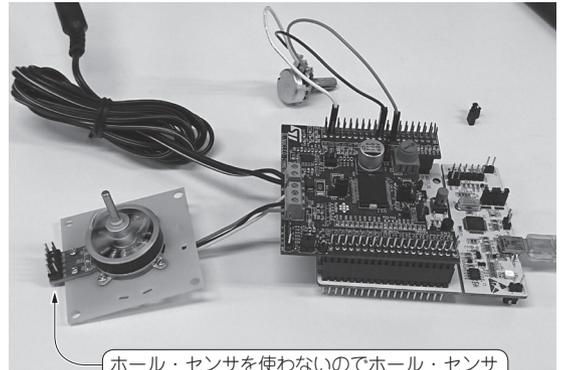
見本

センサ付き / センサレス制御の特徴



モータ・ドライバ基板と
ホール・センサ基板とを接続

(a) センサ付き



ホール・センサを使わないのでホール・センサ
基板へのケーブルを外した

(b) センサレス

写真1 センサ付きとセンサレス両方の矩形波駆動の実験を通してそれぞれにどのような用途に向くのかを探る

1章と2章で矩形波駆動におけるセンサ付き制御、センサレス制御の仕組みとプログラムについて解説しました。本章ではセンサ付きとセンサレスのメリット/デメリットを確かめるために、幾つかの実験を行います。図1に実験時のハードウェア構成を、写真1に実験の様子を示します。

比較1…無負荷最高回転数

● 回転数の導出式

今回はオシロスコープにてPWM駆動周期を測定します注1。図2から回転数は次式で表されます。センサ付き最高回転数 N_{smax} [rpm] は、

$$N_{smax} = 1 / (0.6 \times 10^{-3} \times 7) \times 60 = 14,285$$

になり、センサレス最高回転数 N_{rmax} [rpm] は、

$$N_{rmax} = 1 / (1.8 \times 10^{-3} \times 7) \times 60 = 4,762$$

となりました。上式中の7は極ペア数、60は1分間の秒数になります。

注1: CPLT モニタで測定すると、センサレスの場合にタイムラグが発生し純粋な最高回転数が取得できないため。

● センサ付き…10000回転超

図2(a)のセンサ付き矩形波駆動のU相が、V相、W相よりも駆動時間が短くなっています。ホール・センサの位置調整(進角調整)をしっかり行くと15000回転になります。小さいモータ(直径25mm)ですので、回転磁石14個の設置ばらつきで、進角調整後はモータ個別で矩形波駆動の形(UVW相PWM駆動時間)が変わるようです。

● センサレス…回転が上らない、不安定

センサレス制御は、センサ付きよりも回転数が少なく、かつ不安定です(実験では約5000rpm)。前章で述べたようにセンサレスでの進角調整がU、V、W相で一律になっていることが原因です。各相で進角調整できるソフトウェアは今後の課題にします。

ちなみにセンサレス制御でU相のPWM駆動時間を故意に削った結果は図3のようになり、同じ消費電力で回転数が上がりました。

$$N_{rmax} = 1 / (1.5 \times 10^{-3} \times 7) \times 60 = 5,714$$

となり、約1000rpmアップしました。

モータ・サイズが小さいため、ロータの磁石設置にばらつきがあり、「均等にU、V、W相を駆動する

見本

算術三角関数による駆動

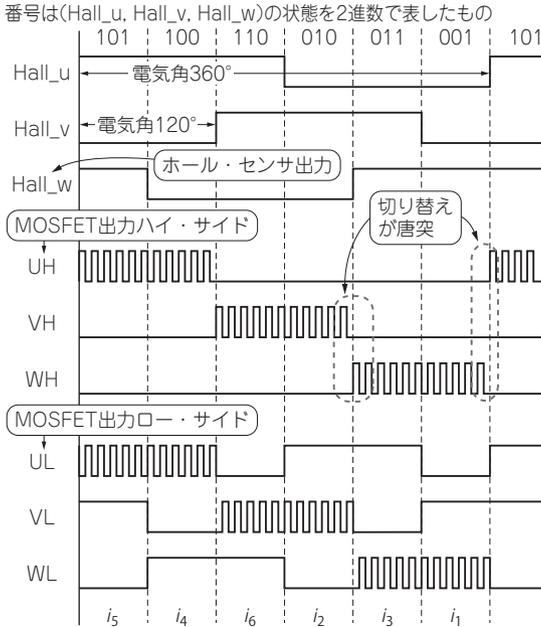


図1 今までの矩形波駆動(6ステップ)の制御ON/OFFタイミング…切り替えるときに滑らかさがなくて効率が良くないという課題がある

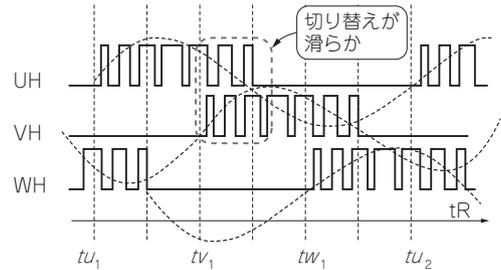


図2 本章で解説する正弦波駆動は駆動電流を滑らかに切り替えることで高効率&静かに回せる

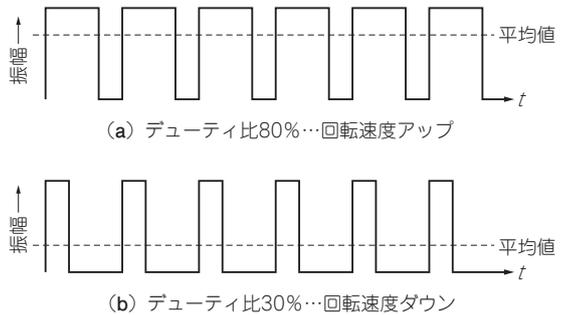


図3 PWM駆動時のパルス幅でコイルに流す電流を調整する

正弦波駆動とは

前章まではDCブラシレス・モータを矩形波駆動(6ステップ)にて回しました(図1)。今回はPWM波形を工夫して正弦波駆動することで、より静音化、より低消費電力化(高効率化)を図ってみます(図2)。

