RA2T1 永久磁石同期モータの 120 度通電制御

Renesas Flexible Motor Control シリーズ用

要旨

本アプリケーションノートは RA2T1 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。

- RA2T1(R7FA2T1074CFL)

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。

- RA2T1_MCILV1_PM_120_E2S_V101 (IDE: e^2 studio)

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) (R01AN2657)
- RA2T1 グループ ユーザーズマニュアル ハードウェア編(R01UH1089)
- Renesas Motor Workbench ユーザーズマニュアル (R21UZ0004)
- RA2T1 Group MCK-RA2T1 ユーザーズマニュアル (R12UZ0152)
- RA2T1 Group MCB-RA2T1 ユーザーズマニュアル (R12UZ0145)
- MCI-LV-1 ユーザーズマニュアル (R12UZ0092)
- MC-COM ユーザーズマニュアル (R12UZ0093)

目次

1. 概説 3

2. システム概要 4

3. 制御プログラム説明 16

4. モータ制御開発支援ツール「Renesas Motor Workbench」の利用方法 76

1. 概説

本アプリケーションノートでは、RA2T1 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
RA2T1 (R7FA2T1074CFL)	RA2T1 CPU ボード(RTK0EMA810C00000BJ)注 1 インバータボード(RTK0EM0000B12020BJ) 注 1 通信ボード(RTK0EMXC90Z00000BJ)注 1	MOONS 製 R42BLD30L3

表 1-2 サンプルプログラムの開発環境(S/W)

e²studio バージョン	ツールチェイン	FSP	デバッグ・ツール
2026-04.2	gcc 13.2.1.arm-13-7	V6.5.0	Renesas Motor Workbench 3.3.1

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. RA2T1 CPU ボード(RTK0EMA810C00000BJ)、並びにインバータボード(RTK0EM0000B12020BJ)、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. 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

MCK-RA2T1 は CPU ボード、インバータボード、通信ボードで構成されています。
キットとしてのスペックおよびそれぞれのボードのスペックに関しては、以下のドキュメントを参照してください。

- MCK-RA2T1

  RA2T1 Group MCK-RA2T1 ユーザーズマニュアル (R12UZ0152)
- CPU ボード

  RA2T1 Group MCB-RA2T1 ユーザーズマニュアル (R12UZ0145)
- インバータボード

  MCI-LV-1 ユーザーズマニュアル (R12UZ0092)
- 通信ボード

  MC-COM ユーザーズマニュアル (R12UZ0093)

2.2　ハードウェア構成

ハードウェア構成を図 2-1 に示します。

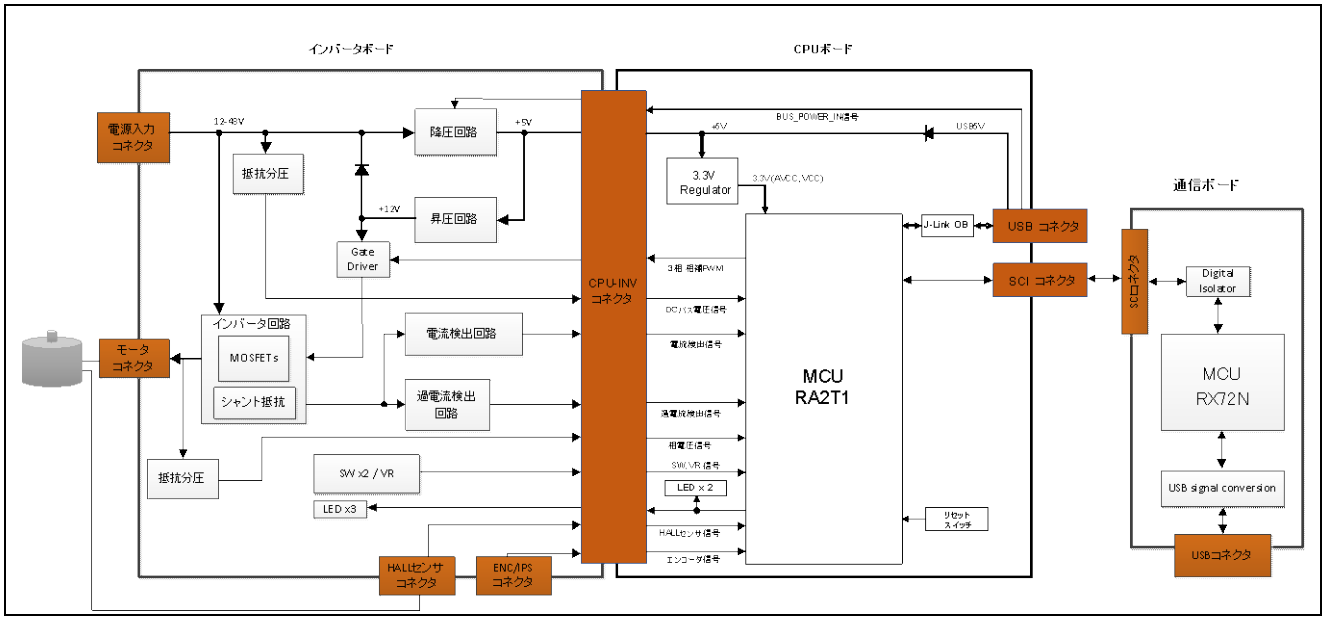


図 2-1 ハードウェア構成図

2.3　ハードウェア設定

サンプルソフトウェアを使用するためには、ハードウェアの設定が必要になります。以下にその設定内容を示します。設定内容は MCK-RA2T1 の初期設定と同じです。

(1)　インバータボード

ジャンパーピン(JP1~JP15)の設定と機能について表 2-1 に示します。

表 2-1 インバータボードのジャンパーピン設定

ジャンパーピン	設定	機能
JP1	2-3pin ショート	1-2pin ショート：5V レギュレータ無効 2-3pin ショート：5V レギュレータ有効
JP2, JP3, JP4, JP6, JP12, JP13	2-3pin ショート	1-2pin ショート：電流検出アンプ無効 2-3pin ショート：電流検出アンプ有効
JP5, JP7, JP9, JP10, JP14, JP15	1-2pin ショート	1-2pin ショート：電流検出アンプゲイン 20 倍 1-2pin オープン：電流検出アンプゲイン 10 倍
JP8, JP11	2-3pin ショート	1-2pin ショート：2-/3-シャント電流検出 2-3pin ショート：1-シャント電流検出

(2)　CPU ボード

ジャンパーピン(JP3)の設定と機能について表 2-2 に示します。

表 2-2 CPU ボードのジャンパーピン設定

ジャンパーピン	設定	機能
JP3	1-2pin オープン	1-2pin ショート：オンボードデバッガ無効 1-2pin オープン：オンボードデバッガ有効

(3)　通信ボード

ジャンパーピン(JP1~JP3)の設定と機能について表 2-3 に示します。

表 2-3 通信ボードのジャンパーピン設定

ジャンパーピン	設定	機能
JP1	1-2pin オープン	1-2pin ショート：MD 端子プルアップ無効(設定禁止) 1-2pin オープン：MD 端子プルアップ有効
JP2	1-2pin ショート	1-2pin ショート：汎用ポート(PC6)プルアップ無効 1-2pin オープン：汎用ポート(PC6)プルアップ有効
JP3	1-2pin ショート	1-2pin ショート：汎用ポート(PC5)プルアップ無効 1-2pin オープン：汎用ポート(PC5)プルアップ有効

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以下に示します。

(1)　インバータボード

表 2-4 インバータボードのユーザインタフェース

項目	インタフェース部品	機能
VR1	可変抵抗器	未使用
SW1	トグルスイッチ (SW1)	未使用
SW2	プッシュスイッチ (SW2)	未使用
LED1	橙色 LED	・ 駆動時　：点灯 ・ 停止時　：消灯
LED2	橙色 LED	・ エラー検出時　：点灯 ・ 通常動作時　：消灯
LED3	橙色 LED	未使用

表 2-5 インバータボードのコネクタインタフェース

項目	端子数	機能
CN1	2	電源入力コネクタ
CN2	3	モータコネクタ
CN3	34	CPU ボードコネクタ
CN4	34	CPU ボードコネクタ
CN5	10	ENC/IPS 信号入力用コネクタ
CN6	5	ホールセンサ信号入力用コネクタ

本サンプルプログラムでは、ホールセンサを使用するため、MCI-LV-1 にホールセンサ信号線を接続する 必要があります。MCI-LV-1 と、MOONS'社の R42BLD30L3 との対応表を以下に示します。

R42BLD30L3 のコネクタは、MOLEX 社の 43025-0600 を使用しています。勘合相手は 43020-0600, 43045-0600 が適合します。線径は AWG24 UL1061 となります。端子の準備が困難な場合は、ホールセンサ線からコネクタを切断し、被覆を剥いて MCI-LV-1 の端子台に挿入・固定してください。

表 2-6 ホールセンサとインバータセンサ入力端子の対応

信号線の仕様	MCI-LV-1	MOON'S R42BLD30L3
DGND	CN6-1	5-BLACK
+5V	CN6-2	1-RED
HALL_W	CN6-3	4-BLUE
HALL_V	CN6-4	3-YELLOW/WHITE
HALL_U	CN6-5	6-ORANGE/YELLOW

(2)　CPU ボード

表 2-7 CPU ボードのユーザインタフェース

項目	インタフェース部品	機能
RESET	タクトスイッチ (SW1)	MCU の外部リセット
LED1	橙色 LED	・ 駆動時　：点灯 ・ 停止時　：消灯
LED2	橙色 LED	・ エラー検出時　：点灯 ・ 通常動作時　：消灯

表 2-8 CPU ボードのコネクタインタフェース

項目	端子数	機能
CN1	6	非搭載
CN2	34	インバータボードコネクタ
CN3	34	インバータボードコネクタ
CN4	4	通信ボード接続用 SCI コネクタ
CN5	(USB Type-C)	J-Link OB 用 USB コネクタ

(3)　通信ボード

表 2-9 通信ボードのユーザインタフェース

項目	インタフェース部品	機能
RESET	タクトスイッチ (SW1)	MCU の外部リセット

表 2-10 通信ボードのコネクタインタフェース

項目	端子数	機能
CN1	4	非搭載
CN2	(USB miniB)	USB コネクタ （ユーザは使用不可）
CN3	(USB Type-C)	PC 接続用 USB コネクタ
CN4	4	非搭載
CN5	4	CPU ボード接続用 SCI コネクタ

本システムの RA2T1 マイクロコントローラの端子機能一覧を表 2-11 に示します。

表 2-11 RA2T1 端子機能一覧

ピン番号	RA2T1 端子機能	信号機能
1	P400/GTIOC3A	PFCPWM1/ENCA
2	P401/GTIOC3B	PFCPWM2/ENCB
3	VCL1	System
4	P402	SW1
5	P403	INV CONNECTED
6	VSS1	GND
7	P213/XTAL	External clock
8	P212/EXTAL	External clock
9	VCC1	VCC
10	P409/IRQ6	HALL_V
11	P408/IRQ7	HALL_W
12	P407/GTIOC0B	UN
13	P915	LED3
14	P914	LED2
15	P913	LED1
16	P208/GTIOC0A	UP
17	P207	Relay
18	P206/IRQ0	HALL_U
19	RES#	Reset
20	P201/MD	ARM debugger
21	P200	SAFE LOCK
22	P302/GTETRGA	OC INV
23	P301/GTETRGB	OCPFC/ENCZ
24	P300/SWCLK	ARM debugger
25	P108/SWDIO	ARM debugger
26	P109/GTIOC2A	VP
27	P110/GTIOC2B	VN
28	P111/GTIOC1A	WP
29	P112/GTIOC1B	WN
30	VCC2	VCC
31	VSS2	GND
32	P104/IRQ1	SW2/Overtemp
33	P103/CTS0/AN019	VCOM/HVtemp
34	P102/AN020	VU
35	P101/TXD0	SCI
36	P100/RXD0	SCI
37	P500 VCOM	VCOM
38	P015/AN002	IW
39	P014/AN001	IV
40	P013/AN000	IU
41	P012/AN007	VV
42	AVCC0	AVCC
43	AVSS0	AGND
44	P011/AN006	VW
45	P010/AN005	IPFC2/VR
46	P002/AN010	IPFC1
47	P001/AN009	VPFC
48	P000/AN008	VPN

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 2-12 に示します。

表 2-12 周辺機能一覧

周辺機能	用途
12 bit A/D コンバータ (ADC12)	インバータ母線電圧測定 DC リンク電流検出 U/V/W 相電圧測定[センサレスモード]
低消費電力非同期汎用タイマ (AGTW 0, 1)	回転速度測定用フリーランカウンタ（AGT0） 転極用ディレイタイマ（AGT1）[センサレスモード]
汎用 PWM タイマ (GPT 0, 1, 2, 3)	相補 PWM モード使用の PWM 出力 50 [us] 制御周期タイマ（GPT0, 1, 2） 1[ms]周期タイマ（GPT3）
外部割込み（IRQ 0, 6, 7）	ホールセンサ信号入力[ホールセンサ使用モード]
GPT 用のポートアウトプット イネーブル (POEG)	トリガ入力による PWM 出力強制遮断
ウォッチドッグタイマ(WDT)	プログラムの暴走検出

(1)　12bit A/D コンバータ(ADC12)
インバータ母線電圧、DC リンク電流検出、および U/V/W 相電圧（センサレスモード）を測定します。

(2)　低消費電力非同期汎用タイマ(AGTW 0, 1)
回転速度測定、および転極用ディレイタイマ（センサレスモード）として使用します。

(3)　汎用 PWM タイマ(GPT 0, 1, 2, 3)
A/D 変換開始要求タイミングレジスタを使用して任意のタイミングで AD 変換を実行できます。
相補 PWM モードを使用して非対称波形を出力できます。

(4)　外部割込み（IRQ 0, 6, 7）
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。

(5)　GPT 用のポートアウトプットイネーブル (POEG)
インバータボードで検出した過電流信号(GTETRGA 入力)により PWM 出力を強制遮断します。
遮断解除要因を検出後、ソフトウェアにより解除。

(6)　ウォッチドッグタイマ(WDT)
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　ソフトウェア仕様

本システムのソフトウェアの基本仕様を表 2-13 と表 2-14 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 2-13 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 1]	
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	
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：ICLK 64[MHz] GPT クロック：PCLKB 32[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] ～ 2400[rpm] CCW：0 [rpm] ～ 2400 [rpm] ただし、500 [rpm]以下は速度オープンループで駆動	
最適化設定	Optimize more(-O2)	
ROM/RAM サイズ	ROM	28.756 KB【センサレス・電流制御モード】 28.892 KB【センサレス・電圧制御モード】 27.036 KB【ホールセンサ使用・電流制御モード】 26.624 KB【ホールセンサ使用・電圧制御モード】
	RAM	2.752 KB【センサレス・電流制御モード】 2.692 KB【センサレス・電圧制御モード】 2.644 KB【ホールセンサ使用・電流制御モード】 2.584 KB【ホールセンサ使用・電圧制御モード】

表 2-14 ソフトウェア基本仕様[2/2]

項　目	内　容
保護停止処理	・以下のいずれかの条件の時、モータ制御信号出力(6 本)を非アクティブにする 1.インバータ母線電圧が 48 [V]を超過 2.インバータ母線電圧が 8 [V]より下落 3.回転速度が 3262.5 [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.各相の電流が 3.955 [A]を超過 7.外部からの過電流検出信号を検出した場合、PWM 出力端子を Low レベルにする

【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。

2.4.2　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 2-15 に示します。

表 2-15 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
src/application	board	r_mtr_board.c	LED 制御
		r_mtr_board.h	
	user_interface/ics	ICS2_RA2T1.o	RMW 通信用ライブラリ
		ICS2_RA2T1.h	
		r_mtr_ics.c	Analyzer 注 1 UI 処理
		r_mtr_ics.h	Analyzer 注 1 UI 関連関数定義
		RA2T1_MCILV1_PM_120_E2S_V101_conv.map	マップファイル
		RA2T1_MCILV1_PM_120_E2S_V101.rmt	RMW 初期設定ファイル
		ElfMapConverter.exe	マップファイルコンバータ
		convert.bat	
	main	mtr_main.c	メイン関数
		mtr_main.h	
src/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
src/driver		r_mtr_common.h	ドライバ共通定義
		r_mtr_ADC.c	ADC コンバータドライバ処理
		r_mtr_ADC.h	ADC コンバータドライバ関数定義
		r_mtr_AGT.c	AGT タイマドライバ処理
		r_mtr_AGT.h	AGT タイマドライバ関数定義
		r_mtr_GPT_THREE_PHASE.c	タイマ GPT ドライバ処理
		r_mtr_GPT_THREE_PHASE.h	タイマ GPT ドライバ関数定義
		r_mtr_pin_data.c	I/O ポートドライバ処理
		r_mtr_pin_data.h	I/O ポートドライバ関数定義
		r_mtr_POEG.c	POEG ドライバ処理
		r_mtr_POEG.h	POEG ドライバ関数定義
		r_mtr_ra2t1.c	-
		r_mtr_ra2t1.h	MCU 固有定義
src/middle		R_DSP_RA2_GCC_32BIT.h	DSP 定義
		rm_mtr_carrier.c	キャリア周期割り込み処理
		rm_mtr_common.h	共通定義
		rm_mtr_ctrl_gain.o	ゲイン設計
		rm_mtr_ctrl_gain.h	ゲイン設計関数定義
		rm_mtr_120.c	120 度通電制御関連処理
		rm_mtr_120.h	120 度通電制御関連関数定義
		rm_mtr_ol2cl_ctrl.c	センサレス切り替え制御処理
		rm_mtr_ol2cl_ctrl.h	センサレス切り替え制御関数定義
		rm_mtr_parameter.h	モータ制御パラメータ定義
		rm_mtr_speed.c	速度制御割り込み処理

	rm_mtr_statemachine.h	状態遷移処理関連定義
	rm_mtr_driver.c	ドライバアクセス処理
	rm_mtr_driver.h	ドライバアクセス関数定義

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。

2.4.3　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。

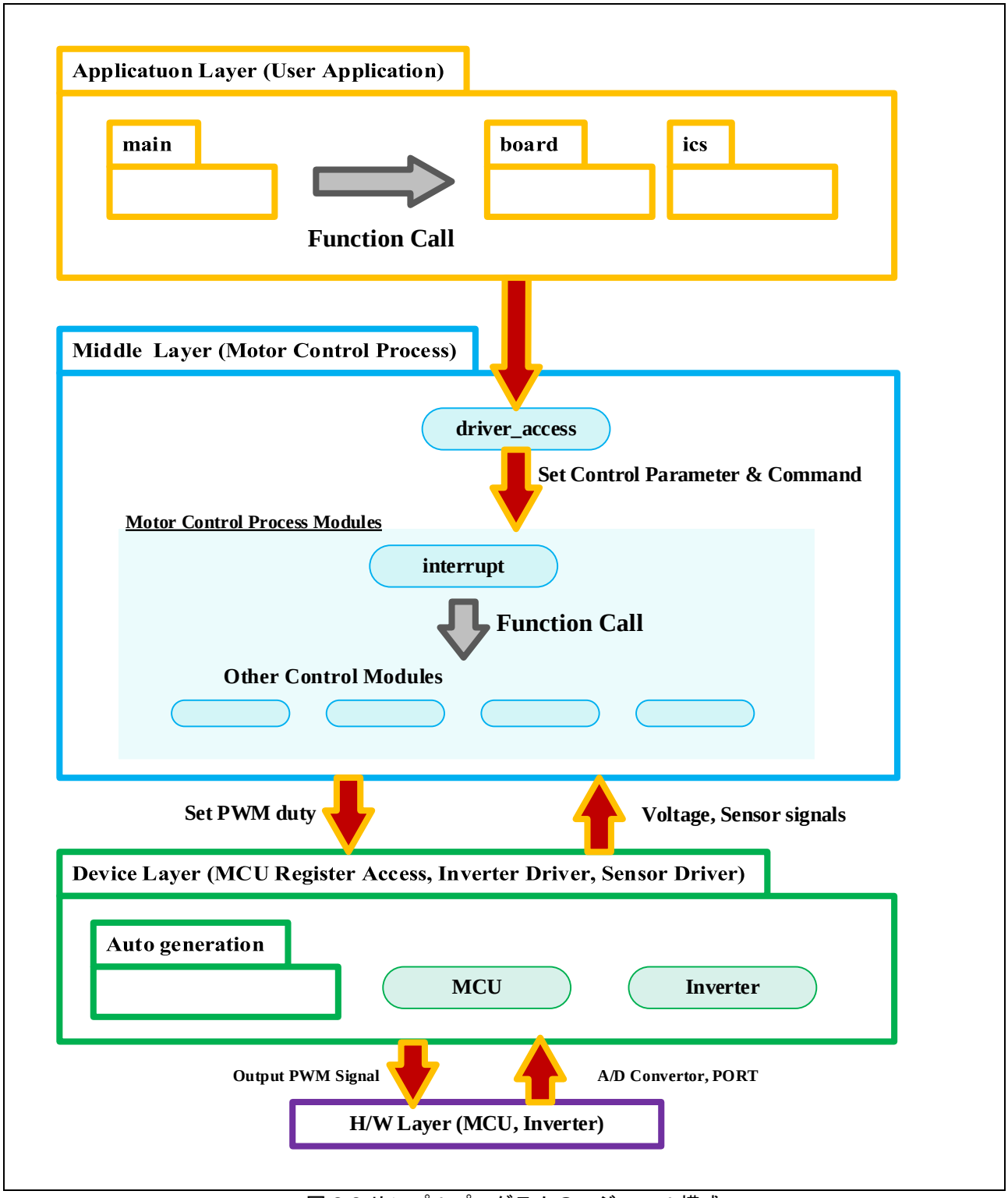


図 2-2 サンプルプログラムのモジュール構成

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

表 3-1 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)	チャネル
インバータ母線電圧	0 [V]～73.5 [V]：0000H～0FFFH	AN008

(2)　DC リンクシャント抵抗電流 [1 シャントモード時]

表 3-2 のように DC リンクシャント抵抗電流を測定し、ベクトル制御に使用します。

表 3-2 1 シャントモード時の電流の変換比

項　目	変換比(DC リンクシャント抵抗電流 ：A/D 変換値)	チャネル
DC リンクシャント抵抗電流	-8.25 [A]～8.25 [A]：0000H～0FFFH	AN000

(3)　U 相、V 相、W 相電圧

表 3-3 のように U 相、V 相、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 3-3 U、V、W 相電圧の変換比

項　目	変換比(U 相、V 相、W 相電圧：A/D 変換値)	チャネル
U 相、V 相、W 相電圧	0 [V]～73.5 [V]：0000H～0FFFH	AN020,AN007,AN006

A/D 変換特性の詳細に関しては「RA2T1 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 POEG

(1). 過電流検出

インバータ基板の過電流検出コンパレータ出力の L レベルを検出し、PWM 出力を強制遮断します。

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 3-1 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。

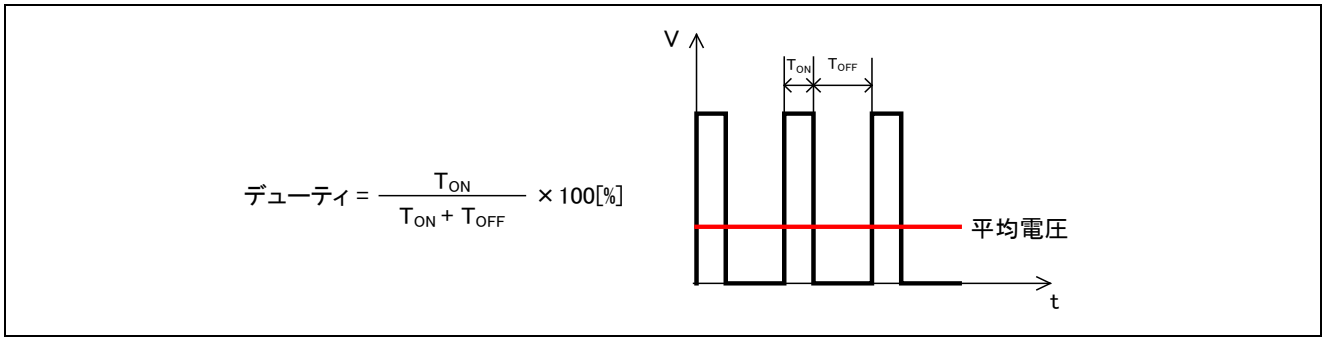


図 3-1 PWM 制御

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 GPT 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 3-2、図 3-3 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。

