RX66T グループ

SiC パワー素子を用いた 3 レベルインバータ電源制御

要旨

本アプリケーションノートは RX66T マイクロコントローラを使用し、3 相 50Hz/60Hz 400V 10kW のインバータ電源 の 2 レベル/3 レベルインバータ制御ソフトウェアの実装方法及びモータ制御開発支援ツール「Renesas Motor Workbench」の使用方法について説明することを目的としています。なお、本アプリケーションノート対象ソフトウェアにはスマート・コンフィグレータを使用しています。

本アプリケーションノート対象ソフトウェア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。本アプリケーションノート対象ソフトウェアを使用する場合は、適切な環境で十分な評価をしたうえで御使用ください。

動作確認デバイス

本アプリケーションノート対象ソフトウェアの動作確認は下記のデバイスで行っています。

・RX66T (R5F566TEADFP)

対象ソフトウェア

本アプリケーションノート対象ソフトウェアを下記に示します。

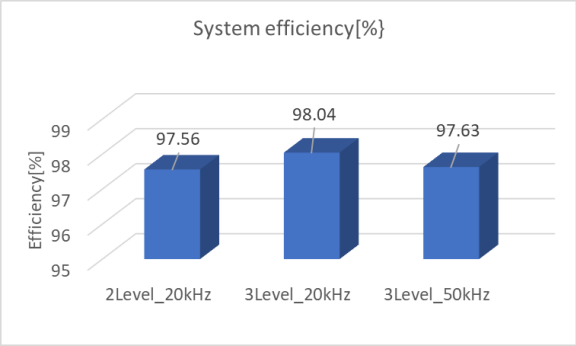
・RX66T_THREE_LEVEL_INVERTER_CTRL_CSP_Vxxx (IDE：CS+)
・RX66T_THREE_LEVEL_INVERTER_CTRL_E2S_Vxxx (IDE：e^{2}studio)

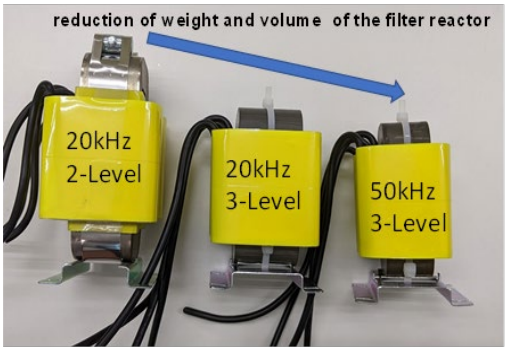
参考資料

・RX66T グループ ユーザーズマニュアル ハードウェア編（R01UH0749）
・Renesas Motor Workbench ユーザーズマニュアル（R21UZ0004）
・スマート・コンフィグレータ ユーザーズマニュアル RX API リファレンス編（R20UT4360）
・RX スマート・コンフィグレータ ユーザーガイド：CS+編（R20AN0470）
・RX スマート・コンフィグレータ ユーザーガイド：e^2 studio 編（R20AN0451）

3 レベルインバータの適用効果

2 レベルインバータと比べて 3 レベルインバータはパワーデバイスのスイッチング損失を低減できるため、スイッチング周波数の向上、インバータシステムの効率アップ及びフィルタリアクトルのサイズと重量の低減効果があります。





目次

1. 概説 3
1.1 開発環境 3

2. システム概要 4
2.1 システム仕様 4
2.2 ハードウェア構成 5
2.3 ハードウェア仕様 6
2.4 ソフトウェア構成 8
2.4.1 ソフトウェア・ファイル構成 8
2.4.2 スマート・コンフィグレータのファイル構成 9
2.4.3 モジュール構成 11

3. 制御ソフトウェア説明 12
3.1 制御内容 12
3.1.1 インバータ出力の開始/停止 12
3.1.2 モード切替 12
3.1.3 周波数切替 12
3.1.4 運転中スイッチング周波数 12
3.1.5 アラーム解除 13
3.1.6 A/D 変換 14
3.1.7 変調 15
3.1.8 状態遷移 18
3.1.9 ソフトスタート 19
3.1.10 システム保護機能 20
3.2 2 レベル/3 レベルインバータ制御ソフトウェア関数仕様 22
3.3 2 レベル/3 レベルインバータ制御ソフトウェアマクロ定義 28
3.4 制御フロー（フローチャート） 29
3.4.1 メイン処理 29
3.4.2 低速タイマ割り込み処理(1 [ms]周期) 30
3.4.3 高速タイマ割り込み処理(50 [µs]周期) 31
3.4.4 スイッチング周期タイマ割り込み処理 32

4. モータ制御開発支援ツール「Renesas Motor Workbench」 33
4.1 概要 33
4.2 Analyzer 変数一覧 34

5. 評価結果 37
5.1 駆動波形 37
5.2 効率及びフィルタリアクトルの比較 39
5.3 CPU 使用率 40
5.4 ROM/RAM 使用量 40

1. 概説

本アプリケーションノートでは、RX66T マイクロコントローラを使用した 2 レベル及び 3 レベルインバータ電源装置の制御ソフトウェアの実装方法とモータ開発支援ツール「Renesas Motor Workbench」の使用方法について説明します。

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 1-1、表 1-2 に示します。

表 1-1　ハードウェア開発環境

マイコン	評価ボード
RX66T (R5F566TEADFP)	3 相 50/60Hz 400V10kW インバータボード注 1&RX66T CPU ボード注 2

表 1-2　ソフトウェア開発環境

IDE バージョン	RX スマート・コンフィグレータ	ツールチェーンバージョン注 3
CS+：V8.07.00	バージョン 2.11.0	CC-RX：V3.04.00
e²studio：2022-01	e²studio プラグイン版	

ご購入、技術サポートにつきましては、弊社営業及び特約店にお問い合わせください。

【注】 1. 3 相 50Hz/60Hz 400V 10kW のインバータ電源ボード（DAIV157-T4010-1）については、弊社営業にお問い合わせください。
2. 本アプリケーションノートで使用した CPU ボードは、ルネサスエレクトロニクス株式会社の製品です。
3. 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://en-support.renesas.com/knowledgeBase/18398339)

2.　システム概要

本システムの概要を以下に説明します。

2.1　システム仕様

(1)　2 レベル/3 レベルインバータ電源制御の概要

2 レベルインバータ電源制御は、出力電圧が中性点を基準とした±VDD/2 の PWM 波形になります。一方、3 レベルインバータ電源制御は、出力電圧が中性点を基準とした±VDD/2 とゼロの PWM 波形になります。3 レベルインバータの利点は、出力波形が正弦波に近くなることが挙げられますが、主回路に SiC パワー素子を用いて高周波化することで、さらに出力波形が正弦波に近くなり LC フィルタを小型化することができます。

またスイッチング動作当たりの電圧の変動が 2 レベルインバータの半分となるためスイッチング損失を低減し、装置から発生するノイズを低減することができます。これらの利点からシステムの小型化、高効率化を実現する上で有効な方式として用いられます。図 2-1 に 2 レベルインバータと 3 レベルインバータの回路比較を示します。

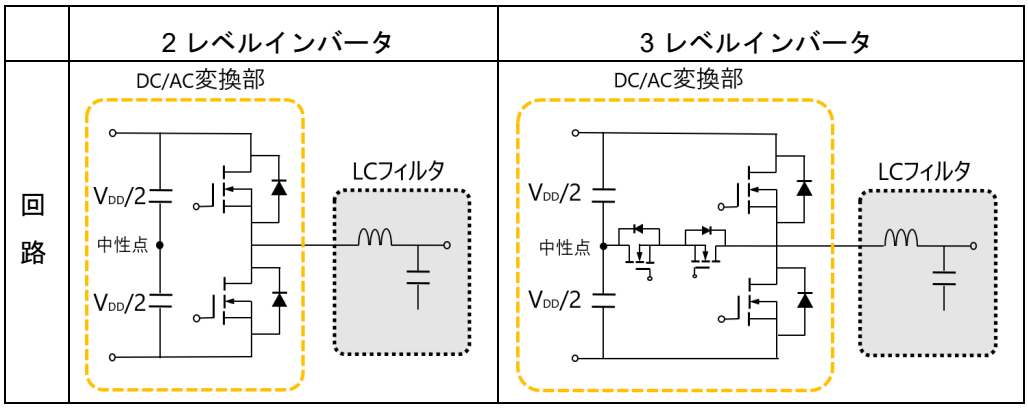


図 2-1　2 レベルインバータと 3 レベルインバータの回路比較

(2)　システムの基本仕様

本システムの基本仕様を表 2-1 に示します。

表 2-1 システムの基本仕様

項目	内容
制御方式	2 レベル/3 レベルインバータ電源制御
出力電力	10kW
出力電圧	3Φ、400Vac
出力周波数	50 or 60Hz
入力電圧範囲	750Vdc,600~850V
インバータスイッチング周波数	20～50 [kHz]
力率	0.8

2.2 ハードウェア構成

ハードウェア構成を図 2-2 に示します。

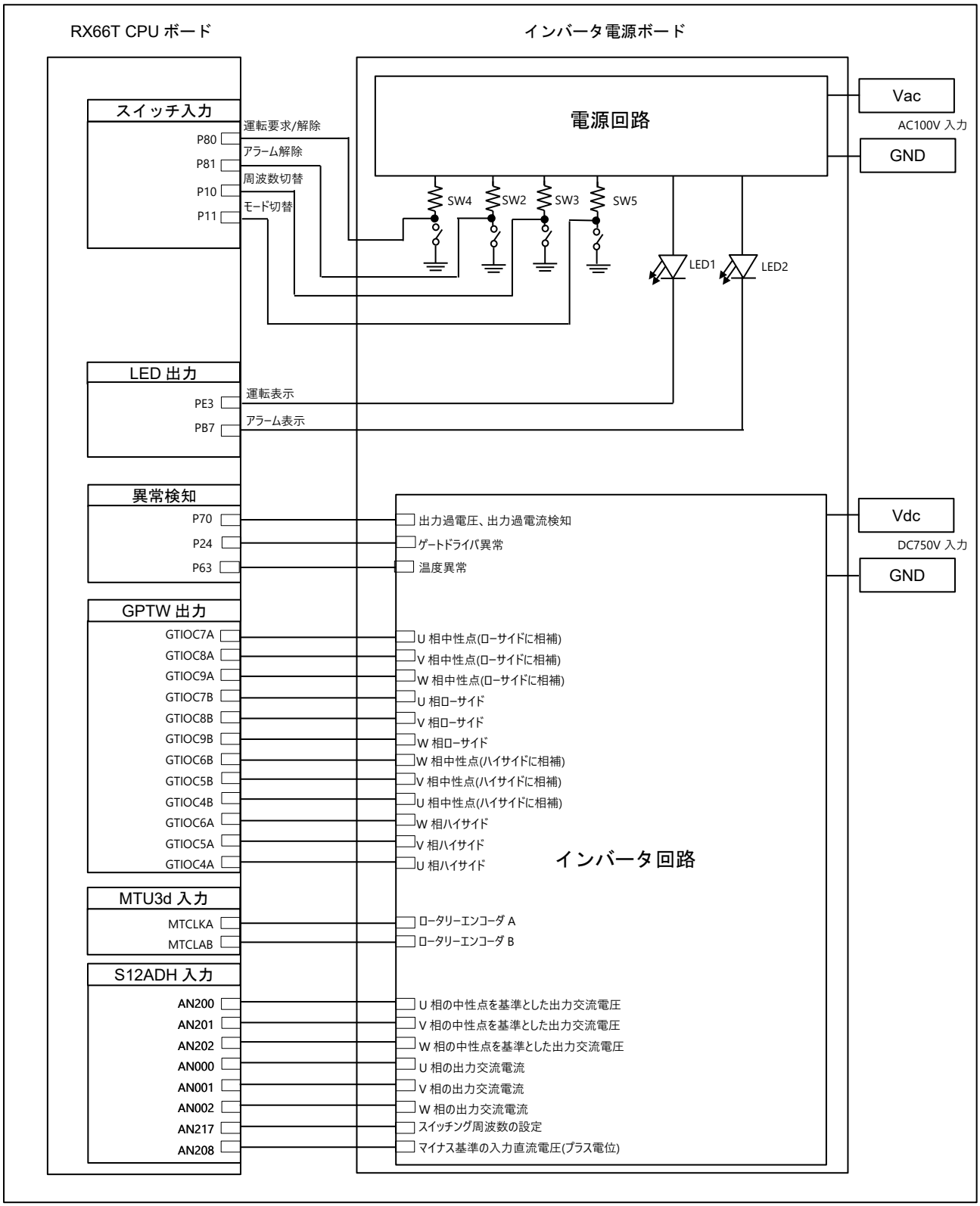


図 2-2　ハードウェア構成図

2.3 ハードウェア仕様

(1)ユーザインタフェース

本システムのユーザインタフェース一覧を表 2-2 に示します。

表 2-2 ユーザインタフェース

項目	インタフェース部品	機能
メインスイッチ	トグルスイッチ（SW1）	主電源の入力
運転スイッチ	トグルスイッチ（SW4）	運転開始／運転停止の指令
周波数切替スイッチ	スライドスイッチ（SW3）	インバータの出力周波数を 50Hz/60Hz から選択
モード切替スイッチ	スライドスイッチ（SW5）	2 レベル動作あるいは 3 レベル動作を選択
リセットボタン	ボタンスイッチ（SW2）	アラーム状態を解除
初期キャリア周波数ボリューム	半固定抵抗器（VR4）	停止状態から運転状態に遷移した時のスイッチング周波数を設定
運転中キャリア周波数エンコーダ	エンコーダ（RE1）	運転状態においてスイッチング周波数を変更
制御電源表示	赤色 LED（D1）	制御電源投入時：点灯 アラーム無し　：消灯
アラーム表示	赤色 LED（D21）	アラーム発生時：点灯 アラーム無し　：消灯
運転表示	赤色 LED（D22）	運転時：点灯 停止時：消灯

(2)端子インタフェース

本システムの端子インタフェースを表 2-3 に示します。

表 2-3　端子インタフェース(1/2)

R5F566TEADFP 端子名	機能
PE3	運転状態／停止状態の出力(Hi:停止状態、Lo:運転状態)
PB7	アラーム状態／非アラーム状態の出力(Hi:アラーム状態、Lo: 非アラーム状態)
P95 / GTIOC7A	PWM 出力 U 相中性点(ローサイドに相補)
P94 / GTIOC8A	PWM 出力 V 相中性点(ローサイドに相補)
P93 / GTIOC9A	PWM 出力 W 相中性点(ローサイドに相補)
P92 / GTIOC7B	PWM 出力 U 相ローサイド
P91 / GTIOC8B	PWM 出力 V 相ローサイド
P90 / GTIOC9B	PWM 出力 W 相ローサイド
P76 / GTIOC6B	PWM 出力 W 相中性点(ハイサイドに相補)
P75 / GTIOC5B	PWM 出力 V 相中性点(ハイサイドに相補)
P74 / GTIOC4B	PWM 出力 U 相中性点(ハイサイドに相補)
P73 / GTIOC6A	PWM 出力 W 相ハイサイド
P72 / GTIOC5A	PWM 出力 V 相ハイサイド
P71 / GTIOC4A	PWM 出力 U 相ハイサイド
P70	出力過電圧、出力過電流を検知(Hi:正常、Lo:異常)
P33 / MTCLKA	ロータリーエンコーダ A
P32 / MTCLKB	ロータリーエンコーダ B
P24	ゲートドライバの異常を検知(Hi:正常、Lo:異常)

表 2-3　端子インタフェース(2/2)

