

RL78/F14

R01AN3797JJ0100

Rev.1.00

2017.3.31

RL78/F14 マイクロコントローラによるモータ制御
永久磁石同期モータのセンサレスベクトル制御編

要 旨

本アプリケーションノートは RL78/F14 の機能を使って永久磁石同期モータをセンサレスベクトル制御で駆動するサンプルプログラム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うえで御使用下さい。

動作確認デバイス

サンプルプログラムの動作確認は下記のデバイスで行っております。

- ・ RL78/F14(R5F10PLJ)

目 次

1. 概 説.....	2
2. システム概要.....	3
3. モータ制御方法.....	8
4. 制御プログラム説明.....	18

1. 概 説

本アプリケーションノートは、RL78/F14 マイクロコントローラを使用し、永久磁石同期モータ(以降はPMSM と記載)のセンサレスベクトル制御のサンプルプログラムについて説明するものです。

1.1 システムの利用

本システム(サンプルプログラム)は、RL78/F14 マイクロコントローラ搭載ボード(ECU001-F14-12V ^{注1)}、及び BLDC モータ(BLY171S-15V-8000 ^{注2)}を使用し、センサレスベクトル制御を実現しています。

注：

1. ECU001-F14-12V は、株式会社デスクトップラボの製品です。
株式会社デスクトップラボ (<http://www.desktoplab.co.jp/>)
2. BLY171S-15V-8000 は、Anaheim Automation Inc. の製品です。
Anaheim Automation Inc. (<http://www.anaheimautomation.com/>)

1.2 開発環境

(1)ソフトウェア開発環境

統合開発環境	CS+ for CA,CX (V3.03.00)
	CS+ for CC (V4.01.00)
	IAR Embedded Workbench (Ver. 7.4.1.4269)

(2)ハードウェア環境

オンチップ・デバック・エミュレータ	E1
使用マイコン	RL78/F14(R5F10PLJ)
コンパイラ	CA78K0R (Ver.V1.7.2) CC-RL (Ver.1.03.00.00) EWRL78 (Ver. 2.21.1)
コンパイラオプション	標準
RL78/F14 マイクロコントローラ搭載ボード	ECU001-F14-12V
BLDC モータ	PMSM(BLY171S-15V-8000)

2. システム概要

本システムの概要を以下に説明します。

2.1 ハードウェア構成

ハードウェア構成を次に示します。

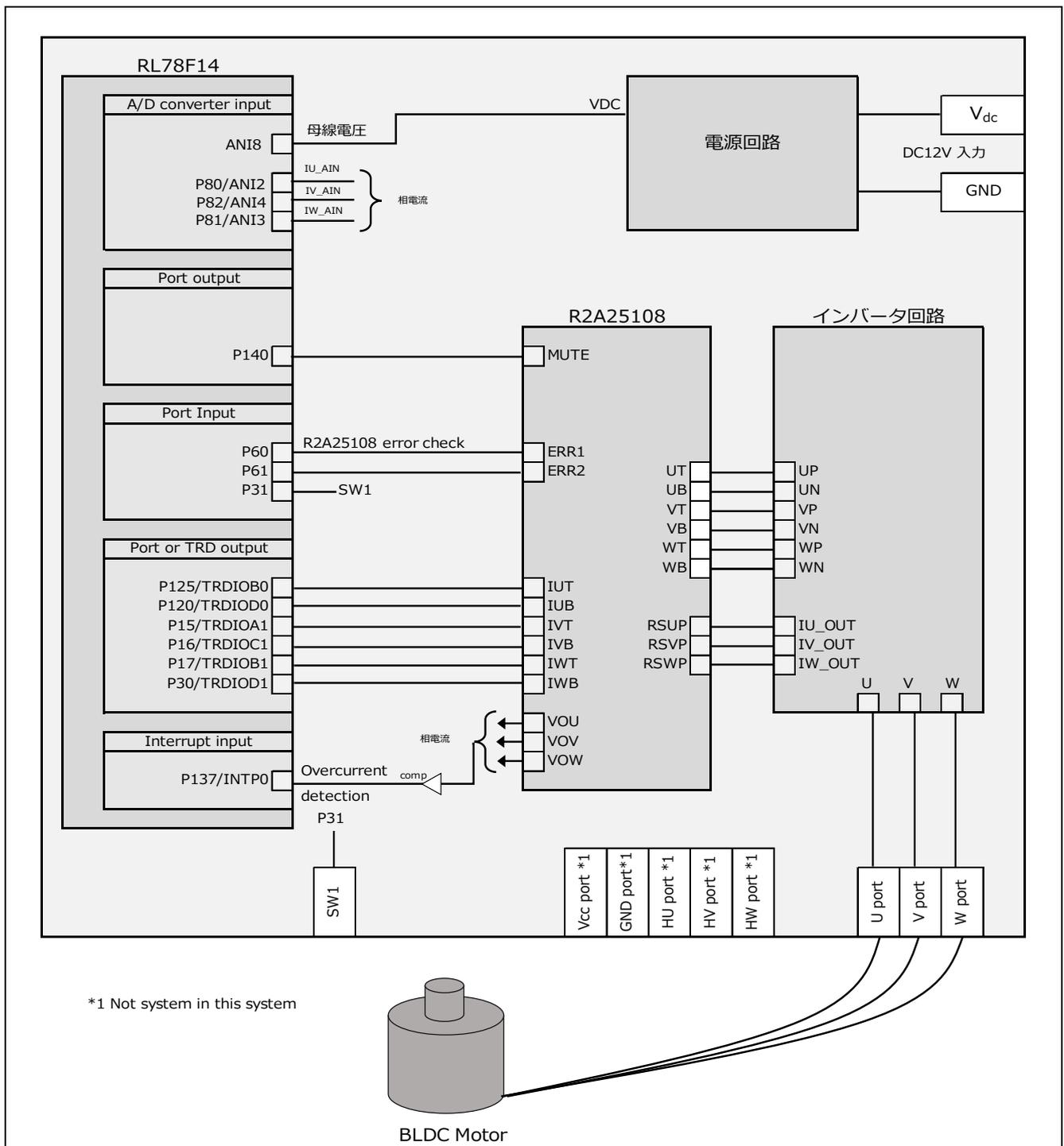


図 2-1 ハードウェア構成図

2.2 使用資源

2.2.1 インタフェース

本システムの RL78/F14 マイクロコントローラ端子のインタフェース一覧を表 2-1 に示します。

表 2-1 端子インタフェース

端子名	機能
P86 / ANI8	インバータ電圧測定
P80 / ANI2	U 相電流測定
P82 / ANI4	V 相電流測定
P81 / ANI3	W 相電流測定
P125 / TRDIOB0	相補 PWM 出力(U_p)
P15 / TRDIOA1	相補 PWM 出力(V_p)
P17 / TRDIOB1	相補 PWM 出力(W_p)
P120 / TRDIOD0	相補 PWM 出力(U_n)
P16 / TRDIOC1	相補 PWM 出力(V_n)
P30 / TRDIOD1	相補 PWM 出力(W_n)
P140	ブリドライバ MUTE 出力
P31	制御切り替え SW
P60	ERR1 異常検出入力
P61	ERR2 異常検出入力
P137 / INTP0	過電流検出回路入力
RESET	RESET

2.2.2 周辺機能

本システムの RL78/F14 マイクロコントローラ端子で使用する周辺機能一覧を表 2-2 に示します。

表 2-2 周辺機能一覧

周辺機能	用途
10 ビット A/D コンバータ (ANI2, ANI3, ANI4, ANI8)	・ U、V、W 相電流測定 ・ インバータ母線電圧測定
タイマ・アレイ・ユニット (TAU)	1 [ms]インターバルタイマ
タイマ RD (TRD)	・ 相補 PWM 出力(6 本)
INTP0 入力	・ 過電流検出入力 過電流検出時、PWM 出力中の端子をハイインピーダンスにする

(1) 10 ビット A/D コンバータ

インバータ母線電圧測定、U 相電流(I_u)、V 相電流(I_v)、W 相電流(I_w)、インバータ母線電圧(V_{dc})、を「10 ビット A/D コンバータ」を使用して測定します。

A/D 変換はチャンネル選択モードを「セレクトモード」に、変換動作モードを「ワンショット変換モード」に設定します。(ソフトウェアトリガを使用)

(2) タイマ・アレイ・ユニット(TAU)

1 [ms]インターバルタイマは、タイマ・アレイ・ユニットのチャンネル 1 を使用します。

(3) タイマ RD (TRD)

相補 PWM モードを使用して、デッドタイム付きの 6 相 PWM 出力を行います。

(4) INTP0 入力

パルス出力強制遮断機能を利用して、PWM 出力を停止します。

2.3 ソフトウェア構成

2.3.1 ソフトウェア・ファイル構成

サンプルプログラムのフォルダとファイル構成を表 2-3 に記します。

表 2-3 サンプルプログラムのフォルダとファイル構成

RL78F14_SSL_FOC180_V0100	inc	control_parameter.h	コントロールパラメータ定義用ヘッダ
		foc_function.h	センサレスベクトル制御依存部ヘッダ
		motor_parameter.h	モータパラメータ定義用ヘッダ
		rl78_common.h	共通定義用ヘッダ
		rl78_interrupt.h	割り込み関連ヘッダ
		rl78f14_inv.h	インバータ関連ヘッダ
		rl78f14_mcu.h	MCUレジスタ設定定義
		rl78f14_system.h	システム設定ヘッダ
		sequence.h	シーケンスヘッダ
		user_control.h	ユーザ定義ヘッダ
	lib	rl78_foclib.lib	ベクトル演算ライブラリヘッダ
		rl78_scale_ctrl.h	スケーリング調整関連ヘッダ
		rl78_scaling_math.lib	演算ライブラリヘッダ
	src	foc_function.c	センサレスベクトル制御依存部
		main.c	メイン関数、ユーザ・インタフェース制御
		rl78_interrupt.c	割り込みハンドラ
		rl78f14_inv.c	インバータ関連制御
		rl78f14_mcu.c	MCUレジスタ設定
		sequence.c	シーケンス制御
user_control.c		ユーザコントロール	

