RX Family

デジタル電力変換（トーテムポールインターリーブ PFC（AC-DC コンバータ））

要旨

本アプリケーションノートは RX66T グループ、または RX26T グループを使用した AC-DC コンバータであるトーテムポール型のインターリーブ PFC の駆動・制御方法、及びモータ制御開発支援ツール「RMW」注1の使用方法について説明することを目的としています。本アプリケーションノートで説明するトーテムポール型インターリーブ PFC のボードは、50Hz 100V 100W 電源ボードキット注2の Base Board(P13178-C0-001)上で動作するボードです。Base Board(P13178-C0-001)の詳細、及びデジタル電源制御の概要は、別アプリケーションノートのデジタル電力変換（UPS（CCM インターリーブ PFC、チョッパー方式 DC-DC コンバータ））(R01AN6465)をご参照下さい。

サンプルプログラムはあくまで参考用途であり、弊社がこの動作を保証するものではありません。サンプルプログラムを使用する場合、適切な環境で十分な評価をしたうえで御使用ください。

注 1: RMW は、Renesas Motor Workbench の略称です。
注 2:50Hz 100V 100W 電源ボードキットは、株式会社デスクトップラボの製品です。

動作確認デバイス

サンプルプログラムの動作確認は下記のデバイスで行っております。

RX family RX66T Group (R5F566TEADFH)
RX family RX26T Group (R5F526TFDGFP)

なお、本アプリケーションノートで説明するリソースまたは同等の周辺機能を搭載する RX ファミリにも適用できます。(RX72T、RX24T、RX24U、RX660、etc.)

対象サンプルプログラム

本アプリケーションノートの対象サンプルプログラムを下記に示します。

- RX66T_P13178_TPPFC_CSP_RV100 (IDE : CS+)
- RX66T_P13178_TPPFC_E2S_RV100 (IDE : e²studio)
- RX26T_P13178_TPPFC_CSP_RV100 (IDE : CS+)
- RX26T_P13178_TPPFC_E2S_RV100 (IDE : e2studio)

参考資料

- RX66T グループ ユーザーズマニュアル ハードウェア編 (R01UH0749)
- RX26T グループ ユーザーズマニュアル ハードウェア編 (R01UH0979)
- Renesas Motor Workbench ユーザーズマニュアル (R21UZ0004)
- デジタル電力変換（UPS（CCM インターリーブ PFC、チョッパー方式 DC-DC コンバータ））(R01AN6465)
- デジタル電力変換（LLC 共振コンバータ（DC-DC コンバータ））(R01AN7118)

目次

1.　概説 3
1.1　開発環境 3

2.　トーテムポール PFC 概要 4
2.1　トーテムポール PFC の概略回路構成 4
2.2　トーテムポール PFC 動作概要 5

3.　ハードウェア説明 7
3.1　ハードウェア構成 8
3.2　MCU 機能接続構成 10
3.3　MCU 周辺機能 11
3.4　端子インタフェース 11
3.5　ユーザインタフェース 12

4.　ソフトウェア説明 12
4.1　ソフトウェア構成 13
4.2　状態遷移 14
4.3　制御内容 15
4.4　関数一覧 16
4.5　変数一覧 18
4.6　マクロ定義一覧 20
4.7　制御フロー 20
4.7.1　メイン処理 20
4.7.2　1kHz 周期シーケンス処理 21
4.7.3　50kHz 周期システム制御処理 22

5.　モータ制御開発支援ツール「Renesas Motor Workbench」 25
5.1　概要 25
5.2　Analyzer 変数一覧 26

6.　測定データ 27
6.1　効率、力率測定結果 27
6.2　応答試験結果 28

1.　概説

本アプリケーションノートでは、デジタル電源制御[注1]の内、AC-DC コンバータのトーテムポール型インターリーブ PFC を RX66T/RX26T グループを使用した制御方法と実装方法について説明します。またモータ制御開発支援ツール「RMW」の使用方法についても併せて説明します。

【注】1: デジタル電源制御は、AC-DC コンバータ、DC-DC コンバータ、DC-AC インバータを意味しております。詳細は別アプリケーションノートのデジタル電力変換 (UPS (CCM インターリーブ PFC、チョッパー方式 DC-DC コンバータ)) (R01AN6465)をご参照下さい。

1.1　開発環境

本アプリケーションノート対象ソフトウェアの開発環境を表 1、表 2 に示します。

表 1　ハードウェア開発環境

マイコン	評価ボード(50Hz 100V 100W 電源ボードキット[注1])	
	ボード名	型式
RX66T (R5F566TEADFH) OR RX26T (R5F526TFDGFP)	RX66T CPU Card OR RX26T CPU Card	P05701-C0-038 OR P05701-C0-068
	Base Board	P13178-C0-001
	トーテムポールインターリーブ PFC ボード(AC-DC Board)	P13178-C0-005(本アプリケーションノート対象製品)

表 2　ソフトウェア開発環境

デバイス	IDE バージョン	RX スマート・コンフィグレータ[注3]	ツールチェーンバージョン[注2]
RX66T	CS+: V8.09.00	Version 2.16.0	CC-RX: V3.05.00
	e²studio:2023-01	e²studio plug-in version	
RX26T	CS+:V8.10.00	Version 2.19.0	CC-RX: V3.05.00
	e²studio:2023-10	e²studio plug-in version	

【注】 1. 50Hz 100V 100W 電源ボードキットは、株式会社デスクトップラボの製品です。ソリューションについてご不明な点がございましたら、株式会社デスクトップラボまでお問合せください。
2. プロジェクトで指定するツールチェーン(C コンパイラ) と同一のバージョンがインポート指定先に存在しない場合は、ツールチェーンが選択されない状態になり、エラーが発生します。プロジェクトの設定画面でツールチェーンの選択状態を確認してください。
選択方法は、FAQ 3000404 を参照してください。
(https://ja-support.renesas.com/knowledgeBase/18367361)
3. 本プロジェクトでは、本ツールによる生成コードを使用していません。

2.　トーテムポール PFC 概要

トーテムポール PFC は、AC-DC コンバータのブリッジレス PFC 回路になります。AC-DC コンバータは、整流回路部と平滑回路部に分かれますが、トーテムポール PFC は、整流回路部のダイオードブリッジ回路を無くし、代わりにスイッチングデバイスを使用する事で整流回路部と PFC 回路部を一体にした回路です。ブリッジレス回路には、整流回路部のローサイド側ダイオードをスイッチングデバイスに置き換えたハーフブリッジレス回路、ダイオードブリッジを全てスイッチングデバイスに置き換えたフルブリッジレス回路に分かれ、トーテムポール PFC はフルブリッジレス回路の PFC です。図 1 に AC-DC 回路の効率 VS コストイメージを示します。トーテムポール PFC は、一般的に損失の約 40%を占めるダイオードブリッジをスイッチングデバイスに置き換えておりますので効率が高くなりますが、使用部品のコストは比較的高くなる傾向にあります。

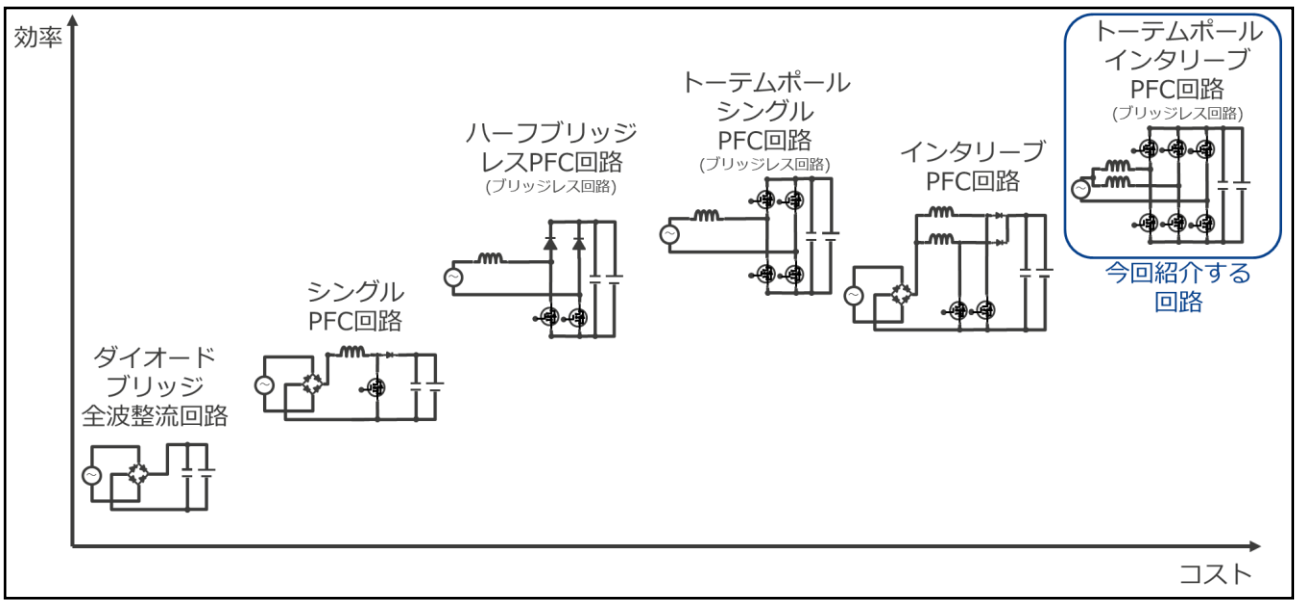


図 1 AC-DC 回路の効率 VS コストイメージ

2.1　トーテムポール PFC の概略回路構成

図 2 にトーテムポール PFC のインターリーブ型回路を示します。
左サイドがインターリーブ型 PFC で高速スイッチングを必要とする為、一般的に低インダクタンスのスイッチングデバイスを使用します。右サイドは、商用周波数に合わせて低速スイッチングをしますので、一般的に低 ON 抵抗のスイッチングデバイスを使用します。出力電圧、電流は、リアクタンスとスイッチング周波数、及び Duty で決まります。回路構成を変更せずに使用するインダクタ、MOSFET などのパワー半導体、及びコンデンサを変更する事で出力電圧、電流の変更が可能です。一般的にスイッチング周波数を高くする事でインダクタサイズなど小型化できますが、パワー半導体のスイッチング回数が増える為、ロスが大きくなりますので、スイッチング周波数に合わせたパワー半導体を選定する事が望ましいです。

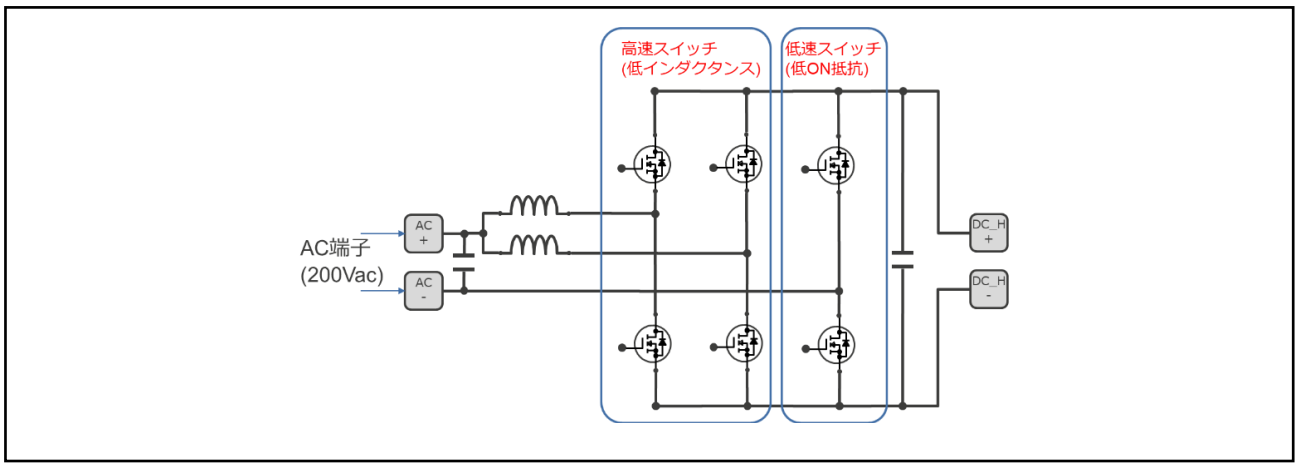


図 2 トーテムポール PFC(インターリーブ型)の概略回路構成

2.2　トーテムポール PFC 動作概要

トーテムポール PFC は、図 **3** に示す通り、正電圧と負電圧時にコイルにチャージするモードとコイルからエネルギーをディスチャージする 2 つの動作モードがあり、合計 4 つの動作モードからなります。図 **4** にインターリーブ構成時の各モードのスイッチング波形を、図 **5** にインターリーブ構成時のスイッチング波形と電流のイメージ示します。

