TMPM4K4B
モーターサンプルソフトウェア
アプリケーションノート

目次

1. 概要

1.1 はじめに

本モーター制御用サンプルソフトはイーエスピー企画製 SBK-M4K4(TMPM4K4B マイコン評価ボード)と KES-P2(インバーターボード) を使用して動作確認を行っております。
本評価ボードの詳細については(株)イーエスピー企画(http://esp.co.jp/)にお問い合わせください。

1.2 仕様概要

- ◆ マイコン ・・・・・・ TMPM4K4B(動作クロック120MHz)
- ◆ 使用モーター ・・・・・・ ツカサ電工(株) – TG611B
- ◆ 開発環境 ・・・・・・ IAR Embedded Workbench V9.50.2
  Keil μVision MDK V5.39.0.0
  SEGGER Embedded Studio V8.10b
- ◆ 直流リンク電圧 ・・・・・・ DC24V

- ◆ 制御概要
  - ・ブラシレスDCモーターセンサーレスベクトル制御(速度制御)
  - ・評価用
    - -DAC出力(変数値アナログ出力用)
    - -インバーターボード温度検出
    - -UART 出力(Tera Term などを使用した初期ステータス確認)
    - -LED 出力(モニター用 LED)

- ◆ モーター制御内容

表1.1モーター制御内容

項目	制御内容
モーター操作	停止または始動
回転制御方式	一定回転数制御(スイッチ切替)
回転方向	CW 固定
PWM 変調方式	3 相変調または 2 相変調
電流検出方式	3 シャントまたは 1 シャント
位置検出方式	センサーレス、 エンコーダー(注 1)
オペアンプ	マイコン内蔵または外部

注 1: 未評価

・注意事項

- EMG が発生した場合、リセットによる解除を行ってください。
- 1 シャントで動作させる場合、下記の設定となっているか確認してください。

・D_Para_CHx.h (注 1)

#define cSHUNT_TYPE_CHx (1) (注 1)

#define cBOOT_TYPE_CHx (cBoot_v) (注 1)

注 1: "x"には使用モーターのチャネルに合わせ、0,1 を当てはめてください。

1.3 処理概要

ベクトル制御ソフトウェアは、ユーザーインターフェース処理を行うアプリケーション、状態遷移 (State transition) によりモーター動作状態 (Motor operation status) を制御するモーター制御、モーター駆動回路を直接アクセスしてモーターの駆動処理を行うモーター駆動の 3 階層で構成されます。

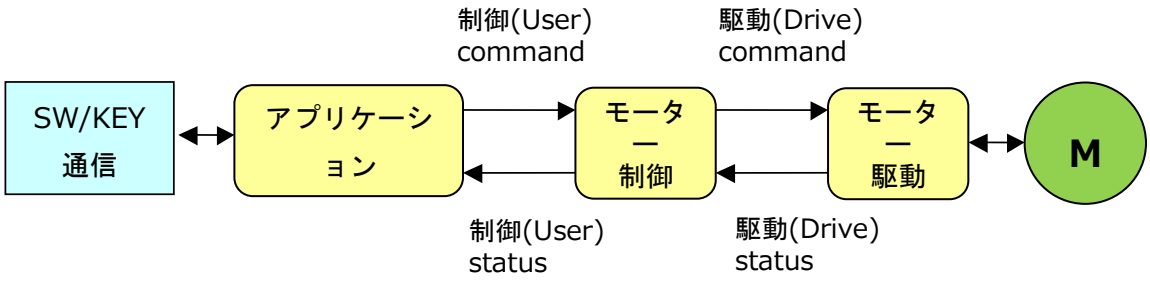


図 1.1 ベクトル制御ソフトウェアの構造

i. アプリケーションは、スイッチ、キー、通信などで設定した制御コマンドを入力し、その他の制御コマンドとともにモーター制御に与えます。また制御ステータスをモーター制御から取得し、必要な処理を行うとともに、ポートなどに出力します。

ii. モーター制御はアプリケーションから与えられる制御コマンドを読み取り、モーター動作状態に従ってより具体的な駆動コマンドに変換し、モーター駆動に与えます。また駆動ステータスをモーター駆動から取得し、必要な処理を行うとともにアプリケーションに転送します。

iii. モーター駆動はモーター制御から与えられる駆動コマンドを読み取り、モーターを駆動します。またモーターの動作を監視し、その状態に従って必要な処理を行うとともに、駆動ステータスをモーター制御に転送します。

例えば、モーター回転中にアプリケーションから新たな制御目標速度が与えられたとき、モーター駆動は急激な目標速度の変化に対応できないため、いったんモーター制御内で徐々に変化する駆動目標速度に変換してからモーター駆動に与えます。

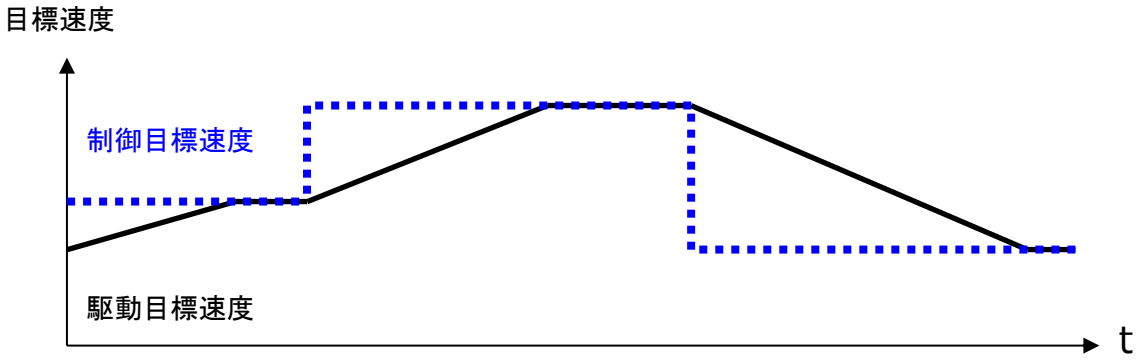


図 1.2 制御目標速度と駆動目標速度

2. システムブロック図

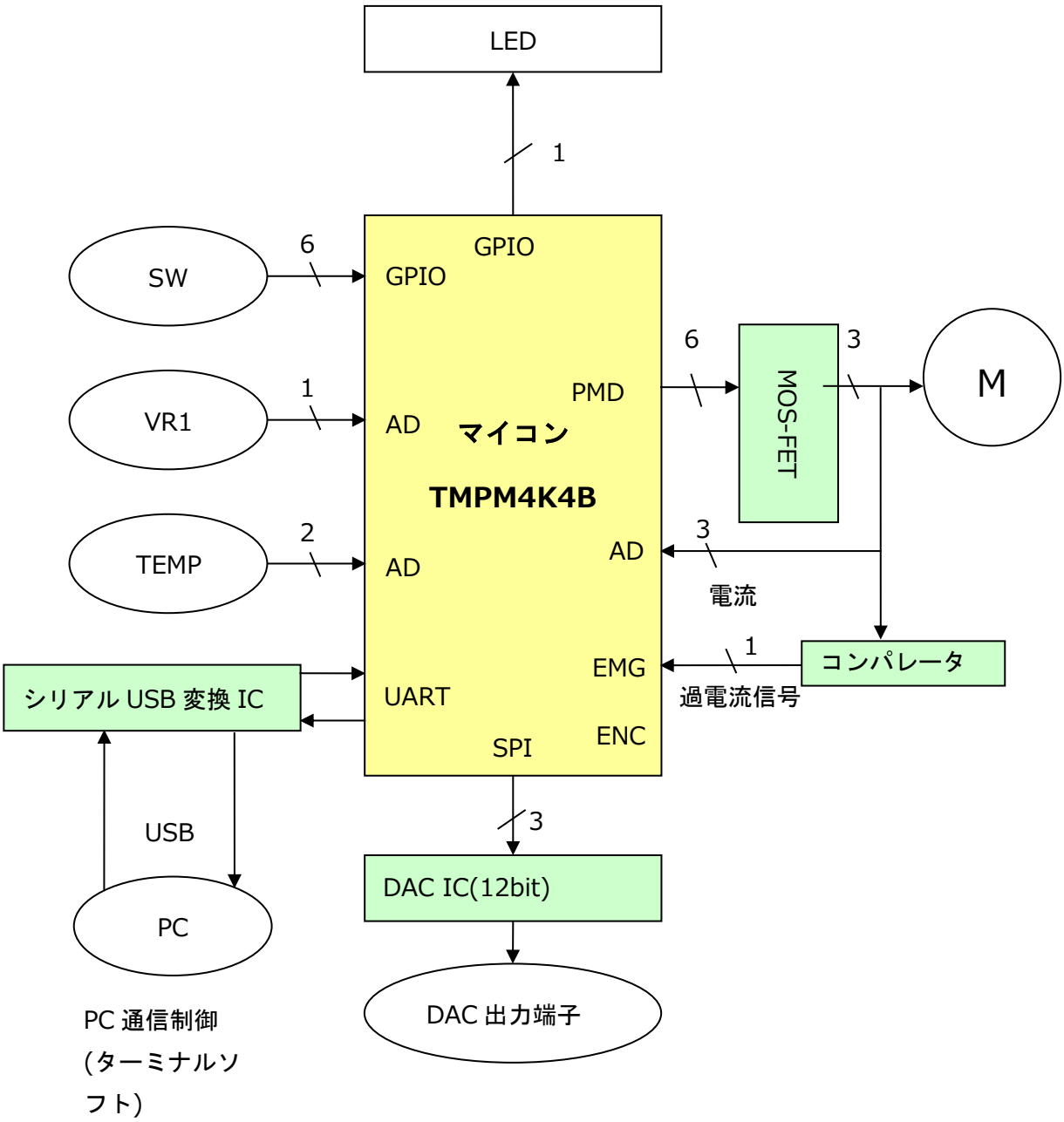


図 2.1 システムブロック図

3. ソースファイル構成

```
source
|   B_User.c              ベクトル制御ユーザー設定関連ソースファイル
|   B_User.h              ベクトル制御ユーザー設定関連ヘッダーファイル
|   C_Control.c           ベクトル制御コントロール関連ソースファイル
|   C_Control.h           ベクトル制御コントロール関連ヘッダーファイル
|   CheckVdq.c            dq 軸電圧チェックソースファイル
|   CheckVdq.h            dq 軸電圧チェックヘッダーファイル
|   dac_drv.c             DAC IC ドライバーソースファイル
|   dac_drv.h             DAC IC ドライバーヘッダーファイル
|   D_Driver.c            ベクトル制御ドライバーソースファイル
|   D_Driver.h            ベクトル制御ドライバーヘッダーファイル
|   D_Para.h              ベクトル制御パラメーター(チャネル共通)ヘッダーファイル
|   D_Para_ch0.h          ベクトル制御パラメーター(チャネル 0 用)ヘッダーファイル
|   D_Para_ch1.h          ベクトル制御パラメーター(チャネル 1 用)ヘッダーファイル
|   E_Sub.c               演算用関数ソースファイル
|   E_Sub.h               演算用関数ヘッダーファイル
|   initial.c             マイコン初期設定関連ソースファイル
|   initial.h             マイコン初期設定関連ヘッダーファイル
|   interrupt.c           割り込み制御関連ソースファイル
|   interrupt.h           割り込み制御関連ヘッダーファイル
|   ipdefine.h            マイコン設定関連ヘッダーファイル
|   main.c                メインルーチン
|   mcuip_drv.c           マイコンハード設定ドライバーソースファイル
|   mcuip_drv.h           マイコンハード設定ドライバーヘッダーファイル
|   system_int.c          割り込み関数ソースファイル
|   system_int.h          割り込み関数ヘッダーファイル
|   ipdrv.c               マイコンハード参照用ソースファイル
|   ipdrv.h               マイコンハード参照用ヘッダーファイル
|   sys_macro.h           マクロ定義用ヘッダーファイル
|   usercon.c             ユーザー制御用ソースファイル
|   usercon.h             ユーザー制御用ヘッダーファイル
|
└──Libraries              CMSIS コア、各 IP 用ライブラリーが格納されています。
    └──M4K4B
        ├──CMSIS                        CMSISコアが格納されています。
        |   |   system_TMPM*.c          マイコン初期設定用ソースファイル
        |   |   system_TMPM*.h          マイコン初期設定用ヘッダーファイル
        |   |   TMPM*.h                 マイコンレジスター定義ヘッダーファイル
        |   |   TMPM*.h                 マイコンレジスター共通定義ヘッダーファイル
        |   └──startup
        |       ├──arm
```

```
|       |       startup_TMPM*.s          スタートアップアセンブラーソース
|       |                                        (arm 用)
|       └──iar
|       |       startup_TMPM*.s          スタートアップアセンブラーソース
|       |                                        (IAR 用)
|       |       TMPM4K4FYBUG.icf         リンカーファイル(IAR 用)
|       └──segger
|       |       SEGGER_THUMB_Startup.s   スタートアップアセンブラーソース
|       |                                        (SEGGER 用)
|       |       TMPM*_Vectors.s          スタートアップアセンブラーソース
|       |                                        (SEGGER 用)
|       |       TXZ4Aplus_M4K1_Startup.s スタートアップアセンブラーソース
|       |                                        (SEGGER 用)
|       |       TXZ4Aplus_M4K1_Flash.icf リンカーファイル(SEGGER 用)
|
└──IP_Driver                  ペリフェラルドライバーが格納されています。
    ipdrv_adc.c
    ipdrv_adc.h
    ipdrv_cg.c
    ipdrv_cg.h
    ipdrv_common.h
    ipdrv_enc.c
    ipdrv_enc.h
    ipdrv_siwdt.c
    ipdrv_siwdt.h
    ipdrv_t32a.c
    ipdrv_t32a.h
    ipdrv_tspi.c
    ipdrv_tspi.h
```

4. 評価環境について

4.1 開発ツール

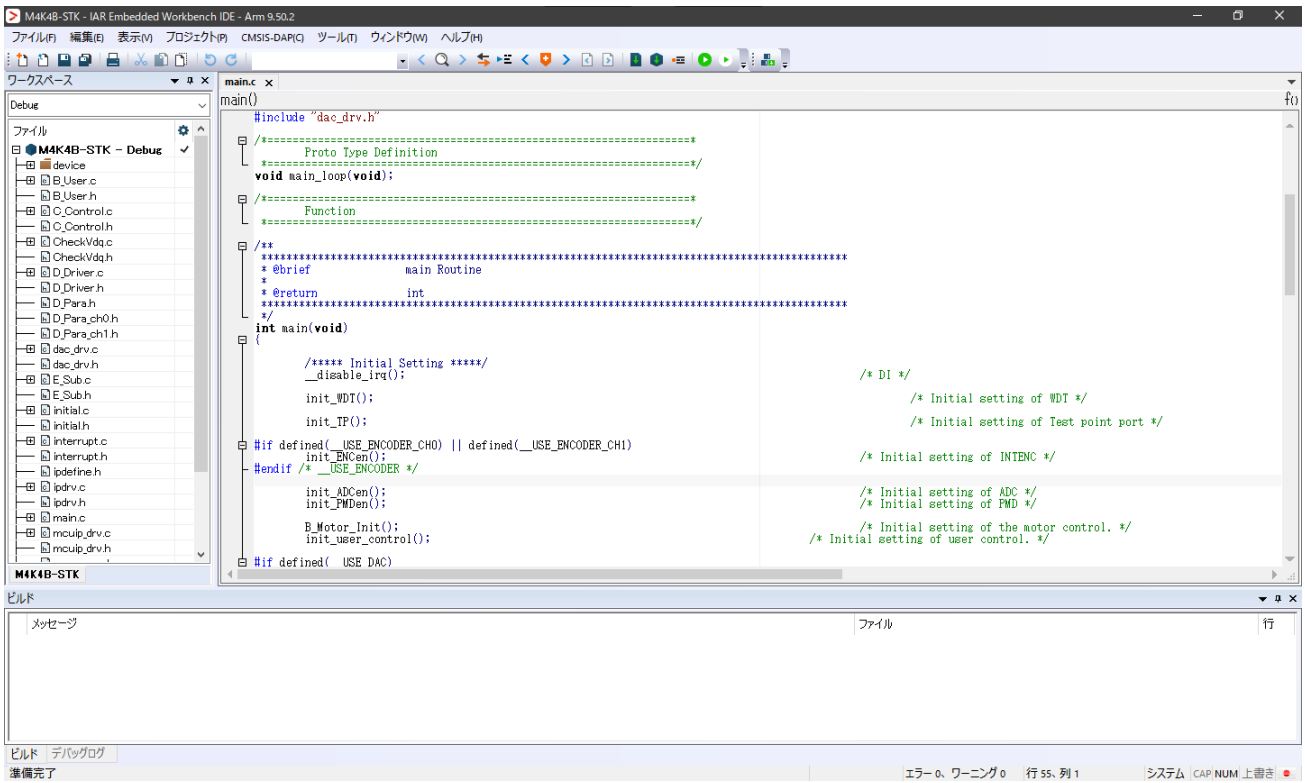
本ソフトは以下の開発ツールを使用して開発されたものです。

IAR Embeded Workbench for ARM	9.50.2
Keil μVision MDK-Lite	5.39.0.0
Segger Embedded Studio	8.10b

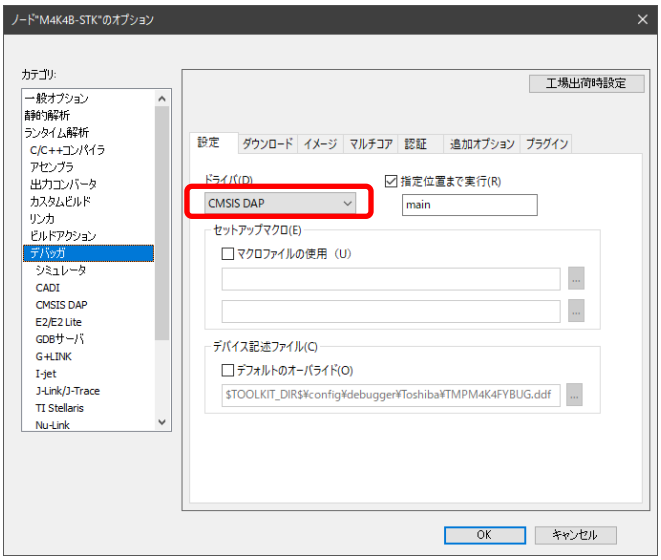
4.2 プロジェクトの立ち上げ方

IAR Embeded Workbench の場合を説明します。

1. iar¥M4K4B-STK.eww をダブルクリック、または[ファイル] > [開く] > [ワークスペース]から
   M4K4B-STK.eww を開いてください。
2. 下記画面が立ち上がります。



3. オプションを開き、使用するツールの選択を行ってください。
   [プロジェクト] > [オプション] > [デバッガ]の<設定>タブ



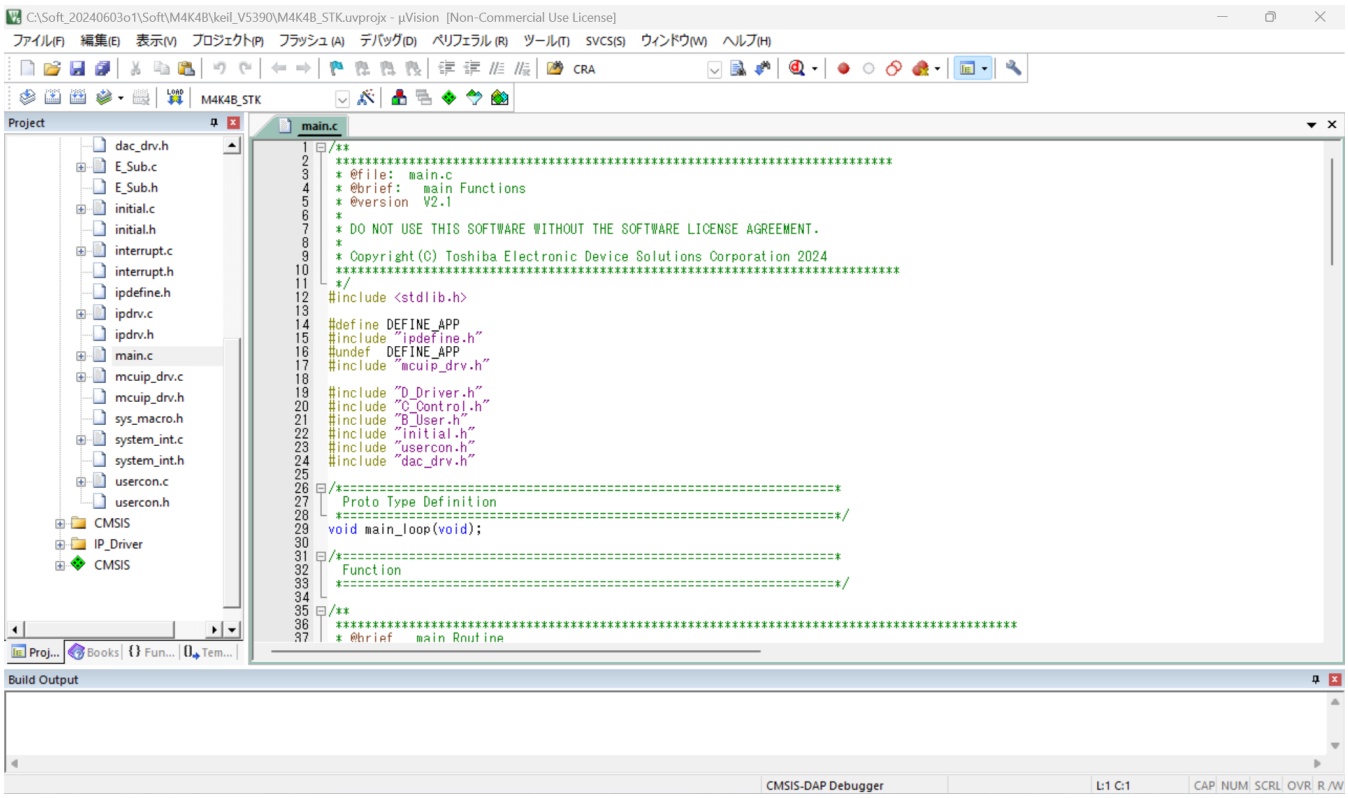
使用するツールを選択してください。

4. デバッグを開始するときは、ツールを接続し[プロジェクト] > [ダウンロードしてデバッグ]を選択するか、下記ボタンを押してください。

Keil µVision MDK-Lite の場合を説明します。

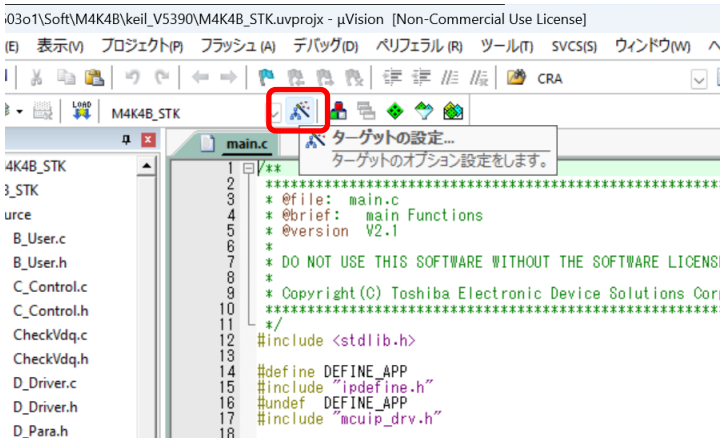
1．M4K4B_STK.uvprojx をダブルクリック、または[ファイル] > [開く]から M4K4B_STK.uvprojx を開いてください。

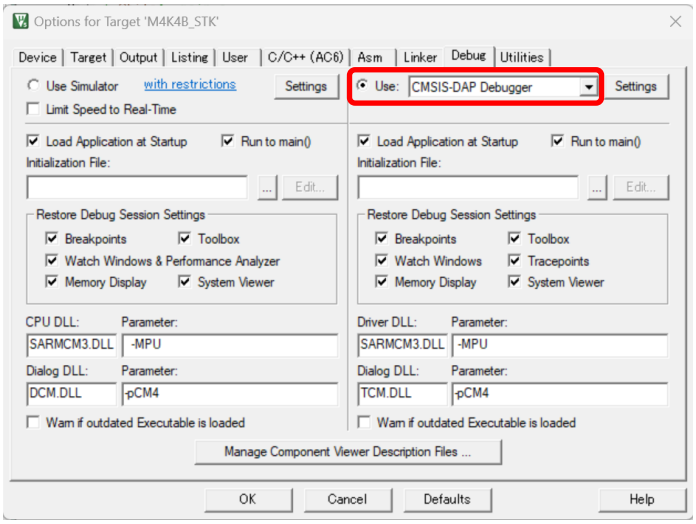
2．下記画面が立ち上がります。



3．ターゲットの設定を開き、使用するツールの選択を行ってください。

[ターゲットの設定] > [Debug]の<Use>欄





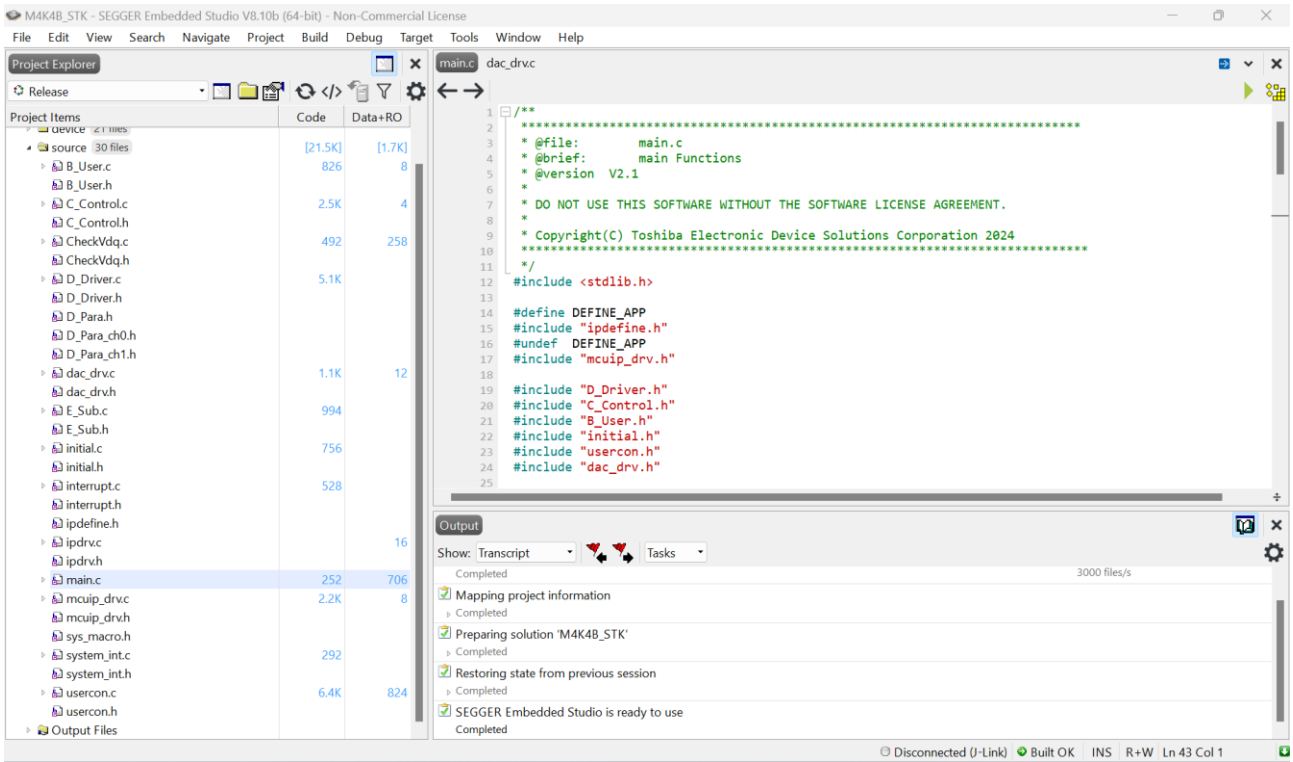
使用するツールを選択してください。

4．デバッグを開始するときは、ツールを接続し[デバッグ] > [デバッグセッションの開始/停止]を選択するか、下記ボタンを押してください。

Segger Embedded Studio の場合を説明します。

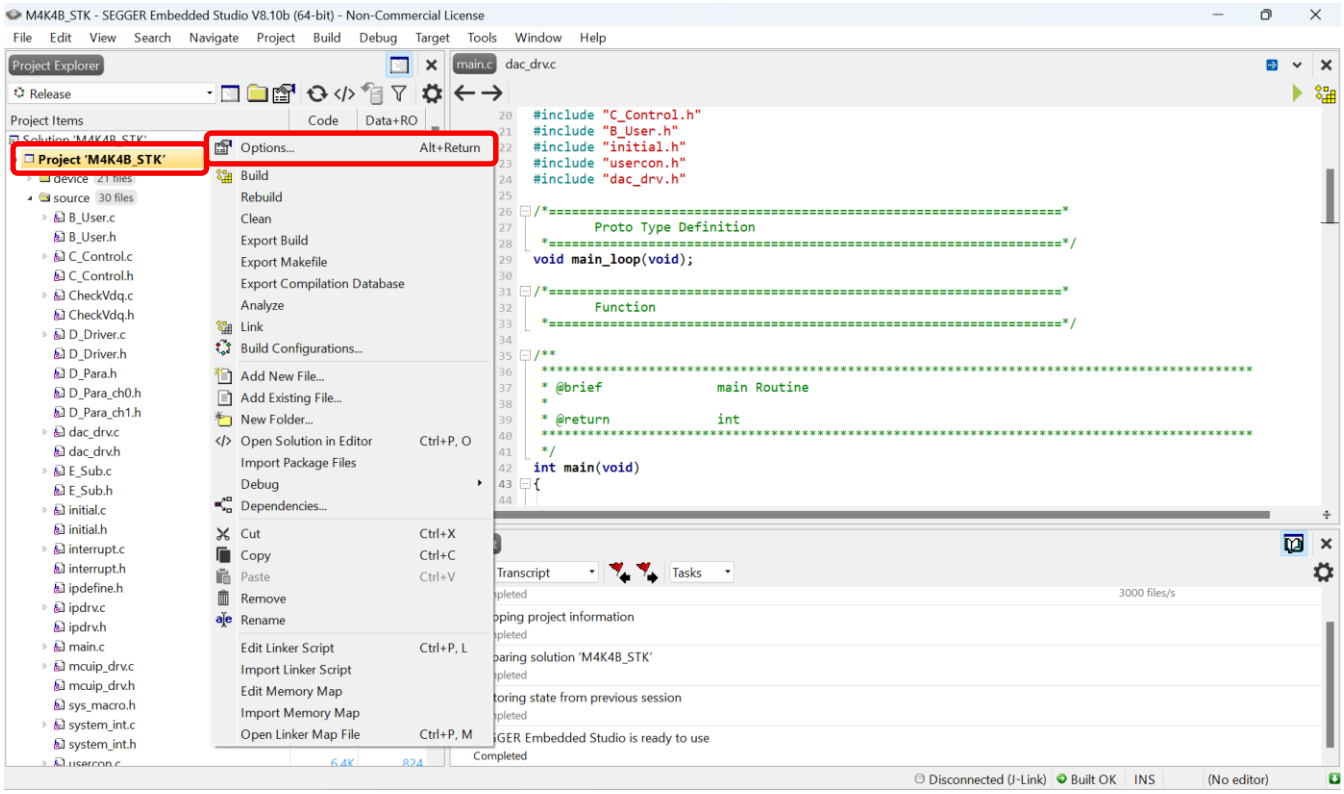
1．M4K4B_STK.emProject をダブルクリック、または[File] > [Open]から M4K4B_STK.emProject を開いてください。

