

**1.6 kW T 型 3 レベル方式 PFC 電源
SW ガイド**

RD172-SWGUIDE-01

東芝デバイス&ストレージ株式会社

目次

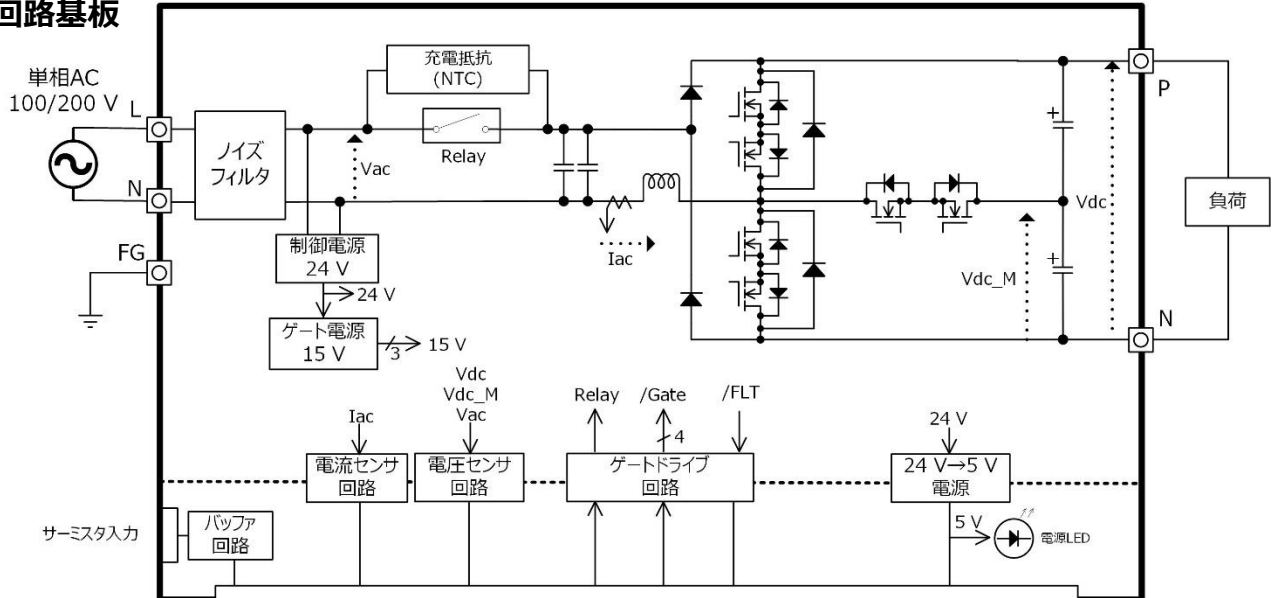
1.	はじめに	3
1.1.	概要.....	3
1.2.	使用方法	4
2.	入出力信号.....	5
3.	状態遷移	9
3.1.	状態遷移図	9
3.2.	タイミングチャート	10
4.	定数、変数定義.....	12
4.1.	定数定義	12
4.2.	状態定義	13
4.3.	変数定義	14
5.	初期化	18
5.1.	初期化ルーチン実行条件	18
5.2.	初期化ルーチン	18
6.	メインルーチン.....	20
6.1.	メインループ	20
6.2.	一般制御ルーチン.....	20
6.3.	タイマ割り込みルーチン	21
6.4.	トリップ割り込みルーチン	22
6.5.	制御ブロック図.....	22
7.	異常処理	24
8.	A/D 変換一覧表	24

1. はじめに

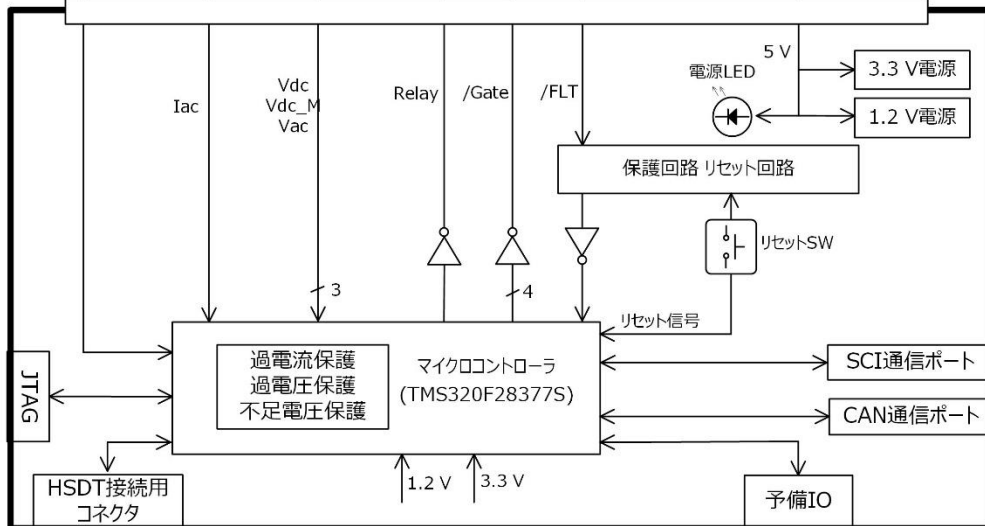
1.1. 概要

本書は 1.6 kW T 型 3 レベル方式 PFC 電源(以下本電源)の電源コントローラに関するファームウェア仕様を定めるものです。本書で定めるファームウェアが制御対象とするハードウェアブロック図を以下に示します。

主回路基板



制御基板



1.2. 使用方法

- ・単相交流電源を投入してください。
- ・Error状態から復帰する際は、リセットSWを押下、または単相交流電源を再投入してください。
(リセットSWは制御基板上にあります。)

以下本電源で使用する電源コントローラの概要を示します。

<電源コントローラ>

電源コントローラとして TMS320F28377SPTP を使用します。

1.特徴

項目	内容
メーカー	Texas Instruments
型番	TMS320F28377SPTP
パッケージ	176pin, HLQFP, ピン間 0.5mm ピッチ
メモリ容量	ROM : 1MB(1word = 16bit) RAM : 328KB(1word = 16bit)
最高動作周波数	200MHz (XIN=20MHz)
タイマ	32bit タイマカウンタ ×3ch ウォッチドッグタイマ(WDT)
PWM信号生成機能	6ch(うち 2ch をスイッチングで使用し、1ch は保護機能のために使用) 動作周波数 100MHz
コンパレータ機能	8ch(うち 4ch を使用) 交流電流-過電流保護 交流電圧-過電圧保護 直流電圧-過電圧保護 中間直流電圧-過電圧保護
通信機能	I2C ×1ch(EEPROMとのインタフェースとして使用) CAN ×1ch(本リアレンスデザイン標準ファームウェアでは未使用) SCI ×2ch (1ch はヘッドスプリング社製 HSDT-DP との通信で使用 もう 1ch は本リアレンスデザイン標準ファームウェアでは未使用)
A/D 変換	12bit サンプルホールド方式 × 4 モジュール (A/D 変換モジュールへの入力チャンネルは 8ch)
EEPROM 機能	メーカー: Micronchip Technology 型番: 24LC512-I/SM (本リアレンスデザイン標準ファームウェアでは未使用)
IO 電圧	3.3V
コア 電圧	1.2V

