

# 永久磁石同期モータのセンサレスベクトル制御

## RX6T1 実装編

### 要旨

本アプリケーションノートはRA6T1 マイクロコントローラを使用し、永久磁石同期モータをベクトル制御で駆動するソフトウェア及びモータ制御開発支援ツール「Renesas Motor Workbench」の使用方法について説明することを目的としています。

本アプリケーションノート対象ソフトウェアはあくまで参考用途であり、弊社がこの動作を保証するものではありません。本アプリケーションノート対象ソフトウェアを使用する場合、適切な環境で十分な評価をしたうえで御使用下さい。

### 動作確認デバイス

本アプリケーションノート対象ソフトウェアの動作確認は下記のデバイスで行っております。

- RA6T1 (R7FA6T1AD3CFP)

### 参考資料

- RA6T1 グループ ユーザーズマニュアル ハードウェア編 (R01UH0897)
- RA Flexible Software Package Documentation
- 永久磁石同期モータのセンサレスベクトル制御 (アルゴリズム編) (R01AN3786)
- Renesas Motor Workbench ユーザーズマニュアル (R21UZ0004)
- Evaluation System for BLDC Motor ユーザーズマニュアル (R12UZ0062)
- Motor Control Evaluation System for RA Family (R12UZ0078)
- RA6T1 CPU カード 取扱説明書 (R12UZ0077)

## 目次

1. 概説 .....	3
2. システム概要 .....	4
2.1 ハードウェア構成 .....	4
2.2 ハードウェア仕様 .....	5
2.2.1 ユーザインタフェース .....	5
2.2.2 周辺機能 .....	6
2.2.3 A/D 変換 .....	6
2.2.4 変調 .....	8
2.2.5 始動方法 .....	10
2.2.6 システム保護機能 .....	11
2.3 ソフトウェア構成 .....	12
2.3.1 ソフトウェア・ファイル構成 .....	12
2.4 ソフトウェア仕様 .....	13
3. 制御ソフトウェア説明 .....	14
3.1 動作環境 .....	14
3.2 プロジェクトのインポート .....	14
3.3 ビルドとデバッグ .....	15
3.4 サンプルソフトの操作概要 .....	15
3.4.1 クイックスタート .....	15
3.4.2 モータ制御開発支援ツール「Renesas Motor Workbench」 .....	16
4. モータ制御モジュール .....	19
4.1 Contents of control .....	19
4.1.1 Configuration Options .....	19
4.1.2 Configuration Options for included modules .....	19
ホームページとサポート窓口 .....	24
改訂記録 .....	25

## 1. 概説

本アプリケーションノートでは、RA6T1 マイクロコントローラを使用した永久磁石同期モータ (PMSM) <sup>注1</sup> のセンサレスベクトル制御ソフトウェアの実装方法及びモータ開発支援ツール「Renesas Motor Workbench」の使用方法について説明します。なお、このソフトウェアは「永久磁石同期モータのセンサレスベクトル制御 (アルゴリズム編)」のアルゴリズムを使用しています。

【注】 1. 別称：ブラシレス DC モータ (BLDC)

## 2. システム概要

本システムの概要を以下に説明します。

### 2.1 ハードウェア構成

ハードウェア構成を次に示します。

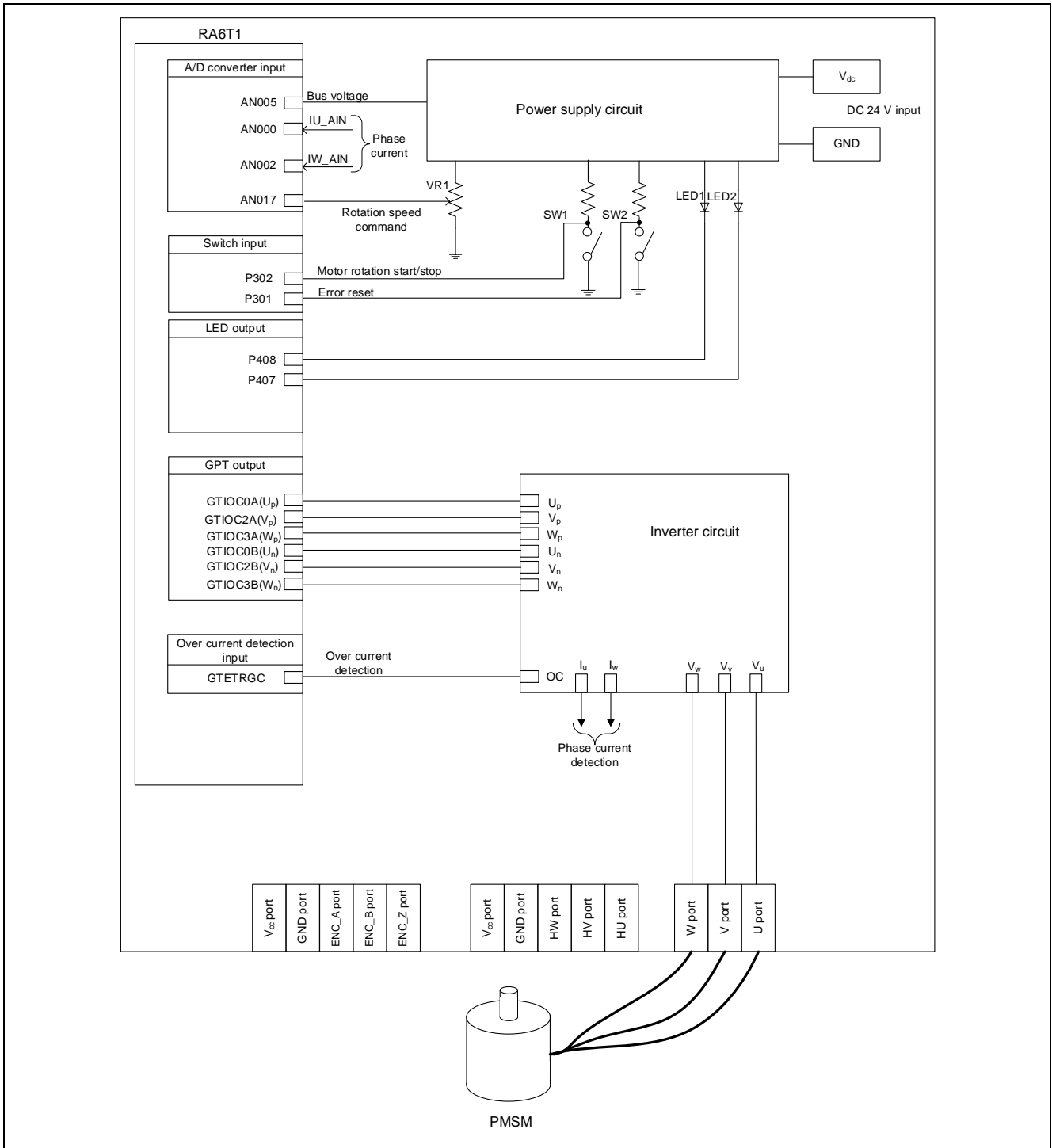


図 2-1 ハードウェア構成図

## 2.2 ハードウェア仕様

### 2.2.1 ユーザインタフェース

本システムのユーザインタフェース一覧を表 2-1 に示します。

表 2-1 ユーザインタフェース

項目	インタフェース部品	機能
回転速度	可変抵抗 (VR1)	回転速度指令値入力 (アナログ値)
START/STOP	トグルスイッチ (SW1)	モータ回転開始/停止指令
ERROR RESET	プッシュスイッチ (SW2)	エラー状態からの復帰指令
LED1	オレンジ色 LED	<ul style="list-style-type: none"> <li>モータ回転時：点灯</li> <li>停止時：消灯</li> </ul>
LED2	オレンジ色 LED	<ul style="list-style-type: none"> <li>エラー検出時：点灯</li> <li>通常動作時：消灯</li> </ul>
RESET	プッシュスイッチ (CPU カード)	システムリセット

