

SH7216 グループ

R01AN0589JJ0200

Rev.2.00

2011.03.25

パワーコンディショナ デモシステムの概要

要旨

本資料は、SH7216 グループのマイコン応用例として、パワーコンディショナの制御機能を SH7216 の内蔵周辺機能を用いて、デジタル制御するパワーコンディショナ デモシステム (以降、「本デモシステム」と呼びます) の概要について示します。

動作確認デバイス

SH7216

目次

1. はじめに	2
2. システム起動	6
3. システム機能	8
4. 周辺機能	30
5. 参考プログラム	32
6. 参考ドキュメント	38

1. はじめに

昨今、地球温暖化の防止に向けた CO₂ 削減など環境保護の取り組みが急速に進み、自然エネルギーを利用した発電システムの開発、普及が盛んに行われています。そのような中で、太陽光発電システムは、CO₂ を排出しないクリーンなエネルギーとして知られています。世界各国では、太陽光発電システムの導入を支援する各種の制度等の整備も進められ、普及が爆発的に進んでいます。

太陽光発電システムは、太陽光エネルギーを直流電力に変換する太陽電池 (PV) パネルと、パワーコンディショナ (PCS) から構成されます。パワーコンディショナは、太陽電池パネルで発電した直流電力を家庭内で使用可能な交流電力に変換し、電力系統に接続します。図 1 に太陽光発電システムの概要を示します。

パワーコンディショナは、主要な機能として、直流昇圧コンバータ (DC/DC 変換部) 部、AC インバータ部 (DC/AC 変換) の 2 つの電力変換部から構成されます。直流昇圧コンバータ部は、太陽電池パネルの直流電圧を昇圧して、AC インバータ部に供給します。AC インバータ部は、直流電圧を交流電圧に変換して、外部に AC100V/220V の交流電圧を供給します。そのほか、太陽電池パネルの特性に合わせて最大のエネルギーを得る最大電力点追従制御 (MPPT: Maximum Power Point Tracking) などの効率向上の処理、電力系統に接続するために電圧位相や出力品質 (電圧変動、高調波) の調整、安全のための保護処理などを行います。

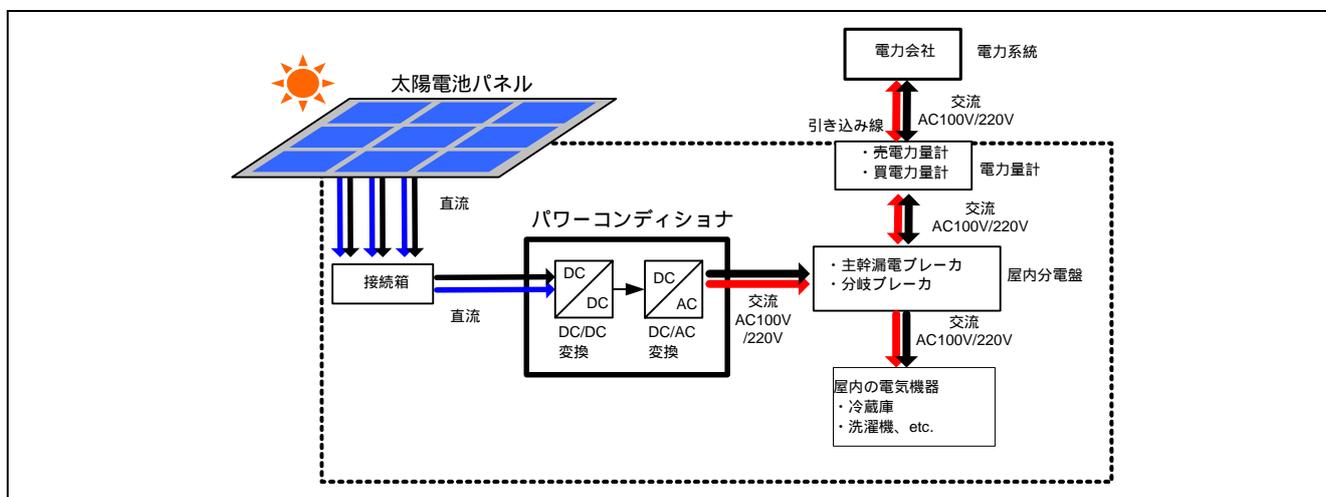


図 1 太陽光発電システムについて

1.1 システム概要

本デモシステムは、電力系統との接続を行わない独立型のシステムです。本デモシステムでは、パワーコンディショナの主要機能である直流昇圧コンバータ部 (DC/DC 変換)、および AC インバータ部 (DC/AC 変換) を SH7216 の内蔵周辺機能を用いて、デジタル方式で制御します。