2.3.2 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以下に記します。

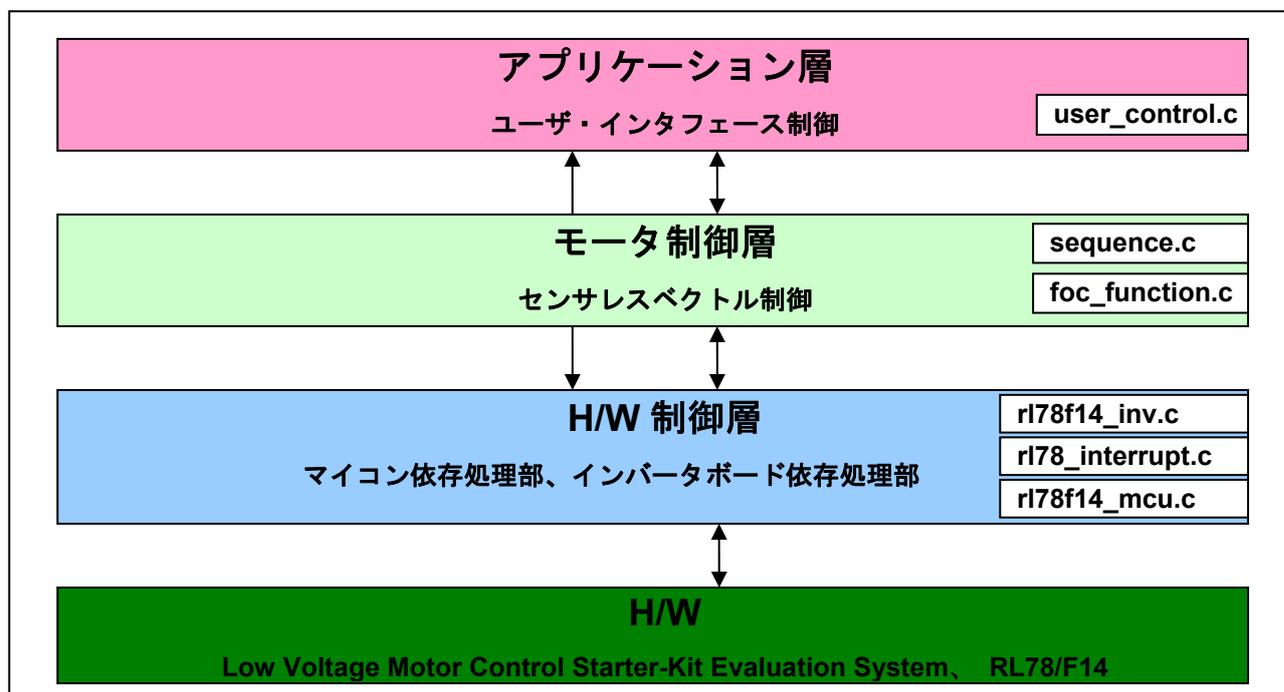


図 2-2 サンプルプログラムのモジュール構成

2.4 ソフトウェア仕様

本システムのソフトウェアの基本仕様を表 2-4 に示します。

表 2-4 ソフトウェア基本仕様

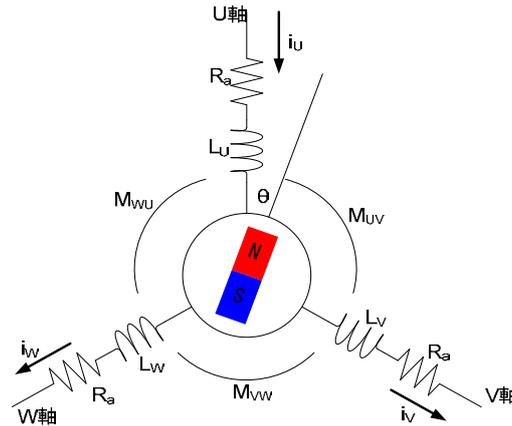
項目	内容
制御方式	センサレスベクトル制御
モータ回転開始/停止	・ SW1 入力(短押) 速度切り替え(0rpm→800rpm→4000rpm→6000rpm) ・ SW1 入力(1s 間長押) 停止・再始
回転子磁極位置検出	センサレス(電流推定誤差法)
キャリア周波数(PWM)	16 [kHz]
制御周期	187.5[μ s] (キャリア周期の 3 倍)
回転速度制御範囲	CW/CCW : 800 [rpm] ~ 6000 [rpm] 初期値は 0[rpm]、速度制御値は SW1 により、変更する。
保護停止処理	・ 以下 4 つのうちいずれかの条件の時、モータ制御信号出力(6 本)を非アクティブにする 1.各相の電流が 10 [A]を超過(187.5 [μ s]毎に監視) 2.インバータ母線電圧が 28 [V]を超過(187.5 [μ s]毎に監視) 3.インバータ母線電圧が 6 [V]未満(187.5 [μ s]毎に監視) 4.回転速度が 6600[rpm](機械角)を超過(187.5[μ s]毎に監視) ・ 外部からの過電流検出信号(INTP0 端子に"Low" 入力)を検出した場合、PWM 出力端子をハイインピーダンスにする

3. モータ制御方法

サンプルプログラムで用いる表面磁石同期モータ(PMSM の一種、以降は SPMSM と記載)のベクトル制御について説明します。

3.1 モータ制御システムの電圧方程式

正弦波状の磁束分布を持った永久磁石同期モータ (図 3-1) の電圧方程式は下記のように表すことができます。



$$\begin{pmatrix} v_u \\ v_v \\ v_w \end{pmatrix} = R_a \begin{pmatrix} i_u \\ i_v \\ i_w \end{pmatrix} + p \begin{pmatrix} \phi_u \\ \phi_v \\ \phi_w \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} \phi_u \\ \phi_v \\ \phi_w \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} L_u & M_{uv} & M_{wu} \\ M_{uv} & L_v & M_{vw} \\ M_{wu} & M_{vw} & L_w \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_u \\ i_v \\ i_w \end{pmatrix} + \psi \begin{pmatrix} \cos \theta \\ \cos(\theta - 2\pi/3) \\ \cos(\theta + 2\pi/3) \end{pmatrix}$$

v_u, v_v, v_w : 各相電機子電圧

i_u, i_v, i_w : 各相電機子電流

ϕ_u, ϕ_v, ϕ_w : 各相電機子鎖交磁束

R_a : 各相電機子電流

p : 微分演算子

L_u, L_v, L_w : 各相自己インダクタンス

M_{uv}, M_{vw}, M_{wu} : 各相間相互インダクタンス

ψ : 永久磁石による電機子鎖交磁束の最大値

θ : U相からの永久磁石 (回転子)の進み角

図 3-1 3相永久磁石同期モータの概念図

ここで自己インダクタンスと相互インダクタンスは次式の様に表されます。

$$\begin{cases} L_u = l_a + L_a - L_{as} \cos(2\theta) \\ L_v = l_a + L_a - L_{as} \cos(2\theta + 2\pi/3) \\ L_w = l_a + L_a - L_{as} \cos(2\theta - 2\pi/3) \end{cases}$$

$$\begin{cases} M_{uv} = -L_a/2 - L_{as} \cos(2\theta - 2\pi/3) \\ M_{vw} = -L_a/2 - L_{as} \cos 2\theta \\ M_{wu} = -L_a/2 - L_{as} \cos(\theta + 2\pi/3) \end{cases}$$

l_a : 一相あたりの漏れインダクタンス

L_a : 一相あたりの有効インダクタンスの平均値

L_{as} : 一相あたりの有効インダクタンスの振幅

3.2 ベクトル制御

回転子の永久磁石の磁束(N極)方向に d 軸を定め、d 軸から 90 度進んだ方向に q 軸を取る事にすると、dq 座標系から見た永久磁石同期モータの電圧方程式を得る為には以下の変換行列を用いればよい事になります。

$$C = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{pmatrix} \cos\theta & \cos(\theta - 2\pi/3) & \cos(\theta + 2\pi/3) \\ -\sin\theta & -\sin(\theta - 2\pi/3) & -\sin(\theta + 2\pi/3) \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} v_d \\ v_q \end{pmatrix} = C \begin{pmatrix} v_u \\ v_v \\ v_w \end{pmatrix}$$

上記の座標変換により dq 座標系での永久磁石同期モータの電圧方程式は以下の様に表すことができます。

$$\begin{pmatrix} v_d \\ v_q \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R_a + pL_d & -\omega L_q \\ \omega L_d & R_a + pL_q \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_d \\ i_q \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ \omega\psi_a \end{pmatrix}$$

v_d, v_q : 各相電機子電圧

L_d, L_q : 各相自己インダクタンス

i_d, i_q : 各相電機子電流

$$L_d = l_a + 3/2(L_a - L_{as}), \quad L_q = l_a + 3/2(L_a + L_{as})$$

θ : U相からの d 軸 (回転子)の進み角

ψ_a : 永久磁石による電機子 鎖交磁束の実効値

R_a : 各相電機子抵抗

$$\psi_a = \sqrt{3/2}\psi$$

これにより静止している 3 相固定子に流れていた交流は、回転子である永久磁石と同期して回転している 2 相の固定子に直流として現れると看做す事が出来ます。

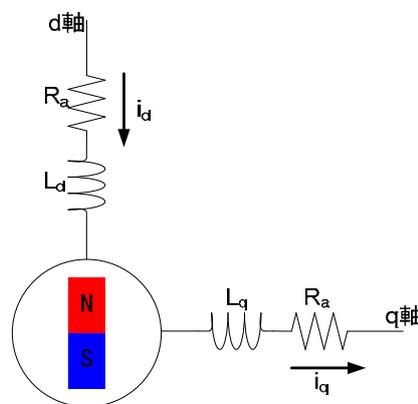


図3-2 2相直流モータの概念図

永久磁石同期モータのセンサレスベクトル制御編

モータに生じるトルクの大きさは電流ベクトルと電機子鎖交磁束の外積より下記の様に求まります。この式の右辺第一項をマグネットトルク、右辺第二項をリラクタンストルクと呼びます。

$$T = P_n \{ \psi_a i_q + (L_d - L_q) i_d i_q \}$$

T : モータトルク

P_n : 極対数

d 軸と q 軸のインダクタンスの差が無いモータを突極性が無いモータと呼びます。この場合、リラクタンストルクは 0 なるので、 q 軸電流に比例してトルクは大きくなります。この為、 q 軸電流をトルク電流と呼ぶ事があります。一方、 d 軸電流は、その大きさを変化させる事で q 軸電圧にとって恰も永久磁石の磁束の大きさが変化しているかのように見做せるはたらきをするので励磁電流と呼ぶ事があります。

