

RZ/T2M

永久磁石同期モータのエンコーダベクトル制御 - シリアルエンコーダ

要旨

本書はルネサスエレクトロニクス製 MPU の RZ/T2M を搭載した Safety Motor Control Reference Kit によるシリアルエンコーダを使用した永久磁石同期モータのベクトル制御サンプルプログラムに関するアプリケーションノートです。サポートしているシリアルエンコーダの通信インターフェースは FA-CODER® と EnDat2.2 の 2 種類で、それぞれのサンプルプログラムを提供しています。

対象アプリケーションは、サーボアンプ・ロボット・工作機械・NC/CNC 装置のモータ制御部です。サンプルプログラムは、1 軸の位置制御および速度制御、トルク制御モードをサポートしており、用途に応じて切り替えすることができます。

対応するアルゴリズムは、非干渉制御・弱め磁束・最大トルク/電流制御(MTPA)・電圧位相進み補償、電圧誤差補償、空間ベクトル変調及び正弦波変調です。位置制御機能は、三角速度制御および台形速度制御の位置プロファイル運転をサポートしています。

図 1-1 に台形速度制御時の位置プロファイル運転における、出力 U 相電流、d 軸と q 軸の指令電流値・電流値、速度指令・検出速度、位置の波形を示します。

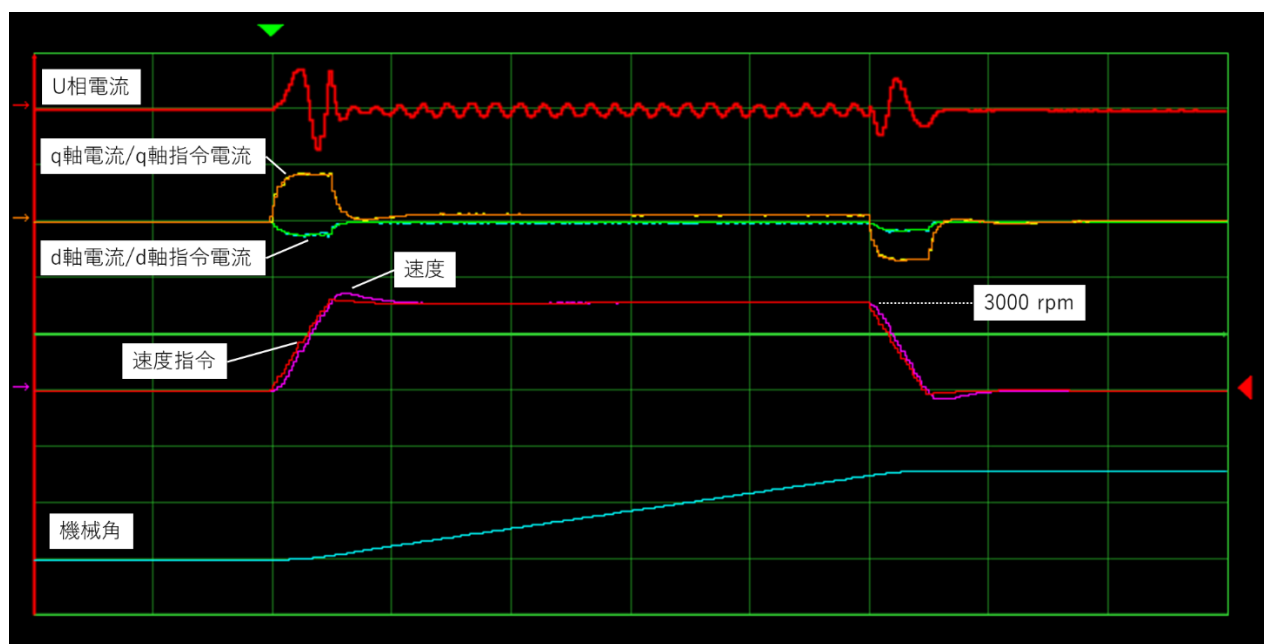


図 1-1 台形速度制御

動作確認デバイス

本アプリケーションノート対象サンプルプログラムの動作確認は下記のデバイスで行っています。

- ・ RZ/T2M (R9A07G075M24GBG)

FA-CODER®は多摩川精機株式会社の登録商標です。

EnDat は Dr. Johannes Heidenhain GmbH の登録商標です。

目次

| | |
|----------------------------------------|----|
| 1. はじめに..... | 6 |
| 2. 用語集..... | 8 |
| 3. ハードウェアとソフトウェア..... | 9 |
| 3.1 ハードウェア..... | 9 |
| 3.1.1 モータ仕様..... | 9 |
| 3.1.2 インバータボード仕様..... | 10 |
| 3.1.3 シリアルエンコーダ(FA-CODER)仕様..... | 10 |
| 3.1.4 シリアルエンコーダ(EnDat 2.2)仕様..... | 10 |
| 3.2 ソフトウェア..... | 10 |
| 4. ハードウェア環境構築方法..... | 11 |
| 4.1 ハードウェア環境の概要..... | 11 |
| 4.2 電源..... | 11 |
| 4.3 モータ..... | 11 |
| 4.4 負荷..... | 12 |
| 4.5 シリアルエンコーダ..... | 12 |
| 4.6 インバータボード..... | 13 |
| 4.6.1 ジャンパピン設定..... | 13 |
| 4.6.2 ボリューム設定..... | 13 |
| 4.6.3 電源の接続..... | 14 |
| 4.6.4 モータ、エンコーダの接続..... | 14 |
| 4.7 CPU ボード..... | 15 |
| 4.7.1 スイッチ設定..... | 15 |
| 4.7.2 ジャンパピン設定..... | 17 |
| 4.7.3 電源の接続..... | 18 |
| 4.7.4 インバータボードの接続..... | 18 |
| 4.7.5 通信ボードの接続..... | 18 |
| 4.7.6 デバッガの接続..... | 18 |
| 5. ソフトウェア環境構築方法..... | 19 |
| 5.1 e ² studio のインストール..... | 19 |
| 5.2 FSP のインストール..... | 19 |
| 5.3 RMW の導入方法..... | 19 |
| 6. 運転方法..... | 20 |
| 6.1 運転前の注意点..... | 20 |
| 6.2 運転までの手順..... | 21 |
| 6.3 サンプルプログラムのインポート..... | 22 |
| 6.4 シリアルエンコーダの選択..... | 22 |
| 6.5 サンプルプログラムのビルド..... | 22 |
| 6.6 サンプルプログラムの書き込み..... | 22 |
| 6.7 RMW と接続する..... | 23 |
| 6.8 Map ファイルの登録更新..... | 24 |

| | | |
|-------|-----------------------------|----|
| 6.9 | RMW を使用したモータ制御..... | 25 |
| 6.9.1 | RMW の操作に使用する変数..... | 25 |
| 6.9.2 | 電流オフセット調整..... | 27 |
| 6.9.3 | 位置オフセット調整..... | 28 |
| 6.9.4 | 位置制御..... | 29 |
| 6.9.5 | 速度制御..... | 30 |
| 6.9.6 | トルク制御..... | 31 |
| 6.9.7 | オープンループ制御..... | 32 |
| 6.9.8 | エラー確認..... | 33 |
| 6.9.9 | エラー解除..... | 33 |
| 7. | モータ制御アルゴリズム..... | 34 |
| 7.1 | 概要..... | 34 |
| 7.2 | 制御ブロック図..... | 34 |
| 7.3 | 制御タイミング..... | 36 |
| 7.4 | デルタシグマ変調器による電流検出..... | 37 |
| 7.4.1 | 相電流検出回路..... | 37 |
| 7.4.2 | 電流検出タイミングと sinc フィルタ設定..... | 38 |
| 7.4.3 | DSMIF 変換値から電流値への変換..... | 39 |
| 7.5 | 電流制御機能..... | 40 |
| 7.5.1 | 非干渉制御..... | 40 |
| 7.5.2 | 電圧位相進み補償..... | 41 |
| 7.5.3 | 電圧誤差補償..... | 42 |
| 7.5.4 | PWM 変調方式..... | 43 |
| 7.6 | 速度制御機能..... | 44 |
| 7.6.1 | 弱め磁束制御..... | 44 |
| 7.6.2 | 最大トルク/電流制御(MTPA)..... | 45 |
| 7.7 | 位置制御機能..... | 46 |
| 7.7.1 | 位置プロファイル..... | 46 |
| 7.8 | エンコーダベクトル制御機能..... | 47 |
| 7.8.1 | エンコーダ通信時間補償..... | 47 |
| 7.8.2 | 速度検出..... | 48 |
| 7.8.3 | 多回転角度検出..... | 49 |
| 7.8.4 | 位置オフセット..... | 50 |
| 8. | ソフトウェア仕様・構成..... | 51 |
| 8.1 | ソフトウェア仕様..... | 51 |
| 8.2 | ソフトウェア全体構成..... | 52 |
| 8.3 | 割り込み処理..... | 52 |
| 8.4 | ファイル・フォルダ構成..... | 53 |
| 8.5 | アプリケーション層..... | 55 |
| 8.5.1 | 機能..... | 55 |
| 8.5.2 | コンフィグレーション情報..... | 55 |
| 8.5.3 | 構造体・変数情報..... | 56 |
| 8.5.4 | マクロ定義..... | 58 |
| 8.5.5 | パラメータ調整・設定..... | 58 |
| 8.6 | マネージャモジュール・モータ制御モジュール..... | 59 |

| | | |
|-------|--------------------|-----|
| 8.6.1 | 機能 | 59 |
| 8.6.2 | モジュール構成 | 60 |
| 8.6.3 | モード管理 | 61 |
| 8.6.4 | 保護機能 | 62 |
| 8.6.5 | RUN 状態へ遷移後のウェイト処理 | 62 |
| 8.6.6 | API | 63 |
| 8.6.7 | 構造体・変数情報 | 66 |
| 8.6.8 | マクロ定義 | 74 |
| 8.7 | ドライバモジュール | 76 |
| 8.7.1 | 機能 | 76 |
| 8.7.2 | API | 76 |
| 8.7.3 | コンフィグレーション情報 | 77 |
| 8.7.4 | 構造体・変数情報 | 77 |
| 8.7.5 | パラメータ調整・設定 | 78 |
| 8.8 | シリアルエンコーダドライバモジュール | 79 |
| 8.8.1 | 機能 | 79 |
| 8.8.2 | API | 79 |
| 8.8.3 | マクロ定義 | 79 |
| 9. | パラメータの設定 | 81 |
| 9.1 | 概要 | 81 |
| 9.2 | MPU 関連パラメータ | 81 |
| 9.3 | 制御機能の設定パラメータの一覧 | 82 |
| 9.4 | 保護関連パラメータ | 85 |
| 9.5 | PWM 変調方式の設定 | 86 |
| 9.6 | インバータパラメータ | 87 |
| 9.6.1 | 概要 | 87 |
| 9.6.2 | 電流検出ゲイン | 88 |
| 9.6.3 | 電圧検出ゲイン | 89 |
| 9.6.4 | 電圧誤差補償パラメータ | 89 |
| 9.7 | モータパラメータ | 90 |
| 9.8 | 電流制御パラメータ | 93 |
| 9.9 | 速度制御パラメータ | 94 |
| 9.10 | 位置制御パラメータ | 95 |
| 9.11 | 電圧位相進み補償パラメータ | 96 |
| 10. | FSP 設定 | 97 |
| 10.1 | クロック設定 | 97 |
| 10.2 | 割り込み設定 | 97 |
| 10.3 | ELC 設定 | 97 |
| 10.4 | DSMIF 設定 | 98 |
| 10.5 | POEG 設定 | 98 |
| 10.6 | GPT 設定 | 99 |
| 10.7 | ADC 設定 | 100 |
| 10.8 | WDT 設定 | 101 |
| 10.9 | 端子設定 | 101 |

| | |
|-----------------------------|-----|
| 11. 評価結果 | 103 |
| 11.1 加減速特性 | 103 |
| 11.2 負荷特性 | 104 |
| 11.3 CPU 使用率 | 104 |
| 11.4 プログラムサイズ・RAM 使用量 | 104 |
| 12. FAQ | 105 |
| 改訂記録 | 106 |

1. はじめに

本書はルネサスエレクトロニクス製 MPU の RZ/T2M を搭載した Safety Motor Control Reference Kit によるシリアルエンコーダを使用した永久磁石同期モータのベクトル制御サンプルプログラムに関するアプリケーションノートです。本アプリケーションノート対象サンプルプログラムが対応しているシリアルエンコーダの通信インタフェースは FA-CODER®と EnDat 2.2 です。またサンプルプログラムはモータ制御開発支援ツール Renesas Motor Workbench (RMW)に対応しており MPU の内部データ確認や、モータ制御のユーザインタフェースとして使用可能です。サンプルプログラムの MPU 機能割り当てや、制御の割り込み負荷状況などを参照頂くことで、使用する MPU の選定やソフトウェア開発の参考としてご活用ください。

本アプリケーションノートは、本書内で記載しているモータ・インバータ環境で開発・評価を行ったものであり、ユーザの使用するモータやインバータ環境で動作することを保証するものではありません。電流センサや、シリアルエンコーダの取り付け誤差、信号経路の基板パターン設計、サンプリング・分解能・フィルタの仕様やモータの磁気飽和特性・個体差により、制御性能に制約が生じる場合があります。ユーザの責任の下で、アルゴリズムの改良や、パラメータのチューニングが必要となります。

本アプリケーションノートに記載している機材・機器については、各機器メーカーによる廃盤や改訂等により入手できない場合があります。予めご了承ください。

評価に使用した主な装置・機器

- ・ CPU ボード : Safety Motor Control Reference Kit (RTK0EF0190D01001BJ)
- ・ インバータボード : RZ/T Series Inverter Board (RTK0EM0000B15010BJ)
- ・ モータ : TSM3101N2001E020 (多摩川精機)
- ・ エンコーダ(FA-CODER) : TS5669N124 (多摩川精機)
- ・ エンコーダ(EnDat 2.2) : ECI1319 (HIDENHAIN)

対象ソフトウェア

本アプリケーションノート対象ソフトウェアを下記に示します。

- ・ RZT2M_SMCRK_INVBLB_SPM_ENCD_FOC_E2S_V100

参考資料

- ・ RZ/T2Mグループ ユーザーズマニュアル ハードウェア編 (R01UH0916)
- ・ RZ/T2, RZ/N2 Getting Started with Flexible Software Package (R01AN6434)
- ・ RZ/T2Mグループ Encoder I/F Configuration Library ユーザーズマニュアル (R01US0563)
- ・ RZ/T2Mグループ FA-CODERサンプルプログラム (R11AN0584)
- ・ RZ/T2Mグループ EnDat サンプルプログラム (R11AN0598)
- ・ RZ/T Series Inverter Board/Kit ユーザーズマニュアル (R12UZ0155)
- ・ モータ制御開発支援ツール Renesas Motor Workbench 3.2.0 ユーザーズマニュアル (R21UZ0004)
- ・ MC-COM ユーザーズマニュアル (R12UZ0093)

本アプリケーションノートを使用いただく際に、よく確認される内容について、対応する章を以下にまとめています。

表 1-1 確認したい内容と対応章の一覧

| 確認したい内容 | 対応する章 |
|------------------------------------|---------|
| 必要な機材を確認する | 3.1 |
| 電源を準備する | 4.2 |
| モータを準備する | 4.3 |
| インバータボードを準備する | 4.6 |
| 配線を確認する | 4 |
| 開発環境を準備する | 5.1、5.2 |
| MPU にサンプルプログラムを書き込む | 6.6 |
| PC に RMW を導入する | 5.3 |
| サンプルプログラムを変更した後、Map ファイルを更新する | 6.8 |
| インバータの内部情報を PC 上で確認する | 6.9.1 |
| モータを運転する | 6.9 |
| モータ制御アルゴリズムを調べる | 7 |
| サンプルプログラムの構造を調べる | 8 |
| インバータパラメータを確認する | 9.6 |
| モータパラメータを確認する | 9.7 |
| 使用するシリアルエンコーダを切り替える | 6.4 |
| MPU の設定を確認したい | 10 |
| よくある質問を確認する トラブルが起きた場合の対応を確認したい | 12 |

2. 用語集

本書で使用されている主な用語とその説明を表 2-1 に示します。

表 2-1 用語集

| 用語 | 説明 |
|-----------|------------------------------------------------|
| APP | アプリケーション層 |
| rms | root mean square (実効値) |
| RMW | Renesas Motor Workbench |
| PMSM | Permanent Magnet Synchronous Motor (永久磁石同期モータ) |
| シリアルエンコーダ | エンコーダカウントをシリアルデータとして出力するエンコーダ |
| ENCIF | シリアルエンコーダとの通信を行うペリフェラル |
| デルタシグマ変調器 | サンプリングしたアナログ信号をパルス密度変調した信号として出力する AD コンバータ |
| MCLK | デルタシグマ変調器が出力するクロック信号 |
| MDAT | デルタシグマ変調器が出力するデータ信号 |
| DSMIF | MCLK と MDAT を処理するためのペリフェラル |
| sinc フィルタ | パルス密度変調された信号から DSMIF 変換値を得るために用いられるフィルタ |
| デシメーション | パルス密度変調された信号をダウンサンプリングし周波数を変換すること |

3. ハードウェアとソフトウェア

3.1 ハードウェア

表 3-1 ハードウェア一覧

| ハードウェア | 名称 | メーカー |
|-----------------------|---------------------------------------------------------|------------------------------|
| MPU | RZ/T2M (R9A07G075M24GBG) | Renesas Electronics |
| CPU ボード | Safety Motor Control Reference Kit (RTK0EF0190D01001BJ) | Renesas Electronics |
| モータ | TSM3101N2001E020 | 多摩川精機株式会社 |
| シリアルエンコーダ (FA-CODER) | TS5669N124 | 多摩川精機株式会社 |
| シリアルエンコーダ (EnDat 2.2) | ECI1319 | Dr. Johannes Heidenhain GmbH |
| インバータボード | RZ/T Series Inverter Board (RTK0EM0000B15010BJ) | Renesas Electronics |
| 通信ボード | MC-COM (RTK0EMXC90S00000BJ) | Renesas Electronics |
| デバッグ | J-Link Base Version 11.0 | SEGGER |

3.1.1 モータ仕様

表 3-2 にモータ仕様を示します。抵抗値と d 軸インダクタンス、q 軸インダクタンスの値は弊社で独自に測定したものであり、得られるパラメータには測定条件によるばらつきや個体差があります。

表 3-2 モータ仕様

| | |
|------------|-------------------------------------|
| 名称 | TSM3101N2001E020 |
| 定格速度 | 3000 rpm |
| 最高速度 | 6000 rpm |
| 定格周波数 | 250 Hz |
| 定格電圧 | DC24V |
| 定格出力 | 30 W |
| 定格電流 | 3.5 Arms |
| 瞬時最大電流 | 10.6 Arms |
| 定格トルク | 0.095 Nm |
| 瞬時最大トルク | 0.34 Nm |
| 抵抗値 | 0.626 Ω |
| d 軸インダクタンス | 0.000574 H |
| q 軸インダクタンス | 0.000813 H |
| 鎖交磁束 | 0.003684 Wb |
| ロータイナーシャ | 0.0000023 kg \cdot m ² |
| 極対数 | 5 極対 |

3.1.2 インバータボード仕様

表 3-3 インバータボード仕様

| | |
|--------|-------------------------------------------------|
| 名称 | RZ/T Series Inverter Board (RTK0EM0000B15010BJ) |
| 定格電源電圧 | DC24V |
| 定格出力電流 | 4 Arms |
| 最大出力電流 | 12 Arms (定格 300%出力) |

3.1.3 シリアルエンコーダ(FA-CODER)仕様

表 3-4 にシリアルエンコーダ(FA-CODER) TS5669N124 の仕様を示します。通信時間は本サンプルプログラムを使用したときの単回転エンコーダカウント取得にかかる時間です。

表 3-4 シリアルエンコーダ(FA-CODER) TS5669N124 仕様

| | |
|-----------|------------|
| 名称 | TS5669N124 |
| 通信インタフェース | FA-CODER |
| 単回転分解能 | 17 bits |
| 通信レート | 2.5 Mbps |
| 通信時間 | 約 33 us |

3.1.4 シリアルエンコーダ(EnDat 2.2)仕様

表 3-5 にシリアルエンコーダ(EnDat 2.2) ECI1319 の仕様を示します。通信時間は本サンプルプログラムを使用したときの単回転エンコーダカウント取得にかかる時間です。

表 3-5 シリアルエンコーダ(EnDat 2.2) ECI1319 仕様

| | |
|-----------|------------------------|
| 名称 | ECI1319 |
| 通信インタフェース | EnDat 2.2 |
| 単回転分解能 | 19 bits |
| 通信レート | 最大 16 Mbps |
| 通信時間 | 約 9 us (通信レート 8.6Mbps) |

3.2 ソフトウェア

表 3-6 ソフトウェア一覧

| ソフトウェア | 名称 | バージョン | メーカー |
|---------|---------------------------------------------------------|------------------------------|---------------------|
| 統合開発環境 | e ² studio | 2025-04.1 (25.4.1) | Renesas Electronics |
| FSP | Flexible Software Package (FSP) for Renesas RZ/T series | 2.3.0 | Renesas Electronics |
| ツールチェーン | GNU ARM Embedded Toolchain | 13.3.Rel1 (13.3.1.arm-13-24) | ARM |
| 開発ツール | Renesa Motor Workbench | 3.2.0 | Renesas Electronics |

4. ハードウェア環境構築方法

4.1 ハードウェア環境の概要

本サンプルプログラムを使用し、モータを動かすためのハードウェア環境について説明します。

図 4-1 にハードウェア構成例を示します。電源(4.2)、モータ(4.3)、負荷(4.4)、インバータボード(RZ/T Series Inverter board)(4.6)、CPU ボード(Safety Motor Control Reference Kit)(4.7)、通信ボード(MC-COM)(4.7.5)、デバッグ(J-Link)(4.7.6)の接続について説明します。

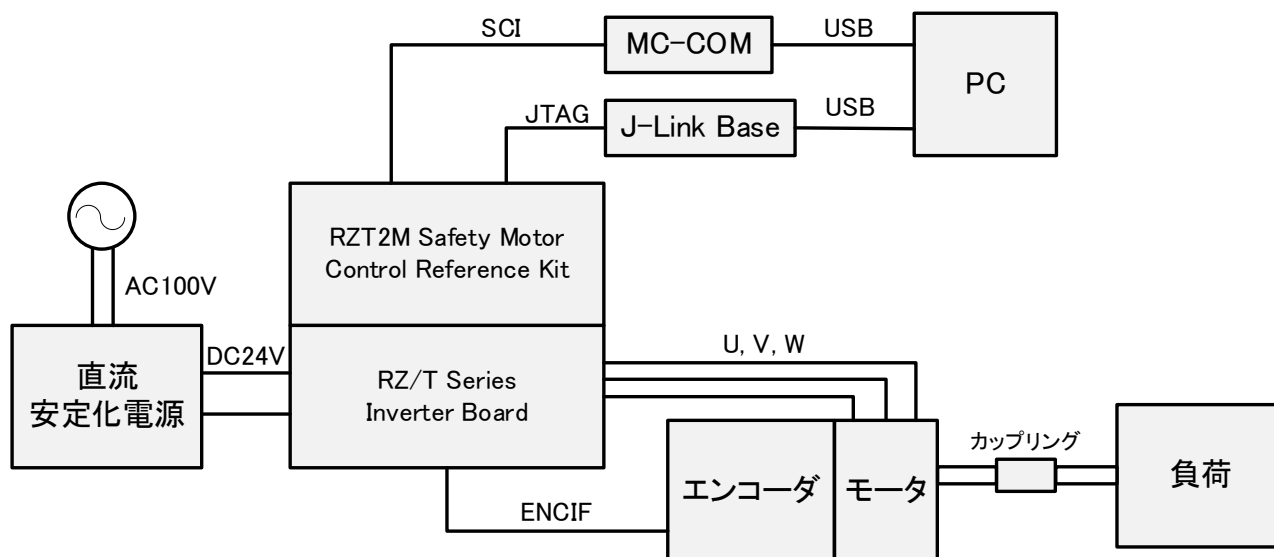


図 4-1 ハードウェア構成例

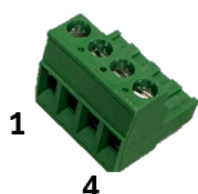
4.2 電源

本サンプルプログラムでは直流安定化電源または AC アダプタを用いて、単相 AC100V から RZ/T Series Inverter Board に DC24V を供給しています。このサンプルプログラムでは、低速高トルクに十分な電源容量が必要なため、USB 電源は推奨していません。

インバータボードに供給する電圧は、使用するモータの誘起電圧や定格条件、最大負荷条件によって変わります。ユーザの実験環境や、使用する電源の制約や条件に応じて、電源の種類を適切に選定してください。なお、ここで紹介するインバータボードは、出力電流が定格 4A となっており、モータを変更した場合、モータの定格条件によっては定格運転ができない場合があります。予めご了承ください。

4.3 モータ

モータとインバータボードの接続にはモータコネクタ(TE Connectivity 4 ピンコネクタ)を使用します。図 4-2 にモータコネクタとモータの接続を示します。



| ピン番号 | 信号 | ケーブル色 |
|------|-----|-------|
| 1 | U | 赤 |
| 2 | V | 白 |
| 3 | W | 黒 |
| 4 | N.C | N.C |

図 4-2 モータコネクタ(TE Connectivity 4 ピンコネクタ)とモータの接続

4.4 負荷

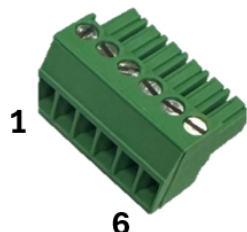
モータの出力に応じて適切な負荷を選定してください。本サンプルプログラムの評価に使用した負荷装置を表 4-1 に示します。

表 4-1 負荷装置

| ハードウェア | 名称 | メーカー |
|---------------|---------------|---------|
| トルクメータ | TM303 | MAGTROL |
| ヒステリシスブレーキ | HB-50M-2 | MAGTROL |
| ダイナモメータコントローラ | MODEL DSP6001 | MAGTROL |

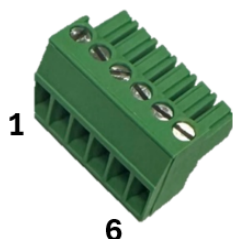
4.5 シリアルエンコーダ

シリアルエンコーダとインバータボードの接続にはエンコーダコネクタ(TE Connectivity 6 ピンコネクタ)を使用します。図 4-3 にエンコーダコネクタとシリアルエンコーダ(TS5669N124)の接続を示します。図 4-4 にエンコーダコネクタとシリアルエンコーダ(ECI1319)の接続を示します。



| ピン番号 | 信号 | ケーブル色 |
|------|------|-------|
| 1 | VDD1 | 赤 |
| 2 | GND | 黒 |
| 3 | D0+ | 青 |
| 4 | D0- | 黒/青 |
| 5 | N.C | N.C |
| 6 | N.C | N.C |

図 4-3 エンコーダコネクタ(TE Connectivity 6 ピンコネクタ)とシリアルエンコーダ(TS5669N124)の接続



| ピン番号 | 信号 | ケーブル色 |
|------|------|-------|
| 1 | VDD1 | 茶/緑 |
| 2 | GND | 白/緑 |
| 3 | D0+ | 灰 |
| 4 | D0- | ピンク |
| 5 | C0+ | 紫 |
| 6 | C0- | 黄 |

図 4-4 エンコーダコネクタ(TE Connectivity 6 ピンコネクタ)とシリアルエンコーダ(ECI1319)の接続

4.6 インバータボード

4.6.1 ジャンパピン設定

インバータボードのジャンパピンが表 4-2 に示した通りデフォルトに設定されていることを確認してください。本サンプルプログラムで使用するシリアルエンコーダの電源電圧は 5V です。インバータボードからシリアルエンコーダへ 5V を供給するため JP10 を 2-3pin ショート にします。

表 4-2 インバータボードのジャンパピン設定

| ジャンパピン | デフォルト | 設定 |
|---------------|-------------|-------------------------------------------------------------|
| JP7, JP8, JP9 | 1-2pin ショート | インクリメンタルエンコーダ入力選択 1-2pin ショート : RX485 RX Receiver (差動入力) |
| JP10 | 2-3pin ショート | アブソリュートエンコーダ I/O 電源選択 2-3pin ショート : +5.0V |
| JP11 | 2-3pin ショート | インクリメンタルエンコーダ I/O 電源選択 2-3pin ショート : +5.0V |

RZ/T Series Inverter Board の詳細は「RZ/T Series Inverter Board/Kit ユーザーズマニュアル (R12UZ0155)」を参照ください。

図 4-5 にインバータボードのジャンパピン配置を示します。

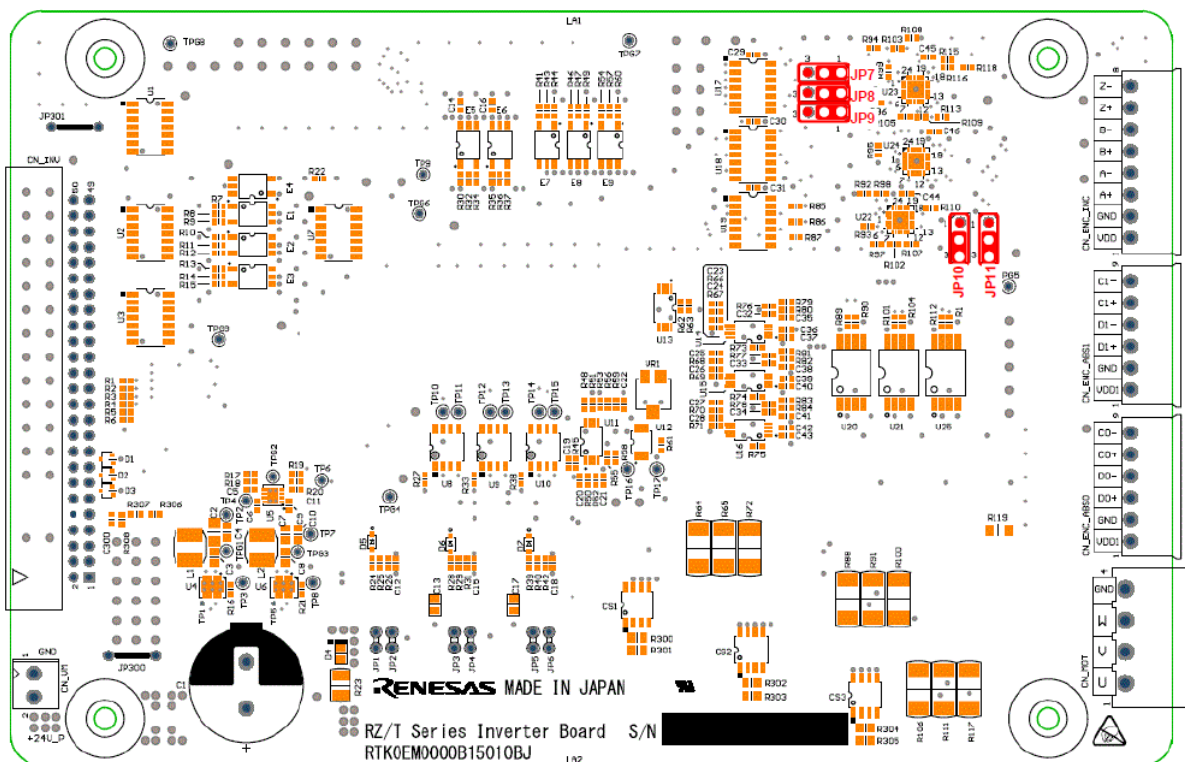


図 4-5 インバータボードのジャンパピン配置

4.6.2 ボリューム設定

インバータボード上のボリューム VR1 が時計回りいっぱい回転していることを確認してください。

4.6.3 電源の接続

直流安定化電源の出力をインバータボードの CN_VM ターミナルへ接続してください。モータを制御するときはインバータボードの CN_VM ターミナルから電源を供給してください。

4.6.4 モータ、エンコーダの接続

モータコネクタをインバータボードの CN_MOT ターミナルへ接続してください。エンコーダコネクタを CN_ENC_ABS0 ターミナルへ接続してください。

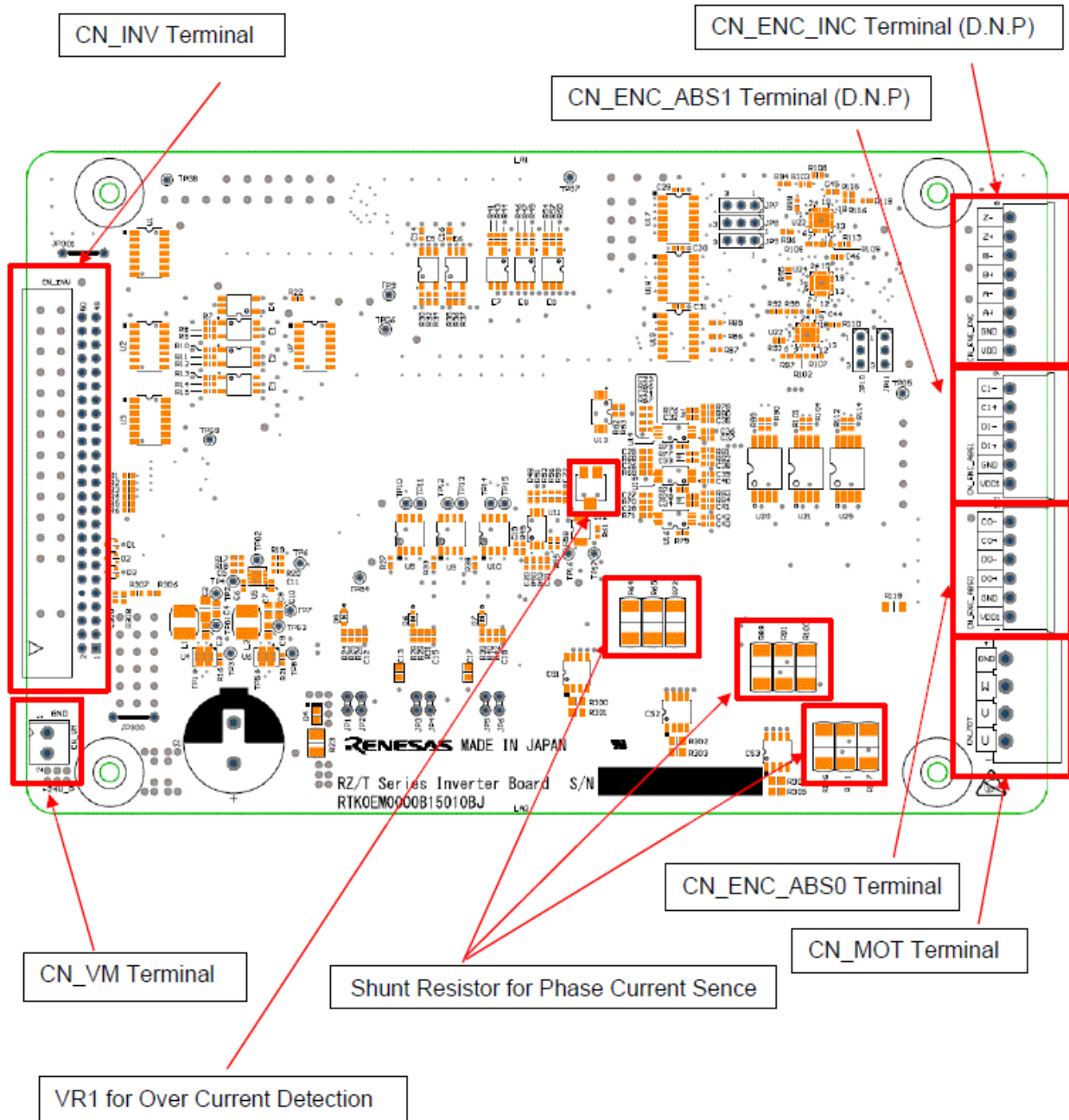


図 4-6 インバータボードのコネクタ配置

4.7 CPU ボード

4.7.1 スイッチ設定

表 4-3 に CPU ボードのスイッチ設定を示します。*1 はデフォルトから変更する必要がある箇所を表しています。図 4-7 に CPU ボードのスイッチ配置を示します。