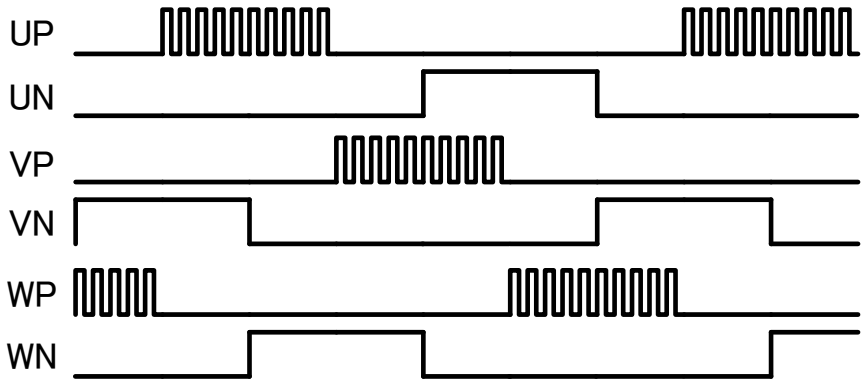


図 3-2 上アームチョッピング(非相補出力)

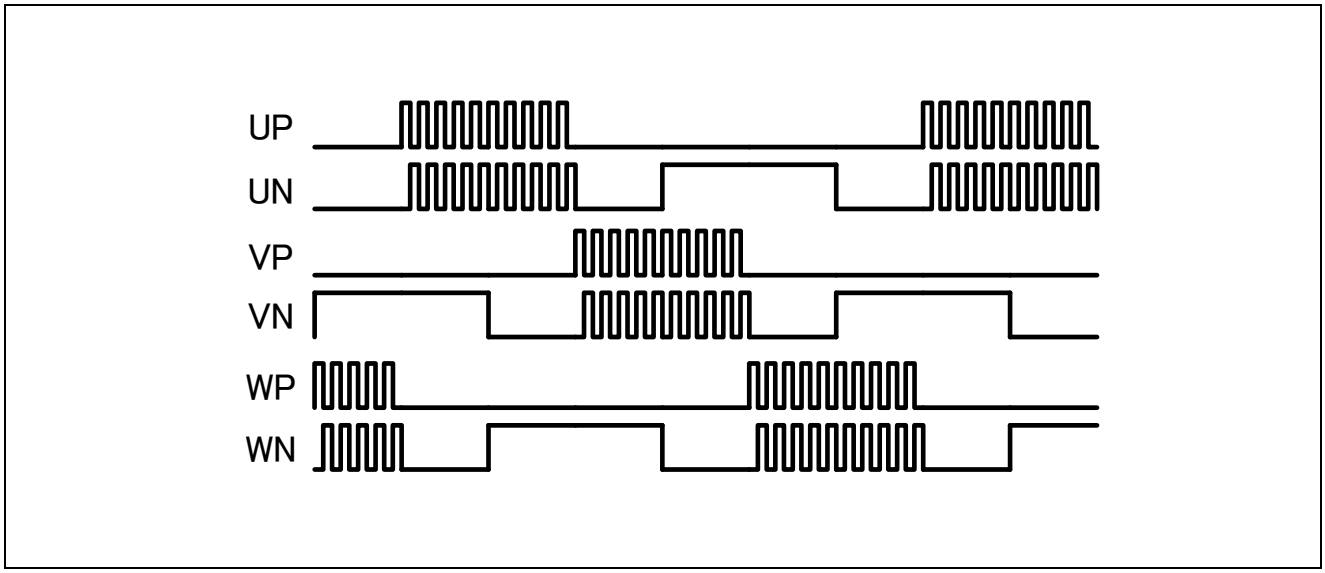


図 3-3 上アームチョッピング(相補出力)

3.1.5　状態遷移

図 3-4 に 120 度通電制御ソフトにおける状態遷移図を示します。

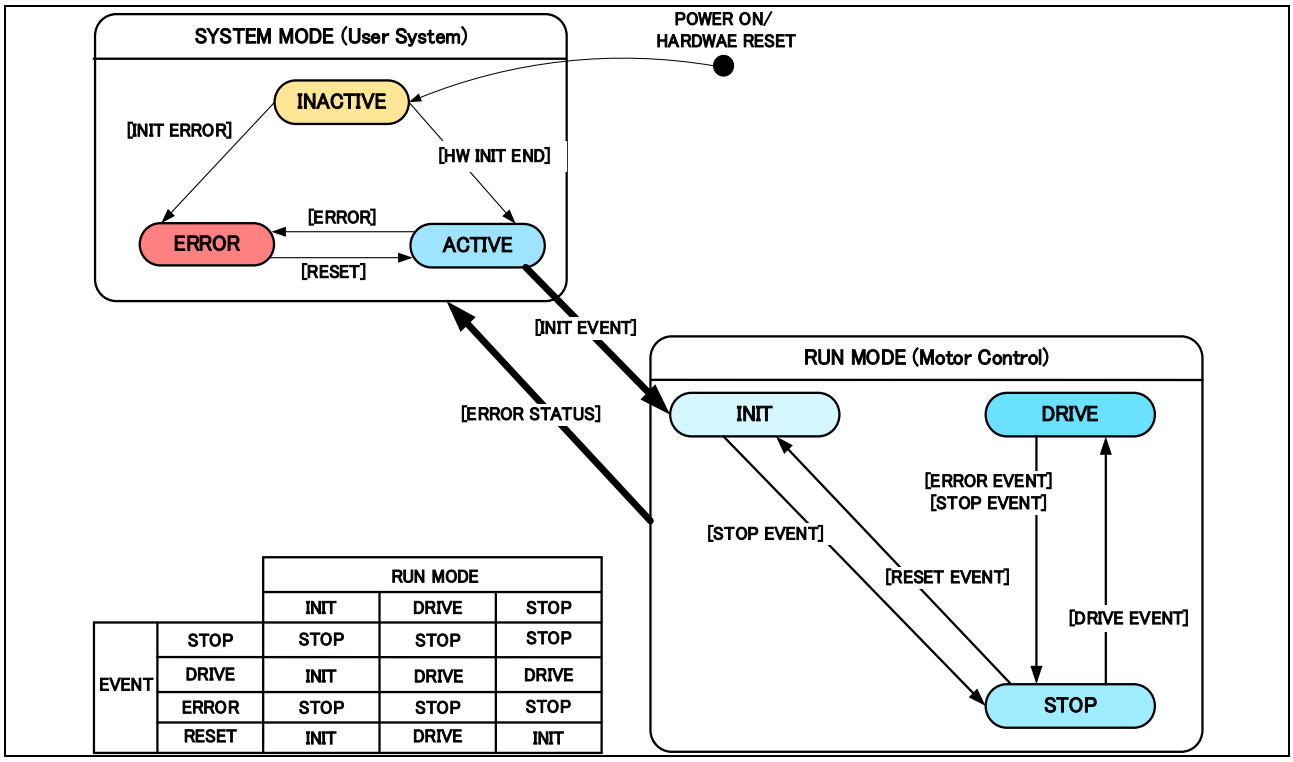


図 3-4 120 度通電制御ソフトの状態遷移図

(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 3-4 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_STOP	モータ駆動停止
MTR_DRIVE	モータ駆動
MTR_DRIVE_INIT	モータ駆動初期化
MTR_DRIVE_START	モータ駆動開始
MTR_OFFSET_CALC_EXE	電流オフセットの検出処理の実行
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、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図 3-5 と図 3-6 に示します。

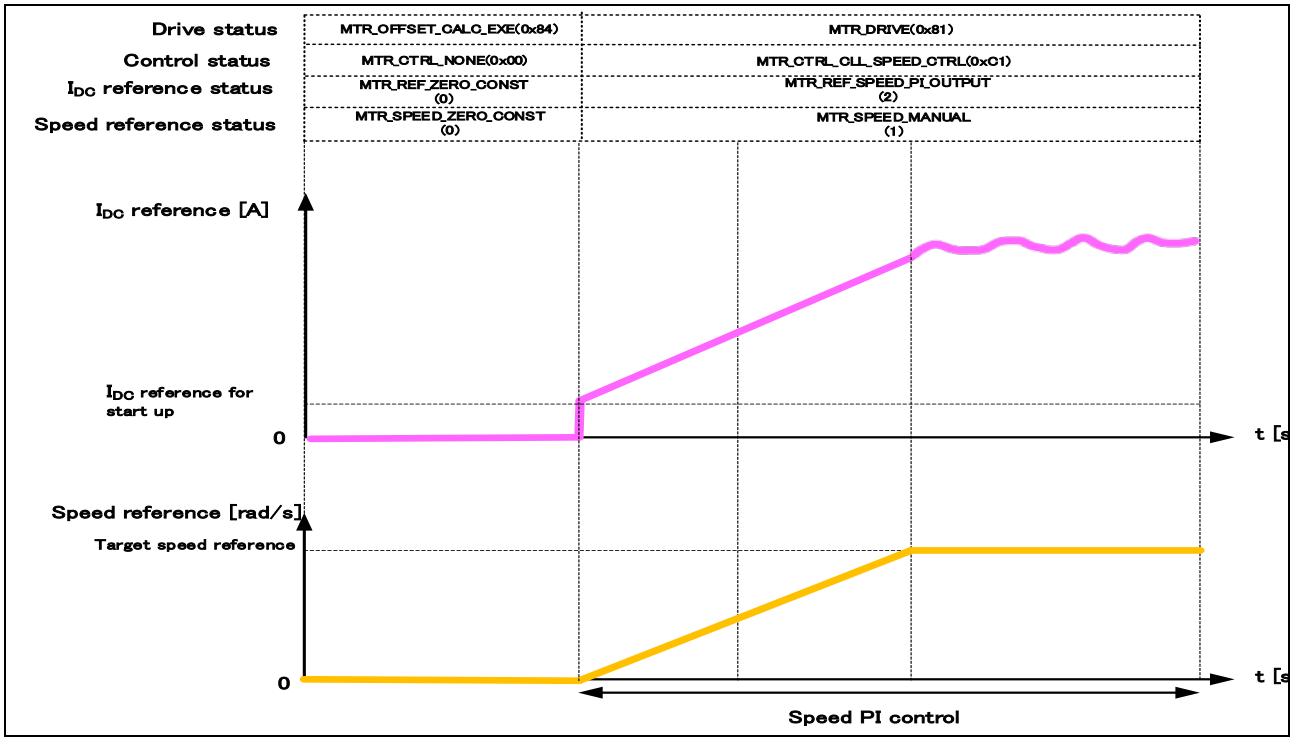


図 3-5 電流制御モード時の始動シーケンス(ホールセンサ使用モード)

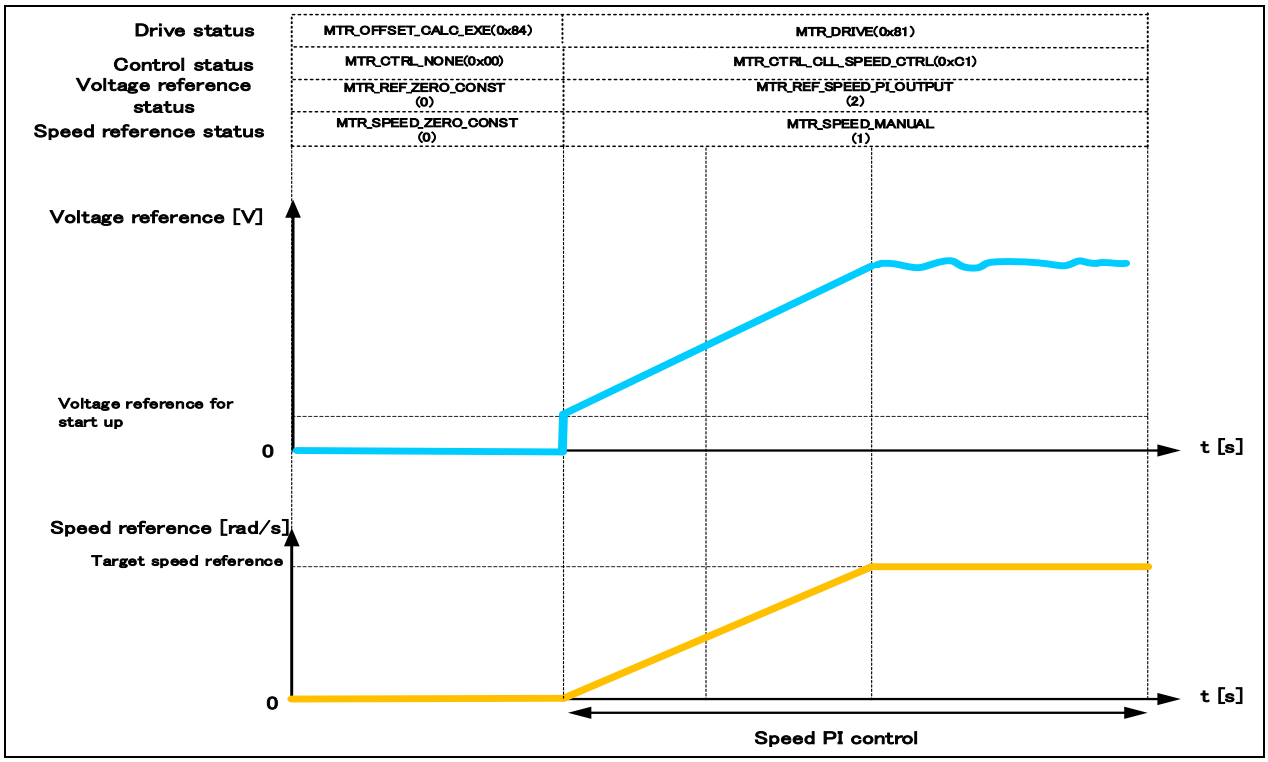


図 3-6 電圧制御モード時の始動シーケンス(ホールセンサ使用モード)

(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 3-7 では電流制御モード時の始動方法を示しています。”MTR_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。

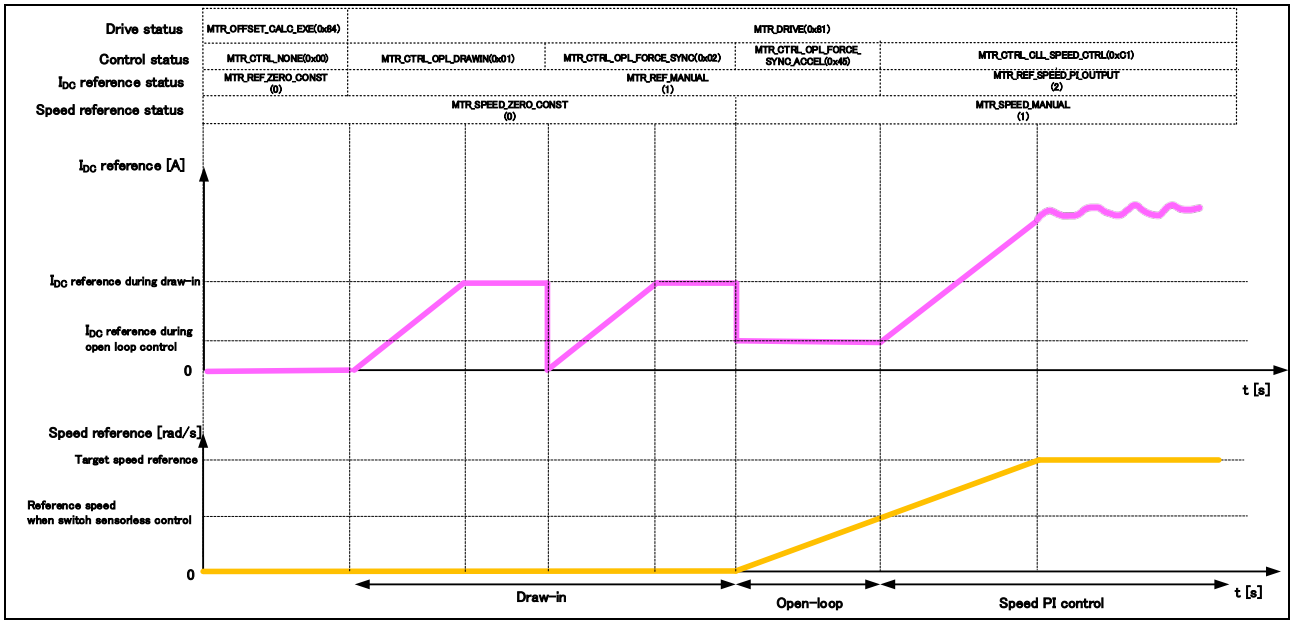


図 3-7 電流制御モード時の始動シーケンス(引き込みによる始動)

図 3-8 では電圧制御モード時の始動方法を示しています。”MTR_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、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しています。

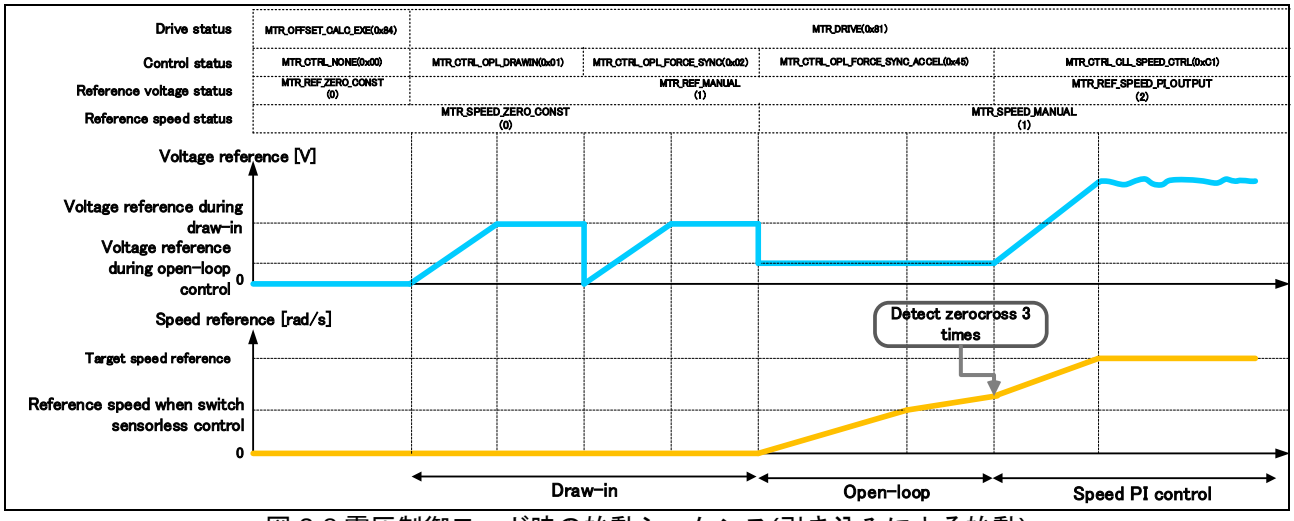


図 3-8 電圧制御モード時の始動シーケンス(引き込みによる始動)

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。

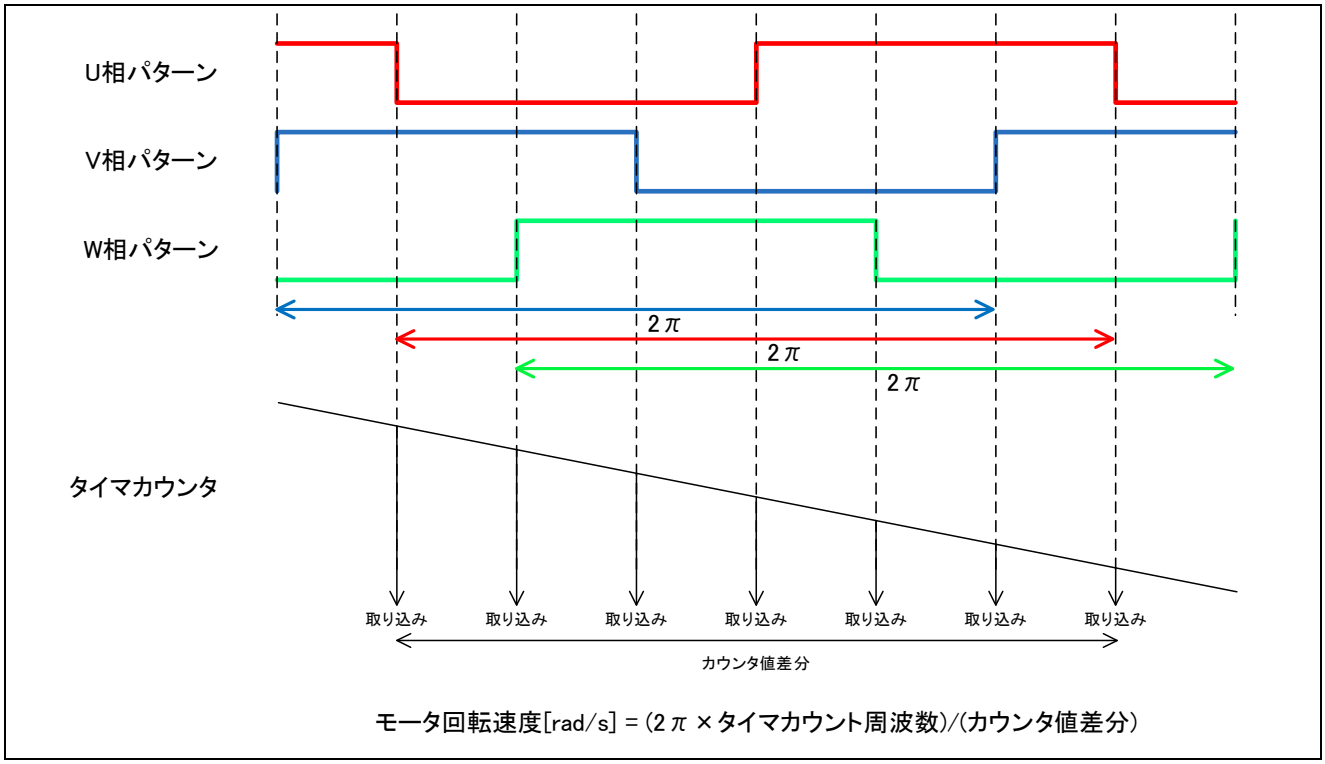


図 3-9 モータ回転速度の演算方法

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 3-10 に示します。

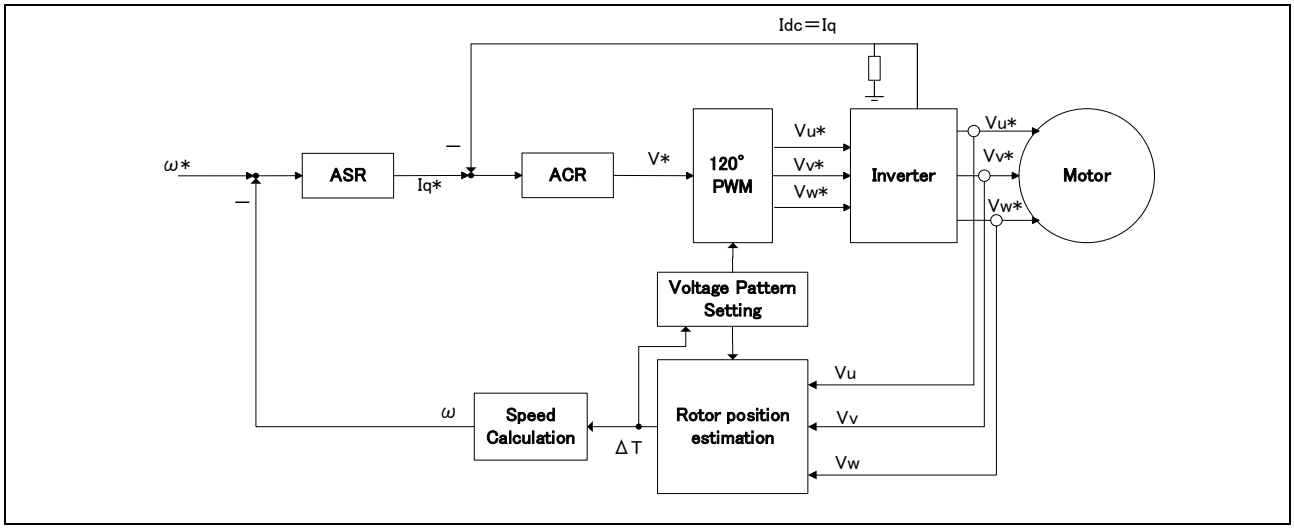


図 3-10 制御システム全体のブロック図（電流制御モード）

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。

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

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

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

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 3-11 に示します。

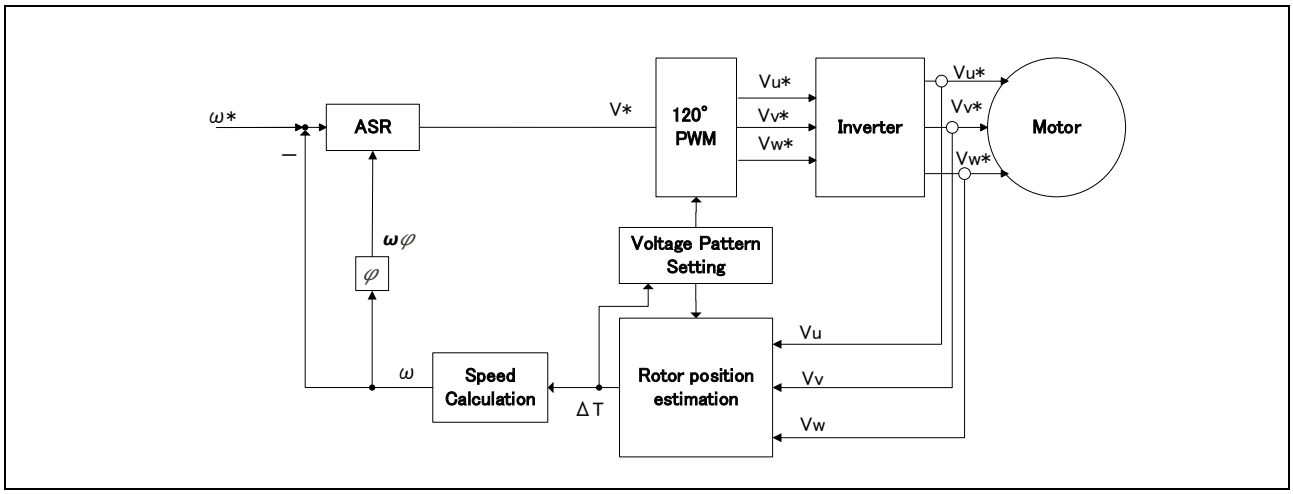


図 3-11 制御システム全体のブロック図（電圧制御モード）

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。

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

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、キャリア周期割込み(50[μs])と 1[ms]周期割込みの 2 つ周期割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。