● これまでの矩形波駆動

図1は前章のPWM波形です。回転数を一定に保つ場合、一定の周期でU、V、W相を駆動します。回転速度を上げたい場合は一定周期の“H”の期間を長く[図3(a)]、回転数を下げたい場合は“H”の期間を短くします[図3(b)]。

図4のホール・センサ信号が(Hall_u, Hall_v,

Hall_w) = (1, 0, 0) = 4のタイミングで、ロータ磁石が図5(a)の位置に来るようにすると、トルクが最大になります。

U相はPWM駆動で図5(a)の矢印方向に電流を流すとフレミングの右ねじの法則でPWM駆動磁界は回転磁石方向にN極が発生します。この駆動磁界N極は回転磁石のS極に対して吸引、N極に対しては反発になりますので、図5(a)のように回転磁石のN極とS極の境界で駆動磁界N極を発生すると最大のトルクになります。このことは回転磁石が作る磁界に対して90°の駆動磁界Nになるように各相ステータ・コイルを駆流することが最適制御であることを示しています。

次に図4のホール・センサ信号(Hall_u, Hall_v, Hall_w) = (1, 1, 0) = 6のタイミングを見てみます。図5(b)

見本

z変換による駆動

今回の実験

前章ではDCブラシレス・モータのU, V, W相を駆動する際の波形を、矩形波から正弦波に置き換える方法について解説しました(図1)。その際に正弦波を通常のsin関数にて生成しましたが、マイコンの性能不足から演算処理にリミットがかかり、ブラシレス・モータの回転数を上げる際の足かせになっていました。

今回、改善案として、固定小数点演算にて、「再帰フィルタ法」なる方式で正弦波を生成してみます。処理は離散時間のデジタル処理を行うためにz変換を利用します。

● 前章の算術三角関数の課題…xの値が大きいきに処理時間が長くなる

主にC言語では算術三角関数sinの計算の実装は、テイラー展開の無限級数で図2(b)のような数式になっています。無限級数ですので、どこかで丸めが必要となり、主にdouble型の桁数に合うようにnの次数を決めます。xが大きいくほど収束性が悪くなり、nの次数を大きくするため、処理時間が長くなります。

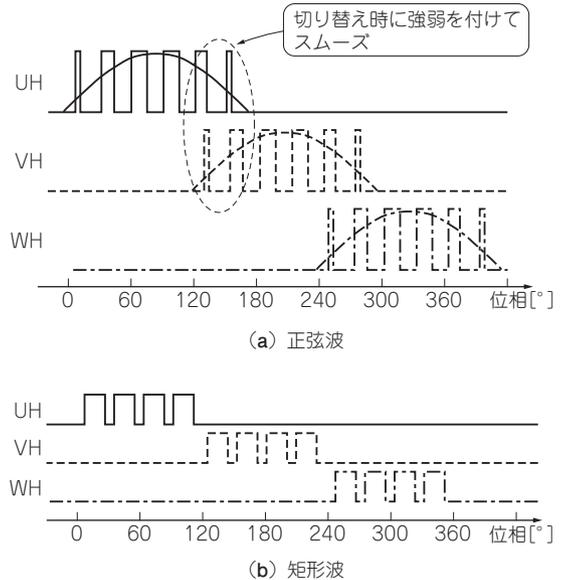
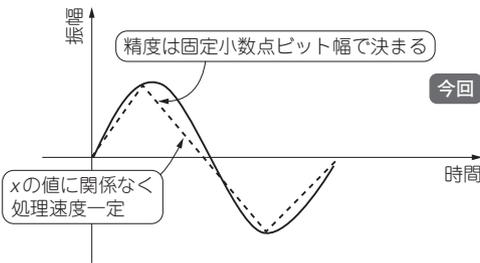


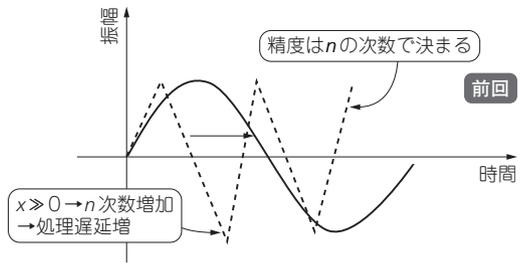
図1 正弦波駆動は矩形波駆動よりもなめらかで効率が良い



$$\sin x = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n}{(2n+1)!} x^{2n+1}$$