2.クロック

電源コントローラは、以下のクロックを使用します。

外部発信器
20MHz

3.開発環境

コード開発ツール : Texas Instruments 社製 Code Composer Studio
OS : Windows, Mac OS, Linux

デバッグツール : ヘッドスプリング社製 HSDT-DP, HSDT-GUI
OS : Windows

2. 入出力信号

入出力信号を以下の通り定義します。

Port	Pin	信号名	機能	I/O (形式)	初期値	その他
GPIO0	160	PWM1A_DSP160	N相ハイサイド PWM ゲート信号	O (CMOS)	0	
GPIO1	161	PWM1B_DSP161	N相クランプ PWM ゲート信号	O (CMOS)	0	
GPIO2	162	PWM2A_DSP162	N相クランプ PWM ゲート信号	O (CMOS)	0	
GPIO3	163	PWM2B_DSP163	N相ローサイド PWM ゲート信号	O (CMOS)	0	
GPIO4	164	PWM3A_DSP164	PWM 信号出力機能 (本リファレンスデザインでは未使用)	O (CMOS)	0	
GPIO5	165	PWM3B_DSP165	PWM 信号出力機能 (本リファレンスデザインでは未使用)	O (CMOS)	0	
GPIO6	166	PWM4A_DSP166	PWM 信号出力機能 (本リファレンスデザインでは未使用)	O (CMOS)	0	
GPIO7	167	PWM4B_DSP167	PWM 信号出力機能 (本リファレンスデザインでは未使用)	O (CMOS)	0	
GPIO8	18	PWM5A_DSP18	PWM 信号出力機能 (本リファレンスデザインでは未使用)	O (CMOS)	0	
GPIO9	19	PWM5B_DSP19	PWM 信号出力機能 (本リファレンスデザインでは未使用)	O (CMOS)	0	
GPIO10	1	PWM6A_DSP1	PWM 信号出力機能 (本リファレンスデザインでは未使用)	O (CMOS)	0	
GPIO11	2	PWM6B_DSP2	PWM 信号出力機能 (本リファレンスデザインでは未使用)	O (CMOS)	0	
GPIO12	4	信号割り当てなし	-	-	-	
GPIO13	5	信号割り当てなし	-	-	-	
GPIO14	6	信号割り当てなし	-	-	-	
GPIO15	7	信号割り当てなし	-	-	-	
GPIO16	8	DO0_DSP8	デジタル信号出力機能 (本リファレンスデザインでは未使用)	O (CMOS)	0	
GPIO17	9	DO1_DSP9	メインリレー駆動信号用 デジタル信号出力	O (CMOS)	0	
GPIO18	10	DO2_DSP10	デジタル信号出力機能 (本リファレンスデザインでは未使用)	O (CMOS)	0	
GPIO19	12	DO3_DSP12	ドライバリセット信号用 デジタル信号出力	O (CMOS)	1	

GPIO20	13	DO4_DSP13	デジタル信号出力機能 (本リファレンスデザインでは未使用)	O (CMOS)	0	
GPIO21	14	DO5_DSP14	デジタル信号出力機能 (本リファレンスデザインでは未使用)	O (CMOS)	0	
GPIO22	22	DO6_DSP22	デジタル信号出力機能 (本リファレンスデザインでは未使用)	O (CMOS)	0	
GPIO23	23	DO7_DSP23	デジタル信号出力機能 (本リファレンスデザインでは未使用)	O (CMOS)	0	
GPIO24	24	信号割り当てなし	-	-	-	
GPIO25	25	信号割り当てなし	-	-	-	
GPIO26	27	信号割り当てなし	-	-	-	
GPIO27	28	信号割り当てなし	-	-	-	
GPIO28	64	信号割り当てなし	-	-	-	
GPIO29	65	信号割り当てなし	-	-	-	
GPIO30	63	信号割り当てなし	-	-	-	
GPIO31	66	信号割り当てなし	-	-	-	
GPIO32	67	信号割り当てなし	-	-	-	
GPIO33	69	信号割り当てなし	-	-	-	
GPIO34	70	信号割り当てなし	-	-	-	
GPIO35	71	信号割り当てなし	-	-	-	
GPIO36	83	CANRX_A_DSP83	CAN 通信 受信用機能	I (CMOS)	1	
GPIO37	84	CANTX_A_DSP84	CAN 通信 送信用機能	O (CMOS)	0	
GPIO38	85	信号割り当てなし	-	-	-	
GPIO39	86	信号割り当てなし	-	-	-	
GPIO40	87	信号割り当てなし	-	-	-	
GPIO41	89	信号割り当てなし	-	-	-	
GPIO42	130	SDA_A_DSP130	I2C 通信 データ用信号機能	O/I (CMOS)	1	EEPROM との IF
GPIO43	131	SCL_A_DSP131	I2C 通信 クロック用信号機能	O (CMOS)	1	EEPROM との IF
GPIO44	113	信号割り当てなし	-	-	-	
GPIO45	115	信号割り当てなし	-	-	-	
GPIO46	128	信号割り当てなし	-	-	-	
GPIO47	129	信号割り当てなし	-	-	-	
GPIO48	90	信号割り当てなし	-	-	-	
GPIO49	93	信号割り当てなし	-	-	-	
GPIO50	94	DIO08_DSP94	汎用デジタル入出力機能 (本リファレンスデザインでは未使用)	I (CMOS)	1	ファームウ ェアで機能 変更可

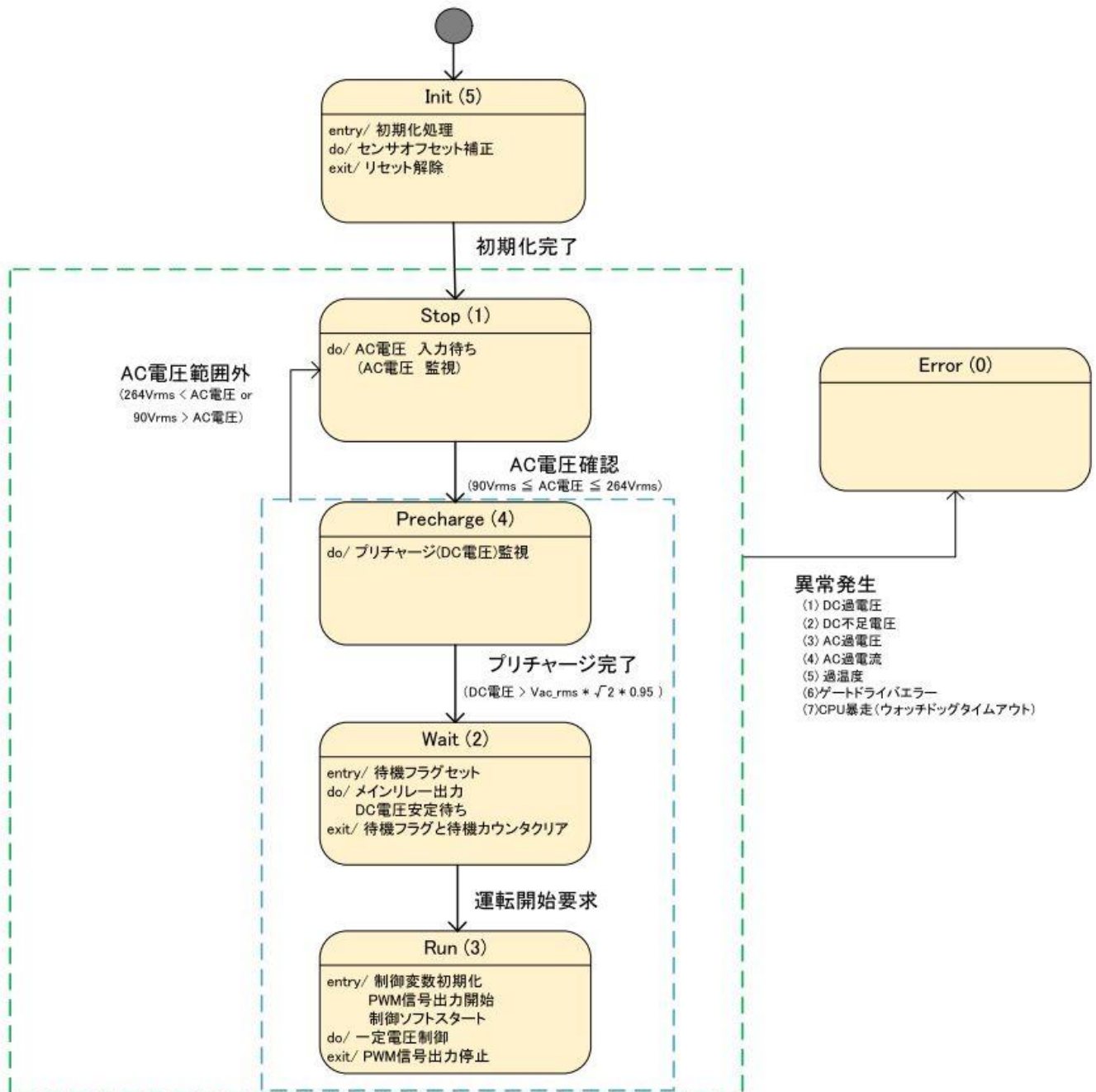
GPIO51	95	DIO09_DSP95	汎用デジタル入出力機能 (本リファレンスデザインでは未使用)	I (CMOS)	1	ファームウェアで機能変更可
GPIO52	96	DIO10_DSP96	汎用デジタル入出力機能 (本リファレンスデザインでは未使用)	I (CMOS)	1	ファームウェアで機能変更可
GPIO53	97	DIO11_DSP97	汎用デジタル入出力機能 (本リファレンスデザインでは未使用)	I (CMOS)	1	ファームウェアで機能変更可
GPIO54	98	信号割り当てなし	-	-		
GPIO55	100	信号割り当てなし	-	-		
GPIO56	101	信号割り当てなし	-	-		
GPIO57	102	信号割り当てなし	-	-		
GPIO58	103	SSO_DSP103	ヘッドスプリング社製 HSDT-DP SCOPE 機能用 SPI 通信 - データ出力	O (CMOS)		
GPIO59	104	SSI_DSP104	ヘッドスプリング社製 HSDT-DP SCOPE 機能用 SPI 通信 - データ入力	I (CMOS)		
GPIO60	105	SSCK_DSP105	ヘッドスプリング社製 HSDT-DP SCOPE 機能用 SPI 通信 - クロック出力	O (CMOS)		
GPIO61	107	SPISTEAD_DSP107	ヘッドスプリング社製 HSDT-DP SCOPE 機能用 SPI 通信 - 同期信号出力	O (CMOS)		
GPIO62	108	信号割り当てなし	-	-		
GPIO63	109	信号割り当てなし	-	-		
GPIO64	110	信号割り当てなし	-	-		
GPIO65	111	信号割り当てなし	-	-		
GPIO66	112	信号割り当てなし	-	-		
GPIO67	132	DI0_DSP132	一括ゲートドライバレディ信号 入力機能	I (CMOS)	0	
GPIO68	133	DI1_DSP133	一括ゲートドライバエラー信号 入力機能	I (CMOS)	0	
GPIO69	134	信号割り当てなし	-	-		
GPIO70	135	信号割り当てなし	-	-		
GPIO71	136	信号割り当てなし	-	-		
GPIO72	139	BOOT1_DSP139	ブートモードセクタ	I	-	
GPIO73	140	DI2_DSP140	デジタル信号入力機能 (本リファレンスデザインでは未使用)	I (CMOS)	0	
GPIO74	141	DI3_DSP141	デジタル信号入力機能 (本リファレンスデザインでは未使用)	I (CMOS)	0	