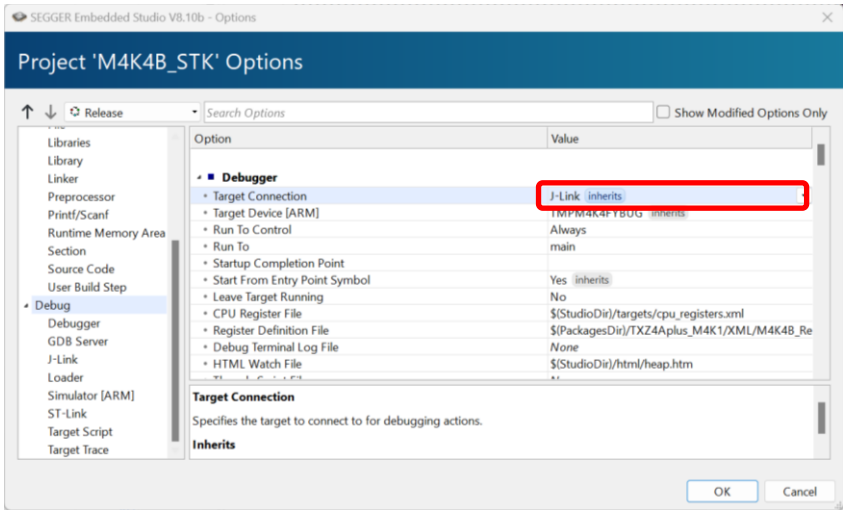
2．下記画面が立ち上がります。



3．Options を開き、使用するツールの選択を行ってください。

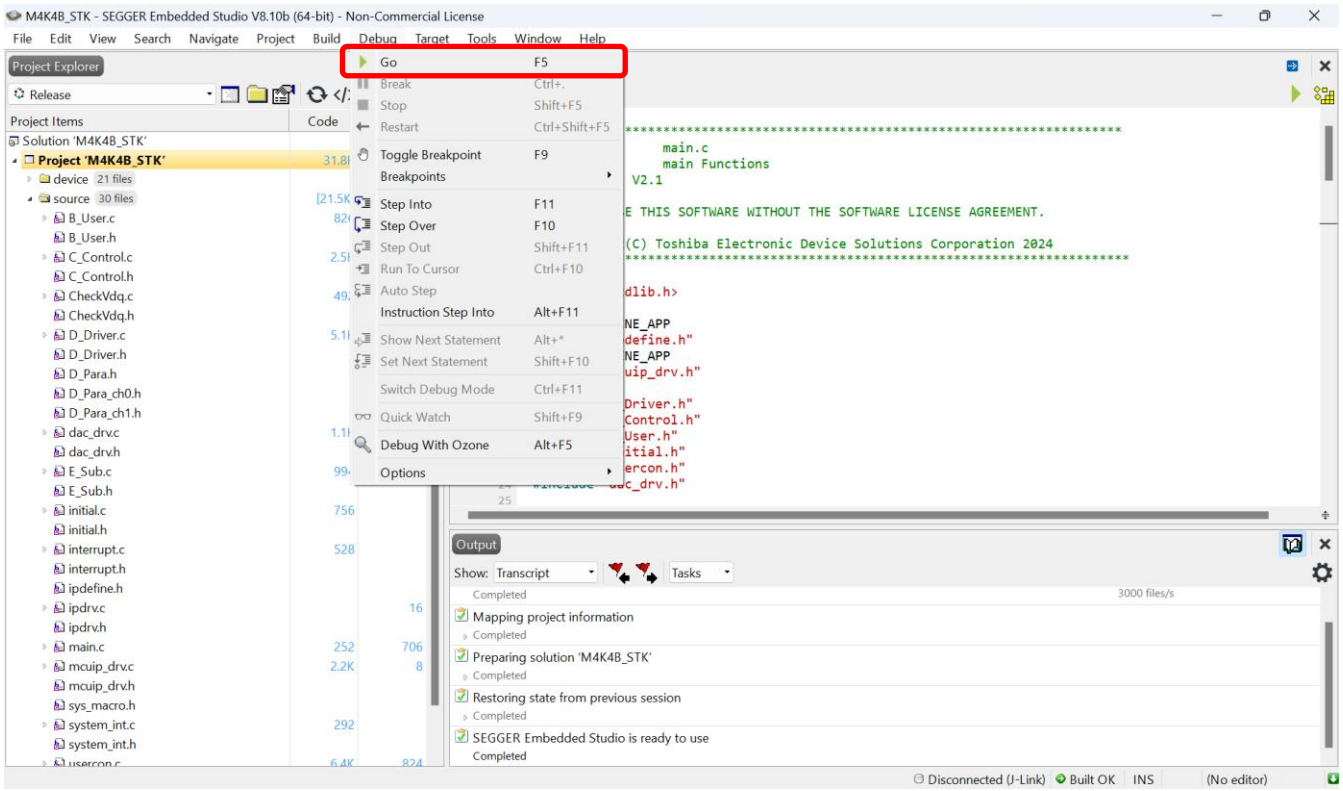
プロジェクト名を右クリック ＞ [Options] ＞ [Debugger]の<Target Connection>





使用するツールを選択してください。

４．デバッグを開始するときは、ツールを接続し[Debug] > [Go]を選択してください。



4.3 DAC 出力

変数の変化をオシロスコープなどで見るための DAC 出力機能を実装しています。
DAC 出力を有効にするためには、D_Para.h の下記定義を有効にしてください。
#define　　__USE_DAC

DAC 出力させる変数は、ファイル usercon.c の関数 UiOutDataStart()に記載しています。
確認する変数がその関数に無い場合などは、必要に応じて追加してください。

≪DAC 出力設定用変数≫

dac.select	DAC 出力選択してください。
dac.motch	DAC 出力させるモーターCH を設定してください。
dac.datsft0 - 3	データのシフト量を設定してください。 計算式(x)：data × (2^x)

4.4 ユーザーインターフェースについて

ユーザーインターフェースとして下記機能を用意しています。

≪ユーザーインターフェース内容≫

1. モーターch0 操作
   SW(S_SW1)を切り替えることで、
   モーターch0 の動作を切り替えることができます。
   off：停止　on：始動(0Hz)

2. モーターch1 操作
   SW(S_SW2)を切り替えることで、
   モーターch1 の動作を切り替えることができます。
   off：停止　on：始動(0Hz)

3. 回転数/DAC 状態表示の操作対象切り替え
   SW(S_SW3)を切り替えることで、
   回転数/DAC 状態表示の操作対象を切り替えることができます。
   off：モーターch0 on：モーターch1

4. 回転数 Up/Down 切り替え
   SW(S_SW4)を切り替えることで、
   回転数を Up させるか Down させるかを切り替えることができます。
   off：Up on：Down

5. 回転数調整
   SW(USW1)を押下することで、
   下記表に従い回転数を調整することができます。

   表 4.1 回転数調整

No.	S_SW4	USW1 押下後
1	Off：Up	10Hz Up
2	On：Down	10Hz Down

6. DAC 表示
   SW(USW2)を押下することで、
   下記表に従い DAC 状態を表示することができます。
   通常：DAC 表示　長押し：DAC No 切り替え

表 4.2 DAC 表示

No.	DAC 表示
1	A: Ia B: Ib C: Ic D: theta.half[1]
2	A: Id_ref B: Id C: Iq_ref D: Iq
3	A: omega_com.half[1] B: omega.half[1] C: omega_ref D: Iq_ref
4	A: Ia B: Iq_ref C: Id_ref D: omega.half[1]

7. ボリューム

   VR1 を操作することにより、疑似温度調整をすることができます。

   疑似温度調整を使用にするためには、D_Para.h の下記定義を有効にしてください。

   #define __USE__FAKETEMP

8. LED 表示

   LED でモーターのエラー状態を確認することができます。

   STOP ステージ中のハード EMG の場合、LED の点灯およびポート出力は行われません。

   モーターCH0 のみ駆動時(LED4)

   モーターCH1 のみ駆動時(LED1)

   モーター同時駆動時(PF1)

   1. エラーステータス LED

      EMG なし：消灯

      EMG あり：点灯

   2. エラーステータスポート出力

      EMG なし：Low

      EMG あり：High

      リセットボタンで EMG 状態が解除されます。

9. UART 接続によるステータス表示

   PC 上に、設定、モーター回転数、EMG ステータスを表示することができます。

   リセット解除後に 1 回初期ステータスを確認することができます。

   詳細は 9.1.8 ステータス確認モニターを参照ください。

5. モジュール構成

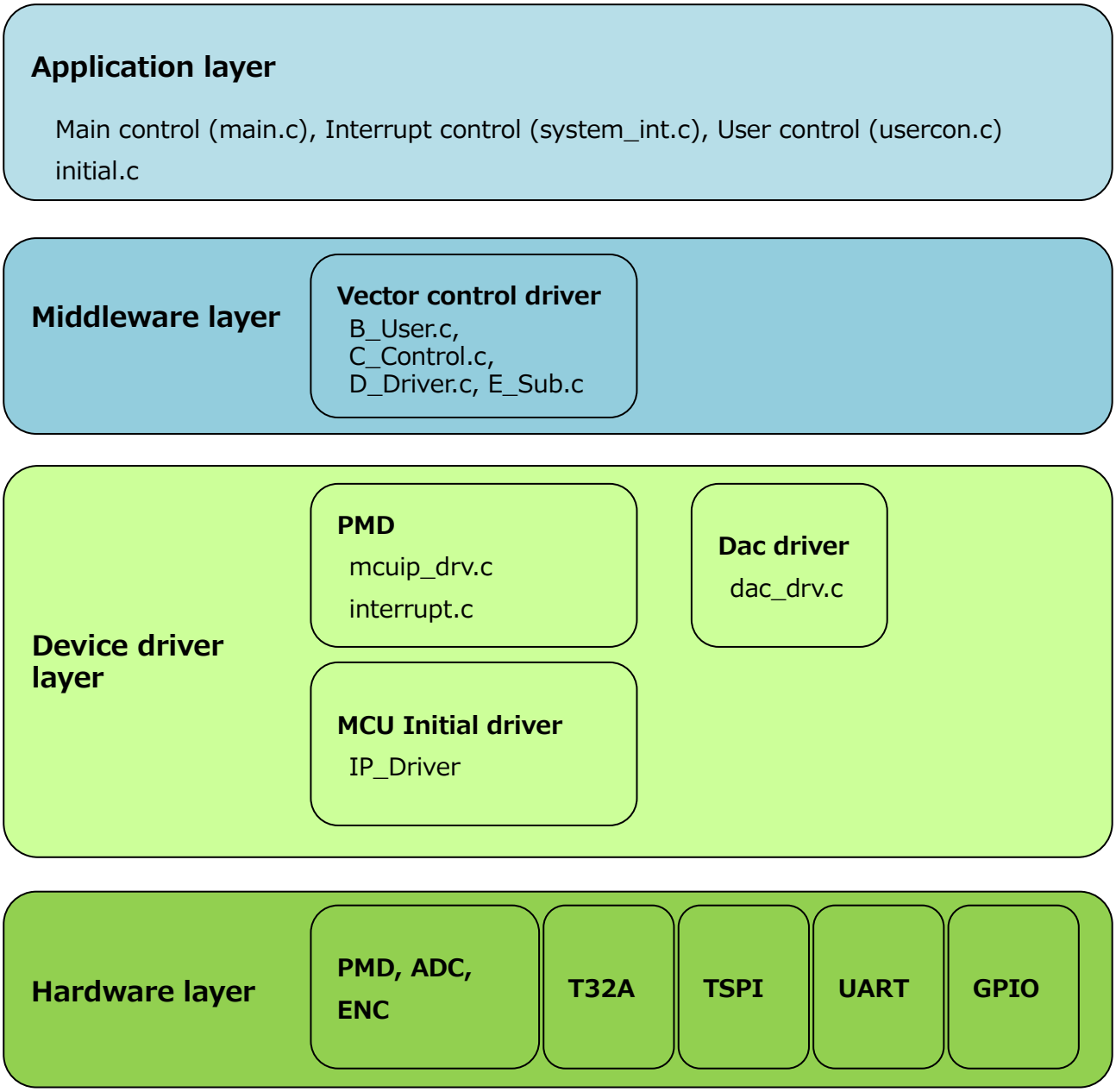


図 5.1 モジュール構成

6. マイコンハードウェア割り付け

6.1 IP

IP		制御内容	備考
T32A	チャネル 0	4kHz 周期割り込み	タイマーA
	チャネル 1	未使用	
	チャネル 2	未使用	
	チャネル 3	未使用	
	チャネル 4	未使用	
	チャネル 5	未使用	
TSPI	チャネル 0	未使用	
	チャネル 1	DAC IC 制御	SIO モード
	チャネル 2	未使用	
	チャネル 3	未使用	
UART	チャネル 0	PC 接続	SIO モード
	チャネル 1	未使用	
	チャネル 2	未使用	
	チャネル 3	未使用	
ADC	ユニット A	モーターCH0 コイル電流、電源電圧値取得	
	ユニット B	モーターCH1 コイル電流、電源電圧値取得 VR1、TEMP0 温度取得	
PMD	チャネル 0	モーターCH0 制御	
	チャネル 1	モーターCH1 制御	
ENC	チャネル 0	モーターCH0 エンコーダー信号制御	
	チャネル 1	モーターCH1 エンコーダー信号制御	

6.2 割り込み

表 6.1 割り込み

要因名	処理内容	優先度	関数名
INTT32A00AC_IRQn	4kHz 周期タイミング作成	5	INTT32A0AC_IRQHandler
INTADAPDA_IRQn	ベクトル制御ソフト処理 for CH0 (ソフトウェアによるベクトル制御用)	3	INTADAPDA_IRQHandler
INTADBPDB_IRQn	ベクトル制御ソフト処理 for CH1 (ソフトウェアによるベクトル制御用)	3	INTADBPDB_IRQHandler
INTSC0TX_IRQn	UART 送信完了割り込み処理	6	INTSC0TX_IRQHandler
INTSC1TX_IRQn	DAC IC 制御	6	INTSC1TX_IRQHandler

割り込み優先度は、ipdefine.h の下記定数で変更可能です。

```
/* High    Low */
/* 0 ------ 7 */
INT4KH_LEVEL            5       /* 4kH interval timer interrupt */
INT_ADCA_LEVEL          3       /* ADC A interrupt */
INT_ADCB_LEVEL          3       /* ADC B interrupt */
INT_DAC_LEVEL           6       /* SIO interrupt for Dac */
INT_UART_LEVEL          6       /* SIO interrupt for UART */
```

7. ジェネラルフローチャート

7.1 メインルーチン（main）

図 7.1 メインルーチン（main）

7.2 メインループ (main_loop)

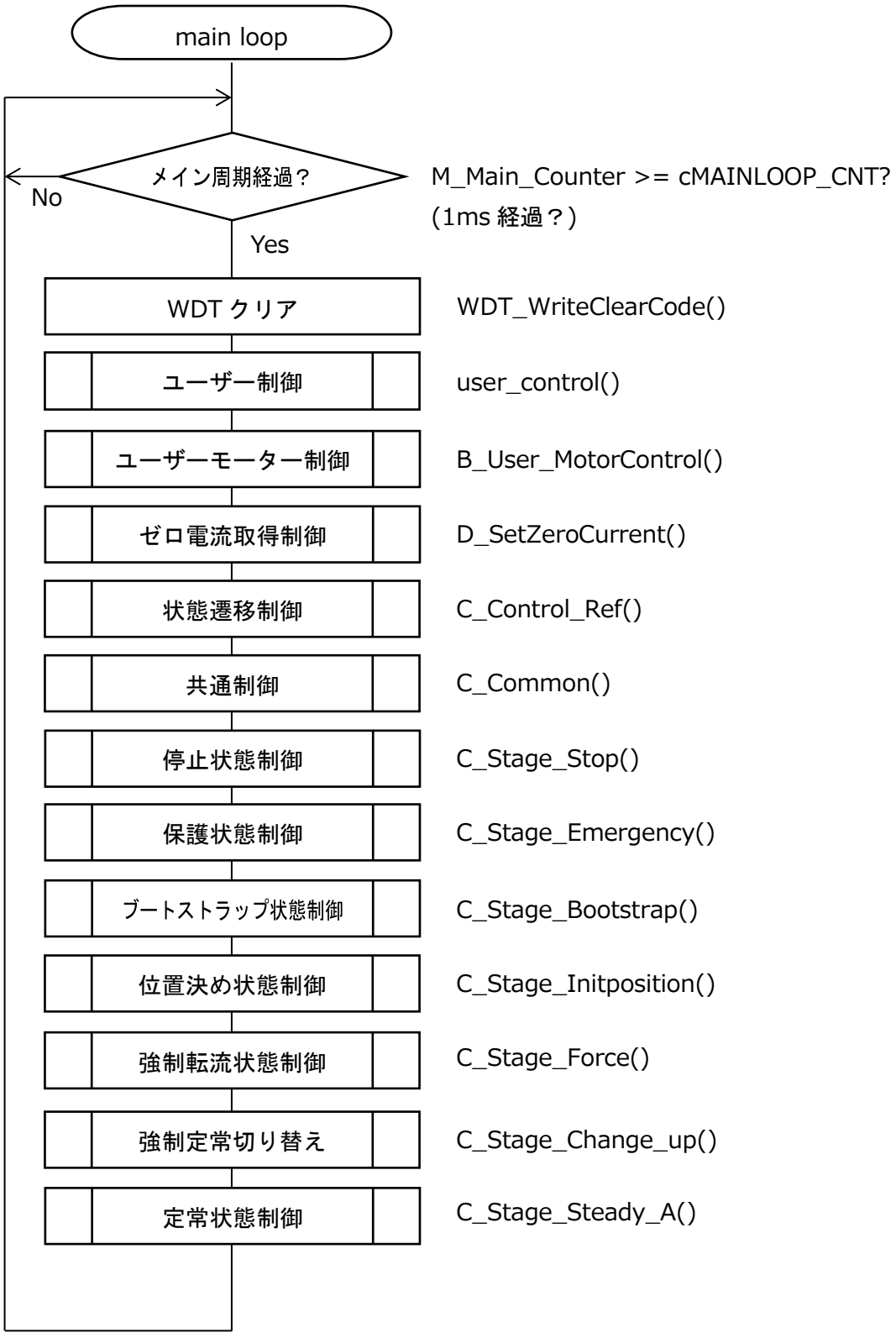


図 7.2 メインループ (main_loop)

7.3 割り込み

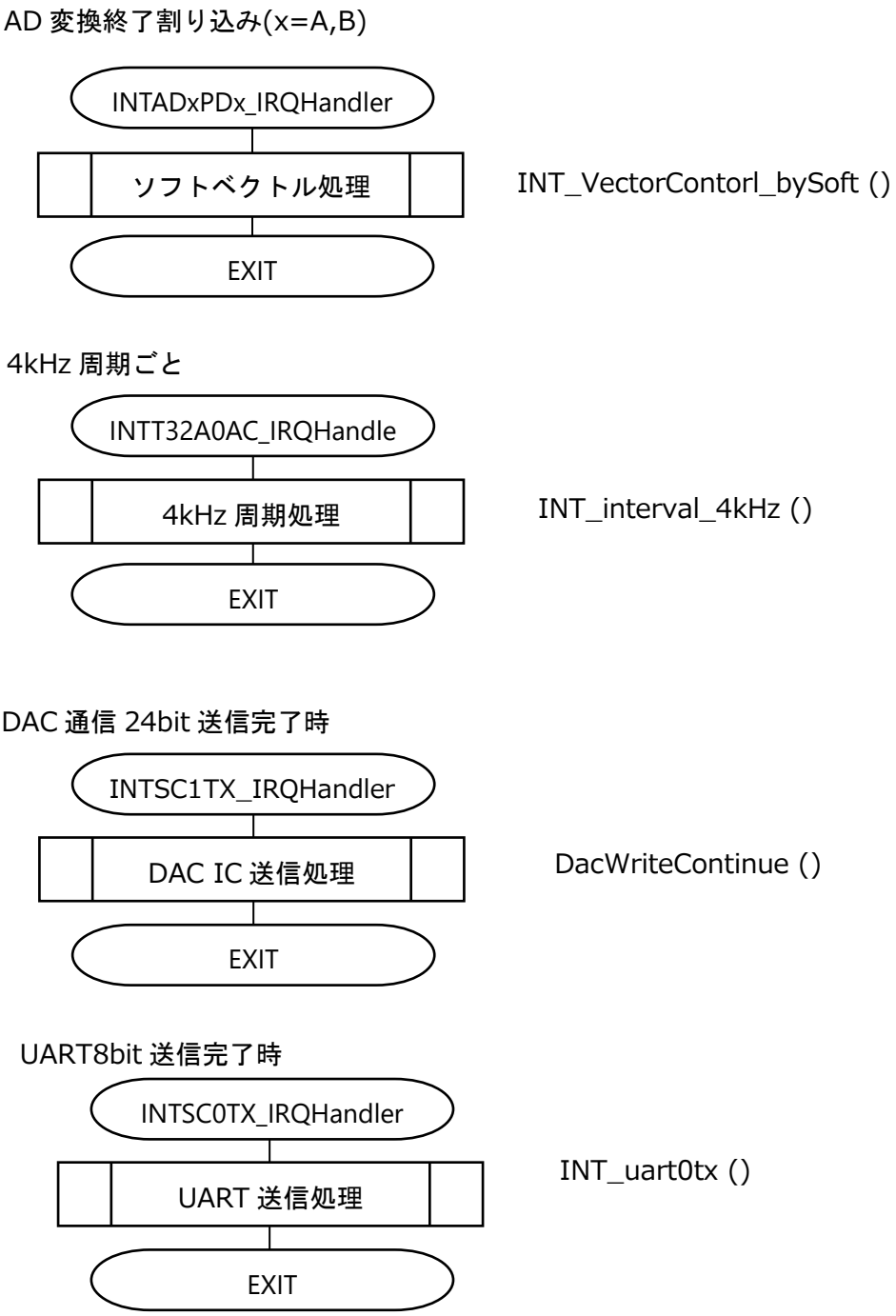


図 7.3 割り込み

7.3.1 ソフトウェアベクトル処理 (INT_VectorControl_bySoft)

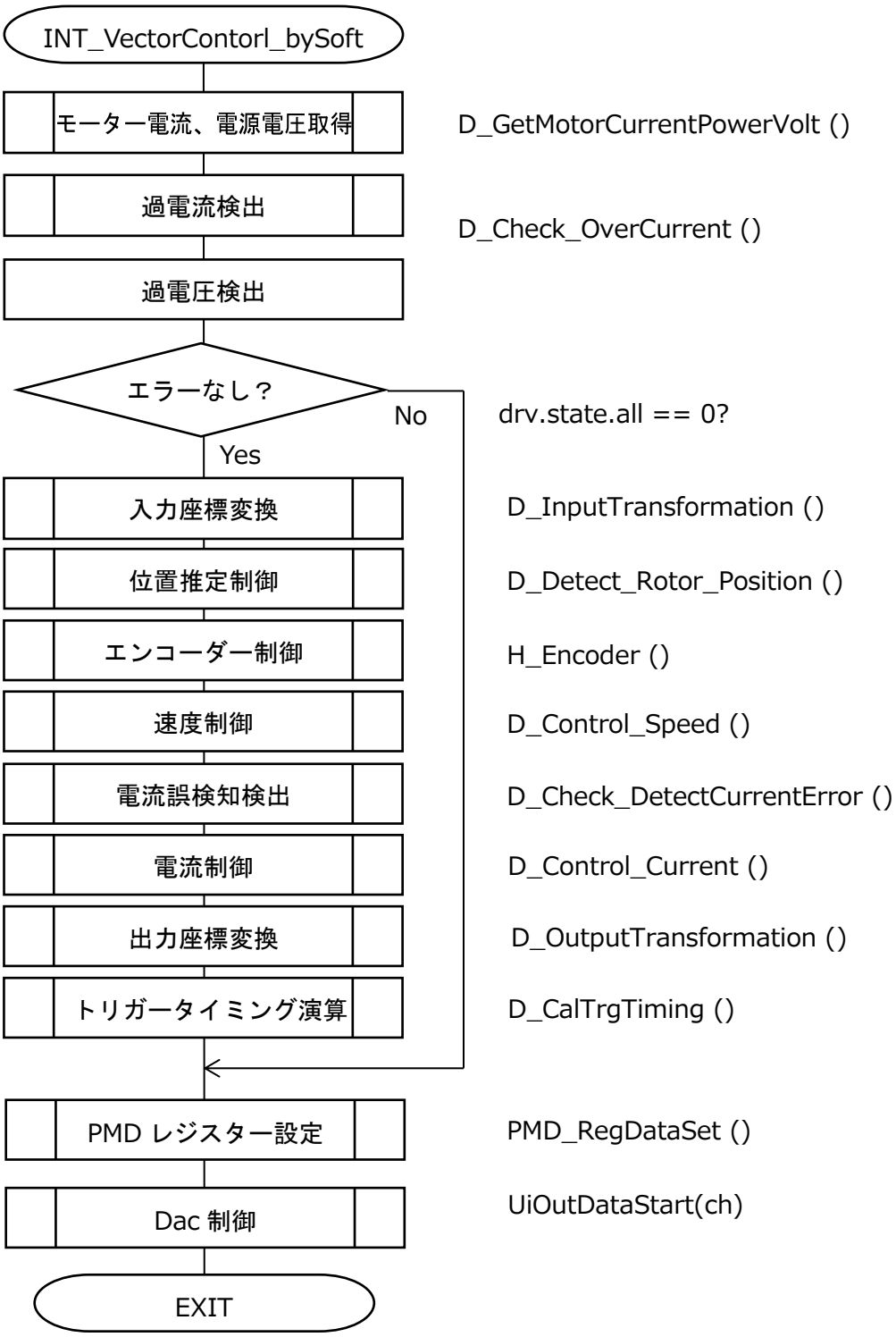


図 7.4 ソフトウェアベクトル処理 (INT_VectorControl_bySoft)

