

RL78/G24

永久磁石同期モータの 120 度通電制御

要旨

本アプリケーションノートは RL78/G24 マイクロコントローラを使用し、永久磁石同期モータを 120 度通電方式で駆動するサンプルプログラム及びモータ制御開発支援ツール「Renesas Motor Workbench (RMW)」の使用方法について説明することを目的としています。

サンプルプログラムはあくまで参考用途であり、弊社がこの動作を保証するものではありません。サンプルプログラムを使用する場合、適切な環境で十分な評価をした上でご使用ください。本アプリケーションノート掲載開発環境での事故、損害等が発生した場合、一切の責任を負いません。

動作確認デバイス

サンプルプログラムの動作確認は以下のデバイスで行っております。

- RL78/G24(R7F101GLG2DFB)

対象サンプルプログラム

本アプリケーションノートの対象サンプルプログラムを下記に示します。

- RL78G24_MCEK_120_CSP_CC_V100 (IDE: CS+ for CC)
- RL78G24_MCEK_120_E2S_CC_V100 (IDE: e2studio)

参考資料

- 永久磁石同期モータの 120 度通電制御 (アルゴリズム編) (R01AN2657JJ0120)
- RL78/G24 ユーザーズマニュアル ハードウェア編 (R01UH0961JJ0110)
- Renesas Motor Workbench 3.1.2 ユーザーズマニュアル (R21UZ0004JJ0402)
- RL78/G24 Motor Control Evaluation Kit 取扱説明書 (R12UT0021JJ0100)

目次

1. 概説	3
2. システム概要	4
3. 制御プログラム説明	18
4. モータ制御開発支援ツール「Renesas Motor Workbench」の利用方法	94
製品ご使用上の注意事項	1
ご注意書き	1

1. 概説

本アプリケーションノートでは、RL78/G24 マイクロコントローラを使用した永久磁石同期モータ (PMSM) の 120 度通電制御サンプルプログラムの実装方法及びモータ制御開発支援ツール「Renesas Motor Workbench」の使用方法について説明します。なお、このサンプルプログラムは「永久磁石同期モータの 120 度通電制御(アルゴリズム編)」のアルゴリズムを使用しています。

1.1 開発環境

本アプリケーションノート対象サンプルプログラムの開発環境を表 1-1、表 1-2 に示します。

表 1-1 サンプルプログラムの開発環境(H/W)

マイコン	評価ボード	モータ
RL78/G24 (R7F101GLGFB)	RL78/G24 CPU カード(RTK0EMG240C00000BJ) ^{注1} インバータボード(RTK0EMGPLVB00000BJ) ^{注1} 通信ボード(RTK0EMXC90Z00000BJ) ^{注1}	TSUKASA ^{注2} TG-55L

表 1-2 サンプルプログラムの開発環境(S/W)

CS+バージョン	e ² studio バージョン	ツールチェイン	Smart Configurator	デバッグ・ツール
V9.11.00	2024-04	CC-RL V1.12.01	V1.9.0	—

ご購入、技術サポートにつきましては、弊社営業及び特約店にお問い合わせ下さい。

【注】

1. RL78/G24 CPU カード(RTK0EMG240C00000BJ)、並びにインバータボード (RTK0EMGPLVB00000BJ)、通信ボード(RTK0EMXC90Z00000BJ)は、ルネサスエレクトロニクス株式会社の製品です。
2. TG-55L は、ツカサ電工株式会社の製品です。
ツカサ電工株式会社 (<http://www.tsukasa-d.co.jp/>)

2. システム概要

本システムの概要を以下に説明します。

2.1 ハードウェア仕様

RL78/G24 Motor Control Evaluation Kit (RTK0EMG24SS00000BJ) はインバータボード、CPU ボード、通信ボードで構成されています。各仕様を下記に示します。

表 2-1 RL78/G24 Motor Control Evaluation Kit (RTK0EMG24SS00000BJ)仕様

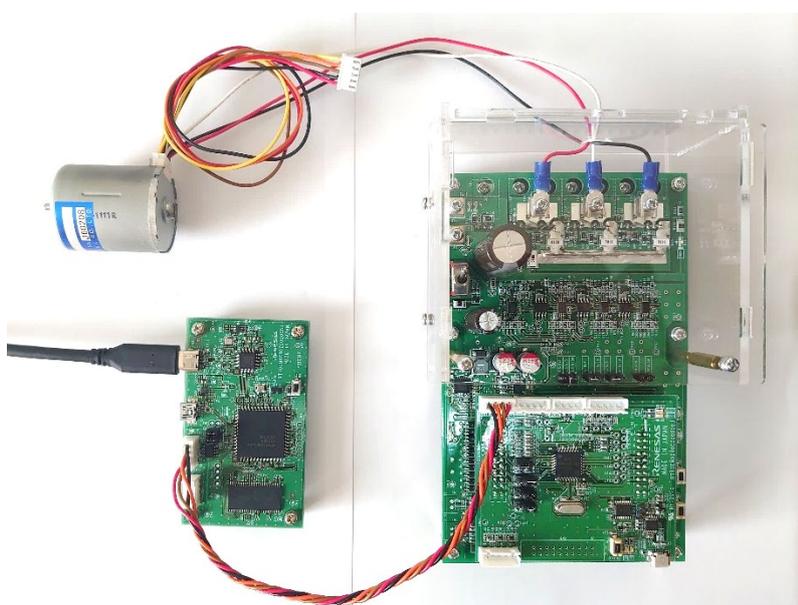
項目	仕様	
製品名	RL78/G24 Motor Control Evaluation Kit	
キット型名	RTK0EMG24SS00000BJ	
キット構成	Low voltage Inverter Board LVI400	RTK0EMGPLVB00000BJ
	RL78/G24 CPU Card	RTK0EMG240C00000BJ
	通信ボード MC-COM	RTK0EMXC90Z00000BJ
	ブラシレス DC モータ	TG-55L-KA (ツカサ電工株式会社製)
絶縁	インバータボード-CPU ボード間 :非絶縁 通信ボード-CPU ボード間 :絶縁	
外観	 <p>【注】 実物は写真と異なる場合があります。</p>	
基板寸法	インバータボード : 100mm(幅)×160mm(長さ) CPU ボード : 79mm(幅)×66mm(長さ) 通信ボード : 89mm(幅)×52mm(長さ)	
放熱	ヒートシンクによる自然空冷	
使用温度	常温	
使用湿度	結露なきこと	

表 2-2 Low voltage Inverter Board (RTK0EMGPLVB00000BJ)仕様

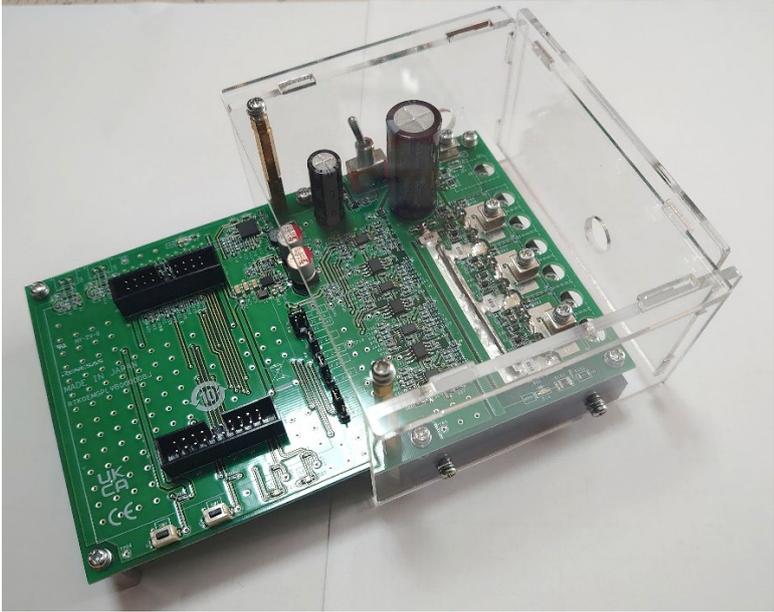
項目	仕様
品名	Low voltage Inverter Board for Motor Control Evaluation Kit - LVI400
基板型名	RTK0EMGPLVB00000BJ
動作入力電圧	12V~50V
最大出力電流	30A (各相ピーク電流)
駆動対象モータ	3相永久磁石同期モータ
電流検出方式	3相と DC リンクにシャント抵抗を用いた電流検出
DC バス電圧検出	抵抗分割回路による検出
三相出力電圧検出	抵抗分割回路による検出
PWM 論理	上下アーム共に正論理
過電流検出	RL78/G24 MCU の設定(PWMOPA)により実現 検出回路は未実装
デッドタイム	1 μ s (推奨値)
スイッチ	<ul style="list-style-type: none"> ● タクトスイッチ×2 ● インバータ電源トグルスイッチ
LED	<ul style="list-style-type: none"> ● LED × 2 ● インバータ電源 LED ● +5V 電源 LED
コネクタ	<ul style="list-style-type: none"> ● CPU カード接続コネクタ : CNA, CNB ● アナログ信号入力×2 : CN1, CN2
ジャンパ端子	<ul style="list-style-type: none"> ● 電流増幅アンプ切り替え : 倍率 1/5/50 : JP7 ● 電流増幅アンプ切り替え : 倍率 5/50 : JP8, JP9, JP10
ネジ端子	<ul style="list-style-type: none"> ● 電源入力 : P, N ● モータ出力 : U, V, W
外観	 <p>【注】 実物は写真と異なる場合があります。</p>

表 2-3 RL78/G24 CPU Card (RTK0EMG240C00000BJ)仕様

項目	仕様	
品名	RL78/G24 CPU Card for Motor Control Evaluation Kit	
基板型名	RTK0EMG240C00000BJ	
搭載 CPU	製品型名	R7F101GLG2DFB
	CPU 最大動作周波数	48 MHz
	ビット数	16 bit
	パッケージ/ピン数	LQFP / 64pin
	ROM	128 KB
	RAM	12 KB
電源入力	DC 5V 下記のどちらか一方を自動的に選択 <ul style="list-style-type: none"> ● 対応インバータボードからの電源供給 ● USB コネクタからの電源供給 	
スイッチ	MCU リセットスイッチ	
LED	<ul style="list-style-type: none"> ● LED × 2 ● USB 通信 LED × 2 	
コネクタ	<ul style="list-style-type: none"> ● インバータボード接続コネクタ : CN1, CN2 ● ABZ エンコーダ入力コネクタ : CN3 ● UVW ホール信号入力コネクタ : CN4 ● COM Port デバック用 Micro USB コネクタ : CN5 ● UART 通信コネクタ : CN6, CN7, CN8 ● 未使用端子コネクタ : CN9 	
ジャンパ端子	<ul style="list-style-type: none"> ● V 相電圧 / エンコーダ A 相切り替え : JP2 ● U 相電圧 / エンコーダ Z 相切り替え : JP3 ● W 相電圧 / エンコーダ B 相切り替え : JP4 ● W 相電流 / GND 切り替え : JP5 	
外観	 <p>【注】 実物は写真と異なる場合があります。</p>	

表 2-4 通信ボード (RTK0EMXC90Z00000BJ)仕様

項目		仕様
品名		MC-COM Renesas Flexible Motor Control Communication Board
基板型名		RTK0EMXC90Z00000BJ
外観		 <p>【注】実物は写真と異なる場合があります。</p>
搭載 MCU	製品グループ	RX72N グループ
	製品型名	R5F572NNDDFB
	CPU 最大動作周波数	240MHz
	ビット数	32 ビット
	パッケージ / ピン数	LFQFP / 144 ピン
	RAM	1M バイト
MCU 入力クロック		20MHz (外部水晶発振子で生成)
電源入力		DC 5V <ul style="list-style-type: none"> USB コネクタからの電源供給
コネクタ		<ul style="list-style-type: none"> PC 接続用 USB type-C コネクタ CPU ボード接続用 SCI コネクタ USB miniB コネクタ(ユーザは使用不可)
絶縁		<ul style="list-style-type: none"> SCI コネクタと MCU 間 アイソレーションデバイス Si8622BC-B-IS (Skyworks Solutions Inc.) または ISO7421FED (Texas Instruments)
スイッチ		MCU 外部リセット用スイッチ

2.2 ハードウェア構成

ハードウェア構成を次に示します。

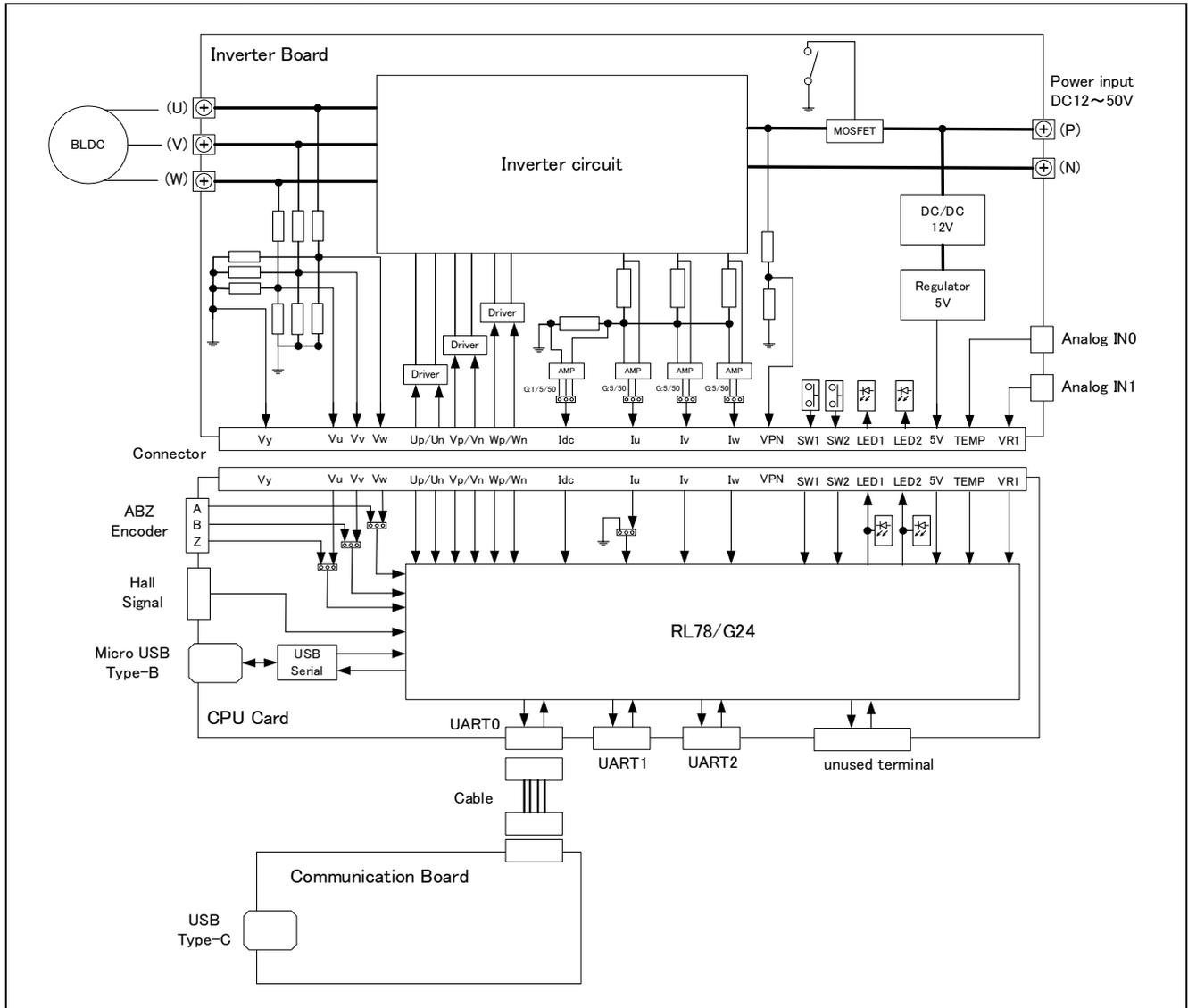


図 2-1 ハードウェア構成図

2.3 ハードウェア仕様

2.3.1 ユーザインタフェース

本システムのユーザインタフェース一覧を表 2-5 に示します。

表 2-5 ユーザインタフェース

ボード	項目	インタフェース部品	機能												
CPU カード	RESET	タクトスイッチ(RESET)	システム・リセット												
	LED1	緑色 LED	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>LED1</th> <th>LED2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>停止</td> <td>点灯</td> <td>点灯</td> </tr> <tr> <td>駆動</td> <td>点灯</td> <td>消灯</td> </tr> <tr> <td>エラー</td> <td>消灯</td> <td>点灯</td> </tr> </tbody> </table>		LED1	LED2	停止	点灯	点灯	駆動	点灯	消灯	エラー	消灯	点灯
		LED1		LED2											
停止	点灯	点灯													
駆動	点灯	消灯													
エラー	消灯	点灯													
LED2	緑色 LED														
インバータボード	S1	電源電流遮断スイッチ	インバータ回路への電流供給 ON : 電流供給 OFF : 電流遮断												

本システムのコネクタインターフェース一覧を表 2-6 に示します。

表 2-6 CPU カードコネクタインターフェース

ボード	項目	端子数	機能
CPU カード	CN1	20	インバータボード接続用コネクタ
	CN2	20	インバータボード接続用コネクタ
	CN3	5	エンコーダ信号入力 [本システムでは未使用]
	CN4	5	ホールセンサ信号入力
	CN5	5	エミュレータ接続用コネクタ
	CN6	4	シリアル通信(UART0) : RMW との通信
	CN7	4	シリアル通信(UART1) [本システムでは未使用]
	CN8	4	シリアル通信(UART2) [本システムでは未使用]
	CN9	20	未使用端子スルーホール[本システムでは未使用]

本システムのジャンパ設定を表 2-7 に示します。

表 2-7 ジャンパ設定

ボード	項目	端子状態	機能
CPU カード	JP1	1-2 Open	エミュレータ接続有効
	JP2	1-2 Short	エンコーダ未使用 [本システムでは未使用]
	JP3	1-2 Short	エンコーダ未使用 [本システムでは未使用]
	JP4	1-2 Short	エンコーダ未使用 [本システムでは未使用]
	JP5	1-2 Short	[本システムでは未使用]
インバータボード	JP7	5-6 Short	DC リンク電流ゲイン=50 倍
	JP8	2-3 Short	[本システムでは未使用]
	JP9	2-3 Short	[本システムでは未使用]
	JP10	2-3 Short	[本システムでは未使用]

本システムの RL78/G24 マイクロコントローラ端子のインタフェース一覧を表 2-8 に示します。

表 2-8 端子インタフェース

R7F101GLGFB 端子名	機能
P26 / ANI6	インバータ母線電圧測定
P147 / ANI18	DC リンク電流検出 (A/D, CMP)
P120 / ANI19 / IVCMP0	U 相電圧測定(A/D)
P00 / ANI29 / IVCMP1	V 相電圧測定(A/D)
P01 / ANI30 / IVCMP2	W 相電圧測定(A/D)
P16 / ANI26 / IVREF0	仮想中点入力(CMP)
P42	LED1 点灯/消灯制御
P43	LED2 点灯/消灯制御
P70 / TRDIOB0	ポート出力/PWM 出力(U _p)
P72 / TRDIOA1	ポート出力/PWM 出力(V _p)
P74 / TRDIOB1	ポート出力/PWM 出力(W _p)
P71 / TRDIOD0	ポート出力/PWM 出力(U _n)
P73 / TRDIOC1	ポート出力/PWM 出力(V _n)
P75 / TRDIOD1	ポート出力/PWM 出力(W _n)
P12 / TxD0	シリアル通信 (UART0) : RMW との通信
P11 / RxD1	シリアル通信 (UART0) : RMW との通信
P02 / TxD1	シリアル通信 (UART1) [本システムでは未使用]
P03 / RxD1	シリアル通信 (UART1) [本システムでは未使用]
P77 / TxD2	シリアル通信 (UART2) [本システムでは未使用]
P76 / RxD2	シリアル通信 (UART2) [本システムでは未使用]
P00 / TRGCLKA	エンコーダ A 相入力 [本システムでは未使用]
P01 / TRGCLKB	エンコーダ B 相入力 [本システムでは未使用]
P120 / TRGIDZ	エンコーダ Z 相入力 [本システムでは未使用]
P52 / INTP1	ホールセンサ入力 (U 相)
P53 / INTP2	ホールセンサ入力 (V 相)
P54 / INTP3	ホールセンサ入力 (W 相)
P40 / TOOL0	デバッグ用データ入出力
P50 / TOOLTxD	デバッグ用データ入力
P51 / TOOLRxD	デバッグ用データ出力
RESET	システム・リセット入力
VSS	端子のグランド電位
VDD	端子の正電源
REGC	内部動作用レギュレータ出力安定容量接続

※ 上記以外の端子は r_mtr_rl78g24.c の R_MTR_InitUnusedPins 関数で”未使用端子の処理”を行っています。端子配置を変更する際は適切に変更を行ってください。

2.3.2 周辺機能

本システムに使用する周辺機能一覧を表 2-9 に示します。

表 2-9 サンプルプログラム別周辺機能対応表

周辺機能	用途
12bit A/D コンバータ (AD)	<ul style="list-style-type: none"> インバータ母線電圧測定 U/V/W 相電圧測定 DC リンク電流測定
タイマ・アレイ・ユニット (TAU)	<ul style="list-style-type: none"> 回転速度測定用フリーランカウンタ (TAU1) 転極用ディレイタイマ (TAU3) 【センサレスモード】
タイマ RD2 (TRD2)	<ul style="list-style-type: none"> 拡張相補 PWM モード使用の PWM 出力 50 [μs] 制御周期タイマ
タイマ RG (TRG)	<ul style="list-style-type: none"> 1[ms]周期タイマ
タイマ RJ (TRJ)	<ul style="list-style-type: none"> ICS 通信用 50[μs]周期タイマ 【初期位置検出】
タイマ RX (TRX)	<ul style="list-style-type: none"> 電流上昇時間測定 【初期位置検出】
コンパレータ (CMP3)	<ul style="list-style-type: none"> 過電流検出
10bit D/A コンバータ (DA)	<ul style="list-style-type: none"> 電流閾値到達判定 【初期位置検出】
外部割り込み (INTP1, INTP2, INTP3)	<ul style="list-style-type: none"> ホールセンサ信号入力 【ホールセンサ使用モード】
PWM オプションユニット A (PWMOPA)	<ul style="list-style-type: none"> CMP3 出力による PWM 出力強制遮断
ウォッチドッグ・タイマ (WDT)	<ul style="list-style-type: none"> プログラムの暴走検出

- (1) 12bitA/D コンバータ (A/D)

U 相電圧(Vu)、V 相電圧(Vv)、W 相電圧(Vw)、インバータ母線電圧(Vdc)、及び DC リンク電流(Idc)を測定します。【センサレスモード】

インバータ母線電圧(Vdc)及び DC リンク電流(Idc)を測定します。【ホールセンサ使用モード】

AD 変換はアドバンス・モードに設定し、ワンショット変換を指定します。
- (2) タイマ・アレイ・ユニット (TAU)
 - a. 回転速度測定用フリーランカウンタ (TAU1)

回転速度を測定するためのフリーランカウンタとして使用します。
 - b. 転極用ディレイタイマ (TAU3)

ゼロクロス検出からの転極のタイミングを $\pi/6$ 遅らせるためのディレイタイマとして使用します。
- (3) タイマ RD2 (TRD2)

2 本の A/D 変換トリガコンペアレジスタを使用して任意のタイミングで A/D 変換を実行します。拡張相補 PWM モードを使用して、三相のデッドタイム付き上アームチョッピング PWM 出力("High"アクティブ)を行います。
- (4) タイマ RG (TRG)

速度制御を行うための 1[ms]インタバル・タイマとして使用します。
- (5) タイマ RJ (TRJ)

初期位置検出に ICS 通信のためのタイマとして使用します。
- (6) タイマ RX (TRX)

初期位置検出時にシャント抵抗に流れる電流が閾値電流に到達するまでの時間を測定するためのタイマとして使用します。
- (7) コンパレータ (CMP3)

過電流検出または初期位置検出のために使用します。該当する電流値と比較する閾値は 10bit D/A コンバータから基準値を入力します。

- (8) 10bit D/A コンバータ (D/A)
過電流または初期位置検出で使用する内部基準値として使用します。
- (9) 外部割り込み (INTP1, INTP2, INTP3)
モータの磁極位置検出信号(ホールセンサ出力信号)を入力します。割り込みモードを使用し、ホールセンサ信号取り込み(位置情報検出)、通電パターン変更、回転速度計測を行います。
- (10) PWM オプションユニット A (PWMOPA)
CMP3 で検出した過電流信号から PWM 出力を強制遮断します。
遮断解除要因(CMP3 立下りエッジ)を検出後、ソフトウェアにより解除。
遮断時の出力状態はローレベル出力。
- (11) ウォッチドッグ・タイマ
プログラムの暴走検出で使用します。

2.4 ソフトウェア構成

2.4.1 ソフトウェア・ファイル構成

サンプルプログラムのフォルダとファイル構成を表 2-10 に記します。

表 2-10 サンプルプログラムのフォルダとファイル構成

フォルダ		ファイル	内容
config		r_mtr_config.h	コンフィギュレーション定義
		r_mtr_motor_parameter.h	モータパラメータ定義
		r_mtr_control_parameter.h	制御パラメータ定義
		r_mtr_inverter_parameter.h	インバータパラメータ定義
		r_mtr_scaling_parameter.h	スケーリングパラメータ定義
application	main	main.h main.c	メイン関数
	board	r_mtr_board.h r_mtr_board.c	ハードウェア UI 関数定義
	ics	r_mtr_ics.h r_mtr_ics.c	Analyzer ^{注1} UI 関連関数定義
		ICS_define.h	RMW の CPU 定義
		RL78_vector.h RL78_vector.c	RMW の割り込みベクタ定義 RMW の割り込みベクタ処理
		ICS2_RL78G24.h	RMW 通信用関数宣言
		ICS2_RL78G24.lib	RMW 通信用ライブラリ
driver	r_mtr_rl78g24.h r_mtr_rl78g24.c	MCU 固有定義 未使用端子の処理	
middle		r_dsp.h R_DSP_RL78_CC_S.lib	DSP 定義 モータ制御向け演算ライブラリ
		r_mtr_common.h	共通定義
		r_mtr_parameter.h	モータ制御パラメータ定義
		r_mtr_driver_access.h r_mtr_driver_access.c	ドライバアクセス関数定義 ドライバアクセス処理
		r_mtr_statemachine.h r_mtr_statemachine.c	ステートマシン関数定義 ステートマシン処理
		r_mtr_120.h r_mtr_120.c	120 度通電制御関連関数定義 120 度通電制御関連処理
		r_mtr_interrupt.c	割り込みハンドラ関数定義
		r_mtr_ctrl_gain.h r_mtr_ctrl_gain.obj	ゲイン計算関数定義 ゲイン設計
		r_mtr_ipd.h r_mtr_ipd.c	初期位置検出関数定義 初期位置検出処理
		r_mtr_ol2cl_ctrl.h r_mtr_ol2cl_ctrl.c	センサレス切り替え制御関数定義 センサレス切り替え制御定義
		r_mtr_aa_ctrl.h r_mtr_aa_ctrl.obj	進角制御関数定義 進角制御処理
	smc_gen	-	周辺機能のコード生成ファイル

注 1 : モータ制御開発支援ツール「Renesas Motor Workbench」の Analyzer 機能の詳細については、4 章を参照下さい。

また、モータ制御開発支援ツール「Renesas Motor Workbench(RMW)」に関わるフォルダ、ファイル、関数、変数の名前には識別子「ics / ICS(旧ルネサス製モータ制御開発支援ツール「In Circuit Scope」の略)」が付加されている場合があります。

2.4.2 モジュール構成

サンプルプログラムのモジュール構成を図 2-2 に示します。

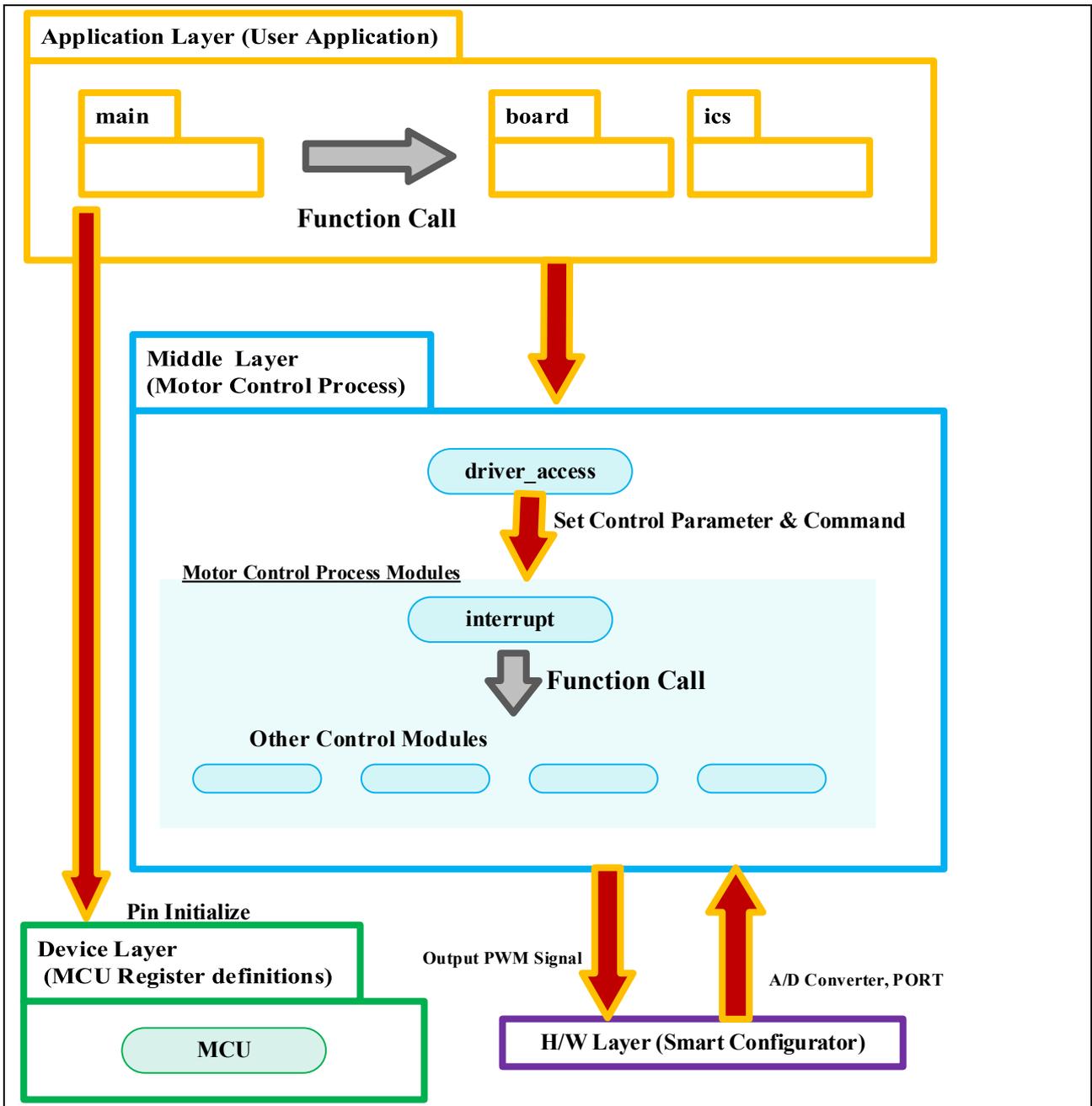


図 2-2 サンプルプログラムのモジュール構成

2.5 ソフトウェア仕様

本システムのソフトウェアの基本仕様を下記に示します。120 度通電制御の詳細に関しては「永久磁石同期モータの 120 度通電制御(アルゴリズム編)」を参照してください。

表 2-11 ソフトウェア基本仕様[1/2]

項目	内容	
制御方式	120 度通電方式(上アームチョッピング)	
電流検出方式	DC リンク電流を検出する方式	
モータ回転開始/停止	モータ制御開発支援ツールによる操作 ^注	
回転子磁極位置検出	ホールセンサ：ホール信号の割込みを用いた位置検出 (60 度毎) センサレス：誘起電圧を用いた位置検出 (60 度毎) ・50[μs]毎に A/D 変換値によるゼロクロス検出を行う ・磁極位置検出時、PWM デューティ設定と通電パターンの決定を行う 初期位置検出：TRX と CMP3 を用いた初期位置検出 ・モータの突極性を利用した 180 度内での角度検出を行う ・モータの磁気飽和特性を利用した極性検出、360 度内での角度検出を行う	
制御モード	本プログラムは以下の 4 つの制御モードで切り替えられます。 1.センサレス・電流制御モード 2.センサレス・電圧制御モード 3.ホールセンサ使用・電流制御モード 4.ホールセンサ使用・電圧制御モード 制御モードの切り替え方法は 4.4 を参照してください。	
入力電圧	DC24[V]	
メインクロック周波数	CPU クロック：f _{CLK} 48[MHz] TRD クロック：f _{PLL} 96[MHz]	
キャリア周波数(PWM)	20 [kHz]	
デッドタイム	1 [μs]	
制御周期	速度制御：1[ms] 電流制御：50[μs]	
回転速度制御範囲	CW：0 [rpm] ～ 3975[rpm] CCW：0 [rpm] ～ 3975 [rpm] ただし、530 [rpm]以下は速度オープンループで駆動	
最適化設定	一部の最適化(-Olite)	
ROM/RAM サイズ	ROM	19.512KB 【センサレス・電流制御モード】 19.008KB 【センサレス・電圧制御モード】 15.495KB 【ホールセンサ使用・電流制御モード】 14.865KB 【ホールセンサ使用・電圧制御モード】
	RAM	1.130KB 【センサレス・電流制御モード】 1.078KB 【センサレス・電圧制御モード】 0.896KB 【ホールセンサ使用・電流制御モード】 0.844KB 【ホールセンサ使用・電圧制御モード】

表 2-12 ソフトウェア基本仕様[2/2]

項目	内容
保護停止処理	<ul style="list-style-type: none"> ・ 以下のいずれかの条件の時、モータ制御信号出力(6本)を非アクティブにする <ol style="list-style-type: none"> 1.インバータ母線電圧が 28 [V]を超過 2.インバータ母線電圧が 12 [V]より下落 3.回転速度が 5590 [rpm]を超過 4.ホール割り込みもしくはゼロクロス検出が未発生 5.出力電圧パターンの異常検出 6.初期位置検出時の TRX カウンタのオーバーフローを検出 7.DC リンク電流が 1.47 [A]を超過 8.DC リンク電流が 4.5 [A] を超える値を検出 (PWMOPAによる遮断) ・ 過電流検出信号(CMP3)を検出場合、PWM 出力ポートをローレベルにする (PWMOPA 使用)

【注】

1. 詳細に関しては“モータ制御開発支援ツール「Renesas Motor Workbench」”を参照してください。
2. モータを定格回転速度以上で長時間駆動させることはお控えください。

2.6 ユーザ・オプション・バイト

RL78/G24 のフラッシュメモリのユーザ・オプション・バイト領域の設定を示します。

表 2-13 ユーザ・オプション・バイト設定値

設定値	アドレス	値	設定内容
783AEA	000C0H /040C0H	01111000B	<ul style="list-style-type: none"> ・ウォッチドッグ・タイマのインターバル割り込みの使用 : インターバル割り込みを使用しない ・ウォッチドッグ・タイマのウインドウ・オープン期間 : 100% ・ウォッチドッグ・タイマのカウンタの動作制御 : カウンタ動作許可 (リセット解除後、カウント開始) ・ウォッチドッグ・タイマのオーバーフロー時間 : 100[ms] ・ウォッチドッグ・タイマのカウンタ動作制御 : HALT/STOP モード時、カウンタ動作停止
	000C1H /040C1H	00111010B	<ul style="list-style-type: none"> ・LVD0 オフ
	000C2H /040C2H	11101010B	<ul style="list-style-type: none"> ・フラッシュの動作モード設定 : HS (高速メイン)モード ・高速オンチップオシレータ・クロックの周波数 fHOCO : 8 [MHz] fIH : 8 [MHz]

3. 制御プログラム説明

本アプリケーションノートの対象サンプルプログラムについて説明します。

3.1 制御内容

3.1.1 モータ起動/停止

モータの起動と停止は、モータ制御開発支援ツールからの入力によって制御します。

3.1.2 A/D 変換

(1) インバータ母線電圧

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

表 3-1 インバータ母線電圧の変換比

項目	変換比(インバータ母線電圧 : A/D 変換値)	チャンネル
インバータ母線電圧	0 [V]~111[V] : 0000H~0FFFH	ANI6

(2) U 相、V 相、W 相電圧

下記のように、U、V、W 相電圧を測定し、誘起電圧のゼロクロス検出に使用します。

表 3-2 U、V、W 相の変換比

項目	変換比(U 相、V 相、W 相電圧 : A/D 変換値)	チャンネル
U、V、W 相電圧	0 [V]~111 [V] : 0000H~0FFFH	ANI19、ANI29、ANI30