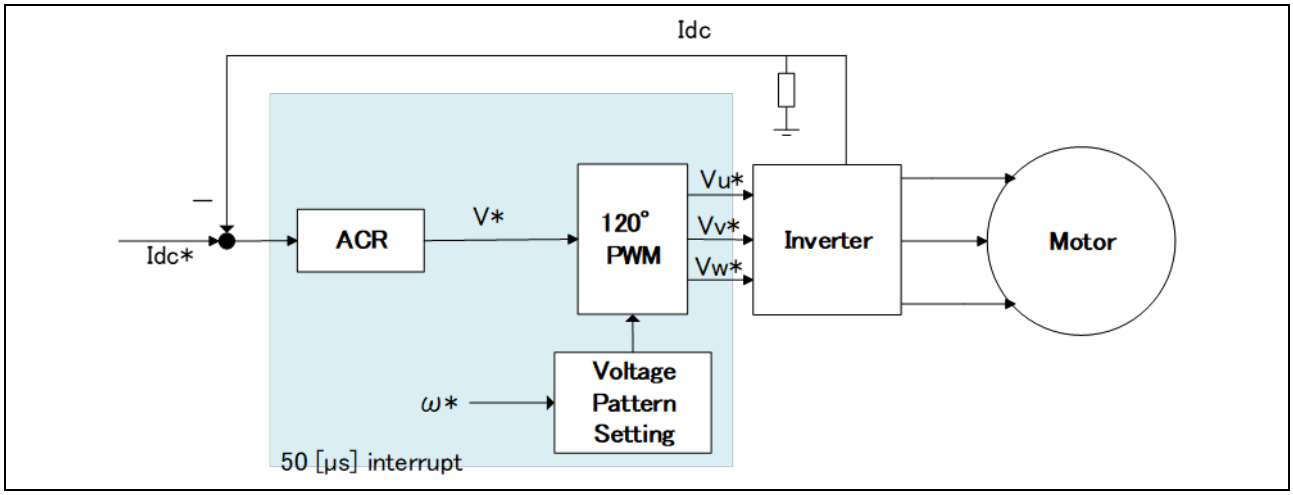


図 3-12 制御ブロック内の割り込み処理（オープンループ制御時）

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。

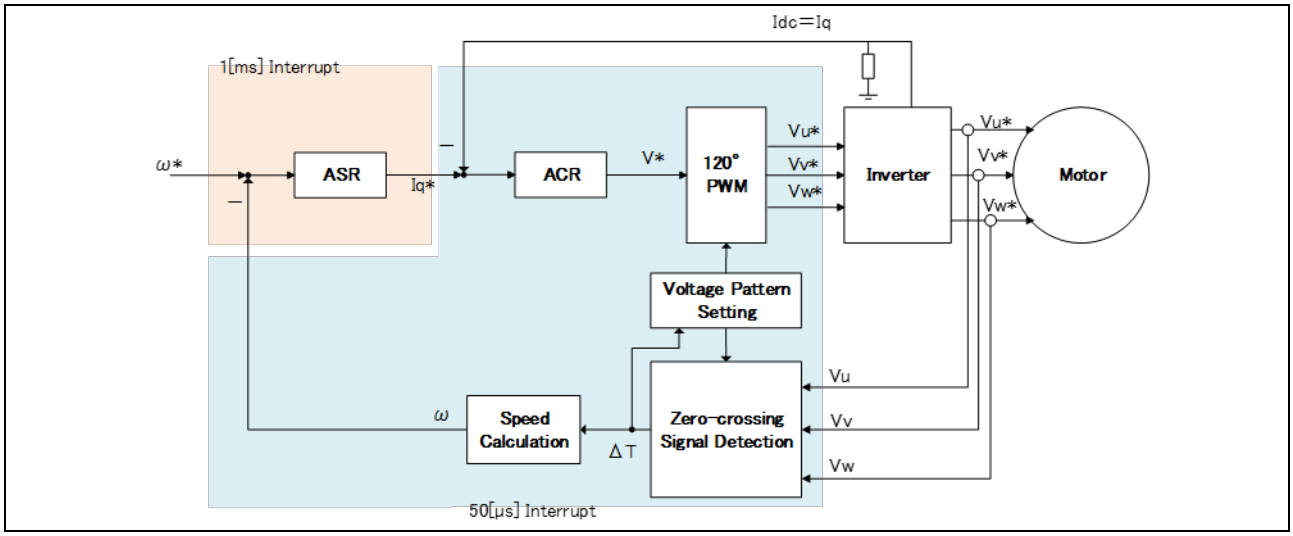


図 3-13 制御ブロック内の割り込み処理（センサレスモードのクローズドループ制御時）

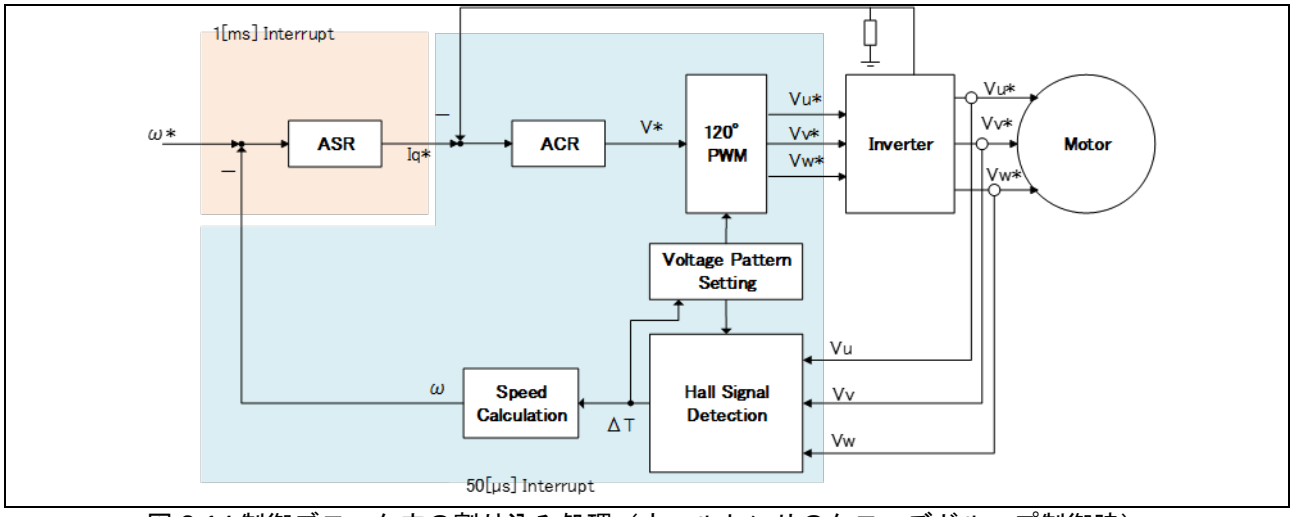


図 3-14 制御ブロック内の割り込み処理（ホールセンサのクローズドループ制御時）

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。

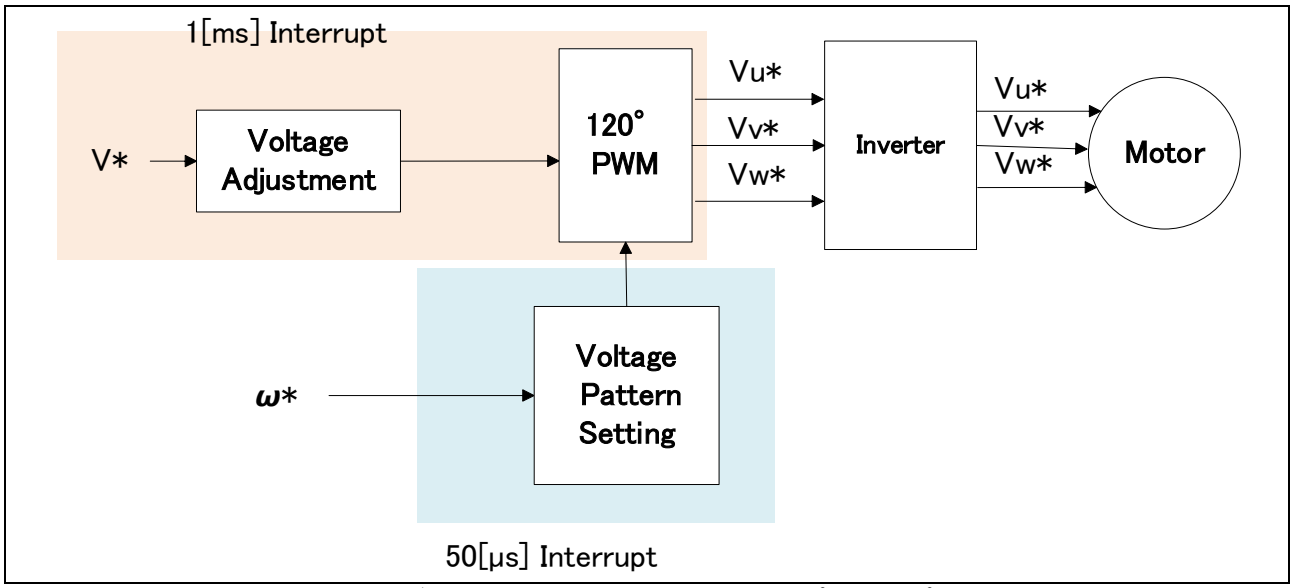


図 3-15 制御ブロック内の割り込み処理（オープンループ制御時）

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。

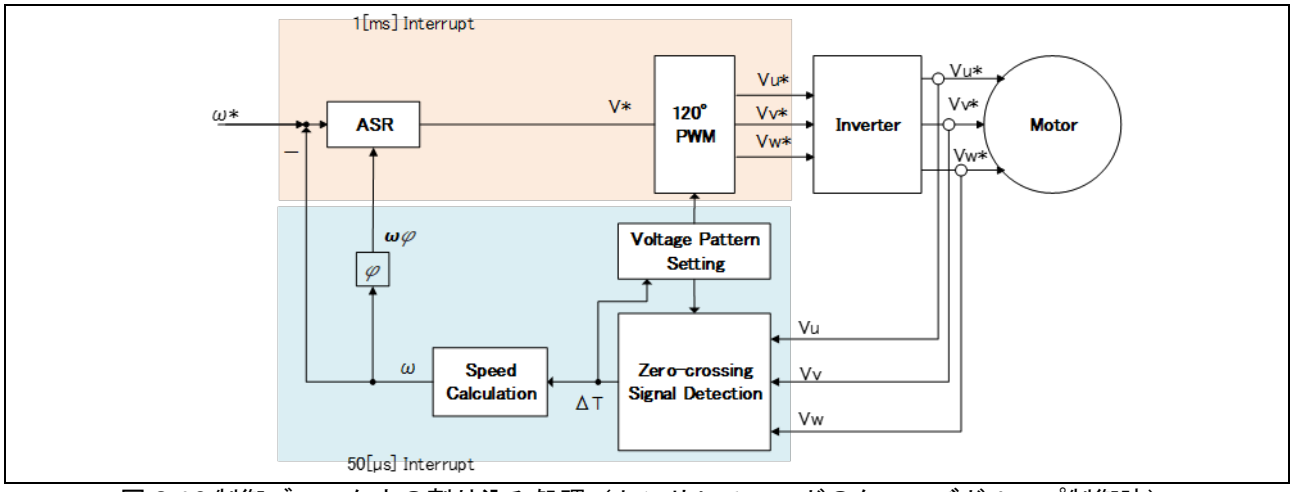


図 3-16 制御ブロック内の割り込み処理（センサレスモードのクローズドループ制御時）

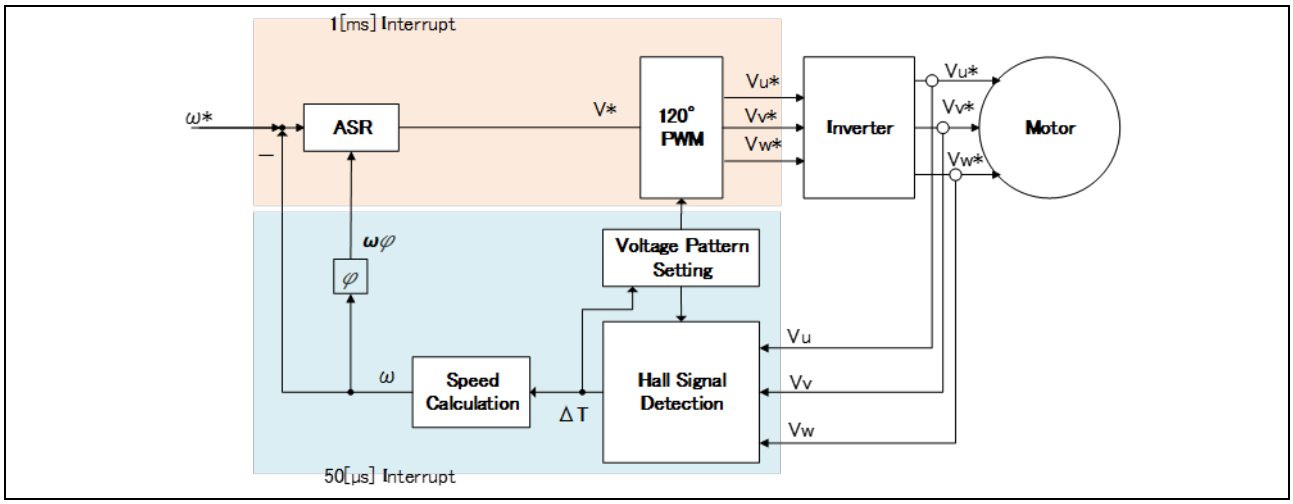


図 3-17 制御ブロック内の割り込み処理（ホールセンサのクローズドループ制御時）

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、RA2T1 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。

・GPT
　相補 PWM モード 2（対称三相波形を出力）、A/D 変換開始要求 A
・A/D コンバータ
　グループスキャンモード

本プログラムでは、キャリア周期の山で DC リンク電流、母線電圧と相電圧の測定を行い、キャリア周期の谷割り込みでモータ制御の演算を行います。図 3-18 に A/D 変換タイミングとキャリア割込みのタイミングを示します。

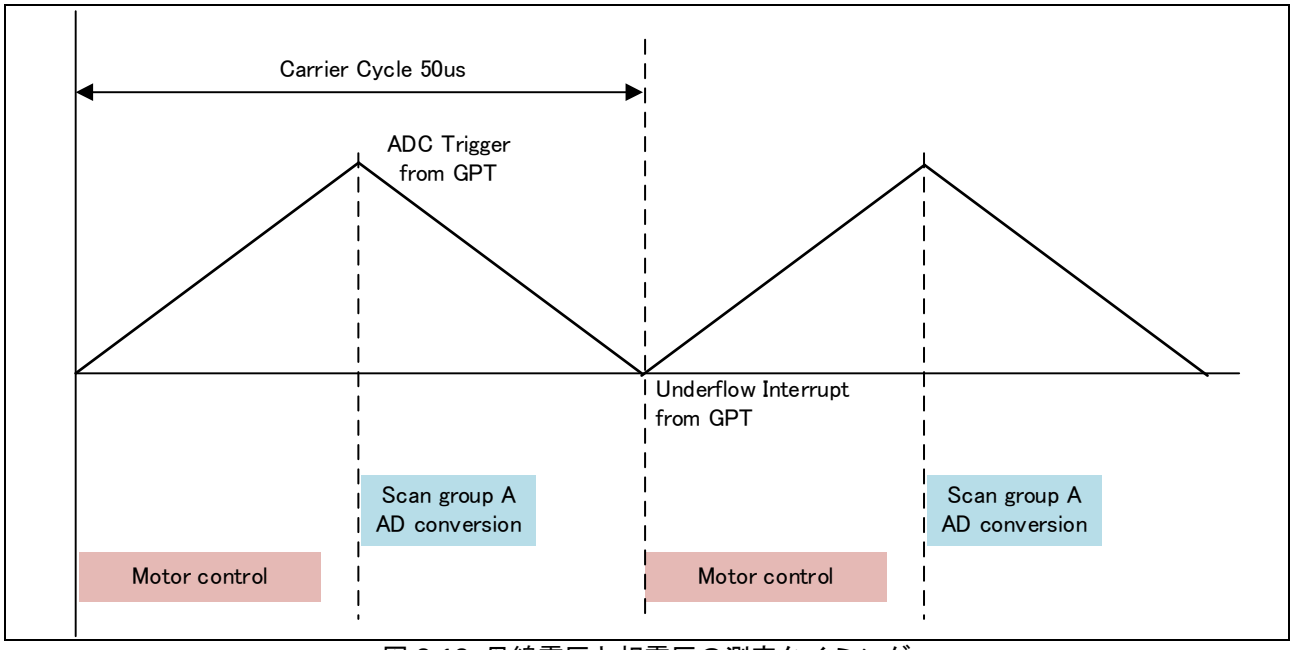


図 3-18 母線電圧と相電圧の測定タイミング

3.1.11 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 3-6 を参照して下さい。

・ハードウェア過電流エラー
ハードウェアからの緊急停止信号（過電流検出）を検出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。

表 3-6　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]	21.4
ソフトウェア過電流エラー	過電流リミット値 [A]	3.955
	監視周期 [μs]	50
過電圧エラー	過電圧リミット値 [V]	48
	監視周期 [μs]	1000
低電圧エラー	低電圧リミット値 [V]	8
	監視周期 [μs]	1000
回転速度エラー	速度リミット値 [rpm]	3262.5
	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】

3.1.12 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。

$$PU\,値 = \frac{物理量}{基準値}$$

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。

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

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 3-7 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 3-7 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	2π×最大速度[rpm]×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】 電圧／角周波数　【電圧制御モード】	[A/(rad/s)] [V/(rad/s)]
	Kidt	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】	[A/(rad/s)] [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 3-8　“r_mtr_board.c” 関数一覧

ファイル	関数	処理概要
r_mtr_board.c	RM_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	LED の制御

表 3-9　“ICS2_RA2T1.o” 関数一覧

ファイル	関数	処理概要
ICS2_RA2T1.o	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。
	ics2_init 入力: uint8_t port :: SCI 使用ポート uint8_t level :: 割り込みレベル uint8_t speed :: 通信速度 uint8_t mode :: 通信モード 出力:なし	通信初期化
	ics2_version 入力: なし 出力: uint32_t :: バージョン番号	バージョン番号の取得

表 3-10　“r_mtr_ics.c” 関数一覧

ファイル	関数	処理概要
r_mtr_ics.c	R_MTR_SetIcs 入力:なし　出力:なし	Renesas Motor Workbench との通信準備
	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 ・制御変数の書き換え変数(com 変数)の値を制御受け渡しバッファ変数(ICS 変数)へ入力 ・ICS 変数の値を ICS バッファ変数へ入力
	R_MTR_ICSVariablesInit 入力:なし　出力:なし	com 変数の初期化
	mtr_limit_float 【inline function】 入力: float f4_value :: 対象の値 int32_t s4_max :: 最大値 int32_t s4_min :: 最小値 出力: float :: リミット処理値	最大値、最小値のリミット処理

表 3-11 “mtr_main.c” 関数一覧

ファイル	関数	処理概要
mtr_main.c	mtr_main 入力: なし　出力: なし	・ハードウェア初期化関数呼び出し ・Renesas Motor Workbench 通信初期化 ・モータ制御システム初期化関数呼び出し ・システムモジュール初期化関数呼び出し ・状態遷移及びイベント実行関数呼び出し ・母線電圧安定待ち処理呼び出し ・メイン処理 ⇒ユーザインタフェース処理呼び出し ⇒LED 制御処理呼び出し ⇒ウォッチドッグタイマクリア関数呼び出し
	ics_ui 入力: なし　出力: なし	Renesas Motor Workbench を使用したユーザインタフェース処理 ・メイン処理で使用する変数の初期化関数呼び出し ・モータステータスの変更
	system_init 入力: なし 出力: int :: 実行結果	システムモジュールの初期化
	system_term 入力: なし　出力: なし	システムモジュールの終了処理
	software_init 入力: なし　出力: なし	メイン処理で使用する変数の初期化

表 3-12　“r_mtr_ADC.c” 関数一覧

ファイル	関数	処理概要
r_mtr_ADC.c	R_MTR_ADC_Open 入力: adc_ctrl_t *p_ctrl :: ADC 情報 adc_cfg_t const *const p_cfg :: コンフィグ情報 出力: fsp_err_t :: エラー番号	ADC をファストモードで初期化
	R_MTR_ADC_WaitConversion 入力: adc_ctrl_t * p_ctrl :: ADC 情報 uint16_t timeout_count :: タイムアウトカウンタ 出力: fsp_err_t :: エラー番号	AD 変換完了待ちのウエイト
	R_MTR_ADC_SetChannels 入力: adc_ctrl_t * p_ctrl :: ADC 情報 uint32_t scan_mask_a :: AD チャネル選択レジスタ A 用ビットマスク uint32_t scan_mask_b :: AD チャネル選択レジスタ B 用ビットマスク 出力: fsp_err_t :: エラー番号	【ホールセンサ使用モード】 ADC チャネルの設定

表 3-13　“r_mtr_AGT.c” 関数一覧

ファイル	関数	処理概要
r_mtr_ AGT.c	R_MTR_AGT_ReadTimerCount_32Bit 入力: timer_ctrl_t *p_ctrl :: タイマ情報 uint32_t * p_value :: 取得カウンタ値へのポインタ 出力: fsp_err_t :: エラー番号	AGT のカウンタ値を取得