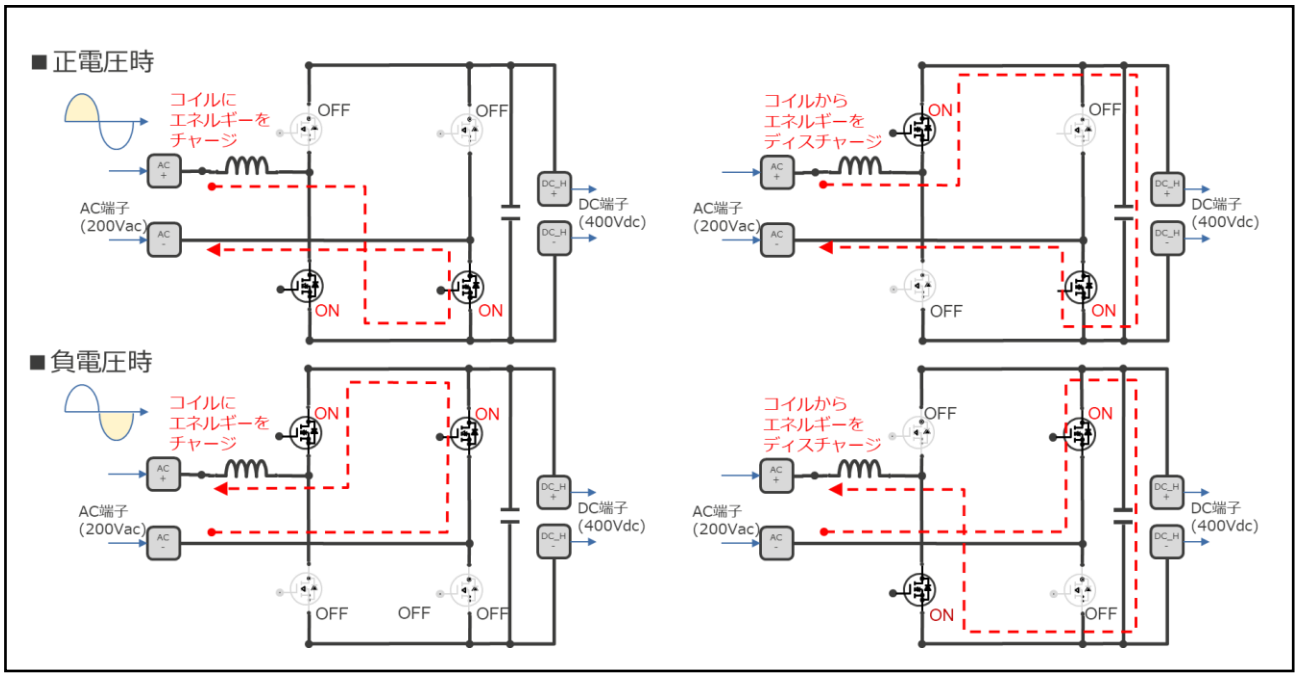


図 3 トーテムポール PFC 動作概要

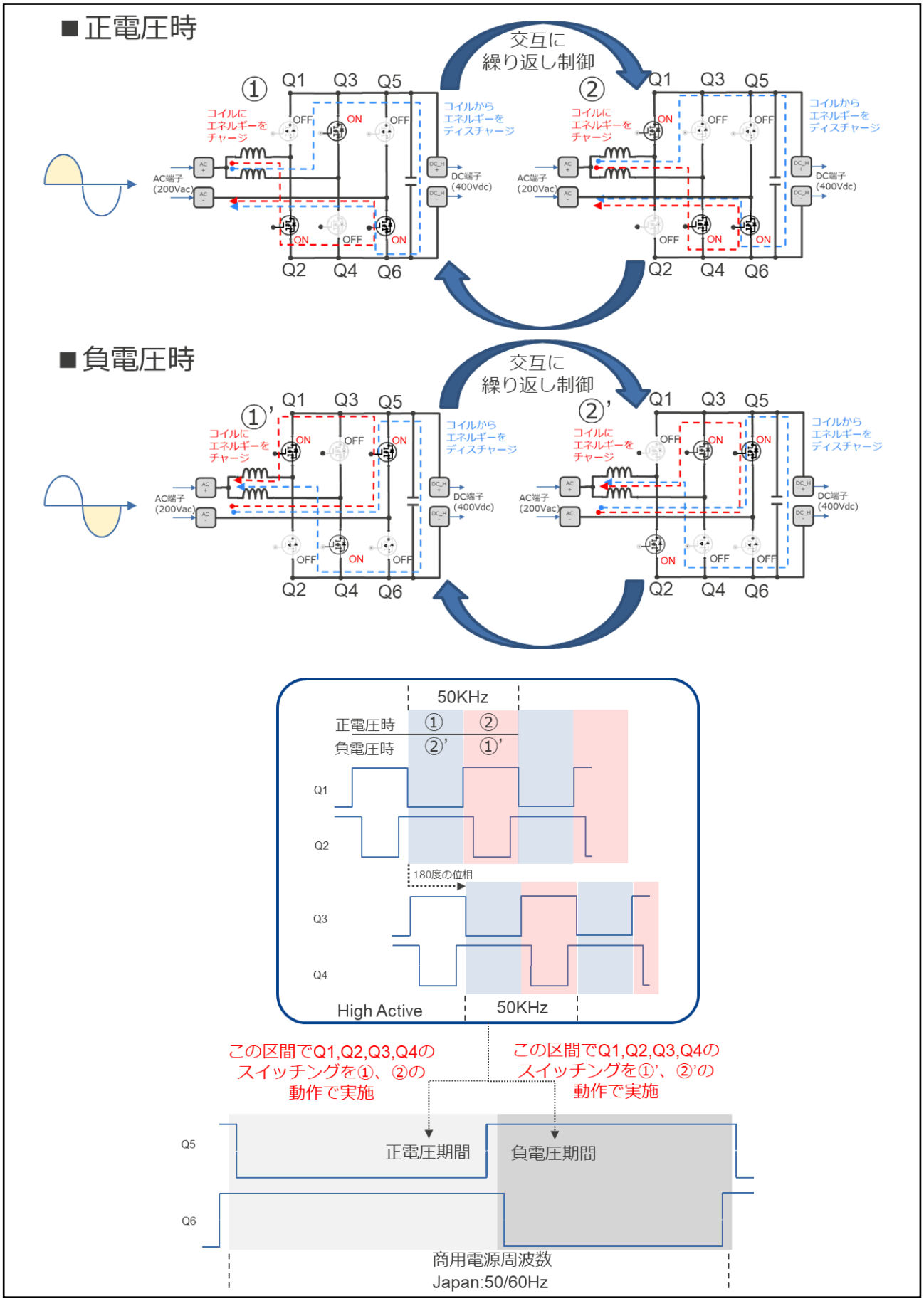


図 4 トーテムポール PFC(インターリーブ型)動作とスイッチング波形

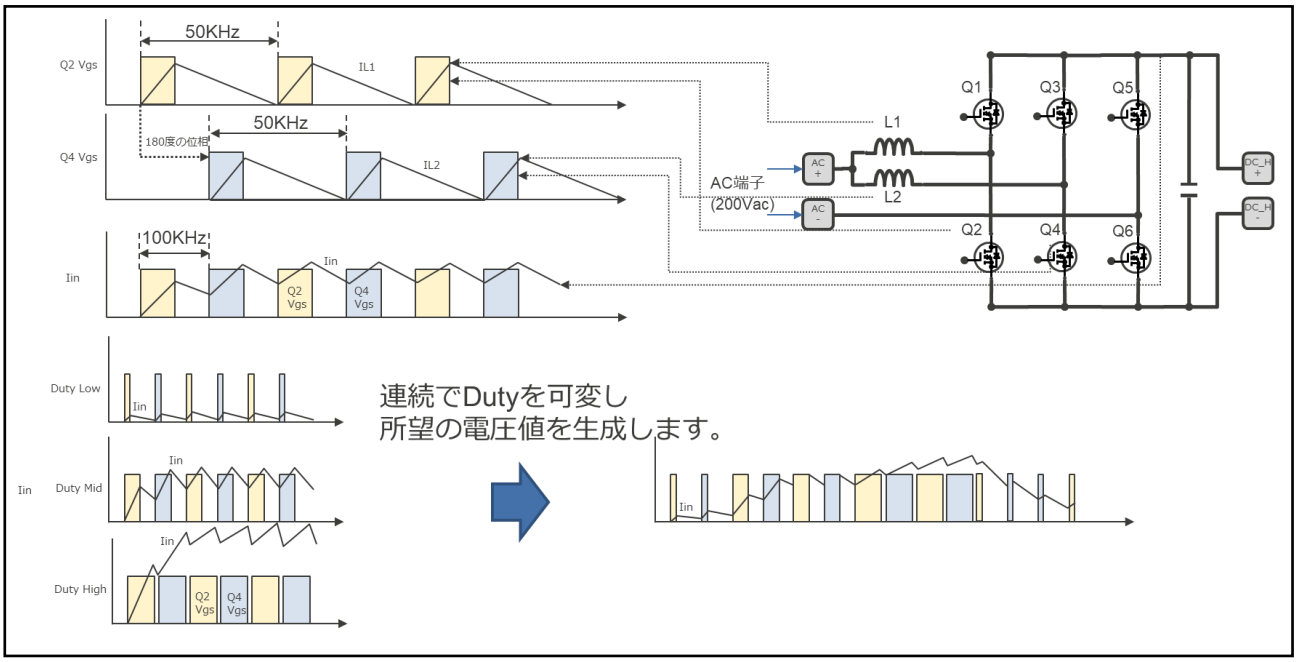


図 5 トーテムポール PFC(インターリーブ型)スイッチング波形と電流のイメージ

3. ハードウェア説明

トーテムポール PFC ボードは、50Hz 100V 100W 電源ボードキットの Base Board 上で動作するボードで、表 3 に示す 3 枚のボードからなるシステムです。Base Board は電源ラインを各種コンバータ(AC-DC, DC-DC)、インバータボード(DC-AC)を挿すベースボードですが、本アプリケーションノートでは AC-DC コンバータボード(トーテムポール PFC ボード)のみ搭載し RX66T CPU Card、もしくは RX26T CPU Card により制御します。トーテムポール PFC ボードのハードウェア仕様を**表 4** に示します。

表 3 使用ボード一覧

No.	ボード名称	型名	備考
1	CPU Card (右から選択)	P05701-C0-038	R5F566TEADFH 搭載 CPU 評価ボード
		P05701-C0-068	R5F526TFDGFP 搭載 CPU 評価ボード
2	Base Board	P13178-C0-001	各種電源ボードを挿すベースとなる電源ボード
3	AC-DC Board	P13178-C0-005	AC-DC コンバータボード(トーテムポール PFC ボード)

表 4 トーテムポール PFC ボードハードウェア仕様

項目	仕様	備考
入力電圧	230Vrms	系統電圧
出力電圧	400V	直流、PFC 出力
PFC 方式	トーテムポール方式	インターリーブ
PFC スイッチング周波数	50kHz	インターリーブ(1 PFC=50kHz))
デッドタイム	2us	
力率	MAX 99%以上	300W 以上
効率	MAX 95%以上	300W 以上(突入防止抵抗なし)
保護	PFC 出力電圧過電圧保護	430V
	PFC 電流過電流保護(ソフト)	10A
	PFC 電流過電流保護(ハード)	15A (POE 保護)
状態表示	7Seg 方式＋LED 表示	エラー情報、動作状態表示 (Base Board で表示)

3.1　ハードウェア構成

本アプリケーションノートで使用する 50Hz 100V 100W 電源ボードキットの Base Board と、トーテムポール PFC ボード、および RX66T/RX26T CPU CARD の構成図を図 6 に、各々ボードの外観図を図 7～図 9 に、Base Board コネクタを表 5 に示します。