一般的に SPMSM は突極性が無いので、速度制御の際、トルクを発生させるのに不要な d 軸電流は 0 に制御します。これを $id=0$ 制御と呼びます。一方、この時のモータの運動方程式は、下記の様に表されるので、速度を上昇させたい場合は、 q 軸電流 i_q を上昇させればよい事が解ります。

$$I \frac{d\omega}{dt} = P_n \psi_a i_q - T_L$$

T_L : 負荷トルク

I : モータの慣性モーメント

速度制御は、この運動方程式を解く事によってではなく、PI 制御によって行います。速度 PI 制御によって q 軸電流の指令値を得ます。

$$i_q^* = \left(K_{P\omega} + \frac{K_{I\omega}}{s} \right) (\omega^* - \omega)$$

$K_{P\omega}$: 速度PI比例ゲイン

$K_{I\omega}$: 速度PI積分ゲイン

s : ラプラス演算子

d 軸と q 軸の電流指令値により早く安定させる為、電流値にも PI 制御を行います。電流 PI 制御によって指令電圧値を得ます。

$$v_d^* = \left(K_{Pi_d} + \frac{K_{Ii_d}}{s} \right) (i_d^* - i_d)$$

K_{Pi_d} : d 軸電流PI比例ゲイン

K_{Ii_d} : d 軸電流PI積分ゲイン

$$v_q^* = \left(K_{Pi_q} + \frac{K_{Ii_q}}{s} \right) (i_q^* - i_q)$$

K_{Pi_q} : q 軸電流PI比例ゲイン

K_{Ii_q} : q 軸電流PI積分ゲイン

永久磁石同期モータのセンサレスベクトル制御編

モータが回転すると誘起電圧が発生し、d 軸電圧には q 軸電流による影響が、また q 軸電圧には d 軸電流と永久磁石磁束による影響が、速度が大きくなるにつれ顕著になります。この d 軸と q 軸の干渉は、電流値の安定を遅らせるはたらきをしてしまうことがあります。これを避ける為に、各軸の干渉項を予めキャンセルする様にフィードフォワードして各軸の電圧を算出します。

$$v_d^* = \left(K_{Pi_d} + \frac{K_{Li_d}}{s} \right) (i_d^* - i_d) - \omega L_q i_q$$

$$v_q^* = \left(K_{Pi_q} + \frac{K_{Li_q}}{s} \right) (i_q^* - i_q) + \omega (L_d i_d + \psi_a)$$

この様にして干渉項の影響を無くす方法を非干渉制御と呼びます。これにより、d 軸と q 軸を独立に制御する事が可能になります。

ベクトル制御は、互いに独立して制御する事が出来なかった 3 相の交流モータを独立に制御可能な 2 相の直流モータへと変換し、トルクや回転子の速度、位置を管理しながら制御する方法といえます。

ベクトル制御の制御フローを以下に記します。

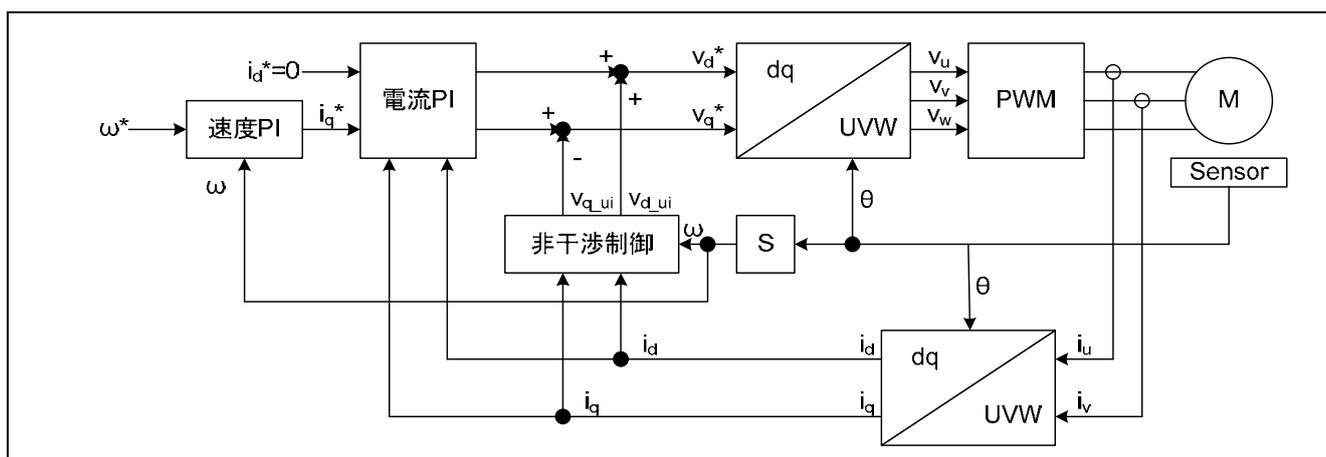


図3-3 ベクトル制御の制御フロー

3.3 電流推定誤差に基づくセンサレスベクトル制御

ベクトル制御は回転子の位置に応じて電圧を設定するので、エンコーダやレゾルバ等の位置センサが必要になります。これらの位置センサを使わない、即ちセンサレスベクトル制御を行う場合、位置情報を何らかの方法で推定する必要があります。昨今は、センサレスでのモータ制御の需要が高まり、位置情報を推定する為に様々な方法が提案されています。ここでは、本システムで採用している電流推定誤差に基づくセンサレスベクトル制御について紹介します。

実モータの位置情報はありませんので d 軸の位置は分かりません。図の様に d 軸から $\Delta\theta$ 遅れた所に γ 軸を定め、 γ 軸から 90 度進んだところに δ 軸を取ることにすると、d q 軸から $\gamma \delta$ 軸への変換式は以下の様に書く事が出来ます。

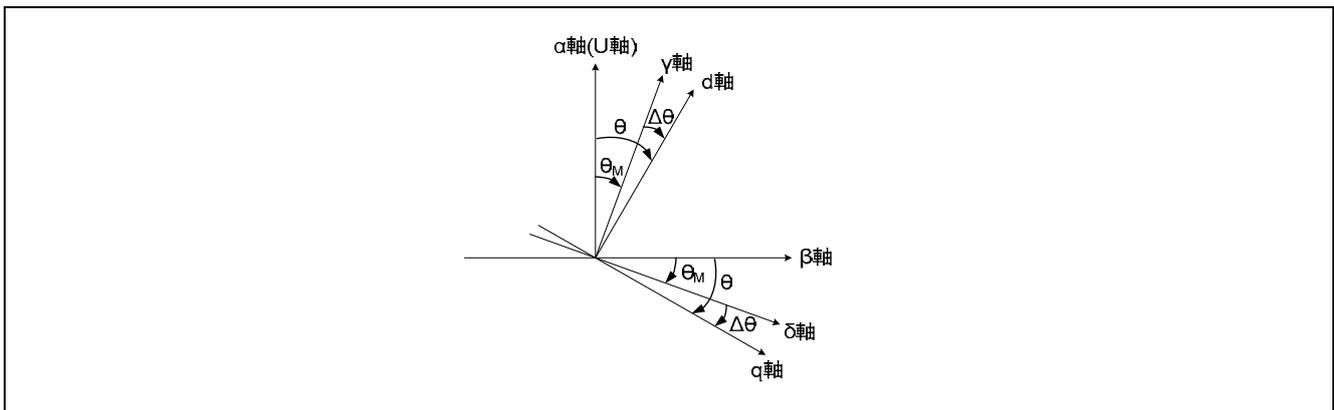


図3-4 d q 軸と $\gamma \delta$ 軸の関係

$$\begin{pmatrix} \gamma \\ \delta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \Delta\theta & \sin \Delta\theta \\ -\sin \Delta\theta & \cos \Delta\theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} d \\ q \end{pmatrix}$$

これを SPMSM の電圧方程式に施し、電流の状態方程式の形に書くと、下記の様になります。

$$p \begin{pmatrix} i_\gamma \\ i_\delta \end{pmatrix} = - \begin{pmatrix} \frac{R}{L} & -\dot{\theta}_M \\ \dot{\theta}_M & \frac{R}{L} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_\gamma \\ i_\delta \end{pmatrix} + \frac{1}{L} \begin{pmatrix} v_\gamma \\ v_\delta \end{pmatrix} - \frac{K_E \dot{\theta}}{L} \begin{pmatrix} -\sin \Delta\theta \\ \cos \Delta\theta \end{pmatrix}$$

この状態方程式に後退微分近似(オイラー近似)を使用し離散化します。

$$\begin{pmatrix} i_\gamma(n) \\ i_\delta(n) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} i_\gamma(n-1) \\ i_\delta(n-1) \end{pmatrix} + \frac{T}{L} \left\{ \begin{pmatrix} v_\gamma(n-1) \\ v_\delta(n-1) \end{pmatrix} - R \begin{pmatrix} i_\gamma(n-1) \\ i_\delta(n-1) \end{pmatrix} - \dot{\theta}_M(n-1) L \begin{pmatrix} -i_\delta(n-1) \\ i_\gamma(n-1) \end{pmatrix} - e(n-1) \begin{pmatrix} -\sin \Delta\theta(n-1) \\ \cos \Delta\theta(n-1) \end{pmatrix} \right\}$$

$$\because e(n-1) = K_E \dot{\theta}(n-1)$$

永久磁石同期モータのセンサレスベクトル制御編

ここで、モータモデルとして、モータパラメータを十分に実モータのモータパラメータと等しい値として、 R_M 、 L_M 、 e_M の様に書く事にして、 $\Delta\theta$ を0とした場合を考えます。この時、サンプル点 n での電流値は、以下の様に書く事が出来ます。

$$\begin{pmatrix} i_{\gamma M}(n) \\ i_{\delta M}(n) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} i_{\gamma}(n-1) \\ i_{\delta}(n-1) \end{pmatrix} + \frac{T}{L_M} \left\{ \begin{pmatrix} v_{\gamma}(n-1) \\ v_{\delta}(n-1) \end{pmatrix} - R_M \begin{pmatrix} i_{\gamma}(n-1) \\ i_{\delta}(n-1) \end{pmatrix} - \dot{\theta}_M(n-1) L_M \begin{pmatrix} -i_{\delta}(n-1) \\ i_{\gamma}(n-1) \end{pmatrix} - e_M(n-1) \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} \right\}$$