8. モーター動作の状態遷移(ステージ)

8.1 センサーレス

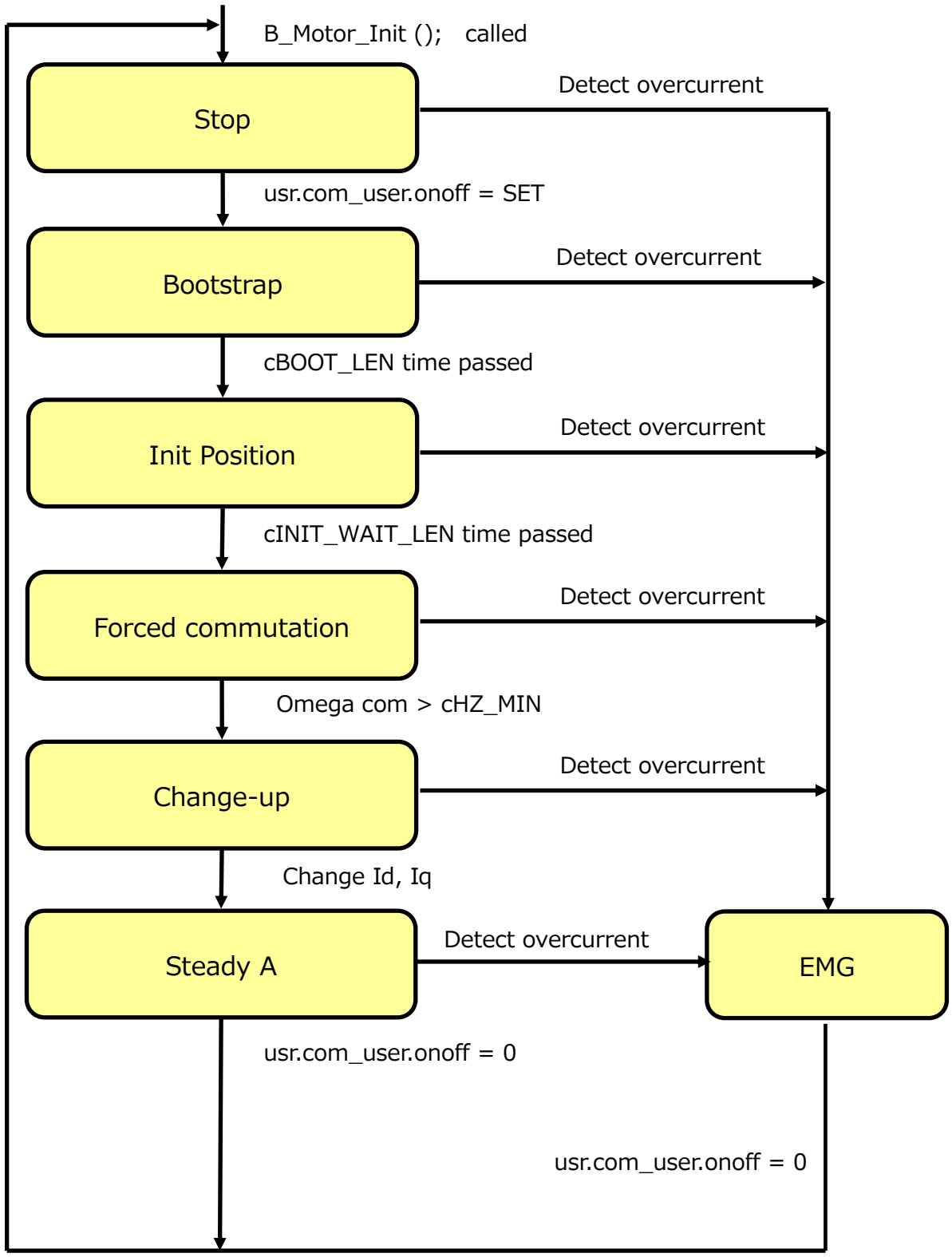


図 8.1 センサーレス

8.2 エンコーダー

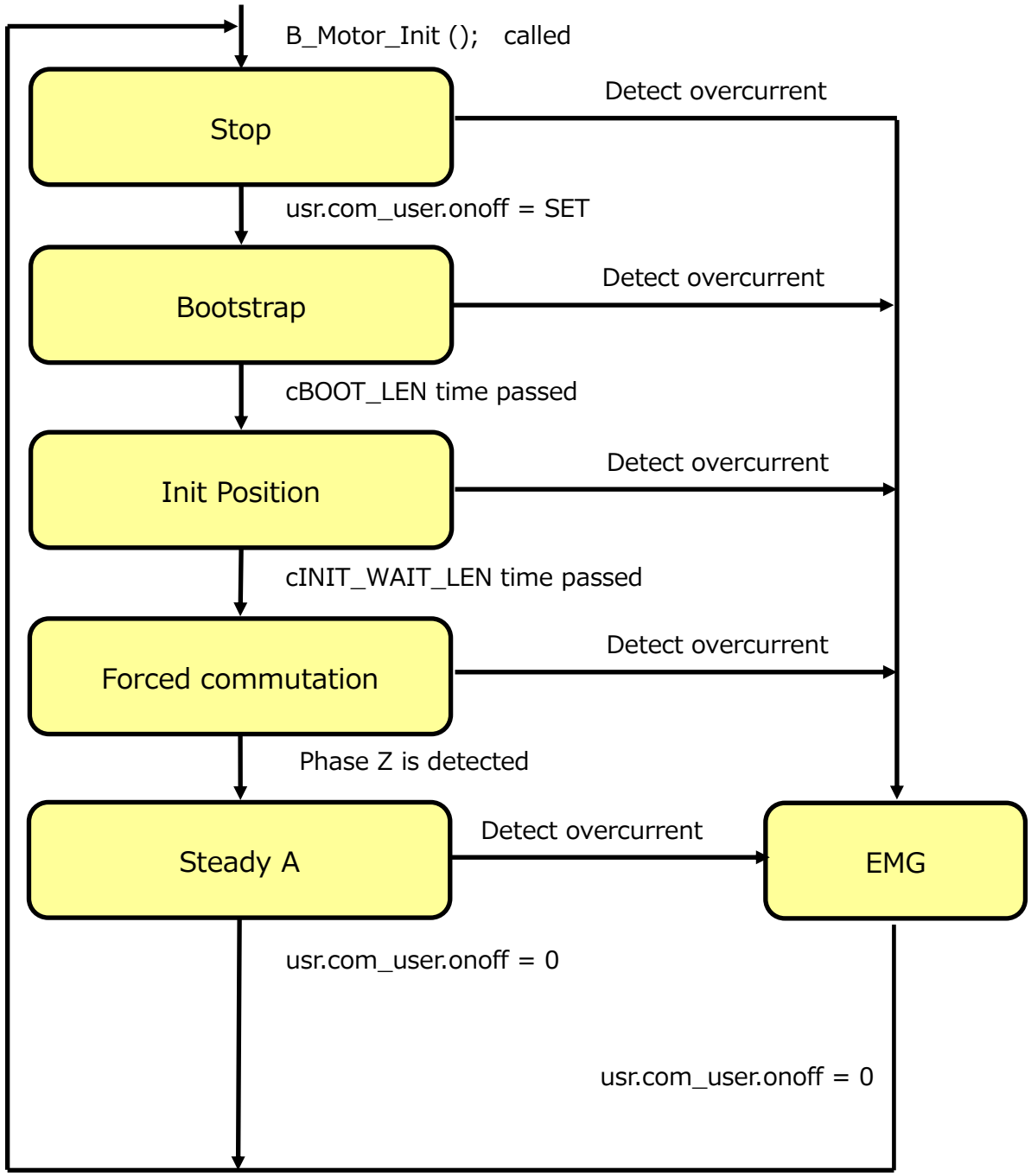


図 8.2 エンコーダー

9. ユーザーアプリ

9.1 ユーザー制御

メイン周期(1ms)ごとにユーザーアプリケーション部の各処理を行います。

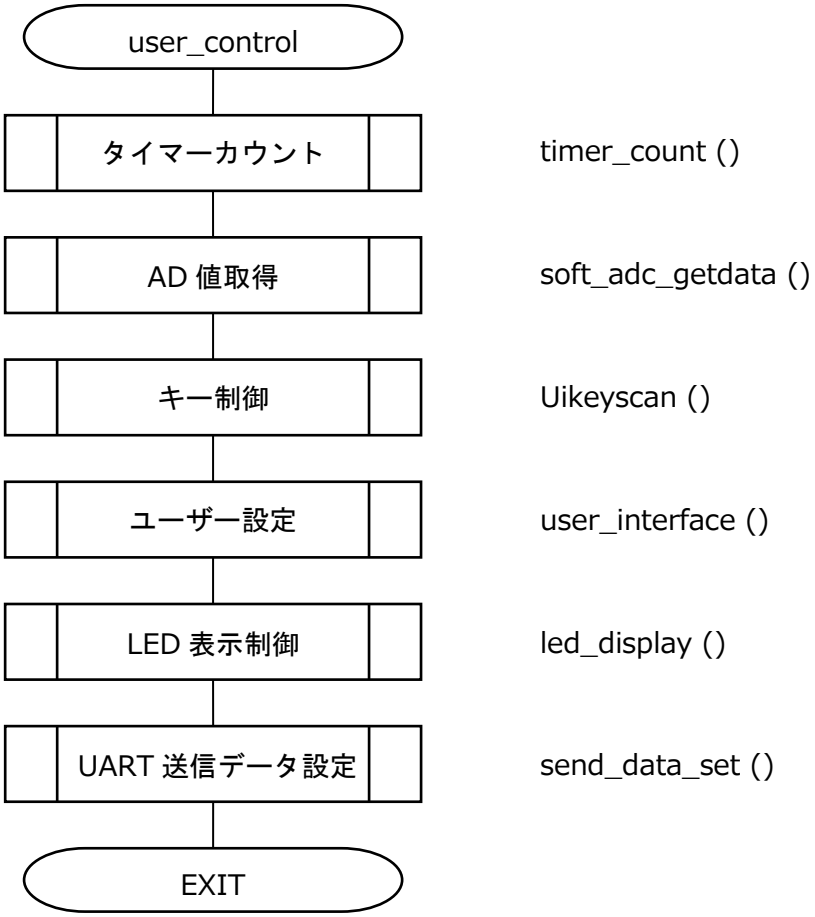


図 9.1 ユーザー制御

9.1.1 タイマーカウント(timer_count)

KEY 処理の長押し判定のための 3 秒カウント処理を行います。

9.1.2 AD 値取得(soft_adc_getdata)

疑似温度(VR1)、モーターch0 のインバーター温度の AD 値(12bit)を単独変換設定で取得します。
10 回取得後、最大・最小値を除く 8 回の平均値をそれぞれの有効値として、
次の条件によって ad_temp0.avedat に格納されます。

・疑似温度調整(__USE_FAKETEMP)が有効の場合
疑似温度(VR1)の値が ad_temp0.avedat に格納されます。

・疑似温度調整(__USE_FAKETEMP) が無効の場合
モーターch0 のインバーター温度が ad_temp0.avedat に格納されます。

9.1.3 キー制御(Uikeyscan)

S_SW1、S_SW2、S_SW3、S_SW4、USW1、USW2 のキースキャン処理を行います。
各キーデータは 20 回連続一致で確定し、S_SW1、S_SW2、S_SW3、S_SW4 は sswdata、USW1、USW2 は uswdata に格納されます。
USW2 の長押し確定時間は 3 秒以上、3 秒未満の場合は短押し確定です。

9.1.4 ユーザー設定(user_interface)

ユーザー操作により入力された SW に従い、下記設定を行います。

1. モーターch0 操作
   sswdata.bit.sw1 の値に従い、Motor_ch0.usr.com_user.spd_ctrl_en を切り替えます。
   sswdata.bit.sw1 が 1 の場合、on：始動(0Hz)
   sswdata.bit.sw1 が 0 の場合、off：停止
2. モーターch1 操作
   sswdata.bit.sw2 の値に従い、Motor_ch1.usr.com_user.spd_ctrl_en を切り替えます。
   sswdata.bit.sw2 が 1 の場合、on：始動(0Hz)
   sswdata.sw2 が 0 の場合、off：停止
3. 回転数/DAC 状態表示の操作対象切り替え
   sswdata.bit.sw3 の値に従い、disp_ch、dac.motch を切り替えます。
   sswdata.bit.sw3 が 1 の場合、on：モーターch1
   sswdata.bit.sw3 が 0 の場合、off：モーターch0
4. 回転数 Up/Down 切り替え
   sswdata.bit.sw4 の値に従い、flg.motor.motor_spd_updown を切り替えます。
   sswdata.bit.sw4 が 1 の場合、on：Down
   sswdata.bit.sw4 が 0 の場合、off：Up

5. 回転数調整
   uswdata.bit.sw1 が 1 となるたびに target_spdx(x = 0,1)の値を更新します。
   0：0(0Hz)～10(100Hz)
   定数定義値：cSPD_UPDOWN_RESOLUTION を使用し、
   target_spdx(x = 0,1)を更新。
   例)
   target_spd：0→最低回転数→…→90→100(最大回転数)

6. DAC 表示
   uswdata.bit.sw2 が 1 となるたびに DAC 表示を行います。
   uswdata.bit.sw2 が長押しされるたびに dac.selectchx(x = 0,1)を切り替えます。

9.1.5 LED 表示制御(led_display)

EMG ステータスに従い、LED1、LED4、PF1 の制御を行います。
詳細は 4.4 ユーザーインターフェースについてを参照ください。

9.1.6 UART 送信データ設定(send_data_set)

モーター初期設定、現在の回転速度、EMG ステータスのモニター用データ設定を行います。
通信設定は
115200bps、データ 8bit、ストップビット 1bit、パリティなし、フロー制御なし
となります。

9.1.7 温度測定(temp_check)

VR1、Temp0 の AD 値を取得、
テーブル値を参照し温度間は 1 次方程式により小数点 1 桁まで算出しています。

例) Temp(12bitAD) = 1790 の時
30°C AD 判定値 = 1858(テーブル値) / 40°C AD 判定値 = 1507(テーブル値)
1858 – 1507 = 351 (30°C～40°C 傾きは固定値)
1858 – 1790 = 68 (30°C からの差)
補間値 10°C × 68 / 351 = 1.9°C (1.9373…)
30°C + 1.9°C = 31.9°C

・温度範囲
-20℃～100℃までとし、範囲外はエラーを表示します。

9.1.8 ステータス確認モニター

TeraTerm 上などで現在の回転速度などをモニターすることができます。

・TeraTerm 通信設定

115200bps、データ 8bit、ストップビット 1bit、パリティなし、フロー制御なし

・初回表示内容

リセット解除後に 1 回、下記のとおりに

S_SW3 で選択されている制御 ch の初期ステータスを表示します。

制御 ch = CH0 または CH1

キャリアー周波数 = xxxxx Hz

デッドタイム = x.x μs

ゲートアクティブ = H/H または L/L など

位置検出 = 1 シャント(SPWM 有/無) または 3 シャント

VDC 電圧 = xx.x V(注 1)

基板温度 = xx.x °C(注 2)

U,V,W 電圧 = x.xx V、x.xx V、x.xx V

DAC 使用 = 有/無

内蔵アンプ使用 = 有/無

回転方向 = CW または CCW

変調方式 = 2 相変調 または 3 相変調

回転数指示 = ボリューム S または プッシュ SW

注 1: AD(VDC)を読み込み演算

注 2: AD(TEMP0)を読み込み演算

・初回以降表示内容

モーター回転指示が発生後に、

S_SW3 で選択されている制御 ch の現在の回転速度を 1 秒ごとに表示します。

例)

40Hz

60Hz

80Hz

:

・EMG 表示内容

EMG 状態になった場合、

S_SW3 で選択されている制御 ch の EMG 状態を 1 秒ごとに表示します。

STOP ステージ中のハード EMG の場合、EMG 状態は表示されません。

EMG_S

制御 ch = CH0 または CH1

キャリアー周波数 = xxxxx Hz

デッドタイム = x.x μs

ゲートアクティブ = H/H または L/L など

位置検出 = 1 シャント(SPWM 有/無) または 3 シャント

VDC 電圧 = xx.x V(注 1)

基板温度 = xx.x °C(注 2)

U,V,W 電圧 = x.xx V、x.xx V、x.xx V

DAC 使用 = 有/無

内蔵アンプ使用 = 有/無

回転方向 = CW または CCW

変調方式 = 2 相変調 または 3 相変調

回転数指示 = ボリューム S または プッシュ SW

注 1: AD(VDC)を読み込み演算

注 2: AD(TEMP0)を読み込み演算

10. 機能説明

アプリケーションとモーター制御間およびモーター制御とモーター駆動間のインターフェースを以下に記します。

10.1 制御コマンド

制御コマンドを以下に記します。

10.1.1 制御方法（usr.com_user)

・モーターの起動スタート、ストップ
・エンコーダーの有無
・変調方式（２相変調、３相変調）

```
typedef struct {
 uint16_t modul:1;      /* PWM Modulation    0=3phase modulation, 1=2phase modulation */
 uint16_t encoder:1;    /* Position detect       0=Current, 1=Encoder */
 uint16_t onoff:1;      /* PWM output         0=off, 1=on*/
 uint16_t spd_ctrl_en: 1;          /* Speed control    0=disable    1=enable */
} command_t;
```

```
command_t          com_user;
```

アプリケーションでは、usr.com_user が制御指令として設定されます。

10.1.2 制御目標速度(usr.omega_user)

```
q31_u          usr.omega_user;      /* [Hz/maxHz] Target omega by user */
```

アプリケーションでは、usr.omega_user が制御目標速度として設定されます。

10.1.3 始動電流(usr.Id_st_user, usr.Iq_st_user)

```
q15_t          Id_st_user;                  /* [A/maxA] Start d-axis current by user */
q15_t          Iq_st_user;                  /* [A/maxA] Start q-axis current by user */
```

アプリケーションでは、usr.Id_st_user と usr.Iq_st_user が起動電流指令として設定されます。

10.2 駆動コマンド

駆動コマンドを以下に記します。

10.2.1 駆動方法（drv.command)

command_t　command;

アプリケーションは、drv.command を介して、駆動方法をモーター制御ドライバー側へ渡します。

10.2.2 ベクトル制御コマンド（drv.vector_cmd)

ベクトル制御演算の指令コマンドで、ステージごとの処理を管理します。

```
typedef struct {
  uint16_t reserve:9;              /* reserve */
  uint16_t F_vcomm_theta:1;        /* Omega to Theta   0=command value, 1=Calculate the theta from omega. */
  uint16_t F_vcomm_omega:1;        /* Omega by         0=command value, 1=Result of Estimation position */
  uint16_t F_vcomm_current:1;      /* Current by       0=command value, 1=Result of Speed Control */
  uint16_t F_vcomm_volt:1;         /* Voltage by       0=command value, 1=Result of Current Control (unuse)*/
  uint16_t F_vcomm_Edetect:1;      /* Position detect  0=off, 1=on */
  uint16_t F_vcomm_Idetect:1;      /* Current detect   0=off, 1=on (unuse)*/
  uint16_t F_vcomm_onoff: 1;       /* Motor output     0=off 1=on */
} vectorcmd_t;
```

それぞれのステージではベクトル制御駆動コマンド（drv.vector_cmd）を以下のように設定し、モーター駆動に指令しています。

表 10.1 ベクトル制御コマンド

cmd / Stage	theta	omega	current	volt	Edetect	Idetect	onoff
Stop	CLEAR	CLEAR	CLEAR	CLEAR	CLEAR	CLEAR	CLEAR
Bootstrap	CLEAR	CLEAR	CLEAR	CLEAR	CLEAR	CLEAR	SET
InitPosition	CLEAR	CLEAR	CLEAR	SET	CLEAR	SET	SET
Forced	SET	CLEAR	CLEAR	SET	SET	SET	SET
Change_up	SET	SET	CLEAR	SET	SET	SET	SET
Steady	SET	SET	SET	SET	SET	SET	SET
Emergency	CLEAR	CLEAR	CLEAR	CLEAR	CLEAR	CLEAR	CLEAR

1）F_vcomm_theta

ローター位置推定演算で、SET のときは推定値をローター位置とします。CLEAR では指令値をローター位置とします。

2) F_vcomm_omega

ローター位置推定演算で、SET のときは推定値を速度 ω とします。CLEAR では指令値を速度 ω とします。

3) F_vcomm_current

速度制御で、d、q 軸電流の基準値の算出方法を指令します。

SET のとき、速度偏差から PI 制御で求めた値を基準値とします。CLEAR では PI 制御を実行せず、指令値をそのまま基準値とします。

4) F_vcomm_volt

電流制御で、d、q 軸電圧の基準値の算出方法を指令します。

SET のとき、電流偏差から PI 制御で求めた値を基準値とします。CLEAR では PI 制御を実行せず、指令値をそのまま基準値とします。

5) F_vcomm_Edetect

SET のとき、誘起電圧の演算を行い、ローター位置推定演算を行います。CLEAR のときは、誘起電圧の演算は行わず誘起電圧値を 0 とし、ローター位置は指令値とします。

6) F_vcomm_Idetect

SET のとき、入力座標軸変換の演算を行います。CLEAR のときは、演算は行わず値をクリアします。

7) F_vcomm_onoff

SET のとき、モーター出力波形を ON します。CLEAR のときは、モーター出力波形を OFF します。

10.3 駆動状態

10.3.1 エラー状態（drv.state）

```
typedef union {
  struct {
        uint16_t  reserve:11;      /* reserve */
        uint16_t  Loss_sync:1;     /* 0:normal, 1: Loss of synchronism  */
        uint16_t  emg_DC:1;        /* 0:normal, 1: Overvoltage (Vdc)    */
        uint16_t  emg_I:1;         /* 0:normal, 1: Current detection error */
        uint16_t  emg_S:1;         /* 0:normal, 1: Overcurrent (Software) */
        uint16_t  emg_H:1;         /* 0:normal, 1: Overcurrent (Hardware) */
  } flg;
  uint16_t          all;
} state_t;
```

Loss_sync	脱調検出	脱調を検出したとき SET されます。（未実装）
emg_DC	異常電圧検出	異常電圧を検出したとき SET されます。
emg_I	電流検出異常	電流検出の異常を検出したとき SET されます。（未実装）
emg_S	ソフト過電流検出	ソフト処理で過電流を検出したとき SET されます。
emg_H	ハード過電流検出	マイコンハード機能で過電流を検出したとき SET されます。

10.4 モーター制御構造体

モーター制御構造体(vector_t)は、ipdefine.h に定義されています。変数は以下のようにモーターチャネルごとに宣言されます。

例)

```
vector_t    Motor_ch0;    /* Motor data for ch0 */
vector_t    Motor_ch1;    /* Motor data for ch1 */
```

10.4.1 変数一覧

表 10.2 変数一覧

型	名前	意味	Q フォーマット	備考
main_stage_e	stage.main	メインステージ	---	cStop cBootstrap cInitposition cForce cChange_up cSteady_A cEmergency
sub_stage_e	stage.sub	サブステージ	---	cStep0 cStep1 cStep2 cStep3 cStepEnd
itr_stage_e	stage.itr	割り込みステージ	---	ciStop ciBootstrap ciInitposition_i ciInitposition_v ciForce_i ciForce_v ciChange_up ciSteady_A ciEmergency
q31_u	drv.omega_com	駆動速度指令値	Q31	
q31_u	drv.omega	推定速度	Q31	
q15_t	drv.omega_dev	速度偏差	Q15	
q31_u	drv.Id_com	d 軸電流指令値	Q31	
q31_u	drv.Iq_com	q 軸電流指令値	Q31	
q15_t	drv.Id_ref	d 軸電流基準値	Q15	
q15_t	drv.Iq_ref	q 軸電流基準値	Q15	
q15_t	drv.Id	d 軸電流	Q15	
q15_t	drv.Iq	q 軸電流	Q15	
q31_u	drv.Iq_ref_I	q 軸電流積分値	Q31	

uint16_t	drv.theta_com	電気角指令値	Q0	
uint32_u	drv.theta	ローター位置	Q0	
q15_t	drv.Vdc	電源電圧	Q15	
q31_u	drv.Vdc_ave	DC 電圧平均値	Q31	
q31_u	drv.Vd	d 軸電圧	Q31	
q31_u	drv.Vq	q 軸電圧	Q31	
q15_t	drv.Vdq	dq 軸電圧	Q15	
q31_u	drv.Vdq_ave	dq 軸電圧平均値	Q31	
q31_t	drv.Vd_out	出力電圧値	Q31	
q15_t	drv.Ed	d 軸誘起電圧	Q15	
q15_t	drv.Eq	q 軸誘起電圧	Q15	
q31_t	drv.Ed_I	d 軸誘起電圧積分値	Q31	
q31_t	drv.Ed_PI	d 軸誘起電圧 PI 値	Q31	
state_t	drv.state	モーター異常ステータス	---	
command_t	drv.command	駆動方法	---	(10.2.1 参照)
vectorcmd_t	drv.vector_cmd	ベクトル制御コマンド	---	(10.2.2 参照)
uint16_t	drv.chkpls	電流検出保護 Duty 幅	Q0	
uint8_t	drv.idetect_error	電流検出状態	---	0:検出可能 1:検出不能
q15_t	drv.Ia_raw	a 相電流(生データ)	Q15	
q15_t	drv.Ib_raw	b 相電流(生データ)	Q15	
q15_t	drv.Ic_raw	c 相電流(生データ)	Q15	
q15_t	drv.Ia	a 相電流(誤検知保護)	Q15	
q15_t	drv.Ib	b 相電流(誤検知保護)	Q15	
q15_t	drv.Ic	c 相電流(誤検知保護)	Q15	
int32_t	drv.Iao_ave	a 相ゼロ電流平均 AD 値	Q0	
int32_t	drv.Ibo_ave	b 相ゼロ電流平均 AD 値	Q0	
int32_t	drv.Ico_ave	c 相ゼロ電流平均 AD 値	Q0	
uint8_t	drv.spdprd	速度制御周期	Q0	
q15_t	drv.omega_enc	エンコーダー速度	Q15	
q15_t	drv.omega_enc_raw	エンコーダー速度(生データ)	Q15	
q31_u	drv.omega_enc_ave	エンコーダー速度平均	Q31	
uint32_t	drv.theta_enc	エンコーダー角度	Q0	
int16_t	drv.EnCnt	エンコーダーカウンター値	Q0	
int16_t	drv.EnCnt1	エンコーダーカウンター前回値	Q0	
int16_t	drv.EnCnt_dev	エンコーダーカウンター偏差	Q0	
q31_u	usr.omega_user	制御目標速度	Q31	
q15_t	usr.Id_st_user	始動 Id 電流値	Q15	
q15_t	usr.Iq_st_user	始動 Iq 電流値	Q15	
uint16_t	usr.lambda_user	初期ローター位置	Q0	
command_t	usr.com_user	制御方法	---	(10.1.1 参照)
command_t	usr.com_user_1	制御方法前回	---	
q15_t	para.omega_min	強制転流終了速度	Q15	
q15_t	para.omega_v2i	電流制御切り替え速度	Q15	
q31_t	para.vd_pos	位置決め指令電圧	Q31	
q31_t	para.spd_coef	出力電圧係数	Q15	
q31_u	para.sp_ud_lim_f	駆動速度増減リミット値	Q31	
q31_u	para.sp_up_lim_s	駆動速度増加リミット値	Q31	

q31_u	para.sp_dn_lim_s	駆動速度減少リミット値	Q31	
uint16_t	para.time.initpos	位置決め時間	Q0	
uint16_t	para.time.initpos2	位置決め状態待ち時間	Q0	
uint16_t	para.time.bootstp	ブートストラップ時間	Q0	
uint16_t	para.time.go_up	強制定常切り替え後待ち時間	Q0	
q31_t	para.iq_lim	q 軸電流制限値	Q31	
q31_t	para.id_lim	d 軸電流制限値	Q31	
q15_t	para.err_ovc	過電流設定値	Q15	
q31_t	para.pos.kp	位置推定比例ゲイン	Q15	Q12 対応あり
q31_t	para.pos.ki	位置推定積分ゲイン	Q15	Q12 対応あり
int32_t	para.pos.ctrlprd	位置推定制御周期	Q16	
q31_t	para.spd.kp	速度制御比例ゲイン	Q15	Q12 対応あり
q31_t	para.spd.ki	速度制御積分ゲイン	Q15	Q12 対応あり
uint8_t	para.spd.pi_prd	(未使用)	Q0	
q31_t	para.crt.dkp	d 軸電流制御比例ゲイン	Q15	Q12 対応あり
q31_t	para.crt.dki	d 軸電流制御積分ゲイン	Q15	Q12 対応あり
q31_t	para.crt.qkp	q 軸電流制御比例ゲイン	Q15	Q12 対応あり
q31_t	para.crt.qki	q 軸電流制御積分ゲイン	Q15	Q12 対応あり
q31_t	para.motor.r	モーター巻線抵抗	Q15	
q31_t	para.motor.Lq	モーターq 軸インダクタンス	Q15	
q31_t	para.motor.Ld	モーターd 軸インダクタンス	Q15	
uint32_t	para.enc.pls2theta	パルス数から角度への演算係数	Q32	
q15_t	para.enc.pls2omega	パルス数から速度への演算係数	Q15	
int32_t	para.enc.plsnum	エンコーダーパルス数	Q0	
int32_t	para.enc.ctrlprd	エンコーダー制御周期	Q16	
uint32_t	para.enc.deg_adjust	電気角調整	Q0	
int32_t	para.delta_lambda	強制定常切り替え時電流切り替え位相	Q0	
uint16_t	para.chkpls	電流検出保護 Duty 幅	Q0	
uint32_t	stage_counter	ステージカウンター	Q0	
shunt_type_e	shunt_type	シャントタイプ	---	c1shunt c3shunt
boot_type_e	boot_type	起動タイプ	---	cBoot_i cBoot_v