(a) z変換は処理速度を一定にできる



(b) 前章の算術三角関数はnの次数が増加すると処理の遅延が発生

図2 z変換による正弦波駆動だと処理時間がボトルネックになりにくくて現実的

効率がより高くなる「空間ベクトル駆動」

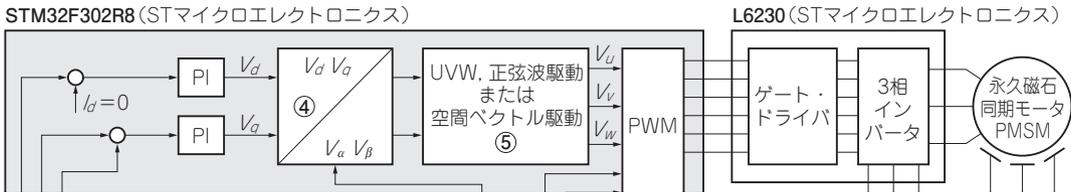


図1 ベクトル制御を行う際のマイコン内部ブロック (抜粋)

● より高効率なベクトル制御「空間ベクトル駆動」

前章ではベクトル制御全体の流れを説明しました。図1に前章で示した信号の流れの一部を再掲します。⑤のブロックについて、正弦波駆動と、エネルギー利用効率が5%ほど高い空間ベクトル駆動とがあります。正弦波駆動と空間ベクトル駆動は考え方が全く異なります。

図2(a)は正弦波駆動です。各相で生成した矩形波電圧は、正弦波電流となってコイルに流れます。この正弦波の位相差でUVW相のコイルを磁化します。

図2(b)は空間ベクトル駆動です。UVW相で生成した矩形波の幅(d_u, d_v, d_w)から、回転ベクトル \vec{v} を発生させます。

駆動波形を求める

● 基本思想…3相から回転ベクトルを生み出す

図1右に示す3相インバータの中身は図3のような構成です。この3相インバータが発生可能な信号を表1に整理します。空間ベクトル駆動は、 V_α, V_β と3相インバータが発生可能な8つの状態から、駆動電圧ベクトル \vec{v} を求めます(図4)。

例えば図4(b)の \vec{v} を求める場合、Sector0での V_1 と V_2 を適当な割合 V_{d1}, V_{d2} とすることで、ベクトルの

方向と大きさが決まります。さらに、ゼロ・ベクトル(V_0 または V_7)を必要な割合だけ挿入すると、大きさを制御できます。

● 求め方

それでは、実際に図4(b)のSector0の拡大図からベクトル電圧 \vec{v} を求めます。まず V_{d1} からです。 V_{d1} は、

$$\tan \frac{\pi}{3} = \frac{V_\beta}{V_\alpha - V_{d1}}$$

より、

$$V_{d1} = V_\alpha - \frac{V_\beta}{\tan \frac{\pi}{3}} = V_\alpha - \frac{1}{\sqrt{3}} V_\beta \dots \dots \dots (1)$$

になります。 V_{d2} は、

$$\sin \frac{\pi}{3} = \frac{V_\beta}{V_{d2}}$$

より、

$$V_{d2} = \frac{V_\beta}{\sin \frac{\pi}{3}} = \frac{2}{\sqrt{3}} V_\beta \dots \dots \dots (2)$$

になります。式(1)と式(2)から、

$$\vec{v} = V_{d1} + V_{d2} = \sqrt{\frac{3}{2}} \left\{ \left(3V_\alpha - \frac{1}{\sqrt{3}} V_\beta \right) + \frac{2}{\sqrt{3}} V_\beta \right\} \dots \dots \dots (3)$$

表1
3相インバータ
が発生可能な
信号

電圧ベクトル	$V_0(000)$	$V_1(100)$	$V_2(110)$	$V_3(010)$	$V_4(011)$	$V_5(001)$	$V_6(101)$	$V_7(111)$
各相の状態	U	0	1	1	0	0	1	1
	V	0	0	1	1	0	0	1
	W	0	0	0	0	1	1	1

見本

センサレス正弦波駆動ベクトル制御の全体像

いよいよプログラムづくりの解説をします。前章まではベクトル制御のアルゴリズム全般を解説しました。

ベクトル制御での最終駆動方式には正弦波駆動とSVPWM(空間ベクトル)駆動の2種類がありますが、本章ではまず、正弦波駆動のプログラムを順次、説明していきます。

正弦波駆動によるベクトル制御を体験

● 準備…モータ・ドライバ基板の設定

図1にモータ・ドライバ基板の設定およびモニタ・ピン(オシロスコープ接続用)を示します。3本のシャント抵抗から、アンプを通してモータ駆動電流を検知できるように、JP₁、JP₂をショートします。

JP₅、JP₆はベクトル制御側(3Sh側)に接続します。

モータ回転速度の調整は、外付けボリュームを使います。

● まずはプログラムをコンパイルして回してみる

プログラムはos.mbed.comから「akiyoshi oguro」で検索してください。筆者のプログラム一覧が出ますので、その中から「Vector_sin_drive_F302R8_2」を選択してインポートしてください。

コンパイルを行うとPCのダウンロード・フォルダ

に実行ファイルができますのでNucleo-F302R8マイコン・ボードにダウンロードしてください。モータ・ドライバ基板とモータとの接続は図2、写真1を参照してください。

ゆっくりボリュームを回します。始動の「強制転流→センサ付き正弦波駆動→センサレス・ベクトル制御」と遷移していく様子を体感できると思います。

プログラム

図3のベクトル制御+正弦波駆動のブロックダイヤグラム内の番号に従って説明していきます。図4が今回説明するプログラムのフローチャートです。以下に説明する各項の番号と図3中の番号は対応させています。