実モータとモータモデルの電流式の差分より、電流推定誤差は下記の様を書く事が出来ます。

$$\begin{pmatrix} \Delta i_{\gamma}(n) \\ \Delta i_{\delta}(n) \end{pmatrix} = \frac{T}{L} \begin{pmatrix} e(n-1) \sin \Delta \theta(n-1) \\ e_M(n-1) - e(n-1) \cos \Delta \theta(n-1) \end{pmatrix}$$

ここで、 $\Delta\theta$ が十分に小さい時は以下の様に近似する事が出来ます。

$$\begin{pmatrix} \Delta i_{\gamma}(n) \\ \Delta i_{\delta}(n) \end{pmatrix} \approx \frac{T}{L} \begin{pmatrix} e(n-1) \Delta \theta(n-1) \\ -\Delta e(n-1) \end{pmatrix}$$

$$\Delta e(n-1) = e(n-1) - e_M(n-1)$$

Δe と $\Delta\theta$ が共に0であれば、モータモデルと実モデルが合致して回転している状況と見做す事が出来ます。 Δe が0になる様に e_M に Δi_{δ} をフィードバックする事で推定し、同様に $\Delta\theta$ が0になる様に θ_M の値に Δi_{γ} をフィードバックする事で推定し、モータモデルと実モデルを一致させます。 e_M の推定式は以下で表せます。

$$e_M(n) = e_M(n-1) - K_e \Delta i_{\delta}(n)$$

ここで K_e は速度起電力ゲインです。同様に θ_M の推定式は、1サンプル周期間の回転子の回転角を加えて以下の様に書く事が出来ます。

$$\theta_M(n) = \theta_M(n-1) + \frac{T}{K_{EM}} e_M(n) + K_{\theta} \operatorname{sgn}\{\dot{\theta}_M(n-1)\} \Delta i_{\gamma}(n)$$

$$\operatorname{sgn}\{\dot{\theta}_M(n-1)\} = \begin{cases} 1 & ; \dot{\theta}_M(n-1) \geq 0 \\ -1 & ; \dot{\theta}_M(n-1) < 0 \end{cases}$$

ここで K_{EM} はモータモデルの起電力係数で、 K_{θ} は位置推定ゲインです。また、 $p\theta$ の符号の代わりに $p\theta_M$ の符号を使用しています。速度は、上式より以下の様に書く事が出来ます。

3.4 三角波比較法

指令値電圧を実際に出力する為には、キャリア波形（三角波）と指令値電圧波形を比較する事で出力電圧のパルス幅を決める三角波比較法を用います。この PWM 方式により、正弦波状の指令値電圧を擬似的に出力する事が出来ます。

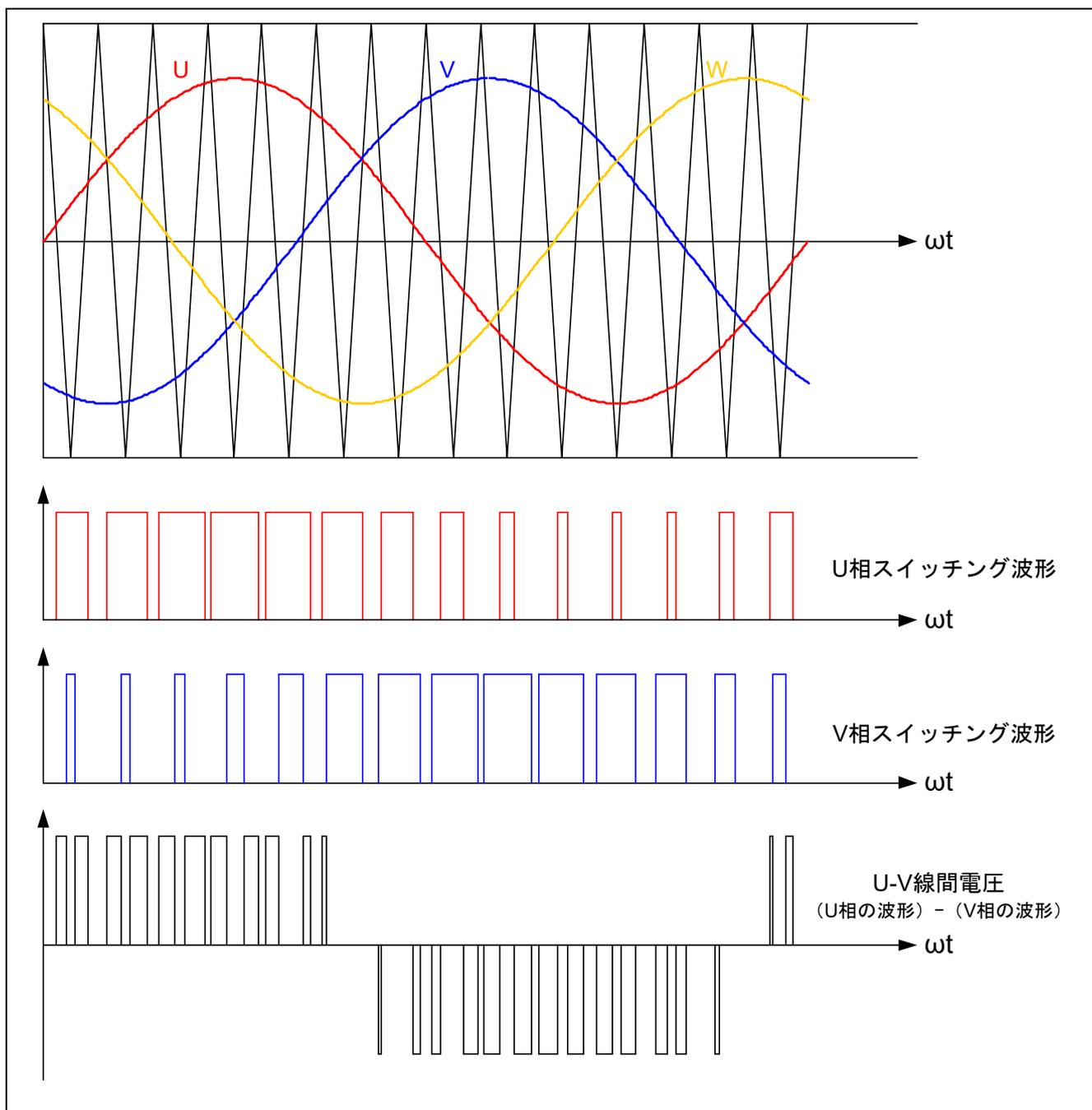


図 3-6 三角波比較法の概念図

永久磁石同期モータのセンサレスベクトル制御編

ここで、図 3-7 のように、出力電圧パルスのキャリア波に対する割合をデューティと呼びます。

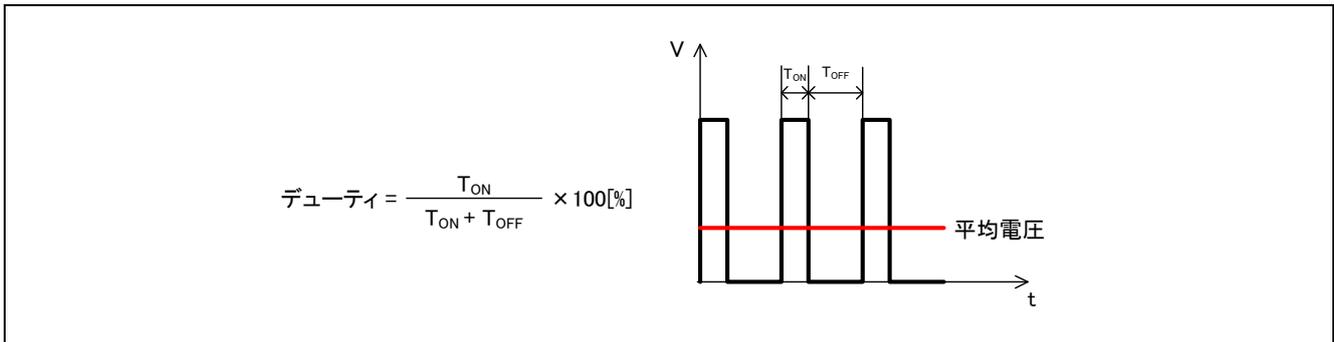


図 3-7 デューティの定義

また、変調率 m を以下のように定義します。

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

m : 変調率 V : 指令値電圧 E : インバータ母線電圧

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

4. 制御プログラム説明

本システムの制御プログラムについて説明します。

4.1 制御内容

4.1.1 モータ起動/停止

モータの起動と停止は、SW1 の入力によって制御します。

SW1 には汎用ポート (P31) が割り当てられ、メイン・ループ内で周期的に P31 端子を読み、Low レベルを検出したときスイッチが押されたと判断し動作を開始します。

また、一定以上の時間 (任意に変更可能)、Low レベルの検出が続いた場合、スイッチが長押しされたと判断し、モータの動作を停止します。

システム内部でエラーが発生した場合には、制御信号をハイインピーダンスにしてモータを停止します。

4.1.2 インバータ母線電圧、モータ 3 相電圧

(1) インバータ母線電圧

表 4-1 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検出 (異常時は PWM 停止) に使用します。

表 4-1 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 V_{dc} : A/D 変換値)	チャンネル
インバータ母線電圧	0 [V] ~ 25 [V] : 0000H ~ 03FFH	ANI8