本システムの端子インタフェースを表 2-2 に示します。

表 2-2 端子インタフェース

R5F566TEADFP 端子名	機能
P014 / AN005	インバータ母線電圧測定
P502 / AN017	回転速度指令値入力用 (アナログ値)
P302	START/STOP トグルスイッチ
P301	ERROR RESET プッシュスイッチ
P408	LED1 点灯/消灯制御
P407	LED2 点灯/消灯制御
P000 / AN000	U 相電流測定
P002 / AN002	W 相電流測定
P415 / GTIOC0A	PWM 出力 (Up) / "Low" アクティブ
P113 / GTIOC2A	PWM 出力 (Vp) / "Low" アクティブ
P111 / GTIOC3A	PWM 出力 (Wp) / "Low" アクティブ
P414 / GTIOC0B	PWM 出力 (Un) / "High" アクティブ
P114 / GTIOC2B	PWM 出力 (Vn) / "High" アクティブ
P112 / GTIOC3B	PWM 出力 (Wn) / "High" アクティブ
P503 / GTETRGC	過電流検出時の PWM 緊急停止入力

## 2.2.2 周辺機能

本システムで使用する周辺機能一覧を表 2-3 に示します。

表 2-3 周辺機能対応表

12 ビット A/D コンバータ	AGT	GPT	POEG
<ul style="list-style-type: none"> <li>回転速度指令値入力</li> <li>各 U/W 相電流測定</li> <li>インバータ母線電圧測定</li> </ul>	500 [μs] インターバルタイマ	相補 PWM 出力	PWM 出力端子をハイインピーダンス状態にし、PWM 出力を停止

## (1) 12 ビット A/D コンバータ

U 相電流 ( $I_u$ )、W 相電流 ( $I_w$ )、インバータ母線電圧 ( $V_{dc}$ )、回転速度指令値を、「シングルスキャンモード」で測定します (ハードウェアトリガを使用)。U 相電流 ( $I_u$ )、W 相電流 ( $I_w$ ) の検出には、サンプル & ホールド機能を使用しています。

## (2) 非同期汎用タイマ (AGT)

500 [μs] インターバルタイマとして使用します。

## (3) 汎用 PWM タイマ (GPT)

チャンネル 0、2、3 により、PWM 出力動作モードを使用して、デッドタイム付きの出力 (p 側は“Low”アクティブ、n 側は“High”アクティブ) を行います。

## (4) GPT 用ポートアウトプットイネーブル (POEG)

過電流検出時 (GTETRG 端子の立ち下りエッジ検出時) と出力短絡検出時は PWM 出力端子をハイインピーダンス状態にします。

## 2.2.3 A/D 変換

## (1) モータ回転速度指令値

モータの回転速度指令値は Analyzer からの入力または VR1 の出力値 (アナログ値) を A/D 変換することによって決定します。A/D 変換された VR1 の値は、以下の表のように、回転速度指令値として使用します。

表 2-4 回転速度指令値の変換比

項目	変換比 (指令値 : A/D 変換値)		チャンネル
回転速度指令値	CW	0 [rpm] ~ 2700 [rpm] : 07FFH ~ 0000H	AN017
	CCW	0 [rpm] ~ 2700 [rpm] : 0800H ~ 0FFFH	

## (2) インバータ母線電圧

以下の表のように、インバータ母線電圧を測定します。変調率の算出と過電圧/低電圧検出 (異常時は PWM 停止) に使用します。

表 2-5 インバータ母線電圧の変換比

項目	変換比 (インバータ母線電圧 : A/D 変換値)	チャンネル
インバータ母線電圧	0 [V] ~ 111 [V] : 0000H ~ 0FFFH	AN005

## (3) U相、W相電流

以下の表のように、U相、W相電流を測定し、ベクトル制御に使用します。

表 2-6 U、W相電流の変換比

項目	変換比 (U相、W相電流 : A/D変換値)	チャンネル
U相、W相電流	-12.5 [A]~12.5 [A] : 0000H~0FFFH*	Iu: AN000 Iw: AN002

【注】A/D変換特性の詳細に関しては「RA6T1グループ ユーザーズマニュアル ハードウェア編」を参照してください。

2.2.4 変調

本アプリケーションノート対象ソフトウェアでは、モータへの入力電圧はパルス幅変調（以降、PWM）によって生成し、PWM 波形は三角波比較法によって生成します。

(1) 三角波比較法

指令値電圧を実際に出力する方法の一つとして、キャリア波形（三角波）と指令値電圧波形を比較する事で出力電圧のパルス幅を決める三角波比較法があります。指令値電圧がキャリア波電圧より大きければスイッチをオン、小さければオフにする事で、正弦波状の指令値電圧を擬似的に出力する事が出来ます。