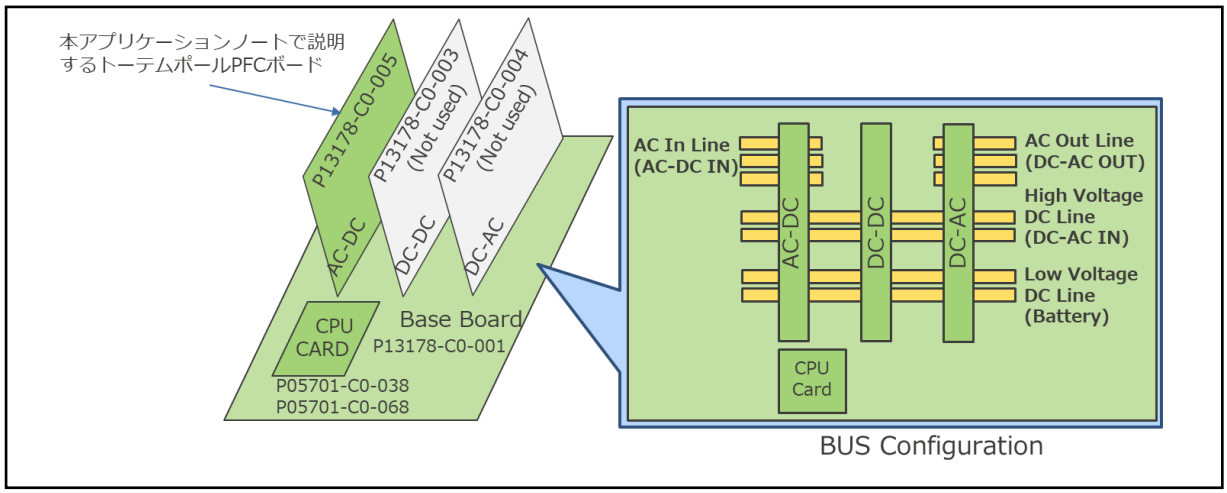


図 6 ボード構成図

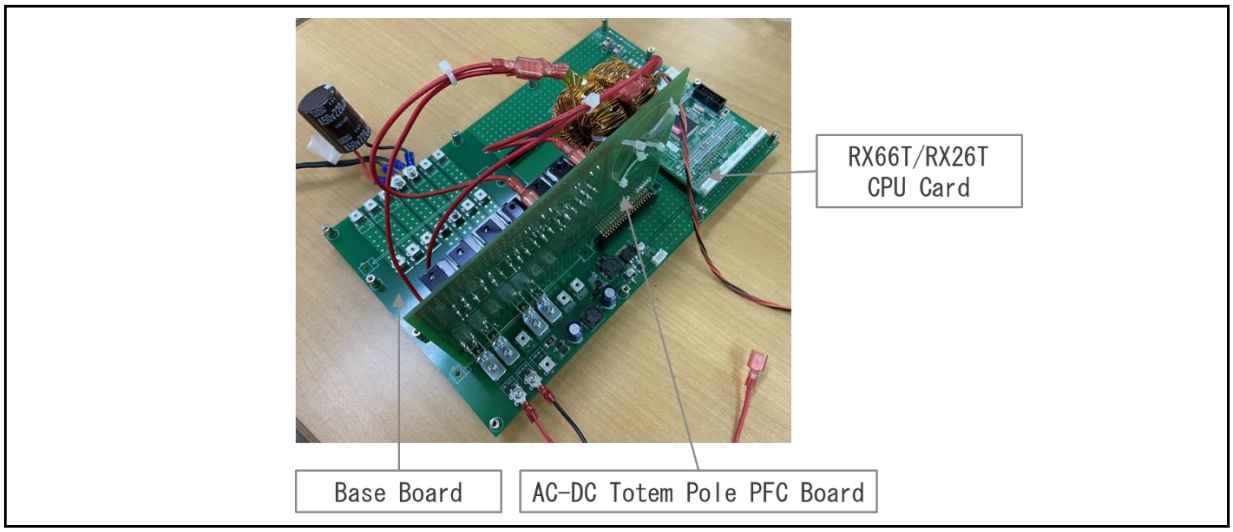


図 7 全体構成外観図

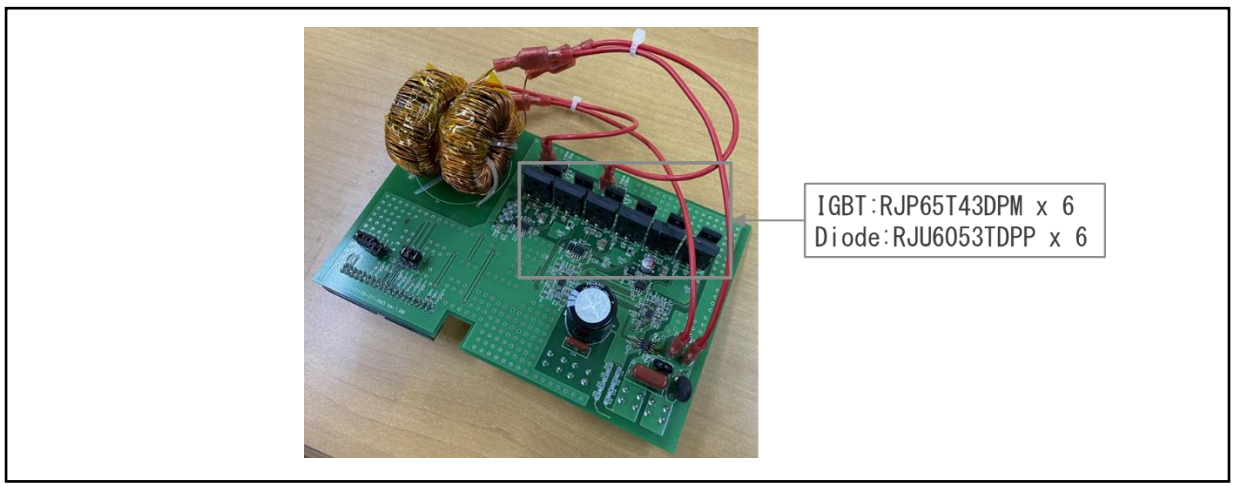


図 8 トーテムポール PFC ボード外観図

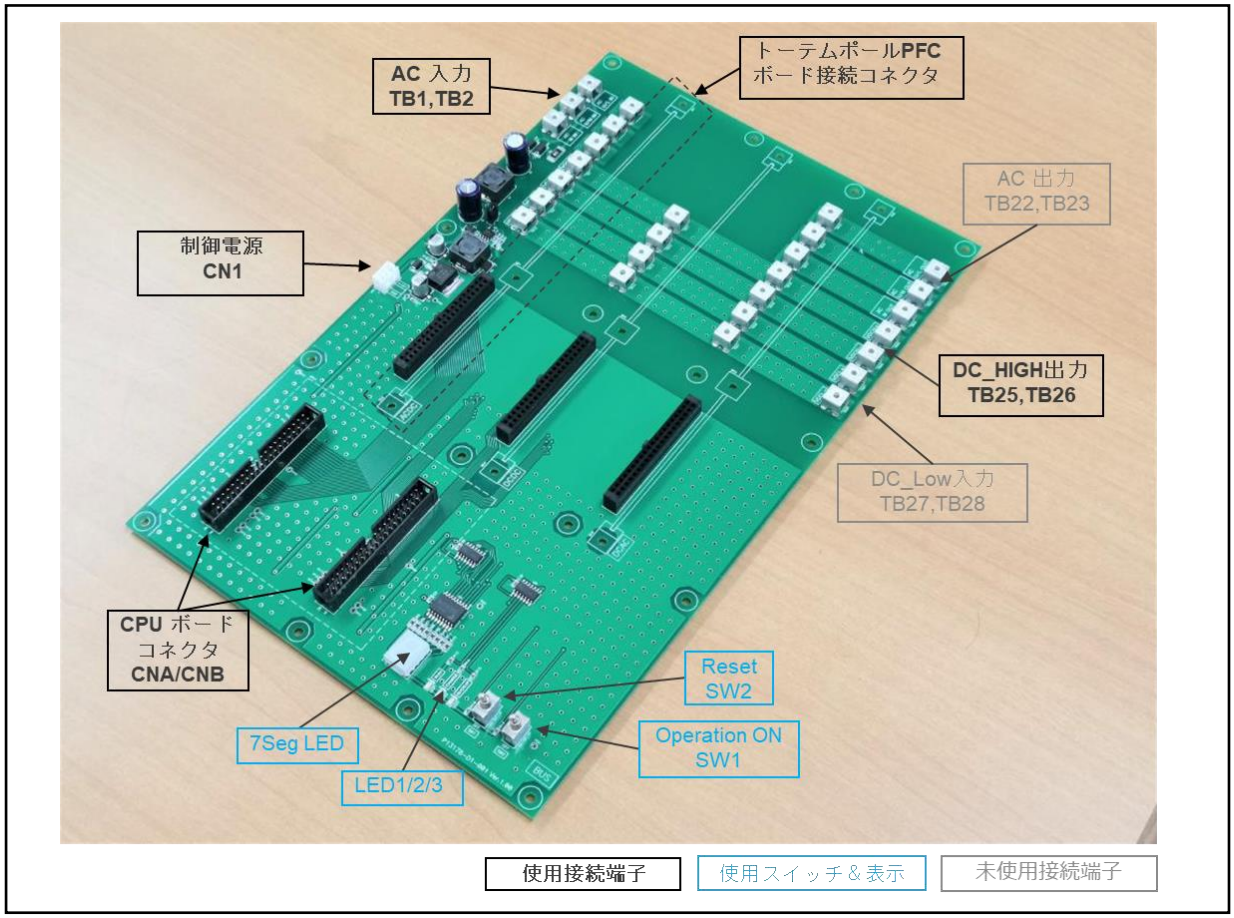


図 9 ベースボード外観図

表 5 ベースボードのコネクター覧

端子名	定義	備考
TB1	AC_U/ACL	ACL 入力
TB2	AC_V/ACN	ACN 入力
TB25	VDCH＋	PFC 出力
TB26	VDCH-	PFC 出力
CNA/CNB	CPU ボード接続	RX66T (P05701-C0-038) OR RX26T (P05701-C0-068)

3.2　MCU 機能接続構成

MCU 機能接続構成を図 10 に示します。

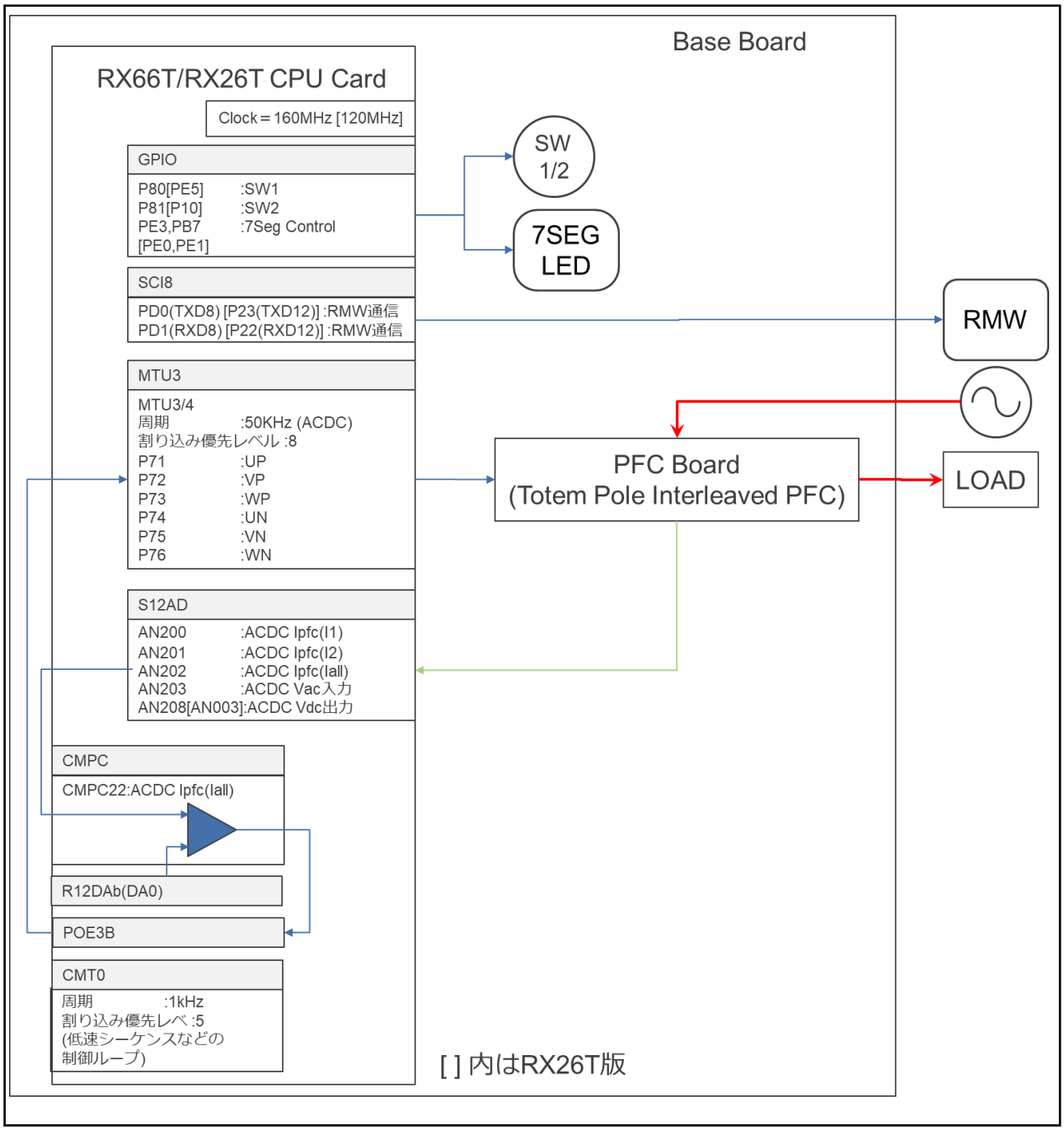


図 10 MCU 機能接続構成図

3.3　MCU 周辺機能

本システムで使用する RX66T/RX26T の周辺機能一覧を表 6 に示します。

表 6 使用周辺機能一覧表

MCU モジュール	機能
12 ビット AD(S12ADH)	PFC1/2 電流検知(S12AD2-AN200, AN201, AN202) AC 入力電圧検知(S12AD2-AN203) PFC 出力直流電圧検知(S12AD2-AN208[RX26T:S12AD-AN003])
インターバルタイマ(CMT)	1ms インターバルタイマ(CMT0)
PWM 出力タイマ(MTU3d)	50kHz 相補 PWM 出力—(PFC 制御 MTU3/4)
コンパレータ(CMPC)	S12AD2 の AN202 と基準電圧の R12DAb(DA0)と比較し、基準値を超えた場合、 イベント信号を POE3b に出力(CMPC22)
12 ビット DA(R12DAb)	CMPC の基準電圧生成(DA0)
ポートアウトプットイネーブル(POE3b)	CMPC のイベント信号により(PFC リミット電流を超えた場合)、 PFC 駆動(MTU3d の MTU3/4)を停止

3.4　端子インタフェース

本システムで使用する RX66T/RX26T の端子インタフェースを表 7 に示します。

表 7 RX66T/RX26T 端子インタフェース

モジュール名	使用リソース	RX66T 端子名	RX26T 端子名	機能
GPIO		P80	PE5	SW1
		P81	P10	SW2
		PE3, PB7	PE1, PE0	7Seg Control(LED 含め)
SCI	SCI8 [SCI12]	PD0(TXD8)	P23 (TXD12)	RMW 通信(送信)
		PD1(RXD8)	P22 (RXD12)	RMW 通信(受信)
MTU3d	MTU3/4	P71(MTIOC3B)		PFC UP (Fast LEG1)
		P72(MTIOC4A)		PFC VP (Fast LEG2)
		P73(MTIOC4B)		PFC WP (Slow LEG)
		P74(MTIOC3D)		PFC UN (Fast LEG1)
		P75(MTIOC4C)		PFC VN (Fast LEG2)
		P76(MTIOC4D)		PFC WN (Slow LEG)
S12ADH	S12AD2	P52 (AN200)		Ipfc (I1)
		P53 (AN201)		Ipfc (I2)
		P54 (AN202)		Ipfc (All)
		P55 (AN203)		Vac
		P62 (AN208)	P43 (AN003)	Vdc