● ① モータ電流 i_u 、 i_v 、 i_w の取り込み

ベクトル制御の第1歩は、モータのUVW相の電流検出です。図3右側のシャント抵抗でUVW相の電流を、ゲイン約2倍のOPアンプで増幅を行い、STM32F302R8に内蔵された12ビットA-Dコンバータで取り込みます。

A-D変換後、ノイズ削減のため、4次のルンゲクッタ法のフィルタを通し(リスト1)、フィルタ後の i_u 、

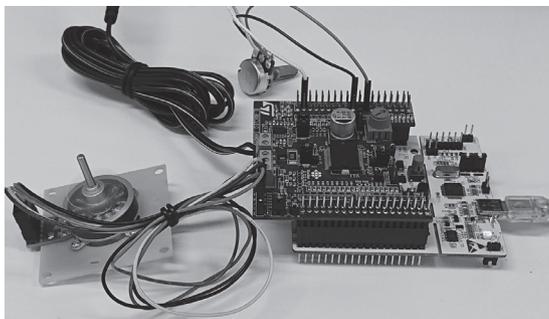


写真1 ここからは回しながらベクトル制御のプログラムを解説

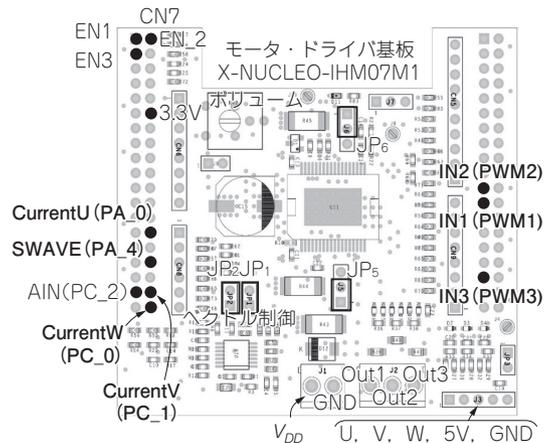


図1 モータ・ドライバ基板 X-NUCLEO-IHM07M1の接続

見本

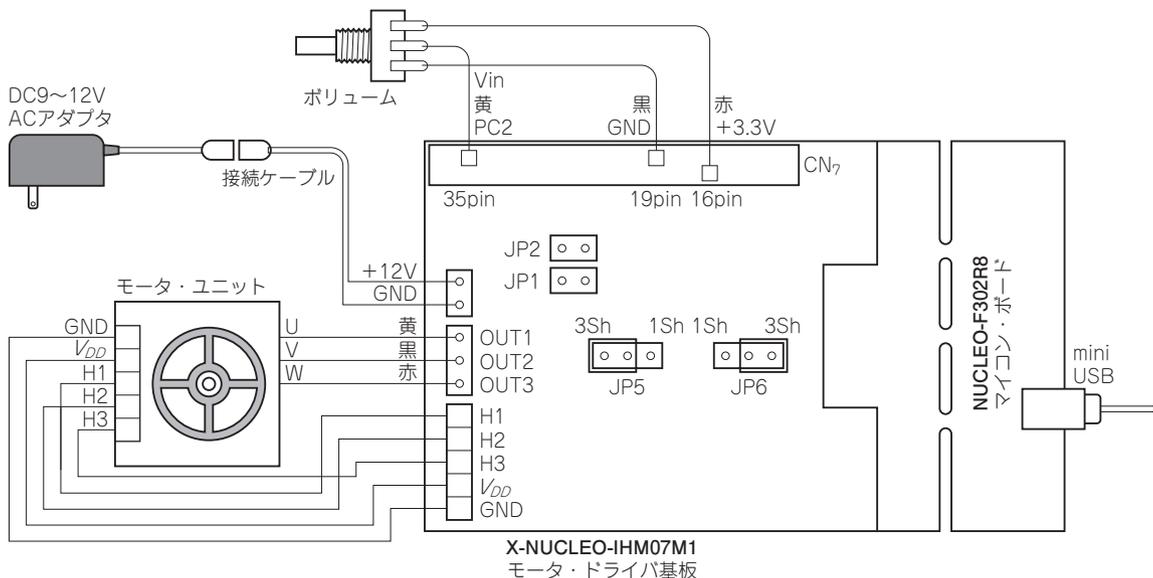


図2 モータとモータ・ドライブ基板との接続

i_u, i_w を、次ブロック②に渡します。

図5がモータのシャント電流、図6がフィルタ後の各相電流波形になります。図5のシャント電流モニタ出力は、図1のCurrentU, V, W端子で観測しました。図6の波形出力は図1のSWAVE端子で観測しました。

プログラムに次の2行を記述すると、フィルタ後の各相電流がSWAVEピンから出力されます。

```

AnalogOut SWAVE (PA_4);
SWAVE=iuvw[0];

```

残念ながら今回使用したキットに搭載されているマイコン STM32F302R8にはD-Aコンバータ出力が1つしかなく、同時にUVW3相をモニタできません。同時に複数のアナログ値を出力したいときはUVW相のPWM波形(図1のIN1, IN2, IN3)などを基準にして、見たい信号を1つずつモニタしてください。

