

Webinar

すぐにわかる！ モータードライバ技術セミナー中級編 ～ブラシレスDCモーター センサーレス駆動の導入のポイント～

TOSHIBA

東芝デバイス&ストレージ株式会社

半導体事業部 半導体応用技術センター

産業コンシューマー応用技術部 産業コンシューマー応用技術第一担当

東芝デバイスソリューション株式会社

拡販技術統括部 フィールドアプリケーションエンジニアリング部

フィールドアプリケーションエンジニアリング第四担当

Contents

- 01 ブラシレスDCモーターについて
- 02 制御回路と駆動方式について
- 03 センサーレス正弦波駆動対応モータードライバー
TC78B011FTGについて
- 04 設計時に留意すべきポイントについて

01

ブラシレスDCモーターについて

ブラシレスDCモーターとは

ブラシレスDCモーターは、ブラシ(接点)を使わずに回転する直流モーターです

代表的なDCモーターとして以下のモーターがあります。

コイルに流す電流の向き(磁力の向き)を、
タイミングよく切り替えることにより、回転を継続しますが、
切り替える方法が異なります。

●ブラシ付きDCモーター

モーター内のブラシと整流子を利用し、電流の向きを切り替えています。
(機械的な接点有り)

●ブラシレスDCモーター

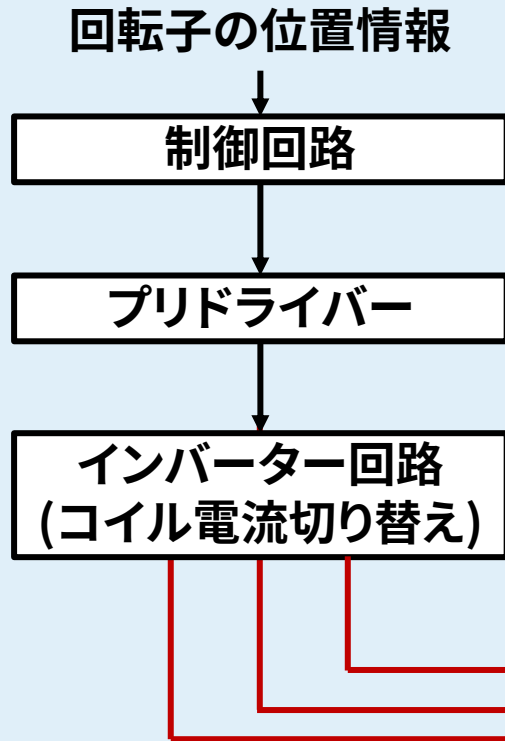
ブラシを使用せず、電流の向きを切り替えています。
(機械的な接点無し)

今回のセミナーの
対象モーター

ブラシレスDCモーターとは

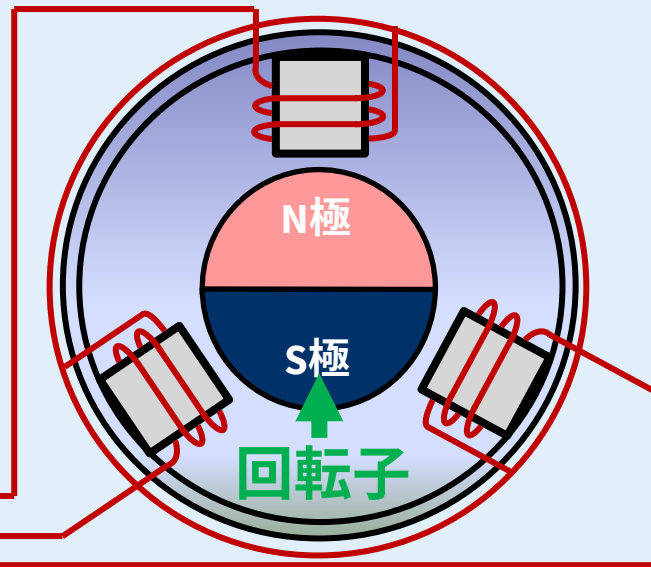
電気回路を使用することにより、コイル電流の方向を切り替え、モーターを駆動します

電気回路ブロック図



3相ブラシレスDCモーター

2極、3スロットの場合の例



回転子の位置情報に基づき、
電気回路により、
コイルに流す電流の方向(磁力の方向)を
切り替えることによって
モーターを回転させます。

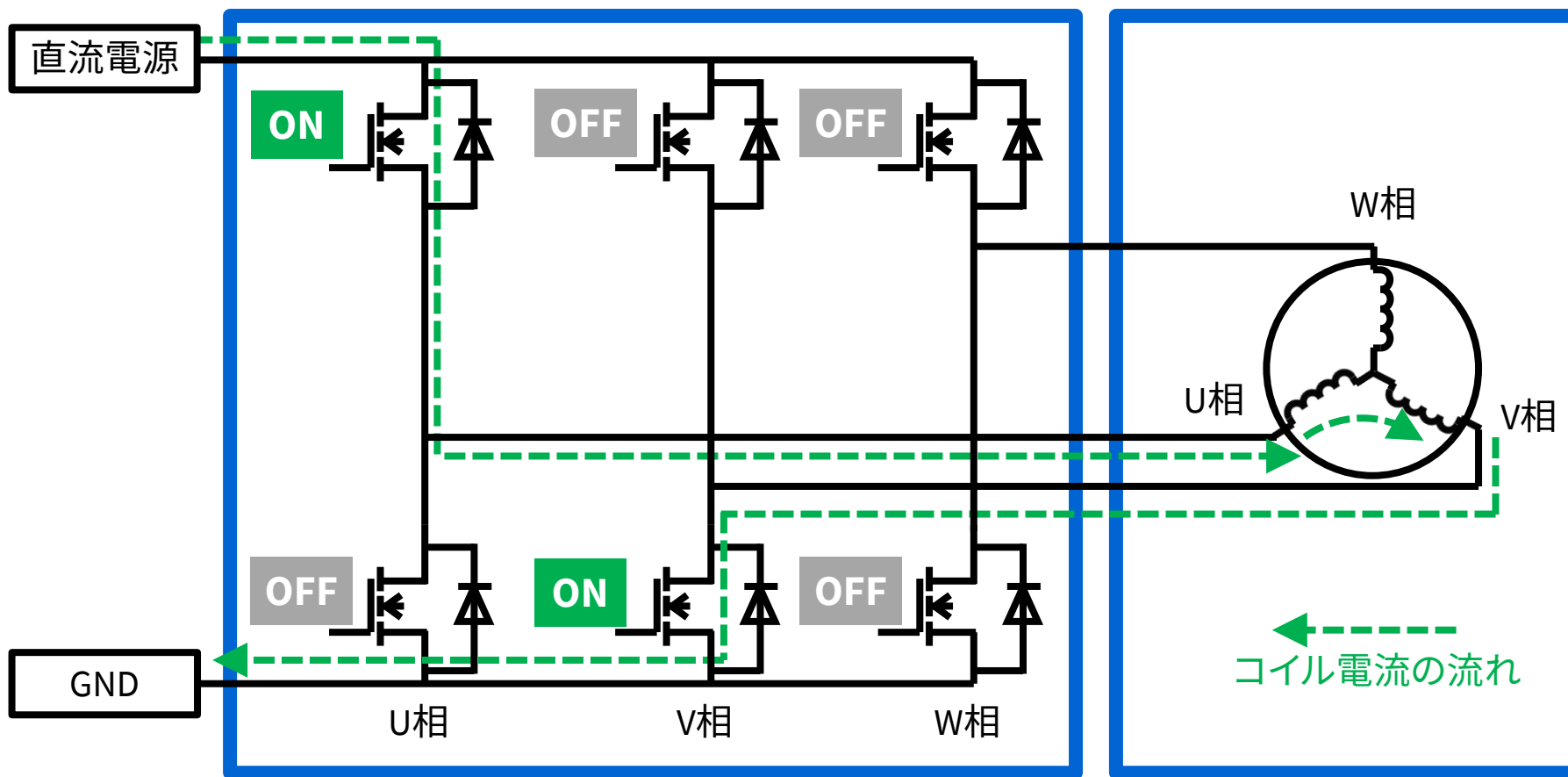
※ブロック図やモーター構造図は、説明のため、簡略化して表現しています。

3相ブラシレスDCモーター用のインバーター回路の例について

インバーター回路を用いて、コイル電流を切り替えます

インバーター回路の例

モーター等価回路

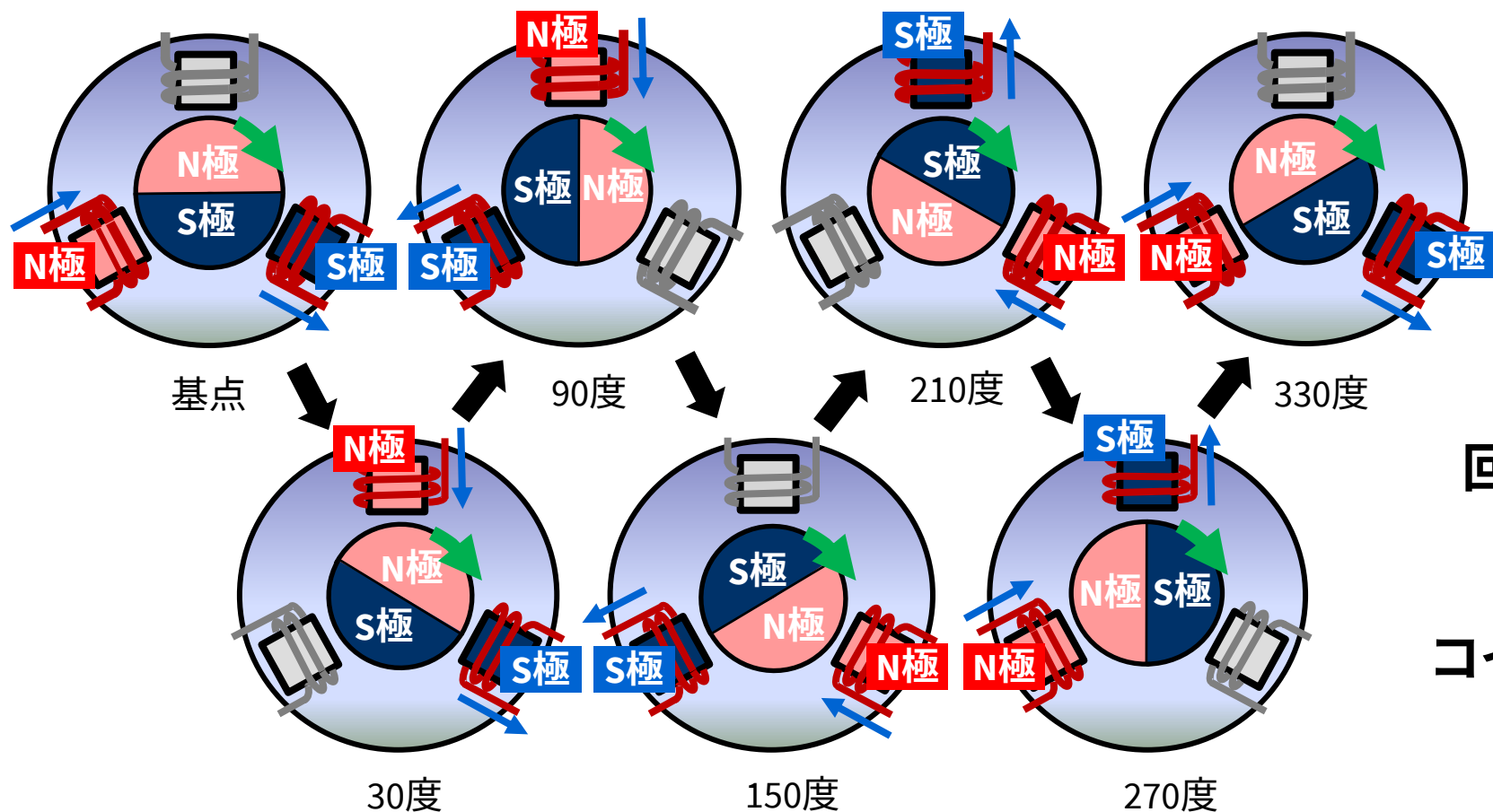


インバーター回路を構成する6個のMOSFETのON/OFF制御によってコイル電流を切り替えます。

コイル電流切り替えシーケンスについて

最適なタイミングでコイル電流を切り替えることで、回転します

3相、2極、3スロットの構造のモーターで、矩形波駆動を行う場合のシーケンス例



回転子の位置情報に基づき、
インバーター回路にて
最適なタイミングで、
コイル電流を切り替えることで、
回転します。

※モーター構造図は、説明のため、簡略化して表現しています。

ブラシレスDCモーターの特徴について

長寿命で高速回転が可能な点がメリットです
複雑な制御システムが必要なデメリットがありますが、モータードライバが解消します

メリット

機械的接触が無い
ため、
ブラシ付きDCモーターと比べて、
長寿命で**高速回転**が可能です。

デメリット

電流の方向を切り替えるための
複雑な制御システムが必要であり、
簡単に回すことができません。



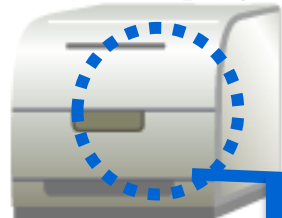
デメリットを解消

回転子の位置情報検出や、
インバーター回路の制御の機能を担う
専用の**モータードライバ**が活躍します。

ブラシレスDCモーターの応用例1

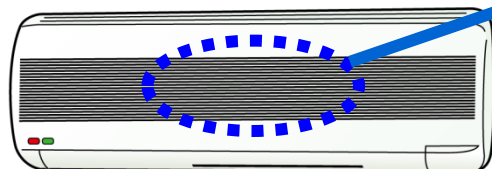
高速回転/長寿命の特長により、家電製品によく使われています

食洗機

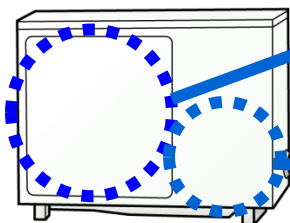


ポンプ

エアコン



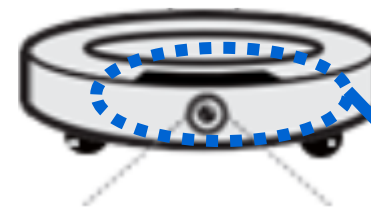
室内ファン



室外ファン

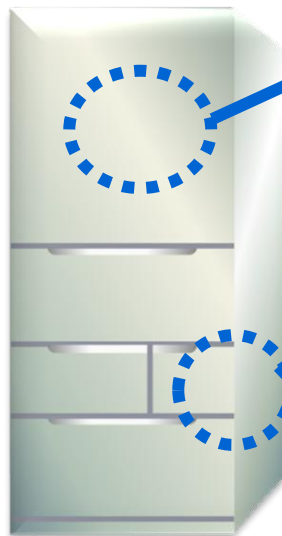
コンプレッサー

自動掃除機



吸引ファン

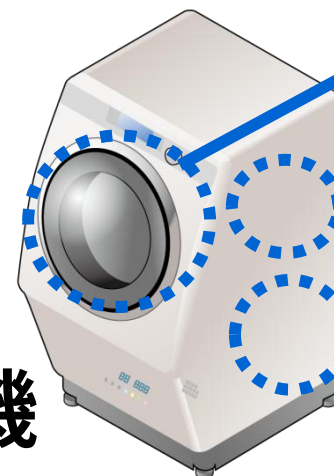
冷蔵庫



庫内ファン

コンプレッサー

洗濯機



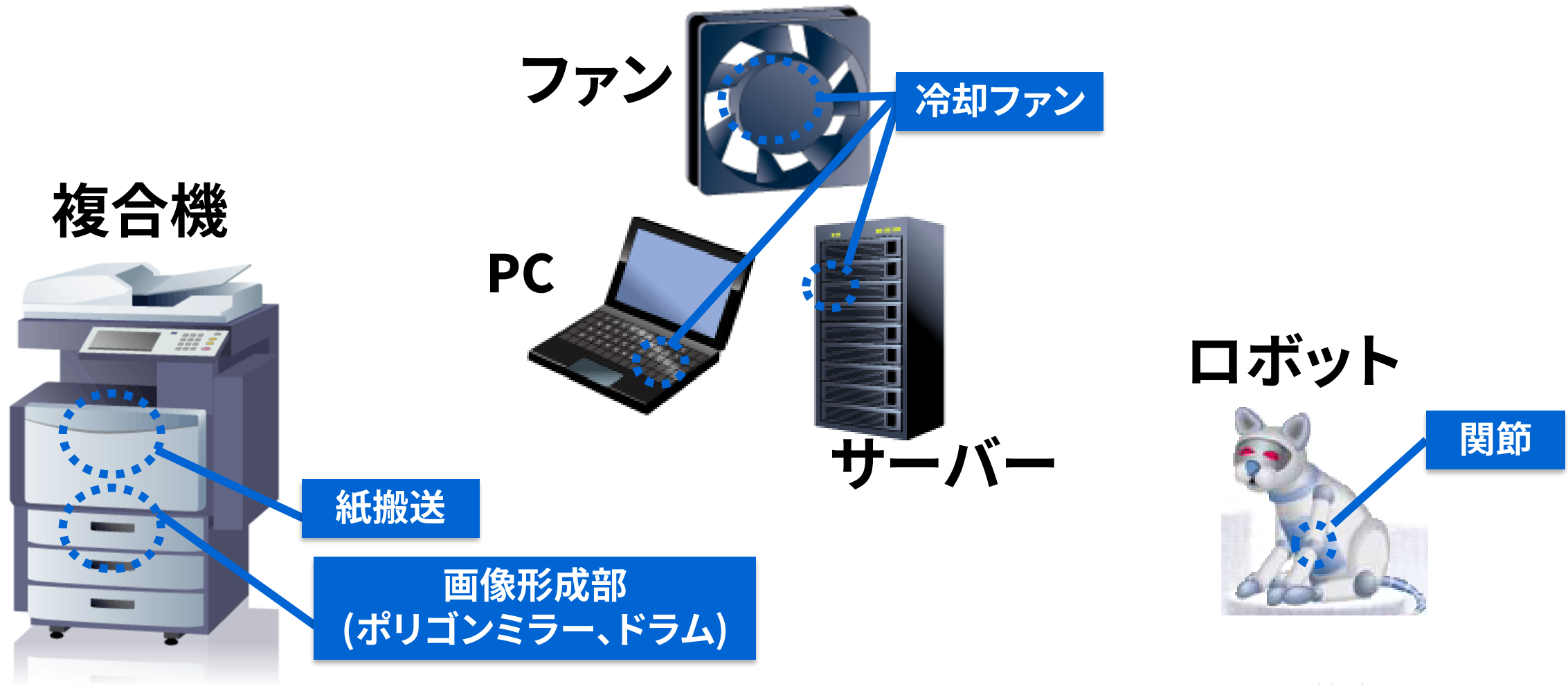
ドラム回転

温風送風

コンプレッサー

ブラシレスDCモーターの応用例2

高速回転/長寿命の特長により、OA機器にもよく使われています



(ご参考)他のモーターとの比較

モーターによって特徴が異なります

今回のセミナーの対象モーター

モーターの種類	ブラシ付きDCモーター	ブラシレスDCモーター	ステッピングモーター
回転方法	コイル電流が、モーター内の機構(ブラシと整流子)の働きにより、切り替わる ことにより回転します。	コイル電流を、電気回路(位置セン サー&インバーター回路)により、決 まった順番で切り替えることにより回 転します。ブラシと整流子の働きを電 気回路が担います。	コイル電流を、電気回路(Hブリッジ回 路)により、決まった順番で切り替える ことにより回転します。
電気回路	ただ回転させるだけでは不要	必要	必要
回転速度	印加電圧に比例	印加電圧に比例	入力パルス周波数に比例
高速回転	数千rpm程度	数千～数万rpm程度 高速回転	不向き
寿命	数百～数千時間 (ブラシの摩耗に依存)	数万～数十万時間 長寿命	数万時間
位置制御	不向き	不向き	精密な位置制御が可能
価格	安価	割高	割高