3.5　ユーザインタフェース

本システムのユーザインタフェース一覧を表 8 に、エラー内容一覧を表 9 に示します。

表 8 ユーザインタフェース一覧

項目	インタフェース部品	機能
運転スイッチ	トグルスイッチ（SW1）	起動／停止の指令 ON ：起動 OFF：停止
リセットスイッチ	トグルスイッチ（SW2）	リセット入力 OFF⇒ON ： リセット入力
運転表示	赤色 LED1	起動中/停止 or エラーの表示 点灯：起動中 消灯：停止 or エラー
エラー状態表示	7Seg LED	エラーフラグ(1～255)を 1 桁/秒ずつ 5 桁表示。 エラーフラグは表 9 参照。 (例)エラー 016 (0x0010)の場合 0 表示/秒 ⇒ 1 表示/秒 ⇒ 6 表示/秒 ⇒ブランク表示/秒⇒ブランク表示/秒

表 9 エラーフラグ一覧

エラーフラグ表示	エラー内容	設定値	エラーフラグ(hex)
0 0 1 □ □	PFC 出力電圧過電圧保護	430V	0x0001
0 0 2 □ □	PFC 電流過電流保護(ソフト)	10A	0x0002
0 1 6 □ □	PFC 電流過電流保護(ハード)	15A (POE 保護)	0x0010

□：ブランク表示

4.　ソフトウェア説明

本アプリケーションノートのソフトウェア処理は、AC-DC コンバータ制御部(トーテムポールインターリーブ PFC)、およびユーザインターフェース制御部に分かれます。ユーザインターフェース制御部はトーテムポールインターリーブ PFC を制御する上で必要となる各種パラメータの設定、およびモータ制御開発支援ツール「Renesas Motor Workbench」との通信などを実施します。トーテムポールインターリーブ PFC 部はスイッチングデバイスをスイッチングする為の相補 PWM 出力を負荷状態に合わせて実施します。
ソフトウェアのモジュール構成を図 11 に示します。

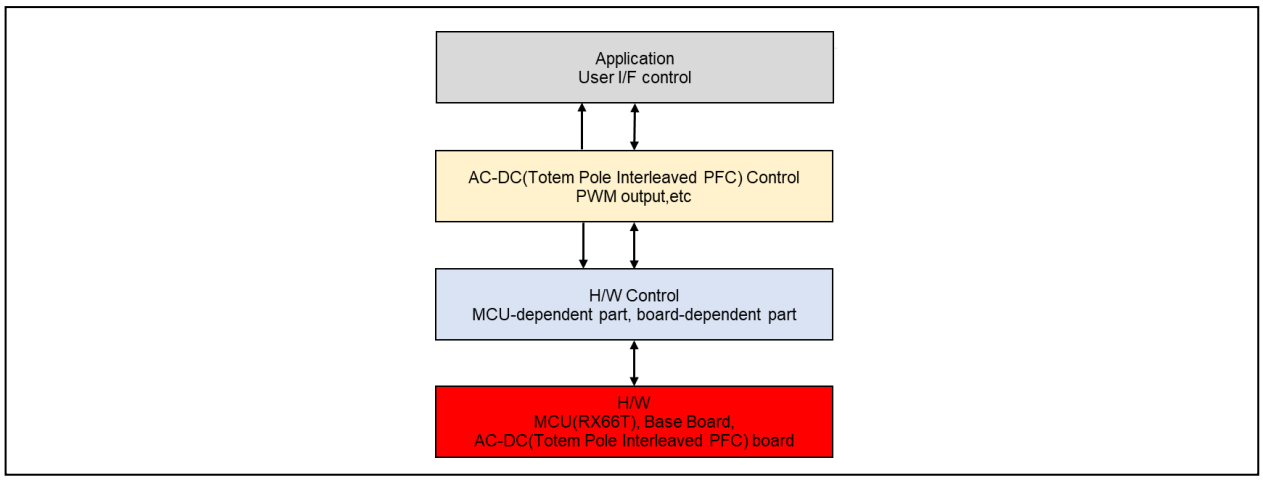


図 11 モジュール構成

4.1　ソフトウェア構成

フォルダ・ファイル構成を表 10 に示します。

表 10 フォルダ・ファイル構成

フォルダ名	ファイル名	内容
src	main.c	メイン関数、ユーザインタフェース制御
	intprg.c	割込みハンドラ
	r_pwr_control.c	初期化処理
	r_pwr_interrupt.c	割込み処理
	r_pwr_Sequence.c	シーケンス制御
	r_pwr_pfc_ctrl.c	PFC 制御ソフト
	r_pwr_control.h	エラーパラメータ関連定義
	r_pwr_interrupt.h	制御パラメータ定義
	r_pwr_Sequence.h	シーケンスパラメータ関連定義
	r_pwr_pfc_ctrl.h	PFC 用パラメータ定義
src¥REL_src	resetprg.c	パワーオン時処理
	dbsct.c	B,R セクション設定
	sbrk.c	メモリアロケーション処理
	vecttbl.c	ベクタテーブル初期化処理
	iodefine.h	IO レジスタ定義
	sbrk.h	アロケーションサイズ定義
	stacksct.h	スタックエリアサイズ定義
	typedefine.h	型定義
	vect.h	ベクター定義
src¥PWR_IOLIB	r_pwr_IOLIB_AD.c	S12ADH 関連処理
	r_pwr_IOLIB_CLOCK.c	動作クロック設定処理
	r_pwr_IOLIB_CMT.c	CMT 関連処理
	r_pwr_IOLIB_INV_MTU_AD.c	MTU3d 関連処理
	r_pwr_IOLIB_IO.c	I/O 関連処理[RX26T 版のみ]
	r_pwr_IOLIB_IWDT.c	IWDT 関連処理
	r_pwr_IOLIB_POE.c	POE3B 関連処理
	r_pwr_MATHLIB.c	算術演算関連定義
	r_pwr_IOLIB.h	MCU 依存部定義
	r_pwr_MATHLIB.h	算術演算関連定義
src¥ICS_LIB	ICS2_RX66T.h[ICS2_RX26T.h]	RMW ツール用通信関連定義
	ICS2_RX66T.lib[ICS2_RX26T.lib]	RMW ツール用通信ライブラリ

4.2　状態遷移

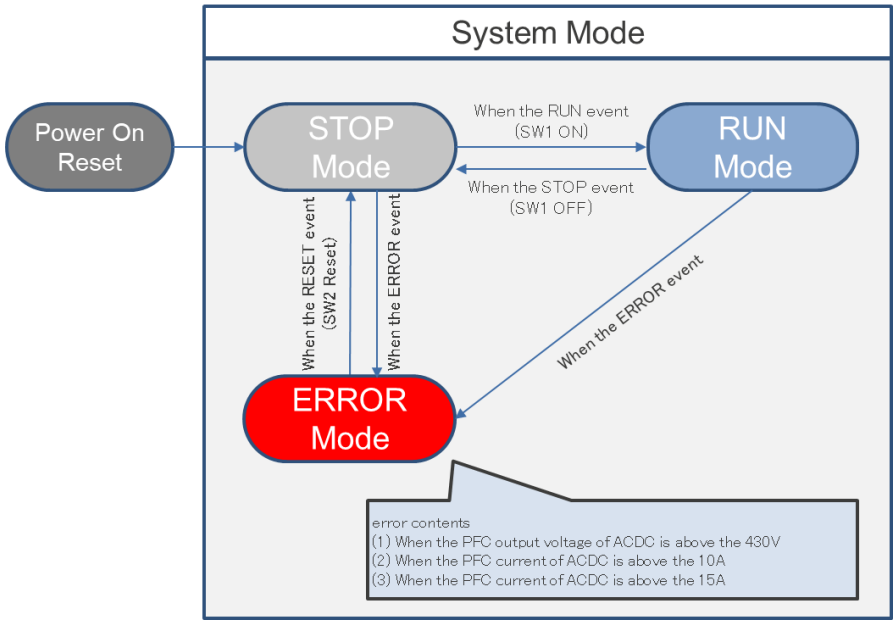
本アプリケーションノート対象ソフトウェアにおける状態遷移図を図 12 に示します。本アプリケーションノート対象ソフトウェアでは、「STOP Mode」、「ERROR Mode」、「RUN Mode」の 3 つのモードでシステム状態を管理します。動作内容を以下に示します。

■通常動作時

(1) 電源投入すると、「Power On Reset」を経由し、「STOP Mode」に遷移し、待機状態となります。
(2) SW1 ON で「RUN Mode」に遷移し、AC-DC コンバータ制御(トーテムポールインターリーブ PFC 回路)を実行します。
(3) SW1 OFF で全ての処理を終了し「STOP Mode」に遷移し、待機状態となります。

■エラー発生時

(1) エラー発生時は、「ERROR Mode」に遷移し、「ERROR Mode」で待機状態となります。エラー内容については表 9 エラーフラグ一覧を参照ください。
(2) SW2 のリセット入力(OFF→ON→OFF)で「STOP Mode」に遷移し、待機状態となります。



		Current Mode		
		STOP (0)	RUN (1)	ERROR (2)
EVENT	STOP (0)	STOP	STOP	ERROR
	RUN (1)	RUN	RUN	ERROR
	ERROR (2)	ERROR	ERROR	ERROR
	RESET (3)	STOP	ERROR	STOP

図 12 状態遷移図

4.3　制御内容

本アプリケーションノートのソフトウェア処理は、RX66T/RX26T MTU3d の MTU3/4 を相補 PWM モードに設定し U/V/W 相を出力します。U 相は高速 LEG の PFC1、V 相は高速 LEG の PFC2 とし 180 度ずらした相補 PWM 波形として使用します。W 相は低速 LEG の駆動用とし商用電源の周波数(日本では 50/60Hz)で駆動します。PFC の駆動はデジタル制御で、フィードフォワード制御と PI 制御を合わせて、デューティの計算を行っております。

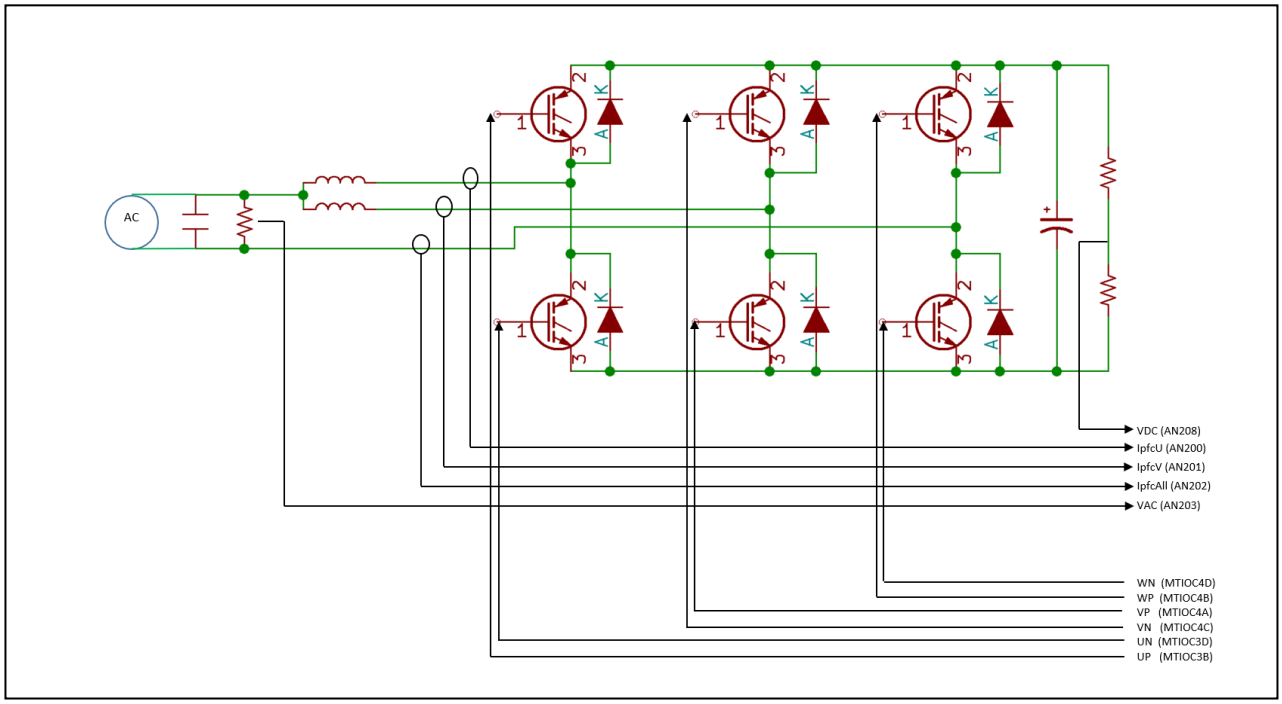
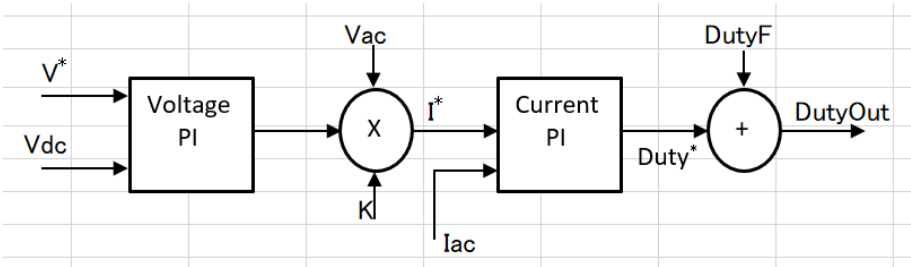