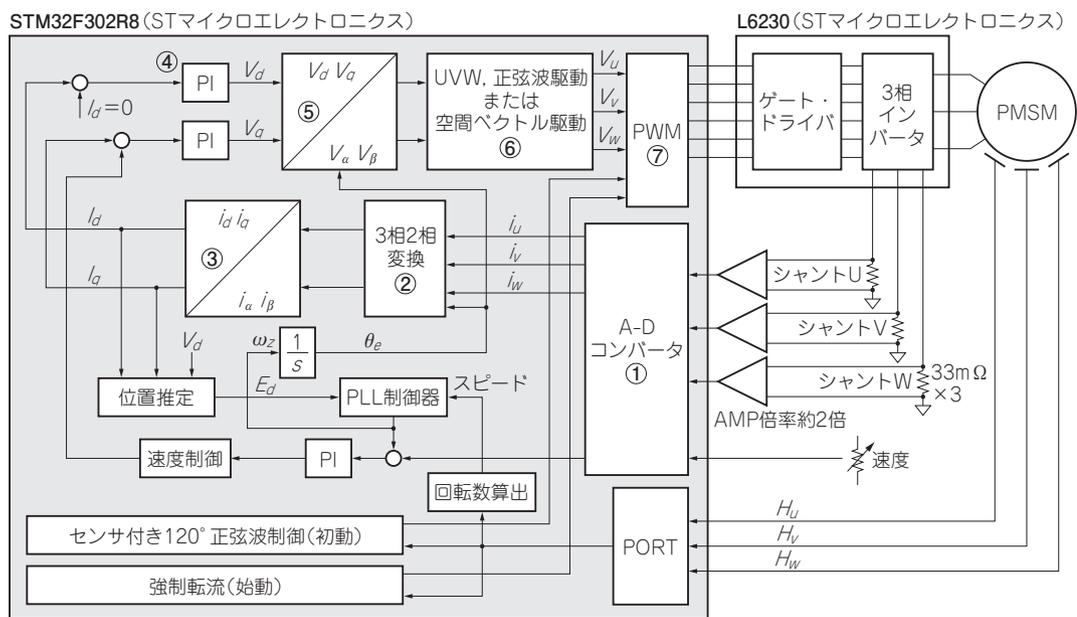


図3 ベクトル制御+正弦波駆動のブロックダイアグラム

プログラム詳細1… ロータの位置推定

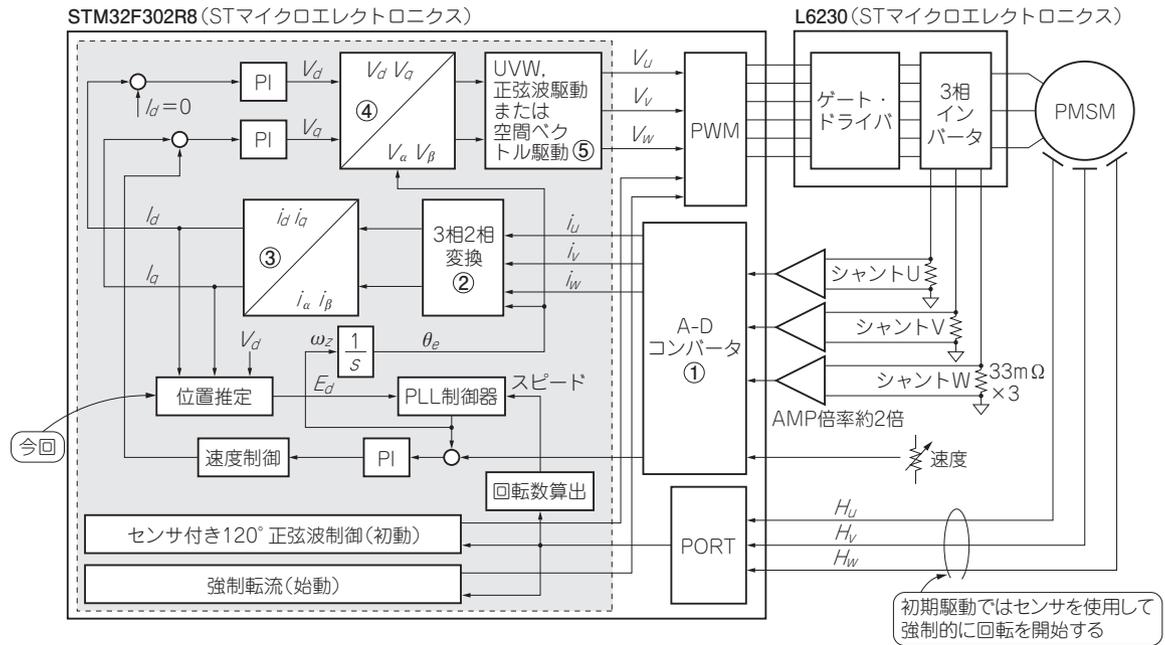


図1 本章で解説すること…今どきのセンサレスなベクトル制御で重要なロータの位置推定プログラム

● センサレスのベクトル制御を例に解説する

前章ではベクトル制御プログラムの全体像を解説しました。このプログラムはセンサレスのベクトル制御を前提としています。

センサレス・ベクトル制御は、エアコン、コンプレッサ、ドローン、ラジコンなど始動トルクが不要で急激な負荷変動がないモータ制御において一般的です。

一方、電動バイクや電動アシスト自転車、電気自動車、洗濯機などは始動にトルクを要し、急激な負荷変動の制御が必要でホール・センサやエンコーダ、レゾルバを利用したセンサ付きベクトル制御が一般的です。