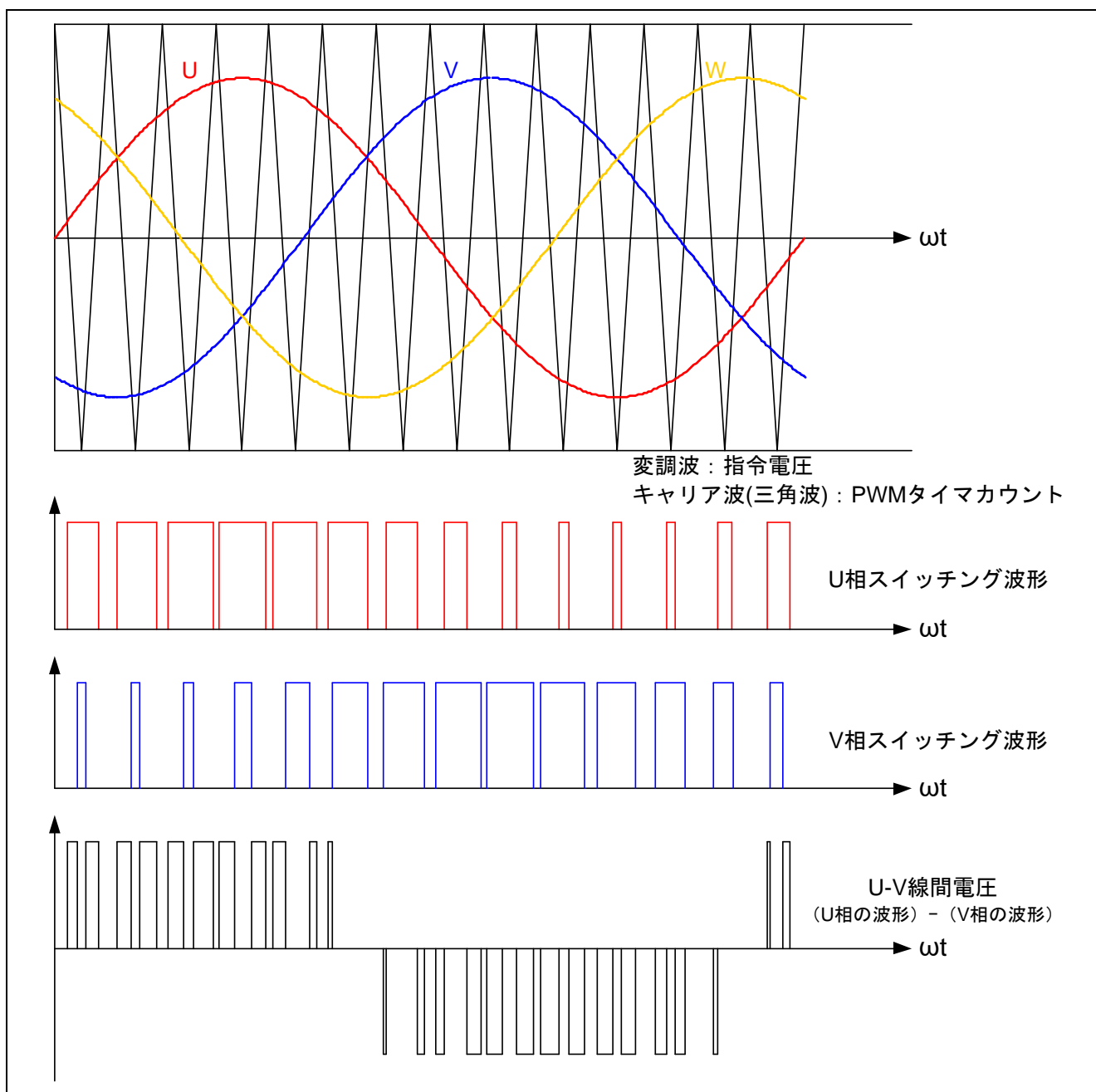


図 2-2 三角波比較法の概念図



図 2-3 のように、出力電圧パルスのキャリア波に対する割合をデューティと呼びます。

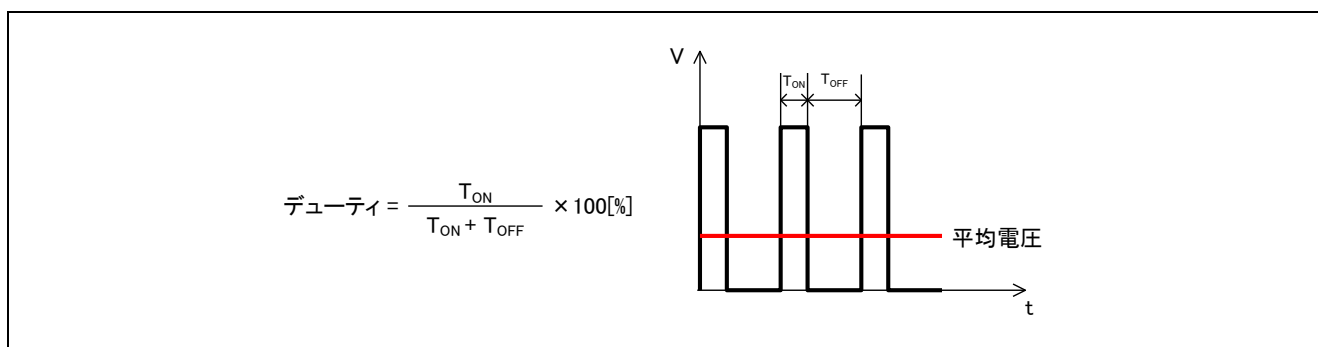


図 2-3 デューティの定義

また、変調率  $m$  を以下のように定義します。

$$m = \frac{V}{E}$$

$m$ : 変調率     $V$ : 指令値電圧     $E$ : インバータ母線電圧

この変調率を、PWM デューティを決めるレジスタに反映させることで所望の制御を行います。

2.2.5 始動方法

本アプリケーションノート対象ソフトウェアの始動制御内容を図 2-4 に示します。d 軸電流、q 軸電流、速度それぞれの指令値を管理するフラグによってモードをコントロールしています。

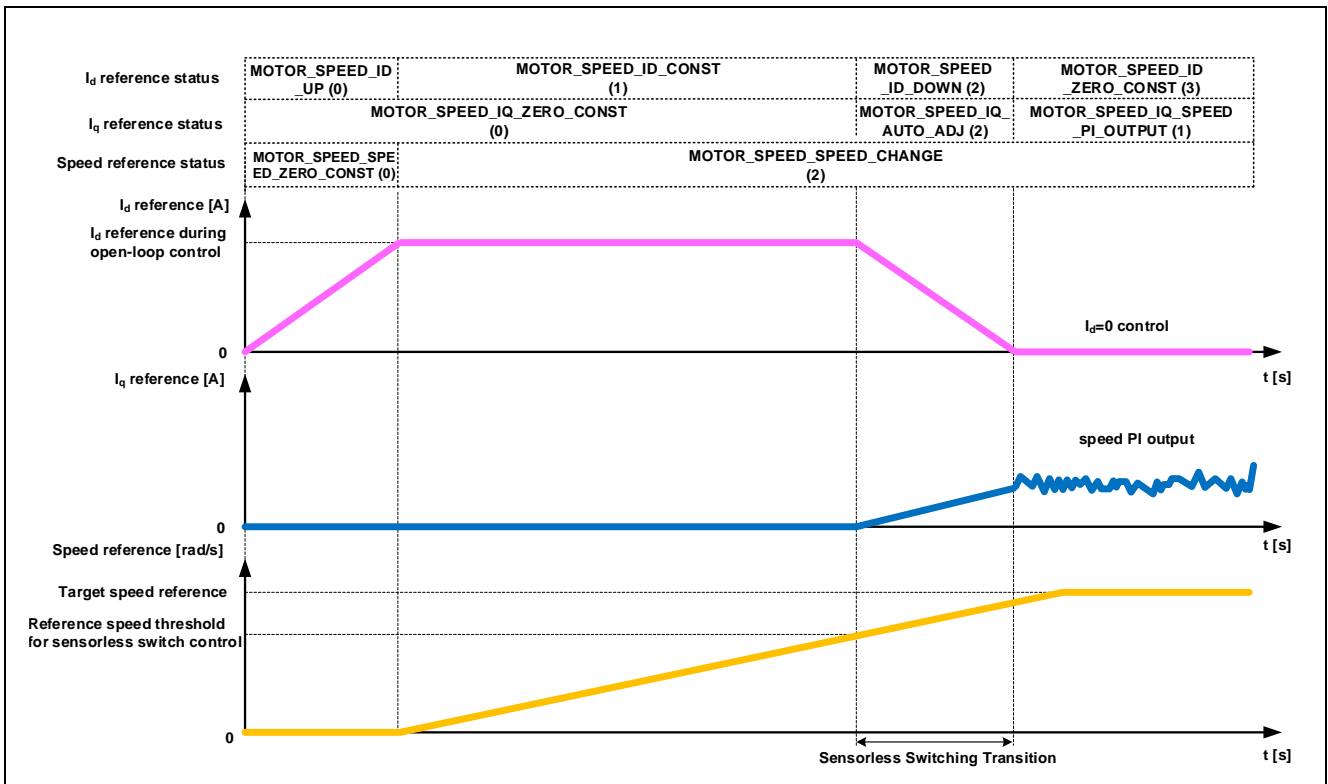


図 2-4 センサレスベクトル制御ソフトウェアの始動制御内容

## 2.2.6 システム保護機能

本アプリケーションノート対象ソフトウェアは、以下のエラー状態を持ち、それぞれの場合に緊急停止する機能を実装しています。システム保護機能に関わる各設定値は表 2-7 を参照してください。

- 過電流エラー

過電流エラーはハードウェア及びソフトウェア両方で検出されます。

ハードウェアからの緊急停止信号(過電流検出)により、PWM 出力端子をハイインピーダンス状態にします。

また、過電流監視周期で U 相、V 相、W 相電流を監視し、過電流（過電流リミット値を超過）を検出した時に緊急停止します（ソフトウェア検出）。

- 過電圧エラー

過電圧監視周期でインバータ母線電圧を監視し、過電圧（過電圧リミット値を超過）を検出した時に緊急停止します。過電圧リミット値は検出回路の抵抗値の誤差等を考慮して設定した値です。

- 低電圧エラー

低電圧監視周期でインバータ母線電圧を監視し、低電圧（低電圧リミット値を下回った場合）を検出した時に緊急停止します。低電圧リミット値は検出回路の抵抗値の誤差等を考慮して設定した値です。

- 回転速度エラー

回転速度監視周期で速度を監視し、速度リミット値を超過した場合、緊急停止します。

表 2-7 各システム保護機能設定値

過電流エラー	過電流リミット値 [A]	0.89
	監視周期 [ $\mu$ s]	50
過電圧エラー	過電圧リミット値 [V]	28
	監視周期 [ $\mu$ s]	50
低電圧エラー	低電圧リミット値 [V]	14
	監視周期 [ $\mu$ s]	50
回転速度エラー	速度リミット値 [rpm]	3000
	監視周期 [ $\mu$ s]	50

## 2.3 ソフトウェア構成

### 2.3.1 ソフトウェア・ファイル構成

モータ制御モジュールのフォルダとファイル構成を下記に示します。

表 2-8 ファイル構成

ファイル構成				ファイル名
ra	fsp	inc	api	rm_motor_angle_api rm_motor_current_api.h rm_motor_driver_api.h rm_motor_speed_api.h rm_motor_api.h
			instances	rm_motor_estimate.h rm_motor_current.h rm_motor_driver.h rm_motor_speed.h rm_motor_sensorless.h
		src	rm_motor_estimate	rm_motor_estimate.c rm_motor_estimate_library.h
			rm_motor_current	rm_motor_current.c rm_motor_current_library.h
			rm_motor_driver	rm_motor_driver.c
			rm_motor_speed	rm_motor_speed.c rm_motor_speed_library.h
			rm_motor_sensorless	rm_motor_sensorless.c