表 10.3 ソフトウェアによるベクトル制御用

型	名前	意味	Q フォーマット	備考
uint32_t*	drv.ADxREG0	AD 変換結果レジスターアドレス	---	
uint32_t*	drv.ADxREG1	AD 変換結果レジスターアドレス	---	
uint32_t*	drv.ADxREG2	AD 変換結果レジスターアドレス	---	
uint32_t*	drv.ADxREG3	AD 変換結果レジスターアドレス	---	
q15_t	drv.Vdc_adc	電源電圧変換結果	Q15	
q15_t	drv.Ia_adc	U 相電流変換結果	Q15	3 シャント時だけ
q15_t	drv.Ib_adc	V 相電流変換結果	Q15	3 シャント時だけ
q15_t	drv.Ic_adc	W 相電流変換結果	Q15	3 シャント時だけ
q15_t	drv.Idc1_adc	1st 相電流変換結果	Q15	1 シャント時だけ
q15_t	drv.Idc2_adc	2nd 相電流変換結果	Q15	1 シャント時だけ
q31_u	drv.Idco_ave	ゼロ電流平均 AD 値	Q0	1 シャント時だけ
q15_t	drv.Ialpha	α軸電流	Q15	
q15_t	drv.Ibeta	β軸電流	Q15	
q15_t	drv.Id_dev	d 軸電流偏差	Q15	
q15_t	drv.Iq_dev	q 軸電流偏差	Q15	
q31_u	drv.Vd_com	d 軸電圧指令値	Q31	
q31_u	drv.Vq_com	q 軸電圧指令値	Q31	
q31_u	drv.Vd_I	d 軸電圧積分値	Q31	
q31_u	drv.Vq_I	q 軸電圧積分値	Q31	
q31_u	drv.Valpha	α軸電圧	Q31	
q31_u	drv.Vbeta	β軸電圧	Q31	
q15_t	drv.DutyU	U 相 PWM Duty 比	Q15	
q15_t	drv.DutyV	V 相 PWM Duty 比	Q15	
q15_t	drv.DutyW	W 相 PWM Duty 比	Q15	
int32_t	drv.AdTrg0	AD トリガータイミング 0 位置	Q15	
int32_t	drv.AdTrg1	AD トリガータイミング 1 位置	Q15	
uint8_t	drv.Sector	セクター	Q0	0 to 5
uint8_t	drv.Sector1	前回セクター	Q0	0 to 5
int16_t	para.TrgComp	トリガータイミング補正値	Q15	
trgpos_e	para.TrgPosMd	電流検出位置モード	---	0:3 シャント 1:1 シャント(前半) 2:1 シャント(後半)
phcvmd_e	para.PhCvMd	相変換モード	---	0:空間ベクトル 1:逆クラーク(未実装)

10.5 関数詳細

10.5.1 エンコーダー初期設定（init_ENCen）

10.5.1.1 構文

void init_ENCen(void)

引数：
なし
戻り値：
なし

10.5.1.2 処理内容

エンコーダー回路の初期設定を行います。
・エンコーダー回路設定
・ポート設定

10.5.2 ADC 初期設定（init_ADCen）

10.5.2.1 構文

void init_ADCen(void)

引数：
なし
戻り値：
なし

10.5.2.2 処理内容

ADC の初期設定を行います。
・モーター用 AD 設定(トリガー)
・ADC 許可

10.5.3 PMD 初期設定 (init_PMDen)

10.5.3.1 構文

void init_PMDen(void)

引数：

なし

戻り値：

なし

10.5.3.2 処理内容

PMD(プログラマブルモータードライバー)の初期設定を行います。

10.5.4 モーター制御初期設定 (B_Motor_Init)

10.5.4.1 構文

void B_Motor_Init(void)

引数：

なし

戻り値：

なし

10.5.4.2 変数

方向	名前	意味	Q フォーマット	備考
出力	shunt_type	シャントタイプ	---	
	boot_type	駆動タイプ	---	
	usr.com_user.encoder	エンコーダー制御	---	
	stage.main	メインステージ	---	
	stage.sub	サブステージ	---	
	drv.Iao_ave	U 相ゼロ電流平均 AD 値	Q0	
	drv.Ibo_ave	V 相ゼロ電流平均 AD 値	Q0	
	drv.Ico_ave	W 相ゼロ電流平均 AD 値	Q0	
	drv.Idco_ave	ゼロ電流変換結果	Q15	1 シャント時だけ
	usr.Iq_st_user	始動 Iq 電流値	Q15	
	usr.Id_st_user	始動 Id 電流値	Q15	
	usr.lambda_user	初期ローター位置	Q0	
	para.motor.r	モーター巻線抵抗	Q15	
	para.motor.Lq	モーターq 軸インダクタンス	Q15	
	para.motor.Ld	モーターd 軸インダクタンス	Q15	
	para.chkpls	電流検出保護 Duty 幅	Q0	
	para.vd_pos	位置決め指令電圧	Q31	電圧起動時だけ
	para.spd_coef	出力電圧係数	Q15	電圧起動時だけ

	para.sp_ud_lim_f	駆動速度増減リミット値	Q31	
	para.sp_up_lim_s	駆動速度増加リミット値	Q31	
	para.sp_dn_lim_s	駆動速度減少リミット値	Q31	
	para.time.bootstp	ブートストラップ時間	Q0	
	para.time.initpos	位置決め時間	Q0	
	para.time.initpos2	位置決め状態待ち時間	Q0	
	para.time.go_up	強制定常切り替え換後待ち時間	Q0	
	para.omega_min	強制転流終了速度	Q15	
	para.omega_v2i	電流制御切り替え速度	Q15	
	para.delta_lambda	強制定常切り替え時電流切り替え位相	Q0	
	para.pos.ki	位置推定積分ゲイン	Q15	Q12 対応あり
	para.pos.kp	位置推定比例ゲイン	Q15	Q12 対応あり
	para.pos.ctrlprd	位置推定制御周期	Q16	
	para.spd.ki	速度制御積分ゲイン	Q15	Q12 対応あり
	para.spd.kp	速度制御比例ゲイン	Q15	Q12 対応あり
	para.current.dki	d 軸電流比例ゲイン	Q15	Q12 対応あり
	para.current.dkp	d 軸電流積分ゲイン	Q15	Q12 対応あり
	para.current.qki	q 軸電流比例ゲイン	Q15	Q12 対応あり
	para.current.qkp	q 軸電流積分ゲイン	Q15	Q12 対応あり
	para.iq_lim	q 軸電流制限値	Q31	
	para.id_lim	d 軸電流制限値	Q31	
	para.err_ovc	過電流設定値	Q15	
	para.enc.pls2theta	パルス数から角度への演算係数	Q32	
	para.enc.deg_adjust	電気角調整	Q0	
	para.enc.plsnum	エンコーダーパルス数	Q0	
	para.enc.pls2omega	パルス数から速度への演算係数	Q15	
	para.enc.ctrlprd	エンコーダー制御周期	Q16	
	para.TrgPosMd	電流検出位置モード	---	
	para.TrgComp	トリガータイミング補正値	Q15	

10.5.4.3 処理内容

モーター制御パラメーターの初期化を行います。

制御中に、設定変更を行わない変数設定を行います。

10.5.5 DAC 制御初期設定 (init_Dac)

10.5.5.1 構文

void init_Dac(TSB_TSPI_TypeDef* const TSPIx)

引数：

なし

戻り値：

なし

10.5.5.2 処理内容

DAC IC 制御の初期設定を行います。

SIO 許可
ポート初期設定
SIO 初期設定
DAC IC 初期化通信
SIO 割り込みレベル設定
SIO 割り込み保留クリア
送信割り込み許可

10.5.6 周期タイマー初期設定（init_Timer_interval4kH)

10.5.6.1 構文

void init_Timer_interval4kH(void)

引数：
なし
戻り値：
なし

10.5.6.2 処理内容

4kHz 周期タイミングを作成するためのタイマーの初期設定を行います。

10.5.7 ユーザー制御初期設定（init_user_control)

10.5.7.1 構文

void init_user_control(void)

引数：
なし
戻り値：
なし

10.5.7.2 処理内容

ユーザーなどによる外部からの指令を検出、制御を行うための初期設定を行います。

キー入力処理初期設定(init_Uikey)
アナログ電圧入力処理初期設定(init_soft_adc)
LED 初期設定(init_led)
UART 初期設定(init_uart)

10.5.8 ユーザー制御 (user_control)

10.5.8.1 構文

void user_control(void)

引数：

なし

戻り値：

なし

10.5.8.2 処理内容

ユーザーなどによる外部からの指令を検出し、指令に従って制御を行います。

・S_SW1 による、モーターch0 操作
・S_SW2 による、モーターch1 操作
・S_SW3 による、回転数/DAC 状態表示の操作対象の切り替え
・S_SW4 による、回転数 Up/Down 切り替え
・USW1 による、回転数調整
・USW2 による、DAC 表示
・VR1 による、疑似温度調整
・設定や回転速度情報を UART 出力
・内部状態を LED 表示

注意: SW 切り替え直後はモーター動作を停止します。

・アナログ入力電圧取得

疑似温度(VR1)、モーターch0 のインバーター温度のアナログ電圧値を取得し平均処理を行います。

・デジタルポート入力

キーのチャタリング処理を行います

10.5.9 ユーザーモーター制御（B_User_MotorControl）

10.5.9.1 構文

void B_User_MotorControl(void)

引数：

なし

戻り値：

なし

10.5.9.2 変数

方向	名前	意味	Q フォーマット	備考
入力	target_spd	目標速度	---	ユーザー指令
	sswdata.sw	USW の ON,OFF 状態	---	ユーザー指令
	uswdata.sw	S_SW の ON,OFF 状態	---	ユーザー指令
出力	usr.omega_user	制御目標速度	Q31	
	usr.com_user.onoff	モーター ON/OFF	---	
	drv.state	モーター異常ステータス	---	

10.5.9.3 処理内容

モーター関連に関するユーザーからの指令を処理します。

・過電流（ハードウェア）状態のチェック

ハードウェア過電流の状態をチェックし、モーター異常ステータスを更新します。

・モーター ON/OFF 指令

キーの状態からモーター ON/OFF(usr.com_user.onoff)を決定します。

・駆動速度正規化など

目標速度を正規化します。

10.6 モーター制御関数

モーター制御処理は main 関数のメインループ内からコールされる以下の関数により実現されます。モーター動作を、停止状態、 ブートストラップ状態、 位置決め状態、強制転流状態、強制定常切り替え状態、 定常状態、短絡ブレーキ状態、保護状態間の状態遷移として制御します。

メインステージはモーター動作開始指示で位置決め（Initpositon）、強制転流（Force）、強制定常切り替え（Change_up）、定常（Steady_A）の順に移行します。サブステージは Step0 から StepEnd まであり、StepEnd の時にメインステージが移行し Step0 から始まります。またモーターの異常を検出した場合は保護停止 Emergency に移行します。

10.6.1 状態遷移処理関数（C_Control_Ref_Model)

10.6.1.1 構文

void C_Control_Ref_Model(vector_t* const _motor)　　・ENC_Z 状態遷移なし
void C_Control_Ref_Model_ENC(vector_t* const _motor)・ENC_Z 状態遷移あり

引数：

_motor　　モーター制御構造体

戻り値：

なし

10.6.1.2 変数

方向	名前	意味	Q フォーマット	備考
入力	usr.com_user.onoff	制御指令	---	
	drv.state.all	エラー状態	---	
	drv.Z_detect	Z パルス検知	---	ENC_Z 状態遷移時のみ使用
入出力	stage.main	メインステージ	---	
	stage.sub	サブステージ	---	
	usr.com_user_1.onoff	前回制御指令	---	

10.6.1.3 処理内容

アプリケーションから与えられる制御コマンドおよび現在の状態を監視し、状態遷移を実行します。各状態はさらに詳細化されたサブ状態に分かれます。サブ状態の遷移は状態遷移処理関数ではなく各状態の処理関数内で実行されます。

ENC_Z 状態遷移ありの場合、Z パルス検知で強制転流から定常に遷移します。

注意: ENC_Z 状態遷移は、エンコーダーが有効で 3 シャントの場合に行います。

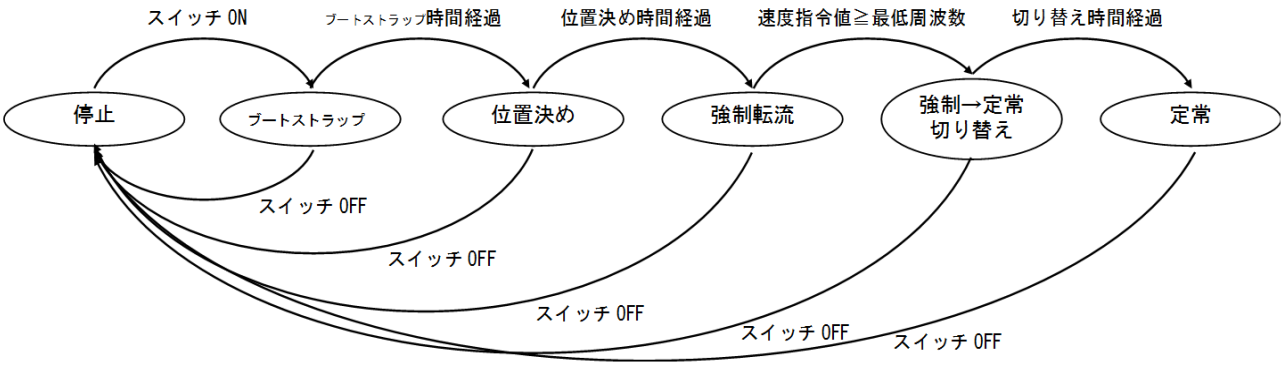


図 10.1 モーター制御の状態遷移図

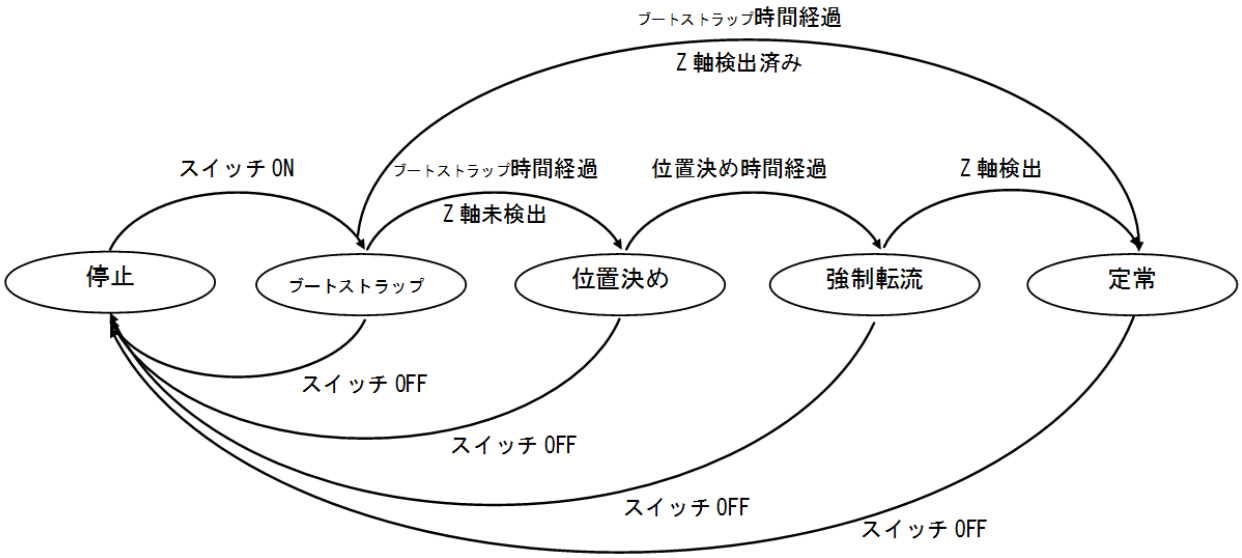


図 10.2 モーター制御の状態遷移図 (エンコーダー制御)

10.6.2 モーター制御共通処理関数（C_Common)

10.6.2.1 構文

void C_Common(vector_t* const _motor)

引数：

_motor　　モーター制御構造体

戻り値：

なし

10.6.2.2 変数

方向	名前	意味	Q フォーマット	備考
入力	usr.com_user.encoder	エンコーダー制御コマンド	---	
	usr.com_user.modul	変調方式制御コマンド	---	2 相 or3 相変調
	para.chkpls	電流検出保護 Duty 幅設定値	---	
	drv.Vd	d 軸電圧	Q32	
	drv.Vq	q 軸電圧	Q32	
	drv.Vdc	電源電圧	Q15	
出力	drv.command.encoder	エンコーダー駆動コマンド	---	
	drv.command.modul	変調方式駆動コマンド	---	2 相 or3 相変調
	drv.chkpls	電流検出保護 Duty 幅	---	
	drv.Vdq_per	電源電圧に対する dq 軸電圧の割合	---	[%]

10.6.2.3 処理内容

モーター制御の各状態に共通な処理を実行します。

Vdq 演算（Cal_Vdq）を行い、Vdc に対する Vdq の割合を算出します。

10.6.3 停止状態関数（C_Stage_Stop)

10.6.3.1 構文

void C_Stage_Stop(vector_t* const _motor)

引数：

_motor　　モーター制御構造体

戻り値：

なし

10.6.3.2 変数

方向	名前	意味	Q フォーマット	備考
入力	stage.main	メインステージ	---	
入出力	stage.sub	サブステージ	---	
出力	stage.itr	割り込みステージ	---	
	drv.vector_cmd	ベクトル制御コマンド	---	(10.2.2 参照)
	drv.theta_com	電気角指令値	Q0	
	drv.theta	ローター位置	Q0	
	drv.omega_com	駆動速度指令値	Q31	
	drv.omega	速度	Q31	
	drv.Vd_com	d 軸電圧指令値	Q31	ソフトウェアベクトル制御のみ
	drv.Vq_com	q 軸電圧指令値	Q31	ソフトウェアベクトル制御のみ
	drv.Id_com	d 軸電流指令値	Q31	
	drv.Iq_com	q 軸電流指令値	Q31	

10.6.3.3 処理内容

モーターを停止させます。(PWM 出力を停止します)

10.6.4 ブートストラップ状態関数（C_Stage_Bootstrap)

10.6.4.1 構文

void C_Stage_Bootstrap(vector_t* const _motor)

引数：

_motor　　モーター制御構造体

戻り値：

なし

10.6.4.2 変数

方向	名前	意味	Q フォーマット	備考
入力	stage.main	メインステージ	---	
	para.time.bootstp	ブートストラップ時間	Q0	* MainLoopPrd(s)
入出力	stage.sub	サブステージ	---	
	stage_counter	ステージカウンター	Q0	* MainLoopPrd(s)
出力	stage.itr	割り込みステージ	---	
	drv.vector_cmd	ベクトル制御コマンド	---	(10.2.2 参照)

10.6.4.3 処理内容

上相 All OFF、下相 All ON の波形を出力し、ブートストラップコンデンサーの充電を行います。この処理を「ブートストラップ時間」継続させます。「ブートストラップ時間」からコンデンサーの充電量を決定します。

ブートストラップ状態を以下のサブ状態に分けて制御します。

a) 初期状態

ブートストラップ状態の初期設定を行います。

b) 時間経過待ち状態

指定されたブートストラップ時間が経過するのを待ち、位置決め状態へ遷移します。

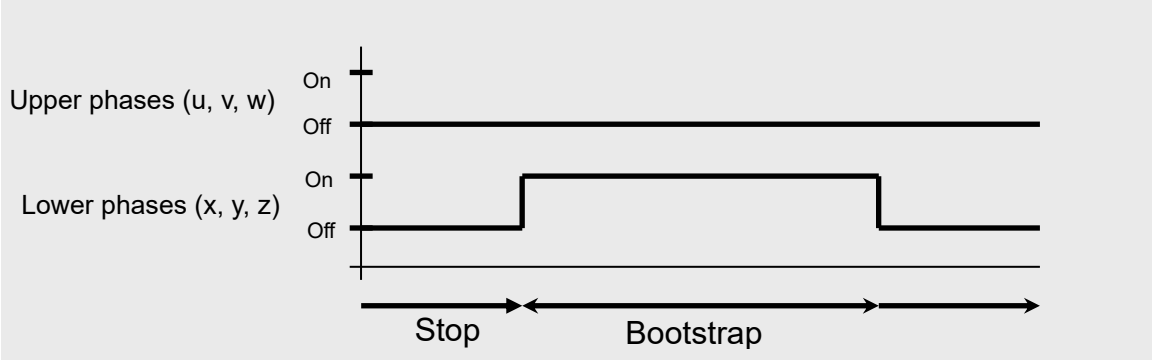


図 10.3 ブートストラップ時間

10.6.5 位置決め状態関数（C_Stage_Initposition)

10.6.5.1 構文

void C_Stage_Initposition(vector_t* const _motor)

引数：

_motor　　モーター制御構造体

戻り値：

なし

10.6.5.2 変数

方向	名前	意味	Q フォーマット	備考
入力	stage.main	メインステージ	---	
	boot_type	起動タイプ	---	
	usr.Id_st_user	始動 Id 電流値	Q15	
	usr.lambda_user	初期ローター位置	Q0	
	para.vd_pos	位置決め指令電圧	Q31	
	para.time.initpos	位置決め時間	Q0	* MainLoopPrd(s)
	para.time.initpos2	位置決め状態待ち時間	Q0	* MainLoopPrd(s)
入出力	stage.sub	サブステージ	---	
	stage_counter	ステージカウンター	Q0	* MainLoopPrd(s)
	drv.Vd_out	出力電圧値	Q31	電圧駆動時だけ有効
	drv.Id_com	d 軸電流指令値	Q31	
出力	stage.itr	割り込みステージ	---	
	drv.vector_cmd	ベクトル制御コマンド	---	(10.2.2 参照)
	drv.Iq_com	q 軸電流指令値	Q31	
	drv.omega_com	駆動速度指令値	Q31	
	drv.theta_com	電気角指令値	Q0	

10.6.5.3 処理内容

ローターを初期位置に固定させます。

θ を「初期位置」に固定、ω を 0 に固定、Iq を 0 に固定しながら、Id を 0 から徐々に増加させていきます。この処理を「位置決め時間」継続させ、最終的に Id が「始動 Id 電流値」になります。「位置決め時間」と「始動 Id 電流値」から単位時間当たりの Id の増加量をあらかじめ決定しておきます。Id が「始動 Id 電流値」到達後、[位置決め待ち時間]経過後、次ステージに遷移します。

位置決め状態を以下のサブ状態に分けて制御します。

a) 初期状態

位置決め状態の初期設定を行います。

b) Id 増加状態

Id を設定値まで徐々に増加させます。

10.6.6 強制転流状態関数（C_Stage_Force)

10.6.6.1 構文

void C_Stage_Force(vector_t* const _motor)

引数：

_motor　　モーター制御構造体

戻り値：

なし

10.6.6.2 変数

方向	名前	意味	Q フォーマット	備考
入力	stage.main	メインステージ	---	
	boot_type	起動タイプ	---	電流 or 電圧
	usr.Id_st_user	始動 Id 電流値	Q15	
	usr.omega_user	制御目標速度	Q31	
	para.omega_v2i	電流制御切り替え速度	Q15	電圧駆動時だけ有効
	para.spd_coef	出力電圧係数	Q15	電圧駆動時だけ有効
	para.vd_pos	位置決め出力電圧	Q31	電圧駆動時だけ有効
	para.omega_min	強制転流終了速度	Q15	
	para.sp_ud_lim_f	駆動速度増減リミット値	Q31	
入出力	stage.sub	サブステージ	---	
	drv.omega_com	駆動速度指令値	Q31	
出力	drv.vector_cmd	ベクトル制御コマンド	---	(10.2.2 参照)
	stage.itr	割り込みステージ	---	
	drv.Iq_com	q 軸電流指令値	Q31	
	drv.Id_com	d 軸電流指令値	Q31	
	drv.Vd_out	出力電圧値	Q31	電圧駆動時だけ有効

10.6.6.3 処理内容

ローターの回転を開始します。このステージではベクトル制御によるフィードバック処理ではなく、強制的に回転磁界を与えて、ローターがそれに追随して回転します。

Id を「始動 Id 電流値」に、Iq を 0 に固定しながら、駆動速度指令値 ω_{com} を徐々に増加させます。θ は ω_{com} から求めます($\theta = \omega_{com}t$)。この処理を ω が「強制転流終了速度」に達するまで継続します。

「駆動目標速度」を一定値ずつ増加させて「制御目標速度」に近づけます。「推定速度」が ω になります。

10.6.7 強制定常切り替え状態関数（C_Stage_Change_up)

10.6.7.1 構文

void C_Stage_Change_up(vector_t* const _motor)

引数：

_motor　　モーター制御構造体

戻り値：

なし

10.6.7.2 変数

方向	名前	意味	Q フォーマット	備考
入力	stage.main	メインステージ	---	
	usr.Id_st_user	始動 Id 電流値	Q15	
	usr.Iq_st_user	始動 Iq 電流値	Q15	
	usr.omega_user	制御目標速度	Q31	
	para.delta_lambda	強制定常切り替え時電流切り替え位相	Q0	
	para.sp_ud_lim_f	駆動速度増減リミット値	Q31	
	para.time.go_up	強制定常切り替え後待ち時間	Q0	* MainLoopPrd(s)
入出力	stage.sub	サブステージ	---	
	stage_counter	ステージカウンター	Q0	* MainLoopPrd(s)
	drv.omega_com	駆動速度指令値	Q31	
出力	stage.itr	割り込みステージ	---	
	drv.vector_cmd	ベクトル制御コマンド	---	(10.2.2 参照)
	drv.Id_com	d 軸電流指令値	Q31	
	drv.Iq_com	q 軸電流指令値	Q31	

10.6.7.3 処理内容

Id を 0 に減少、Iq を「始動 Iq 電流値」まで増加させ、磁界の方向がローターと直角になるように制御します。

つまりトルク成分を発生させます。

ω、θ は位置推定演算により求めます。 「駆動速度指令値」を一定値ずつ増加させて「制御目標速度」に近づけます。ただしこのステージでは速度制御は行っていないため、「推定速度」は制御には使用されません。

強制定常切り替え状態を以下のサブ状態に分けて制御します。

a) 初期状態

強制定常切り替え状態の初期設定を行います。

b) Id、Iq 切り替え状態

Id を 0 まで徐々に減少させ、同時に Iq を指定値まで徐々に増加させます。増加および減少の曲線は線形ではなく、三角関数曲線によります。切り替え完了後、時間経過待ち状態へ遷移します。

c) 時間経過待ち状態

指定された強制定常切り替え時間が経過するのを待ち、定常状態へ遷移します。

10.6.8 定常状態関数（C_Stage_Steady_A）

10.6.8.1 構文

void C_Stage_Steady_A(vector_t* const _motor)