表 4-3 CPU ボードのスイッチ設定

| スイッチ | ON/OFF | 設定 |
|--------|--------|-------------------------------------------------|
| SW3_1 | ON | RZ/T2M MD[2:0]=000b xSPI0 ブートモード x1 ブート |
| SW3_2 | ON | |
| SW3_3 | ON | |
| SW3_4 | OFF | |
| SW4_1 | ON | RZ/T2L-A MD[2:0]=000b xSPI0 ブートモード x1 ブート |
| SW4_2 | ON | |
| SW4_3 | ON | |
| SW4_4 | OFF | |
| SW5_1 | ON | RZ/T2L-B MD[2:0]=000b xSPI0 ブートモード x1 ブート |
| SW5_2 | ON | |
| SW5_3 | ON | |
| SW5_4 | OFF | |
| SW7_1 | OFF | ユーザースイッチ |
| SW7_2 | OFF | ユーザースイッチ |
| SW7_3 | OFF | ユーザースイッチ |
| SW9_1 | OFF | ユーザースイッチ |
| SW9_2 | OFF | ユーザースイッチ |
| SW9_3 | OFF | ユーザースイッチ |
| SW11_1 | OFF | ユーザースイッチ |
| SW11_2 | OFF | ユーザースイッチ |
| SW11_3 | OFF | ユーザースイッチ |
| SW12_1 | OFF | ユーザースイッチ |
| SW12_2 | OFF | ユーザースイッチ |
| SW12_3 | OFF | ユーザースイッチ |
| SW12_4 | OFF | ユーザースイッチ |
| SW12_5 | OFF | ユーザースイッチ |
| SW12_6 | OFF | ユーザースイッチ |
| SW12_7 | OFF | ユーザースイッチ |
| SW12_8 | OFF | ユーザースイッチ |
| SW13 | シルク「-」 | RZ/T2L-A と RZ/T2L-B を通常結線 |
| SW14 | シルク「-」 | RZ/T2L-A と RZ/T2L-B を通常結線 |

| | | |
|------|------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| SW15 | シルク「-」 | RZ/T2L-A と RZ/T2L-B を通常結線 |
| SW16 | シルク「-」 | RZ/T2L-A と RZ/T2L-B を通常結線 |
| SW17 | シルク「GPT」*1 | GTIOC2B を CON14 の 31 番ピン(VN_INV_CON)に接続 GTIOC3A を CON14 の 32 番ピン(WP_INV_CON)に接続 |

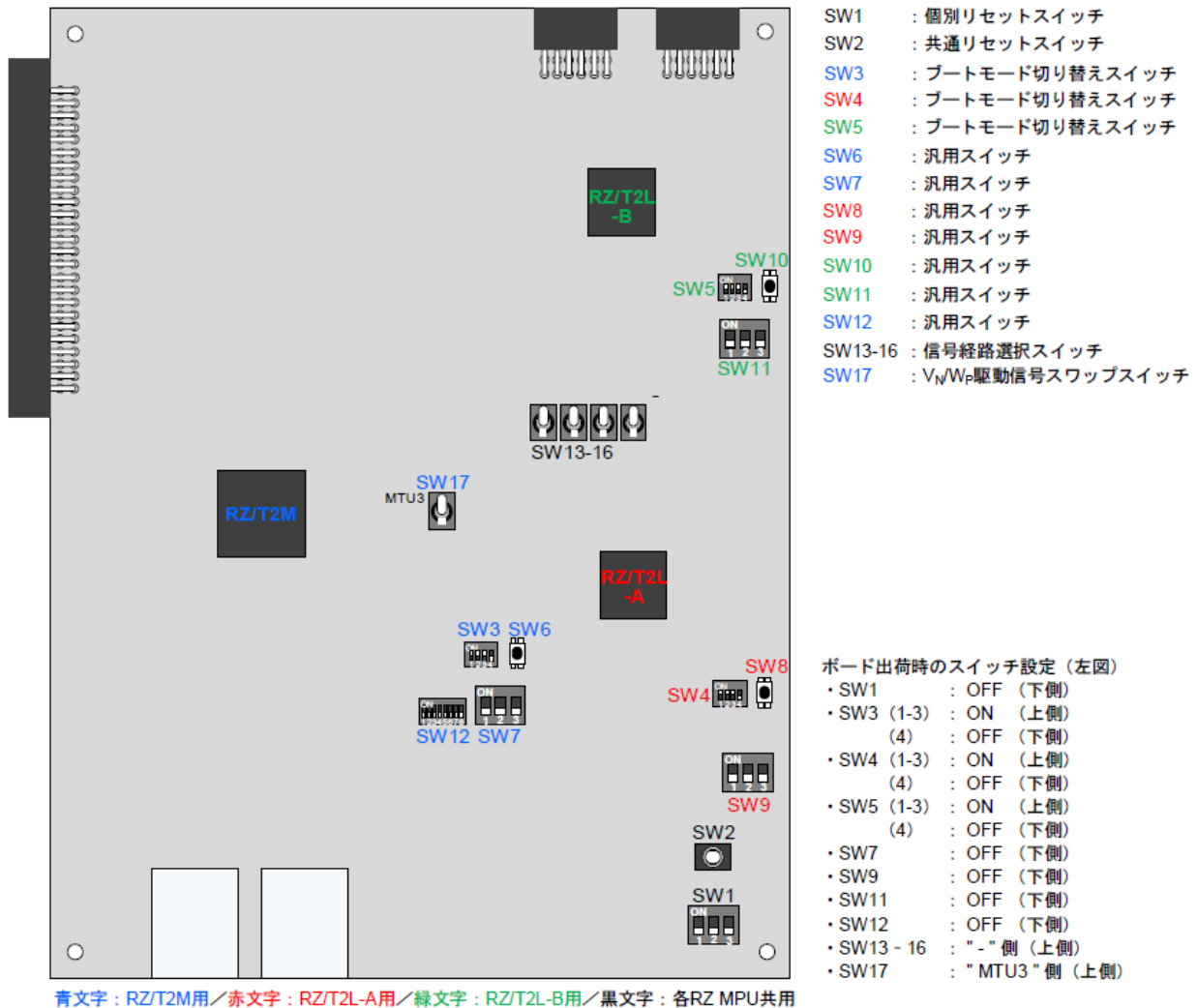


図 4-7 CPU ボードのスイッチ配置

4.7.2 ジャンパピン設定

表 4-4 に CPU ボードのジャンパピン設定を示します。*1 はデフォルトから変更する必要がある箇所を表しています。図 4-8 に CPU ボードのジャンパピン配置を示します。

表 4-4 CPU ボードのジャンパピン設定

| ジャンパピン | オープン/ショート | 設定 |
|--------|------------|------------------------------------|
| JP4 | 1-2 ショート | GTETRGA を CON14 の 35 ピン(OC-DET)と接続 |
| JP5 | 1-2 ショート | MTCLKA を CON14 の 37 ピン(INC-A)と接続 |
| JP6 | 5-6 ショート | GTETRGC を CON14 の 39 ピン(INC-Z)と接続 |
| JP7 | 1-2 ショート | MTCLKB を CON14 の 38 ピン(INC-B)と接続 |
| JP10 | 2-3 ショート*1 | UVW 遮断回路機能 OFF |
| JP11 | 2-3 ショート*1 | UVW 遮断回路機能 OFF |

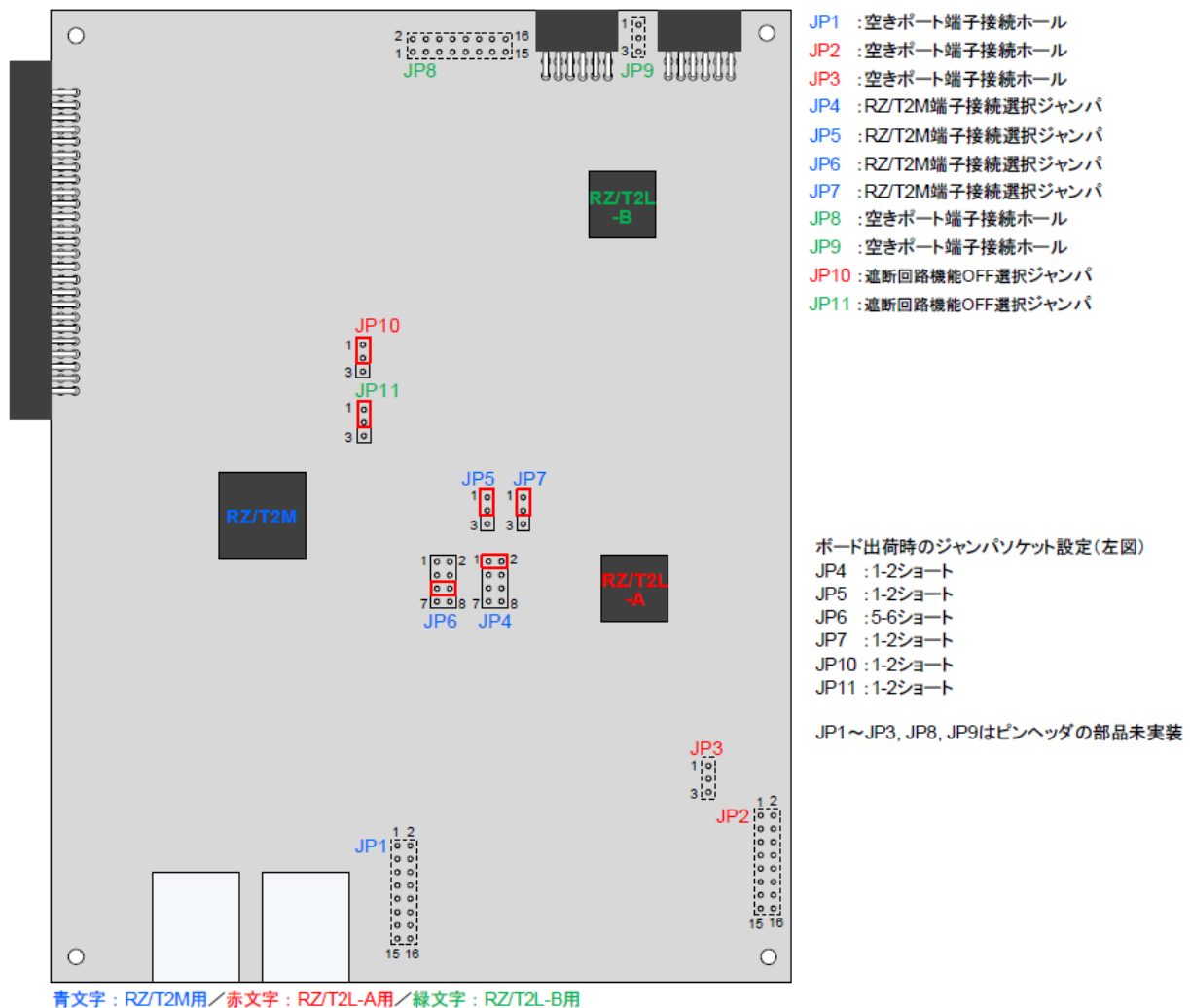


図 4-8 CPU ボードのジャンパピン配置

4.7.3 電源の接続

直流安定化電源の出力を CPU ボードの CON1(電源コネクタ)へ接続してください。

4.7.4 インバータボードの接続

インバータボードの CN_INV を CPU ボードの CON14(インバータ基板用コネクタ)へ接続してください。

4.7.5 通信ボードの接続

通信ボードの SCI コネクタを CPU ボードの CON12(SCI 通信用コネクタ)へ接続してください。

4.7.6 デバッガの接続

デバッガを CPU ボードの CON2(RZ/T2M 用 JTAG コネクタ)へ接続してください。

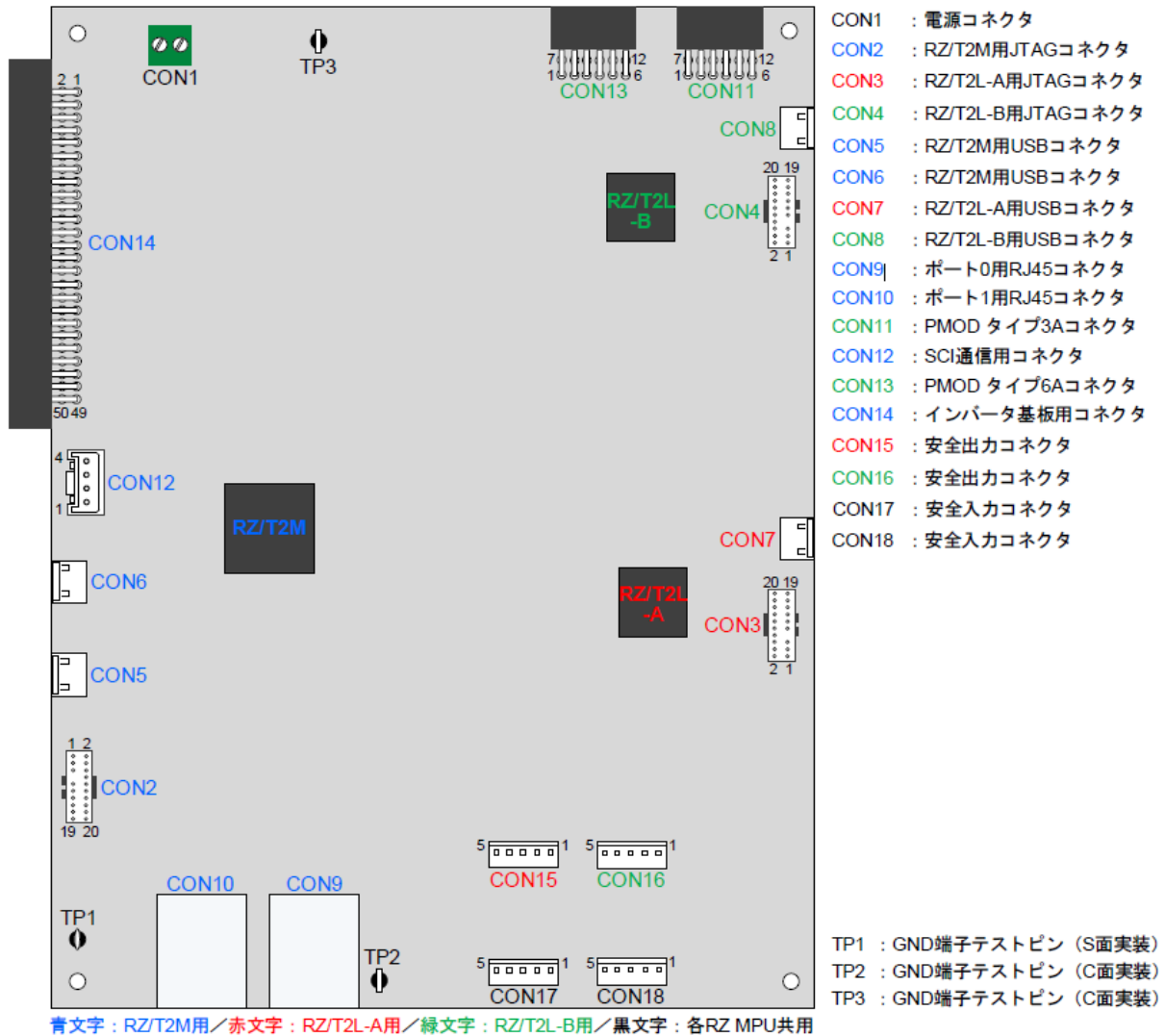


図 4-9 CPU ボードのコネクタ配置

5. ソフトウェア環境構築方法

5.1 e² studio のインストール

以下の URL から e² studio をダウンロードしてください。

<https://www.renesas.com/ja/software-tool/e2-studio>

e² studio のインストール時に追加ソフトウェア選択画面で GNU ARM Embedded 13.3-Rel1(13.3.1.arm-13-24)が選択されていることを確認してください。図 5-1 に追加ソフトウェア選択画面を示します。

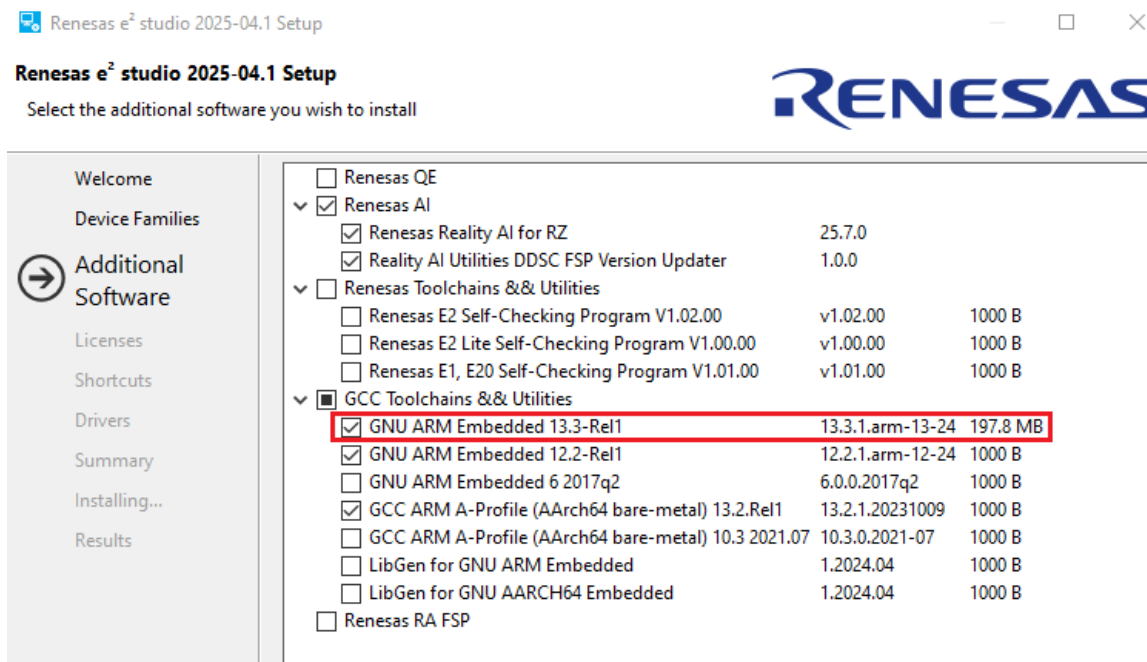


図 5-1 追加ソフトウェア選択画面

5.2 FSP のインストール

以下の URL からインストーラ(RZT_FSP_Packs_v2.3.0.exe)をダウンロードし、FSP Version 2.3.0 をインストールしてください。インストールパスは e² studio がインストールされているパスを選択してください。

<https://github.com/renesas/rzt-fsp/releases/tag/v2.3.0>

5.3 RMW の導入方法

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。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。

<https://www.renesas.com/ja/software-tool/renesas-motor-workbench>

6. 運転方法

6.1 運転前の注意点

モータを動かすにあたって、以下の点にご注意ください。誤った使い方により、感電や機器の故障等を引き起こす場合があります。

- デバッグを使用しながら、トレース実行・ブレークポイントを設定した条件でモータ制御しないでください。不意の停止により、インバータが異常な動作をする場合があります。RMW を使用して、安全機能が正常に動作する条件下で、デバッグを行ってください。
- MC-COM は信号が絶縁されているため、運転中も安全に使用できます。類似品を使用する場合、PC とインバータの GND が共通となる場合があります、GND を介して感電事故の恐れがあります。
- 緊急停止が可能なように、実験設備を構築してください。
- エンコーダの配線の断線に注意してください。エンコーダの配線が断線・接触不良している場合、正常にモータ制御できません。
- モータの軸は回転しますので、必ずガードとなるカバーを取り付けしてください。特にカップリング等の部品は、回転中に損傷した場合、外に飛散する場合があります。
- インバータが停止しても、モータが回転している場合、モータは誘起電圧を発生させるため、UVW 三相配線に電圧がかかります。露出した導電部に接触すると、感電の恐れがあります。

6.2 運転までの手順

運転を行うための準備手順は、以下の通りです。

表 6-1 運転を行うまでの手順

| 手順 | 内容 | 関連する章 |
|----|-----------------------------------|----------------|
| 1 | CPU ボードのスイッチ設定とジャンパピン設定を確認する | 4.7.1 4.7.2 |
| 2 | インバータボードのジャンパピン設定とボリューム設定を確認する | 4.6.1 4.6.2 |
| 3 | サンプルプログラムのインポート | 6.3 |
| 4 | シリアルエンコーダの選択 | 6.4 |
| 5 | サンプルプログラムのビルド | 6.5 |
| 6 | CPU ボードへ電源を接続する | 4.7.3 |
| 7 | CPU ボードへデバッグを接続する | 4.7.6 |
| 8 | 電源をオンにする | — |
| 9 | サンプルプログラムの書き込み | 6.6 |
| 10 | 電源をオフにする | — |
| 11 | CPU ボードからデバッグを取り外す | 4.7.6 |
| 12 | CPU ボードへインバータボードを接続する | 4.7.4 |
| 13 | インバータボードにモータとエンコーダを接続する | 4.6.4 |
| 14 | 通信ボードを CPU ボードに接続する | 4.7.5 |
| 15 | CPU ボードから電源を取り外し、インバータボードへ電源を接続する | 4.6.3 |
| 16 | 電源をオンにする | — |
| 17 | RMW と接続する | 6.7 |
| 18 | RMW を用いてモータの運転をおこなう | 6.9 |

6.3 サンプルプログラムのインポート

- (1) e² studio を起動しメニューバーからファイル→インポートを選択すると「インポート」ダイアログボックスが開きます。
- (2) 一般→既存プロジェクトをワークスペースへ を選択します。
- (3) 「参照」ボタンを選択しサンプルプロジェクトが格納されているディレクトリを選択します。
- (4) 「終了」ボタンを選択します。

6.4 シリアルエンコーダの選択

- (1) RZT2M_SMCRK_INVBLB_SPM_ENCD_FOC_E2S_V100¥src¥serial_encoder_driver¥r_serial_encoder_cfg.h を開きます。
- (2) 使用するシリアルエンコーダに応じて表 6-2 の通りに SERIAL_ENCODER_TYPE と SERIAL_ENCODER_MODEL の値を書き換えます。デフォルトでは SERIAL_ENCODER_TYPE には FACODER、SERIAL_ENCODER_MODEL には TS5669N124 が設定されています。

表 6-2 シリアルエンコーダの選択のためのマクロ

| シリアルエンコーダ | マクロ名 | 設定値 |
|-----------|----------------------|------------|
| FA-CODER | SERIAL_ENCODER_TYPE | FACODER |
| | SERIAL_ENCODER_MODEL | TS5669N124 |
| EnDat 2.2 | SERIAL_ENCODER_TYPE | ENDAT22 |
| | SERIAL_ENCODER_MODEL | EC11319 |

6.5 サンプルプログラムのビルド

- (1) e² studio のメニューバーから、プロジェクト→すべてビルド を選択します。
- (2) ビルドが成功するとコンソールに「Build Finished」と表示されます。

6.6 サンプルプログラムの書き込み

- (1) e² studio のメニューバーから、実行→デバッグ を選択しプログラムを書き込みます。
- (2) 書き込みが完了するとコンソールに「ダウンロード終了」と表示されます。
- (3) e² studio のメニューバーから、実行→終了 を選択しデバッグを終了します。

6.7 RMW と接続する

- (1) RZT2M_SMCRK_INVBLB_SPM_ENCD_FOC_E2S_V100\src\application\user_interface\ics\RZT2M_SMCRK_INVBLB_SPM_ENCD_FOC_E2S_V100.rmt を選択し RMW を起動します。

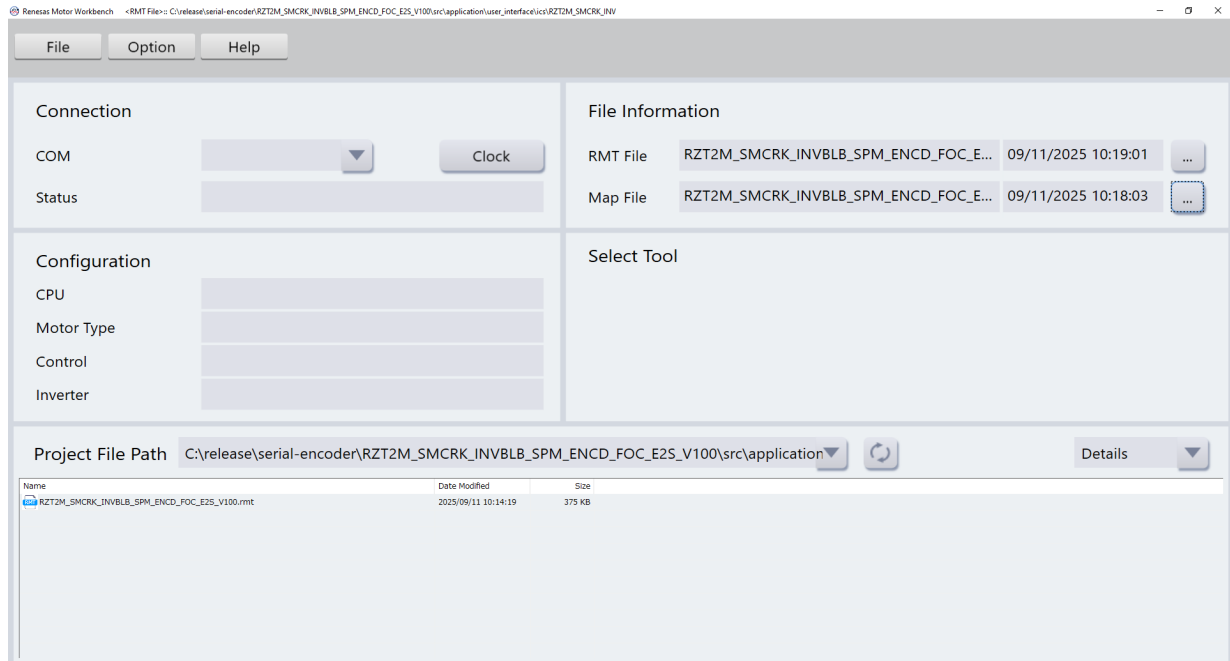


図 6-1 起動後の RMW

- (2) Connection – COM から使用する接続に使用する COM ポートを選択します。

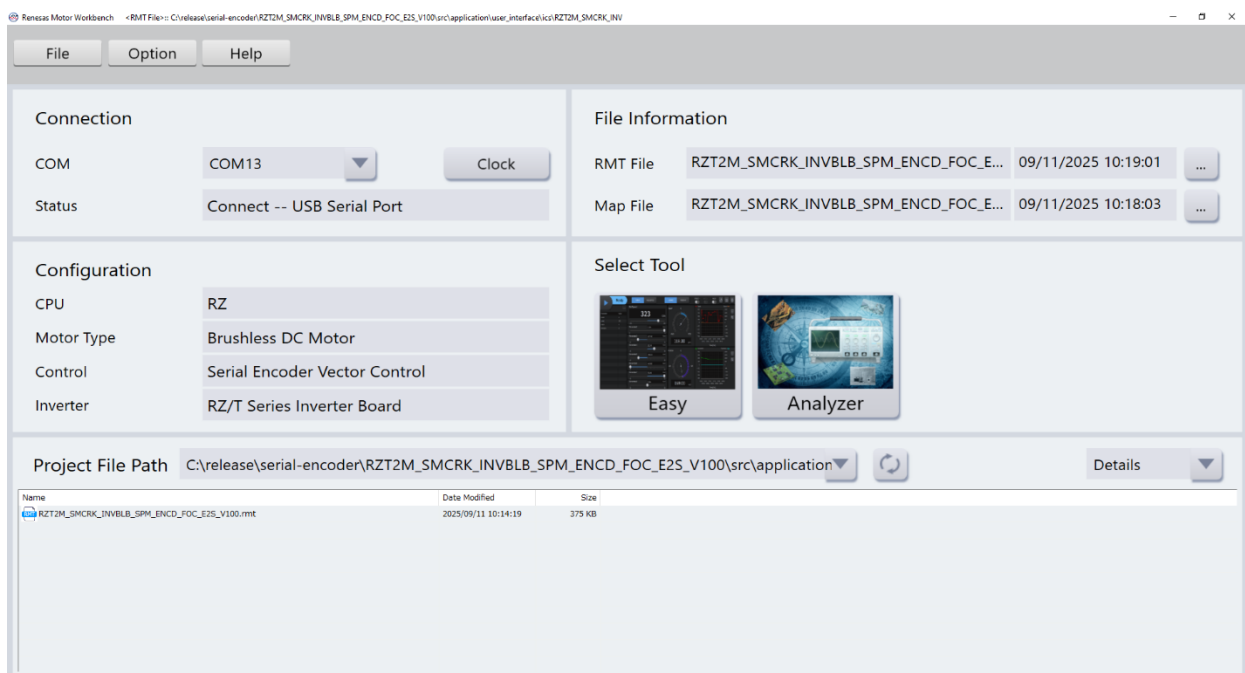


図 6-2 接続後の RMW

6.8 Map ファイルの登録更新

ユーザがサンプルプログラムの一部を変更した場合、Map ファイルを RMW に登録更新する作業が必要になります。サンプルプログラムの変更を行っていない場合には、Map ファイルの登録更新作業は不要です。

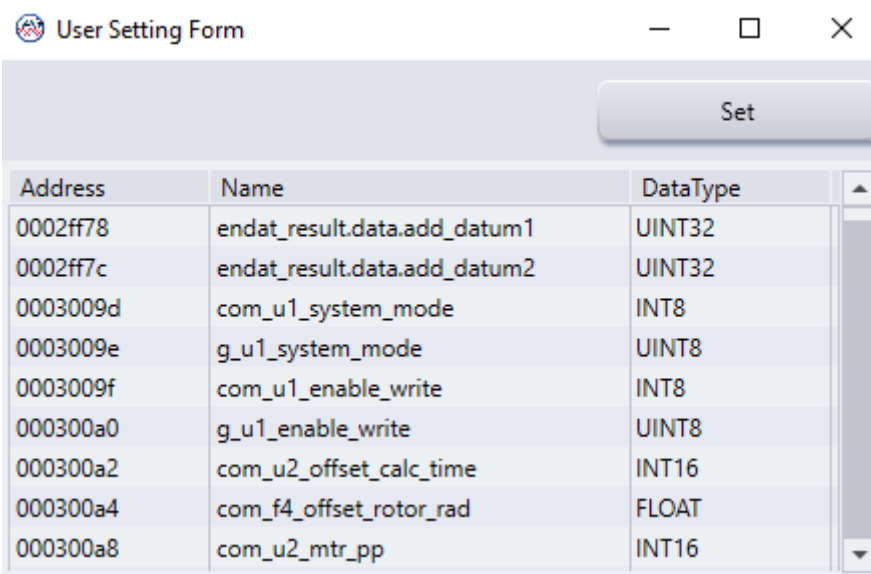
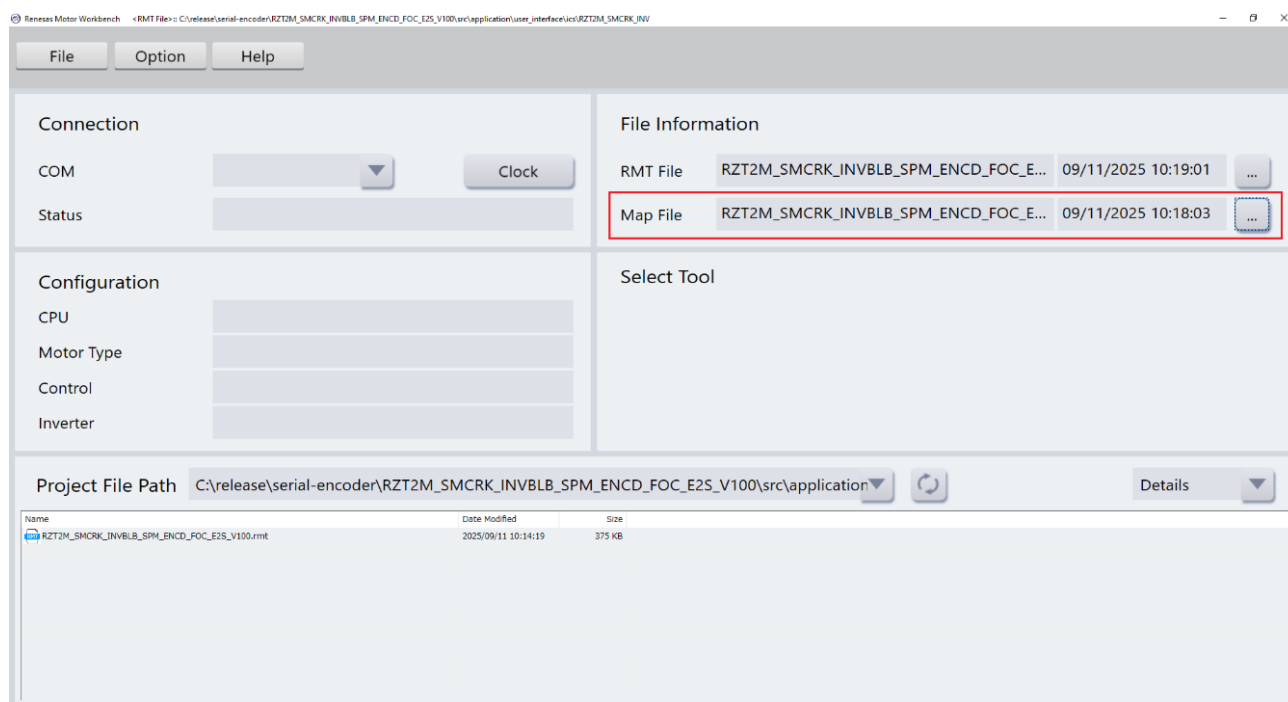


図 6-3 RMW の Map ファイル登録設定箇所(上)と反映画面(下)

6.9 RMW を使用したモータ制御

6.9.1 RMW の操作に使用する変数

本サンプルプログラムで、モータを動かす場合には、RMW を用いて制御します。RMW UI 使用時の入力用変数一覧を表 6-3 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モータモジュール内の対応する変数へ反映され、モータ制御に使用されます。ただし、(*)が付けられた変数は com_u1_enable_write に依存しません。