図 2 に、本デモシステムの外観を示します。

システム全体は、アタッシュケースに収めてあります。ケース内部のパネル面には、システム全体の電源用の AC100V 供給用の電源コネクタと、AC100V の ON/OFF を行う主電源スイッチを配置しています。

システム処理の起動は、パワーコンディショナ基板上的の制御スイッチで操作します。制御スタートスイッチを操作すると、直流昇圧コンバータ、および AC インバータの処理が開始して、AC-FAN が回転します。

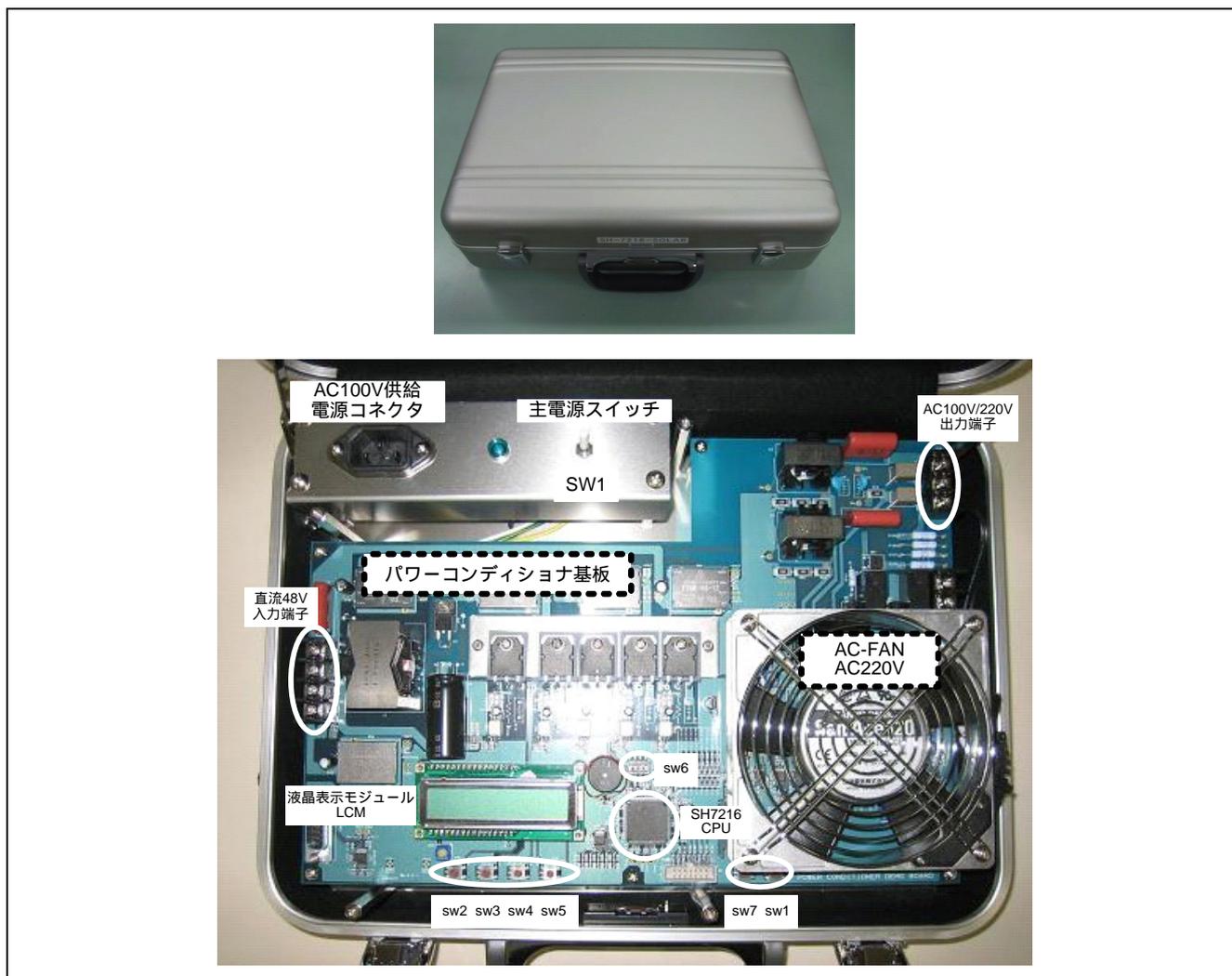


図 2 デモシステムの外観

図 3 に、本デモシステムの構成を示します。

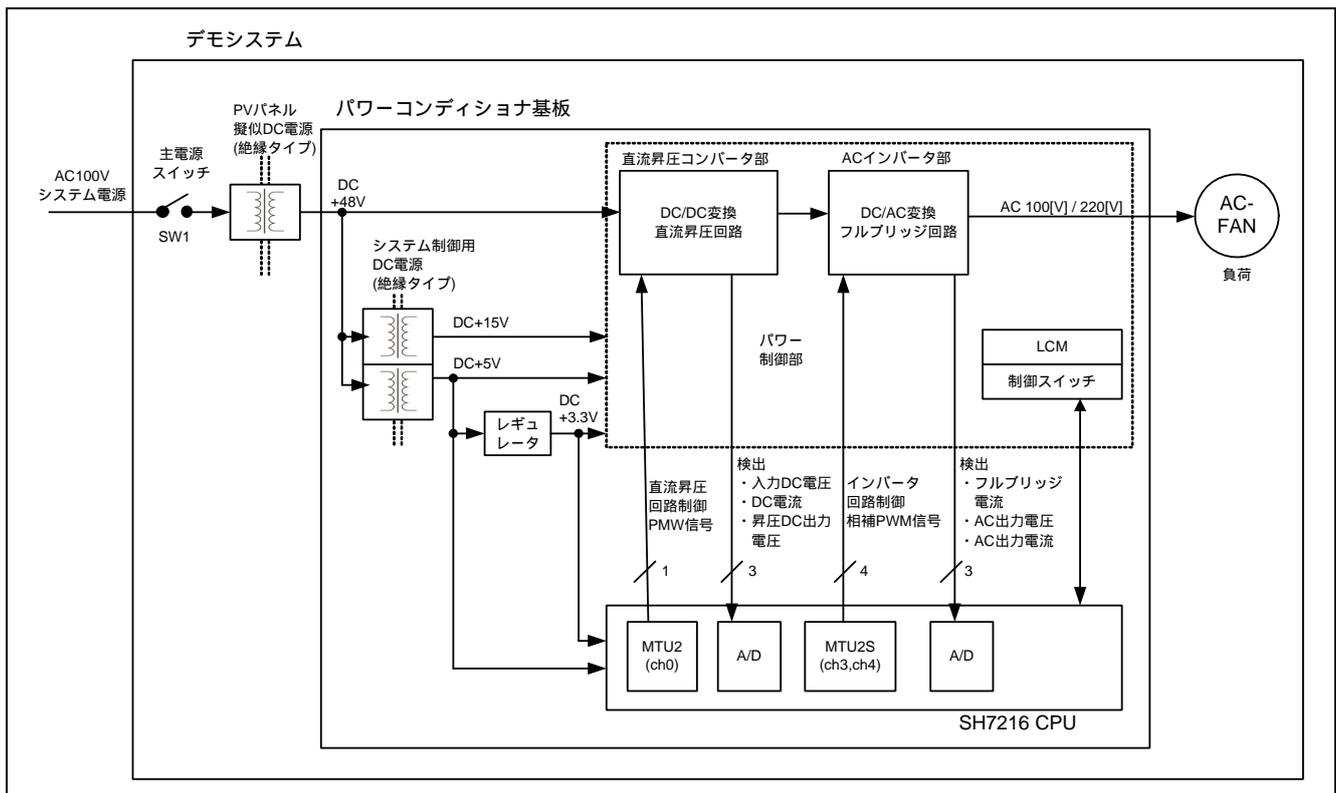


図 3 デモシステムの構成

本デモシステムは、主電源スイッチ (SW1)、PV パネル擬似 DC 電源、パワーコンディショナ基板、出力負荷により構成されます。

主電源スイッチを ON にすることにより、PV パネル擬似 DC 電源に、システム電源が供給されます。

PV パネル擬似 DC 電源は、擬似的な太陽電池パネルの電圧として、DC48V を生成し、パワーコンディショナ基板の直流昇圧コンバータ、および、システム制御用 DC 電源へ供給します。

負荷として、AC-FAN を接続しています。

パワーコンディショナ基板は、SH7216CPU 部、パワー制御部、システム電源部で構成されます。

(1) SH7216 CPU 部

SH7216 CPU 部は、システム全体の制御を行います。SH7216 の内蔵周辺機能のうち、タイマを使用し、直流昇圧コンバータ部、および、AC インバータ部のスイッチング素子の制御を行います。また、A/D コンバータを使用し、電圧/電流検出を行います。