引数：

_motor　　モーター制御構造体

戻り値：

なし

10.6.8.2 変数

方向	名前	意味	Q フォーマット	備考
入力	stage.main	メインステージ	---	
	usr.omega_user	制御目標速度	Q31	
	para.sp_up_lim_s	駆動速度増加リミット値	Q31	
	para.sp_dn_lim_s	駆動速度減少リミット値	Q31	
入出力	stage.sub	サブステージ	---	
	drv.omega_com	駆動速度指令値	Q31	
出力	drv.vector_cmd	ベクトル制御コマンド	Q0	(10.2.2 参照)
	stage.itr	割り込みステージ	---	
	drv.Id_com	d 軸電流指令値	Q31	

10.6.8.3 処理内容

定常状態の処理を実行します。

「駆動速度指令値」を一定値ずつ増加させて「制御目標速度」に近づけます。

10.6.9 保護状態関数（C_Stage_Emergency)

10.6.9.1 構文

void C_Stage_Emergency(vector_t* const _motor)

引数：

_motor　　モーター制御構造体

戻り値：

なし

10.6.9.2 変数

方向	名前	意味	Q フォーマット	備考
入力	stage.main	メインステージ	---	
入出力	stage.sub	サブステージ	---	
出力	drv.vector_cmd	ベクトル制御コマンド	---	(10.2.2 参照)
	stage.itr	割り込みステージ	---	

10.6.9.3 処理内容

過電流が発生したとき、この状態へ遷移します。

ハードウェア過電流を検出したときは、モーター駆動出力 u、v、w、x、y、z は全て Hi-z となっています。

ソフトウェア過電流を検出したときは、モーター駆動出力 u、v、w、x、y、z は、全てオフとなっています。

ローターは惰性で回転します。

過電流状態復帰処理を実施するまでこのステージを維持します。

10.7 モーター駆動関数

10.7.1 用語説明

10.7.1.1 3 相変調の場合

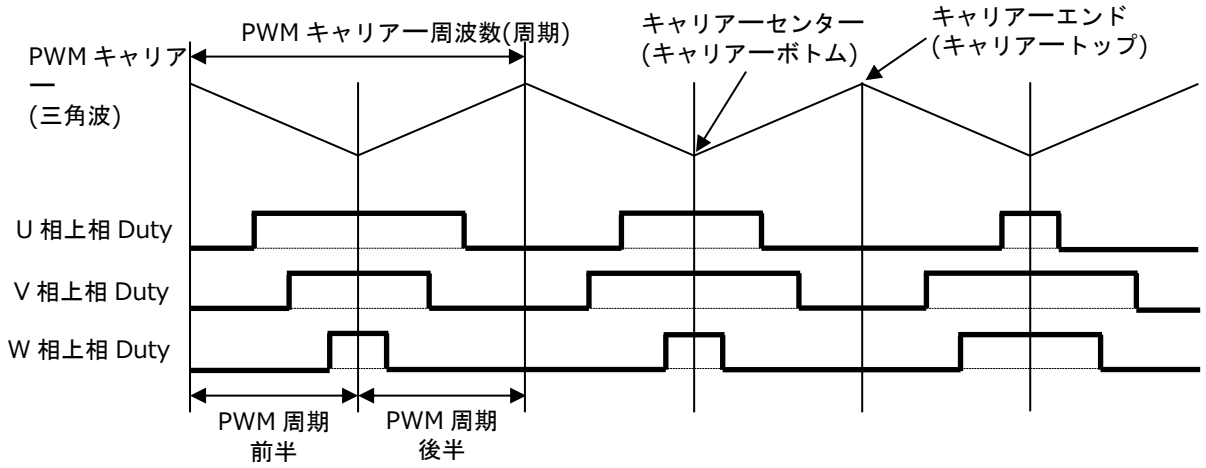


図 10.4 3 相変調の場合

10.7.1.2 2 相変調の場合

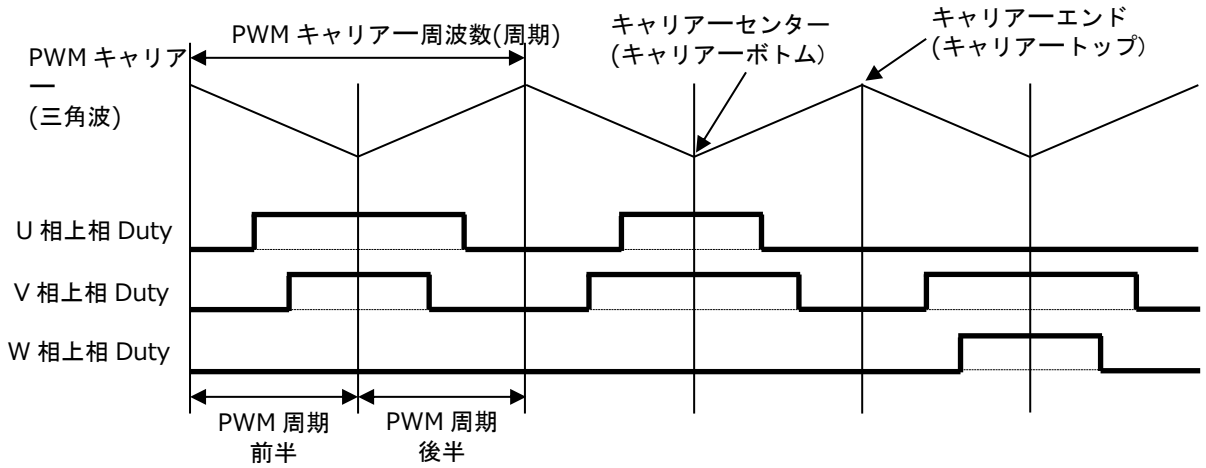


図 10.5 2 相変調の場合

10.7.2 モーター電流、電源電圧取得（D_GetMotorCurrentPowerVolt)

10.7.2.1 構文

void D_GetMotorCurrentPowerVolt (vector_t* const _motor)

引数：

_motor　　モーター制御構造体

戻り値：

なし

10.7.2.2 変数

方向	名前	意味	Q フォーマット	備考
入力	drv.Sector1	前回セクター	Q0	0 to 5
	para.TrgPosMd	電流検出位置モード	---	3 シャント 1 シャント前半 1 シャント後半
	drv.ADxREG0	AD 変換結果レジスターアドレス	---	
	drv.ADxREG1	AD 変換結果レジスターアドレス	---	
	drv.ADxREG2	AD 変換結果レジスターアドレス	---	
	drv.ADxREG3	AD 変換結果レジスターアドレス	---	
	drv.Iao_ave	U 相ゼロ電流平均	Q15	3 シャント時だけ
	drv.Ibo_ave	V 相ゼロ電流平均	Q15	3 シャント時だけ
	drv.Ico_ave	W 相ゼロ電流平均	Q15	3 シャント時だけ
	drv.Idco_ave	ゼロ電流平均	Q15	1 シャント時だけ
	stage.itr	割り込みステージ	---	
	drv.idetect_error	電流検出状態	---	
入出力	drv.Ia_raw	U 相電流(生データ)	Q15	
	drv.Ib_raw	V 相電流(生データ)	Q15	
	drv.Ic_raw	W 相電流(生データ)	Q15	
出力	drv.Ia	U 相電流(誤検知保護)	Q15	
	drv.Ib	V 相電流(誤検知保護)	Q15	
	drv.Ic	W 相電流(誤検知保護)	Q15	
	drv.Ia_adc	U 相電流変換結果	Q15	3 シャント時だけ
	drv.Ib_adc	V 相電流変換結果	Q15	3 シャント時だけ
	drv.Ic_adc	W 相電流変換結果	Q15	3 シャント時だけ
	drv.Idc1_adc	1st 相電流変換結果	Q15	1 シャント時だけ
	drv.Idc2_adc	2nd 相電流変換結果	Q15	1 シャント時だけ
	drv.Vdc	電源電圧	Q15	
	drv.Vdc_adc	電源電圧変換結果	Q15	

10.7.2.3 処理内容

AD 変換結果値を取得し、電源電圧とモーター電流を演算します。

1．PMD トリガーによる AD 変換の終了を確認し、変換が終了していれば下記表に従って変換結果を取得する。
変換終了していない場合は、変換が終わるまでループで待つ(通常ではあり得ないがフェールセーフ処理で待つ処理を行う)。
2．取得した AD 変換結果から電源電圧、モーター電流を演算する。

- 電源電圧

電源電圧変換結果 drv.Vdc_adc	AD 変換結果 3 ADxREG3

電源電圧は符号なしのため、AD 変換結果を 1bit 右シフトして Q15 フォーマットの変数とする。

```
drv.Vdc_adc = (q15_t)((*_motor->drv.ADxREG3 & 0xFFF0) >> 1)
drv.Vdc_adc = drv.Vdc_adc
```

- モーター電流

<電流検出モード：３シャントのとき>

	セクター					
	0	1	2	3	4	5
U 相電流変換結果 drv.Ia_adc	AD 変換結果 2 ADxREG2	AD 変換結果 1 ADxREG1	AD 変換結果 1 ADxREG1	AD 変換結果 0 ADxREG0	AD 変換結果 0 ADxREG0	AD 変換結果 2 ADxREG2
V 相電流変換結果 drv.Ib_adc	AD 変換結果 0 ADxREG0	AD 変換結果 2 ADxREG2	AD 変換結果 2 ADxREG2	AD 変換結果 1 ADxREG1	AD 変換結果 1 ADxREG1	AD 変換結果 0 ADxREG0
W 相電流変換結果 drv.Ic_adc	AD 変換結果 1 ADxREG1	AD 変換結果 0 ADxREG0	AD 変換結果 0 ADxREG0	AD 変換結果 2 ADxREG2	AD 変換結果 2 ADxREG2	AD 変換結果 1 ADxREG1

モーター停止時のＡＤ変換結果をゼロ電流として、下記変数に格納する。

U 相ゼロ電流変換結果 drv.Iao_ave	U 相電流変換結果 drv.Ia_adc
V 相ゼロ電流変換結果 drv.Ibo_ave	V 相電流変換結果 drv.Ib_adc
W 相ゼロ電流変換結果 drv.Ico_ave	W 相電流変換結果 drv.Ic_adc

3 相電流の値は、ゼロ電流(モーター停止)時の AD 変換結果と相電流変換結果から下記表に従って演算する。

	セクター					
	0	1	2	3	4	5
U 相電流 drv.Ia	-Ib-Ic	Iao_ave - Ia_adc	Iao_ave- Ia_adc	Iao_ave- Ia_adc	Iao_ave- Ia_adc	-Ib-Ic
V 相電流 drv.Ib	Ibo_ave - Ib_adc	-Ia-Ic	-Ia-Ic	Ibo_ave - Ib_adc	Ibo_ave- Ib_adc	Ibo_ave- Ib_adc
W 相電流 drv.Ic	Ico_ave - Ic_adc	Ico_ave - Ic_adc	Ico_ave- Ic_adc	-Ia-Ib	-Ia-Ib	Ico_ave - Ic_adc

<電流検出モード：1 シャント前半、1 シャント後半のとき>

電流検出モード：1 シャント前半のときは、PWM 周期前半の位置で AD 変換結果を取得

電流検出モード：1 シャント後半のときは、PWM 周期後半の位置で AD 変換結果を取得

電流取得位置 / 変換結果	PWM 周期後半	PWM 周期前半
電流変換結果 1 drv.Idc1_adc	AD 変換結果 0 ADREG0	AD 変換結果 1 ADREG 1
電流変換結果 2 drv.Idc2_adc	AD 変換結果 1 ADREG1	AD 変換結果 0 ADREG0

モーター停止時のＡＤ変換結果をゼロ電流として、下記変数に格納する。

ゼロ電流変換結果 drv.Idco_ave	電流変換結果 1 drv.Idc1_adc

3 相電流の値は、ゼロ電流(モーター停止)時の AD 変換結果「ゼロ電流変換結果」と 2 つのタイミング時の AD 変換結果から下記表に従って演算する。

	セクター					
	0	1	2	3	4	5
U 相電流 drv.Ia	-(Idco_ave-Idc2_adc)	-Ib-Ic	Idco_ave-Idc1_adc	Idco_ave-Idc1_adc	-Ib-Ic	-(Idco_ave-Idc2_adc)
V 相電流 drv.Ib	-Ia-Ic	-(Idco_ave-Idc2_adc)	-(Idco_ave-Idc2_adc)	-Ia-Ic	Idco_ave-Idc1_adc	Idco_ave-Idc1_adc
W 相電流 drv.Ic	Idco_ave-Idc1_adc	Idco_ave-Idc1_adc	-Ia-Ib	-(Idco_ave-Idc2_adc)	-(Idco_ave-Idc2_adc)	-Ia-Ib

10.7.3 入力座標変換（D_InputTransformation)

10.7.3.1 構文

void D_InputTransformation(vector_t* const _motor)

引数：

_motor　　モーター制御構造体

戻り値：

なし

10.7.3.2 変数

方向	名前	意味	Q フォーマット	備考
入力	drv.vector_cmd.F_vcomm_Idetect	電流検出コマンド	---	
	drv.Ia	U 相電流	Q15	
	drv.Ib	V 相電流	Q15	
	(drv.Ic)	W 相電流	Q15	
	drv.theta	ローター位置	Q0	[deg/360]
	para.pos.ctrlprd	ベクトル制御周期	Q0	
	drv.omega	推定速度	Q15	
	drv.idetect_error	電流検出状態	---	0:検出可能 1:検出不能
出力	drv.Ialpha	α軸電流	Q15	
	drv.Ibeta	β軸電流	Q15	
	drv.Id	d 軸電流	Q15	
	drv.Iq	q 軸電流	Q15	

10.7.3.3 処理内容

3 相の電流(Ia, Ib, Ic)から、dq 軸電流に変換します。

1．10.7.4 クラーク変換により、3 相の電流(Ia, Ib, Ic)から 2 相の電流(Iα,Iβ)に変換します。
2．10.7.5 パーク変換により、静止座標である 2 相の電流(Iα,Iβ)から回転座標の dq 軸変換に変換します。
パーク変換に使用するローター位置は、位置推定処理で演算した時点から実際のローター位置は進んでいるため、速度ωと演算周期から予測したθestを使用します。　θest = θ ＋ 速度ω×ベクトル制御周期

なお、電流検出が正常にできない状態のときは、変換を行わず、Id,Iq は更新しません。

10.7.4 クラーク変換（E_Clarke)

10.7.4.1 構文

```
void E_Clarke(  q15_t _iu,
                q15_t _iv,
                q15_t _iw,
                q15_t* _ialpha,
                q15_t* _ibeta)
```

引数：

_iu	U 相電流
_iv	V 相電流
_iw	W 相電流
_ialpha	α 軸電流格納アドレス
_ibeta	β 軸電流格納アドレス

戻り値：

なし

10.7.4.2 処理内容

3 相の電流(Iu, Iv, Iw)を 2 相(Iα, Iβ)に変換します。

下記演算式により Iα、Iβ を演算します。

$$I\alpha = \frac{2}{3} \times (Iu \times \cos 0 + Iv \times \cos 120 + Iw \times \cos 240) = \frac{2}{3} \times \left(Iu - \frac{1}{2}Iv - \frac{1}{2}Iw\right)$$

$$I\beta = \frac{2}{3} \times (Iu \times \sin 0 + Iv \times \sin 120 + Iw \times \sin 240) = \frac{2}{3} \times \left(\frac{\sqrt{3}}{2}Iv - \frac{\sqrt{3}}{2}Iw\right)$$

係数$\frac{2}{3}$は、3 相電流を 2 相の α β 軸電流に変換すると振幅が$\frac{3}{2}$倍になるため、振幅を等価とするための係数。

3 相電流の総和は 0 となるため、Iu+Iv+Iw=0 とすると、

$$I\alpha = Iu$$

$$I\beta = (Iu + 2Iv)/\sqrt{3}$$

となります。

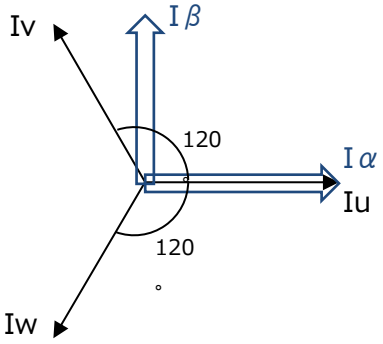


図 10.6 クラーク変換

10.7.5 パーク変換（E_Park)

10.7.5.1 構文

```
void E_Park(    q15_t _ialpha,
                q15_t _ibeta,
                uint16_t _theta,
                q15_t* _id,
                q15_t* _iq)
```

引数：

_ialpha	α 軸電流 Iα
_ibeta	β 軸電流 Iβ
_theta	ローター位置 θ : 0≤位置<360°（0 to 0xffff)
_id	d 軸電流 Id 格納アドレス
_iq	q 軸電流 Iq 格納アドレス

戻り値：

なし

10.7.5.2 処理内容

α β 軸の静止座標から回転座標の dq 軸に変換します。

下記演算式により Id、Iq を演算します。

$$Id = I\alpha \times \cos\theta + I\beta \times \sin\theta$$

$$Iq = I\alpha \times (-\sin\theta) + I\beta \times \cos\theta$$

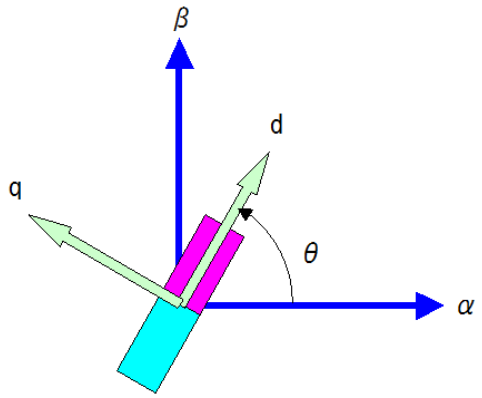


図 10.3 パーク変換

10.7.6 位置推定関数（D_Detect_Rotor_Position）

10.7.6.1 構文

void D_Detect_Rotor_Position(vector_t* const _motor)

引数：

_motor　　モーター制御構造体

戻り値：

なし

10.7.6.2 変数

方向	名前	意味	Q フォーマット	備考
入力	drv.command.encoder	エンコーダー駆動コマンド	---	
	drv.vector_cmd.F_vcomm_Edetect	誘起電圧制御コマンド	---	
	drv.vector_cmd.F_vcomm_omega	推定速度制御コマンド	---	
	drv.vector_cmd.F_vcomm_theta	推定ローター位置制御コマンド	---	
	drv.Id	d 軸電流	Q15	
	drv.Iq	q 軸電流	Q15	
	drv.omega_com	駆動速度指令値	Q31	
	drv.theta_com	電気角指令値	Q0	
	drv.Vd	d 軸電圧	Q31	
	para.motor.Lq	モーターq 軸インダクタンス	Q12	
	para.motor.r	モーター巻線抵抗	Q12	
	para.pos.ctrlprd	位置推定制御周期	Q0	
	para.pos.ki	位置推定積分ゲイン	Q15	Q12 対応あり
	para.pos.kp	位置推定比例ゲイン	Q15	Q12 対応あり
入出力	drv.Ed	d 軸誘起電圧	Q15	
	drv.Ed_I	d 軸誘起電圧積分値	Q31	
	drv.Ed_PI	d 軸誘起電圧 PI 値	Q31	
	drv.omega	推定速度	Q31	
出力	drv.theta	ローター位置	Q0	

10.7.6.3 処理内容

操作量がモーター駆動信号の推定速度 ω_{est}、制御量が d 軸誘起電圧 Ed として PI 制御を行います。

なお Ed の目標値は常に 0 です。つまり偏差は -Ed になります。

PI 制御より求めた推定速度 ω_{est} を積分することで、ローター位置 θ（角度）を求めます。

推定速度 omega は、F_vcomm_omega が CLEAR の場合は、駆動速度指令値 omega_com を推定速度 omega として使用します。

モーターの d 軸に関する等価回路方程式は、下記で表すことができます。

$$V_d = R \cdot I_d + L_d \cdot pI_d - \omega_{est} \cdot L_q \cdot I_q + E_d$$

(p=d/dt, Id≈一定値より pId=0 とすることができる。)

Vd :モーター印加電圧　　Id,Iq :モーター電流

ω_{est} :推定角速度

R :抵抗　　Ld,Lq :インダクタンス

よって、d 軸誘起電圧 Ed は下記演算式で求めることができます。

$$Ed = Vd - R \cdot Id + \omega_{est} \cdot Lq \cdot Iq$$

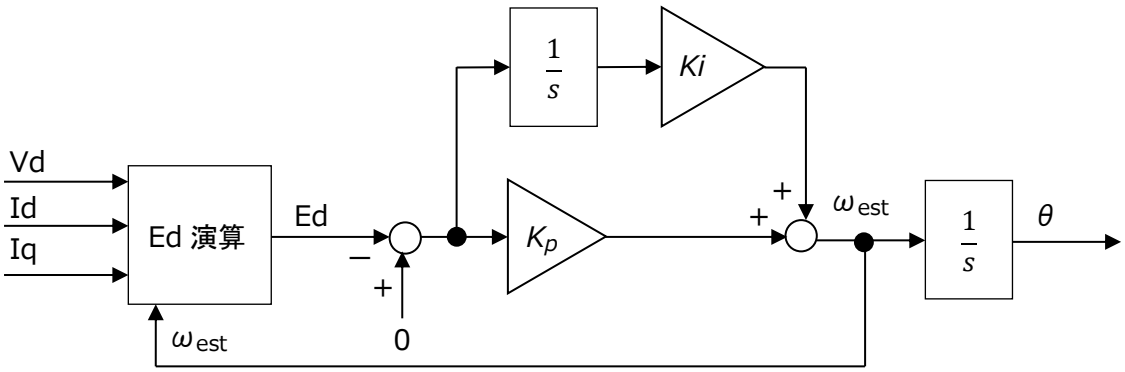


図 10.4 d 軸誘起電圧 Ed による位置推定ブロック図

10.7.7 エンコーダー制御関数（H_Encoder)

10.7.7.1 構文

void H_Encoder(vector_t* const _motor, TSB_EN_TypeDef* const ENx)

引数：

_motor　　モーター制御構造体

ENx　　ENC アドレス

戻り値：

なし

10.7.7.2 変数

方向	名前	意味	Q フォーマット	備考
入力	drv.command.encoder	エンコーダー駆動コマンド	---	
	drv.vector_cmd.F_vcomm_omega	推定速度制御コマンド	---	
	drv.vector_cmd.F_vcomm_theta	推定ローター位置制御コマンド	---	
	drv.omega_com	駆動速度指令値	Q31	
	drv.theta_com	電気角指令値	Q0	
	para.enc.ctrlprd	エンコーダー制御周期	Q16	
	para.enc.deg_adjust	電気角調整	Q0	
	para.enc.pls2omega	パルス数から速度への演算係数	Q15	
	para.enc.pls2theta	パルス数から角度への演算係数	Q32	
	para.enc.plsnum	エンコーダーパルス数	Q0	
入出力	drv.EnCnt	エンコーダーカウンター値	Q0	
	drv.EnCnt_dev	エンコーダーカウンター偏差	Q0	
	drv.EnCnt1	エンコーダーカウンター前回値	Q0	
	drv.omega_enc	エンコーダー速度	Q15	
	drv.omega_enc_ave	エンコーダー速度平均値	Q31	
	drv.omega_enc_raw	エンコーダー速度	Q15	
	drv.theta_enc	エンコーダー角度	Q0	
出力	drv.omega	速度	Q31	
	drv.theta	ローター位置	Q0	

10.7.7.3 処理内容

インクリメンタル・エンコーダーパルス数を読み出し、ローター位置（角度）θと、速度ωの算出処理を行います。

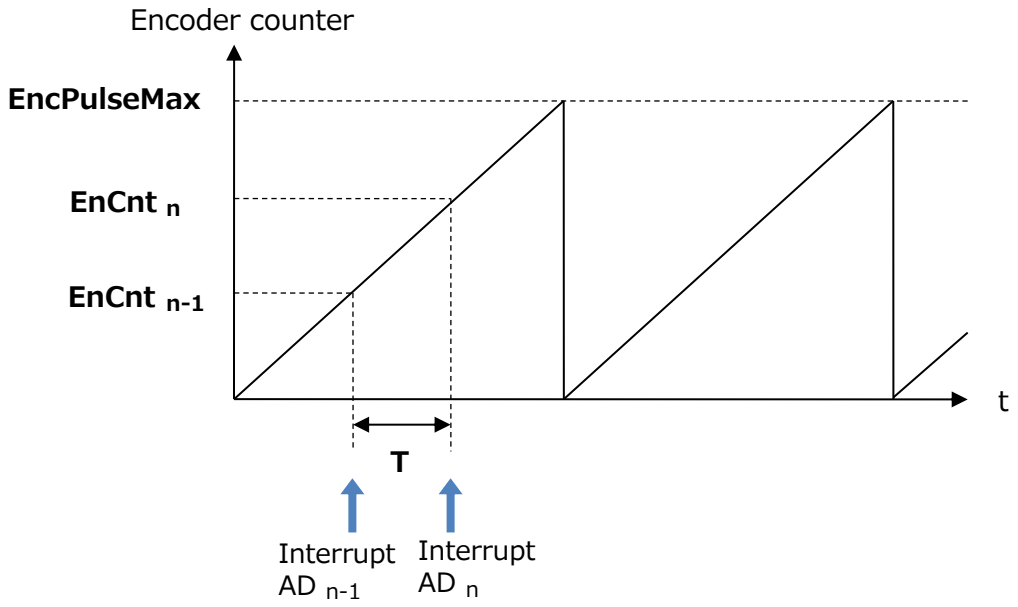


図 10.5 エンコーダーパルスからの位置および速度演算

AD 変換終了割り込みごとに、パルス数を読み込み、下記演算を行います。

現在のエンコーダーパルスカウンター値から下記式により θ を演算します。

$$\theta = EnCnt_n \times (360° \div EncPulseMax) \times (Pole \div 2)$$

前回 n-1 と現在 n のエンコーダーパルスカウンター値との差から下記式により速度 ω を演算します。

$$\omega = \{(EnCnt_n - EnCnt_{n-1}) \times (360° \div (EncPulsMax \div (Pole \div 2))\} \div T$$

$EnCnt_n$	現在エンコーダーカウンター値
$EnCnt_{n-1}$	前回エンコーダーカウンター値
EncPulseMax	エンコーダーパルス数[ppr]×逓倍数(4)
Pole	極数
θ	角度[deg]
ω	速度[Hz]
T	速度演算周期[s]

10.7.9 速度制御関数（D_Control_Speed)

10.7.9.1 構文

void D_Control_Speed(vector_t* const _motor)

引数：

_motor　　モーター制御構造体

戻り値：

なし

10.7.9.2 変数

方向	名前	意味	Q フォーマット	備考
入力	drv.vector_cmd.F_vcomm_current	電流指令制御コマンド	---	
	drv.Id_com	d 軸電流指令値	Q31	
	drv.Iq_com	q 軸電流指令値	Q31	
	drv.omega	推定速度	Q31	
	drv.omega_com	駆動速度指令値	Q31	
	para.id_lim	d 軸電流制限値	Q31	
	para.iq_lim	q 軸電流制限値	Q31	
	para.spd.ki	速度制御積分ゲイン	Q15	Q12 対応あり
	para.spd.kp	速度制御比例ゲイン	Q15	Q12 対応あり
入出力	drv.Iq_ref_I	q 軸電流積分値	Q31	
	drv.omega_dev	速度偏差	Q15	
出力	drv.Id_ref	d 軸電流基準値	Q15	
	drv.Iq_ref	q 軸電流基準値	Q15	

10.7.9.3 処理内容

制御量が出力周波数ω、操作量が q 軸電流 Iq として PI 制御を行います。
速度指令値と実際の速度の偏差から、d 軸と q 軸電流基準値を決定します。

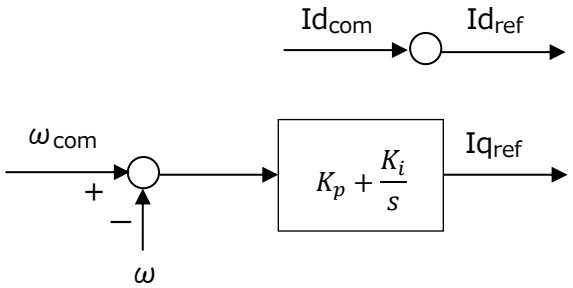


図 10.6 速度制御ブロック図

10.7.10 電流制御関数 (D_Control_Current)