## 2.4 ソフトウェア仕様

本システムのソフトウェアの基本仕様を下記に示します。センサレスベクトル制御の詳細に関しては「永久磁石同期モータのセンサレスベクトル制御（アルゴリズム編）」を参照してください。

表 2-9 センサレスベクトル制御ソフトウェア基本仕様

項目	内容
制御方式	ベクトル制御
回転子磁極位置検出	センサレス
モータ回転開始／停止	SW1 のレベルにより判定 (“Low” : 回転開始 “High” : 停止) または Renesas Motor Workbench から入力
入力電圧	DC 24V
キャリア (PWM) 周波数	20 [kHz](キャリア周期 : 50 [μs])
デッドタイム	2 [μs]
制御周期	電流制御／位置・速度推定 : 50 [μs] 速度制御 : 500 [μs]
回転速度範囲	CW : 0 [rpm]~2650 [rpm] CCW : 0 [rpm]~2650 [rpm] ただし、600 [rpm]以下は速度オープンループで駆動*
保護停止処理	以下のいずれかの条件の時、モータ制御信号出力 (6 本) を非アクティブにする <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 各相の電流が 0.89 [A]を超過 (50 [μs]毎に監視)</li> <li>2. インバータ母線電圧が 28 [V]を超過 (50 [μs]毎に監視)</li> <li>3. インバータ母線電圧が 14[V]未満 (50 [μs]毎に監視)</li> <li>4. 回転速度が 3000 [rpm]を超過 (50 [μs]毎に監視)</li> </ol> 外部からの過電流検出信号 (GTETRGC 端子に立ち下りエッジを検出) 及び出力短絡を検出した場合、PWM 出力端子をハイインピーダンスにする

【注】センサレスベクトル制御でモータを回す場合は、600 [rpm]より高い回転速度指令値を設定してください。

### 3. 制御ソフトウェア説明

本アプリケーションノート対象ソフトウェアについて説明します。

#### 3.1 動作環境

表 3-1 に、モータ制御ソフトウェアをビルドおよびデバッグするためのハードウェア要件を示します。

表 3-1 センサレスベクトル制御ソフトウェア基本仕様

項目	内容
インバータボード	RA6T1-RSSK [RTK0EM0000B10020BJ]
CPU カード	RA6T1 CPU Card [RTK0EMA170C00000BJ]
モータ	ブラシレス DC モータ (TG-55L-KA 24V)
オンチップデバッグエミュレータ	RA6T1 CPU カードには、オンボードデバッガ (J-Link OB) が搭載されているため、エミュレータを用意する必要はありません。

表 3-2 に、モータ制御ソフトウェアをビルドおよびデバッグするためのソフトウェア要件を示します。

表 3-2 センサレスベクトル制御ソフトウェア基本仕様

項目	バージョン	内容	
GCC	e2 studio	2020-10	Integrated development environment (IDE) for Renesas devices.
	GCC ARM Embedded	V9	C/C++ Compiler. (download from e2 studio installer)
	Renesas Flexible Software Package (FSP)	V2.1.0	Software package for writing applications for the RA microcontroller series.