図 13 AC-DC コンバータ(トーテムポールインターリーブ PFC)制御部の回路構成と制御信号結線図



V*　　：電圧指令値
Vdc　　：実際の出力電圧(直流)
Vac　　：AC 入力電圧
K　　：電流指令値計算係数
I*　　：電流指令値
Iac　　：PFC 電流 Ipfc
Duty*　：電流 PI から出力した変調率
DutyF　：Feed Forward で計算した変調率
DutyOut：実際のデューティ出力

図 14 AC-DC 制御ロジック図

4.4　関数一覧

本制御プログラムの関数一覧を以下に示します。一部関数はユーザが容易に組み込める様、拡張用として準備している関数(本ソフトウェアでは不使用の関数)も含めております。不使用関数は、以下一覧表の Notes をご参照下さい。

表 11 関数一覧

File		Function				Note
Path	Name	Name	Arguments	Return Type	Overview	
src	main.c	main	void	void	Main 関数	
	r_pwr_control.c	r_pwr_User_Ctrl_Init	void	void	パラメータ初期化	
		r_pwr_User_CustomIO_init	void	void	IO ポートの初期化	
		r_pwr_Seg_Control	uint16_t data	void	7seg 表示用関数	
	r_pwr_interrupt.c	interrupt_CMT0	void	void	1kHz 割込み、入力、エラー表示、シーケンス処理	
		interrupt_MTU34_carrier	void	void	50kHz 割込み処理、AD 確認、PWM 出力設定、エラー確認	
		r_pwr_check_error_curloop	void	void	エラーチェック	
		r_pwr_error_stop	void	void	エラー処理	
	r_pwr_Sequence.c	r_pwr_SEQ_Exec_Event	uint8_t ucEvent	void	イベント処理関数	
		r_pwr_SEQ_Act_Run	uint8_t ucState	uint8_t	RUN イベント処理	
		r_pwr_SEQ_Act_Stop	uint8_t ucState	uint8_t	STOP イベント処理	
		r_pwr_SEQ_Act_None	uint8_t ucState	uint8_t	NONE イベント処理	
		r_pwr_SEQ_Act_Reset	uint8_t ucState	uint8_t	RESET イベント処理	
		r_pwr_SEQ_Act_Error	uint8_t ucState	uint8_t	ERROR イベント処理	
		r_pwr_SEQ_Init_Start	void	void	イベント起動時処理	
		r_pwr_Seq_Init	void	void	シーケンス初期化	
	r_pwr_pfc_ctrl.c	r_pwr_Pfc_Control	void	void	PFC 制御関数	
		r_pwr_User_Pfc_Init	void	void	PFC 初期化処理	
		r_pwr_abs	float	float	abs 関数	
src¥PWR_IOLIB	r_pwr_IOLIB_AD.c	r_pwr_ad_S12AD0_init	uint16_t mode	void	S12AD 初期化	
		r_pwr_ad_S12AD1_init	uint16_t mode	void	S12AD1 初期化	
		r_pwr_ad_S12AD2_init	uint16_t mode	void	S12AD2 初期化	
		r_pwr_ad_S12AD0_set_channel	uint32_t ch_list	void	S12AD チャネル設定	

		r_pwr_ad_S12AD1_set_channel	uint32_t ch_list	void	S12AD1 チャネル設定	
		r_pwr_ad_S12AD2_set_channel	uint32_t ch_list	void	S12AD2 チャネル設定	
		r_pwr_ad_S12AD0_set_range	int16_t ch, int16_t offset, float range	void	S12AD オフセット、レンジ設定	
		r_pwr_ad_S12AD1_set_range	int16_t ch, int16_t offset, float range	void	S12AD1 オフセット、レンジ設定	
		r_pwr_ad_S12AD2_set_range	int16_t ch, int16_t offset, float range	void	S12AD2 オフセット、レンジ設定	
	r_pwr_IOLIB_CLOCK.c	r_pwr_CLOCK_init	Void	void	動作クロック設定	
	r_pwr_IOLIB_CMT.c	r_pwr_interval_CMT0_init	uint16_t freq	void	CMT0 初期化	
		r_pwr_interval_CMT1_init	uint16_t freq	void	CMT1 初期化	Not used
		r_pwr_interval_CMT2_init	uint16_t freq	void	CMT2 初期化	Not used
		r_pwr_interval_CMT3_init	uint16_t freq	void	CMT3 初期化	Not used
	r_pwr_IOLIB_INV_MTU_AD.c	r_pwr_tppfc_MTU34_init	uint32_t usFreqCarrier, uint32_t usDeadtime, uint32_t usDecimation	void	AC-DC(PFC)制御 PWM 用 MTU3/4 初期化	
		r_pwr_tppfc_MTU34_set_uvw_3shunt	float refu, float refv, float refw	void	AC-DC(PFC)制御 PWM 用 MTU3/4 コンペア値設定	
		r_pwr_tppfc_CMPC2_DA_init	void	void	ipfc 検知用 CMPC2,DA0 の初期化(出力遮断用 POE 向け)	
		r_pwr_tppfc_poe3_init	void	void	POE3 初期化	
	r_pwr_IOLIB_IO.c	r_pwr_User_CustomIO_init	void	void	IO ポートの初期化 [RX66T 版は r_pwr_control.c に含む]	
	r_pwr_IOLIB_IWDT.c	r_pwr_IWDT_init	void	void	IWDT 初期化	Not used

	r_pwr_MATHLIB.c	r_pwr_limit_PN	float data, float limitp, float limitn	float	データレンジ制限処理	
		r_pwr_limit	float data, float limit	float	負データレンジ制限処理	
		r_pwr_Inv_Calc_Lpf	float * input_lpf, float input, float k_filter	void	LPF 計算処理	
src¥REL_src	resetprg.c	PowerON_Reset_PC	void	void	パワーオンリセット処理	
	sbrk.c	sbrk	size_t size	_SBYTE *	メモリエリアアロケーション処理	

4.5　変数一覧

本制御プログラムで使用するグローバル変数一覧を次に示します。

表 12 変数一覧

File Name	Variable Name	Overview
r_pwr_interrupt.c	g_u1_Error_Status	コマンド入力エラー表示用フラグ
	g_u2_ModeSystem	運転モード表示 0: STOP 1: RUN 2: ERROR
	g_u2_ModeSystem_Request	コマンド受付(運転モードをコントロールします) 0 : STOP 1 : RUN 2 : ERROR 3 : RESET
	g_u2_TimeSetting_Offset	起動時のキャリブレーション時間を設定用変数
	g_u2_TimeCnt_Offset	起動時のキャリブレーション用カウント値
	g_f_ErrLevel_OV_pfc	Pfc 出力電圧保護レベル
	g_f_ErrLevel_OC_pfc	PFC 過電流保護レベル
	g_f_ACDC_Mu_Ref g_f_ACDC_Mv_Ref g_f_ACDC_Mw_Ref	AC-DC モジュール出力設定
	g_u2_ErrorFlag_CurLoop	エラーフラグ
	g_f_ACDC_IpfcAll	PFC 電流値
	g_f_ACDC_IpfcU g_f_ACDC_IpfcV	インターリーブの各相の電流
	g_f_ACDC_Vdc	PFC 出力電圧値
	g_f_ACDC_offset_IpfcU g_f_ACDC_offset_IpfcV	インターリーブの各相電流オフセット
	g_f_ACDC_offset_IpfcAll	PFC 電流オフセット

	g_f_LpfFactor_CurrentOff	オフセット計算時のフィルタ係数
	g_f_ACDC_Vac	AC-DC の入力 AC 電圧
	g_f_ACDC_Vac_Plus	AC 電圧の絶対値
	g_f_VacTemp_New g_f_VacTemp_Old	AC 電圧オフセット計算用バファ
	g_u2_Cnt_VacOffset	AC 電圧オフセット計算用カウント
	g_f_ACDC_offset_Vac	AC 電圧オフセット
	g_f_Offset_VacSum	AC 電圧オフセット累計値
	g_u2_Enable_VacOffset	AC 電圧オフセット計算時用フラグ
	g_f_Offset_Lpf_Vac	AC 電圧オフセット用フィルタ値(平均フィルタ式)
	g_u2_Cnt_Offset_Lpf_Vac	AC 電圧オフセットフィルタ用カウント値(平均フィルタ式)
	g_ics_cnt	RMW 表示用間引きカウント値
	g_position_trigger	AD サンプリングトリガタイミング設定値
	g_u2_poe_flag	poe エラー時のフラグ
	g_u2_seg_data	7Seg 表示用データ
	g_u2_seg_time	7Seg 表示周期用カウント値
	g_u2_seg_error_temp	7Seg 表示データのエラー部分のバファ値
	g_u2_led1_display g_u2_led2_display g_u2_led3_display	LED1/2/3 表示用データ
	g_u2_sw1_status g_u2_sw2_status_old g_u2_sw2_status	SW1/2 入力データ
r_pwr_pfc_ctrl.c	g_f_Vref_Pfc	PFC 出力指令値
	g_f_Vref_Pfc_Temp	PFC 出力指令のバファ(ソフトスタート用)
	g_f_Vref_Pfc_Ripple	PFC 出力プラス側のリプルの最大許容値
	g_f_KpFactor_Vpfc g_f_KiFactor_Vpfc	PFC 電圧制御 PI ゲイン
	g_f_I_Pfc_Limit	PFC 電流指令値リミット
	g_f_I_Pfc_Refi g_f_I_Pfc_RefOver	PFC 電圧 PI 出力の積分項と過剰項
	g_f_I_Pfc_Ref	PFC 電流指令値
	g_f_KpFactor_Ipfc g_f_KiFactor_Ipfc	PFC 電流制御 PI ゲイン
	g_f_Duty_Pfc_Limit	PFC デューティリミット
	g_f_Iref_Pfc	PFC 電流指令値(正弦波状波形)
	g_f_Duty_Pfc_Refi	PFC 電流制御出力の積分項
	g_f_Duty_Pfc_Ref	PFC 電流制御で計算された出力デューティ
	g_f_Duty_FF_buf	FF 制御で計算されたデューティ
	g_f_Duty_FF	PI 制御と FF 制御合わせたデューティ(リミット前)
	g_f_K_Duty_FF	FF 制御のデューティの係数
	g_f_PFC_SoftStart_Cnt	ソフトスタート用カウント値
	g_f_pfc_duty	PI 制御と FF 制御合わせたデューティ(リミット後)
	g_f_ACDC_Vac_Old	AC 入力電圧値バファ
	g_u2_ACDC_Enable	PFC 起動用フラグ
	g_f_ACDC_Comp_K	デッドタイム補正係数
	g_f_ACDC_Comp_Off	デッドタイム補正オフセット
	g_f_ACDC_Vac_Pfc	AC 入力電圧保存用バファ

4.6　マクロ定義一覧

本制御プログラムで使用するマクロ定義一覧を次に示します。

表 13 マクロ定義一覧

File Name	Definition	Definition Value	Overview
r_pwr_pfc_ctrl.h	CTRL_ACDC_VDC_REF	400	PFC 出力電圧設定
r_pwr_interrupt.h	SEG_TIME_ALL	5000	7SEG 表示する時の全体時間を設定します。3 秒以下設定しないこと。時間＝設定値／1000
r_pwr_control.h	FLAG_ERROR_VDC_OV	0x0001	過電圧エラーフラグ
	FLAG_ERROR_IPFC_OC	0x0002	ソフト過電流エラーフラグ
	FLAG_ERROR_POE	0x0010	ハード過電流エラーフラグ