10.7.10.1 構文

void D_Control_Current(vector_t* const _motor)

引数：

_motor　　モーター制御構造体

戻り値：

なし

10.7.10.2 変数

方向	名前	意味	Q フォーマット	備考
入力	drv.vector_cmd.F_vcomm_volt	電圧指令制御コマンド	---	
	stage.itr	割り込みステージ	---	
	drv.Id_ref	d 軸電流基準値	Q15	
	drv.Iq_ref	q 軸電流基準値	Q15	
	drv.Id	d 軸電流	Q15	
	drv.Iq	q 軸電流	Q15	
	drv.Vd_com	d 軸電圧指令値	Q31	
	drv.Vq_com	q 軸電圧指令値	Q31	
	drv.Vd_out	出力電圧値		電圧駆動時だけ有効
	para.crt.dkp	d 軸電流制御比例ゲイン	Q15	Q12 対応あり
	para.crt.dki	d 軸電流制御積分ゲイン	Q15	Q12 対応あり
	para.crt.qkp	q 軸電流制御比例ゲイン	Q15	Q12 対応あり
	para.crt.qki	q 軸電流制御積分ゲイン	Q15	Q12 対応あり
入出力	drv.Vd_I	d 軸電圧積分値	Q31	
	drv.Vq_I	q 軸電圧積分値	Q31	
出力	drv.Vd	d 軸電圧	Q31	
	drv.Vq	q 軸電圧	Q31	

10.7.10.3 処理内容

電流基準値と実際の電流の偏差から、d 軸と q 軸電圧を決定します。電圧指令制御コマンドが SET のときは、下記 PI 制御により d 軸電圧、q 軸電圧を演算し、CLEAR のときは、d 軸電圧、q 軸電圧、積分値を指令値にします。制御量が q 軸電流 Iq、操作量が q 軸電圧 Vq として PI 制御を行います。

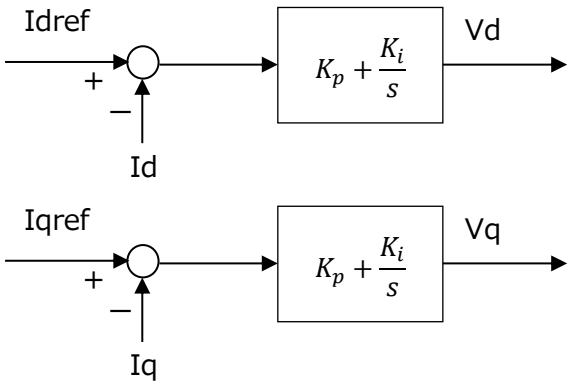


図 10.7 電流制御ブロック図

10.7.11 出力座標変換 (D_OutputTransformation)

10.7.11.1 構文

void D_OutputTransformation (vector_t* const _motor)

引数：

_motor　　モーター制御構造体

戻り値：

なし

10.7.11.2 変数

方向	名前	意味	Q フォーマット	備考
入力	drv.vector_cmd.F_vcomm_onoff	モーター出力制御コマンド	---	
	drv.Vd	d 軸電圧	Q31	
	drv.Vq	q 軸電圧	Q31	
	drv.Vdc	電源電圧	Q15	
	drv.theta	ローター位置	Q0	[deg/360]
	drv.PhCvMd	相変換モード	---	0:空間ベクトル 1:逆クラーク
入出力	drv.Sector	セクター	---	
出力	drv.Valpha	α 軸電圧	Q31	
	drv.Vbeta	β 軸電圧	Q31	
	drv.DutyU	U 相 PWM Duty 比	Q15 (符号無し)	0.0 to 1.0
	drv.DutyV	V 相 PWM Duty 比	Q15 (符号無し)	0.0 to 1.0
	drv.DutyW	W 相 PWM Duty 比	Q15 (符号無し)	0.0 to 1.0
	drv.Sector1	前回セクター	---	

10.7.11.3 処理内容

dq 軸電圧(Vd,Vq)から 3 相の PWMDuty 比(DutyU, DutyV, DutyW)に変換します。

1．10.7.12 逆パーク変換により、dq 軸電圧(Vd,Vq)からαβ軸電圧(Vα、Vβ)に変換します。
2．αβ軸電圧(Vα、Vβ)から現在の「セクター」を演算します。演算前の「セクター」を「前回セクター」に保存し、モーター電流取得時に使用します。
3．10.7.15 空間ベクトル変調あるいは 10.7.14 逆クラーク変換により、αβ軸電圧(Vα、Vβ)から 3 相 Duty 比(DutyV, DutyW, DutyW)に変換します。

10.7.12 逆パーク変換 (E_InvPark)

10.7.12.1 構文

```
void E_InvPark( q31_t _d,
                q31_t _q,
                uint16_t _theta,
                q31_t* _alpha,
                q31_t* _beta)
```

引数：

_d	d 軸
_q	q 軸
_theta	ローター位置 θ : 0≤位置<360°（0 to 0xffff）
_alpha	α 軸格納アドレス
_beta	β 軸格納アドレス

戻り値：

なし

10.7.12.2 処理内容

回転座標の dq 軸から静止座標の α β 軸に変換します。

下記演算式により Vα、Vβ を演算します。

$$V\alpha = Vd \times \cos\theta - Vq \times \sin\theta$$

$$V\beta = Vd \times \sin\theta + Vq \times \cos\theta$$

10.7.13 セクター演算（D_CalSector)

10.7.13.1 構文

```
uint8_t D_CalSector(    q31_t _valpha,
                        q31_t _vbeta)
```

引数：

_valpha	α 軸電圧
_vbeta	β 軸電圧

戻り値：

セクター

10.7.13.2 処理内容

α β 軸電圧から「セクター」を演算します。

「前回のセクター」値を保存し、下記条件式により今回の「セクター」値を決定します。

表 10.4 セクター演算

条件		セクター値
条件 1	条件 2	
$(V\alpha \geq 0)\ \&\ (V\beta \geq 0)$	$V\alpha \geq (V\beta/\sqrt{3})$	0
	$V\alpha < (V\beta/\sqrt{3})$	1
$(V\alpha < 0)\ \&\ (V\beta \geq 0)$	$\lvert V\alpha\rvert < (V\beta/\sqrt{3})$	1
	$\lvert V\alpha\rvert \geq (V\beta/\sqrt{3})$	2
$(V\alpha < 0)\ \&\ (V\beta < 0)$	$\lvert V\alpha\rvert \geq (\lvert V\beta\rvert/\sqrt{3})$	3
	$\lvert V\alpha\rvert < (\lvert V\beta\rvert/\sqrt{3})$	4
$(V\alpha \geq 0)\ \&\ (V\beta < 0)$	$V\alpha < (\lvert V\beta\rvert/\sqrt{3})$	4
	$V\alpha \geq (\lvert V\beta\rvert/\sqrt{3})$	5

10.7.14 逆クラーク変換 (E_InvClarke)

本ソフトでは未実装です

10.7.14.1 構文

```
void E_InvClarke(    q31_t _valpha,
                     q31_t _vbeta,
                     uint16_t* _p_vu,
                     uint16_t* _p_vv,
                     uint16_t* _p_vw)
```

引数：

_valpha	α 軸 Vα
_vbeta	β 軸 Vβ
_p_vu	U 相電圧 Vu 格納アドレス
_p_vv	V 相電圧 Vv 格納アドレス
_p_vw	W 相電圧 Vw 格納アドレス

戻り値：

なし

10.7.14.2 処理内容

2 相(Vα, Vβ)から 3 相の電圧(Vu, Vv, Vw) に変換します。

下記演算式により Vu、Vv,Vw を算出します。

$$Vu = V\alpha \times \cos 0° + V\beta \times \sin 0° = V\alpha$$

$$Vv = V\alpha \times \cos 120° + V\beta \times \sin 120° = -\frac{1}{2}V\alpha + \frac{\sqrt{3}}{2}V\beta$$

$$Vw = V\alpha \times \cos 240° + V\beta \times \sin 240° = -\frac{1}{2}V\alpha - \frac{\sqrt{3}}{2}V\beta$$

10.7.15 空間ベクトル変調 (D_SVM)

10.7.15.1 構文

```
void D_SVM(    q31_t _valpha,
               q31_t _vbeta,
               q15_t _vdc,
               uint8_t _sector,
               uint8_t _modul,
               uint16_t* _p_vu,
               uint16_t* _p_vv,
               uint16_t* _p_vw)
```

引数：

_valpha	α 軸 V α
_vbeta	β 軸 V β
_vdc	電源電圧
_sector	セクター
_modul	変調方式
_p_vu	U 相 Duty 比 DutyU 格納アドレス
_p_vv	V 相 Duty 比 DutyV 格納アドレス
_p_vw	W 相 Duty 比 DutyW 格納アドレス

戻り値：

なし

10.7.15.2 処理内容

2 相の α β 軸電圧から 3 相 PWM の Duty 比を求めます。

空間ベクトル変調により各相の PWM Duty 比を求めます。

● 空間ベクトル変調とは?

インバーター駆動回路のスイッチング素子の状態は、上相の素子は ON or OFF、下相の素子は上相の逆状態(デッドタイムは無視)となるため、表 1 のように 8 パターン存在します。

この 8 パターンを V0 から V7 ベクトルとし、図に表すと、V0 と V7 ベクトルは、線間電圧がかからないため原点に存在し、残りの 6 つのベクトル(V1 から V6)は図 10.9 のように 60° ごとに表されます。

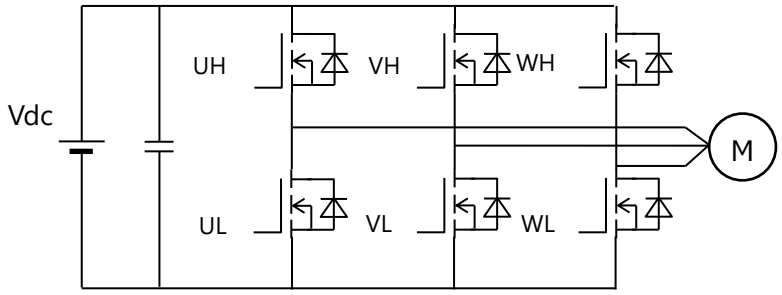
このうち隣り合う 2 つのベクトルを組み合わすことにより、任意の出力電圧ベクトル V を得ることができます。

出力電圧ベクトル V がセクター0 に存在するときの PWM Duty の演算方法を次ページから説明します。

表 10.5 インバータースイッチング状態

U	V	W	Vector
0	0	0	V0 (0 0 0)
1	0	0	V1 (1 0 0)
1	1	0	V2 (1 1 0)
0	1	0	V3 (0 1 0)
0	1	1	V4 (0 1 1)
0	0	1	V5 (0 0 1)
1	0	1	V6 (1 0 1)
1	1	1	V7 (1 1 1)

0: 上相 OFF、下相 ON
1: 上相 ON、 下相 OFF



UH: U 相上相スイッチング素子　　UL: U 相下相スイッチング素子
VH: V 相上相スイッチング素子　　VL: V 相下相スイッチング素子
WH: W 相上相スイッチング素子　　WL: W 相下相スイッチング素子
Vdc: 電源電圧

図 10.8 インバーター駆動回路

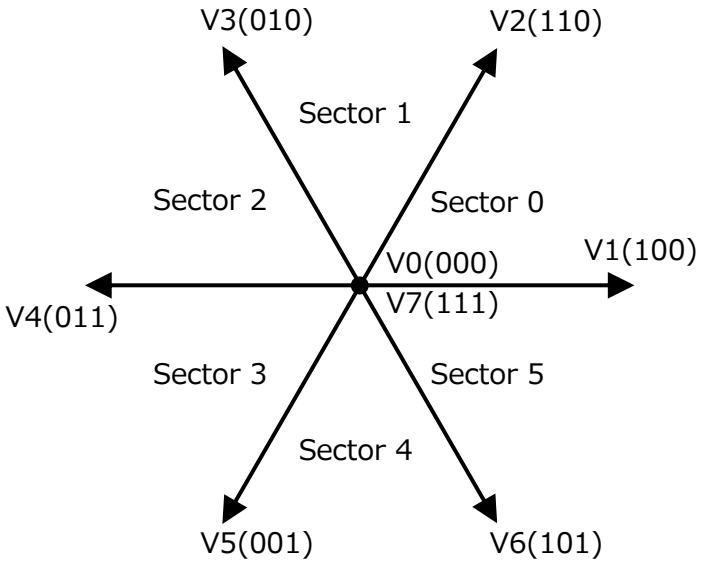


図 10.9 空間ベクトル

・出力電圧 V がセクター0 内に存在する場合

例えば図 10.10 セクター0 時の電圧ベクトルで、Vα、Vβ の合成ベクトル V はセクター 0 上にあるため電圧ベクトル V1 と V2 にそれぞれ係数 t1、t2 をかけて得られるベクトル V1'、V2' の合成ベクトルとして得ることができます。PWM 波形で表すと、図 10.11 のように PWM 半周期で、V1、V2 をそれぞれ時間 t1、t2 だけ発生させることで 出力電圧ベクトル V を合成します。

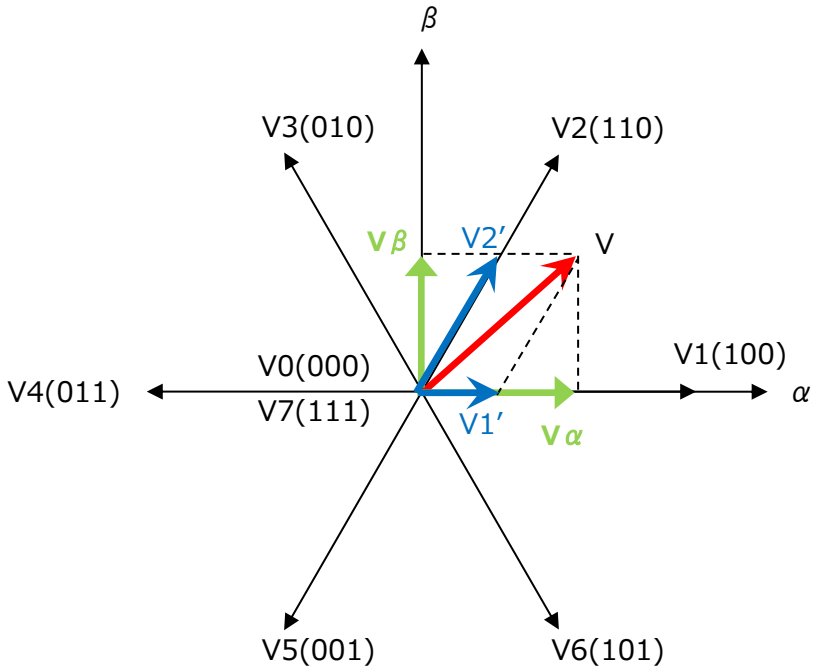


図 10.10 セクター0 時の電圧ベクトル

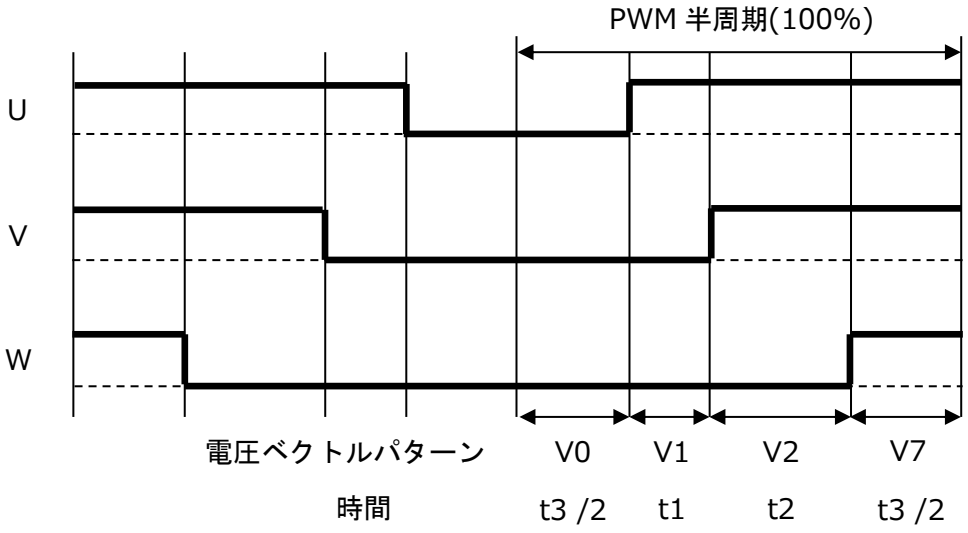


図 10.11 3 相変調時の PWM 波形

図 10.10 セクター0 時の電圧ベクトルより、Vα,Vβは、

$$V\alpha = V1' \times cos0° + V2' \times cos60° = V1' + \frac{V2'}{2}$$

$$V\beta = V1' \times sin0° + V2' \times sin60° = \frac{\sqrt{3}}{2} \times V2'$$

と表すことができます。

よって、V1′,V2 は、′

$$V2' = \frac{2}{\sqrt{3}} V\beta$$

$$V1' = V\alpha - \frac{V2'}{2} = V\alpha - \frac{1}{\sqrt{3}} V\beta$$

となります。

モーター電源電圧を Vdc とすると、

$$V1' = t1 \times Vdc$$

$$V2' = t2 \times Vdc$$

よって、t1,t2,t3 の比率は、

$$t1 = k \times \frac{V\alpha - \frac{1}{\sqrt{3}} V\beta}{Vdc}$$

$$t2 = k \times \frac{\frac{2}{\sqrt{3}} V\beta}{Vdc}$$

$$t3 = 100\% - t1 - t2$$

となります。

k は、3 相から 2 相変換時に大きさを一定とするための変換係数で 3/2 です。

V0,V7 ベクトルの発生時間をそれぞれ t3/2 としたのが 3 相変調で、V0 ベクトル発生時間を t3,V7 ベクトル発生時間を 0 としたのが 2 相変調となります。
よって、3 相の Duty は下記で t1,t2,t3 から下記計算で求めることができます。

U 相 Duty = t1+t2+(t3/2)
V 相 Duty＝t2+(t3/2)
W 相 Duty＝t3/2

以下同様に出力電圧のセクターごとに、表 10.6 セクターごとの Duty ON 時間の演算式で OFF Duty D0, 1 相のみ ON の Duty D1, 2 相 ON の Duty D2 を演算します。

表 10.6 セクターごとの Duty ON 時間の演算式

セクター	1 相のみ ON の Duty D1	2 相 ON の Duty D2	OFF Duty D0
0	$k \times \frac{V\alpha - \frac{1}{\sqrt{3}}V\beta}{Vdc}$	$k \times \frac{\frac{2}{\sqrt{3}}V\beta}{Vdc}$	100% – D1 – D2
1	$k \times \frac{-V\alpha + \frac{1}{\sqrt{3}}V\beta}{Vdc}$	$k \times \frac{V\alpha + \frac{1}{\sqrt{3}}V\beta}{Vdc}$	
2	$k \times \frac{\frac{2}{\sqrt{3}}V\beta}{Vdc}$	$k \times \frac{-V\alpha - \frac{1}{\sqrt{3}}V\beta}{Vdc}$	
3	$-k \times \frac{\frac{2}{\sqrt{3}}V\beta}{Vdc}$	$k \times \frac{-V\alpha + \frac{1}{\sqrt{3}}V\beta}{Vdc}$	
4	$k \times \frac{-V\alpha - \frac{1}{\sqrt{3}}V\beta}{Vdc}$	$k \times \frac{V\alpha - \frac{1}{\sqrt{3}}V\beta}{Vdc}$	
5	$k \times \frac{V\alpha + \frac{1}{\sqrt{3}}V\beta}{Vdc}$	$-k \times \frac{\frac{2}{\sqrt{3}}V\beta}{Vdc}$	

k は、変換前後の振幅を一定にするための係数で 3/2。

D0,D1,D2 から U,V,W 相の Duty は、表 の演算式で算出します。

表 10.7 セクターと各相の Duty の関係

セクター	3 相変調			2 相変調		
	U 相 Duty	V 相 Duty	W 相 Duty	U 相 Duty	V 相 Duty	W 相 Duty
0	D1+D2+(D0/2)	D2+(D0/2)	D0/2	D1+D2	D2	0
1	D2+(D0/2)	D1+D2+(D0/2)	D0/2	D2	D1+D2	0
2	D0/2	D1+D2+(D0/2)	D2+(D0/2)	0	D1+D2	D2
3	D0/2	D2+(D0/2)	D1+D2+(D0/2)	0	D2	D1+D2
4	D2+(D0/2)	D0/2	D1+D2+(D0/2)	D2	0	D1+D2
5	D1+D2+(D0/2)	D0/2	D2+(D0/2)	D1+D2	0	D2

10.7.16 トリガータイミング演算（D_CalTrgTiming)

10.7.16.1 構文

void D_CalTrgTiming(vector_t* const _motor)

引数：

_motor　　モーター制御構造体

戻り値：

なし

10.7.16.2 変数

方向	名前	意味	Q フォーマット	備考
入力	drv.DutyU	U 相 PWM Duty 比	Q15	0.0 to 1.0
	drv.DutyV	V 相 PWM Duty 比	Q15	0.0 to 1.0
	drv.DutyW	W 相 PWM Duty 比	Q15	0.0 to 1.0
	drv.command.modul	変調方式	---	2 相または 3 相変調
	drv.TrgPosMd	電流検出位置モード	---	3 シャント 1 シャント(前半) 1 シャント(後半)
	para.TrgComp	トリガータイミング補正値	Q15	−1.0 to 1.0
出力	drv.AdTrg0	AD トリガータイミング 0(TRG0)	Q15	−1.0 to 1.0
	drv.AdTrg1	AD トリガータイミング 1(TRG1)	Q15	−1.0 to 1.0

10.7.16.3 処理内容

モーター電流および電源電圧 Vdc の AD 変換値の取得トリガータイミングを演算します。

３シャント、１シャントでトリガー位置が異なります。

● 3シャントの場合

基本トリガー位置は、-100%(キャリアーエンド)。トリガータイミング補正値にプラス値が入っていたら、基本トリガー位置から後ろ方向へ補正します。マイナスの値の場合は、補正しないで-100%の位置となります。

変調方式	トリガータイミング(TRG) 電流 UVW、電源電圧 Vdc
2 相変調	100%
3 相変調	100%

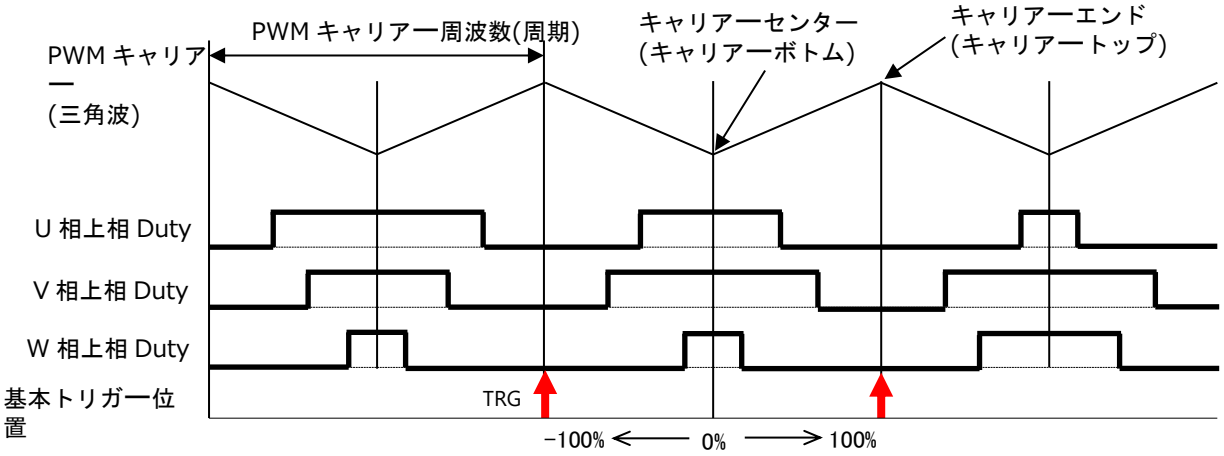


図 10.12 3 シャント時のトリガー位置

● 1 シャントの場合

基本トリガー位置は、U,V,W 相の PWM Duty の値から演算します。

トリガータイミング補正値に 0 以外が入っていたら、演算したトリガー位置から補正します。

電源電圧 Vdc のトリガー位置は、キャリアーエンドの位置に固定されます。(初期設定時に設定し、この関数では処理しない)

	変調方式	トリガータイミング 0 (TRG0) モーター電流	トリガータイミング 1 (TRG1) モーター電流	トリガータイミング 2 (TRG2) 電源電圧 Vdc
PWM 周期後半	3 相変調	Duty 中間値	Duty 最大値	キャリアーエンド固定
	2 相変調	Duty 中間値	Duty 最大値	キャリアーエンド固定
PWM 周期前半	3 相変調	ーDuty 中間値	ーDuty 最小値	キャリアーエンド固定
	2 相変調	ーDuty 中間値	Duty 中間値	キャリアーエンド固定