一部のモータ制御に用いるパラメータは、停止中に設定を変更できます。詳細は表 8-7 を参照してください。

なお、変数名の接頭辞(u1,f4 等)は変数型の省略形となっています。RMW は、変数名の接頭辞を自動認識して型を自動で選択し、Control Window で変数内部の数値の表示を行います。

表 6-3 Analyzer 機能主要入力用変数一覧

| 変数名 | 型 | 内容 |
|-----------------------------|---------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| com_u1_system_mode (*) | uint8_t | システムモード 0 : 停止 1 : 位置制御 2 : 速度制御 3 : トルク制御 4 : オープンループ制御 5 : エラー解除 8 : 電流オフセット調整 9 : 位置オフセット調整 |
| com_u1_enable_write | uint8_t | ユーザ入力用変数書き換え許可 g_u1_enable_write と変数一致で入力データ反映 |
| com_f4_torque_ref_nm (*) | float | トルク指令値 [Nm] |
| com_f4_ref_speed_rpm (*) | float | 速度指令値(機械角) [rpm] |
| com_f4_ref_position_deg (*) | float | 位置指令値(機械角) [rad] |
| com_f4_ol_crnt_ref | float | オープンループ制御の d 軸電流指令値 [A] |

モータ制御の評価を行う際に観測することの多い主要な構造体変数の一覧を表 6-4 に示します。Analyzer 機能で波形表示する際や変数の値を読み込む際に参考にしてください。

表 6-4 モータ制御のための主要な変数

| 変数名 | 型 | 内容 |
|------------------------------------------------------|----------|--------------------------|
| g_st_serial_encoder_vector.u2_error_status | uint16_t | エラーステータス 詳細は表 6-5 を参照 |
| g_st_cc.f4_vdc_ad | float | インバータ母線電圧値[V] |
| g_st_cc.f4_id_ref | float | d 軸電流指令値 [A] |
| g_st_cc.f4_id_ad | float | d 軸電流検出値 [A] |
| g_st_cc.f4_iq_ref | float | q 軸電流指令値 [A] |
| g_st_cc.f4_iq_ad | float | q 軸電流検出値 [A] |
| g_st_cc.f4_iu_ad | float | U 相電流検出値 [A] |
| g_st_cc.f4_iv_ad | float | V 相電流検出値 [A] |
| g_st_cc.f4_iw_ad | float | W 相電流検出値 [A] |
| g_st_cc.f4_vd_ref | float | d 軸電圧指令値 [V] |
| g_st_cc.f4_vq_ref | float | q 軸電圧指令値 [V] |
| g_st_cc.f4_refu | float | U 相電圧指令値 [V] |
| g_st_cc.f4_refv | float | V 相電圧指令値 [V] |
| g_st_cc.f4_refw | float | W 相電圧指令値 [V] |
| g_st_cc.st_rotor_angle.f4_rotor_angle_rad | float | 磁極位置(電気角) [rad] |
| g_st_serial_encoder_vector.f4_rotor_angle_offset_rad | float | 位置オフセット(電気角) [rad] |
| g_st_sc.f4_ref_speed_rad_ctrl | float | 速度指令値(機械角) [rad/s] |
| g_st_sc.f4_speed_rad | float | 速度検出値(機械角) [rad/s] |
| g_st_pc.f4_ref_pos_rad_ctrl | float | 位置指令値(機械角) [rad] |
| g_st_pc.f4_pos_rad | float | 位置検出値(機械角) [rad] |

6.9.2 電流オフセット調整

電流オフセット調整は電源投入の 0.5 秒後自動的に開始されます。実施中は LED8 が点灯します。なお、以下の操作を行って手動で再調整することもできます。通常は手動で再調整する必要はありません。

- (1) RMW 接続後に Select Tool - Analyzer モードを選択します。
- (2) com_u1_system_mode の[W?] 列のチェックボックスをチェックします。
- (3) com_u1_system_mode の[Write] 列に 8 を入力します。
- (4) [Write]ボタンをクリックします。
- (5) [Read]ボタンをクリックし、com_u1_system_mode の[Read] 列が 0 であることを確認します。

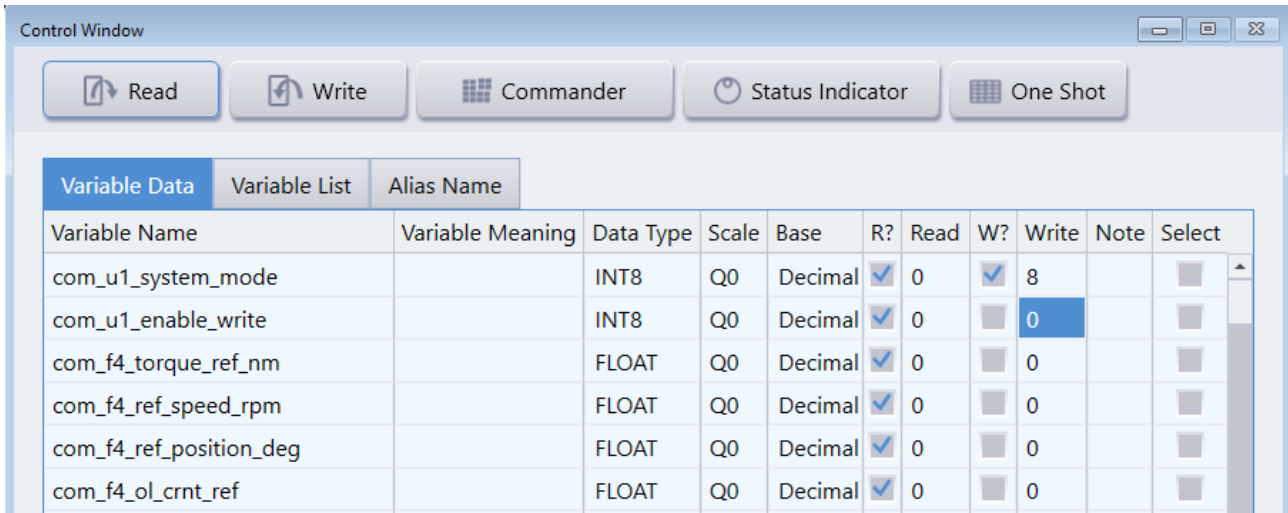
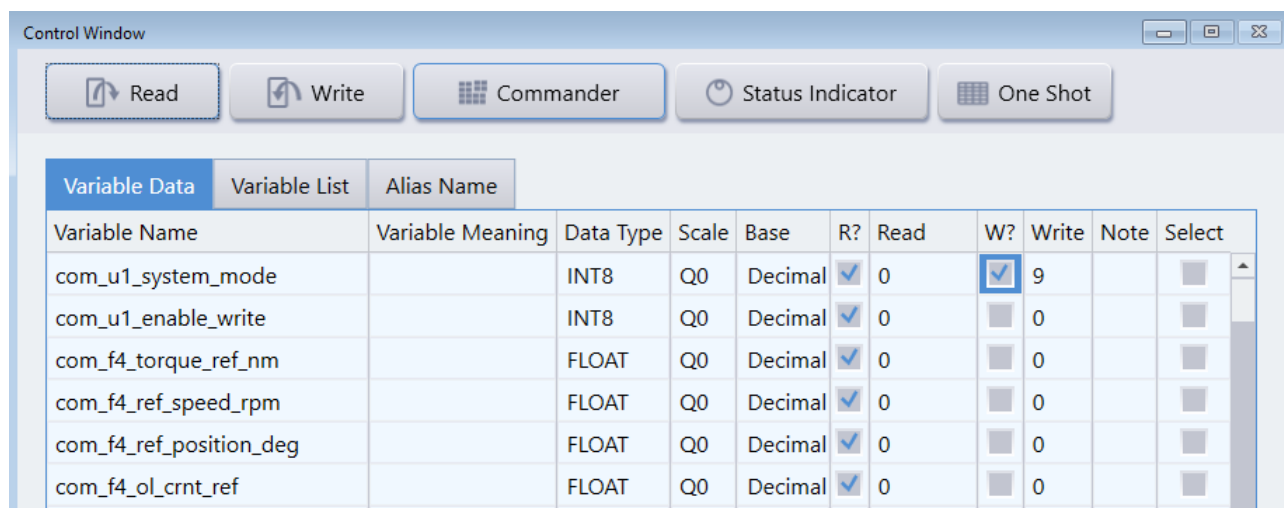


図 6-4 電流オフセット調整

6.9.3 位置オフセット調整

電気角が 0 rad になる機械角を位置オフセットとして取得します。

- (1) RMW 接続後に Select Tool - Analyzer モードを選択します。
- (2) com_u1_system_mode の[W?]列のチェックボックスをチェックします。
- (3) com_u1_system_mode の[Write]列に 9 を入力します。
- (4) [Write]ボタンをクリックします。
- (5) [Read]ボタンをクリックし、com_u1_system_mode の[Read]列が 0 であることを確認します。



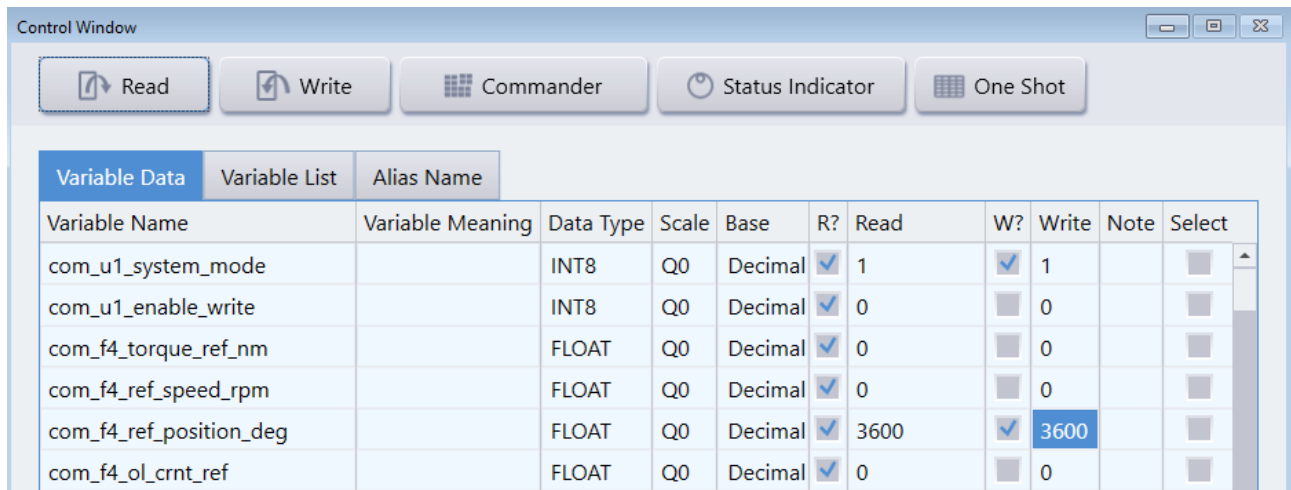
| Variable Data | | Variable List | Alias Name | | | | | | | | |
|-------------------------|------------------|---------------|------------|---------|-------------------------------------|------|-------------------------------------|-------|------|--------------------------|--|
| Variable Name | Variable Meaning | Data Type | Scale | Base | R? | Read | W? | Write | Note | Select | |
| com_u1_system_mode | | INT8 | Q0 | Decimal | <input checked="" type="checkbox"/> | 0 | <input checked="" type="checkbox"/> | 9 | | <input type="checkbox"/> | |
| com_u1_enable_write | | INT8 | Q0 | Decimal | <input checked="" type="checkbox"/> | 0 | <input type="checkbox"/> | 0 | | <input type="checkbox"/> | |
| com_f4_torque_ref_nm | | FLOAT | Q0 | Decimal | <input checked="" type="checkbox"/> | 0 | <input type="checkbox"/> | 0 | | <input type="checkbox"/> | |
| com_f4_ref_speed_rpm | | FLOAT | Q0 | Decimal | <input checked="" type="checkbox"/> | 0 | <input type="checkbox"/> | 0 | | <input type="checkbox"/> | |
| com_f4_ref_position_deg | | FLOAT | Q0 | Decimal | <input checked="" type="checkbox"/> | 0 | <input type="checkbox"/> | 0 | | <input type="checkbox"/> | |
| com_f4_ol_crnt_ref | | FLOAT | Q0 | Decimal | <input checked="" type="checkbox"/> | 0 | <input type="checkbox"/> | 0 | | <input type="checkbox"/> | |

図 6-5 位置オフセット調整

6.9.4 位置制御

位置制御モードで CCW 方向にモータを 3600 deg 回転させるために、RMW から次の操作を行います。EnDat 2.2 使用時は位置オフセット調整を行ってから以下の手順を行ってください。

- (1) RMW 接続後に Select Tool - Analyzer モードを選択します。
- (2) com_u1_system_mode と com_f4_ref_position_deg の[W?] 列のチェックボックスをチェックします。
- (3) com_u1_system_mode の[Write]列に 1 を入力します。
- (4) [Write]ボタンをクリックします。
- (5) com_f4_ref_position_deg の[Write]列に 3600 を入力します。
- (6) [Write]ボタンをクリックします。
- (7) モータが CCW 方向に 3600 deg 回転します。
- (8) com_u1_system_mode の[Write]列に 0 を入力します。
- (9) [Write]ボタンをクリックします。



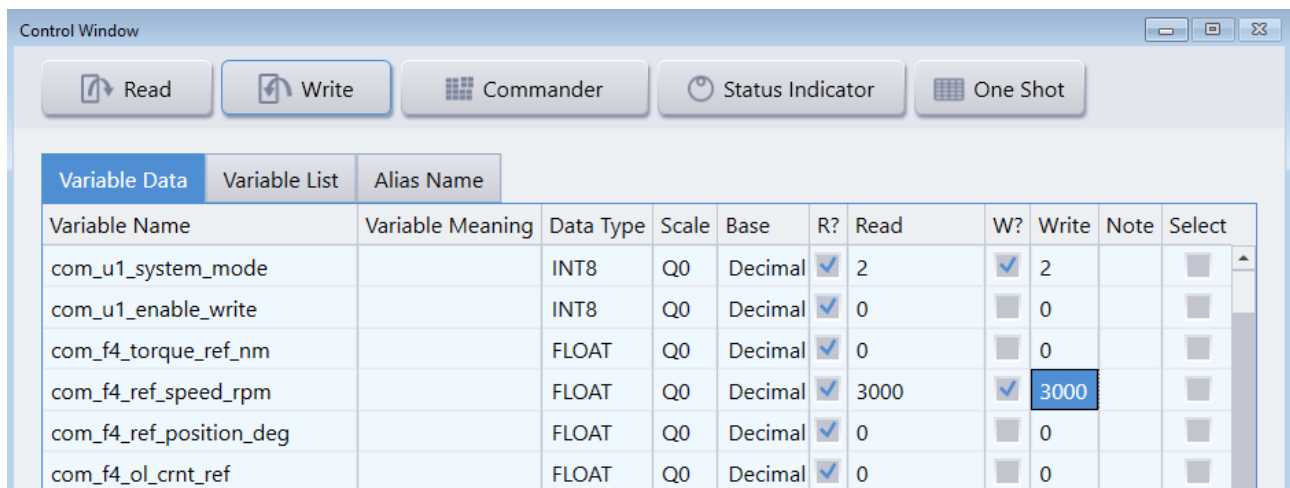
| Variable Name | Variable Meaning | Data Type | Scale | Base | R? | Read | W? | Write | Note | Select |
|-------------------------|------------------|-----------|-------|---------|-------------------------------------|------|-------------------------------------|-------|------|--------------------------|
| com_u1_system_mode | | INT8 | Q0 | Decimal | <input checked="" type="checkbox"/> | 1 | <input checked="" type="checkbox"/> | 1 | | <input type="checkbox"/> |
| com_u1_enable_write | | INT8 | Q0 | Decimal | <input checked="" type="checkbox"/> | 0 | <input type="checkbox"/> | 0 | | <input type="checkbox"/> |
| com_f4_torque_ref_nm | | FLOAT | Q0 | Decimal | <input checked="" type="checkbox"/> | 0 | <input type="checkbox"/> | 0 | | <input type="checkbox"/> |
| com_f4_ref_speed_rpm | | FLOAT | Q0 | Decimal | <input checked="" type="checkbox"/> | 0 | <input type="checkbox"/> | 0 | | <input type="checkbox"/> |
| com_f4_ref_position_deg | | FLOAT | Q0 | Decimal | <input checked="" type="checkbox"/> | 3600 | <input checked="" type="checkbox"/> | 3600 | | <input type="checkbox"/> |
| com_f4_ol_crnt_ref | | FLOAT | Q0 | Decimal | <input checked="" type="checkbox"/> | 0 | <input type="checkbox"/> | 0 | | <input type="checkbox"/> |

図 6-6 位置制御

6.9.5 速度制御

速度制御モードで CCW 方向に 3000rpm で回転させるために、RMW から次の操作を行います。EnDat 2.2 使用時は位置オフセット調整を行ってから以下の手順を行ってください。

- (1) RMW 接続後に Select Tool - Analyzer モードを選択します。
- (2) com_u1_system_mode と com_f4_ref_speed_rpm の[W?]列のチェックボックスをチェックします。
- (3) com_u1_system_mode の[Write]列に 2 を入力します。
- (4) [Write]ボタンをクリックします。
- (5) com_f4_ref_speed_rpm の[Write]列に 3000 を入力します。
- (6) [Write]ボタンをクリックします。
- (7) モータが CCW 方向に 3000rpm で回転します。
- (8) com_f4_ref_speed_rpm の[Write]列に 0 を入力します。
- (9) [Write]ボタンをクリックします。
- (10) com_u1_system_mode の[Write]列に 0 を入力します。
- (11) [Write]ボタンをクリックします。



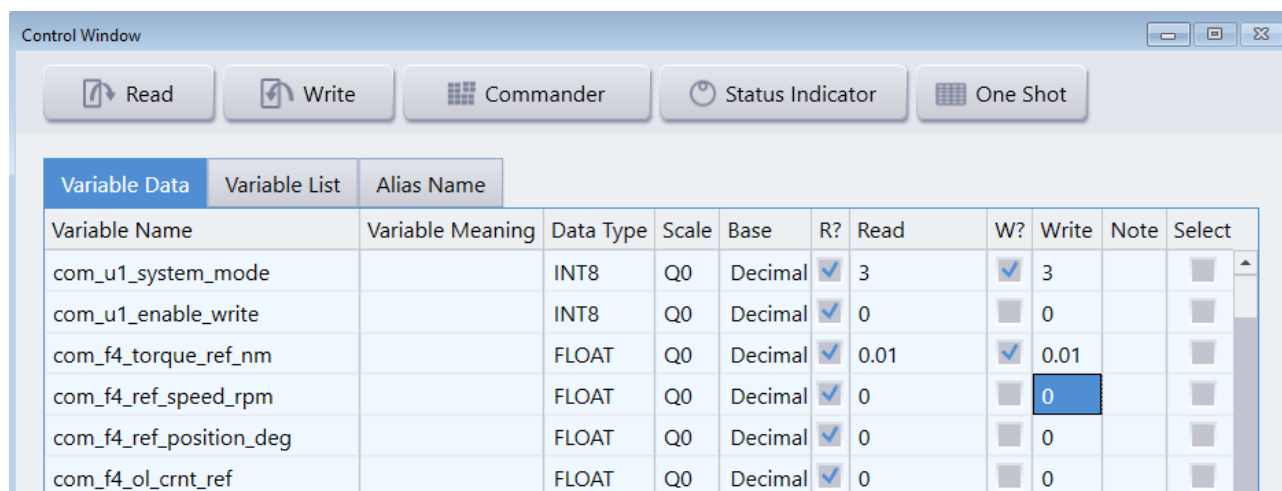
| Variable Name | Variable Meaning | Data Type | Scale | Base | R? | Read | W? | Write | Note | Select |
|-------------------------|------------------|-----------|-------|---------|-------------------------------------|------|-------------------------------------|-------|------|--------------------------|
| com_u1_system_mode | | INT8 | Q0 | Decimal | <input checked="" type="checkbox"/> | 2 | <input checked="" type="checkbox"/> | 2 | | <input type="checkbox"/> |
| com_u1_enable_write | | INT8 | Q0 | Decimal | <input checked="" type="checkbox"/> | 0 | <input type="checkbox"/> | 0 | | <input type="checkbox"/> |
| com_f4_torque_ref_nm | | FLOAT | Q0 | Decimal | <input checked="" type="checkbox"/> | 0 | <input type="checkbox"/> | 0 | | <input type="checkbox"/> |
| com_f4_ref_speed_rpm | | FLOAT | Q0 | Decimal | <input checked="" type="checkbox"/> | 3000 | <input checked="" type="checkbox"/> | 3000 | | <input type="checkbox"/> |
| com_f4_ref_position_deg | | FLOAT | Q0 | Decimal | <input checked="" type="checkbox"/> | 0 | <input type="checkbox"/> | 0 | | <input type="checkbox"/> |
| com_f4_ol_crnt_ref | | FLOAT | Q0 | Decimal | <input checked="" type="checkbox"/> | 0 | <input type="checkbox"/> | 0 | | <input type="checkbox"/> |

図 6-7 速度制御

6.9.6 トルク制御

トルク制御で CCW 方向に回転させるために、RMW から次の操作を行います。EnDat 2.2 使用時は位置オフセット調整を行ってから以下の手順を行ってください。

- (1) RMW 接続後に Select Tool - Analyzer モードを選択します。
- (2) com_u1_system_mode と com_f4_torque_ref_nm の[W?]列のチェックボックスをチェックします。
- (3) com_u1_system_mode の[Write]列に 3 を入力します。
- (4) [Write]ボタンをクリックします。
- (5) com_f4_torque_ref_nm の[Write]列に 0.01 を入力します。
- (6) [Write]ボタンをクリックします。
- (7) モータが CCW 方向に回転します。
- (8) com_f4_torque_ref_nm の[Write]列に 0 を入力します。
- (9) [Write]ボタンをクリックします。
- (10) com_u1_system_mode の[Write]列に 0 を入力します。
- (11) [Write]ボタンをクリックします。



| Variable Name | Variable Meaning | Data Type | Scale | Base | R? | Read | W? | Write | Note | Select |
|-------------------------|------------------|-----------|-------|---------|-------------------------------------|------|-------------------------------------|-------|------|--------------------------|
| com_u1_system_mode | | INT8 | Q0 | Decimal | <input checked="" type="checkbox"/> | 3 | <input checked="" type="checkbox"/> | 3 | | <input type="checkbox"/> |
| com_u1_enable_write | | INT8 | Q0 | Decimal | <input checked="" type="checkbox"/> | 0 | <input type="checkbox"/> | 0 | | <input type="checkbox"/> |
| com_f4_torque_ref_nm | | FLOAT | Q0 | Decimal | <input checked="" type="checkbox"/> | 0.01 | <input checked="" type="checkbox"/> | 0.01 | | <input type="checkbox"/> |
| com_f4_ref_speed_rpm | | FLOAT | Q0 | Decimal | <input checked="" type="checkbox"/> | 0 | <input type="checkbox"/> | 0 | | <input type="checkbox"/> |
| com_f4_ref_position_deg | | FLOAT | Q0 | Decimal | <input checked="" type="checkbox"/> | 0 | <input type="checkbox"/> | 0 | | <input type="checkbox"/> |
| com_f4_ol_crnt_ref | | FLOAT | Q0 | Decimal | <input checked="" type="checkbox"/> | 0 | <input type="checkbox"/> | 0 | | <input type="checkbox"/> |

図 6-8 トルク制御

6.9.7 オープンループ制御

オープンループ制御モードで、CCW 方向に約 500rpm で回転させるために、RMW から次の操作を行います。

- (1) RMW 接続後に Select Tool - Analyzer モードを選択します。
- (2) com_u1_system_mode、com_u1_enable_write、com_f4_ref_speed_rpm、com_f4_ol_crnt_ref の [W?]列のチェックボックスをチェックします。
- (3) com_u1_system_mode の[Write]列に 4 を入力します。
- (4) [Write]ボタンをクリックします。
- (5) com_f4_ref_speed_rpm の[Write]列に 500、com_f4_ol_crnt_ref の[Write]列に 1 を入力します。
- (6) [Write]ボタンをクリックします。
- (7) com_u1_enable_write の[Write]列に 1 を入力します。
- (8) モータが CCW 方向に回転します。
- (9) com_f4_ref_speed_rpm の[Write]列に 0、com_f4_ol_crnt_ref の[Write]列に 0 を入力します。
- (10) [Write]ボタンをクリックします。
- (11) com_u1_enable_write の[Write]列に 0 を入力します。
- (12) [Write]ボタンをクリックします。

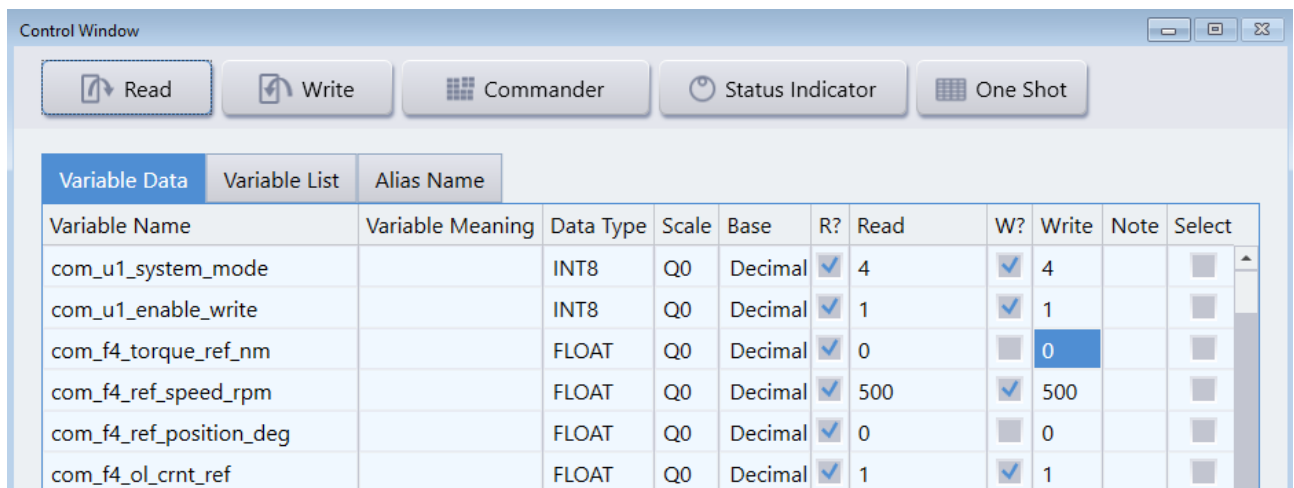


図 6-9 オープンループ制御

6.9.8 エラー確認

エラー発生時は CPU ボード上の LED12(橙色)が点灯します。

- (1) g_st_serial_encoder_vector.u2_error_status の[R?]列のチェックボックスがチェックされていることを確認します。
- (2) [Read]ボタンをクリックします。
- (3) g_st_serial_encoder_vector.u2_error_status の[Read]列に表示された値を確認します。

表 6-5 エラーステータスの説明

| 値 | エラー内容 | マクロ名 |
|--------|-----------|-----------------------------|
| 0x0000 | エラーなし | MOTOR_ERROR_NONE |
| 0x0001 | HW 過電流エラー | MOTOR_ERROR_OVER_CURRENT_HW |
| 0x0002 | 過電圧エラー | MOTOR_ERROR_OVER_VOLTAGE |
| 0x0004 | 回転速度エラー | MOTOR_ERROR_OVER_SPEED |
| 0x0080 | 低電圧エラー | MOTOR_ERROR_LOW_VOLTAGE |
| 0x0100 | SW 過電流エラー | MOTOR_ERROR_OVER_CURRENT_SW |
| 0xffff | 未定義エラー | MOTOR_ERROR_UNKNOWN |

6.9.9 エラー解除

- (1) com_u1_system_mode の[Write]列に 5 を入力します。
- (2) [Write]ボタンをクリックします。

エラーが解除されると CPU ボード上の LED12(橙色)が消灯します。

7. モータ制御アルゴリズム

7.1 概要

本サンプルプログラムのモータ制御アルゴリズムについて説明します。表 7-1 にモータ制御機能を示します。

表 7-1 本サンプルプログラムのモータ制御機能

| | |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 制御方式 | エンコーダベクトル制御 |
| PWM 変調方法 | 空間ベクトル変調法または正弦波変調 |
| 位置・速度検出方法 | シリアルエンコーダ |
| 制御モード | 位置制御・速度制御・トルク制御 |
| 制御・保証機能 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 非干渉制御 ・ 電圧位相進み補償 ・ 電圧誤差補償 ・ PWM 変調 ・ 弱め磁束制御 ・ 最大トルク/電流制御(MTPA) ・ 位置プロファイル ・ エンコーダ通信時間補償 |

7.2 制御ブロック図

電流制御ブロック図を図 7-1 に示します。位置速度制御ブロック図を図 7-2 に示します。

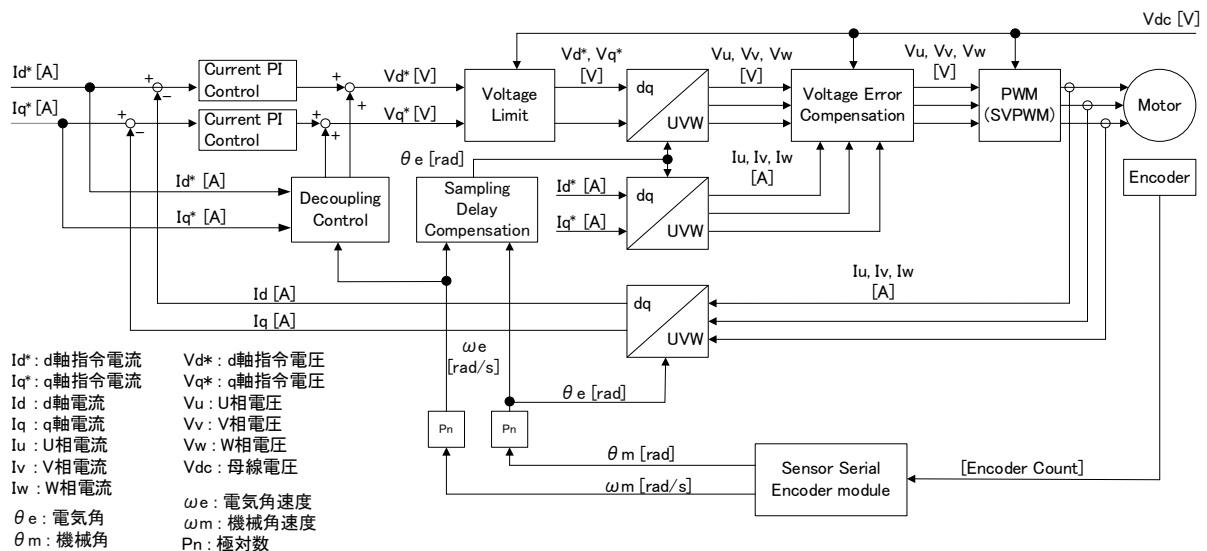


図 7-1 電流制御ブロック図

7.3 制御タイミング

FA-CODER を使用するときの制御タイミングを図 7-3 に示します。EnDat 2.2 を使用するときの制御タイミングを図 7-4 に示します。

電流制御処理の周期は 25us です。GTCNT アンダーフロー(GPT1_UDF)、GTCNT オーバーフロー(GPT1_OVF)が発生してから約 12.5us 後に GTCCRD コンペアマッチ(GPT1_CMPD)が発生します。GTCCRD コンペアマッチ発生時にインバータボードの母線電圧の AD 変換を開始し、AD 変換完了後に電流制御処理が行われます。

位置速度制御処理の周期は 200us で、GTCNT アンダーフロー(GPT1_UDF)発生時に PWM カウントがアンダーフローしたときに位置速度制御処理が開始されます。

FA-CODER、EnDat 2.2 のエンコーダとの通信は GTCNT アンダーフロー(GPT1_UDF)発生時に ELC 経由で開始されます。

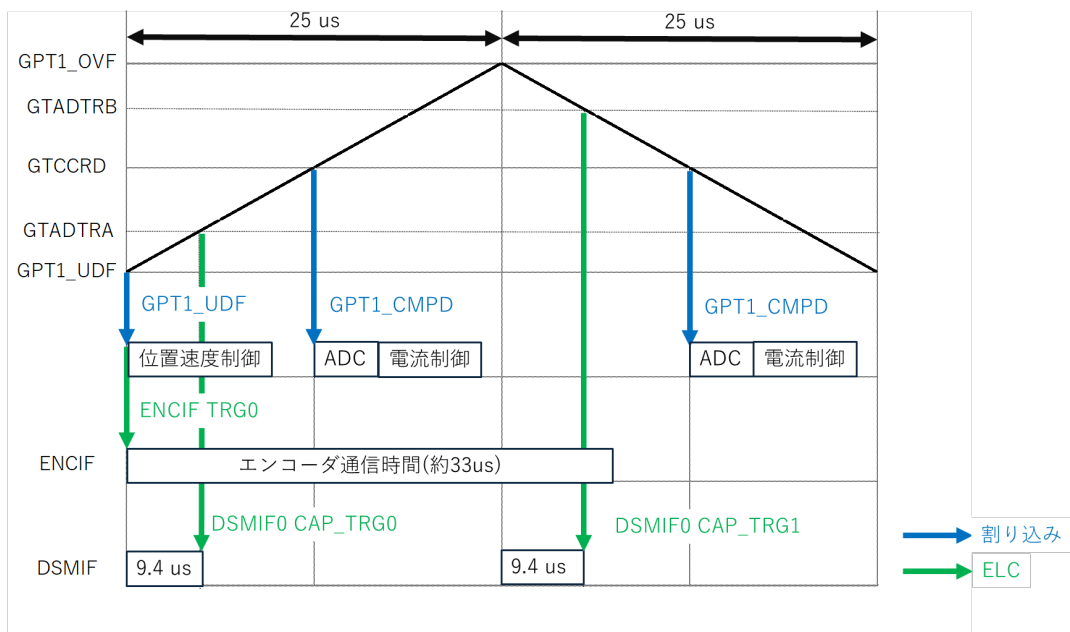


図 7-3 制御タイミング(FA-CODER)

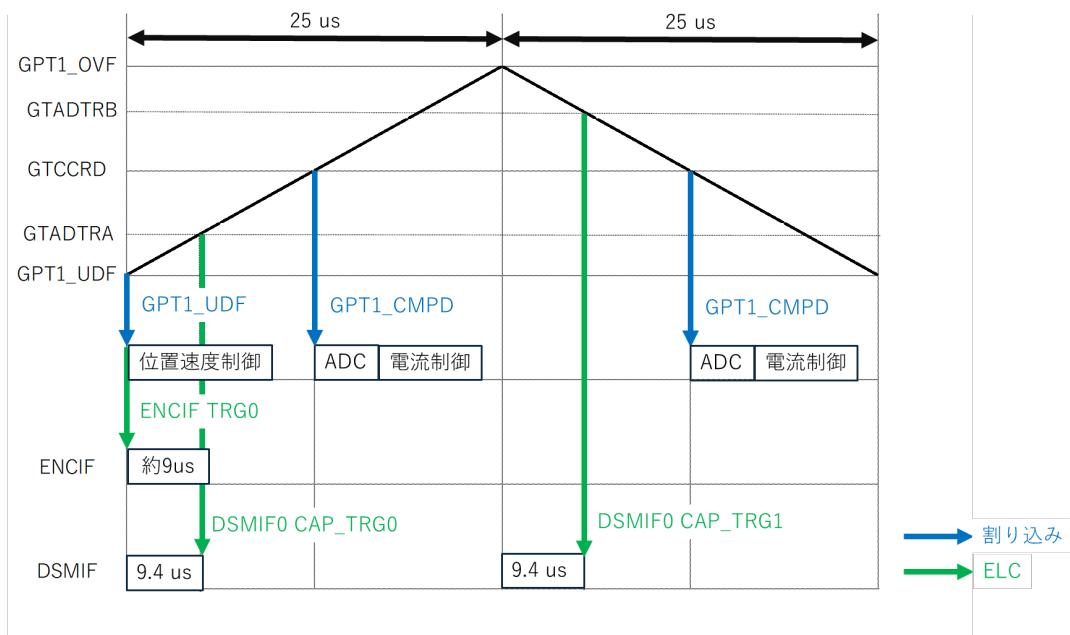


図 7-4 制御タイミング(EnDat 2.2)