#### 3.2 プロジェクトのインポート

サンプルソフトは、以下の手順で e2 studio にインポートできます。

##### 1. File → Import

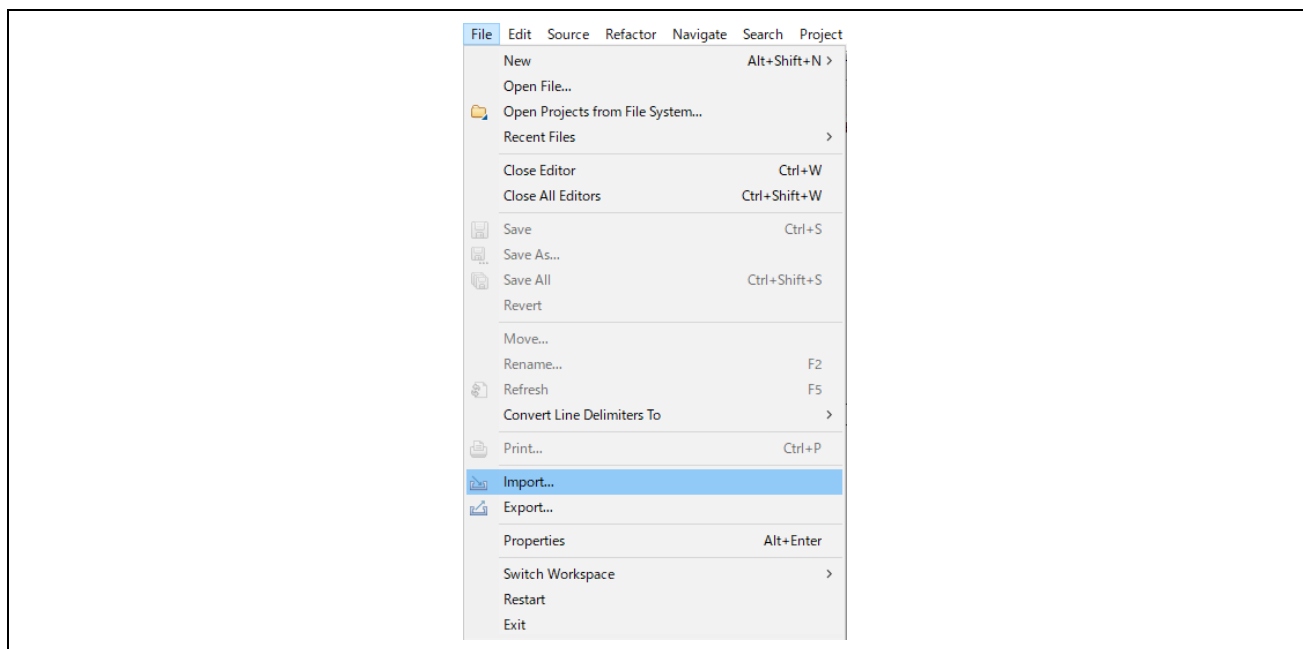


図 3-1 ファイルメニュー

2. 「Existing Projects into Workspace」を選択し、[次へ]ボタンをクリックします。

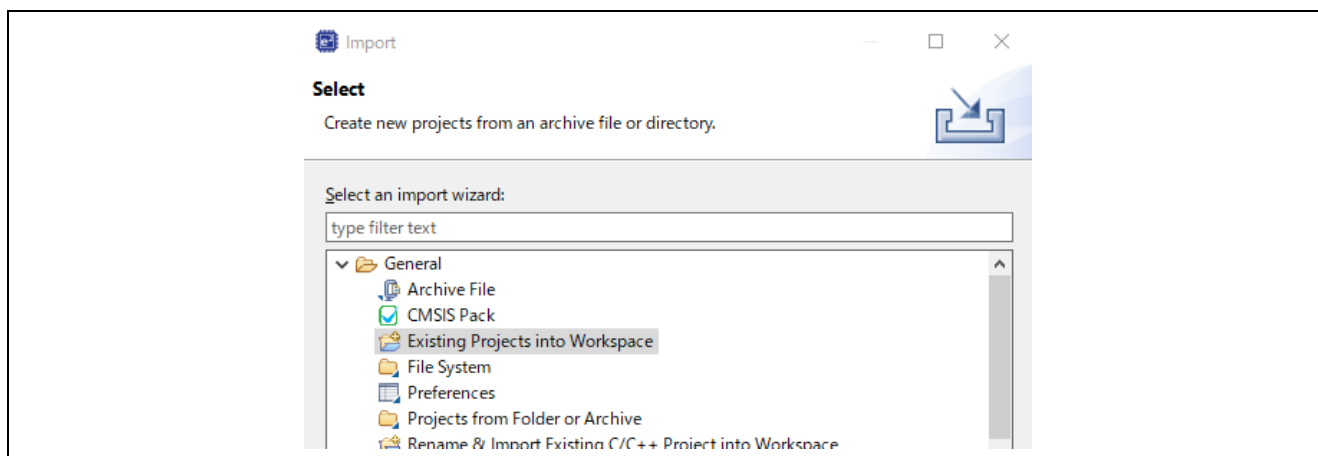


図 3-2 インポートメニュー

プロジェクトファイルを選択します。Finish ボタンをクリックすると、プロジェクトがインポートされます。

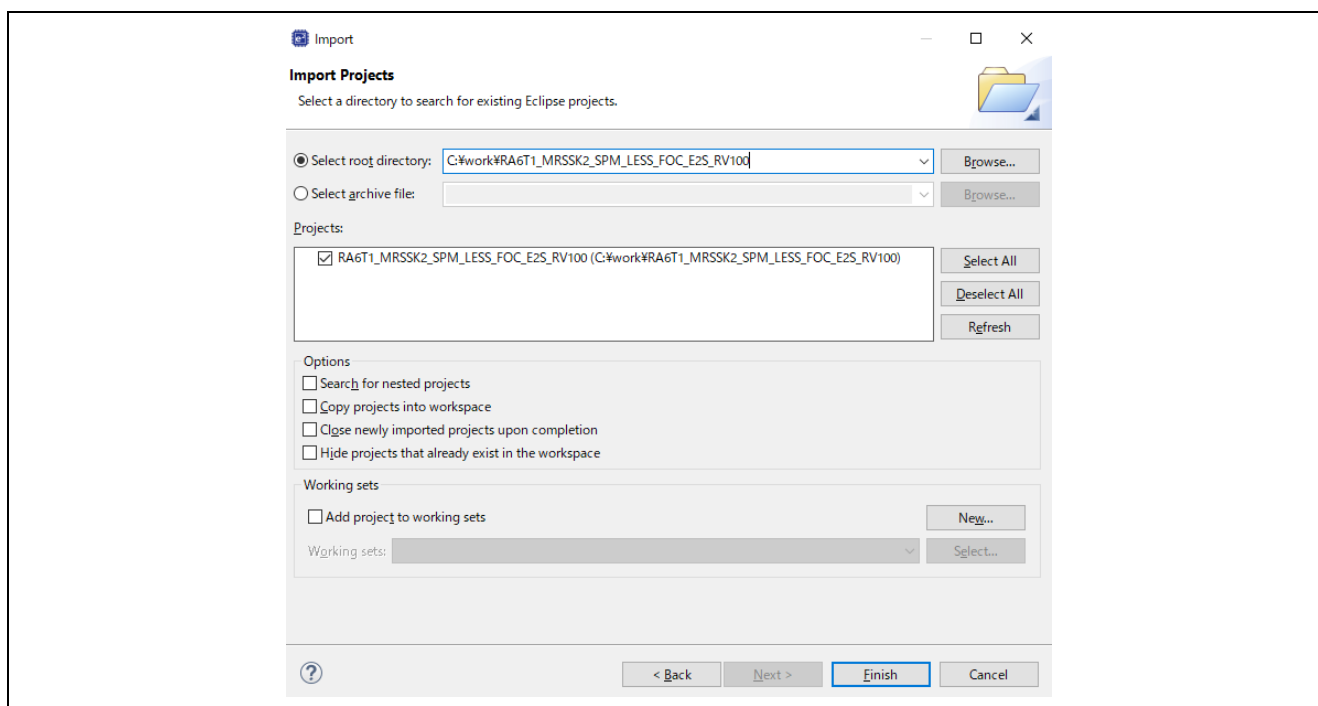


図 3-3 プロジェクトのインポート

### 3.3 ビルドとデバッグ

「e2 studio ユーザーズマニュアル入門ガイド (R20UT4204)」を参照してください。

### 3.4 サンプルソフトの操作概要

#### 3.4.1 クイックスタート

以下の手順で、サンプルプロジェクトを実行します。

- (1) 電源投入後、またはリセット後はインバータボード上の LED1、LED2 はともに消灯状態で、モータは停止しています。

- (2) インバータボード上のトグルスイッチ(SW1)を ON にするとモータが回転します。トグルスイッチ(SW1)を押すごとにモータの回転開始/停止を繰り返します。モータが正常に回転している場合はインバータボード上の LED1 が点灯します。このとき、インバータボード上の LED2 が点灯している場合はエラーが発生しています。
- (3) モータの回転方向を変更する場合は、インバータボード上のボリューム抵抗(VR1)で調整します。
  - ・ボリューム抵抗(VR1)を右に回す：時計回りに回転
  - ・ボリューム抵抗(VR1)を左に回す：反時計回りに回転
- (4) エラーが発生した場合、インバータボード上の LED2 が点灯し、回転が停止します。復帰するためにはインバータボードのトグルスイッチ(SW1)を OFF にした上でプッシュスイッチ(SW2)を押してください。
- (5) 動作確認を終了する場合は、モータの回転が停止していることを確認し、安定化電源の出力を OFF にします。

### 3.4.2 モータ制御開発支援ツール「Renesas Motor Workbench」

- ・ GUI の起動

本アプリケーションノート対象ソフトウェアでは、モータ制御開発支援ツール「Renesas Motor Workbench」をユーザインタフェース（回転／停止指令、回転速度指令等）として使用します。使用方法などの詳細は「Renesas Motor Workbench ユーザーズマニュアル」を参照してください。