02

制御回路と駆動方式について

ブラシレスDCモーター制御回路の構成例

MCD: モーターコントロールドライバー

ご使用条件に合わせて選択頂けるよう、複数のMCDラインアップを用意しています

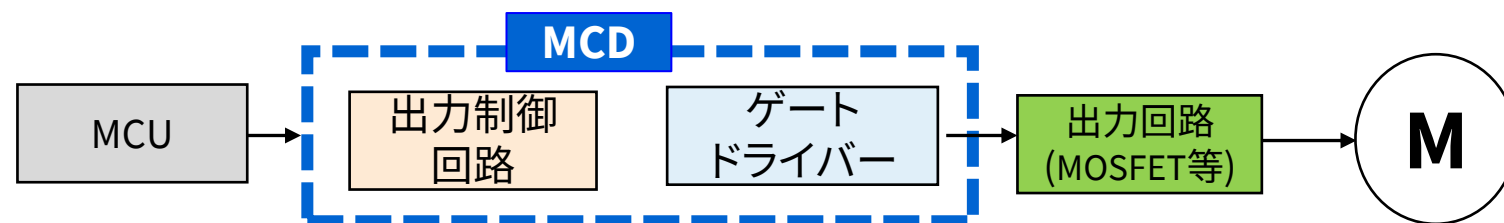
①ドライバータイプMCD

制御回路から出力回路まで
全ての機能を備えたタイプです。
部品点数削減が可能です。



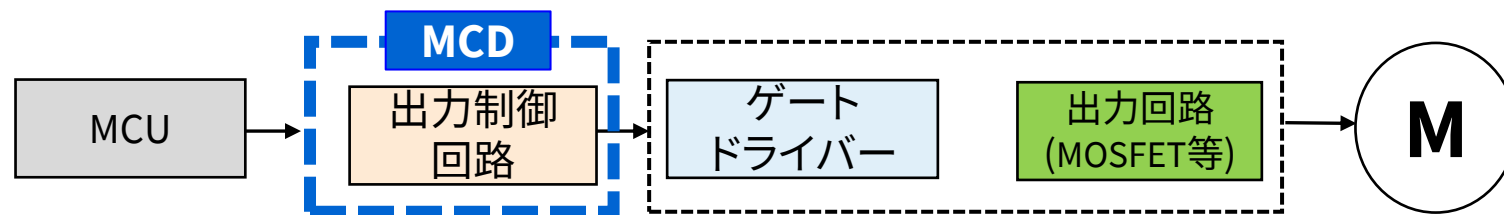
②プリドライバータイプMCD

出力回路が外付けタイプです。
駆動能力が高い出力回路と組み合わせることで
大電流駆動が可能です。



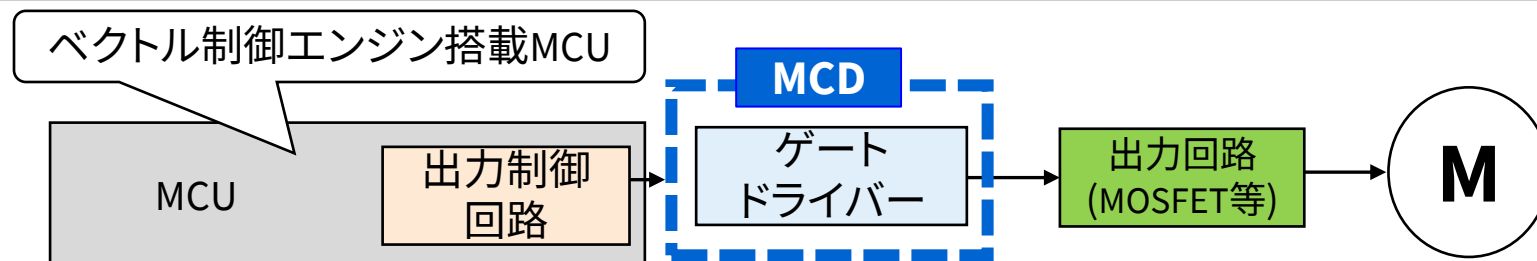
③コントローラタイプMCD

ゲートドライバーと出力回路で構成された
ドライバー部と組み合わせることで
モーター駆動する場合の構成です。
高電圧電源のモーター制御によく用いられます。



④ゲートドライバータイプMCD

出力の制御をMCUが担う場合、
MCUでは直接出力回路を駆動できないため、
ゲートドライバーが必要です。



第四章にて、プリドライバータイプのMCDを例に、実際の回路についてご説明します

今回のセミナーの対象の制御回路構成

② プリドライバータイプMCD

出力回路が外付けタイプです。
駆動能力が高い出力回路と組み合わせることで
大電流駆動が可能です。



回転子の位置情報の把握方法について

位置センサーや誘起電圧にて、回転子の位置を把握します

インバーター回路を最適なタイミングで制御するために、回転子の位置の把握が必要です。
位置の把握方法として、以下の方式があります。

方式1:位置センサーによる位置検出

長所:回転制御し易い。

短所:位置センサー用のホール素子分のコストが上がり、配線が増える。

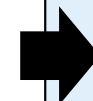


容易に回せることから、
幅広いアプリケーションで
採用されています。

方式2:誘起電圧によるセンサーレス位置検出

長所:モーターの小型、高信頼性(センサー不要)、低コスト化

短所:制御の難易度が高い(応答性、モーター個体バラツキ)



小型化や高信頼性が求められ、
単純に回転するファン向けに
採用されています。

方式3:ベクトル演算によるセンサーレス位置検出

長所:中から高速域で高効率

短所:ソフトウェア開発が必要等



複雑な回転制御が、
求められるアプリケーションに
採用されています。

第四章にて、方式2のMCDを例に、実際の設計方法についてご説明します

今回のセミナーの対象の方式

方式2:誘起電圧によるセンサーレス位置検出

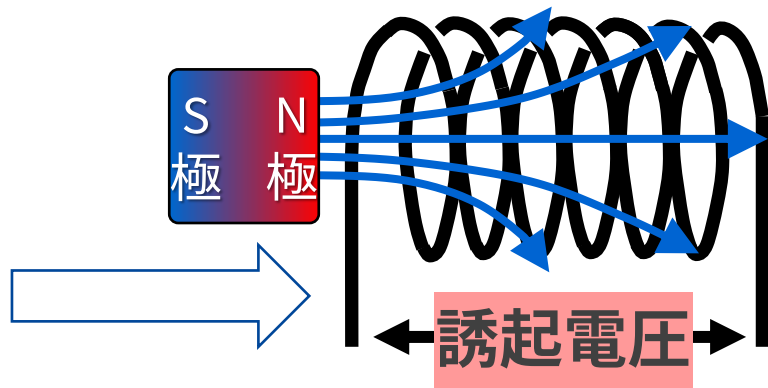
長所:モーターの小型、高信頼性(センサー不要)、低コスト化
短所:制御の難易度が高い(応答性、モーター個体バラツキ)

小型化や高信頼性が求められ、
単純に回転するファン向けに
採用されています。

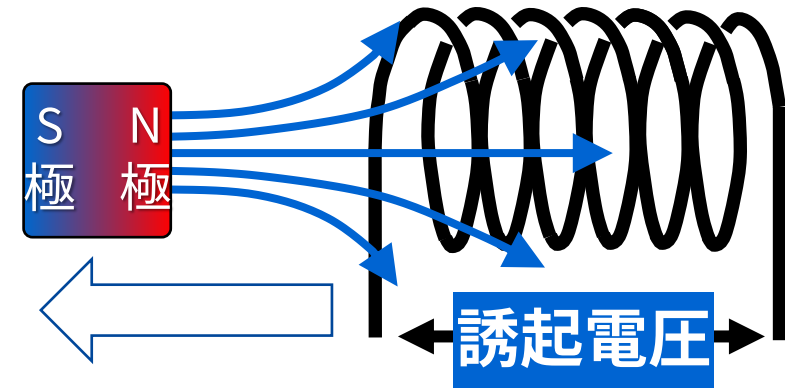
誘起電圧とは

コイルを貫く磁束の変化により発生する電圧を「誘起電圧」といいます

N極がコイルに**近づく**と、
コイルを貫く磁束の量が増加し、
プラス方向の誘起電圧
が発生します。



N極がコイルから**遠ざかる**と、
コイルを貫く磁束の量が減少し、
マイナス方向の誘起電圧
が発生します。

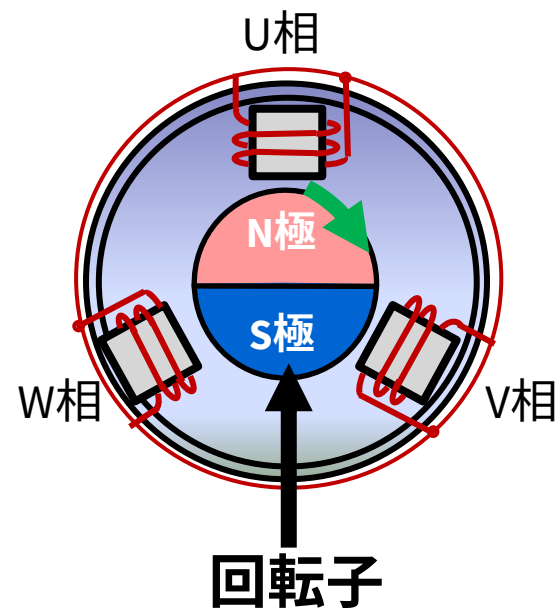
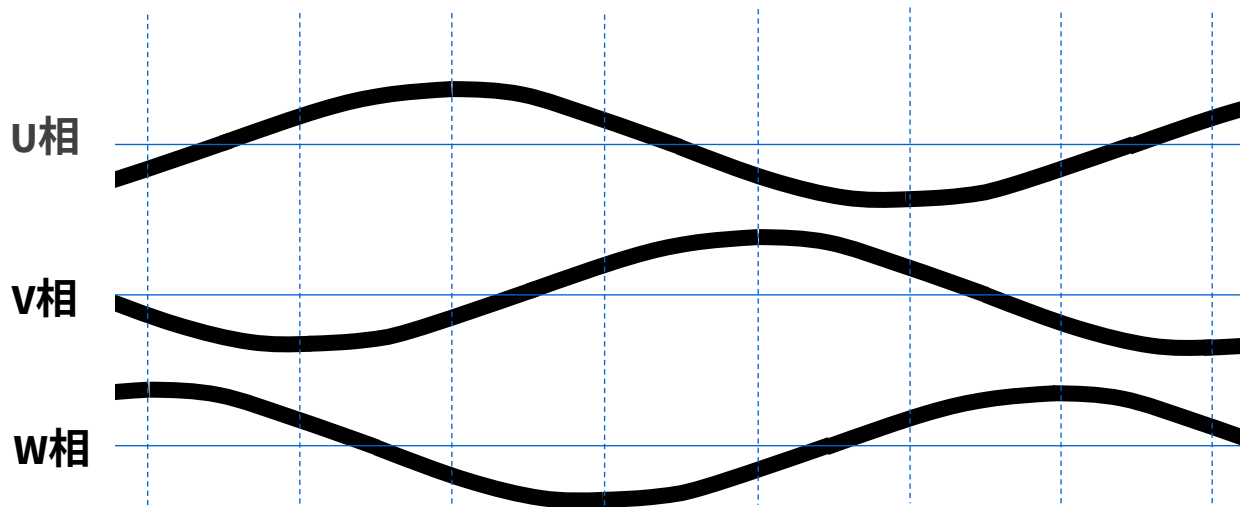


誘起電圧は、磁束の量の変化スピードが速い程、大きくなります。

3相ブラシレスDCモーターに発生する誘起電圧について

誘起電圧の発生状況を、回転子の位置を把握するための情報として利用します

各コイルに発生する誘起電圧のタイミングチャート例



回転子が回転し、各コイルとの距離が変化すると、
各コイルに発生する誘起電圧が変化します。

03

センサーレス正弦波駆動対応
モータードライバーTC78B011FTG
について

モーター制御に必要な機能を備えており、駆動回路設計を容易にします

モータードライバーのメリット例

ブラシレスDCモーターは、
電源を加えただけで
回すことができません。

回転させるシーケンス制御機能を
内蔵したICなどが必要です。

- 
- ①インバーター回路のシーケンス制御
 - ②回転速度の制御
 - ③振動/騒音を低減する正弦波制御
 - ④効率を高める進角制御
 - ⑤異常検出で安全性向上

3相ブラシレスDCモーター用プリドライバーTC78B011FTGについて

本日は、本製品を用いて、モーター駆動回路設計を行う際のポイントをご説明します

特長

①センサーレス制御で正弦波駆動方式を採用

→低振動/低騒音化に貢献します。

②クローズドループ速度制御機能および不揮発性メモリー内蔵

→外部MCUを使用することなく、電源電圧変動時や
負荷変動時の回転数変動を抑えることができます。
また、各種設定を不揮発性メモリーに保存可能です。

③外付けMOSFETゲート電流の切り替え機能内蔵

→接続する外付けMOSFETに合わせて、電流調整できます。



3相ブラシレスDCモーター用プリドライバTC78B011FTGについて

本日は、本製品を用いて、モーター駆動回路設計を行う際のポイントをご説明します

仕様

•動作電源電圧範囲

5.5V～27V

•速度制御入力

PWM信号、アナログ電圧、I2Cによる設定に対応

•異常検出機能

異常検出出力、熱遮断機能

電源低電圧検出、チャージポンプ低電圧検出

出力電流リミット、出力過電流検出、ロック保護機能

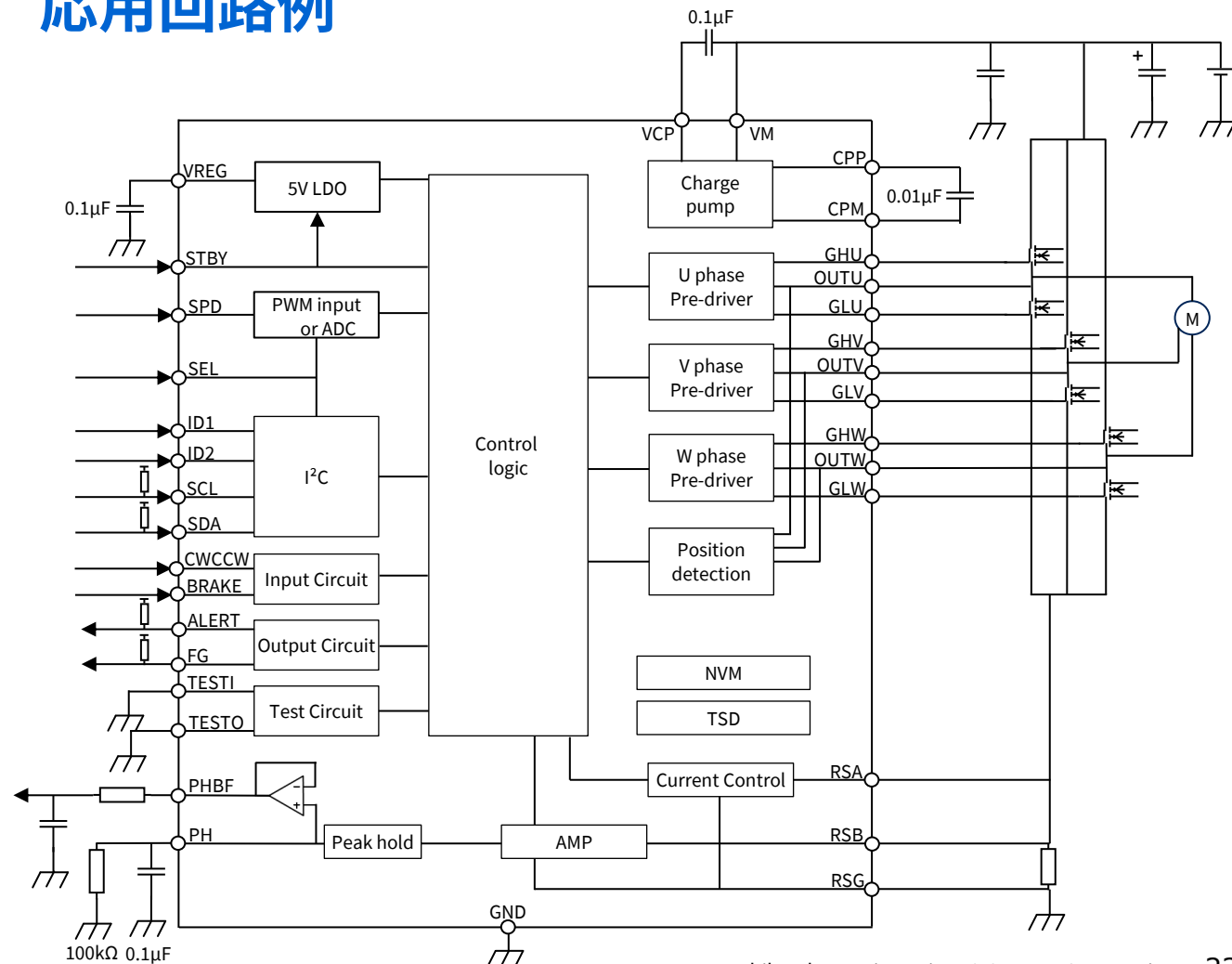
•パッケージ

小型QFN36(5×5mmサイズ)