表 3-14　“r_mtr_GPT_THREE_PHASE.c” 関数一覧

ファイル	関数	処理概要
r_mtr_ GPT_THREE_PHASE.c	R_MTR_GPT_THREE_PHASE_CompMode2_Open 入力: three_phase_ctrl_t * const p_ctrl :: 3 相制御情報 three_phase_cfg_t const * const p_cfg :: コンフィグ情報 出力: fsp_err_t :: エラー番号	3 相タイマモジュールを相補 PWM モード 2 で初期化
	R_GPT_THREE_PHASE_CompMode2_DutyCycleSet 入力: three_phase_ctrl_t *const p_ctrl :: 3 相制御情報 three_phase_duty_cycle_t *const p_duty_cycle :: デューティサイクル情報 出力: fsp_err_t :: エラー番号	相補 PWM モード 2 の 3 相タイマモジュールのデューティサイクル設定
	R_MTR_GPT_THREE_PHASE_EnableOutputAll 入力: three_phase_ctrl_t * const p_ctrl :: 3 相制御情報 出力: fsp_err_t :: エラー番号	相補 PWM で 3 相タイマモジュールの全出力を有効化
	R_MTR_GPT_THREE_PHASE_DisableOutputAll 入力: three_phase_ctrl_t * const p_ctrl :: 3 相制御情報 出力: fsp_err_t :: エラー番号	相補 PWM で 3 相タイマモジュールの全出力を無効化
	R_MTR_GPT_THREE_PHASE_PatternOutput 入力: three_phase_ctrl_t * const p_ctrl :: 3 相制御情報 uint16_t u2_pattern :: 通電パターン uint8_t *p_u1_err_flg :: パターンエラー有無へのポインタ 出力: fsp_err_t :: エラー番号	相補 PWM で三相出力の有効・無効を設定

表 3-15　“r_mtr_POEG.c” 関数一覧

ファイル	関数	処理概要
r_mtr_POEG.c	R_MTR_POEG_SoftwareRelease 入力: poeg_ctrl_t * const p_ctrl :: POEG 制御情報 uint16_t timeout_count :: タイムアウト値 出力: fsp_err_t :: エラー番号	POEG モジュールの初期化
	R_MTR_POEG_RecoverForcedShutdown 入力: poeg_ctrl_t * const p_ctrl :: POEG 制御情報 uint16_t timeout_count :: タイムアウト値 uint8_t * p_is_shutdown :: シャットダウン状態 出力: fsp_err_t :: エラー番号	POEG モジュールを強制シャットダウンの状態から回復

表 3-16 “rm_mtr_carrier.c” 関数一覧(1/3)

ファイル	関数	処理概要
rm_mtr_carrier.c	mtr_carrier_cyclic 入力: timer_callback_args_t * p_args :: 割り込みハンドラ引数ポインタ 出力: なし	キャリア割込みハンドラ 周期タイマ割り込み (GPT で呼び出し) 周期：50[μs] ・インバータ母線電圧の取得 ・キャリア割込み処理の呼び出し ・通信処理呼び出し
	mtr_carrier_vdc_get 入力: int32_t * p_s4_ad_vdc :: VDC へのポインタ int16_t * p_s2_ad_vdc_bit :: AD 変換値へのポインタ 出力: なし	インバータ母線電圧(VDC)取得 ・A/D 変換値からインバータ母線電圧を計算
	mtr_carrier_sequence【inline function】 入力: なし 出力: なし	キャリア割込み処理
	mtr_carrier_idc_get 入力: int32_t * p_s4_ad_idc :: IDC へのポインタ int16_t * p_s2_ad_idc_bit :: AD 変換値へのポインタ uint32_t u4_ad_offset_idc :: 電流オフセット値 出力: なし	DC リンク電流(IDC)取得 ・A/D 変換値から DC リンク電流を計算
	mtr_carrier_lim_sw_over_current【inline function】 入力: int32_t s4_lim_over_current :: 過電流しきい値 int32_t s4_ad_idc :: IDC 出力: uint16_t :: エラーステータス	ソフトウェア過電流エラーチェック
	mtr_current_pi_ctrl 【inline function】 入力: st_mtr_acr_t * p_st_acr :: ACR 構造体ポインタ int32_t s4_idc_err :: 電流偏差 int32_t * p_s4_ref_v_ctrl :: 指令電圧ポインタ int32_t s4_lim_v :: 電圧下限値 出力: なし	電流 PI 制御
	mtr_pi_run_acr【inline function】 入力: st_mtr_pi_t * p_st_pi :: PI 制御構造体ポインタ int32_t s4_err :: 偏差 const uint8_t u1_kp_q :: 比例ゲイン Q 値 const uint8_t u1_q_err_shift :: 偏差のシフト値 const uint8_t u1_q_kidt_shift :: 積分ゲイン Q 値 const uint8_t u1_q_intg_shift :: 整数部のシフト値 出力: int32_t :: PI 出力	電流 PI 制御処理
	mtr_carrier_set_pwm 【inline function】 入力: uint16_t u2_pattern :: 通電パターン int8_t s1_dir :: 回転方向 uint16_t * p_u2_pwm_duty :: デューティ値へのポインタ int32_t s4_ref_v_ctrl :: 指令電圧 int16_t s2_ad_vdc_bit :: VDC の AD 変換値 出力: なし	PWM 出力設定
	mtr_duty_calc 【inline function】 入力: int32_t s4_ref_v :: 指令電圧 int16_t s2_ad_vdc_bit :: VDC の AD 変換値 出力: int16_t :: デューティ値	デューティ値の算出
	mtr_carrier_startup_sequence【inline function】 入力: なし 出力: なし	キャリア割込み処理の準備
	mtr_calib_current_offset_dc【inline function】 入力: st_mtr_120_control_t * p_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

表 3-17 “rm_mtr_carrier.c” 関数一覧(2/3)

ファイル	関数	処理概要
rm_mtr_carrier.c	mtr_abs 【inline function】 入力: int32_t s4_value :: 入力値 出力: int32_t :: 出力値	入力の絶対値を出力
	mtr_limit 【inline function】 入力: int32_t s4_value :: 入力値 int32_t s4_max :: 上限値 int32_t s4_min :: 下限値 出力: int32_t :: 出力値	【電流制御モード】 入力を制限
	mtr_limit_abs 【inline function】 入力: int32_t s4_value :: 入力値 int32_t s4_limit_value :: 制限値 出力: int32_t :: 出力値	入力の絶対値を制限
	mtr_delay_interrupt 入力: timer_callback_args_t * p_args :: 割り込みハンドラ引数ポインタ 出力: なし	ディレイタイマ割り込み ・通電パターンの設定
	mtr_carrier_voltage_get 入力: int16_t * p_s2_ad_vu :: U 相電圧へのポインタ int16_t * p_s2_ad_vv :: V 相電圧へのポインタ int16_t * p_s2_ad_vw :: W 相電圧へのポインタ int16_t * p_s2_ad_vn :: 仮想中間電圧へのポインタ 出力: なし	【センサレスモード】 電圧の取得
	mtr_detect_zerocross【inline function】 入力：st_mtr_sensorless_carrier_t * p_st_less :: センサレス制御変数用構造体ポインタ int16_t s2_ad_vn_offset :: 仮想中間電圧オフセット st_mtr_ol2cl_t * p_st_ol2cl :: センサレス切り替え処理構造体ポインタ uint32_t * p_u4_cnt_timeout :: タイムアウトカウンタへのポインタ int8_t s1_dir :: 回転方向 uint16_t u2_v_pattern :: 通電パターン 出力: uint8_t :: 誘起電圧信号	【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_less【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
	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
	mtr_start_delay_timer 【inline function】 入力: uint32_t u4_delay_count :: ディレイカウント 出力: なし	【センサレスモード】 ディレイタイマ開始
	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_hall_u_interrupt 入力: external_irq_callback_args_t * p_args :: 割り込みハンドラ引数ポインタ 出力: なし	【ホールセンサ使用モード】 ホールセンサ U 割込みハンドラ ・ホールセンサ割り込み時処理呼び出し ・ホールパターンから通電パターン設定 ・速度計算
	mtr_hall_v_interrupt 入力: external_irq_callback_args_t * p_args :: 割り込みハンドラ引数ポインタ 出力: なし	【ホールセンサ使用モード】 ホールセンサ V 割込みハンドラ ・ホールセンサ割り込み時処理呼び出し ・ホールパターンから通電パターン設定 ・速度計算

表 3-18 “rm_mtr_carrier.c” 関数一覧(3/3)

ファイル	関数	処理概要
rm_mtr_carrier.c	mtr_hall_w_interrupt 入力: external_irq_callback_args_t * p_args :: 割り込みハンドラ引数ポインタ 出力: なし	【ホールセンサ使用モード】 ホールセンサ W 割込みハンドラ ・ホールセンサ割り込み時処理呼び出し ・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	【ホールセンサ使用モード】 ホールパターンに基づく通電パターンの設定
	mtr_hall_signal_process 入力: なし 出力: なし	【ホールセンサ使用モード】 ホールセンサ割り込み時処理 ・ホールパターンから通電パターン設定 ・速度計算
	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 :: 通電パターン 出力: なし	チョッピングパターンの設定

表 3-19　“rm_mtr_ctrl_gain.o” 関数一覧

ファイル	関数	処理概要
rm_mtr_ctrl_gain.o	R_MTR_CtrlGainVoltageMode 入力: st_mtr_ctrl_gain_voltage_mode_t * p_st_gain_v_buf :: 電圧制御用ゲイン設計構造体ポインタ const st_mtr_design_parameter_t * p_st_ctrl_param :: 設計パラメータ構造体ポインタ 出力: なし	【電圧制御モード】 制御ゲイン設計処理
	R_MTR_CtrlGainCurrentMode 入力: st_mtr_ctrl_gain_current_mode_t * p_st_gain_i_buf :: 電流制御用ゲイン設計構造体ポインタ const st_mtr_design_parameter_t * p_st_ctrl_param :: 設計パラメータ構造体ポインタ 出力: なし	【電流制御モード】 制御ゲイン設計処理

表 3-20 “rm_mtr_120.c”関数一覧

ファイル	関数	処理概要
rm_mtr_120.c	R_MTR_120MotorDefaultInit 入力: st_mtr_120_control_t * p_st_120 :: 120 度通電制御メインデータ構造体ポインタ 出力:なし	制御変数の初期化
	R_MTR_120MotorReset 入力: st_mtr_120_control_t * p_st_120 :: 120 度通電制御メインデータ構造体ポインタ 出力:なし	制御変数のリセット

表 3-21 “rm_mtr_ol2cl_ctrl.c” 関数一覧

ファイル	関数	処理概要
rm_mtr_ol2cl_ctrl.c	R_MTR_OL2CLCtrl 入力: st_mtr_ol2cl_t * p_st_ol2cl :: センサレス切り替え処理構造体ポインタ int16_t *s2_v_uvwn_ad :: U 相電圧のポインタ int8_t s1_dir :: 回転方向 uint32_t u4_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 uint32_t u4_ol_pattern_period :: オープンループ転極周期時間 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: st_mtr_ol2cl_t * p_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 int16_t *s2_v_uvwn_ad :: U 相電圧のポインタ 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
	R_MTR_BemfSignalFilter 入力: st_mtr_ol2cl_t * p_st_ol2cl :: センサレス切り替え処理構造体ポインタ uint32_t u4_cnt_ol_speed :: オープンループ電圧転極カウンタ uint8_t * p_u1_pre_bemf_signal :: 仮想ホールパターン信号前回値ポインタ 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 int32_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 3-22 “rm_mtr_speed.c” 関数一覧(1/2)

ファイル	関数	処理概要
rm_mtr_speed.c	mtr_speed_cyclic 入力: timer_callback_args_t *p_args :: 割り込みハンドラ引数ポインタ 出力: なし	速度制御割り込みハンドラ 周期タイマ割り込み（GPT 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 ・モータ速度駆動制御の呼び出し ・電流オフセット測定準備の呼び出し ・引き込み時の通電パターン設定の呼び出し ・制御変数設定の呼び出し ・エラーチェック
	mtr_speed_drive_ctrl_less 入力: st_mtr_120_control_t * p_st_120 :: 制御変数用構造体ポインタ 出力: int8_t :: 制御ステータス	【センサレスモード】 モータ速度駆動制御
	mtr_speed_process_opl_ctrl_less 入力: st_mtr_120_control_t * p_st_120 :: 制御変数用構造体ポインタ uint8_t u1_state_ctrl_mode :: 制御ステータス 出力: int8_t :: 制御ステータス	【センサレスモード】 オープンループ時のモータ速度制御処理
	mtr_speed_process_cll_ctrl_less 入力: st_mtr_120_control_t * p_st_120 :: 制御変数用構造体ポインタ uint8_t u1_state_ctrl_mode :: 制御ステータス 出力: int8_t :: 制御ステータス	【センサレスモード】 クローズドループ時のモータ速度制御処理
	mtr_speed_drive_ctrl_hall 入力: st_mtr_120_control_t * p_st_120 :: 制御変数用構造体ポインタ 出力: int8_t :: 制御ステータス	【ホールセンサ使用モード】 モータ速度駆動制御
	mtr_speed_process_opl_ctrl_hall 入力: st_mtr_120_control_t * p_st_120 :: 制御変数用構造体ポインタ uint8_t u1_state_ctrl_mode :: 制御ステータス 出力: int8_t :: 制御ステータス	【ホールセンサ使用モード】 オープンループ時のモータ速度制御処理
	mtr_speed_process_cll_ctrl_hall 入力: st_mtr_120_control_t * p_st_120 :: 制御変数用構造体ポインタ uint8_t u1_state_ctrl_mode :: 制御ステータス 出力: int8_t :: 制御ステータス	【ホールセンサ使用モード】 クローズドループ時のモータ速度制御処理
	mtr_offset_calc_init 入力: なし 出力: なし	電流検出のオフセット演算を初期化
	mtr_set_speed_ref 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	指令速度の設定
	mtr_set_voltage_ref 入力: st_mtr_120_control_t * p_st_120 :: 制御変数用構造体ポインタ 出力：なし	【電圧制御モード】 指令電圧の設定
	mtr_set_current_ref 入力: st_mtr_120_control_t * p_st_120 :: 制御変数用構造体ポインタ 出力：なし	【電流制御モード】 指令電流の設定

表 3-23 “rm_mtr_speed.c” 関数一覧(2/2)

ファイル	関数	処理概要
rm_mtr_speed.c	mtr_pi_run_asr 入力: st_mtr_pi_t * p_st_pi :: PI 制御構造体ポインタ int32_t s4_err :: 偏差 const uint8_t u1_kp_q :: 比例ゲイン Q 値 const uint8_t u1_q_err_shift :: 偏差のシフト値 const uint8_t u1_q_kidt_shift :: 積分ゲイン Q 値 const uint8_t u1_q_intg_shift :: 整数部のシフト値 出力：int32_t :: PI 出力	速度 PI 制御処理
	mtr_duty_calc 【inline function】 入力: int32_t s4_ref_v :: 指令電圧 int16_t s2_ad_vdc_bit :: VDC の AD 変換値 出力: int16_t :: デューティ値	デューティ値の算出
	mtr_abs 【inline function】 入力: int32_t s4_value :: 入力値 出力: int32_t :: 出力値	入力の絶対値を出力
	mtr_limit 【inline function】 入力: int32_t s4_value :: 入力値 int32_t s4_max :: 上限値 int32_t s4_min :: 下限値 出力: int32_t :: 出力値	【ホールセンサ使用モード】【電圧制御モード】 入力を制限
	mtr_limit_abs 【inline function】 入力: int32_t s4_value :: 入力値 int32_t s4_limit_value :: 制限値 出力: int32_t :: 出力値	入力の絶対値を制限
	mtr_error_check 入力: st_mtr_foc_carrier_t *p_st_carrier :: 速度制御構造体ポインタ 出力: なし	エラー処理 ・過電圧検出 ・低電圧検出 ・過速度検出 ・タイムアウト検出 ・パターンエラー検出
	mtr_hall_signal_set 【inline function】 入力: なし 出力: なし	【ホールセンサ使用モード】 ホールパターンに基づく通電パターンの設定
	mtr_set_chopping_pattern【inline function】 入力: uint16_t u2_pattern :: 通電パターン 出力: なし	チョッピングパターンの設定
	mtr_draw_in_pattern_set 入力: uint8_t u1_state_ctrl_mode :: 制御ステータス int8_t s1_dir :: 回転方向 出力: なし	【センサレスモード】 引き込み時の通電パターンの設定
	mtr_start_delay_timer 【inline function】 入力: uint32_t u4_delay_count :: ディレイカウント 出力: なし	【センサレスモード】 ディレイタイマ開始
	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

表 3-24　“rm_mtr_driver.c” 関数一覧(1/2)

ファイル	関数	処理概要
rm_mtr_driver.c	RM_MTR_ControlInit 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
	RM_MTR_EventExec 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
	RM_MTR_CapacitorCharge 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
	RM_MTR_StatusGet 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
	RM_MTR_StatusErrorGet 入力:なし 出力: uint16_t :: エラーステータス	エラーステータス取得
	RM_MTR_IcsBufferSet 入力:なし 出力:なし	ICS 変数の値を ICS バッファ変数へ入力
	RM_MTR_VariablesSet 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
	RM_MTR_InputBuffParamReset 入力:なし 出力:なし	ICS バッファ変数のリセット
	RM_MTR_UpdatePollingSet 入力:なし 出力:なし	制御変数の設定
	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_statemacine_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:uint8_t :: エラーステータス	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 :: 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 * p_state_machine :: モータステータス構造体 　void * p_param :: 制御変数用構造体 出力: uint8_t 実行結果(常に 0)	処理なし
	mtr_act_init 入力: st_mtr_statemachine_t * p_state_machine :: モータステータス構造体 　void * p_param :: 制御変数用構造体 出力: uint8_t :: 実行結果(常に 0)	制御変数の初期化
	mtr_act_error 入力: st_mtr_statemachine_t * p_state_machine :: モータステータス構造体 void *p_param :: 制御変数用構造体 出力: uint8_t 実行結果(常に 0)	エラー検出時の後処理

表 3-25　“rm_mtr_driver.c” 関数一覧(2/2)

ファイル	関数	処理概要
rm_mtr_driver.c	mtr_act_drive 入力: st_mtr_statemachine_t * p_state_machine :: モータステータス構造体 　void *p_param :: 制御変数用構造体 出力: uint8_t :: 実行結果(常に 0)	モータの駆動開始
	mtr_act_stop 入力: st_mtr_statemachine_t * p_state_machine :: モータステータス構造体 　void * p_param :: 制御変数用構造体 出力: uint8_t action_ret :: 実行結果(常に 0)	モータの停止

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、未使用の変数・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 3-26　“mtr_main.c” 変数一覧

変数	型	Qn	PU	内容	備考
g_u2_conf_hw	uint16_t	Q0	-	RMW configuration 用変数	
g_u2_conf_sw	uint16_t	Q0	-	RMW configuration 用変数	
g_u2_conf_tool	uint16_t	Q0	-	RMW configuration 用変数	
gui_u1_active_gui	uint8_t	Q0	-	RMW configuration 用変数	
g_u2_conf_sw_ver	uint16_t	Q0	-	RMW configuration 用変数	
com_u1_run_event	uint8_t	Q0	-	ランモード遷移用変数	
g_u1_run_event	uint8_t	Q0	-	ランモード遷移用変数	
g_u1_conf_motor_type_len	uint8_t	Q0	-	モータタイプ文字列の長さ	
g_u1_conf_control_len	uint8_t	Q0	-	コントロール文字列の長さ	
g_u1_conf_inverter_len	uint8_t	Q0	-	インバータ文字列の長さ	
g_u1_conf_motor_type[CONF_MOTOR_TYPE_LEN]	uint8_t	Q0	-	モータタイプ文字列	
g_u1_conf_control[CONF_CONTROL_LEN]	uint8_t	Q0	-	コントロール文字列	
g_u1_conf_inverter[CONF_INVERTER_LEN]	uint8_t	Q0	-	インバータ文字列	

表 3-27　“r_mtr_ics.c” 変数一覧

変数	型	Qn	PU	内容	備考
st_ics	st_mtr_ctrl_input_t	-	-	ICS 変数受け渡し構造体	
g_st_com_init	const st_com_t	-	-	COM 変数構造体の初期値	
g_st_com	st_com_t	-	-	COM 変数構造体	
g_st_design_param_macro	const st_mtr_design_parameter_macro_t	-	-	制御パラメータ構造体の初期値	
g_s2_enable_write	int16_t	Q0	-	変数書き換え許可	

表 3-28　“rm_mtr_pin_data.c” 変数一覧

変数	型	Qn	PU	内容	備考
g_user_pin_cfg_data[]	const ioport_pin_cfg_t	-	-	端子コンフィグ情報	
g_user_pin_ctrl	ioport_instance_ctrl_t	-	-	端子情報	
g_user_pin_cfg	const ioport_cfg_t	-	-	端子コンフィグ情報	

表 3-29　“rm_mtr_120.c” 変数一覧

変数	型	Qn	PU	内容	備考
g_u1_cnt_ics	volatile uint8_t	Q0	-	ICS 転送関数用カウンタ	

表 3-30　“rm_mtr_driver.c” 変数一覧

変数	型	Qn	PU	内容	備考
g_u1_trig_enable_write	uint8_t	Q0	-	受け渡し完了フラグ	
g_st_ctrl_params	st_mtr_design_parameter_t	-	-	コントロールパラメータ構造体	
g_st_gain_v_buf	st_mtr_ctrl_gain_voltage_mode_t	-	-	入力ゲインデータ構造体	【電圧制御モード】
g_st_gain_i_buf	st_mtr_ctrl_gain_current_mode_t	-	-	入力ゲインデータ構造体	【電流制御モード】

表 3-31　“rm_mtr_carrer.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	
g_u2_ol_v_pattern_table_CW[7]	const 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]	const 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]	const uint16_t	Q0	-	チョッピングパターン配列(CW)	【非相補モード】
g_u2_chopping_pattern_table_CCW[6]	const uint16_t	Q0	-	チョッピングパターン配列(CCW)	【非相補モード】
g_u2_chopping_pattern_table_CW[6]	const uint16_t	Q0	-	チョッピングパターン配列(CW)	【相補モード】
g_u2_chopping_pattern_table_CCW[6]	const uint16_t	Q0	-	チョッピングパターン配列(CCW)	【相補モード】
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 3-32　“rm_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	
s4_mtr_r	int32_t	Q31	抵抗(電圧/電流)	抵抗 [PU]	
s4_mtr_ld	int32_t	Q32	インダクタンス(抵抗/角周波数)	d 軸インダクタンス [PU]	
s4_mtr_lq	int32_t	Q32	インダクタンス(抵抗/角周波数)	q 軸インダクタンス [PU]	
s4_mtr_ke	int32_t	Q30	誘起電圧定数(電圧/角周波数)	誘起電圧定数 [PU]	
s4_mtr_j	int32_t	Q25	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 3-33　“rm_mtr_ctrl_gain.h / 構造体：”st_mtr_design_parameter_macro_t” 変数一覧

変数	型	Qn	PU	内容	備考
f4_dt	float	-	-	電流制御周期	
f4_dt_speed	float	-	-	速度制御周期	
f4_pu_sf_afreq	float	-	-	周波数のスケールファクタ	
f4_speed_limit_rpm	float	-	-	速度超過閾値[rpm]	
u1_q_current	uint8_t	Q0	-	電流の Q 値	
u1_q_voltage	uint8_t	Q0	-	電圧の Q 値	
u1_q_asr_kp	uint8_t	Q0	-	速度 PI 比例ゲインの Q 値	
u1_q_asr_kidt	uint8_t	Q0	-	速度 PI 積分ゲイン＊制御周期の Q 値	
u1_q_asr_err	uint8_t	Q0	-	速度 PI 入力値の Q 値	
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_err	uint8_t	Q0	-	電流 PI 入力値の Q 値	