このようにセンサ付き、センサなしは用途別で半々くらいなので、センサ付きに絞って解説してもよかつ

たのですが、先にセンサレス・ベクトル制御を解説しておけば、センサ付きベクトル制御を理解できるので、一挙両得と考えました。

● 本章で解説するプログラム…センサレス制御を行うために重要なロータの位置推定

本章ではセンサレス・ベクトル制御において重要項目の1つである「ロータ磁石の位置推定」プログラムを解説します(図1)。

ベクトル制御では、ロータ磁石の d 軸を、電気角 90° 進んだ q 軸で引っ張ることが最大効率でモータを回すためには最重要です。 q 軸にはUVW相からの合成磁束を発生させます(図2)。UVW相の磁束の程度を制御するためにはロータ磁石の位置(角度)が、UVW相に対してどこにあるのかを正確に知らなければならな

プログラム詳細2… UVW → dq座標変換

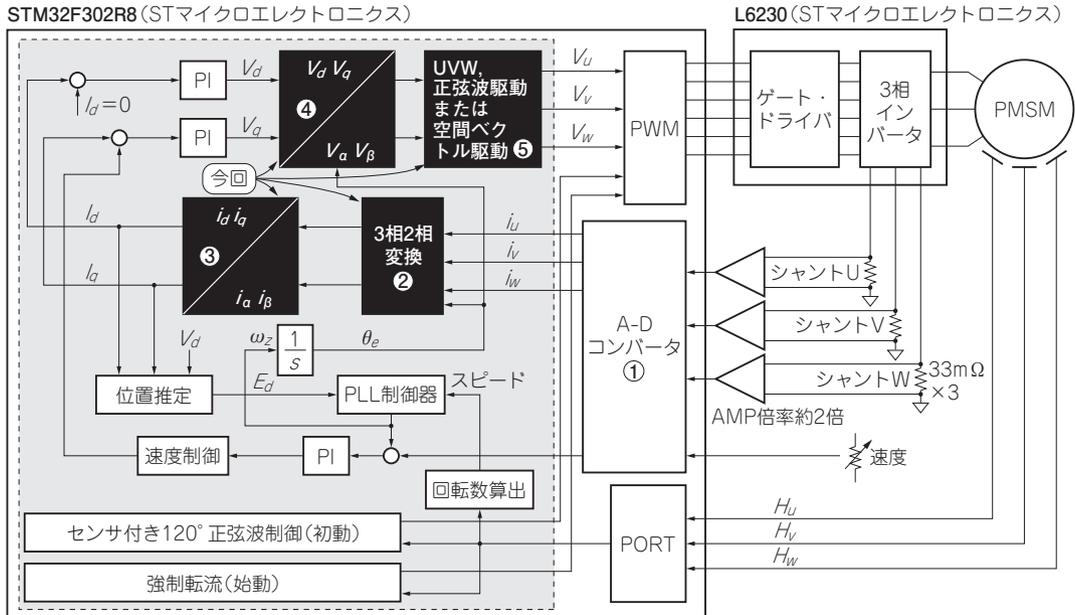


図1 正弦波駆動ベクトル制御におけるUVW → dq変換を今回解説する
PI制御をするマイコンの演算負荷を減らせる。前々章の図3再掲

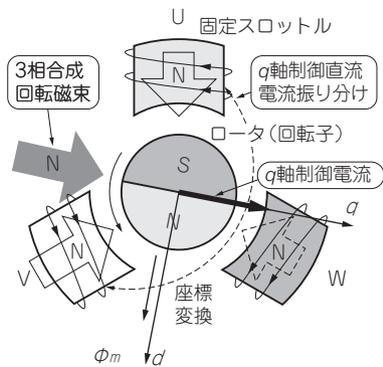


図2 ベクトル制御ではロータ磁石のN極と同一方向にd軸がありそれと90°異なるq軸に制御電流を流す

● やること

本章ではDCブラシレス・モータの正弦波駆動ベクトル制御における、UVW → dq座標変換を解説します。図1のブロック・ダイアグラムの②、③、④、⑤に相当する部分です。

ベクトル制御で座標変換を行う理由

● ベクトル制御のモータの基本式

ベクトル制御はロータ磁石のN極に直交するq軸に流れる電流を制御します(図2)。固定スロットルに巻かれたコイルに流す電流を制御することで、トルクをベクトル量で制御します。