ターゲットアプリケーション

- サーバーファン
- コードレス掃除機吸引モーター
- 自動掃除機吸引モーター
- ポンプ
- ブロワーなど

応用回路例



特長①: センサーレス制御で正弦波駆動方式を採用

TC78B011FTGは、低振動/低騒音化に貢献する正弦波制御が可能です

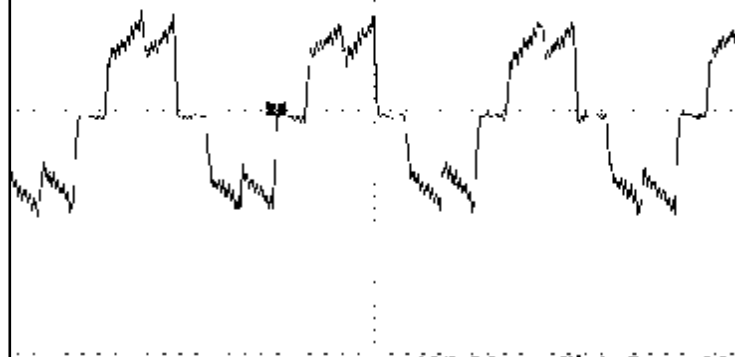
矩形波制御

メリット: 回転制御が容易

デメリット: 騒音や振動が大きい

モーター電流波形

120度の区間、電流が流れることから、
120度通電とも呼ばれます



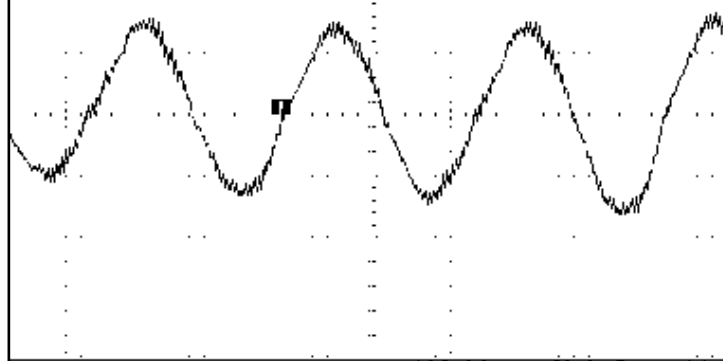
正弦波制御

メリット: 騒音や振動が小さい

デメリット: 制御が複雑になる

モーター電流波形

180度の区間、電流が流れることから、
180度通電とも呼ばれます



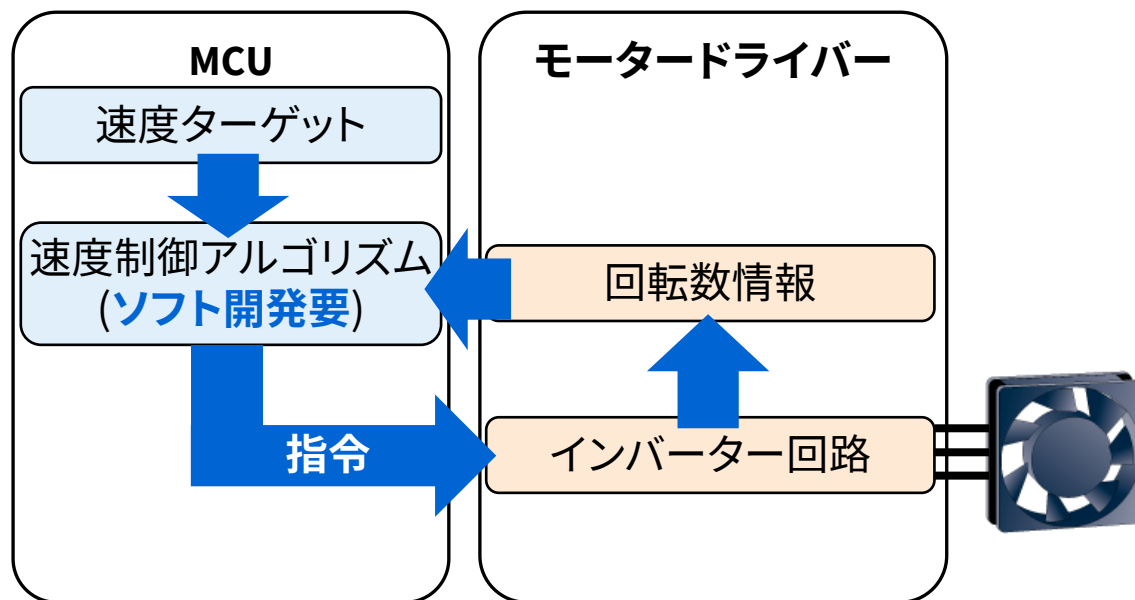
TC78B011FTGは、
正弦波制御機能を内蔵しており、
複雑な制御を自動で実施します。

特長②: クローズドループ速度制御機能

TC78B011FTGは、MCU不要で、容易に速度制御システムを構成できます

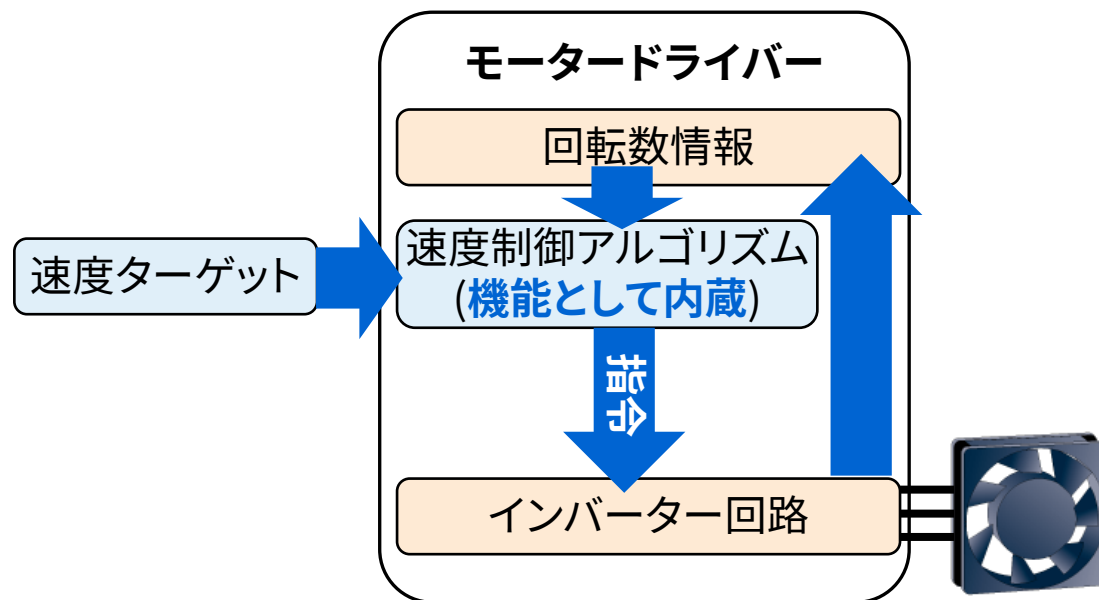
従来の構成

MCUとモータードライバで
速度制御のクローズドループを構成



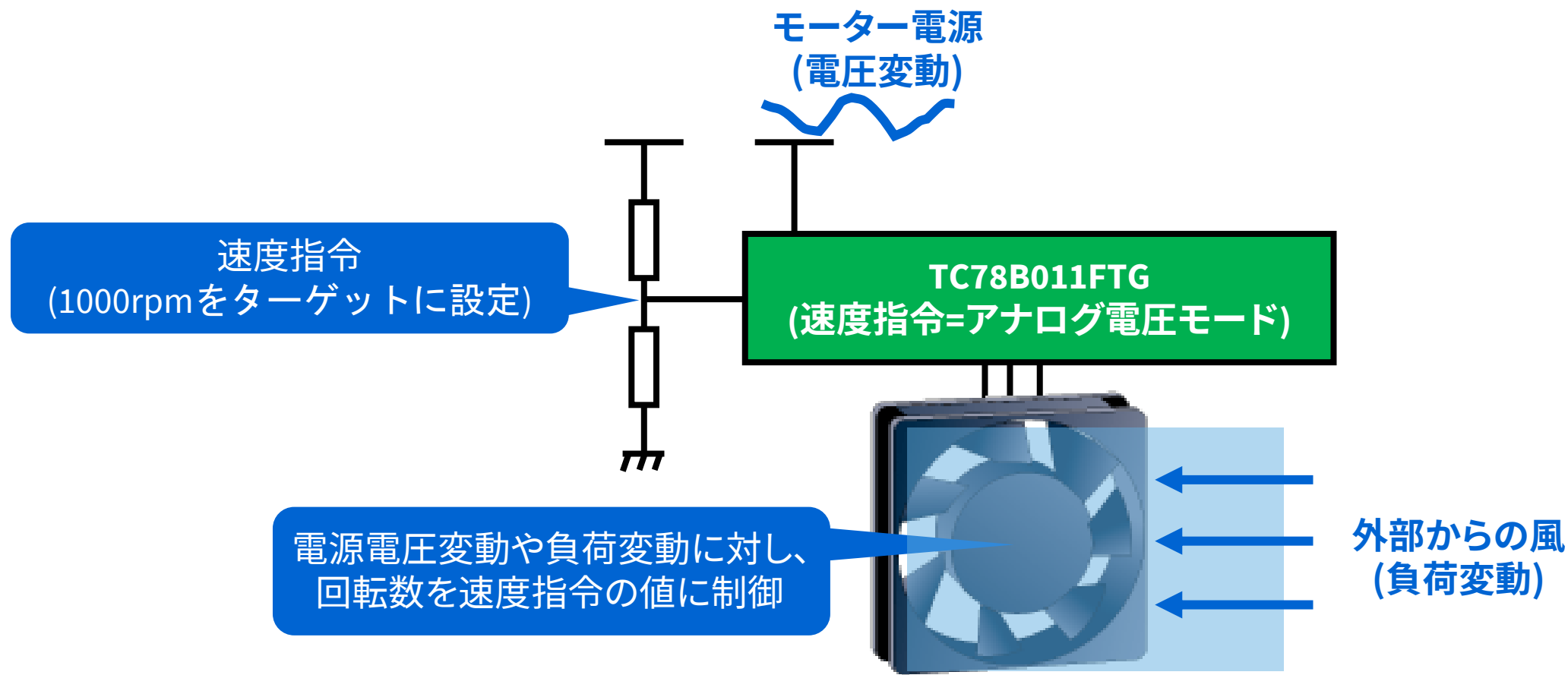
TC78B011FTGの構成

モータードライバのみで
速度制御のクローズドループを構成



クローズドループ速度制御機能の応用例1

MCUを使用することなく、電源電圧変動時や負荷変動時の回転数変動を低減できます



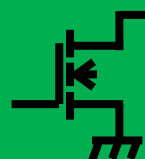
クローズドループ速度制御機能の応用例2

当社Thermoflagger™(過熱監視IC)製品群と組み合わせることで、MCUを使用することなく、熱監視対象の温度に応じて、ファンの風量切り替えが可能です

いずれかの熱監視対象が高温になると信号を出力

**Thermoflagger™
TCTH021BE**

Thermoflagger™(過熱監視IC)は、PTCサーミスターの特性変化を検出して、信号を外部へ出力するICです。



速度指令切り替え
通常時は1000rpm
過熱時は2000rpm

**TC78B011FTG
(速度指令=アナログ電圧モード)**

回転数を速度指令の値に制御



PTCサーミスター1

熱監視対象1

PTCサーミスター2

熱監視対象2

PTCサーミスター3

熱監視対象3

特長③：外付けMOSFETゲート電流の切り替え機能内蔵

TC78B011FTGは、容易に最適設計を実現する機能を内蔵しています

接続する外付けMOSFETの特性に合わせて、ゲート電流を8段階で調整する機能です。

メリット①：ノイズと損失の最適化

ノイズ低減(スイッチングスピード低速化)と効率向上(スイッチングスピード高速化)のトレードオフを最適化できます。

メリット②：基板修正が不要

部品交換をせずに、ソフトによる設定だけでスイッチングスピードを調整できます。

メリット③：部品点数削減

外付けのゲート抵抗やダイオードを減らし、制御回路を小型化できます。

04

設計時に留意すべきポイントについて

以下の項目についてご説明します

① 駆動回路の設計

当社Webサイトにリファレンスデザインを掲載しております。参考情報としてご活用ください。

② インバーター回路の設定

デッドタイム/ゲート電流等のインバーター回路についての設定です。

③ 速度制御の設定

速度指令方法と速度カーブについての設定です。

④ 起動制御の設定

モーターを停止状態から回転を開始する際の動作についての設定です。
起動失敗した際の対処方法についてもご説明します。

⑤ 進角制御の設定

モーター駆動時の効率をアップさせるために必要な設定です。

①駆動回路の設計について

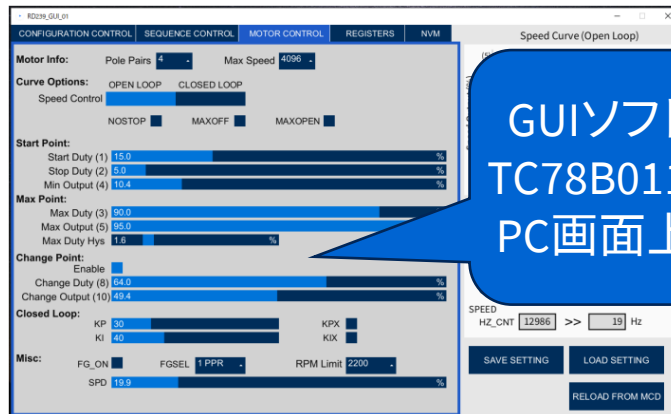
当社Webサイト内のリファレンスデザインセンターでは、
機器設計を迅速に進めるための参考回路の情報を提供しています

TC78B011FTG評価用基板写真



Arduino Nano Everyを
接続頂けます。

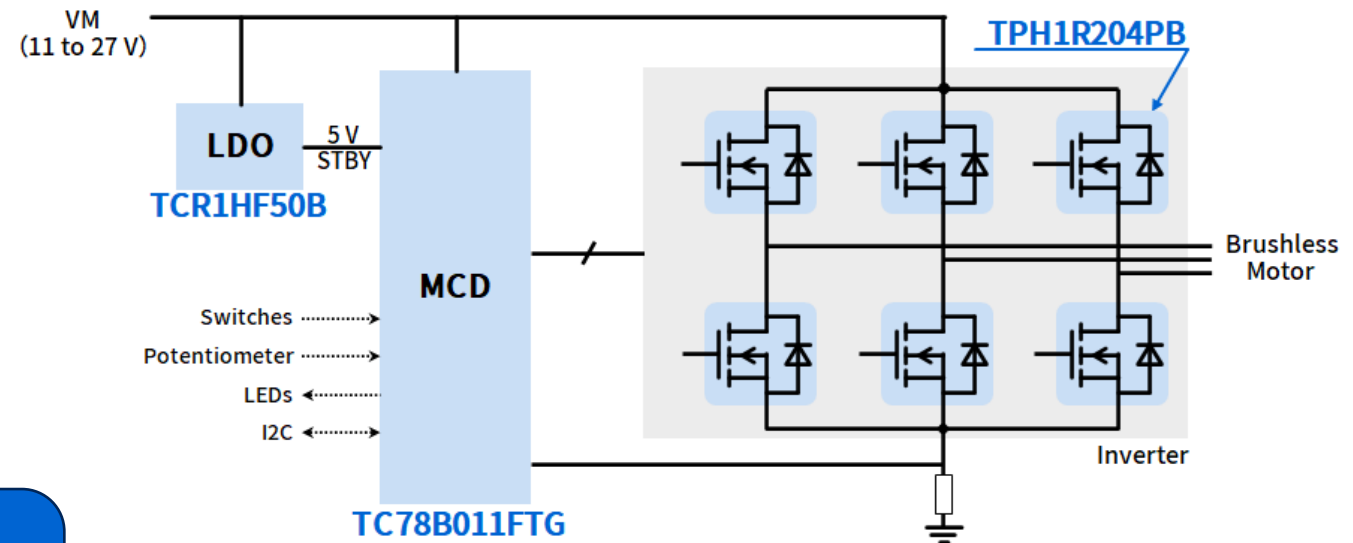
TC78B011FTG用GUIソフト



GUIソフトを用いることで、
TC78B011FTGの各種設定を
PC画面上で実施頂けます。

※ブロック図は、説明のため、簡略化して表現しています。

TC78B011FTG評価用基板ブロック図



※以下のWebサイトにて、回路図だけでなくパターン図、
ガーバーデータ、サンプルソフトなどを提供しています。

<https://toshiba.semicon-storage.com/jp/semiconductor/design-development/referencedesign/detail.RD239.html>