(2) パワー制御部

パワー制御部は、直流昇圧コンバータ部と AC インバータ部から構成されています。その他、制御スイッチ、液晶表示モジュール (LCM) を搭載します。

直流昇圧コンバータ部には、DC48V の直流電圧を入力します。直流昇圧コンバータの処理は、入力直流電圧に対して昇圧処理を行い、昇圧後の直流電圧を、後段にある AC インバータ部に供給します。AC インバータ部では、直流電圧を交流電圧に変換して AC100V/220V を出力します。このとき AC 出力端子に接続した AC-FAN (負荷) が回転します。

(3) システム電源部

システム電源は、システム制御用 DC 電源として、SH7216CPU 部や制御回路用の直流電圧+15V, +5V, +3.3V を生成します。

1.2 システム仕様

表 1 に、システム仕様を示します。

表 1 システム仕様

項目	内容
システム入力電圧	AC 100 / 220 [V] <ul style="list-style-type: none"> ● PV パネル擬似 DC 電源に AC100 / 220 [V]を供給
電力変換	(1) 直流昇圧コンバータ部 (DC/DC 変換): 直流昇圧の処理 (DC48 [V]を DC200V / 400 [V]に変換) (2) AC インバータ部 (DC/AC 変換): AC 電圧の生成 (DC200 / 400 [V]をそれぞれ AC100 / 220 [V]に変換)
AC 出力電圧	<ul style="list-style-type: none"> ● AC 100 / 220 [V] ● 正弦波 (サイン波) 出力、AC-FAN (出力負荷) に接続
連続 AC 出力	<ul style="list-style-type: none"> ● 44W (0.2A × 220VAC)