4.7　制御フロー

4.7.1　メイン処理

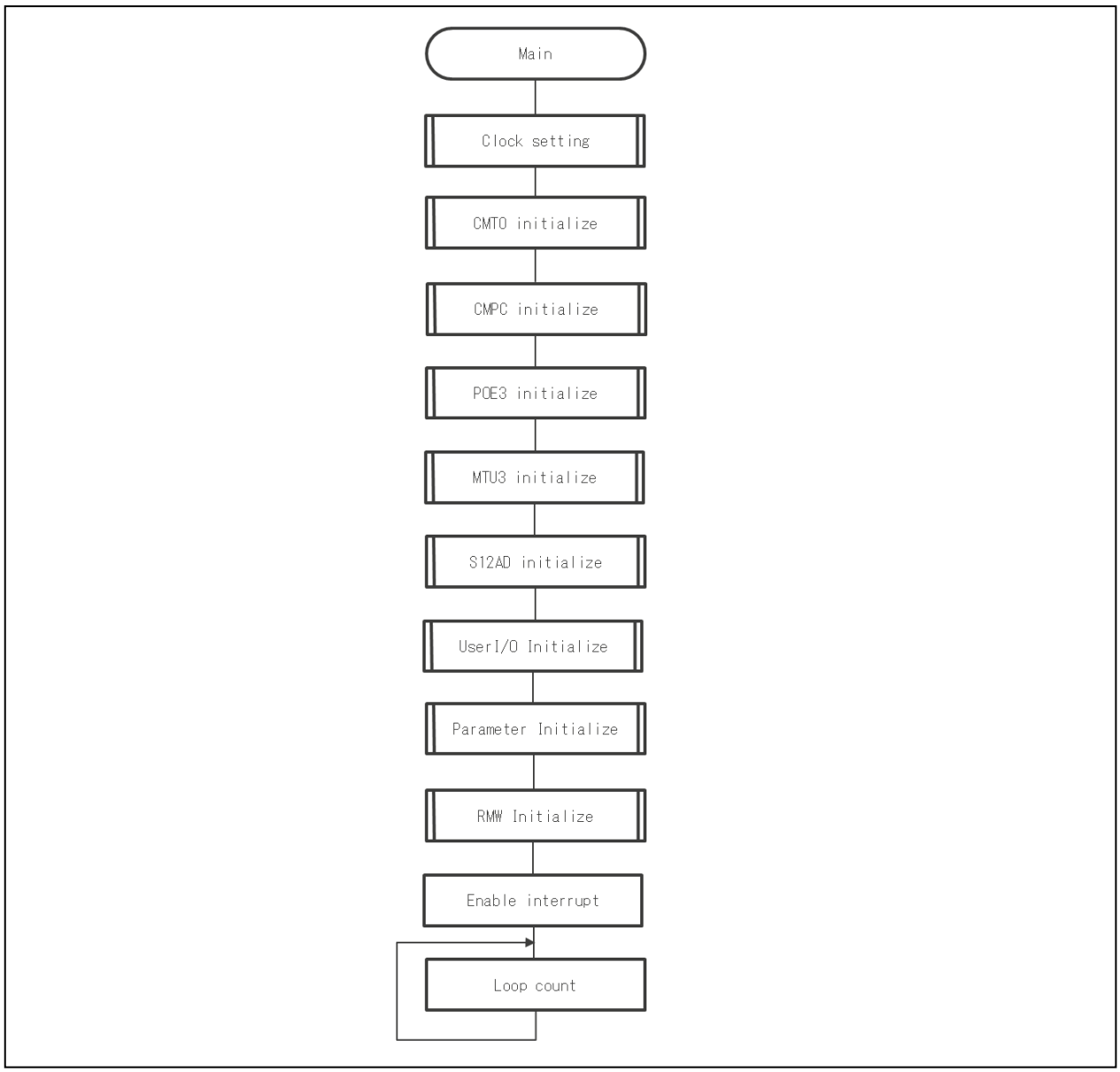


図 15 メイン処理

4.7.2　1kHz 周期シーケンス処理

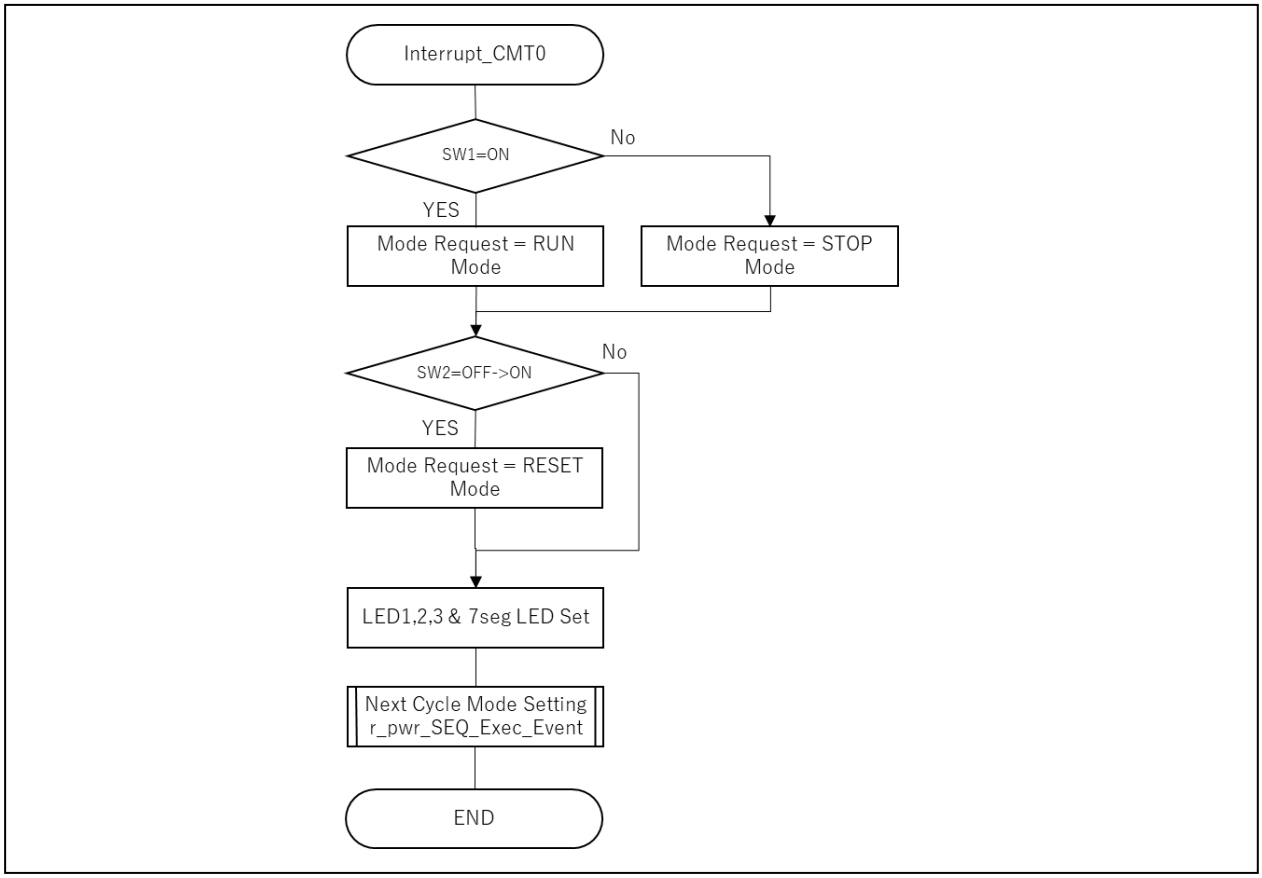


図 16 1kHz 周期シーケンス処理(CMT0 割込み処理)

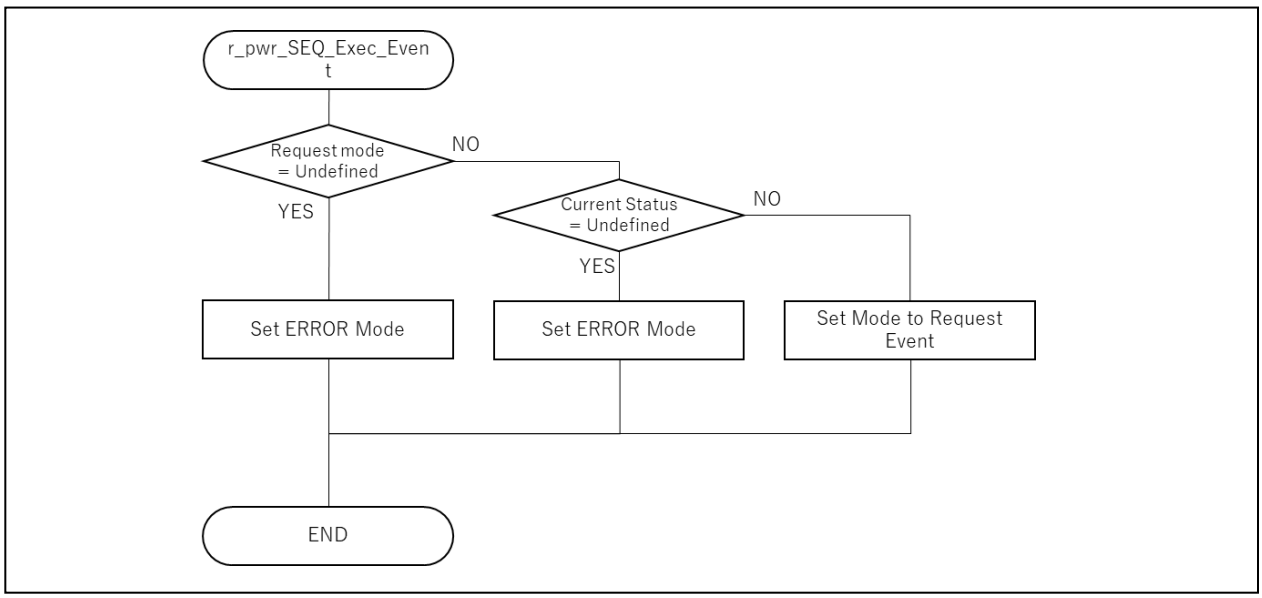


図 17 次サイクル モード設定処理

4.7.3 50kHz 周期システム制御処理

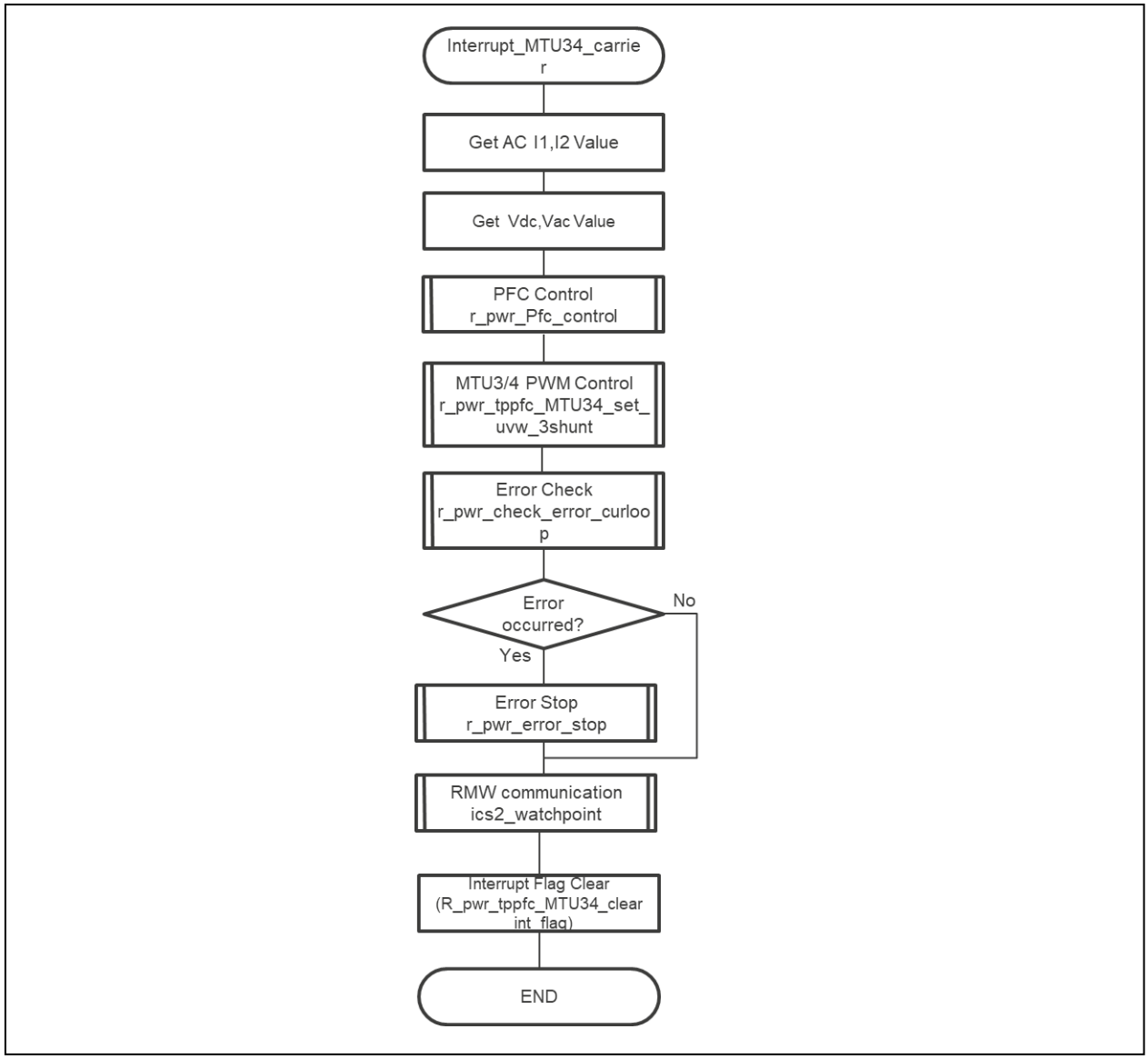


図 18 50kHz 周期システム制御処理(MTU3/4 割込み処理)