(ご参考)当社MOSFETラインアップ

参考回路に搭載しているMOSFETは、VDSS=40Vの製品ですが、
24V電源でのモーター駆動時にお勧めのVDSS=60Vのラインアップも用意しています

Package	Part No.	I _D (A)	R _{DS(ON)} (mΩ)				Gate charge (typ.)			Q _{oss} (typ.) (nC)	Q _{rr} (typ.) (nC)	rg (typ.) (Ω)	Gen.
			V _{GS} = 10V		V _{GS} = 4.5V		Q _g (nC)		Q _{sw} (nC)				
			typ.	max	typ.	max	V _{GS} =10V	V _{GS} =4.5V					
DSOP Advance	TPW1R306PL	100	0.95	1.29	1.5	2.3	91	44	22	77.5	48	0.5	U-MOSIX-H
SOP Advance(E)	TPM1R006PL	341	0.74	1	1.4	2.3	106	54	35	99	68	0.7	U-MOSIX-H LS
SOP Advance(N)	TPH1R306PL1	100	1	1.34	1.5	2.3	91	44	22	77.5	48	0.5	U-MOSIX-H
	TPH1R306PL	100	1	1.34	1.5	2.3	91	44	22	77.5	48	0.5	U-MOSIX-H
	TPH1R906PU	207	1.41	1.91	2.7	5.4	57	29	19	50	42	1.3	U-MOSIX-H LS
	TPH2R306NH1	136	1.9	2.3	-	-	72	-	26	92	72	1.1	U-MOSVIII-H
	TPH2R306PL1	100	1.7	2.3	2.6	4.2	60	32	19	51	57	0.6	U-MOSIX-H
SOP Advance	TPH1R306P1	100	0.96	1.28	1.5	2.3	91	44	22	77.5	39	2.2	U-MOSIX-H LS
	TPH3R506PL	94	2.6	3.5	3.9	6.7	55	27	16	39	36	0.8	U-MOSIX-H
	TPH4R606NH	32	3.8	4.6	-	-	49	-	19		46	1	U-MOSVIII-H
	TPH5R906NH	28	4.8	5.9	-	-	38	-	18	42.9	40	1	U-MOSVIII-H
	TPH7R006PL	60	5.4	7	8.9	13.5	22	11	6.2	20	28	0.8	U-MOSIX-H
	TPH7R506NH	22	6.1	7.5	-	-	31	-	14	34.2	28	1	U-MOSVIII-H
	TPH9R506PL	34	7.3	9.5	10.2	15	21	11	7.4	18	20	0.7	U-MOSIX-H
	TPH11006NL	17	9.6	11.4	12.8	17	23	11.2	6.4	21	-	0.6	U-MOSVIII-H
	TPH14006NH	14	11	14	-	-	16	-	6.3	18.3	20	2	U-MOSVIII-H
TSOP Advance	TPN4R806PL	72	3.5	4.8	6.2	9.1	29	14	11	24	26	0.8	U-MOSIX-H
	TPN7R006PL	54	5.4	7	9.2	13.5	20	9.8	6.8	20	22	0.8	U-MOSIX-H
	TPN7R506NH	26	6	7.5	-	-	22	-	9.2	28.3	26	0.7	U-MOSVIII-H
	TPN11006NL	17	9.6	11.4	12.8	17	23	11.2	6.4	21		0.6	U-MOSVIII-H
	TPN11006PL	26	8.8	11.4	12.3	18.1	17	9	5.8	14.4	18	0.65	U-MOSIX-H
	TPN14006NH	13	11	14	-	-	15	-	5.5	34.2	20	2	U-MOSVIII-H
	TPN22006NH	9	18	22	-	-	12	-	4.5	12.5	18	1	U-MOSVIII-H

(ご参考)評価用基板の入手について

サードパーティー(MIKROE社製)の基板をご購入頂けます

青字部分をクリック頂くことで、詳細情報を記載したWebサイトを閲覧頂けます。
DigiKeyやMouser Electronicsよりご購入頂けます。

ブラシ付きDCモーター

MIKROEBOARD	TOSHIBA PART
DC Motor 6 Click	TB67H451AFNG
DC Motor 7 Click	TB67H400AFTG
DC Motor 13 Click	TB67H481FNG
DC Motor 14 Click	TB67H450AFNG
DC Motor 17 Click	TC78H660FTG
DC Motor 19 Click	TC78H653FTG
DC Motor 20 Click	TC78H651AFNG
DC Motor 23 Click	TB67H480FNG
DC Motor 28 Click (FNG / FTG)	TB67H453 (FNG / FTG)
DC Motor 31 Click	TB67H482FNG

ブラシレスDCモーター

MIKROEBOARD	TOSHIBA PART
Brushless 7 Click	TC78B009FTG
Brushless 8 Click	TC78B042FTG
Brushless 9 Click	TC78B027FTG
Brushless 10 Click	TC78B016FTG
Brushless 14 Click	TB67B001FTG
Brushless 23 Click	TC78B011FTG
Brushless 31 Click	TB6605FTG
Inverter Shield 2	TB67Z833SFTG

ステッピングモーター

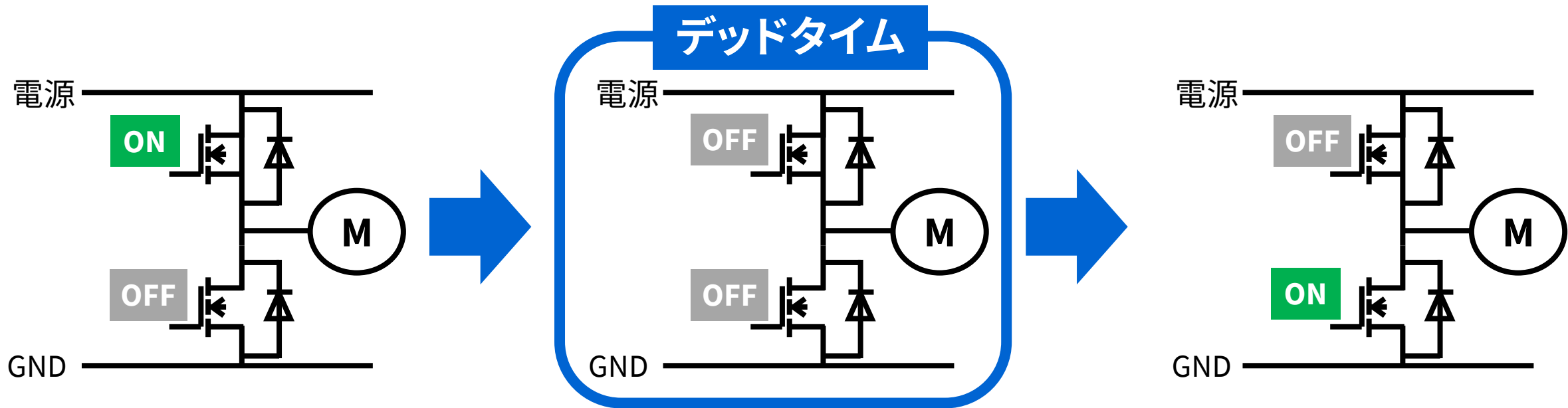
MIKROEBOARD	TOSHIBA PART
Stepper 4 Click	TB67S269FTG
Stepper 8 Click	TC78H670FTG
Stepper 9 Click	TB67S581FNG
Stepper 10 Click	TB67S128FTG
Stepper 12 Click	TB67S549FTG
Stepper 17 Click	TB67S539FTG
Stepper 20 Click	TB67S580FNG
Stepper 23 Click	TB67S569FTG
Stepper 24 Click	TB67S589FTG
Stepper 28 Click	TB67S559FTG
Stepper 29 Click	TB67S579FTG
Multi Stepper Click	For 9 MCDs (TB67S109A / TB67S102A / TB67S101A / TB67S269 / TB67S261 / TB67S209 / TB62269 / TB62262 / TB62261)

※リファレンスデザインセンターのTC78B011FTG評価用基板とは異なります。

②インバーター回路の設定について(デッドタイム)

最適なデッドタイムを設定する必要があります

デッドタイムとは、ハーフブリッジにおいて、上側MOSFETと下側MOSFETが同時にオンし、貫通電流が発生することを防ぐために設ける「**両方がオフとなる時間**」のことです。



なお、デッドタイム期間は、ボディーダイオードにモーター電流が流れることから、MOSFETに流している状態と比べ、消費電力が大きくなります。

そのため、**必要以上にデッドタイムを長く設定していると消費電力が増えてしまいます。**

②インバーター回路の設定について(デッドタイム)

TC78B011FTGは、自動的にデッドタイムを確保する機能を有しています

TC78B011FTGでは、I2C通信にて設定されたデッドタイムで外付けMOSFETの制御を行います。

なお、自動デッドタイム制御は、外付けMOSFETのVGSを監視し、MOSFETがオフの状態になっていない場合、片方のMOSFETオンの開始を延期し、貫通電流の発生を防ぐ機能です。

レジスター設定 22[1:0] DEADTIME	Dead time
00	250ns(3clk)
01	500ns(6clk)
10	1000ns(12clk)
11	1500ns(18clk)

レジスター設定 18[0] ANTITHROUGH	自動 Dead time 制御
0	有効
1	無効

お勧め設定

自動デッドタイム制御は有効にした上で、デッドタイムを短く設定することで、必要最小限のデッドタイム設定となります。

②インバーター回路の設定について(ゲート電流)

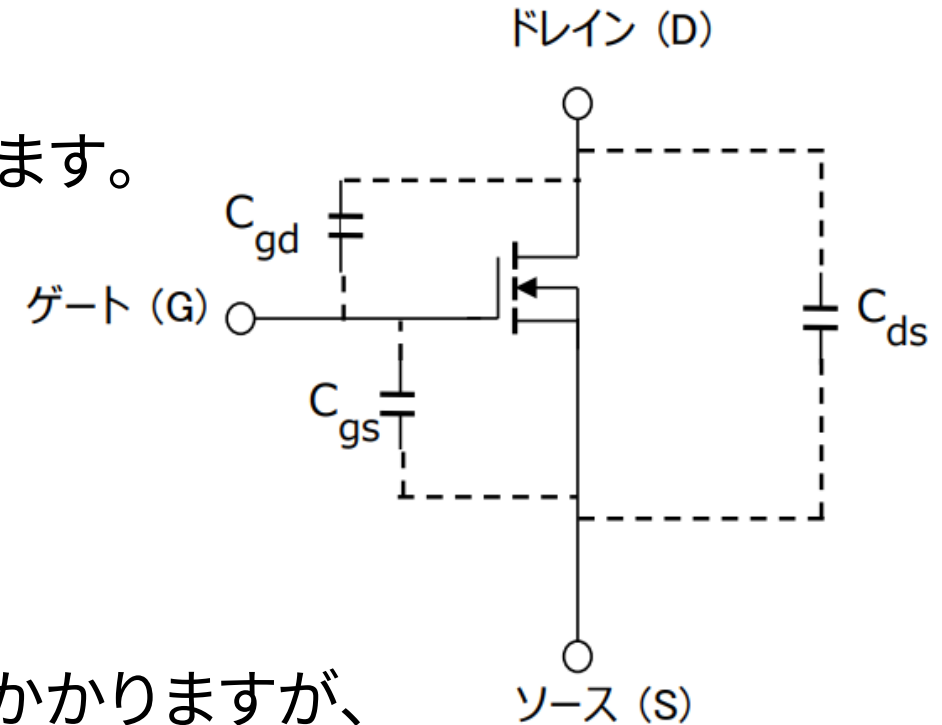
MOSFETをスイッチングさせるためには、十分なゲート電流が必要です

MOSFETのゲートはコンデンサーのような性質を持つため、ゲート電圧を変化させるためには、容量を充放電する必要があります。

ON時には容量を充電するゲート電流(ソース)が流れ、OFF時には電荷を抜くためのゲート電流(シンク)が流れます。

MOSFETのスイッチングスピードは、ゲート制御に必要な電荷量(Q_g)と、ゲート電流(I_g)の関係で決まり、概ね $t \approx Q_g / I_g$ で表されます。

ゲート容量が大きいMOSFETは、スイッチングに時間がかかりますが、ゲート電流を増やすことで、スイッチングを高速化できます。



②インバーター回路の設定について(ゲート電流)

TC78B011FTGは、ゲート電流を切り替えることが可能です

外付けMOSFETの電荷量 Q_g に応じて、ゲート電流(シンク&ソース)を設定する必要があり、一般的にはゲート抵抗の値を調整する必要がありますが、TC78B011FTGは、ゲート電流切り替え機能を内蔵しており、I2C通信にてゲート電流を調整することが可能です。

レジスター設定 23[5:3] SOURCE	上側および下側ソース電流 (mA)
000	10.0
001	13.9
010	19.3
011	26.8
100	37.3
101	51.8
110	72.0
111	100.0

レジスター設定 23[2:0] SINK	上側および下側シンク電流 (mA)
000	20.0
001	27.8
010	38.6
011	53.7
100	74.6
101	103.6
110	143.9
111	200.0

なお、電流を大きくすると、MOSFETのスイッチングスピードが上がり、スイッチングロス(≒発熱)が低減する一方で、発生する電磁波ノイズが大きくなります。

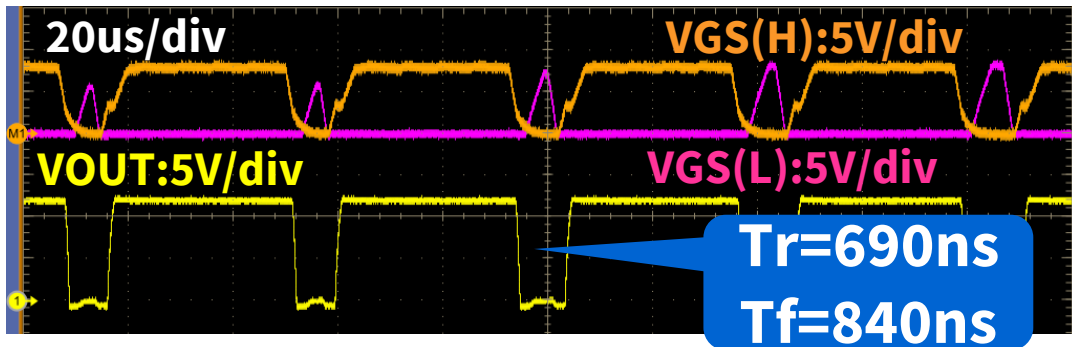
②インバーター回路の設定について(ゲート電流)

ゲート電流を切り替えた際の実出力波形をご説明します

リファレンスデザインセンター掲載基板、VM=12V、PWM周波数23.4kHz標準、Ta=25度

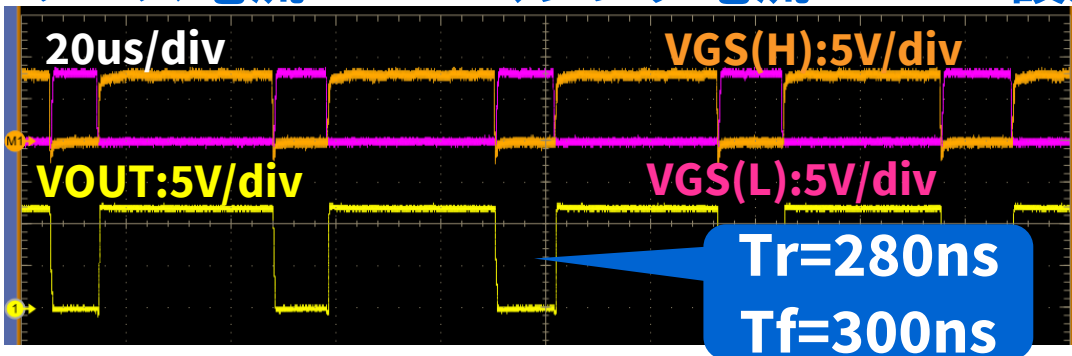
条件①

ソース電流10mA、シンク電流20mA設定

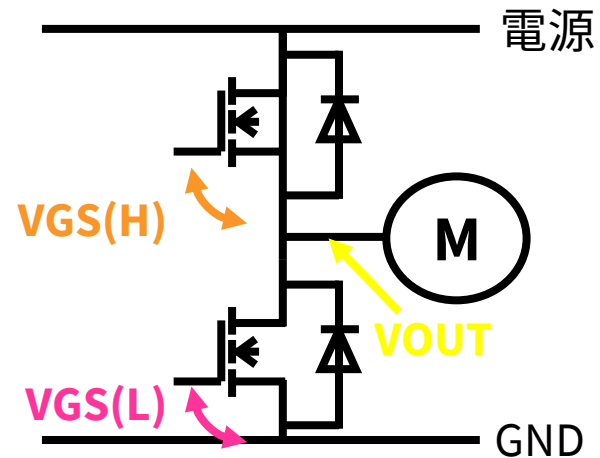


条件②

ソース電流100mA、シンク電流200mA設定



波形測定箇所



ゲート電流を大きくすると、
MOSFETのスイッチングスピード
(VOUT波形のTrやTf)が上がります。

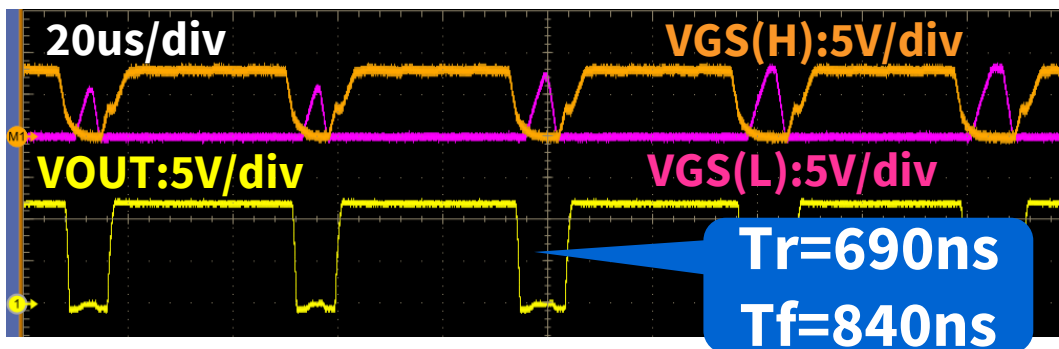
②インバーター回路の設定について(ゲート電流)

ゲート電流を切り替えた際の出力波形をご説明します

リファレンスデザインセンター掲載基板、VM=12V、PWM周波数23.4kHz標準、Ta=25度

条件①

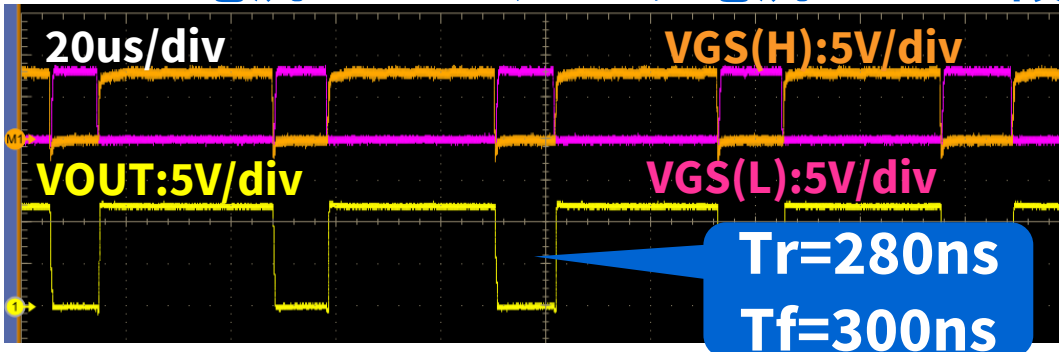
ソース電流10mA、シンク電流20mA設定



スピードが足りず、MOSFETのゲートにフルバイアス(VGS=約8V)を印加する前に、動作が切り替わっており、電流を増やす必要があります。

条件②

ソース電流100mA、シンク電流200mA設定



スピードを速くし過ぎると、オーバーシュート電圧が発生する場合がありますが、本条件では発生しておらず、特に問題ありません。

②インバーター回路の設定について(ゲート電流)