(3) DC リンクシャント抵抗電流

下記のように、U 相電流のオフセットを測定し、CMP3 の閾値電流の設定に使用します。

表 3-3 DC リンクシャント抵抗電流の変換比

項目	変換比(U 相電流 : A/D 変換値)	チャンネル
DC リンクシャント抵抗電流	-5 [A]~5 [A] : 0000H~0FFFH	ANI18

【注】A/D 変換特性の詳細に関しては「RL78/G24 ユーザーズマニュアルハードウェア編」を参照して下さい。

3.1.3 コンパレータ

(1) 過電流検出、初期位置検出(CMP3)

A/D の出力と内部 D/A コンバータの基準値を比較し過電流検出、初期位置検出のための電流閾値の到達判定を行います。

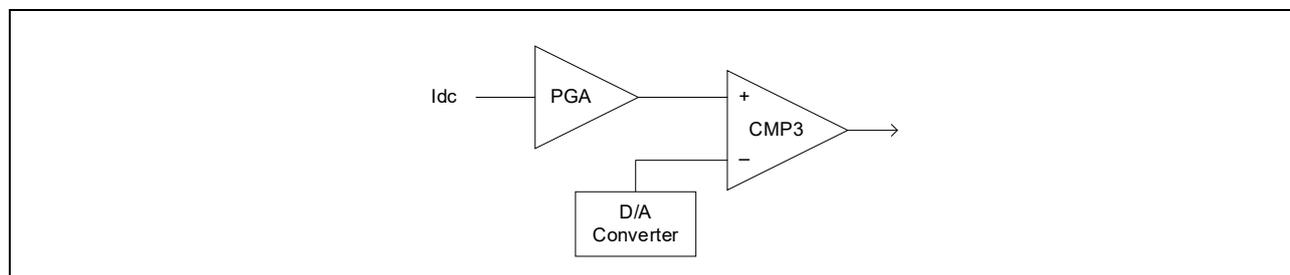


図 3-1 CMP3 による過電流検出

3.1.4 PWM による電圧制御

出力電圧の制御には PWM 制御を使用しています。PWM 制御とは、図 3-2 PWM 制御のように、パルスのデューティを変化させることで平均電圧を調整していく制御方式です。

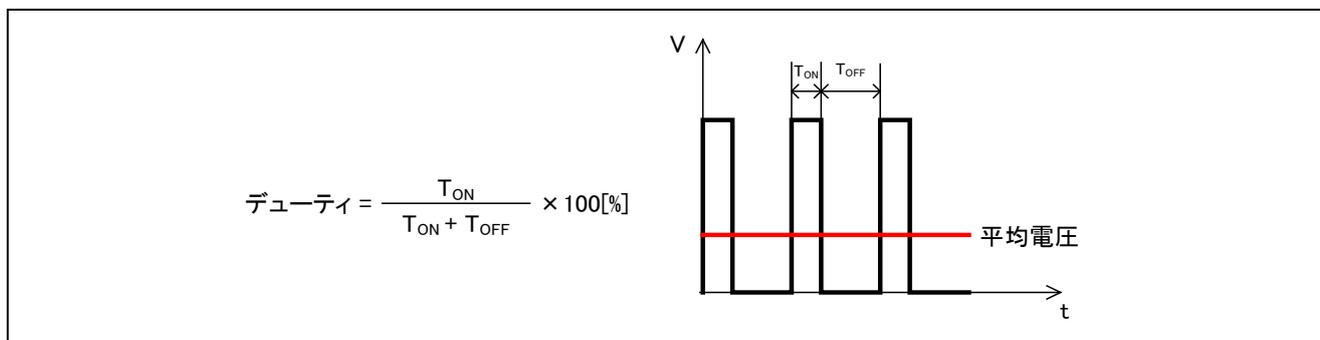


図 3-2 PWM 制御

ここで、変調率 m を以下のように定義します。

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

m : 変調率 V : 指令値電圧 E : インバータ母線電圧

この変調率を、PWM デューティを決める TRD2 のレジスタに反映させます。

また、本アプリケーションノート対応ソフトでは、上アームチョッピングを採用し、出力電圧及び速度の制御を行っています。図 3-3、図 3-4 に上アームチョッピング時のモータ制御信号出力波形例を示します。コンフィギュレーション定義ファイル“r_mtr_config.h”の設定によって非相補/相補 PWM を切り替えることができます。

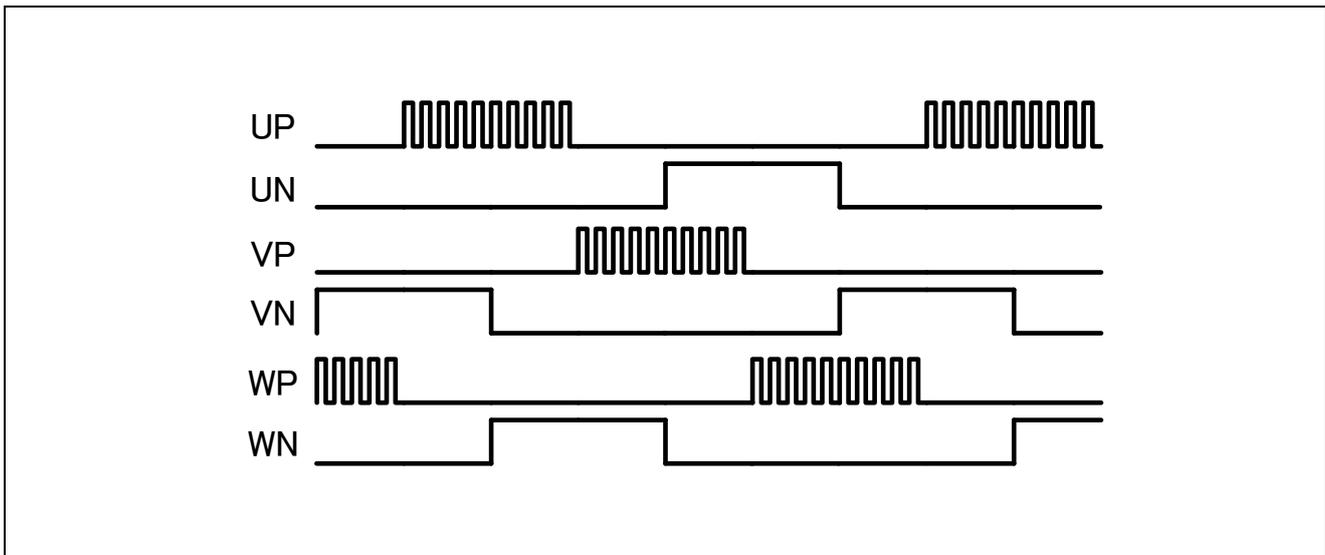


図 3-3 上アームチョッピング(非相補出力)

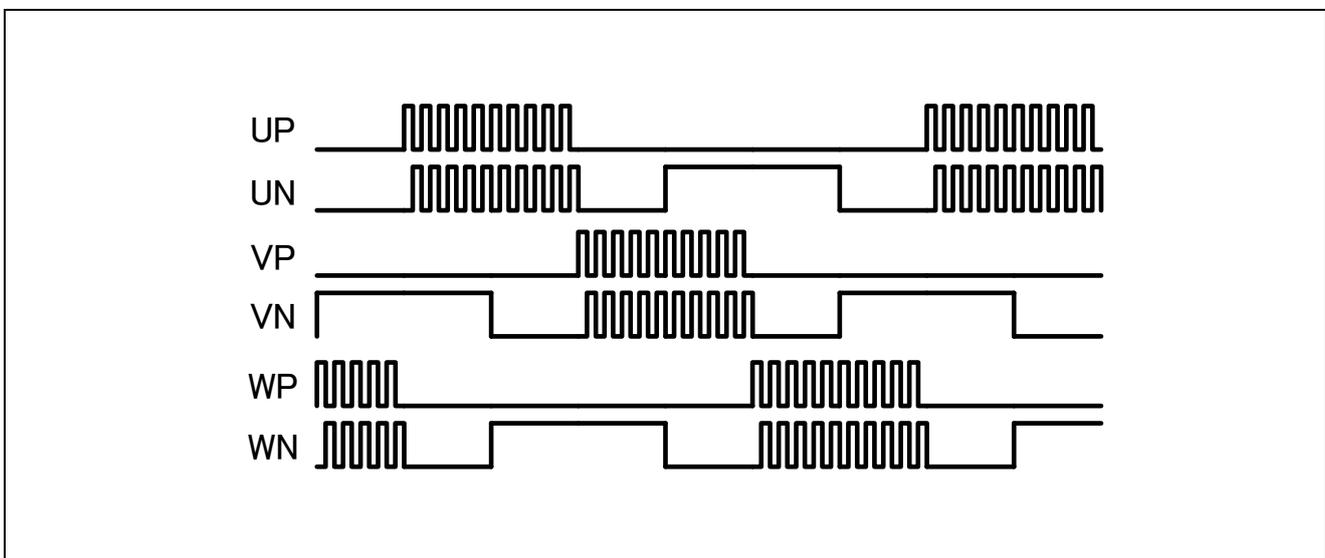


図 3-4 上アームチョッピング(相補出力)

3.1.5 状態遷移

図 3-5 に 120 度通電制御ソフトにおける状態遷移図を示します。

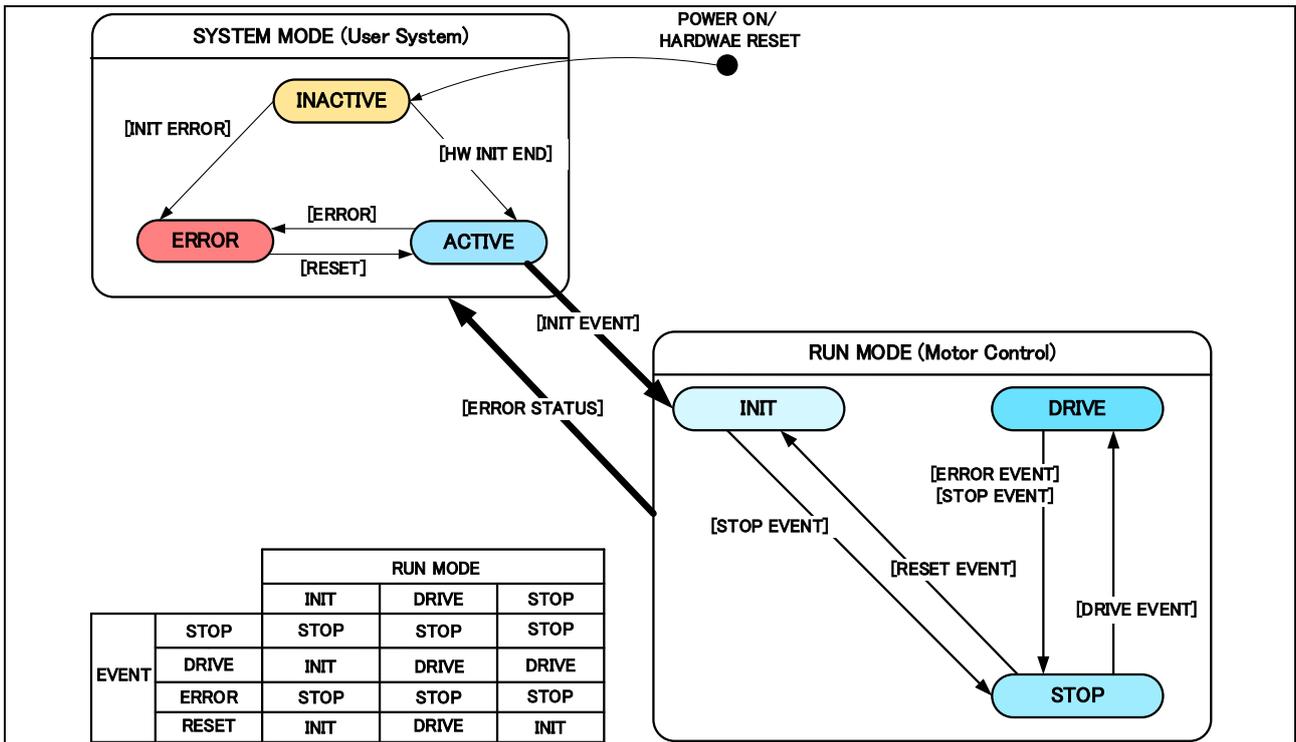


図 3-5 120 度通電制御ソフトの状態遷移図

(1). SYSTEM MODE

システム動作状態を表します。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

モータの駆動状態を表します。各イベント(EVENT)の発生により状態が遷移します。

(3). EVENT

モータの駆動状態の遷移を表します。EVENT が発生すると、RUN MODE が図 3-5 中の表の様に遷移します。各 EVENT の発生要因を表 3-4 に示します。

表 3-4 EVENT 一覧

イベント名	発生条件
STOP	ユーザ操作により発生します
DRIVE	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

RUN MODE の DRIVE イベント内では DRIVE ステータスが表 3-5 の表の中からモータの駆動状態に合わせて遷移します。

表 3-5 DRIVE ステータス一覧

ステータス名	内容
MTR_OFFSET_CALIB_EXE	電流オフセットの検出処理の実行
MTE_OFFSET_CALIB_END	電流オフセットの検出処理の完了
MTR_IPD_EXE	初期位置検出処理の実行
MTR_IPD_END	初期位置検出処理の完了
MTR_DRIVE_OL	モータの始動処理 (オープンループ駆動)
MTR_DRIVE_ASR_CL	クローズドループ駆動
MTR_DRIVE_BRAKE	ブレーキ (未実装)
MTR_DRIVE_END	駆動の停止

3.1.6 始動方法

(1) ホールセンサ使用モード

ホール制御モードでは、"MTR_MODE_DRIVE" に遷移すると、ホール信号の初期状態から通電パターンを選択し電圧を印加し、速度 PI 制御に移行します。2 回目のホール割り込み発生後、速度計算が開始されます。電流制御モード時と電圧制御モード時の始動シーケンスを以下のそれぞれの図に示します。

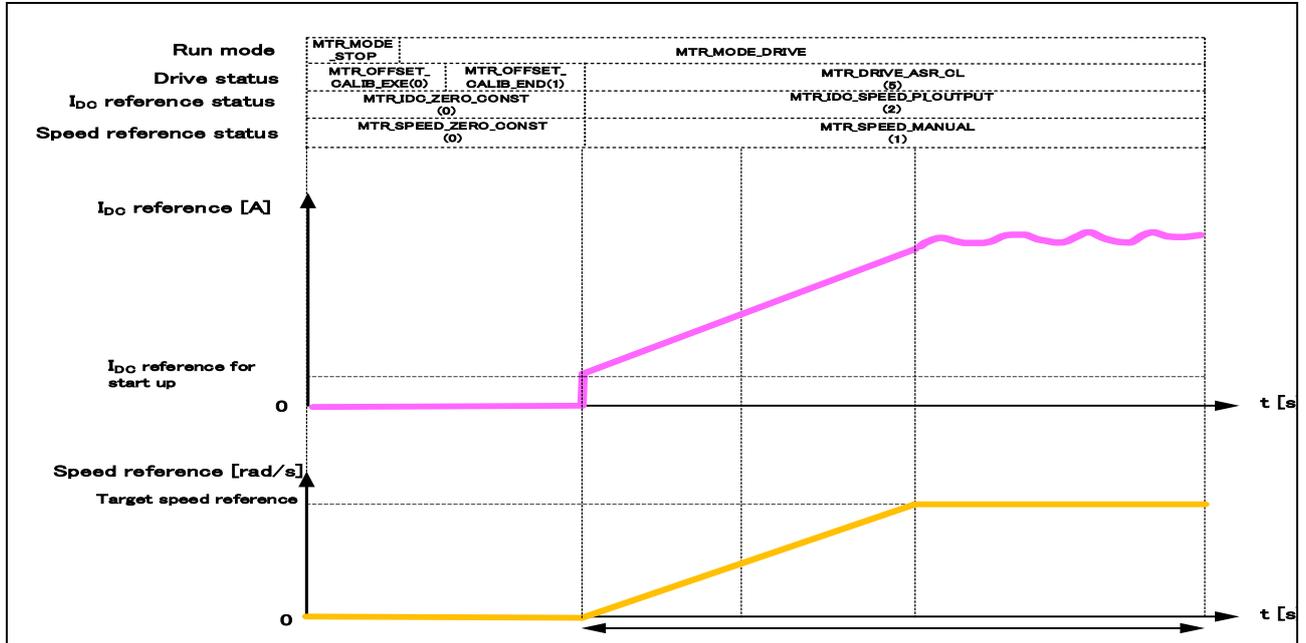


図 3-6 電流制御モード時の始動シーケンス(ホールセンサ使用モード)

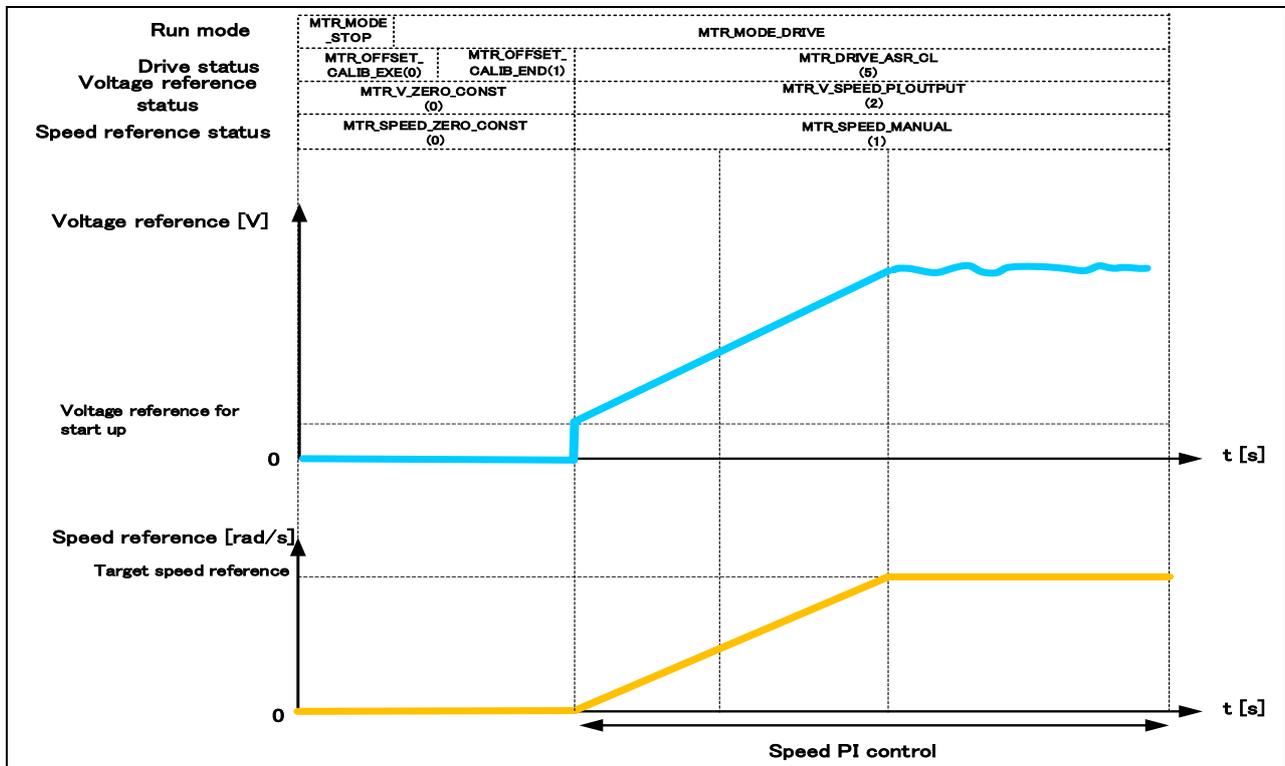


図 3-7 電圧制御モード時の始動シーケンス(ホールセンサ使用モード)

(2) センサレスモード

センサレス制御では、永久磁石(回転子)の磁束の変化による誘起電圧を利用し、60 度毎の磁極の位置を検出します。しかし、誘起電圧は回転することで発生するため、回転速度が小さい場合、磁極の位置を検出することが出来ません。

そのため、始動方法として、永久磁石の位置に関わらず、強制的に通電パターンを変化させることで回転磁界を発生させ、強制同期させる方法があります。

図 3-8 では電流制御モード時の始動方法を示しています。"MTR_MODE_DRIVE"に遷移すると、最初に回転子の引き込みを行います。次にオープンループで駆動し、切り替え速度に達したら、PI制御に移行します。

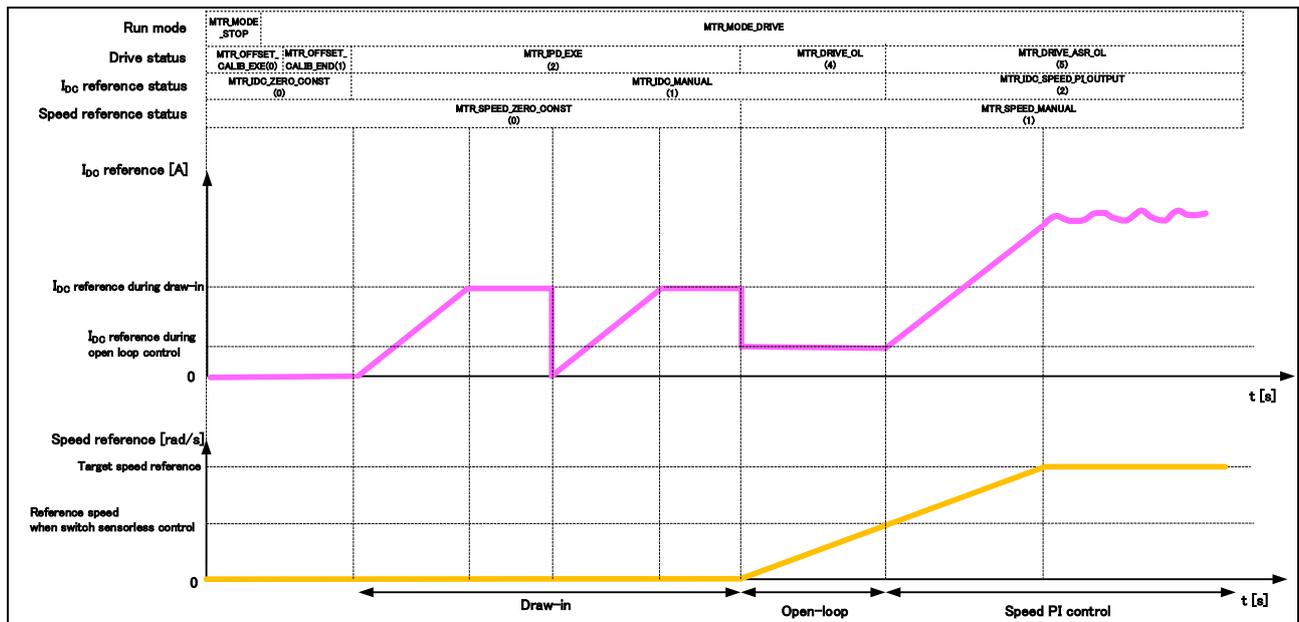


図 3-8 電流制御モード時の始動シーケンス(引き込みによる始動)

図 3-9 に電流制御モード時の初期位置検出機能を使用した場合の始動方法を示します。磁極位置の引き込みを行う代わりに、初期位置検出処理による回転子の位置の検出を行った後、オープンループ処理を開始します。

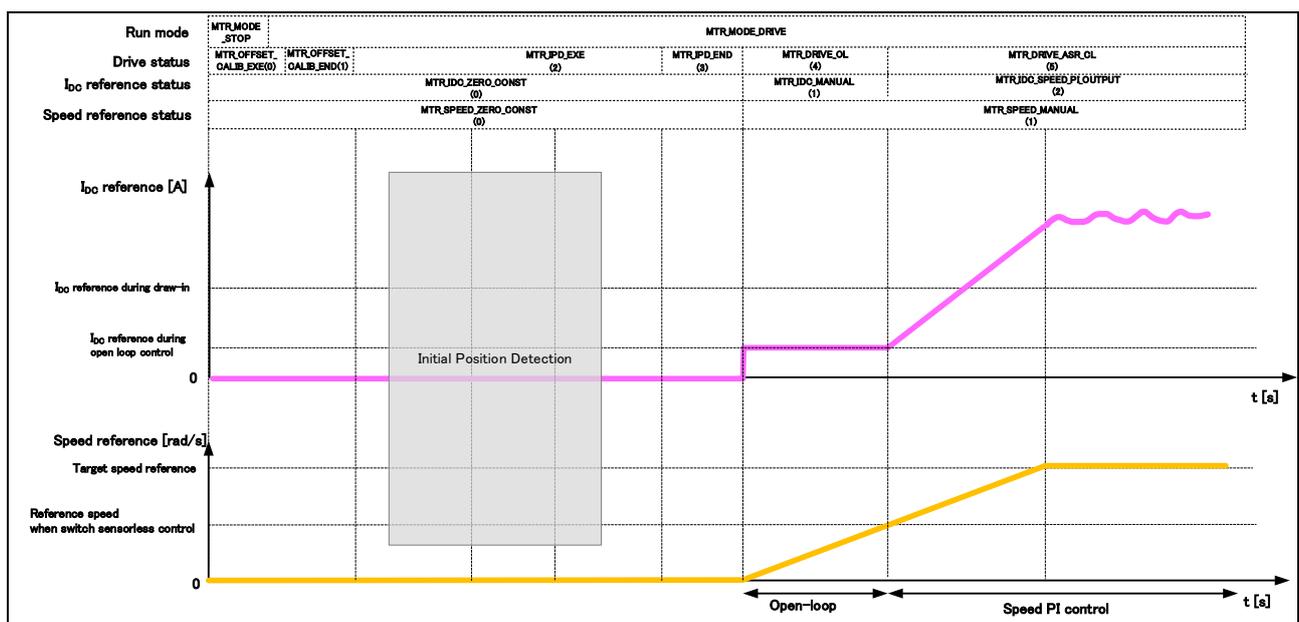


図 3-9 電流制御モード時の始動シーケンス(初期位置検出による始動)

図 3-10 では電圧制御モード時の始動方法を示しています。"MTR_MODE_DRIVE"に移移すると、最初に回転子の引き込みを行います。次にオープンループで駆動し、誘起電圧のゼロクロス信号を 3 回検出した後 PI 制御に移行することで、滑らかに始動出来る様になっています。

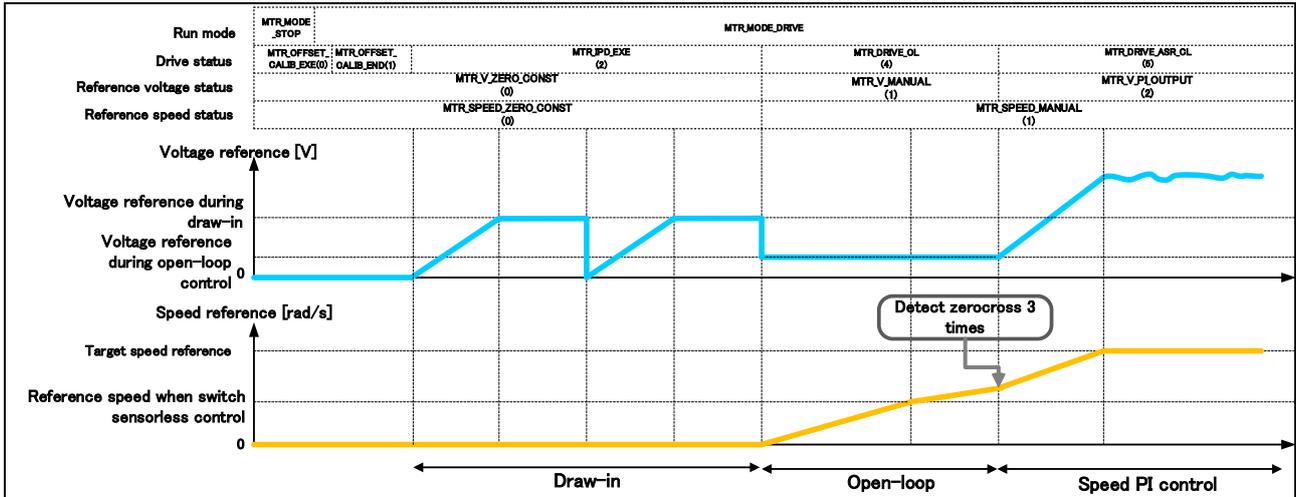


図 3-10 電圧制御モード時の始動シーケンス(引き込みによる始動)

図 3-11 に電圧制御モード時の初期位置検出機能を使用した場合の始動方法を示します。

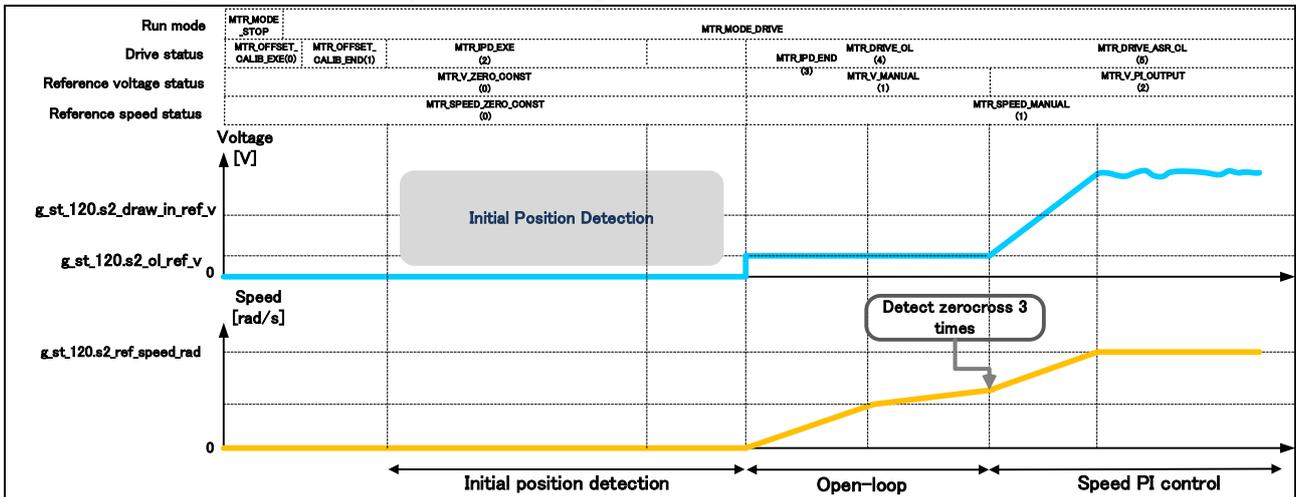


図 3-11 電圧制御モード時の始動シーケンス(初期位置検出による始動)

3.1.7 速度演算

本システムでのモータ回転速度は、カウンタをフリーランニングさせ、ホール制御モードではホール割り込み発生時、センサレス制御モードでは誘起電圧のゼロクロス発生時にタイマ値を取り込み、 2π [rad]前の取り込み値との差分から演算します。

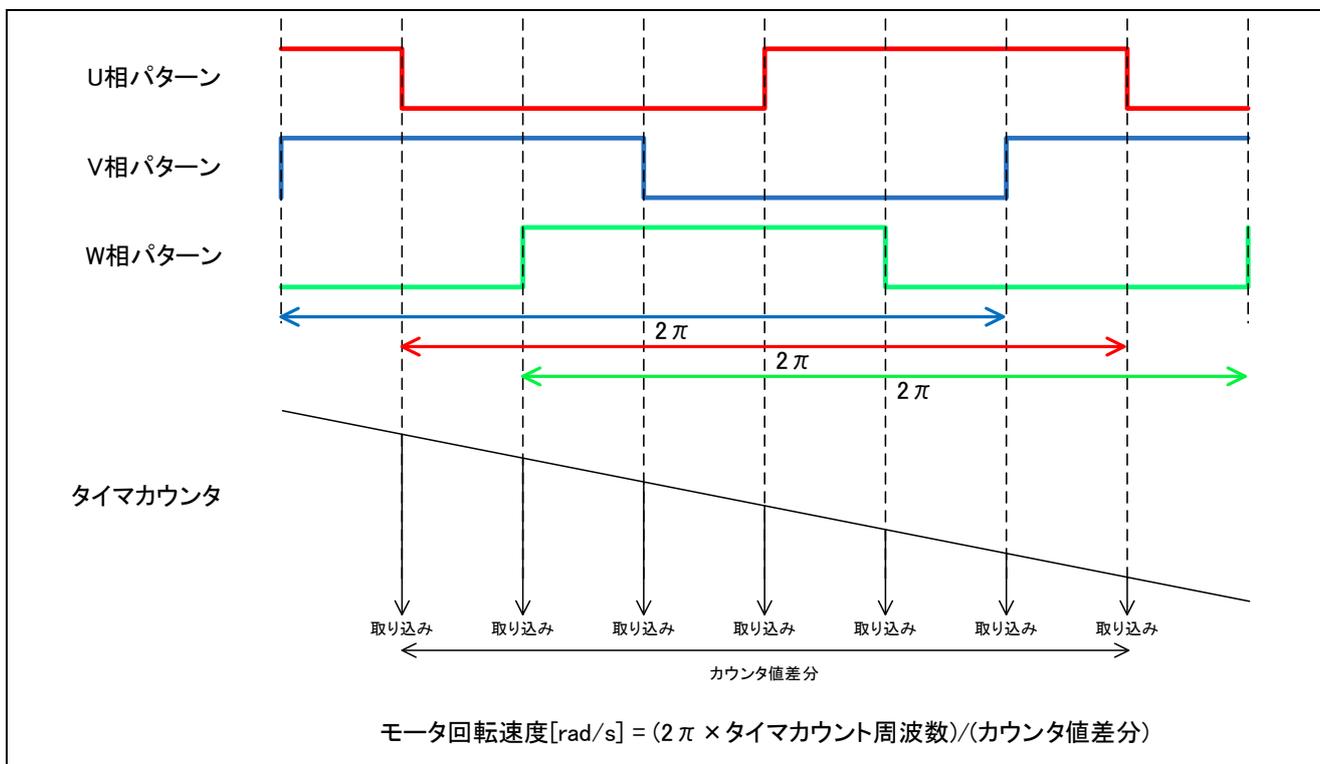


図 3-12 モータ回転速度の演算方法

3.1.8 制御ループ仕様

本サンプルソフトウェアは電流制御モードと電圧制御モードに応じて異なる制御システムを使用します。電流制御モードでは、制御システムは速度制御器（ASR）と電流制御器（ACR）から構成されます。電圧制御モードでは、制御システムは速度制御器（ASR）のみ構成されます。これらの制御器は PI 制御器を用いて実現されており、そのゲインは所望の制御に合わせて調整する必要があります。

3.1.8.1 電流制御モードの制御ループ

電流制御モードでの制御システム全体のブロック図を図 3-13 に示します。

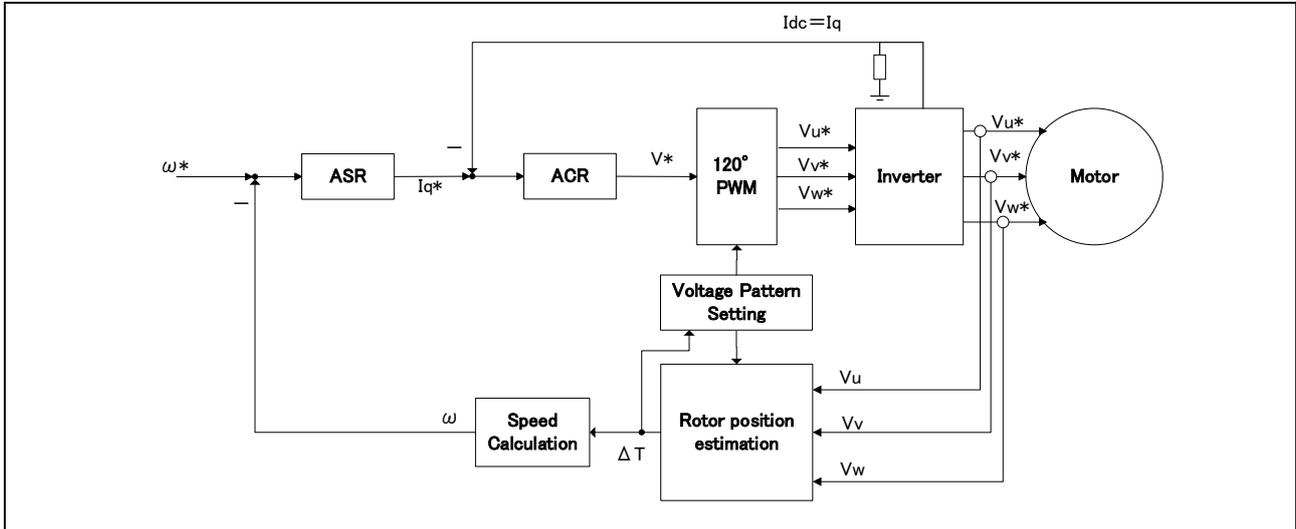


図 3-13 制御システム全体のブロック図（電流制御モード）

速度 PI 制御と電流 PI 制御は下記のように表せます。速度 PI 制御器によって電流指令値が得られ、電流 PI 制御器によって電圧指令値が得られます。

$$i^* = (K_{pASR} + \frac{K_{iASR}}{s})(\omega^* - \omega) \dots \textcircled{1}$$

i^* : 電流指令値 ω^* : 回転速度指令値 ω : 回転速度
 K_{pASR} : 速度 PI 比例ゲイン K_{iASR} : 速度 PI 積分ゲイン s : ラプラス演算子

$$v^* = (K_{pACR} + \frac{K_{iACR}}{s})(i^* - i) \dots \textcircled{2}$$

v^* : 電圧指令値 i^* : 電流指令値 i : 電流
 K_{pACR} : 電流 PI 比例ゲイン K_{iACR} : 電流 PI 積分ゲイン s : ラプラス演算子