モータ制御開発支援ツール「Renesas Motor Workbench」は弊社 WEB サイトより入手してください。

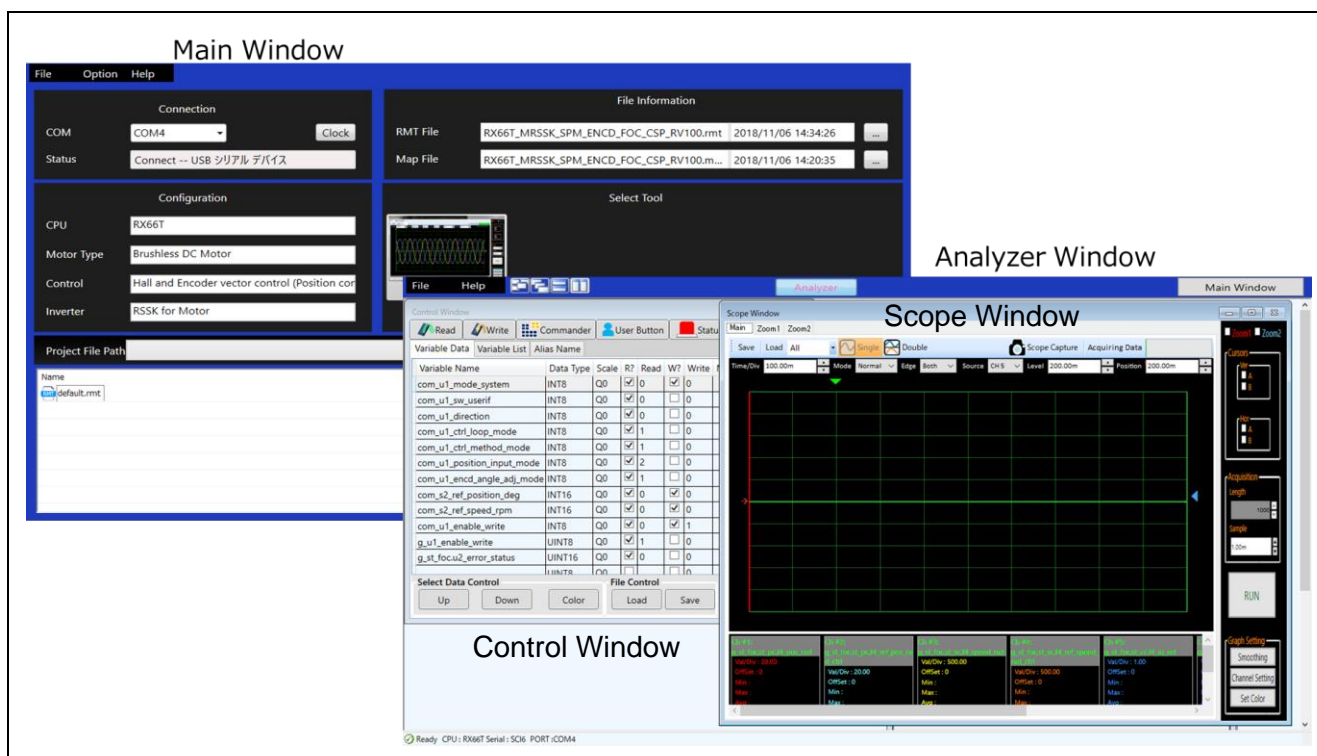


図 3-4 Renesas Motor Workbench 外観



## モータ制御開発支援ツール「Renesas Motor Workbench」の使い方

- ① ツールアイコンをクリックしツールを起動する。
- ② Main Panel の MENU バーから、[RMTFile] → [Open RMT File (O)]を選択。  
プロジェクトフォルダの“src/application/user\_interface/ics”フォルダ内にある RMT ファイルを読み込む。
- ③ “Connection”の COM で接続されたキットの COM を選択する。
- ④ Select Tool 右上の‘Analyzer’ボタンをクリックし、Analyzer 機能画面を表示する。
- ⑤ “Analyzer 機能操作例”を元にモータを駆動させる。
  - Analyzer 機能用変数一覧  
Analyzer ユーザインタフェース使用時の入力用変数一覧を表 3-3 に示します。なお、これらの変数への入力値は com\_u1\_enable\_write に g\_u1\_enable\_write と同じ値を書き込んだ場合に対応する変数へ反映されます。ただし、(\*)が付けられた変数は com\_u1\_enable\_write に依存しません。

表 3-3 Analyzer 機能入力用変数一覧 (1/2)

Analyzer 機能入力用変数名	型	内容
com_u1_sw_userif (*)	uint8_t	ユーザインタフェーススイッチ 0 : Analyzer 使用 1 : ボード使用 (デフォルト)
com_u1_mode_system (*)	uint8_t	ステート管理 0 : ストップモード、1 : ランモード、3 : リセット
com_f4_ref_speed_rpm	float	速度指令値 (機械角) [rpm]
com_u2_mtr_pp	uint16_t	極対数
com_f4_mtr_r	float	抵抗[Ω]
com_f4_mtr_ld	float	d 軸インダクタンス[H]
com_f4_mtr_lq	float	q 軸インダクタンス[H]
com_f4_mtr_m	float	磁束[Wb]
com_f4_mtr_j	float	イナーシャ[kgm <sup>2</sup> ]
com_f4_speed_omega	float	速度制御系固有周波数[Hz]
com_f4_speed_zeta	float	速度制御系減衰係数
com_f4_current_omega	float	電流制御系固有周波数[Hz]
com_f4_current_zeta	float	電流制御系減衰係数
com_f4_e_obs_omega	float	誘起電圧推定系固有周波数[Hz]
com_f4_e_obs_zeta	float	誘起電圧推定系減衰係数
com_f4_pll_est_omega	float	位置推定系固有周波数[Hz]
com_f4_pll_est_zeta	float	位置推定系減衰係数
com_f4_ref_id	float	オープンループ制御時 d 軸電流指令値[A]
com_f4_ol_id_up_step	float	d 軸電流指令値加算ステップ
com_f4_ol_id_down_step	float	d 軸電流指令値減算ステップ
com_f4_id_down_speed_rpm	float	d 軸電流指令値減算開始速度(機械角) [rpm]
com_f4_id_up_speed_rpm	float	d 軸電流指令値加算開始速度(機械角) [rpm]
com_f4_max_speed_rpm	float	速度最大値(機械角) [rpm]
com_f4_overspeed_limit_rpm	float	速度リミット[rpm]
com_f4_overcurrent_limit	float	電流リミット[A]
com_f4_iq_limit	float	q 軸電流リミット[A]
com_f4_limit_speed_change	float	速度指令最大増減幅(電気角) [krpm/s]
com_u1_enable_write	uint8_t	変数書き換え許可 (g_u1_enable_write と同じ値を書き込んだ場合に書き込み許可)

- Analyzer 機能操作例  
Analyzer 機能を使用し、モータを操作する例を以下に示します。操作は、“Control Window”で行います。“Control Window”の詳細は、「Renesas Motor Workbench ユーザーズマニュアル」を参照してください。

- ユーザーインターフェースを Analyzer 使用に変更する
  - ① “com\_u1\_sw\_userif”の[W?]欄に“チェック”が入っていることを確認する。
  - ② [Write]欄に 1 を入力する。
  - ③ “Write”ボタンを押す。
  
- モータを回転させる
  - ① “com\_u1\_mode\_system”、“com\_f4\_ref\_speed\_rpm”、“com\_u1\_enable\_write”の[W?]欄に“チェック”が入っていることを確認する。
  - ② 指令回転速度を“com\_f4\_ref\_speed\_rpm”の[Write]欄に入力する。
  - ③ “Write”ボタンを押す。
  - ④ “Read”ボタンを押して現在の“com\_f4\_ref\_speed\_rpm”、“g\_u1\_enable\_write”の[Read]欄を確認する。
  - ⑤ MCU 内の変数値へ反映させるため、“com\_u1\_enable\_write”に④で確認した、“g\_u1\_enable\_write”と同じ値を入力する。
  - ⑥ “com\_u1\_mode\_system”の[Write]欄に“1”を入力する。
  - ⑦ “Write”ボタンを押す。

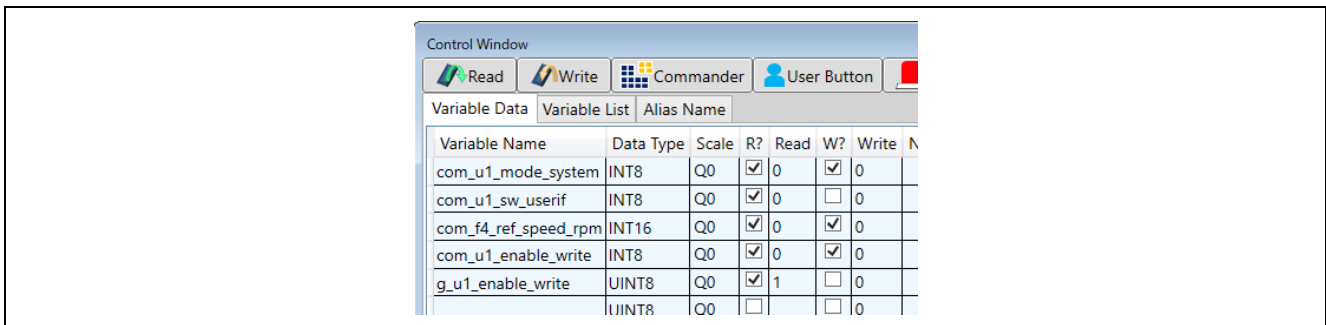


図 3-5 モータ回転の手順

- モータを停止させる
  - ① “com\_u1\_mode\_system”の[Write]欄に“0”を入力する。
  - ② “Write”ボタンを押す。
  
- 止まってしまった（エラー）場合の処理
  - ① “com\_u1\_mode\_system”の[Write]欄に“3”を入力する。
  - ② “Write”ボタンを押す。

## 4. モータ制御モジュール

### 4.1 Contents of control

#### 4.1.1 Configuration Options

モータ用センサレスベクトル制御モジュールの構成オプションは、RA Configurator を使用して構成できます。変更されたオプションは、コードの生成時に `rm_motor_sensorless_cfg.h` に自動的に反映されます。オプション名と設定値は、次の表 4-1 構成オプションに記載しています。