P21 / AN217	停止状態から運転状態に遷移した時のスイッチング周波数を設定
P63 / MTIOC4D	温度異常を検知(Hi:正常、Lo:異常)
P62 / AN208	入力直流電圧をマイナス基準としてプラス電位を測定
P54 / AN202	W 相の出力交流電圧を中性点基準に測定
P53 / AN201	V 相の出力交流電圧を中性点基準に測定
P52 / AN200	U 相の出力交流電圧を中性点基準に測定
P42 / AN002	W 相の出力交流電流を測定
P41 / AN001	V 相の出力交流電流を測定
P40 / AN000	U 相の出力交流電流を測定
P81	アラーム解除を設定(Hi→Lo(100ms 以上)→Hi アラーム解除)
P80	運転要求／解除を設定(Lo:運転要求、Hi:運転要求解除)
P11	インバータの動作を選択(Hi:3 レベル、Lo:2 レベル)
P10	インバータの交流出力周波数を選択(Hi:50Hz、Lo:60Hz)

(3)周辺機能

本システムに使用する周辺機能一覧を表 2-4 に示します。

表 2-4　周辺機能対応表

12 ビット A/D コンバータ	CMT	GPT	MTU3d
● U 相、V 相、W 相出力電流検知 ● U 相、V 相、W 相出力電圧検知 ● 直流電圧検知 ● 初期スイッチング周波数	● 1 [ms]インターバルタイマ ● 50 [µs]インターバルタイマ ● 出力周波数位相タイマ	● 相補 PWM 出力	● 運転中キャリア周波数エンコーダの位相カウンタ

(a)　12 ビット A/D コンバータ（S12ADH）

ユニット 0 により、U 相出力電流（I_u）、V 相出力電流（I_v）、W 相出力電流（I_w）を、「シングルスキャンモード」で測定します（ハードウェアトリガを使用）。
ユニット 2 により、U 相出力電圧（V_u）、V 相出力電圧（V_v）、W 相出力電圧（V_w）、入力直流電圧（V_{in}）、初期スイッチング周波数（F_{pwm_ini}）を、「シングルスキャンモード」で測定します（ハードウェアトリガを使用）。

(b)　コンペアマッチタイマ（CMT）

チャネル 0 を、1 [ms]インターバルタイマとして使用します。
チャネル 1 を、50 [µs] インターバルタイマとして使用します。
チャネル 2 を、出力周波数の位相をカウントするタイマとして使用します。

(c)　汎用 PWM タイマ（GPTW）

チャネル 4～9 により、相補 PWM モードを使用して、デッドタイム付きの出力（“High”アクティブ）を行います。

(d)　マルチファンクションタイマパルスユニット 3（MTU3d）

チャネル 1 により、位相計数モードを使用して、運転中キャリア周波数エンコーダの変化をカウントします。

2.4 ソフトウェア構成

2.4.1 ソフトウェア・ファイル構成

ソフトウェアのフォルダとファイル構成を図 2-3 に示します。

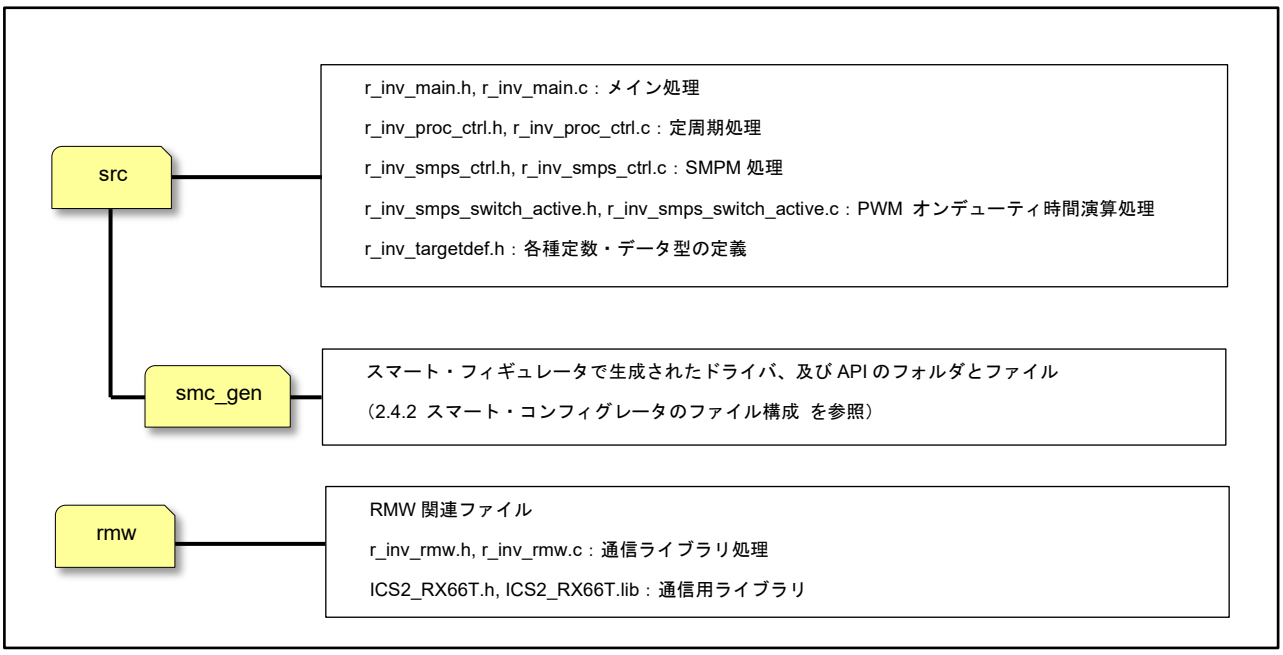


図 2-3　フォルダ・ファイル構成

2.4.2 スマート・コンフィグレータのファイル構成

スマート・コンフィグレータ（以下 SC とする）を使用することで、周辺機能ドライバを簡単に生成することができます。

SC は、プロジェクトで使用するマイクロコントローラ、周辺機能、端子機能などの設定情報をプロジェクト・ファイル（*.scfg）に保存し、参照します。本ソフトウェアの周辺機能設定を確認する場合、以下のファイルを参照してください。

“RX66T_THREE_LEVEL_INVERTER_CTRL_xxx_Vyyy.scfg”
(xxx：CSP は CS+版、E2S は e^2 studio 版を意味します。yyy：リビジョン番号)

SC で生成したフォルダとファイル構成を図 2-4 に示します。

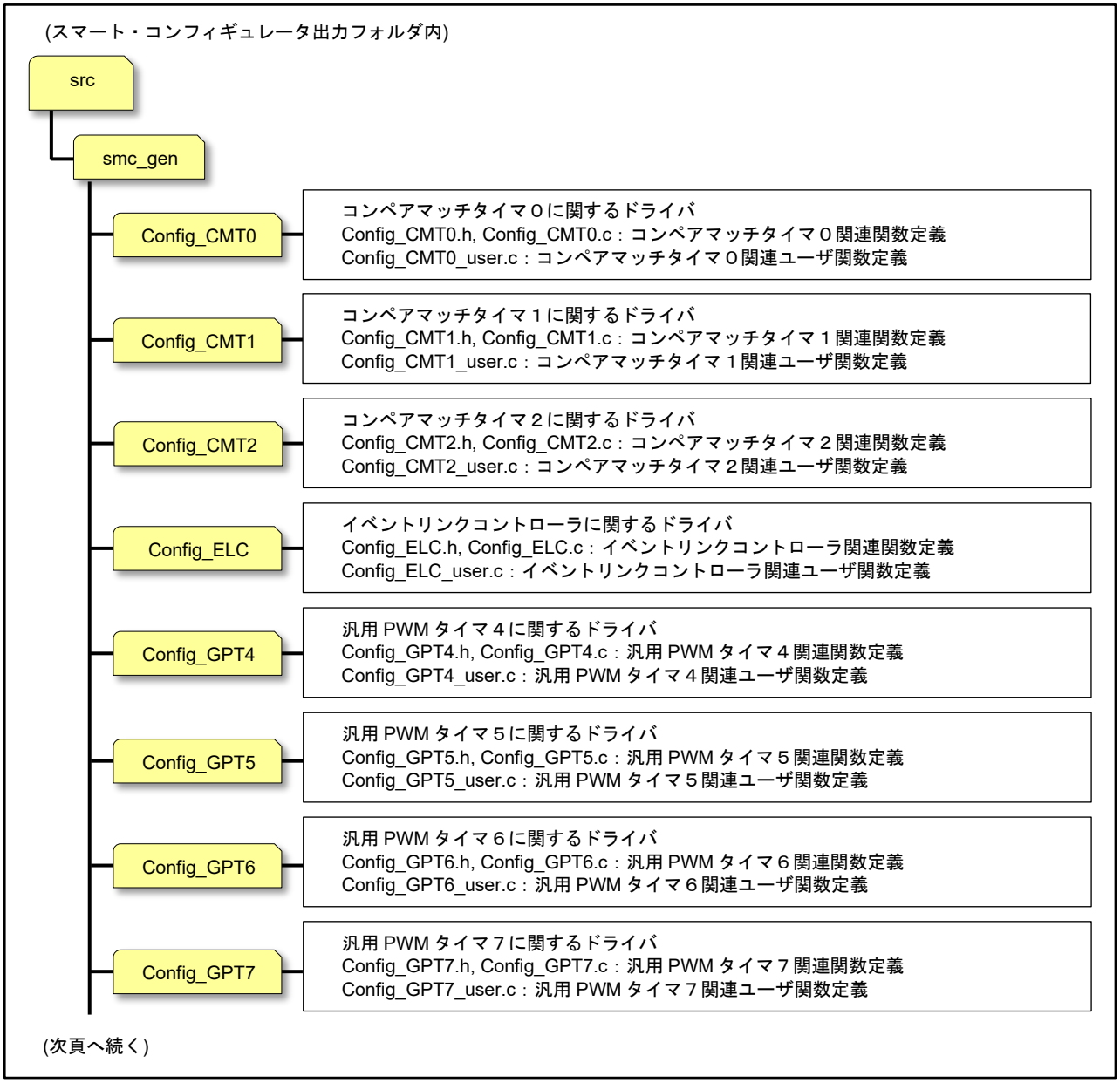


図 2-4　スマート・コンフィグレータのフォルダ・ファイル構成　(1/2)

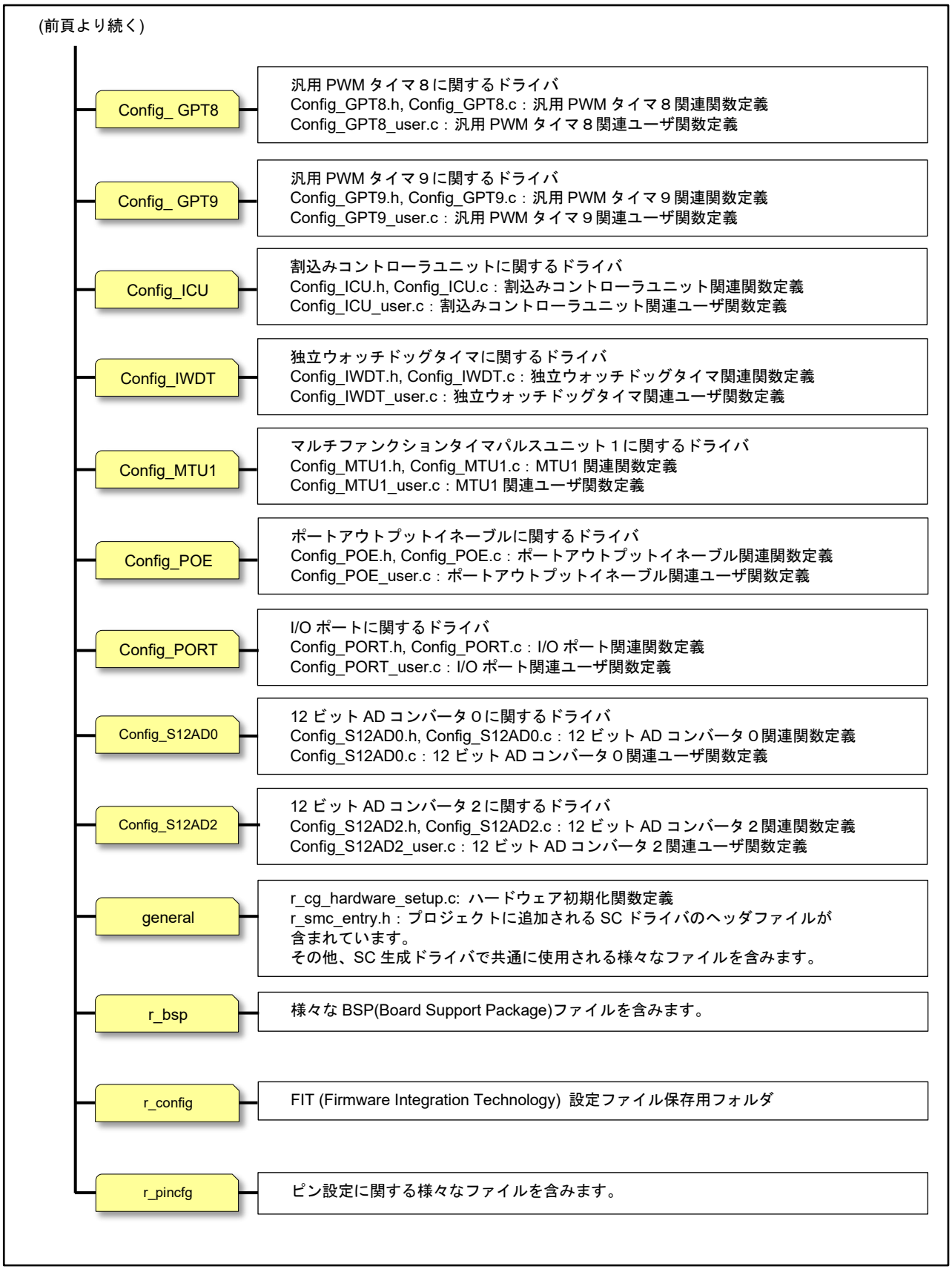


図 2-4　スマート・コンフィグレータのフォルダ・ファイル構成　(2/2)

2.4.3 モジュール構成

ソフトウェアのモジュール構成を図 2-5 に示します。

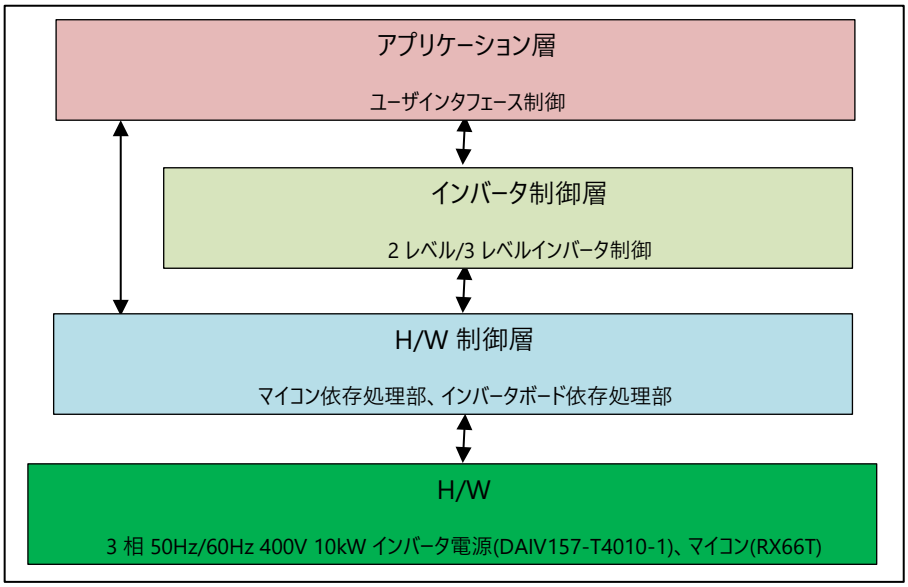


図 2-5 モジュール構成

3.　制御ソフトウェア説明

本アプリケーションノートの対象ソフトウェアについて説明します。

3.1　制御内容

3.1.1　インバータ出力の開始/停止

インバータ出力の開始と停止は、運転スイッチ(SW4)からの入力によって制御します。

運転スイッチ(SW4)には汎用ポートが割り当てられ、メイン・ループ内で 10ms 周期毎に端子を読み、“Low”レベルのときインバータ出力を開始し、“High”レベルのときインバータ出力を停止します。