7.4 デルタシグマ変調器による電流検出

7.4.1 相電流検出回路

RZ/T Series Inverter Board は相電流を検出するためのデルタシグマ変調器 RV1S9355A を備えています。RZ/T Series Inverter Board の相電流検出回路のブロック図を図 7-5 に示します。

デルタシグマ変調器は VIN+端子、VIN-端子間の電圧に応じてパルス密度変調された信号(MDAT)とクロック信号(MCLK, 20MHz)を MPU(RZ/T2M)に向けて出力します。MPU はデルタシグマ変調器が出力する信号を DSMIF(デルタシグマインターフェース)の sinc フィルタで処理して DSMIF 変換値を得ます。

RZ/T Series Inverter Board はインバータボードからモータへ流れる電流の符号を正、モータからインバータボードへ流れる電流の符号を負と定義しています。

デルタシグマ変調器へ+5V を供給するレギュレータの GND 端子及びデルタシグマ変調器の+5V 側の GND 端子は各相のモータ端子に接続されています。そのため PWM 信号がインバータボードへ入力されていないときは、デルタシグマ変調器は MDAT 信号と MCLK 信号を出力しません。本サンプルプログラムはインバータボードへ PWM 信号を出力してからデルタシグマ変調器からの信号が出力され電流検出が可能になるまでウェイトする処理を行います。ウェイト処理の詳細は 8.6.5 をご確認ください。

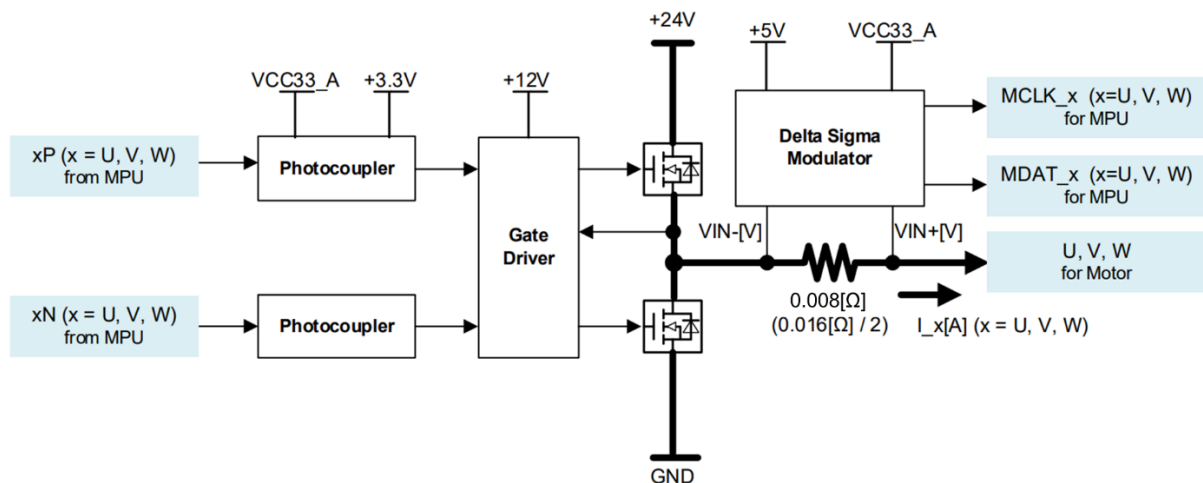


図 7-5 相電流検出回路のブロック図

7.4.2 電流検出タイミングと sinc フィルタ設定

リップルを含まない電流を検出するにはキャリア山谷(GPT1_OVF と GPT1_UDF)のタイミングで電流を検出します。デルタシグマ変調器を使用して電流検出を行うときは sinc フィルタの遅延時間を考慮する必要があります。図 7-6 に示すようにキャリア山谷から sinc フィルタの遅延時間が経過した時点で DSMIF 変換値を取得すればリップルを含まない電流を検出することができます。

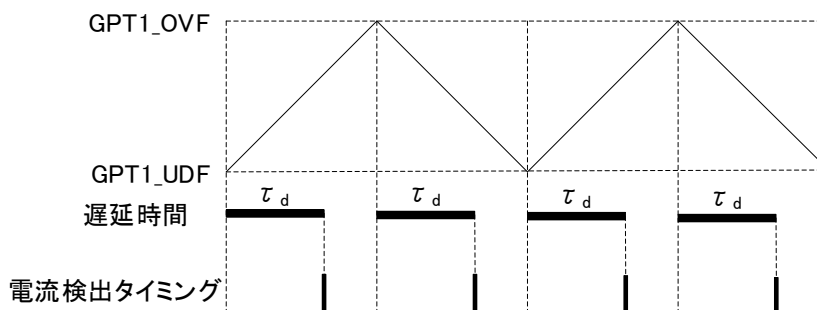


図 7-6 遅延時間と電流検出タイミング

sinc フィルタの遅延時間 τ_d は sinc フィルタの次数を N 、デシメーション比を DR 、デルタシグマ変調器の出力クロック周期を τ_M とすると以下の式で表すことができます。

$$\tau_d = \frac{\tau_M(N \times DR - 2)}{2}$$

RV1S9355A の出力クロックは 20MHz であるため出力クロック周期 τ_M は 0.05 us です。

$$\tau_d(us) = \frac{0.05 \times (N \times DR - 2)}{2}$$

電流制御はキャリア山谷(GPT1_UDF と GPT1_OVF)から約 12.5us 経過した時点から始まります(図 7-3、図 7-4)。電流制御を開始するまでに電流検出を完了させなければならないため、遅延時間 τ_d について以下の不等式が得られます。

$$\tau_d(us) < 12.5$$

この不等式を満たすようにフィルタの次数 N 、デシメーション比 DR を決めます。

RZ/T2M の DSMIF は 1 次、2 次、3 次の sinc フィルタを備えています。フィルタ次数 N が高いほど分解能が高くなるため 3 次の sinc フィルタを使用します。

RZ/T2M の DSMIF はデシメーション比として 4 から 256 を選択することができます。表 7-2 にフィルタ次数 N が 3 であるときのデシメーション比 DR と遅延時間を示します。デルタシグマ変調器 RV1S9355 の出力周波数は 20 MHz であるため、デシメーション後の周波数は 20 MHz / DR となります。デシメーション後の周波数はキャリア周波数の整数倍であることが望ましいため、表 7-2 のデシメーション比は、デシメーション後の出力周波数がキャリア周波数の整数倍になるものだけを示しています。遅延時間 τ_d の不等式を満たす最大のデシメーション比 DR は 125 であり、遅延時間 τ_d は約 9.4us です。

表 7-2 デシメーション比 DR と遅延時間 τ_d (フィルタ次数 $N = 3$)

| デシメーション比 DR | 遅延時間 $\tau_d(us)$ |
|---------------|-------------------|
| 25 | 1.83 |
| 50 | 3.70 |
| 100 | 7.45 |
| 125 | 9.33 |
| 250 | 18.70 |

7.4.3 DSMIF 変換値から電流値への変換

(1) デルタシグマ変調器の VIN+, VIN-間の電圧と DSMIF 変換値

RZ/T Series Inverter Board に搭載されているデルタシグマ変調器 RV1S9355 の VIN+, VIN-間の電圧は最大 0.32V、最小-0.32V です。DSMIF 変換値は 12bit であるため 1 カウントあたりの電圧は(0.64 / 4095) [V / カウント]となります。

(2) シャント抵抗の値

各相には 0.016 [ohm]の抵抗が並列接続で 2 個挿入されているためシャント抵抗の値は 0.008 [ohm]です。

(3) 電流値の極性

RZ/T Series Inverter Board はインバータボードからモータへ流れる電流を正、モータからインバータへ流れる電流を負と定義しています。インバータボードからモータへ流れるとき、すなわち正の電流が流れるとき、シャント抵抗での電圧降下により VIN-の電圧が VIN+より高くなります。このとき、VIN+, VIN-間の電圧 (VIN+ - VIN-) の値は負の値です。DSMIF 変換値は VIN+, VIN-間の電圧が 0Vのときの DSMIF 変換値 (2047)を中心に变化するので、オフセットを差し引いた値から電流値を求めるときは、極性を反転させるために(-1)をかける必要があります。

デルタシグマ変調器 RV1S9355 の DSMIF 変換値から電流値を計算する式を以下に示します。

$$\text{電流値[A]} = (-1) \times (\text{DSMIF 変換値} - 2047) [\text{count}] \times 0.640[\text{V}] / 4095[\text{count}] \times (1 / 0.008) [1 / \text{ohm}]$$

本サンプルプログラムでは RZ/T Series Inverter Board のデルタシグマ変調器の DSMIF 変換値の中心が 2047 にならないため、DSMIF 変換値から差し引く値として 1960 を使用しています。

$$\text{電流値[A]} = (-1) \times (\text{DSMIF 変換値} - 1960) [\text{count}] \times 0.640[\text{V}] / 4095[\text{count}] \times (1 / 0.008) [1 / \text{ohm}]$$

この式を r_motor_inveter.h と r_motor_module_cfg.h に定義されているマクロを使用して書き直すと次式となります。

$$\text{電流値[A]} = (-1) \times (\text{DSMIF 変換値} - \text{MOTOR_MCU_CFG_ADC_OFFSET})[\text{count}] \times \text{INVERTER_CFG_CURRENT_ADC_REF_VOLTAGE [V]} / \text{MOTOR_MCU_CFG_AD12BIT_DATA} [\text{count}] \times (1 / \text{INVERTER_CFG_SHUNT_RESIST}) [1 / \text{ohm}]$$

MOTOR_MCU_CFG_ADC_OFFSET と MOTOR_MCU_CFG_AD12BIT_DATA については表 9-2 を参照してください。INVERTER_CFG_CURRENT_ADC_REF_VOLTAGE、INVERTER_CFG_SHUNT_RESIST については 9.6.2 を参照してください。

7.5 電流制御機能

電流制御機能は、入力された電流値からベクトル制御に必要な座標変換及びフィードバック制御を行い、PWMとして出力する電圧を演算する機能です。また、サブモジュールの非干渉制御、電圧位相進み補償、電圧誤差補償、速度検出・電気角検出を本モジュールから制御します。モジュール構成図を図 7-7 に示します。

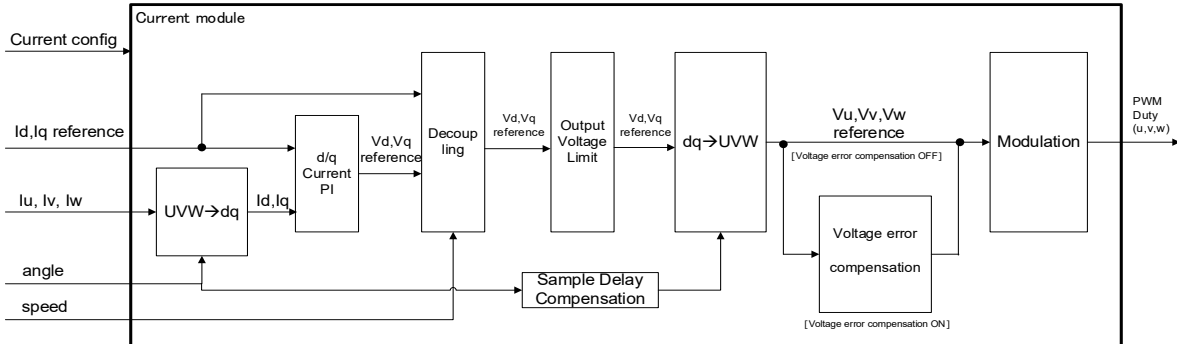


図 7-7 電流制御の機能ブロック図

7.5.1 非干渉制御

非干渉制御は、電流応答性の向上や d 軸・q 軸の間で電流が互いに干渉し合い、安定性を損なう事を抑制するために使用します。使用する式は、以下となります。一般的な PM モータの電圧方程式となります。

$$V_{d_dec}^* = RI_d^* - \omega L_q I_q^*$$

$$V_{q_dec}^* = RI_q^* + \omega L_d I_d^* + \omega \Psi$$

I_d^*, I_q^* : 電流指令値[A], ω : 回転速度(電気角)[rad/s], R: モータの 1 次抵抗[Ω],
 L_d, L_q : モータのインダクタンス[H], Ψ : モータの鎖交磁束数[Wb]

得られた電圧指令値 $V_{d_dec}^*$ と $V_{q_dec}^*$ は、PI 調節器から出力される電圧指令値 V_d^* と V_q^* に加算します。

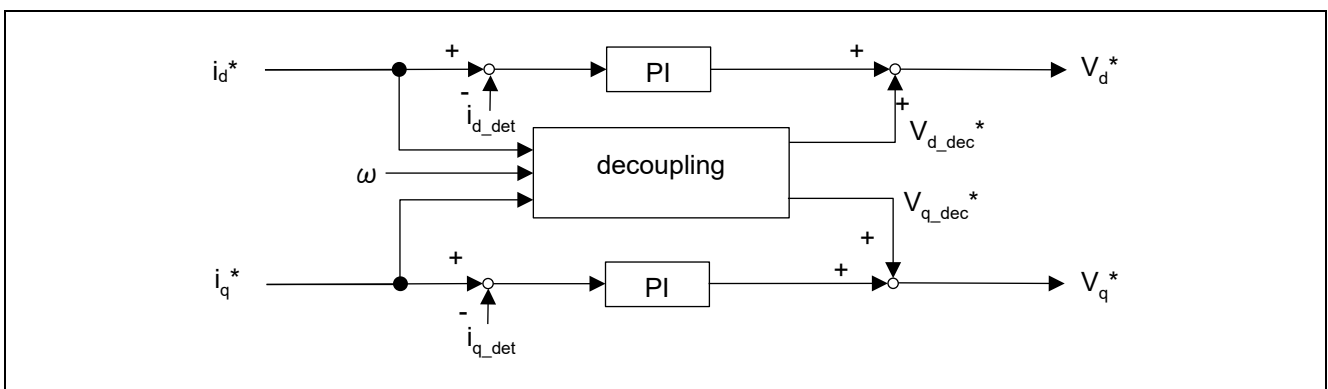


図 7-8 非干渉制御の機能ブロック図

7.5.2 電圧位相進み補償

UVWの三相電圧指令を生成する際に、推定した角度から0.5制御周期分、進めた角度で二相三相変換を行います。この処理により、制御の安定性を改善することができます。高速回転用途、PWMキャリア周期が低い場合、間引き処理を行う場合に、改善効果が得られます。

指令演算中、モータの回転が進むことで、角度は常にずれが生じます。このずれを指令演算時間が一定であることを利用し、進む角度を前回の角度移動量から補間する機能となります。

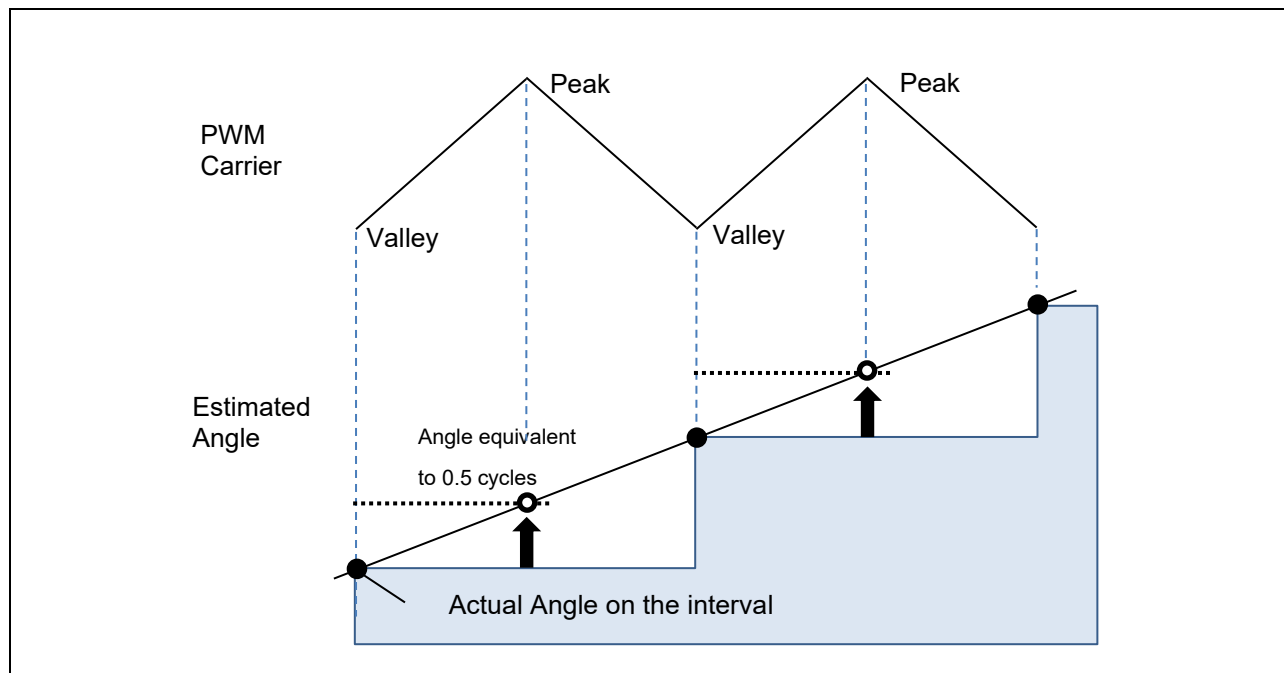


図 7-9 PWM キャリア周期で進む角度量の例

7.5.3 電圧誤差補償

電圧形 PWM インバータでは、上下アームのスイッチング素子間の短絡を防止するために、上下アーム 2 つの素子が同時にオフとなるデッドタイムを設けています。そのため電圧指令値と実際にモータに印加される電圧には誤差が生じ、制御精度が悪化します。そこでその誤差を低減するため、電圧誤差補償を実装します。

電圧誤差の電流依存性は、電流(向きと大きさ)とデッドタイム、使用するパワー素子のスイッチング特性に依存し、下記のような特性を持ちます。電圧誤差補償では、下記電圧誤差と逆の電圧パターンを電流に応じて電圧指令値に補償します。

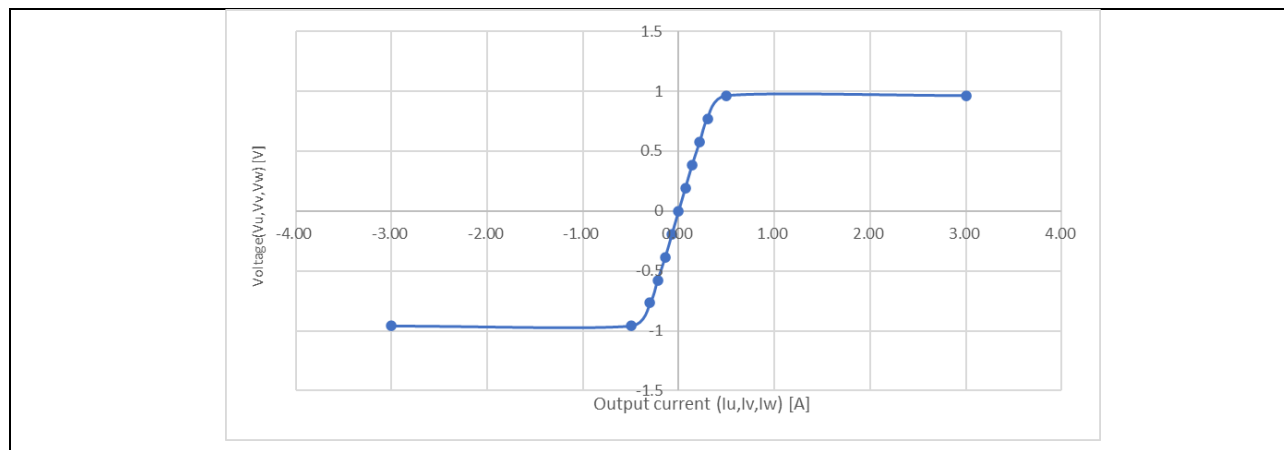


図 7-10 電圧誤差の電流依存性(一例)

7.5.4 PWM 変調方式

本サンプルプログラムでは、モータへの入力電圧値をパルス幅変調(PWM)により生成する。その為、本変調モジュールでは PWM 信号のデューティ比を算出する。また、電圧利用率を上げるために、空間ベクトル変調で算出した電圧を出力する。本サンプルプログラムでは、2 種類のパルス幅変調駆動方式から選べる。尚、電流制御モジュールの API を通して変調駆動方式を設定する。

(1) 正弦波変調(MOD_METHOD_SPWM)

変調率 m を以下のように定義する。

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

m : 変調率 V : 指令値電圧 E : インバータ母線電圧

(2) 空間ベクトル変調(MOD_METHOD_SVPWM)

永久磁石同期モータのベクトル制御において、一般的に所望の各相電圧指令値は正弦波状に生成する。ところが、そのまま PWM 生成のための変調波として使用すると、実際にモータに印加される電圧のインバータ母線電圧に対する電圧利用率は線間電圧換算で最大 86.7[%]となってしまう。そこで、下記式にあるように各相電圧指令値の最大値と最小値の平均値を算出し、それらを各相電圧指令値から減算したものを変調波として使用する。その結果、変調波の最大振幅は $\sqrt{3}/2$ 倍となり、線間電圧はそのままに電圧利用率は 100[%]となる。

$$\begin{pmatrix} V'_u \\ V'_v \\ V'_w \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} V_u \\ V_v \\ V_w \end{pmatrix} + \Delta V \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$\therefore \Delta V = -\frac{V_{max} + V_{min}}{2}, \quad V_{max} = \max\{V_u, V_v, V_w\}, \quad V_{min} = \min\{V_u, V_v, V_w\}$$

V_u, V_v, V_w : U,V,W 相電圧指令値

V'_u, V'_v, V'_w : PWM 生成用 U,V,W 相電圧指令値(変調波)

変調率 m を以下のように定義する。

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

m : 変調率 V' : PWM生成用相電圧指令 E : インバータ母線電圧

7.6 速度制御機能

速度制御機能は、モータが速度指令に追従するよう、PI 制御を行います。速度指令値の入力を受けて、内部の速度調節器が速度推定値との偏差を基に電流指令値を出力します。また、サブモジュールの弱め磁束制御と MTPA 制御を本モジュールから制御します。

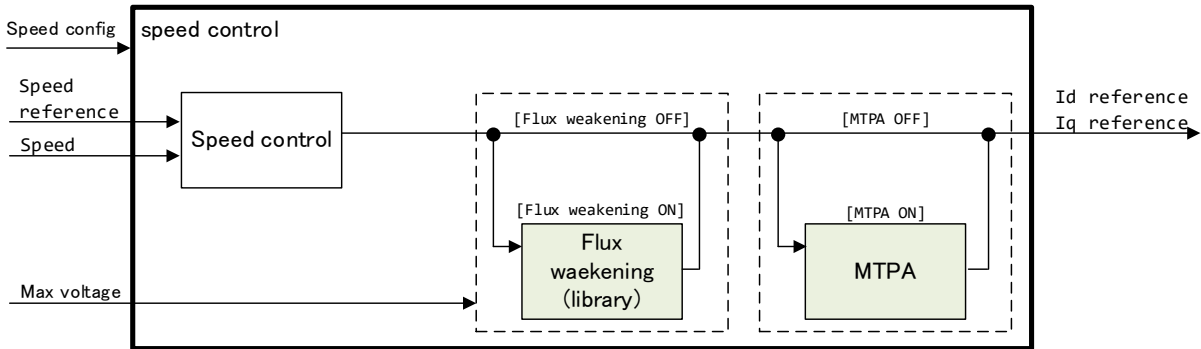


図 7-11 速度制御の機能ブロック図

7.6.1 弱め磁束制御

弱め磁束制御は、d 軸電流を負方向に制御することで、母線電圧で出力可能な電圧を PM モータの回転に比例して発生する誘起電圧(=ωΨ)が超えてしまう条件下であっても、d 軸電流指令を負の値で増大させ、打ち消す制御を行います(図 7-12)。電圧飽和分を打ち消すことにより、加速に必要な q 軸電流指令を増やすことが可能となり、高速回転化および高速回転域での出力向上を実現します。

弱め磁束制御は、現在の電圧に対して、モータの回転速度が高くなり、電圧の余裕が難しくなった状態を自動的に検知して、 I_d^* の値を負に増大させ、PM モータの電圧方程式に従って誘起電圧をキャンセルする制御を行います。

このため、まず、誘起電圧制限値を以下の計算式から求めます。R はモータの抵抗値、 I_a は I_d, I_q 検出値の二乗和($\sqrt{I_d^2 + I_q^2}$)です。 V_{amax} は、電圧誤差補償や変調処理であらかじめ計算している電圧ベクトルの最大値を使用します。

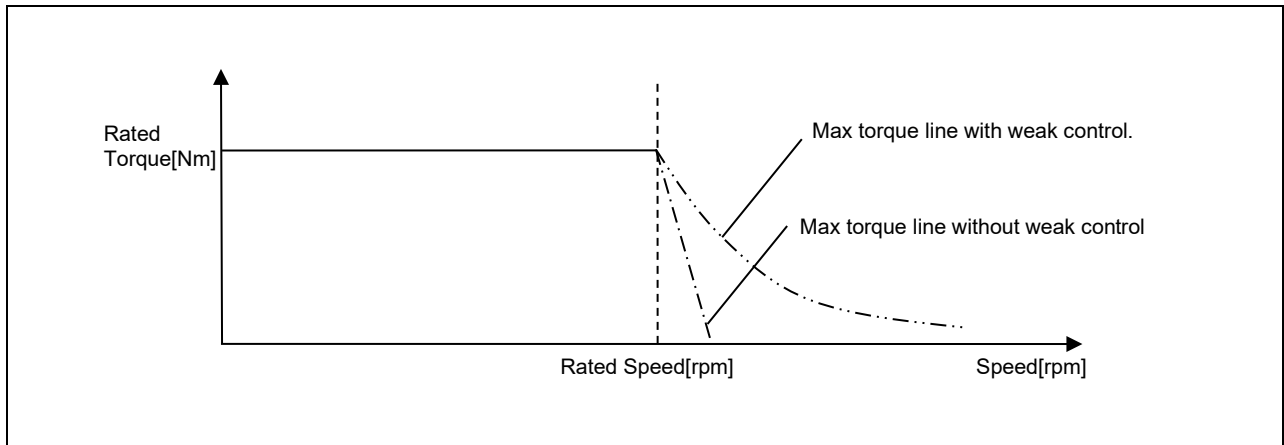


図 7-12 出力可能トルクと速度の関係例

$$V_{om} = V_{amax} - I_a R$$

V_{om} : 誘起電圧制限値 [V], V_{amax} : 電圧ベクトルの最大値 [V]
 I_a : 電流ベクトルの大きさ [A]

図 7-13 誘起電圧制限値の計算式

$$I_d = \frac{-\psi_a + \sqrt{\left(\frac{V_{om}}{\omega}\right)^2 - (L_q I_q)^2}}{L_d}$$

$$\because V_{om} = V_{amax} - I_a R$$

V_{om} : 誘起電圧制限値 [V], V_{amax} : 電圧ベクトルの最大値 [V], I_a : 電流ベクトルの大きさ [A]

図 7-14 弱め磁束制御における d 軸電流指令値の計算式

7.6.2 最大トルク/電流制御(MTPA)

IPM モータのように突極性を有する PM モータは、最大トルク/電流制御(MTPA)を適用することができます。Id=0 制御では使用しないリラクタンストルクを有効利用することで、MTPA は単位電流あたりのトルクを最大に調整することができます。突極性を有さない SPM モータは構造的にリラクタンストルクが利用できないため、MTPA を使用できませんので、ご注意ください。Ld と Lq の値がほぼ等しい SPM モータ使用時は、必ず MTPA を無効としてください。無効としない場合、正常にサンプルプログラムが動作しません。本サンプルプログラムでは、Ld,Lq の値を監視して自動的な判断は行いません。

使用する式は、以下の式となります。速度調節器が出力する q 軸電流指令値 I_q^* を入力として、d 軸電流指令値を求めることができます。

$$I_d^* = \frac{\Psi}{2(L_q - L_d)} - \sqrt{\left(\frac{\Psi}{2(L_q - L_d)}\right)^2 + I_q^{*2}}$$

Ψ : 磁束鎖交数[Wb], L_d, L_q : モータの d 軸インダクタンス及び q 軸インダクタンス[H]

7.7 位置制御機能

位置制御機能はモータが位置指令に追従するようにP制御を行います。位置指令値の入力を受けて、内部の位置制御器が現在位置との偏差をもとに速度指令値を出力します。

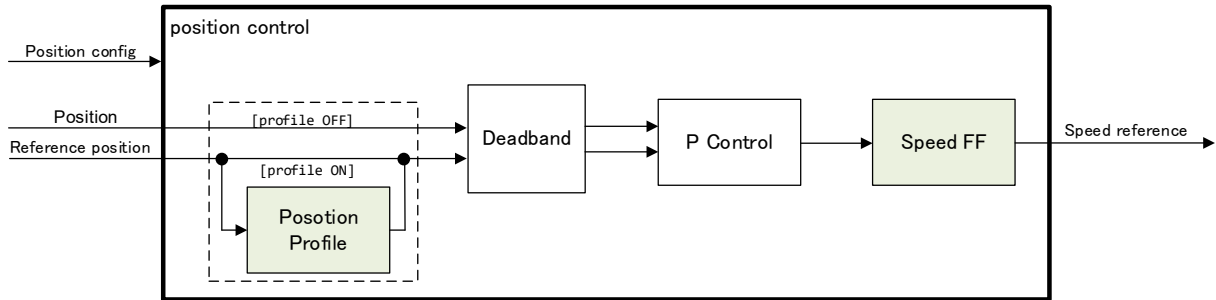


図 7-15 位置制御の機能ブロック図

7.7.1 位置プロファイル

設定した位置指令値と加減速時間、最大速度を基に、制御周期ごとに位置指令値を再計算して速度指令値を制御する機能(移動平均型加減速方式)を実装しています。図 7-16 に概要を示します。位置偏差と加速時間から求めた速度が加速時の最大速度を超える場合、台形状の速度指令値となるよう位置指令値を作成します。

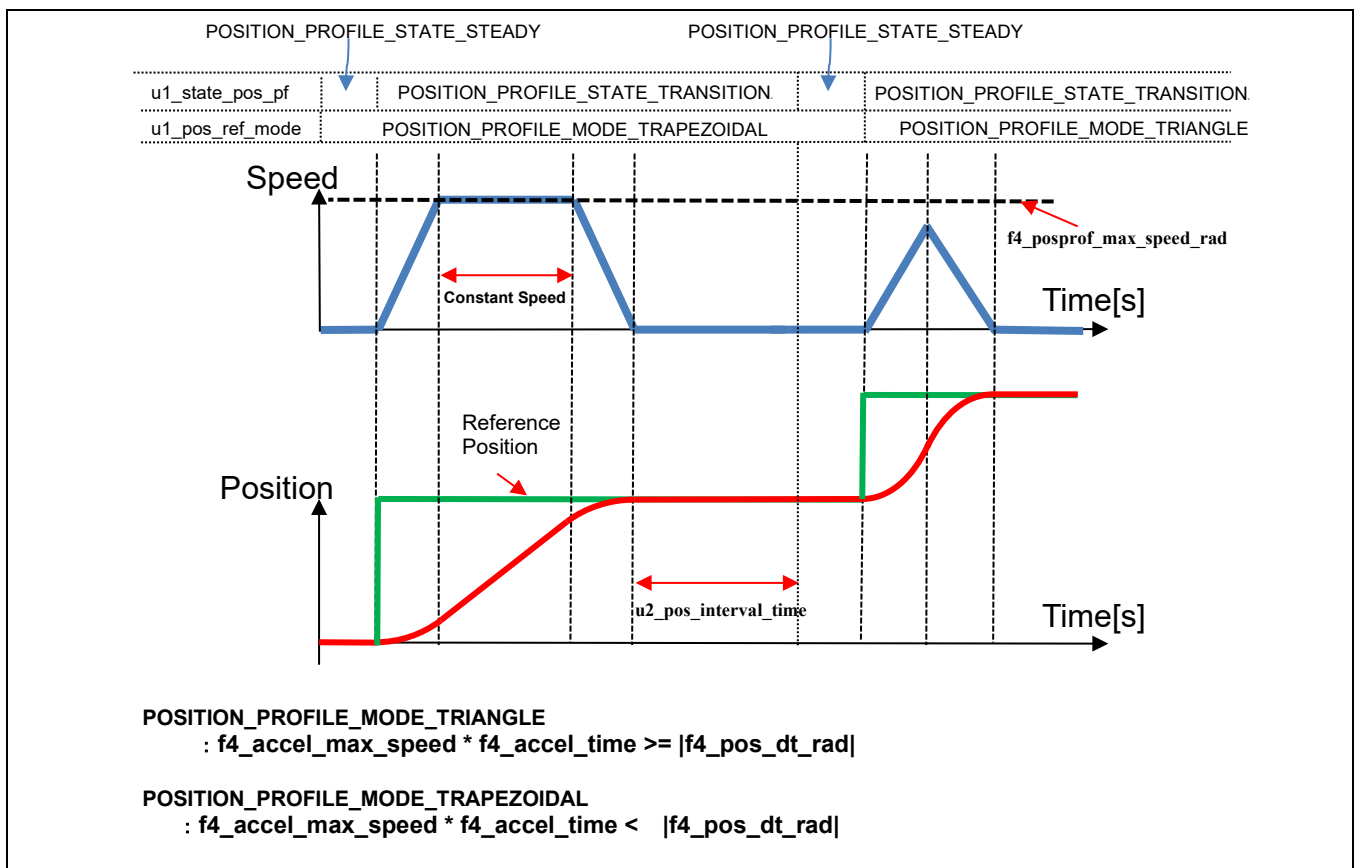


図 7-16 位置プロファイル

7.8 エンコーダベクトル制御機能

7.8.1 エンコーダ通信時間補償

シリアルエンコーダとの通信により位置が確定する時刻と、電流制御をおこなう時刻が異なります。次の式を用いて回転速度[rad/s]と補償時間[s]から、エンコーダを使用して取得した機械角を補正します。補償時間はエンコーダカウントが確定してから電流制御が始まるまでの時間を指します。

$$\text{補償後の機械角[rad]} = \text{エンコーダカウントから計算した機械角[rad]} + \text{回転速度} \left[\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right] \times \text{補償時間[s]}$$