表 3-34　“rm_mtr_ctrl_gain.h / 構造体：”st_mtr_design_parameter_com_t” 変数一覧

変数	型	Qn	PU	内容	備考
f4_speed_omega	float	-	-	PI ゲイン設計周波数 [Hz]	
f4_asr_zeta	float	-	-	PI ゲイン設計ダンピングファクタ	
f4_acr_nf_hz	float	-	-	電流 PI 制御固有周波数 [Hz]	
f4_asr_nf_hz	float	-	-	速度 PI 制御固有周波数 [Hz]	
f4_asr_ki_aug	float	-	-	速度 PI 制御積分器増幅率	

表 3-35　“rm_mtr_ctrl_gain.h / 構造体：”st_mtr_design_parameter_t” 変数一覧

変数	型	Qn	PU	内容	備考
st_macro	st_mtr_design_parameter_macro_t	-	-	制御パラメータ構造体	
st_com	st_mtr_design_parameter_com_t	-	-	COM 変数構造体	
u2_mtr_pp	uint16_t	Q0	-	極対数	
f4_r	float	-	-	抵抗 [Ω]	
f4_ld	float	-	-	d 軸インダクタンス [H/rad]	
f4_lq	float	-	-	q 軸インダクタンス [H/rad]	
f4_ke	float	-	-	誘起電圧定数 [V･s/rad]	
f4_j	float	-	-	イナーシャ [kgm^2/rad^2]	
f4_d0_div_pm	float	-	-	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	-	-	動摩擦係数/(極対数^2×誘起電圧定数) [kg･m^2/(rad^2･s)]	

表 3-36　“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
s4_asr_kp	int32_t	【ホールセンサ使用モード】 Q31 【センサレスモード】 Q32	電圧/角周波数	速度比例ゲイン	
s4_asr_kidt	int32_t	【ホールセンサ使用モード】 Q35 【センサレスモード】 Q35	電圧/角周波数	速度積分ゲイン	
s4_asr_max_intg	int32_t	【ホールセンサ使用モード】 Q26 【センサレスモード】 Q26	角周波数	積分上限	
s4_lim_asr_err	int32_t	【ホールセンサ使用モード】 Q26 【センサレスモード】 Q26	角周波数	速度 PI 制御最大誤差制限	

表 3-37　“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
s4_asr_kp	int32_t	【ホールセンサ使用モード】 Q30 【センサレスモード】 Q29	電流/角周波数	速度比例ゲイン	
s4_asr_kidt	int32_t	【ホールセンサ使用モード】 Q38 【センサレスモード】 Q38	電流/角周波数	速度積分ゲイン	
s4_asr_max_intg	int32_t	【ホールセンサ使用モード】 Q22 【センサレスモード】 Q22	角周波数	積分上限	
s4_acr_kp	int32_t	【ホールセンサ使用モード】 Q32 【センサレスモード】 Q32	抵抗	DC リンク電流比例ゲイン	
s4_acr_kidt	int32_t	【ホールセンサ使用モード】 Q37 【センサレスモード】 Q37	抵抗	DC リンク電流積分ゲイン	
s4_acr_max_intg	int32_t	【ホールセンサ使用モード】 Q24 【センサレスモード】 Q23	電流	積分上限	
s4_d0_div_pm	int32_t	Q28	-	静止摩擦係数/(極対数×誘起電圧定数)	
s4_d1_div_p2m	int32_t	Q37	-	動摩擦係数/(極対数^2×誘起電圧定数)	
s4_lim_asr_err	int32_t	【ホールセンサ使用モード】 Q22 【センサレスモード】 Q22	角周波数	速度 PI 制御最大誤差制限	

表 3-38　“rm_mtr_driver.h / 構造体：”st_mtr_ctrl_input_t” 変数一覧

変数	型	Qn	PU	内容	備考
s1_ref_direction	int8_t	Q0	-	回転方向指令値	
s4_ref_speed	int32_t	Q28	角周波数	指令速度 [PU]	電気角
s4_lim_accel	int32_t	Q28	角周波数	加速度制限値 [PU]	電気角
u2_cnt_offset_calc	uint16_t	Q0	-	オフセット検出時間	
s4_ref_lim_v	int32_t	Q28	電圧	電圧下限指令値 [PU]	
s4_ramp_lim_v	int32_t	Q28	電圧	電圧変化幅制限値 [PU]	【電圧制御モード】
s4_lim_current	int32_t	Q28	電流	電流の上昇制限値[PU/ms]	【電流制御モード】
s4_ref_v_start	int32_t	Q28	電圧	始動電圧 [PU]	【ホールセンサ使用モード】 【電圧制御モード】
s4_ref_idc_start	int32_t	Q28	電流	始動電流 [PU]	【ホールセンサ使用モード】 【電流制御モード】
s4_draw_in_ref_v	int32_t	Q28	電圧	引き込み指令電圧 [PU]	【センサレスモード】 【電圧制御モード】
s4_ol_ref_v_buff	int32_t	Q28	電圧	オープンループ指令電圧 [PU]	【センサレスモード】 【電圧制御モード】
s4_draw_in_ref_idc	int32_t	Q28	電流	引き込み指令電流 [PU]	【センサレスモード】 【電流制御モード】
s4_ol_ref_idc_buff	int32_t	Q28	電流	オープンループ指令電流 [PU]	【センサレスモード】 【電流制御モード】
s4_th_speed_ol2cl	int32_t	Q28	角周波数	オープンループからセンサレスへの切り替え速度[PU]	【センサレスモード】
s4_ol2cl_ramp_speed	int32_t	Q28	角周波数	センサレスへの切り替え加速度制限値 [PU]	【センサレスモード】
s4_th_speed_cl2ol	int32_t	Q28	角周波数	センサレスからオープンループへの切り替え速度 [PU]	【センサレスモード】
s4_angle_shift_adjust	int32_t	Q0	-	ディレイタイマカウント調整値	【センサレスモード】
st_motor	st_mtr_parameter_t	-	-	モータパラメータ構造体	

表 3-39　“rm_mtr_statemachine.h / 構造体：” st_mtr_statemachine_t” 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	
u2_status_error	uint16_t	Q0	-	エラーステータス	
u2_crnt_event	uint8_t	Q0	-	実行イベント	

表 3-40 “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_flg_change	uint8_t	-	-	クローズドループ制御遷移許可フラグ	【センサレスモード】
u1_flg_change_speed	uint8_t	-	-	遷移最低速度超過フラグ	【センサレスモード】
u1_flg_zc	uint8_t	-	-	ゼロクロス検出フラグ	【センサレスモード】
u1_rotor_pos	uint8_t	-	-	ロータ位置の位相	【センサレスモード】
u2_zc_cnt	uint16_t	-	-	ゼロクロス回数カウント	【センサレスモード】
s4_change_speed	int32_t	Q28	角周波数	クローズドループ制御遷移最低速度	【センサレスモード】
s4_ref_speed_buff	int32_t	Q28	角周波数	指令速度バッファ	【センサレスモード】
s4_ramp_speed	int32_t	Q28	角周波数	クローズドループ制御遷移時加速度	【センサレスモード】

表 3-41　“rm_mtr_120.h / 構造体：” st_mtr_pi_t” 変数一覧

変数	型	Qn	PU	内容	備考
s4_kp	int32_t	【ホールセンサ使用モード】 速度：Q30 電流：Q32 電圧：Q31 【センサレスモード】 速度：Q29 電流：Q32 電圧：Q32	速度：電流/角周波数 電流：抵抗 電圧：電圧/角周波数	比例ゲイン	
s4_kidt	int32_t	【ホールセンサ使用モード】 速度：Q38 電流：Q37 電圧：Q35 【センサレスモード】 速度：Q38 電流：Q37 電圧：Q35	速度：電流/角周波数 電流：抵抗 電圧：電圧/角周波数	積分ゲイン×制御周期	
s4_max_intg	int32_t	【ホールセンサ使用モード】 速度：Q22 電流：Q24 電圧：Q26 【センサレスモード】 速度：Q22 電流：Q23 電圧：Q26	速度：角周波数 電流：電流 電圧：角周波数	積分上限	
s4_min_intg	int32_t	【ホールセンサ使用モード】 速度：Q22 電流：Q24 電圧：Q26 【センサレスモード】 速度：Q22 電流：Q23 電圧：Q26	速度：角周波数 電流：電流 電圧：角周波数	積分下限	
s4_decimal	int32_t	【ホールセンサ使用モード】 速度：Q22 電流：Q24 電圧：Q26 【センサレスモード】 速度：Q22 電流：Q23 電圧：Q26	速度：角周波数 電流：電流 電圧：角周波数	小数部の格納値	

表 3-42　“rm_mtr_120.h / 構造体：” st_mtr_voltage_asr_t” 変数一覧【電圧制御モード】

変数	型	Qn	PU	内容	備考
s4_pre_speed	int32_t	Q28	角周波数	速度前回値	
st_pi	st_mtr_pi_t	-	-	速度 PI 構造体	
s4_lim_asr_err	int32_t	Q28	角周波数	速度 PI 制御最大誤差制限 [PU(rad/s)]	

表 3-43　“rm_mtr_120.h / 構造体：”st_mtr_acr_t” 変数一覧【電流制御モード】

変数	型	Qn	PU	内容	備考
s4_lim_idc	int32_t	Q28	電流	DC リンク電流制限値	
s4_lim_ramp_current	int32_t	Q28	電流	電流の上昇制限値[PU/ms]	
st_pi	st_mtr_pi_t	-	-	DC リンク電流 PI 構造体	

表 3-44　“rm_mtr_120.h / 構造体：” st_mtr_current_asr_t” 変数一覧【電流制御モード】

変数	型	Qn	PU	内容	備考
s4_coef_d0_div_pm	int32_t	Q28	-	静止摩擦係数/(極対数×誘起電圧定数)	
s4_coef_d1_div_p2m	int32_t	Q37	-	動摩擦係数/(極対数^2×誘起電圧定数)	
st_pi	st_mtr_pi_t	-	-	速度 PI 構造体	
s4_lim_asr_err	int32_t	Q28	角周波数	速度 PI 制御最大誤差制限	

表 3-45　“rm_mtr_120.h / 構造体：” st_mtr_hall_speed” 変数一覧【ホールセンサ使用モード】

変数	型	Qn	PU	内容	備考
u2_hall_signal	uint16_t	-	-	ホール信号値	
u1_flag_1st_interrupt	uint8_t	-	-	第一回目のホール割込み用フラグ	
s4_ref_v_start	int32_t	Q28	電圧	始動電圧[V]	【電圧制御モード】
s4_ref_idc_start	int32_t	Q28	電流	始動電流[A]	【電流制御モード】

表 3-46　“rm_mtr_120.h / 構造体：”st_mtr_sensorless_control_t” 変数一覧

変数	型	Qn	PU	内容	備考
s2_ad_vn_offset	int16_t	Q0	-	仮想中間電圧オフセット	
s4_angle_shift_adjust	int32_t	Q0	-	仮想ホールパターン遅延量調整値	
st_ol2cl	st_mtr_ol2cl_t	-	-	センサレス制御遷移構造体	

表 3-47　“rm_mtr_120.h / 構造体：”st_mtr_sensorless_carrier_t” 変数一覧【センサレスモード】

変数	型	Qn	PU	内容	備考
u1_flg_pattern_change	uint8_t	Q0	-	ゼロクロス検出フラグ	
u1_bemf_signal	uint8_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_flg_pattern_change_ol	uint8_t	Q0	-	オープンループ電圧転極フラグ	
u4_speed_cnt_ol	uint32_t	Q0	-	オープンループ電圧転極カウンタ	
u4_pattern_period_ol	uint32_t	Q0	-	オープンループ転極周期時間	
u2_v_pattern_ol	uint16_t	Q0	-	オープンループ通電パターン	
u2_v_pattern_num_ol	uint16_t	Q0	-	オープンループ通電パターン用リングバッファ	
u4_bemf_delay	uint32_t	Q0	-	ゼロクロスからの転極遅延値	
u4_zerocross_filter_cnt	uint32_t	Q0	-	ゼロクロスフィルタカウント値	
s2_ad_vu	int16_t	Q0	-	U 相電圧	
s2_ad_vv	int16_t	Q0	-	V 相電圧	
s2_ad_vw	int16_t	Q0	-	W 相電圧	
s2_ad_vn	int16_t	Q0	-	仮想中点電圧	
s2_ad_vn_ctrl	int16_t	Q0	-	仮想中点電圧（制御用）	

表 3-48　“rm_mtr_120.h / 構造体：”st_mtr_sensorless_speed_t” 変数一覧【センサレスモード】

変数	型	Qn	PU	内容	備考
u4_cnt_draw_in	uint32_t	Q0	-	引き込み時間のカウント回数	
s4_lim_ramp_v_ol	int32_t	Q28	電圧	電圧下限値変化幅	
s4_speed_cl2ol_th	int32_t	Q28	角周波数	クローズドループからオープンループへの切り替え速度	
u4_v_const_period	uint32_t	Q0	-	引き込み時電圧一定時間	
s4_ref_v_draw_in	int32_t	Q28	電圧	引き込み指令電圧	
s4_ref_v_ol	int32_t	Q28	電圧	オープンループ電圧	
s4_ref_v_buff_ol	int32_t	Q28	電圧	オープンループ電圧バッファ	
u4_idc_const_period	uint32_t	Q0	-	引き込み時電流一定時間	
s4_ref_idc_draw_in	int32_t	Q28	電流	引き込み指令電流	
s4_ref_idc_ol	int32_t	Q28	電流	オープンループ指令電流	
s4_ref_idc_buff_ol	int32_t	Q28	電流	オープンループ指令電流バッファ	

表 3-49　“rm_mtr_120.h / 構造体：”st_mtr_120_carrier_t” 変数一覧

変数	型	Qn	PU	内容	備考
s4_ad_idc	int32_t	Q28	電流	DC リンク電流	
s2_ad_vdc_bit	int16_t	Q0	-	電源電圧の A/D 変換値	
s2_ad_idc_bit	int16_t	Q0	-	DC リンク電流の A/D 変換値	
u4_ad_offset_idc_sum	uint32_t	Q0	-	DC リンク電流オフセット値積算値	
u4_ad_offset_idc	uint32_t	Q0	-	DC リンク電流オフセット値	
u4_offset_calc_cnt	uint32_t	Q0	-	DC リンク電流オフセット測定回数	
u4_offset_sample_cnt	uint32_t	Q0	-	DC リンク電流オフセット測定サンプル数	
s4_lim_over_current	int32_t	Q28	電流	過電流リミット値	【センサレスモード】
st_less_carrier	st_mtr_sensorless_carrier_t	-	-	センサレスキャリア制御構造体	
st_motor	st_mtr_parameter_t	-	-	モータパラメータ構造体	

表 3-50　“rm_mtr_120.h / 構造体：”st_mtr_120_speed_t” 変数一覧

変数	型	Qn	PU	内容	備考
s4_ref_speed	int32_t	Q28	角周波数	指令速度	
s4_lim_speed	int32_t	Q28	角周波数	制限速度	
s4_ramp_lim_speed	int32_t	Q28	角周波数	加速度制限値	
s4_ref_v	int32_t	Q28	電圧	指令速度電圧	【電圧制御モード】
s4_ramp_lim_v	int32_t	Q28	電圧	電圧変化幅制限値	【電圧制御モード】
st_voltage_asr	st_mtr_voltage_asr_t	-	-	電圧制御 ASR 構造体	【電圧制御モード】
s4_ref_idc	int32_t	-	電流	DC リンク電流指令値	【電流制御モード】
st_current_asr	st_mtr_current_asr_t	-	-	電流制御 ASR 構造体	【電流制御モード】
st_less_speed	st_mtr_sensorless_speed_t	-	-	速度制御センサレス構造体	【電流制御モード】
st_hall_speed	st_mtr_hall_speed_t	-	-	速度制御ホールセンサ構造体	【センサレスモード】
st_stm	st_mtr_statemachine_t	-	-	ステートマシン構造体	【ホールセンサ使用モード】

表 3-51　“rm_mtr_120.h / 構造体：”st_mtr_120_control_t” 変数一覧(1/3)

変数	型	Qn	PU	内容	備考
u1_state_drive	uint8_t	Q0	-	ドライブモードのステータス	0x00：駆動停止 0x01：駆動停止処理中 0x81：モータ駆動中 0x82：PWM 出力初期化 0x83：PWM 出力開始 0x84：オフセット除去処理完了
u1_state_ctrl_mode	uint8_t	Q0	-	制御ステータス	0x00：制御停止 0x01：引き込み制御 0x02：強制同期制御 0x05：オープンループ速度制御 0x81：クローズドループ速度制御
s1_ref_dir	int8_t	Q0	-	指令回転方向	1：CW -1：CCW
s1_dir	int8_t	Q0	-	現在の回転方向	1：CW -1：CCW
u1_flg_charge_cap	uint8_t	Q0	-	母線電圧チャージ完了フラグ	0：未到達 1：到達

表 3-52　“rm_mtr_120.h / 構造体：”st_mtr_120_control_t” 変数一覧(2/3)

変数	型	Qn	PU	内容	備考
u1_flg_offset_end	uint8_t	Q0	-	オフセット演算完了フラグ	
u1_flg_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	
u1_state_ref_speed	uint8_t	Q0	-	速度指令値生成ステータス	0：速度 0 1：速度変化
u4_speed_timer_cnt	uint32_t	-	-	速度計算用カウンタ	
u4_pre_speed_timer_cnt	uint32_t	-	-	速度計算用カウンタ前回値	
u4_timer_cnt_buff[6]	uint32_t	-	-	速度計算用カウンタバッファ	
u4_timer_cnt_sum	uint32_t	-	-	速度計算用カウンタ合計値	
u2_v_pattern	uint16_t	-	-	電圧パターン	
u2_pwm_duty	uint16_t	-	-	デューティ値(PWM レジスタ設定値)	
u4_cnt_timeout	uint32_t	-	-	タイムアウトカウンタ	
s4_speed	int32_t	Q28	角周波数	速度検出推定値	
s4_ref_speed_ctrl	int32_t	Q28	角周波数	指令速度制御値	
s4_ad_vdc	int32_t	Q28	電圧	電源電圧	
u2_error_status	uint16_t	Q0	-	エラーステータス	0x0000：エラーなし 0x0001：過電流エラー(H/W) 0x0002：過電圧エラー 0x0004：回転速度エラー 0x0008：ホールタイムアウトエラー 0x0010：誘起電圧タイムアウトエラー 0x0020：ホールパターンエラー 0x0040：誘起電圧パターンエラー 0x0080：低電圧エラー 0x0100：過電流エラー(S/W) 0x0400：コンデンサ充電タイムアウトエラー 0xFFFF：未定義エラー
s4_lim_v	int32_t	Q28	電圧	電圧下限値	
s4_ref_lim_v	int32_t	Q28	電圧	電圧下限指令値	
s4_ref_v_ctrl	int32_t	Q28	電圧	指令電圧制御値	
u2_state_ref_voltage	uint16_t	-	-	指令電圧ステータス	【電圧制御モード】 0：電圧/電流 0 1：電圧/電流 直接制御 2：速度 PI 出力
u2_state_ref_current	uint16_t	-	-	指令電流ステータス	【電流制御モード】 0：電圧/電流 0 1：電圧/電流 直接制御 2：速度 PI 出力
s4_ref_idc_ctrl	int32_t	Q28	電流	DC リンク電流指令制御値	【電流制御モード】

表 3-53　“rm_mtr_120.h / 構造体：” st_mtr_120_control_t” 変数一覧(3/3)

変数	型	Qn	PU	内容	備考
st_acr	st_mtr_acr_t	-	-	ACR 構造体	
st_carrier	st_mtr_foc_carrier_t	-	-	キャリア周期制御構造体	
st_speed	st_mtr_foc_speed_t	-	-	速度制御構造体	
st_less_control	st_mtr_sensorless_control_t	-	-	センサレス制御構造体	

表 3-54　“rm_mtr_ics.h / 構造体：” st_com_t” 変数一覧

変数	型	Qn	PU	内容	備考
st_com	st_mtr_design_parameter_com_t	-	-	COM 変数構造体	
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_ke	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_ref_lim_v	float	-	-	電圧下限指令値[V]	
com_f4_ramp_limit_speed_rpm	float	-	-	加速度制限値 [rpm/ms]	機械角
com_f4_ref_speed_rpm	float	-	-	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_lim_v	float	-	-	電圧変化幅制限値 [V/ms]	【電圧制御モード】
com_f4_ramp_lim_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 [kgm^2/(rad･s^2)]	【電流制御モード】
com_f4_mtr_d1	float	-	-	静止摩擦係数 [kgm^2/(rad^2･s)]	【電流制御モード】
com_f4_ref_v_start	float	-	-	始動電圧[V]	【ホールセンサ使用モード】 【電圧制御モード】
com_f4_ref_idc_start	float	-	-	始動電流[A]	【ホールセンサ使用モード】 【電流制御モード】
com_f4_ref_v_draw_in	float	-	-	引き込み指令電圧[V]	【センサレスモード】 【電圧制御モード】
com_f4_ref_v_ol	float	-	-	オープンループ指令電圧[V]	【センサレスモード】 【電圧制御モード】
com_f4_ref_idc_draw_in	float	-	-	引き込み指令電流[A]	【センサレスモード】 【電流制御モード】
com_f4_ref_idc_ol	float	-	-	オープンループ指令電流[A]	【センサレスモード】 【電流制御モード】
com_f4_ol2cl_speed_rpm	float	-	-	オープンループからセンサレスへの切り替え速度[rpm]	【センサレスモード】 機械角
com_f4_ol2cl_ramp_speed_rpm	float	-	-	センサレスへの切り替え加速度制限値[rpm]	【センサレスモード】
com_s4_angle_shift_adjust	uint32_t	Q0	-	ディレイタイマカウント調整値	【センサレスモード】
com_s2_enable_write	int16_t	Q0	-	変数書き換え許可	

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。ただし、未使用のマクロは記載していません。

表 3-55　“r_mtr_config.h” マクロ定義一覧

マクロ	定義値	内容	備考
IP_MCK	-	インバータボードの選択	
MP_R42BLD30L3_24V	-	モータパラメータの選択	
CP_R42BLD30L3_24V	-	制御パラメータの選択	
SENSORLESS_CURRENT	0	センサレスモード・電流制御モード	
SENSORLESS_VOLTAGE	1	センサレスモード・電圧制御モード	
HALL_CURRENT	2	ホールセンサ使用モード・電流制御モード	
HALL_VOLTAGE	3	ホールセンサ使用モード・電圧制御モード	
MTRCONF_MODE	SENSORLESS_CURRENT SENSORLESS_VOLTAGE HALL_CURRENT HALL_VOLTAGE	動作モードの選択	デフォルト設定 SENSORLESS_ CURRENT
NON_COMPLEMENTARY	0	非相補モード	
COMPLEMENTARY	1	相補モード	
MTRCONF_PWM_MODE	NON_COMPLEMENTARY COMPLEMENTARY	相補・非相補モードの選択	デフォルト設定 COMPLEMENT ARY
PS_DRAW_IN	3	引き込み	
PS_METHOD	PS_DRAW_IN	始動準備方式	デフォルト設定 PS_DRAW_IN
HALL	0	ホールセンサ使用モード	
LESS	1	センサレスモード	
VOLTAGE	0	電流制御モード	
CURRENT	1	電圧制御モード	
MTRCONF_SENSOR_MODE	HALL LESS	ホールセンサ使用の選択	デフォルト設定 LESS
MTRCONF_CONTROL_MODE	VOLTAGE CURERNT	制御方式の選択	デフォルト設定 CURRENT

表 3-56 “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	4	極対数	
MP_RESISTANCE	1.32f	抵抗 [Ω]	
MP_D_INDUCTANCE	0.0021f	d 軸インダクタンス [H/rad]	
MP_Q_INDUCTANCE	0.0021f	q 軸インダクタンス [H/rad]	
MP_BEMF_CONSTANT	0.0115f	誘起電圧定数 [V･s/rad]	
MP_ROTOR_INERTIA	0.0000032f	イナーシャ [kg･m^2/(rad^2)]	
MP_FRICTION_0TH_ORDER	0.003583013f	静止摩擦係数 [kg･m^2/(rad･s^2)]	
MP_FRICTION_1ST_ORDER	0.000001850949f	動摩擦係数 [kg･m^2/(rad^2･s)]	
MP_RATED_CURRENT	1.13f	定格電流 [A]	
MP_RATED_SPEED	4000	定格速度 [rpm]	
STAR	0	スター結線	
DELTA	1	デルタ結線	
MP_MOTOR_WIRE_CONNECTION	STAR DELTA	モータの結線方式の選択	デフォルト設定 STAR