3.1.2　モード切替

モード切替は、モード切替スイッチ(SW5)からの入力によって制御します。

モード切替スイッチ(SW5)には汎用ポートが割り当てられ、電源投入時に一度だけ端子を読み、“Low”レベルのとき 2 レベル動作を選択し、“High”レベルのとき 3 レベル動作を選択します。

3.1.3　周波数切替

周波数切替は、周波数切替スイッチ(SW3)からの入力によって制御します。

周波数切替スイッチ(SW3)には汎用ポートが割り当てられ、メイン・ループ内で 10ms 周期毎に端子を読み、“Low”レベルのときインバータ出力周波数は 60Hz を選択し、“High”レベルのときインバータ出力周波数は 50Hz を選択します。

この操作はインバータ出力が停止中の場合に、受け付けられます。

3.1.4　運転中スイッチング周波数

運転中スイッチング周波数は、運転中キャリア周波数エンコーダ(RE1)からの入力によって制御します。

運転中キャリア周波数エンコーダ(RE1)のロータリエンコーダ A およびロータリエンコーダ B は図 3-1 のように変化します。MTU の位相係数モードによりパルス変化を計測します。インバータ出力が運転状態で、時計回りに 1 パルス変化するとスイッチング周波数を 0.1kHz 高くし、反時計回りに 1 パルス変化するとスイッチング周波数を 0.1kHz 低くします。

この操作は、インバータ出力が運転中の場合に、受け付けられます。

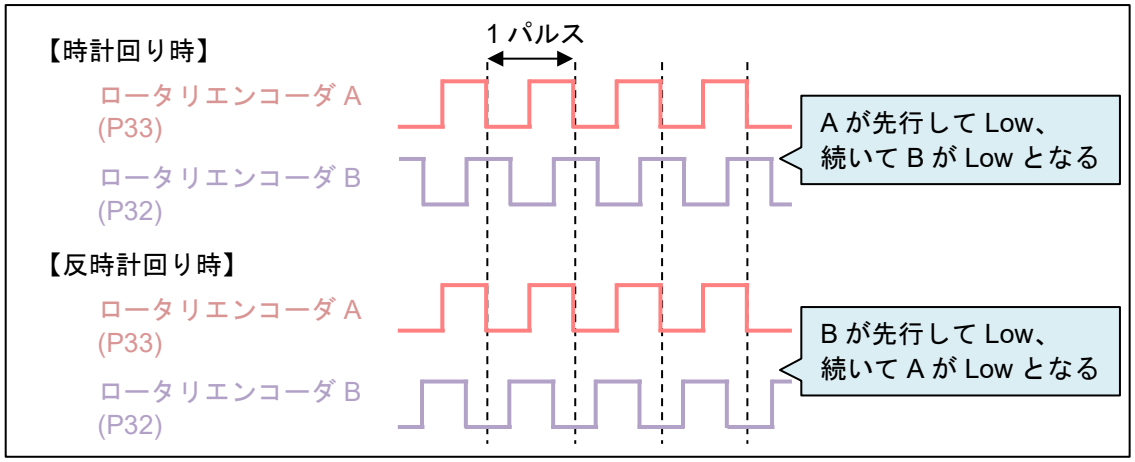


図 3-1　運転中キャリア周波数エンコーダの出力信号

3.1.5　アラーム解除

アラームの解除は、リセットボタン(SW2)の入力によって制御します。

リセットボタン(SW2)には汎用ポートが割り当てられ、メイン・ループ内で 10ms 周期毎に端子を読みます。端子状態が“High”→“Low”(100ms 以上)→“High”と変化したとき、アラーム解除を要求します。

3.1.6　A/D 変換

(1)　U 相、V 相、W 相出力電流検知

表 3-1 のように、U 相、V 相、W 相の出力交流電流を測定します。

表 3-1　U、V、W 相電流の変換比

項目	変換比（U 相、V 相、W 相出力電流：A/D 変換値）	チャネル
U 相、V 相、W 相出力電流	-62.515 [A]～62.485 [A]：0000H～0FFFH	Iu：AN000 Iv：AN001 Iw：AN002

(2)　U 相、V 相、W 相出力電圧検知

表 3-2 のように、中性点を基準として U 相、V 相、W 相の出力交流電圧を測定します。

表 3-2　U、V、W 相電圧の変換比

項目	変換比（U 相、V 相、W 相出力電圧：A/D 変換値）	チャネル
U 相、V 相、W 相出力電圧	-633.066 [V]～632.757 [V]：0000H～0FFFH	Vu：AN200 Vv：AN201 Vw：AN202

(3)　直流電圧検知

表 3-3 のように、マイナスを基準として入力直流電圧のプラス電位を測定します。

表 3-3　入力直流電圧の変換比

項目	変換比（入力直流電圧：A/D 変換値）	チャネル
入力直流電圧	0 [V]～1315.789 [V]：0000H～0FFFH	AN208

(4)　初期スイッチング周波数

初期スイッチング周波数は、初期キャリア周波数ボリューム(VR4)を A/D 変換することによって決定します。A/D 変換された VR4 の値は、以下の図のように初期スイッチング周波数として使用します。

この操作はインバータ出力が停止中の場合に、受け付けられます。

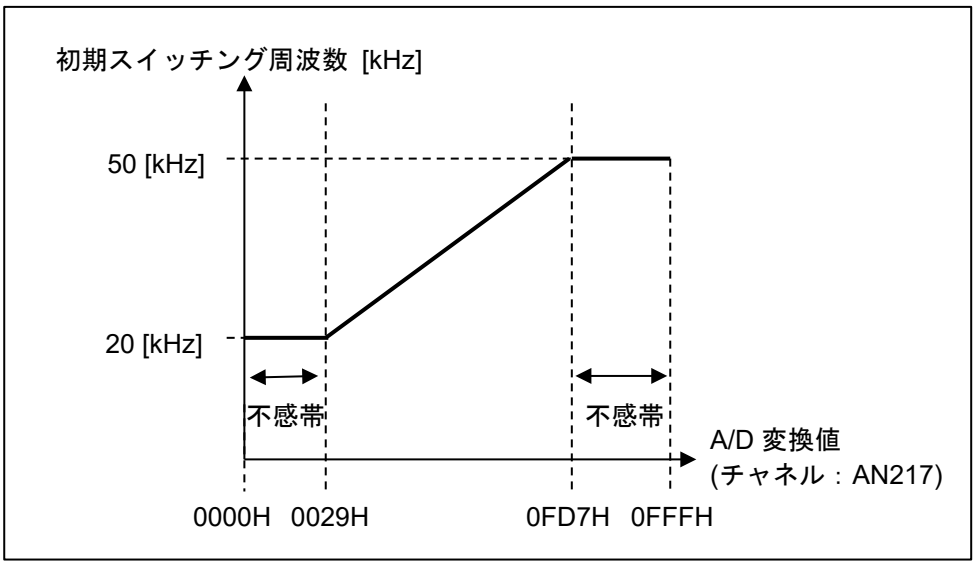


図 3-2　初期スイッチング周波数と A/D 変換値の関係

3.1.7　変調

本アプリケーションノート対象ソフトウェアでは、2 レベル及び 3 レベルインバータ電源装置が設定した交流電圧出力を得るためにパルス幅変調（以降、PWM）波形を生成します。

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

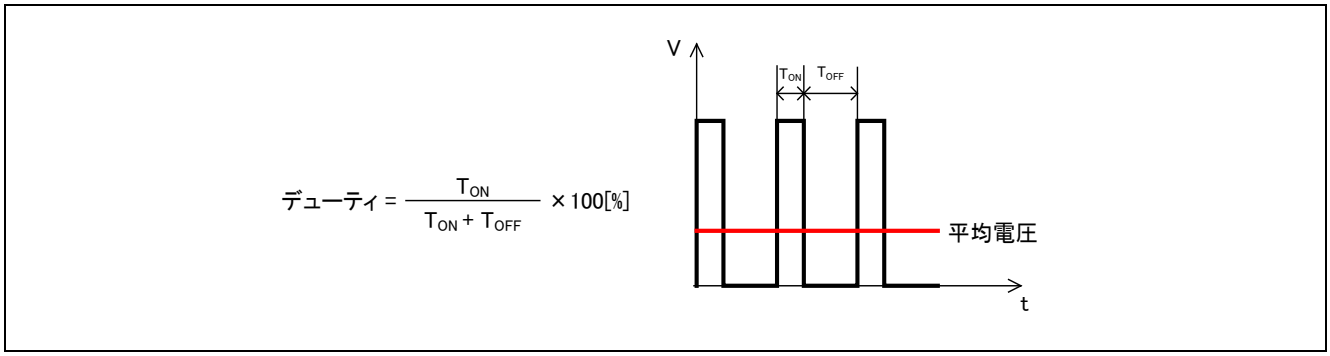


図 3-3　デューティの定義

また、変調率 m を以下のように定義します。

$$m = \frac{V}{E/2}$$

m：変調率　　V：指令値電圧　　E：入力直流電圧

この変調率をもとに、2 レベル及び 3 レベル動作の PWM 波形を生成します。

(1)　2 レベル動作

2 レベル動作時の、PWM 波形生成の概念図を図 3-4 に示します。

変調率とキャリア波を比較することでデューティを決定します。変調率がキャリア波より大きければハイサイドゲートをオン、小さければオフします。ローサイドゲートは、ハイサイドゲートの相補動作を行います。2 レベル動作では、ニュートラルゲート 1、ニュートラルゲート 2 は使用せず、オフのままとします。

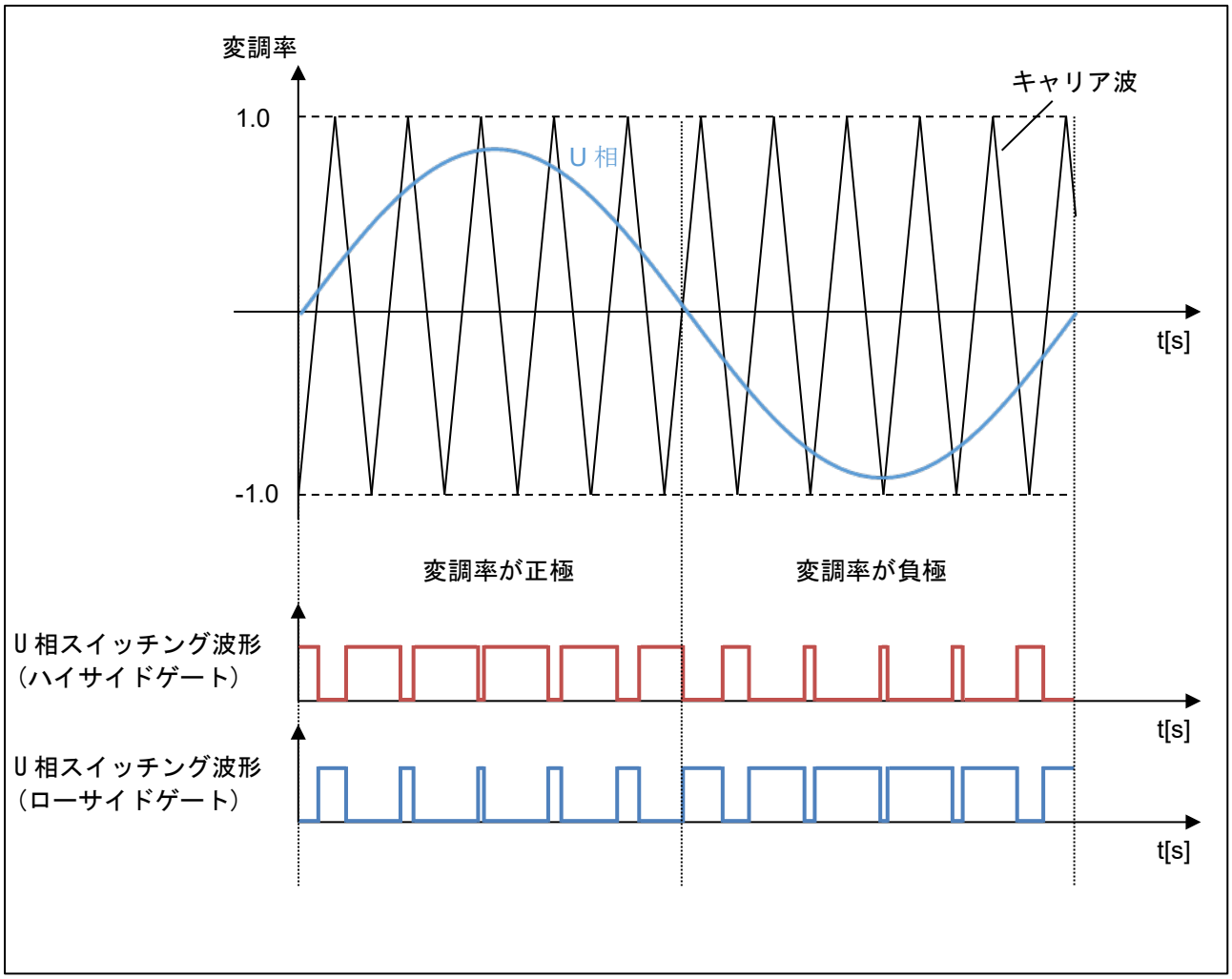


図 3-4　PWM 波形生成の概念図（2 レベル動作）

(2)　3 レベル動作

3 レベル動作時の、PWM 波形生成の概念図を図 3-5 に示します。

ハイサイド変調率またはローサイド変調率とキャリア波を比較することでデューティを決定します。ハイサイド変調率とローサイド変調率は以下の式で求めます。

①1.0 ≥ 変調率 ≥ 0.0(変調率が正極)の場合
　ハイサイド変調率 ＝ 1.0 − 変調率 × 2、ローサイド変調率 ＝ −1.0
②−1.0 ≤ 変調率 < 0.0(変調率が負極)の場合
　ハイサイド変調率 ＝ 1.0、ローサイド変調率 ＝ −1.0 − 変調率 × 2

変調率が正極の場合、ハイサイド変調率がキャリア波より小さければ、ハイサイドゲートをオン、大きければオフします。ニュートラルゲート 1 は、ハイサイドゲートの相補動作を行います。ローサイドゲートはオフ固定、ニュートラルゲート 2 はオン固定とします。

変調率が負極の場合、ローサイド変調率がキャリア波より大きければ、ローサイドゲートをオン、小さければオフします。ニュートラルゲート 2 は、ローサイドゲートの相補動作を行います。ハイサイドゲートはオフ固定、ニュートラルゲート 1 はオン固定とします。