図 7-17 に FA-CODER を使用したときの補償する通信時間を示します。PWM カウントがカウントアップしているときの補償時間は 33us になります。PWM カウントがカウントダウンしているときの補償時間は 58us になります。

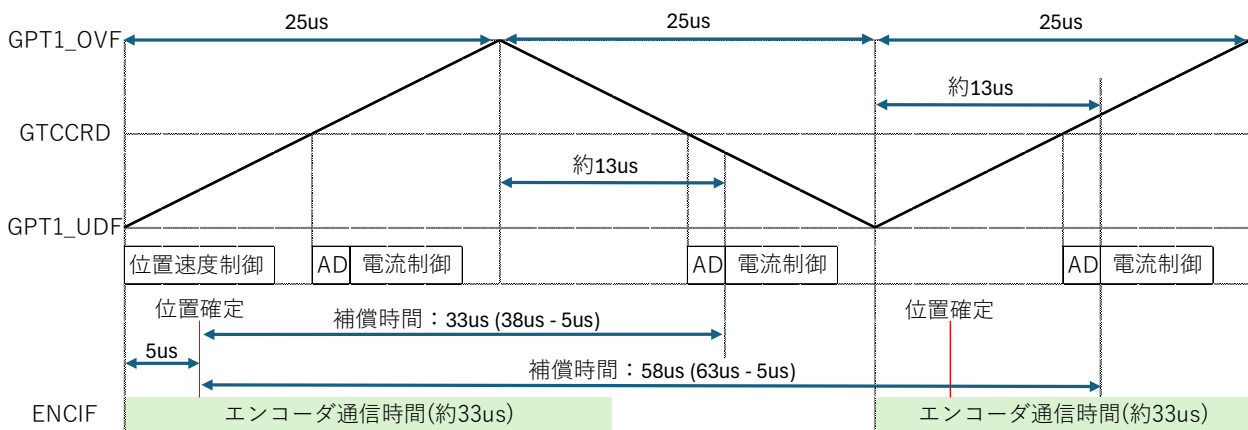


図 7-17 FA-CODER の補償時間

図 7-18 に EnDat 2.2 を使用したときの補償する通信時間を示します。PWM カウントがカウントアップしているときの補償時間は 13us になります。PWM カウントがカウントダウンしているときの補償時間は 38us になります。

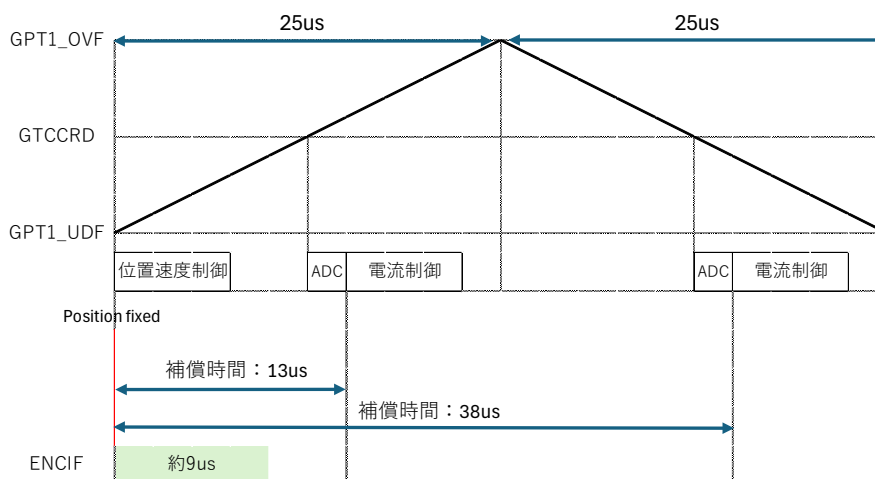


図 7-18 EnDat 2.2 の補償時間

7.8.2 速度検出

速度を検出するために一つ前の周期と現在の周期のエンコーダカウントの差分から速度を検出します。速度検出処理のフローチャートを図 7-19 に示します。

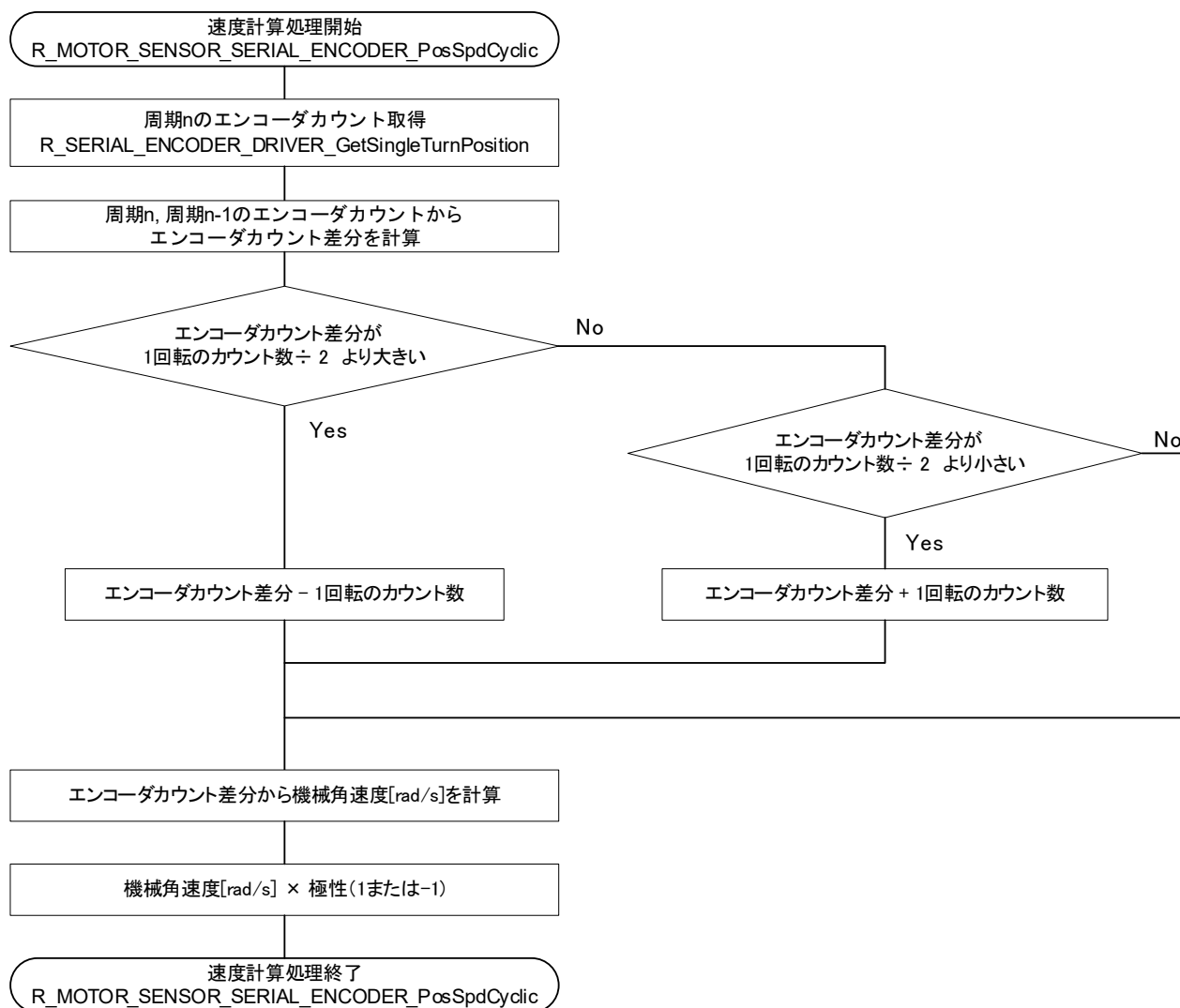


図 7-19 速度検出処理

7.8.3 多回転角度検出

一つ前の周期と現在の周期のエンコーダカウントの差分からモータが1回転したことを検出し多回転角度を検出します。多回転角度検出処理のフローチャートを図 7-20 に示します。

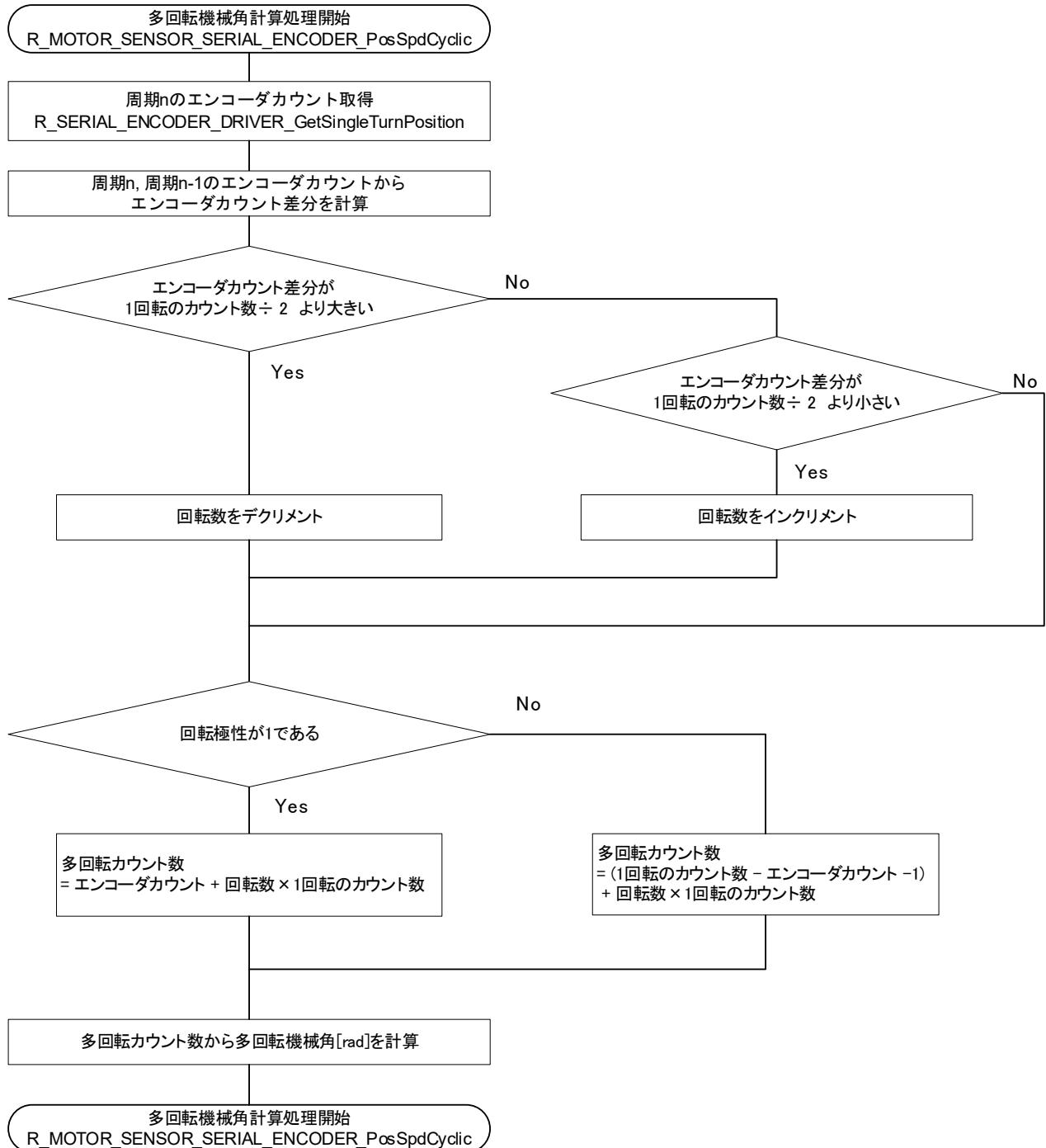


図 7-20 多回転角度検出処理

7.8.4 位置オフセット

電気角と機械角の基準をあわせるために図 7-21 に示した順番に電流を流し回転子位置を定めます。このときの回転子位置をオフセット値として保持します。モータ制御時は検出した回転子位置からオフセット値を差し引きます。

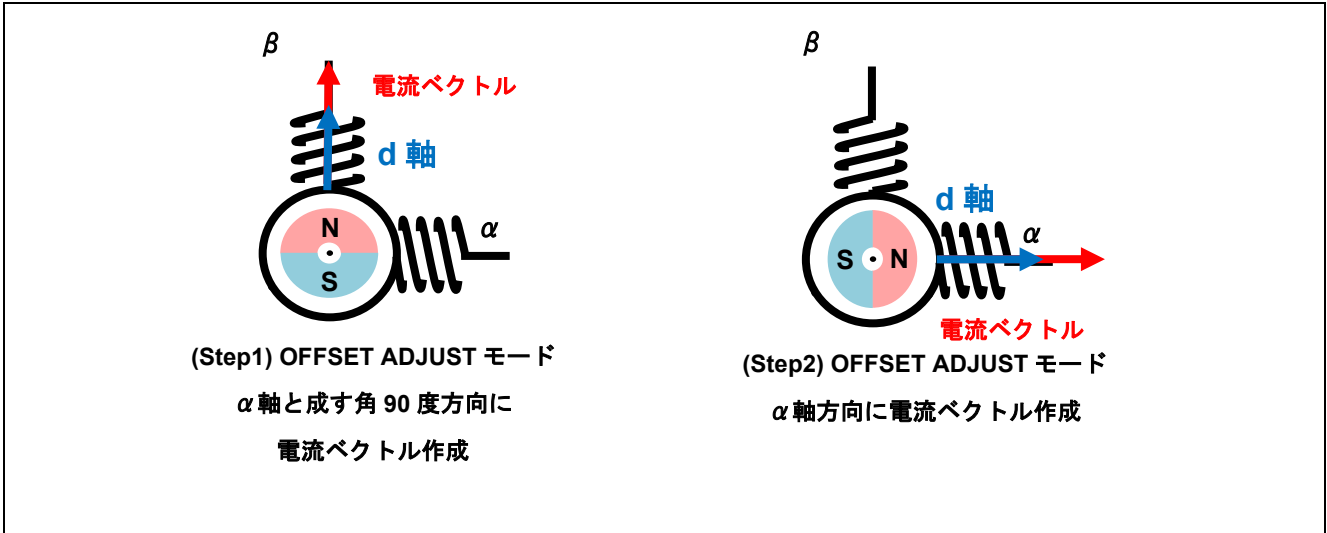


図 7-21 回転子位置オフセット取得処理

回転子位置オフセット値を定めるときの d 軸電流指令値と q 軸電流指令値、回転子位置の変化(一例)を図 7-22 に示す。

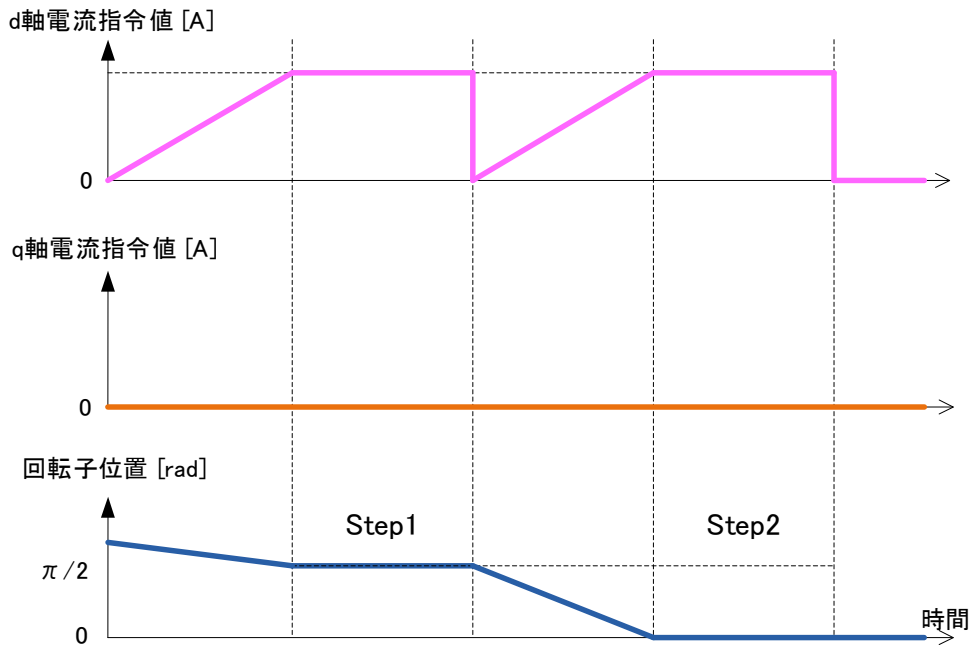


図 7-22 q 軸電流指令値、d 軸電流指令値、回転子位置(一例)

8. ソフトウェア仕様・構成

8.1 ソフトウェア仕様

本サンプルプログラムのソフトウェアの基本仕様を表 8-1 に示します。

表 8-1 ソフトウェア基本仕様

| 項目 | 内容 |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 制御方式 | エンコーダベクトル制御 |
| モータ制御開始/停止 | RMW |
| 制御モード | 位置制御、速度制御、トルク制御 |
| 電流検出 | デルタシグマ変調器 RV1S9355 による相電流検出 DSMIF フィルタ設定：デシメーション比 125、sinc フィルタ次数 3 |
| 回転子位置検出 | 単回転 17bit シリアルエンコーダ(FA-CODER, TS5669N124) 単回転 19bit シリアルエンコーダ(EnDat2.2, ECI1319) |
| キャリア周波数 | 20 kHz |
| デッドタイム | 1 us |
| PWM 変調方式 | 空間ベクトル変調法(デフォルト)、正弦波変調 |
| 電流制御周期 | 25 us |
| 速度制御周期 | 200 us |
| 位置制御周期 | 200 us |
| 速度指令範囲 | 0 rpm ~ 6000 rpm (CW および CCW) |
| 位置指令範囲 | -360000 deg ~ 360000 deg |
| 位置不感帯 | FACODER 使用時： +/-3 カウント(+/- 0.008 deg) EnDat2.2 使用時： +/-10 カウント(+/- 0.007 deg) |
| 制御系固有周波数 | 電流制御： 1000 Hz 速度制御： 50 Hz 位置制御： 10 Hz |
| 保護機能 | 過電流エラー(S/W 検出) (監視周期 25us) 過電圧エラー(監視周期 25us) 低電圧エラー(監視周期 25us) 回転速度エラー(監視周期 25us) 過電流エラー(H/W 検出) (OC 信号検出時に PWM 出力端子を Hi-Z 状態へ遷移) |
| コンパイラ最適化設定 | None (-O0) |

8.2 ソフトウェア全体構成

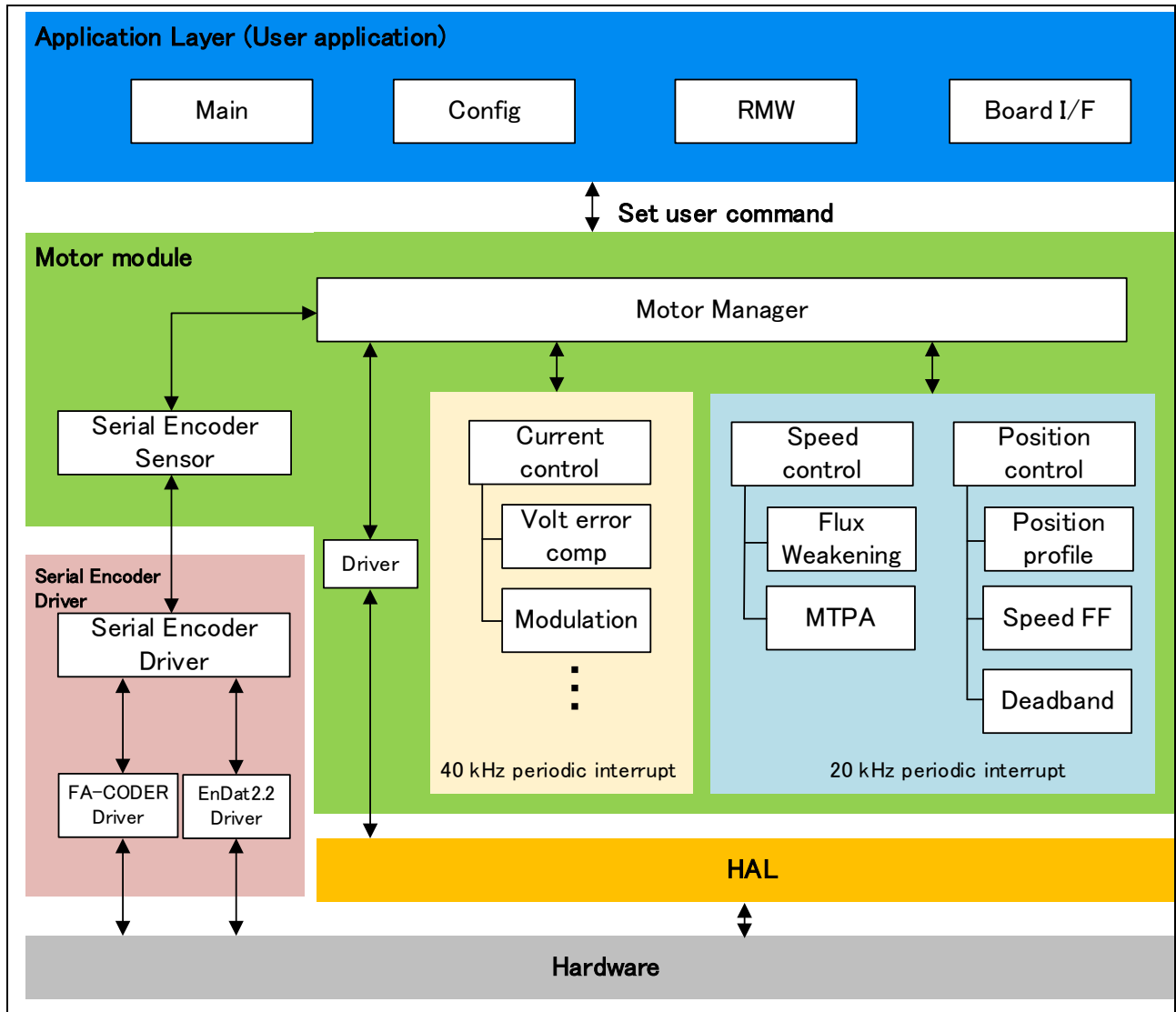


図 8-1 モータ制御ソフトウェアの全体構成

8.3 割り込み処理

表 8-2 割り込み処理

| 割り込み | ペリフェラル | 優先度 (※1) | 処理内容 | 周期 |
|------------------------------------|--------|-------------|--------------------------|------|
| POEG グループ A 割り込み (POEG0_GROUP0) | POEG | 0 | HW 過電流異常処理 | - |
| エンコーダ受信完了割り込み (ENCIF_INT0) | ENCIF | 2 | エンコーダの受信処理 | - |
| AD 変換完了割り込み (ADCn_ADI) | ADC | 4 | 電流制御処理 | 25us |
| GTCNT アンダーフロー (GPT1_UDF) | GPT | 4 | 位置速度制御処理(制御 周期 200us) | 50us |

※1 数値が小さければ優先度が高く、数値が大きければ優先度が低い

8.4 ファイル・フォルダ構成

表 8-3 ファイル・フォルダ構成

| フォルダ・ファイル | | | | 説明 | |
|-----------|-------------------|-----------------------|-------------------------|------------------|----------------------|
| rzt | arm | CMSIS_5 | - | Arm-core 関連ファイル | |
| | board | Custom | - | CPU ボード関連ファイル | |
| | fsp | inc | | api | FSP 関連の構造体、列挙型、関数の定義 |
| | | | | instances | |
| | | | | fsp_common_api.h | |
| | | | | fsp_features.h | |
| | | | fsp_version.h | | |
| | | src | | bsp | BSP |
| | | | | r_adc | ADC |
| | | | | r_dsmif | DSMIF |
| | | | | r_elc | ELC |
| | | | | r_gpt | GPT |
| | r_gpt_three_phase | | | GPT | |
| | r_ioport | | | IO ポート | |
| r_poeg | POEG | | | | |
| | r_sci_uart | SCI | | | |
| | r_wdt | WDT | | | |
| rzt_gen | - | - | FSP によって生成されたファイル | | |
| src | application | main | mtr_interrupt.c / .h | 割り込み処理 | |
| | | | mtr_main.c / .h | メイン処理 | |
| | | mcu/rzt2m | r_app_mcu_callback.c | FSP で定義した割り込み処理 | |
| | | | r_app_mcu.c / .h | アプリケーション処理 | |
| | | | r_motor_driver_fsp.c | FSP の関数のラッパー関数 | |
| | | | r_motor_driver_hal.h | | |
| | motor_module | cfg | motor module コンフィグレーション | | |
| | | current | 電流制御モジュール | | |
| | | driver | ドライバモジュール | | |
| | | general | 共通関数 | | |
| | | position | 位置制御モジュール | | |
| | | sensor | シリアルエンコーダセンサモジュール | | |
| | | serial_encoder_vector | モータマネージャ | | |
| | | speed | 速度制御モジュール | | |

| | | | | |
|---------|-----------------------|------------------------------|-------------|-------------------------|
| | | user_interface | board_ui | ボード上 LED の制御処理 |
| | | | ics | RMW 通信処理、RMT ファイル |
| | serial_encoder_driver | mcu/rzt2m | dat | エンコーダコンフィグレーションファイル |
| | | | EnDat2.2 | EnDat 2.2 ドライバ |
| | | | fac | FA-CODER ドライバ |
| | | | lib | エンコーダコンフィグレーションライブラリ |
| | | | enc_dat.asm | コンフィグレーションファイル読み取り処理 |
| | | r_endat_if.h | - | EnDat2.2 ヘッダファイル |
| | | r_fac_if.h | - | FA-CODER ヘッダファイル |
| | | r_serial_encoder_cfg.h | - | シリアルエンコーダの define マクロ |
| | | r_serial_encoder_driver.c/.h | - | シリアルエンコーダドライバ |
| | hal_entry.c | | | hal_entry 関数 |
| Debug | - | | | ビルド成果物 |
| rzt_cfg | - | | | fsp モジュールコンフィグレーションファイル |
| script | - | | | リンクスクリプト |

8.5 アプリケーション層

アプリケーション層はユーザインタフェース(UI)の選択と RMW を使用したモータモジュールに対する制御の指令値設定や制御モジュールのパラメータ更新を行っています。サンプルプログラムでは、RMW を使用 (RMW UI) して、設定及び処理を行っています。また、これらの UI からモータの駆動/停止や、制御の指令値設定などを行っています。

8.5.1 機能

アプリケーション層で設定している機能一覧を表 8-4 に示します。

表 8-4 アプリケーション層の機能一覧

| 機能 | 説明 |
|-------------|-------------------------------|
| メイン処理 | ユーザの指令に対してシステムを有効 / 無効に設定します。 |
| UI 処理 | RMW の管理を行います。 |
| RMW の UI 処理 | 指令値含むパラメータの取得・設定を行います。 |

8.5.2 コンフィグレーション情報

アプリケーション層で使用するコンフィグレーション情報を表 8-5 に示します。

表 8-5 コンフィグレーション情報一覧

| ファイル名 | マクロ名 | 説明 |
|-------------|---------------------------|---------------------------------|
| r_app_mcu.h | APP_CFG_FREQ_BAND_LIMIT | 電流制御、速度制御の固有周波数が近い値にならないための制限値。 |
| | APP_CFG_MAX_CURRENT_OMEGA | 電流制御系固有周波数の上限値[Hz] |
| | APP_CFG_MIN_OMEGA | 固有周波数の下限値[Hz] |
| | APP_CFG_SCI_CH_SELECT | RMW 用 SCI のチャンネルセレクト |

表 8-6 コンフィグレーション情報初期値一覧

| マクロ名 | 設定値 |
|---------------------------|--------------------|
| APP_CFG_FREQ_BAND_LIMIT | 3.0f |
| APP_CFG_MAX_CURRENT_OMEGA | 1500.0f |
| APP_CFG_MIN_OMEGA | 1.0f |
| APP_CFG_SCI_CH_SELECT | ICS_SCI2_P002_P001 |

8.5.3 構造体・変数情報

アプリケーション層でユーザが使用可能な変数一覧を表 8-7 に示します。また、RMW を使用してモータモジュールのパラメータを更新するための構造体を用意しており、その構造体メンバを表 8-8 に示します。

表 8-7 に示す変数は、RMW から値を設定することで、本アプリケーション層が表 8-8 に示す構造体を介して、各制御モジュールの変数に、変更した値が各モジュールの Update 関数を介して反映されます。

表 8-7 変数一覧

| 変数 | 説明 |
|-----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| com_u1_system_mode | システムモード 0: 停止 1: 位置制御 2: 速度制御 3: トルク制御 4: オープンループ制御 5: エラー解除 8: 電流オフセット調整 9: 位置オフセット調整 |
| com_u1_enable_write | ユーザ入力用変数書き換え許可 g_u1_enable_write と変数一致で入力データ反映 |
| com_u2_offset_calc_time | 電流オフセット値計算時間設定 |
| com_f4_offset_rotor_rad | 位置オフセット[rad] |
| com_u2_mtr_pp | 駆動するモータの極対数 |
| com_f4_mtr_r | 駆動するモータの抵抗 [Ω] |
| com_f4_mtr_ld | 駆動するモータの d 軸インダクタンス [H] |
| com_f4_mtr_lq | 駆動するモータの q 軸インダクタンス [H] |
| com_f4_mtr_m | 駆動するモータの磁束 [Wb] |
| com_f4_mtr_j | 駆動するモータのロータイナーシャ [kgm^2] |
| com_f4_nominal_current_rms | 駆動するモータの定格電流 [Arms] |
| com_f4_max_speed_rpm | 駆動するモータの最大速度 (機械角) [rpm] |
| com_f4_current_omega_hz | 電流制御系固有周波数 [Hz] |
| com_f4_current_zeta | 電流制御系減衰係数 |
| com_f4_speed_omega_hz | 速度制御系固有周波数 [Hz] |
| com_f4_speed_zeta | 速度制御系減衰係数 |
| com_f4_speed_rate_limit_rpm | 速度指令最大増減幅 [rpm/s] (速度制御時使用,機械角) |
| com_f4_overspeed_limit_rpm | 速度制限値(機械角)[rpm] |
| com_u1_pos_cmd_mode | 位置制御指令モード 0: 位置指令値を 0 [rad]に固定 1: ステップ 2: 台形速度 |
| com_u2_pos_interval_time | 位置決め待ち時間 |

| 変数 | 説明 |
|-------------------------------|------------------------------|
| com_u2_pos_dead_band | 不感帯 [エンコーダカウント] |
| com_u2_pos_band_limit | 位置決め完了幅 [エンコーダカウント] |
| com_f4_pos_omega_hz | 位置制御系固有周波数[Hz] |
| com_f4_pos_ff_ratio | 速度フィードフォワード比例係数 |
| com_f4_accel_time | 加減速時間 [s] |
| com_f4_posprof_max_speed_rpm | 台形速度制御の最大速度 [rpm] |
| com_u1_flag_volt_err_comp_use | 電圧誤差補償の設定 0 : 無効, 1 : 有効 |
| com_u1_flag_fluxwkn_use | 弱め磁束制御の設定 0 : 無効, 1 : 有効 |
| com_u1_flag_mtpa_use | MTPA 制御の設定 0 : 無効, 1 : 有効 |
| com_f4_torque_ref_nm | トルク指令値[Nm] |
| com_f4_ref_speed_rpm | 速度指令値(機械角) [rpm] |
| com_f4_ref_position_deg | 位置指令値(機械角) [deg] |
| com_f4_ol_crnt_ref | オープンループ制御の d 軸電流指令値 [A] |

表 8-8 RMW によるパラメータ更新用構造体の変数一覧

| 構造体 | 変数 | 説明 |
|-----------------------|-------------------------|---------------------------------------------------------|
| st_rmw_param_buffer_t | u2_offset_calc_time | 電流オフセットの検出時間設定 |
| RMW 変数更新用構造体 | f4_offset_rotor_rad | 磁極位置オフセット[rad] |
| | st_motor | モータパラメータ用の構造体 |
| | f4_max_speed_rpm | 最大速度(機械角) [rpm] |
| | f4_current_omega_hz | 電流制御系固有周波数 [Hz] |
| | f4_current_zeta | 電流制御系減衰係数 |
| | f4_speed_omega_hz | 速度制御系固有周波数 [Hz] |
| | f4_speed_zeta | 速度制御系減衰係数 |
| | f4_speed_rate_limit_rpm | 速度の変化量制限(機械角) [rpm/s] |
| | f4_overspeed_limit_rpm | 速度制限値(機械角) [rpm] |
| | u1_pos_cmd_mode | 位置制御指令モード 0: 位置指令値を 0 [rad]に固定 1: ステップ 2: 台形速度 |
| | u2_pos_interval_time | 位置決め待ち時間 |
| | u2_pos_dead_band | 不感帯 [エンコーダカウント] |
| | u2_pos_band_limit | 位置決め完了幅 [エンコーダカウント] |
| | f4_pos_omega_hz | 位置制御系固有周波数[Hz] |

| 構造体 | 変数 | 説明 |
|-----|---------------------------|------------------------------|
| | f4_pos_ff_ratio | 速度フィードフォワード比例係数 |
| | f4_accel_time | 加減速時間 [s] |
| | f4_posprof_max_speed_rpm | 台形速度制御の最大速度 [rpm] |
| | u1_flag_volt_err_comp_use | 電圧誤差補償の設定 0 : 無効, 1 : 有効 |
| | u1_flag_fluxwkn_use | 弱め磁束制御の設定 0 : 無効, 1 : 有効 |
| | u1_flag_mtpa_use | MTPA 制御の設定 0 : 無効, 1 : 有効 |
| | f4_torque_ref_nm | トルク指令値[Nm] |
| | f4_ref_speed_rpm | 速度指令値(機械角) [rpm] |
| | f4_ref_position_deg | 位置指令値(機械角) [deg] |
| | f4_ol_crnt_ref | オープンループモード電流指令値[A] |

8.5.4 マクロ定義

表 8-9 マクロ一覧

| ファイル名 | マクロ名 | 設定値 | 説明 |
|-------------|-----------------------------------|-----|----------------------------------------------------|
| r_app_mcu.h | POSITION_SPEED_CONTROL_DECIMATION | 3 | GTCNT アンダーフロー (GPT1_UDF) 割り込み発生時に位置速度制御処理をスキップする回数 |
| | ICS_DECIMATION | 8 | RMW watchpoint のスキップ回数 |
| | ICS_BRR | 15 | RMW の通信ボーレート |
| | ICS_INT_MODE | 1 | RMW の通信モード選択 |

8.5.5 パラメータ調整・設定

アプリケーション層のコンフィグレーション情報は r_app_mcu.h で設定する必要があります。

表 8-7 に示す変数の設定・更新は、RMW から行ってください。RMW の操作は 6.9 及び Renesas Motor Workbench 3.2.0 ユーザーズマニュアル (R21UZ0004) を参照ください。