GPIO75	142	DI4_DSP142	デジタル信号入力機能 (本リファレンスデザインでは未使用)	I (CMOS)	0	
GPIO76	143	DI5_DSP143	デジタル信号入力機能 (本リファレンスデザインでは未使用)	I (CMOS)	0	
GPIO77	144	DI6_DSP144	デジタル信号入力機能 (本リファレンスデザインでは未使用)	I (CMOS)	0	
GPIO78	145	DI7_DSP145	デジタル信号入力機能 (本リファレンスデザインでは未使用)	I (CMOS)	0	
GPIO79	146	信号割り当てなし	-	-		
GPIO80	148	信号割り当てなし	-	-		
GPIO81	149	信号割り当てなし	-	-		
GPIO82	150	信号割り当てなし	-	-		
GPIO83	151	信号割り当てなし	-	-		
GPIO84	154	SCITXDA_ DSP154	ヘッドスプリング社製 HSDT-DP デバッグ通信用機能			
GPIO85	155	SCIRXDA_ DSP155	ヘッドスプリング社製 HSDT-DP デバッグ通信用機能			
GPIO86	156	SCITX_B_ DSP156	汎用シリアル通信機能 (本リファレンスデザインでは未使用)			
GPIO87	157	SCIRX_B_ DSP157	汎用シリアル通信機能 (本リファレンスデザインでは未使用)			
GPIO88	170	信号割り当てなし	-	-	-	-
GPIO89	171	DIO12_DSP171	汎用デジタル入出力機能 (本リファレンスデザインでは未使用)	I (CMOS)	1	ファームウェアで機能変更可
GPIO90	172	DIO13_DSP172	汎用デジタル入出力機能 (本リファレンスデザインでは未使用)	I (CMOS)	1	ファームウェアで機能変更可
GPIO91	173	信号割り当てなし	-	-		
GPIO92	174	信号割り当てなし	-	-		
GPIO93	175	DIO14_DSP175	汎用デジタル入出力機能 (本リファレンスデザインでは未使用)	I (CMOS)	1	ファームウェアで機能変更可
GPIO94	176	DIO15_DSP176	汎用デジタル入出力機能 (本リファレンスデザインでは未使用)	I (CMOS)	1	ファームウェアで機能変更可
GPIO99	17	信号割り当てなし				
GPIO133	118	信号割り当てなし	-	-		