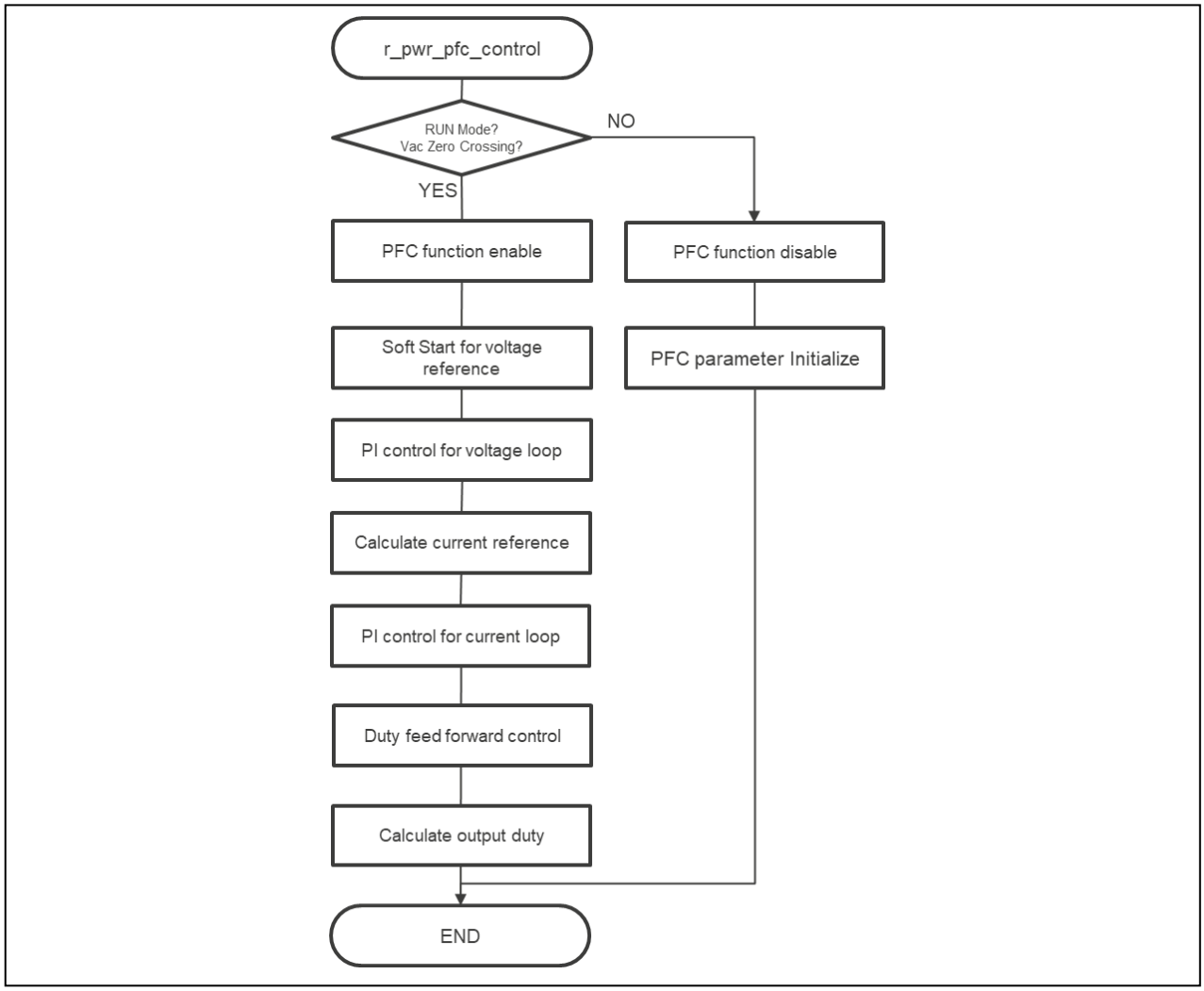

r_pwr_pfc_control
RUN Mode?
Vac Zero Crossing?
NO
YES
PFC function enable
PFC function disable
Soft Start for voltage reference
PFC parameter Initialize
PI control for voltage loop
Calculate current reference
PI control for current loop
Duty feed forward control
Calculate output duty
END

図 19 PFC 制御処理

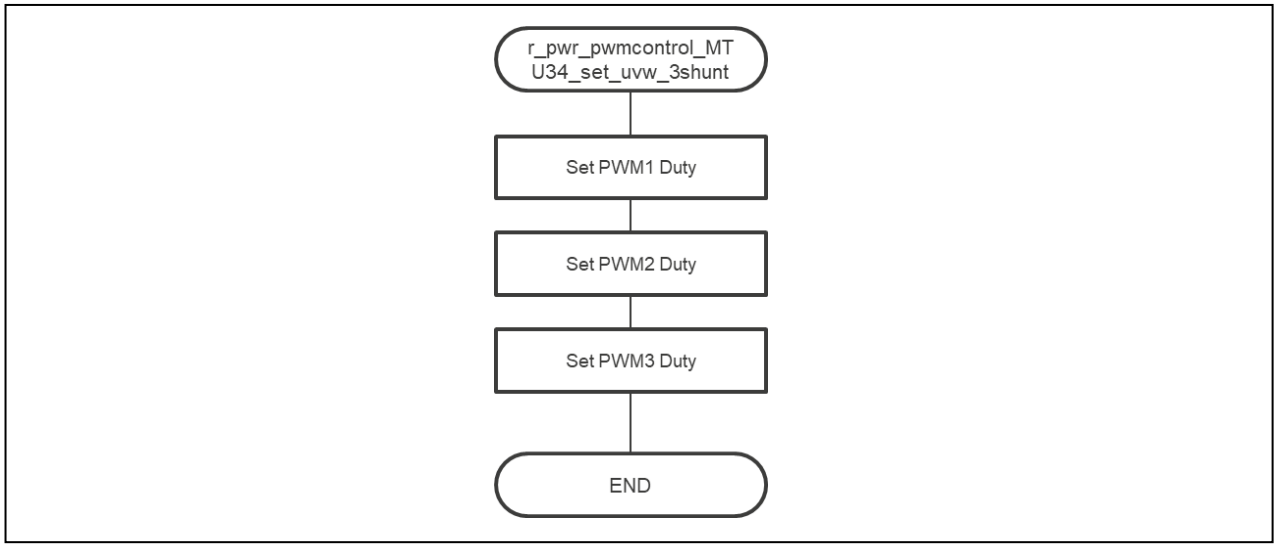


図 20 MTU3/4 Duty 設定処理

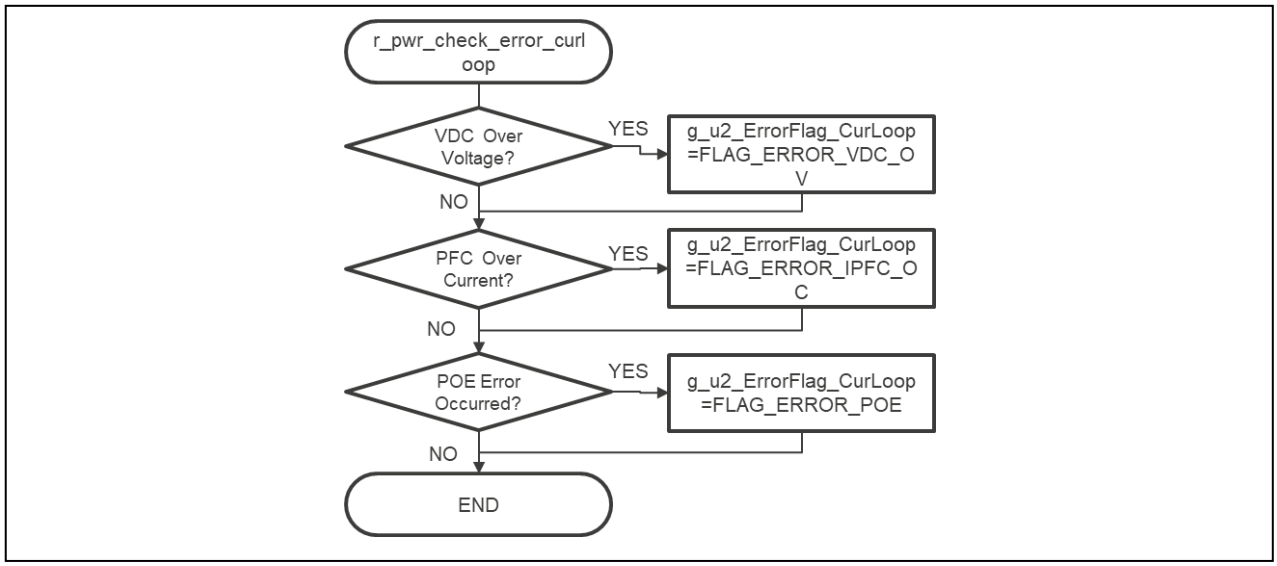


図 21 現周期エラーチェック処理

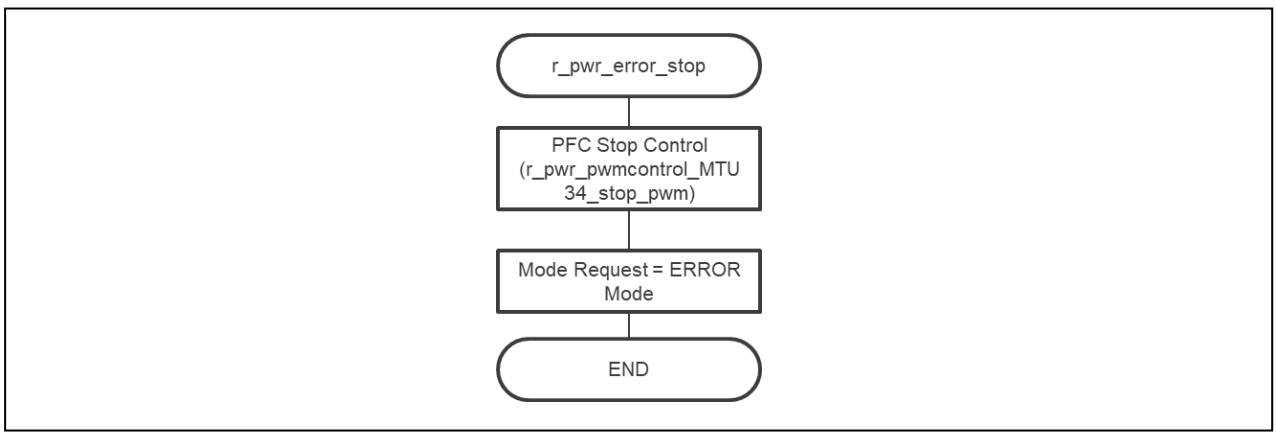


図 22 エラーストップ処理

5.　モータ制御開発支援ツール「Renesas Motor Workbench」

5.1　概要

本アプリケーションノートの対象ソフトウェアでは、モータ制御開発支援ツール「Renesas Motor Workbench 」を状態モニタとして使用します。モニタ可能な変数については 4.5 変数一覧を参照してください。図 23 に「Renesas Motor Workbench」の使用環境を、図 24 に「Renesas Motor Workbench」のウィンドウ外観図を示します。使用方法などの詳細は「Renesas Motor Workbench ユーザーズマニュアル（R21UZ0004）」を参照してください。また、モータ制御開発支援ツール「Renesas Motor Workbench」は弊社 WEB サイトより入手してください。

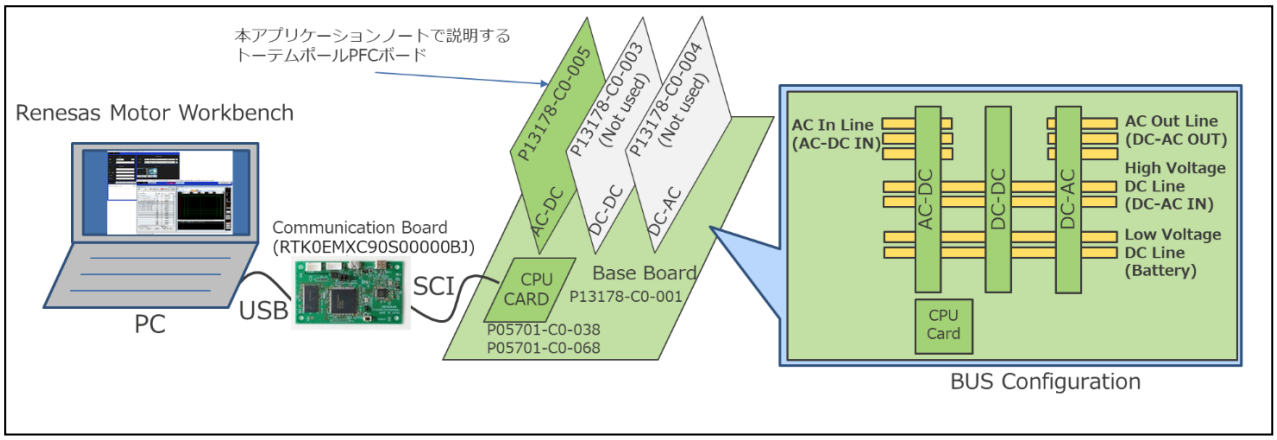


図 23 Renesas Motor Workbench 使用環境

図 24 Renesas Motor Workbench 外観

① ツールアイコン

をクリックしツールを起動する。
② Main Panel の MENU バーから、[RMTFile] → [Open RMT File(O)]を選択。
プロジェクトフォルダの“ics”フォルダ内にある RMT ファイルを読み込む。
③ “Connection”の COM で接続されたキットの COM を選択する。
④ Select Tool 右上の”Analyzer”ボタンをクリックし、Analyzer 機能画面を表示する。

5.2 Analyzer 変数一覧

Analyzer ユーザインタフェース使用時の波形表示用変数は、グローバル変数が対象となります。
対象となる変数は表 12 変数一覧を参照ください。

6.　測定データ

本アプリケーションノートのトーテムポール PFC の効率、および力率の測定結果を 6.1 に、応答試験結果を 6.2 に示します。

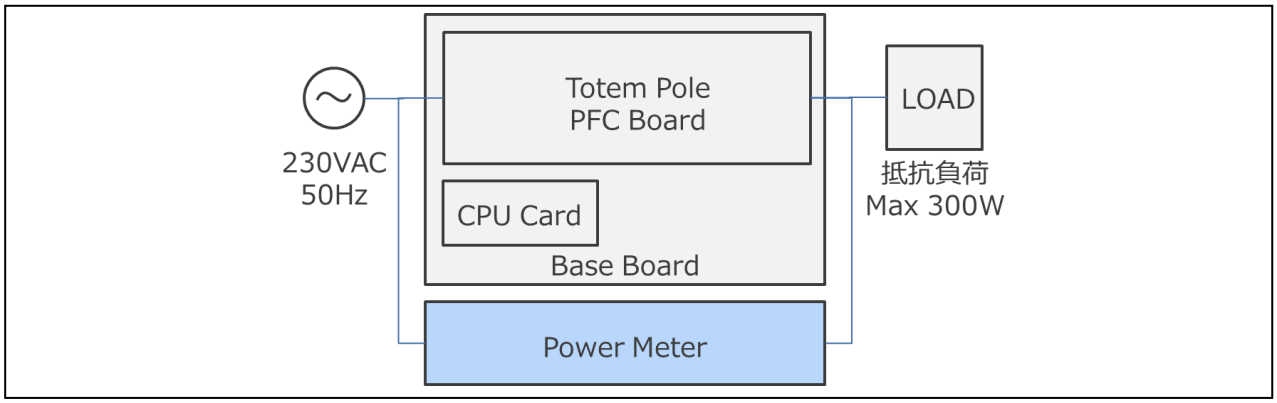


図 25 230V/100V 入力時の電流波形

6.1　効率、力率測定結果

■測定条件
・負荷は純粋な抵抗負荷となります。
・出力電圧は 400V に設定。
・NTC サーミスタ有/無両方で測定。

220V 入力時は、出力パワー約 300W 時、および約 155W 時における力率、効率を、100V 入力時は、出力パワー約 155W 時における力率、効率を測定し、230V 時は、力率 99%以上、効率約 94%を、100V 時は、力率 99%以上、効率約 90%を達成しております。NTC サーミスタ有時の測定結果を表 14 に、NTC サーミスタ無時の測定結果を表 15 に示します。また測定時の電流波形を図 26 に示します。