AC 出力周波数	<ul style="list-style-type: none"> ● 50Hz、または 60Hz (制御スイッチで切り替え)
AC 出力負荷	AC-FAN <ul style="list-style-type: none"> ● 電圧:AC220V (周波数: 50/60[Hz]、入力 13.5/12[W]、電流 0.07/0.06 [A]) ● 型番: 109S087 ● メーカー: 山洋電気株式会社 (SANYO DENKI CO.,LTD)
電源スイッチ (SW1)	システム電源スイッチ (AC100 / 220V の ON/OFF) <ul style="list-style-type: none"> ● SW1: システム主電源スイッチ
制御スイッチ (sw1 ~ sw7)	直流昇圧コンバータ部、および AC インバータ部の制御の開始と停止を設定 <ul style="list-style-type: none"> ● sw1: (未使用) ● sw2: 制御スタート ● sw3: 制御ストップ ● sw4: リザーブ ● sw5: AC 出力周波数切り替え (50Hz/60Hz) ● sw6: CPU 動作モード、出力電圧設定 ● sw7: SH7216CPU リセット
圧電ブザー	圧電ブザー: システム起動の操作音、異常発生の警告音を生成
SH7216CPU	システム制御用に SH7216 (SH2A-FPU)。型名: R5F72167ADFA を使用 <ul style="list-style-type: none"> ● CPU クロック: 最大 200MHz (入力クロック: 12.5MHz) ● 内蔵フラッシュメモリ: 1024K バイト ● 内蔵 RAM: 128K バイト