3.1.8.2 電圧制御モードの制御ループ

電圧制御モードでの制御システム全体のブロック図を図 3-14 に示します。

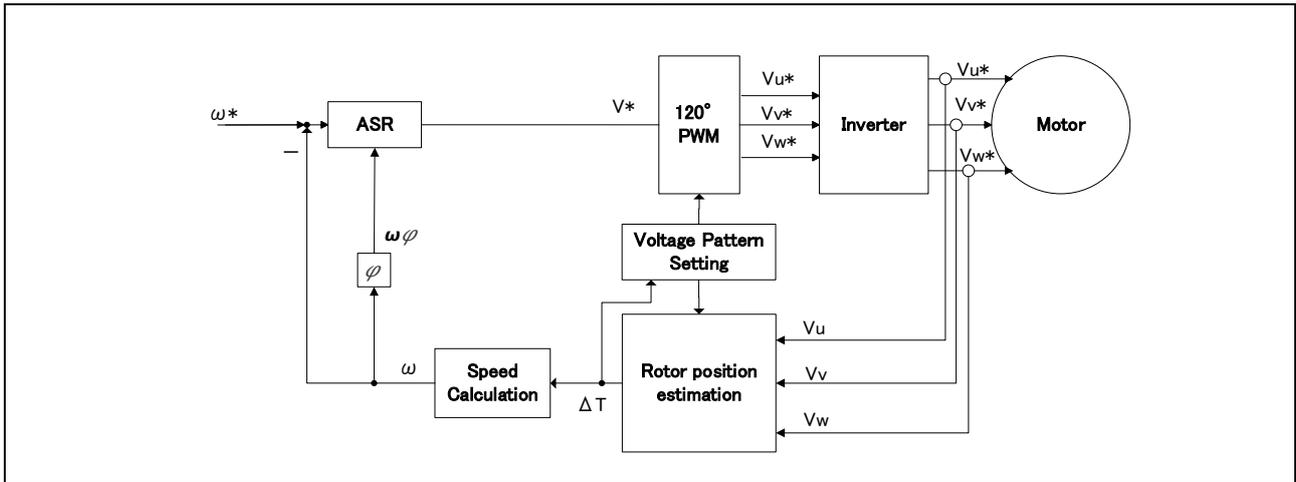


図 3-14 制御システム全体のブロック図（電圧制御モード）

速度 PI 制御は下記のように表せます。速度 PI 制御器によって電圧指令値が得られます。

$$v^* = (K_{pASR} + \frac{K_{iASR}}{s})(\omega^* - \omega) \dots \textcircled{3}$$

v^* : 電圧指令値 ω^* : 回転速度指令値 ω : 回転速度
 K_{pASR} : 速度 PI 比例ゲイン K_{iASR} : 速度 PI 積分ゲイン s : ラプラス演算子

3.1.9 割り込み処理の仕様

本サンプルソフトウェアの割り込み処理は、ホールセンサ使用モード、センサレスモードともに、キャリア周期割り込み(50[μs])と 1[ms]周期割り込みの 2 つ周期割り込みにより構成されます。キャリア周期割り込み内で電流制御系の処理を行うため、電流制御系の制御周期は 50[μs]です。一方、1[ms]周期割り込み内で速度制御系の処理を行うため、速度制御系の制御周期は 1[ms]です。

3.1.9.1 電流制御モードの割り込み処理

電流制御モードでは、電圧指令値が電流 PI 制御によって出力されるため、50[μs]の周期で更新します。

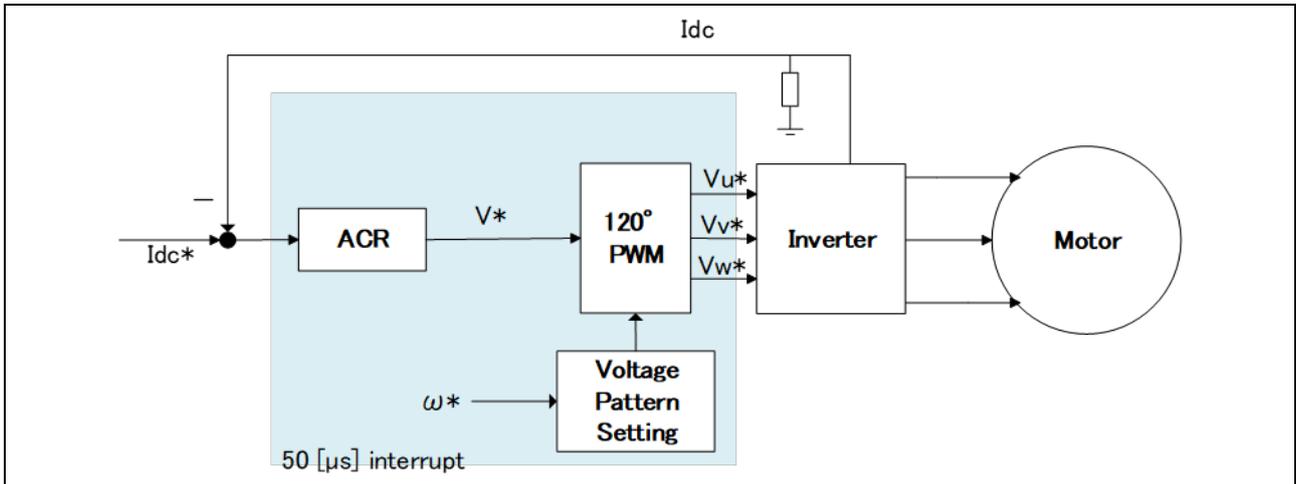


図 3-15 制御ブロック内の割り込み処理（オープンループ制御時）

電流制御モードのオープンループ時の駆動概略を説明します。オープンループ制御では、速度制御器 (ASR) が動作せず、電流制御器 (ACR) のみ動作します。電流 PI 制御の出力として得られた電圧指令を通电パターンに応じてモータの 3 相のいずれか 2 相に印加します。各通电パターンは電気角 60°間だけ出力して、速度指令に応じて順番に通电パターンを切り替えます。

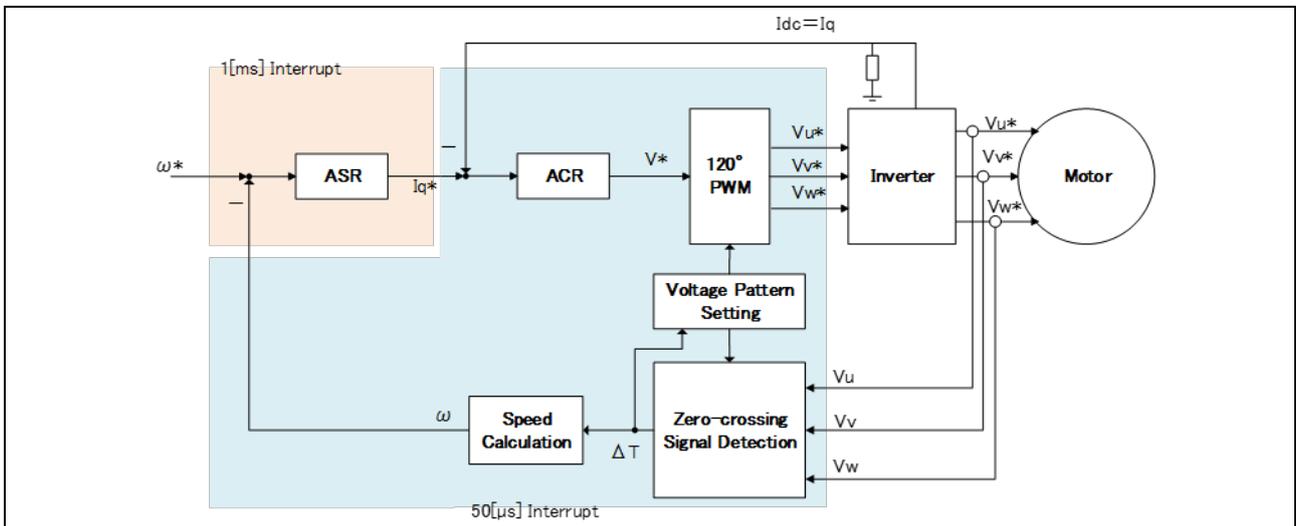


図 3-16 制御ブロック内の割り込み処理（センサレスモードのクローズドループ制御時）

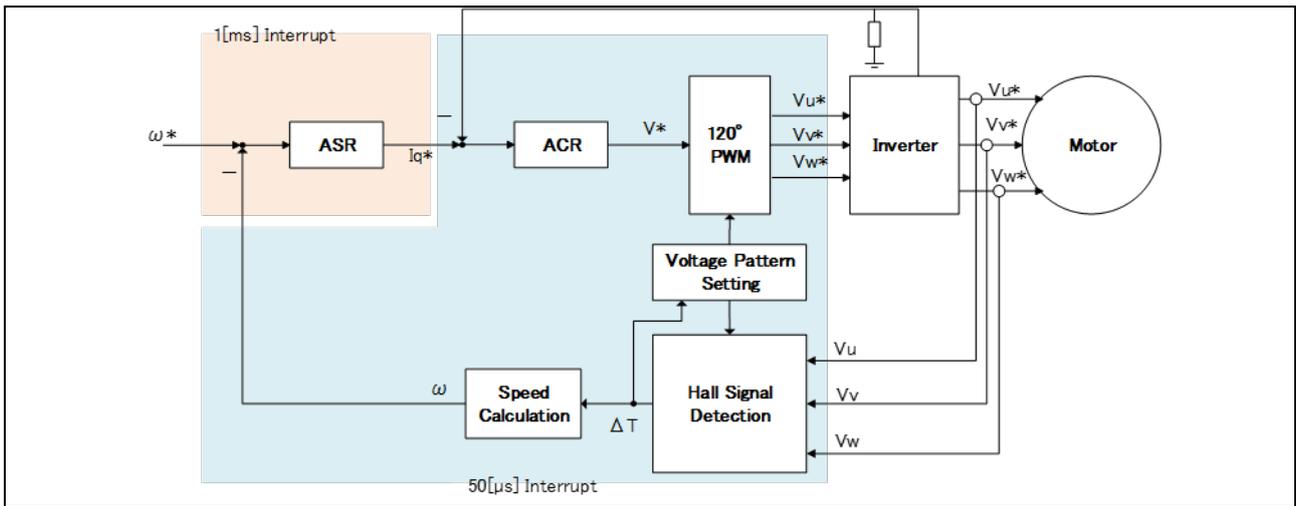


図 3-17 制御ブロック内の割り込み処理（ホールセンサのクローズドループ制御時）

電流制御モードのクローズドループ時の駆動概略を説明します。センサレスモードはゼロクロス検出信号、ホールセンサ使用モードではホールセンサ信号により、位置検出してモータの回転速度を算出します。速度指令値と算出した速度の偏差を速度制御器に入力し、出力として電流指令が得られます。電流 PI 制御により、通電パターンに応じて印加する電圧指令が得られます。

3.1.9.2 電圧制御モードの割り込み処理

電圧制御モードでは、電圧指令値が速度 PI 制御によって出力されるため、1[ms]の周期で更新します。

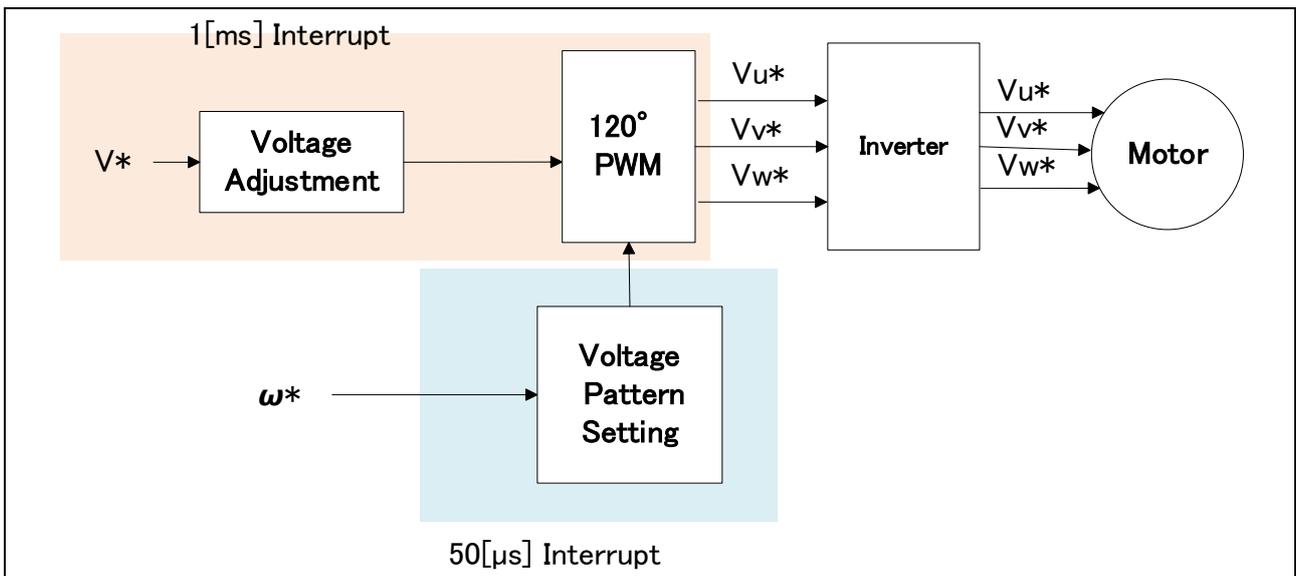


図 3-18 制御ブロック内の割り込み処理（オープンループ制御時）

電圧制御モードのオープンループ時の駆動概略を説明します。オープンループ制御では、一定の電圧指令を通電パターンに応じてモータの 3 相のいずれか 2 相に印加します。各通電パターンは電気角 60°間だけ出力して、速度指令に応じて順番に通電パターンを切り替えます。

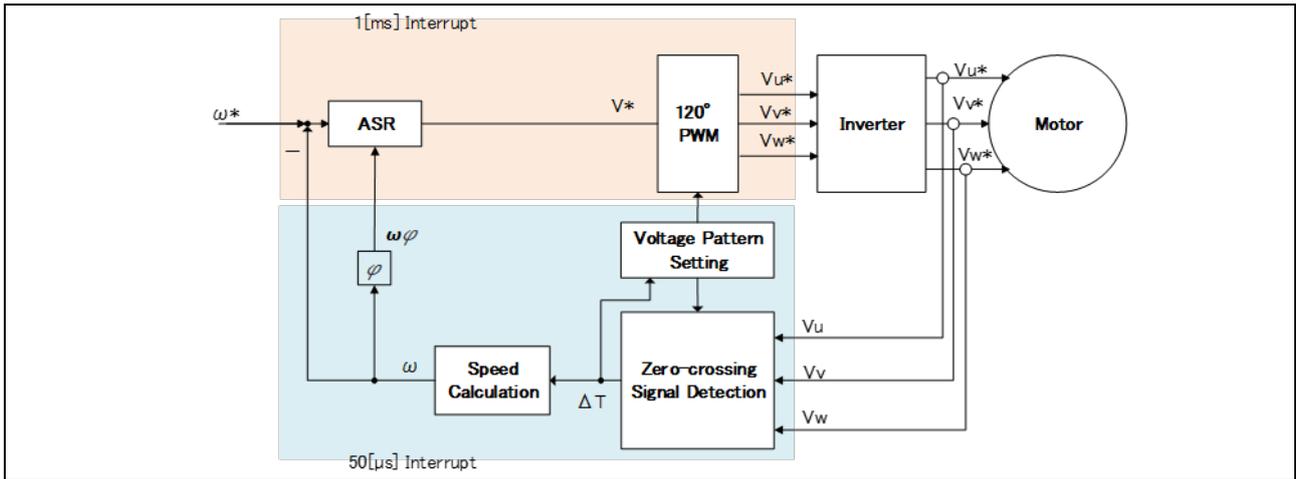


図 3-19 制御ブロック内の割り込み処理（センサレスモードのクローズドループ制御時）

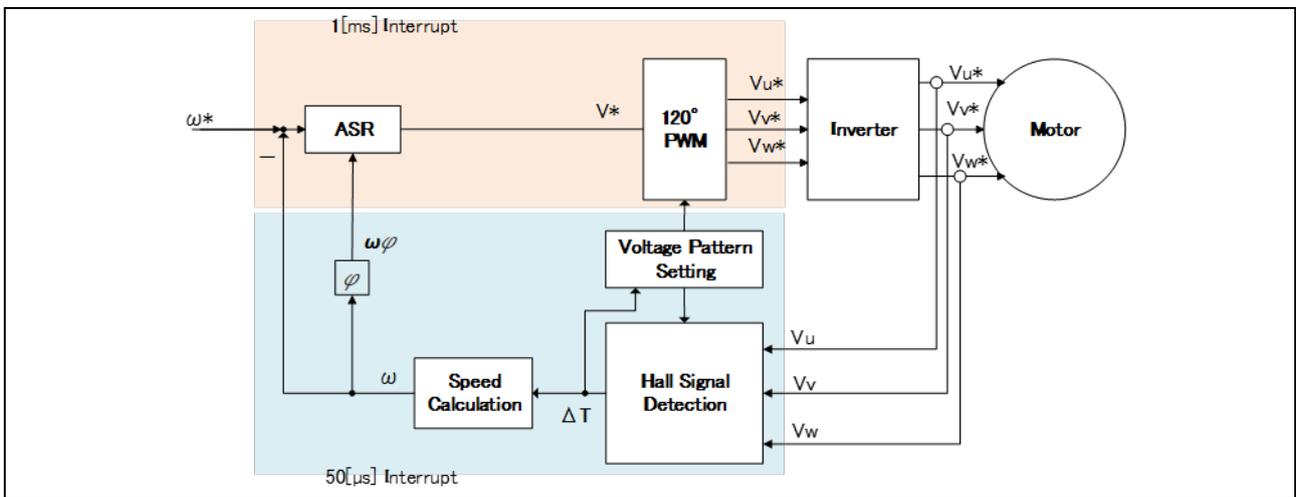


図 3-20 制御ブロック内の割り込み処理（ホールセンサのクローズドループ制御時）

電圧制御モードのクローズドループ時の駆動概略を説明します。センサレスモードではゼロクロス検出信号、ホールセンサ使用モードではホールセンサ信号により、位置検出してモータの回転速度を算出します。速度指令値と算出した速度の偏差を速度制御器に入力し、出力として電圧指令が得られます。

3.1.10 DC リンク電流、母線電圧と相電圧の測定方法

本プログラムで用いる DC リンク電流、母線電圧と相電圧の測定方法について説明します。

3.1.10.1 DC リンク電流、母線電圧と相電圧の測定タイミング

本プログラムでは、RL78/G24 の以下の機能を用いることで DC リンク電流、母線電圧と相電圧の測定を行います。

- ・ タイマ RD2 :
 拡張相補 PWM モード（対称三相波形を出力）、A/D 変換トリガ 0,1
- ・ A/D コンバータ
 アドバンス・モード、ハードウェア・トリガ

本プログラムでは、2 周期のキャリアで DC リンク電流、母線電圧と相電圧の測定を行います。図 3-21 に拡張相補 PWM の波形の例を示します。

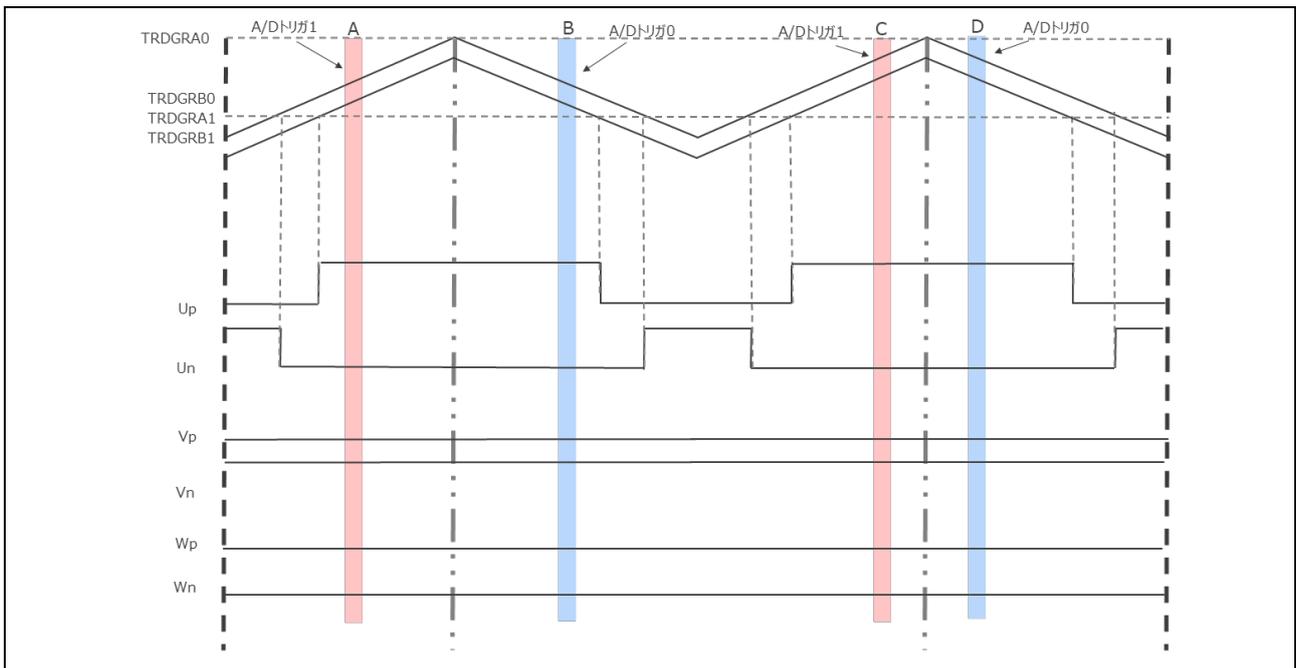


図 3-21 拡張相補 PWM 波形図(例：U 相：上アーム ON、V 相：下アーム ON、W 相：無通電相)

1 キャリア目において、図 3-21 のポイント A では DC リンク電流と無通電相電圧(W 相)を測定し、図 3-21 のポイント B では無通電相電圧(W 相)と上アームが ON している相電圧(U 相)を測定します。2 キャリア目のキャリアにおいて、図 3-21 のポイント C では母線電圧と無通電相電圧(W 相)を測定し、図 3-21 のポイント D では無通電相電圧(W 相)と上アームが ON している相電圧(U 相)を測定します。2 キャリア目に A/D 変換トリガの位置をキャリアの山寄りにずらすことで、無通電相に対して 4 箇所を測定することになり、その平均値を制御側の無通電相電圧として使います。

3.1.10.2 誘起電圧測定のための A/D 変換トリガタイミング調整

本プログラムでは、無通電相に発生する誘起電圧の測定は PWM の上アームが ON している間に行います。誘起電圧波形は上アーム ON のタイミングから通常減衰振動の形で見えます。A/D のタイミングによって測定値にばらつきが生じてしまうため、適切な誘起電圧を取得できるように上アーム ON の幅に対して 2 回の A/D 変換を 2 キャリア周期の平均値として扱います。そのため、A/D 変換トリガをデューティ値に合わせて調整する必要があります。

デューティ値の大きさには閾値を設けて、閾値に対する大小関係によって A/D 変換トリガタイミングを切り替えます。これにより、A/D トリガを設定する谷のタイミングと A/D トリガが重なることを防いでいます。このデューティ値の閾値は調整パラメータとなります。

デューティ値が閾値より小さいとき、図 3-22 のように設定します。この時、上アームの ON/OFF エッジからトリガを発生させるタイミング①と 1 キャリア目と 2 キャリア目のトリガの間隔②は調整パラメータとなります。誘起電圧の安定した値を取得できるように調整する必要があります。

デューティ値が閾値を超えた場合に図 3-23 に示すように A/D 変換トリガ 1 はデューティ最小幅のトリガ位置に固定されます。

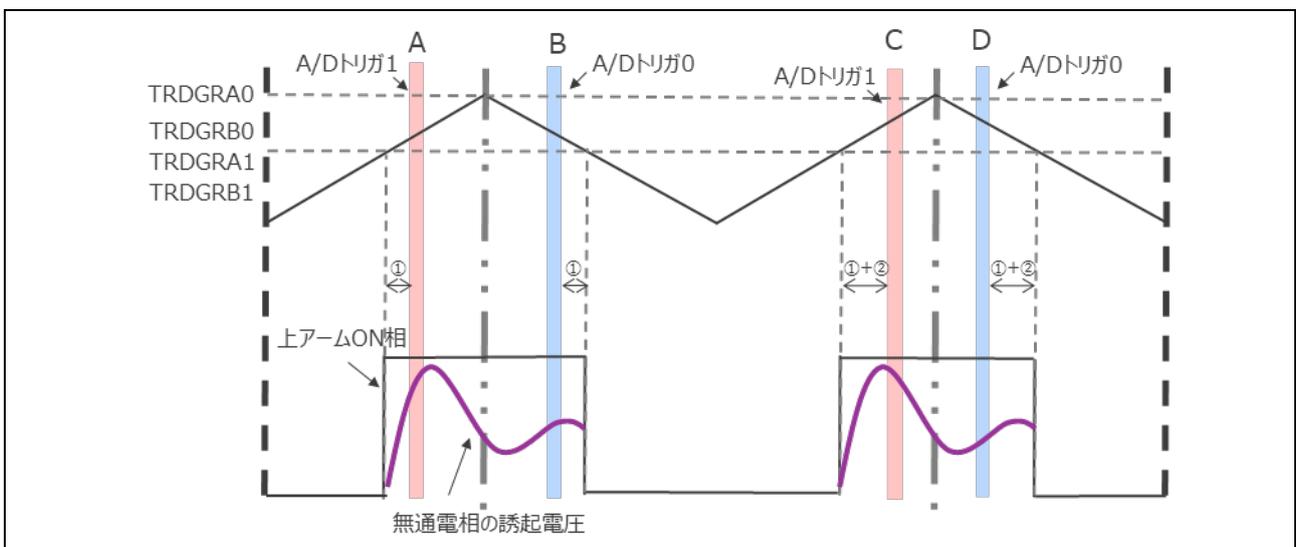


図 3-22 A/D 変換トリガタイミング (デューティ値が閾値より小さい場合)

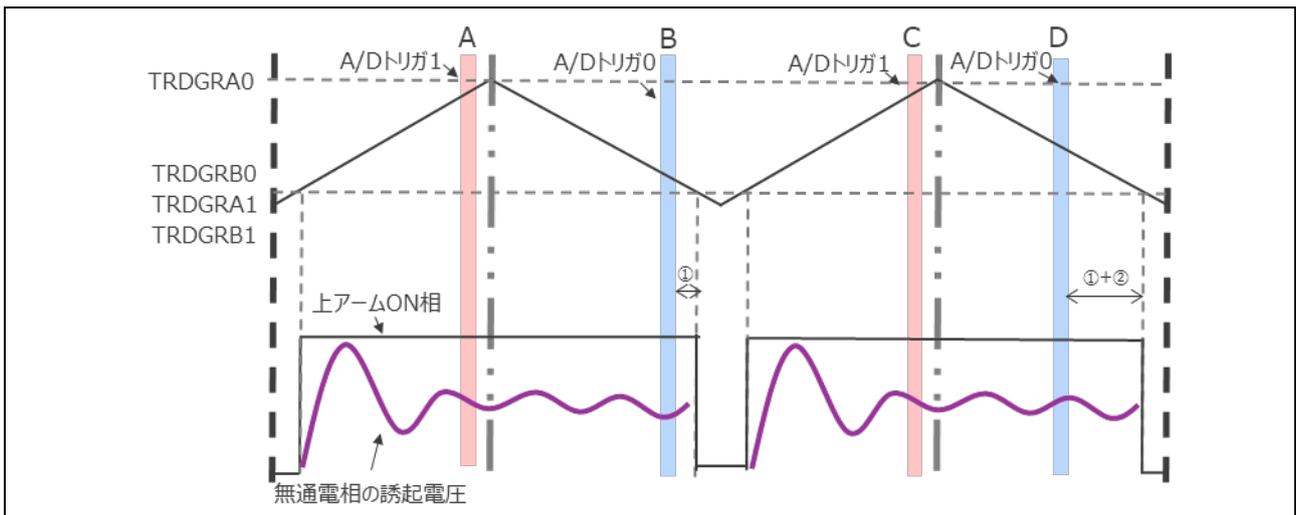


図 3-23 A/D 変換トリガタイミング (デューティ値が閾値を超えた場合)

デューティ値の閾値、図 3-22、図 3-23 の上アームの ON/OFF エッジからトリガを発生させるタイミング (ポイント①) と 1 キャリア目と 2 キャリア目のトリガのタイミングの間隔 (ポイント②) に対応するパラメータと変数を以下の表 3-6 に示します。

表 3-6 A/D 変換タイミング調整パラメータ

	該当調整パラメータ	反映先の変数名
	CP_AD_TRG_DUTY_THRESHOLD_CNT (デューティ値の閾値)	g_st_120.st_less.s2_duty_th
①	CP_AD_TRG_ADJUST_UP_CNT (無通電相の誘起電圧の傾きが上り時の A/D 変換トリガ タイミング調整カウント値)	g_st_120.st_less.s2_ad_trg_offset_cnt
	CP_AD_TRG_ADJUST_DOWN_CNT (無通電相の誘起電圧の傾きが下り時の A/D 変換トリガ タイミング調整カウント値)	
②	CP_AD_TRG_DIFF_CNT (A/D 変換トリガタイミング調整カウント値)	g_st_120.st_less.s2_ad_trg_offset_cnt

3.1.11 突極性を利用した停止時初期位置検出

回転子の位置により磁気抵抗が変化する場合、そのモータは突極性を持つといいます。これは回転子の位置に応じて磁気抵抗が変化ると言い換える事が出来ます。磁気抵抗が正弦波状に変化するならば、インダクタンスも正弦波状に変化する事になります。図 3-24 に示すように回転子の 1 周に対してインダクタンスは 2 倍の周期で変化します。この場合、例えば U→V、V→W、W→U の方向に電流が流れる様に電圧を印加すると、シャント抵抗に流れる電流が閾値電流値に達するまでの時間は、回転子の位置に応じて変化します。例えば、図 3-25 の状態の時、V→W の方向に電圧を印加した場合の方が W→U の方向に電圧を印加した場合より時間が掛かる事になります。

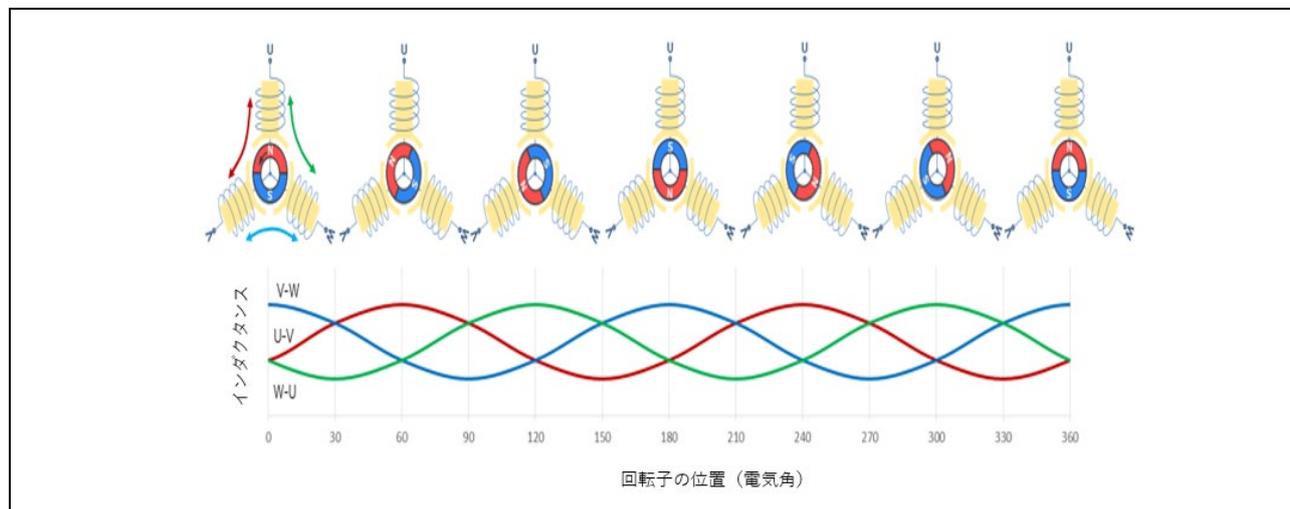


図 3-24 回転子位置に応じたインダクタンスの変化

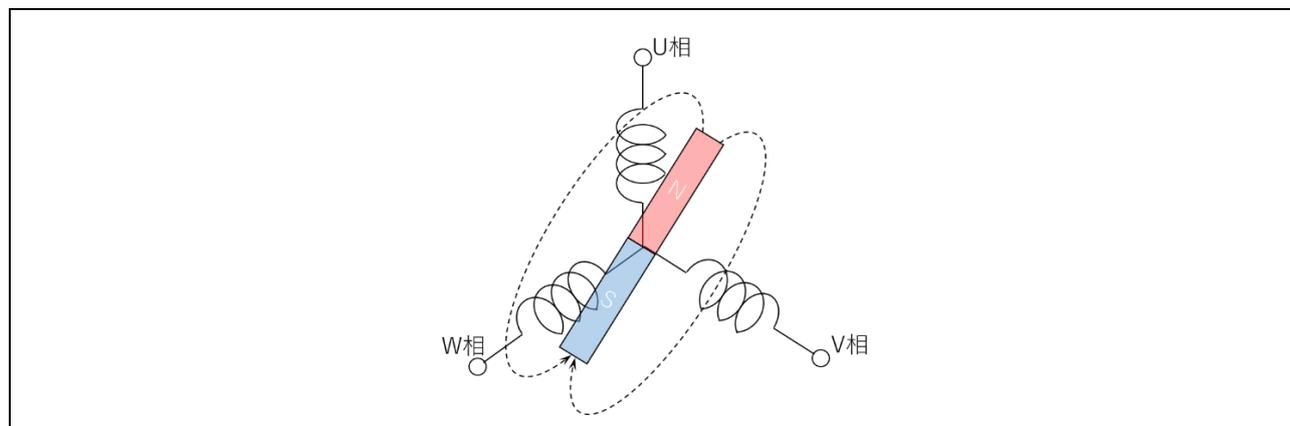


図 3-25 回転子位置と各相の関係

この性質を利用して回転子の位置を検出する方法を説明します。図 3-26 角度検出模式図に本システムで用いる突極性モータの角度検出の模式図を示します。判別は 3 パターンの電圧を印加し、シャント抵抗に流れる電流が閾値電流に達するまでの時間を内部タイマにより計測し、これを比較することで回転子が電気角 180 度内で 60 度毎のどの方向を向いているのかを検出します。