3. 状態遷移

3.1. 状態遷移図

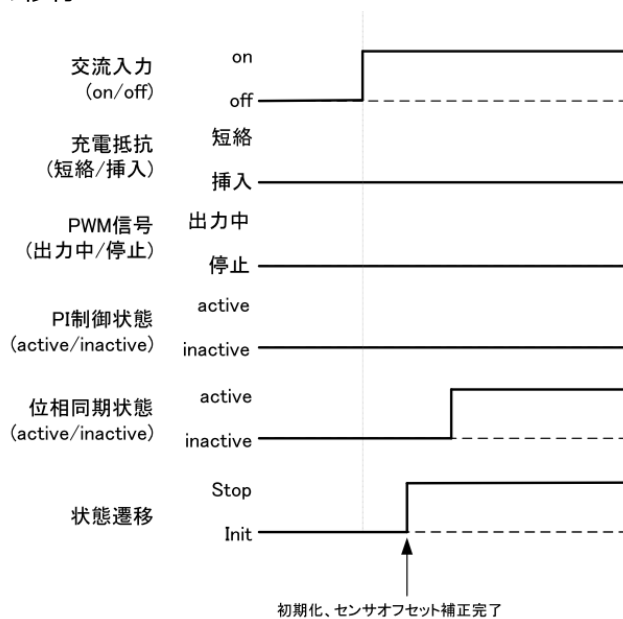
本ファームウェアの状態遷移図を示します。



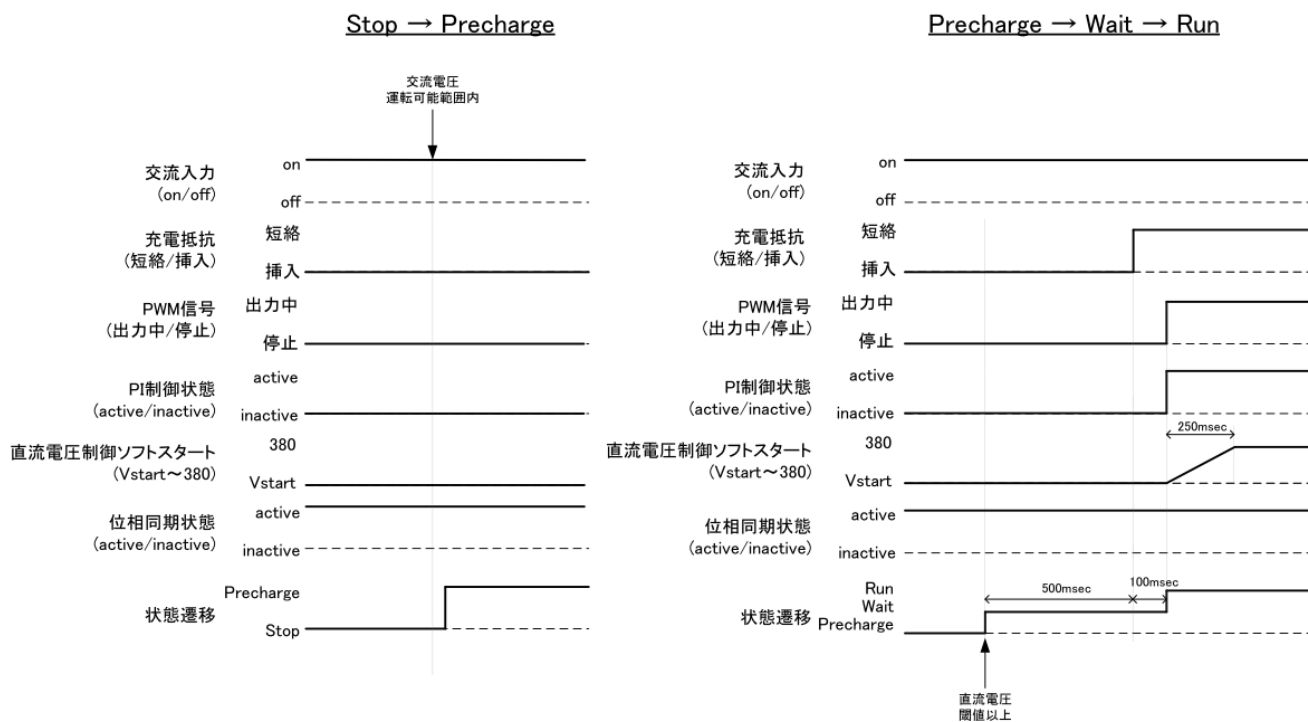
3.2. タイミングチャート

本ファームウェアのタイミングチャートを示します。

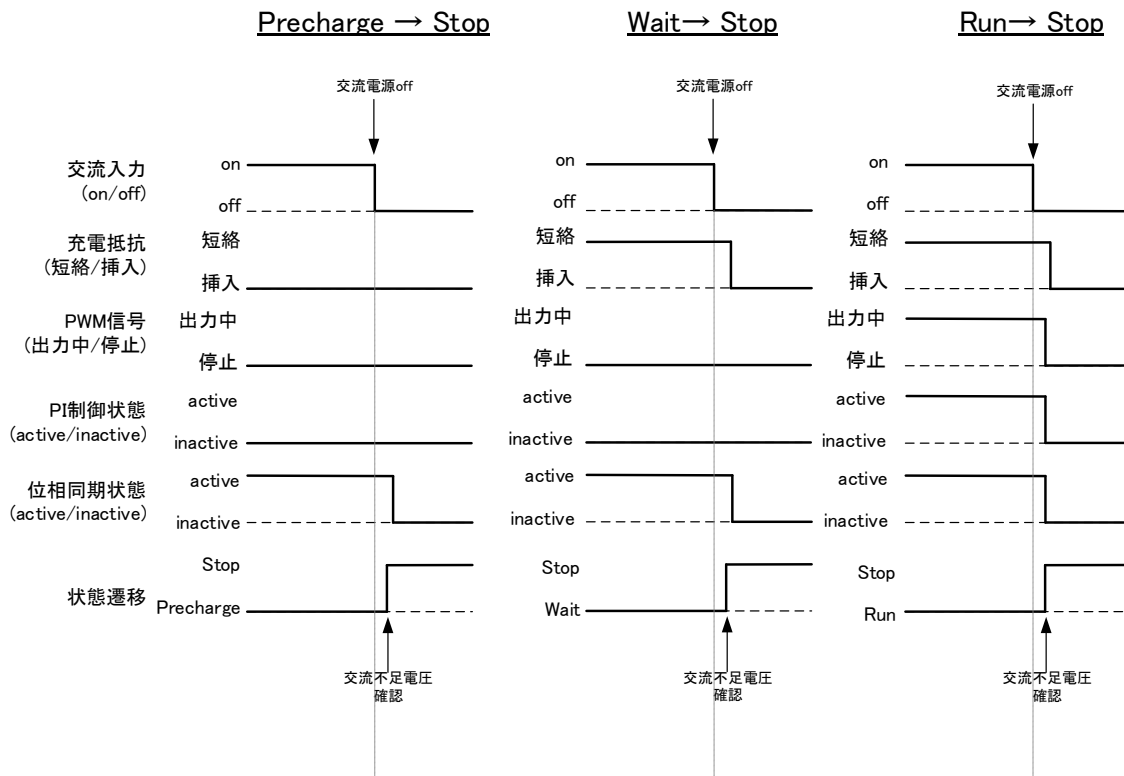
1. Init 状態から Stop 状態への移行



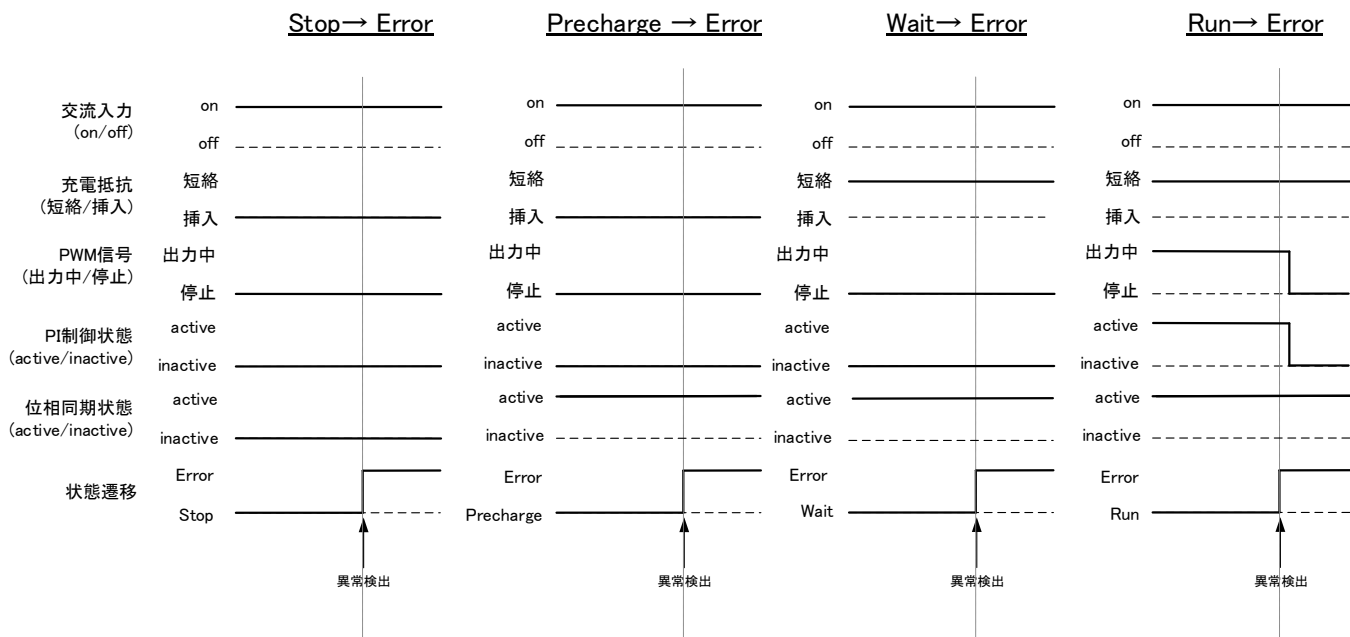
2. Stop 状態から Precharge 状態を経由して Run 状態への移行



3. Precharge 状態、Wait 状態、Run 状態から Stop 状態への移行



4. Stop 状態、Precharge 状態、Wait 状態、Run 状態から Error 状態への移行



4. 定数、変数定義

4.1. 定数定義

定数を以下の通り定義します。

1. PWM 機能設定用定数

定数名	説明
CARRIERPERIOD_NS	PWM 信号の周期を ns 単位で定義します。
CARRIERFREQ_HZ	PWM 信号の周波数を Hz 単位で定義します。
INTERRUPT_MASK	一般制御ルーチン(後述)の実行周期を定義します。
DEADTIME_NS	PWM 信号のデッドタイムを ns 単位で定義します。

2. タイマ割り込みルーチン周期設定用定数

定数名	説明
TIMER0INTERVAL_US	タイマ割り込みルーチンの実行周期を μ s 単位で定義します。

3. センサ値設定用定数

8.A/D 変換一覧表も併せてご覧ください。

定数名	説明
VAC_GAIN VAC_OFFSET	交流電圧センサ回路の読み取り電圧範囲を以下のように設定します。 $((-VAC_GAIN) + VAC_OFFSET) \sim (VAC_GAIN + VAC_OFFSET)$
IAC_GAIN IAC_OFFSET	電流センサ回路の読み取り電流範囲を以下のように設定します。 $((-IAC_GAIN) + IAC_OFFSET) \sim (IAC_GAIN + IAC_OFFSET)$
VDC_GAIN VDC_OFFSET	直流電圧センサ回路の読み取り電圧範囲を以下のように設定します。 $((-VDC_GAIN) + VDC_OFFSET) \sim (VDC_GAIN + VDC_OFFSET)$
VDC_M_GAIN VDC_M_OFFSET	中間直流電圧センサ回路の読み取り電圧範囲を以下のように設定します。 $((-VDC_M_GAIN) + VDC_M_OFFSET) \sim (VDC_M_GAIN + VDC_M_OFFSET)$
TH_GAIN TH_OFFSET	温度センサ回路の読み取り電圧範囲を以下のように設定します。 $((-TH_GAIN) + TH_OFFSET) \sim (TH_GAIN + TH_OFFSET)$