8.6 マネージャモジュール・モータ制御モジュール

マネージャモジュールは、モータ制御モジュールに含まれる各制御モジュールを適切に使用してモータ制御を行うモジュールです。各モジュールのインターフェースやモータ制御のシステム全体の管理、システム保護などを行っています。

8.6.1 機能

マネージャモジュールの機能一覧を表 8-10 に示します。モータ制御モジュールの機能の一覧を表 8-11、表 8-12 及び表 8-13 に示します。

表 8-10 マネージャモジュールの機能一覧

| 機能 | 説明 |
|-------------------|---------------------------------------------------------------|
| モード管理 | ユーザの指令に対してシステムを切り替えてモータを制御します。 |
| 保護機能 | システム保護機能によりエラー処理を行います。 |
| 制御方式の管理 | 速度制御や電流制御の状態の取得・設定を行います。 |
| 速度・位置情報の取得 | 速度制御モジュールや電流制御モジュールから、速度・位置情報の取得を行います。 |
| 制御モジュールの指令値設定 | 電流制御モジュール、速度制御モジュールに対して入力する指令値を制御の状態から選択します。 |
| 割り込み処理 | FSP で設定した割り込みを受けて処理を行い、適切なモジュールへ処理の割り振りを行います。 |
| RUN 状態へ遷移後のウェイト処理 | RUN 状態へ遷移したときにデルタシグマ変調器からの信号が出力されて電流検出を行えるようになるまでウェイト処理を行います。 |

表 8-11 位置制御モジュールの機能一覧

| 機能 | 説明 |
|---------------|------------------------------------------|
| 位置制御 | 位置指令値に追従するように演算を行い、速度指令値を出力します。 |
| 速度フィードフォワード制御 | 位置制御器の出力に指令速度をフィードフォワードします。 |
| 位置プロファイル | 位置指令値の差分から位置指令値と駆動方式(三角・台形駆動)を制御します。 |
| 不感帯制御 | 回転子位置が不感帯に入ったことを検出し位置偏差を 0 [rad/s] とします。 |

表 8-12 速度制御モジュールの機能一覧

| 機能 | 説明 |
|---------|--------------------------------------|
| 速度制御 | 速度指令値に追従するよう演算を行い、電流指令値を出力します。 |
| 速度指令設定 | 速度モジュールに速度指令値を設定します。 |
| 弱め磁束制御 | d 軸電流を制御し、定格回転速度以上でも運転できるように制御します。 |
| MTPA 制御 | リラクタンストルクを使用することで、トルクを最大化するように制御します。 |

表 8-13 電流制御モジュールの機能一覧

| 機能 | 説明 |
|------------|----------------------------------------------------------------|
| 電流制御 | 電流指令値に追従するよう演算を行い、PWM 出力値を設定します。 |
| 電流オフセット調整 | AD で検出した電流値のオフセット値を計算します。 |
| 電圧誤差補償 | 出力電圧のデッドタイムによる影響を補償します。 |
| 順変換、逆変換 | ベクトル制御を行うために検出した電流値に対して、座標変換を行います。演算結果に対して座標の逆変換を行い元の座標軸に戻します。 |
| PWM 変調 | PWM 信号に変調して効率を改善します。 |
| 非干渉制御 | dq 軸の干渉を防ぐために干渉を打ち消す演算を行います。 |
| サンプルディレイ補償 | 3 相電圧指令値を生成する際に電流制御サイクル分のサンプル遅延を補償します。 |

表 8-14 シリアルエンコーダセンサモジュールの機能一覧

| 機能 | 説明 |
|--------------|----------------------------------------|
| エンコーダカウンタの取得 | シリアルエンコーダドライバを使用してエンコーダカウンタを取得します。 |
| 機械角取得 | エンコーダカウンタを機械角[rad]へ変換します。 |
| エンコーダ通信時間補償 | 速度と補償時間から機械角を補償します。 |
| 機械角速度計算 | エンコーダカウンタの差分から機械角速度[rad/s]を計算します。 |
| 多回転機械角度計算 | 1 回転した回数とエンコーダカウンタから多回転機械角[rad]を計算します。 |

8.6.2 モジュール構成

モジュール構成図を図 8-2 に示します。

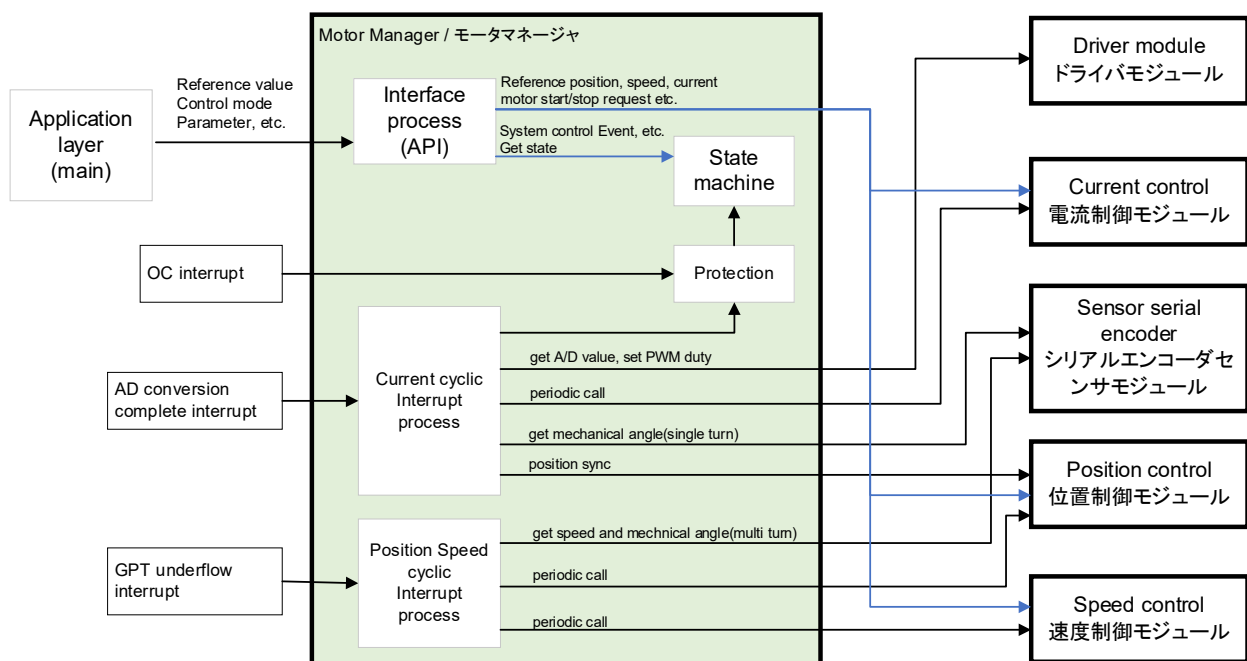


図 8-2 モジュール構成図

8.6.3 モード管理

図 8-3 に本サンプルプログラムにおける状態遷移図を示します。本サンプルプログラムでは、「SYSTEM MODE」と、「RUN MODE」により状態を管理します。

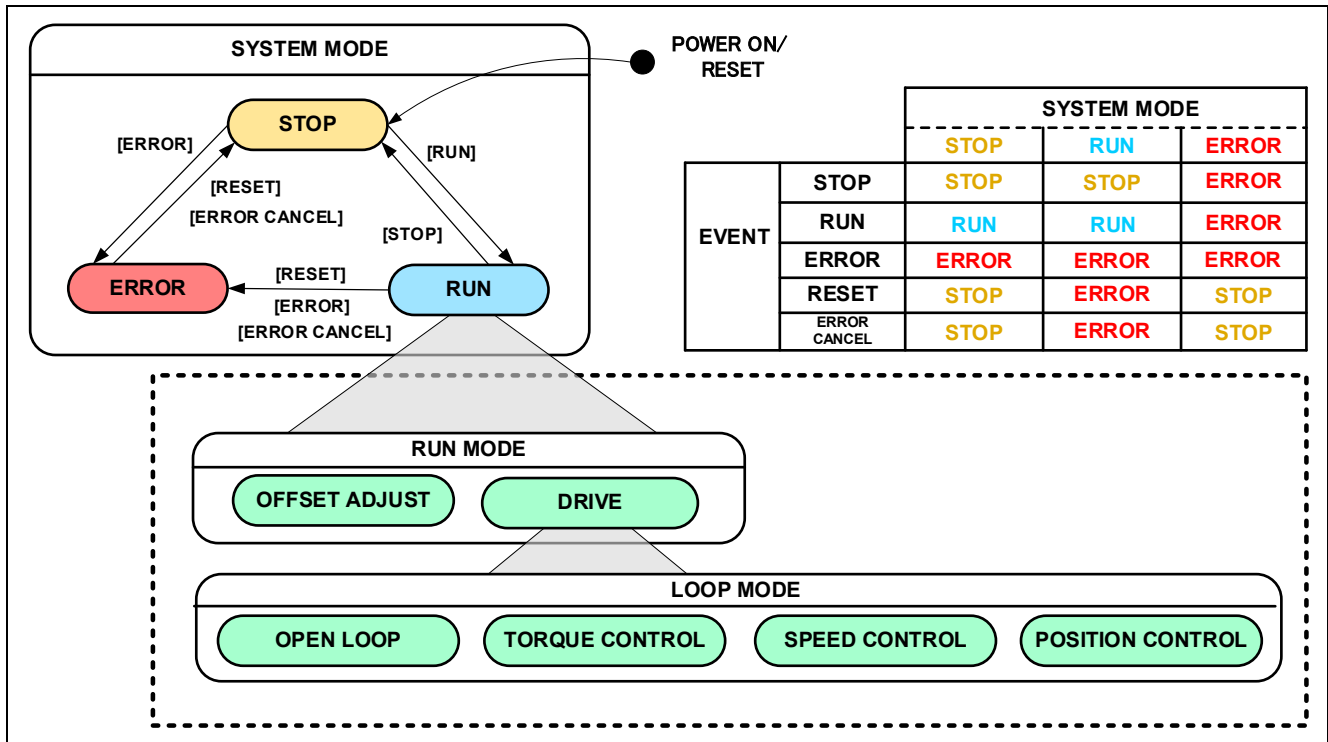


図 8-3 エンコーダベクトル制御ソフトウェアの状態遷移図

(1) SYSTEM MODE

システム動作状態を表します。各イベント(EVENT)の発生により、状態が遷移します。システムの動作状態は、モータ駆動停止(INACTIVE)、モータ駆動(ACTIVE)、異常状態(ERROR)があります。

(2) RUN MODE・LOOP MODE

モータの制御状態を表します。システムの状態が ACTIVE になると、モータは図 8-3 の Configuration 設定に従って駆動または校正が実施されます。

(3) EVENT

各 SYSTEM MODE 中に EVENT が発生すると、その EVENT に従って、システム動作状態が図 8-3 中の表のように遷移します。各 EVENT の発生要因は下記となります。

表 8-15 イベント一覧

| イベント名 | 発生要因 |
|-------------|----------------------|
| INACTIVE | ユーザ操作により発生します |
| ACTIVE | ユーザ操作により発生します |
| ERROR | システムが異常を検出したときに発生します |
| RESET | ユーザ操作により発生します |
| ERRORCANCEL | ユーザ操作により発生します |

8.6.4 保護機能

本サンプルプログラムは、以下のエラー状態を持ち、それぞれの場合に緊急停止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 8-16 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)。

過電流リミット値はモータの定格電流 (MOTOR_CFG_NOMINAL_CURRENT_RMS)から自動で計算されます。

- 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 8-16 各システム保護機能の動作条件・設定値

| | | |
|----------------|---------------|----------------|
| 過電流エラー(S/W 検出) | 過電流リミット値 [A] | 12 A |
| | 監視周期 [μs] | 25 us (電流制御周期) |
| 過電流エラー(H/W 検出) | 過電流リミット値 [A] | 25 A |
| 過電圧エラー | 過電圧リミット値 [V] | 28 V |
| | 監視周期 [μs] | 25 us (電流制御周期) |
| 低電圧エラー | 低電圧リミット値 [V] | 20 V |
| | 監視周期 [μs] | 25 us (電流制御周期) |
| 回転速度エラー | 速度リミット値 [rpm] | 7200 rpm |
| | 監視周期 [μs] | 25 us (電流制御周期) |

8.6.5 RUN 状態へ遷移後のウェイト処理

RZ/T Series Inverter Board のデルタシグマ変調器はインバータボードに PWM 信号が入力されていないときは MCLK 信号、MDAT 信号を出力しません。相電流検出回路については 7.4.1 をご確認ください。

モータマネージャは PWM 出力が許可される RUN 状態に遷移してからデルタシグマ変調器から信号が出力され電流検出が可能になるまでの間ウェイト処理を行います。弊社はデルタシグマ変調器から MDAT 信号と MCLK 信号が出力されるまでの時間を実験により確かめてウェイト時間を 25 ms に設定しました。ウェイト時間の設定には INVERTER_CFG_DSM_POWER_ON_DELAY (表 9-12)を使用します。

8.6.6 API

表 8-17 モータマネージャ API 一覧

| API | 説明 |
|------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| R_MOTOR_SERIAL_ENCODER_VECTOR_Open | マネージャモジュールのインスタンスを生成します。また、使用する制御モジュールの Open 関数を実行しインスタンスを生成させます。 |
| R_MOTOR_SERIAL_ENCODER_VECTOR_Close | マネージャモジュールおよび、各モジュールをリセット状態にします。 |
| R_MOTOR_SERIAL_ENCODER_VECTOR_Reset | マネージャモジュールおよび各モジュールを初期化します。 |
| R_MOTOR_SERIAL_ENCODER_VECTOR_ParameterUpdate | マネージャモジュールの制御パラメータを更新します。また、関連するモジュールの制御パラメータ更新を行います。 |
| R_MOTOR_SERIAL_ENCODER_VECTOR_MotorStart | モータ駆動状態にします。 |
| R_MOTOR_SERIAL_ENCODER_VECTOR_MotorStop | モータ停止状態にします。 |
| R_MOTOR_SERIAL_ENCODER_VECTOR_MotorReset | システムのエラー状態を解除します。 各モジュールをソフトウェアリセット状態にします。 |
| R_MOTOR_SERIAL_ENCODER_VECTOR_MotorErrorCancel | システムのエラー状態を解除します。 各モジュールを初期化します。 |
| R_MOTOR_SERIAL_ENCODER_VECTOR_ErrorSet | システムにエラー状態を設定します |
| R_MOTOR_SERIAL_ENCODER_VECTOR_PositionSet | 位置指令値を設定します。位置制御時に有効になります。 |
| R_MOTOR_SERIAL_ENCODER_VECTOR_PositionGet | 位置情報を取得します。 |
| R_MOTOR_SERIAL_ENCODER_VECTOR_SpeedSet | 速度指令値を設定します。速度制御時に有効になります。 |
| R_MOTOR_SERIAL_ENCODER_VECTOR_SpeedGet | 速度情報を取得します。 |
| R_MOTOR_SERIAL_ENCODER_VECTOR_StatusGet | ステートマシンの状態を取得します。 |
| R_MOTOR_SERIAL_ENCODER_VECTOR_ErrorStatusGet | エラー状態を取得します。 |
| R_MOTOR_SERIAL_ENCODER_VECTOR_CtrlTypeSet | 各モードを設定します。 |
| R_MOTOR_SERIAL_ENCODER_VECTOR_LoopModeStatusGet | LOOP MODE を取得します。 |
| R_MOTOR_SERIAL_ENCODER_VECTOR_PositionCommandModeSet | 位置制御の位置指令生成のモードを選択します。位置制御を行う場合は、1 か 2 に設定してください。 0: 位置をゼロに固定 1: ステップ応答動作 2: 台形駆動動作 |
| R_MOTOR_SERIAL_ENCODER_VECTOR_InPositionFlagGet | 位置制御完了状態を取得します。位置制御時に有効になります。 0: 位置制御未完了状態 1: 位置制御完了状態 |
| R_MOTOR_SERIAL_ENCODER_VECTOR_RotorAngleOffsetSet | 磁極位置オフセットを設定します。 |
| R_MOTOR_SERIAL_ENCODER_VECTOR_CurrentOffsetSet | 電流オフセットを設定します。 |
| R_MOTOR_SERIAL_ENCODER_VECTOR_CurrentOpenLoopSet | 電流オープンループの指令を設定します。 |

| API | 説明 |
|----------------------------------------------------------|---------------------------------------|
| R_MOTOR_SERIAL_ENCODER_VECTOR_TorqueSet | トルク指令を設定します。 |
| R_MOTOR_SERIAL_ENCODER_VECTOR_OffsetCalibrationStatusGet | オフセット測定状態を取得します。 0: 測定中 1: 測定完了 |
| R_MOTOR_SERIAL_ENCODER_VECTOR_PosSpeedInterrupt | 位置制御・速度制御を行うための割り込み処理を行います。 |
| R_MOTOR_SERIAL_ENCODER_VECTOR_CurrentInterrupt | 電流制御を行うための割り込み処理を行います。 |
| R_MOTOR_SERIAL_ENCODER_VECTOR_OverCurrentInterrupt | 過電流が発生した際の割り込み処理を行います。 |

表 8-18 電流制御モジュールの API 一覧

| API | 説明 |
|-------------------------------------|--------------------------|
| R_MOTOR_CURRENT_Open | 電流制御モジュールのインスタンスを生成します。 |
| R_MOTOR_CURRENT_Close | 電流制御モジュールをリセット状態にします。 |
| R_MOTOR_CURRENT_Reset | 電流制御モジュールの初期化をします。 |
| R_MOTOR_CURRENT_Run | 電流制御モジュールをアクティブ状態にします。 |
| R_MOTOR_CURRENT_ParameterSet | 電流制御に使用する変数情報を入力します。 |
| R_MOTOR_CURRENT_ParameterGet | 電流制御結果の出力を取得します。 |
| R_MOTOR_CURRENT_ParameterUpdate | 電流制御モジュールの制御パラメータを更新します。 |
| R_MOTOR_CURRENT_CurrentCyclic | 電流制御を行います。 |
| R_MOTOR_CURRENT_OffsetCalibration | 電流検出のオフセット調整を行います。 |
| R_MOTOR_CURRENT_CurrentOffsetRemove | 電流検出オフセット値を除いた値を返します。 |
| R_MOTOR_CURRENT_VoltErrCompParamSet | 電圧誤差補償パラメータ設定を行います。 |
| R_MOTOR_CURRENT_CurrentOffsetSet | AD 電流オフセット値設定を行います。 |

表 8-19 速度制御モジュールの API 一覧

| API | 説明 |
|-------------------------------|-----------------------|
| R_MOTOR_SPEED_Open | 速度モジュールのインスタンスを生成します。 |
| R_MOTOR_SPEED_Close | モジュールをリセット状態にします。 |
| R_MOTOR_SPEED_Reset | モジュールの初期化をします。 |
| R_MOTOR_SPEED_Run | モジュールをアクティブ状態にします。 |
| R_MOTOR_SPEED_ParameterSet | 速度制御に使用する変数情報を入力します。 |
| R_MOTOR_SPEED_ParameterGet | 速度制御結果の出力を取得します。 |
| R_MOTOR_SPEED_ParameterUpdate | モジュールの制御パラメータを更新します。 |
| R_MOTOR_SPEED_SpdRefSet | 速度指令値を設定します。 |
| R_MOTOR_SPEED_SpeedCyclic | 速度制御を行います。 |

表 8-20 位置制御モジュールの API 一覧

| API | 説明 |
|----------------------------------|-----------------------------------------|
| R_MOTOR_POSITION_Open | 位置制御モジュールのインスタンスを生成します。 |
| R_MOTOR_POSITION_Close | 位置制御モジュールをリセット状態にします。 |
| R_MOTOR_POSITION_Reset | 位置制御モジュールの初期化をします。 |
| R_MOTOR_POSITION_Run | 位置制御モジュールをアクティブ状態にします。 |
| R_MOTOR_POSITION_ParameterSet | 位置制御ループで使用するパラメータを設定します。 |
| R_MOTOR_POSITION_ParameterGet | 位置制御モジュールの変数情報を取得します。 |
| R_MOTOR_POSITION_ParameterUpdate | 位置制御モジュールの制御パラメータを更新します。 |
| R_MOTOR_POSITION_PositionCyclic | 位置制御ループ処理を行います。 |
| R_MOTOR_POSITION_CommandModeSet | 位置制御指令モードを設定します。 |
| R_MOTOR_POSITION_PosRefSet | 位置指令を設定します。 |
| R_MOTOR_POSITION_Sync | 位置情報を変更します。 前回停止位置から再開したい場合などで使用します。 |

表 8-21 シリアルエンコーダモジュールの API 一覧

| API | 説明 |
|---------------------------------------------|---------------------------------------------|
| R_MOTOR_SENSOR_SERIAL_ENCODER_Open | シリアルエンコーダセンサモジュールのインスタンスを生成します |
| R_MOTOR_SENSOR_SERIAL_ENCODER_CurrentCyclic | エンコーダカウントを取得し単回転機械角[rad]に変換します |
| R_MOTOR_SENSOR_SERIAL_ENCODER_PosSpdCyclic | エンコーダカウントを取得し機械角速度[rad/s]と多回転機械角[rad]に変換します |
| R_MOTOR_SENSOR_SERIAL_ENCODER_ParameterGet | シリアルエンコーダセンサモジュールの変数情報を取得します |
| R_MOTOR_SENSOR_SERIAL_ENCODER_Close | シリアルエンコーダセンサモジュールをリセット状態にします |

8.6.7 構造体・変数情報

表 8-22 マネージャモジュール用構造体・変数一覧

| 構造体 | 変数 | 説明 |
|--------------------------------------------------|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| st_serial_encoder_vector_t マネージャモジュール用構造体 | u1_state_id_ref | d 軸電流指令値状態 0: ゼロ指令 1: Id 指令入力 2: マニュアル指令入力 |
| | u1_state_iq_ref | q 軸電流指令値状態 0: ゼロ指令 1: Iq 指令入力 2: マニュアル指令入力 |
| | u1_state_speed_ref | 速度指令値状態 0: ゼロ指令 1: 速度指令入力 2: マニュアル指令入力 |
| | u1_state_open_loop | オープンループ状態 0: 位置センサからの位置で電流制御の制御位相を計算する(Closed-loop) 1: 指令速度で電流制御の制御位相を計算する(Open-loop) |
| | u1_direction | 回転方向 0: CW 1: CCW |
| | u1_ctrl_loop_mode | 制御ループモード 0: d 軸電流制御 1: q 軸電流制御 2: 速度制御 3: 位置制御 |
| | u1_offset_adjust_mode | オフセット除去モード 0: 電流オフセット 1: 位置オフセット 2: 完了 |
| | u1_flag_offset_calc | オフセット算出フラグ |
| | u2_error_status | エラー状態 |
| | u2_error_status_mask | エラービットマスク、ビットが 0 の場合、該当エラー無視されます |
| | u2_run_mode | モータ駆動モード 0: オフセット除去 1: モータ駆動 |
| | u1_flag_charge_cap | 電圧安定フラグ |
| | f4_time_elapsed_power_on | 電源投入後の経過時間[s] |
| | f4_time_elapsed_pwm_output | PWM 出力後の経過時間[s] |
| | f4_vdc_ad | 母線電圧[V] |
| | f4_iu_ad | U 相電流[A] |
| | f4_iv_ad | V 相電流[A] |
| | f4_iw_ad | W 相電流[A] |
| f4_overcurrent_limit | 過電流リミット値[A] | |

| 構造体 | 変数 | 説明 |
|-------------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| | f4_overvoltage_limit | 過電圧リミット値 [V] |
| | f4_undervoltage_limit | 低電圧リミット値[V] |
| | f4_overspeed_limit_rad | 速度リミット値[rad] |
| | f4_user_open_loop_current | ユーザオープンループ電流指令[A] |
| | f4_user_torque_nm | ユーザトルク指令[Nm] |
| | f4_open_loop_angle_rad | オープンループ制御時の電流制御位相[rad] |
| | f4_rotor_angle_rad | 磁極位置(電気角) [rad] |
| | st_vdc_lpf | インバータボードの母線電圧のローパスフィルタ用構造体 |
| | f4_rotor_angle_offset_time | 位置オフセット取得時間 [s] |
| | f4_rotor_angle_offset_rad | 位置オフセット[rad] |
| | st_current_output | 電流制御モジュール用出力構造体 |
| | st_speed_output | 速度制御モジュール用出力構造体 |
| | st_position_output | 位置制御モジュール用出力構造体 |
| | st_sensor_output | センサモジュール用出力構造体 |
| | st_stm | ステートマシン構造体 |
| | st_motor | モータパラメータ構造体 |
| | p_st_driver | ドライバモジュール用構造体へのポインタ |
| | p_st_cc | 電流制御モジュール用構造体ポインタ |
| | p_st_sc | 速度制御モジュール構造体ポインタ |
| | p_st_pc | 位置制御モジュール構造体ポインタ |
| p_st_sensor_serial_encoder | シリアルエンコーダセンサモジュール構造体ポインタ | |
| st_serial_encoder_vector_cfg_t | f4_overspeed_limit_rpm | 速度エラー発生速度リミット値 |
| | st_motor | モータパラメータ構造体 |
| マネージャ モジュール制御 パラメータ設定用 構造体 | | |

表 8-23 電流制御モジュール用構造体・変数一覧

| 構造体 | 変数 | 説明 |
|-------------------------------------------|---------------------------|--------------------|
| st_current_control_t 電流制御モジュール用 構造体 | u1_active | 電流制御モジュールのアクティブ状態 |
| | u1_flag_volt_err_comp_use | 電圧誤差補償機能の有効/無効 |
| | u1_state_id_ref | d 軸入力ステータス |
| | u1_state iq_ref | q 軸入力ステータス |
| | u1_flag_offset_calc | 電流オフセット計算のフラグ |
| | u2_offset_calc_time | 電流オフセット調整時の測定時間設定 |
| | u2_offset_calc_wait | 電流オフセット調整タイミングカウンタ |
| | u2_crnt_offset_cnt | 電流オフセット調整時の測定回数 |
| | f4_ctrl_period | 電流制御周期(期間)[s] |
| | f4_refu | U 相指令電圧[V] |
| | f4_refv | V 相指令電圧[V] |
| | f4_refw | W 相指令電圧[V] |
| | f4_vd_ref | d 軸電圧指令値[V] |
| | f4_vq_ref | q 軸電圧指令値[V] |
| | f4_id_ref | d 軸電流指令値[A] |
| | f4_iq_ref | q 軸電流指令値[A] |
| | f4_id_ad | d 軸電流値[A] |
| | f4_iq_ad | q 軸電流値[A] |
| | f4_lim_iq | q 軸電流制限値[A] |
| | f4_offset_iu | U 相オフセット電流値[A] |
| | f4_offset_iv | V 相オフセット電流値[A] |
| | f4_offset_iw | W 相オフセット電流値[A] |
| | f4_sum_iu_ad | U 相電流合計値[A] |
| | f4_sum_iv_ad | V 相電流合計値[A] |
| | f4_sum_iw_ad | W 相電流合計値[A] |
| | f4_vdc_ad | 母線電圧値[V] |
| | f4_iu_ad | U 相電流値[A] |
| | f4_iv_ad | V 相電流値[A] |
| | f4_iw_ad | W 相電流値[A] |
| | f4_modu | U 相デューティ比 |
| | f4_modv | V 相デューティ比 |
| | f4_modw | W 相デューティ比 |
| f4_speed_rad | 速度[rad/s] | |
| f4_rotor_angle_input_rad | ロータ角度[rad] | |

| 構造体 | 変数 | 説明 |
|--------------------------------------------|---------------------------|---------------------------------------|
| | f4_id_ref_manual | d 軸用電流ステータス: d 軸指令固定モード時の d 軸電流指令値[A] |
| | f4_iq_ref_manual | q 軸用電流ステータス: q 軸指令固定モード時の q 軸電流指令値[A] |
| | f4_ref_id_ctrl | d 軸電流指令値 [A] |
| | f4_ref_iq_ctrl | q 軸電流指令値[A] |
| | f4_current_rate_limit | 電流の上昇速度制限値 |
| | f4_va_max | dq 軸上の最大電圧 [V] |
| | st_mod | 変調用構造体 |
| | st_volt_comp | 電圧誤差補償 |
| | st_pi_id | d 軸の PI 制御用構造体 |
| | st_pi_iq | q 軸の PI 制御用構造体 |
| | st_rotor_angle | ロータ情報の構造体 |
| | st_rotor_angle_phasecomp | ロータ情報の構造体(進み補償) |
| | st_motor | モータパラメータの構造体 |
| st_current_cfg_t 電流制御モジュール制御パラメータ設定用構造体 | u2_offset_calc_time | オフセット計算時間設定 |
| | f4_ctrl_period | 制御周期[s] |
| | f4_current_omega_hz | 電流制御系固有周波数[Hz] |
| | f4_current_zeta | 電流制御系減衰係数 |
| | u1_flag_volt_err_comp_use | 電圧誤差補償有効/無効 |
| | st_motor | モータパラメータの構造体 |
| st_current_output_t 電流制御モジュール出力用構造体 | u1_flag_offset_calc | 電流オフセットフラグ |
| | f4_modu | U 相デューティ比 |
| | f4_modv | V 相デューティ比 |
| | f4_modw | W 相デューティ比 |
| | f4_neutral_duty | オフセット測定時のデューティ比 |
| | f4_va_max | dq 軸上の最大電圧[V] |
| st_current_input_t 電流制御モジュール入力用構造体 | u1_state_id_ref | d 軸ステータス |
| | u1_state_iq_ref | q 軸ステータス |
| | f4_rotor_angle_rad | 磁極位置(電気角) [rad] |
| | f4_iu_ad | U 相電流値[A] |
| | f4_iv_ad | V 相電流値[A] |
| | f4_iw_ad | W 相電流値[A] |
| | f4_vdc_ad | 母線電圧値[V] |
| | f4_speed_rad | 速度[rad/s] |

| 構造体 | 変数 | 説明 |
|-----|------------------|--------------------------------------|
| | f4_id_ref | d 軸電流指令値[A] |
| | f4_iq_ref | q 軸電流指令値[A] |
| | f4_id_ref_manual | d 軸電流ステータス: d 軸指令固定モード時の d 軸電流指令値[A] |
| | f4_iq_ref_manual | q 軸電流ステータス: q 軸指令固定モード時の q 軸電流指令値[A] |

表 8-24 速度制御モジュール用構造体・変数一覧

| 構造体 | 変数 | 説明 |
|----------------------|-------------------------|------------------------------------|
| st_speed_control_t | u1_active | モジュールの有効/無効選択 |
| 速度モジュール用構造体 | u1_state_speed_ref | 速度指令値を決定する状態管理。本節のマクロに記載する状態を管理する。 |
| | u1_flag_fluxwkn_use | 弱め磁束制御の使用有無フラグ |
| | u1_flag_mtpa_use | MTPA 制御の使用有無フラグ |
| | f4_speed_ctrl_period | 速度ループの周期 [s] |
| | f4_ref_speed_rad_ctrl | 制御用の速度指令値 [rad/s] |
| | f4_ref_speed_rad | 速度制御時の速度モジュール出力の速度指令値 [rad/s] |
| | f4_ref_speed_rad_manual | 速度制御時のユーザの速度指令値設定値 [rad/s] |
| | f4_speed_rad_ctrl | 速度制御モジュール内で演算する速度 [rad/s] |
| | f4_speed_rad | 入力された速度 [rad/s] |
| | f4_max_speed_rad | 最大速度(機械角) [rad/s] |
| | f4_speed_rate_limit_rad | 速度の変化量の制限値 [rad/s] |
| | f4_id_ref_output | d 軸電流指令値 [A] |
| | f4_iq_ref_output | q 軸電流指令値 [A] |
| | f4_va_max | dq 軸上の最大電圧 [V] |
| | f4_id_ad | d 軸電流値 [A] |
| | f4_iq_ad | q 軸電流値 [A] |
| | st_motor | モータパラメータ構造体 |
| | st_pi_speed | PI 制御用構造体 |
| st_fluxwkn | 弱め磁束制御用構造体 | |
| st_mtpa | MTPA 制御用構造体 | |
| st_speed_cfg_t | st_motor | モータパラメータ構造体 |
| 速度モジュール制御パラメータ設定用構造体 | u1_flag_fluxwkn_use | 弱め磁束制御の使用有無フラグ |
| | u1_flag_mtpa_use | MTPA 制御の使用有無フラグ |
| | f4_max_speed_rpm | 最大速度(機械角) [rpm] |

| | | |
|-------------------|-------------------------|----------------------|
| | f4_speed_ctrl_period | 速度制御の周期 [s] |
| | f4_speed_rate_limit_rpm | 速度の変化量の制限値 [rpm] |
| | f4_speed_omega_hz | 速度制御系固有周波数 [Hz] |
| | f4_speed_zeta | 速度制御系減衰係数 |
| st_speed_input_t | u1_state_speed_ref | 速度指令ステータス |
| 速度モジュール入力用構造体 | f4_ref_speed_rad | 速度指令値 [rad/s] |
| | f4_speed_rad | 入力する速度 [rad/s] |
| | f4_va_max | dq 軸における最大電圧 [V] |
| st_speed_output_t | f4_id_ref | d 軸電流指令値 [A] |
| 速度モジュール出力用構造体 | f4_iq_ref | q 軸電流指令値 [A] |
| | f4_ref_speed_rad_ctrl | PI 制御に使用する速度 [rad/s] |

表 8-25 位置制御モジュール用構造体・変数一覧

| 構造体 | 変数 | 説明 |
|---------------------------------------------|------------------------------|--------------------------|
| st_motor_position_t 位置制御モジュール用構造体 | u1_is_in_position | 位置決め完了フラグ |
| | u1_active | モジュールの Active 状態を示すフラグ |
| | u1_pos_command_mode | 位置指令値作成モード |
| | u1_ctrl_method_mode | IPD/P 制御切り替え |
| | u2_pos_dead_band | デッドバンド(位置センサパルス数) |
| | u2_pos_band_limit | 位置決め完了幅(位置センサパルス数) |
| | f4_pos_kp | 位置 P 制御ゲイン係数 |
| | f4_pos_err_rad | 位置偏差[rad] |
| | f4_pos_rad | 現在位置[rad] |
| | f4_ref_pos_rad | 位置指令値 [rad] |
| | f4_ref_pos_pre_rad | 位置指令値前回値[rad] |
| | f4_ref_pos_rad_ctrl | 位置プロファイル処理後の位置指令[rad] |
| | f4_speed_ff_rad | 速度フィードフォワード値[rad/s] |
| | f4_speed_ff_ratio | 速度フィードフォワード比例係数 |
| | f4_ref_speed_rad_output | 速度指令値[rad/s] |
| | f4_max_speed_rad | 最大速度(機械角) [rad/s] |
| | f4_ctrl_period | 制御周期[s] |
| | f4_mech_angle_per_sensor_cnt | 位置センサの 1 カウントあたりの角度[rad] |
| | st_ppf | 位置プロファイル用構造体 |
| | st_motor | モータ定数用構造体 |
| st_position_cfg_t 位置制御モジュール制御パラメータ設定用構造体 | st_motor | モータパラメータ構造体 |
| | u2_dead_band | デッドバンド(位置センサパルス数) |
| | u2_band_limit | 位置決め完了幅(位置センサパルス数) |
| | u2_pos_interval_time | 安定待ち時間(制御周期回数) |

| 構造体 | 変数 | 説明 |
|---------------------------------------------|------------------------------|--------------------------------------|
| | f4_feedforward_ratio | 速度フィードフォワード比例係数 |
| | f4_position_omega_hz | 位置制御周波数[Hz] |
| | f4_ctrl_period | 制御周期[s] |
| | f4_mech_angle_per_sensor_cnt | 位置センサの1パルスあたりの角度[rad] |
| | f4_max_speed_rad | 最大速度(機械角) [rad/s] |
| | f4_accel_time | 加速時間[s] |
| | f4_posprof_max_speed_rad | 位置プロファイルの最大速度[rad/s] |
| st_position_input_t 位置制御モジュール 入力用構造体 | f4_position_rad | 現在位置[rad] |
| st_position_output_t 位置制御モジュール 出力用構造体 | f4_speed_ref | 速度指令出力値 [rad/s] |
| | f4_position_err | 位置偏差値[rad] 自動調整など外部で偏差判定したい場合に使用。 |
| | u1_in_position | 位置決め完了フラグ |