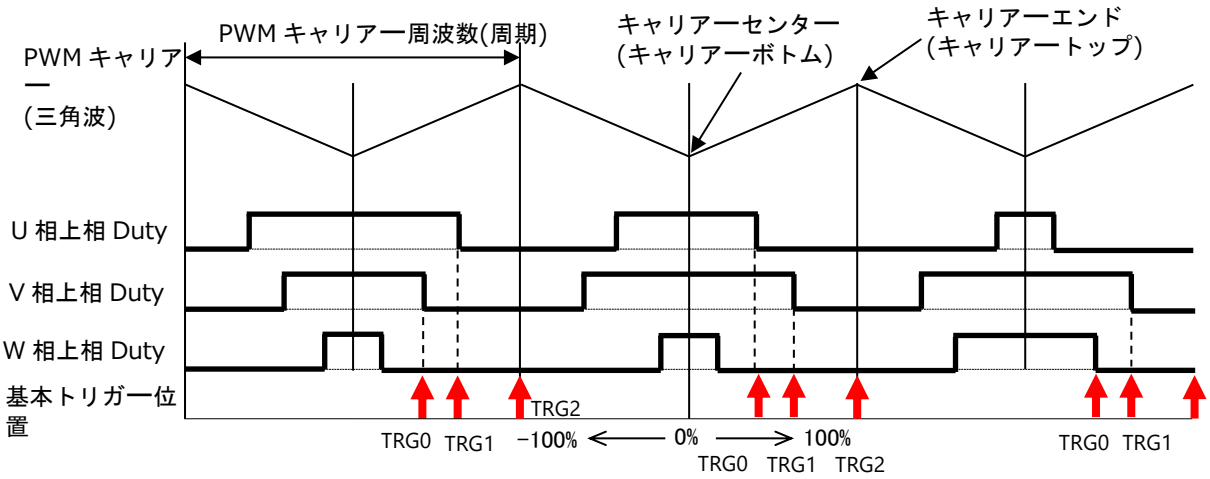


図 10.17 1 シャント、PWM 周期後半、3 相変調時のトリガー位置

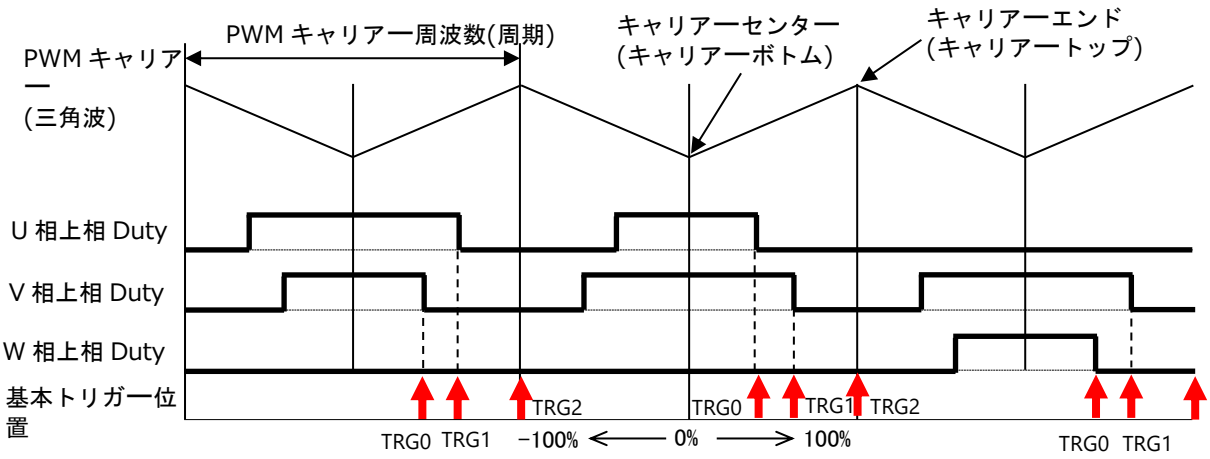


図 10.18 1 シャント、PWM 周期後半、2 相変調時のトリガー位置

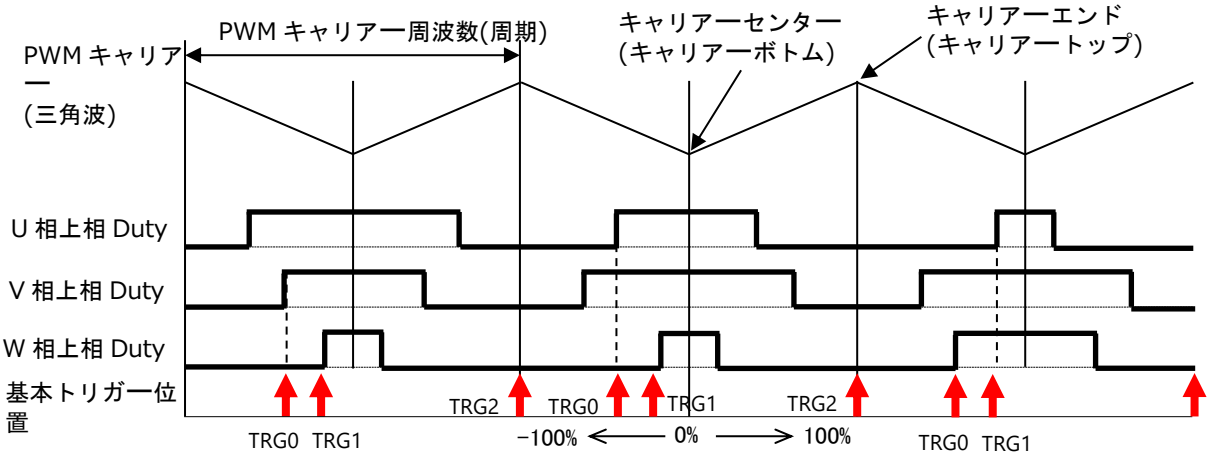


図 10.13 1 シャント、PWM 周期前半、3 相変調時のトリガー位置

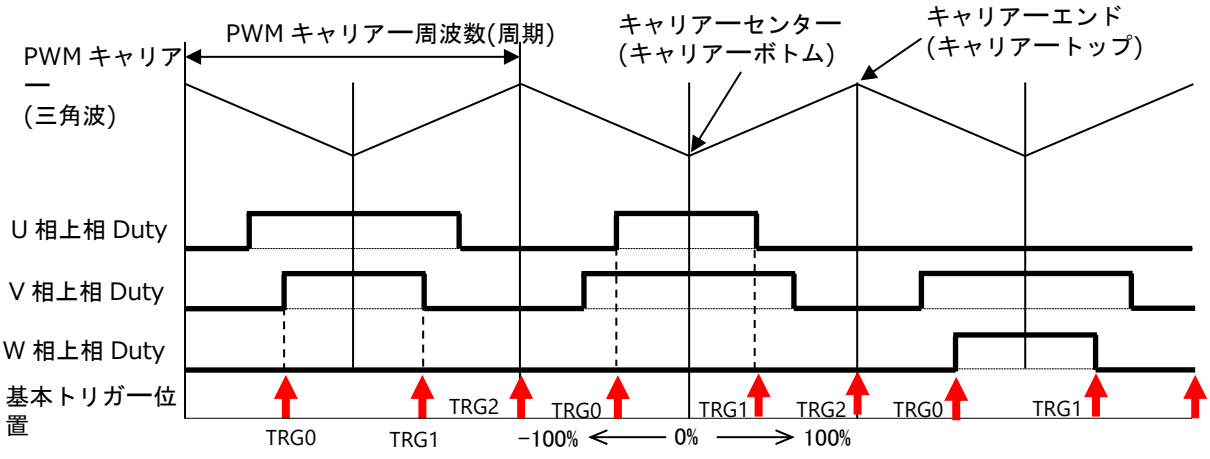


図 10.14 1 シャント、PWM 周期前半、2 相変調時のトリガー位置

10.7.17 PWM レジスター設定（PMD_RegDataSet)

10.7.17.1 構文

```
void PMD_RegDataSet(TSB_PMD_TypeDef* const PMDx,
                    uint16_t duty_u,
                    uint16_t duty_v,
                    uint16_t duty_w,
                    q15_t adtrg0,
                    q15_t adrtg1)
```

引数：

PMDx	PMD レジスターアドレス
duty_u,	U 相 PWM Duty 比
duty_v,	V 相 PWM Duty 比
duty_w,	W 相 PWM Duty 比
adtrg0,	AD トリガータイミング 0 位置
adrtg1	AD トリガータイミング 1 位置

戻り値：

なし

10.7.17.2 処理内容

3 相 PWM Duty とトリガータイミングの値をレジスターに設定します。

入力された引数を、下記演算を行い PMD レジスターに設定します。

TRGCMP0 = (adtrg0 + 32768) ÷2

TRGCMP1 = (adtrg1 + 32768) ÷2

CMPU = duty_u

CMPV = duty_v

CMPW = duty_w

10.7.18 電流誤検知検出関数 (D_Check_DetectCurrentError)

10.7.18.1 構文

void D_Check_DetectCurrentError (vector_t* const _motor)

引数：

_motor　　モーター制御構造体

戻り値：

なし

10.7.18.2 変数

方向	名前	意味	Q フォーマット	備考
入力	para.chkpls	パルスチェック幅	---	
	shunt_type	シャントタイプ	---	1:1 シャント 3:3 シャント
	drv.command.modul	変調方式駆動コマンド	---	2 相または 3 相変調
	drv.DutyU	U 相 PWM Duty 比	Q15	0.0 to 1.0
	drv.DutyV	V 相 PWM Duty 比	Q15	0.0 to 1.0
	drv.DutyW	W 相 PWM Duty 比	Q15	0.0 to 1.0
出力	drv.idetect_error	電流検出状態	---	0:検出可能 1:検出不能

10.7.18.3 処理内容

PWM Duty 幅により電流を検出できないタイミングであることを検出します。
3 シャント時は、Duty の中間値が設定値より大きくなることを検出します。
1 シャント時は、最小 Duty 幅、Duty 幅差の大きさが設定値より小さくなることを検出します。なお、1 シャントで 2 相変調のときの最小 Duty 幅は 3 相 Duty 幅の中間 Duty 幅となります。
この関数で電流が検出できない Duty 幅であることを確認し、電流検出処理で検出値を使用しないで、前回の値を使用することで、電流誤検知による制御乱れを無くします。

・3 シャントの場合

PWM 最大相の電流検出 AD 変換値は、演算には使用していないため、PWM 中間相の電流検出値が設定値より大きくなると検出 NG と判定します。

・1 シャントの場合

PWM Duty 自体の幅と、PWM Duty の差の幅が、設定値より小さくなると検出 NG と判定します。

10.7.19 インバーター出力電圧の算出関数（Cal_Vdq）

10.7.19.1 構文

q15_t Cal_Vdq (q15_t _vd, q15_t _vq)

引数：

_vd	d 軸電圧
_vq	q 軸電圧

戻り値：

インバーター出力電圧(Vdq)

10.7.19.2 変数

方向	名前	意味	Q フォーマット	備考
入力	_vd	d 軸電圧	Q15	0.0 ～ 1.0
	_vq	q 軸電圧	Q15	0.0 ～ 1.0
出力	---	インバーター出力電圧(Vdq)	Q15	0.0 ～ 1.0

10.7.19.3 処理内容

インバーター出力電圧(Vdq)を算出します。

$$Vdq = \sqrt{3} \times \sqrt{\_vd^2 + \_vq^2}$$

11. 定数定義説明

11.1 モータードライバー設定用パラメーター共通 (D_Para.h)

11.1.1 モーター制御チャネル選択

__CONTROL_MOTOR_CH1 CH1 を制御するとき定義してください。
__CONTROL_MOTOR_CH0 CH0 を制御するとき定義してください。

11.1.2 DAC 出力選択

__USE_DAC 評価用の変数値出力用の DAC 制御を行うとき定義してください。

11.1.3 疑似温度調整選択

__USE_FAKETEMP 疑似温度調整を行うとき定義してください。

11.1.4 指令速度単位選択

__TGTSPD_UNIT 指令速度の単位を選択できます
0: Hz of Electrical angle
1: RPS of Mechanical angle
2: RPM of Mechanical angle

11.1.5 共通パラメーター一覧

パラメーター名	説明
cMAINLOOP_PRD	メイン周期設定
	単位[s] 分解能 4kHz
	メイン周期の時間を設定してください。
cIXO_AVE	ゼロ電流値用フィルター係数
	--
	フィルター係数を設定してください。 大きな値を設定すると安定しますが、反応が遅れます。
cVDQ_AVE	電源電圧 Vdc,出力電圧 Vdq 用フィルター係数
	--
	フィルター係数を設定してください。 大きな値を設定すると安定しますが、反応が遅れます。
cOMEGAENC_AVE	エンコーダーパルス数からの速度検出値用フィルター係数
	--
	速度検出値のフィルター係数を設定してください。 エンコーダーパルス数が小さい場合は、値を大き目にしてください。 ただし、値を大きくすると検出値から遅れが発生しますので、遅れが問題ない値に設定してください。

11.2 モータードライバー設定用パラメーターモーターチャネル別 (D_Para_Chx.h) x=0,1

モータードライバー部のパラメーターを変更することにより、さまざまなモーターを駆動することが可能です。

11.2.1 制御選択

11.2.1.1 AMP 選択

__USE_INAMP 内蔵 AMP を使用する場合、定義してください。

11.2.1.2 センサーレス／センサー選択

__USE_ENCODER エンコーダー制御を行う場合、定義してください。
定義しない場合は、センサーレス駆動となります。

11.2.2 モーターチャネル別パラメーター一覧

パラメーター名	説明
cPOLH	上相ドライバー論理設定
	0: Low active/ 1: High active
	基板設計に応じて値を変更してください。 上相ドライバーの論理の設定を行ってください。
cPOLL	下相ドライバー論理設定
	0: Low active/ 1: High active
	基板設計に応じて値を変更してください。 下相ドライバーの論理の設定を行ってください。
cV_MAX	最大電圧値の設定
	単位[V]
	基板設計に応じて値を変更してください。 (AD 変換が 1LSB 変化する電源電圧の変化量)[V]×2^12 の値を設定してください。
cA_MAX	最大電流値の設定
	単位[A]
	基板設計に応じて値を変更してください。f (AD 変換が 1LSB 変化する相電流の変化量)[A]×2^11 の値を設定してください。
cSHUNT_TYPE	電流取得方式（3 シャントまたは 1 シャント）の設定
	1: 1 シャント/ 3: 3 シャント
	基板設計に応じて値を変更してください。 電流取得方式の設定を行ってください。
cBOOT_TYPE	起動時の駆動方式の設定
	cBoot_i:電流型駆動/ cBoot_v:電圧型駆動
	起動時の駆動方式を設定してください。1 シャント駆動の起動時など電流が取得できない場合などに、電圧型駆動を選択します。
cSHUNT_ZERO_OFFSET	オフセット電圧の設定
	単位[V]
	電流が流れていないときのシャント電圧を設定してください。 この値は、ゼロ電流平均値の初期値に使用します。

cADCH_CURRENT_U	U 相電流取得 AD チャネル設定(3 シャント用)
	AINx
	U 相電流を検出する AD チャネルを設定してください。
cADCH_CURRENT_V	V 相電流取得 AD チャンル設定(3 シャント用)
	AINx
	V 相電流を検出する AD チャネルを設定してください。
cADCH_CURRENT_W	W 相電流取得 AD チャネル設定(3 シャント用)
	AINx
	W 相電流を検出する AD チャネルを設定してください。
cADCH_CURRENT_IDC	電流取得 AD チャネル設定(1 シャント用)
	AINx
	電流を検出する AD チャネルを設定してください。
cADCH_VDC	電源電圧取得 AD チャネル設定
	AINx
	電源電圧 Vdc を検出する AD チャネルを設定してください。
cOVC	過電流検出値の設定
	単位[A]
	過電流検出値を設定してください。 この設定値以上のコイル電流を検出すると、出力をソフトウェアで OFF にします。
cVDC_MINLIM	電源電圧 Vdc 最小値の設定
	単位[V]
	電源電圧 Vdc の最小値を設定してください。 この値未満の電圧値を検出すると、モーターを停止させます。
cVDC_MAXLIM	電源電圧 Vdc 最大値の設定
	単位[V]
	電源電圧 Vdc の最大値を設定してください。 この値より大きな値の電圧値を検出すると、モーターを停止させます。
cPWMPRD	PWM 周期の設定
	単位[us] 分解能 16.67ns@120MHz
	PWM キャリアー周期を設定してください。
cDEADTIME	デッドタイム値の設定
	単位[us] 分解能 66.67ns@120MHz
	デッドタイムの値を設定してください。
cREPTIME	ソフトウェア制御間引き回数の設定
	単位[回] 1 to 15
	ベクトル演算ソフトウェア処理を行うタイミングを間引きすることができます。 1 と設定すると、PWM1 周期ごとにベクトル演算のソフト処理を行います。 2 と設定すると、PWM2 周期に 1 回ベクトル演算のソフト処理を行います。
cSPEED_ACT	指令速度の設定
	単位[Hz] or [RPS] or [RPM]　単位は__TGTSPD_UNIT の設定による
	モーター指令速度を設定してください。 SWx を ON にしたときに、この設定値でモーターが駆動します。
cID_ST_USER_ACT	d 軸始動電流の設定
	単位[A]
	d 軸始動電流の値を設定してください。 この値の電流値で、位置決めおよび強制転流を行います。 定格転流の 10%程度の値を設定してください。

	モーターが動かない場合は、動くまで徐々に値を大きくしてください。
cIQ_ST_USER_ACT	q 軸始動電流の設定
	単位[A]
	q 軸始動電流の値を設定してください。 d 軸始動電流の 1/2 程度の値を設定してください。 強制転流(d 軸制御)から定常(q 軸制御)移行時に、モーターが急加速する場合は、値を小さく、停止してしまう場合は、値を大きくしてください。
cMOTOR_R	モーターコイル抵抗値
	単位[Ohm]
	モーターコイル 1 相分の抵抗値を設定してください。
cMOTOR_LQ	q 軸インダクタンス値
	単位[mH]
	モーターコイルの q 軸インダクタンス値を設定してください。
cMOTOR_LD	d 軸インダクタンス値(未使用)
	単位[mH]
	モーターコイルの d 軸インダクタンス値を設定してください。
cPOLE	モーター極数の設定
	単位[pole]
	モーターの極数を設定してください。
cID_KP	d 軸電流制御比例ゲイン
	単位[V/A]
	d 軸電流制御比例ゲインを設定してください。
cID_KI	d 軸電流制御積分ゲイン
	単位[V/As]
	d 軸電流制御積分ゲインを設定してください。
cIQ_KP	q 軸電流制御比例ゲイン
	単位[V/A]
	q 軸電流制御比例ゲインを設定してください。
cIQ_KI	q 軸電流制御積分ゲイン
	単位[V/As]
	q 軸電流制御積分ゲインを設定してください。
cPOSITION_KP	位置推定比例ゲイン
	単位[Hz/V]
	位置推定の比例ゲインを設定してください。
cPOSITION_KI	位置推定積分ゲイン
	単位[Hz/Vs]
	位置推定の積分ゲインを設定してください。
cSPEED_KP	速度制御比例ゲイン
	単位[A/Hz]
	速度制御の比例ゲインを設定してください。
cSPEED_KI	速度制御積分ゲイン
	単位[A/Hzs]
	速度制御の積分ゲインを設定してください。
cSPD_PI_PRD	速度 PI 制御周期設定
	[回]

	速度 PI 制御周期を設定してください。 1 と設定すると、PWM1 周期ごとに速度 PI 演算を行います。 2 と設定すると、PWM2 周期に 1 回速度 PI 演算を行います。
cFCD_UD_LIM	駆動速度加速率(強制転流時)
	単位[Hz/s]
	強制転流時の速度加速率を設定してください。 強制転流の出力に、モーターの回転が追従してこない場合は、値を小さくしてください。
cSTD_UP_LIM	駆動速度加速率(定常時)
	単位[Hz/s]
	定常時の速度加速率を設定してください。
cSTD_DW_LIM	駆動速度減速率(定常時)
	単位[Hz/s]
	定常時の速度減速率を設定してください。
cBOOT_LEN	ブートストラップ波形出力時間
	単位[s] 分解能:1ms
	ブートストラップ波形の出力時間を設定してください。
cINIT_LEN	位置決め時間
	単位[s] 分解能:1ms
	位置決め時間を設定してください。
cINIT_WAIT_LEN	位置決め後待ち時間
	単位[s] 分解能:1ms
	位置決め後の待ち時間を設定してください。
cGOUP_DELAY_LEN	強制定常切り替え後待ち時間
	単位[s] 分解能:1ms
	強制定常切り替え後待ち時間を設定してください。
cHZ_MAX	最大周波数
	単位[Hz]
	マイコンで検出させる最大周波数を設定してください。 制御で使用する最大周波数の 10 から 20%増し程度の値を設定してください。 値が小さいほど演算精度が上がりますが、検出値がこの値を超えると制御が破たんします。
cHZ_MIN	強制転流から定常への切り替え速度
	単位[Hz]
	強制転流から定常へ移行させる速度を設定してください。 位置推定ができる(誘起電圧が検出できる)速度を設定します。
cMINPLS	最小パルス設定（1 シャント用）
	単位[us]
	1 シャント駆動時、電流が取得できなくなるときの、PWM パルス幅時間を設定してください。 PWM パルス幅が、この設定値未満の値になると、検出した電流値は使用せず、前回値を使用して制御を行います。
cMAXPLS	最大パルス設定（3 シャント用）
	単位[us]
	3 シャント駆動時、電流が取得できなくなるときの、中間相の PWM パルス幅時間を設定してください。 PWM パルス幅が、この設定値以上の値になると、検出した電流値は使用せ

	ず、前回値を使用して制御を行います。
cID_LIM	d 軸電流リミット値
	単位[A]
	d 軸電流のリミット値を設定してください。
cIQ_LIM	q 軸電流リミット値
	単位[A]
	q 軸電流のリミット値を設定してください。
cINITIAL_POSITION	初期位置
	単位[deg]
	位置決め時の角度を電気角で設定してください。
cVD_POS	電圧駆動時の位置決め出力電圧
	単位[V]
	位置決め時の電圧を設定してください。 cBOOT_TYPE が"cBoot_v"のときだけ有効 詳細は 11.2.3.2 を参照してください。
cSPD_COEF	電圧駆動時の強制転流出力電圧係数
	0 < x <1 の値を設定してください。
	強制転流時の出力電圧を決めます。 この設定値と指令速度を掛けた値を出力電圧としています。 Vd = cSPD_COEF × Omega_com cBOOT_TYPE が"cBoot_v"のときだけ有効 詳細は 11.2.3.2 を参照してください。
cHZ_V2I	電圧制御から電流制御への切り替え速度
	単位[Hz]
	電圧制御から電流制御へ切り替える速度を設定してください。 モーターの推定速度が cHZ_MIN よりも速くなると強制転流状態から定常状態へ移行し、電圧制御から電流制御に切り替わります。 cBOOT_TYPE が"cBoot_v"のときだけ有効
cENC_PULSE_NUM	エンコーダーパルス数設定
	単位[ppr]
	エンコーダーのパルス数を設定してください。 エンコーダーパルス数が小さい場合、速度検出精度が悪くなります。 検出速度が安定しない場合は、フィルター係数 cOMEGAENC_AVE の値を大きくしてください。
cENC_DEG_ADJUST	エンコーダー位置調整
	単位[deg]
	電気角の 0° と Z 相の位置ずれ角度を設定してください。
cENC_NOISE_TIME	エンコーダー入力信号ノイズキャンセル時間設定（A-ENC だけ有効）
	単位[us] 分解能 fc (8.33ns@120MHz)
	エンコーダー入力信号のノイズキャンセル時間を設定してください。 この設定時間より短い信号は、キャンセルします。 この設定は A-ENC 搭載マイコンのときだけ有効となります。
__FIXED_VDC	電源電圧固定設定
	0:検出値 1:固定値
	電源電圧を固定値にする場合は 1 を設定してください。
cVDC	電源電圧固定値
	単位[V]

	電源電圧の値を設定してください。 __FIXED_VDC が"1"のときだけ有効
	単位[ns]
	0～(cPWMPRD/2)の範囲で設定してください。

11.2.3 定数設定値と波形の関係

11.2.3.1 電流型起動時の定数値

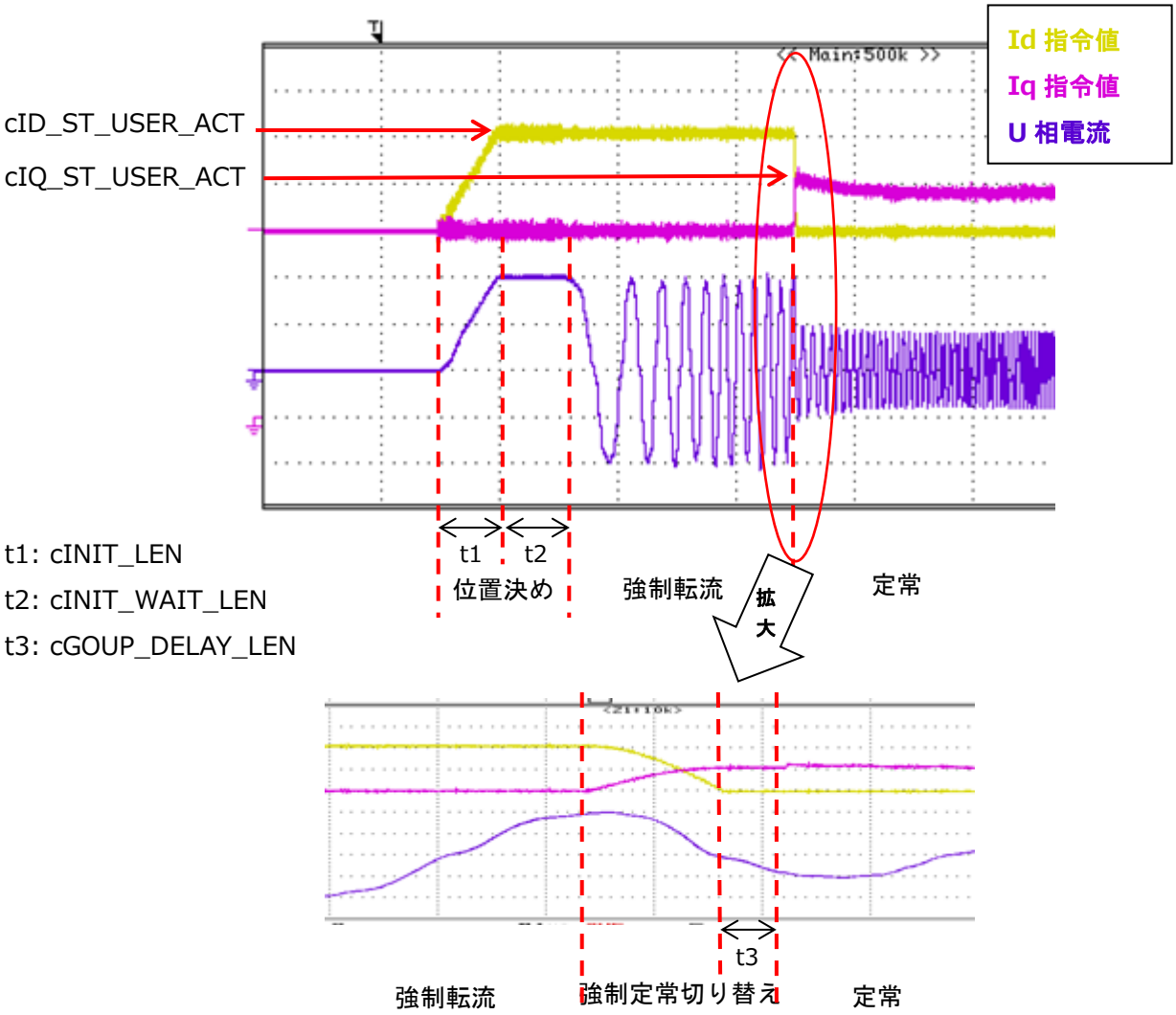


図 11.1 起動電流波形（電気角 0°に位置決め）

強制定常切り替えステージで、cID_ST_USER_ACT と cIQ_ST_USER_ACT の値を更新する。
更新後、cGOUP_DELAY_LEN の時間だけ Iq 指令値一定値一定で制御します。
定常状態に移行した後、Iq 指令値は PI 制御により演算されます。