4. 制御用定数

定数名	詳細
IACKP1, IACKP2	入力電流の PI 制御演算における比例ゲインの値を定義します。
IACKI	入力電流の PI 制御演算における積分ゲインの値を定義します。
VDCKP	直流電圧の PI 制御演算における比例ゲインの値を定義します。
VDCKI	直流電圧の PI 制御演算における積分ゲインの値を定義します。
IACLIMIT	直流電圧の PI 制御演算出力である電流指令値に対する制限値を定義します。
MRATELIMIT	変調率上限値を定義します。

4.2. 状態定義

1. システム状態定数(型名: SystemState)

定数名	詳細
State_Error	システムがエラー状態であることを示す状態定数
State_Stop	システムが停止状態であることを示す状態定数
State_Wait	システムが待機状態であることを示す状態定数
State_Run	システムが運転状態であることを示す状態定数
State_Precharge	システムがプリチャージ状態であることを示す状態定数
State_Init	システムが初期化状態であることを示す状態定数

2. 保護状態定数(型名: ErrState)

定数名	詳細
Err_IAC	入力電流の過電流を検知し、保護機能が働いたことを示す状態定数
Err_VDC_OV	直流電圧の過電圧を検知し、保護機能が働いたことを示す状態定数
Err_VDC_UV	直流電圧の不足電圧を検知し、保護機能が働いたことを示す状態定数
Err_FLT	ゲートドライバのエラー信号を検知し、保護機能が働いたことを示す状態定数
Err_VAC	入力交流電圧の過電圧を検知し、保護機能が働いたことを示す状態定数
Err_WDT	ウォッチドッグタイマの保護機能が働いたことを示す状態定数
Err_TRIP	PWM がトリップしたことを示す状態定数

4.3. 変数定義

1. センサ測定値表示用変数

定数名	詳細
Vac	交流電圧のセンサ(アナログ)値を示します。
Iac	入力電流のセンサ(アナログ)値を示します。
Vdc	直流電圧のセンサ(アナログ)値を示します。
Vdc_M	直流中間電圧のセンサ(アナログ)値を示します。
Th	温度のセンサ(アナログ)値を示します。

2. センサ計算値用変数

定数名	詳細
VacLPF	センサ値 Vac に対してカットオフ周波数 VacFc でローパスフィルタを施した際の実出力値を示します。
VacFc	センサ値 Vac に施すローパスフィルタのカットオフ周波数を示します。
VdcLPF	センサ値 Vdc に対してカットオフ周波数 VdcFc でローパスフィルタを施した際の実出力値を示します。
Vdc_MLPF	センサ値 Vd_M に対してカットオフ周波数 VdcFc でローパスフィルタを施した際の実出力値を示します。
VdcFc	センサ値 Vdc および Vdc_M に施すローパスフィルタのカットオフ周波数を示します。
IacLPF	センサ値 Iac に対してカットオフ周波数 IacFc でローパスフィルタを施した際の実出力値を示します。
IacFc	センサ値 Iac に施すローパスフィルタのカットオフ周波数を示します。
OffsetVac	交流電圧センサ値のオフセット補正値を示します。
OffsetIac	電流センサ値のオフセット補正値を示します。
OffsetVdc	直流電圧センサ値のオフセット補正値を示します。
OffsetVdc_M	中間直流電圧センサ値のオフセット補正値を示します。
FlagCalibEnd	0: 各センサに関するオフセット誤差の補正処理が完了していないことを示します。 1: 各センサに関するオフセット誤差の補正処理が完了したことを示します。

3. 保護、エラー状態表示用変数

定数名	詳細
ErrorState	保護、エラー状態(非ラッチ)を示します。 Bit0: 入力過電流保護状態 Bit1: 直流不足電圧保護状態 Bit2: 直流電圧過電圧保護状態 Bit3: ゲートドライバのエラー信号検知状態 Bit4: 交流過電圧(瞬時値)保護状態 Bit5: 過熱保護状態 Bit6: ウォッチドッグタイマのオーバーフロー発生状態 Bit7: PWM のトリップ状態
ErrorState_Latch	保護、エラー状態(ラッチ)を示します。

	Bit0:入力過電流保護状態 Bit1:直流不足電圧保護状態 Bit2:直流電圧過電圧保護状態 Bit3:ゲートドライバのエラー信号検知状態 Bit4:交流過電圧（瞬時値）保護状態 Bit5:過熱保護状態 Bit6:ウォッチドッグタイマのオーバーフロー発生状態 Bit7:PWM のトリップ状態
ErrThrVdcHi_V	直流電圧の過電圧閾値を示します。
ErrThrVdcLo_V	直流電圧の不足電圧閾値を示します。
ErrThrVdc_MHi_V	中間直流電圧の過電圧閾値を示します。
ErrThrVac_Vpk	入力電圧の過電圧閾値(ピーク値)を示します。
ErrThrIac_Apk	入力電流の過電流閾値(ピーク値)を示します。
ErrThrTh_Deg	ヒートシンクの過熱閾値を示します。
FlagWDT	ウォッチドッグタイマのオーバーフロー発生状態を示します。
FlagTZ	トリップ割り込みが発生したことを示します。
FlagWaitGB	ゲートブロック待ち状態であることを示します。

4. 状態遷移用変数

定数名	詳細
State	システムの状態を示します。タイマ割り込みルーチン内で代入されます。 型: SystemState
PreState	1 周期前のタイマ割り込みルーチンにて代入されたシステムの状態を示します。 型: SystemState
InitEnd	初期化が完了したかどうかを示します。 0:初期化が終了していないことを示します。 1:初期化が終了していることを示します。
RunStartStopReq	待機状態 - 運転状態間の遷移を操作する変数になります。
FlagEntryWait	待機状態であることを示します。
TimerEntryWait	待機状態に遷移後の時間を ms 単位で示します。
FlagStateMainRelay	リレーの状態を示します。

5. 実効値計算用変数

定数名	詳細
Vac_Vrms	交流電圧の実効値を示します。
Vac_Vrms0	1 周期前の交流電圧の実効値を示します。
VacSum_V	実効値計算に使用する交流電圧の 2 乗和を示します。
SignVac	交流電圧の符号を示します。
SignVac0	1 周期前の交流電圧の符号を示します。
PeriodCount	交流電圧ゼロクロスからスイッチング周期で加算される値を示します。
Iac_Arms	入力電流の実効値を示します。

IacSum_A	実効値計算に使用する入力電流の 2 乗和を示します。
FreqSys	入力周波数の値を示します。

6. 平均値計算用変数

定数名	詳細
VdcAVE	直流電圧の平均値を示します。
Vdc_MAVE	中間直流電圧の平均値を示します。
VdcSum_V	平均値計算に使用する直流電圧の和を示します。
Vdc_MSum_V	平均値計算に使用する中間直流電圧の和を示します。

7. 位相計算用変数

定数名	詳細
Phase_rad	位相情報を示します。
RefPhase_rad	交流電圧ゼロクロスを元に生成される基準位相を示します。
RefDeltaPhase_rad	スイッチング周期で加算される基準位相変化量を示します。

8. 交流電流制御用変数

定数名	詳細
IacRef	入力電流指令値を示します。
ErrIac	IacLPF と入力電流指令値との偏差を示します。
IacKp	入力電流の PI 制御演算における比例ゲインの値を示します。
IacKpComp	入力電圧に依存する、入力電流の PI 制御演算における比例ゲインの補正値を示します。
IacKi	入力電流の PI 制御演算における積分ゲインの値を示します。
IacTi	入力電流の PI 制御演算における時定数を示します。
IacPElement	入力電流の PI 制御演算の比例成分を示します(比例制御出力)。
IacIElement	入力電流の PI 制御演算の積分成分を示します(積分制御出力)。
IacPIElement	入力電流の PI 制御演算の比例成分と積分成分の和を示します。
VacOut	入力電流の PI 制御演算により得られた交流電圧指令値を示します。