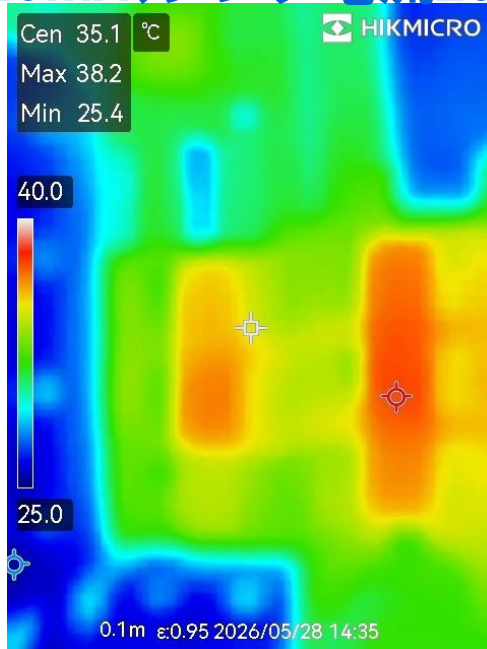
ゲート電流を切り替えた際の外付けMOSFETの表面温度データをご説明します

リファレンスデザインセンター掲載基板、VM=12V、PWM周波数23.4kHz標準、Ta=25度

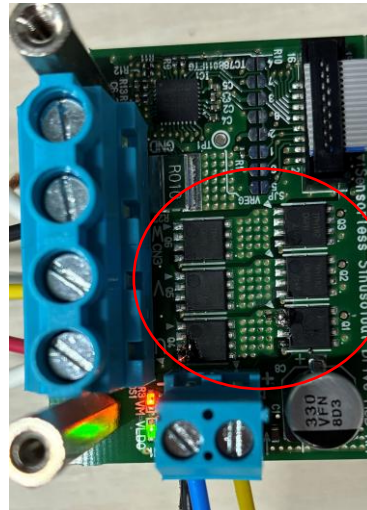
条件①

ソース電流10mA、シンク電流20mA設定

最大温度
約38度



評価基板のMOSFET部
温度分布図

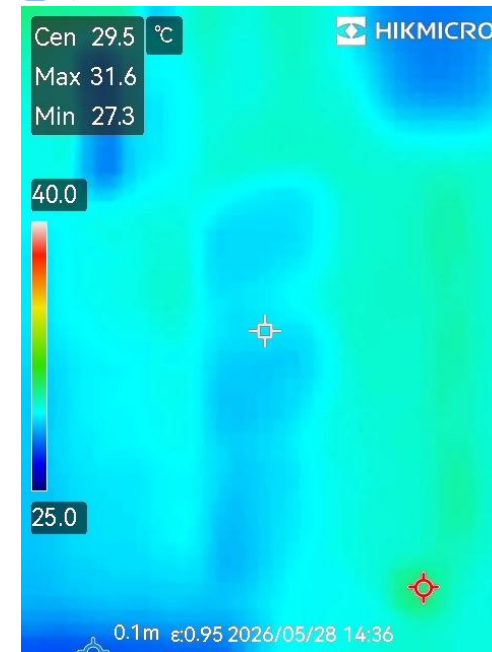


評価基板のMOSFET部
基板写真

条件②

ソース電流100mA、シンク電流200mA設定

最大温度
約32度



評価基板のMOSFET部
温度分布図

ゲート電流(シンク&ソース)を大きくすると、MOSFETの発熱が低減します。

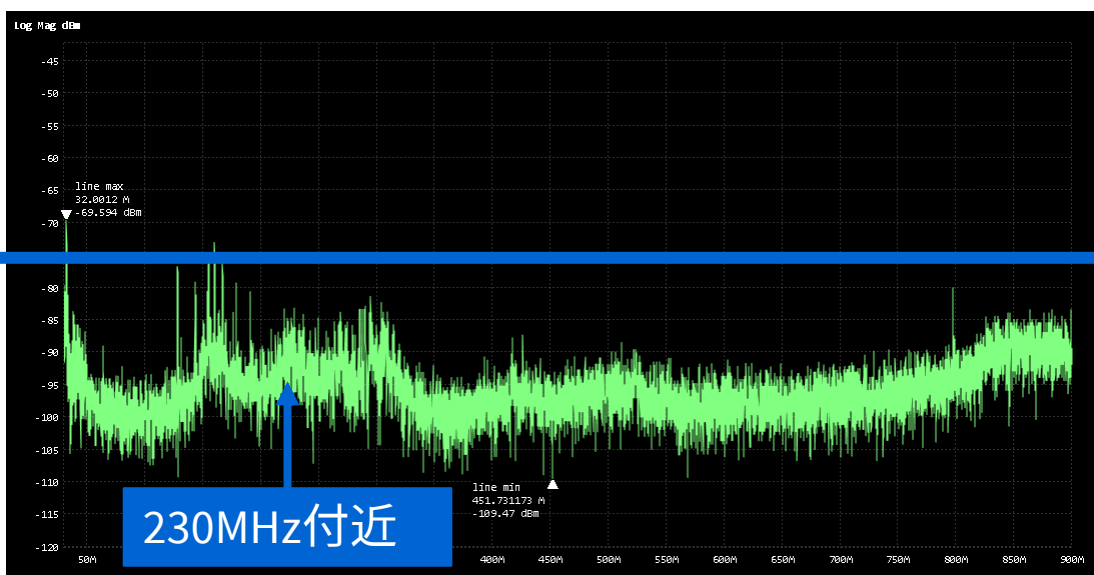
②インバーター回路の設定について(ゲート電流)

ゲート電流を切り替えた際の電磁波ノイズデータをご説明します

リファレンスデザインセンター掲載基板、VM=12V、PWM周波数23.4kHz標準、Ta=25度

条件①

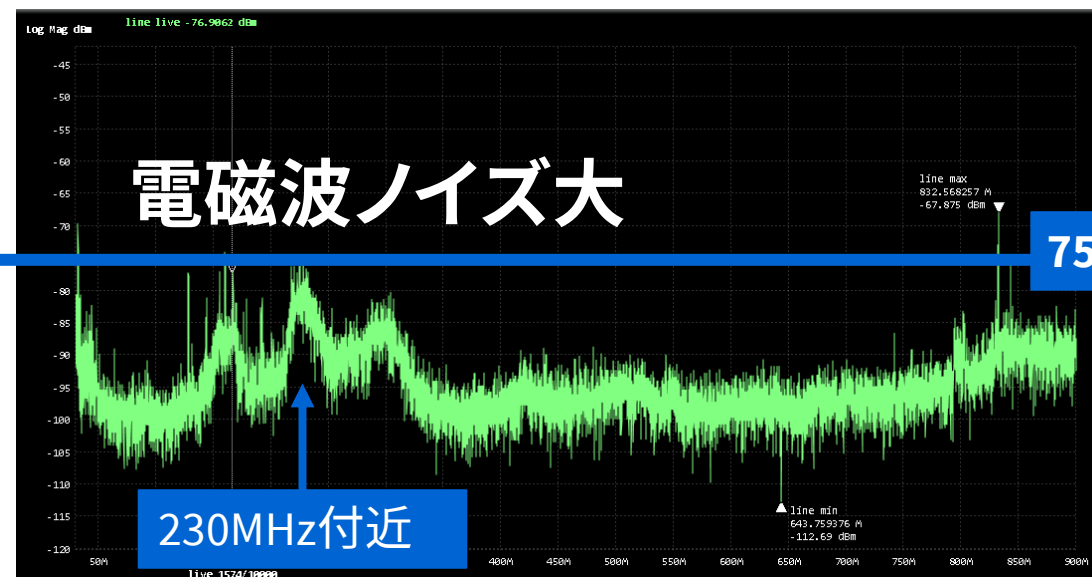
ソース電流10mA、シンク電流20mA設定



スペクトルアナライザーおよび近傍界プローブで
モーター配線部の電磁波ノイズレベルを観測

条件②

ソース電流100mA、シンク電流200mA設定



スペクトルアナライザーおよび近傍界プローブで
モーター配線部の電磁波ノイズレベルを観測

ゲート電流(シンク&ソース)を大きくすると、電磁波ノイズが大きくなる傾向があります。

③速度制御の設定(速度指令信号)

TC78B011FTGは、速度指令信号の方法を選択頂けます

TC78B011FTGは、3種類の速度指令信号に対応しています。
レジスターアドレス15[4:3]やSEL端子の設定により、お好みのモードに設定してください。

●I2Cによる速度指令モード

レジスターアドレス27[7:0]、28[7:6]に入力したデータにて設定するモードです。

●アナログ電圧による速度指令モード

SPD端子への入力電圧にて、1.5V標準～4.0V標準の範囲で設定するモードです。
SPD=0%@入力電圧1.5V標準～SPD=100%@入力電圧4.0V標準の範囲を、
9-bitの分解能で設定されます。

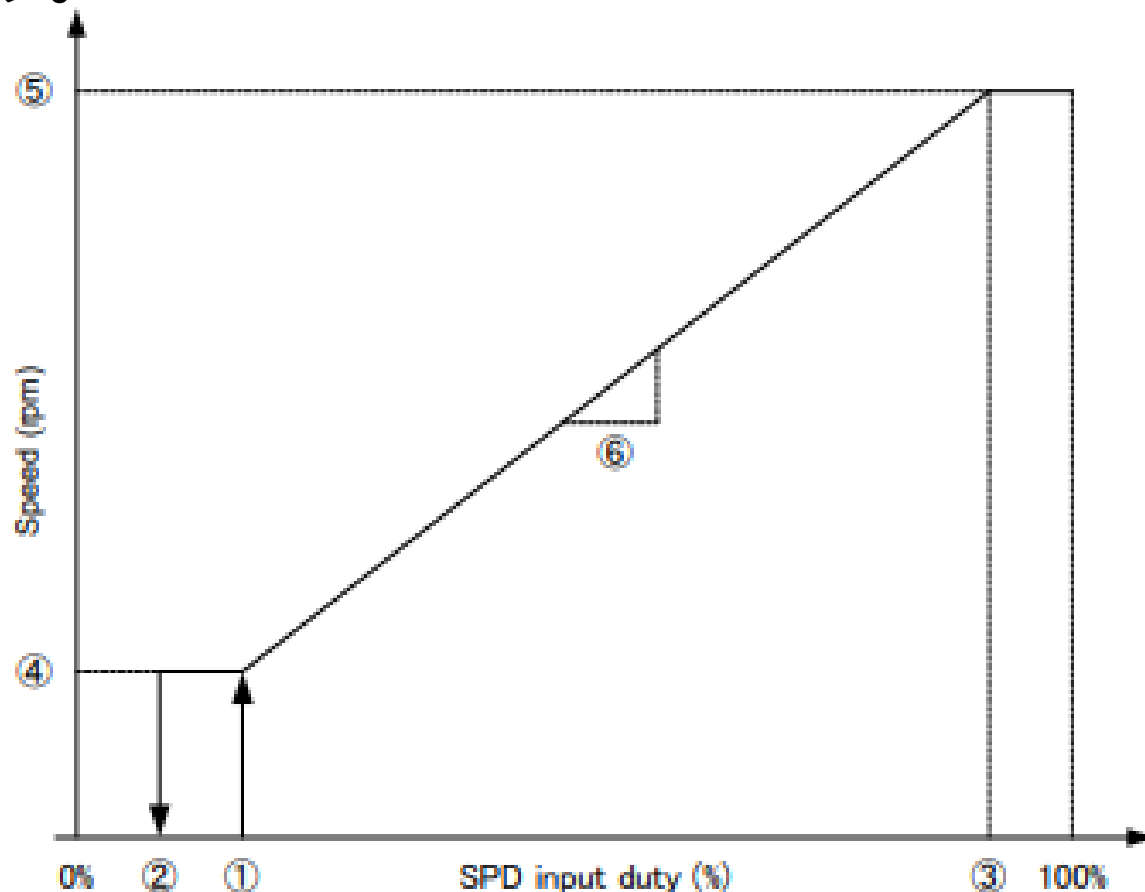
●PWM信号のDutyによる速度指令モード

SPD端子への入力するPWM信号のDutyにて設定するモードです。
SPD=0%@入力Duty0%～SPD=100%@入力Duty100%の範囲を、
PWM周波数1kHz～20kHzの条件の場合、9-bitの分解能で設定されます。

③速度制御の設定(速度カーブ)

TC78B011FTGは、速度カーブをお好みの条件に設定頂けます

クローズドループ制御の場合の速度カーブ(SPD の値と回転速度の関係)を下記に示します。



以下のパラメーターを設定頂けます。

- ①**起動Duty**:レジスタアドレス3[7:0]
起動動作を行うSPD条件です。
- ②**停止Duty**:レジスタアドレス2[6:0]
回転停止を行うSPD条件です。
- ③**最大Duty**:レジスタアドレス5[7:0]
最大回転数で回転させるSPD条件です。
- ④**起動回転数**:レジスタアドレス6[7:0]&7[7:4]
①のSPD条件とした際のターゲット回転数です。
- ⑤**最大回転数**
③のSPD条件とした際のターゲット回転数です。
- ⑥**加速傾き**:レジスタアドレス8[7:0]&9[7:2]
SPDを変化させた際のターゲット回転数の変化量です。

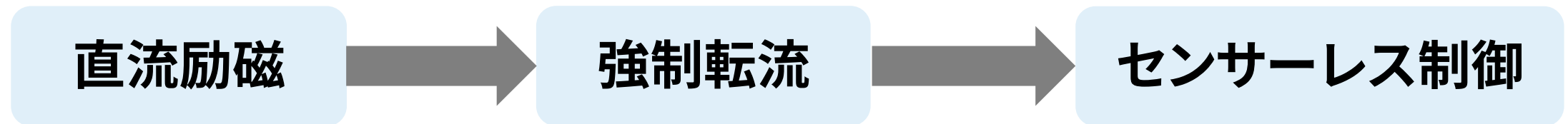
④起動制御の設定

直流励磁→強制転流→センサーレス駆動の順で起動させます

センサーレスでモーターを停止状態から起動するには？

⇒ 起動時は、モーターが回転していないため誘起電圧が発生せず、
回転子の位置検出ができません。

そのため、センサーレス製品では



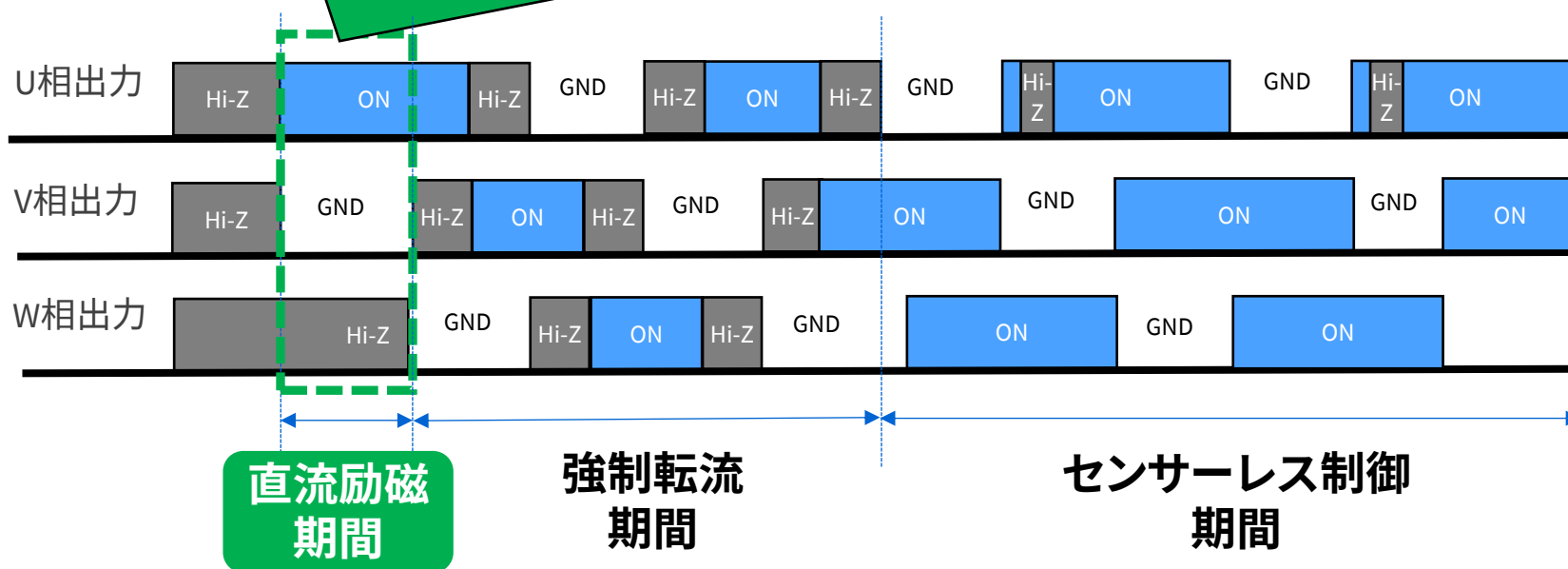
というシーケンスでモーターを起動させる場合があります、
本セミナーのモーター製品TC78B011FTGでも本シーケンスで起動させます。

④起動制御の設定(直流励磁)

U相からV相へ電流を流して回転子の位置を固定する動作です

直流励磁シーケンスイメージ

回転子の位置が不明 ⇒ 予め決めた位置に回転子を固定
(TC78B011FTGではU相からV相へ電流を流すという動作)