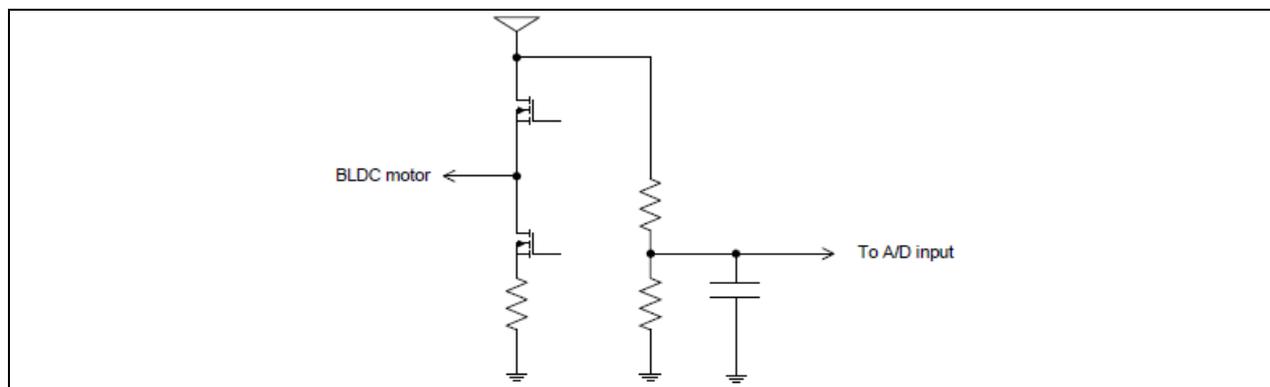


図 4-1 インバータ電圧の外部回路の概念図

(2) U 相、V 相、W 相電流

表 4-2 のように、U 相、V 相、W 相電流を測定し、ベクトル制御に使用します。

表 4-2 U、V、W 相電流の変換比

項目	変換比 (U 相、V 相、W 相電流 : A/D 変換値)	チャンネル
U 相、V 相、W 相電流	-83.3 [A] ~ 83.3 [A] : 0000H ~ 03FFH	ANI2、ANI3、ANI4

4.1.3 制御方法

始動時はオープンループでモータを駆動し、一定時間が経過したら3章で解説しました電流推定誤差法に基づいたセンサレスベクトル制御によってモータを駆動します（図 3-5 のブロック図を参照）。速度制御には PI 制御を用いています。

4.1.4 システム保護機能

本制御プログラムは、以下の3種のエラー状態を持ち、それぞれの場合に緊急停止機能を実現しています。

- ・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)により、PWM 出力端子にハイインピーダンス出力します(CPU を介さない緊急停止)。INTP0 端子を使用しています。

また、187.5 [μ s]間隔で U 相、V 相、W 相電流を監視し、過電流(15 [A]を超えた場合)を検出した時に、CPU によって緊急停止します。

- ・過電圧エラー

187.5 [μ s]間隔でインバータ母線電圧を監視し、過電圧(24 [V]を超えた場合)を検出した時に、CPU によって緊急停止します。ここで、過電圧リミット値 24 [V]は抵抗値の誤差と AC アダプタ等による供給電圧の誤差を考慮して設定した値です。

- ・低電圧エラー

187.5 [μ s]間隔でインバータ母線電圧を監視し、低電圧(3 [V]を下回った場合)を検出した時に、CPU によって緊急停止します。

4.2 関数仕様

本制御プログラムでは、複数の制御関数を使用しています。制御関数の一覧を以下に示します。
より詳細な処理については、フローチャート、またはソースファイルを参照してください。

表 4-4 制御関数一覧(1/5)

ファイル名	関数概要	処理概要
foc_function.c	focInitState 入力：なし 出力：なし	状態・変数初期化
	focExternalErrorDetected 入力：(uint8)jerrType 出力：なし	外部エラー要因検出処理
	focCalcFieldOrientedControl 入力：なし 出力：なし	foc電流制御ループ
	focGetStatus 入力：なし 出力：(uint8)focStatus	foc電流制御ステータス取得
	focGetErrorType 入力：なし 出力：(uint8)focErrorFlag	foc電流制御エラー取得
	focPiCtrl 入力：(ST_PI_CTRL) *obj 出力：(int16)result	PI制御量演算関数
	focLimInt16 入力：(int16)srcValue (uint16)limValue 出力：retValue	リミット関数
	focCompensateAngle 入力：(int16)angleRad (int16)speedRad (uint16)compTime 出力：(int16)retVal	角度位置補償
	focCalcUw2dq 入力：(int16)srcU (int16)srcW (int16)refRad 出力：(int16)*dstD (int16)*dstQ	dq固定座標変換関数
focCalcDq2ab 入力：(int16)srcD (int16)srcQ (int16)refRad 出力：(int16)*dstA (int16)*dstB	dq回転座標変換関数	

表 4-4 制御関数一覧 (2/5)

ファイル名	関数名	処理概要
foc_function.c	focCalcAb2Uvw 入力 : (int16)srcA (int16)srcB 出力 : (int16)*dstU (int16)*dstV (int16)*dstW	2軸-3軸座標変換
	focThreeShuntSamplingCall 入力 : (int16)refVu (int16)refVvx (int16)refVw 出力 : (int16)retVal	サンプリング相判定関数
main.c	main 入力 : なし 出力 : なし	メイン処理にて使用する変数の初期化
rl78_interrupt.c	_INTP0_Interrupt 入力 : なし 出力 : なし	外部割り込み(INTP0)
	_TRD0_Interrupt 入力 : なし 出力 : なし	タイマRD割り込み
	_TRD1_Interrupt 入力 : なし 出力 : なし	タイマRD割り込み
	_TAU0_Interrupt 入力 : なし 出力 : なし	タイマTAU割り込み

表 4-4 制御関数一覧 (3/5)

ファイル名	関数名	処理概要
rl78f14_inv.c	invInitBoad 入力: (uint16)invCtrlTimer, (uint16)invPwmCarrier 出力: なし	ボード初期化
	invPdInit 入力: なし 出力: なし	TRD設定とR2A25108の初期設定
	invPdStart 入力: なし 出力: なし	Pre-Driver R2A25108 出力許可
	invPdStop 入力: なし 出力: なし	Pre-Driver R2A25108 出力禁止
	invSetUVW 入力: (int16)refVu, (int16)refVv, (int16)refVw 出力: なし	指令電圧からDuty比を作成してTRDIにセットする
	invGetError 入力: なし 出力: なし	インバータエラーチェック(電源電圧、R2A25108エラー取得)
	invAdInit 入力: なし 出力: なし	A/D初期化
	invAdGetIu, invAdGetIv, invAdGetIw 入力: なし 出力: なし	A/D電流値取得
	invAdGetVu, invAdGetVv, invAdGetVw 入力: なし 出力: なし	A/D電圧値取得
	invAdGetVpn 入力: なし 出力: なし	A/D電源電圧取得
	invAdGetIdc 入力: なし 出力: なし	A/D電源電流取得
	invAdGetTemp 入力: なし 出力: なし	A/D Temp端子電圧取得
	int16_t invAdGetIdc3 入力: なし 出力: なし	モータ消費電流取得
	invMuteOn 入力: なし 出力: なし	R2A25108 Mute機能On(出力不可)
	invMuteOff 入力: なし 出力: なし	R2A25108 Mute機能On(出力可)
	invSWGetDipSW 入力: なし 出力: INV_PORT_ALLDIPSW()	ディップスイッチ状態取得
invSWGetPushSw 入力: なし 出力: INV_PORT_PSHSW()	プッシュスイッチ状態取得	

表 4-4 制御関数一覧(4/5)

ファイル名	関数名	処理概要
r178f14_mcu.c	mcuCpulnit 入力：なし 出力：なし	クロック設定初期化
	mcuIoInit 入力：なし 出力：なし	IO 初期化
	mcuTauInit 入力：(uint16)timeUs 出力：なし	タイマ・アレイ・ユニット初期化 インターバルタイマ、TAU00 のみ設定
	mcuTrdInit 入力：(uint8)trdPhase (uint8)trdInt (uint16)trdCarrierFreq (uint16)trdDeadtimeNs 出力：なし	タイマ RD 初期化
	mcuAdcInit 入力：なし 出力：なし	A/D コンバータ初期化
	mcuTauStart 入力：なし 出力：なし	タイマ開始
	mcuTauStop 入力：なし 出力：なし	タイマ停止
	mcuTrdStartCount 入力：なし 出力：なし	TRD カウント開始
	mcuTrdStopCount 入力：なし 出力：なし	TRD カウント停止
	mcuTrdEnableOutput 入力：なし 出力：なし	TRD 出力許可
	mcuTrdDisableOutput 入力：なし 出力：なし	TRD 出力禁止
	mcuTrdSetDuty 入力：(int16)pwm1 (int16)pwm2 (int16)pwm3 出力：なし	TRD コンペア値変更
	mcuTrdClearIf 入力：なし 出力：なし	TRD 割り込みフラグクリア
	mcuWdtClearCount 入力：なし 出力：なし	WDT カウントクリア
	mcuAdcGetData 入力：(uint8)adcChanel 出力：なし	A/D 指定チャネルデータ取得
	mcuExternalInterruptInit 入力：なし 出力：なし	外部割り込み初期化
mcuIntp0ClearIf 入力：なし 出力：なし	外部割り込み(INTP0)割り込みフラグクリア	

表 4-4 制御関数一覧 (5/5)

ファイル名	関数名	処理概要
sequence.c	seqInitSetting 入力: なし 出力: なし	状態初期化
	seqExecEvent 入力: (uint8)reqEvent 出力: なし	イベント実行
	seqActRun 入力: (uint8)curState 出力: ret	モータ始動イベント
	seqActStop 入力: (uint8)curState 出力: ret	モータ停止イベント
	seqActNone 入力: (uint8)curState 出力: ret	イベントなし
	seqActReset 入力: (uint8)curState 出力: ret	モータリセットイベント
	seqActError 入力: (uint8)curState 出力: ret	モータエラーイベント
	seqGetSeqMode 入力: なし 出力: seqModeSystem	シーケンスモード取得
	seqGetErrorType 入力: なし 出力: seqErrorStatus	エラー状態取得
	user_control.c	userInitControlParam 入力: なし 出力: なし
userCurrentReferenceControl 入力: なし 出力: なし		電流指令制御
userControlTimer 入力: なし 出力: なし		速度制御割り込みの呼び出し部
userSequenceControl 入力: (uint8)*ControlReqest 出力: なし		制御パラメータ変更
userSpeedControl 入力: なし 出力: なし		速度制御ループ