9. 直流電圧制御用変数

定数名	詳細
IacLimit	電流指令値の上限値を示します。
VdcRef	直流電圧指令値を示します。
ErrVdc	VdcLPF と VdcRef との偏差を示します。
VdcKp	直流電圧の PI 制御演算における比例ゲインの値を示します。
VdcKi	直流電圧の PI 制御演算における積分ゲインの値を示します。
VdcTi	直流電圧の PI 制御演算における時定数を示します。
VdcPElement	直流電圧の PI 制御演算の比例成分を示します(比例制御出力)。
VdcIElement	直流電圧の PI 制御演算の積分成分を示します(積分制御出力)。
VdcPIElement	直流電圧の PI 制御演算の比例成分と積分成分の和を示します。

	この値は入力電流指令値として IacRef に代入されます。
ConstVdcRef	直流電圧一定制御の目標電圧を示します。
FlagVdcRefRamp	直流電圧制御がソフトスタート中であることを示します。
DeltaVdcRefRamp	直流電圧制御がソフトスタート中であるときの 1ms 毎に増加する直流電圧指令値を示します。

10. 直流電圧バランス制御用変数

定数名	詳細
ErrVdc_M	Vdc_MLPP と (VdcLPP×2) との偏差を示します。
Vdc_MKp	中間直流電圧の PI 制御演算における比例ゲインの値を示します。
Vdc_MKi	中間直流電圧の PI 制御演算における積分ゲインの値を示します。
Vdc_MTi	中間直流電圧の PI 制御演算における時定数を示します。
Vdc_MPElement	中間直流電圧の PI 制御演算の比例成分を示します(比例制御出力)。
Vdc_MIElement	中間直流電圧の PI 制御演算の積分成分を示します(積分制御出力)。
Vdc_MPIElement	中間直流電圧の PI 制御演算の比例成分と積分成分の和を示します。 この値は、直流電圧制御で算出した入力電流指令値 IacRef に加算されます。

11. 変調率計算用変数

定数名	詳細
MRateOut1,2	PWM の変調率を示します。

5. 初期化

5.1. 初期化ルーチン実行条件

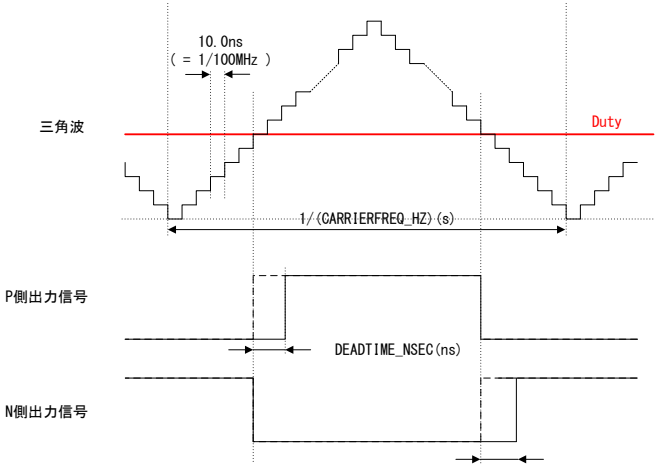
以下条件成立時に初期化ルーチンを実行します。

1. 電源投入時
2. リセット SW 押下時

5.2. 初期化ルーチン

初期化ルーチンは Init()関数の実行により行われ、以下の処理が行われます。

処理順序	処理内容	処理内容詳細
1	TMS320F28377SPTP の初期化ピン設定	マイコン(TMS320F28377SPTP)の初期化およびピン設定を行います。ピン設定に関しては前述・2 入出力信号を参照してください。
2	ヘッドスプリング社製 HSDT-DP SCOPE 機能初期化、設定	ヘッドスプリング社製 HSDT-DP の SCOPE 機能を使用することができるように初期化、設定を行います。
3	AD 変換機能初期化、設定 AD 変換値 - レンジ、オフセット設定	AD 変換機能を初期化し、AD 変換開始タイミングが PWM 機能から出力される変換開始トリガを受けて AD 変換を開始するように設定 レンジ、オフセット設定については 4.1 定数定義のセンサ値設定用定数を参照してください。
4	コンパレータ機能初期化、設定	コンパレータ機能を初期化し、入力過電流、直流過電圧、入力過電圧のいずれかを検知した際に運転が停止するように設定
5	ウォッチドッグタイマ初期化、設定	ウォッチドッグタイマ機能を初期化する。 ClearWDT()関数が、前回実行されたタイミングから 13.1ms 以内に再度実行されなかった場合、運転を停止するように設定
6	タイマ機能初期化、設定	タイマ機能を初期化し、割り込みルーチンが 1ms 周期で実行されるように設定
7	PWM 機能初期化、設定	PWM 機能を初期化し、以下のように設定します。 <ul style="list-style-type: none"> ・PWM 周期 (ns) CARRIERPERIOD_NS に設定 ・デッドタイム(ns) DEADTIME_NS に設定 ・比較キャリアの形状 三角波

		 <p>三角波</p> <p>10.0ns (= 1/100MHz)</p> <p>Duty</p> <p>$1/(CARRIERFREQ_HZ) (s)$</p> <p>P側出力信号</p> <p>DEADTIME_NSEC (ns)</p> <p>N側出力信号</p> <ul style="list-style-type: none"> ・保護機能 コンパレータにて入力電流過電流、直流電圧過電圧、交流電圧過電圧のいずれかを検知した際に PWM 信号の出力を停止 ・AD 変換開始トリガ出力機能 三角波キャリアの谷のタイミングで AD 変換開始トリガを出力
8	システム安定化待ち	1 ~ 7 の処理が終わった後、システム安定化のため 1ms 待機します。
9	コンパレータラッチ機構リセット トリップフラグクリア	コンパレータ出力部にあるラッチ機構をリセットし、トリップフラグをクリアします。
10	割り込み機能設定	一般制御ルーチン、タイマ割り込みルーチン、トリップ割り込みの実行を許可します。

6. メインルーチン

本稿では初期化処理関数 Init()の処理が完了した後に実行されるメインルーチン処理について記載します。

本ファームウェアは、一定周期毎に割り込み処理が発生し、各サブルーチンを実行します。トリップゾーン機能が作動したときも割り込み処理が発生します。

割り込み処理が発生していない場合、メインループが実行されます。

サブルーチン名	割り込み関数名	実行トリガ、周期	処理内容
一般制御ルーチン	PWMIntFunc	トリガ:PWM 機能 周期:20 μ s	<ul style="list-style-type: none"> ・センサ値読み込み ・直流電圧制御 ・直流電圧バランス制御 ・実効値、平均値計算 ・ローパスフィルタ処理 ・位相計算 ・入力電流制御 ・変調率計算
タイマ割り込みルーチン	Timer0IntFunc	トリガ:タイマ機能 周期:1ms	<ul style="list-style-type: none"> ・待機状態での待機時間計測 ・運転開始時ソフトスタート処理 ・異常検出 ・状態遷移 ・ローパスフィルタ処理 ・温度センサ値読み込み・換算 ・センサオフセット補正
トリップ割り込みルーチン	TZIntFunc	トリガ:トリップゾーン機能 周期:トリップ発生時	ゲートブロック

6.1. メインループ

本ファームウェアのメインループ処理を示します。

処理順序	処理内容	処理内容詳細
1	ウォッチドッグタイマ処理	ウォッチドッグタイマカウンタをリセットし、ウォッチドッグタイマフラグを確認します。 ウォッチドッグタイマカウンタのリセットが 13.1ms 以上行われなかった場合、運転を停止します。
2	デジタル信号入力確認	DIO,1 の入力状態を確認します。
3	ヘッドスプリング社製 HSDT-DP SCOPE 機能更新処理	ヘッドスプリング社製 HSDT-DP SCOPE 機能更新処理を行います。