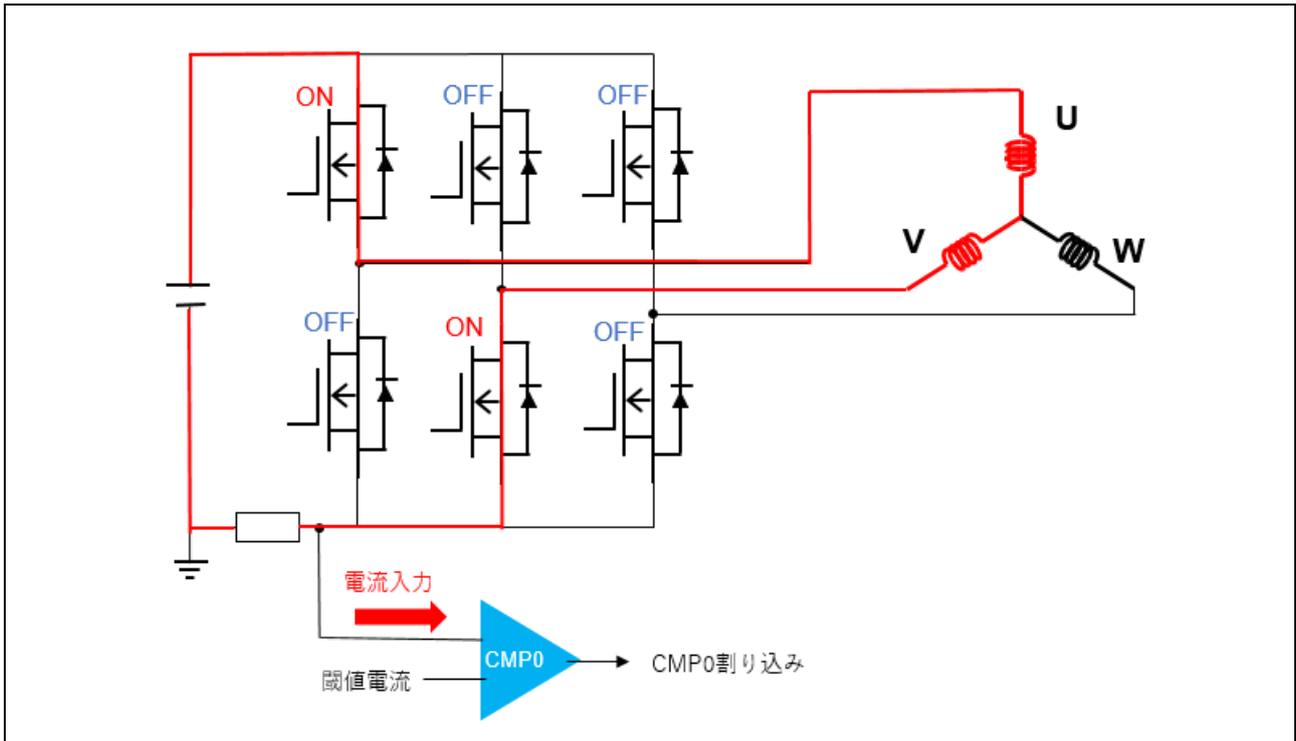


図 3-26 角度検出模式図

本システムで用いるアルゴリズムでは、内部基準電流の値に達するまでの時間を RL78/G24 のタイマ RX(TRX)とコンパレータ 3(CMP3)を用いて検出します。TRD の拡張相補 PWM モードを用い、各相にパルス状の電圧を印加します。この時、TRX を TRD の立ち上がりエッジ同期でカウントを開始し、CMP3 によりシャント抵抗に流れる電流が閾値電流に到達した事を検知したタイミングで割り込みを発生させ、電流上昇に要した時間を計測します。

各相で計測した時間の累計値の比較から電気角 180 度内の 60 度毎の分解能で、突極性を利用した角度検出を行います。最大相と最小相の時間累計値の差分が閾値以上になった時に計測終了としています。ただし、最大測定回数分の測定を行っても差分が閾値の設定割合に達しなかった場合、突極性を利用した角度検出は失敗となります。

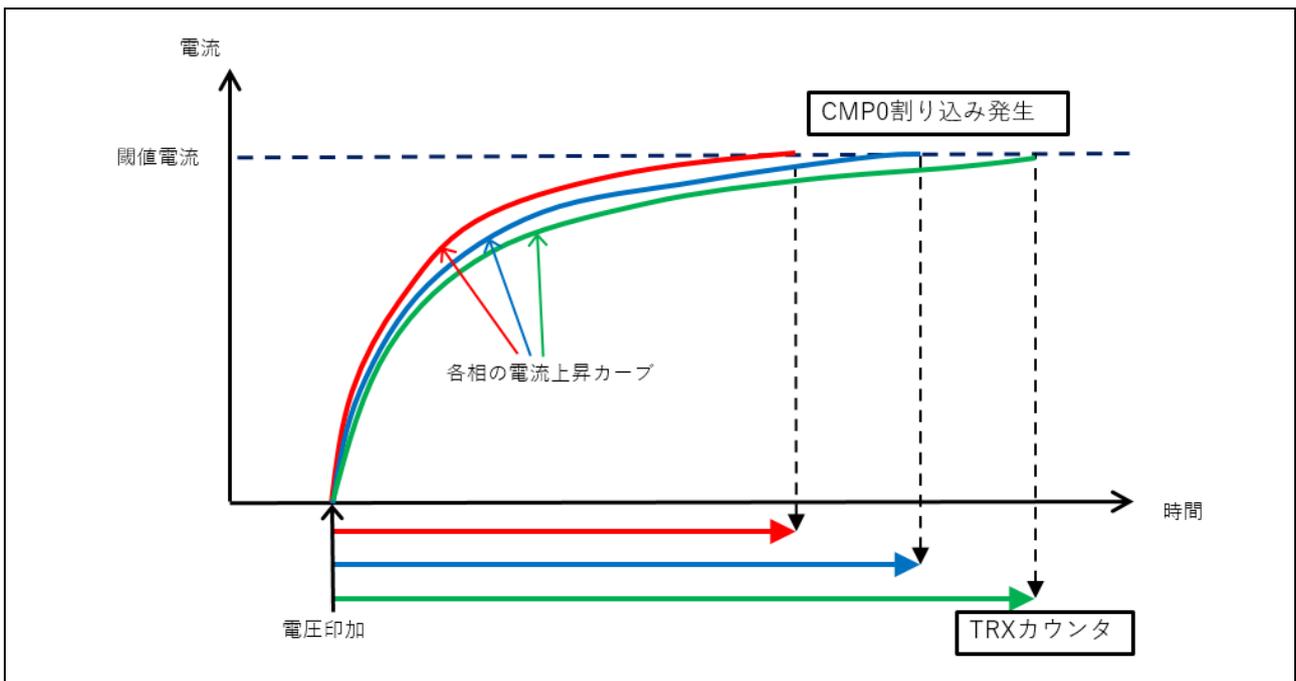


図 3-27 各相の電流検出の時間差

また、モータの回転子が初期位置を推定するために十分な突極性を有しているか確認するため、突極性判定を行います。測定した 3 相の電流上昇にかかった TRX カウント値の最大値と中間値の差分、中間値と最小値の差分を比較し、差分が大きい方の最大値または最小値の相を特定します。次に、特定した相と逆向きに電圧を印加し、電流上昇に要する時間を測定します。このとき、3 相の TRX カウント値の平均値と電圧の向きを反転させた相の TRX カウント値を比較し、反転させた相の TRX カウント値が特定した相と同じ大小関係にあれば突極性が十分大きいと判断し、異なる場合には突極性が小さいと判断します。

例えば図 3-28 で示すように、回転子が 120 度方向を向いている場合、最大値と中間値の差分が大きくなるため、特定される相は W-U 相となります。W-U 相から通電方向を反転させ、U-W 相に電圧を印加して電流が上昇する時間を測定します。U-V、V-W、W-U の TRX カウント値の平均値と U-W 相の TRX カウント値を比較し、U-W 相の TRX カウント値の方が大きければ突極性を利用した初期位置検出が可能と判断し、小さければ不可能と判断します。

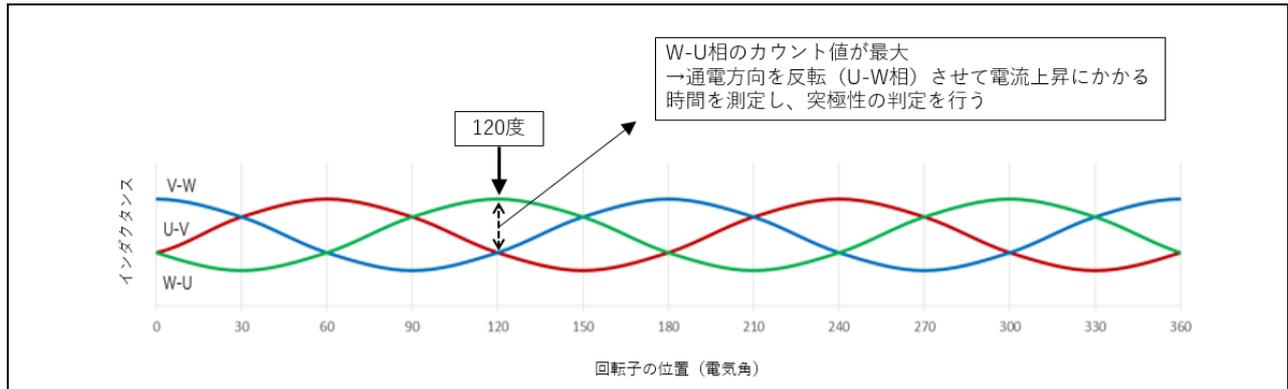


図 3-28 突極性の確認方法

3.1.12 飽和特性を利用した初期位置検出

上記で説明した方法は突極性によるインダクタンスの変化を利用して位置を推定している為、極性の判別が出来ません(例えば 60 度と 240 度の区別が付きません)。また、非突極性モータを使用した場合も適用することができません。そこで、極性検出時や非突極性の回転子で角度検出を行う場合、モータの磁気飽和特性を利用します。

磁性体が磁化できる大きさには限りがあるため、コイルに電流を流してコイル内のコアに外部磁場を発生させると、外部磁場がある値を超えるとコアは飽和磁化状態となります。コアを貫く外部磁場の向きとコイルに流れる電流によって発生する磁場の方向が同じであれば、方向が逆の場合よりもコアの磁化が飽和に近い状態となるため、インダクタンスが小さくなります。この特性を利用して磁極の向きを判定します。

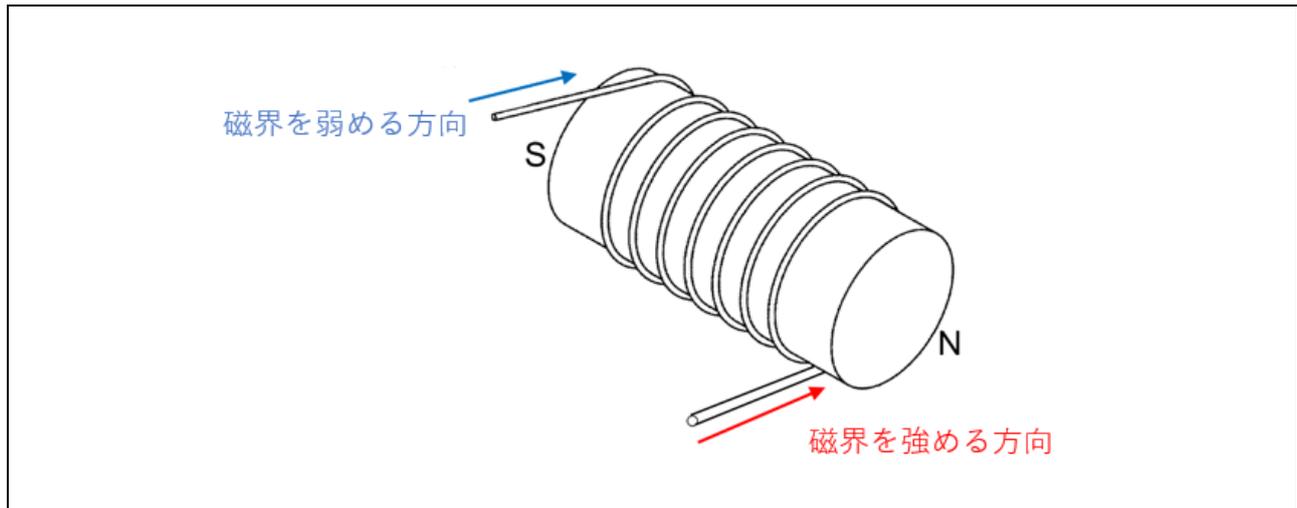


図 3-29 コイルに巻かれた磁極の例

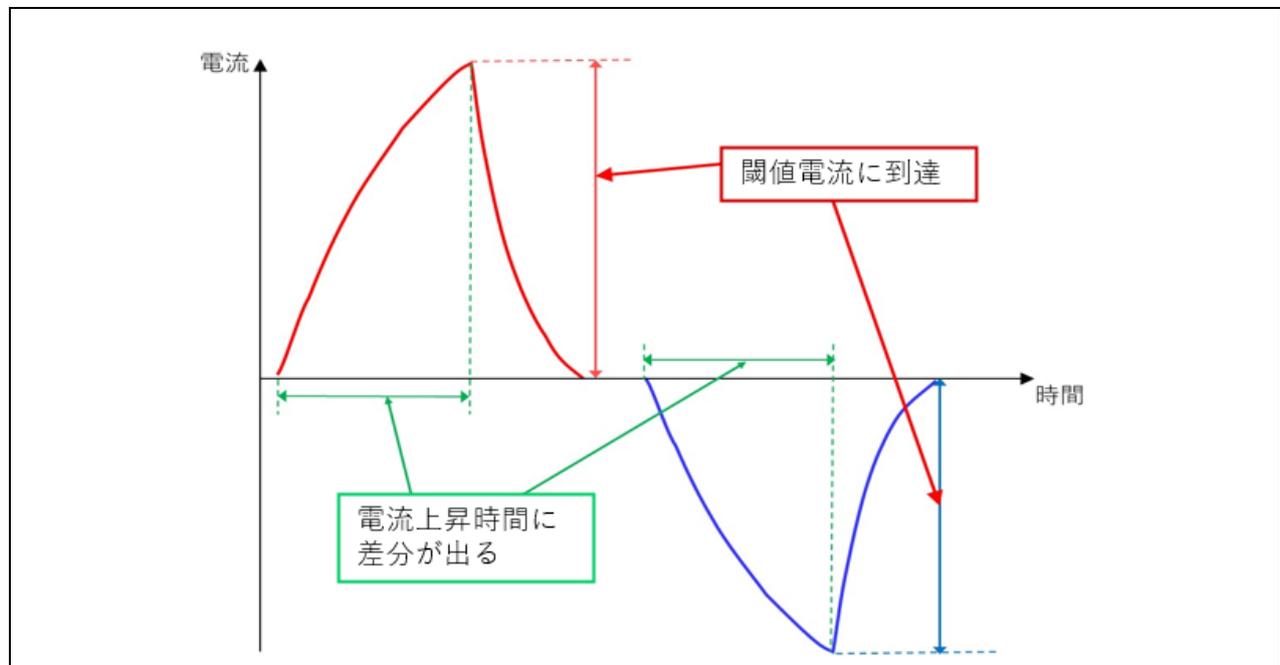


図 3-30 電流印加方向による電流差異

突極性を利用した場合の測定と同様に、図 3-30 の様にモータに電圧を印加して、シャント抵抗に流れる電流が上昇するのに要する時間を TRX で測定します。飽和特性を利用した測定では、電圧の印加方向と回転子の向きが一致している場合に TRX のカウント値が最も小さくなるため、この傾向を利用して回転子の向きを推定します。

突極性モータの場合、突極性を利用した角度検出の結果を基に電圧を順方向と逆方向に印加し、電流上昇時間の大小関係を比較することで、飽和特性を利用した極性検出を行います。また、非突極性モータの場合、電圧を 6 方向に印加して電流上昇時間を測定し、TRX カウント値が最小となる相に回転子が向いているものとして、飽和特性を利用した角度検出を行います。

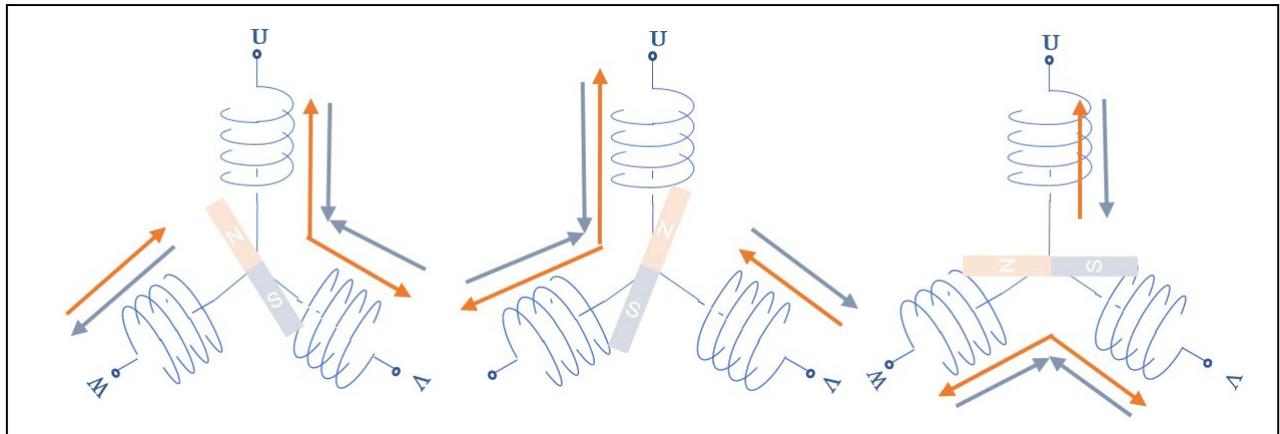


図 3-31 磁気飽和を利用した初期位置検出による電圧印加パターン例

測定終了は各方向での差分が判別閾値を超えた時点で終了とします。ただし、最大測定回数分の測定を行っても差分の累積値が判別閾値に達しなかった場合、判別閾値の設定割合以上であれば測定に成功したと判断し、設定割合より小さければ測定に失敗したと判断します。

始動準備モード(PS_METHOD)の値により、実行される初期位置検出処理が異なります。表 3-7 各モードで実行される処理の一覧を示します。

表 3-7 始動準備モード(PS_METHOD) による実行される処理

始動準備モード (PS_METHOD)	突極性を利用した角度検出	突極性判定	飽和特性を利用した極性検出	飽和特性を利用した角度検出
PS_IPD_SAL	○	×	○	×
PS_IPD_NON_SAL	×	×	×	○
PS_IPD_UNKNOWN	○	○	○	○
PS_DRAW_IN	×	×	×	×

3.1.13 進角制御

回転速度が上がるにつれ、各相で誘起電圧に対して電流の位相は遅れる傾向にあります。この位相の遅れが生じるとトルクを上げる事が出来なくなる為、印加電圧の位相を状況に応じて進める事で誘起電圧と電流の位相を合わせる方法を進角制御と呼びます。本サンプルプログラムでは、30 度迄の進角を、誘起電圧のゼロクロス検出から転極するまでの角度を減らす事を実現し、30 度以上の進角をゼロクロス検出の為の比較用電圧（各相の誘起電圧と比較する為の midpoint 電圧）の値を操作する事により実現します。

3.1.14 システム保護機能

本プログラムは、以下のエラー状態を持ち、それぞれの場合に緊急停止する機能を実装しています。システム保護機能に関わる各設定値は表 3-8 を参照して下さい。

- ハードウェア過電流エラー

CMP3 から割り込み信号（過電流検出）が発生した時に電圧出力を停止します。

- ソフトウェア過電流エラー

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。

- 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。

- タイムアウトエラー

タイムアウト監視周期でタイムアウトカウンタを監視し、ホールセンサ使用モードではホール割り込みが、センサレスでは誘起電圧のゼロクロスが一定時間発生しない場合、電圧出力を停止します。

- パターンエラー

パターン監視周期で出力電圧パターンを監視し、ホールセンサ使用モードではホールセンサ信号、センサレスでは誘起電圧を基に設定された出力電圧パターンに異常を検出した場合、電圧出力を停止します。

- TRX オーバーフローエラー

初期位置検出における電流上昇時間測定時に TRX カウンタがオーバーフローした場合、電圧出力を停止します。

表 3-8 各システム保護機能設定値

エラー	閾 値	
ハードウェア過電流エラー	過電流リミット値 [A]	4.5
ソフトウェア過電流エラー	過電流リミット値 [A]	1.47
	監視周期 [μs]	50
過電圧エラー	過電圧リミット値 [V]	28
	監視周期 [μs]	1000
低電圧エラー	低電圧リミット値 [V]	12
	監視周期 [μs]	1000
回転速度エラー	速度リミット値 [rpm]	5590
	監視周期 [μs]	1000
タイムアウトエラー	タイムアウト時間[ms]	226 【センサレスモード】 113 【ホールセンサ使用モード】

3.1.15 単位法 (PU)

固定小数点演算によるモータ制御はダイナミックレンジがコンパイル時に決まります。実際のモータの特性と設計時に想定したモータの特性との違いが大きければ、ダイナミックレンジの差の違いにより、桁あふれ、丸め誤差などの問題が起こり易くなります。本プログラムでは、演算のダイナミックレンジのモータ特性依存度を低減するために単位法 (PU: per-unit) を使用します。任意の物理量の PU 値は基準となる物理量に対する相対的な値であり、以下のように計算できます。

$$PU \text{ 値} = \frac{\text{物理量}}{\text{基準値}}$$

制御に使用される物理量やゲインなどの PU 単位は全て電流、電圧、角周波数、角度の基準値から計算することが出来ます。例えば、抵抗基準値は以下のように電圧基準値と電流基準値で計算します。

$$\text{抵抗基準値} = \frac{\text{電圧基準値}}{\text{電流基準値}} = 1[\text{抵抗PU}]$$

演算ダイナミックレンジがモータの特性から受ける影響を低減するため、電流、電圧、角周波数の基準値はモータ特性を元に設定する必要があります (基準値の取り方は一意ではありません)。本プログラムでは、定格電流、インバータへの入力電圧、最大速度を電流、電圧、角周波数の基準値 (PU 単位) に設定します。各物理量の基準値を表 3-9 に示します。これらの値は r_mtr_scaling_parameter.h の中で定義されています。

表 3-9 PU 単位系基準値

カテゴリ	項目	定義	単位
PU 基本物理量	電流	定格電流	[A]
	電圧	入力電圧 (インバータ入力)	[V]
	角周波数	$2\pi \times \text{最大速度}[\text{rpm}] \times \text{極対数} / 60$	[Hz]
	角度	1	[rad]
物理量	時間	角度 / 角周波数	[s]
	抵抗	電圧 / 電流	[Ω]
	インダクタンス	抵抗 / 角周波数	[H/rad]
	誘起電圧定数	電圧 / 角周波数	[V·s/rad]
	イナーシャ	誘起電圧定数 × 電流 × (極対数 / 角周波数) ²	[kgm ² /(rad ²)]
電流制御	Kp	抵抗	[Ω]
	Kidt	抵抗	[Ω]
速度制御	Kp	電流 / 角周波数	【電流制御モード】 [A/(rad/s)]
		電圧 / 角周波数	【電圧制御モード】 [V/(rad/s)]
	Kidt	電流 / 角周波数	【電流制御モード】 [A/(rad/s)]
		電圧 / 角周波数	【電圧制御モード】 [V/(rad/s)]

3.2 120 度通電制御ソフト関数仕様

本制御プログラムの関数一覧を以下に示します。本システムで使用していない関数は記載していません。

表 3-10 “main.c” 関数一覧

ファイル	関数名	処理概要
main.c	main 入力：なし 出力：なし	初期化処理と main ループ ・初期化処理 ⇒ハードウェア初期化 ⇒RMW 通信初期化 ⇒システム変数初期化 ⇒制御用システム初期化 ⇒リセット処理 ⇒母線電圧安定待ち処理 ・main ループ ⇒UI 入力値に応じたシステム制御 ⇒LED 制御 ⇒ウォッチドッグタイマクリア
	ics_ui 入力：なし 出力：なし	RMW UI 処理(GUI) ・com 変数の値を RMW 変数へ代入 ・入力イベントによるモータステータスの変更 ・リセット時にシステム変数初期化
	software_init 入力：なし 出力：なし	システム変数の初期化 ・メイン処理変数の初期化 ・RMW 変数の初期化

表 3-11 “r_mtr_ics.c” 関数一覧

ファイル	関数	処理概要
r_mtr_ics.c	R_MTR_SetCOMVariables 入力：なし 出力：なし	制御変数への入力受け渡し前処理 ・com 変数の値を RMW 変数へ入力 ・RMW 変数の値を RMW バッファ変数へ入力
	R_MTR_ICSVariablsInit 入力：なし 出力：なし	com 変数の初期化
	mtr_limit 【inline function】 入力：(int16_t) s2_value :: 対象の値 (int16_t) s2_max :: 最大値 (int16_t) s2_min :: 最小値 出力：(int16_t) s2_temp :: リミット処理値	最大値、最小値のリミット処理
	R_MTR_ICSIntLevel 入力：(uint8_t) u1_level :: 割り込み優先順位 出力：なし	ICS の割り込み優先順位設定 【初期位置検出】

表 3-12 “r_mtr_board.c” 関数一覧

ファイル	関数	処理概要
r_mtr_board.c	R_MTR_BoardLedContrl 入力: (uint8_t) u1_motor_status :: モータステータス (uint8_t) u1_system_status :: システムステータス 出力: なし	モータステータス、システムモードに応じた LED の制御

表 3-13 “ICS2_RL78G24.lib” 関数一覧

ファイル	関数	処理概要
ICS2_RL78G24.lib	ics2_init 入力: uint16_t addr :: DTC ベクタテーブル先頭アドレス uint16_t pin :: SCI 使用ピン uint8_t level :: 割り込みレベル uint8_t num :: DTC の構造体の先頭番地 uint8_t brr :: 通信速度 uint8_t mode :: 通信モード 出力: なし	通信初期化
	ics2_watchpoint 入力: なし 出力: なし	転送関数の呼び出し 300us 以上の間隔で呼び出す必要があります。

表 3-14 “R_DSP_RL78_CC_S.lib” 関数一覧

ファイル	関数	処理概要
R_DSP_RL78_CC_S.lib	R_motor_sincos_pu_FIX12 入力: st_sincos12 *p_sincos12 :: 角度構造体ポインタ 入力範囲: $-2\pi \leq \theta \leq 2\pi$ (FIX12) 出力: なし 出力範囲: $-1 \leq \sin, \cos \leq 1$ (FIX14)	角度(FIX12 theta)から正弦と余弦の値を計算し、それぞれ(FIX14 sin) と(FIX14 cos)に格納

表 3-15 “r_mtr_driver_access.c” 関数一覧

ファイル	関数	処理概要
r_mtr_driver_access.c	R_MTR_InitControl 入力：なし 出力：なし	モータ制御システム初期化 ・モータステータスの初期化 ・制御用変数の初期化
	R_MTR_IcsInput 入力：(st_mtr_ctrl_input_t)*st_ics_input :: ICS 構造体 出力：なし	ICS 変数の値を ICS バッファ変数へ入力
	R_MTR_SetVariables 【inline function】 入力：なし 出力：なし	ICS バッファ変数の値を制御変数へ入力
	R_MTR_InputBuffParamReset 入力：なし 出力：なし	ICS バッファ変数のリセット
	R_MTR_ExecEvent 入力：(uint8_t) u1_event :: イベント 出力：なし	モータステータスの変更とイベント処理
	R_MTR_GetStatus 入力：なし 出力：(uint8_t) :: モータステータス	モータステータス取得
	R_MTR_GetErrorStatus 入力：なし 出力：(uint8_t) :: エラーステータス	エラーステータス取得
	R_MTR_GetDir 入力：なし 出力：(uint8_t) :: 回転方向	回転方向取得
	R_MTR_ChargeCapacitor 入力：なし 出力：(uint16_t) :: タイムアウトエラー	母線電圧安定待ち処理
	R_MTR_UpdatePolling 入力：なし 出力：なし	制御変数の設定

表 3-16 “r_mtr_statemachine.c” 関数一覧

ファイル	関数	処理概要
r_mtr_statemachine.c	mtr_statemachine_init 入力 : (st_mtr_statemachine_t) *p_state_machine :: モータステータス構造体 出力 : なし	モータステータスの初期化
	mtr_statemachine_reset 入力 : (st_mtr_statemachine_t) *p_state_machine :: モータステータス構造体 出力 : なし	モータステータスのリセット
	mtr_state_machine_event 入力 : (st_mtr_statemachine_t) *p_state_machine :: モータステータス構造体 (void) *p_object :: 制御変数用構造体 (uint8_t) u1_event :: イベント 出力 : なし	イベントの実行
	mtr_statemachine_get_status 入力 : (st_mtr_statemachine_t) *p_state_machine :: モータステータス構造体 出力 : (uint8_t) p_state_machine->u1_status :: モータステータス	モータステータスの取得
	mtr_act_none 入力 : (st_mtr_statemachine_t) *st_stm :: モータステータス構造体 (void) *p_param :: 制御変数用構造体 出力 : なし	処理なし
	mtr_act_init 入力 : (st_mtr_statemachine_t) *st_stm :: モータステータス構造体 (void) *p_param :: 制御変数用構造体 出力 : なし	制御変数の初期化
	mtr_act_error 入力 : (st_mtr_statemachine_t) *st_stm :: モータステータス構造体 (void) *p_param :: 制御変数用構造体 出力 : なし	モータの停止
	mtr_act_drive 入力 : (st_mtr_statemachine_t) *st_stm :: モータステータス構造体 (void) *p_param :: 制御変数用構造体 出力 : なし	制御変数のリセット
	mtr_act_stop 入力 : (st_mtr_statemachine_t) *st_stm :: モータステータス構造体 (void) *p_param :: 制御変数用構造体 出力 : なし	モータの停止

表 3-17 “r_mtr_120.c” 関数一覧

ファイル	関数名	処理概要
r_mtr_120.c	R_MTR_120MotorDefaultInit 入力：(st_mtr_120_control_t)*st_120 :: 制御変数用構造体 出力：なし	制御変数の初期化
	R_MTR_120MotorReset 入力：(st_mtr_120_control_t)*st_120 :: 制御変数用構造体 出力：なし	制御変数のリセット
	R_MTR_CtrlStop 入力：なし 出力：なし	モータ停止処理 ・ TRD2 出力禁止 ・ ホール割り込み禁止【ホールセンサ使用モード】 ・ デレイタイム設定クリア【センサレスモード】

表 3-18 “r_mtr_ctrl_gain_calc.obj” 関数一覧

ファイル	関数名	処理概要
r_mtr_ctrl_gain.obj	R_MTR_CtrlGainVoltageMode 入力：(st_mtr_ctrl_gain_voltage_mode_t)*st_gain_v_buf :: ゲイン設計構造体ポインタ (st_mtr_design_parameter_t)*st_ctrl_param :: 計パラメータ構造体ポインタ 出力：なし	ゲイン設計処理【電圧制御モード】
	R_MTR_CtrlGainCurrentMode 入力：(st_mtr_ctrl_gain_current_mode_t)*st_gain_i_buf :: ゲイン設計構造体ポインタ (const st_mtr_design_parameter_t)*st_ctrl_param :: 計パラメータ構造体ポインタ 出力：なし	ゲイン設計処理【電流制御モード】

表 3-19 “r_mtr_interrupt.c” 関数一覧 [1/4]

ファイル	関数	処理概要
r_mtr_interrupt.c	R_MTR_CMP3Interrupt 入力：なし 出力：なし	<ul style="list-style-type: none"> ハードウェア過電流検出 初期位置検出時 TRX カウント値取得
	R_MTR_CarrierHallInterrupt 入力：なし 出力：なし	<p>【ホールセンサ使用モード】</p> キャリア割り込み (50 us) <ul style="list-style-type: none"> 母線電圧、DC リンク電流取得 A/D 変換チャンネル切り替え処理 電流 PI 制御処理、デューティ設定【電流制御モード】 エラー監視処理 電流オフセット測定 ICS 通信処理
	R_MTR_1msHallInterrupt 入力：なし 出力：なし	<p>【ホールセンサ使用モード】</p> 周期タイマ割り込み (INTTRG で呼び出し) 周期：1[ms] <ul style="list-style-type: none"> ドライブモードのステータスの切り替え 指令速度の設定 指令電圧の設定、デューティ設定【電圧制御モード】 指令電流の設定【電流制御モード】 エラーチェック
	R_MTR_HallUInterrupt 入力：なし 出力：なし	<p>【ホールセンサ使用モード】</p> ホールセンサ割り込み時処理呼び出し <ul style="list-style-type: none"> ホールパターンから通電パターン設定 速度計算
	R_MTR_HallVInterrupt 入力：なし 出力：なし	<p>【ホールセンサ使用モード】</p> ホールセンサ割り込み時処理呼び出し <ul style="list-style-type: none"> ホールパターンから通電パターン設定 速度計算
	R_MTR_HallWInterrupt 入力：なし 出力：なし	<p>【ホールセンサ使用モード】</p> ホールセンサ割り込み時処理呼び出し <ul style="list-style-type: none"> ホールパターンから通電パターン設定 速度計算
	mtr_hall_signal_set 【inline function】 入力：なし 出力：なし	<p>【ホールセンサ使用モード】</p> ホールパターンに基づく通電パターンの設定
	mtr_hall_signal_process 【inline function】 入力：なし 出力：なし	<p>【ホールセンサ使用モード】</p> ホールセンサ割り込み時処理 <ul style="list-style-type: none"> ホールパターンから通電パターン設定 速度計算

表 3-20 “r_mtr_interrupt.c” 関数一覧 [2/4]

ファイル	関数	処理概要
r_mtr_interrupt.c	R_MTR_CarrierLessInterrupt 入力：なし 出力：なし	【センサレスモード】 キャリア割り込み (50 us) ・母線、DC リンク電流、三相電圧取得 ・A/D 変換チャンネル切り替え処理 ・電流 PI 制御処理、デューティ設定【電流制御モード】 ・電流オフセット測定 ・初期位置検出処理呼び出し【初期位置検出】 ・引き込み処理 ・ゼロクロス検出 ・オープンループからセンサレス制御への遷移処理 ・回転速度計算 ・オープンループ処理 ・ディレイタイマのセット ・CMP の設定 ・RMW 通信処理
	mtr_calib_current_offset_dc 【inline function】 入力：(st_mtr_120_control_t) *st_120 :: 制御変数用構造体ポインタ 出力：なし	DC リンク電流オフセットの測定
	mtr_speed_calc 【inline function】 入力：なし 出力：なし	回転速度計算
	mtr_set_chopping_pattern 【inline function】 入力：(uint16_t) u2_pattern :: 電圧パターン 出力：なし	チョッピングパターンの設定
	mtr_set_speed_ref 【inline function】 入力：(int8_t) s1_ref_dir :: 目標回転方向 (int8_t) s1_dir :: 回転方向 出力：なし	速度指令値の設定
	mtr_set_voltage_ref 【inline function】 入力：なし 出力：なし	【電圧制御モード】 電圧指令値の設定
	mtr_pi_ctrl 【inline function】 入力：(st_mtr_pi_control_t) *pi_ctrl :: PI 制御用構造体 出力：(int16_t) :: 出力電圧変化量	【電圧制御モード】 速度型 PI 制御処理
	mtr_set_current_ref 【inline function】 入力：(st_mtr_120_control_t) *st_120 :: 制御変数用構造体ポインタ 出力：(int16_t) :: DC リンク電流指令値	【電流制御モード】 DC リンク電流指令値の設定 ・速度型 PI 制御処理
	mtr_current_pi_ctrl 【inline function】 入力：(st_mtr_acr_t) *st_acr :: 電流 PI 制御変数用構造体ポインタ (int16_t) *s2_idc_ad :: DC リンク電流ポインタ (int16_t) *s2_ref_idc_ctrl :: DC リンク電流指令値ポインタ (int16_t) *s2_ref_v_ctrl :: 電圧指令値ポインタ (uint8_t) *u1_state_drive :: ドライブモードのステータスポインタ (int16_t) *s2_limit_v :: 電圧下限値ポインタ 出力：なし	【電流制御モード】 電圧指令値の設定 ・電流型 PI 制御処理

表 3-21 “r_mtr_interrupt.c” 関数一覧 [3/4]

ファイル	関数	処理概要
r_mtr_interrupt.c	mtr_pi_run 【inline function】 入力：(st_mtr_pi_t) *st_pi :: PI 制御構造体ポインタ (int16_t) s2_err :: 偏差 (const uint8_t) u1_kp_q :: 比例ゲイン Q 値 (const uint8_t) u1_kidt_q :: 積分ゲイン Q 値 出力：(int16_t) :: PI 出力	【電流制御モード】 PI 制御処理
	mtr_duty_calc 【inline function】 入力：(int16_t) s2_ref_v :: 指令電圧 (int16_t) s2_vdc_ad :: 母線電圧 出力：(uint16_t) :: デューティ	デューティの算出
	mtr_abs 【inline function】 入力：(int16_t) s2_value :: 入力値 出力：(int16_t) :: 変換値	絶対値へ変換
	mtr_limit_value 【inline function】 入力：(int16_t) s2_value :: 入力値 (int16_t) s2_limit_value :: リミット値 出力：(int16_t) 変換値	リミット処理
	mtr_error_check 【inline function】 入力：なし 出力：なし	エラーチェック
	R_MTR_1msLessInterrupt 入力：なし 出力：なし	【センサレスモード】 周期タイマ割り込み (INTTRG で呼び出し) 周期：1[ms] ・ドライブモードのステータス切り替え ・指令速度の設定 ・指令電圧の設定、デューティ設定【電圧制御モード】 ・指令電流の設定【電流制御モード】 ・進角制御関数呼び出し【進角制御モード】 ・タイマウィンドウの設定 ・エラーチェック
	R_MTR_DelayInterrupt 入力：なし 出力：なし	【センサレスモード】 ディレイタイマ割り込み ・ディレイタイマ停止 ・通電パターンの設定
	mtr_draw_in_pattern_set 【inline function】 入力：なし 出力：なし	【センサレスモード】 回転子引き込み時の通電パターン設定
	mtr_detect_zerocross 【inline function】 入力：(st_mtr_sensorless_control_t) *st_less :: センサレス制御変数構造体 (uint16_t) *u2_cnt_timeout :: タイムアウトカウンタ (int8_t) s1_dir :: 回転方向 (uint16_t) u2_v_pattern :: 電圧パターン 出力：(uint16_t) 電圧パターン	【センサレスモード】 誘起電圧のゼロクロス検出による回転子の位置推定
	mtr_drive_openloop 【inline function】 入力：なし 出力：なし	【センサレスモード】 ・オープンループ駆動処理 ・指令電圧下限値の算出
	mtr_set_angle_shift 【inline function】 入力：なし 出力：なし	【センサレスモード】 ・ゼロクロス検出後のディレイ時間の計算 ・ゼロクロスフィルタカウント値の計算