4.3 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。

表 4-5 変数一覧 (1/2)

カテゴリ	変数名	型	内容	備考
A/D オフセット調整	focTimeSettingOffset	uint16	3相電流オフセットカウンタ設定数	
	focCurrentOffsetLpfK	int16	3相電流オフセット調整フィルタ係数	
	focTimeCountOffset	uint16	電流オフセットカウンタ	
電流関連	focIdRef	int16	d 軸電流指令値	
	focIqRef	int16	q 軸電流指令値	
	focCurrentIu	int16	U 相電流値	
	focCurrentIv	int16	V 相電流値	
	focCurrentIw	int16	W 相電流値	
	focCurrentId	int16	d 軸電流値	
	focCurrentIq	int16	q 軸電流値	
	focOffsetIu	int16	U 相電流オフセット値	
	focOffsetIv	int16	V 相電流オフセット値	
	focOffsetIw	int16	W 相電流オフセット値	
focCurrentDQLpfK	int16	dq 軸ローパスフィルタ係数		
電圧関連	focVdRef	int16	Vd 電圧指令値	
	focVqRef	int16	Vq 電圧指令値	
	focMuRef	int16	U 相電圧電圧指令値	
	focMvRef	int16	V 相電圧電圧指令値	
	focMwRef	int16	W 相電圧電圧指令値	
	focVdqLimit	int16	dq 軸電圧リミット値	
ロータ位置	focAngleRad	int16	回転子位置	電気角[rad]
	focSpeedRad	int16	モータ速度	電気角[rad/s]
角度補償	focCompTimeAd	int16	A/D サンプリング補償時間	
	focCompTimePWM	int16	PWM 出力補償時間	
ステータ	focStatus	uint8	モータステータスの定義	
	focErrorFlag	uint8	エラーフラグ	
計算バッファ	focCalcBuf	uint8	計算領域バッファ	

表 4-5 変数一覧 (2/2)

カテゴリ	変数名	型	内容	備考
計算用バッファ	invLastVdcVal	int16	取得済み電源電圧バッファ	
	invMaxDuty	int16	duty max 計算バッファ	
TRD タイマ	trdPeak	uint16	タイマ RD 正相三角波上限値	
シーケンスステータス	seqModeSystem	uint8	シーケンスステータスの定義	
	seqErrorStatus	uint8	シーケンスエラーステータス定義	
モータ回転数制御	userRunMode	uint16	速度制御ステータスの定義	
	userRpmRef	int16	回転速度指令値	[rpm]
	userRpmEst	int16	回転速度演算値	[rpm]
	userRpmRefRequest	int16	ユーザ入力モータ速度	[rpm]
	userRpmOlttoFoc	int16	オープンループからセンサレスへ移行速度	
	userRpmSlope	int16	速度スロープ	[rpm/ms]
	userSpeedRadRef	int16	回転速度指令値	[rad/s]
電流制御リファレンス	userDelaySettingOIToFoc	int16	クローズドループ制御安定待ち時間	[ms]
	userIdRefOIRequest	int16	オープンループ d 軸電流指令値	
	userIqRefOIRequest	int16	オープンループ q 軸電流指令値	
	userIdRefVecRequest	int16	ベクトル制御 d 軸電流指令値	
	userIdRefEnhRequest	int16	ベクトル制御 d 軸強め電流指令値	
	userIdSlopeOI	int16	オープンループ d 軸電流スロープ指令値	
	userIqSlopeOI	int16	オープンループ q 軸電流スロープ指令値	
	userIdSlopeUpVec	int16	Id 電流 Up スロープ電流	
userIdSlopeDownVec	int16	Id 電流 Down スロープ電流		

4.4 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 4-6 マクロ定義一覧(1/3)

ファイル名	マクロ名	内容	備考
control_parameter.h	CP_FREQ_SPEED	1000	速度制御周波数[Hz]
	CP_RPM_MAX_SPEED	6000	最高回転数[rpm]
	CP_RPM_MIN_SPEED	800	最低回転数[rpm]
	CP_RPM_SLOPE_REQ	6000	回転加速量[rpm/s]
	CP_RPM_OL_TO_FOC	600	オープンループ制御からクローズループ制御への移行回転数[rpm]
	CP_DELAY_OL_TO_FOC	100	クローズループ制御安定待ち時間[ms]
	CP_RPM_ENHANCE	1600	d 軸制御の許可回転数[rpm]
	CP_ID_REF_OL_REQ	2.2f	オープンループ制御の d 軸指令電流値[A]
	CP_IQ_REF_OL_REQ	0.0f	オープンループ制御の q 軸指令電流値[A]
	CP_ID_SLOPE_OL_REQ	8.0f	オープンループ制御の d 軸電流指令印加速度[A/S]
	CP_IQ_SLOPE_OL_REQ	1.0f	オープンループ制御の q 軸電流指令印加速度[A/S]
	CP_ID_REF_FOC_REQ	0.0f	クローズループ制御の d 軸指令電流値[A]
	CP_ID_REF_ENH_REQ	1.5f	d 軸制御時の d 軸電流指令値[A]
	CP_ID_SLOPE_UP_REQ	5.0f	クローズループ制御の d 軸電流指令上昇印加速度[A/S]
	CP_ID_SLOPE_DOWN_REQ	4.5f	クローズループ制御の d 軸電流指令下降印加速度[A/S]
	CP_SPEED_PI_KP	1.5f	速度制御の比例定数
	CP_SPEED_PI_KI	0.002f	速度制御の積分定数
	CP_IQ_LIMIT	7.0f	q 軸電流の最高指令電流[A]
	CP_PWM_CARRIER	16000	キャリア周波数[Hz]
	CP_TIME_OFFSET	1.5	3 相電流オフセット調整時間[s]
	CP_DECIMATION	2	制御間引き数
	CP_ID_PI_KP	0.18385f	d 軸電流制御比例定数
	CP_ID_PI_KI	0.01529f	d 軸電流制御積分定数
	CP_IQ_PI_KP	0.18640f	q 軸電流制御比例定数
	CP_IQ_PI_KI	0.01597f	q 軸電流制御積分定数
	CP_CURRENT_OFFSET_FACTOR	0.025f	3 相電流オフセット調整フィルタ係数
	CP_CURRENT_DQLPF_FACTOR	0.25f	dq 軸ローパスフィルタ係数
	CP_THETA_EST_K	0.050640f	速度推定係数
	CP_ANGLE_LPF_K	0.053941f	角度推定係数
	CP_EMF_EST_K	0.080437f	誘起電圧推定係数
	CP_OFFSET_COUNT	$(CP_PWM_CARRIER / (1 + CP_DECIMATION)) * CP_TIME_OFFSET)$	3 相電流オフセット調整時間カウント数
	SCALE_SPEED_RAD(pp)	$SC_FLOAT2INT16((3.14159265f * 2 * CP_RPM_MAX_SPEED * pp) / 60), F2I_SCALE)$	角速度スケーリング指数
	SCALE_ANGLE_RAD	$SC_FLOAT2INT16((3.14159265f * 2), F2I_SCALE)$	角度スケーリング指数

永久磁石同期モータのセンサレスベクトル制御編

表 4-6 マクロ定義一覧(2/3)

ファイル名	マクロ名	内容	備考
foc_function.h	USE_FOCLIB	1	rl78_foclib 関数利用スイッチ
	FOC_STATE_ADJUST	0x00U	ベクトル制御のステータス定義
	FOC_STATE_READY	0x01U	
	FOC_STATE_ERROR	0xFFU	
	FOC_ERR_BASE	0xE0U	エラーモードの定義 00:エラーなし E0:過電流エラー(HW 検出) E1:過電流エラー E2:過電圧エラー E3:低電圧エラー EF:Pre-Driver エラー
	FOC_ERR_NON	0x00U	
	FOC_ERR_OCD_HW	(FOC_ERR_BASE + 0x0U)	
	FOC_ERR_OCD	(FOC_ERR_BASE + 0x1U)	
	FOC_ERR_OVD	(FOC_ERR_BASE + 0x2U)	
	FOC_ERR_UVD	(FOC_ERR_BASE + 0x3U)	
	FOC_ERR_PDERR	(FOC_ERR_BASE + 0xFU)	
	MATH_PI	3.14159265f	PI 定数
	MATH_TWOPi	(2.0f * MATH_PI)	2PI 定数
	MATH_SQRT_3d2	1.224745f	$\sqrt{3/2}$ 定数
	MATH_SQRT_2d3	0.816497f	$\sqrt{2/3}$ 定数
	MATH_SQRT_3_2	0.866025f	$\sqrt{3}/2$ 定数
	MATH_SQRT_2	1.414214f	$\sqrt{2}$ 定数
	MATH_SQRT_2_2	(MATH_SQRT_2 / 2)	$\sqrt{2}/2$ 定数
MATH_RPM2RADPS	(MATH_TWOPi/60.0f)	rpm-->rad/s 回転数から角速度への変換係数	
MATH_RADPS2RPM	(60.0f/MATH_TWOPi)	rad/s-->rpm 角速度から回転数への変換係数	
motor_parameter	MP_PP	4	モータ極数対
	MP_RA	0.10f	モータ巻き線抵抗値[ohm]
	MP_LD	0.00018385f	モータインダクタンス Ld[H]
	MP_LQ	0.00018640f	モータインダクタンス Lq[H]
	MP_KE	0.00253887f	モータ逆起電力定数[V/s/rad]
rl78_common.h	SFRBIT(sfr, bit)	(sfr ## . ## bit)	sfr ビットアクセスマクロ (CA78KOR コンパイルビルド用)
		(sfr ## _bit.no ## bit)	sfr ビットアクセスマクロ (CC-RL コンパイルビルド用)
	__EI()	EI()	組み込み関数置き換え用マクロ (CA78KOR コンパイルビルド用)
	__DI()	DI()	
	__halt()	HALT()	
	__stop()	STOP()	
	__brk()	BRK()	
__nop()	NOP()		
rl78_interrupt.h	__interrupt		割り込み関数修飾子置き換え用マクロ (CC-RL コンパイルビルド用)