2. システム起動

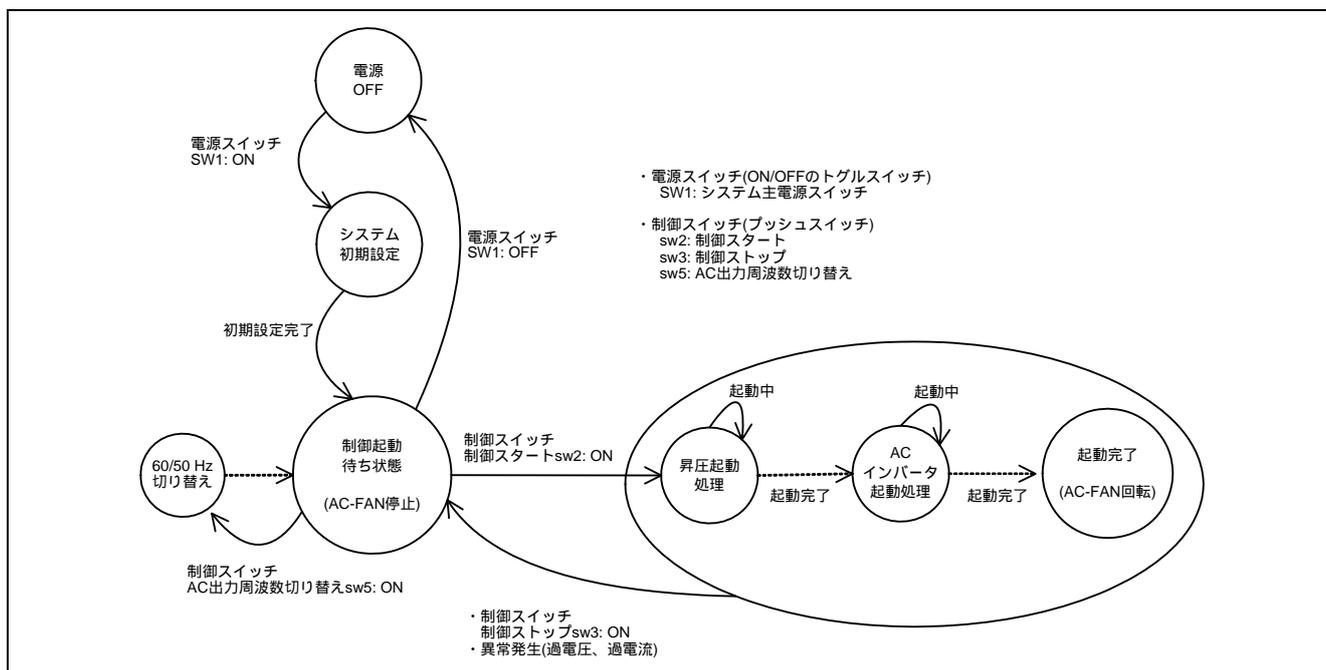
2.1 状態遷移

システムは、主電源スイッチ、および制御スイッチの操作で起動します。図 4 に、システム動作の状態を示します。

システムは、主電源スイッチ (SW1) を ON すると起動します。SH7216 CPU ボードや周辺制御回路に電源が供給されて、初期化が行われます。初期化が完了すると、制御起動の待ち状態に遷移します。

制御起動の待ち状態では、制御スタートスイッチ (sw2) を ON すると、直流昇圧コンバータ処理と AC インバータ処理が開始します。起動処理が完了すると、AC インバータで生成した AC100V/220V の交流電圧が出力されて、AC 出力端子に接続している AC-FAN が回転します。

制御ストップスイッチ (sw3) を ON すると、AC-FAN の回転は停止します。このとき、直流昇圧コンバータ処理、AC インバータ処理の制御は停止して、制御起動待ち状態に遷移します。