表 3-22 “r_mtr_interrupt.c” 関数一覧 [4/4]

ファイル	関数	処理概要
r_mtr_interrupt.c	mtr_start_delay_timer 【inline function】 入力：(uint16_t) u2_delay_count :: デレイカウント 出力：なし	【センサレスモード】 デレイタイマ開始
	mtr_stop_delay_timer 【inline function】 入力：なし 出力：なし	【センサレスモード】 デレイタイマ停止
	mtr_openloop_pattern_set 【inline function】 入力：なし 出力：(uint8_t) :: 通電パターン	【センサレスモード】 オープンループ時の通電パターン設定
	mtr_set_cmp3_overcurrent 【inline function】 入力：なし 出力：なし	CMP3 による過電流検出の設定
	mtr_set_ics 【inline function】 入力：なし 出力：なし	ICS 通信処理
	R_MTR_TRJInterrupt 入力：なし 出力：なし	【初期位置検出】 周期タイマ割り込み (INTTRJ0 で呼び出し) 周期：50[μs] ICS 通信処理
	mtr_limit 【inline function】 入力：(int16_t) s2_value :: 対象の値 (int16_t) s2_max :: 最大値 (int16_t) s2_min :: 最小値 出力：(int16_t) s2_temp :: リミット処理値	最大値、最初値のリミット処理

表 3-23 “r_mtr_ipd.h” 関数一覧

ファイル	関数	処理概要
r_mtr_ipd.h	R_MTR_SetCutoffSource() 入 力 : OPCTL0 &= ~_08_TRD_CUTOFF_SOURCE_COMP0, OPCTL0 = _08_TRD_CUTOFF_SOURCE_COMP0 出力：なし	PWMOPA 出力遮断要因を CMP0 に設定
	R_MTR_ClearCutoffSource() 入 力 : OPCTL0 &= ~_08_TRD_CUTOFF_SOURCE_COMP0 出力：なし	PWMOPA 出力遮断要因をクリア
	R_MTR_StartTAU() 入力：なし 出力：なし	TAU スタート
	R_MTR_StopTAU() 入力：なし 出力：なし	TAU ストップ

表 3-24 “r_mtr_ipd.c” 関数一覧[1/2]

ファイル名	関数	処理概要
r_mtr_ipd.c	R_MTR_IpdProcess 入力 : (st_mtr_ipd_t) *st_ipd :: 初期位置検出構造体 (uint16_t) u2_current_offset :: 電流オフセット 値 (uint16_t) *u2_error_status :: エラーステータス ポインタ 出力 : なし	【初期位置検出】 初期位置検出処理
	R_MTR_ResetForDrive 入力 : (st_mtr_ipd_t) *st_ipd :: 初期位置検出構造体ポ インタ (uint16_t) u2_current_offset :: 電流オフセット 値 (int8_t) *s1_dir :: 回転方向 (uint16_t) *u2_ol_v_pattern_num :: オープ ンループ通電パターン用リングバッファポインタ 出力 : なし	【初期位置検出】 初期位置検出後の周辺機能の再設定
	mtr_measure_inductance_effect 【inline function】 入力 : (uint8_t) u1_energized_phase :: 印加電圧相数 (uint8_t) u1_v_pattern :: 電圧パターン (st_mtr_ipd_t) *p_st_ipd :: 初期位置検出構造体 ポインタ (uint16_t) *u2_error_status :: エラーステータスポ インタ 出力 : (uint16_t) :: TRX カウント値	【初期位置検出】 初期位置検出時における閾値電流に達するまでの 時間測定
	mtr_salient_detect_angle 【inline function】 入力 : (st_mtr_ipd_t) *st_ipd :: 初期位置検出構造体ポ インタ (uint16_t) u2_current_offset :: 電流オフセット 値 (uint16_t) *u2_error_status :: エラーステータス ポインタ 出力 : なし	【初期位置検出】 突極性モータの初期位置検出における角度検出処 理
	mtr_salient_detect_polarity 【inline function】 入力 : (st_mtr_ipd_t) *st_ipd :: 初期位置検出構造体ポ インタ (uint16_t) u2_current_offset :: 電流オフセット 値 (uint16_t) *u2_error_status :: エラーステータス ポインタ 出力 : なし	【初期位置検出】 突極性モータの初期位置検出における極性検出処 理
	mtr_non_salient_detect_angle 【inline function】 入力 : (st_mtr_ipd_t) *st_ipd :: 初期位置検出構造体ポ インタ (uint16_t) u2_current_offset :: 電流オフセット 値 (uint16_t) *u2_error_status :: エラーステータス ポインタ 出力 : なし	【初期位置検出】 非突極性モータ初期位置検出における角度検出測 定処理
	mtr_set_initial_position 【inline function】 入力 : (uint8_t) u1_position :: 初期位置検出判定結果 (int8_t) s1_dir :: 回転方向 (uint16_t) *u2_ol_v_pattern_num :: オープ ンループ通電パターン用リングバッファポインタ 出力 : なし	【初期位置検出】 初期位置検出結果によるオープンループ初期電圧 パターンの設定
	mtr_lower_arm_on 【inline function】 入力 : (uint16_t) u2_low_on_period :: 下アーム ON 時 間 出力 : なし	【初期位置検出】 下アーム全相 ON

表 3-25 “r_mtr_ipd.c” 関数一覧[2/2]

ファイル名	関数	処理概要
r_mtr_ipd.c	mtr_prepare_energize_phase 【inline function】 入力：(uint8_t) u1_energized_phase :: 電圧印加相数 (uint8_t) u1_v_pattern :: 電圧パターン 出力：なし	【初期位置検出】 初期位置検出時の通電パターン設定
	mtr_output_stop 【inline function】 入力：なし 出力：なし	【初期位置検出】 電圧出力停止
	mtr_reset_timer 【inline function】 入力：なし 出力：なし	【初期位置検出】 TRD2 と TRJ のリセット
	R_MTR_TRDIntLevel 入力：(uint8_t) u1_level :: 割り込み優先順位 出力：なし	【初期位置検出】 TRD2 割り込み優先順位設定

表 3-26 “r_mtr_ol2cl_ctrl.c” 関数一覧[1/2]

ファイル名	関数	処理概要
r_mtr_ol2cl_ctrl.c	R_MTR_OL2CLCtrl 入力：(uint16_t) u2_cnt_ol_speed :: オープンループ 電圧転極カウンタ (uint8_t) u1_flag_pattern_change :: ゼロクロス 検出フラグ (uint16_t) u2_ol_pattern_period :: オープン ループ転極周期時間 (int16_t) *s2_v_uvwn_ad :: U相電圧のポインタ (st_mtr_ol2cl_t) *st_ol2cl :: センサレス切り替 え処理構造体ポインタ (int8_t) s1_dir :: 回転方向 (uint8_t) u2_ol_v_pattern :: オープンループ通 電パターン 出力：なし	【センサレスモード】 オープンループからセンサレス制御への遷移 ・三相電圧と閾値電圧の比較 ・オープンループ時のゼロクロス回数のカウント ・回転子の位相の進み遅れの検出
	mtr_get_bemf_voltage 【inline function】 入力：(int8_t) s1_dir :: 回転方向 (uint8_t) u2_ol_v_pattern :: オープンループ通 電パターン (int16_t) *s2_v_uvwn_ad :: U相電圧のポインタ 出力：(int16_t) :: 誘起電圧値	【センサレスモード】 誘起電圧値取得
	mtr_openloop_phase_ctrl 【inline function】 入力：(int8_t) s1_dir :: 回転方向 (uint8_t) u2_ol_v_pattern :: オープンループ通 電パターン (int16_t) *s2_v_uvwn_ad :: U相電圧のポインタ (st_mtr_ol2cl_t) *st_ol2cl :: センサレス切り替 え処理構造体ポインタ 出力：なし	【センサレスモード】 回転子の位相の進み遅れの検出
	mtr_abs 【inline function】 入力：(int16_t) s2_value :: 入力値 出力：(int16_t) :: 変換値	【センサレスモード】 絶対値へ変換

表 3-27 “r_mtr_ol2cl_ctrl.c” 関数一覧[2/2]

ファイル名	関数	処理概要
r_mtr_ol2cl_ctrl.c	R_MTR_BemfSignalFilter 入力 : (uint16_t) u2_cnt_ol_speed :: オープンループ電圧転極カウンタ (uint8_t) *u1_pre_bemf_signal :: 仮想ホールパターン信号前回値ポインタ (st_mtr_ol2cl_t) *st_ol2cl :: センサレス切り替え処理構造体ポインタ (uint16_t) u2_temp_signal :: 仮想ホール信号暫定値 (uint8_t) u1_flag_ol_pattern_change :: オープンループ電圧転極フラグ 出力 : (int16_t) :: 仮想ホールパターン信号	【センサレスモード】 仮想ホールパターン信号のノイズ回避処理
	R_MTR_SetSpeedRefOL2CL 入力 : (st_mtr_ol2cl_t) *st_ol2cl :: センサレス切り替え処理構造体ポインタ (int8_t) s1_dir :: 回転方向 (int16_t) *s2_ref_speed_rad_ctrl :: 指令回転速度ポインタ 出力 : なし	【センサレスモード】 オープンループ時の指令回転速度設定

表 3-28 “r_dsp.h” 関数一覧

ファイル名	関数	処理概要
r_dsp.h	FIX_fromfloat 入力:(float) x / 入力値 n / Q 値 出力:(int16_t) y / 変換値	Float 型の値 x を Q 値 Qn の固定小数点型の値 y へ変換
	FIX32_fromfloat 入力:(float) x / 入力値 n / Q 値 出力:(int32_t) y / 変換値	Float 型の値 x を Q 値 Qn の固定小数点型の値 y へ変換

表 3-29 “r_mtr_aa.obj” 関数一覧

ファイル名	関数	処理概要
r_mtr_aa.obj	R_MTR_AActrlVoltageMode 入力 : (st_mtr_aa_t) *st_aa :: 進角制御構造体 : (int16_t) s2_speed_rad :: 回転速度 : (s2_ref_v_ctrl) :: 指令電圧 : (int16_t) *s2_vn_offset_ad :: 中点電圧オフセットポインタ 出力 : なし	【電圧制御モード】 【進角制御モード】 進角制御処理
	R_MTR_AActrlCurrentMode 入力 : (st_mtr_aa_t) *st_aa :: 進角制御構造体 : (int16_t) s2_speed_rad :: 回転速度 : (s2_ref_v_ctrl) :: 指令電圧 : (int16_t) *s2_vn_offset_ad :: 中点電圧オフセットポインタ : (int16_t) *s2_asr_intg :: ASR の積分項ポインタ 出力 : なし	【電流制御モード】 【進角制御モード】 進角制御処理

表 3-30 “r_mtr_rl78g24.c” 関数一覧

ファイル	関数	処理概要
r_mtr_rl78g24.c	R_MTR_InitUnusedPins 入力：なし 出力：なし	未使用端子の初期化

表 3-31 “Config_COMP3_user.c” 関数一覧

ファイル	関数	処理概要
Config_COMP3_user.c	R_MTR_EnableCMP3Intr 入力：なし 出力：なし	CMP3 割り込み許可
	R_MTR_DisableCMP3Intr 入力：なし 出力：なし	CMP3 割り込み禁止

表 3-32 “Config_TAU0_3.h” 関数一覧

ファイル	関数	処理概要
Config_TAU0_3.h	R_MTR_SetTDR03(cnt) 入力：TDR03 = cnt 出力：なし	【センサレスモード】 ディレイタイマカウンタ値セット
	R_MTR_StartDelayCnt() 入力：TSOL_bit.no3 = 1 出力：なし	【センサレスモード】 ディレイタイマスタート
	R_MTR_StopDelayCnt() 入力：TT0L_bit.no3 = 0 出力：なし	【センサレスモード】 ディレイタイマストップ
	R_MTR_ClearINTTM03() 入力：TMIF03 = 0 出力：なし	【センサレスモード】 割り込みフラグクリア

表 3-33 “Config_INTC_user.c 関数一覧

ファイル	関数	処理概要
Config_INTC_user.c	R_MTR_EnableHallIntr 入力：なし 出力：なし	【ホールセンサ使用モード】 ホール割り込み許可
	R_MTR_DisableHallIntr 入力：なし 出力：なし	【ホールセンサ使用モード】 ホール割り込み禁止

表 3-34 “Config_TRG.h 関数一覧

ファイル	関数	処理概要
Config_TRG.h	R_MTR_ClearTrgImfa() 入力：TRGIMFA = 0 出力：なし	TRG の IMFA フラグクリア

表 3-35 “Config_PWMOPA_user.c 関数一覧

ファイル	関数	処理概要
Config_PWMOPA_user.c	R_MTR_RecoverForcedShutdown 入力：なし 出力：(uint8_t) u1_hw_current_error_flag :: Hardware current error flag	PWMOPA 強制遮断解除処理

表 3-36 “Config_TRD0_TRD1.h 関数一覧

ファイル	関数	処理概要
Config_TRD0_TRD1.h	R_MTR_ClearTRD0IMFA() 入力: TRDSR0_bit.no0 = 0 出力: なし	TRD の IMFA フラグクリア
	R_MTR_SetPwmDuty(duty) 入力: TRDGRD0 = ((uint16_t)MTR_CARRIER_SET - duty); TRDGRC1 = ((uint16_t)MTR_CARRIER_SET - duty); TRDGRD1 = ((uint16_t)MTR_CARRIER_SET - duty); 出力: なし	TRD ジェネラルレジスタ D0, C1, D1 のデューティ設定
	R_MTR_SetTRD2ReloadFlag() 入力: TRDRDT1 = _01_TRD_TRDRDT1_RELOAD_REGISTER 出力: なし	TRD の一斉書き換えトリガをセット
	R_MTR_ClearTRD0UDF() 入力: TRDSR1_bit.no5 = 0 出力: なし	TRD の UDF フラグクリア
	R_MTR_SetDefaultTRDADTB0() 入力: TRDADTB0 = ((uint16_t)MTR_CARRIER_SET - (uint16_t)MTR_AD_TRG_DEFAULT_CNT) 出力: なし	TRD の A/D 変換トリガバッファレジスタ 0 のデフォルト設定
	R_MTR_SetDefaultTRDADTB1() 入力: TRDADTB1 = ((uint16_t)MTR_CARRIER_SET - (uint16_t)MTR_AD_TRG_DEFAULT_CNT) 出力: なし	TRD の A/D 変換トリガバッファレジスタ 1 のデフォルト設定

表 3-37 “Config_TRD0_TRD1_user.c 関数一覧

ファイル	関数	処理概要
Config_TRD0_TRD1_user.c	R_MTR_PatternOutput 入力: (uint16_t) u2_pattern :: 電圧パターン (uint16_t) u2_pwm_duty :: デューティ 出力: (uint8_t) u1_temp_error_flag :: エラーフラグ	電圧パターン出力レジスタ設定 ・通電相の設定 ・デューティのレジスタ設定
	R_MTR_DisableTRDOutput 入力: なし 出力: なし	PWM 出力禁止
	R_MTR_PortOutput 入力: なし 出力: なし	電圧出力停止
	R_MTR_StartTRD 入力: なし 出力: なし	TRD スタート
	R_MTR_StopTRD 入力: なし 出力: なし	TRD ストップ
	R_MTR_SetTRDADTB0 入力: (int16_t) s2_offset :: オフセット 出力: なし	【センサレスモード】 TRD の A/D 変換トリガバッファレジスタ 0 設定
	R_MTR_SetTRDADTB1 入力: (int16_t) s2_offset :: オフセット 出力: なし	【センサレスモード】 TRD の A/D 変換トリガバッファレジスタ 1 設定

表 3-38 “Config_ADC_user.c 関数一覧

ファイル	関数	処理概要
Config_ADC_user.c	R_MTR_GetIdcVdcAdc 入力 : (int16_t) *s2_idc_ad :: DC リンク電流ポインタ (int16_t) *s2_v_dc :: 母線電圧ポインタ (uint8_t) u1_flag_ad_trg1_vi :: A/D チャンネル切り替えフラグ 出力 : なし	DC リンク電流、母線電圧 A/D 変換値取得
	R_MTR_SwitchChADC 入力 : (uint16_t) u2_pattern_adc :: 電圧パターン (int8_t) s1_dir :: 回転方向 (int16_t) *s2_ad_trg_adjust_cnt :: A/D 変換トリガカウンタ調整値ポインタ (uint8_t) *u1_flag_ad_trg1_vi :: A/D チャンネル切り替えフラグポインタ (int16_t) *s2_ad_trg_offset_cnt :: A/D 変換トリガカウンタ設定値ポインタ (int16_t) *s2_ad_trg_diff_cnt :: A/D 変換トリガカウンタ設定の前回値と今回値の差 出力 : なし	【センサレスモード】 ・ DC リンク電流、母線電圧の A/D 変換チャンネル切り替え処理 ・ 三相電圧 A/D 変換チャンネル選択処理呼び出し
	mtr_select_vuvw_adc_channel 【inline function】 入力 : (uint16_t) u2_pattern_adc :: 電圧パターン (int8_t) s1_dir :: 回転方向 (int16_t) *s2_ad_trg_adjust_cnt :: A/D 変換トリガカウンタ調整値ポインタ 出力 : なし	【センサレスモード】 三相電圧 A/D 変換チャンネル選択処理
	R_MTR_GetVuvwADC 入力 : (uint16_t) u2_pattern_ad :: 電圧パターン (int8_t) s1_dir :: 回転方向 (int16_t) *s2_v_uvw :: U 相電圧ポインタ (int16_t) *s2_ad_trg_vn_buff :: 無通電相電圧の A/D 変換結果ポインタ (uint8_t) u1_flag_duty_th :: デューティ閾値超過フラグポインタ 出力 : なし	【センサレスモード】 三相電圧の A/D 変換値取得
	R_MTR_SwitchChV1 入力 : (uint8_t) *u1_flag_ad_trg1_vi :: A/D チャンネル切り替えフラグポインタ 出力 : なし	【ホールセンサ使用モード】 DC リンク電流、母線電圧の A/D 変換チャンネル切り替え処理

3.3 120 度通電制御ソフト変数一覧

本制御プログラムで使用する変数一覧を次に示します。ただし、ローカル変数は記載していません。

また、本制御プログラムでは制御値を固定小数点演算で算出しているため、各値はあらかじめスケールリングされています。本書ではシフトする bit 数を「Qn 値」で表します。Qn では、n bit 左シフトするという意味になります。

表 3-39 “main.c” 変数一覧

変数	型	Qn	PU	内容	備考
g_u1_system_mode	static uint8_t	Q0	-	モードシステム管理用変数	
g_u1_motor_status	static uint8_t	Q0	-	モータステータス管理用変数	
g_u1_error_status	static uint8_t	Q0	-	エラーステータス管理用変数	
g_u2_conf_hw	uint16_t	Q0	-	RMW configuration 用変数	
g_u2_conf_sw	uint16_t	Q0	-		
g_u2_conf_tool	uint16_t	Q0	-		
gui_u1_active_gui	uint8_t	Q0	-		
g_u2_conf_sw_ver	uint16_t	Q0	-		
com_u1_run_event	uint8_t	Q0	-		
g_u1_run_event	uint8_t	Q0	-		
g_u2_system_error	uint16_t	Q0	-	システムエラー管理用変数	

表 3-40 “r_mtr_ics.c” 変数一覧

変数	型	Qn	PU	内容	備考
com_u1_direction	uint8_t	Q0	-	回転方向	0 : CW 1 : CCW
com_u2_mtr_pp	uint16_t	Q0	-	極対数	
com_f4_mtr_r	float	-	-	抵抗 [Ω]	
com_f4_mtr_ld	float	-	-	d 軸インダクタンス[H/rad]	
com_f4_mtr_lq	float	-	-	q 軸インダクタンス[H/rad]	
com_f4_mtr_m	float	-	-	誘起電圧定数 [V・s/rad]	
com_f4_mtr_j	float	-	-	イナーシャ [kg・m ² /(rad ²)]	
com_f4_limit_v_ref	float	Q0	-	電圧下限指令値[V]	
com_f4_ramp_limit_speed_rpm	float	Q0	-	加速度制限値 [rpm/ms]	機械角
com_s2_ref_speed_rpm	int16_t	Q0	-	目標速度 [rpm]	機械角
com_u2_offset_calc_cnt	uint16_t	Q0	-	電流オフセット検出時間	
com_f4_ramp_limit_v	float	Q0	-	電圧変化幅制限値 [V/ms]	【電圧制御モード】
com_f4_asr_omega_hz	float	-	-	PI ゲイン設計周波数 [Hz]	
com_f4_asr_zeta	float	-	-	PI ゲイン設計ダンピングファクタ	
com_f4_ramp_limit_current	float	-	-	電流変化幅制限値 [A/ms]	【電流制御モード】
com_f4_mtr_d0	float	-	-	静止摩擦係数 [kg・m ² /(rad・s ²)]	
com_f4_mtr_d1	float	-	-	動摩擦係数 [kg・m ² /(rad ² ・s)]	
com_f4_acr_nf_hz	float	-	-	電流 PI 制御固有周波数 [Hz]	
com_f4_asr_nf_hz	float	-	-	速度 PI 制御固有周波数 [Hz]	
com_f4_asr_ki_aug	float	-	-	速度 PI 制御積分器増幅率	
com_f4_acr_deadband_lsb	float	-	-	電流 PI のデッドバンド[LSB]	
com_f4_asr_deadband_lsb	float	-	-	速度 PI のデッドバンド[LSB]	
com_f4_start_ref_v	float	Q0	-	始動電圧 [V]	【ホールセンサ使用・電圧制御モード】
com_f4_start_ref_idc	float	Q0	-	始動電流 [A]	【ホールセンサ使用・電流制御モード】
com_f4_draw_in_ref_v	float	Q0	-	引き込み指令電圧 [V]	【センサレス・電圧制御モード】
com_f4_ol_ref_v	float	Q0	-	オープンループ指令電圧 [V]	
com_f4_draw_in_ref_idc	float	Q0	-	引き込み指令電流 [A]	【センサレス・電流制御モード】
com_f4_ol_ref_idc	float	Q0	-	オープンループ指令電流 [A]	
com_s2_ol2cl_speed_rpm	int16_t	Q0	-	オープンループからセンサレスへの切り替え速度 [rpm]	機械角 【センサレスモード】
com_s2_ol2cl_ramp_speed_rpm	int16_t	Q0	-	センサレス遷移最低速度 [rpm]	【センサレスモード】
com_s2_angle_shift_adjust	int16_t	Q0	-	ディレイタイマカウント調整値	

表 3-41 “r_mtr_ics.c” 変数一覧[2/2]

変数	型	Qn	PU	内容	備考
com_s2_ad_trg_adjust_up_cnt	int16_t	-	-	A/D 変換トリガカウント調整値 (無通電相上り時)	【センサレスモード】
com_s2_ad_trg_adjust_down_cnt	int16_t	-	-	A/D 変換トリガカウント調整値 (無通電相下り時)	
com_s2_ad_trg_diff_cnt	int16_t	-	-	A/D 変換トリガカウント設定の前回値と今回値の差	
com_f4_sal_angle_current	float	-	-	突極性モータの角度検出における閾値電流[A]	【初期位置検出】
com_u4_sal_angle_th	uint32_t	Q0	-	突極性モータの角度検出の TRX カウント値差分閾値	
com_u2_sal_angle_discharge	uint16_t	Q0	-	突極性モータの角度検出の放電時間	
com_f4_sal_polarity_current	float	-	-	突極性モータの極性検出における閾値電流[A]	
com_u4_sal_polarity_th	uint32_t	Q0	-	突極性モータの極性検出の TRX カウント値差分閾値	
com_u2_sal_polarity_discharge	uint16_t	Q0	-	突極性モータの極性検出の放電時間	
com_f4_non_sal_current	float	-	-	非突極性モータの角度検出における閾値電流[A]	
com_u4_non_sal_th	uint32_t	Q0	-	非突極性の回転子の角度検出における TRX カウント値差分閾値	
com_u2_non_sal_discharge	uint16_t	Q0	-	非突極性モータの角度検出放電時間	
com_s2_aa_speed_err_th_rpm	int16_t	Q0	-	進角制御の速度偏差しきい値 [rpm]	【進角制御】
com_f4_aa_pi_nf_hz	float	Q0	-	進角制御 PI コントローラ固有周波数 [Hz]	
com_f4_aa_speed_err_lpf_cof_hz	float	Q0	-	速度偏差 LPF カットオフ周波数 [Hz]	
com_f4_aa_ramp_limit_v	float	Q0	-	進角制御の midpoint 電圧オフセット変化幅制限値 [V/ms]	
com_f4_aa_ramp_limit_angle	float	Q0	-	進角制御の進み角変化幅制限値 [rad/ms]	
com_f4_aa_vlim	float	Q0	-	進角制御の電圧リミット [V]	
com_s2_enable_write	int16_t	Q0	-	変数書き換え許可	
g_s2_enable_write	int16_t	Q0	-	変数書き換え許可	
st_ics_input	st_mtr_ctrl_input_t	Q0	-	RMW 変数受け渡し構造体	構造体

表 3-42 “r_mtr_parameter.h / 構造体 : st_mtr_parameter_t” 変数一覧

変数	型	Qn	PU	内容	備考
u2_mtr_pp	uint16_t	Q0	-	極対数	
s2_mtr_r	int16_t	Q17	抵抗(電圧/電流)	抵抗 [PU]	
s2_mtr_ld	int16_t	Q18	インダクタンス(抵抗/角周波数)	d 軸インダクタンス [PU]	
s2_mtr_lq	int16_t	Q18	インダクタンス(抵抗/角周波数)	q 軸インダクタンス [PU]	
s2_mtr_m	int16_t	Q15	誘起電圧定数(電圧/角周波数)	誘起電圧係数 [PU]	
s2_mtr_j	int16_t	Q10	イナーシャ (誘起電圧定数×電流 ×(極対数/角周波数)^2)	イナーシャ [PU]	

表 3-43 “r_mtr_driver_access.h / 構造体 : mtr_ctrl_input_t” 変数一覧[1/2]

変数	型	Qn	PU	内容	備考
s1_direction	int8_t	Q0	-	回転方向	
s2_ref_speed_rad	int16_t	Q14	角周波数	指令速度 [PU]	電気角
s2_ramp_limit_speed_rad	int16_t	Q14	角周波数	加速度制限値 [PU]	電気角
u2_offset_calc_cnt	uint16_t	Q0		オフセット検出時間	
s2_limit_v_ref	int16_t	Q13	電圧	電圧下限指令値 [PU]	
s2_ramp_limit_v	int16_t	Q13	電圧	電圧変化幅制限値 [PU]	【電圧制御モード】
s2_ramp_limit_current	int16_t	Q13	電流	電流変化幅制限値 [PU]	【電流制御モード】
s2_start_ref_v	int16_t	Q13	電圧	始動電圧 [PU]	【ホールセンサ使用・電圧制御モード】
s2_start_ref_idc	int16_t	Q13	電流	始動電圧 [PU]	【ホールセンサ使用・電流制御モード】
s2_draw_in_ref_v	int16_t	Q13	電圧	引き込み指令電圧 [PU]	【センサレス・電圧制御モード】
s2_ol_ref_v_buff	int16_t	Q13	電圧	オープンループ指令電圧 [PU]	
s2_draw_in_ref_idc	int16_t	Q13	電流	引き込み指令電流 [PU]	【センサレス・電流制御モード】
s2_ol_ref_idc_buff	int16_t	Q13	電流	オープンループ指令電流 [PU]	
s2_ol2cl_speed_rad	int16_t	Q14	角周波数	センサレス制御遷移最低速度 [PU]	電気角
s2_ol2cl_ramp_speed_rad	int16_t	Q14	角周波数	センサレス制御遷移時加速度 [PU]	【センサレスモード】
s2_cl2ol_speed_rad	int16_t	Q14	角周波数	オープンループ遷移速度 [PU]	
s2_angle_shift_adjust	int16_t	Q0	-	ディレイタイムカウンタ調整値	【センサレスモード】
s2_ad_trg_adjust_up_cnt	int16_t	Q0	-	A/D 変換トリガカウンタ調整値 (無通電相上り時)	
s2_ad_trg_adjust_down_cnt	int16_t	Q0	-	A/D 変換トリガカウンタ調整値 (無通電相下り時)	
s2_ad_trg_diff_cnt	int16_t	Q0	-	前回と今回の AD トリガカウンタ設定値の差	

表 3-44 “r_mtr_driver_access.h / 構造体 : mtr_ctrl_input_t” 変数一覧[2/2]

変数	型	Qn	PU	内容	備考
u2_sal_angle_current	uint16_t	Q0	-	突極性モータの角度検出における 閾値電流[A]	【初期位置 検出】
u4_sal_angle_th	uint32_t	Q0	-	突極性モータの角度検出の TRX カ ウント値差分閾値	
u2_sal_angle_discharge	uint16_t	Q0	-	突極性モータの角度検出の放電時 間	
u2_sal_polarity_current	uint16_t	Q0	-	突極性モータの極性検出における 閾値電流[A]	
u4_sal_polarity_th	uint32_t	Q0	-	突極性モータの極性検出の TRX カ ウント値差分閾値	
u2_detect_polarity_discharg e	uint16_t	Q0	-	突極性モータの極性検出の放電時 間	
u2_non_sal_current	uint16_t	Q0	-	非突極性モータの角度検出にお ける閾値電流[A]	
u4_non_sal_th	uint32_t	Q0	-	非突極性の回転子の角度検出にお ける TRX カウント値差分閾値	
u2_non_sal_discharge	uint16_t	Q0	-	非突極性モータの角度検出の放電 時間	
s2_aa_speed_err_th_rad	int16_t	Q14	角周波 数	進角制御の速度偏差しきい値 [PU]	【進角制 御】
s2_aa_ramp_limit_v	int16_t	Q13	電圧	進角制御の中間電圧オフセット変 化幅制限値 [PU]	
s2_aa_ramp_limit_angle	int16_t	Q12	角度	進角制御の進み角変化幅制限値 [PU]	
s2_aa_vlim	int16_t	Q13	電圧	進角制御の電圧リミット[PU]	
st_gain_v_buf	st_mtr_ctrl_gain_voltage_mo de_t	-	-	PI 制御パラメータ構造体	構造体 【電圧制御 モード】
st_gain_i_buf	st_mtr_ctrl_gain_current_mo de_t	-	-	PI 制御パラメータ構造体	構造体 【電流制御 モード】
st_ctrl_params	st_mtr_design_parameter_h	-	-	PI ゲイン設計パラメータ構造体	構造体
st_motor	st_mtr_parameter_t	-	-	モータパラメータ構造体	構造体

表 3-45 “r_mtr_driver_access.c” 変数一覧

変数	型	Qn	PU	内容	備考
st_ics_input_buff	st_mtr_ctrl_input_t	-	-	ツール変数入力バッファ	構造体
g_u1_trig_enable_write	uint8_t	Q0	-	RMW 書き込み許可フラグ	

表 3-46 “r_mtr_statemachine.h / 構造体 : st_mtr_statemachine.h” 変数一覧

変数	型	Qn	PU	内容	備考
u1_status	uint8_t	Q0	-	モータステータス	
u1_status_next	uint8_t	Q0	-	遷移後モータステータス	
u1_current_event	uint8_t	Q0	-	実行イベント	

表 3-47 “r_mtr_statemachine.c” 変数一覧

変数	型	Qn	PU	内容	備考
state_transition_table [MTR_SIZE_EVENT] [MTR_SIZE_STATE]	static uint8_t	Q0	-	状態遷移用のマクロ配列	
action_table [MTR_SIZE_EVENT] [MTR_SIZE_STATE]	static mtr_action_t	Q0	-	状態遷移用の関数配列	

表 3-48 “r_mtr_120.h / 構造体:st_mtr_v_pi_t” 変数一覧

変数	型	Qn	PU	内容	備考
s2_pre_speed_rad	int16_t	Q14	角周波数	速度前回値	【電圧制御モード】
st_pi	st_mtr_pi_t	-	-	速度 PI 構造体	

表 3-49 “r_mtr_120.h / 構造体: st_mtr_pi_t” 変数一覧

変数	型	Qn	PU	内容	備考
s2_kp	int16_t	電流 : Q17 速度 : Q14(電流制御モード) Q13(電圧制御モード)	電流 : 抵抗 速度 : 電流/角周波数(電流制御モード) 電圧/角周波数(電圧制御モード)	比例ゲイン	
s2_kidt	int16_t	電流 : Q21 速度 : Q21(電流制御モード) Q15(電圧制御モード)	電流 : 抵抗 速度 : 電流/角周波数(電流制御モード) 電圧/角周波数(電圧制御モード)	積分ゲイン x 制御周期	
s2_intg	int16_t	電流 : Q13 速度 : Q13(電流制御モード) Q13(電圧制御モード)	電流 : 電圧 速度 : 電流(電流制御モード) 電圧(電圧制御モード)	積分項	
s2_limit	int16_t	電流 : Q13 速度 : Q13(電流制御モード) Q13(電圧制御モード)	電流 : 電圧 速度 : 電流(電流制御モード) 電圧(電圧制御モード)	積分制限 (上下対称)	
s2_deadband	int16_t	電流 : Q13 速度 : Q14	電流 : 電流 速度 : 角周波数	積分項デッドバンド	

表 3-50 “r_mtr_120.h / 構造体: st_mtr_acr_t” 変数一覧

変数	型	Qn	PU	内容	備考
s2_limit_idc	int16_t	Q13	電流	DC リンク電流リミット	【電流制御モード】
s2_ramp_limit_current	int16_t	Q13	電流	電流の上昇制限値	
st_pi	st_mtr_pi_t	-	-	DC リンク電流 PI 制御構造体	

表 3-51 “r_mtr_120.h / 構造体: st_mtr_asr_t” 変数一覧

変数	型	Qn	PU	内容	備考
s2_d0_div_pm	int16_t	Q13	-	静止摩擦係数/(極対数 x 誘起電圧定数)	【電流制御モード】
s2_d1_div_pm	int16_t	Q19	-	動摩擦係数/(極対数^2 x 誘起電圧定数)	
st_pi	st_mtr_pi_t	-	-	速度 PI 構造体	

表 3-52 “r_mtr_120.h / 構造体: st_mtr_hall_control_t” 変数一覧

変数	型	Qn	PU	内容	備考
u2_hall_signal	uint16_t	Q0	-	ホール信号値	【ホールセンサ使用モード】
u2_flag_1st_interrupt	uint16_t	Q0	-	第一回目のホール割り込み用フラグ	
s2_start_ref_v	int16_t	Q13	電圧	始動電圧	【ホールセンサ使用・電圧制御モード】
s2_start_ref_idc	int16_t	Q13	電流	始動電流	【ホールセンサ使用・電流制御モード】

表 3-53 “r_mtr_120.h / 構造体: st_mtr_sensorless_control_t” 変数一覧[1/2]