永久磁石同期モータのセンサレスベクトル制御編

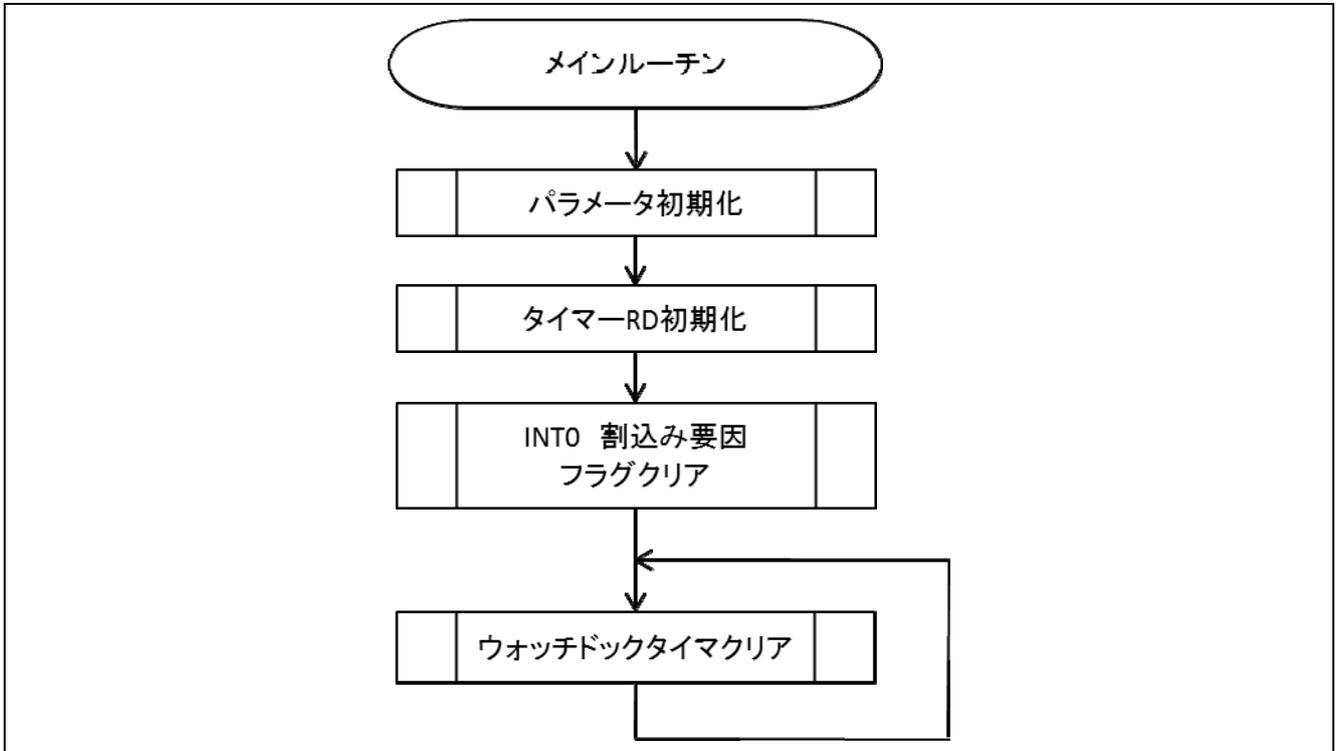
表 4-6 マクロ定義一覧(3/3)

ファイル名	マクロ名	内容	備考
r178f14_inv	INV_ERR_BASE	0xC0	エラーモードの定義 00:エラーなし C0:バス過電圧エラー C1:バス低電圧エラー CD:Pre-Driver 過電圧/加熱エラー CE:Pre-Driver 天絡/地絡エラー CF:Pre-Driver 電源低電圧エラー
	INV_ERR_NONE	0x00	
	INV_ERR_VDC_OVD	(INV_ERR_BASE + 0x0U)	
	INV_ERR_VDC_UVD	(INV_ERR_BASE + 0x1U)	
	INV_ERR_OVD_TSD	(INV_ERR_BASE + 0xDU)	
	INV_ERR_SCB_SCG	(INV_ERR_BASE + 0xEU)	
	INV_ERR_UVD	(INV_ERR_BASE + 0xFU)	
	INV_PWM_DEADTIME	2000	インバータデッドタイム [2us]
	INV_SHUNT_R	0.002f	シャント抵抗値 [2mΩ]
	INV_AMP_GAIN	15	アンプゲイン [15k/1k]
	INV_AD2CUR	((2.5f/INV_AMP_GAIN)/ INV_SHUNT_R)/(0xFFC0/2))	A/D 変換結果から相電流値への変換係数
	INV_AD2IDC	(52.0f/0x03FF)	A/D 変換結果から電源電流への変換係数
	INV_AD2VPN	(25.0f/0x03FF)	A/D 変換結果から電源電圧への変換係数
	INV_AD2VOL	(25.0f/0x03FF)	A/D 変換結果から相電圧値への変換係数
	INV_RATED_VOLTAGE	12.0f	定格電圧[V]
	INV_OV_LEVEL	24.0f	過電圧検出レベル[V]
	INV_UV_LEVEL	3.0f	低電圧検出レベル[V]
	INV_VOLTAGE_MAX	40.0f	電圧最大検出範囲[V]
INV_OC_LEVEL	15.0f	過電流検出レベル[A]	
INV_CURRENT_MAX	40.0f	電流最大検出範囲[A]	
r178f14_mcu.h	TRD_PHASE_ACTIVE_H	0U	mcuTaulnit()関数用設定 インバータ出力 High Active
	TRD_PHASE_ACTIVE_L	(TRD_PHASE_ACTIVE_H + 1)	mcuTaulnit()関数用設定 インバータ出力 Low Active
	TRD_TRDINT_TOP	0U	mcuTaulnit()関数用設定 TDR タイマ 山割り込み
	TRD_TRDINT_BOTTOM	TRD_TRDINT_TOP + 1	mcuTaulnit()関数用設定 TDR タイマ 谷割り込み
	TRD_SET_PWM_MAX	0x4000	PWM Duty 比最大値のスケーリングデータ
	TRD_SET_PWM_MAX_E	14	PWM Duty 比のスケーリング指数
	MCU_FIH_CLK	48	高速オンチップオシレータ周波数(fIH)
	MCU_FCLK	24	動作周波数(fCLK)
sequence.h	SEQ_MODE_STOP	0x00	システムモード 00:モータストップモード 01:モータ動作中 02:エラーモード
	SEQ_MODE_RUN	0x01	
	SEQ_MODE_ERROR	0x02	
	SEQ_SIZE_STATE	3	ステートオーバースレッシュ
	SEQ_EVENT_STOP	0x00	イベントデータ 00:ストップ 01:ラン 02:エラー 03:リセット
	SEQ_EVENT_RUN	0x01	
	SEQ_EVENT_ERROR	0x02	
	SEQ_EVENT_RESET	0x03	
	SEQ_SIZE_EVENT	4	イベントステート オーバースレッシュ
	SEQ_ERR_NONE	0x00U	ノーステータス 初期データ
SEQ_ERR_UNKNOWN	0xFFU	不明なイベント要求エラー	

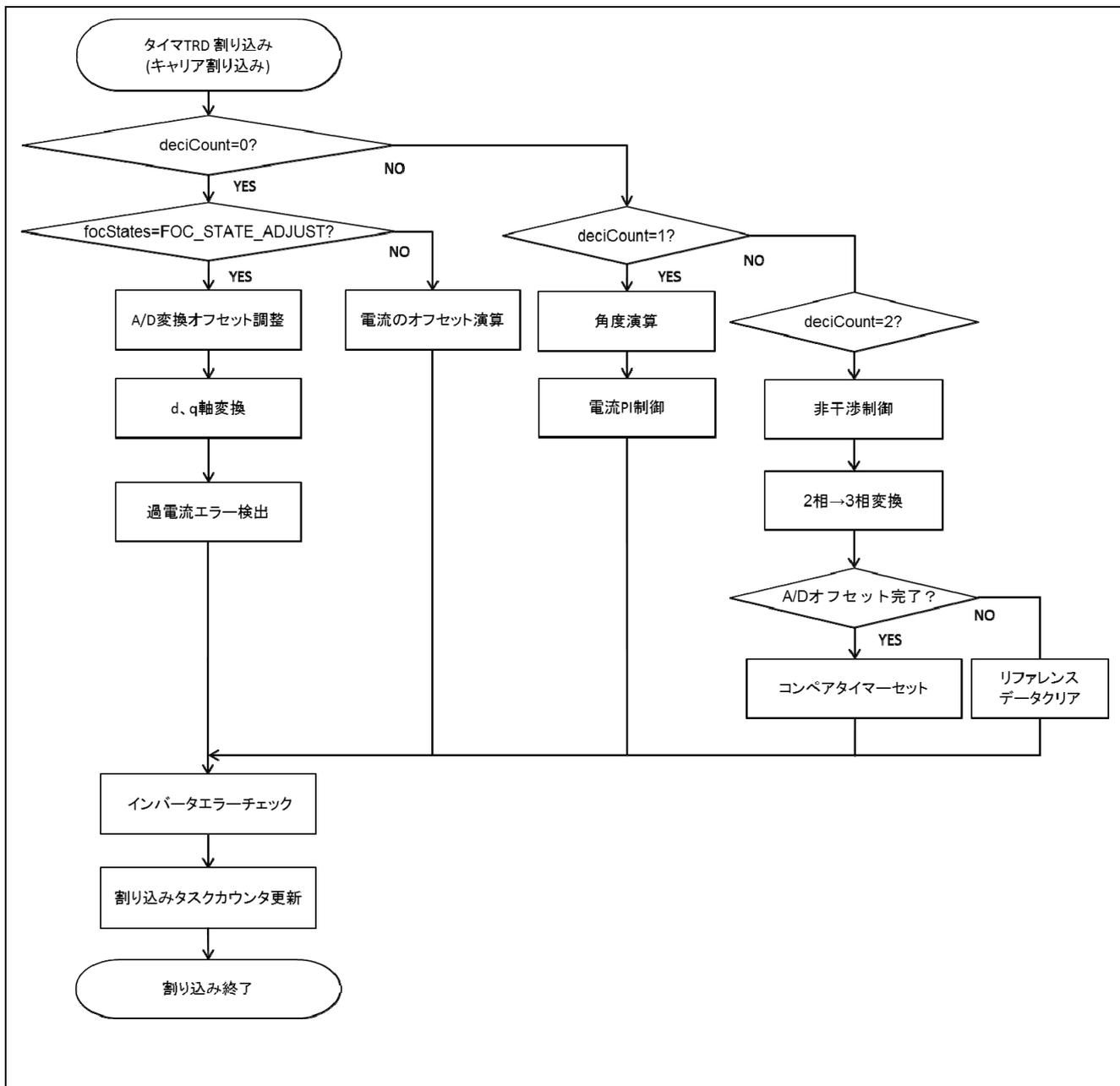
制御フロー(フロー・チャート)