DCブラシレス・モータを交流で制御しようとするとき、非線形のモータ方程式[式(1)]を取り扱ったり、電流と電圧の瞬時値を取り扱わなければならず、

見本

プログラム詳細3…PI制御

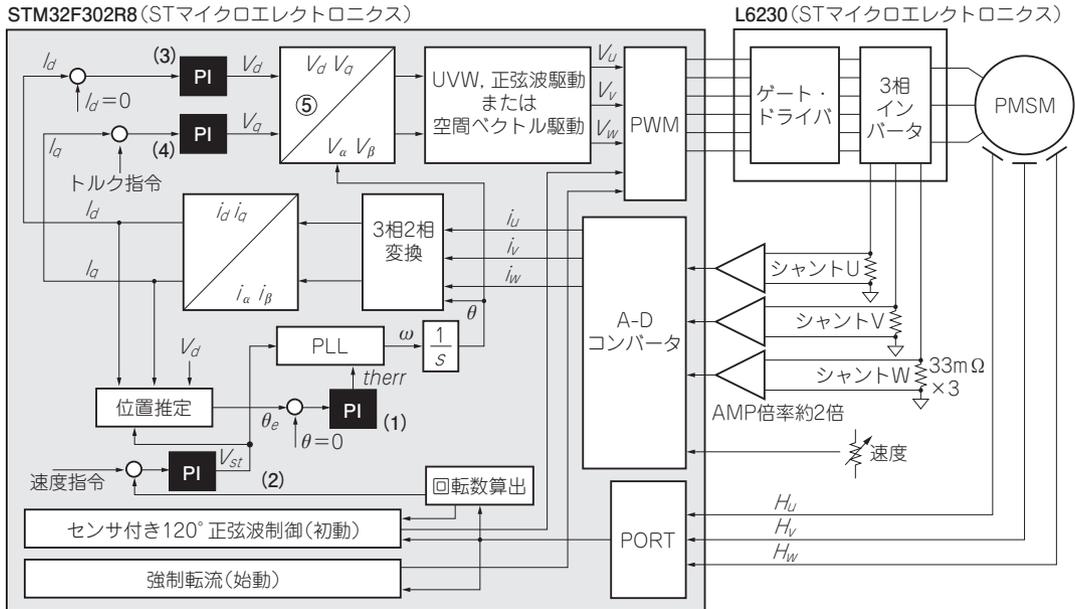


図1 PI制御はベクトル制御処理のいろいろなどところで使っている
DCブラシレス・モータのベクトル制御の機能ブロック

ベクトル制御におけるPI制御の位置づけ

DCブラシレス・モータの速度指令、電流指令の制御を指令に追従させるPI制御について解説します(図1)。PI制御は自動制御分野で古典制御と呼ばれています。PはProportional(比例)、IはIntegral(積分)の頭文字です。

DCブラシレス・モータ制御キット P-NUCLEO-IHM001 (STマイクロエレクトロニクス)に同梱されるDCブラシレス・モータBR2804-1700KVのセンサレス・ベクトル制御の機能ブロックを見てみましょう。図1の塗りつぶしブロックがPI制御器になります。

PI制御とは、目標値をボリュームなどから与えると、センサで検知した実際値と目標値とを比較して、

その差をゼロにする動きのことで、

実際には「PLL」と書かれている箱の中に、この塗りつぶしで示したPI制御器のブロックがあります(図2)。各PI制御器の役割は、

- (1) ロータ角度制御(目標: ロータ位置誤差0)
- (2) 速度/回転数(目標: 速度指令に追従)
- (3) d軸電流制御(目標: 0)
- (4) q軸電流制御(目標: トルク指令に追従)

になります。図1中(1)~(4)のPI制御は、用途が違っただけで動作は同じものになります。

● 基本メカニズム

図2にPI制御の機能ブロックを示します。制御対象からフィードバックをかけ、目標値との差分がゼロになるよう制御します。比例ゲイン K_p は、線形に目標値に達する役目を担います。積分ゲイン K_i と積分

見本

センサ付きベクトル制御移行前の滑らかモータ始動プログラム

センサ付きDCブラシレス・モータの、矩形波制御、正弦波制御、ベクトル制御の3つをまとめて最終的に1つのソフトウェアにします。

理由は各制御の長所をつなぎ合わせて、モータの起動/始動/安定状態を制御したいからです。

全体像

ソフトウェアの全体構成を図1に示します。この章では矩形波駆動からZ変換正弦波に移行するNucleo_Hall_rect_sinを使います。

● 起動

モータ静止時のホール・センサ信号を読み取り、ロータ位置に応じてUVW相をPWM駆動します。起動時はトルクを大きくしたいのでPWMのデューティ比は50%以上で行います。1サイクル～10サイクルで設定します。

● 起動～定常

起動はある程度トルクのPWMデューティ比を高くする必要があり、ボリューム値に関係なく、一定の高さとしました。回り始めたら、トルクはボリュームに応じたデューティ比にします。初動の2000rpmまでは、矩形波で駆動します。

▶ 2000rpm以上

2000rpm以上では、正弦波駆動に移行します。正弦波駆動ではホール・センサの立ち上がり/立ち下がりエッジで各相の1/2周期の時間を計測します。処理はZ変換で正弦波を生成します。

▶ 3000rpm以上

3000rpm以上では、ベクトル制御に移行します。ホール・センサからの信号を60°ごとの周期に分け、60°ごとにロータ位置とのPLL制御で同調させ、PWM駆動は空間ベクトル駆動になります。

また、速度ボリュームは最小と最大の中間位置にセット後に電源投入またはリセットしてください。中間位置から右に回すと正転、左に回すと逆転になりま

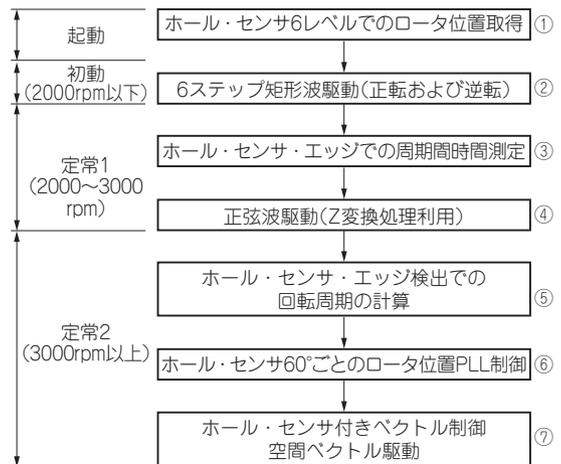


図1 センサ付き駆動のソフトウェア構成

す。

正転/逆転の回転数どちらかを大きくしたい場合は、中間位置をずらして電源投入またはリセットしてください。

以上の全体構成の各ソフトウェアを順に説明していきます。

図2はホール・センサによる矩形波駆動～ベクトル制御ができる全体図になります。ホール・センサ信号を、

- 矩形波駆動で利用するためのロータ位置取得のPORT Digital
- 正弦波およびベクトル制御でホール・センサ周期(ロータ位置確認)を測定するPORT Interrupt