2.2 電源スイッチ

表 2 に、システムの電源スイッチの機能を示します。電源スイッチは、トグルタイプ (ON/OFF) のスイッチで、ケースのパネル上面に配置されています。

表 2 電源スイッチの機能

項目	内容
SW1	<ul style="list-style-type: none"> システム主電源スイッチ スイッチを ON すると、AC100V/220V が PV パネル擬似 DC 電源に供給されます。直流昇圧コンバータ部、および、システム制御用 DC 電源へ入力する直流電圧 (DC48V) を生成します。DC+15, DC+5V, DC+3.3V の電圧を、SH7216 を含むシステム全体の制御回路に供給します。

2.3 制御スイッチ

表 3 に、制御スイッチの機能を示します。制御スイッチは、プッシュタイプのスイッチ、または、DIP スイッチで、パワーコンディショナ基板上に実装されています。直流昇圧コンバータ部、AC インバータ部の制御の開始、停止は、この制御スイッチの操作で設定します。

制御スタートスイッチ (sw2) を ON (プッシュ) すると、直流昇圧コンバータ処理、および AC インバータ処理が起動して、AC-FAN が回転します。

制御ストップスイッチ (sw3) を ON (プッシュ) すると、制御は停止します。AC100V/220V 交流電圧の出力は停止して、AC-FAN 回転は停止します。

表 3 制御スイッチの機能

項目	内容
sw1	(未使用)
sw2	<ul style="list-style-type: none"> 制御スタートスイッチ スイッチを ON すると、直流昇圧コンバータの制御、および AC インバータの制御を開始します。AC-FAN が回転します。
sw3	<ul style="list-style-type: none"> 制御ストップスイッチ スイッチを ON すると、直流昇圧コンバータの制御、および AC インバータの制御を停止します。AC-FAN の回転は、停止します。
sw4	リザーブスイッチ
sw5	<ul style="list-style-type: none"> AC 出力周波数切り替えスイッチ スイッチを ON するごとに、AC 出力電圧の正弦波出力周期の設定を切り替えます。設定は、制御が停止状態のみで受け付けます。設定可能な周期は、50Hz、または 60Hz です。システム起動時の初期値は 60Hz です。
sw6-1,2,3 (DIP スイッチ)	<ul style="list-style-type: none"> SH7216CPU モード選択スイッチ SH7216CPU の動作モードを選択します。 (1,2,3) = (ON,OFF,OFF) に設定します。(シングルチップモード)
sw6-4 (DIP スイッチ)	<ul style="list-style-type: none"> 昇圧、AC インバータ出力電圧設定スイッチ 昇圧電圧 (200V / 400V)、AC インバータ出力電圧 (AC100V / 220V) を選択します。 スイッチ OFF: 昇圧 400V / AC220V ON: 昇圧 200V / AC100V
sw7	<ul style="list-style-type: none"> SH7216CPU リセットスイッチ スイッチを ON すると、SH7216CPU をパワー-ON リセットします。