11.2.3.2 電圧型起動時の定数値

オシロスコープなどで電流波形を確認しながら、定数の値を決めてください。

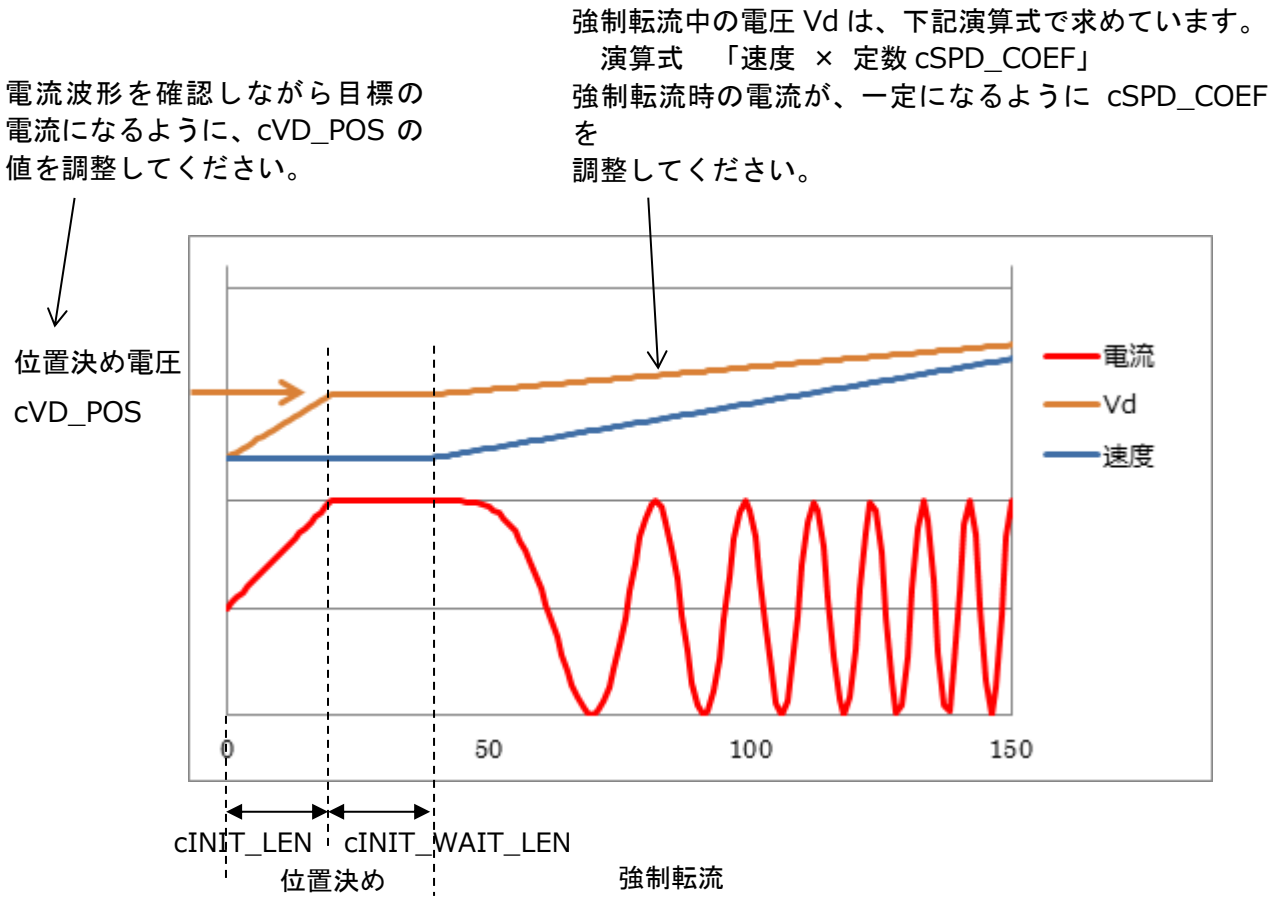


図 15 電圧駆動時のパラメーター調整方法

11.3 ユーザー制御関連定数

```
/*Initial value*/
#define cINIT_VALUE    (0)
#define cINIT_FF       (0xff)

/* Timer Setting */
#define c3000MS_TIMER                (3000)          /* [ms] (4kHz * 4) * 3000 */

/* Key settting */
#define S_SW1          (*((__IO uint32_t *)BITBAND_PERI(&TSB_PL->DATA,0)))  /* SW1 */
#define S_SW2          (*((__IO uint32_t *)BITBAND_PERI(&TSB_PL->DATA,1)))  /* SW2 */
#define S_SW3          (*((__IO uint32_t *)BITBAND_PERI(&TSB_PL->DATA,2)))  /* SW3 */
#define S_SW4          (*((__IO uint32_t *)BITBAND_PERI(&TSB_PL->DATA,3)))  /* SW4 */
#define USW1           (*((__IO uint32_t *)BITBAND_PERI(&TSB_PE->DATA,2)))  /* USW1 */
#define USW2           (*((__IO uint32_t *)BITBAND_PERI(&TSB_PE->DATA,3)))  /* USW2 */
#define cKEY_CHATA_CNT       (20)              /* [cnt] chattering counter for KEY SW */
```

```
#define cKEY_NO_INPUT          (0x00)          /* USW1～2 no input */
#define cKEY_MASK_USW          (0x03)          /* USW1～2 mask */
#define cKEY_INPUT_USW1        (0x01)          /* USW1 input */
#define cKEY_INPUT_USW2        (0x02)          /* USW2 input */

/* Soft ADC Setting */
#define cADUNIT_USR            TSB_ADB                 /* User ad data ADCUnit */
#define cADTRG_USR             ADC_TRG_SINGLE          /* AD Trigger Type */

#define cADCH_VR               ADC_AIN1                /* ADC Channel for VR */
#define cADREG_VR              ADC_REG4                /* Result register Number for VR */
#define cADCH_TEMP0            ADC_AIN5        /* ADC Channel for TEMP0 */
#define cADREG_TEMP0           ADC_REG5        /* Result register Number for TEMP0 */

#define cADAVECNT              (10)    /* ADC average count */
#define cONE_ABOVE             (1)

/* Speed Control Setting */
#define cSPEED_USER_STOP       (0)
#define cSPEED_USER_MIN_CH0    cHZ_MIN_CH0 /* [Hz] Min Target speed of motor ch0 */
#define cSPEED_USER_MIN_CH1    cHZ_MIN_CH1 /* [Hz] Min Target speed of motor ch1 */
#define cSPEED_USER_MAX        (100)           /* [Hz] Max Target speed of motor ch0,1*/

/* DACMODE setting */
#define cDACMODE_MIN           (0)             /* DACMODE count0 */
#define cDACMODE_MAX           (3)             /* DACMODE count3 */

/* LED setting */
#define LED_EMG_CH0  (*((__IO uint32_t *)BITBAND_PERI(&TSB_PG->DATA,3)))   /* LED4 */
#define LED_EMG_CH1  (*((__IO uint32_t *)BITBAND_PERI(&TSB_PJ->DATA,0)))   /* LED1 */
#define EMG_CH0_CH1  (*((__IO uint32_t *)BITBAND_PERI(&TSB_PF->DATA,1)))   /* PORT:PF1 */
#define cLED_ON                (1)                     /* LED ON level */
#define cLED_OFF               (0)                     /* LED OFF level */

/* State control Setting */
#define cMOTOR_CH0                     (0x00)          /* Control channel : CH0 */
#define cMOTOR_CH1                     (0x01)          /* Control channel : CH1 */
#define cDISP_CH0                      (0x00)          /* Display channel 0 */
#define cDISP_CH1                      (0x01)          /* Display channel 1 */
```

```
/* UART Setting */
#define UART_BRD_INIT       ((uint32_t)0x00B90041)
#define UART_CLK_INIT       ((uint32_t)0x00000000)
#define UART_CR0_INIT       ((uint32_t)0x00000001)
#define UART_CR1_INIT       ((uint32_t)0x00000040)
#define UART_SEND_WAIT      (1000)
#define UART_COUNT          (0)
#define c10MHz              (1000000)
#define cLOW_ACTIVE         (0)
#define cSWRST10            (0x2U)
#define cSWRST01            (0x1U)
#define cSWRSTF             (0x80)
#define cSendBufSIZE        (80+1)

#define cDISP_INI_STATUS            (0x00)  /* Initial status display */
#define cDISP_CONTROL_CH            (0x01)  /* Control channel display */
#define cDISP_CARRIER_FREQUENCY     (0x02)  /* Carrier frequency display */
#define cDISP_DEAD_TIME             (0x03)  /* Dead time display */
#define cDISP_GATE_ACTIVE           (0x04)  /* Gate active display */
#define cDISP_POSITION_DETECT       (0x05)  /* position detect display */
#define cDISP_VDC_VOLTAGE           (0x06)  /* VDC voltage display */
#define cDISP_INVERTER_TEMP         (0x07)  /* Inverter Temp */
#define cDISP_UVW_VOLTAGE           (0x08)  /* U-phase/V-phase/W-phase voltage
display */
#define cDISP_DAC_DATA              (0x09)  /* Dac data display */
#define cDISP_INTERNAL_AMP          (0x0A)  /* Internal amp display */
#define cDISP_DIRECTION             (0x0B)  /* Direction display */
#define cDISP_MODULATION            (0x0C)  /* Modulation display */
#define cDISP_ROTATE_INSTRUCTION    (0x0D)  /* Rotate instruction display */

#define cPOSITION_DETECT_3SHUNT         (3)     /* Position Ditect : 3shunt */
#define cPOSITION_DETECT_1SHUNT         (1)     /* Position Ditect : 1shunt */

/* User_interface Setting */
#define cFLG_ON             (1)
#define cFLG_OFF            (0)
#define cSW_Hi              (1)
#define cSW_Low             (0)
#define cINV_MIN_TEMP       (-200)
#define cINV_MAX_TEMP       (1000)
```

```
#define cSPD_UPDOWN_RESOLUTION  (10)
```

12. 制御、データ更新のタイミング

12.1 ソフトウェアによるベクトル制御

12.1.1 3 シャント制御

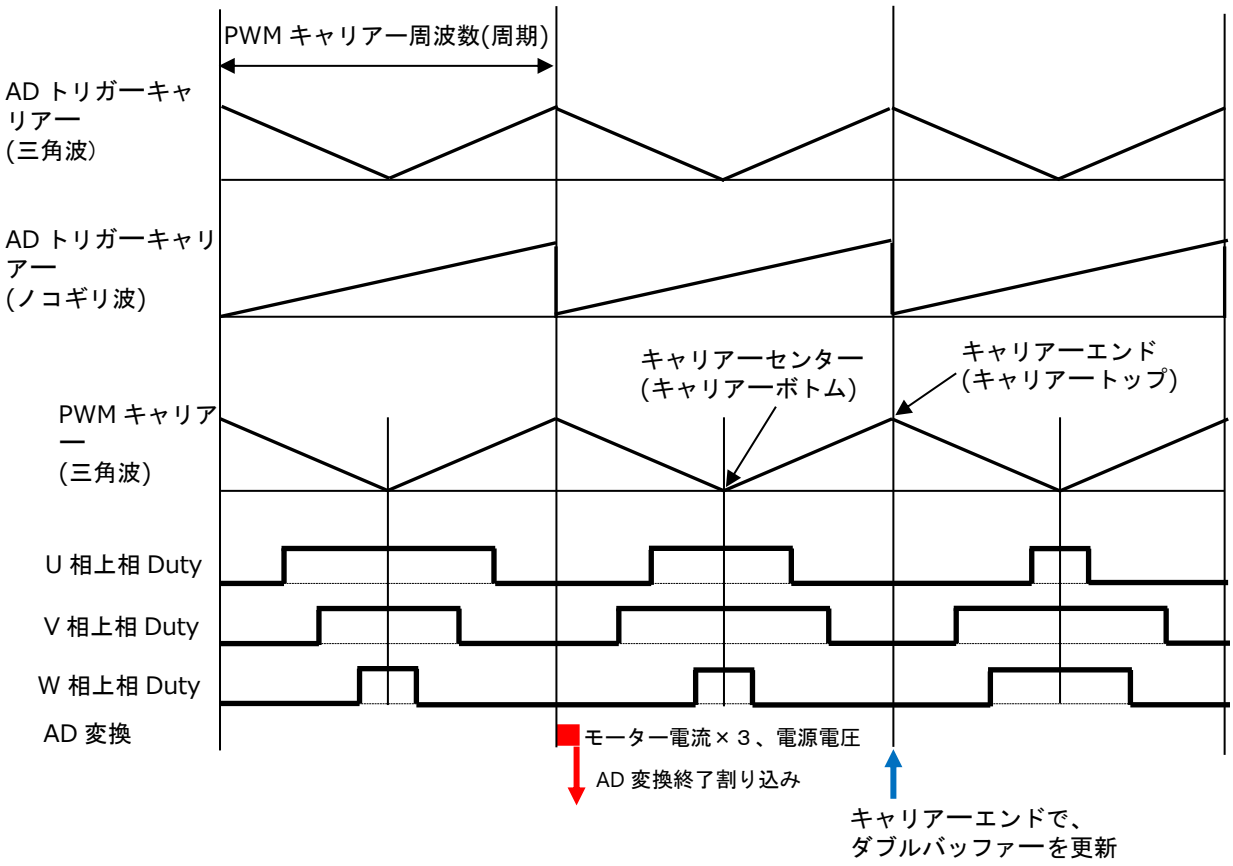


図 12.1 3 シャント制御

12.1.1.1 キャリアー波形

種類	波形
PWM	3 相とも三角波
AD トリガー	のこぎり波

12.1.1.2 ダブルバッファー更新タイミング

データ	更新タイミング
PWM 周期（RATE)	キャリアーエンド
Duty 値（CMPU,CMPV,CMPW)	キャリアーエンド
トリガー位置（TRGCMPx)	キャリアーエンド
出力設定（MDOUT)	キャリアーエンド

12.1.1.3 割り込み関連

割り込み要求	割り込み	タイミング
PWM(PMD)	禁止	1 回、2 回、4 回ごと
AD 変換終了	許可	モーター電流×３、電源電圧の全ての AD 変換終了後
AD トリガー	—	PWM と同じ頻度

12.1.2 1 シャント制御

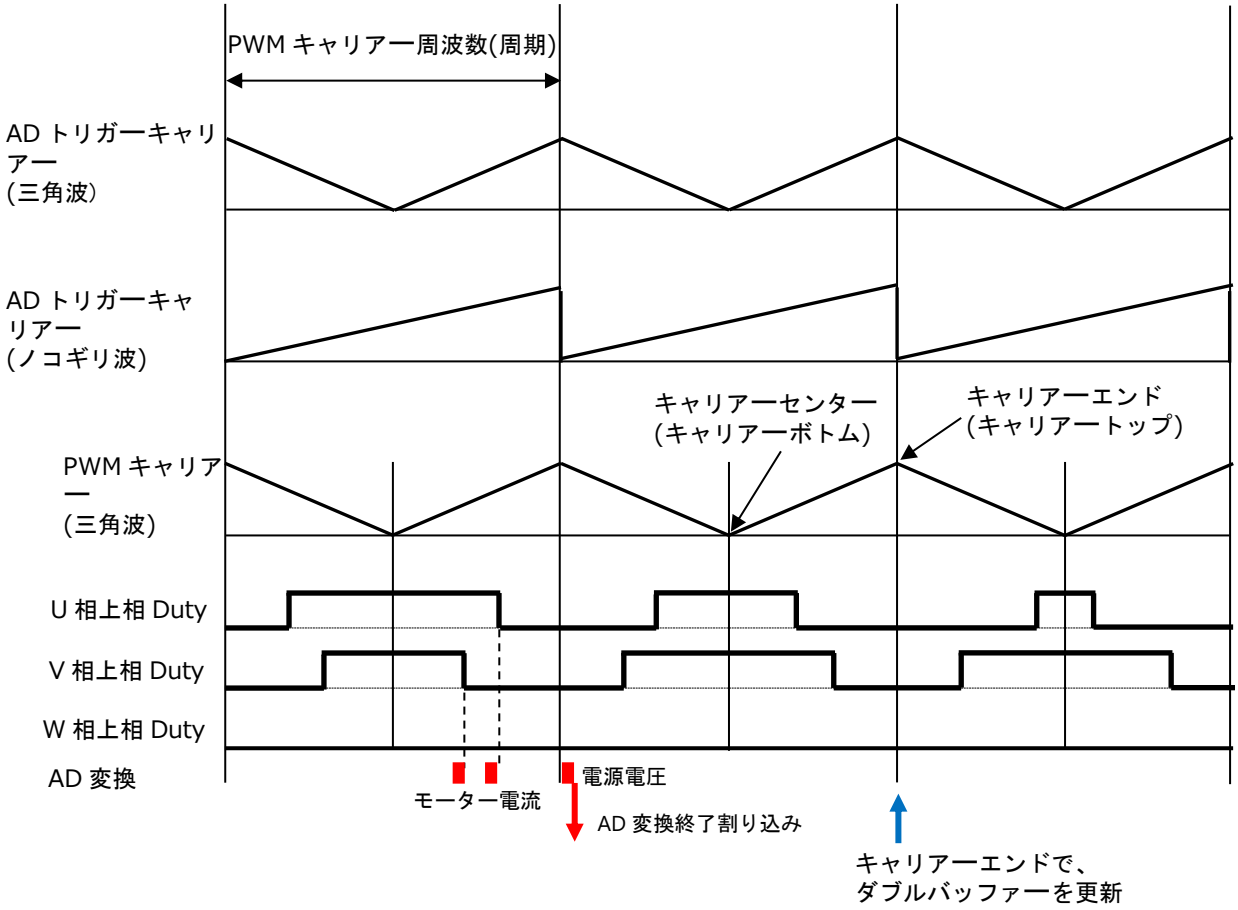


図 12.2 1 シャント制御

12.1.2.1 キャリアー波形

種類	波形
PWM	３相とも三角波
AD トリガー	のこぎり波

12.1.2.2 ダブルバッファー更新タイミング

データ	更新タイミング
PWM 周期（RATE)	キャリアーエンド
Duty 値（CMPU,CMPV,CMPW)	キャリアーエンド
トリガー位置（TRGCMPx)	キャリアーエンド
出力設定（MDOUT)	キャリアーエンド

12.1.2.3 割り込み関連

割り込み要求	割り込み	タイミング
PWM(PMD)	禁止	1 回、2 回、4 回ごと
AD 変換終了	許可	電源電圧の AD 変換終了後
AD トリガー	—	PWM と同じ頻度

13. ペリフェラルドライバー

13.1 マイコン周辺回路アドレス

ペリフェラルドライバーAPI に渡すマイコン周辺回路レジスターのベースアドレスを定義します。

13.1.1 データ構造

13.1.1.1 ipdrv_t

Data Fields:

TSB_PMD_TypeDef* const	**PMDx:** PMD アドレスを選択します。
TSB_AD_TypeDef* const	**ADx:** ADC アドレスを選択します。

13.2 モーター制御回路(PMD)

13.2.1 関数仕様

13.2.1.1 IP_PMD_init

PMD 初期設定

API:

void IP_PMD_init(TSB_PMD_TypeDef* const PMDx, PMD_InitTypeDef* const _initdata)

引数:

PMDx:PMD アドレスを選択します。

_initdata: PMD 初期設定データ構造体

詳細は 13.2.2.1PMD_InitTypeDef を参照してください。

機能:

PMD の初期設定を行います

補足:

PMD 停止、割り込み禁止で呼んでください。

戻り値:

なし

13.2.1.2 PMD_GetEMG_Status

EMG 保護状態取得

API:

emg_status_e PMD_GetEMG_Status(const ipdrv_t* const _ipdrv)

引数:

_ipdrv: マイコン周辺回路アドレスが定義された構造体を指定します。
詳細は 13.1.1.1 を参照してください。

機能:

EMG 保護状態を取得します。

補足:

特になし

戻り値:

emg_status_e: EMG 保護状態

cNormal: 正常

cEMGProtected: 保護中

13.2.1.3 PMD_ReleaseEMG_Protection

EMG 保護状態解除

API:

void PMD_ReleaseEMG_Protection(const ipdrv_t* const _ipdrv)

引数:

_ipdrv: マイコン周辺回路アドレスが定義された構造体を指定します。
詳細は 13.1.1.1 を参照してください。

機能:

EMG 保護状態を解除します。

補足:

この関数を呼んでも、MDOUT が 0 かつ EMG ポートが H の状態でないと、保護状態は解除されません。

戻り値:

なし

13.2.2 データ構造

13.2.2.1 PMD_InitTypeDef

Data Fields:

uint8_t **shunt:** シャントタイプ
- **1:** 1 シャント
- **3:** 3 シャント

uint8_t **poll:** L 側極性
- **0:** L active
- **1:** H active

uint8_t **polh:** H 側極性
- **0:** L active
- **1:** H active

uint16_t **pwmrate:** PWM 周波数
- PMDxRATE に設定する値

uint16_t **pwmfreq:** PWM 周波数
- PMDxMDPRD に設定する値

uint16_t **deadtime:** デッドタイム時間
- PMDxDTR に設定する値

uint8_t **busmode:** モード選択
- PMDxMODESEL に設定する値

13.3 アナログデジタルコンバーター(ADC)

13.3.1 関数仕様

13.3.1.1 IP_ADC_init

ADC 初期設定

API:

void IP_ADC_init(TSB_AD_TypeDef* const ADx, AD_InitTypeDef* const _initdata)

引数:

ADx:ADC アドレスを選択します。

_initdata: ADC 初期設定データ構造体

詳細は 13.3.2.1AD_InitTypeDef を参照してください。

機能:

ADC の初期設定を行います

補足:

ADC 停止、割り込み禁止で呼んでください。

戻り値:

なし

13.3.2 データ構造

13.3.2.1 AD_InitTypeDef

Data Fields:

uint8_t **shunt:** シャントタイプ
- **1:** 1 シャント
- **3:** 3 シャント

uint8_t **iuch:** U 相電流取り込み AD チャネル番号(3 シャント用)

uint8_t **ivch:** V 相電流取り込み AD チャネル番号(3 シャント用)

uint8_t **iwch:** W 相電流取り込み AD チャネル番号(3 シャント用)

uint8_t **idcch:** DC 電流取り込み AD チャネル番号(1 シャント用)

uint8_t **vdcch:** モーターの電源電圧 Vdc 取り込み AD チャネル番号

uint8_t **pmd_ch:** 使用する PMD チャネル選択
- **cPMD0:** PMD チャネル 0
- **cPMD1:** PMD チャネル 1

uint8_t **pints:** PMD トリガー用割り込み選択
- **cPINTS_A:** INTADxPDA
- **cPINTS_B:** INTADxPDB
- **cPINTS_C:** INTADxPDC
- **cPINTS_D:** INTADxPDD

uint32_t** **p_adreg0**: AD 変換結果格納レジスターアドレス 0
uint32_t** **p_adreg1**: AD 変換結果格納レジスターアドレス 1
uint32_t** **p_adreg2**: AD 変換結果格納レジスターアドレス 2
uint32_t** **p_adreg3**: AD 変換結果格納レジスターアドレス 3

14. 付録

14.1 固定小数点処理

本サンプルソフトは、小数演算は固定小数点で行っていますので、固定小数点演算について概要的に説明します。

14.2 正規化（Normalize）

正規化とはデータを一定のルールに従って変形しデータを利用しやすくすることです。
本アプリケーションノートでは最上位を符号ビット（0 は正、1 は負）とし、次のビットとの間に小数点を置き、またそのデータがなりうる最大の値（0x7fff）を 1、最小の値（0x8000）を -1 となるように正規化を行っています。

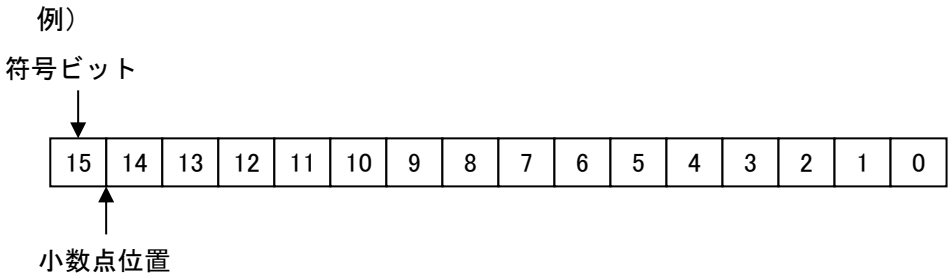


図 14.1 16 ビットデータの例

本アプリケーションでは電流データの最大の値を cA_Max と定義しており、例えば、16 ビット電流データが 0x7fff の場合は A_Max(A)、0x8000 の場合は-A_Max(A)となります。

14.3 データフォーマット

本アプリケーションのモーター制御部では固定小数点演算を行っています。固定小数点演算では小数部分のビット数を Q 表記（Q フォーマット）で表します。基本的には 16 ビットデータの場合は Q15 フォーマット（小数部分 15 ビット）、32 ビットデータでは Q31 フォーマット（小数部分 31 ビット）で演算を行っています。小数フォーマットで表すことのできる値はフォーマットにより異なります。

表 12.1 単精度（16 ビット）小数フォーマット

Q フォーマット	小数ビット数	正の最大値(0x7FFF)	負の最大値（0x8000）
Q15	15	0.999969482421875	-1
Q14	14	1.999938964843750	-2
Q13	13	3.999877929687500	-4
Q12	12	7.999755859375000	-8
Q11	11	15.999511718750000	-16
Q10	10	31.999023437500000	-32
Q9	9	63.998046875000000	-64
Q8	8	127.996093750000000	-128
Q7	7	255.992187500000000	-256
Q6	6	511.984375000000000	-512
Q5	5	1023.968750000000000	-1024
Q4	4	2047.937500000000000	-2048
Q3	3	4095.875000000000000	-4096
Q2	2	8191.750000000000000	-8192
Q1	1	16383.500000000000000	-16384
Q0	0	32767.000000000000000	-32768

表 14.2 倍精度（32 ビット）小数フォーマット

Q フォーマット	小数ビット数	正の最大値(0x7FFFFFFF)	負の最大値（0x80000000）
Q31	31	0.999999999534338	-1
Q30	30	1.999999999068670	-2
Q29	29	3.999999998137350	-4
Q28	28	7.999999996274700	-8
Q27	27	15.999999992549400	-16
Q26	26	31.999999985098800	-32
Q25	25	63.999999970197600	-64
Q24	24	127.999999940395000	-128
Q23	23	255.999999880790000	-256
Q22	22	511.999999761581000	-512
Q21	21	1023.999999523160000	-1024
Q20	20	2047.999999046320000	-2048
Q19	19	4095.999998092650000	-4096
Q18	18	8191.999996185300000	-8192
Q17	17	16383.999992370600000	-16384
Q16	16	32767.999984741200000	-32768
Q15	15	65535.999969482400000	-65536
Q14	14	131071.999938965000000	-131072
Q13	13	262143.999877930000000	-262144
Q12	12	524287.999755859000000	-524288
Q11	11	1048575.999511720000000	-1048576
Q10	10	2097151.999023440000000	-2097152
Q9	9	4194303.998046870000000	-4194304
Q8	8	8388607.996093750000000	-8388608
Q7	7	16777215.992187500000000	-16777216
Q6	6	33554431.984375000000000	-33554432
Q5	5	67108863.968750000000000	-67108864
Q4	4	134217727.937500000000000	-134217728
Q3	3	268435455.875000000000000	-268435456
Q2	2	536870911.750000000000000	-536870912
Q1	1	1073741823.500000000000000	-1073741824
Q0	0	2147483647.000000000000000	-2147483648

14.4 固定小数点での演算

固定小数点演算の四則演算では、加算、減算はそのまま整数同士のように演算できますが、乗算、除算では演算結果の小数点位置が変化するため、正しい小数点位置にする処理が必要になります。

(1)乗算

小数フォーマット同士の乗算の場合、例えば Q15 フォーマットデータを乗算する場合、結果は倍精度 Q30 フォーマットになります。Q31 フォーマットデータが必要なときは、演算結果を 1 ビット左シフトすることで倍精度 Q31 フォーマットになります。

$Q15 * Q15 = 2^{-15} * 2^{-15} = 2^{(-15 + -15)} = 2^{-30} = Q30$

(2)除算

小数フォーマット同士の除算の場合、例えば Q31 フォーマットを Q15 フォーマットで除算する場合、結果は Q16 フォーマットになります。Q15 フォーマットデータが必要なときは、演算前に除数を 1 ビット右シフトすることで、Q15 フォーマットデータを得ることができます。

$Q31 / Q15 = 2^{-31} / 2^{-15} = 2^{(-31 - (-15))} = 2^{-16} = Q16$

15. 改訂履歴

日付	Rev.	変更内容
2025/03/03	1.0	初版

製品取り扱い上のお願い

株式会社東芝およびその子会社ならびに関係会社を以下「当社」といいます。
本資料に掲載されているハードウェア、ソフトウェアおよびシステムを以下「本製品」といいます。

- 本製品に関する情報等、本資料の掲載内容は、技術の進歩などにより予告なしに変更されることがあります。
- 文書による当社の事前の承諾なしに本資料の転載複製を禁じます。また、文書による当社の事前の承諾を得て本資料を転載複製する場合でも、記載内容に一切変更を加えたり、削除したりしないでください。
- 当社は品質、信頼性の向上に努めていますが、半導体・ストレージ製品は一般に誤作動または故障する場合があります。本製品をご使用頂く場合は、本製品の誤作動や故障により生命・身体・財産が侵害されることのないように、お客様の責任において、お客様のハードウェア・ソフトウェア・システムに必要な安全設計を行うことをお願いします。なお、設計および使用に際しては、本製品に関する最新の情報（本資料、仕様書、データシート、アプリケーションノート、半導体信頼性ハンドブックなど）および本製品が使用される機器の取扱説明書、操作説明書などをご確認の上、これに従ってください。また、上記資料などに記載の製品データ、図、表などに示す技術的な内容、プログラム、アルゴリズムその他応用回路例などの情報を使用する場合は、お客様の製品単独およびシステム全体で十分に評価し、お客様の責任において適用可否を判断してください。
- 本製品は、特別に高い品質・信頼性が要求され、またはその故障や誤作動が生命・身体に危害を及ぼす恐れ、膨大な財産損害を引き起こす恐れ、もしくは社会に深刻な影響を及ぼす恐れのある機器（以下“特定用途”という）に使用されることは意図されていませんし、保証もされていません。特定用途には原子力関連機器、航空・宇宙機器、医療機器、車載・輸送機器、列車・船舶機器、交通信号機器、燃焼・爆発制御機器、各種安全関連機器、昇降機器、電力機器、金融関連機器などが含まれますが、本資料に個別に記載する用途は除きます。特定用途に使用された場合には、当社は一切の責任を負いません。なお、詳細は当社営業窓口までお問い合わせください。
- 本製品を分解、解析、リバースエンジニアリング、改造、改変、翻案、複製等しないでください。
- 本製品を、国内外の法令、規則及び命令により、製造、使用、販売を禁止されている製品に使用することはできません。
- 本資料に掲載してある技術情報は、製品の代表的動作・応用を説明するためのもので、その使用に際して当社及び第三者の知的財産権その他の権利に対する保証または実施権の許諾を行うものではありません。
- 別途、書面による契約またはお客様と当社が合意した仕様書がない限り、当社は、本製品および技術情報に関して、明示的にも黙示的にも一切の保証（機能動作の保証、商品性の保証、特定目的への合致の保証、情報の正確性の保証、第三者の権利の非侵害保証を含むがこれに限らない。）をしておりません。
- 本製品、または本資料に掲載されている技術情報を、大量破壊兵器の開発等の目的、軍事利用の目的、あるいはその他軍事用途の目的で使用しないでください。また、輸出に際しては、「外国為替及び外国貿易法」、「米国輸出管理規則」等、適用ある輸出関連法令を遵守し、それらの定めるところにより必要な手続を行ってください。
- 本製品の RoHS 適合性など、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い合わせください。本製品のご使用に際しては、特定の物質の含有・使用を規制する RoHS 指令等、適用ある環境関連法令を十分調査の上、かかる法令に適合するようご使用ください。お客様が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、当社は一切の責任を負いかねます。

東芝デバイス&ストレージ株式会社
https://toshiba.semicon-storage.com/jp/