表 4-1 構成オプション

Configuration Options (rm_motor_sensorless.h)	
オプション名	内容
f_overcurrent_limit Default : 0.42F	相電流がこの値（デフォルト 4.0 [A]）を超えると、PWM 出力ポートがオフに設定されます。
f_overvoltage_limit Default : 28.0F	母線電圧がこの値（デフォルト 28.0 [V]）を超えると、PWM 出力ポートがオフに設定されます。
f_overspeed_limit Default : 3000.0F	回転速度がこの値（デフォルトは 2650.0 [rpm]）を超えると、PWM 出力ポートがオフに設定されます。
f_lowvoltage_limit Default : 14.0F	母線電圧がこの値（デフォルト 14.0 [V]）を下回ると、PWM 出力ポートがオフに設定されます。

#### 4.1.2 Configuration Options for included modules

モータ用センサレスベクトル制御モジュールには、以下のモジュールが含まれます。

- ・ Current Module
- ・ Speed Module
- ・ Angle Module
- ・ Driver Module

また、これらのモジュールには、センサレスベクトル制御モジュールと同じ各構成パラメーターがあります。オプション名と設定値を以下の表に示します。

表 4-2 構成オプション

Configuration Options (rm_motor_current.h)	
オプション名	内容
vcomp_enable Default: Enable	電圧誤差補償の有効/無効を選択します。
mtr_param.u2_mtr_pp Default : 2U	極対数
mtr_param.f4_mtr_r Default : 8.5F	抵抗 [ohm].
mtr_param.f4_mtr_ld Default : 0.0045F	d 軸インダクタンス [H].
mtr_param.f4_mtr_lq Default : 0.0045F	q 軸インダクタンス [H].
mtr_param.f4_mtr_m Default : 0.02159F	磁束 [Wb].
mtr_param.f4_mtr_j Default : 0.000028F	イナーシャ [kgm <sup>2</sup> ].
d_param.f_current_omega Default : 300.0F	電流制御系固有周波数 [Hz]
d_param.f_zeta Default : 1.0F	電流制御系減衰係

表 4-3 構成オプション

Configuration Options (rm_motor_speed.h)	
オプション名	内容
f_speed_ctrl_period Default : 0.0005F	速度制御周期[sec]
f_limit_speed_change Default : 0.5F	速度変動のステップ値[rpm]。加速と減速でこの値によって速度を制御します。
f_max_speed_rad Default : 2650.0F	最大速度[rad/s]。rpm を rad/s に変換する計算は内部で実行されます。したがって、ユーザーは単純に「rpm」値を入力します。
f_omega_t Default : 10.0F	速度 LPF 固有周波数 [Hz]
f_id_up_speed_rad Default : 500.0F	d 軸電流の増加を制御する閾値[rad / s]。速度がこの値に達するまで、起動時に d 軸電流を増加させます。
f_iq_limit Default : 0.42F	q 軸電流リミット [A]
f_ol_fb_speed_limit_rate Default : 0.2F	オープンループ時指令速度ステップ
u1_openloop_damping Default : Enable	オープンループダンピング制御の選択
u1_flux_weakening Default : Disable	弱め磁束制御の選択
u1_less_switch Default : Enable	センサレス切り替え制御の選択

表 4-4 構成オプション

Configuration Options (rm_motor_speed.h)	
オプション名	内容
ol_param.f4_ol_id_up_step Default : 0.3F	d 軸電流指令値加算ステップ [A/ms]
ol_param.f4_ol_id_down_step Default : 0.3F	d 軸電流指令値減算ステップ [A/ms]
ol_param.f4_ol_iq_down_step_ratio Default : 1.0F	q 軸電流指令値減算ステップ [A/ms]
ol_param.f4_ol_id_ref Default : 0.3F	オープンループ制御時 d 軸電流指令値 [A]
ol_param.f4_id_down_speed_rad Default : 600.0F	d 軸電流指令値減算開始速度[rpm]
ol_param.f4_id_up_speed_rad Default : 500.0F	d 軸電流指令値加算開始速度 [rpm]
ol_param.f4_opl2less_sw_time Default : 0.025F	センサレス切り替え処理時間 [s]
ol_param.f4_switch_phase_err_rad Default : 10.0F	センサレス制御切り替え可能位相誤差(電気角) [deg]
d_param.f_speed_omega Default : 5.0F	速度制御系固有周波数 [Hz]
d_param.f_speed_zeta Default : 1.0F	速度制御系減衰係数
d_param.f_ed_hpf_omega Default : 2.5F	d 軸誘起電圧 HPF カットオフ周波数 [Hz]
d_param.f_ol_damping_zeta Default : 1.0F	オープンループダンピング制御減衰係数
d_param.f_phase_err_lpf_cut_freq Default : 10.0F	位相誤差 LPF カットオフ周波数 [Hz]
mtr_param.u2_mtr_pp Default : 2U	極対数
mtr_param.f4_mtr_r Default : 8.5F	抵抗 [ohm]
mtr_param.f4_mtr_ld Default : 0.0045F	d 軸インダクタンス [H]
mtr_param.f4_mtr_lq Default : 0.0045F	q 軸インダクタンス [H]
mtr_param.f4_mtr_m Default : 0.02159F	磁束 [Wb]
mtr_param.f4_mtr_j Default : 0.0000028F	イナーシャ [kgm <sup>2</sup> ]

表 4-5 構成オプション

Configuration Options (rm_motor_estimate.h)	
オプション名	内容
openloop_damping Default : Enable	オープンループダンピング制御の選択
f_e_obs_omega Default : 1000.0F	誘起電圧推定系固有周波数[Hz]
f_e_obs_zeta Default : 1.0F	誘起電圧推定系減衰係数
f_pll_est_omega Default : 20.0F	位置推定系固有周波数[Hz]
f_pll_est_zeta Default : 1.0F	位置推定系減衰係数
f4_ctrl_period Default : 0.0005F	速度制御周期 [sec]
st_motor_params.u2_mtr_pp Default : 2U	極対数
st_motor_params.f4_mtr_r Default : 8.5F	抵抗 [ohm]
st_motor_params.f4_mtr_ld Default : 0.0045F	d 軸インダクタンス [H]
st_motor_params.f4_mtr_lq Default : 0.0045F	q 軸インダクタンス [H]
st_motor_params.f4_mtr_m Default : 0.02159F	磁束 [Wb]
st_motor_params.f4_mtr_j Default : 0.0000028F	イナーシャ [kgm <sup>2</sup> ]

表 4-6 構成オプション

Configuration Options (rm_motor_driver.h)	
オプション名	内容
u2_pwm_timer_freq Default : 120U	PWM タイマ周波数 [MHz]
u2_pwm_carrier_freq Default : 50U	PWM キャリア周期 [Micro seconds]
u2_deadtime Default : 240U	デッドタイムカウント値 [Raw Counts]
f_current_range Default : 27.5F	電流検出レンジ [A]
f_vdc_range Default : 111.0F	電圧検出レンジ [V]
u2_offset_calc_count Default : 500U	オフセット取得時積算回数

ホームページとサポート窓口

ルネサス エレクトロニクスホームページ

<http://japan.renesas.com/>

お問い合わせ先

<http://japan.renesas.com/contact/>

すべての商標および登録商標は、それぞれの所有者に帰属します。



## 改訂記録

Rev.	発行日	改訂内容	
		ページ	ポイント
1.00	2020.10.28	-	新規発行

## 製品ご使用上の注意事項

ここでは、マイコン製品全体に適用する「使用上の注意事項」について説明します。個別の使用上の注意事項については、本ドキュメントおよびテクニカルアップデートを参照してください。

### 1. 静電気対策

CMOS 製品の取り扱いの際は静電気防止を心がけてください。CMOS 製品は強い静電気によってゲート絶縁破壊を生じることがあります。運搬や保存の際には、当社が出荷梱包に使用している導電性のトレーやマガジンケース、導電性の緩衝材、金属ケースなどを利用し、組み立て工程にはアースを施してください。プラスチック板上に放置したり、端子を触ったりしないでください。また、CMOS 製品を実装したボードについても同様の扱いをしてください。

### 2. 電源投入時の処置

電源投入時は、製品の状態は不定です。電源投入時には、LSI の内部回路の状態は不確定であり、レジスタの設定や各端子の状態は不定です。外部リセット端子でリセットする製品の場合、電源投入からリセットが有効になるまでの期間、端子の状態は保証できません。同様に、内蔵パワーオンリセット機能を使用してリセットする製品の場合、電源投入からリセットのかかる一定電圧に達するまでの期間、端子の状態は保証できません。