表 3-57　“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	16.5	電流範囲 [A]	
IP_VDC_RANGE	73.51276f	電圧スケーリングレンジ [V]	
IP_INPUT_V	24	入力電圧 [V]	
IP_CURRENT_LIMIT	4	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	8	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	20	電流アンプゲイン	
IP_BSC_CHARGE_CNT	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 3-58　“r_mtr_control_parameter.h” マクロ定義一覧(1/2)

マクロ	定義値	内容	備考
CP_PWM_TIMER_FREQ	32.0f	PWM タイマ周波数 [MHz]	
CP_TRG_TIMER_FREQ	32.0f	1[ms]周期タイマ周波数 [MHz]	
CP_CARRIER_FREQ	20.0f	PWM キャリア周波数 [kHz]	
CP_SPEED_CALC_TIMER_FREQ	32000.0f	回転速度測定タイマ周波数 [kHz]	
CP_SPEED_CTRL_PERIOD	0.001f	速度制御周期 [sec]	
CP_AD_TRG_DEFAULT_CNT	32.0f	A/D 変換トリガカウント初期値	
CP_MAX_SPEED_RPM	2900	速度指令最大値 [rpm]	機械角
CP_SPEED_LIMIT_RPM	3262.5f	回転速度リミット値 [rpm]	機械角
CP_OC_LIMIT	3.955f	過電流リミット値 [A]	
CP_OFFSET_CALC_CNT	512	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_HALL2OL_REV_SPEED_RPM	500	加速度リミット値 [rpm/ms]	【ホールセンサ使用モード】機械角
CP_MIN_SPEED_RPM	100【ホールセンサ使用・電流制御モード】 200【ホールセンサ使用・電圧制御モード】 300【センサレスモード】	速度指令最小値 [rpm]	機械角
CP_LIMIT_V	0.29f【ホールセンサ使用・電流制御モード】 1.0f【ホールセンサ使用・電圧制御モード】 1.2f【センサレス・電流制御モード】 1.56f【センサレス・電圧制御モード】	電圧下限値 [V]	
CP_RAMP_LIMIT_SPEED_RPM_HALL	9.306984f【電流制御モード】 9.306984f【電圧制御モード】	加速度リミット値 [rpm/ms]	【ホールセンサ使用モード】機械角
CP_ACR_NF_HZ	500【ホールセンサ使用モード】 300【センサレスモード】	電流 PI 制御固有周波数 [Hz]	【電流制御モード】
CP_ASR_NF_HZ	9.99f【ホールセンサ使用モード】 10.67f【センサレスモード】	速度 PI 制御固有周波数 [Hz]	【電流制御モード】

表 3-59　“r_mtr_control_parameter.h” マクロ定義一覧(2/2)

マクロ	定義値	内容	備考
CP_ASR_KI_AUG	8【ホールセンサ使用モード】 8【センサレスモード】	速度 PI 制御積分器増幅率	【電流制御モード】
CP_RAMP_LIMIT_CURRENT	0.043821f【ホールセンサ使用モード】 0.043821f【センサレスモード】	電流の上昇制限値 [A/ms]	【電流制御モード】 機械角
CP_START_REF_IDC	0.05f	始動電流 [A]	【ホールセンサ使用モード】 【電流制御モード】
CP_ASR_OMEGA_HZ	20【ホールセンサ使用モード】 20【センサレスモード】	PI ゲイン設計周波数 [Hz]	【電圧制御モード】
CP_ASR_ZETA	0.5f【ホールセンサ使用モード】 0.4f【センサレスモード】	PI ゲイン設計ダンピングファクタ	【電圧制御モード】
CP_RAMP_LIMIT_V_HALL	0.29f	電圧変化幅リミット値 [V]	【ホールセンサ使用モード】 【電圧制御モード】
CP_START_REF_V	0.29f	始動電圧 [V]	【ホールセンサ使用モード】 【電圧制御モード】
CP_OL2CL_SPEED_RPM	500	センサレス制御遷移最低速度 [rpm]	【センサレスモード】 機械角
CP_OL2CL_SPEED_RAMP_RPM	2	センサレス制御遷移時加速度 [rpm/ms]	【センサレスモード】 機械角
CP_OL2CL_SPEED_MARGIN	80	センサレス制御遷移速度マージン値 [rpm]	【センサレスモード】 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	【センサレスモード】
CP_SKIP_SPIKE_NOSE	8	転極ノイズ回避カウント数	【センサレスモード】
CP_RAMP_LIMIT_SPEED_RPM_LESS	9.306984f【電流制御モード】 9.306984f【電圧制御モード】	加速度リミット値 [rpm/ms]	【センサレスモード】 機械角
CP_DRAW_IN_REF_IDC	1.13f	引き込み電流 [A]	【センサレスモード】 【電流制御モード】
CP_OL_REF_IDC	0.07f	オープンループ電流 [A]	【センサレスモード】 【電流制御モード】
CP_LAMP_LIMIT_V_LESS	0.13f	電圧変化幅リミット値[V]	【センサレスモード】 【電圧制御モード】
CP_DRAW_IN_REF_V	1.49f	引き込み電圧 [V]	【センサレスモード】 【電圧制御モード】
CP_OL_REF_V	0.3f	オープンループ電圧 [V]	【センサレスモード】 【電圧制御モード】

表 3-60　“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	822226302	電圧 PU 変換値 (IP_VDC_RANGE*PU_SF_VOLTAGE) * (1<<MTR_Q_VOLTAGE)の値を設定	
FP_SF_CURRENT	3919632764	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_TWOPI * 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	【電流制御モード】 電流 PI 比例ゲインスケール[1/Ω]	
PU_SF_ACR_KIDT	PU_SF_RES	【電流制御モード】 電流 PI 積分ゲインスケール[1/Ω]	
PU_SF_ASR_KP	PU_SF_CURRENT / PU_SF_AFREQ【電流制御モード】 PU_SF_VOLTAGE / PU_SF_AFREQ【電圧制御モード】	速度 PI 比例ゲインスケール[rad/(A･s)]	
PU_SF_ASR_KIDT	PU_SF_CURRENT / PU_SF_AFREQ【電流制御モード】 PU_SF_VOLTAGE / PU_SF_AFREQ【電圧制御モード】	速度 PI 積分ゲインスケール[rad/(A･s)]	

表 3-61　“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	28	角度 Q 値	
MTR_Q_CURRENT	28	電流 Q 値	
MTR_Q_VOLTAGE	28	電圧 Q 値	
MTR_Q_AFREQ	28	角周波数 Q 値	
MTR_Q_CTRL_TIME_SPEED	30	速度制御周期 Q 値	
MTR_Q_RESISTANCE	33	抵抗 Q 値	
MTR_Q_INDUCTANCE	34	インダクタンス Q 値	
MTR_Q_BEMF_CONST	31	誘起電圧係数 Q 値	
MTR_Q_INERTIA	27	イナーシャ Q 値	
MTR_Q_D1_DIV_P2M	37	動摩擦係数/ (極対数^2×誘起電圧定数)の Q 値	
MTR_Q_ACR_KP	32【ホールセンサモード】 33【センサレスモード】	電流 PI 比例ゲインの Q 値	【電流制御モード】
MTR_Q_ACR_KIDT	37【ホールセンサ使用モード】 38【センサレスモード】	電流 PI 積分ゲイン×制御周期の Q 値	【電流制御モード】
MTR_Q_ACR_ERR	23【ホールセンサ使用モード】 22【センサレスモード】	電流 PI 偏差の Q 値	【電流制御モード】
MTR_Q_ACR_INTG	12【ホールセンサ使用モード】 12【センサレスモード】	電流 PI 整数部の Q 値	【電流制御モード】
MTR_Q_ASR_KP	30【ホールセンサ使用・電流制御モード】 33【ホールセンサ使用・電圧制御モード】 30【センサレス・電流制御モード】 34【センサレス・電圧制御モード】	速度 PI 比例ゲインの Q 値	
MTR_Q_ASR_KIDT	38【ホールセンサ使用・電流制御モード】 36【ホールセンサ使用・電圧制御モード】 38【センサレス・電流制御モード】 36【センサレス・電圧制御モード】	速度 PI 積分ゲイン×制御周期の Q 値	
MTR_Q_ASR_ERR	22【ホールセンサ使用・電流制御モード】 25【ホールセンサ使用・電圧制御モード】 22【センサレス・電流制御モード】 25【センサレス・電圧制御モード】	速度 PI 偏差の Q 値	
MTR_Q_ASR_INTG	12【ホールセンサ使用・電流制御モード】 12【ホールセンサ使用・電圧制御モード】 12【センサレス・電流制御モード】 12【センサレス・電圧制御モード】	速度 PI 整数部の Q 値	
RSFT_AFREQ_KP_2VOLTAGE	MTR_Q_ASR_KP + MTR_Q_AFREQ - MTR_Q_VOLTAGE【ホールセンサ使用モード】 MTR_Q_ASR_KP + MTR_Q_AFREQ - MTR_Q_VOLTAGE【センサレスモード】	(比例ゲイン*誘起電圧係数)から電圧変換時の右シフト量	
RSFT_AFREQ_KIDT_2VOLTAGE	MTR_Q_ASR_KIDT + MTR_Q_AFREQ - MTR_Q_VOLTAGE【ホールセンサ使用モード】 MTR_Q_ASR_KIDT + MTR_Q_AFREQ - MTR_Q_VOLTAGE【センサレスモード】	(積分ゲイン*誘起電圧係数)から電圧変換時の右シフト量	
RSFT_AFREQ_BEMF_CONST_2VOLTAGE	MTR_Q_BEMF_CONST + MTR_Q_AFREQ - MTR_Q_VOLTAGE【ホールセンサ使用モード】 MTR_Q_BEMF_CONST + MTR_Q_AFREQ - MTR_Q_VOLTAGE【センサレスモード】	(角速度*誘起電圧係数)から電圧変換時の右シフト量	
MTR_SPEED_CALC_BASE_SHIFT	13	速度計算用係数の右シフト量	

表 3-62　“mtr_main.h” マクロ定義一覧

マクロ	定義値	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 3-63　“ICS2_RA2T1.h” マクロ定義一覧

マクロ	定義値	内容	備考
ICS_SCI0_P101_P100	0x00	SCI 使用ポート設定	

表 3-64　“r_mtr_ics.h” マクロ定義一覧)

マクロ	定義値	内容	備考
TS_300US	-	ICS 通信速度	
MTR_ICS_DECIMATION	5	ICS 処理間引き回数	
ICS_BRR	4	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 3-65　“r_mtr_ra2t1.h” マクロ定義一覧 (1/2)

マクロ	定義値	内容	備考
USE_POEG	MTR_SET	POEG 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_SPEED_CALC_TIMER_FREQ	CP_SPEED_CALC_TIMER_FREQ	回転速度測定タイマ周波数 [kHz]	
MTR_PWM_TIMER_FREQ	CP_PWM_TIMER_FREQ	PWM タイマカウント周波数 [MHz]	
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_OL2CL_BEMF_THRESH	3	誘起電圧測定閾値	
MTR_ADC_OFFSET	0x7FF	AD 変換値オフセット	
MTR_DEADTIME	IP_DEADTIME	デッドタイム [µs]	
MTR_DEADTIME_CNT	MTR_DEADTIME * MTR_PWM_TIMER_FREQ	デッドタイム設定値	
MTR_NOT_CARRIER_SET	MTR_PWM_TIMER_FREQ * 1000 / MTR_CARRIER_FREQ / 2	デッドタイムを除いたキャリア設定値	【相補モード】
MTR_CARRIER_SET	MTR_NOT_CARRIER_CNT【相補モード】 MTR_PWM_TIMER_FREQ * 1000 / MTR_CARRIER_FREQ / 2【非相補モード】	キャリア設定値	
MTR_MAX_DUTY_CNT	MTR_NOT_CARRIER_CNT【相補モード】 MTR_ CARRIER_SET【非相補モード】	デューティ設定制限値	
MTR_HALF_CARRIER_CNT	(MTR_CARRIER_CNT + MTR_DEADTIME_CNT) / 2【相補モード】 (MTR_CARRIER_CNT + MTR_DEADTIME_CNT) / 2【非相補モード】	1/2 キャリア設定値	
MTR_LOWEST_DUTY_CNT	MTR_CARRIER_CNT + MTR_DEADTIME_CNT	デューティ 0%設定値	
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_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_PATTERN_ERROR	0	通電パターン(エラー)	
MTR_UP_PWM_VN_ON	1	通電パターン	
MTR_UP_PWM_WN_ON	2	通電パターン	
MTR_VP_PWM_UN_ON	3	通電パターン	
MTR_VP_PWM_WN_ON	4	通電パターン	
MTR_WP_PWM_UN_ON	5	通電パターン	
MTR_WP_PWM_VN_ON	6	通電パターン	
MTR_UP_ON_VN_PWM	7	通電パターン	
MTR_UP_ON_WN_PWM	8	通電パターン	
MTR_VP_ON_UN_PWM	9	通電パターン	
MTR_VP_ON_WN_PWM	10	通電パターン	
MTR_WP_ON_UN_PWM	11	通電パターン	
MTR_WP_ON_VN_PWM	12	通電パターン	

表 3-66　“r_mtr_ra2t1.h” マクロ定義一覧 (2/2)

マクロ	定義値	内容	備考
MTR_U_PWM_VN_ON	13	通電パターン	
MTR_U_PWM_WN_ON	14	通電パターン	
MTR_V_PWM_UN_ON	15	通電パターン	
MTR_V_PWM_WN_ON	16	通電パターン	
MTR_W_PWM_UN_ON	17	通電パターン	
MTR_W_PWM_VN_ON	18	通電パターン	
MTR_UP_ON_V_PWM	19	通電パターン	
MTR_UP_ON_W_PWM	20	通電パターン	
MTR_VP_ON_U_PWM	21	通電パターン	
MTR_VP_ON_W_PWM	22	通電パターン	
MTR_WP_ON_U_PWM	23	通電パターン	
MTR_WP_ON_V_PWM	24	通電パターン	
POEG_RECOVER_TIMEOUT	3	POEG 解除タイムアウトカウント値	
ADC_CONVERT_TIMEOUT	0xFFFF	A/D 変換完了タイムアウトカウント値	
MTR_SPEED_CNT_MAX	0x1FFFFFFF	回転速度測定タイムアウトカウント値	
MTR_PORT_PIN_HALL_U	BSP_IO_PORT_02_PIN_06	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_PIN_HALL_V	BSP_IO_PORT_04_PIN_09	ホールセンサ V 相入力ポート	【ホールセンサ使用モード】
MTR_PORT_PIN_HALL_W	BSP_IO_PORT_04_PIN_08	ホールセンサ W 相入力ポート	【ホールセンサ使用モード】
MTR_HALL_SIGNAL_L_POLARITY	1	ホールセンサ Low 信号	【ホールセンサ使用モード】
MTR_HALL_SIGNAL_H_POLARITY	0	ホールセンサ High 信号	【ホールセンサ使用モード】
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	

表 3-67　“r_mtr_ADC.h” マクロ定義一覧

マクロ	定義値	内容	備考
ADC_PRV_ADCSR_ADST	0x1U << 15	AD 変換開始	

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

マクロ	定義値	内容	備考
GPT_THREE_PHASE_OPEN	0x47505433ULL	GPT オープン済みフラグ	
GPT_THREE_PHASE_PRV_GTWP_RESET_VALUE	0xA500U	GPT レジスタのリセット保護	
GPT_THREE_PHASE_PRV_GTWP_WRITE_PROTECT	0xA501U	GPT レジスタの書き込み保護	
GPT_THREE_PHASE_PRV_GTCR_MODE_MASK	0x000F0000U	GPT モード選択マスク	
GPT_THREE_PHASE_PRV_GTCR_COMP2_MODE	0x000D0000U	GPT 相補モード 2 選択	
GPT_THREE_PHASE_PRV_GTIOR_OUTPUT_DISABLE	0x01000100U	GPT 出力禁止	
GPT_PRV_GTCCRA	0U	GPT コンペアー致レジスタ A	
GPT_PRV_GTCCRB	1U	GPT コンペアー致レジスタ B	
GPT_PRV_GTCCRC	2U	GPT コンペアー致レジスタ C	
GPT_PRV_GTCCRE	3U	GPT コンペアー致レジスタ E	
GPT_PRV_GTCCRD	4U	GPT コンペアー致レジスタ D	
GPT_PRV_GTCCRF	5U	GPT コンペアー致レジスタ F	

表 3-69　“r_mtr_common.h” マクロ定義一覧

マクロ	定義値	内容	備考
R_MTR_ADC_SCAN_MASK_VU	0x00100000U	U 相電圧のスキャンマスク	【ホールセンサ使用モード】
R_MTR_ADC_SCAN_MASK_VV	0x00000080U	V 相電圧のスキャンマスク	【ホールセンサ使用モード】
R_MTR_ADC_SCAN_MASK_VW	0x00000040U	W 相電圧のスキャンマスク	【ホールセンサ使用モード】
R_MTR_ADC_SCAN_MASK_A_HALL	~(R_MTR_ADC_SCAN_MASK_VU | R_MTR_ADC_SCAN_MASK_VV | R_MTR_ADC_SCAN_MASK_VW)	AD 変換グループ A のスキャンマスク	【ホールセンサ使用モード】
R_MTR_ADC_SCAN_MASK_B_HALL	0x00000000U	AD 変換グループ B のスキャンマスク	【ホールセンサ使用モード】
R_MTR_ADCR_IDC	ADC_CHANNEL_0	DC リンク電流のチャネル選択	
R_MTR_ADCR_VDC	ADC_CHANNEL_8	インバータ母線電圧のチャネル選択	
R_MTR_ADCR_VU	ADC_CHANNEL_20	U 相電圧のチャネル選択	【センサレスモード】
R_MTR_ADCR_VV	ADC_CHANNEL_7	V 相電圧のチャネル選択	【センサレスモード】
R_MTR_ADCR_VW	ADC_CHANNEL_6	W 相電圧のチャネル選択	【センサレスモード】
MTR_CLR	0	フラグクリア	
MTR_SET	1	フラグセット	

表 3-70　“rm_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	2π / 60	
MTR_SQRT_3	1.7320508f	√3	
MTR_SQRT_2_3	0.8164966f	√2/3	
MTR_CW	1	CW	
MTR_CCW	-1	CCW	
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_12BIT	12	12bit ADC	

表 3-71　“rm_mtr_parameter.h” マクロ定義一覧(1/2)

マクロ	定義値	内容	備考
MTR_SPEED_PI_LIMIT_V	IP_INPUT_V	速度 PI の出力電圧制限値[V]	
MTR_MCU_ON_V	IP_INPUT_V * 0.8f	MCU の駆動電圧[V]	
MTR_US_MAX_DRIVE_V	IP_INPUT_V * 0.96f	最大出力電圧[V]	
MTR_US_MIN_DRIVE_V	IP_INPUT_V * 0.05f【センサレス・電流制御モード】 IP_INPUT_V * 0.0f【センサレス・電流制御モード以外】	最小出力電圧[V]	
MTR_MAX_DRIVE_V	FIX_fromfloat(MTR_US_MAX_DRIVE_V * PU_SF_VOLTAGE, MTR_Q_VOLTAGE)	最大駆動電圧[PU]	
MTR_MIN_DRIVE_V	FIX_fromfloat(MTR_US_MIN_DRIVE_V * PU_SF_VOLTAGE, MTR_Q_VOLTAGE)	最小駆動電圧[PU]	
MTR_RECIV_COEF	(int32_t) (2 * PU_BASE_VOLTAGE_V / IP_VDC_RANGE * (1 << MTR_Q_VOLTAGE))	電圧基準値の逆数	
MTR_US_SPEED_CALC_BASE	MTR_SPEED_CALC_TIMER_FREQ * 1000 * MTR_TWOPI	回転速度計測用カウンタ値の速度変換定数[rad/s]	

表 3-72　“rm_mtr_parameter.h” マクロ定義一覧(2/2)

マクロ	定義値	内容	備考
MTR_SPEED_CALC_BASE	FIX_fromfloat(MTR_US_SPEED_CALC_BASE * PU_SF_AFREQ, MTR_SPEED_CALC_BASE_SHIFT)	回転速度計測用カウンタ値の速度変換定数[PU]	
MTR_US_OL_SPEED_CALC_BASE	MTR_CARRIER_FREQ * 1000 * MTR_TWOPI / MTR_PATTERN_NUM	オープンループカウント計算用定数[rad/s]	
MTR_OL_SPEED_CALC_BASE	FIX_fromfloat(MTR_US_OL_SPEED_CALC_BASE * PU_SF_AFREQ, MTR_SPEED_CALC_BASE_SHIFT)	オープンループカウント計算用定数[PU]	
MTR_SPEED_CALC_BASE_1ST	MTR_SPEED_CALC_BASE / 6	回転開始後最初の速度計算での、回転速度計測用カウンタ値の速度変換定数	
MTR_SPEED_CALC_BASE_2ND	MTR_SPEED_CALC_BASE / 3	回転開始後 2 回目の速度計算での、回転速度計測用カウンタ値の速度変換定数	
MTR_SPEED_CALC_BASE_3RD	MTR_SPEED_CALC_BASE / 2	回転開始後 3 回目の速度計算での、回転速度計測用カウンタ値の速度変換定数	
MTR_SPEED_CALC_BASE_4TH	FIX_fromfloat(MTR_US_SPEED_CALC_BASE * 2 / 3 * PU_SF_AFREQ, MTR_Q_AFREQ)	回転開始後 4 回目の速度計算での、回転速度計測用カウンタ値の速度変換定数	
MTR_SPEED_CALC_BASE_5TH	FIX_fromfloat(MTR_US_SPEED_CALC_BASE * 5 / 6 * PU_SF_AFREQ, MTR_Q_AFREQ)	回転開始後 5 回目の速度計算での、回転速度計測用カウンタ値の速度変換定数	
MTR_BIT_SFT_NUM_FOR_DUTY_CALC	19	デューティ計算用のビット数	
MTR_BIT_SFT_FOR_DUTY_CALC	((uint32_t) (1)) << MTR_BIT_SFT_NUM_FOR_DUTY_CALC	デューティ計算用の左シフト量	
MTR_LIMIT_IDC	MP_RATED_CURRENT * MTR_SQRT_3	速度 PI の出力制限値[A]	【電流制御モード】
MTR_I_LIMIT_CURRENT	MP_RATED_CURRENT * MTR_SQRT_3	速度 PI の積分項の出力制限値[A]	【電流制御モード】
MTR_MIN_IDC_REF	0	最小指令電流[A]	【電流制御モード】
MTR_I_LIMIT_VQ	IP_INPUT_V * 0.9f	Vq の電流 PI リミット[V]	

表 3-73　“r_mtr_ol2cl_ctrl.h” マクロ定義一覧

マクロ	定義値	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	【センサレスモード】
MTR_1ST_ZC_CNT	1	遷移処理中の 1 回目のゼロクロス	【センサレスモード】【電圧制御モード】

表 3-74　“rm_mtr_statemachine.h” マクロ定義一覧

マクロ	定義値	内容	備考
MTR_MODE_INIT	0x00	初期化モード	
MTR_MODE_DRIVE	0x01	ドライブモード	
MTR_MODE_STOP	0x02	ストップモード	
MTR_SIZE_STATE	3	ステート数	
MTR_EVENT_STOP	0x00	ストップイベント	
MTR_EVENT_DRIVE	0x01	ランイベント	
MTR_EVENT_ERROR	0x02	エラーイベント	
MTR_EVENT_RESET	0x03	リセットイベント	
MTR_SIZE_EVENT	4	イベント数	
MTR_STATEMACHINE_ERROR_NONE	0x00	ステートマシンエラーなし	
MTR_STATEMACHINE_ERROR_EVENTOUTBOUND	0x01	イベントインデックスが範囲外	
MTR_STATEMACHINE_ERROR_STATEOUTBOUND	0x02	ステートインデックスが範囲外	
MTR_STATEMACHINE_ERROR_ACTIONEXCEPTION	0x04	アクションの失敗	