表 8-26 シリアルエンコーダモジュール用構造体・変数一覧

| 構造体 | 変数 | 説明 |
|-----------------------------------------------------------|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| st_sensor_seiral_encoder シリアルエンコーダ センサモジュール用 構造体 | s4_encd_cnt | 現在の周期のエンコーダカウント |
| | s4_encd_cnt_pre | 一つ前の周期のエンコーダカウント |
| | s4_encd_cnt_max | エンコーダカウントの最大値 FA-CODER は 131071、EnDat 2.2 は 524287 |
| | s4_encd_cnt_full_scale | エンコーダカウントのフルスケール値 FA-CODER は 131072、EnDat 2.2 は 524288 |
| | s4_rotate_threshold | 1回転したかどうかを判定するための閾値 FA-CODER は 65536、EnDat 2.2 は 262144 |
| | s4_polarity | 回転極性 正のq軸電流を流したときにエンコーダカウントがインクリメントするとき : +1 正のq軸電流を流したときにエンコーダカウントがデクリメントするとき : -1 |
| | s4_rotate_cnt | 回転回数 |
| | s4_encd_cnt_multiturn | 多回転エンコーダカウント |
| | u1_serial_encoder_type | シリアルエンコーダのタイプ |
| | f4_speed_ctrl_period | 速度制御周期 [s] |
| | f4_output_angle_rad | 単回転機械角 [rad] |
| | f4_output_speed_rad | 機械角速度 [rad/s] |
| | f4_output_pos_rad | 多回転機械角 [rad] |
| | f4_angle_rad | 単回転機械角 [rad] |

| | | |
|-----------------------------------|------------------|---------------|
| st_sensor_serial_encoder_output_t | f4_speed_rad | 機械角速度 [rad/s] |
| | f4_pos_rad | 多回転機械角 [rad] |
| シリアルエンコーダ センサモジュール出力用構造体 | f4_speed_lpf_rad | 機械角速度 [rad/s] |

8.6.8 マクロ定義

表 8-27 モータマネージャモジュールのマクロ一覧

| ファイル名 | マクロ名 | 定義値 | 備考 |
|-----------------------------------------|--------------------------------------------------|----------|----------------------------|
| r_motor_serial_encoder_vector_api.h | MOTOR_LOOP_CURRENT_ID | 0 | 磁束制御モード。 |
| | MOTOR_LOOP_CURRENT_IQ | 1 | トルク制御モード。 |
| | MOTOR_LOOP_SPEED | 2 | 速度制御モード。 |
| | MOTOR_LOOP_POSITION | 3 | 位置制御モード。 |
| | MOTOR_ERROR_NONE | (0x0000) | エラーステータス。エラーなし状態。 |
| | MOTOR_ERROR_OVER_CURRENT_HW | (0x0001) | エラーステータス HW 過電流エラー状態。 |
| | MOTOR_ERROR_OVER_VOLTAGE | (0x0002) | エラーステータス。過電圧エラー状態。 |
| | MOTOR_ERROR_OVER_SPEED | (0x0004) | エラーステータス。回転速度エラー状態。 |
| | MOTOR_ERROR_UNDER_VOLTAGE | (0x0080) | エラーステータス。低電圧エラー状態。 |
| | MOTOR_ERROR_OVER_CURRENT_SW | (0x0100) | エラーステータス。SW の過電流エラー状態。 |
| | MOTOR_ERROR_OVER_TEMPERATURE | (0x0200) | エラーステータス。インバータ過熱エラー状態。 |
| | MOTOR_ERROR_UNKNOWN | (0xffff) | エラーステータス。エラーコード不明のエラー状態。 |
| r_motor_serial_encoder_vector_manager.h | MOTOR_SERIAL_ENCODER_VECTOR_MODE_OFFSET_ADJUST | (0x00) | 初期化を行う動作モード。 |
| | MOTOR_SERIAL_ENCODER_VECTOR_MODE_DRIVE | (0x01) | モータ駆動状態の動作モード。 |
| | MOTOR_SERIAL_ENCODER_VECTOR_OFAJ_CURRENT_OFFSET | (0x00) | 電流オフセット取得モード |
| | MOTOR_SERIAL_ENCODER_VECTOR_OFAJ_POSITION_OFFSET | (0x01) | 位置オフセット取得モード |
| | MOTOR_SERIAL_ENCODER_VECTOR_OFAJ_FINISH | (0x02) | オフセット取得完了 |
| r_motor_serial_encoder_vector_api.h | MOTOR_CTRL_TYPE_POS | 0 | 制御方式切り替え用マクロ。位置制御モード。 |
| | MOTOR_CTRL_TYPE_SPEED | 1 | 制御方式切り替え用マクロ。速度制御モード。 |
| | MOTOR_CTRL_TYPE_TORQUE | 2 | 制御方式切り替え用マクロ。トルク制御モード。 |
| | MOTOR_CTRL_TYPE_VOLTAGE | 3 | 未使用 |
| | MOTOR_CTRL_TYPE_CURRENT | 4 | 制御方式切り替え用マクロ。オープンループ制御モード。 |

| | | | |
|--|---------------------------------|---|----------------------------|
| | MOTOR_CTRL_TYPE_ADJ_CRNT_OFFSET | 5 | 制御方式切り替え用マクロ。電流オフセット調整モード。 |
| | MOTOR_CTRL_TYPE_ADJ_POS_OFFSET | 6 | 制御方式切り替え用マクロ。位置オフセット調整モード。 |

8.7 ドライバモジュール

ドライバモジュールは、サンプルプログラムのミドルウェアに相当するマネージャモジュールと MPU のペリフェラルにアクセスするための FSP を接続するインタフェースの役割を持つモジュールです。ドライバモジュールを適切に設定することで、MPU の機能割り当てや使用するボード仕様の差分をモータモジュールの変更無く使用することが可能になります。

8.7.1 機能

ドライバモジュールの機能一覧を表 8-28 に示します。

表 8-28 ドライバモジュールの機能一覧

| 機能 | 説明 |
|---------------|---------------------------------------------|
| A/D 変換値の取得 | 相電流の DSMIF 変換値やインバータボードの母線電圧の AD 変換値を取得します。 |
| PWM の duty 設定 | UVW 相へ出力する PWM Duty 値を設定します。 |
| PWM の開始、停止 | PWM 出力の開始、停止を制御します。 |

8.7.2 API

ドライバモジュールの API 一覧表と各 API の説明を表 8-29 に示します。

表 8-29 ドライバモジュールの API 一覧

| API | 説明 |
|--------------------------------|-------------------------|
| R_MOTOR_DRIVER_Open | ドライバモジュールのインスタンスを生成します。 |
| R_MOTOR_DRIVER_Close | モジュールをリセット状態にします。 |
| R_MOTOR_DRIVER_ParameterUpdate | モジュール内部で使用する変数情報を入力します。 |
| R_MOTOR_DRIVER_BldcAnalogGet | AD 変換結果を取得します。 |
| R_MOTOR_DRIVER_BldcDutySet | PWM Duty の設定を行います。 |
| R_MOTOR_DRIVER_PWMControlStop | PWM 制御を停止します。 |
| R_MOTOR_DRIVER_PWMControlStart | PWM 制御を開始します。 |

8.7.3 コンフィグレーション情報

ドライバモジュールのコンフィグレーション情報一覧を表 8-30 に示します。使用する機能や各種パラメータを設定してください。

表 8-30 コンフィグレーション情報一覧

| ファイル名 | マクロ名 | 設定 | 説明 |
|------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|---------------------|
| r_motor_module_cfg.h | DRIVER_CFG_FUNC_PWM_OUTPUT_START | R_Config_MOTOR_StartTimerCtrl | PWM 出力許可関数設定 |
| | DRIVER_CFG_FUNC_PWM_OUTPUT_STOP | R_Config_MOTOR_StopTimerCtrl | PWM 出力禁止関数設定 |
| | DRIVER_CFG_FUNC_ADC_DATA_GET | R_Config_MOTOR_AdcGetConvVal | AD 変換結果取得関数設定 |
| | DRIVER_CFG_FUNC_DUTY_SET | R_Config_MOTOR_UpdDuty | Duty Cycle 設定関数設定 |
| r_motor_inverter_cfg.h | INVERTER_CFG_VDC_ADC_REF_VOLTAGE | 1.8 | AD 変換基準電圧 [V] |
| | INVERTER_CFG_CURRENT_ADC_REF_VOLTAGE | 0.640 | デルタシグマ変調器入力電圧範囲 [V] |
| r_motor_module_cfg.h | MOTOR_MCU_CFG_ADC_OFFSET | 1960 | AD オフセット値設定 |

8.7.4 構造体・変数情報

ドライバモジュールで使用する構造体一覧を表 8-31 に示します。ドライバモジュールは API のインスタンス確保にて、ドライバモジュール用構造体(g_st_driver)を定義します。

表 8-31 構造体・変数一覧

| 構造体 | 変数 | 説明 |
|-------------------------------------------------|----------------------|-----------------------------------------|
| st_motor_driver_t ドライバモジュール用構造体 | *ADCDDataGet | AD 変換結果取得関数へのポインタ |
| | *BLDCCDutySet | PWM 出力許可関数へのポインタ |
| | *PWMOutputStop | PWM 出力禁止関数へのポインタ |
| | *PWMOutputStart | Duty Cycle 設定関数へのポインタ |
| | f4_ad_crnt_per_digit | 電流 AD 変換用スケール |
| | f4_ad_vdc_per_digit | 電圧 AD 変換用スケール |
| | f4_pwm_period_cnt | PWM カウンター周期のカウント数(Duty 設定用情報) |
| st_motor_driver_cfg_t ドライバモジュール制御パラメータ設定用構造体 | *ADCDDataGet | AD 変換結果取得関数へのポインタ |
| | *BLDCCDutySet | Duty Cycle 設定関数へのポインタ |
| | *PWMOutputStop | PWM 出力禁止関数へのポインタ |
| | *PWMOutputStart | PWM 出力許可関数へのポインタ |
| | f4_shunt_ohm | シャント抵抗値[ohm] (f4_ad_crnt_per_digit 計算用) |

| | | |
|--|----------------------|-------------------------------------|
| | f4_volt_gain | 電圧変換ゲイン係数(f4_ad_vdc_per_digit 計算用) |
| | f4_crnt_amp_gain | 電流変換ゲイン係数(f4_ad_crnt_per_digit 計算用) |
| | f4_pwm_period_cnt | PWM カウンター周期のカウント数(Duty 設定用情報) |
| | f4_pwm_dead_time_cnt | デッドタイムのカウント数(Duty 設定用情報) |

8.7.5 パラメータ調整・設定

ドライバモジュールでは、制御パラメータ設定(R_MOTOR_DRIVER_ParameterUpdate)から入力されたパラメータを使用して、モータモジュールとFSPとの関連付け、データ変換を行います。ドライバモジュール制御パラメータ設定用構造体(st_speed_config_t)を使って入力します。サンプルプログラムでは、コンフィグレーションとして定義されているものをパラメータ設定値として使用しています。設定内容を表 8-32 に示します。

表 8-32 サンプルプログラム設定例

| 変数名 | マクロ名 | ファイル名 |
|----------------------|----------------------------------|------------------------|
| *ADCDataGet | DRIVER_CFG_FUNC_ADC_DATA_GET | r_motor_module_cfg.h |
| *BLDCDutySet | DRIVER_CFG_FUNC_DUTY_SET | |
| *PWMOutputStop | DRIVER_CFG_FUNC_PWM_OUTPUT_START | |
| *PWMOutputStart | DRIVER_CFG_FUNC_PWM_OUTPUT_STOP | |
| f4_shunt_ohm | INVERTER_CFG_SHUNT_RESIST | r_motor_inverter_cfg.h |
| f4_volt_gain | INVERTER_CFG_VOLTAGE_GAIN | |
| f4_crnt_amp_gain | INVERTER_CFG_CURRENT_AMP_GAIN | |
| f4_pwm_period_cnt | MOTOR_COMMON_CARRIER_SET_BASE | r_motor_module_cfg.h |
| f4_pwm_dead_time_cnt | MOTOR_COMMON_DEADTIME_SET | |

8.8 シリアルエンコーダドライバモジュール

8.8.1 機能

表 8-33 にシリアルエンコーダドライバモジュールの機能を示します。

表 8-33 シリアルエンコーダドライバモジュールの機能

| 機能 | 説明 |
|-------------|---------------------------------|
| 初期化・停止処理 | シリアルエンコーダの初期化と停止を行います |
| エンコーダカウント取得 | シリアルエンコーダから受信したエンコーダカウントを取得します。 |

8.8.2 API

表 8-34 にシリアルエンコーダドライバモジュールの API を示します。

表 8-34 シリアルエンコーダドライバモジュールの API

| API | 説明 |
|-----------------------------------------------|------------------------------------|
| R_SERIAL_ENCODER_DRIVER_Open | 使用するシリアルエンコーダの初期化を行います。 |
| R_SERIAL_ENCODER_DRIVER_Start | ELC 経由でシリアルエンコーダとの通信を開始するように設定します。 |
| R_SERIAL_ENCODER_DRIVER_GetSingleTurnPosition | エンコーダカウントを取得します。 |
| R_SERIAL_ENCODER_DRIVER_GetDelay | エンコーダ通信時間補償に使用する補償時間を取得します。 |
| R_SERIAL_ENCODER_DRIVER_Stop | ELC 経由でシリアルエンコーダとの通信を開始する設定を解除します。 |
| R_SERIAL_ENCODER_DRIVER_Close | シリアルエンコーダの停止処理を行います。 |

8.8.3 マクロ定義

表 8-35 にシリアルエンコーダドライバモジュールのマクロ一覧を示します。

表 8-35 シリアルエンコーダドライバモジュールのマクロ一覧

| マクロ | 設定値 | 説明 |
|-----------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| SERIAL_ENCODER_TYPE | FA-CODER (デフォルト) | シリアルエンコーダの通信インタフェース FA-CODER EnDat 2.2 |
| SERIAL_ENCODER_MODEL | TS5669N124 (デフォルト) | シリアルエンコーダの型番 TS5669N124 (FA-CODER) ECI1319 (EnDat 2.2) |
| SERIAL_ENCODER_CFG_RESOLUTION_BIT | 17 (FA-CODER) 19 (EnDat 2.2) | シリアルエンコーダの分解能(ビット数) |
| SERIAL_ENCODER_CFG_POLARITY | 1 (FA-CODER) 1 (EnDat 2.2) | 回転極性 正の q 軸電流を流したときにエンコーダカウントがインクリメントするとき:+1 正の q 軸電流を流したときにエンコーダカウントがデクリメントするとき:-1 |
| SERIAL_ENCODER_CFG_CH | FAC_ID_0 (FA-CODER) ENDAT_ID_0 (EnDat 2.2) | チャンネル番号 |

| | | |
|--------------------------------------------------|------------------------------------------------|---------------------------------|
| SERIAL_ENCODER_CFG_IDX | FAC0_INDEX (FA-CODER) ENDAT_CH0 (EnDat 2.2) | ID 番号 |
| SERIAL_ENCODER_CFG_ DELAY_COMP_TIMER_CNT_DOWN | 0.000033f (FA-CODER) 0.000038f (EnDat 2.2) | PWM カウントがダウンカウントして いるときの補償時間 |
| SERIAL_ENCODER_CFG_ DELAY_COMP_TIMER_CNT_UP | 0.000058f (FA-CODER) 0.000013f (EnDat 2.2) | PWM カウントがアップカウントして いるときの補償時間 |
| SERIAL_ENCODER_CFG_ DEAD_BAND | 3.0f (FA-CODER) 10.0f (EnDat 2.2) | 不感帯幅 [エンコーダカウント] |

9. パラメータの設定

9.1 概要

本サンプルプログラムでは、パラメータは以下のヘッダファイル内でマクロ定義されています。マクロ定義されたパラメータは、起動時の初期化ルーチンで、各機能モジュールで管理される変数・構造体に設定され、各々の処理に使用されます。

一部のパラメータは、RMW 等から動的に変更が可能です。変更を行った場合には、パラメータアップデートの関数をコールし、反映させる必要があります。詳細は、各機能モジュールの説明を参照してください。

表 9-1 パラメータ設定ファイルの一覧

| マクロ名 | 説明 |
|---------------------------|-----------------------------|
| r_motor_module_cfg.h | モータ制御に関するパラメータの初期値を定義しています。 |
| r_motor_inverter_cfg.h | インバータに関するパラメータの初期値を定義しています。 |
| r_motor_targetmotor_cfg.h | モータに関するパラメータの初期値を定義しています。 |

9.2 MPU 関連パラメータ

MPU の周辺機能に関連するパラメータ一覧を表 9-2 に示します。MPU のペリフェラル設定を変更した場合、これらのパラメータで、該当する個所は変更を行う必要があります。

表 9-2 MPU 関連パラメータの一覧

| ファイル名 | マクロ名 | 設定値 | 説明 |
|----------------------|----------------------------------|------------|------------------------------------------------------------|
| r_motor_module_cfg.h | MOTOR_MCU_CFG_PWM_TIMER_FREQ | 400.0f | PWM のタイマ周波数 [MHz] |
| | MOTOR_MCU_CFG_CARRIER_FREQ | 20.0f | キャリア周波数 [kHz] |
| | MOTOR_MCU_CFG_INTR_DECOMPOSITION | 0 | キャリア割り込みの間引き回数 |
| | MOTOR_MCU_CFG_AD_FREQ | 25.0f | ADC の動作周波数 [MHz] |
| | MOTOR_MCU_CFG_AD_SAMPLING_CYCLE | 42.0f | ADC のサンプリング周期 [cycle] |
| | MOTOR_MCU_CFG_AD12BIT_DATA | 4095.0f | ADC の分解能 |
| | MOTOR_MCU_CFG_ADC_OFFSET | 1960 | DSMIF 変換値のオフセット値 |
| | MOTOR_MCU_CFG_TFU_OPTIMIZE | MTR_ENABLE | TFU(三角関数ユニット) MTR_ENABLE: TFU 有効 MTR_DISABLE: TFU 無効 |

9.3 制御機能の設定パラメータの一覧

モータ制御プログラムに備わっている機能の有効無効を設定するパラメータを、表 9-3、表 9-5、表 9-4 に示します。モータ制御の内部で使用される、モータ定数や設定に関する項目は、後述します。

表 9-3 動作パラメータの一覧(全般)

| ファイル名 | マクロ名 | 設定値 | 説明 |
|----------------------|-------------------------------------------|--------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| r_motor_module_cfg.h | MOTOR_TYPE_BLDC | MOTOR_TY E_BLDC | デフォルトのまま使用ください。 |
| | MOTOR_COMMON_CFG_LOOP_MODE | MOTOR_LOOP_SPEED | デフォルトの制御モード以下の制御モードを設定することができます。 MOTOR_LOOP_CURRENT_IQ MOTOR_LOOP_SPEED MOTOR_LOOP_POSITION |
| | MOTOR_COMMON_CFG_OVERCURRENT_MARGIN_MULT | 2.0f | 過電流のリミット係数 |
| | MOTOR_COMMON_CFG_IAX_CALC_MULT | MTR_SQRT_3 | 過電流リミット値計算用係数。 √3 を設定してください。 |
| | MOTOR_COMMON_CFG_AUTO_OFFSET_ADJUST_DELAY | (0.5f) | 電源投入後、自動電流オフセット調整を実施するまでの遅延時間[s] |

表 9-4 動作パラメータの一覧(電流制御)

| ファイル名 | マクロ名 | 設定値 | 説明 |
|----------------------|----------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------------------------|
| r_motor_module_cfg.h | CURRENT_CFG_VOLT_ERR_COMP | MTR_ENABLE | MTR_ENABLE: 電圧誤差補償を有効化 MTR_DISABLE: 電圧誤差補償を無効化 |
| | CURRENT_CFG_MODULATION_METHOD | MOD_METHOD_SVPWM | MOD_METHOD_SVPWM: 空間ベクトル変調 MOD_METHOD_SPWM: 正弦波変調 |
| | CURRENT_CFG_OFFSET_CALC_TIME | 512.0f | 電流オフセットの測定時間設定 |
| | CURRENT_CFG_OFFSET_CALC_WAIT | 4000 | 電流オフセットの検出タイミング |
| | CURRENT_CFG_PERIOD_MARGIN_VALUE | 0.75f | 電圧位相進み補償係数 |
| | CURRENT_CFG_PI_INTEGRAL_LIMIT_VD | INVERTER_CFG_INPUT_V * 0.5f (12.0f) | 電流制御器の出力リミット値 |
| | CURRENT_CFG_PI_INTEGRAL_LIMIT_VQ | INVERTER_CFG_INPUT_V * 0.5f (12.0f) | 電流制御器の出力リミット値 |
| | CURRENT_CFG_OMEGA | 1000.0f | 電流制御固有周波数 [Hz] |
| | CURRENT_CFG_ZETA | 1.0f | 電流制御減衰定数 |

| | | | |
|--|------------------------|---------|-----------------------|
| | CURRENT_CFG_RATE_LIMIT | 0.0004f | 電流指令値変化率 [A / 電流制御周期] |
|--|------------------------|---------|-----------------------|

表 9-5 動作パラメータの一覧(速度制御)

| ファイル名 | マクロ名 | 設定値 | 説明 |
|----------------------|---------------------------|------------|-----------------------------------------------------|
| r_motor_module_cfg.h | SPEED_CFG_FLUX_WEAKENING | MTR_ENABLE | MTR_ENABLE: 弱め磁束制御を有効化 MTR_DISABLE: 弱め磁束制御を無効化 |
| | SPEED_CFG_MTPA | MTR_ENABLE | MTR_ENABLE: MTPA 制御を有効化 MTR_DISABLE: MTPA 制御を無効化 |
| | SPEED_CFG_CTRL_PERIOD | 0.000200f | 速度制御周期 [s] |
| | SPEED_CFG_OMEGA | 50.0f | 速度制御固有周波数 [Hz] |
| | SPEED_CFG_ZETA | 1.0f | 速度制御減衰定数 |
| | SPEED_CFG_SPEED_LIMIT_RPM | 7200.0f | 速度リミット値 [rpm] |
| | SPEED_CFG_RATE_LIMIT_RPM | 3000.0f | 速度指令値変化率 [rpm/s] |

表 9-6 動作パラメータの一覧(位置制御)

| ファイル名 | マクロ名 | 設定値 | 説明 |
|----------------------|-----------------------------|--------------------------------------|-------------------|
| r_motor_module_cfg.h | POSITION_CFG_CTRL_PERIOD | 0.000200f | 位置制御周期 [s] |
| | POSITION_CFG_SPEED_FF_RATIO | 1.0f | 速度フィードフォワード係数 |
| | POSITION_CFG_DEAD_BAND | 3.0f (FA-CODER) 10.0f (EnDat 2.2) | 不感帯幅 [エンコーダカウント] |
| | POSITION_CFG_INTERVAL_TIME | 400 | 位置決め判定回数 |
| | POSITION_CFG_OMEGA | 10.0f | 位置制御固有周波数 [Hz] |
| | POSITION_CFG_BAND_LIMIT | 100.0f | 位置決め幅 [エンコーダカウント] |
| | POSITION_CFG_ACCEL_TIME | 0.5f | 加減速時間 [s] |

表 9-7 動作パラメータの一覧(位置オフセット取得)

| ファイル名 | マクロ名 | 設定値 | 説明 |
|----------------------|----------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------|
| r_motor_module_cfg.h | ANGLE_ADJ_RAMP_UP_TIME | 1.0f | d 軸電流指令値のランプアップ時間 |
| | ANGLE_ADJ_RAMP_DOWN_TIME | 0.5f | d 軸電流指令値のランプダウン時間 |
| | ANGLE_ADJ_90DEG_CURRENT_RAMP_UP | 1.0f | 電気角 90 deg の方向へ励磁する時間 |
| | ANGLE_ADJ_90DEG_CURRENT_RAMP_UP | 1.5f | 電気角 90 deg の方向への励磁を終了する時間 |
| | ANGLE_ADJ_0DEG_CURRENT_RAMP_UP | 2.5f | 電気角 0 deg の方向へ励磁する時間 |
| | ANGLE_ADJ_0DEG_CURRENT_RAMP_DOWN | 3.0f | 電気角 0 deg の方向への励磁を終了する時間 |
| | ANGLE_ADJ_CURRENT_RAMP_UP_RATE | 0.00004375f | ランプアップ時の d 軸電流指令値の変化率 [A / 電流制御周期] |
| | ANGLE_ADJ_CURRENT_RAMP_DOWN_RATE | 0.0004375f | ランプダウン時の d 軸電流指令値の変化率 [A / 電流制御周期] |
| | SENSOR_CFG_OFFSET_ROTOR_RAD | 3.141592f (0.5f * MTR_TWOP1) | 位置オフセットの初期値 [rad] |

9.4 保護関連パラメータ

モータを運転する際に、安全性を担保するための保護機能のパラメータを以下に示します。

表 9-8 モータパラメータ、インバータパラメータ設定

| ファイル名 | マクロ名 | 設定値 | 説明 |
|------------------------|---------------------------------|-------|--------------|
| r_motor_inverter_cfg.h | INVERTER_CFG_CURRENT_LIMIT | 12.0f | 過電流リミット値 [A] |
| | INVERTER_CFG_OVERVOLTAGE_LIMIT | 28.0f | 過電圧リミット値 [V] |
| | INVERTER_CFG_UNDERVOLTAGE_LIMIT | 20.0f | 低電圧リミット値 [V] |

INVERTER_CFG_CURRENT_LIMIT

インバータが出力可能な最大の電流値から、安全マージンをとった電流値を設定します。

INVERTER_CFG_OVERVOLTAGE_LIMIT

過電圧保護が動作する電圧を設定します。インバータ母線電圧が、設定した電圧超となると、エラーとなり、モータの動作が停止します。ご使用される電源環境に合わせて設定してください。

INVERTER_CFG_UNDERVOLTAGE_LIMIT

低電圧保護が動作する電圧を設定します。インバータ母線電圧が、設定した電圧未満となると、エラーとなり、モータの動作が停止します。ご使用される電源環境に合わせて設定してください。

9.5 PWM 変調方式の設定

本サンプルプログラムでは、PWM 変調方式を2種類から設定することができます。デフォルトは空間ベクトルPWM(MOD_METHOD_SVPWM)となります。変調機能のコンフィグ情報一覧を表 9-9 に示します。

PWM 変調方式を正弦波変調に変更した場合、電圧利用率が 86%に制約され、モータに適切な電圧が出力できず、所望の電圧を得るにはインバータ母線電圧を高く設定する必要があります。空間ベクトル変調を使用した場合、電圧利用率はインバータ母線電圧に対して 100%利用できます。

表 9-9 コンフィグレーション情報一覧

| ファイル名 | マクロ名 | 設定値 |
|----------------------|-------------------------------|------------------|
| r_motor_module_cfg.h | CURRENT_CFG_MODULATION_METHOD | MOD_METHOD_SVPWM |

表 9-10 PWM 変調方式の設定項目

| PWM 変調方式設定マクロ | 値 | PWM 変調方式 |
|------------------|---|----------|
| MOD_METHOD_SPWM | 0 | 正弦波変調 |
| MOD_METHOD_SVPWM | 1 | 空間ベクトル変調 |

PWM 変調には以下の設定項目があります。通常は、デフォルト値のままでご使用ください。

表 9-11 マクロ一覧

| ファイル名 | マクロ名 | 設定値 | 説明 |
|------------------------------|-----------------------|---------|------------------------------------|
| r_motor_current_modulation.h | MOD_DEFAULT_MAX_DUTY | 1.0f | 最大 PWM デューティ比。通常は 1.0f のままとしてください。 |
| | MOD_VDC_TO_VAMAX_MULT | 0.6124f | インバータ母線電圧で出力可能な最大電圧を得るための変換係数 |
| | MOD_SVPWM_MULT | 1.155f | 空間ベクトル PWM を使用した場合のみ。空間ベクトル PWM 係数 |

9.6 インバータパラメータ

9.6.1 概要

サンプルプログラムを使用する際に、インバータの情報を正しく設定する必要があります。サンプルプログラムで設定されているインバータパラメータを表 9-12 に示します。

表 9-12 インバータパラメータ設定

| ファイル名 | マクロ名 | 設定値 | 説明 |
|------------------------|--------------------------------------|------------|---------------------------------|
| r_motor_inverter_cfg.h | INVERTER_CFG_SHUNT_RESIST | 0.008f | シャント抵抗値 [ohm] |
| | INVERTER_CFG_DEADTIME | 1.0f | デッドタイム [us] |
| | INVERTER_CFG_VOLTAGE_GAIN | 22.702127f | 電圧検出用係数 |
| | INVERTER_CFG_CURRENT_AMP_GAIN | 1.0f | 電流検出用アンプのゲイン |
| | INVERTER_CFG_CURRENT_LIMIT | 12.0f | 過電流リミット値 [A] |
| | INVERTER_CFG_OVERVOLTAGE_LIMIT | 28.0f | 過電圧リミット値 [V] |
| | INVERTER_CFG_UNDERVOLTAGE_LIMIT | 20.0f | 低電圧リミット値 [V] |
| | INVERTER_CFG_INPUT_V | 24.0f | 入力電圧 [V] |
| | INVERTER_CFG_VDC_ADC_REF_VOLTAGE | 1.8f | AD 変換基準電圧 [V] |
| | INVERTER_CFG_CURRENT_ADC_REF_VOLTAGE | 0.640f | デルタシグマ変調器入力電圧範囲 [V] |
| | INVERTER_CFG_DSM_POWER_ON_DELAY | 0.025f | PWM 信号入力後、電流検出が可能なるまでのウェイト時間[s] |
| | INVERTER_CFG_VDC_LPF_OMEGA | 10.0f | ローパスフィルタ帯域 [Hz] |
| | INVERTER_CFG_COMP_V0 | 0.096f | 電圧誤差補償係数 [V] |
| | INVERTER_CFG_COMP_V1 | 0.192f | |
| | INVERTER_CFG_COMP_V2 | 0.288f | |
| | INVERTER_CFG_COMP_V3 | 0.384f | |
| | INVERTER_CFG_COMP_V4 | 0.480f | |
| | INVERTER_CFG_COMP_I0 | 0.056f | 電圧誤差補償係数 [A] |
| | INVERTER_CFG_COMP_I1 | 0.112f | |
| | INVERTER_CFG_COMP_I2 | 0.176f | |
| INVERTER_CFG_COMP_I3 | 0.240f | | |
| INVERTER_CFG_COMP_I4 | 0.400f | | |

9.6.2 電流検出ゲイン

RZ/T Series Inverter board では表 9-13 に示すように、電流の大きさによってデルタシグマ変調器に入力される電圧値と DSMIF 変換値が規定されています。

表 9-13 RZ/T Series Inverter board の電流信号仕様

| 3 相出力電流値 | デルタシグマ変調器の入力電圧値 | DSMIF 変換値 |
|----------|-----------------|-----------|
| +40.0A | 0.32 V | 4095 |
| 0A | 0.0 V | 2047 |
| -40.0A | -0.32 V | 0 |

本サンプルプログラムは電流の検出ゲインを設定するために以下のマクロを使用します。

`INVERTER_CFG_CURRENT_AMP_GAIN`

本サンプルプログラムでは `INVERTER_CFG_CURRENT_AMP_GAIN` に 1.0 を設定しています。

`INVERTER_CFG_SHUNT_RESIST`

シャント抵抗の抵抗値を設定します。RZ/T Series Inverter Board に搭載されているシャント抵抗の値は 0.008 [ohm] です。

`INVERTER_CFG_CURRENT_ADC_REF_VOLTAGE`

RZ/T Series Inverter board に搭載されているデルタシグマ変調器(RV1S9355)の入力電圧範囲を設定します。`INVERTER_CFG_CURRENT_ADC_REF_VOLTAGE` にはデルタシグマ変調器(RV1S9355)の入力フルスケール電圧範囲 0.640 [V]を設定しています。

`st_motor_driver_t` 型構造体のメンバ変数 `f4_ad_crnt_per_digit`

`f4_ad_crnt_per_digit` は DSMIF 変換値 1 カウントあたりの電流値を示します。`f4_ad_crnt_per_digit` の計算式を以下に示します。

$$\begin{aligned}
 f4_ad_crnt_per_digit \left[\frac{A}{digit} \right] &= \frac{INVERTER_CFG_CURRENT_ADC_REF_VOLATGE [V]}{MOTOR_MCU_CFG_AD12BIT_DATA [digit]} \\
 &\times \frac{INVERTER_CFG_CURRENT_AMP_GAIN(1.0) \times INVERTER_CFG_SHUNT_RESISIT [\Omega]}{1} \\
 &= 0.01953692 [A/digit]
 \end{aligned}$$

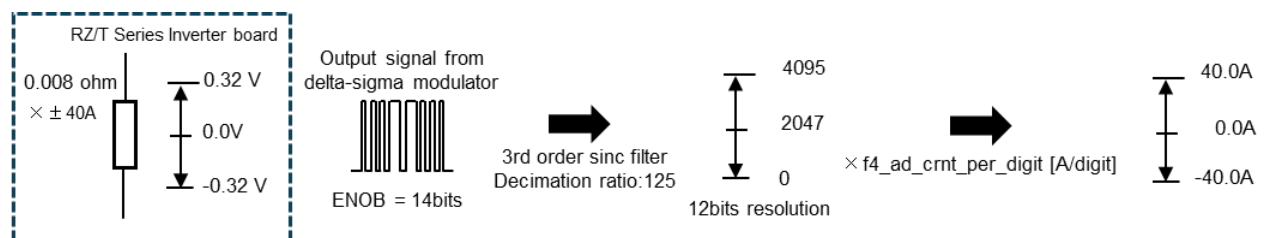


図 9-1 電流検出の計算の流れ

9.6.3 電圧検出ゲイン

電圧検出ゲインは、INVERTER_CFG_VOLTAGE_GAIN で設定します。

ADC で入力する電圧 1V あたり、インバータ母線電圧で何 V に相当するかを求める係数を設定します。ADC に入力される電圧 1.8V で 39.06383V に相当する場合は、 $39.06383 / 1.8 = 21.70213$ となるため、INVERTER_CFG_VOLTAGE_GAIN には、21.70213 を設定します。

$$\text{INVERTER_CFG_VOLTAGE_GAIN} = \frac{\text{インバータ母線電圧の基準}}{\text{基準となるときのADC入力電圧}} = \frac{39.06383}{1.8} = 21.70213$$