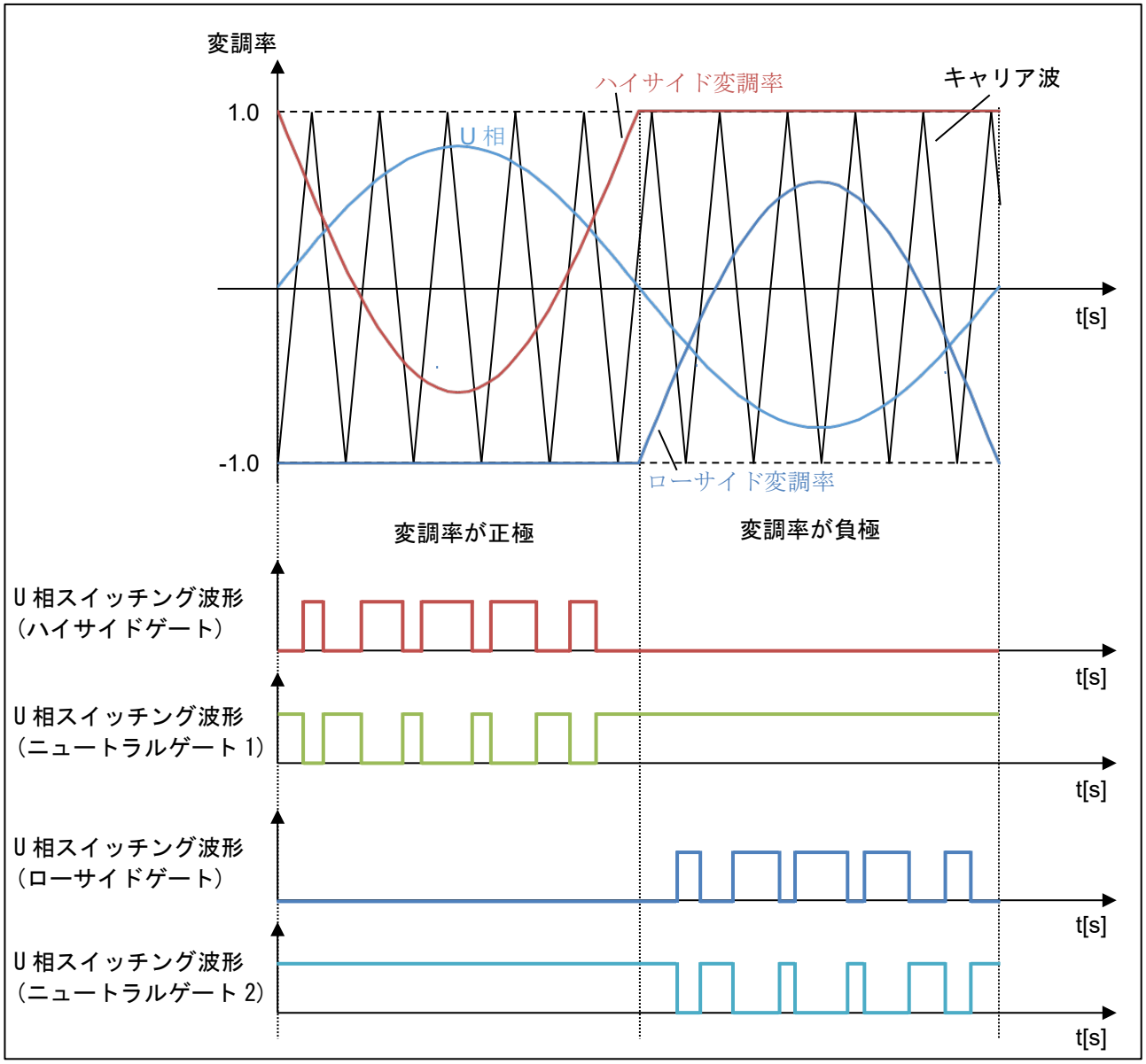


図 3-5　PWM 波形生成の概念図（3 レベル動作）

3.1.8　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、「運転状態」と、「アラーム状態」を管理します。

(1)　運転状態

インバータ出力の運転状態を表します。図 3-6 に示す様に条件に応じて状態が遷移します。運転状態は、運転(RUN)、停止(STOP)があります。

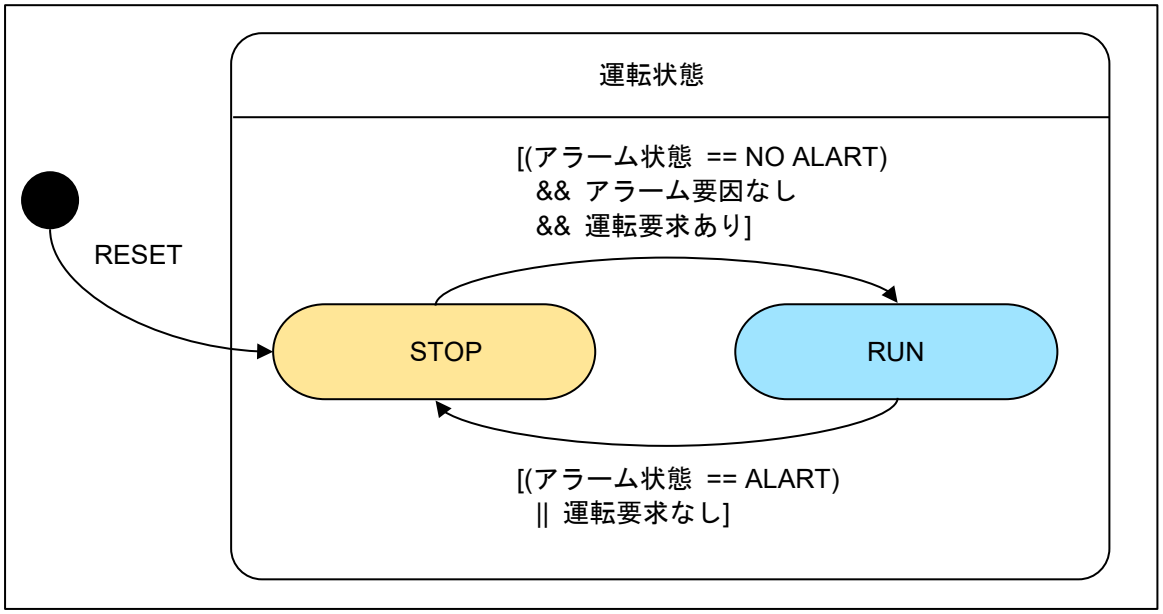


図 3-6　運転状態の状態遷移図

(2)　アラーム状態

ソフトウェアのアラーム状態を表します。図 3-7 に示す様に条件に応じて状態が遷移します。アラーム状態は、アラーム有り(ALART)、アラーム無し(NO ALART)があります。

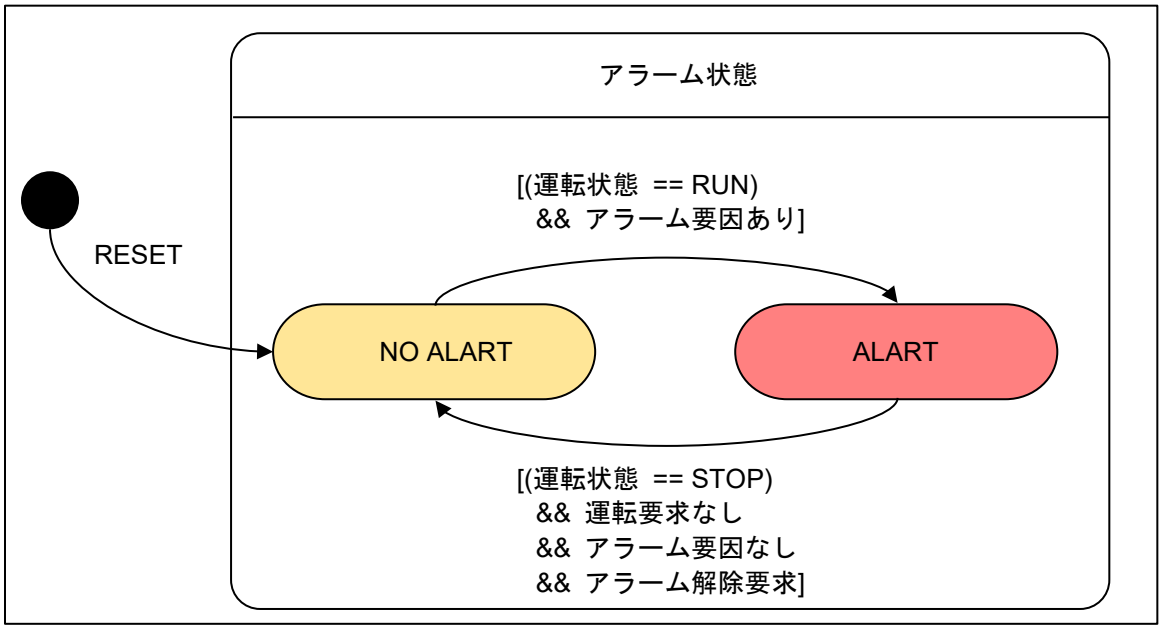


図 3-7　アラーム状態の状態遷移図

3.1.9　ソフトスタート

運転状態が停止(STOP)から運転(RUN)に遷移した際に、図 3-8 に示す様に内部目標電圧を設定目標電圧まで変化させます。変化レートは、マクロ INV_TARGET_SLEWRATE(目標電圧ソフトスタート遷移比)を使用します。

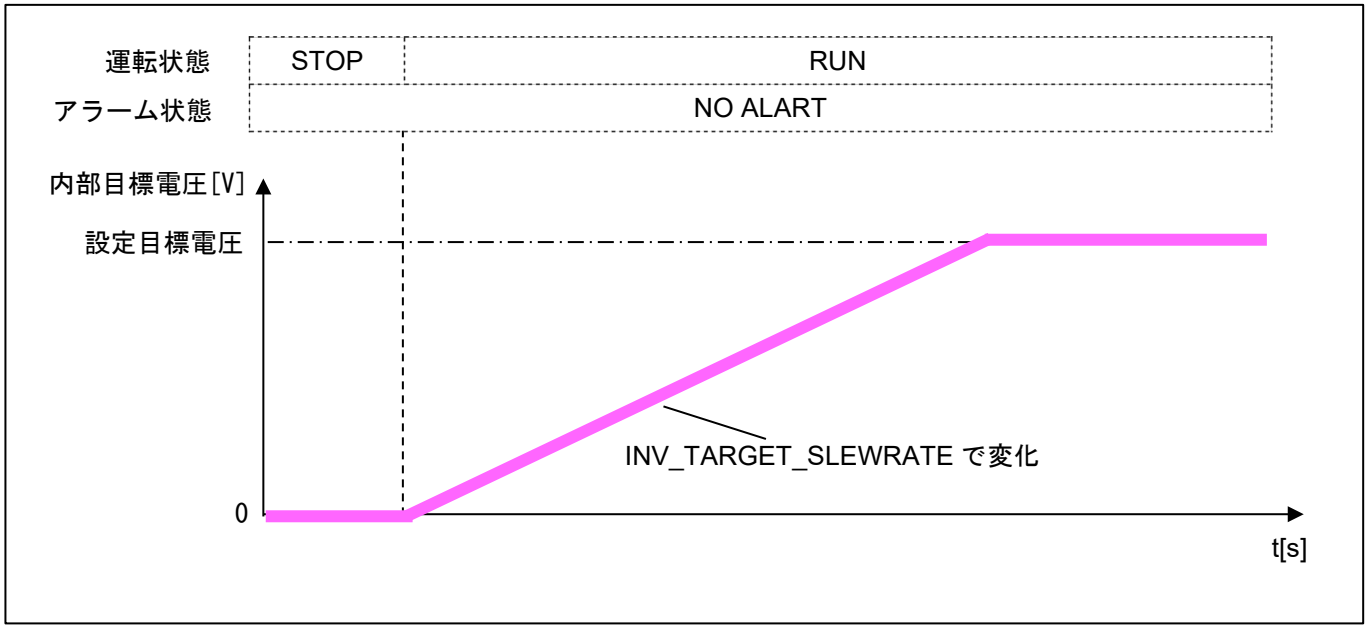


図 3-8　インバータ出力のソフトスタート内容

3.1.10 システム保護機能

本アプリケーションノート対象ソフトウェアは、以下の保護機能を持ちます。

システム保護機能に関わる各設定値は、表 3-4 を参照してください。

(1) 出力過電圧/出力過電流エラー

ハードウェアからの出力過電圧/出力過電流の検出信号が Low(異常)で、ゲート出力を停止します。
エラーの発生により、アラーム要因をあり、運転要求をなしに設定します。

(2) ゲートドライバエラー

ハードウェアからの FET ゲートドライバ異常の検出信号が Low(異常)で、ゲート出力を停止します。
エラーの発生により、アラーム要因をあり、運転要求をなしに設定します。

(3) 温度エラー

ハードウェアからの SiCFET 温度異常の検出信号が Low(異常)で、ゲート出力を停止します。
エラーの発生により、アラーム要因をあり、運転要求をなしに設定します。

(4) 入力不足電圧一時停止

監視周期で入力電圧を監視し、入力不足電圧一時停止判定閾値未満となった際、一時的にゲート出力を停止します。入力電圧が入力不足電圧一時停止解除閾値を超過した際、ゲート出力を再開します。

(5) 入力過電圧エラー

監視周期で入力電圧を監視し、入力過電圧エラー判定閾値を超過した際、ゲート出力を停止します。
エラーの発生により、アラーム要因をあり、運転要求をなしに設定します。

(6) 出力不足電圧エラー

監視周期で U 相、V 相、W 相の出力交流電圧の実効値を監視し、出力不足電圧エラー判定閾値未満の状態が出力不足電圧エラー判定遅延時間のあいだ継続した際、ゲート出力を停止します。遅延時間は、いずれかの相が閾値未満で U 相、V 相、W 相共通でカウントします。
エラーの発生により、アラーム要因をあり、運転要求をなしに設定します。

(7) 出力過電圧一時停止

監視周期で U 相、V 相、W 相の出力交流電圧を監視し、出力過電圧一時停止判定閾値を超過した際、一時的にゲート出力を停止します。出力交流電圧が出力過電圧一時停止解除閾値未満となった際、ゲート出力を再開します。

(8) 出力過電圧エラー

監視周期で U 相、V 相、W 相の出力交流電圧を監視し、出力過電圧判定閾値を超過した際に、ゲート出力を停止します。
エラーの発生により、アラーム要因をあり、運転要求をなしに設定します。

(9) 出力過電流垂下

監視周期で U 相、V 相、W 相の出力交流電流の実効値を監視し、出力過電流垂下判定閾値を超過した際、それぞれの相の電圧指令値を調整する制御をします。制御中に出力過電流垂下解除閾値未満となった際、制御を解除します。

(10) 出力過電流エラー

監視周期で U 相、V 相、W 相の出力交流電流の実効値を監視し、出力過電流リミット値を超過した際、ゲート出力を停止します。
エラーの発生により、アラーム要因をあり、運転要求をなしに設定します。

表 3-4　各システム保護機能設定値

保護名称	項目名	設定値
出力過電圧/出力過電流エラー	監視周期 [μs]	50
ゲートドライバエラー	監視周期 [μs]	50
温度エラー	監視周期 [ms]	10
入力不足電圧一時停止	入力不足電圧一時停止判定閾値 [V]	マクロ INV_VIN_LOW_DET
	入力不足電圧一時停止解除閾値 [V]	マクロ INV_VIN_LOW_REL
	監視周期 [μs]	50
入力過電圧エラー	入力過電圧エラー判定閾値 [V]	マクロ INV_VIN_OVP_DET
	監視周期 [μs]	50
出力不足電圧エラー	出力不足電圧エラー判定閾値 [V]	マクロ INV_VOUT_LOW_DET
	出力不足電圧エラー判定遅延時間 [s]	マクロ INV_VOUT_LOW_DELAY
	監視周期 [ms]	10
出力過電圧一時停止	出力過電圧一時停止判定閾値 [V]	マクロ INV_VOUT_HIGH_DET
	出力過電圧一時停止解除閾値 [V]	マクロ INV_VOUT_HIGH_REL
	監視周期 [μs]	50
出力過電圧エラー	出力過電圧エラー判定閾値 [V]	マクロ INV_VOUT_OVP_DET
	監視周期 [μs]	50
出力過電流垂下	出力過電流垂下判定閾値 [A]	マクロ INV_IOUT_HIGH_DET
	出力過電流垂下解除閾値 [A]	マクロ INV_IOUT_HIGH_REL
	監視周期 [μs]	50
出力過電流エラー	出力過電流エラー判定閾値 [A]	マクロ INV_IOUT_OCP_DET
	監視周期 [μs]	50