表 3-75　“r_mtr_120.h” マクロ定義一覧 (1/2)

マクロ	定義値	内容	備考
MTR_TIMEOUT_CNT	(uint16_t) (1.0f / ((float)MP_POLE_PAIRS * CP_MIN_SPEED_RPM / 60) *1000* 2)	タイムアウトエラー判定値	
MTR_PATTERN_CW_V_U	2	CW 時通電パターン	
MTR_PATTERN_CW_W_U	3	CW 時通電パターン	
MTR_PATTERN_CW_W_V	1	CW 時通電パターン	
MTR_PATTERN_CW_U_V	5	CW 時通電パターン	
MTR_PATTERN_CW_U_W	4	CW 時通電パターン	
MTR_PATTERN_CW_V_W	6	CW 時通電パターン	
MTR_PATTERN_NUM	6	通電パターン数	
MTR_TIMER_CNT_BUFFER_SIZE	6	タイマカウントのバッファサイズ	
MTR_HALL2OL_REV_SPEED_RAD	FIX_fromfloat(CP_HALL2OL_REV_SPEED_RPM * PU_SF_RPM_RAD, MTR_Q_AFREQ)	回転反転時の PI 制御からオープンループへの遷移速度[PU]	【ホールセンサ使用モード】
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】		
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_DRAW_IN_1ST_PATTERN	1	引き込み第一パターン	【センサレスモード】
MTR_DRAW_IN_2ND_PATTERN	2	引き込み第二パターン	【センサレスモード】
MTR_ERROR_NONE	0x0000	エラーなし	
MTR_ERROR_OVER_CURRENT_HW	0x0001	過電流エラー	
MTR_ERROR_OVER_VOLTAGE	0x0002	過電圧エラー	
MTR_ERROR_OVER_SPEED	0x0004	過速度エラー	
MTR_ERROR_HALL_TIMEOUT	0x0008	ホールタイムアウトエラー	
MTR_ERROR_BEMF_TIMEOUT	0x0010	誘起電圧タイムアウトエラー	

表 3-76　“r_mtr_120.h” マクロ定義一覧 (2/2)

マクロ	定義値	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_OVERCURRENT_SW	0x0100	ソフトウェア過電流エラー	
MTR_ERROR_CHARGE_CAP_TIMEOUT	0x0400	コンデンサ充電タイムアウトエラー	
MTR_ERROR_UNKNOWN	0xffff	未定義エラー	
MTR_REF_ZERO_CONST	0	指令電流 0 モード	
MTR_REF_MANUAL	1	指令電流マニュアル入力モード	
MTR_REF_SPEED_PI_OUTPUT	2	速度制御 PI 出力モード	
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_STOP	0x00	停止中	
MTR_DRIVE	0x81	駆動中	
MTR_DRIVE_INIT	0x82	駆動初期化	
MTR_DRIVE_START	0x83	駆動開始	
MTR_OFFSET_CALC_EXE	0x84	オフセット計測	
MTR_DRIVE_END	0x01	駆動停止	
MTR_MASK_RUN_MODE	0x80	駆動中マスク	
MTR_CTRL_NONE	0x00	制御停止	
MTR_CTRL_OPL_DRAWIN	0x01	引き込み制御	
MTR_CTRL_OPL_FORCE_SYNC	0x02	強制同期制御	
MTR_CTRL_OPL_FORCE_SYNC_ACCEL	0x45	オープンループ速度制御	
MTR_CTRL_CLL_OPL2CLL	0xC0	オープンループ・クローズドループ切り替え遷移中	
MTR_CTRL_CLL_SPEED_CTRL	0xC1	クローズドループ速度制御	
MTR_CTRL_DRAWIN	0x00	引き込み制御中	
MTR_CTRL_DRVE	0x40	駆動中	
MTR_DRIVE_OPL	0x00	速度オープンループ制御中	
MTR_DRIVE_CLL	0x80	速度クローズドループ制御中	

表 3-77　“RM_DSP_RA2_GCC_32BIT.h” マクロ定義一覧

マクロ	定義値	内容	備考
FIX_fromfloat(x, n)	(int32_t)ldexpf((float)(x),(n))	float から FIXn へ変換	
FIX_mul_rs(a, b, sar)	(int32_t) (((int32_t) (a) >> ((sar) >> 1)) * ((int32_t) (b) >> ((sar) - ((sar) >> 1))))	FIX の 16 ビット乗算・右ビットシフト	
FIX_mul_rs_sign(a, b, sar)	(int32_t) (((b) >= 0) ? ((int32_t) (((int32_t) (a) >> ((sar)>>1)) * ((int32_t) (b) >> ((sar) - ((sar) >> 1))))) : ~((int32_t) (((int32_t) (a) >> ((sar) >> 1)) * ((int32_t) (~(b) + 1) >> ((sar) - ((sar) >>1)))) + 1))	FIX の 16 ビット乗算・右ビットシフト（符号を考慮）	