4.5 フローチャート

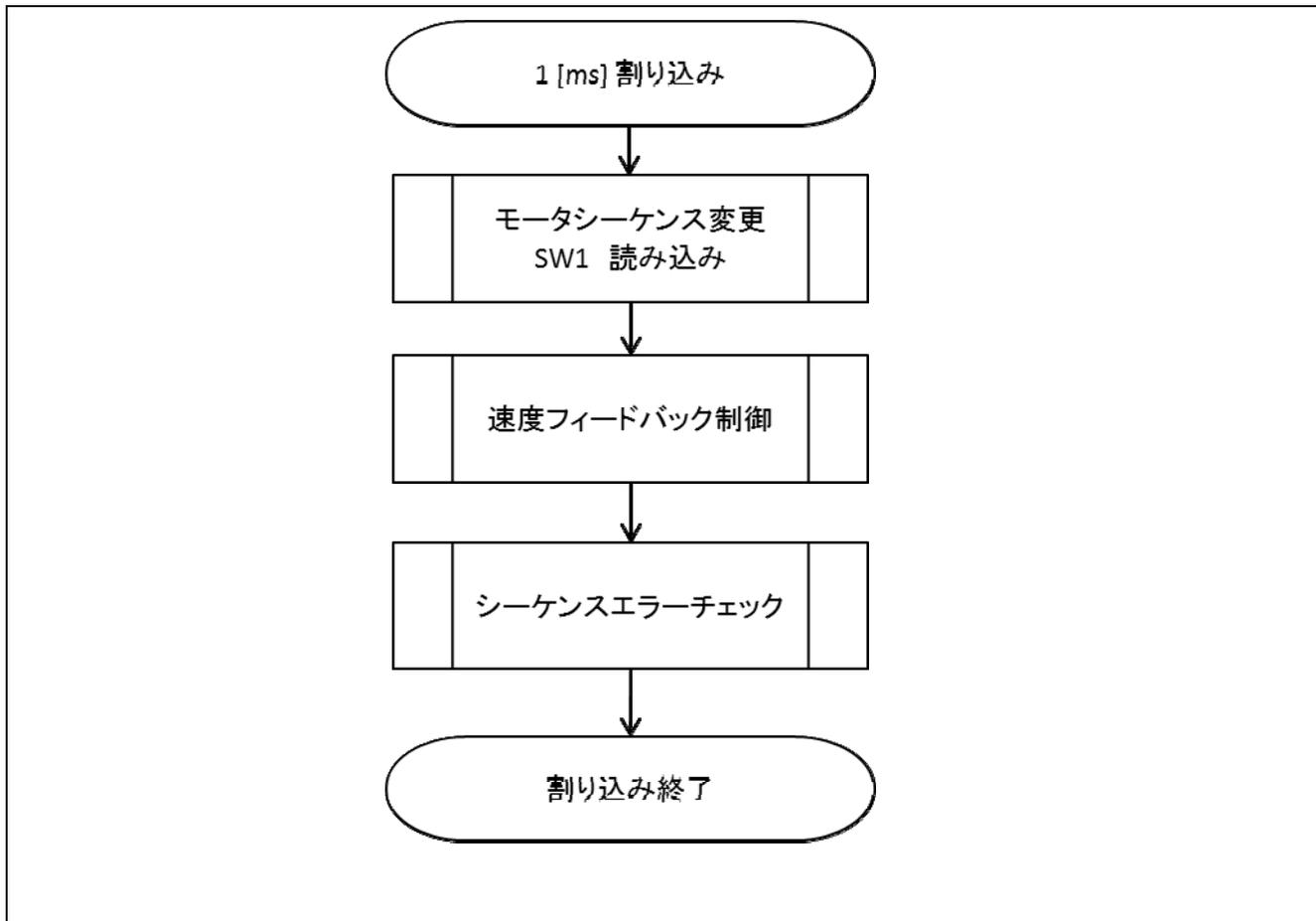
(1)メイン処理



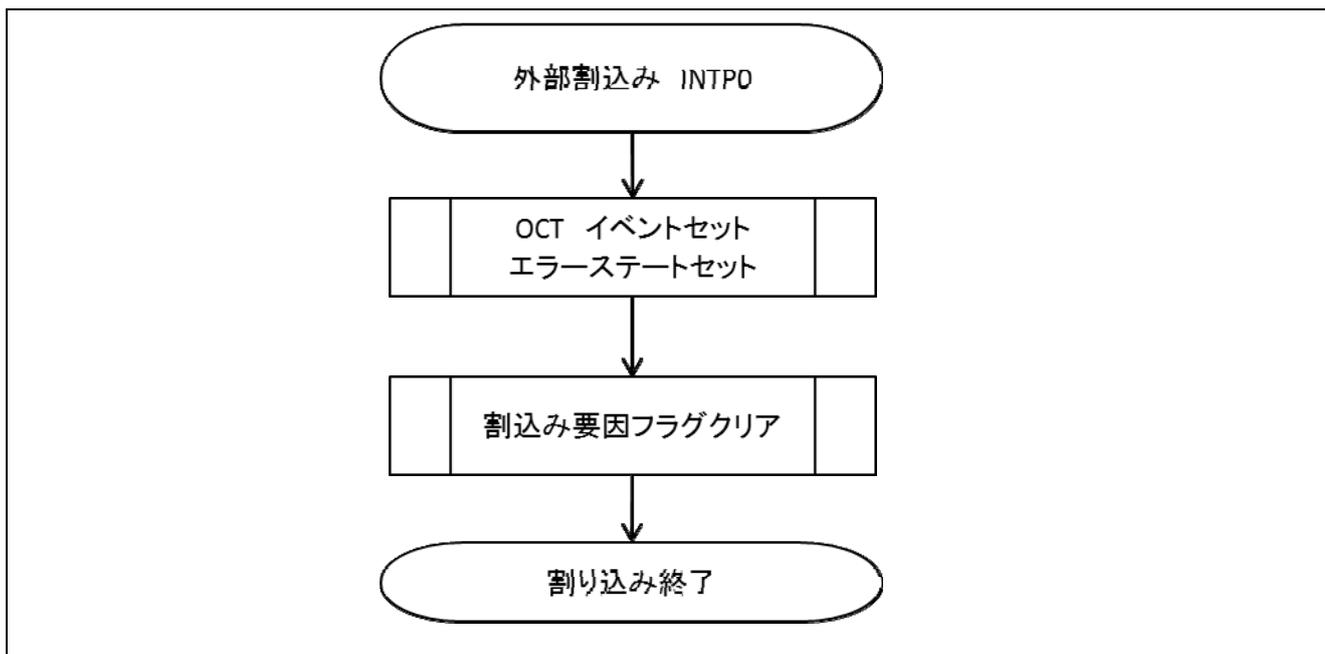
(2) キャリア割り込み 62.5[μs] 周期割り込み処理



(3)1 [ms] 割り込み処理



(4)外部割り込み処理 (INTP0)



ホームページとサポート窓口

ルネサス エレクトロニクスホームページ

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

お問い合わせ先

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

すべての商標および登録商標は、それぞれの所有者に帰属します。

Rev.	発行日	改訂内容	
		ページ	概要
1.00	2017.3.31	—	初版発行

ご注意書き

- 本資料に記載された回路、ソフトウェアおよびこれらに関連する情報は、半導体製品の動作例、応用例を説明するものです。お客様の機器・システムの設計において、回路、ソフトウェアおよびこれらに関連する情報を使用する場合には、お客様の責任において行ってください。これらの使用に起因して生じた損害（お客様または第三者いずれか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。
 - 当社製品、本資料に記載された製品データ、図、表、プログラム、アルゴリズム、応用回路例等の情報の使用に起因して発生した第三者の特許権、著作権その他の知的財産権に対する侵害またはこれらに関する紛争について、当社は、何らの保証を行うものではなく、また責任を負うものではありません。
 - 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。
 - 当社製品を、全部または一部を問わず、改造、改変、複製、その他の不適切に使用しないでください。かかる改造、改変、複製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。
 - 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、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、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できません。たとえ、意図し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。
 - 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。
 - 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。
 - 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。
 - 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。また、当社製品および技術を、(1)核兵器、化学兵器、生物兵器等の大量破壊兵器およびこれらを運搬することができるミサイル（無人航空機を含みます。）の開発、設計、製造、使用もしくは貯蔵等の目的、(2)通常兵器の開発、設計、製造または使用の目的、または(3)その他の国際的な平和および安全の維持の妨げとなる目的で、自ら使用せず、かつ、第三者に使用、販売、譲渡、輸出、賃貸もしくは使用許諾しないでください。
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。
 - お客様の転売、貸与等により、本書（本ご注意書きを含みます。）記載の諸条件に抵触して当社製品が使用され、その使用から損害が生じた場合、当社は一切その責任を負わず、お客様にかかる使用に基づく当社への請求につき当社を免責いただきます。
 - 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。
 - 本資料に記載された情報または当社製品に関し、ご不明点がある場合には、当社営業にお問い合わせください。
- 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とその総株主の議決権の過半数を直接または間接に保有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.3.0-1 2016.11)



ルネサスエレクトロニクス株式会社

■営業お問合せ窓口

<http://www.renesas.com>

※営業お問合せ窓口の住所は変更になることがあります。最新情報につきましては、弊社ホームページをご覧ください。

ルネサス エレクトロニクス株式会社 〒135-0061 東京都江東区豊洲3-2-24（豊洲フォレシア）

■技術的なお問合せおよび資料のご請求は下記どうぞ。
総合お問合せ窓口：<https://www.renesas.com/contact/>