3.2　2 レベル/3 レベルインバータ制御ソフトウェア関数仕様

本アプリケーションノート対象ソフトウェアにおける制御処理は、低速タイマ割り込み(1 [ms]周期)、高速タイマ割り込み(50 [µs]周期)、スイッチング周期タイマ割り込みの 3 つの割込みで構成されています。

図 3-9 に 2 レベル及び 3 レベルインバータ制御の概略ブロック図を示します。1ms 周期処理については、低速タイマ割り込み処理で 1ms 経過イベントフラグを管理し、1ms 周期処理の実行はメイン処理で行っています。

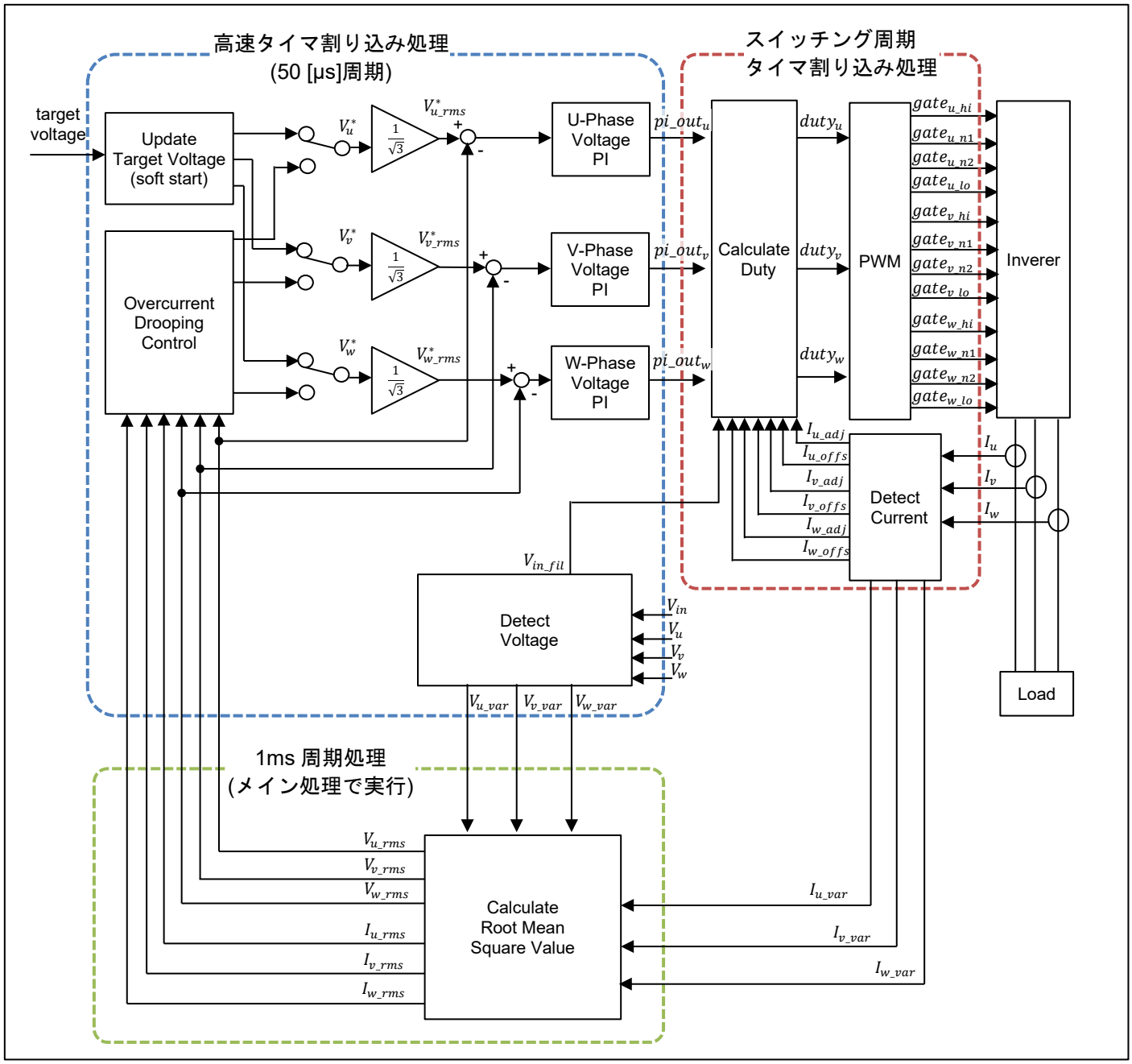


図 3-9　2 レベル及び 3 レベルインバータ制御概略ブロック図

ここでは、3 つの割り込み関数とメイン処理で実行される関数について仕様を表 3-5～表 3-9 にまとめます。また各表には、2 レベル及び 3 レベルインバータ制御における主要な関数のみ記載しています。各表に記載のない関数の詳細については、ソースコードを参照してください。

表 3-5　割り込み関数一覧

ファイル名	関数概要	処理概要
Config_CMT0_user.c	r_Config_CMT0_cmi0_interrupt 入力：なし 出力：なし	1 [ms]毎に呼び出し ・低速タイマ割込み処理 （r_inv_slow_int_proc 関数）
Config_CMT1_user.c	r_Config_CMT1_cmi1_interrupt 入力：なし 出力：なし	50 [µs]毎に呼び出し ・高速タイマ割込み処理 （r_inv_dsp_int_proc 関数）
Config_S12AD0_user.c	r_Config_S12AD0_interrupt 入力：なし 出力：なし	PWM 周期毎に呼び出し ・スイッチング周期タイマ割り込み処理 （r_inv_pwm_int_proc 関数）

表 3-6　低速タイマ割り込み処理内実行関数一覧

ファイル名	関数概要	処理概要
r_inv_main.c	r_inv_slow_int_proc 入力：なし 出力：なし	低速タイマ割り込み処理

表 3-7　高速タイマ割り込み処理内実行関数一覧（1/2）

ファイル名	関数概要	処理概要
r_inv_smps_ctrl.c	r_inv_dsp_int_proc 入力：なし 出力：なし	高速タイマ割り込み処理 ・電圧検出処理 ・システム保護監視処理 ・インバータ出力停止処理 またはインバータ出力一時停止処理 またはインバータ出力処理 ・U 相、V 相、W 相電圧の二乗平均演算 ・U 相、V 相、W 相電流の二乗平均演算
	r_inv_smps_update_observer 入力：なし 出力：なし	システム保護監視処理
	r_inv_smps_dsp_stop 入力：なし 出力：なし	インバータ出力停止処理
	r_inv_smps_dsp_standby 入力：なし 出力：なし	インバータ出力一時停止処理
	r_inv_smps_dsp_active 入力：なし 出力：なし	インバータ出力処理 ・過電流垂下制御 ・目標電圧更新 ・U 相、V 相、W 相電圧 PI 制御
	r_inv_smps_update_target 入力：(float) f4_old / 目標電圧(更新前) 出力：(float) f4_new / 目標電圧(更新後)	目標電圧更新(ソフトスタート処理)
	r_inv_absmax_3val 入力：(float) vout_u_adj / 数値 1 (float) vout_v_adj / 数値 2 (float) vout_w_adj / 数値 3 出力：(float) abs_max / 絶対値の最大値	絶対値での最大値を取得
	r_inv_macro_calc_var 入力：(float) a / 二乗平均演算結果の前回値 (float) b / 入力値 出力：(float) calc_answer / 二乗平均演算結果	二乗平均の演算
	r_inv_smps_request_stop 入力：なし 出力：なし	インバータ出力停止要求
	r_inv_smps_request_standby 入力：なし 出力：なし	インバータ出力一時停止要求
	r_inv_smps_req_immediate_end 入力：なし 出力：なし	インバータ出力緊急停止要求

表 3-7　高速タイマ割り込み処理内実行関数一覧（2/2）

Config_S12AD2_user.c	r_inv_get_adc_vout_u_phase 入力：なし 出力：(uint16_t) data / U 相出力電圧 AD 検出値	U 相出力電圧 AD 検出値を取得
	r_inv_get_adc_vout_v_phase 入力：なし 出力：(uint16_t) data / V 相出力電圧 AD 検出値	V 相出力電圧 AD 検出値を取得
	r_inv_get_adc_vout_w_phase 入力：なし 出力：(uint16_t) data / W 相出力電圧 AD 検出値	W 相出力電圧 AD 検出値を取得
	r_inv_get_adc_vin_dc 入力：なし 出力：(uint16_t) data / 入力電圧 AD 検出値	入力電圧 AD 検出値を取得
Config_PORT_user.c	r_inv_get_ovpocpb_status 入力：なし 出力：(uint8_t) ret / 出力過電圧、出力過電流検知状態を取得	出力過電圧、出力過電流検知状態を取得
	r_inv_get_gatedrvb_status 入力：なし 出力：(uint8_t) ret / ゲートドライバエラー検知状態	ゲートドライバエラー検知状態を取得
Config_GPT4_user.c	r_inv_pwm_enable_output 入力：なし 出力：なし	PWM 出力許可設定
	r_inv_pwm_disable_output 入力：なし 出力：なし	PWM 出力禁止設定

表 3-8　スイッチング周期タイマ割り込み処理内実行関数一覧

ファイル名	関数概要	処理概要
r_inv_smps_ctrl.c	r_inv_pwm_int_proc 入力：なし 出力：なし	スイッチング周期タイマ割込み処理 ・電流検出処理 ・インバータ出力停止 duty 演算 または duty 演算 ・出力 duty 設定
	r_inv_smps_switch_stop 入力：なし 出力：なし	インバータ出力停止 duty 演算
Config_S12AD0_user.c	r_inv_get_adc_iout_u_phase 入力：なし 出力：(uint16_t) data / U 相電流 AD 検出値	U 相電流 AD 検出値を取得
	r_inv_get_adc_iout_v_phase 入力：なし 出力：(uint16_t) data / V 相電流 AD 検出値	V 相電流 AD 検出値を取得
	r_inv_get_adc_iout_w_phase 入力：なし 出力：(uint16_t) data / W 相電流 AD 検出値	W 相電流 AD 検出値を取得
r_inv_smps_switch_active.c	r_inv_smps_switch_active 入力：なし 出力：なし	duty 演算
	r_inv_sinf 入力：(float) f4_phase / 位相 出力：(float) f4_sin / sin 演算値	sin 演算
Config_CMT2_user.c	r_inv_ac_get_phase 入力：なし 出力：(float) f4_phase / 位相	U 相の出力電圧位相を取得
Config_GPT4_user.c	r_inv_pwm_set_onduty 入力：(float) f4_duty_u / U 相デューティ (float) f4_duty_v / V 相デューティ (float) f4_duty_w / W 相デューティ 出力：なし	出力 duty 設定

表 3-9　メイン処理内実行関数一覧

ファイル名	関数概要	処理概要
r_inv_main.c	main 入力：なし 出力：なし	メイン処理 ・ソフトウェア初期化 ・ウォッチドッグタイマクリア ・低速周期処理
	r_inv_normal_proc 入力：なし 出力：なし	低速周期処理 ・1ms 周期処理 ・10ms 周期処理 ・100ms 周期処理
r_inv_proc_ctrl.c	r_inv_init_proc 入力：なし 出力：なし	ソフトウェア初期化 ・ステータス初期化 ・ロータリエンコーダ検出開始
r_inv_proc_ctrl.c	r_inv_1ms_cycle_proc 入力：なし 出力：なし	1ms 周期処理
r_inv_proc_ctrl.c	r_inv_10ms_cycle_proc 入力：なし 出力：なし	10ms 周期処理
r_inv_proc_ctrl.c	r_inv_100ms_cycle_proc 入力：なし 出力：なし	100ms 周期処理
r_inv_smps_ctrl.c	r_inv_smps_init_proc 入力：(*st_smps_if_v1_t) smps_if / ステータス初期値 出力：なし	ステータス初期化
Config_MTU1_user.c	r_inv_rotenc_start_timer 入力：なし 出力：なし	ロータリエンコーダ検出開始
Config_IWDT.c	R_Config_IWDT_Restart 入力：なし 出力：なし	ウォッチドッグタイマクリア

3.3　2 レベル/3 レベルインバータ制御ソフトウェアマクロ定義

本アプリケーションノート対象ソフトウェアで使用するマクロ定義一覧を表 3-10 に示します。また下記一覧には、本アプリケーションノート対象ソフトウェアにおけるコンフィグレーション設定に関係するマクロ定義のみを記載しています。一覧に記載のないマクロ定義の詳細については、ソースコードを参照してください。

表 3-10　“r_inv_targetdef.h”マクロ定義一覧

ファイル名	マクロ名	定義値	備考
r_inv_targetdef.h	SQRT2	1.41421356237310f	2 の平方根
	SQRT3	1.73205080756888f	3 の平方根
	DSPSMPLCLK	20.0e+3f	サンプリング周波数 [Hz]
	INV_VOUT_GAIN	0.00395f	出力電圧検出ゲイン （アナログ入力電圧 / 実電圧）
	INV_IOUT_GAIN	0.04f	出力電流検出ゲイン （アナログ入力電圧 / 実電流）
	INV_VIN_GAIN	0.0038f	入力電圧検出ゲイン （アナログ入力電圧 / 実電圧）
	INV_VIN_LOW_DET	600.0f * 0.85f	入力不足電圧一時停止判定閾値 [V]
	INV_VIN_LOW_REL	600.0f * 0.95f	入力不足電圧一時停止解除定閾値 [V]
	INV_VIN_OVP_DET	850.0f * 1.10f	入力過電圧エラー判定閾値 [V]
	INV_VOUT_LOW_DET	400.0f / SQRT3 * 0.85f	出力不足電圧エラー判定閾値(相電圧実効値) [V]
	INV_VOUT_LOW_DELAY	2.0f	出力不足電圧エラー判定遅延時間 [s]
	INV_VOUT_HIGH_DET	400.0f / SQRT3 * 1.10f * SQRT2	出力過電圧一時停止判定閾値(相電圧瞬時値) [V]
	INV_VOUT_HIGH_REL	400.0f / SQRT3 * 1.01f * SQRT2	出力過電圧一時停止解除閾値(相電圧瞬時値) [V]
	INV_VOUT_OVP_DET	400.0f / SQRT3 * 1.15f * SQRT2	出力過電圧エラー判定閾値(相電圧瞬時値) [V]
	INV_IOUT_HIGH_DET	18.0f * 1.10f	出力過電流垂下判定閾値(相電流実効値) [A]
	INV_IOUT_HIGH_REL	18.0f * 1.01f	出力過電流垂下解除閾値(相電流実効値) [A]
	INV_IOUT_HIGH_COEF	0.01f / 1.0f	電流垂下係数 （デューティ / 相電流実効値）
	INV_IOUT_OCP_DET	18.0f * 1.20f * SQRT2	出力過電流エラー判定閾値(相電流瞬時値) [A]
	INV_TARGET_VOLTAGE	400.0f	出力目標電圧(線間電圧実効値) [V]
	INV_TARGET_SLEWRATE	INV_TARGET_VOLTAGE / 0.60f	目標電圧ソフトスタート遷移比 [V/s]
	INV_PIC_COEF_PAR	5.0f / INV_TARGET_VOLTAGE	PI 制御比例係数
	INV_PIC_COEF_INT	5.0f / INV_TARGET_VOLTAGE / DSPSMPLCLK	PI 制御積分係数
	INV_DUTY_CMPL_COEF	0.00f / 1.0f	電流によるデューティ補正係数 （デューティ / 相電流瞬時値）
	INV_PWM_DEAD_TIME	200.0f	デッドタイム [ns]
	INV_PWM_FREQ_MAX	50000.0f	スイッチング周波数上限 [Hz]
	INV_PWM_FREQ_MIN	20000.0f	スイッチング周波数下限 [Hz]