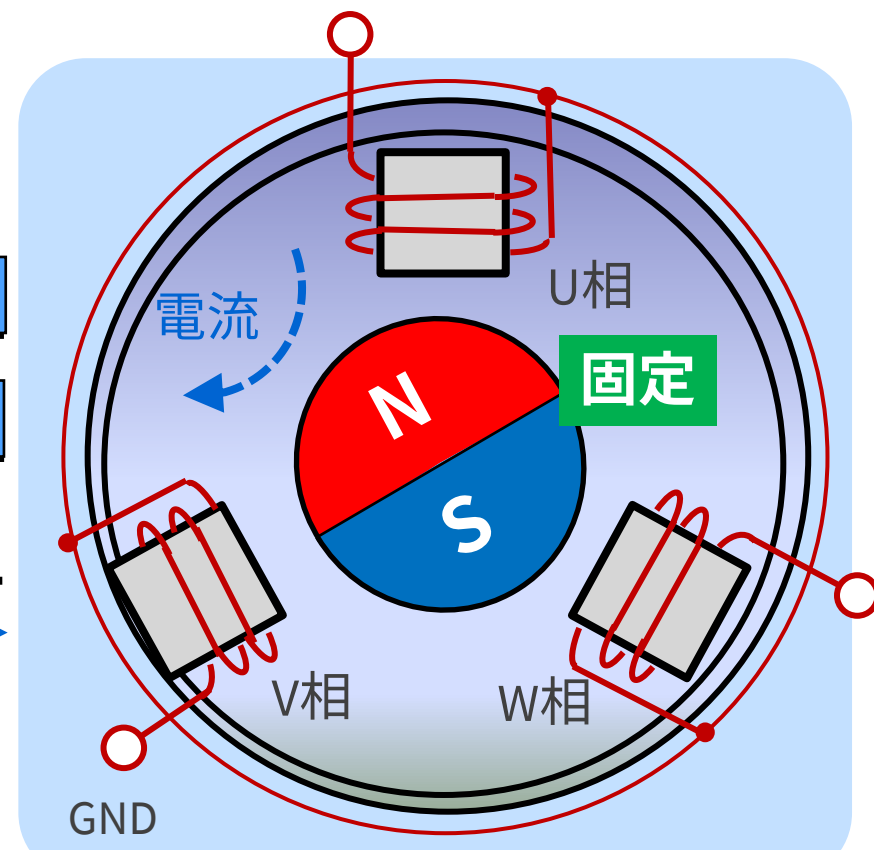


回転子がどの位置にあっても確実に固定できるよう
“出力PWM Duty”や“直流励磁の時間”を、
IC側の設定で調整する必要があります。

TC78B011FTGは、起動時の出力電流リミットについても設定可能です
この機能により、電源電圧が変動した場合でも、起動性を維持します

※タイミングチャートは、説明のため、簡略化して表現しています。

モーター電源電圧

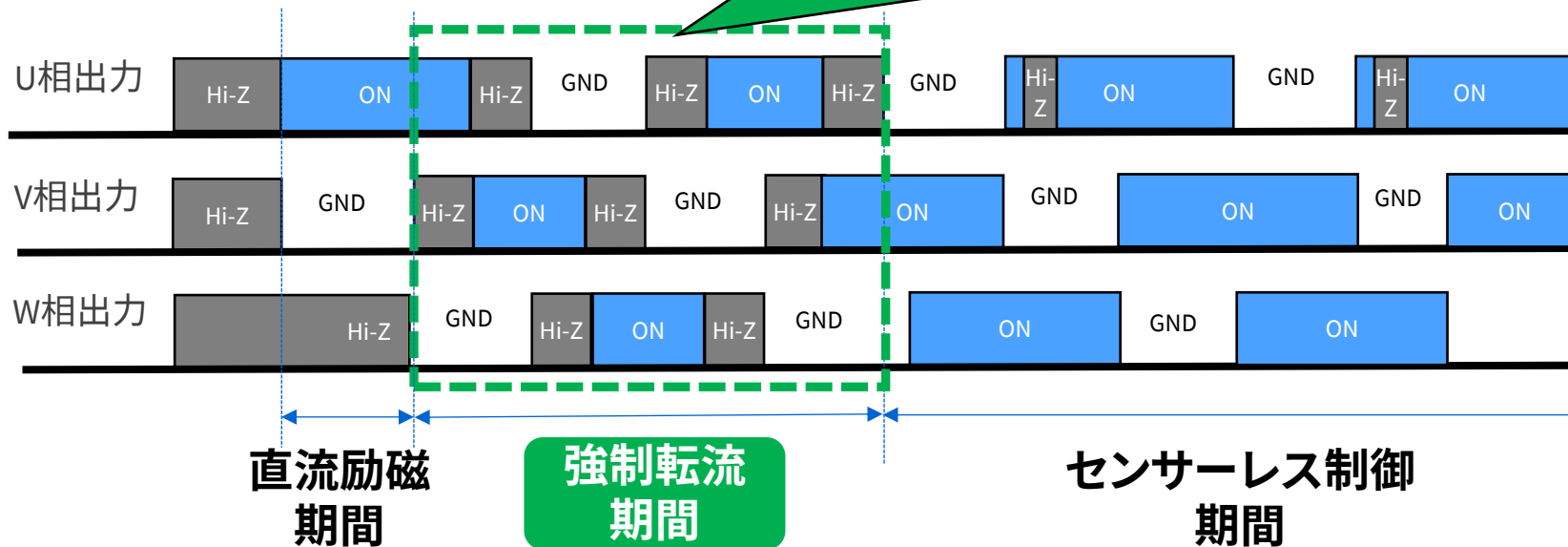


④起動制御の設定(強制転流)

強制的に回転子を回転させて、誘起電圧が検出できる回転数まで回転させます

強制転流シーケンスイメージ

モーターを120度通電でオープンループで強制回転させて、誘起電圧を発生させます

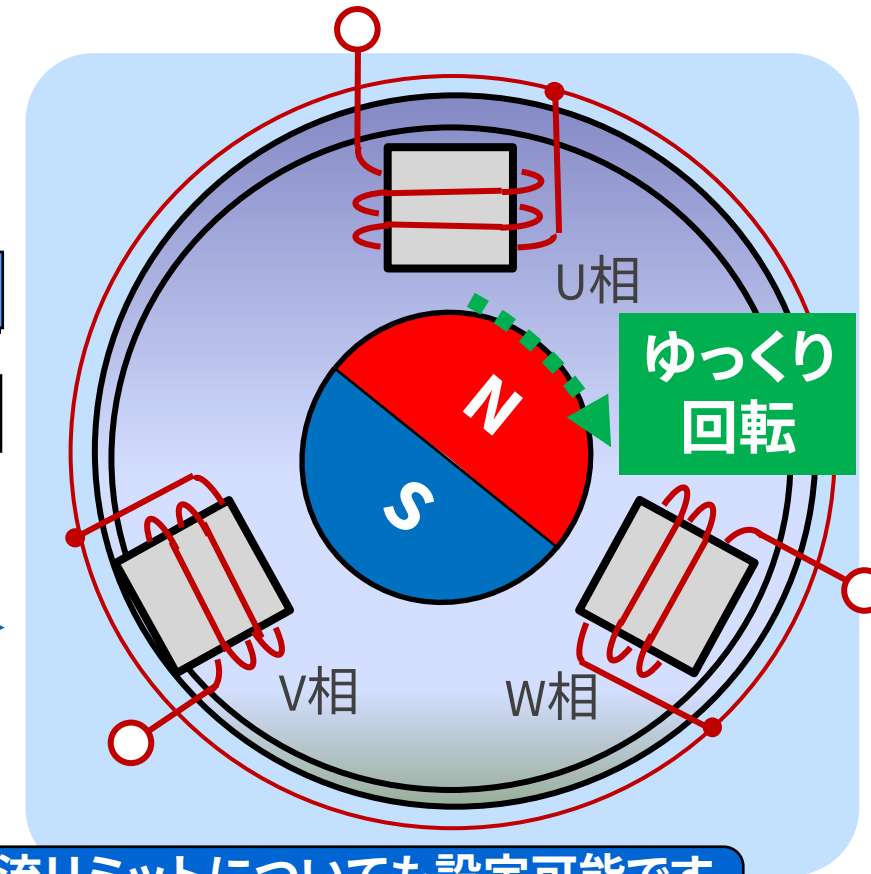


回転子が追従して回転できるよう“出力PWM Duty”、“転流周波数”を、IC側の設定で調整する必要があります。

TC78B011FTGは、起動時の出力電流リミットについても設定可能です。この機能により、電源電圧が変動した場合でも、起動性を維持します。

※タイミングチャートは、説明のため、簡略化して表現しています。

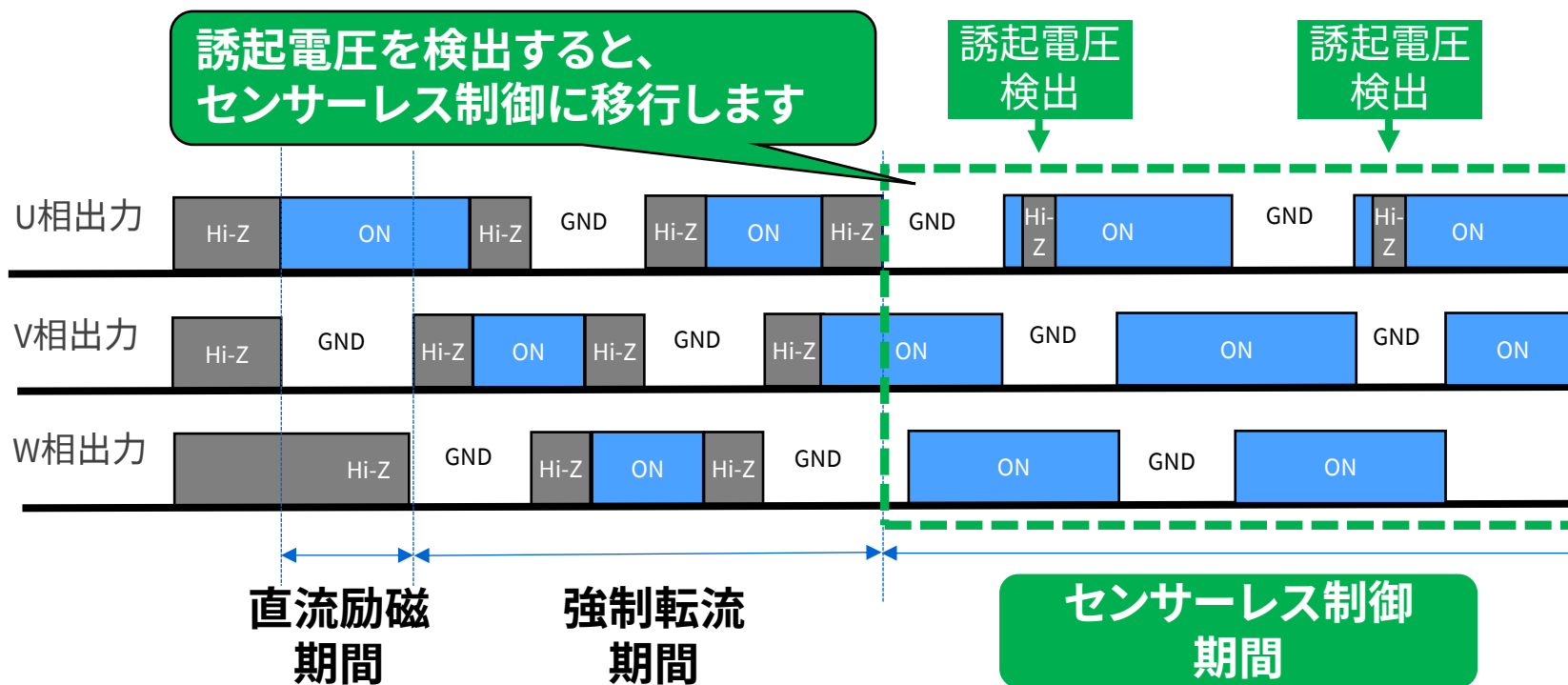
モーター電源電圧



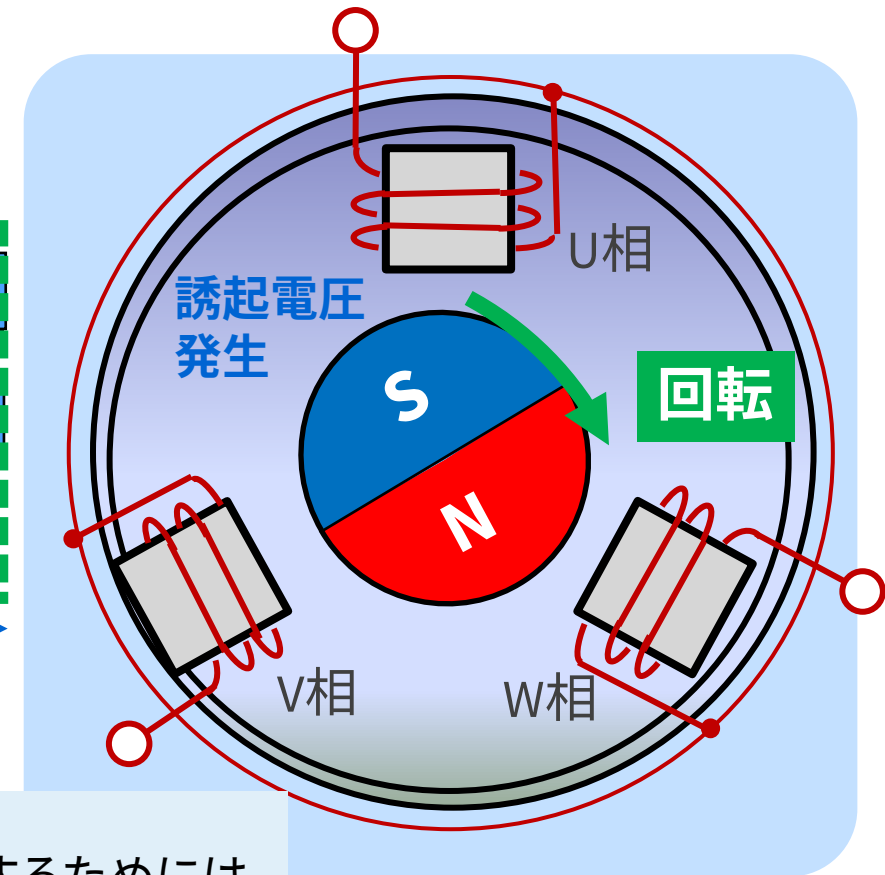
④起動制御の設定(センサーレス制御)

誘起電圧が検出できる回転数に到達するとセンサーレス駆動へと移行します

センサーレス制御シーケンスイメージ



モーター電源電圧



誘起電圧の検出は、U相出力のHi-Z期間(3~30度)に実施します。
PWM周期のタイミングでサンプリング検出しているため、位置検出精度を確保するためには、
回転周波数の100倍以上のPWM周波数で動作させる必要があります。

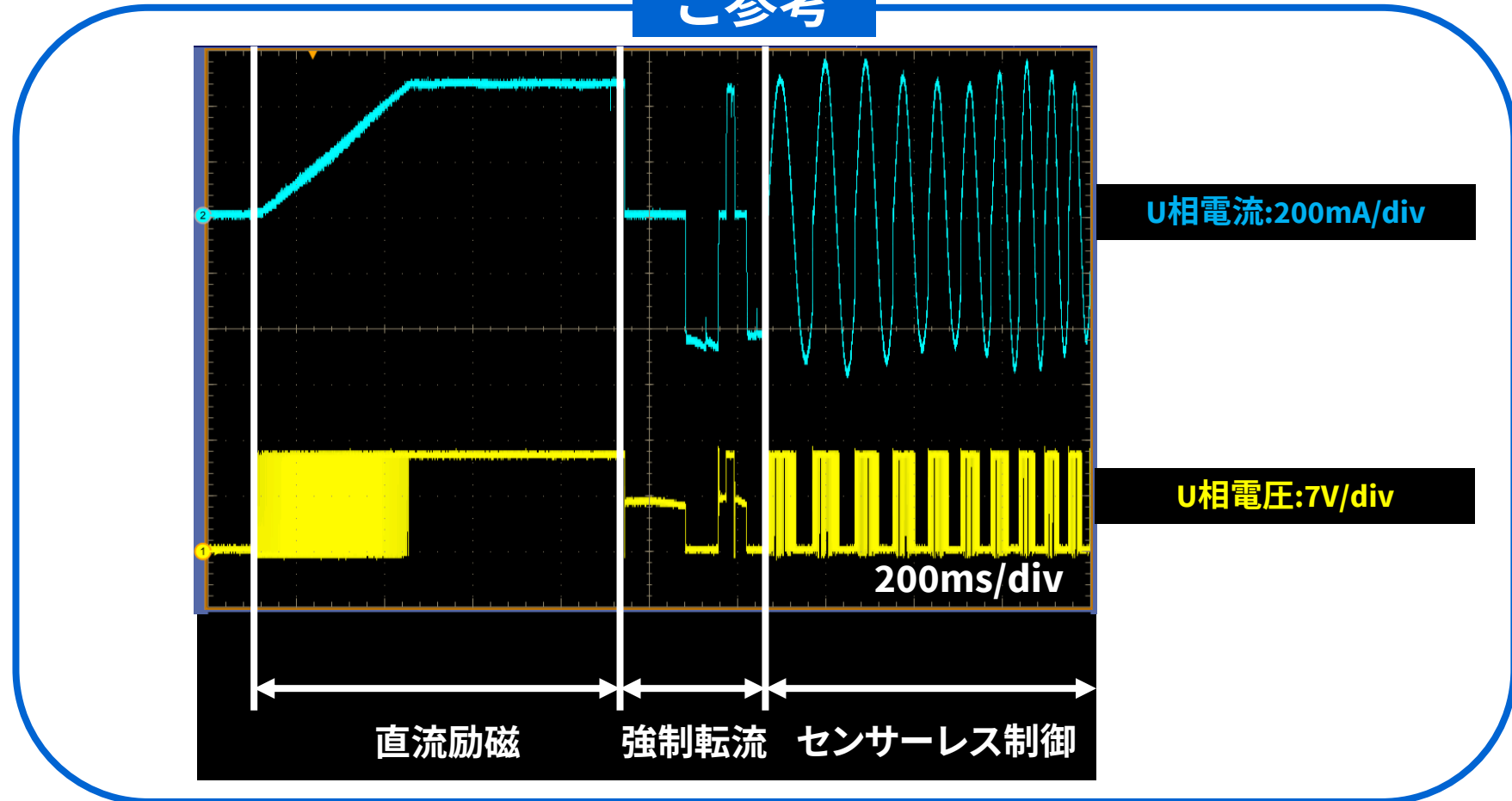
※タイミングチャートは、説明のため、簡略化して表現しています。

④起動制御の設定(起動時の波形例)