表 14 NTC サーミスタ有時の力率、効率測定結果

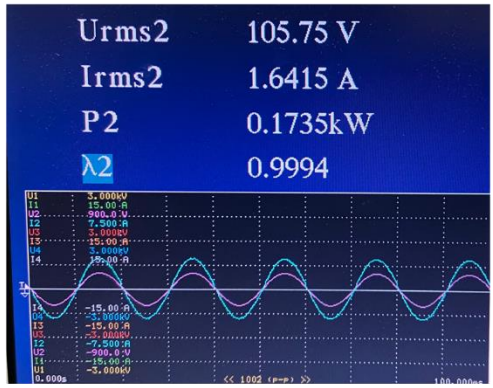
入力電圧(Vrms)	入力パワー(W)	出力パワー(W)	力率(%)	効率(%)
225.27	311.7	294.7	99.61	94.55
225.63	165.8	155.7	99.00	93.9
105.74	173.5	155.7	99.94	89.74

表 15 NTC サーミスタ無時の力率、効率測定結果

入力電圧(Vrms)	入力パワー(W)	出力パワー(W)	力率(%)	効率(%)
227.2	307.8	294.2	99.61	95.58
105.77	169.1	155.5	99.88	91.96

ピンク：入力電圧(225V/div)
青：入力電流(3.75A/div)

230V入力時の電流波形



ピンク：入力電圧(225V/div)
青：入力電流(1.875A/div)

100V入力時の電流波形

Urms2：入力電圧実効値
Irms2：入力電流実効値
P2：入力パワー
λ2：力率

図 26 230V/100V 入力時の電流波形

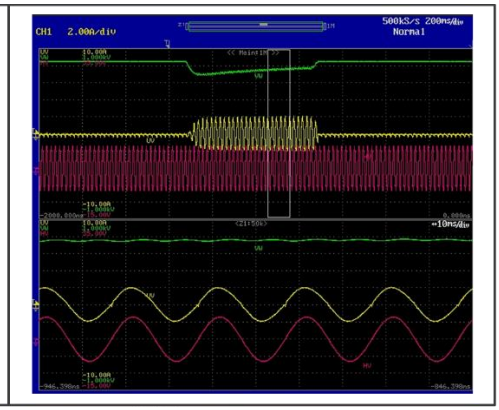
6.2　応答試験結果

直流ブレーカにて負荷を 0%⇒100%、50%⇒100%に変化させた際の波形を図 27 に示します。

0%：オープン状態 ⇒ 約 0W となります。
50%：抵抗値 991Ω ⇒ 約 155W となります。
100%：抵抗値 526Ω ⇒ 約 310W となります。

負荷が変動しても出力電圧が一定であり、AC-DC コンバータとして問題なく機能している事が判ります。

負荷を 100% ⇒ 50% ⇒ 100% に
変化させた際の動作



負荷を 0% ⇒ 100% ⇒ 0% に
変化させた際の動作

黄：入力電流(2A/div)
ピンク：入力電圧(250V/div)
緑：出力電圧(100V/div)

図 27 負荷変動時の AC 出力波形

改訂記録

Rev.	発行日	改訂内容	
		ページ	ポイント
1.00	Mar.31.23	-	初版発行
1.10	Jun.1.23	1	適用製品に RX26T、RX660 を追加
1.20	Feb.23.24	6	図 4 トーテムポール PFC(インターリーブ型)動作とスイッチング波形を修正
1.20	Feb.23.24	ALL	RX26T 版プロジェクト追加に伴い、RX26T の説明を追加

製品ご使用上の注意事項

ここでは、マイコン製品全体に適用する「使用上の注意事項」について説明します。個別の使用上の注意事項については、本ドキュメントおよびテクニカルアップデートを参照してください。

1. 静電気対策

   CMOS 製品の取り扱いの際は静電気防止を心がけてください。CMOS 製品は強い静電気によってゲート絶縁破壊を生じることがあります。運搬や保存の際には、当社が出荷梱包に使用している導電性のトレーやマガジンケース、導電性の緩衝材、金属ケースなどを利用し、組み立て工程にはアースを施してください。プラスチック板上に放置したり、端子を触ったりしないでください。また、CMOS 製品を実装したボードについても同様の扱いをしてください。

2. 電源投入時の処置

   電源投入時は、製品の状態は不定です。電源投入時には、LSI の内部回路の状態は不確定であり、レジスタの設定や各端子の状態は不定です。外部リセット端子でリセットする製品の場合、電源投入からリセットが有効になるまでの期間、端子の状態は保証できません。同様に、内蔵パワーオンリセット機能を使用してリセットする製品の場合、電源投入からリセットのかかる一定電圧に達するまでの期間、端子の状態は保証できません。

3. 電源オフ時における入力信号

   当該製品の電源がオフ状態のときに、入力信号や入出力プルアップ電源を入れないでください。入力信号や入出力プルアップ電源からの電流注入により、誤動作を引き起こしたり、異常電流が流れ内部素子を劣化させたりする場合があります。資料中に「電源オフ時における入力信号」についての記載のある製品は、その内容を守ってください。

4. 未使用端子の処理

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

5. クロックについて

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

6. 入力端子の印加波形

   入力ノイズや反射波による波形歪みは誤動作の原因になりますので注意してください。CMOS 製品の入力がノイズなどに起因して、V_{IL}（Max.）から V_{IH}（Min.）までの領域にとどまるような場合は、誤動作を引き起こす恐れがあります。入力レベルが固定の場合はもちろん、V_{IL}（Max.）から V_{IH}（Min.）までの領域を通過する遷移期間中にチャタリングノイズなどが入らないように使用してください。

7. リザーブアドレス（予約領域）のアクセス禁止

   リザーブアドレス（予約領域）のアクセスを禁止します。アドレス領域には、将来の拡張機能用に割り付けられている リザーブアドレス（予約領域）があります。これらのアドレスをアクセスしたときの動作については、保証できませんので、アクセスしないようにしてください。

8. 製品間の相違について

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

ご注意書き

1. 本資料に記載された回路、ソフトウェアおよびこれらに関連する情報は、半導体製品の動作例、応用例を説明するものです。回路、ソフトウェアおよびこれらに関連する情報を使用する場合、お客様の責任において、お客様の機器・システムを設計ください。これらの使用に起因して生じた損害（お客様または第三者いずれに生じた損害も含みます。以下同じです。）に関し、当社は、一切その責任を負いません。
2. 当社製品または本資料に記載された製品データ、図、表、プログラム、アルゴリズム、応用回路例等の情報の使用に起因して発生した第三者の特許権、著作権その他の知的財産権に対する侵害またはこれらに関する紛争について、当社は、何らの保証を行うものではなく、また責任を負うものではありません。
3. 当社は、本資料に基づき当社または第三者の特許権、著作権その他の知的財産権を何ら許諾するものではありません。
4. 当社製品を組み込んだ製品の輸出入、製造、販売、利用、配布その他の行為を行うにあたり、第三者保有の技術の利用に関するライセンスが必要となる場合、当該ライセンス取得の判断および取得はお客様の責任において行ってください。
5. 当社製品を、全部または一部を問わず、改造、改変、複製、リバースエンジニアリング、その他、不適切に使用しないでください。かかる改造、改変、複製、リバースエンジニアリング等により生じた損害に関し、当社は、一切その責任を負いません。
6. 当社は、当社製品の品質水準を「標準水準」および「高品質水準」に分類しており、各品質水準は、以下に示す用途に製品が使用されることを意図しております。

   標準水準：　コンピュータ、OA 機器、通信機器、計測機器、AV 機器、家電、工作機械、パーソナル機器、産業用ロボット等

   高品質水準：輸送機器（自動車、電車、船舶等）、交通制御（信号）、大規模通信機器、金融端末基幹システム、各種安全制御装置等

   当社製品は、データシート等により高信頼性、Harsh environment 向け製品と定義しているものを除き、直接生命・身体に危害を及ぼす可能性のある機器・システム（生命維持装置、人体に埋め込み使用するもの等）、もしくは多大な物的損害を発生させるおそれのある機器・システム（宇宙機器と、海底中継器、原子力制御システム、航空機制御システム、プラント基幹システム、軍事機器等）に使用されることを意図しておらず、これらの用途に使用することは想定していません。たとえ、当社が想定していない用途に当社製品を使用したことにより損害が生じても、当社は一切その責任を負いません。
7. あらゆる半導体製品は、外部攻撃からの安全性を 100%保証されているわけではありません。当社ハードウェア／ソフトウェア製品にはセキュリティ対策が組み込まれているものもありますが、これによって、当社は、セキュリティ脆弱性または侵害（当社製品または当社製品が使用されているシステムに対する不正アクセス・不正使用を含みますが、これに限りません。）から生じる責任を負うものではありません。当社は、当社製品または当社製品が使用されたあらゆるシステムが、不正な改変、攻撃、ウイルス、干渉、ハッキング、データの破壊または窃盗その他の不正な侵入行為（「脆弱性問題」といいます。）によって影響を受けないことを保証しません。当社は、脆弱性問題に起因しまたはこれに関連して生じた損害について、一切責任を負いません。また、法令において認められる限りにおいて、本資料および当社ハードウェア／ソフトウェア製品について、商品性および特定目的との合致に関する保証ならびに第三者の権利を侵害しないことの保証を含め、明示または黙示のいかなる保証も行いません。
8. 当社製品をご使用の際は、最新の製品情報（データシート、ユーザーズマニュアル、アプリケーションノート、信頼性ハンドブックに記載の「半導体デバイスの使用上の一般的な注意事項」等）をご確認の上、当社が指定する最大定格、動作電源電圧範囲、放熱特性、実装条件その他指定条件の範囲内でご使用ください。指定条件の範囲を超えて当社製品をご使用された場合の故障、誤動作の不具合および事故につきましては、当社は、一切その責任を負いません。
9. 当社は、当社製品の品質および信頼性の向上に努めていますが、半導体製品はある確率で故障が発生したり、使用条件によっては誤動作したりする場合があります。また、当社製品は、データシート等において高信頼性、Harsh environment 向け製品と定義しているものを除き、耐放射線設計を行っておりません。仮に当社製品の故障または誤動作が生じた場合であっても、人身事故、火災事故その他社会的損害等を生じさせないよう、お客様の責任において、冗長設計、延焼対策設計、誤動作防止設計等の安全設計およびエージング処理等、お客様の機器・システムとしての出荷保証を行ってください。特に、マイコンソフトウェアは、単独での検証は困難なため、お客様の機器・システムとしての安全検証をお客様の責任で行ってください。
10. 当社製品の環境適合性等の詳細につきましては、製品個別に必ず当社営業窓口までお問合せください。ご使用に際しては、特定の物質の含有・使用を規制する RoHS 指令等、適用される環境関連法令を十分調査のうえ、かかる法令に適合するようご使用ください。かかる法令を遵守しないことにより生じた損害に関して、当社は、一切その責任を負いません。
11. 当社製品および技術を国内外の法令および規則により製造・使用・販売を禁止されている機器・システムに使用することはできません。当社製品および技術を輸出、販売または移転等する場合は、「外国為替及び外国貿易法」その他日本国および適用される外国の輸出管理関連法規を遵守し、それらの定めるところに従い必要な手続きを行ってください。
12. お客様が当社製品を第三者に転売等される場合には、事前に当該第三者に対して、本ご注意書き記載の諸条件を通知する責任を負うものといたします。
13. 本資料の全部または一部を当社の文書による事前の承諾を得ることなく転載または複製することを禁じます。
14. 本資料に記載されている内容または当社製品についてご不明な点がございましたら、当社の営業担当者までお問合せください。

注 1. 本資料において使用されている「当社」とは、ルネサス エレクトロニクス株式会社およびルネサス エレクトロニクス株式会社が直接的、間接的に支配する会社をいいます。

注 2. 本資料において使用されている「当社製品」とは、注 1 において定義された当社の開発、製造製品をいいます。

(Rev. 5.0-1　2020.10)

本社所在地

〒135-0061 東京都江東区豊洲 3-2-24（豊洲フォレシア）

www.renesas.com

お問合せ窓口

弊社の製品や技術、ドキュメントの最新情報、最寄の営業お問合せ窓口に関する情報などは、弊社ウェブサイトをご覧ください。

www.renesas.com/contact/

商標について

ルネサスおよびルネサスロゴはルネサス エレクトロニクス株式会社の商標です。すべての商標および登録商標は、それぞれの所有者に帰属します。

© 2024 Renesas Electronics Corporation. All rights reserved.