に入力します。以降、詳しく説明します。

図3に今回のプログラムの構成を示します。5つのファイルからなります。

- メイン・ルーチン: main.cpp
- 入出力および変数定義: IO_define.h
- 矩形波駆動関数群: kukei.h
- 正弦波駆動関数群: sin.h
- ベクトル制御関数群: vector.h

センサ付きベクトル制御による 高速回転域の駆動

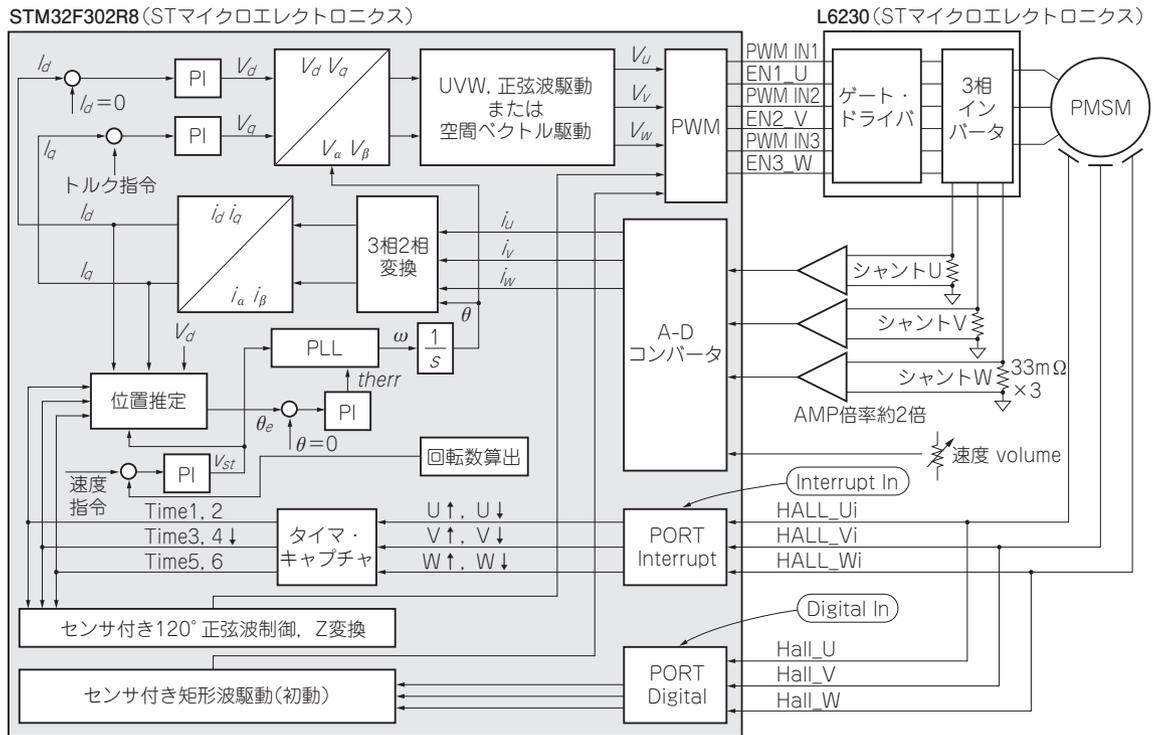


図1 DCブラシレス・モータの回路構成

センサ付きDCブラシレス・モータの制御ソフトウェアを解説しています。以下の3つの制御をまとめて1つのプログラムにしています。

- 矩形波制御 (前章)
- 正弦波制御 (前章)
- ベクトル制御 (本章)

本章のセンサ付きベクトル制御では、Nucleo_Hall_rect_sin_vectorを使います。

● ベクトル制御の流れ

図1にDCブラシレス・モータの駆動ダイアグラムを示します(前章の再掲)。図2にセンサ付きベクトル制御のソフトウェア構成を示します(再掲)。前章は

「定常1」までを説明しました。本章は「定常2」について説明します。

ちょっと復習…ベクトル制御の流れ

図1に示すセンサ付きベクトル制御のダイアグラムは、過去に解説したセンサレス・ベクトル制御のダイアグラムとほぼ同じです。ベクトル制御の流れについて、簡単に復習しつつ解説を進めます。

● コイルはUWV 3相の磁束の強弱で回す

ベクトル制御は、モータに流した電流を最大限にトルクに変換することができる制御です。

見本

ISBN978-4-7898-4801-5

C3055 ¥2600E

CQ出版社

定価：本体2,600円(税別)



9784789848015



1923055026001

EVカー/ドローン/小型ロボ/パワー・アシスト装置

**STマイコンで始める
ブラシレス・モータ制御**

見本