変数	型	Qn	PU	内容	備考
u1_state_draw_in	uint8_t	Q0	-	引き込みステート管理	【センサレスモード】
u1_flag_pattern_change	uint8_t	Q0	-	ゼロクロス検出フラグ	
u1_bemf_signal	uint8_t t	Q0	-	仮想ホールパターン信号	
u1_pre_bemf_signal	uint8_t	Q0	-	仮想ホールパターン信号前回値	
u1_zc_detect_method	uint8_t	Q0	-	ゼロクロス検出方式	
u1_state_control_mode	uint8_t	Q0	-	制御方式	
u1_state_driving	uint8_t	Q0	-	回転速度ステート	
u1_flag_ol_pattern_change	uint8_t	Q0	-	オープンループ電圧転極フラグ	
u2_cnt_ol_speed	uint16_t	Q0	-	オープンループ電圧転極カウンタ	
u2_ol_pattern_period	uint16_t	Q0	-	オープンループ転極周期時間	
u2_cnt_draw_in	uint16_t	Q0	-	引き込み時制御用カウンタ	
u2_ol_v_pattern	uint16_t	Q0	-	オープンループ通電パターン	
u2_ol_v_pattern_num	uint16_t	Q0	-	オープンループ通電パターン用リングバッファ	
u2_bemf_delay	uint16_t	Q0	-	ゼロクロスからの転極遅延値	
u2_zerocross_filter_cnt	uint16_t	Q0	-	ゼロクロスフィルタカウント値	
s2_ol_ramp_limit_v	int16_t	Q13	電圧	電圧下限値変化幅	
s2_cl2ol_speed_rad	int16_t	Q14	角周波数	センサレス制御からオープンループへの遷移速度 [PU]	
s2_vu_ad	int16_t	Q0	-	U 相電圧	
s2_vv_ad	int16_t	Q0	-	V 相電圧	
s2_vw_ad	int16_t	Q0	-	W 相電圧	
s2_vn_ad	int16_t	Q0	-	仮想中点電圧	
s2_vn_ctrl_ad	int16_t	Q0	-	仮想中点電圧 (制御用)	
s2_vn_offset_ad	int16_t	Q0	-	仮想中点電圧オフセット	
s2_angle_shift_adjust	int16_t	Q0	-	仮想ホールパターン遅延量調整値	
u2_pattern_adc	uint16_t	Q0	-	電圧パターン(A/D チャンネル切り替え処理用)	
s2_ad_trg_adjust_cnt	int16_t	Q0	-	A/D 変換トリガカウンタ調整値	
s2_ad_trg_adjust_up_cnt	int16_t	Q0	-	A/D 変換トリガカウンタ調整値 (無通電相上り時)	
s2_ad_trg_adjust_down_cnt	int16_t	Q0	-	A/D 変換トリガカウンタ調整値 (無通電相下り時)	
s2_ad_trg_diff_cnt	int16_t	Q0	-	A/D 変換トリガカウンタ設定の前回値と今回値の差	
s2_ad_trg_offset_cnt	int16_t	Q0	-	A/D 変換トリガカウンタ設定値	
s2_ad_trg_vn_buff[2]	int16_t	Q0	-	無通電相電圧の A/D 変換結果 [0]: 前回値 [1]: 今回値	
u1_flag_duty_th	uint8_t	Q0	-	デューティ閾値超過フラグ	
s2_duty_th	int16_t	Q0	-	デューティ閾値	

表 3-54 “r_mtr_120.h / 構造体: st_mtr_sensorless_control_t” 変数一覧[2/2]

変数	型	Qn	PU	内容	備考
u2_v_const_period	uint16_t	Q0	-	引き込み時電圧一定時間	【センサレス・電圧制御モード】
s2_draw_in_ref_v	int16_t	Q13	電圧	引き込み指令電圧 [PU]	
s2_ol_ref_v	int16_t	Q13	電圧	始動電圧 [PU]	
s2_ol_ref_v_buff	int16_t	Q13	電圧	始動電圧 バッファ[PU]	
u2_idc_const_period	uint16_t	-	-	引き込み時電流一定時間	【センサレス・電流制御モード】
s2_draw_in_ref_idc	int16_t	Q13	電流	引き込み指令電流 [PU]	
s2_ol_ref_idc	int16_t	Q13	電流	オープンループ指令電流[PU]	
s2_ol_ref_idc_buff	int16_t	Q13	電流	オープンループ指令電流バッファ	
st_ol2cl	st_mtr_ol2cl_t	-	-	センサレス制御遷移構造体	

表 3-55 “r_mtr_120.h / 構造体:st_mtr_120_control_t” 変数一覧 [1/2]

変数	型	Qn	PU	内容	備考
u1_state_drive	uint8_t	-	-	ドライブモードのステータス	0 : オフセット除去中 1 : オフセット除去完了 2 : IPD 処理実行 3 : IPD 処理完了 4 : オープンループ駆動 5 : PI 制御駆動 6 : ブレーキ処理 7 : 駆動停止
s1_ref_dir	int8_t	Q0	-	指令回転方向	
s1_dir	int8_t	Q0	-	回転方向	
u1_flag_charge_cap	uint8_t	Q0	-	キャパシタチャージ完了フラグ	
u1_flag_pattern_error	uint8_t	Q0	-	電圧パターンエラーフラグ	
u1_first_rotation_cnt	uint8_t	Q0	-	回転開始時カウンタ	
u1_v_pattern_ring_buff	uint8_t	Q0	-	電圧パターン用リングバッファ	
u2_run_mode	uint16_t	Q0	-	ランモード	
u2_state_speed_ref	uint16_t	Q0	-	指令速度ステート	
u2_speed_timer_cnt	uint16_t	Q0	-	速度計算用カウンタ	
u2_pre_speed_timer_cnt	uint16_t	Q0	-	速度計算用カウンタ 前回値	
u2_timer_cnt_buff[6]	uint16_t	Q0	-	速度計算用カウンタバッファ	
u2_timer_cnt_sum	uint16_t	Q0	-	速度計算用カウンタ合計値	
u2_v_pattern	uint16_t	Q0	-	電圧パターン	
u2_pwm_duty	uint16_t	Q0	-	デューティ値	
u2_cnt_timeout	uint16_t	Q0	-	タイムアウトカウンタ	
s2_speed_rad	int16_t	Q14	角周波数	回転速度 [PU]	
s2_ref_speed_rad	int16_t	Q14	角周波数	目標回転速度 [PU]	
s2_ref_speed_rad_ctrl	int16_t	Q14	角周波数	指令回転速度 [PU]	
s2_ramp_limit_speed_rad	int16_t	Q14	角周波数	最大加速度 [PU]	
s2_vdc_ad_bit	int16_t	Q0	-	母線電圧の A/D 変換値	

表 3-56 “r_mtr_120.h / 構造体:st_mtr_120_control_t” 変数一覧 [2/2]

変数	型	Qn	PU	内容	備考
s2_idc_ad_bit	int16_t	Q0	-	DC リンク電流の A/D 変換値	
s2_vdc_ad	int16_t	Q13	電圧	母線電圧 [PU]	
s2_idc_ad	int16_t	Q13	電流	DC リンク電流 [PU]	
u4_error_status	uint32_t	Q0	-	エラーステータス	
u4_offset_idc_ad_sum	uint32_t	Q0	-	DC リンク電流オフセット値積分値	
u1_use_cmp3	uint8_t	Q0	-	CMP3 使用機能	
u1_state_current_offset	uint8_t	Q0	-	DC リンク電流オフセットステート	
u2_offset_idc_adc	uint16_t	Q0	-	DC リンク電流オフセット値	
u2_offset_calc_cnt	uint16_t	Q0	-	DC リンク電流オフセット測定回数	
u2_offset_sample_cnt	uint16_t	Q0	-	DC リンク電流オフセット測定回サンプル数	
s2_limit_over_voltage	int16_t	Q13	電圧	過電圧リミット値	
s2_limit_under_voltage	int16_t	Q13	電圧	定電圧リミット値	
s2_limit_speed_rad	int16_t	Q14	角周波数	制限速度	
s2_limit_over_current	int16_t	Q13	電流	過電流リミット値	
s2_limit_v	int16_t	Q13	電圧	電圧下限値	
s2_limit_v_ref	int16_t	Q13	電圧	電圧下限指令値	
s2_ref_v_ctrl	int16_t	Q13	電圧	指令電圧 [PU]	
s2_ref_v	int16_t	Q13	電圧	目標電圧 [PU]	
u2_state_voltage_ref	uint16_t	Q0	-	指令電圧ステート	【電圧制御モード】
s2_ramp_limit_v	int16_t	Q13	電圧	電圧変化幅制限値 [PU]	
st_asr	st_mtr_v_pi_t	-	-	ASR 構造体	
u2_state_current_ref	uint16_t	Q0	-	指令電流ステート	【電流制御モード】
s2_ref_idc	int16_t	Q13	電流	DC リンク電流目標値	
s2_ref_idc_ctrl	int16_t	Q13	電流	DC リンク電流指令値	
st_asr	st_mtr_asr_t			ASR 構造体	
st_acr	st_mtr_acr_t			ACR 構造体	
st_ipd	st_mtr_ipd_t	-	-	初期位置検出用構造体	
st_aa	st_mtr_aa_t	-	-	進角制御用構造体	
st_stm	st_mtr_statemachine_t	-	-	ステートマシン用構造体	
st_motor	st_mtr_parameter_t	-	-	モータパラメータ用構造体	
st_hall	st_mtr_hall_control_t	-	-	ホールセンサによる制御用構造体	
st_less	st_mtr_sensorless_control_t	-	-	センサレスによる制御用構造体	

表 3-57 “r_mtr_120.c” 変数一覧

変数	型	Qn	PU	内容	備考
g_u1_cnt_ics	volatile uint8_t	Q0	-	RMW 通信周期カウンタ	

表 3-58 “r_mtr_interrupt.c” 変数一覧

変数	型	Qn	PU	内容	備考
g_st_120	st_mtr_120_control_t	-	-	制御用構造体	構造体
g_u2_ol_v_pattern_table_CW[7]	uint16_t	Q0	-	オープンループ電圧パターン配列(CW)	
g_u2_ol_v_pattern_table_CCW[7]	uint16_t	Q0	-	オープンループ電圧パターン配列(CCW)	
g_u2_chopping_pattern_table_CW[6]	uint16_t	Q0	-	チョッピングパターン配列(CW)	
g_u2_chopping_pattern_table_CCW[6]	uint16_t	Q0	-	チョッピングパターン配列(CCW)	
g_u1_cnt_ics	static uint8_t	Q0	-	RMW 処理間引きカウンタ	
g_u1_flag_ad_trg1_vi	static uint8_t	Q0	-	A/D チャンネル切り替えフラグ	
g_u1_flag_delay	static uint8_t	Q0	-	ディレイタイマ割り込み発生フラグ	

表 3-59 “r_mtr_ctrl_gain.h / 構造体 : st_mtr_ctrl_gain_voltage_mode_t” 変数一覧

変数	型	Qn	PU	内容	備考
s2_asr_kp	int16_t	Q13	電圧/角周波数	速度比例ゲイン	
s2_asr_kidt	int16_t	Q15	電圧/角周波数	速度積分ゲイン	
s2_asr_deadband	int16_t	Q14	角周波数	PI ゲイン積分項デッドバンド	
s2_aa_kp	int16_t	Q21	-	進角制御 PI 比例ゲイン	
s2_aa_kidt	int16_t	Q21	-	進角制御 PI ki*dt	
s2_aa_lpf_in_k	int16_t	Q15	-	進角制御 LPF 入力係数	

表 3-60 “r_mtr_ctrl_gain.h / 構造体 : st_mtr_ctrl_gain_current_mode_t” 変数一覧

変数	型	Qn	PU	内容	備考
s2_asr_kp	int16_t	Q14	電流/角周波数	速度比例ゲイン	
s2_asr_kidt	int16_t	Q21	電流/角周波数	速度積分ゲイン	
s2_asr_deadband	int16_t	Q14	角周波数	速度制御積分項デッドバンド	
s2_acr_kp	int16_t	Q17	抵抗	DC リンク電流比例ゲイン	
s2_acr_kidt	int16_t	Q21	抵抗	DC リンク電流積分ゲイン	
s2_acr_deadband	int16_t	Q13	電流	電流制御積分項デッドバンド	
s2_d0_div_pm	int16_t	Q13	-	静止摩擦係数/(極対数×誘起電圧定数)	
s2_d1_div_p2m	int16_t	Q19	-	動摩擦係数/(極対数^2×誘起電圧定数)	
s2_aa_kp	int16_t	Q21	-	進角制御 PI 比例ゲイン	
s2_aa_kidt	int16_t	Q21	-	進角制御 PI ki*dt	
s2_aa_lpf_in_k	int16_t	Q15	-	進角制御 LPF 入力係数	

表 3-61 “r_mtr_ctrl_gain.h / 構造体:st_desgin_parameter_t” 変数一覧

変数	型	Qn	PU	内容	備考
u2_pp	uint16_t	Q0	-	極対数	
f4_r	float	Q0	-	抵抗 [Ω]	
f4_ld	float	Q0	-	d 軸インダクタンス[H/rad]	
f4_lq	float	Q0	-	q 軸インダクタンス[H/rad]	
f4_m	float	Q0	-	誘起電圧定数[V・s/rad]	
f4_j	float	Q0	-	イナーシャ[kg・m ² /(rad ²)]	
f4_speed_omega	float	Q0	-	PI ゲイン設計周波数 [Hz]	
f4_asr_zeta	float	Q0	-	PI ゲイン設計ダンピングファクタ	
f4_dt	float	Q0	-	電流制御周期 [s]	
f4_pu_sf_asr_kp	float	Q0	-	比例ゲイン PU スケールファクタ	
f4_pu_sf_asr_kidt	float	Q0	-	積分ゲイン PU スケールファクタ	
u1_q_voltage	uint8_t	Q0	-	電圧 Q 値	
u1_q_afreq	uint8_t	Q0	-	角周波数 Q 値	
u1_q_asr_kp	uint8_t	Q0	-	比例ゲイン Q 値	
u1_q_asr_kidt	uint8_t	Q0	-	積分ゲイン Q 値	
f4_asr_ki_aug	float	Q0	-	速度 PI 制御積分器増幅率	
f4_dt_speed	float	Q0	-	速度制御周期	
f4_acr_nf_hz	float	Q0	-	電流 PI 制御固有周波数 [Hz]	
f4_asr_nf_hz	float	Q0	-	速度 PI 制御固有周波数 [Hz]	
f4_acr_deadband_lsb	float	Q0	-	電流 PI 制御デッドバンド [LSB]	
f4_asr_deadband_lsb	float	Q0	-	速度 PI 制御デッドバンド [LSB]	
f4_d0_div_pm	float	Q0	-	静止摩擦係数/(極対数×誘起電圧定数) [kg・m ² /(rad・s ²)]	
f4_d1_div_p2m	float	Q0	-	動摩擦係数/(極対数 ² ×誘起電圧定数) [kg・m ² /(rad ² ・s)]	
f4_pu_sf_afreq	float	Q0	-	周波数のスケールファクタ	
u1_q_acr_kp	uint8_t	Q0	-	電流 PI 比例ゲインの Q 値	
u1_q_acr_kidt	uint8_t	Q0	-	電流 PI 積分ゲイン*制御周期の Q 値	
u1_q_acr_deadband	uint8_t	Q0	-	電流 PI デッドバンドの Q 値	
u1_q_asr_deadband	uint8_t	Q0	-	速度 PI デッドバンドの Q 値	
f4_aa_pi_nf_hz	float	Q0	-	進角制御 PI コントローラ固有周波数[Hz]	
f4_aa_speed_err_lpf_cof_hz	float	Q0	-	速度偏差 LPF カットオフ周波数[Hz]	
u1_q_aa_lpf_k	uint8_t	Q0	-	進角制御用 LPF の Q 値	
u1_q_aa_kp	uint8_t	Q0	-	進角制御 PI 比例ゲインの Q 値	
u1_q_aa_kidt	uint8_t	Q0	-	進角制御 PI ki*dt の Q 値	

表 3-62 “r_mtr_ipd.h / 構造体: st_mtr_ipd_t” 変数一覧

変数	型	Qn	PU	内容	備考
u1_state_ipd	uint8_t	Q0	-	初期位置検出ステート	【初期位置検出】
u1_judge_sal	uint8_t	Q0	-	突極性判定結果	
u1_flag_cmp3_intr	uint8_t	Q0	-	CMP3 割り込み発生フラグ	
u2_sal_angle_current	uint16_t	Q0	-	突極性モータの角度検出における閾値電流 [A]	
u1_sal_angle_cnt	uint8_t	Q0	-	突極性モータの角度検出の測定回数	
u2_sal_polarity_current	uint16_t	Q0	-	突極性モータの極性検出における閾値電流 [A]	
u1_sal_polarity_cnt	uint8_t	Q0	-	突極性モータの極性検出の測定回数	
u1_sal_polarity	uint8_t	Q0	-	極性検出結果	
u2_non_sal_current	uint16_t	Q0	-	非突極の回転子の角度検出における閾値電流 [A]	
u1_non_sal_cnt	uint8_t	Q0	-	非突極性の回転子の角度検出測定回数	
u1_init_position	uint8_t	Q0	-	初期位置検出判定結果	
u2_temp_trx_cnt	uint16_t	Q0	-	TRX カウント値取得	
u2_sal_angle_discharge	uint16_t	Q0	-	突極性モータの角度検出の放電時間	
u2_sal_polarity_discharge	uint16_t	Q0	-	突極性モータの極性検出の放電時間	
u2_non_sal_discharge	uint16_t	Q0	-	非突極性モータの角度検出の放電時間	
u4_sal_angle_trx_sum[3]	uint32_t	Q0	-	突極性モータの角度検出の TRX カウント値	
u4_sal_check_trx_sum	uint32_t	Q0	-	突極性検出時の TRX カウント値	
u4_sal_polarity_trx_sum[2]	uint32_t	Q0	-	突極性モータの極性検出の TRX カウント値	
u4_non_sal_trx_sum[6];	uint32_t	Q0	-	非突極性の回転子の角度検出の TRX カウント値	
u4_sal_angle_trx_diff	uint32_t	Q0	-	突極性モータの角度検出の TRX カウント値差分	
u4_sal_polarity_trx_diff	uint32_t	Q0	-	突極性モータの極性検出の TRX カウント値差分	
u4_non_sal_trx_diff	uint32_t	Q0	-	非突極性の回転子の角度検出における TRX カウント値差分	
u4_sal_angle_th	uint32_t	Q0	-	突極性モータの角度検出の TRX カウント値差分閾値	
u4_sal_angle_per	uint32_t	Q0	-	突極性モータの角度検出の TRX カウント値差分閾値の割合	
u4_sal_polarity_th	uint32_t	Q0	-	突極性モータの極性検出の TRX カウント値差分閾値	
u4_sal_polarity_per	uint32_t	Q0	-	突極性モータの極性検出の TRX カウント値差分閾値の割合	
u4_non_sal_th	uint32_t	Q0	-	非突極性の回転子の角度検出における TRX カウント値差分閾値	
u4_non_sal_per	uint32_t	Q0	-	非突極性の回転子の角度検出における TRX カウント値差分閾値の割合	

表 3-63 “r_mtr_ol2cl.h / 構造体: st_mtr_ol2cl_t” 変数一覧

変数	型	Qn	PU	内容	備考
u1_flag_change	uint8_t	Q0	-	センサレス制御遷移許可フラグ	【センサレスモード】
u1_flag_change_speed	uint8_t	Q0	-	遷移最低速度超過フラグ	
u1_zc_flag	uint8_t	Q0	-	ゼロクロス発生フラグ	
u1_rotor_pos	uint8_t	Q0	-	ロータ位置の位相	
u2_zc_cnt	uint16_t	Q0	-	ゼロクロス回数カウント	
s2_change_speed_rad	int16_t	Q14	角周波数	センサレス制御遷移最低速度	
s2_ref_speed_rad_buff	int16_t	Q14	角周波数	指令速度バッファ	
s2_ramp_speed_rad	int16_t	Q14	角周波数	センサレス制御遷移時加速度	

表 3-64 “r_mtr_aa_ctrl.h / 構造体: st_mtr_aa_pi_t” 変数一覧

変数	型	Qn	PU	内容	備考
s2_kp	int16_t	Q21	-	比例ゲイン	【進角制御用モード】
s2_kidt	int16_t	Q21	-	積分ゲイン × 制御周期	
s2_intg	int16_t	Q12	-	積分項	
s2_ilimit	int16_t	Q12	-	積分制限（上下対称）	
s2_deadband	int16_t	Q13	電圧	積分項デッドバンド	
s2_pre_err	int16_t	Q13	電圧	電圧偏差前回値	
s2_pi_out_pre	int16_t	Q12	角度	PI 出力前回値	

表 3-65 “r_mtr_aa_ctrl.h / 構造体: st_mtr_aa_lpf1_t” 変数一覧

変数	型	Qn	PU	内容	備考
s2_in_k	int16_t	Q15	-	LPF 入力ゲイン	【進角制御用モード】
s2_out_k	int16_t	Q15	-	LPF 前回出力ゲイン	
s2_pre_out	int16_t	Q14	角速度	出力前回値	

表 3-66 “r_mtr_aa_ctrl.h / 構造体: st_mtr_aa_t” 変数一覧

変数	型	Qn	PU	内容	備考
u1_pi_on_flag	uint8_t	-	-	PI ON フラフ	【進角制御用モード】
u1_hys_flag	uint8_t	-	-	ヒステリシスフラグ	
u1_q_aa_kp	uint8_t	-	-	進角制御 PI 比例ゲインの Q 値	
u1_q_aa_kidt	uint8_t	-	-	進角制御 PI $k_i * dt$ の Q 値	
u1_q_aa_lpf_co	uint8_t			速度偏差 LPF の Q 値	
u1_q_bemf_const	uint8_t			誘起電圧係数の Q 値	
u1_control_mode	uint8_t			制御モード	
u2_fp_sf_voltage	uint16_t			電圧 PU 変換値	
s2_m	int16_t	Q15	誘起電圧定数	進角制御計算用誘起電圧係数	
s2_speed_err_th_rad	int16_t	Q14	角周波数	速度偏差しきい値	
s2_speed_err_rad	int16_t	Q14	角周波数	速度偏差	
s2_speed_err_rad_lpf	int16_t	Q14	角周波数	速度偏差 LPF	
s2_angle_offset	int16_t	Q12	角度	進み角	
s2_angle_offset_pre	int16_t	Q12	角度	進み角前回値	
s2_angle_max	int16_t	Q12	角度	進み角最大値	
s2_angle_min	int16_t	Q12	角度	進み角最小値	
s2_ramp_limit_angle	int16_t	Q12	角度	進み角変化幅	
s2_ramp_limit_voltage	int16_t	Q13	電圧	電圧変化幅	
s2_vmin	int16_t	Q13	電圧	電圧最小値	
s2_vmax	int16_t	Q13	電圧	電圧最大値	
s2_vlim	int16_t	Q13	電圧	電圧リミット値	
s2_vn_offset	int16_t	Q13	電圧	仮想中点電圧オフセット	
s2_vn_offset_pre	int16_t	Q13	電圧	仮想中点電圧オフセット前回値	
s2_vn_offset_pre_ad	int16_t	-	-	仮想中点電圧オフセット [bit]	
s2_aa_limit_current_ref	int16_t	Q13	電流	電流リミット	
st_pi	st_mtr_aa_pi_t	-	-	PI 制御器構造体	
st_lpf	st_mtr_aa_lpf1_t	-	-	1 次の LPF 構造体	
st_angle	st_sincos12	-	-	角度構造体	

3.4 120 度通電制御ソフトマクロ定義

本制御プログラムで使用するマクロ定義一覧を次に示します。

表 3-67 “r_mtr_config.h” マクロ定義一覧

マクロ	定義値	内容	備考
IP_MCEK_1SHUNT	-	インバータボードの選択	
MP_TG_55L_KA	-	モータパラメータの選択	
CP_TG_55L_KA	-	制御パラメータの選択	
SENSORLESS_CURRENT	0	センサレス・電流制御モード	
SENSORLESS_VOLTAGE	1	センサレス・電圧制御モード	
HALL_CURRENT	2	ホールセンサ使用・電流制御モード	
HALL_VOLTAGE	3	ホールセンサ使用・電圧制御モード	
MTRCONF_MODE	SENSORLESS_CURRENT SENSORLESS_VOLTAGE HALL_CURRENT HALL_VOLTAGE	制御モードの選択	デフォルト設定 SENSORLESS_CURRENT
NON_COMPLEMENTARY	0	非相補 PWM	
COMPLEMENTARY	1	相補 PWM	
MTRCONF_PWM_MODE	NON_COMPLEMENTARY COMPLEMENTARY	PWM 出力の選択	デフォルト設定 COMPLEMENTARY
USE_AA	0/1	進角制御の使用	デフォルト設定 :1
PS_IPD_SAL	0	突極モータ向け初期位置検出	
PS_IPD_NON_SAL	1	非突極モータ向け初期位置検出	
PS_IPD_UNKNOWN	2	突極情報無しモータ向け初期位置検出	
PS_DRAW_IN	3	引き込み	
PS_METHOD	PS_IPD_SAL PS_IPD_NON_SAL PS_IPD_UNKNOWN PS_DRAW_IN	始動準備方式	デフォルト設定 PS_IPD_SAL
HALL	0	ホールセンサ使用	
LESS	1	センサレス	
MTRCONF_SENSOR_MODE	HALL LESS	ホールセンサ使用の選択	
VOLTAGE	0	電圧制御	
CURRENT	1	電流制御	
MTRCONF_CONTROL_MODE	VOLTAGE	制御方式の選択	デフォルト設定 CURRENT

表 3-68 “r_mtr_motor_parameter.h” マクロ定義一覧

マクロ	定義値	内容	備考
MP_POLE_PAIRS	2	極対数	
MP_RESISTANCE	9.125f	抵抗 [Ω]	
MP_D_INDUCTANCE	0.003844f	d 軸インダクタンス [H/rad]	
MP_Q_INDUCTANCE	0.004315f	q 軸インダクタンス [H/rad]	
MP_BEMF_CONSTANT	0.02144f	誘起電圧定数 [V・s/rad]	
MP_ROTOR_INERTIA	0.00000205f	イナーシャ [kg・m ² /(rad ²)]	
MP_FRICTION_0TH_ORDER	0.002748f	静止摩擦係数 [kg・m ² /(rad・s ²)]	
MP_FRICTION_1ST_ORDER	0.000001873f	動摩擦係数 [kg・m ² /(rad ² ・s)]	
MP_RATED_CURRENT	0.42f	定格電流 [A]	
MP_RATED_SPEED	2650	定格速度 [rpm]	
STAR	0	スター結線	デフォルト設定
DELTA	1	デルタ結線	
MTRCONF_MOTOR_CONNECTION	0/1	モータの結線方式の選択	スター結線 or デルタ結線

表 3-69 “r_mtr_inverter_parameter.h” マクロ定義一覧

マクロ	定義値	内容	備考
IP_DEADTIME	1	デッドタイム[us]	
IP_CURRENT_RANGE	10	電流範囲 [A]	
IP_VDC_RANGE	111	電圧スケールレンジ [V]	
IP_INPUT_V	24	入力電圧 [V]	
IP_CURRENT_LIMIT	4.5	インバータボード電流リミット値 [A]	
IP_OVERVOLTAGE_LIMIT	28	過電圧リミット [V]	
IP_UNDERVOLTAGE_LIMIT	12	低電圧リミット [V]	
IP_DC_SHUNT_RESISTANCE	0.01f	シャント抵抗値 [Ω]	
IP_DC_AMPLIFICATION_GAIN	50	電流アンプゲイン	
IP_BSC_CHARGE_TIME	150	ブートストラップコンデンサ充電時間	
IP_CHARGE_CAP_WAIT_CNT	350	DC コンデンサの充電時間	

表 3-70 “r_mtr_control_parameter.h” マクロ定義一覧

マクロ	定義値	内容	備考
CP_PWM_TIMER_FREQ	96.0f	PWM タイマ周波数 [MHz]	
CP_TRG_TIMER_FREQ	48.0f	TRG タイマ周波数 [MHz]	
CP_CARRIER_FREQ	20.0f	PWM キャリア周波数 [kHz]	
CP_TRX_TIMER_FREQ	96.0f	TRX タイマ周波数 [MHz]	
CP_TAU1_TIMER_FREQ	187.5f	TAU1 タイマ周波数 [kHz]	
CP_SPEED_CTRL_PERIOD	0.001f	速度制御周期 [sec]	
CP_TRJ_TIMER_FREQ	48.0f	TRJ タイマ周波数 [MHz]	【初期位置検出】
CP_AD_TRG_DEFAULT_CNT	200.0f	A/D 変換トリガカウン初期値	
CP_OFFSET_CALC_CNT	64	電流オフセット値計算回数	
CP_OFFSET_CALC_ST_WAIT_CNT	100	電流オフセット安定待ち回数	
CP_AD_TRG_LIMIT_CNT	100.0f	A/D 変換トリガカウン下限値	【センサレスモード】
CP_AD_TRG_DUTY_THRESHOLD_CNT	1800.0f	A/D 変換トリガ設定用のデューティ閾値	
CP_AD_TRG_ADJUST_UP_CNT	300.0f	A/D 変換トリガカウン調整値 (無通電相上り時)	
CP_AD_TRG_ADJUST_DOWN_CNT	300.0f	A/D 変換トリガカウン調整値 (無通電相下り時)	
CP_AD_TRG_DIFF_CNT	150.0f	A/D 変換トリガカウン設定の前回値と今回値の差	
CP_MAX_SPEED_RPM	4300	速度指令最大値 [rpm]	機械角
CP_SPEED_LIMIT_RPM	5590	回転速度リミット値 [rpm]	機械角
CP_MIN_SPEED_RPM	265 【センサレスモード】 530 【ホールセンサ使用モード】	速度指令最小値 [rpm]	機械角
CP_OC_LIMIT	1.47f	過電流リミット値 [A]	
CP_RAMP_LIMIT_SPEED_RPM_LESS	10.067065f	加速度リミット値 [rpm/ms]	機械角
CP_OL2CL_SPEED_RPM	530	センサレス制御遷移最低速度 [rpm]	機械角
CP_OL2CL_SPEED_MARGIN	53	センサレス制御遷移速度マージン値 [rpm]	機械角
CP_SKIP_SPIKE_NOSE	8	転極ノイズ回避カウン回数	
CP_LIMIT_V	4 【センサレス・電流制御モード】 4.5f 【センサレス・電圧制御モード】	電圧下限値 [V]	
CP_OL2CL_SPEED_RAMP_RPM	2	センサレス制御遷移時加速度 [rpm/ms]	機械角
CP_OL2CL_ZC_CNT	3	センサレス制御遷移時ゼロクロス検出回数	
CP_ACR_NF_HZ	300	電流 PI 制御固有周波数 [Hz]	【電流制御モード】
CP_ASR_NF_HZ	5.04f	速度 PI 制御固有周波数 [Hz]	
CP_ACR_DEADBAND_LSB	0.5f	電流 PI のデッドバンド [LSB]	
CP_ASR_DEADBAND_LSB	0.5f	速度 PI のデッドバンド [LSB]	
CP_ASR_KI_AUG	8	速度 PI 制御積分器増幅率	
CP_RAMP_LIMIT_CURRENT	0.008311f	電流の上昇制限値 [A/ms]	【電流制御モード】
CP_DRAW_IN_REF_IDC	0.42f	引き込み電流 [A]	
CP_OL_REF_IDC	0.10f	オープンループ電流 [A]	
CP_ASR_OMEGA_HZ	14	PI ゲイン設計周波数 [Hz]	【電圧制御モード】
CP_ASR_ZETA	1	PI ゲイン設計ダンピングファクタ	
CP_RAMP_LIMIT_V_LESS	0.13f	電圧変化幅リミット値 [V]	【センサレス・電圧制御モード】
CP_DRAW_IN_REF_V	7.67f	引き込み電圧 [V]	
CP_OL_REF_V	3.5f	オープンループ電圧 [V]	

表 3-71 “r_mtr_control_parameter.h” マクロ定義一覧

マクロ	定義値	内容	備考
CP_RAMP_LIMIT_SPEED_RPM_HALL	10.067065 f	加速度リミット値 [rpm/ms] (機械角)	【ホールセンサ使用モード】
CP_RAMP_LIMIT_V_HALL	0.29f	電圧変化幅リミット値 [V]	
CP_START_REF_V	2.6f	始動電圧 [V]	【ホールセンサ使用・電流制御モード】
CP_START_REF_IDC	0.042f	始動電流 [A]	【ホールセンサ使用・電圧制御モード】
CP_HALL2OLREV_SPEED_RPM	530	ホールセンサ使用制御遷移速度 [rpm]	【ホールセンサ使用モード】
CP_SAL_ANGLE_CURRENT	0.25f	突極性モータの角度検出における閾値電流[A]	【初期位置検出】
CP_SAL_ANGLE_TRX_THRESHOLD	1012	突極性モータの角度検出の TRX カウント値差分閾値	
CP_SAL_ANGLE_DISCHARGE	601	突極性モータの角度検出の放電時間	
CP_SAL_POLARITY_CURRENT	0.42f	突極性モータの極性検出における閾値電流[A]	
CP_SAL_POLARITY_TRX_THRESHOLD	1019	突極性モータの極性検出の TRX カウント値差分閾値	
CP_SAL_POLARITY_DISCHARGE	745	突極性モータの極性検出の放電時間	
CP_NON_SAL_CURRENT	0.4f	非突極性モータの角度検出における閾値電流[A]	
CP_NON_SAL_TRX_THRESHOLD	852	非突極性モータの角度検出の TRX カウント値差分閾値	
CP_NON_SAL_TRX_DISCHARGE	689	非突極性モータの角度検出の放電時間	
CP_IPD_NOISE_AVOID_CNT	97	ノイズ回避回数	
CP_AA_PI_NF_HZ	10	進角制御 PI コントローラ固有周波数 [Hz]	【進角制御モード】
CP_AA_SPEED_ERR_THRESHOLD_RPM	50	進角制御の速度偏差しきい値 [rpm]	
CP_AA_SPEED_ERR_LPF_COF_HZ	50	速度偏差 LPF カットオフ周波数 [Hz]	
CP_AA_RAMP_LIMIT_V	0.3f	進角制御の中間電圧オフセット変化幅制限値 [V/ms]	
CP_AA_RAMP_LIMIT_ANGLE	0.001f	進角制御の進み角変化幅制限値 [rad/ms]	
CP_AA_VLIM	17.52	進角制御の電圧リミット[V]	
CP_AA_CURRENT_LIMIT_RATIO	0.2	進角制御の電流制限比	

表 3-72 “r_mtr_scaling_parameter.h” マクロ定義一覧[1/2]

マクロ	定義値	内容	備考
FP_SF_VOLTAGE	37888	電圧 PU 変換値 (((IP_VDC_RANGE)×PU_SF_VOLTAGE) ×(1<<MTR_Q_VOLTAGE))の値を設定	
FP_SF_CURRENT	195047	電流 PU 変換値 (((IP_CURRENT_RANGE)×PU_SF_CURRENT) ×(1<<MTR_Q_CURRENT))の値を設定	
PU_BASE_CURRENT_A	MP_RATED_CURRENT	電流基準値 [A]	
PU_BASE_VOLTAGE_V	IP_INPUT_V	電圧基準値 [V]	
PU_BASE_FREQ_Hz	MTR_TWOP/CP_MAX_SPEED_RPM *MP_POLE_PAIRS/60	周波数基準値 [Hz]	
PU_BASE_ANGLE_Rad	1.0f	角度基準値 [rad]	
PU_SF_CURRENT	1.0f / PU_BASE_CURRENT_A	電流スケール [1/A]	
PU_SF_VOLTAGE	1.0f / PU_BASE_VOLTAGE_V	電圧スケール [1/V]	
PU_SF_AFREQ	1.0f / PU_BASE_FREQ_Hz	角周波数スケール[s /rad]	
PU_SF_ANGLE	1.0f / PU_BASE_ANGLE_Rad	角度スケール[1/rad]	
PU_SF_TIME	PU_SF_ANGLE / PU_SF_AFREQ	時間スケール[1/s]	
PU_SF_RES	PU_SF_VOLTAGE / PU_SF_CURRENT	抵抗スケール[1/Ω]	
PU_SF_IND	PU_SF_RES / PU_SF_AFREQ	インダクタンススケール[rad/H]	
PU_SF_BEMF_CONST	PU_SF_VOLTAGE / PU_SF_AFREQ	誘起電圧定数スケール[rad/(V・s)]	
PU_SF_INERTIA	PU_SF_BEMF_CONST * PU_SF_CURRENT / (MP_POLE_PAIRS * MP_POLE_PAIRS * PU_SF_AFREQ * PU_SF_AFREQ)	イナーシャスケール [rad^2/kg・m^2]	
PU_SF_D1_DIV_P2M	(PU_SF_CURRENT / PU_SF_AFREQ)	動摩擦係数/ (極対数^2×誘起電圧定数)のスケール[rad/(A・s)]	
PU_SF_RPM_RAD	1.0f / CP_MAX_SPEED_RPM	[rpm]から[rad/s]への変換スケール[rad/rpm]	
PU_SF_RAD_RPM	CP_MAX_SPEED_RPM	[rad/s]から[rpm]への変換スケール[rpm/rad]	
PU_SF_ACR_KP	PU_SF_RES	電流 PI 比例ゲインスケール[1/Ω]	
PU_SF_ACR_KIDT	PU_SF_RES	電流 PI 積分ゲインスケール[1/Ω]	
PU_SF_ASR_KP	電流制御モード : PU_SF_CURRENT / PU_SF_AFREQ 電圧制御モード : PU_SF_VOLTAGE / PU_SF_AFREQ	速度 PI 比例ゲインスケール[rad/(A・s)]	
PU_SF_ASR_KIDT	電流制御モード : PU_SF_CURRENT / PU_SF_AFREQ 電圧制御モード : PU_SF_VOLTAGE / PU_SF_AFREQ	速度 PI 積分ゲインスケール[rad/(A・s)]	

表 3-73 “r_mtr_scaling_parameter.h” マクロ定義一覧[2/2]