3.4　制御フロー（フローチャート）

3.4.1　メイン処理

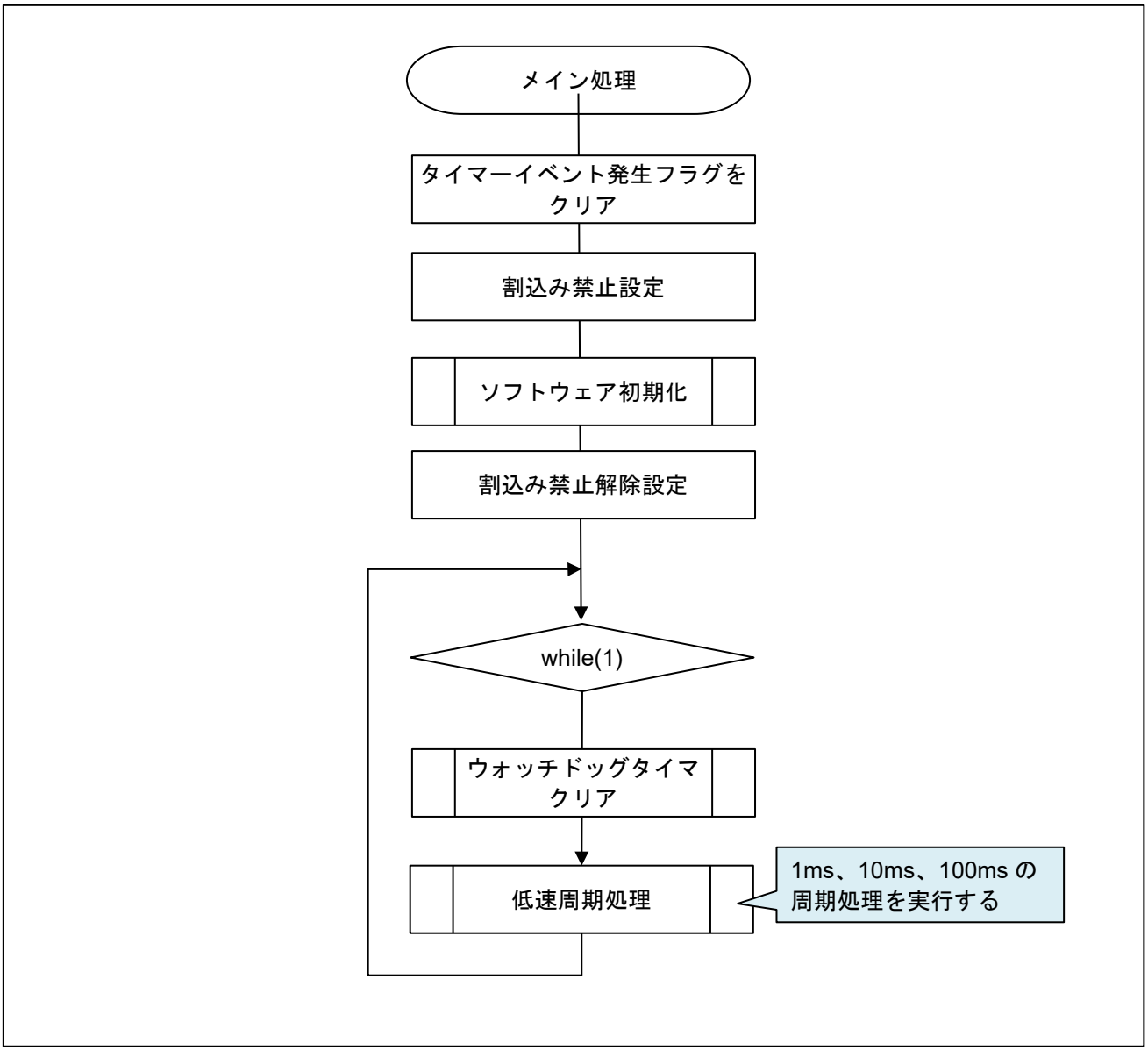


図 3-10　メイン処理フローチャート

3.4.2　低速タイマ割り込み処理(1 [ms]周期)

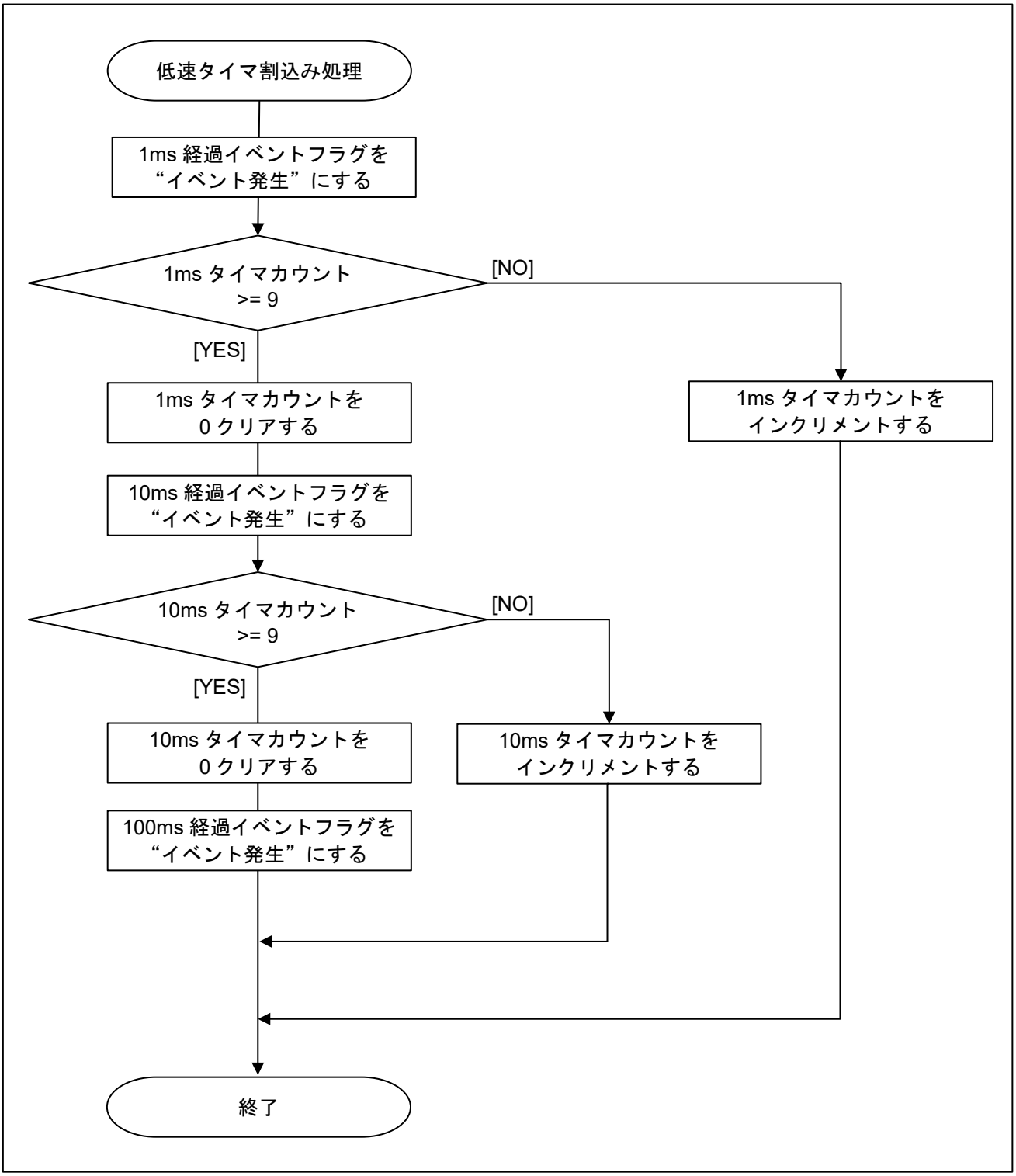


図 3-11　低速タイマ割り込み処理フローチャート

3.4.3　高速タイマ割り込み処理(50 [μs]周期)

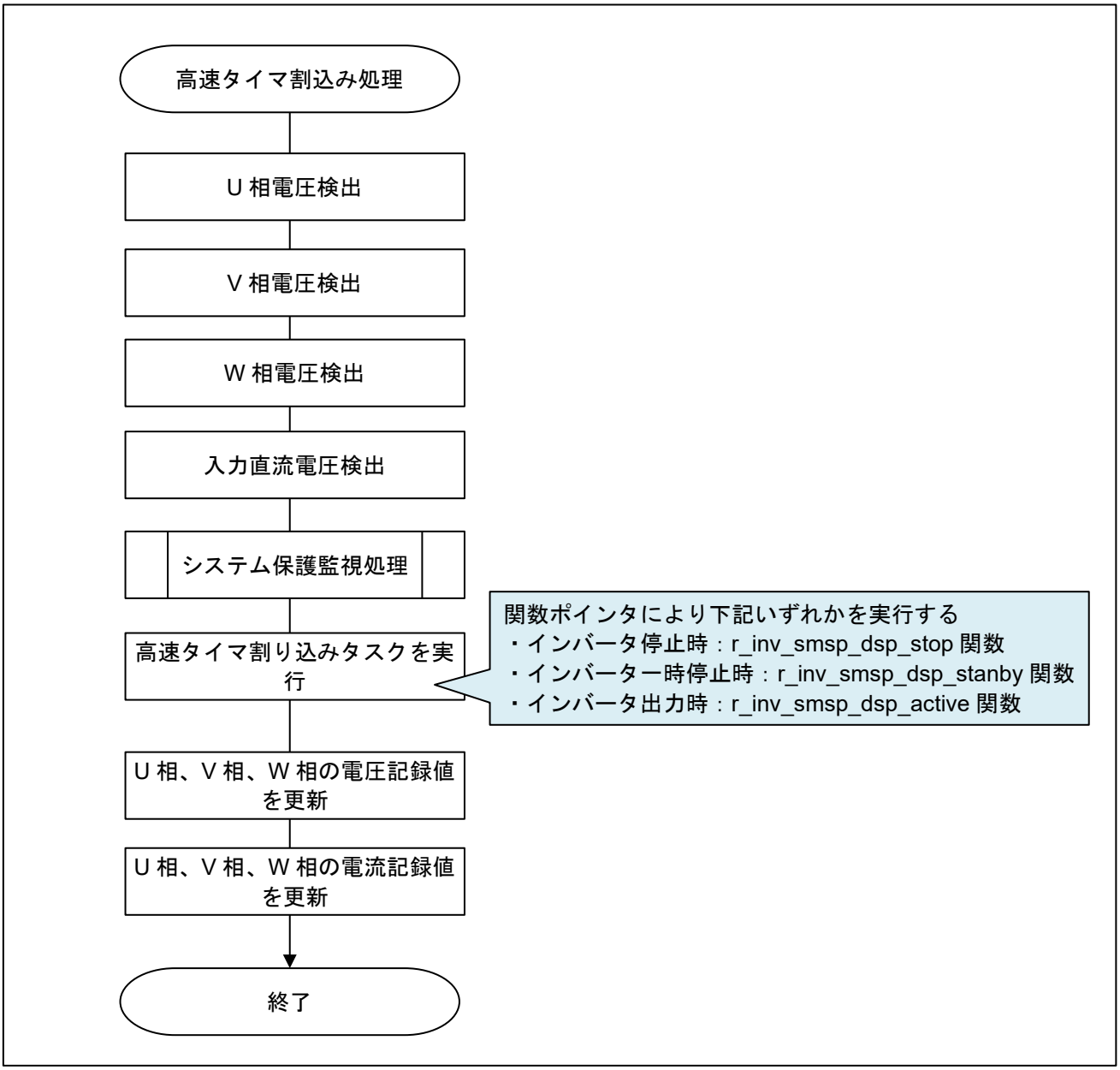


図 3-12　高速タイマ割り込み処理フローチャート

3.4.4　スイッチング周期タイマ割り込み処理

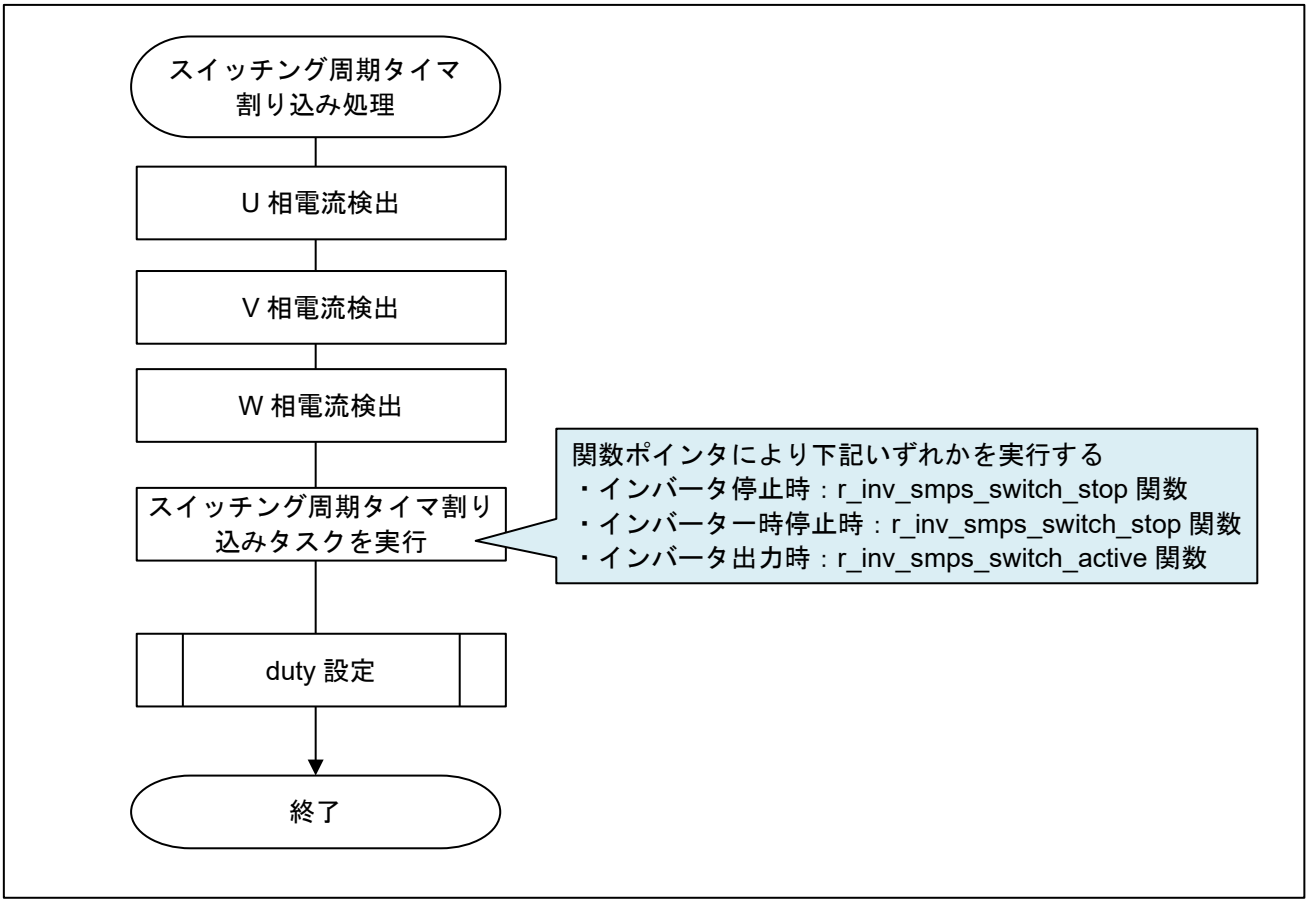


図 3-13　スイッチング周期タイマ割り込み処理フローチャート

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

4.1　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 4.2　Analyzer 機能用変数一覧を参照してください。使用方法などの詳細は「Renesas Motor Workbench ユーザーズマニュアル」を参照してください。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。