### 3. 電源オフ時における入力信号

当該製品の電源がオフ状態のときに、入力信号や入出力プルアップ電源を入れしないでください。入力信号や入出力プルアップ電源からの電流注入により、誤動作を引き起こしたり、異常電流が流れ内部素子を劣化させたりする場合があります。資料中に「電源オフ時における入力信号」についての記載のある製品は、その内容を守ってください。

### 4. 未使用端子の処理

未使用端子は、「未使用端子の処理」に従って処理してください。CMOS 製品の入力端子のインピーダンスは、一般に、ハイインピーダンスとなっています。未使用端子を開放状態で動作させると、誘導現象により、LSI 周辺のノイズが印加され、LSI 内部で貫通電流が流れたり、入力信号と認識されて誤動作を起こす恐れがあります。

### 5. クロックについて

リセット時は、クロックが安定した後、リセットを解除してください。プログラム実行中のクロック切り替え時は、切り替え先クロックが安定した後に切り替えてください。リセット時、外部発振子（または外部発振回路）を用いたクロックで動作を開始するシステムでは、クロックが十分安定した後、リセットを解除してください。また、プログラムの途中で外部発振子（または外部発振回路）を用いたクロックに切り替える場合は、切り替え先のクロックが十分安定してから切り替えてください。

### 6. 入力端子の印加波形

入力ノイズや反射波による波形歪みは誤動作の原因になりますので注意してください。CMOS 製品の入力がノイズなどに起因して、 $V_{IL}(\text{Max.})$  から  $V_{IH}(\text{Min.})$  までの領域にとどまるような場合は、誤動作を引き起こす恐れがあります。入力レベルが固定の場合はもちろん、 $V_{IL}(\text{Max.})$  から  $V_{IH}(\text{Min.})$  までの領域を通過する遷移期間中にチャタリングノイズなどが入らないように使用してください。

### 7. リザーブアドレス（予約領域）のアクセス禁止

リザーブアドレス（予約領域）のアクセスを禁止します。アドレス領域には、将来の拡張機能用に割り付けられている リザーブアドレス（予約領域）があります。これらのアドレスをアクセスしたときの動作については、保証できませんので、アクセスしないようにしてください。

### 8. 製品間の相違について

型名の異なる製品に変更する場合は、製品型名ごとにシステム評価試験を実施してください。同じグループのマイコンでも型名が違っていると、フラッシュメモリ、レイアウトパターンの相違などにより、電気的特性の範囲で、特性値、動作マージン、ノイズ耐量、ノイズ幅射量などが異なる場合があります。型名が違う製品に変更する場合は、個々の製品ごとにシステム評価試験を実施してください。

## ご注意書き

1. 本資料に記載された回路、ソフトウェアおよびこれらに関連する情報は、半導体製品の動作例、応用例を説明するものです。お客様の機器・システム的设计において、回路、ソフトウェアおよびこれらに関連する情報を使用する場合には、お客様の責任において行ってください。これらの使用に起因して生じた損害（お客様または第三者いずれに生じた損害も含まれます。以下同じです。）に関し、当社は、一切その責任を負いません。
  2. 当社製品、本資料に記載された製品データ、図、表、プログラム、アルゴリズム、応用回路例等の情報の使用に起因して発生した第三者の特許権、著作権その他の知的財産権に対する侵害またはこれらに関する紛争について、当社は、何らの保証を行うものではなく、また責任を負うものではありません。
  3. 当社は、本資料に基づき当社または第三者の特許権、著作権その他の知的財産権を何ら許諾するものではありません。
  4. 当社製品を、全部または一部を問わず、改造、改変、複製、リバースエンジニアリング、その他、不適切に使用しないでください。かかる改造、改変、複製、リバースエンジニアリング等により生じた損害に関し、当社は、一切その責任を負いません。
  5. 当社は、当社製品の品質水準を「標準水準」および「高品質水準」に分類しており、各品質水準は、以下に示す用途に製品が使用されることを意図しております。  
標準水準： コンピュータ、OA 機器、通信機器、計測機器、AV 機器、家電、工作機械、パーソナル機器、産業用ロボット等  
高品質水準： 輸送機器（自動車、電車、船舶等）、交通制御（信号）、大規模通信機器、金融端末基幹システム、各種安全制御装置等  
当社製品は、データシート等により高信頼性、Harsh environment 向け製品と定義しているものを除き、直接生命・身体に危害を及ぼす可能性のある機器・システム（生命維持装置、人体に埋め込み使用するもの等）、もしくは多大な物的損害を発生させるおそれのある機器・システム（宇宙機器と、海底中継器、原子力制御システム、航空機制御システム、プラント基幹システム、軍事機器等）に使用されることを意図しておらず、これらの用途に使用することは想定していません。たとえ、当社が想定していない用途に当社製品を使用したことにより損害が生じて、当社は一切その責任を負いません。
  6. 当社製品をご使用の際は、最新の製品情報（データシート、ユーザーズマニュアル、アプリケーションノート、信頼性ハンドブックに記載の「半導体デバイスの使用上の一般的な注意事項」等）をご確認の上、当社が指定する最大定格、動作電源電圧範囲、放熱特性、実装条件その他指定条件の範囲内でご使用ください。指定条件の範囲を超えて当社製品をご使用された場合の故障、誤動作の不具合および事故につきましては、当社は、一切その責任を負いません。
  7. 当社は、当社製品の品質および信頼性の向上に努めていますが、半導体製品はある確率で故障が発生したり、使用条件によっては誤動作したりする場合があります。また、当社製品は、データシート等において高信頼性、Harsh environment 向け製品と定義しているものを除き、耐放射線設計を行っておりません。仮に当社製品の故障または誤動作が生じた場合であっても、人身事故、火災事故その他社会的損害等を生じさせないよう、お客様の責任において、冗長設計、延焼対策設計、誤動作防止設計等の安全設計およびエージング処理等、お客様の機器・システムとしての出荷保証を行ってください。特に、マイコンソフトウェアは、単独での検証は困難なため、お客様の機器・システムとしての安全検証をお客様の責任で行ってください。
  8. 当社製品の環境適合性等の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合せください。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、適用される環境関連法令を十分調査のうえ、かかる法令に適合するようご使用ください。かかる法令を遵守しないことにより生じた損害に関し、当社は、一切その責任を負いません。
  9. 当社製品および技術を国内外の法令および規則により製造・使用・販売を禁止されている機器・システムに使用することはできません。当社製品および技術を輸出、販売または移転等する場合は、「外国為替及び外国貿易法」その他日本国および適用される外国の輸出管理関連法規を遵守し、それらの定めるところに従い必要な手続きを行ってください。
  10. お客様が当社製品を第三者に転売等される場合には、事前に当該第三者に対して、本ご注意書き記載の諸条件を通知する責任を負うものといたします。
  11. 本資料の全部または一部を当社の文書による事前の承諾を得ることなく転載または複製することを禁じます。
  12. 本資料に記載されている内容または当社製品についてご不明点がございましたら、当社の営業担当者までお問合せください。
- 注 1. 本資料において使用されている「当社」とは、ルネサス エレクトロニクス株式会社およびルネサス エレクトロニクス株式会社が直接的、間接的に支配する会社をいいます。
- 注 2. 本資料において使用されている「当社製品」とは、注 1 において定義された当社の開発、製造製品をいいます。

(Rev.4.0-1 2017.11)

## 本社所在地

〒135-0061 東京都江東区豊洲 3-2-24（豊洲フォレシア）

[www.renesas.com](http://www.renesas.com)

## お問合せ窓口

弊社の製品や技術、ドキュメントの最新情報、最寄の営業お問合せ窓口に関する情報などは、弊社ウェブサイトをご覧ください。

[www.renesas.com/contact/](http://www.renesas.com/contact/)

## 商標について

ルネサスおよびルネサスロゴはルネサス エレクトロニクス株式会社の商標です。すべての商標および登録商標は、それぞれの所有者に帰属します。