6.2. 一般制御ルーチン

本ファームウェアは、以下の一般制御ルーチンを持ちます。

一般制御ルーチンは PWMIntFunc()関数にて実行されます。

処理順序	処理内容	処理内容詳細
1	多重割り込み許可処理	一般制御ルーチン実行中にトリップ割り込みが発生した場合、トリップ割り込みを優先する設定をします。

2	センサ値読み込み	交流電圧、交流電流、直流電圧、中間直流電圧の各センサ値を読み込みます。
3	交流電圧位相計算 交流電圧実効値計算 直流電圧平均値計算	前回の一般制御ルーチンで求めた交流電圧位相情報と、一般制御ルーチン 1 周期分に相当する位相差を足し合わせて交流電圧位相情報を更新します。 また、交流電圧の実効値と直流電圧の平均値を各センサ値から算出します。
4	直流電圧制御処理	直流電圧指令値である VdcRef の値と VdcLPF の値の偏差を算出し、PI 制御演算を行うことで入力電流指令値 IacRef を算出します。 交流電圧が負から正になるゼロクロス直後のルーチンのときに実行します。
5	直流電圧バランス制御	VdcLPF の 1/2 倍値を指令値として Vdc_MLPF の値の偏差を算出し、PI 制御演算にて算出された値を入力電流指令値 IacRef に加算します。 交流電圧が負から正および正から負になる両ゼロクロス直後のルーチンのときに実行します。
6	ローパスフィルタ処理	ローパスフィルタ処理を施します。
7	入力電流制御	IacLPF に対して PI 制御を行い、入力電流制御出力 VacOut を算出します。
8	変調率計算	出力する PWM 波形の変調率を算出します。算出された変調率にあわせて、PWM 波形の出力を変更します。
9	多重割り込み禁止処理	トリップ割り込みを優先する設定を解除します。

6.3. タイマ割り込みルーチン

本ファームウェアは、以下のタイマ割り込みルーチンを持ちます。

タイマ割り込みルーチンは Timer0IntFunc()関数にて実行されます。

処理順序	処理内容	処理内容詳細
1	多重割り込み許可処理	タイマ割り込みルーチン実行中に他の割り込みが発生した場合、当該割り込みを優先する設定をします。
2	待機状態での時間計測	待機状態に遷移後、直流電圧安定化待ち時間の測定をします。 待ち時間が 500ms に達した際に充電抵抗を短絡させます。
3	運転開始時ソフトスタート処理	直流電圧指令値である VdcRef の値をシステムが Run 状態に切り替わる瞬間の直流電圧値から 380V に 250ms の時間をかけて増加させることで直流電圧を徐々に上昇させ、流入電流量を抑える処理です。
4	温度センサ値読み込み、換算	温度のセンサ値を読み込み、温度に換算します。
5	異常判定処理	DI1(ゲートドライバエラー信号)の状態、直流過電圧、入力過電流、入力過電圧、過熱が発生しているか及びウォッチドッグタイマの状態を確認し、異常状態を判定します。 詳しくは 6.異常判定処理をご覧ください。
6	状態遷移処理	処理実行時のシステムの状態、異常判定処理の結果や各種変数の状態に合わせてシステムの状態を変更します。 詳しくは 3.状態遷移図をご覧ください。

7	ローパスフィルタ処理係数算出処理	ローパスフィルタの係数を算出します。
8	AD 変換 - オフセット誤差補正処理	システムの状態が Init(初期化)状態の際に、単相交流電源投入前の各センサの読み取り値を用いてオフセット誤差を計測し、補正処理を行います。補正処理が完了すると FlagCalibEnd の値を 1 に変更します。上記の処理は CalibAdOffset()関数で行われます。システムの状態が Init 状態以外の際は上記の処理は行われません。
9	多重割り込み禁止処理	他の割り込みを優先する設定を解除します。

6.4. トリップ割り込みルーチン

本ファームウェアは、以下のトリップ割り込みルーチンを持ちます。

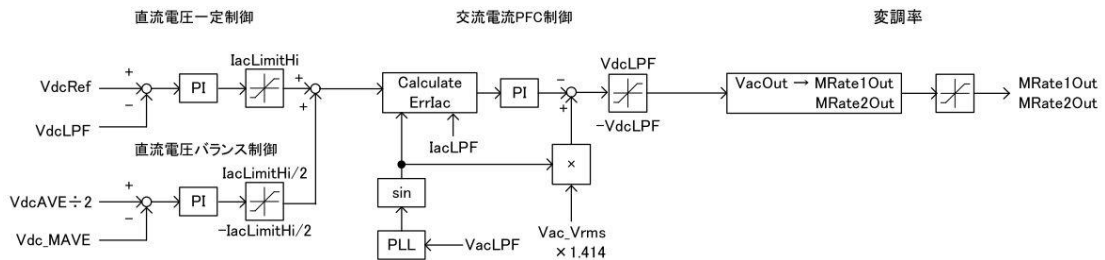
トリップ割り込みルーチンは TZIntFunc()関数にて実行されます。

処理順序	処理内容	処理内容詳細
1	ゲートブロック処理	上下アームのゲート送を禁止し、次の一般制御ルーチン内で中間アームのゲート送を禁止するためのフラグ FlagTZ の値を 1 に変更します。