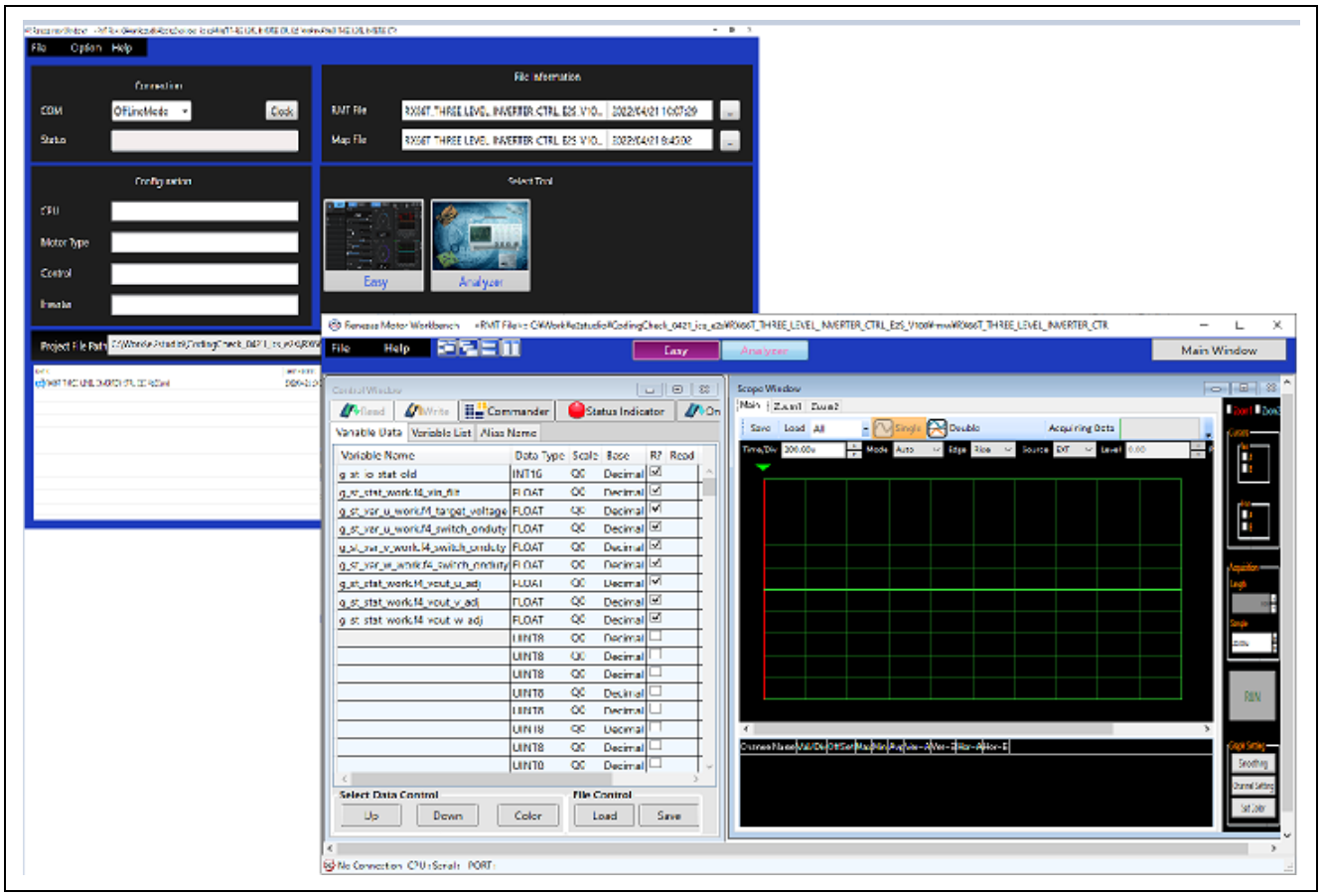


図 4-1　Renesas Motor Workbench 外観

<u>モータ制御開発支援ツール「Renesas Motor Workbench」の使い方</u>

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。

4.2　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の変数一覧を表 4-1 に示します。
また、構造体メンバー覧を表 4-2～表 4-5 に示します。

表 4-1　Analyzer 変数一覧

変数名	型	内容	備考
g_st_ctrl_work	st_smps_ctrl_t	st_smps_ctrl1 の情報(設定値)。	表 4-2 参照
g_st_stat_work	st_smps_stat_t	測定した値及びアラーム要因の有無。	表 4-3 参照
g_st_io_stat_old	u_io_stat_t	IO 状態。(16bit の bit 情報)	表 4-4 参照
g_st_var_u_work	st_smps_variable_t	U 相の記録情報。	表 4-5 参照
g_st_var_v_work	st_smps_variable_t	V 相の記録情報。	表 4-5 参照
g_st_var_w_work	st_smps_variable_t	W 相の記録情報。	表 4-5 参照

表 4-2　st_smps_ctrl_t 構造体メンバー覧

st_smps_ctrl_t 構造体メンバ	型	内容
f4_vout_gain	float	出力電圧検出ゲイン
f4_iout_gain	float	出力電流検出ゲイン
f4_vin_gain	float	入力電圧検出ゲイン
f4_vin_low_det	float	入力不足電圧一時停止判定閾値
f4_vin_low_rel	float	入力不足電圧一時停止解除閾値
f4_vin_ovp_det	float	入力過電圧エラー判定閾値
f4_vout_low_det	float	出力不足電圧エラー判定閾値
f4_vout_low_delay	float	出力不足電圧エラー判定遅延時間
f4_vout_high_det	float	出力過電圧一時停止判定閾値
f4_vout_high_rel	float	出力過電圧一時停止解除閾値
f4_vout_ovp_det	float	出力過電圧エラー判定閾値
f4_iout_high_det	float	出力過電流垂下判定閾値
f4_iout_high_rel	float	出力過電流垂下解除閾値
f4_iout_high_coef	float	出力過電流垂下強度
f4_iout_ocp_det	float	出力過電流エラー判定閾値
f4_duty_cmpl_coef	float	デューティ補正係数
f4_pic_coef_par	float	定電圧制御比例ゲイン
f4_pic_coef_int	float	定電圧制御積分ゲイン
f4_target_slewrate	float	ソフトスタート時の目標電圧スルーレート
f4_target_voltage	float	制御目標電圧

表 4-3　st_smps_stat_t 構造体メンバー覧

st_smps_stat_t 構造体メンバ	型	内容
f4_vout_u_filt	float	直流補正前の U 相電圧出力
f4_vout_v_filt	float	直流補正前の V 相電圧出力
f4_vout_w_filt	float	直流補正前の W 相電圧出力
f4_vout_u_adj	float	直流補正後の U 相電圧出力
f4_vout_v_adj	float	直流補正後の V 相電圧出力
f4_vout_w_adj	float	直流補正後の W 相電圧出力
d8_vout_u_offs	double	U 相電圧 直流補正値
d8_vout_v_offs	double	V 相電圧 直流補正値
d8_vout_w_offs	double	W 相電圧 直流補正値
f4_vout_u_var	float	U 相電圧 二乗平均値
f4_vout_v_var	float	V 相電圧 二乗平均値
f4_vout_w_var	float	W 相電圧 二乗平均値
f4_iout_u_filt	float	直流補正前の U 相電流出力
f4_iout_v_filt	float	直流補正前の V 相電流出力
f4_iout_w_filt	float	直流補正前の W 相電流出力
f4_iout_u_adj	float	直流補正後の U 相電流出力
f4_iout_v_adj	float	直流補正後の V 相電流出力
f4_iout_w_adj	float	直流補正後の W 相電流出力
d8_iout_u_offs	double	U 相電流 直流補正値
d8_iout_v_offs	double	V 相電流 直流補正値
d8_iout_w_offs	double	W 相電流 直流補正値
f4_iout_u_var	float	U 相電流 二乗平均(実効値計算用)
f4_iout_v_var	float	V 相電流 二乗平均(実効値計算用)
f4_iout_w_var	float	W 相電流 二乗平均(実効値計算用)
f4_vin_filt	float	入力電圧

表 4-4　u_io_stat_t 構造体メンバー覧

bit 位置	内容
15	AC 出力周波数 0-60Hz / 1-50Hz
14	リザーブ
13	スイッチング動作 0-2Level / 1-3Level
12	ON/OFF リクエスト 0-ON 要求 / 1-OFF 要求
11	アラーム解除リクエスト 0-解除要求 / 1-無効
10	リザーブ
9	リザーブ
8	リザーブ
7	運転状態 0-運転 / 1-停止
6	アラーム状態 0-アラーム有り / 1-アラーム無
5	リザーブ
4	リザーブ
3	ソフト内部アラーム解除リクエスト 0-無効 / 1-解除要求
2	ソフト内部運転リクエスト 0-OFF 要求 / 1-ON 要求
1	初期化完了 0-未完 / 1-完了
0	点滅信号に使用

表 4-5　st_smps_variable_t 構造体メンバー覧

st_smps_variable_t 構造体メンバ	型	内容
f4_target_voltage	float	現在の制御目標電圧(ソフトスタート中や垂下時に更新される)
d8_dsp_int	double	フィルタ出力における目標値との差分積算値
f4_dsp_output	float	フィルタ出力
f4_switch_onduty	float	PWM 出力 ON デューティ
u4_iout_high_flag	uint32_t	過電流垂下状態を示す　0-通常定電圧制御 / 1-過電流垂下

5.　評価結果

5.1　駆動波形

2 レベルと 3 レベル動作モードの起動時及び定常状態での波形を図 5-1~図 5-6 にそれぞれ示します。

また、表 5-1 には評価条件を示します。

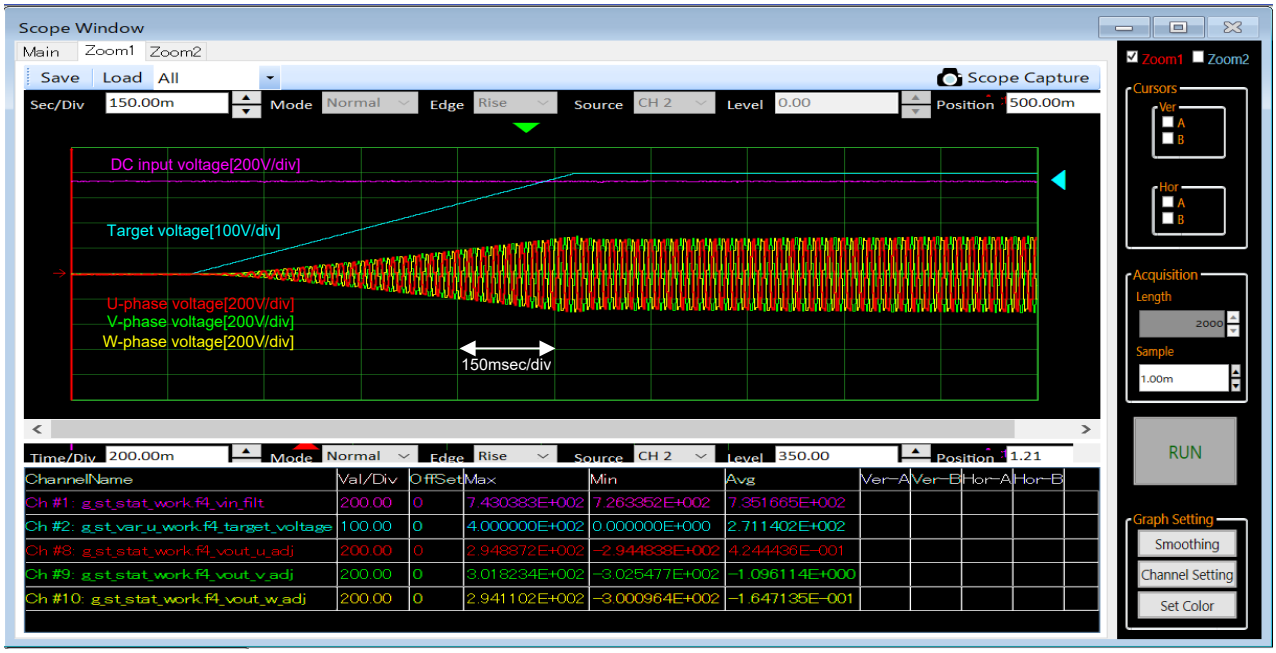
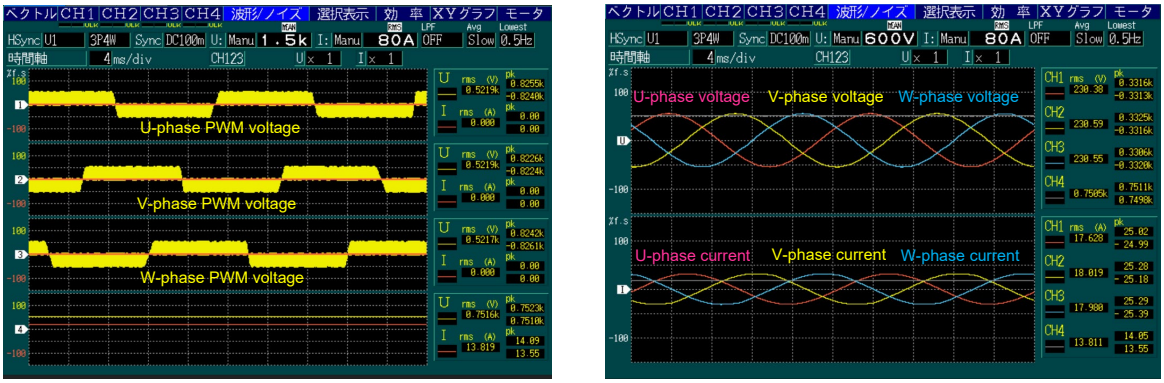


図 5-1 2 レベル動作モード/20kHz 時の起動波形



(a)PWM 出力波形　　(b)出力相電圧/相電流波形

図 5-2 2 レベル動作モード/20kHz 時の定常動作波形

表 5-1 評価条件

項目	仕様
直流入力電圧	750[Vdc]
出力容量	10kW,力率 0.8
PWM 動作モード	2 レベル及び 3 レベル
出力電圧	3 相 400Vrms(線間)
出力周波数	50Hz
キャリア周波数	2 レベル：20kHz, 3 レベル：20kHz,50kHz