3.5　制御フロー（フローチャート）

3.5.1　メイン処理

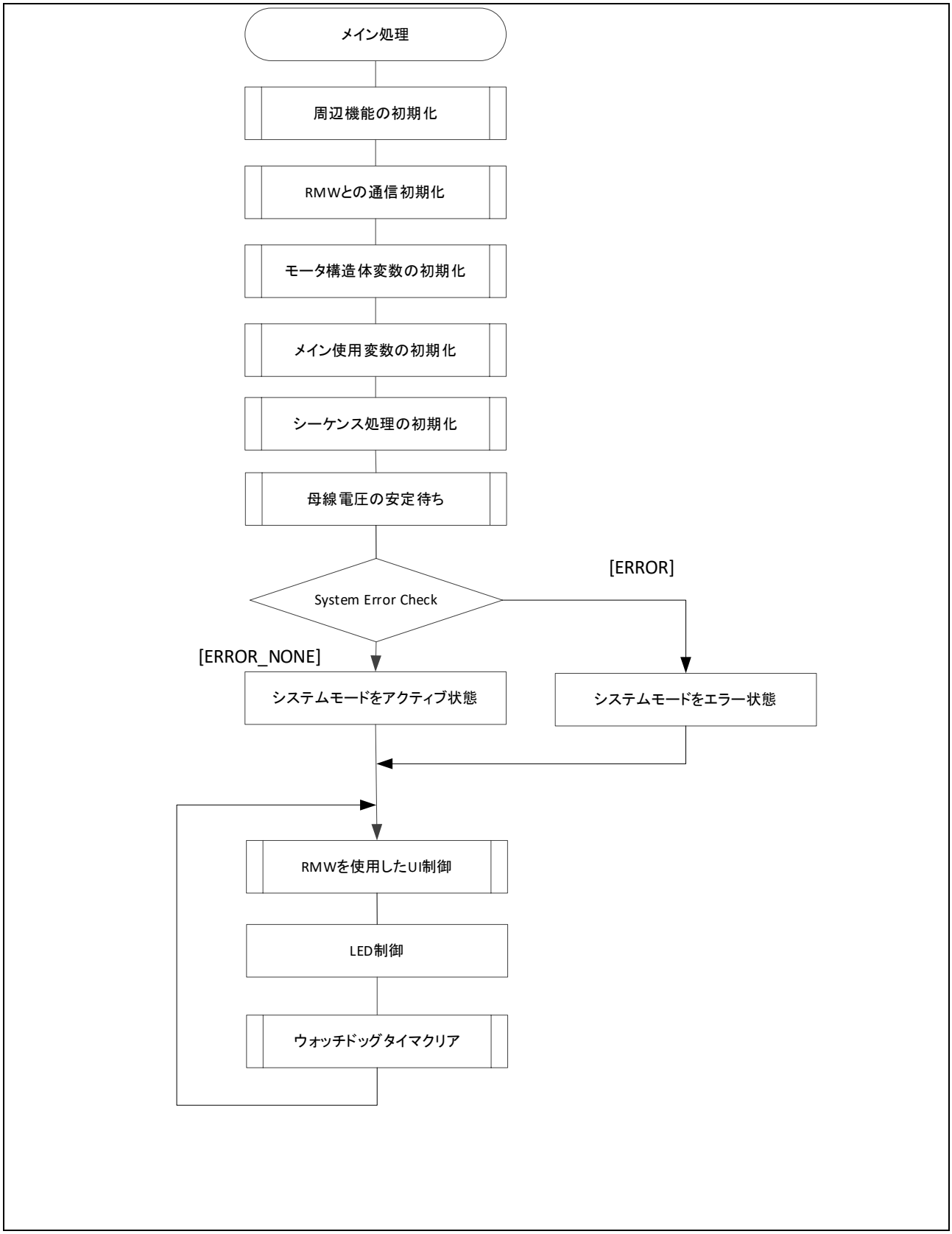


図 3-19　メイン処理フローチャート

3.5.2　キャリア周期割り込み（センサレスモード）

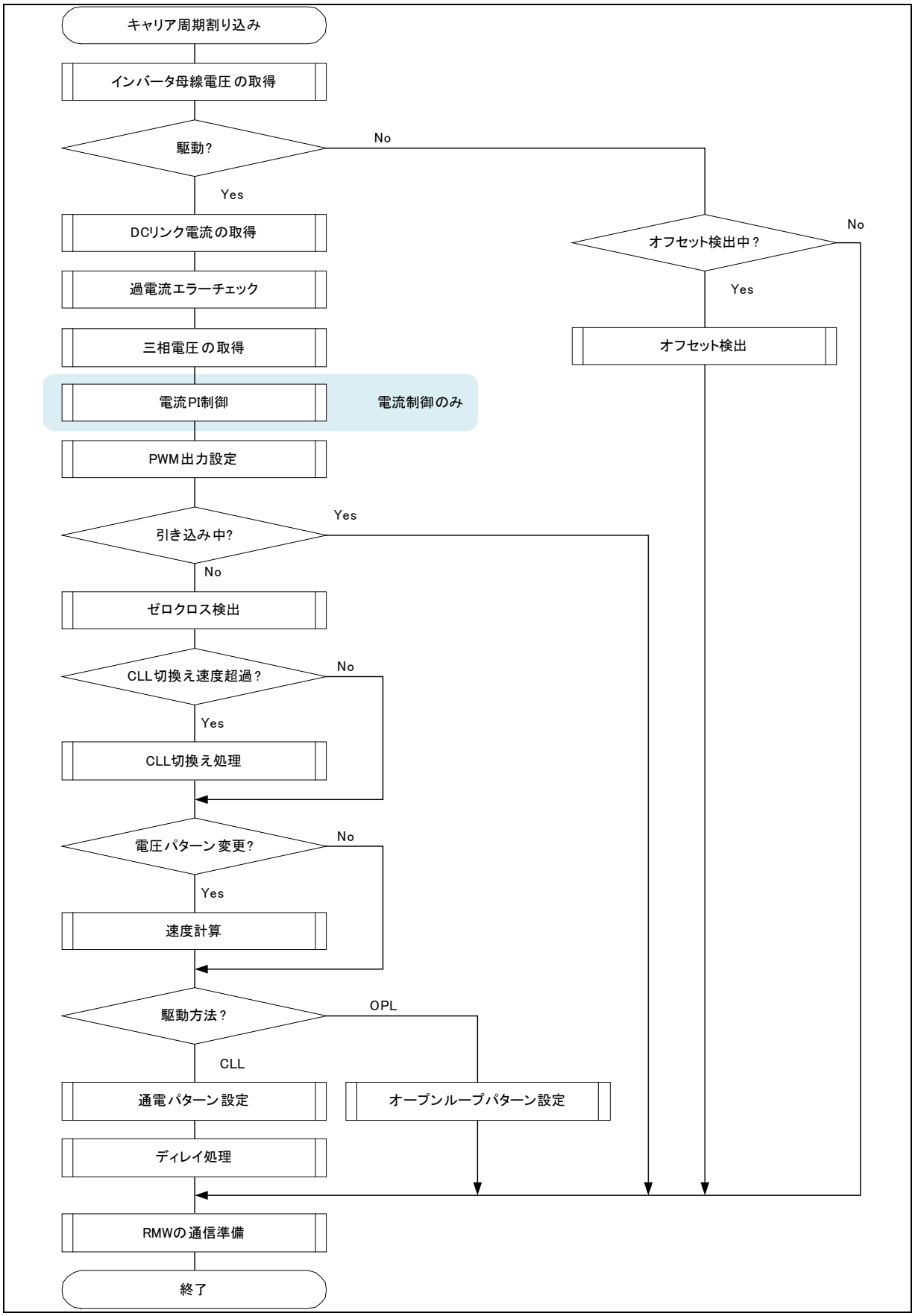


図 3-20　キャリア周期割り込み（センサレスモード）フローチャート

3.5.3　速度制御割り込み

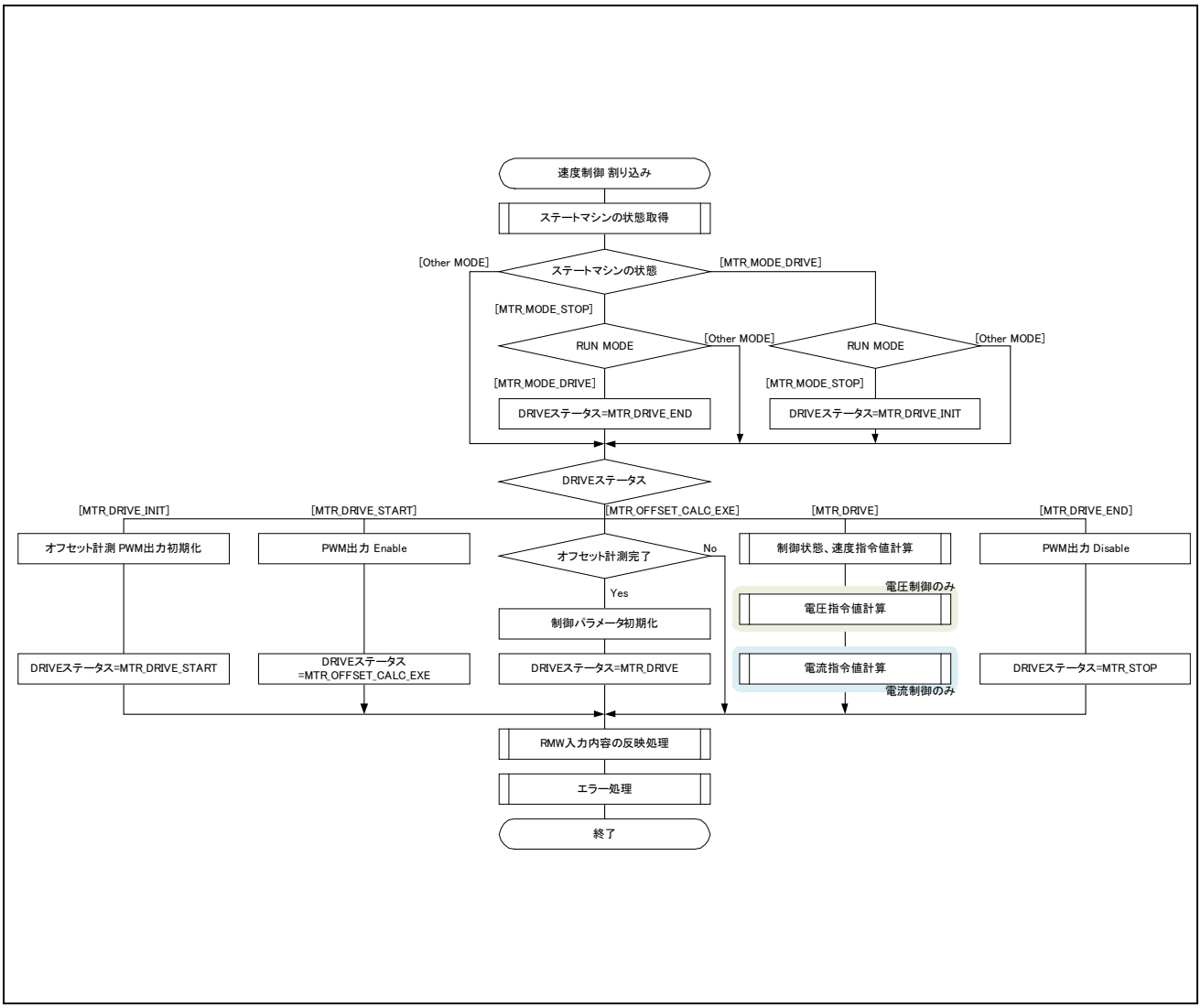


図 3-21　速度制御割り込みフローチャート

3.5.4　制御状態、速度指令値計算（センサレスモード）

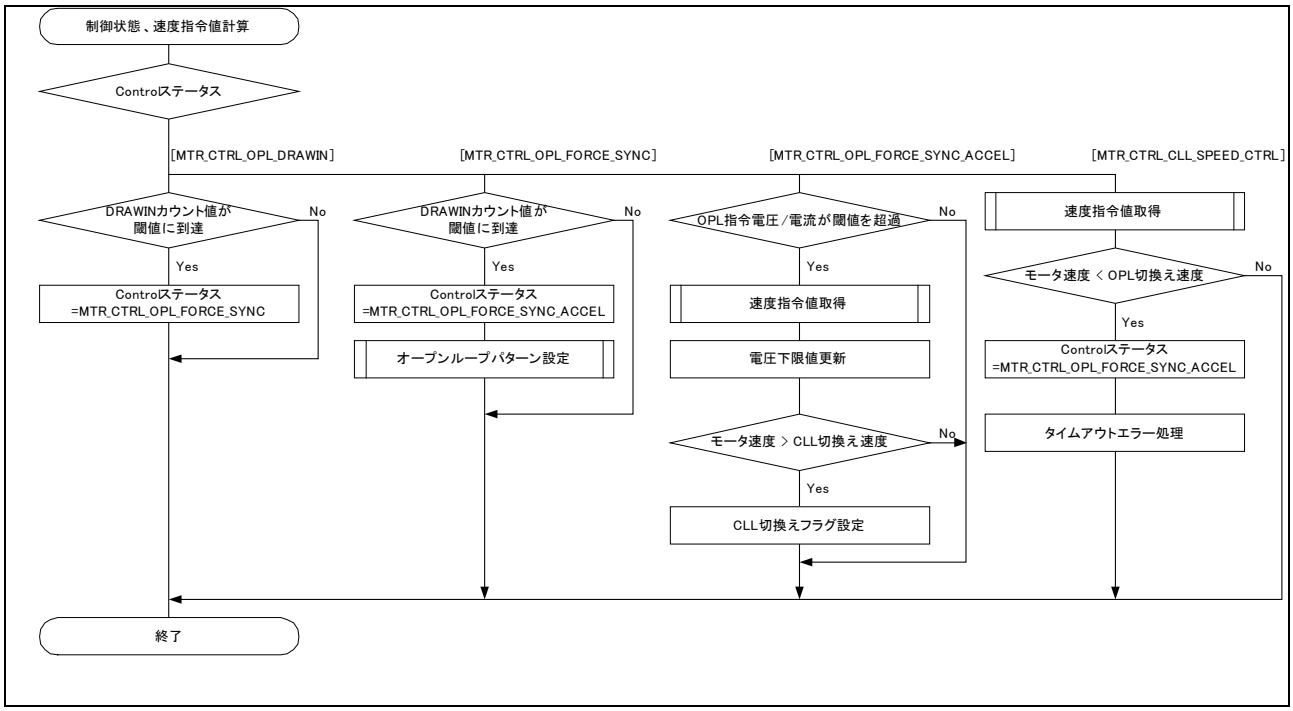


図 3-22　制御状態、速度指令値計算（センサレスモード）フローチャート

3.5.5　ディレイタイマ割り込み

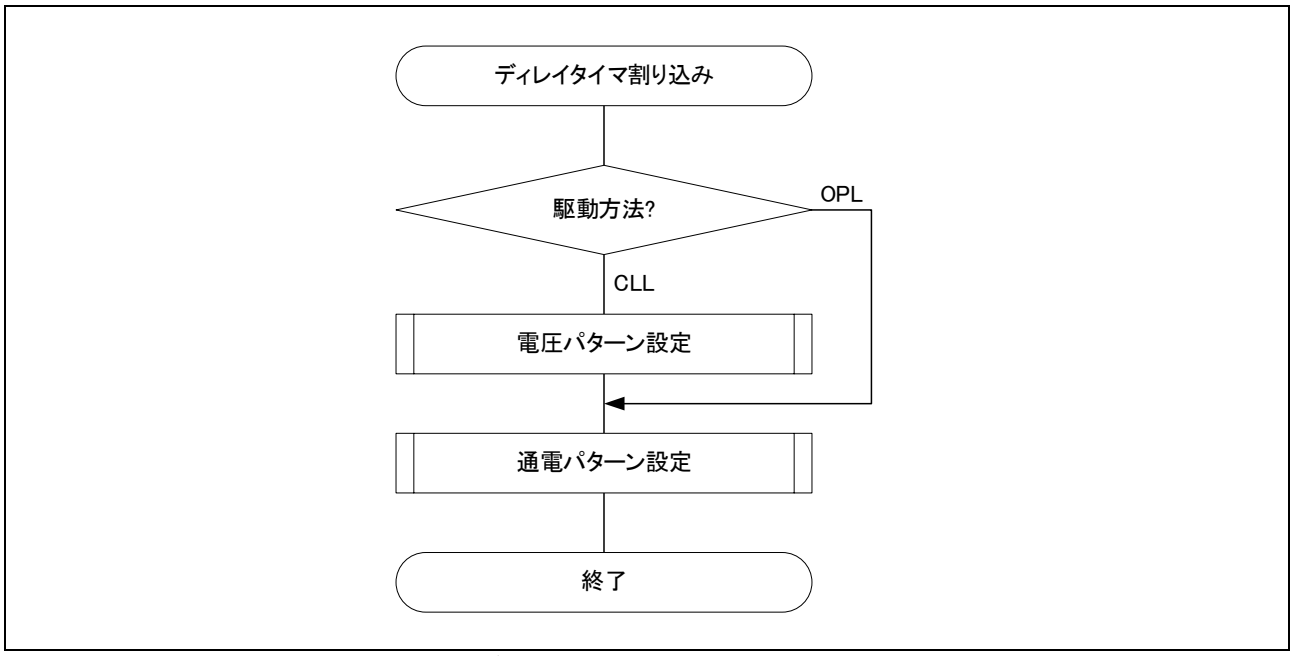


図 3-23　ディレイタイマ割り込みフローチャート

3.5.6　キャリア周期割り込み（ホールセンサ使用モード）

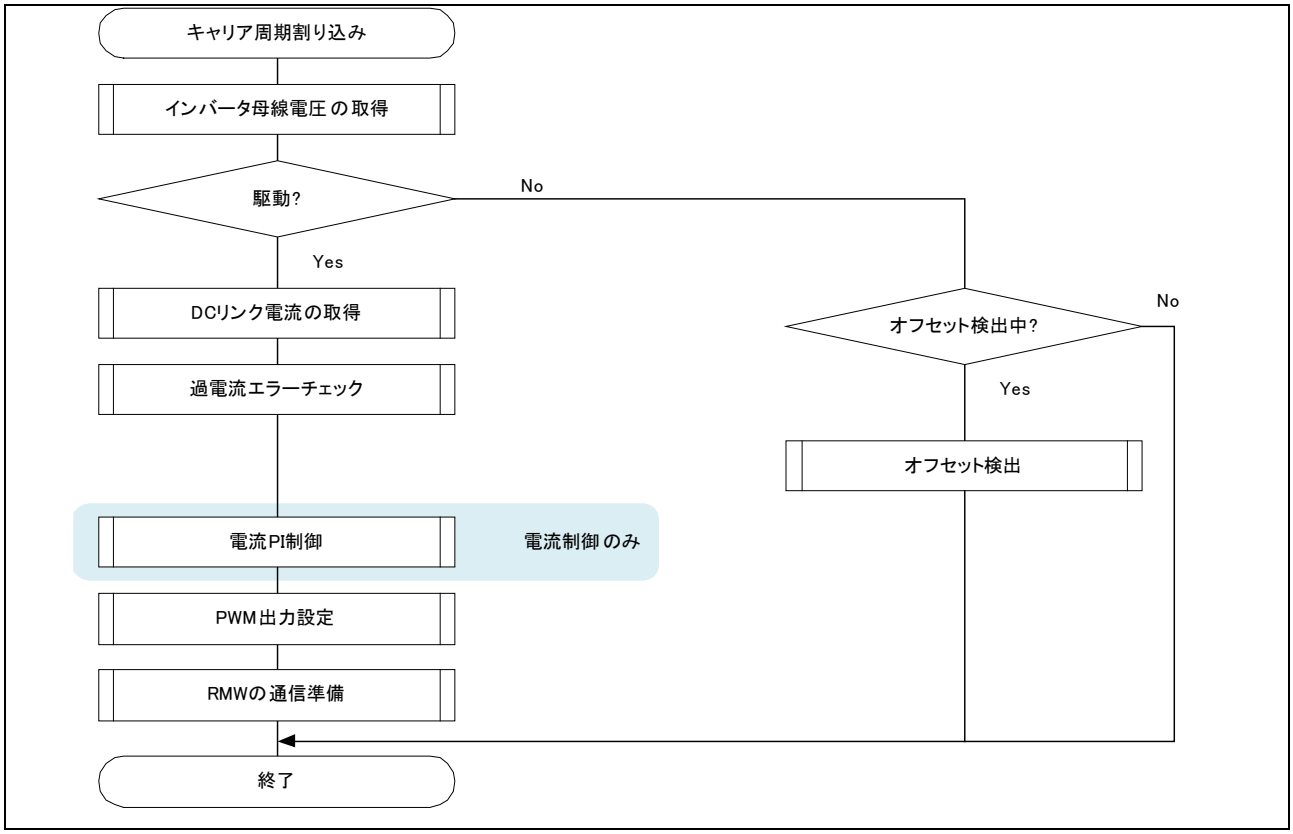


図 3-24　キャリア周期割り込み（ホールセンサ使用モード）フローチャート

3.5.7　制御状態、速度指令値計算（ホールセンサ使用モード）

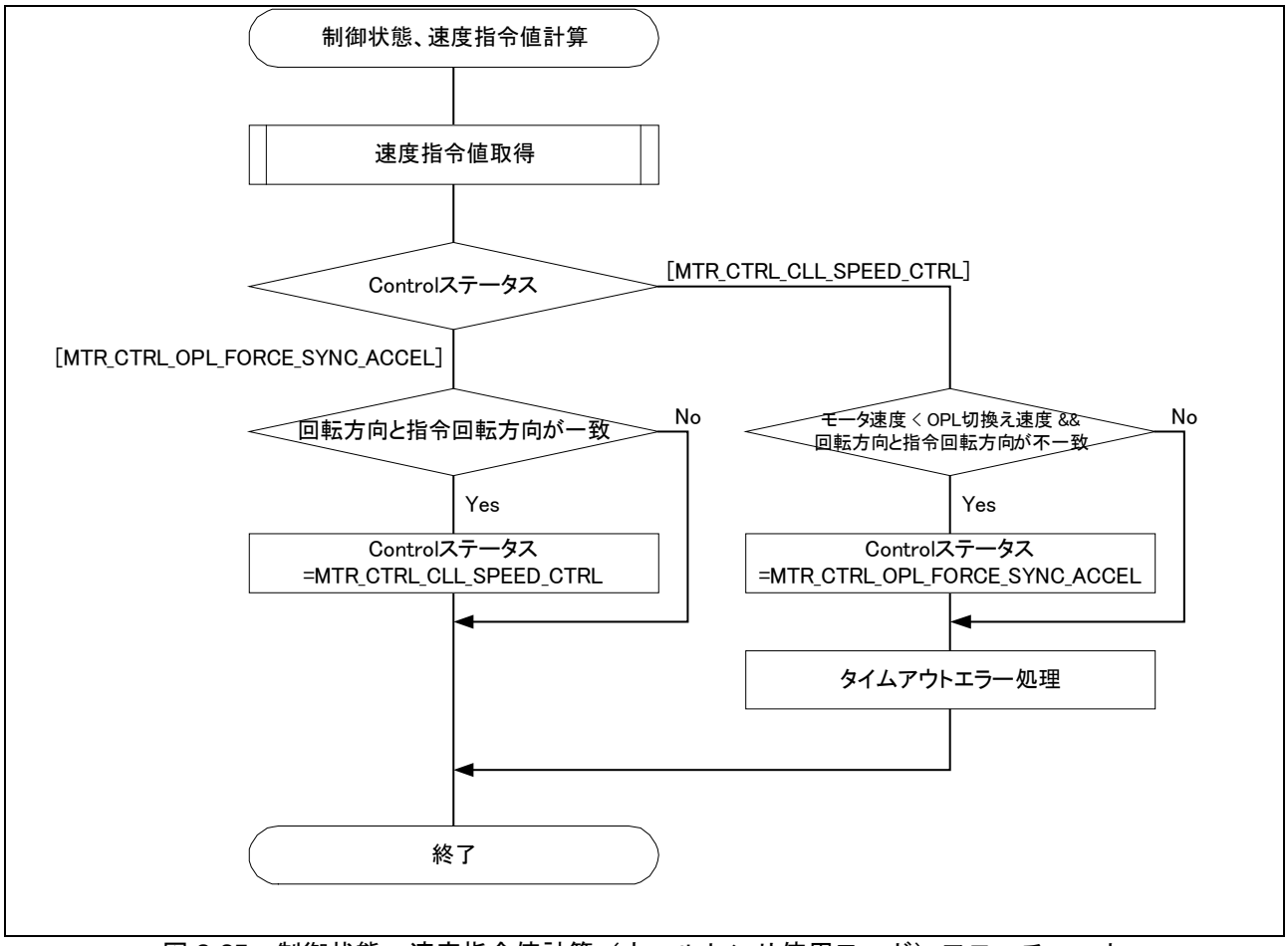


図 3-25　制御状態、速度指令値計算（ホールセンサ使用モード）フローチャート

3.5.8　ホールセンサ割り込み

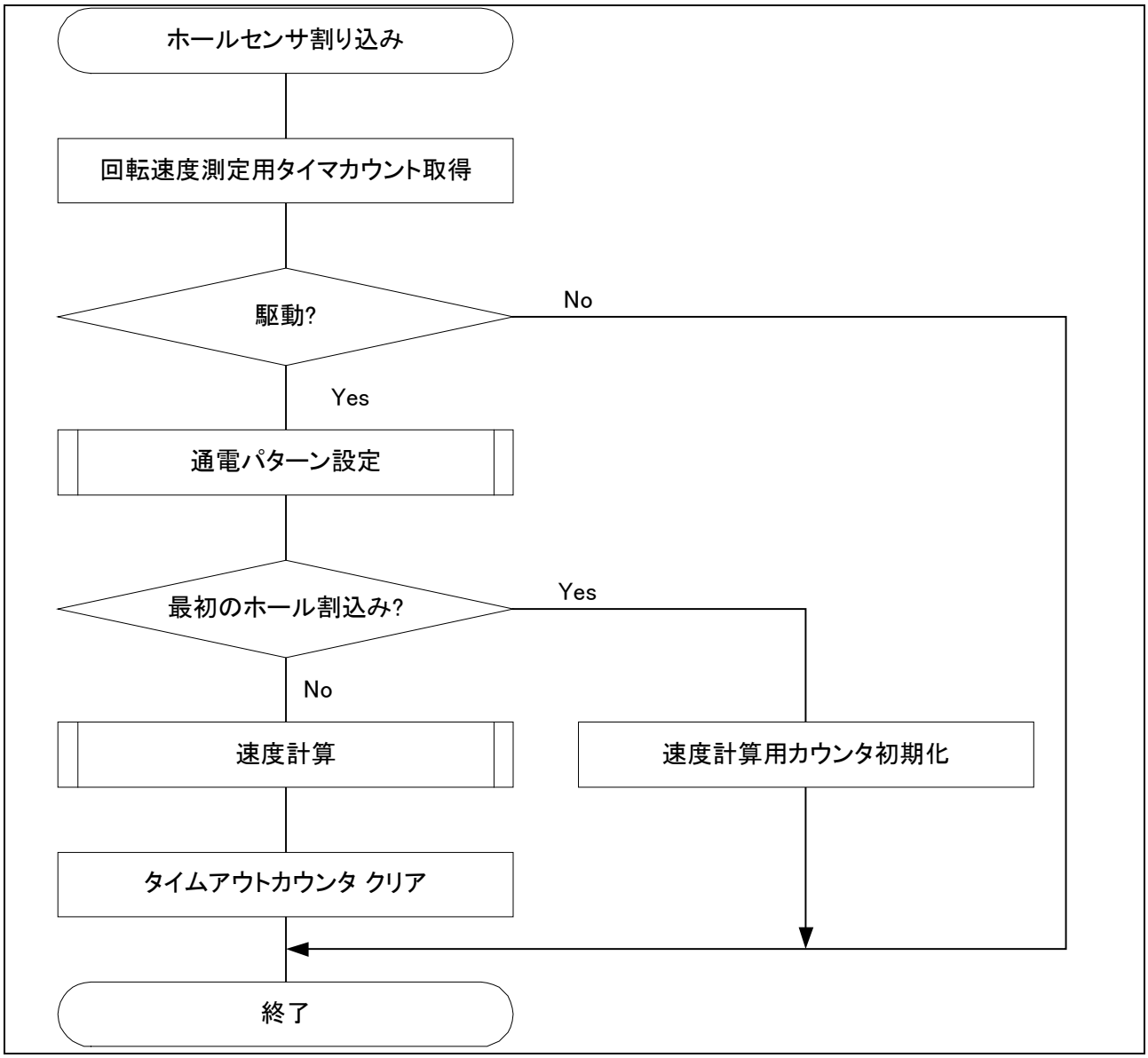


図 3-26 ホールセンサ割り込みフローチャート

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 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。

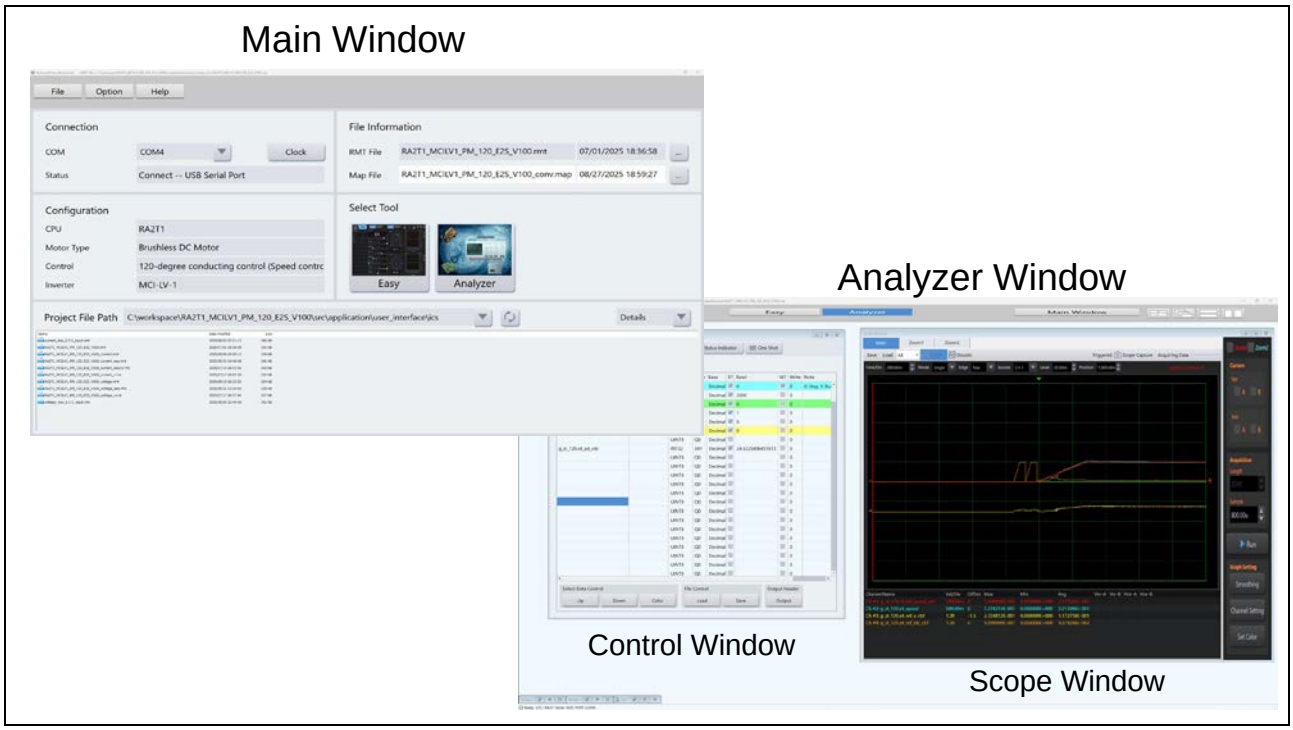


図 4-1 Renesas Motor Workbench 外観

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。
②Main 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]/src/application/user_interface/ics/”フォルダ内にある RMT ファイルを読み込む。
③”Connection”の COM で接続されたキットの COM を選択する。
④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 と表 4-2 に示します。なお、これらの変数の値は g_st_com.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 g_st_com.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】
g_st_com.com_u1_direction	int8_t	回転方向 0：CW 1：CCW	【g_st_120.s1_ref_dir】
g_st_com.com_u2_mtr_pp	uint16_t	極対数	【g_st_120.st_carrier.st_motor.u2_mtr_pp】
g_st_com.com_f4_mtr_r	float	抵抗 [Ω]	【g_st_120.st_carrier.st_motor.s4_mtr_r】
g_st_com.com_f4_mtr_ld	float	d 軸インダクタンス[H/rad]	【g_st_120.st_carrier.st_motor.s4_mtr_ld】
g_st_com.com_f4_mtr_lq	float	q 軸インダクタンス[H/rad]	【g_st_120 .st_carrier.st_motor.s4_mtr_lq】
g_st_com.com_f4_mtr_ke	float	誘起電圧係数[V･s/rad]	【g_st_120.st_carrier.st_motor.s4_mtr_ke】
g_st_com.com_f4_mtr_j	float	イナーシャ[kgm^2/(rad s^2]	【g_st_120.st_carrier.st_motor.s4_mtr_j】
g_st_com.com_f4_ref_lim_v	float	電圧下限指令値[V]	【g_st_120.s4_ref_lim_v】
g_st_com.com_f4_ramp_lim_speed_rpm	float	加速度制限値 [rpm/ms]	【g_st_120.st_speed.s4_ramp_lim_speed】
g_st_com.com_f4_ref_speed_rpm	float	目標速度［rpm］	【g_st_120.st_speed.s4_ref_speed】
g_st_com.com_u2_offset_calc_cnt	uint16_t	電流オフセット検出時間	【g_st_120.st_carrier.u4_offset_calc_cnt】
g_st_com.com_f4_ramp_lim_v	float	電圧変化幅制限値[V/ms]	【g_st_120.st_speed.s4_ramp_lim_v】
g_st_com.st_com.f4_speed_omega	float	PI ゲイン設計周波数 [Hz]	【g_st_ctrl_params.st_com.f4_speed_omega】
g_st_com.st_com.f4_asr_zeta	float	PI ゲイン設計ダンピングファクタ	【g_st_ctrl_params.st_com.f4_asr_zeta】
g_st_com.com_f4_ramp_lim_current	float	電流変化幅制限値[A/ms]	【g_st_120.st_acr.s4_ramp_lim_current】
g_st_com.com_f4_mtr_d0	float	静止摩擦係数 [kg･m^2/(rad･s^2)]	【g_st_120.st_speed.st_current_asr.s4_d0_div_pm】
g_st_com.com_f4_mtr_d1	float	動摩擦係数 [kg･m^2/(rad^2･s)]	【g_st_120.st_speed.st_current_asr.s4_d1_div_p2m】
g_st_com.st_com.f4_acr_nf_hz	float	電流 PI 制御固有周波数 [Hz]	【g_st_ctrl_params.st_com.f4_acr_nf_hz 】
g_st_com.st_com.f4_asr_nf_hz	float	速度 PI 固有周波数 [Hz]	【g_st_ctrl_params.st_com.f4_asr_nf_hz 】
g_st_com.st_com.f4_asr_ki_aug	float	速度 PI 制御積分器増幅率	【g_st_ctrl_params.st_com.f4_asr_ki_aug 】
g_st_com.com_f4_ref_v _start	float	始動電圧 [V]	【g_st_120.st_speed.st_hall_speed.s4_ref_v_start】
g_st_com.com_f4_ref_idc_start	float	始動電流 [A]	【g_st_120.st_speed.st_hall_speed.s4_ref_idc_start】
g_st_com.com_f4_ref_v_draw_in	float	引き込み指令電圧[V]	【g_st_120.st_speed.st_less_speed.s4_ref_v_draw_in】

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)
g_st_com.com_f4_ref_v_ol	float	オープンループ指令電圧[V]	【g_st_120.st_speed.st_less_speed.s4_ref_v_buff_ol】
g_st_com.com_f4_ref_idc_draw_in	float	引き込み指令電圧[A]	【g_st_120.st_speed.st_less_speed.s4_ref_idc_draw_in】
g_st_com.com_f4_ref_idc_ol	float	オープンループ指令電圧[A]	【g_st_120.st_speed.st_less_speed.s4_ref_idc_buff_ol】
g_st_com.com_f4_ol2cl_speed_rpm	float	オープンループからセンサレスへの切り替え速度[rpm]	【g_st_120.st_less_control.st_ol2cl.s4_change_speed】
g_st_com.com_f4_ol2cl_ramp_speed_rpm	float	センサレスへの切り替え加速度制限値[rpm]	【g_st_120.st_less_control.st_ol2cl.s4_ramp_speed】
g_st_com.com_s4_angle_shift_adjust	int32_t	ディレイタイマカウント調整値	【g_st_120.st_less_control.s4_angle_shift_adjust】
g_st_com.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。図 4-2 で示す“Control Window”で行います。“Control Window”の詳細は、「Renesas Motor Workbench ユーザーズマニュアル」を参照して下さい。

- モータを回転させる
  ① “com_u1_run_event”,“g_st_com.com_f4_ref_speed_rpm”, “g_st_com.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“g_st_com.com_f4_ref_speed_rpm”の [Write] 欄に入力する。
  ③ “Write”ボタンを押す。
  ④ “Read”ボタンを押して現在の“g_st_com.com_f4_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、“g_st_com.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。

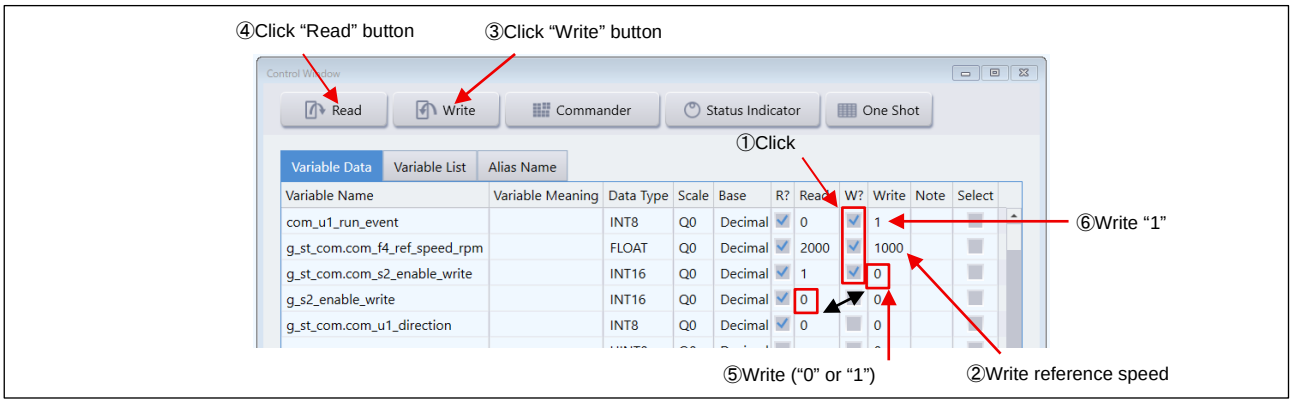


図 4-2 モータ回転の手順

- 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。

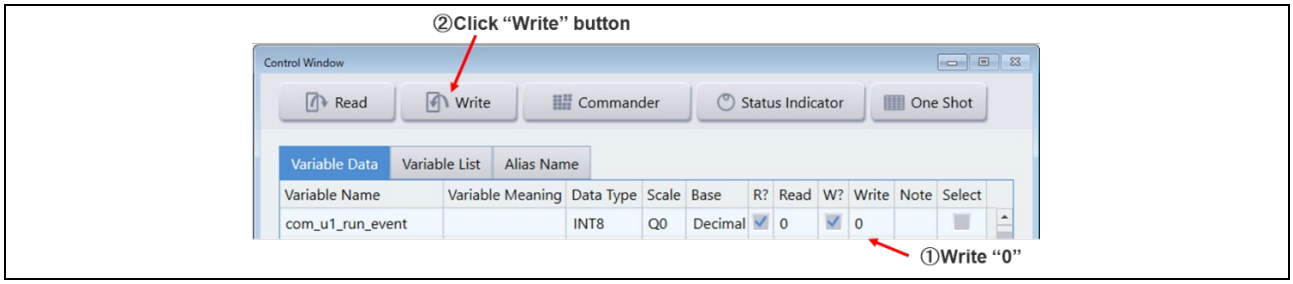


図 4-3 モータ停止の手順

- 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。

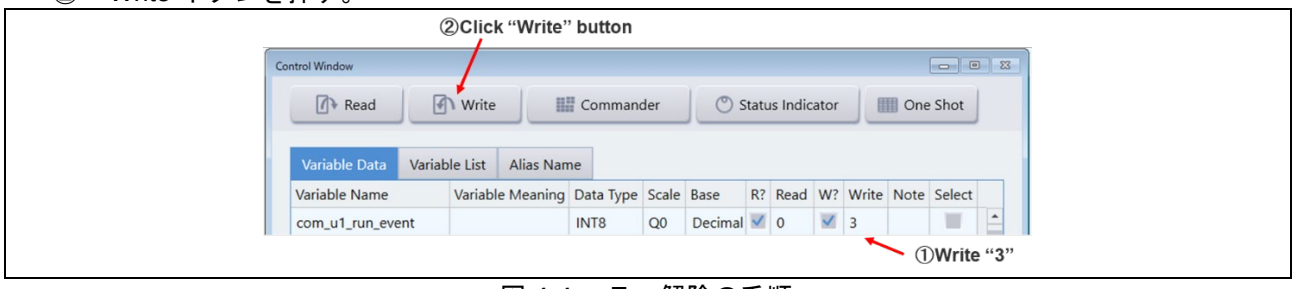


図 4-4 エラー解除の手順

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_VOLTAGAE	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	2025/08/29	—	新規発行
1.01	2026/06/30	—	・開発環境の更新 ・モータパラメータの変更

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うと、フラッシュメモリ、レイアウトパターンの相違などにより、電気的特性の範囲で、特性値、動作マージン、ノイズ耐量、ノイズ幅射量などが異なる場合があります。型名が違う製品に変更する場合は、個々の製品ごとにシステム評価試験を実施してください。

ご注意書き

1. 本資料に記載された回路、ソフトウェアおよびこれらに関連する情報は、半導体製品の動作例、応用例を説明するものです。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）、交通制御（信号）、大規模通信機器、金融端末基幹システム、各種安全制御装置等

   当社製品は、データシート等により高信頼性、Harsh environment 向け製品と定義しているものを除き、直接生命・身体に危害を及ぼす可能性のある機器・システム（生命維持装置、人体に埋め込み使用するもの等）、もしくは多大な物的損害を発生させるおそれのある機器・システム（宇宙機器と、海底中継器、原子力制御システム、航空機制御システム、プラント基幹システム、軍事機器等）に使用されることを意図しておらず、これらの用途に使用することは想定していません。たとえ、当社が想定していない用途に当社製品を使用したことにより損害が生じても、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いたします。
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。

© 2026 Renesas Electronics Corporation. All rights reserved.