以下のシーケンスで起動を行います

リファレンスデザインセンター掲載基板、VM=12V、PWM周波数23.4kHz標準、Ta=25度

ご参考

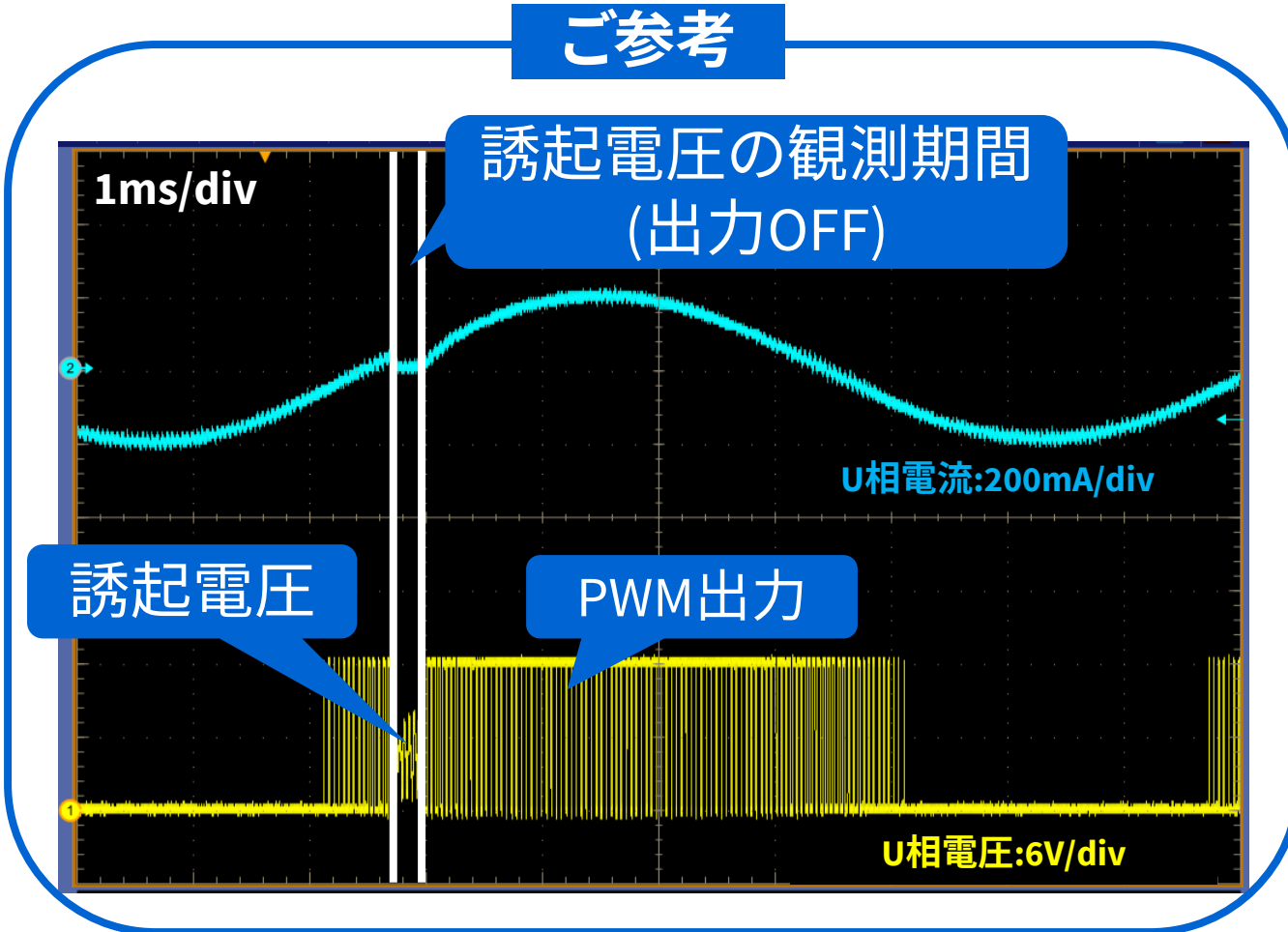


④起動制御の設定(起動時の波形例)

以下は、センサーレス制御時のモーターの電流・電圧波形の例です

リファレンスデザインセンター掲載基板、VM=12V、PWM周波数23.4kHz標準、Ta=25度、回転数2000rpm

ご参考



出力電圧を、PWM制御することにより、正弦波形状のモーター電流波形を生成しています。

モーター回転時に発生する誘起電圧は、モーター駆動のために、外部から電圧を印加している状態では観測できないため、誘起電圧の観測期間として、出力OFF期間を設けています。

④起動制御の設定(起動失敗時の対処法)

まずは、どの異常検出機能が動作したのか確認してください

起動が失敗した場合



レジスターアドレス0[5:0]に保存されている異常検出機能の検出結果を確認してください



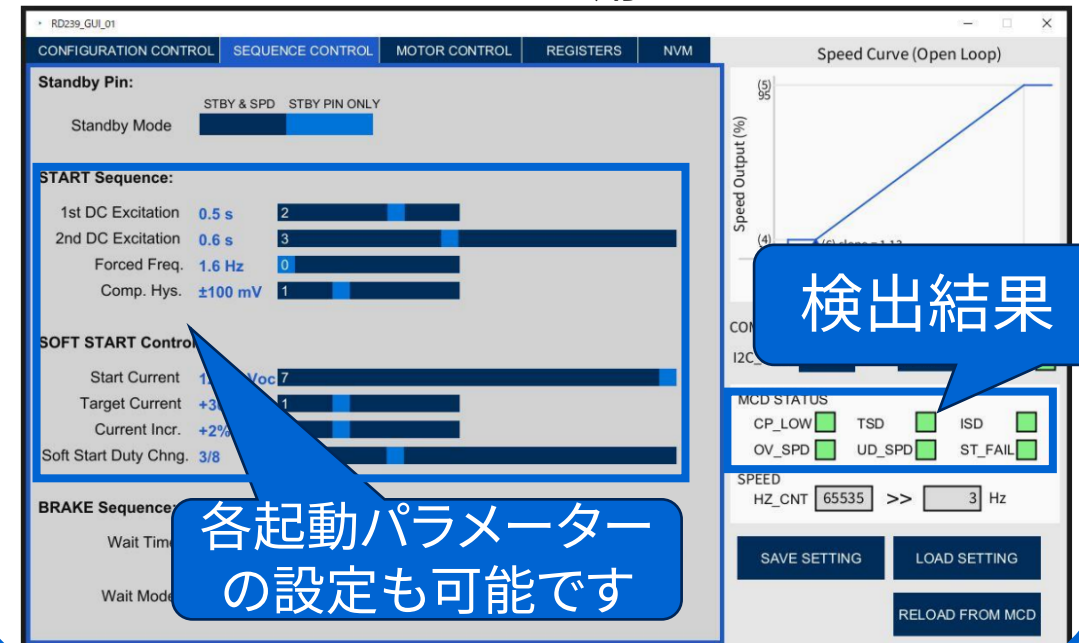
以下のいずれかの異常検出機能が動作している場合が多いと考えております

- 出力過電流検出(ISD)
- 起動異常(ST_FAIL)

ご参考

デザインセンターにて提供しているGUIソフトでは、画面上に検出結果を表示しています。

TC78B011FTG用GUIソフト



④起動制御の設定(起動失敗時の対処法)

状況に応じて、各起動パラメーターの設定を調整してください

出力過電流検出(ISD)判定の場合



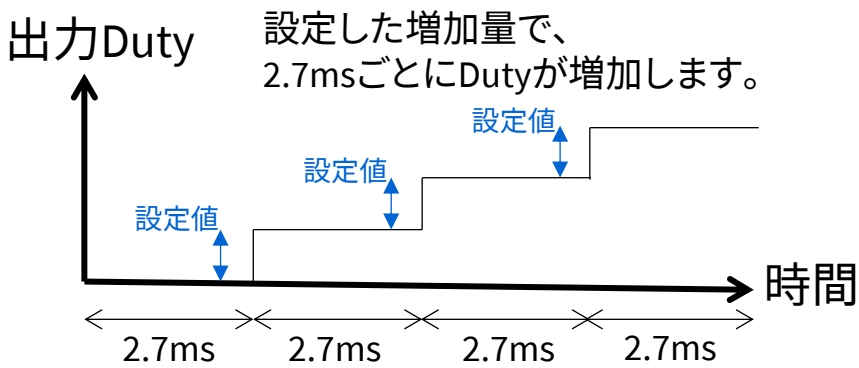
起動時の突入電流により、
過電流検出が動作した可能性があります

ソフトスタート機能を用いて、
Dutyの増加量を減らす調整により、
起動電流を抑えてください

ソフトスタート機能について

出力PWM波形のDutyを、徐々に増加させることで、
突入電流を抑制する機能です。
Dutyの増加量を以下の通り設定できます。

Soft start duty change limit レジスター設定 17[3:1] SS_DUTYCHGLIMIT	2.7ms ごと Duty 変動量 (Δ/512)	加減速時間 (s) 0% ~ 100%
000	64/8	0.17
001	2/8	5.53
010	3/8	3.69
011	4/8	2.76
100	6/8	1.84
101	10/8	1.11
110	20/8	0.55
111	56/8	0.20



④起動制御の設定(起動失敗時の対処法)

状況に応じて、各起動パラメーターの設定を調整してください

起動異常(ST_FAIL)判定の場合



起動電流を抑えすぎていると、
回転トルクが不足し、動かない状態となります

起動出力電流リミット機能にて、
リミット値を上げる調整が必要です



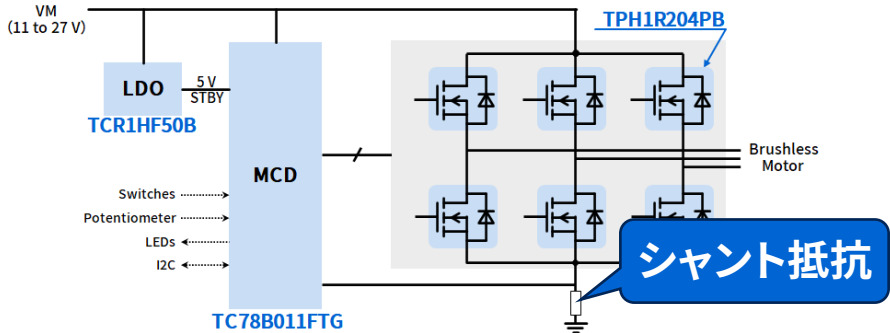
調整しても起動に失敗する場合は、次ページへ

起動出力電流リミットについて

起動時の出力電流を制限する機能です。
以下の計算式で設定します。
出力電流リミット[A] = VOC/シャント抵抗値
VOCを以下の通り設定できます。

レジスター設定 16[3:1] STARTCURRENT	起動出力電流リミット VOC 電圧 (V)
000	VOC
001	VOC×87.5%
010	VOC×75.0%
011	VOC×62.5%
100	VOC×50.0%
101	VOC×37.5%
110	VOC×25.0%
111	VOC×12.5%

※VOCは、0.25Vと0.125Vの2種より選択可能です。



④起動制御の設定(起動失敗時の対処法)

状況に応じて、各起動パラメーターの設定を調整してください

起動異常(ST_FAIL)判定の場合



起動電流を抑えすぎていると、
回転トルクが不足し、動かない状態となります

ソフトスタート機能にて、
Dutyの増加量を**増やす**調整が必要です



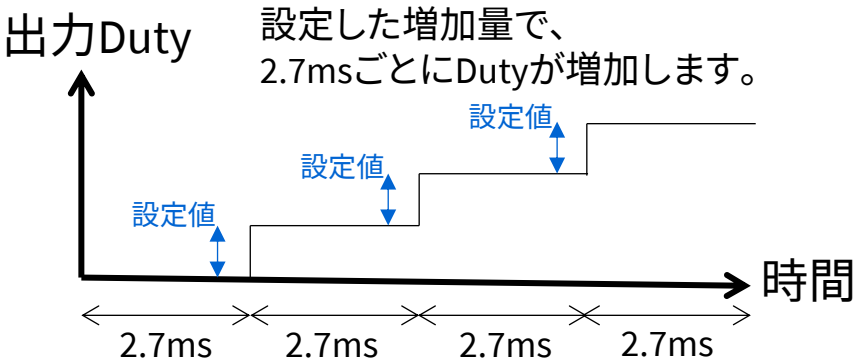
調整しても起動に失敗する場合は、次ページへ

ソフトスタート機能について

出力PWM波形のDutyを、徐々に増加させることで、
突入電流を抑制する機能です。

Dutyの増加量を以下の通り設定できます。

Soft start duty change limit レジスター設定 17[3:1] SS_DUTYCHGLIMIT	2.7ms ごと Duty 変動量 ($\Delta/512$)	加減速時間 (s) 0% ~ 100%
000	64/8	0.17
001	2/8	5.53
010	3/8	3.69
011	4/8	2.76
100	6/8	1.84
101	10/8	1.11
110	20/8	0.55
111	56/8	0.20



④起動制御の設定(起動失敗時の対処法)

状況に応じて、各起動パラメーターの設定を調整してください

起動異常(ST_FAIL)判定の場合



初期位置固定が、
不十分な可能性があります

直流励磁の時間を**長め**に調整し、
回転子がどの位置からでも、
確実に起動するようにしてください



調整しても起動に失敗する場合は、次ページへ

直流励磁の期間を以下の通り設定頂けます。

2回の直流励磁期間を設定頂けます。

通常は2回目のみ使用しますが、
モーターの特定の位置に不感帯などがあり、
2回目の直流励磁で位置決めができない場合に、
1回目の直流励磁を使用して、
その位置を外して2回目の直流励磁で
初期位置が決まるようにします。

直流励磁(1回目)

レジスター設定 20[4:3] PreTIP	時間 (s)
00	0
01	0.2
10	0.5
11	1.0

直流励磁(2回目)

レジスター設定 20[2:0] TIP	時間 (s)
000	0.1
001	0.2
010	0.4
011	0.6
100	0.8
101	1
110	1.5
111	2

④起動制御の設定(起動失敗時の対処法)

状況に応じて、各起動パラメーターの設定を調整してください

起動異常(ST_FAIL)判定の場合



強制転流の周波数での回転に
モーターが追従できていない状態の場合、
強制転流の周波数を下げる調整をしてください

回転に追従できているが、
センサーレス制御に移行しない状態の場合、
安定した誘起電圧の検出ができるよう
強制転流の周波数を上げる調整をしてください

強制転流の周波数を以下の通り設定頂けます。

レジスター設定 21[1:0] FST	電気角周波数	空転検出時間 (電気角周波数)
00	1.6Hz	200ms (5Hz)
01	3.2Hz	100ms (10Hz)
10	6.4Hz	50ms (20Hz)
11	12.8Hz	25ms (40Hz)

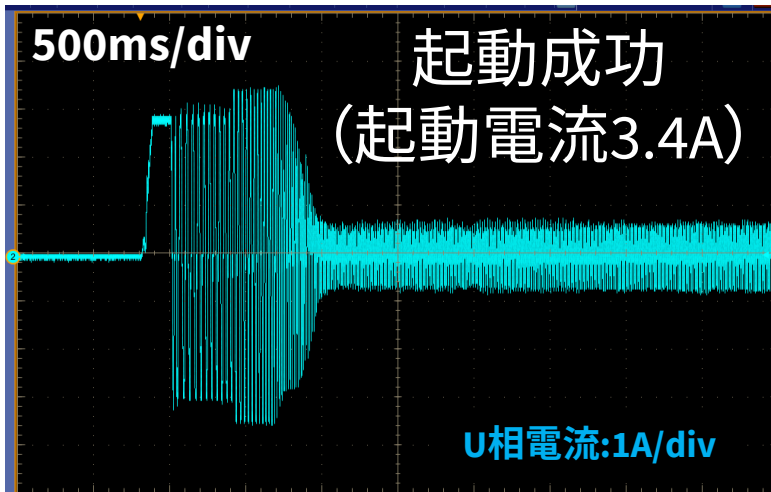
④起動制御の設定(起動失敗時の対処法)

以下がソフトスタート設定を変えた際の起動電流波形です

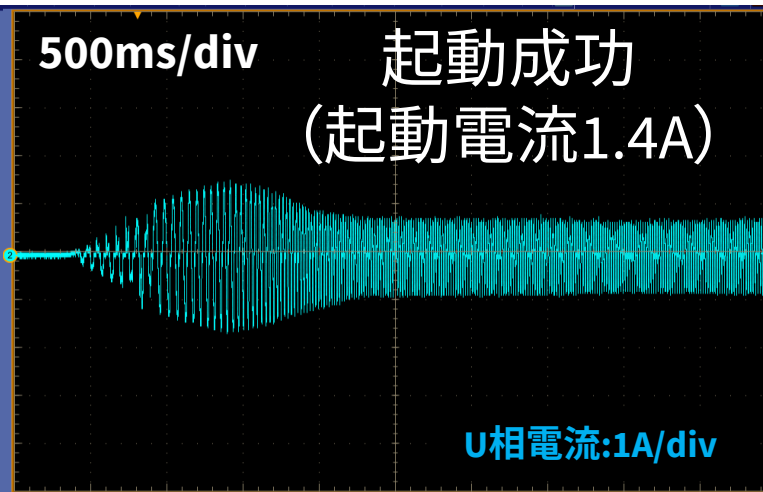
リファレンスデザインセンター掲載基板、VM=12V、PWM周波数23.4kHz標準、Ta=25度