マクロ	定義値	内容	備考
MTR_Q_ANGLE	12	角度 Q 値	
MTR_Q_CURRENT	13	電流 Q 値	
MTR_Q_VOLTAGE	13	電圧 Q 値	
MTR_Q_AFREQ	14	角周波数 Q 値	
MTR_Q_CTRL_TIME_SPEED	15	速度制御周期 Q 値	
MTR_Q_RESISTANCE	17	抵抗 Q 値	
MTR_Q_INDUCTANCE	18	インダクタンス Q 値	
MTR_Q_BEMF_CONST	15	誘起電圧係数 Q 値	
MTR_Q_INERTIA	9	イナーシャ Q 値	
MTR_Q_D1_DIV_P2M	19	動摩擦係数/ (極対数 ² ×誘起電圧定数)の Q 値	
MTR_Q_ACR_KP	17	電流 PI 比例ゲインの Q 値	
MTR_Q_ACR_KIDT	21	電流 PI 積分ゲイン×制御周期の Q 値	
MTR_Q_ASR_KP	電流制御モード : 14 電圧制御モード : 13	速度 PI 比例ゲインの Q 値	
MTR_Q_ASR_KIDT	電流制御モード : 21 電圧制御モード : 15	速度 PI 積分ゲイン×制御周期の Q 値	
RSFT_AFREQ_BEMF_CONST_2VOLTAGE	MTR_Q_BEMF_CONST + MTR_Q_AFREQ - MTR_Q_VOLTAGE	(角速度×誘起電圧係数)から電圧変換時の右シフト量	
MTR_Q_AA_KP	21	進角制御の PI 比例ゲインの Q 値	
MTR_Q_AA_KIDT	21	進角制御の PI 積分ゲイン×制御周期の Q 値	
MTR_Q_AA_LPF_CO	15	進角制御の速度偏差 LPF の Q 値	
MTR_Q_SIN_COS_DSP	14	DSP 関連の三角関数の Q 値	

表 3-74 “main.h” マクロ定義一覧

マクロ	定義値	Qn	PU	内容	備考
MODE_INACTIVE	0x00	-	-	インアクティブモード	
MODE_ACTIVE	0x01	-	-	アクティブモード	
MODE_ERROR	0x02	-	-	エラーモード	
SIZE_STATE	3	-	-	モード状態数	

表 3-75 “ICS_define.h” マクロ定義一覧

マクロ	定義値	Qn	PU	内容	備考
RL78	-	-	-	CPU 定義	

表 3-76 “r_mtr_ics.h” マクロ定義一覧

マクロ	定義値	Qn	PU	内容	備考
TS_300US	-	-	-	ICS 通信速度	
MTR_ICS_DECIMATION	1	-	-	ICS 処理間引き回数	
ICS_BRR	5	-	-	ICS ビットレートレジスタ選択	
ICS_ADDR	0xFE00	-	-	ICS 用アドレス指定	
ICS_INT_LEVEL	3	-	-	ICS 用割り込みレベル設定	
ICS_NUM	0x40	-	-	ICS 通信データサイズ	
ICS_INT_MODE	0	-	-	ICS 割り込みモード設定	

表 3-77 “r_mtr_rl78g24.h” マクロ定義一覧 [1/2]

マクロ	定義値	内容	備考
USE_PWMOPA	MTR_SET	PWMOPA による過電流使用の選択	
MTR_CARRIER_FREQ	CP_CARRIER_FREQ	キャリア周波数 [kHz]	
MTR_TAU1_TIMER_FREQ	CP_TAU1_TIMER_FREQ	TAU1 周波数 [kHz]	
MTR_PWM_TIMER_FREQ	CP_PWM_TIMER_FREQ	PWM タイマーカウント周波数 [MHz]	
MTR_TRG_TIMER_FREQ	CP_TRG_TIMER_FREQ	TRG 周波数 [MHz]	
MTR_TRJ_TIMER_FREQ	CP_TRJ_TIMER_FREQ	TRJ 周波数 [MHz]	【初期位置検出】
MTR_SPEED_CTRL_PERIOD	CP_SPEED_CTRL_PERIOD	速度制御周期	
MTR_CTRL_PERIOD	$(1.0f / (MTR_CARRIER_FREQ * 1000))$	電流制御周期	
MTR_WINDOW_DELAY_OFFSET	3	タイムウィンドウ遅れカウント	
MTR_WINDOW_ADJUST	0	タイムウィンドウ調整カウント	
MTR_OL2CL_BEMF_THRESH	3	誘起電圧測定閾値	
MTR_DEADTIME	IP_DEADTIME	デッドタイム [μs]	
MTR_NOT_CARRIER_SET	$(MTR_PWM_TIMER_FREQ * 1000 / MTR_CARRIER_FREQ / 2) - 2$	デッドタイムを除いたキャリア設定値	【相補 PWM】
MTR_CARRIER_SET	$(MTR_PWM_TIMER_FREQ * 1000 / MTR_CARRIER_FREQ / 2) - 2$ 【非相補 PWM】 / MTR_NOT_CARRIER_SET + MTR_DEADTIME_SET 【相補 PWM】	キャリア設定値	
MTR_MAX_WINDOW_WIDTH	$(MTR_NOT_CARRIER_SET * 0.9)$	タイムウィンドウ最大カウント	
MTR_MAX_DUTY_SET	MTR_NOT_CARRIER_SET - 2	デューティ設定制限値	
MTR_HALF_CARRIER_SET	MTR_CARRIER_SET / 2	1/2 キャリア設定値	
MTR_OFFSET_CALC_ST_WAIT_CNT	CP_OFFSET_CALC_ST_WAIT_CNT	電流オフセット取得前の安定待ち時間	
MTR_CHARGE_CAP_WAIT_CNT	IP_CHARGE_CAP_WAIT_CNT	DC コンデンサの充電時間	
MTR_AD_TRG_DEFAULT_CNT	CP_AD_TRG_DEFAULT_CNT	A/D 変換トリガカウント初期値	
MTR_AD_TRG_LIMIT_CNT	CP_AD_TRG_LIMIT_CNT	A/D 変換トリガカウント下限値	
MTR_AD_TRG_DUTY_THRESHOLD_CNT	CP_AD_TRG_DUTY_THRESHOLD_CNT	A/D 変換トリガ設定用のデューティ閾値	
MTR_AD_TRG_ADJUST_UP_CNT	CP_AD_TRG_ADJUST_UP_CNT	A/D 変換トリガカウント調整値 (無通電相上り時)	
MTR_AD_TRG_ADJUST_DOWN_CNT	CP_AD_TRG_ADJUST_DOWN_CNT	A/D 変換トリガカウント調整値 (無通電相下り時)	
MTR_AD_TRG_DIFF_CNT	CP_AD_TRG_DIFF_CNT	A/D 変換トリガカウント設定の前回値と今回値の差	
MTR_PATTERN_ERROR	0	通電パターン	
MTR_UP_PWM_VN_ON	1		
MTR_UP_PWM_WN_ON	2		
MTR_VP_PWM_UN_ON	3		
MTR_VP_PWM_WN_ON	4		
MTR_WP_PWM_UN_ON	5		
MTR_WP_PWM_VN_ON	6		
MTR_UP_ON_VN_PWM	7		
MTR_UP_ON_WN_PWM	8		
MTR_VP_ON_UN_PWM	9		
MTR_VP_ON_WN_PWM	10		
MTR_WP_ON_UN_PWM	11		
MTR_WP_ON_VN_PWM	12		
MTR_U_PWM_VN_ON	13		
MTR_U_PWM_WN_ON	14		
MTR_V_PWM_UN_ON	15		

表 3-78 “r_mtr_rl78g24.h” マクロ定義一覧 [2/2]

マクロ	定義値	内容	備考
MTR_V_PWM_WN_ON	16	通電パターン	
MTR_W_PWM_UN_ON	17		
MTR_W_PWM_VN_ON	18		
MTR_UP_ON_V_PWM	19		
MTR_UP_ON_W_PWM	20		
MTR_VP_ON_U_PWM	21		
MTR_VP_ON_W_PWM	22		
MTR_WP_ON_U_PWM	23		
MTR_WP_ON_V_PWM	24		
ERROR_NONE	0x00	エラーなし	
ERROR_CHANGE_CLK_TIMEOUT	0x01	クロック設定レジスタ変化タイムアウトエラー	
ERROR_CHARGE_CAP_TIMEOUT	0x02	キャパシタチャージタイムアウトエラー	
ERROR_DRIVING	0x03	ドライブモード時エラー	
MTR_OC_DETECT_REF	$(\text{uint16}_t)((\text{IP_DC_AMPLIFICATION_GAIN} * \text{IP_DC_SHUNT_RESISTANCE} * \text{IP_CURRENT_LIMIT}) * (1024 / 5))$	過電流リミット基準値	
MTR_OC_DETECT_OFFSET	$(\text{uint16}_t)(2.5f * (1024 / 5))$	過電流オフセット初期値	

表 3-79 “r_mtr_common.h” マクロ定義一覧

マクロ	定義値	内容	備考
MTR_TWOPI	$2 * 3.14159265359f$	2π	
MTR_TWOPI_60	MTR_TWOPI/60	$2\pi/60$	
MTR_SQRT_3	1.7320508f	$\sqrt{3}$	
MTR_SQRT_2_3	0.8164966f	$\sqrt{2/3}$	
MTR_CW	1	CW	
MTR_CCW	-1	CCW	
MTR_CLR	0	フラグクリア	
MTR_SET	1	フラグセット	
MTR_WAIT_CNT_3US	20	3us 待ち	
MTR_WAIT_CNT_5US	30	5us 待ち	
MTR_WAIT_CNT_20US	80	20us 待ち	
MTR_WAIT_CNT_300US	1500	300us 待ち	
MTR_ADC_10BIT	10	10bit ADC	
MTR_ADC_12BIT	12	12bit ADC	

表 3-80 “r_mtr_parameter.h” マクロ定義一覧

マクロ	定義値	Qn	PU	内容	備考
MTR_SPEED_PI_LIMIT_V	IP_INPUT_V	-	-	PI 制御出力リミット値	
MTR_MCU_ON_V	IP_INPUT_V * 0.8f	-	-	母線電圧安定供給判断値	
MTR_US_MAX_DRIVE_V	IP_INPUT_V * 0.96f	-	-	最大指令電圧	
MTR_US_MIN_DRIVE_V	IP_INPUT_V * 0.0f	-	-	最小指令電圧	
MTR_MAX_DRIVE_V	FIX_fromfloat(MTR_US_MAX_DRIVE_V * PU_SF_VOLTAGE, MTR_Q_VOLTAGE)	Q13	電圧	最大指令電圧	
MTR_MIN_DRIVE_V	FIX_fromfloat(MTR_US_MIN_DRIVE_V * PU_SF_VOLTAGE, MTR_Q_VOLTAGE)	Q13	電圧	最小指令電圧	
MTR_US_SPEED_CALC_BASE	MTR_TAU1_TIMER_FREQ * 1000 * MTR_TWOP1	-	-	回転速度計測用カウンタ値の速度 変換定数	
MTR_SPEED_CALC_BASE	FIX32_fromfloat(MTR_US_SPEED_CALC_BASE * PU_SF_AFREQ, MTR_Q_AFREQ)	Q14	角周波 数	回転速度計測用カウンタ値の速度 変換定数	
MTR_US_OL_SPEED_CALC_BASE	MTR_CARRIER_FREQ * 1000 * MTR_TWOP1 / MTR_PATTERN_NUM	-	-	オープンループカウント計算用定 数	
MTR_OL_SPEED_CALC_BASE	FIX32_fromfloat(MTR_US_OL_SPEED_CALC_BASE * PU_SF_AFREQ, MTR_Q_AFREQ)	Q14	角周波 数	オープンループカウント計算用定 数	
MTR_SPEED_CALC_BASE_1S T	MTR_SPEED_CALC_BASE/6	Q14	角周波 数	回転開始後最初の速度計算にお ける、回転速度計測用カウンタ値 の速度変換定数	
MTR_SPEED_CALC_BASE_2N D	MTR_SPEED_CALC_BASE/3	Q14	角周波 数	回転開始後 2 回目の速度計算にお ける、回転速度計測用カウンタ値 の速度変換定数	
MTR_SPEED_CALC_BASE_3R D	MTR_SPEED_CALC_BASE/2	Q14	角周波 数	回転開始後 3 回目の速度計算にお ける、回転速度計測用カウンタ値 の速度変換定数	
MTR_SPEED_CALC_BASE_4T H	MTR_SPEED_CALC_BASE*2/3	Q14	角周波 数	回転開始後 4 回目の速度計算にお ける、回転速度計測用カウンタ値 の速度変換定数	
MTR_SPEED_CALC_BASE_5T H	MTR_SPEED_CALC_BASE*5/6	Q14	角周波 数	回転開始後 5 回目の速度計算にお ける、回転速度計測用カウンタ値 の速度変換定数	
MTR_BIT_SFT_NUM_FOR_DU TY_CALC	15	-	-	デューティ計算用のビット数	
MTR_BIT_SFT_FOR_DUTY_CA LC	((uint32_t)(1)) << MTR_BIT_SFT_NUM_FOR_DU TY_CALC)	-	-	デューティ計算用の左シフト量	
MTR_LIMIT_IDC	MP_RATED_CURRENT * MTR_SQRT_3	Q13	電流	速度 PI の出力制限値	【電 流制 御 モ ー ド】
MTR_I_LIMIT_CURRENT	MP_RATED_CURRENT * MTR_SQRT_3	Q13	電流	速度 PI の積分項の出力制限値	
MTR_MIN_IDC_REF	0	Q13	電流	最小指令電流	
MTR_I_LIMIT_VQ	IP_INPUT_V * 0.9f	Q13	電流	Vq の電流 PI リミット	

表 3-81 “r_mtr_statemachine.h” マクロ定義一覧

マクロ	定義値	Qn	PU	内容	備考
MTR_MODE_INIT	0x00	Q0	-	初期化モード	
MTR_MODE_DRIVE	0x01	Q0	-	ドライブモード	
MTR_MODE_STOP	0x02	Q0	-	ストップモード	
MTR_SIZE_STATE	3	Q0	-	ステート数	
MTR_EVENT_STOP	0x00	Q0	-	ストップイベント	
MTR_EVENT_DRIVE	0x01	Q0	-	ランイベント	
MTR_EVENT_ERROR	0x02	Q0	-	エラーイベント	
MTR_EVENT_RESET	0x03	Q0	-	リセットイベント	
MTR_SIZE_EVENT	4	Q0	-	イベント数	

表 3-82 “r_mtr_ol2cl_ctrl.h” マクロ定義一覧

マクロ	定義値	Qn	Pu	内容	備考
MTR_PHASE_LEAD	0			回転子の位相進み	【センサレスモード】
MTR_PHASE_LAG	1			回転子の位相遅れ	
MTR_1ST_ZC_CNT	1			遷移処理中の 1 回目のゼロクロス	

表 3-83 “r_mtr_aa_ctrl.h” マクロ定義一覧

マクロ	定義値	Qn	Pu	内容	備考
MTR_60_DEGREE	FIX_fromfloat((1.0/3.0) * PU_SF_ANGLE, MTR_Q_ANGLE)	Q12	角度	$\pi/3$	【進角制御モード】
MTR_AA_M	FIX_fromfloat((MP_BEMF_CONST ANT * MTR_SQRT_2_3 * PU_SF_BEMF_CONST), MTR_Q_BEMF_CONST)	Q15	誘起電 圧定数	進角制御計算用誘起 電圧係数	
MTR_VOLTAGE_MODE	0	-	-	電圧制御モード	
MTR_CURRENT_MODE	1	-	-	電流制御モード	

表 3-84 “r_mtr_120.h” マクロ定義一覧 [1/2]

マクロ	定義値	Qn	PU	内容	備考
MTR_TIMEOUT_CNT	(uint16_t)(1.0f/((float)MP_POLE_PAIR S*CP_MIN_SPEED RPM/60)*1000*2)	-	-	タイムアウトエラー判定値	
MTR_HALL2OL_REV_S PEED_RAD	FIX_fromfloat(CP_ HALL2OL_REV_S PEED RPM PU_SF_RPM_RAD , MTR_Q_AFREQ)	Q14	角周 波数	回転反転時の PI 制御から オープンループへの遷移速 度	【ホール センサ】
MTR_DRAW_IN_1ST_P ATTERN	1	-	-	引き込み第一パターン	
MTR_DRAW_IN_2ND_P ATTERN	2	-	-	引き込み第二パターン	
MTR_PATTERN_CW_V_ U	2	-	-	CW 時電圧パターン	
MTR_PATTERN_CW_W U	3	-	-		
MTR_PATTERN_CW_W V	1	-	-		
MTR_PATTERN_CW_U_ V	5	-	-		
MTR_PATTERN_CW_U_ W	4	-	-		
MTR_PATTERN_CW_V_ W	6	-	-		
MTR_PATTERN_CCW_ V_U	5 【ホールセンサ使 用モード】 3 【センサレスモー ド】	-	-		CCW 時電圧パターン
MTR_PATTERN_CCW_ V_W	1 【ホールセンサ使 用モード】 2 【センサレスモー ド】	-	-		
MTR_PATTERN_CCW_ U_W	3 【ホールセンサ使 用モード】 6 【センサレスモー ド】	-	-		
MTR_PATTERN_CCW_ U_V	2 【ホールセンサ使 用モード】 4 【センサレスモー ド】	-	-		
MTR_PATTERN_CCW_ W_V	6 【ホールセンサ使 用モード】 5 【センサレスモー ド】	-	-		
MTR_PATTERN_CCW_ W_U	4 【ホールセンサ使 用モード】 1 【センサレスモー ド】	-	-		
MTR_PATTERN_NUM	6	-	-	通電パターン数	
MTR_CMP3_IPD	0	-	-	初期位置検出	
MTR_CMP3_OC	1	-	-	過電流	
MTR_ERROR_NONE	0x0000	-	-	エラーなし	
MTR_ERROR_OVER_C URRENT_HW	0x0001	-	-	ハードウェア過電流エラー	
MTR_ERROR_OVER_V OLTAGE	0x0002	-	-	過電圧エラー	
MTR_ERROR_OVER_S PEED	0x0004	-	-	過速度エラー	
MTR_ERROR_HALL_TI MEOUT	0x0008	-	-	ホールタイムアウトエラー	
MTR_ERROR_BEMF_TI MEOUT	0x0010	-	-	誘起電圧タイムアウトエラー	

表 3-85 “r_mtr_120.h” マクロ定義一覧 [2/2]

マクロ	定義値	Qn	PU	内容	備考
MTR_ERROR_HALL_PATTERN	0x0020	-	-	ホールパターンエラー	
MTR_ERROR_BEMF_PATTERN	0x0040	-	-	誘起電圧パターンエラー	
MTR_ERROR_UNDER_VOLTAGE	0x0080	-	-	低電圧エラー	
MTR_ERROR_OVER_CURRENT_SW	0x0100	-	-	ソフトウェア過電流エラー	
MTR_ERROR_IPD_TRX_OVERFLOW	0x0200	-	-	初期位置検出時 TRX オーバーフローエラー	
MTR_ERROR_UNKNOWN	0xffff	-	-	未定義エラー	
MTR_DRAW_IN_NONE	0	-	-	回転子引き込み非動作	
MTR_DRAW_IN_1ST	1	-	-	回転子引き込み 1 回目	
MTR_DRAW_IN_2ND	2	-	-	回転子引き込み 2 回目	
MTR_DRAW_IN_FINISH	3	-	-	回転子引き込み終了	
MTR_SPEED_ZERO_CONST	0	-	-	指令速度 0 モード	
MTR_SPEED_MANUAL	1	-	-	指令速度マニュアル入力モード	
MTR_V_ZERO_CONST	0	-	-	指令電圧 0 モード	【電圧制御モード】
MTR_V_MANUAL	1	-	-	指令電圧マニュアル入力モード	
MTR_V_PI_OUTPUT	2	-	-	指令電圧 PI 出力モード	
MTR_IDC_ZERO_CONST	0	-	-	指令電流 0 モード	【電流制御モード】
MTR_IDC_MANUAL	1	-	-	指令電流マニュアル入力モード	
MTR_IDC_SPEED_PI_OUTPUT	2	-	-	速度制御 PI 出力モード	
MTR_CURRENT_OFFSET_NONE	0	-	-	DC リンク電流オフセット測定デフォルト状態	
MTR_CURRENT_OFFSET_MEASURE	1	-	-	DC リンク電流オフセット測定中	
MTR_CURRENT_OFFSET_FINISH	2	-	-	DC リンク電流オフセット測定完了	
MTR_IPD	0	-	-	始動	
MTR_OPENLOOP	1	-	-	オープンループ	
MTR_SPEED_CONTROL	2	-	-	速度制御	
MTR_STOP	0	-	-	モータ停止	
MTR_LOW_SPEED	1	-	-	モータ低速回転	
MTR_MIDDLE_SPEED	2	-	-	モータ中速回転	
MTR_HIGH_SPEED	3	-	-	モータ高速回転	
MTR_OFFSET_CALC_EXE	0	-	-	オフセット除去中	
MTE_OFFSET_CALC_END	1	-	-	オフセット除去完了	
MTR_IPD_EXE	2	-	-	IPD 処理実行	
MTR_IPD_END	3	-	-	IPD 処理完了	
MTR_DRIVE_OL	4	-	-	オープンループ駆動	
MTR_DRIVE_ASR_CL	5	-	-	速度 PI 制御駆動	
MTR_DRIVE_BRAKE	6	-	-	ブレーキ処理	
MTR_DRIVE_END	7	-	-	駆動停止	

表 3-86 “r_mtr_ipd.h” マクロ定義一覧[1/2]

マクロ	定義値	Qn	Pu	内容	備考
MTR_REF_CURRENT_BASE	(float)IP_DC_AMPLIFICATION_GAIN * IP_DC_SHUNT_RESISTANCE * 1024 / 5	-	-	CMP3 閾値電流設定スケールファクタ	【初期位置検出】
MTR_IPD_NOISE_AVOID_CNT	CP_IPD_NOISE_AVOID_CNT	-	-	ノイズ回避回数	
MTR_SAL_ANGLE_MAX_CNT	20	-	-	突極性モータの角度検出の最大測定回数	
MTR_SAL_ANGLE_PERCENTAGE	30	-	-	突極性モータの角度検出の閾値カウント割合	
MTR_SAL_POLARITY_MAX_CNT	20	-	-	突極性モータの極性検出の最大測定回数	
MTR_SAL_POLARITY_PERCENTAGE	30	-	-	突極性モータの極性検出の閾値カウント割合	
MTR_NON_SAL_MAX_CNT	20	-	-	非突極性モータの角度検出の最大測定回数	
MTR_NON_SAL_PERCENTAGE	30	-	-	非突極性モータの角度検出の閾値カウント割合	
MTR_PERCENTAGE	100	-	-	百分率計算	
MTR_ENERGIZED_2_PHASES	0	-	-	2 相通電	
MTR_ENERGIZED_3_PHASES	1	-	-	3 相通電	
MTR_REVERSE_DIRECTION	3	-	-	極性反転	
MTR_PRE_JUDGE	0	-	-	極性未判定	
MTR_SALIENT	1	-	-	突極性あり	
MTR_NON_SALIENT	2	-	-	突極性なし	
MTR_ENERGIZE_U2V	0	-	-	2 相通電時の電圧パターン	
MTR_ENERGIZE_V2W	1	-	-		
MTR_ENERGIZE_W2U	2	-	-		
MTR_ENERGIZE_V2U	3	-	-		
MTR_ENERGIZE_W2V	4	-	-		
MTR_ENERGIZE_U2W	5	-	-		
MTR_ENERGIZE_U2VW	0	-	-	3 相通電時の電圧パターン	
MTR_ENERGIZE_V2WU	1	-	-		
MTR_ENERGIZE_W2UV	2	-	-		
MTR_ENERGIZE_VW2U	3	-	-		
MTR_ENERGIZE_WU2V	4	-	-		
MTR_ENERGIZE_UV2W	5	-	-		
MTR_MAX_PHASE	0	-	-	最大カウント相	
MTR_MN_PHASE	1	-	-	最小カウント相	
MTR_POLARITY_NONE	0	-	-	極性デフォルト値	
MTR_POLARITY_POSITIVE	1	-	-	極性正方向	
MTR_POLARITY_NEGATIVE	2	-	-	極性負方向	
MTR_IPD_NONE	0	-	-	デフォルト状態	
MTR_IPD_SAL_ANGLE	1	-	-	突極性モータの角度検出	
MTR_IPD_SAL_POLARITY	2	-	-	突極性モータの極性検出	
MTR_IPD_NON_SAL	3	-	-	非突極性時の角度検出	
MTR_IPD_FINISH	4	-	-	初期位置検出終了	
MTR_IPD_UNDETECTED	5	-	-	初期位置検出未検出	
MTR_IPD_ERROR	6	-	-	初期位置検出エラー	

表 3-87 “r_mtr_ipd.h” マクロ定義一覧[2/2]

マクロ	定義値	Qn	Pu	内容	備考
MTR_OL_V_PATTERN_1	1	-	-	オープンループ時の電圧パターン番号	
MTR_OL_V_PATTERN_2	2	-	-		
MTR_OL_V_PATTERN_3	3	-	-		
MTR_OL_V_PATTERN_4	4	-	-		
MTR_OL_V_PATTERN_5	5	-	-		
MTR_OL_V_PATTERN_6	6	-	-		
MTR_TRX_CNT	TRX	-	-	TRX カウントレジスタ	

表 3-88 “Config_TAU0_1.h” マクロ定義一覧

マクロ	定義値	Qn	Pu	内容	備考
MTR_TAU1_CNT	TCR01	-	-	TAU01 タイマカウン トレジスタ	

表 3-89 “Config_INTC.h” マクロ定義一覧

マクロ	定義値	Qn	Pu	内容	備考
MTR_PORT_HALL_U	P5_bit.no2	-	-	ホールセンサ U 相入 力ポート	【ホールセンサ使用 モード】
MTR_PORT_HALL_V	P5_bit.no3	-	-	ホールセンサ V 相入 力ポート	
MTR_PORT_HALL_W	P5_bit.no4	-	-	ホールセンサ W 相入 力ポート	

表 3-90 “Config_PORT.h” マクロ定義一覧

マクロ	定義値	Qn	Pu	内容	備考
R_MTR_PORT_LED1	P4_bit.no2	-	-	LED1 出力ポート	
R_MTR_PORT_LED2	P4_bit.no3	-	-	LED2 出力ポート	

表 3-91 “Config_TRD0_TRD1.h” マクロ定義一覧

マクロ	定義値	Qn	Pu	内容	備考
R_MTR_PORT_UP	P7_bit.no0	-	-	U 相 (正相) 電圧出 力ポート	
R_MTR_PORT_UN	P7_bit.no1	-	-	U 相 (逆相) 電圧出 力ポート	
R_MTR_PORT_VP	P7_bit.no2	-	-	V 相 (正相) 電圧出 力ポート	
R_MTR_PORT_VN	P7_bit.no3	-	-	V 相 (逆相) 電圧出 力ポート	
R_MTR_PORT_WP	P7_bit.no4	-	-	W 相 (正相) 電圧出 力ポート	
R_MTR_PORT_WN	P7_bit.no5	-	-	W 相 (逆相) 電圧出 力ポート	
MTR_TRD_OUTPUT_E NABLE	TRDOER1	-	-	TRD 出力許可レジス タ	

表 3-92 “Config_ADC.h” マクロ定義一覧

マクロ	定義値	Qn	Pu	内容	備考
MTR_ADCCH_VDC	6	-	-	母線電圧の A/D コンバータチャンネル	
MTR_ADCCH_VU	19	-	-	U 相電圧の A/D コンバータチャンネル	
MTR_ADCCH_VV	29	-	-	V 相電圧の A/D コンバータチャンネル	
MTR_ADCCH_VW	30	-	-	W 相電圧の A/D コンバータチャンネル	
MTR_ADCCH_IDC	18	-	-	DC リンク電流の A/D コンバータチャンネル	
MTR_ADCCH_IU	2	-	-	U 相電流の A/D コンバータチャンネル	
MTR_ADCCH_IV	3	-	-	V 相電流の A/D コンバータチャンネル	
MTR_ADCCH_IW	4	-	-	W 相電流の A/D コンバータチャンネル	
MTR_AD_TRG_IDC	0	-	-	DC リンク電流	
MTR_AD_TRG_VDC	1	-	-	母線電圧	

3.5 制御フロー（フローチャート）

3.5.1 メイン処理

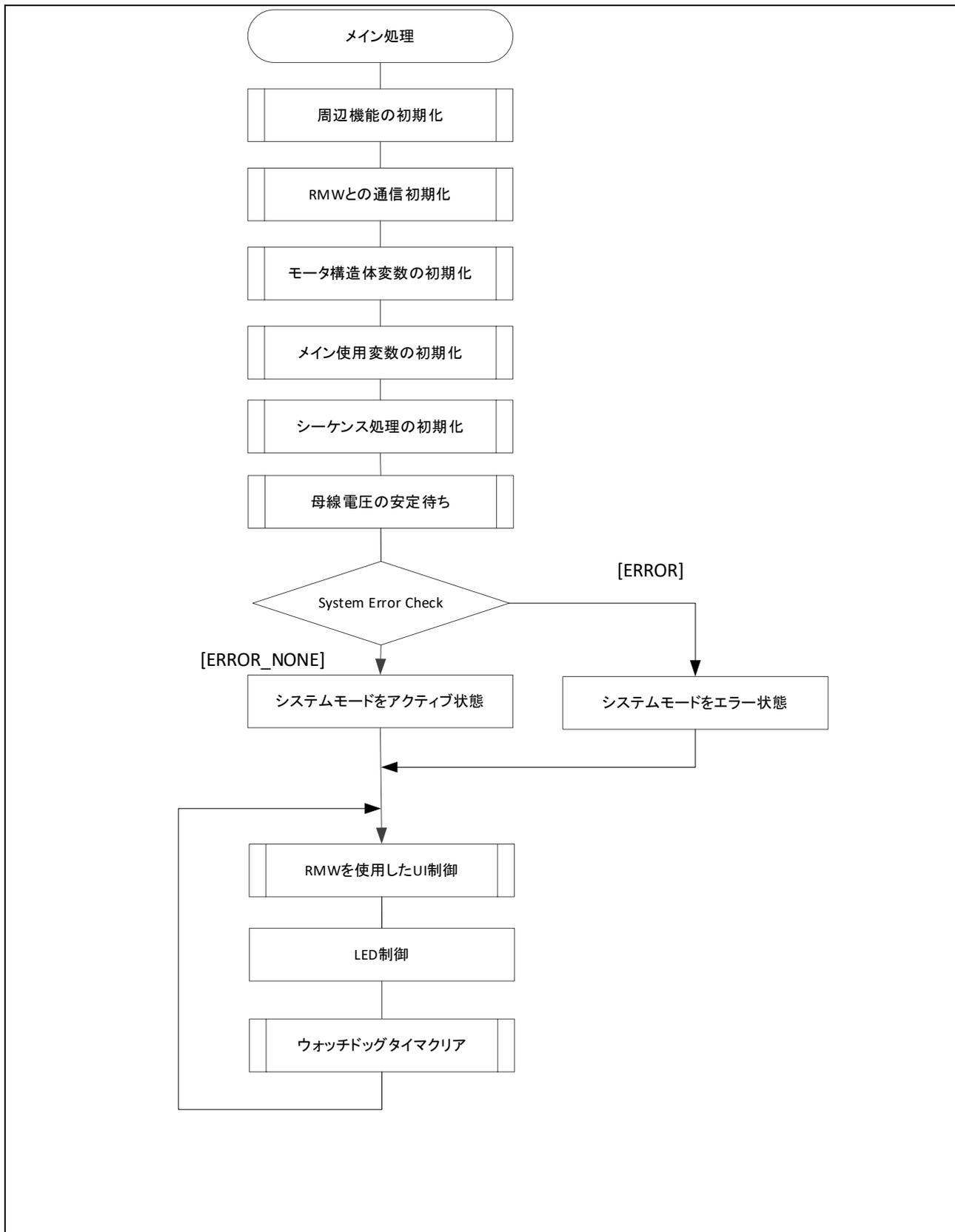


図 3-32 メイン処理フローチャート

3.5.2 キャリア周期割り込み処理（センサレスモード）

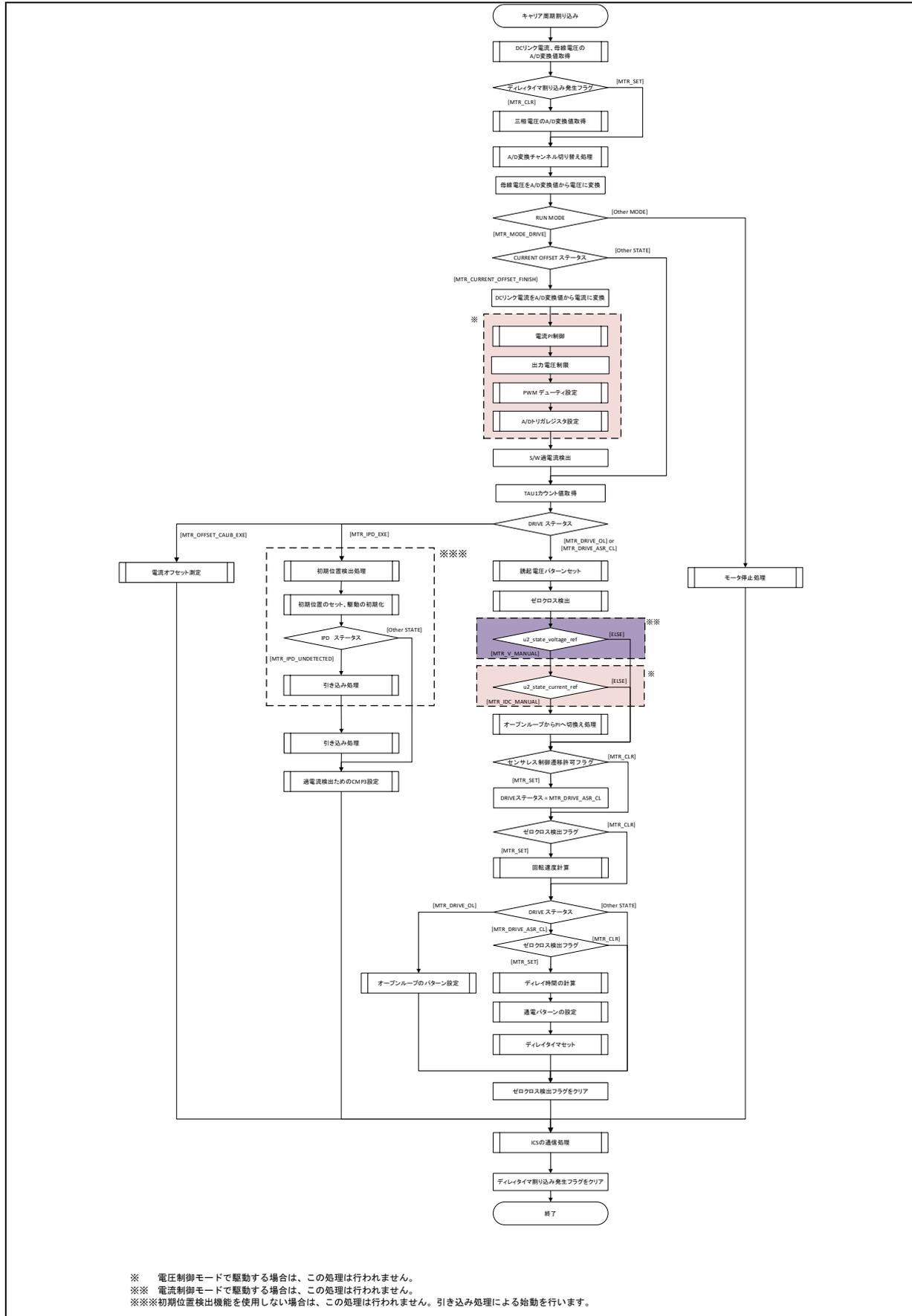


図 3-33 キャリア周期割り込み処理フローチャート

3.5.3 1 [ms]割り込み処理 (センサレスモード)