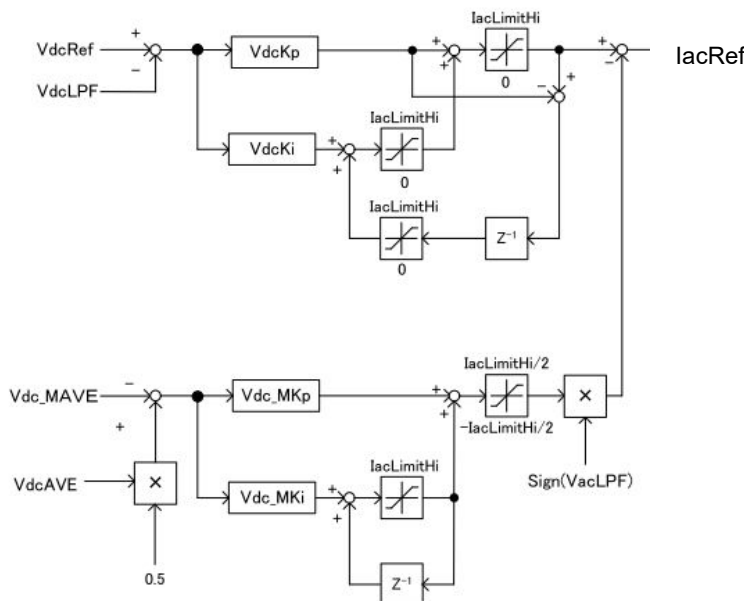
6.5. 制御ブロック図

本電源全体及び各機能の制御ブロック図を記載します。

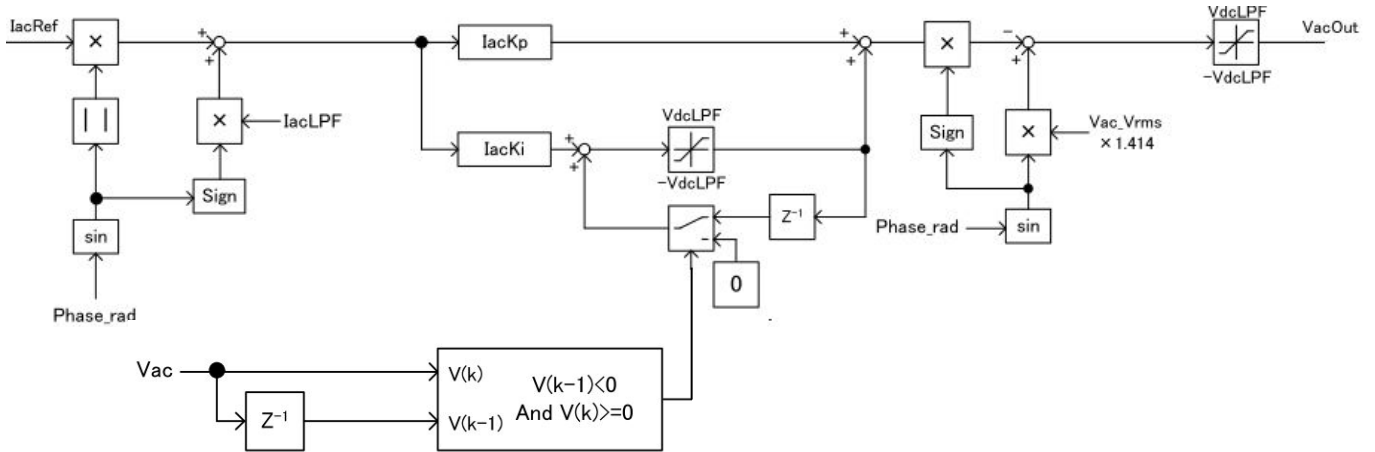
1. 全体



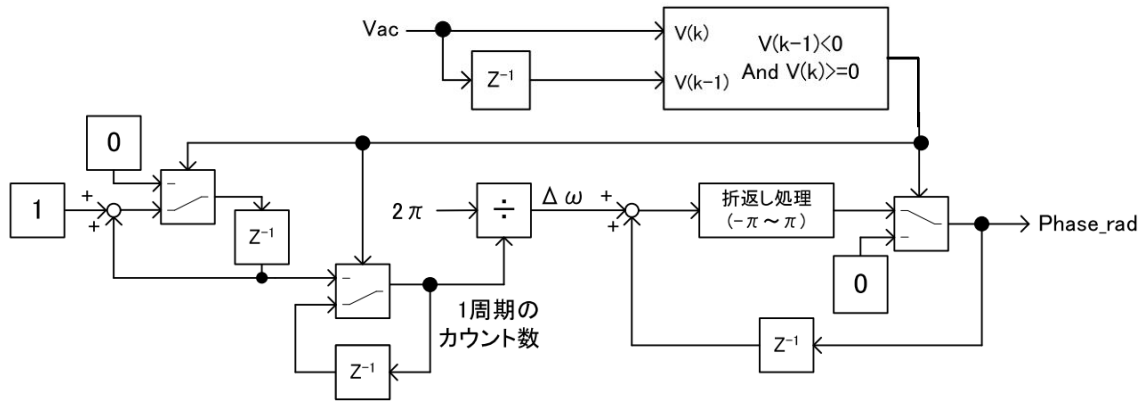
2. 直流電圧一定制御・直流電圧バランス制御



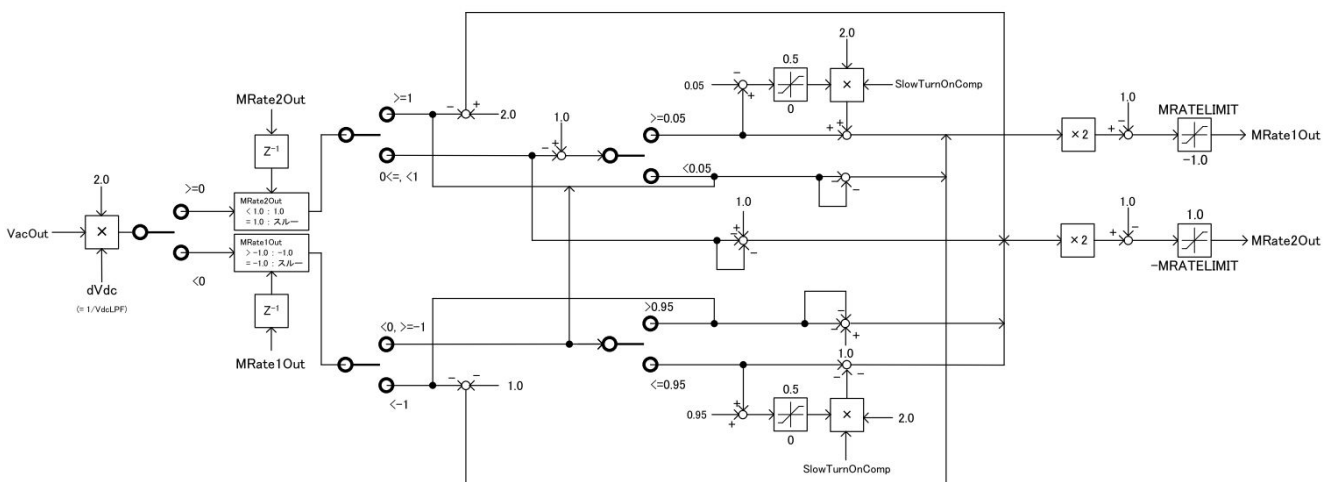
3. 交流電流 PFC 制御



4. PLL



5. 変調率計算



7. 異常処理

本ファームウェアの異常処理を示します。本ファームウェアでは Precharge 状態、Wait 状態、Run 状態の際に交流側電流の過電流、交流側瞬時電圧の過電圧、直流側電圧の過電圧、ゲートドライバの DESAT 信号検知およびウォッチドッグタイマがオーバーフローした場合に Error 状態となり、運転を停止します。

運転を停止するにはすべての PWM 信号の出力を停止し、リセット要求状態となり、リセット SW が押下されるか制御電源が再投入されるまで動作復帰を行いません。

動作復帰を行う場合には、リセットSW押下、または交流電源の再投入を行ってください。

8. A/D 変換一覧表

A/D 変換一覧表を示します。

Port	pin	測定項目	データ	A/D 変換分解能	フィルタ処理
ADCINA2	41	交流電圧	12bit	0.2588(V/LSB)	制御回路部でローパスフィルタ回路を実装 カットオフ周波数: 17kHz
ADCINA4	39	温度	12bit	0.00122(V/LSB)	制御回路部でローパスフィルタ回路を実装 カットオフ周波数: 160Hz
ADCINB2	48	交流電流	12bit	0.01465(A/LSB)	制御回路部でローパスフィルタ回路を実装 カットオフ周波数: 204kHz
ADCIND0	56	直流電圧	12bit	0.1231(V/LSB)	制御回路部でローパスフィルタ回路を実装 カットオフ周波数: 17kHz
ADCINA3	40	直流中間電圧	12bit	0.0616(V/LSB)	制御回路部でローパスフィルタ回路を実装 カットオフ周波数: 17kHz

ご利用規約

本規約は、お客様と東芝デバイス&ストレージ株式会社（以下「当社」といいます）との間で、当社半導体製品を搭載した機器を設計する際に参考となるドキュメント及びデータ（以下「本リファレンスデザイン」といいます）の使用に関する条件を定めるものです。お客様は本規約を遵守しなければなりません。本リファレンスデザインをダウンロードすることをもって、お客様は本規約に同意したものとみなされます。なお、本規約は変更される場合があります。当社は、理由の如何を問わずいつでも本規約を解除することができます。本規約が解除された場合は、お客様は、本リファレンスデザインを破棄しなければなりません。またお客様が本規約に違反した場合は、お客様は、本リファレンスデザインを破棄し、その破棄したことを証する書面を当社に提出しなければなりません。

第1条 禁止事項

お客様の禁止事項は、以下の通りです。

1. 本リファレンスデザインは、機器設計の参考データとして使用されることを意図しています。信頼性検証など、それ以外の目的には使用しないでください。
2. 本リファレンスデザインを販売、譲渡、貸与等しないでください。
3. 本リファレンスデザインは、高温・多湿・強電磁界などの対環境評価には使用できません。
4. 本リファレンスデザインを、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しないでください。

第2条 保証制限等

1. 本リファレンスデザインは、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。
2. 本リファレンスデザインは参考用のデータです。当社は、データおよび情報の正確性、完全性に関して一切の保証をいたしません。
3. 半導体素子は誤作動したり故障したりすることがあります。本リファレンスデザインを参考に機器設計を行う場合は、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。また、使用されている半導体素子に関する最新の情報（半導体信頼性ハンドブック、仕様書、データシート、アプリケーションノートなど）をご確認の上、これに従ってください。
4. 本リファレンスデザインを参考に機器設計を行う場合は、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下さい。当社は、適用可否に対する責任を負いません。
5. 本リファレンスデザインは、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。
6. 当社は、本リファレンスデザインに関して、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。）をせず、また当社は、本リファレンスデザインに関する一切の損害（間接損害、結果的損害、特別損害、付随的損害、逸失利益、機会損失、休業損、データ喪失等を含むがこれに限らない。）につき一切の責任を負いません。

第3条 輸出管理

お客様は本リファレンスデザインを、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てはなりません。また、お客様は「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なければなりません。

第4条 準拠法

本規約の準拠法は日本法とします。