ご参考

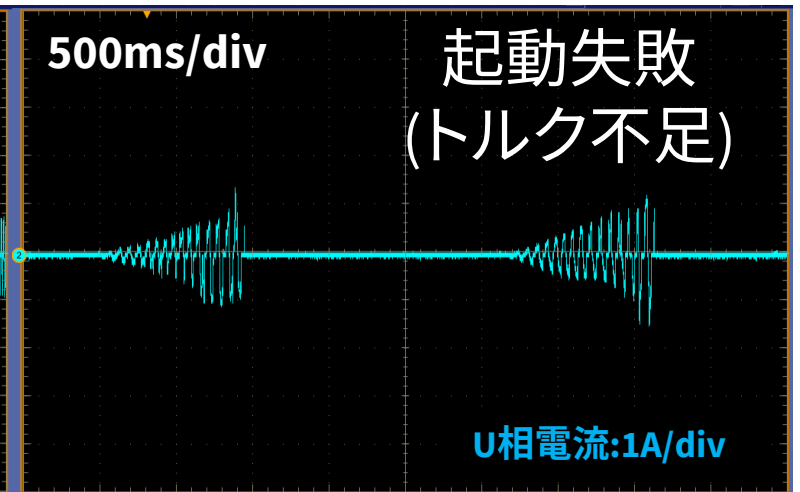
ソフトスタートDuty変動量**64/8**



ソフトスタートDuty変動量**20/8**



ソフトスタートDuty変動量**2/8**

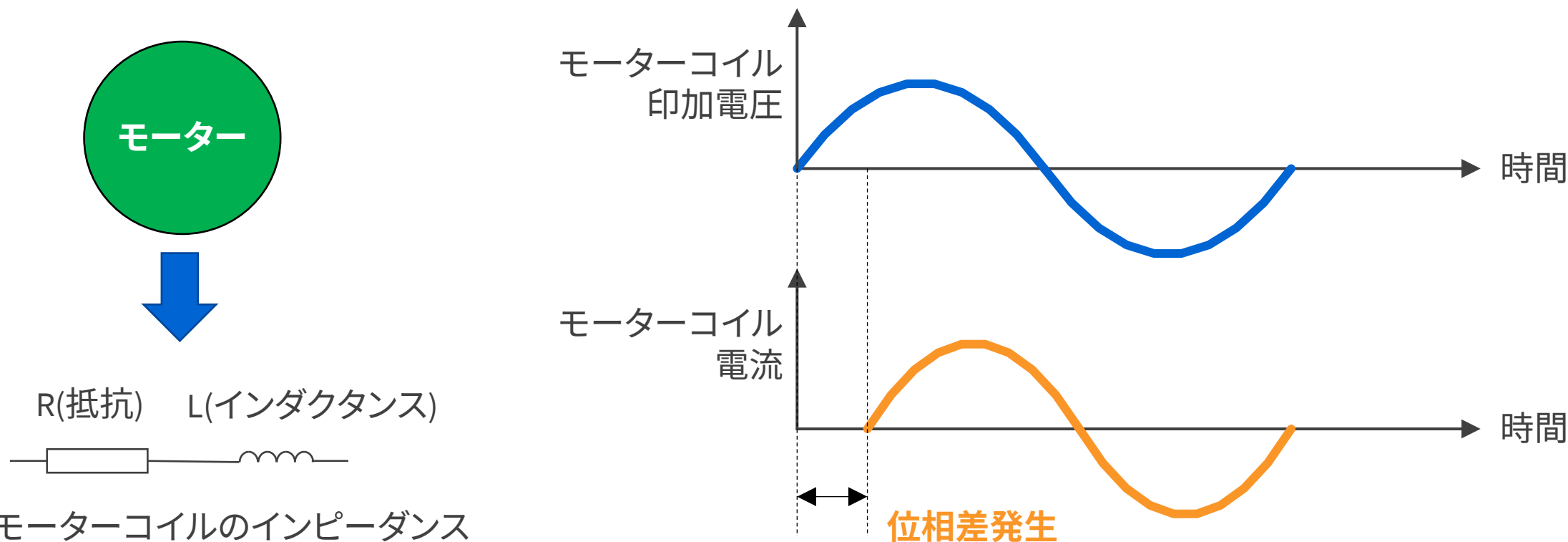


⑤進角制御の設定

コイルに電圧を印加してもインダクタンス成分により、電流は遅れて流れます

モーターコイルの特性について

コイルには**インダクタンス成分**があるため、電圧を印加しても**すぐには電流**は流れません。モーターの**回転数が上がる**ほど**電圧**と**電流**の**位相差**が**大きく**なります。



※タイミングチャートは、説明のため、簡略化して表現しています。

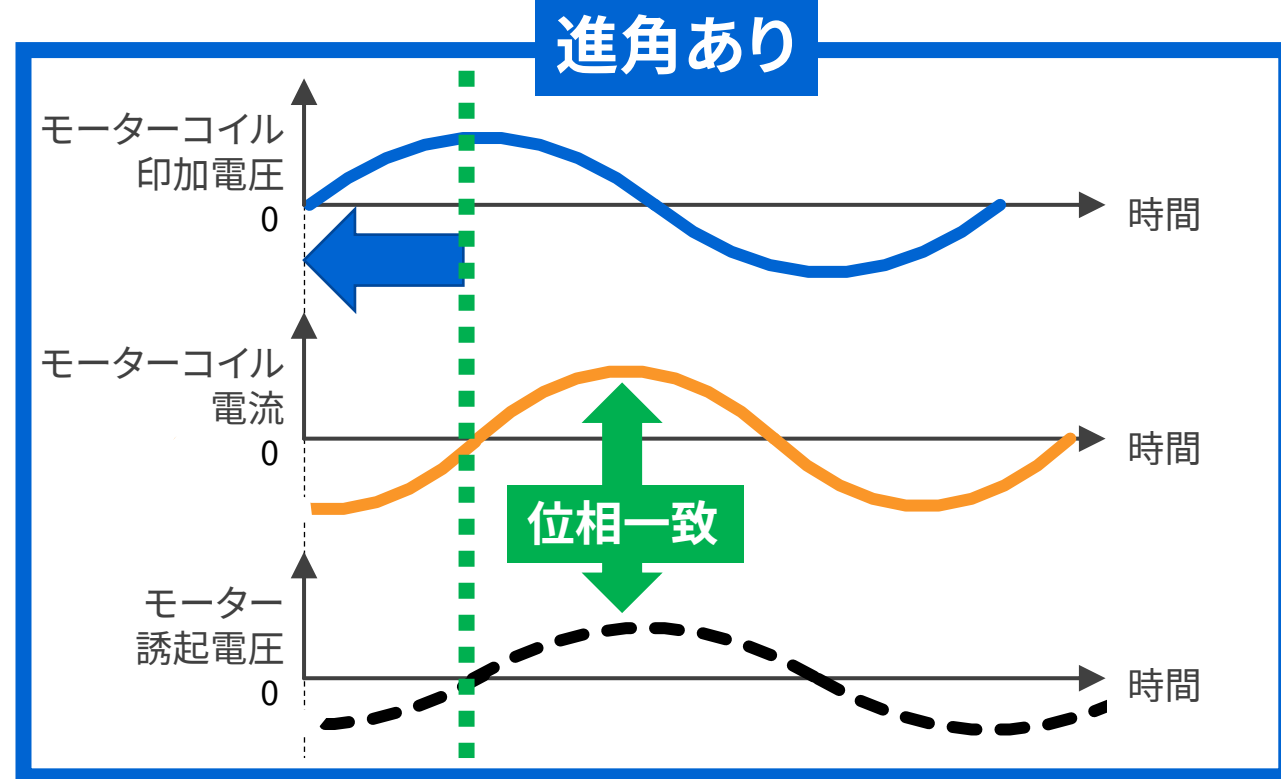
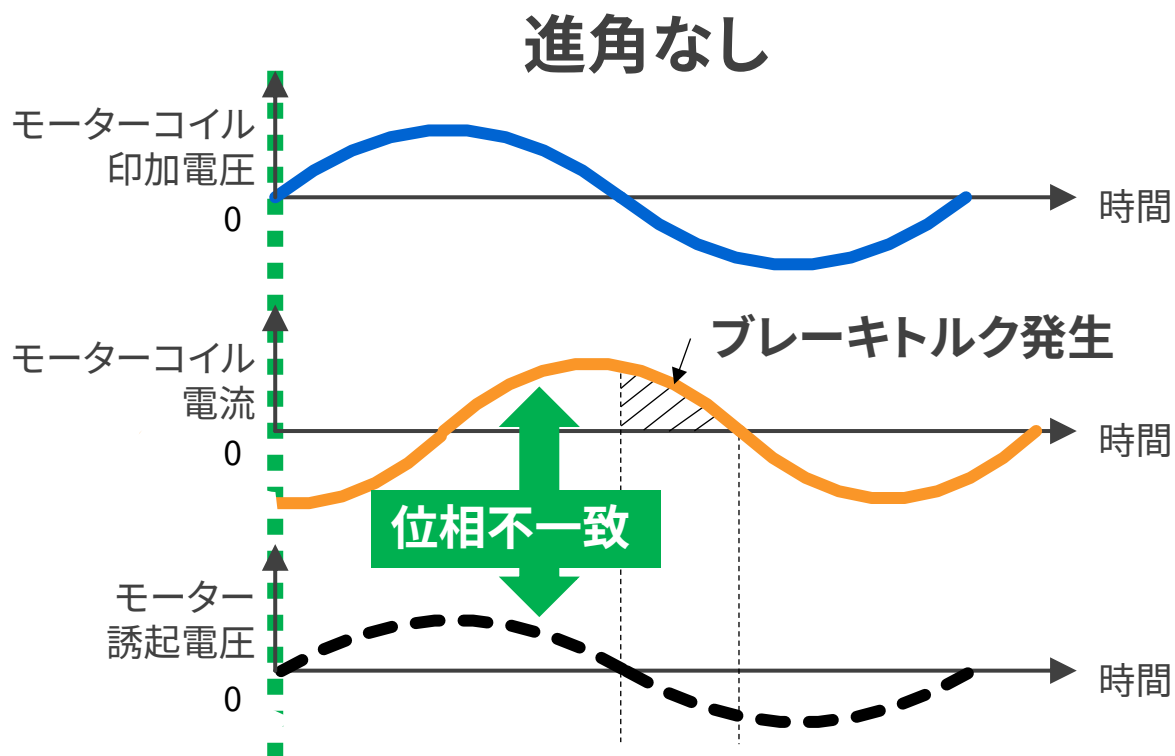
⑤進角制御の設定

コイルに発生する誘起電圧と流れる電流の位相を一致させると効率がUpします

モーターを効率よく回すには？

コイルに発生する誘起電圧の位相と流れる電流の位相を一致させることが効果的です。

モーターコイル印加電圧の位相を進ませる ⇒ **進角制御**といいます



※タイミングチャートは、説明のため、簡略化して表現しています。

⑤進角制御の設定

所望の回転数条件で最も効率が良くなる進角値をご確認の上、設定願います

リファレンスデザインセンター掲載基板、VM=12V、PWM周波数23.4kHz標準、Ta=25度、1000rpm

ご参考

進角を以下の通り設定頂けます。

レジスター設定 21[7:4] LA	レジスター設定 21[1:0] FST		回転速度 (電気角)						
	00	加速時	0Hz < f ≤ 100Hz	100Hz < f ≤ 200Hz	200Hz < f ≤ 300Hz	300Hz < f ≤ 400Hz	400Hz < f ≤ 500Hz	500Hz < f	
		減速時	0Hz < f ≤ 50Hz	50Hz < f ≤ 150Hz	150 Hz < f ≤ 250Hz	250 Hz < f ≤ 350Hz	350 Hz < f ≤ 450Hz	450Hz < f	
	01 10 11	加速時	0Hz < f ≤ 200Hz	200Hz < f ≤ 400Hz	400 Hz < f ≤ 600Hz	600 Hz < f ≤ 800Hz	800 Hz < f ≤ 1kHz	1kHz < f	
		減速時	0Hz < f ≤ 100Hz	100Hz < f ≤ 300Hz	300 Hz < f ≤ 500Hz	500 Hz < f ≤ 700Hz	700 Hz < f ≤ 900Hz	900Hz < f	
0000	0		0°						
0001	1		3.75°						
0010	2		7.5°						
0011	3		11.25°						
0100	4		15°						
0101	5		18.75°						
0110	6		22.5°						
0111	7		26.25°						
1000	8		30°						
1001	9		7.5°	15°	15°	15°	18.75°	22.5°	
1010	10		7.5°	7.5°	15°	15°	18.75°	22.5°	
1011	11		0°	3.75°	7.5°	11.25°	15°	18.75°	
1100	12		3.75°	7.5°	11.25°	15°	18.75°	22.5°	
1101	13		7.5°	11.25°	15°	18.75°	22.5°	26.25°	
1110	14		11.25°	15°	18.75°	22.5°	26.25°	30°	
1111	15		3.75°	11.25°	18.75°	26.25°	30°	30°	

進角設定を変えた際のモーター電流測定結果

進角設定	モーター電流
0度	240mA
3.75度	236mA
7.5度	234mA
11.25度	231mA
15度	237mA
18.75度	240mA
22.5度	246mA
26.25度	252mA

今回の条件では、
11.25°の進角設定にて、
モーター電流が最小であり、
高効率で回すことができる
条件でした。

3相ブラシレスDCモータードライバーご説明

本日ご説明の製品以外にも、様々なラインアップを有しています
東芝モータードライバーのご検討、よろしくお願いします

コントローラタイプ

TC78**B043**

低騒音

動作電源
6~23V

ホール
センサー

高精度
正弦波

正弦波
起動

TC78**B042/B041**

高効率

動作電源
6~16.5V

ホール
センサー

正弦波

自動進角
InPAC

プリドライバータイプ

TC78**B011**

本セミナーのモチーフ製品

動作電源
5.5~27V

センサー
レス

正弦波

クローズ
ドループ

TC78**B009**

動作電源
5.5~27V

センサー
レス

矩形波

クローズ
ドループ

TB**6605**

動作電源
9~28V

ホール
センサー

正弦波

ドライバータイプ

TB67**B001**

3A定格

動作電源
4~22V

センサー
レス

矩形波

TC78**B016**

3A定格

動作電源
6~30V

ホール
センサー

正弦波

自動進角
InPAC

TC78**B025**

4A定格

動作電源
4.5~16V

ホール
センサー

正弦波

クローズ
ドループ

サポート情報 ～技術的なお問い合わせについて～

以下のWebサイトより、技術的なお問い合わせを頂けます

<https://toshiba.semicon-storage.com/jp/contact.html>

クリック①

お問い合わせ

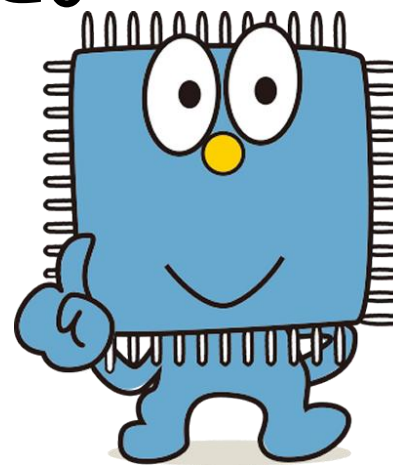
[よくあるお問い合わせ](#) [技術的なお問い合わせ](#) [信頼性データ等のご要求](#) [パーソナル製品お問い合わせ](#) [会社情報お問い合わせ](#) [その他お問い合わせ](#) [お問い合わせ前の注意事項](#)

お問い合わせの例

お問い合わせ内容	対応窓口
製品の品番（ADDコード）に関する質問	
製品の機能、使用方法に関する質問	
推奨製品、後継品、代替品の確認	⇒ ウェブ窓口 ↓にて受付いたします
生産計画、保守・廃止予定の確認	
価格見積、供給状況の確認、サンプル提供	
RoHS証明書、信頼性データの提供	
使用材料、含有物質情報の提供	⇒ 営業窓口 ↓にて受付いたします
輸出管理情報の提供	
ストレージ(HDD)製品の故障・保証について	⇒ ご購入のお店、製品の販売元にご相談ください ⇒ 外付けHDD（CANVIOシリーズ）については パーソナルストレージ製品についてのお問い合わせ ↓からご連絡ください
ストレージ(HDD)製品のPCマッチング情報、換装方法など	⇒ PCメーカー、PCパーツ専門店にご相談ください

クリック②

ご清聴ありがとうございました。



製品取り扱い上のお願い

株式会社東芝およびその子会社ならびに関係会社を以下「当社」といいます。
本資料に掲載されているハードウェア、ソフトウェアおよびシステムを以下「本製品」といいます。

- 本製品に関する情報等、本資料の掲載内容は、技術の進歩などにより予告なしに変更されることがあります。
- 文書による当社の事前の承諾なしに本資料の転載複製を禁じます。また、文書による当社の事前の承諾を得て本資料を転載複製する場合でも、記載内容に一切変更を加えたり、削除したりしないでください。
- 当社は品質、信頼性の向上に努めていますが、半導体・ストレージ製品は一般に誤作動または故障する場合があります。本製品をご使用頂く場合は、本製品の誤作動や故障により生命・身体・財産が侵害されることのないように、お客様の責任において、お客様のハードウェア・ソフトウェア・システムに必要な安全設計を行うことをお願いします。なお、設計および使用に際しては、本製品に関する最新の情報（本資料、仕様書、データシート、アプリケーションノート、半導体信頼性ハンドブックなど）および本製品が使用される機器の取扱説明書、操作説明書などをご確認の上、これに従ってください。また、上記資料などに記載の製品データ、図、表などに示す技術的な内容、プログラム、アルゴリズムその他応用回路例などの情報を使用する場合は、お客様の製品単独およびシステム全体で十分に評価し、お客様の責任において適用可否を判断してください。
- 本製品は、特別に高い品質・信頼性が要求され、またはその故障や誤作動が生命・身体に危害を及ぼす恐れ、膨大な財産損害を引き起こす恐れ、もしくは社会に深刻な影響を及ぼす恐れのある機器（以下“特定用途”という）に使用されることは意図されていませんし、保証もされていません。特定用途には原子力関連機器、航空・宇宙機器、医療機器（生命直結機器）、車載・輸送機器、防衛関連機器などが含まれますが、本資料に個別に記載する用途は除きます。特定用途に使用された場合には、当社は一切の責任を負いません。なお、詳細は当社営業窓口まで、または当社Webサイトのお問い合わせフォームからお問い合わせください。
- 本製品を分解、解析、リバースエンジニアリング、改造、改変、翻案、複製等しないでください。
- 本製品を、国内外の法令、規則及び命令により、製造、使用、販売を禁止されている製品に使用することはできません。
- 本資料に掲載してある技術情報は、製品の代表的動作・応用を説明するためのもので、その使用に際して当社及び第三者の知的財産権その他の権利に対する保証または実施権の許諾を行うものではありません。
- 別途、書面による契約またはお客様と当社が合意した仕様書がない限り、当社は、本製品および技術情報に関して、明示的にも黙示的にも一切の保証（機能動作の保証、商品性の保証、特定目的への合致の保証、情報の正確性の保証、第三者の権利の非侵害保証を含むがこれに限らない。）をしておりません。
- 本製品、または本資料に掲載されている技術情報を、大量破壊兵器の開発等の目的、軍事利用の目的、あるいはその他軍事用途の目的で使用しないでください。また、輸出に際しては、「外国為替及び外国貿易法」、「米国輸出管理規則」等、適用ある輸出関連法令を遵守し、それらの定めるところにより必要な手続を行ってください。
- 本製品のRoHS適合性など、詳細につきましては製品個別に必ず当社営業窓口までお問い合わせください。本製品のご使用に際しては、特定の物質の含有・使用を規制するRoHS指令等、適用ある環境関連法令を十分調査の上、かかる法令に適合するようご使用ください。お客様がかかる法令を遵守しないことにより生じた損害に関して、当社は一切の責任を負いかねます。

TOSHIBA

※Thermoflagger™は、東芝デバイス&ストレージ株式会社の商標です。

※その他の社名・商品名・サービス名などは、それぞれ各社が商標として使用している場合があります。