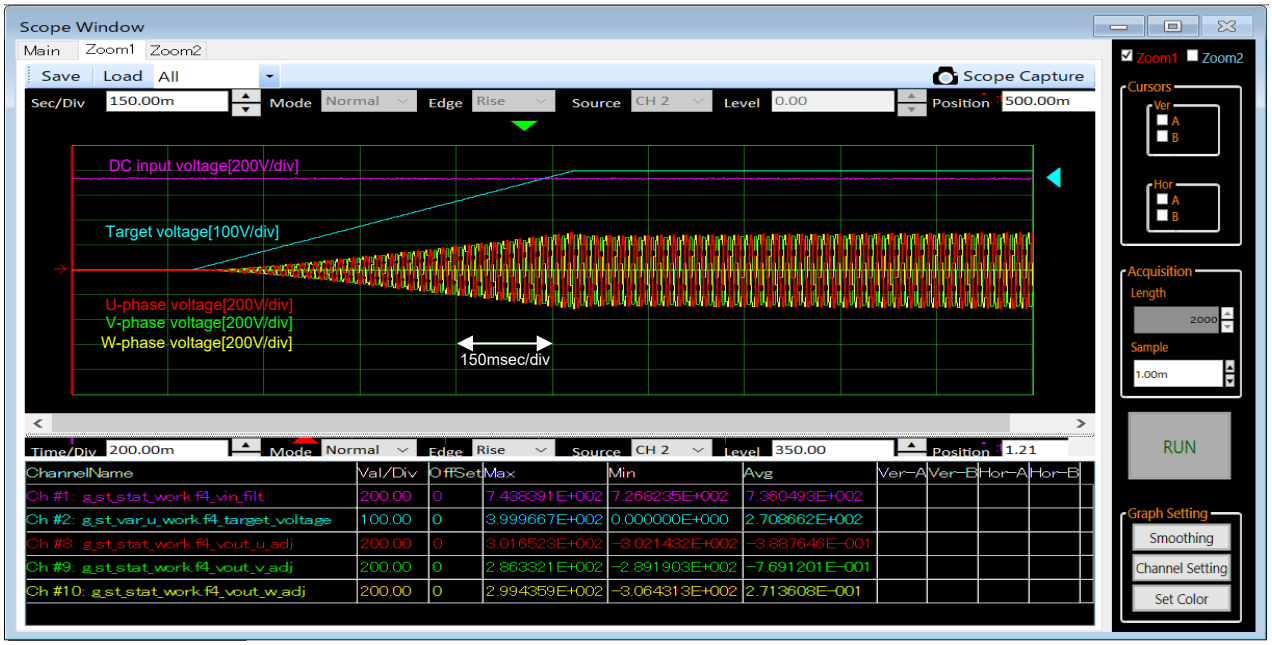
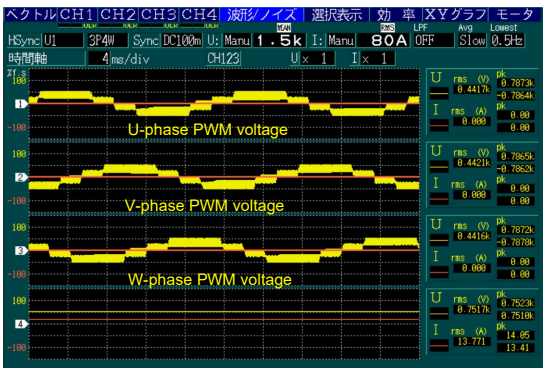
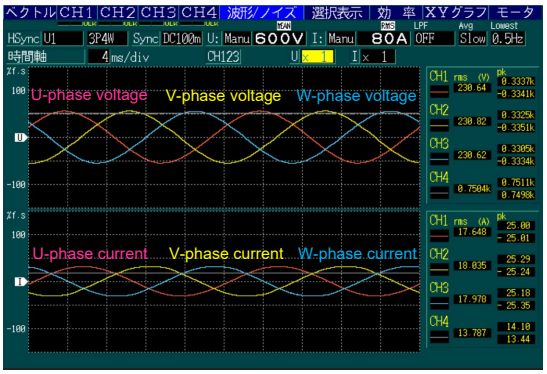


図 5-3 3 レベル動作モード/20kHz 時の起動波形



(a)PWM 出力波形



(b)出力相電圧/相電流波形

図 5-4 3 レベル動作モード/20kHz 時の定常動作波形

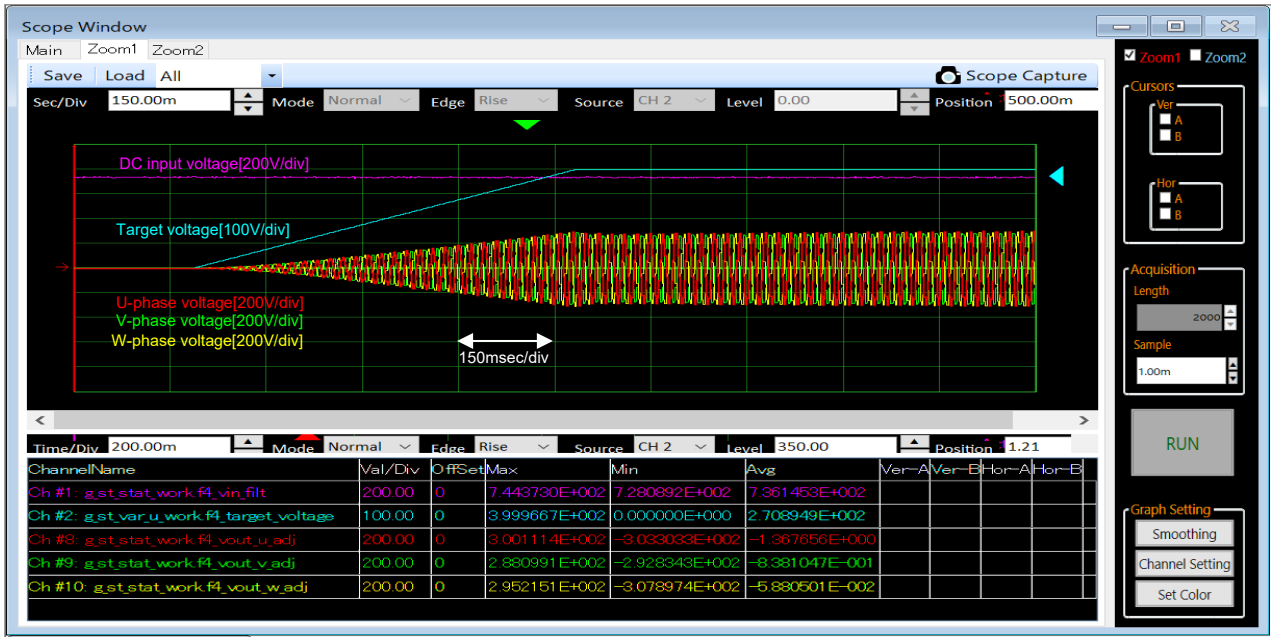
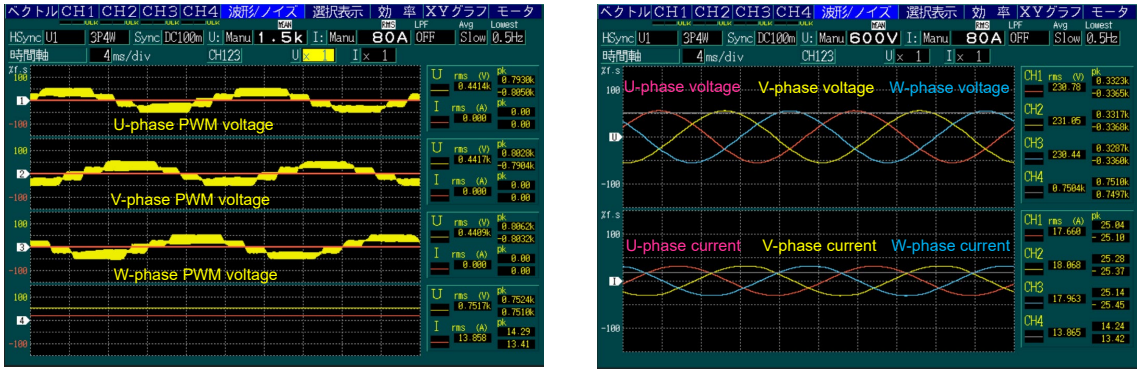


図 5-5 3 レベル動作モード/50kHz 時の起動波形



- (a)PWM 出力波形　　(b)出力相電圧/相電流波形

図 5-6 3 レベル動作モード/50kHz 時の定常動作波形

5.2　効率及びフィルタリアクトルの比較

図 5-7 に 2 レベル及び 3 レベル動作モード時におけるシステム効率及びインバータ効率の比較結果を示します。2 レベル動作モードでは、パワーデバイス素子が直流入力電圧でスイッチング動作を行うのに対して、3 レベル動作モードでは半分の直流入力電圧でスイッチング動作行うため、50kHz のスイッチング周波数でも 2 レベル/20kHz 動作時と同等な効率が得られます。

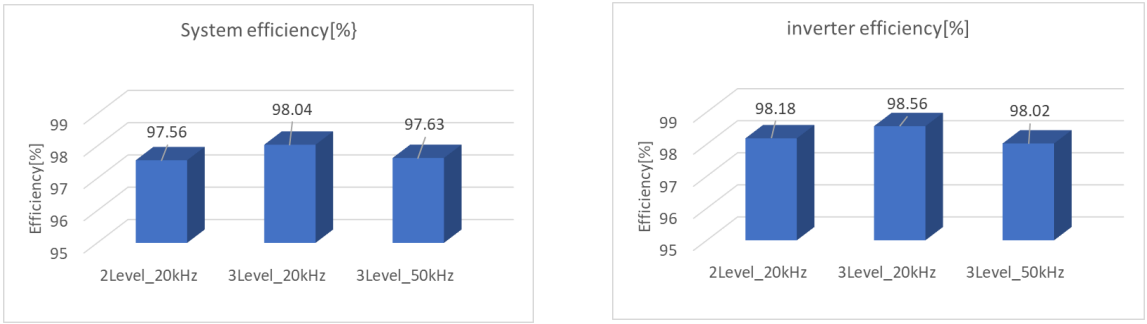


図 5-7 2 レベル及び 3 レベル動作モードにおける効率比較

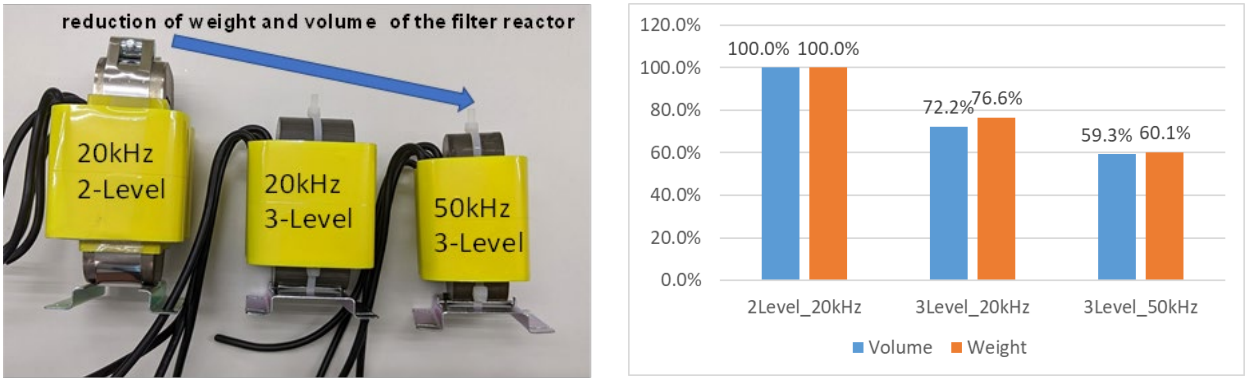


図 5-8 リアクトルサイズと重量の比較

図 5-8 に示すように 3 レベル動作モード時のインバータの PWM 出力電圧波形に、高調波歪み成分が少ないため、2 レベル/20kHz のフィルタリアクトルに対して、3 レベル/20kHz では体積と重さを 20%~30%低減、また 3 レベル/50kHz 動作では体積と重量を 40%低減できます。

5.3　CPU 使用率

条件：CPU クロック周波数：160 MHz、PWM キャリア周波数：20 KHz

表 5-2　CPU 使用率

制御周期	2 レベル動作モード		3 レベル動作モード	
	処理時間[μs]	使用率[%]	処理時間[μs]	使用率[%]
低速タイマ(1ms 周期)割り込み	0.18	0.02	0.18	0.02
高速タイマ(50μs 周期)割り込み	4.59	9.18	4.60	9.20
PWM 周期(50μs 周期)割り込み	4.06	8.12	4.88	9.76
合計	8.83	17.32	9.66	18.98

条件：CPU クロック周波数：160 MHz、PWM キャリア周波数：50 KHz

表 5-3　CPU 使用率

制御周期	2 レベル動作モード		3 レベル動作モード	
	処理時間[μs]	使用率[%]	処理時間[μs]	使用率[%]
低速タイマ(1ms 周期)割り込み	0.18	0.02	0.18	0.02
高速タイマ(50μs 周期)割り込み	4.58	9.16	4.56	9.12
PWM 周期(20μs 周期)割り込み	4.04	20.20	4.84	24.20
合計	8.80	29.38	9.58	33.34

5.4　ROM/RAM 使用量

本システムでの ROM/RAM 使用量は以下の通りです。

表 5-4　ROM/RAM 使用量

メモリ	サイズ
ROM	25.3KB
RAM	9.1KB

改訂記録

Rev.	発行日	改訂内容	
		ページ	ポイント
1.00	July.01.22	—	新規発行

製品ご使用上の注意事項

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

1. 静電気対策
   CMOS 製品の取り扱いの際は静電気防止を心がけてください。CMOS 製品は強い静電気によってゲート絶縁破壊を生じることがあります。運搬や保存の際には、当社が出荷梱包に使用している導電性のトレーやマガジンケース、導電性の緩衝材、金属ケースなどを利用し、組み立て工程にはアースを施してください。プラスチック板上に放置したり、端子を触ったりしないでください。また、CMOS 製品を実装したボードについても同様の扱いをしてください。
2. 電源投入時の処置
   電源投入時は、製品の状態は不定です。電源投入時には、LSI の内部回路の状態は不確定であり、レジスタの設定や各端子の状態は不定です。外部リセット端子でリセットする製品の場合、電源投入からリセットが有効になるまでの期間、端子の状態は保証できません。同様に、内蔵パワーオンリセット機能を使用してリセットする製品の場合、電源投入からリセットのかかる一定電圧に達するまでの期間、端子の状態は保証できません。
3. 電源オフ時における入力信号
   当該製品の電源がオフ状態のときに、入力信号や入出力プルアップ電源を入れないでください。入力信号や入出力プルアップ電源からの電流注入により、誤動作を引き起こしたり、異常電流が流れ内部素子を劣化させたりする場合があります。資料中に「電源オフ時における入力信号」についての記載のある製品は、その内容を守ってください。
4. 未使用端子の処理
   未使用端子は、「未使用端子の処理」に従って処理してください。CMOS 製品の入力端子のインピーダンスは、一般に、ハイインピーダンスとなっています。未使用端子を開放状態で動作させると、誘導現象により、LSI 周辺のノイズが印加され、LSI 内部で貫通電流が流れたり、入力信号と認識されて誤動作を起こす恐れがあります。
5. クロックについて
   リセット時は、クロックが安定した後、リセットを解除してください。プログラム実行中のクロック切り替え時は、切り替え先クロックが安定した後に切り替えてください。リセット時、外部発振子（または外部発振回路）を用いたクロックで動作を開始するシステムでは、クロックが十分安定した後、リセットを解除してください。また、プログラムの途中で外部発振子（または外部発振回路）を用いたクロックに切り替える場合は、切り替え先のクロックが十分安定してから切り替えてください。
6. 入力端子の印加波形
   入力ノイズや反射波による波形歪みは誤動作の原因になりますので注意してください。CMOS 製品の入力がノイズなどに起因して、V_{IL}（Max.）から V_{IH}（Min.）までの領域にとどまるような場合は、誤動作を引き起こす恐れがあります。入力レベルが固定の場合はもちろん、V_{IL}（Max.）から V_{IH}（Min.）までの領域を通過する遷移期間中にチャタリングノイズなどが入らないように使用してください。
7. リザーブアドレス（予約領域）のアクセス禁止
   リザーブアドレス（予約領域）のアクセスを禁止します。アドレス領域には、将来の拡張機能用に割り付けられている リザーブアドレス（予約領域）があります。これらのアドレスをアクセスしたときの動作については、保証できませんので、アクセスしないようにしてください。
8. 製品間の相違について
   型名の異なる製品に変更する場合は、製品型名ごとにシステム評価試験を実施してください。同じグループのマイコンでも型名が違うと、フラッシュメモリ、レイアウトパターンの相違などにより、電気的特性の範囲で、特性値、動作マージン、ノイズ耐量、ノイズ幅射量などが異なる場合があります。型名が違う製品に変更する場合は、個々の製品ごとにシステム評価試験を実施してください。

ご注意書き

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

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

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

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

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

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

(Rev.5.0-1　2020.10)

本社所在地

〒135-0061 東京都江東区豊洲 3-2-24（豊洲フォレシア）

www.renesas.com

お問合せ窓口

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

www.renesas.com/contact/

商標について

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

© 2022 Renesas Electronics Corporation. All rights reserved.