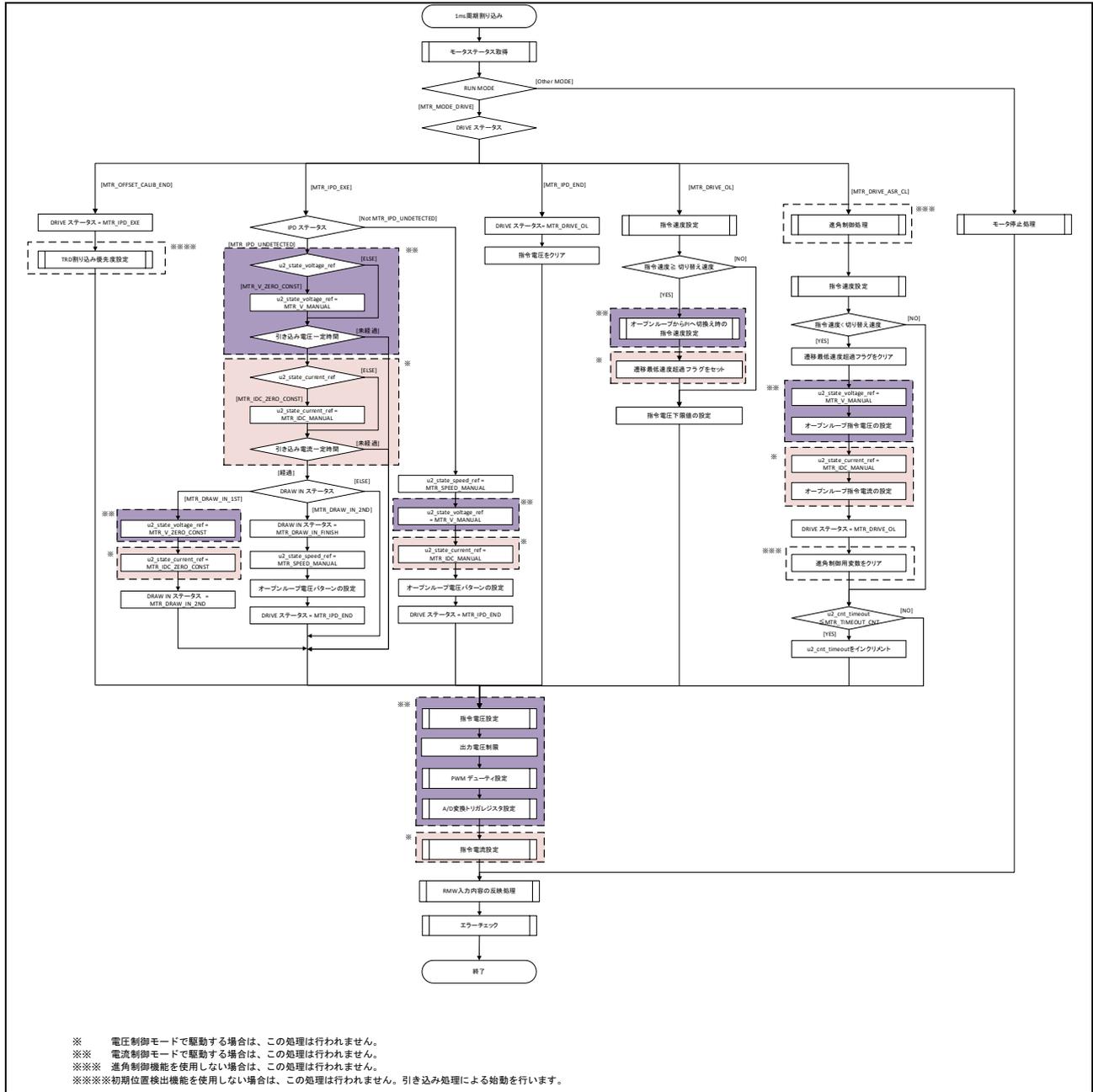


図 3-34 1 [ms]割り込み処理フローチャート

3.5.4 コンパレータ 3 割り込み処理

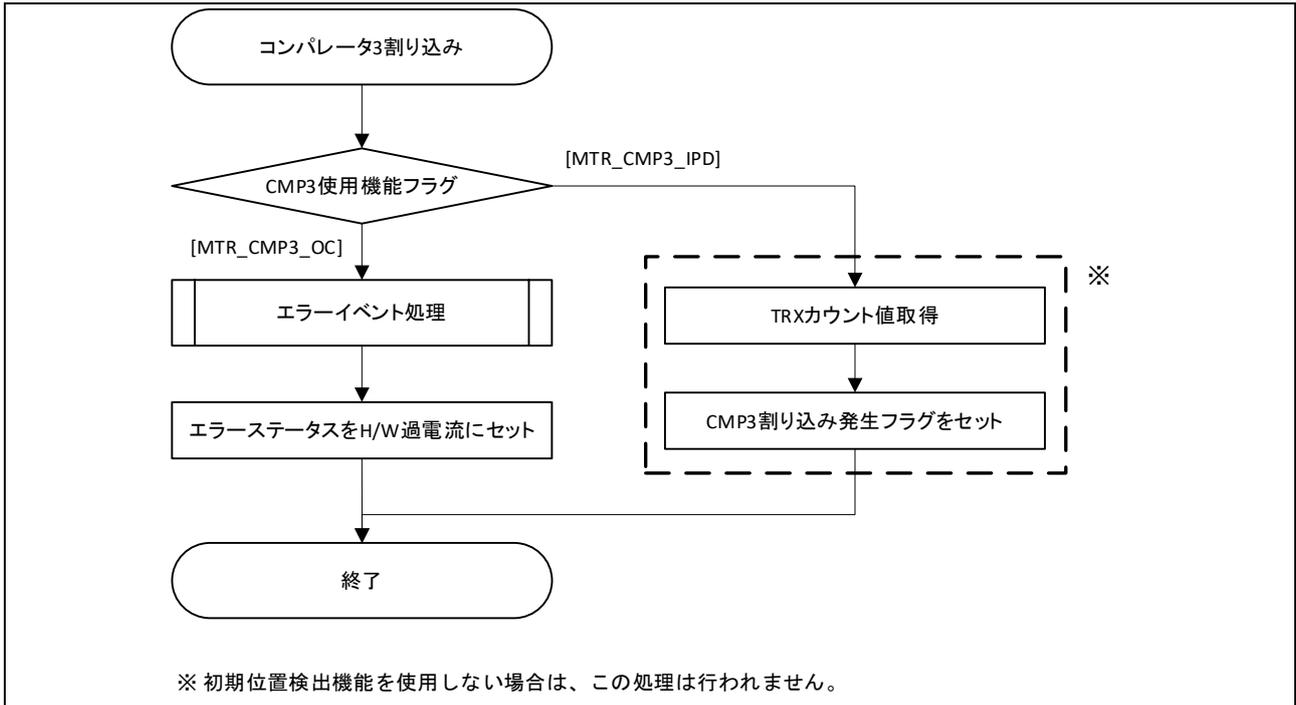


図 3-35 コンパレータ 3 割り込み処理フローチャート

3.5.5 デイレイタイマ割り込み処理

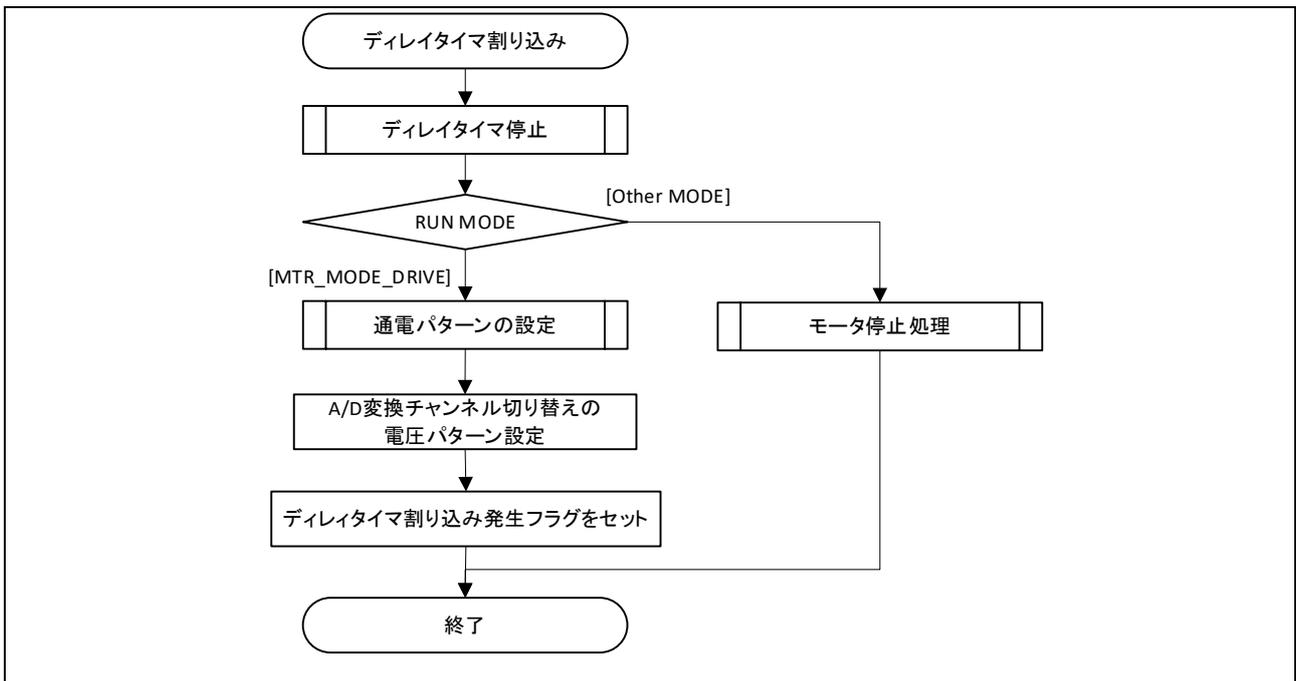


図 3-36 デイレイタイマ割り込み処理フローチャート

3.5.6 キャリア周期割り込み処理（ホールセンサ使用モード）

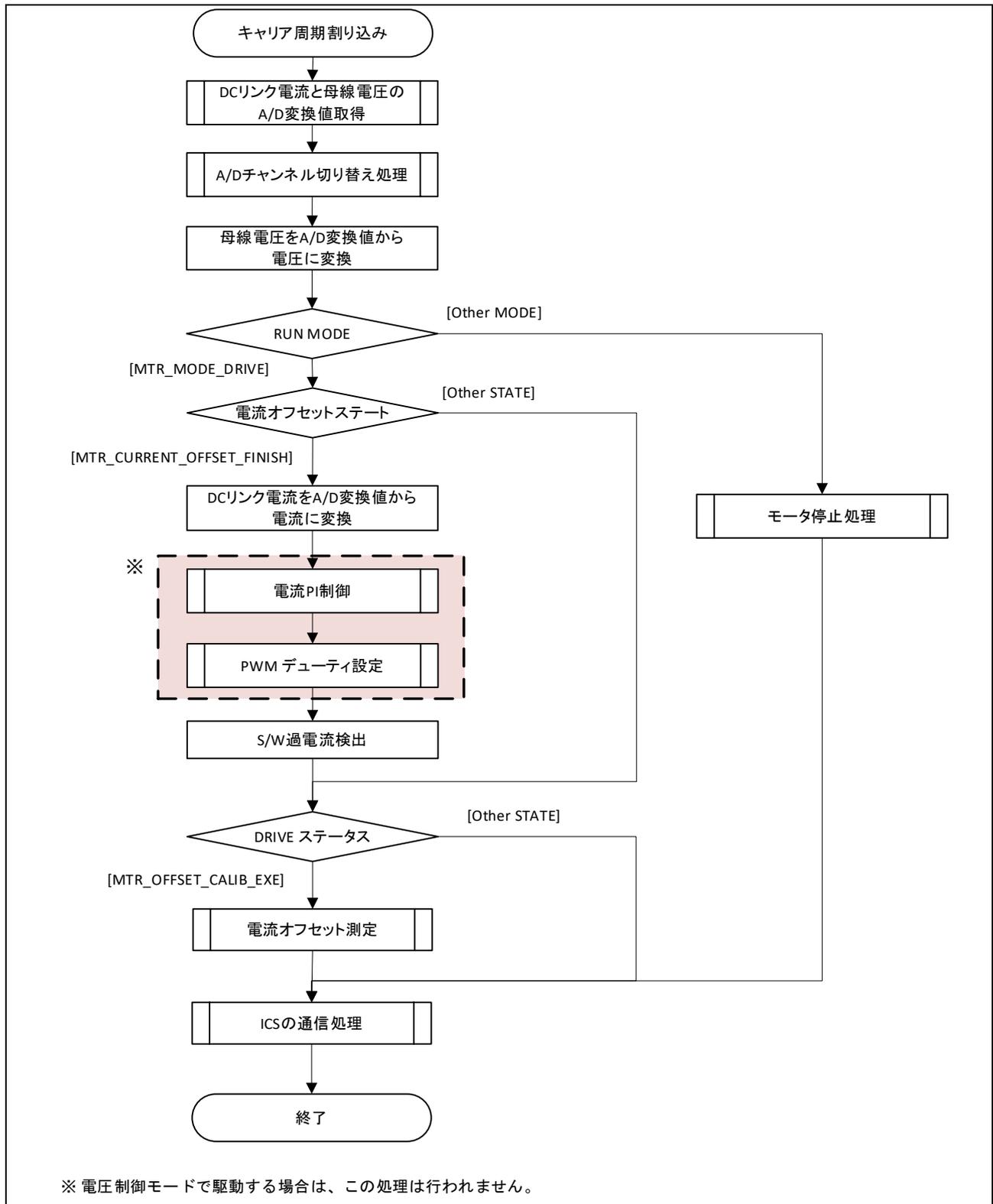


図 3-37 キャリア周期割り込み処理フローチャート（ホールセンサ使用モード）

3.5.7 1 [ms]割り込み処理（ホールセンサ使用モード）

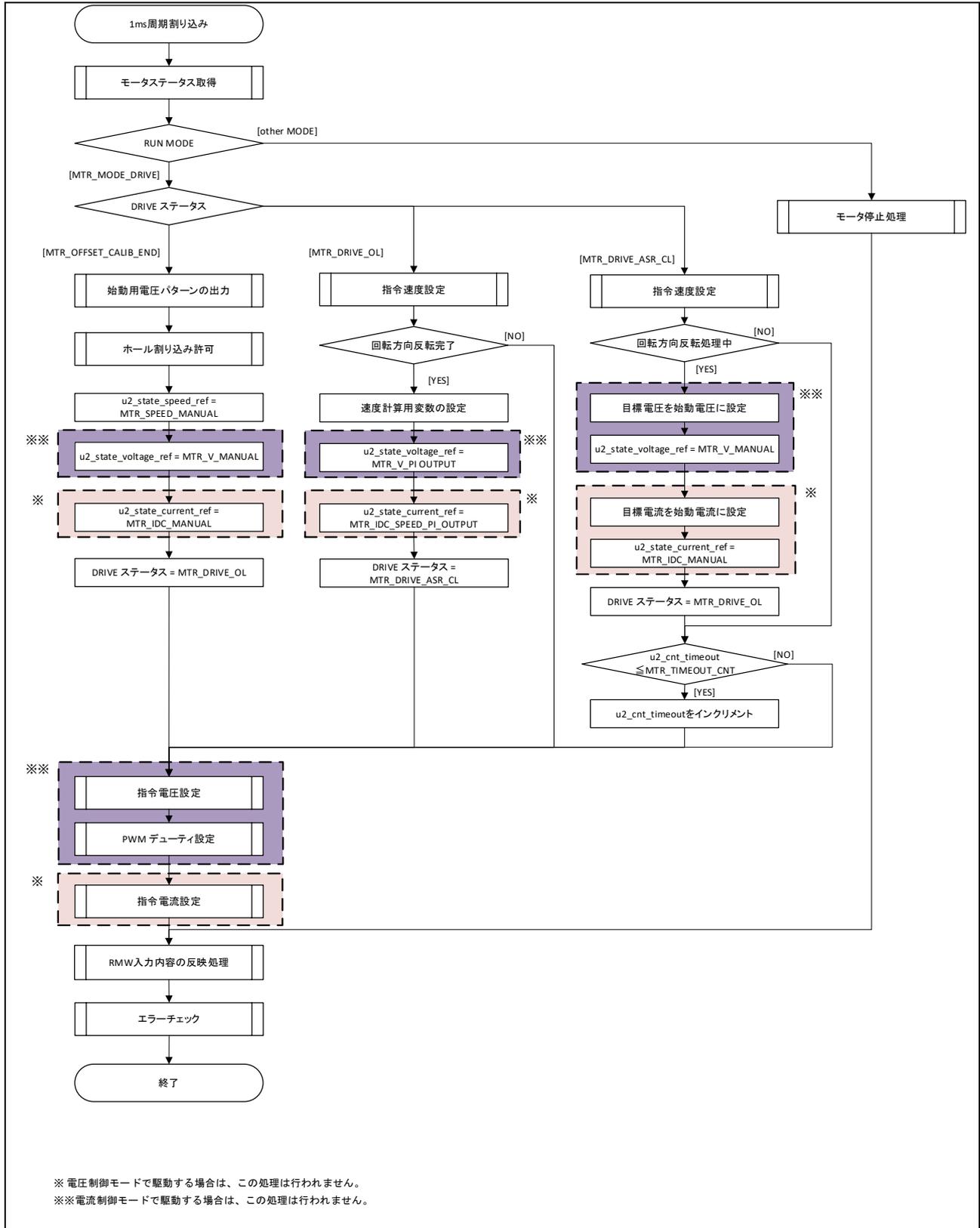


図 3-38 1 [ms]周期割り込み処理フローチャート（ホールセンサ使用モード）

3.5.8 ホールセンサ割り込み処理

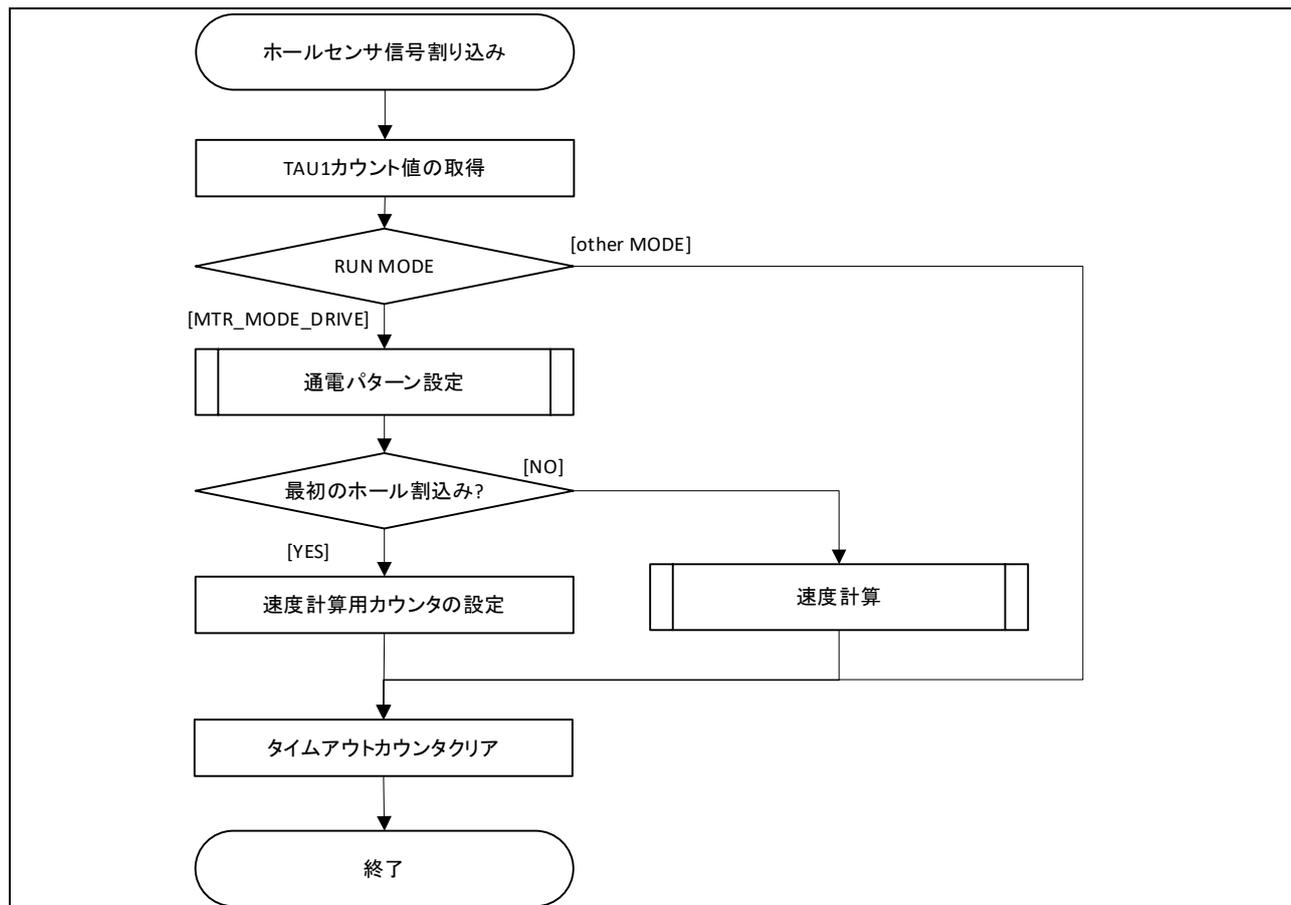


図 3-39 ホールセンサ割り込み処理

4. モータ制御開発支援ツール「Renesas Motor Workbench」の利用方法

4.1 概要

本アプリケーションノート対象サンプルプログラムでは、モータ制御開発支援ツール「Renesas Motor Workbench」をユーザインタフェース(回転/停止指令、回転速度指令等)として使用します。使用方法などの詳細は「Renesas Motor Workbench V 2.0 ユーザーズマニュアル」を参照してください。モータ制御開発支援ツール「Renesas Motor Workbench」は弊社 WEB サイトより入手してください。

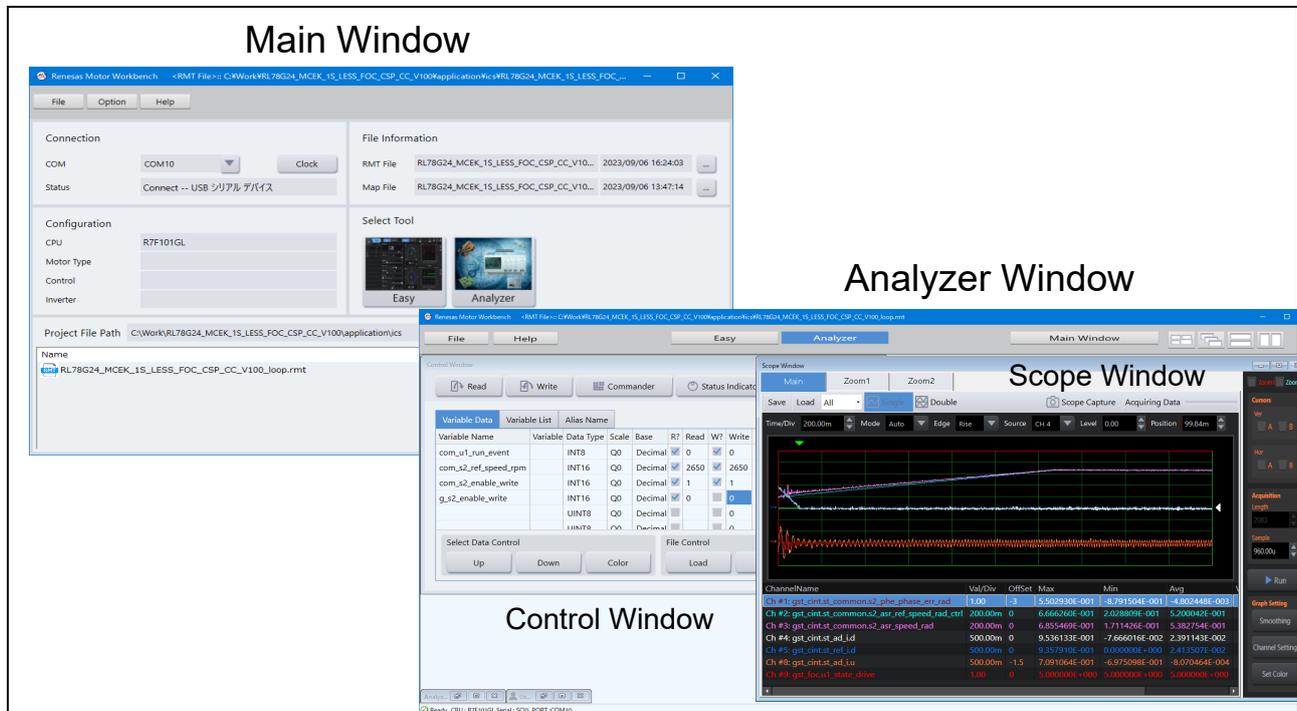
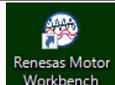


図 4-1 Renesas Motor Workbench 外観

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



- ① ツールアイコン  をクリックしツールを起動する。
- ② Main Window の MENU バーから、[File] → [Open RMT File(O)]を選択。
” [プロジェクトフォルダ]/application/ics/”フォルダ内にある RMT ファイルを読み込む。
- ③ ”Connection”の COM で接続されたキットの COM を選択する。
- ④ 右側の Select Tool の Analyzer ボタンをクリックし、Analyzer 機能を起動する。
(起動すると Analyzer Window 画面に切り替わります。)
- ⑤ ”4.3 Analyzer 操作例”を元にモータを駆動させる。

4.2 Analyzer 機能用変数一覧

Analyzer ユーザインタフェース使用時の入力用変数一覧を表 4-1 に示します。なお、これらの変数の値は com_s2_enable_write に g_s2_enable_write と同じ値を書き込んだ際に反映されます。ただし、(*)が付けられた変数は com_s2_enable_write に依存しません。

表 4-1 Analyzer 機能入力用変数一覧 [1/2]

変数名	型	内容	備考 ([]: 反映先の変数名)
com_u1_run_event(*)	uint8_t	ランモード遷移用変数 0: ストップイベント 1: ドライブイベント 2: エラーイベント 3: リセットイベント	【g_u1_run_event】
com_u1_direction	int8_t	回転方向 0 : CW 1 : CCW	【g_st_120.s1_ref_dir】
com_u2_mtr_pp	uint16_t	極対数	【g_st_120.st_mtr.u2_mtr_pp】
com_f4_mtr_r	float	抵抗 [Ω]	【g_st_120.st_mtr.s2_mtr_r】
com_f4_mtr_ld	float	d 軸インダクタンス[H/rad]	【g_st_120.st_mtr.s2_mtr_ld】
com_f4_mtr_lq	float	q 軸インダクタンス[H/rad]	【g_st_120.st_mtr.s2_mtr_lq】
com_f4_mtr_m	float	誘起電圧係数[V・s/rad]	【g_st_120.st_mtr.s2_mtr_m】
com_f4_mtr_j	float	イナーシャ[kg ^m ^2/(rad s ²)]	【g_st_120.st_mtr.s2_mtr_j】
com_f4_limit_v_ref	float	電圧下限指令値[V]	【g_st_120.s2_limit_v_ref】
com_s2_ramp_limit_speed_rpm	int16_t	加速度制限値 [rpm/ms]	【g_st_120.s2_ramp_limit_speed_rad】
com_s2_ref_speed_rpm	int16_t	目標速度 [rpm]	【g_st_120.s2_ref_speed_rad】
com_u2_offset_calc_cnt	uint16_t	電流オフセット検出時間	【g_st_120.u2_offset_calc_cnt】
com_f4_ramp_limit_v	float	電圧変化幅制限値[V/ms]	【g_st_120.s2_ramp_limit_v】
com_f4_asr_omega_hz	float	PI ゲイン設計周波数 [Hz]	【g_st_120.st_asr.s2_kp】
com_f4_asr_zeta	float	PI ゲイン設計ダンピング ファクタ	【g_st_120.st_asr.s2_kidt】
com_f4_ramp_limit_current	float	電流変化幅制限値[A/ms]	【g_st_120.st_acr.s2_ramp_limit_current】
com_f4_mtr_d0	float	静止摩擦係数 [kg・m ² /(rad・s ²)]	【g_st_120.st_asr.s2_d0_div_pm】
com_f4_mtr_d1	float	動摩擦係数 [kg・m ² /(rad ² ・s)]	【g_st_120.st_asr.s2_d1_div_p2m】
com_f4_acr_nf_hz	float	電流 PI 制御固有周波数 [Hz]	【g_st_120.st_acr.st_pi.s2_kp】 【g_st_120.st_acr.st_pi.s2_kidt】
com_f4_asr_nf_hz	float	速度 PI 固有周波数 [Hz]	【g_st_120.st_asr.st_pi.s2_kp】 【g_st_120.st_asr.st_pi.s2_kidt】
com_f4_asr_ki_aug	float	速度 PI 制御積分器増幅率	【g_st_120.st_asr.st_pi.s2_kp】 【g_st_120.st_asr.st_pi.s2_kidt】
com_f4_acr_deadband	float	電流 PI のデッドバンド [LSB]	【g_st_120.st_acr.st_pi.s2_deadband】
com_f4_asr_deadband	float	速度 PI のデッドバンド [LSB]	【g_st_120.st_asr.s2_deadband】 [電圧制御 モード] 【g_st_120.st_asr.st_pi.s2_deadband】 [電 流制御モード]
com_f4_start_ref_v	float	始動電圧 [V]	【g_st_120.st_hall.s2_start_ref_v】
com_f4_start_ref_idc	float	始動電流 [A]	【g_st_120.st_hall.s2_start_ref_idc】
com_f4_draw_in_ref_v	float	引き込み指令電圧[V]	【g_st_120.st_less.s2_draw_in_ref_v】

表 4-2 Analyzer 機能入力用変数一覧 [2/2]

変数名	型	内容	備考 ([]: 反映先の変数名)
com_f4_ol_ref_v	float	オープンループ指令電圧[V]	【g_st_120.st_less.s2_ol_ref_v】
com_f4_draw_in_ref_idc	float	引き込み指令電圧[A]	【g_st_120.st_less.s2_draw_in_ref_idc】
com_f4_ol_ref_idc	float	オープンループ指令電圧[A]	【g_st_120.st_less.s2_ol_ref_idc】
com_s2_ol2cl_speed_rpm	int16_t	センサレス制御遷移最低速度 [rpm]	【g_st_120.st_less.st_ol2cl.s2_change_speed_rad】
com_s2_ol2cl_ramp_speed_rpm	int16_t	センサレス制御遷移時加速度	【g_st_120.st_less.st_ol2cl.s2_ramp_speed_rad】
com_s2_angle_shift_adjust	int16_t	ディレイタイマカウント調整値	【g_st_120.st_less.s2_angle_shift_adjust】
com_s2_ad_trg_adjust_up_cnt	int16_t	A/D 変換トリガカウント調整値 (無通電相上り時)	【g_st_120.st_less.s2_ad_trg_adjust_up_cnt】
com_s2_ad_trg_adjust_down_cnt	int16_t	A/D 変換トリガカウント調整値 (無通電相下り時)	【g_st_120.st_less.s2_ad_trg_adjust_down_cnt】
com_s2_ad_trg_diff_cnt	int16_t	前回と今回の AD トリガカウント設定値の差	【g_st_120.st_less.s2_ad_trg_diff_cnt】
com_f4_sal_angle_current	float	突極性モータの角度検出における閾値電流[A]	【g_st_120.st_ipd.u2_sal_angle_current】
com_u4_sal_angle_th	uint32_t	突極性モータの角度検出の TRX カウント値差分閾値	【g_st_120.st_ipd.u4_sal_angle_th】
com_u2_sal_angle_discharge	uint8_t	突極性モータの角度検出の放電時間	【g_st_120.st_ipd.u2_sal_angle_discharge】
com_f4_sal_polarity_current	float	突極性モータの極性検出における閾値電流[A]	【g_st_120.st_ipd.u2_sal_polarity_current】
com_u4_sal_polarity_th	uint32_t	突極性モータの極性検出の TRX カウント値差分閾値	【g_st_120.st_ipd.u4_sal_polarity_th】
com_u2_sal_polarity_discharge	uint8_t	突極性モータの極性検出の放電時間	【g_st_120.st_ipd.u2_sal_polarity_discharge】
com_f4_non_sal_current	float	非突極性モータの角度検出における閾値電流[A]	【g_st_120.st_ipd.u2_non_sal_current】
com_u4_non_sal_th	uint32_t	非突極性の回転子の角度検出における TRX カウント値差分閾値	【g_st_120.st_ipd.u4_non_sal_th】
com_u2_non_sal_discharge	uint8_t	非突極性モータの極性検出の方時間	【g_st_120.st_ipd.u2_non_sal_discharge】
com_s2_aa_speed_err_th_rpm	uint16_t	進角制御の速度偏差しきい値 [rpm]	【g_st_120.st_aa.s2_speed_err_th_rad】
com_f4_aa_pi_nf_hz	float	進角制御 PI コントローラ固有周波数 [Hz]	【g_st_120.st_aa.st_pi.s2_kp】 【g_st_120.st_aa.st_pi.s2_kidt】
com_f4_aa_speed_err_lpf_cof_hz	float	速度偏差 LPF カットオフ周波数 [Hz]	【g_st_120.st_aa.s2_speed_err_rad_lpf】
com_f4_aa_ramp_limit_v	float	電圧変化幅 [V/ms]	【g_st_120.st_aa.s2_ramp_limit_voltage】
com_f4_aa_ramp_limit_angle	float	進み角変化幅 [rad/ms]	【g_st_120.st_aa.s2_ramp_limit_angle】
com_f4_aa_vlim	float	電圧リミット [V]	【g_st_120.st_aa.s2_vlim】
com_s2_enable_write	int16_t	変数書き換え許可	【g_s2_enable_write】

4.3 Analyzer 操作例

Analyzer 機能を使用し、モータを操作する例を以下に示します。「Renesas Motor Workbench」で示す「Control Window」で行います。「Control Window」の詳細は、「Renesas Motor Workbench V 3.1.2 ユーザーズマニュアル」を参照して下さい。

- モータを回転させる
 - ① “com_u1_run_event”, “com_s2_ref_speed_rpm”, “com_s2_enable_write” の [W?] 欄に“チェック”が入っていることを確認する。
 - ② 指令回転速度を“com_u2_ref_speed_rpm”の [Write] 欄に入力する。
 - ③ “Write”ボタンを押す。
 - ④ “Read”ボタンを押して現在の“com_s2_ref_speed_rpm”, “g_s2_enable_write”の [Read] 欄を確認する。
 - ⑤ MCU 内の変数値へ反映させるため、“com_s2_enable_write”に④で確認した“g_s2_enable_write”と同じ値を入力する。
 - ⑥ “com_u1_run_event”の [Write] 欄に“1”を入力する。
 - ⑦ “Write”ボタンを押す。

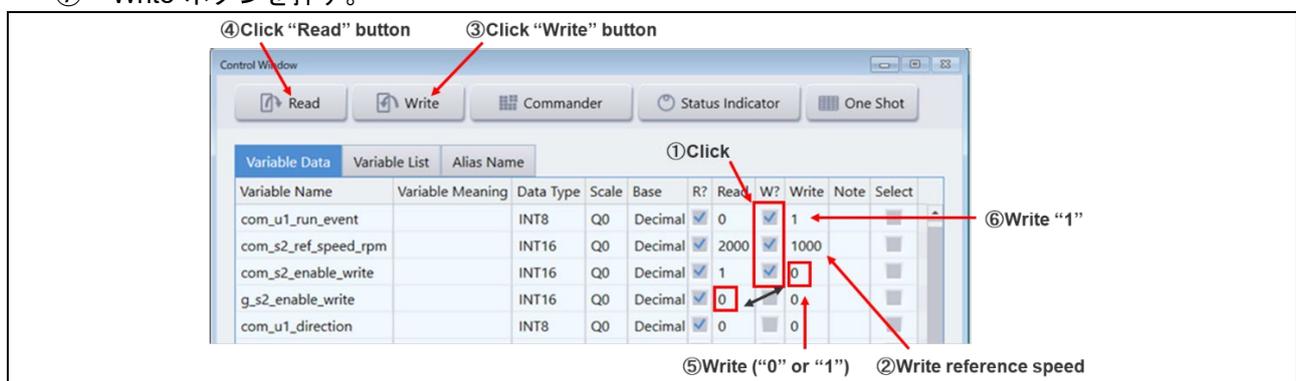


図 4-2 モータ回転の手順

- モータを停止させる
 - ① “com_u1_run_event”の [Write] 欄に“0”を入力する。
 - ② “Write”ボタンを押す。



図 4-3 モータ停止の手順

- 止まってしまった（エラー）場合の処理
 - ① “com_u1_run_event”の [Write] 欄に“3”を入力する。
 - ② “Write”ボタンを押す。



図 4-4 エラー解除の手順

4.4 制御モードの切り替え方法

本サンプルソフトウェアでは、4 つの制御モードを切り替えて使用できます。“r_mtr_config.h”ファイル内の“MTRCONF_MODE”の定義値を変更することで、以下の4つの制御モードを切り替えられます。

表 4-3 制御モードの定義値

マクロ	内容	備考
SENSORLESS_CURRENT	センサレス・電流制御モード	デフォルト設定値
SENSORLESS_VOLTAGE	センサレス・電圧制御モード	
HALL_CURRENT	ホールセンサ使用・電流制御モード	
HALL_VOLTAGE	ホールセンサ使用・電圧制御モード	

IDE 上で定義値を変更後再コンパイルして書き込むことで指定した制御モードで駆動させることができます。

改訂記録

Rev.	発行日	改訂内容	
		ページ	ポイント
1.00	2024/09/09	—	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ないでください。入力信号や入出力プルアップ電源からの電流注入により、誤動作を引き起こしたり、異常電流が流れ内部素子を劣化させたりする場合があります。資料中に「電源オフ時における入力信号」についての記載のある製品は、その内容を守ってください。

4. 未使用端子の処理

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

5. クロックについて

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

6. 入力端子の印加波形

入力ノイズや反射波による波形歪みは誤動作の原因になりますので注意してください。CMOS 製品の入力がノイズなどに起因して、 V_{IL} (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くと、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

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/

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。