表 9-14 RZ/T Series Inverter board のインバータ母線電圧信号仕様

| インバータ母線電圧値 | ADC 入力電圧値 | ADC 変換値 |
|------------|-----------|---------|
| 0V | 0V | 0 |
| 39.06383V | 1.8V | 4095 |

9.6.4 電圧誤差補償パラメータ

電圧誤差補償の機能の使用及び設定方法について説明します。以下の 3 点の設定が必要となります。

① デッドタイム値の選定

インバータに使用されているパワー半導体の特性により、デッドタイム値は決定されます。本サンプルソフトでは、RZ/T Series Inverter board の特性に則して $1.0\mu\text{s}$ に設定しています。FSP 設定に入力場所が用意されていますので、選定したデッドタイム値を反映させてください。

② 電圧誤差機能有効フラグの設定

電流制御モジュールの制御パラメータ設定(R_MOTOR_CURRENT_ParameterUpdate)呼び出し時に、電圧誤差補償機能の有効/無効使用有無フラグ(u1_flag_volt_err_comp_use)を MTR_FLG_SET に設定することで機能が有効になります。無効にする場合は、上記フラグを MTR_FLG_CLR に設定してください。

③ 電圧補償テーブルの設定

実機のインバータで、電流を流したスイッチング試験を行うか、デッドタイムとキャリア周期の関係から求まるデッドタイム分の電圧誤差値を用いて、電圧補償テーブルを作成します。スイッチング試験で得られた電流と電圧の関係が求めると、より効果的な電圧補償テーブルに設定可能な値が得られます。

また、補償電圧値のリミットは以下の式で計算できます。

$$\text{補償電圧リミット} = (\text{キャリア周期} [\text{kHz}] \times \text{デッドタイム時間} [\mu\text{s}] \div 1000) \times \text{母線電圧値}$$

ゼロクロス付近の傾斜は、 I_u と V_u ($I_v - V_v$, $I_w - V_w$) の関係が実験的に得られない場合は、上記の式と、主回路の特性を考慮して机上計算し、テーブルを求める必要があります。

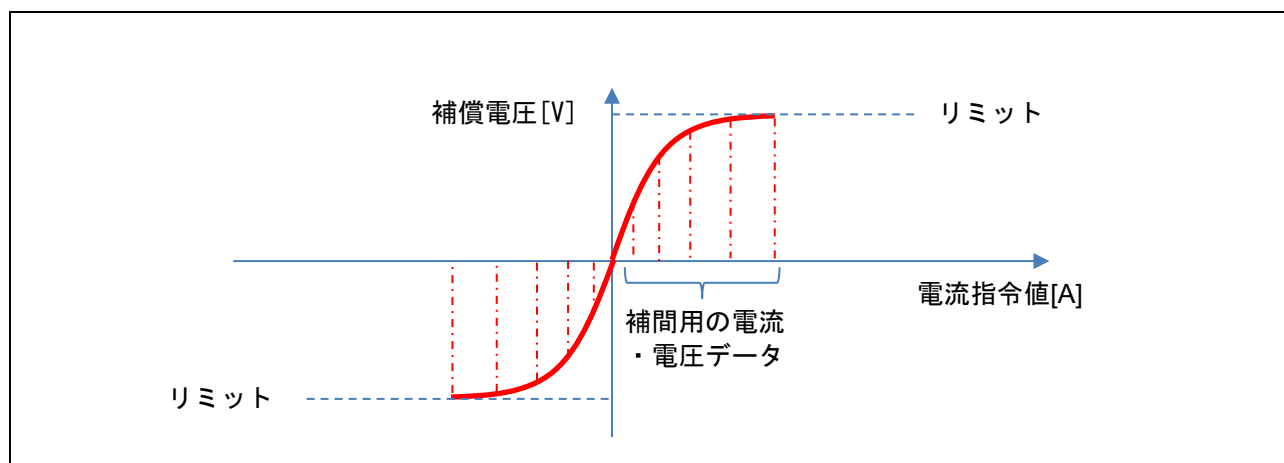


図 9-2 補償電圧値とリミット、電流指令値の関係

表 9-15 キャリア周期と補間用の電流・電圧データ

| キャリア周期 | | 20kHz |
|--------|-------|-------------|
| | lu | ΔVu |
| 0 | 0.00 | 0.00 |
| 1 | 0.056 | 0.096 |
| 2 | 0.112 | 0.192 |
| 3 | 0.176 | 0.288 |
| 4 | 0.240 | 0.384 |
| 5 | 0.400 | 0.480 |

9.7 モータパラメータ

モータのメーカーから、モータパラメータの情報が得られない場合、LCRメータを用いてR,Ld,Lqのモータパラメータを簡易的に得ることができます。また、オシロスコープを用いることで、簡易的に誘起電圧を得ることができます。ここで説明した方法は、磁気飽和などを考慮せず、またモータを速やかに回す事を考慮した、簡易的な方法であり、個体差や測定誤差を含んでいます。このため、実際の製品開発でパラメータを使用する際には、精度を担保した測定設備を用いて、測定を行ってください。

LCRメータは、定期的に校正をされたもので、電源を起動して30分以上経過させたウォーミングアップ完了状態で測定してください。また、4端子法を用いて、プローブの誤差を低減するため、オープン補正とショート補正をあらかじめ行ってください。詳細は、LCRメータの取扱説明書を参照してください。

サンプルプログラムを使用する際に、インバータの情報と使用するモータの情報を正しく設定する必要があります。サンプルプログラムの設定値を表9-16に示します。

表 9-16 モータパラメータ設定

| ファイル名 | マクロ名 | 設定値 | 説明 |
|---------------------------|-------------------------------|------------|--------------------------------|
| r_motor_targetmotor_cfg.h | MOTOR_CFG_POLE_PAIRS | 5 | 極対数 |
| | MOTOR_CFG_MAGNETIC_FLUX | 0.003684f | 磁束 [Wb] |
| | MOTOR_CFG_RESISTANCE | 0.626f | 抵抗 [ohm] |
| | MOTOR_CFG_D_INDUCTANCE | 0.000574f | d 軸のインダクタンス [H] |
| | MOTOR_CFG_Q_INDUCTANCE | 0.000813f | q 軸のインダクタンス [H] |
| | MOTOR_CFG_ROTOR_INERTIA | 0.0000023f | ロータのイナーシャ [kg m ²] |
| | MOTOR_CFG_NOMINAL_CURRENT_RMS | 3.5f | 定格電流 [A] |
| | MOTOR_CFG_MAX_SPEED_RPM | 6000.0f | 最大速度 [rpm] |

MOTOR_CFG_POLE_PAIRS

PM モータの極対数を設定します。極対数は、極数を 1/2 した値となります。PM モータの仕様書を参照してください。

MOTOR_CFG_RESISTANCE

LCR メータで測定する際の配線は、モータの三相出力線 U,V,W のうち、2 つを選び、プローブをつなげてください。抵抗値を求める場合は、直流抵抗(DCR)のモードを用いて、測定します。得られた抵抗値は、2 相分の合成抵抗となっていますので、1/2 をすることで、1 相分のモータの抵抗値を得ることができます。得られた抵抗 R は、r_motor_targetmotor_cfg.h の MOTOR_CFG_RESISTANCE に設定してください。単位は Ω となります。

MOTOR_CFG_D_INDUCTANCE, MOTOR_CFG_Q_INDUCTANCE

LCR メータで測定する際の配線は、モータの三相出力線 U,V,W のうち、2 つを選び、プローブをつなげてください。計測モードは、直列等価回路モード(Ls)で行います。詳細な測定方法は、LCR メータの取扱説明書を参照ください。

軸をゆっくり回し、表示されるインダクタンスの最大値と最小値をメモします。このとき、最大値の 1/2 が、Lq となり、最小値の 1/2 の値が Ld となります。

得られた Ld 及び Lq は、r_motor_targetmotor_cfg.h の MOTOR_CFG_D_INDUCTANCE, MOTOR_CFG_Q_INDUCTANCE に設定してください。単位は H(ヘンリー)です。

MOTOR_CFG_ROTOR_INERTIA

モータの回転子・軸のイナーシャ(慣性モーメント)を設定します。単位は、kg m²です。通常、モータに添付された資料に記述があります。負荷を取り付ける場合には、負荷側のイナーシャも加えて設定してください。

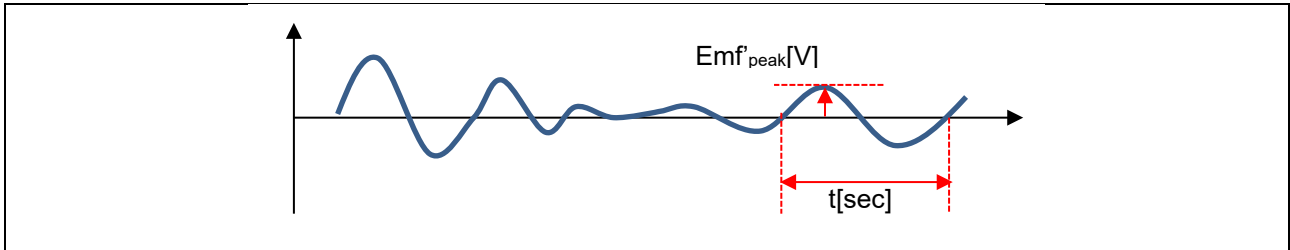
MOTOR_CFG_NOMINAL_CURRENT_RMS

モータの定格電流(実効値)を設定してください。単位はアンペアです。モータの銘板または添付資料に記載されています。

MOTOR_CFG_MAGNETIC_FLUX

モータの三相出力線 U,V,W のうち、2つを選び、オシロスコープにつなげてください。例えば、U 相と V 相を、オシロスコープのプロブを当てて、電圧を測れるようにします。モータの軸の先には、定格速度で回転できるモータを繋げて定格速度で回転させると、U-V 相の線間電圧値が得られます。線間電圧値を $\sqrt{3}$ で割ることで、相あたりの誘起電圧のピーク値が得られます。鎖交磁束数 Ψ は、誘起電圧 $=\omega\Psi$ の式から求められますから、定格速度を電気角速度の周波数 f [Hz]に換算し、 $\omega=2\pi f$ に置き換え、誘起電圧 $=2\pi f\Psi$ となり、式を変形し、値を代入することで鎖交磁束 Ψ [Wb]が得られます。

軸の先にモータを取り付けできない等の場合には、精度は保証されず、試運転目的のみでの利用となりますが、手で素早く回転させ、電圧波形を取得して簡易的に求める手法も使用できます。手で回した際に、以下のようなイメージで電圧波形が得られますが、このとき、正弦波で一定速に近い周期を選び、電圧のピークと周期を求めます。



本アルゴリズムではピーク値を実効値に換算する必要があるため $\sqrt{2}$ で割って実効値 Emf'_{rms} を得ます。

$$Emf'_{rms}[V] = Emf'_{peak}[V] \times \frac{1}{\sqrt{2}}$$

得られた時間 t [sec]を Hz に直すため、 $f=1/t$ の式にあてはめます。得られた f [Hz]と、この PM モータの定格速度から得られる電気角周波数[Hz]の比を求め、同時に得られた電圧 Emf_{rms} [V]に比を掛け算します。

$$Emf[V] = Emf'_{rms}[V] \times \frac{\text{電気角周波数[Hz]}}{f'[Hz]}$$

この結果、この PM モータの定格速度で回転した時に発生する、誘起電圧[V]が簡易的に求められます。実際に誘起電圧を求める場合には、負荷試験装置を使い、定格速度でモータの軸を回転させて測定する必要があります。

次に誘起電圧から、磁束鎖交数 Ψ [Wb]を求めます。一般的に、誘起電圧と磁束鎖交数には以下のような関係式があります。 f は、定格速度時の電気角周波数[Hz]です。

$$Emf[V] = \omega\Psi = 2\pi f\Psi$$

式を変形し、上記で得られた誘起電圧 Emf [V]と、定格速度運転時の電気角周波数[Hz]を代入することで、磁束鎖交数 Ψ [Wb]を求められます。

$$\Psi = \frac{Emf[V]}{2\pi f}$$

得られた磁束鎖交数 Ψ は、`r_motor_targetmotor_cfg.h` の `MOTOR_CFG_MAGNETIC_FLUX` に設定してください。

9.8 電流制御パラメータ

電流制御パラメータを表 9-17 に示します。モータのパラメータや PWM キャリア周波数、所望の電流応答性能によって電流制御のパラメータを算出します。

表 9-17 に示す電流制御パラメータのマクロは、起動時に内部の変数に設定・反映されますが、起動後に調整が必要な場合には、RMW から調整することが可能なパラメータが以下の 2 点、用意されています。表 8-7 を参照してください。すべてのパラメータを変更できるものではありませんので、ご注意ください。

電流制御系固有周波数 : `com_f4_current_omega_hz`

電流制御系減衰係数 : `com_f4_current_zeta`

表 9-17 電流制御パラメータの一覧

| ファイル名 | マクロ名 | 設定値 | 説明 |
|----------------------|------------------------------|----------|-----------------|
| r_motor_module_cfg.h | CURRENT_CFG_OFFSET_CALC_TIME | 512.0f | 電流オフセットの測定時間設定 |
| | CURRENT_CFG_OMEGA | 1000.0 f | 電流制御系固有周波数[Hz] |
| | CURRENT_CFG_ZETA | 1.0f | 電流制御系減衰係数 |
| | CURRENT_CFG_RATE_LIMIT | 0.0004f | 電流指令変化率制限[A/周期] |

CURRENT_CFG_OFFSET_CALC_TIME

起動時に、電流検出のオフセットを測定するときに、オフセット値の測定回数を指定します。通常はデフォルトのままをご利用ください。

CURRENT_CFG_OMEGA, CURRENT_CFG_ZETA

電流制御系固有周波数と電流制御系減衰係数を調整して制御のゲインを調整します。電流制御系固有周波数は、電流制御を行う頻度に比例して設定してください。電流制御周波数(PWM キャリア周波数)の約 1/10 まで設定できますが、位置検出と電流検出のノイズなどを考慮し、マージンを設けて低く設定する場合があります。

たとえば、電流制御周波数が 20kHz(50us 間隔で電流制御が動作)のときは、1/10 まで設定できますので、電流制御系固有周波数は 2kHz を指定できます。しかし、実際には、モータのパラメータの電気定数に起因して、固有周波数が高いと敏感に反応しすぎる場合があります、2kHz よりも下の周波数(たとえば 500Hz~1kHz)程度に設定することが多いです。

電流制御系減衰係数は、0.7~1.0 が常用範囲です。1.0 に近いほど安定で緩やかな応答になります。

CURRENT_CFG_RATE_LIMIT

トルク制御時に、電流指令値が急激に増大しないように、変化率を制限します。1 電流制御周期あたりに変化してもよい電流値[A]を指定します。デフォルトでは、電流制御周期は 25us となっているため、この値を 0.0004[A]とした場合、1 秒あたり 16A の変化まで許容されます。

9.9 速度制御パラメータ

速度制御系のパラメータを、表 9-18 に示します。設定した値が初期値となり、システム起動時に適用されます。表 9-18 に示す速度制御パラメータのマクロは、起動時に内部の変数に設定・反映されますが、起動後に調整が必要な場合には、RMW から調整することが可能なパラメータが以下のように、用意されています。表 8-7 を参照してください。RMW 上で、すべての速度制御パラメータを変更できるものではありませんので、ご注意ください。

速度制御系固有周波数 : `com_f4_speed_omega_hz`

速度制御系減衰係数 : `com_f4_speed_zeta`

表 9-18 速度制御パラメータの一覧

| ファイル名 | マクロ名 | 設定値 | 説明 |
|----------------------|---------------------------|-----------|------------------|
| r_motor_module_cfg.h | SPEED_CFG_CTRL_PERIOD | 0.000200f | 制御周期設定 [s] |
| | SPEED_CFG_OMEGA | 50.0f | 速度制御系固有周波数 [Hz] |
| | SPEED_CFG_ZETA | 1.0f | 速度制御系減衰係数 |
| | SPEED_CFG_SPEED_LIMIT_RPM | 7200.0f | 速度制限値[rpm] (機械角) |
| | SPEED_CFG_RATE_LIMIT_RPM | 3000.0f | 加速度制限 [rpm/s] |

SPEED_CFG_CTRL_PERIOD

本サンプルプログラムの速度制御周期は 200 us です。SPEED_CFG_CTRL_PERIOD には 0.000200 を設定します。

SPEED_CFG_OMEGA, SPEED_CFG_ZETA

速度制御モジュールでは、速度制御系固有周波数と速度制御系減衰係数を調整して制御のゲインを調整します。速度制御系固有周波数を高くすると、応答性が向上し指令速度に対する速度の追従性が向上します。速度制御系固有周波数は電流制御との干渉を防ぐため、設定できる上限が電流制御系の固有周波数の 1/3 となっています。電流制御系の固有周波数が 500Hz であった場合には、500Hz/3=166Hz となります。

速度制御系減衰係数は 0.7~1.0 は常用範囲とし、1.0 に近いほど安定で緩やかな応答になります。速度の応答を確認しながら調整を行ってください。

SPEED_CFG_RATE_LIMIT_RPM

速度指令値を設定した時に、速度が上昇するスピード(加速度)を設定します。値を大きくすると、早く速度が上昇します。100 を指定した時、1 秒当たり 100rpm、上昇します。停止から 2000rpm まで 20 秒で到達します。

9.10 位置制御パラメータ

位置制御系のパラメータを表 9-19 に示します。

表 9-19 位置制御系のパラメータ一覧

| ファイル名 | マクロ名 | 設定値 | 説明 |
|----------------------|-----------------------------|-------------------------------------|------------------|
| r_motor_module_cfg.h | POSITION_CFG_CTRL_PERIOD | 0.000200f | 制御周期 [s] |
| | POSITION_CFG_SPEED_FF_RATIO | 1.0f | 速度フィードフォワード係数 |
| | POSITION_CFG_DEAD_BAND | 3.0f(FA-CODER) 10.0f (EnDat 2.2) | 不感帯幅 [エンコーダカウント] |
| | POSITION_CFG_OMEGA | 10.0f | 位置制御系固有周波数 [Hz] |
| | POSITION_CFG_ACCEL_TIME | 0.5f | 加減速時間 [s] |

POSITION_CFG_CTRL_PERIOD

本サンプルプログラムの位置制御周期は 200 us です。POSITION_CFG_CTRL_PERIOD には 0.000200 を設定します。

POSITION_CFG_SPPED_FF_RATIO

速度指令値を 100%フィードフォワードするために 1.0 を設定します。

POSITION_CFG_DEAD_BAND

本サンプルプログラムの不感帯幅は FA-CODER 使用時は 0.008 deg、EnDat 2.2 使用時は 0.007 deg とするために POSITION_CFG_DEAD_BAND の値を設定しています。

POSITION_CFG_OMEGA

本サンプルプログラムは位置制御系固有周波数が速度制御系固有周波数の 1/5 となるように設定しています。

POSITION_CFG_ACCEL_TIME

台形速度制御の加減速時間のデフォルト値は 0.5 s です。イナーシャや電流値を考慮して設定を行ってください。

RMW からパラメータ調整を行うときに使用する com 変数を表 9-20 に示します。

表 9-20 位置制御に関連する com 変数

| 変数 | 説明 |
|--------------------------|---------------------------------------------------------|
| com_u1_pos_cmd_mode | 位置制御指令モード 0: 位置指令値を 0 [rad]に固定 1: ステップ 2: 台形速度 |
| com_u2_pos_interval_time | 位置決め待ち時間 |
| com_u2_pos_dead_band | 不感帯 [エンコーダカウント] |

| | |
|------------------------------|---------------------|
| com_u2_pos_band_limit | 位置決め完了幅 [エンコーダカウント] |
| com_f4_pos_omega_hz | 位置制御系固有周波数[Hz] |
| com_f4_pos_ff_ratio | 速度フィードフォワード比例係数 |
| com_f4_accel_time | 加減速時間 [s] |
| com_f4_posprof_max_speed_rpm | 台形速度制御の最大速度 [rpm] |

9.11 電圧位相進み補償パラメータ

電流検出タイミングを基準として、実際にPWMが出力されるタイミングまで角度を進ませるための補償値です。本サンプルプログラム及びインバータ構成では、0.5サンプル進ませることで、PWM出力タイミングを一致させることができます。

表 9-21 コンフィグレーション情報一覧

| ファイル名 | マクロ名 | 設定値 | 説明 |
|----------------------|------------------------------|------|----------------------------------|
| r_motor_module_cfg.h | CURRENT_CFG_PERIOD_MAG_VALUE | 0.5f | 進み補償を行うサンプル数を設定します。0.5を設定してください。 |

10. FSP 設定

10.1 クロック設定

表 10-1 クロック設定

| クロック | 設定クロック |
|-----------|---------|
| CPU0CLOCK | 800 MHz |
| ICLK | 200 MHz |
| PCLKH | 200 MHz |
| PCLKM | 100 MHz |
| PCLKL | 50 MHz |
| PCLKGPTL | 400 MHz |
| PCLKSCIn | 96 MHz |
| ENCLKA | 200 MHz |
| ENCLKB | 150 MHz |
| ENCLKC | 50 MHz |

10.2 割り込み設定

表 10-2 割り込み設定

| イベント | 割り込み関数 |
|----------------------------------------------------------|---------------------------|
| GPT_OVF (GPT1 GTCNT overflow (GTPR compare match)) | gpt_counter_overflow_isr |
| GPT_UDF (GPT1 GTCNT underflow) | gpt_counter_underflow_isr |
| POEG0_GROUP0 (POEG group interrupt for channels in LLPP) | poeg_event_isr |
| SCI2_ERI (SCI2 Receive error) | sci_uart_eri_isr |
| SCI2_RXI (SCI2 Receive data full) | sci_uart_rxi_isr |
| SCI2_TXI (SCI2 Transmit data empty) | sci_uart_txi_isr |
| SCI2_TEI (SCI2 Transmit end) | sci_uart_tei_isr |
| ADC0_ADI (ADC0 A/D scan end interrupt) | adc_scan_end_isr |
| ENCIF_INT0 (ENCIF CH0 Interrupt A) | enc_ch0_int_isr |

10.3 ELC 設定

表 10-3 ELC 設定

| ペリフェラル | イベント |
|-----------------|-----------------------------------------|
| ENCIF TRG0 | GPT_UDF (GPT1 GTCNT underflow) |
| ADC0 A | GPT_CMPD (GPT1 GTCCRD compare match) |
| DSMIF0 CAP TRG0 | GPT_ADTRGA (GPT1 GTADTRA compare match) |
| DMSIF0 CAP TRG1 | GPT_ADTRGB (GPT1 GTADTRB compare match) |

10.4 DSMIF 設定

表 10-4 DSMIF 設定(r_dsmif)

| プロパティ | 設定値 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| General - Name | g_dsmif |
| General - Unit | 0 |
| Extra - Channel Synchronization - Counter Reset - Division counter initialization trigger | No Trigger |
| Extra - Channel Synchronization - Counter Reset - Edge | Positive Edge |
| Extra - Channel Synchronization - Capture Trigger A | Trigger 0 |
| Extra - Channel Synchronization - Capture Trigger B | Trigger 1 |

表 10-5 DSMIF 設定(DSMIF0 Channel 0,1,2)

| プロパティ | 設定値 |
|----------------------------------------------|------------------|
| A/D Convert - Clock - Clock Mode | Slave |
| A/D Convert - Sinc Filter - Filter Order | Filter Order 3rd |
| A/D Convert - Sinc Filter - Decimation Ratio | 125 |

【注】 RZ/T Series Inverter Board に搭載されているデルタシグマ変調器 RV1S9355 の出力クロック周波数は 20MHz です。本サンプルプログラムでは DSMIF はデルタシグマ変調器から入力される MCLK 信号に基づいて動作します。

【注】 sinc フィルタのフィルタ次数、デシメーション比、遅延時間の詳細は 7.4.2 を参照してください。

10.5 POEG 設定

表 10-6 POEG 設定

| プロパティ | 設定値 |
|--------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| General - Trigger | GTETRГ Pin GPT Output level |
| General - Name | g_poeg0 |
| General - Channel | 0 |
| General - Group | A |
| Input - GTETRГ Polarity | Active High |
| Input - GTETRГ Noise Filter (Base clock CH0=PCLKH, Other=PCLKL) | DIV8 |
| Interrupts - Callback | callback_poeg0_overcurrent |
| Interrupts - Interrupt Priority | Priority 0(highest) |

10.6 GPT 設定

表 10-7 GPT 設定(r_gpt_three_phase)

| プロパティ | 設定値 |
|-------------------------------------------------------------------|------------------------------|
| General - Name | g_three_phase |
| General - Mode | Triangle-Wave Asymmetric PWM |
| General - Period | 50 |
| General - Period Unit | Microseconds |
| General - GPT U-Unit | 0 |
| General - GPT U-Channel | 1 |
| General - GPT V-Unit | 0 |
| General - GPT V-Channel | 2 |
| General - GPT W-Unit | 0 |
| General - GPT W-Channel | 3 |
| General - Callback Channel | U-Channel |
| General - Buffer Mode | Single Buffer |
| General - GTIOCA Stop Level | Pin Level Low |
| General - GTIOCB Stop Level | Pin Level High |
| Extra Features - Dead Time - Dead Time Count Up (Raw Counts) | 400 |
| Extra Features - Dead Time - Dead Time Count Down (Raw Counts) | 400 |

表 10-8 GPT 設定(r_gpt, ch1)

| プロパティ | 設定値 |
|------------------------------------------------------------------|------------------------------|
| Output - Duty Cycle Percent | 50 |
| Interrupts - Callback | callback_gpr1_udf_cyclic |
| Interrupts - Overflow/Crest Interrupt Priority | Priority 4 |
| Interrupts - Trough Priority | Priority 4 |
| Extra Features - Output Disable - Output Disable POEG Trigger | GTIOCA and GTIOCB High Level |
| Extra Features - Output Disable - POEG Link | POEG Channel 0 |
| Extra Features - Output Disable - GTIOCA Disable Setting | Set Hi Z |
| Extra Features - Output Disable - GTIOCB Disable Setting | Set Hi Z |

| | |
|----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Extra Features - ADC Trigger - Start Event Trigger | Trigger Event A/D Converter Start Request A During Up Counting Trigger Event A/D Converter Start Request B During Down Counting |
| Extra Features - ADC Trigger - ADC A Compare Match(Raw Counts) | 3800 |
| Extra Features - ADC Trigger - ADC B Compare Match(Raw Counts) | 6200 |

表 10-9 GPT 設定(r_gpt, ch2, ch3)

| プロパティ | 設定値 |
|----------------------------------------------------------------|------------------------------|
| Output - Duty Cycle Percent | 50 |
| Interrupts - Callback | NULL |
| Interrupts - Overflow/Crest Interrupt Priority | Disabled |
| Interrupts - Trough Priority | Disabled |
| Extra Features - Output Disable - Output Disable POEG Trigger | GTIOCA and GTIOCB High Level |
| Extra Features - Output Disable - POEG Link | POEG Channel 0 |
| Extra Features - Output Disable - GTIOCA Disable Setting | Set Hi Z |
| Extra Features - Output Disable - GTIOCB Disable Setting | Set Hi Z |
| Extra Features - ADC Trigger - Start Event Trigger | None |
| Extra Features - ADC Trigger - ADC A Compare Match(Raw Counts) | 0 |
| Extra Features - ADC Trigger - ADC B Compare Match(Raw Counts) | 0 |

10.7 ADC 設定

表 10-10 ADC 設定

| プロパティ | 設定値 |
|---------------------------------|---------------------|
| General - Name | g_adc0 |
| General - Unit | 0 |
| General - Clear after read | Off |
| General - Mode | Single Scan |
| General - Double-trigger | Disabled |
| Input - Channel Scan Mask | Channel 3 |
| Input - Start Trigger - Group A | ELC Trigger Group A |

| | |
|-------------------------------------|---------------------------------------------|
| Interrupts - Normal/Group A Trigger | GPT1 GTCCRC compare match |
| Interrupts - Callback | callback_adc_motor_current_cyclic_interrupt |

10.8 WDT 設定

表 10-11 WDT 設定

| Property | Value |
|-----------------------|--------------|
| Timeout | 1,024 Cycles |
| Clock Division Ratio | PCLK/4 |
| Window Start Position | 100 |
| Window End Position | 100 |
| WDT Callback | None |

10.9 端子設定

表 10-12 端子設定

| 機能 | ピン |
|-----------------------------|-----------------|
| インバータ母線電圧測定 | AN003 |
| U相電流検出用デルタシグマ変調器の MCLK 信号入力 | P00_4 / MCLK0 |
| U相電流検出用デルタシグマ変調器の MDAT 信号入力 | P00_5 / MDAT0 |
| V相電流検出用デルタシグマ変調器の MCLK 信号入力 | P15_3 / MCLK1 |
| V相電流検出用デルタシグマ変調器の MDAT 信号入力 | P15_4 / MDAT1 |
| W相電流検出用デルタシグマ変調器の MCLK 信号入力 | P15_5 / MCLK2 |
| W相電流検出用デルタシグマ変調器の MDAT 信号入力 | P15_6 / MDAT2 |
| PWM 出力(U _p) | P00_6 / GTIOC1A |
| PWM 出力(U _n) | P18_1 / GTIOC1B |
| PWM 出力(V _p) | P00_7 / GTIOC2A |
| PWM 出力(V _n) | P01_2 / GTIOC2B |
| PWM 出力(W _p) | P18_0 / GTIOC3A |
| PWM 出力(W _n) | P01_3 / GTIOC3B |
| 過電流検出信号 | P23_7 / GTETRGA |
| ENCIF(CK) | P16_3 / ENCIF4 |
| ENCIF(OE) | P16_2 / ENCIF3 |
| ENCIF(DO) | P02_0 / ENCIF2 |
| ENCIF(DI) | P11_5 / ENCIF0 |
| RXD(SCI2) | P00_1 / RXD2 |
| TXD(SCI2) | P00_2 / TXD2 |
| LED8(緑色) | P01_5 |

LED12(オレンジ色)

P18_2

11. 評価結果

11.1 加減速特性

加減速時間 10ms で台形速度制御をしたときの波形を図 11-1 に示します。



図 11-1 台形速度制御

11.2 負荷特性

3000rpm で回転しているときに定格トルク 0.095 Nm を加えたときの速度、q 軸電流、d 軸電流の応答を図 11-2 に示します。



図 11-2 負荷特性(3000rpm)

11.3 CPU 使用率

制御処理の処理時間と CPU 使用率を表 11-1 に示します。

表 11-1 制御処理の処理時間と CPU 使用率

| 制御 | 制御周期 | 処理時間 | CPU 使用率 |
|-----------|--------|--------|---------|
| 電流制御 | 25 us | 6.0 us | 25.6% |
| 位置制御・速度制御 | 200 us | 3.2 us | |

11.4 プログラムサイズ・RAM 使用量

最適化レベル None(-O0)で本サンプルプログラムをコンパイルしたときのプログラムサイズと RAM 使用量を表 11-2 に示します。

表 11-2 プログラムサイズと RAM 使用量

| | FA-CODER 使用時 | EnDat 2.2 使用時 |
|----------|-----------------|-----------------|
| プログラムサイズ | 206,244 [Bytes] | 206,500 [Bytes] |
| RAM 使用量 | 301,972 [Bytes] | 302,452 [Bytes] |

12. FAQ

表 12-1 FAQ

| 現象 | 対象法 |
|--------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| モータが動かない 過電流エラーになる | <ul style="list-style-type: none"> ・ U,V,W の断線・接触不良がないか確認してください。 ・ エンコーダ線の断線に注意してください。エンコーダ線が断線・接触不良している場合、正常にモータ制御できません。 ・ 軸がロックされているか、過負荷状態になっていないか確認してください。 |
| モータ運転時に母線電圧が低下する | モータの負荷に対して電源の出力性能不足や、モータ側でショートしている場合があります。 |
| エラーで停止後、モータを回転できない | エラーを解除する必要があります。6.9.9 を参照してください。 |
| 運転開始を行っても、エラーで停止してしまう | <ul style="list-style-type: none"> ・ 6.9.8 を参照してエラー要因を確認してください ・ インバータ母線電圧の過電圧または低電圧、出力が短絡していないか確認してください ・ センサ関連の信号設定が正しいか確認してください。 ・ FSP 設定(MTU の端子・アクティブレベル設定)等がインバータ回路仕様に合わせて適切に設定されているか確認してください。 |
| RMW に表示される変数の値が異常となってしまう | サンプルプログラムを変更したあとは MAP ファイルの登録更新が必要です。MAP ファイルの登録更新の手順については 6.8 を参照してください。 |
| RMW から値を設定しても、反映されない | <p>com_u1_enable_write の変数操作で、パラメータを書き換えます。com_u1_enable_write への数値の書き換えタイミングが、パラメータの書き込みより先の場合、内部の反映処理が先に動作します。以下のように対応してください。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ com_u1_enable_write を最後の行に置く ・ com_u1_enable_write の書き込み(1回目 : 1、二回目 : 0)を2回行う、または、トグル書き込みする |

改訂記録

| Rev. | 発行日 | 改訂内容 | |
|------|-----------|------|------|
| | | ページ | ポイント |
| 1.00 | Sep.30.25 | - | 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、リセットを解除してください。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} (Max.) から V_{IH} (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} (Max.) から V_{IH} (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、ノイズ輻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。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、お客様の責任において、お客様の機器・システムを設計ください。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みます。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. 当社製品または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. 当社製品を組み込んだ製品の輸出入、製造、販売、利用、配布その他の行為を行うにあたり、第三者保有の技術の利用に関するライセンスが必要となる場合、当該ライセンス取得の判断および取得はお客様の責任において行ってください。
 5. 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。
 6. 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）、交通管制（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も、当社は一切その責任を負いません。
 7. あらゆる半導体製品は、外部攻撃からの安全性を 100%保証されているわけではありません。当社ハードウェア/ソフトウェア製品にはセキュリティ対策が組み込まれているものもありますが、これによって、当社は、セキュリティ脆弱性または侵害（当社製品または当社製品が使用されているシステムに対する不正アクセス・不正使用を含みますが、これに限りません。）から生じる責任を負うものではありません。当社は、当社製品または当社製品が使用されたあらゆるシステムが、不正な改変、攻撃、ウイルス、干渉、ハッキング、データの破壊または窃盗その他の不正な侵入行為（「脆弱性問題」といいます。）によって影響を受けないことを保証しません。当社は、脆弱性問題に起因したまたはこれに関連して生じた損害について、一切責任を負いません。また、法令において認められる限りにおいて、本資料および当社ハードウェア/ソフトウェア製品について、商品性および特定目的との合致に関する保証ならびに第三者の権利を侵害しないことの保証を含め、明示または黙示のいかなる保証も行いません。
 8. 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。
 9. 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。
 10. 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て、当社は、一切その責任を負いません。
 11. 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。
 12. 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したします。
 13. 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。
 14. 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な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.5.0-1 2020.10)

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

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。

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/