3. システム機能

3.1 直流昇圧コンバータ部

3.1.1 構成

図5に、システムの直流昇圧コンバータ部の構成を示します。

直流昇圧コンバータ部は、入力直流電圧より高い直流電圧を生成して、後段のACインバータ部に供給します。

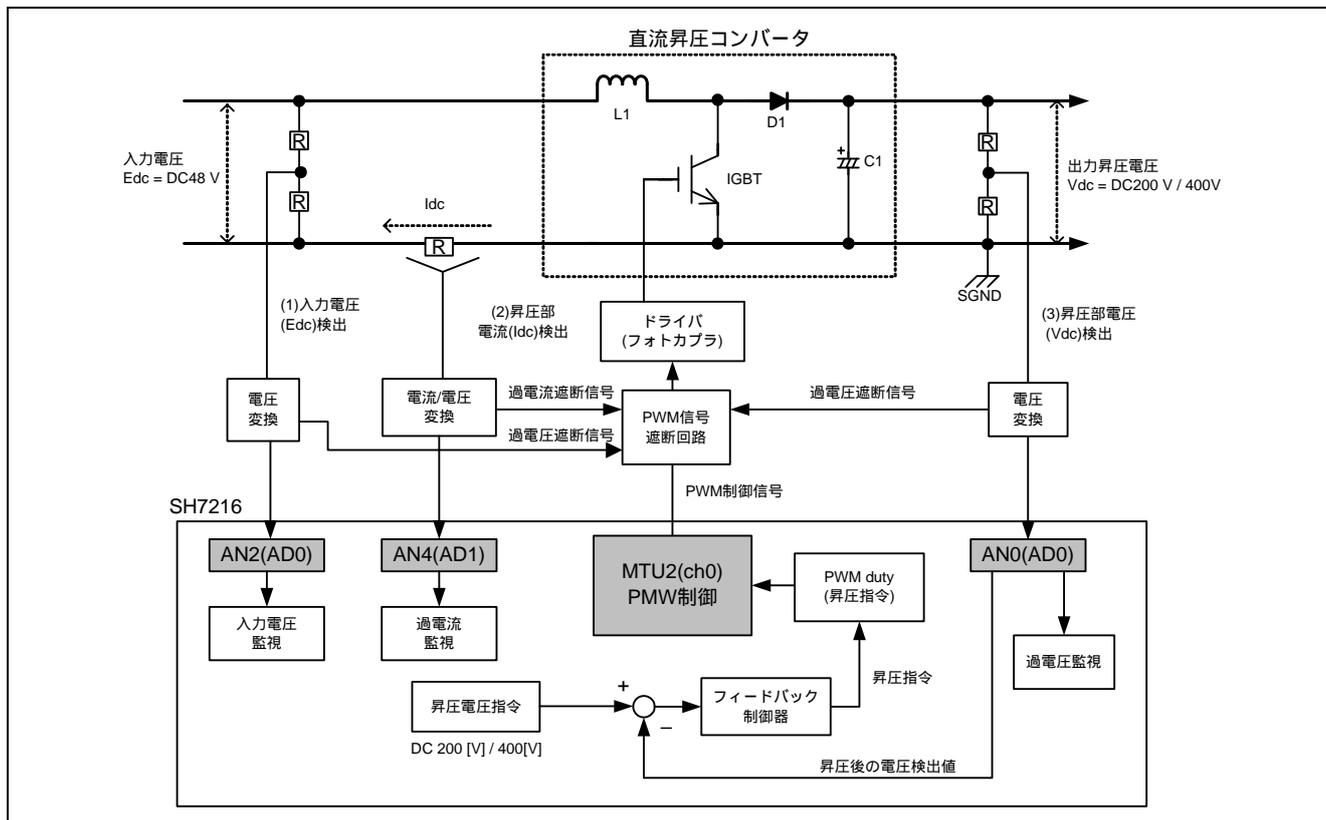


図5 直流昇圧コンバータ部

直流昇圧コンバータ部（非絶縁 DC/DC 変換）は、スイッチング素子（IGBT）、チョークコイル（L1）、ダイオード（D1）、コンデンサ（C1）から構成されています。

直流昇圧処理では、直流昇圧コンバータのスイッチング素子が ON の期間に、チョークコイルに電流が流れ込んで電流エネルギーを蓄えます。一方、スイッチング素子が OFF の期間では、チョークコイルは流れる電流を維持しようとするため、チョークコイルの両端に電圧が発生します。このとき、出力側には、入力電圧にチョークコイル分の電圧エネルギーが加わり、電圧が上昇します。この電圧は、ダイオードを経て、コンデンサに蓄えられます。ダイオードは、入力電圧より高くなったコンデンサの電圧による逆流を防止します。昇圧後の電圧は、このスイッチング素子の ON/OFF 期間（オンデューティ）で調整します。

システムでは、このスイッチング素子の ON/OFF 制御に、SH7216 の内蔵周辺機能のタイマ機能を利用した PWM (Pulse Width Modulation) 制御を使用します。

昇圧後の出力電圧は、目標の電圧値になるように、フィードバック制御で調整します。出力電圧は、SH7216 内蔵周辺機能の A/D コンバータ（ADC）で検出し、昇圧電圧指令値（目標値）との偏差を求めます。フィードバック制御では、この偏差から、PWM デューティの指令を計算します。この指令値から SH7216 の内蔵周辺機能 MTU2 の PWM 制御の機能を使用して、スイッチング素子の ON/OFF を行い、昇圧後の出力電圧を調整します。

図 6 に、フィードバック制御器の構成を示します。制御器として、1 次 IIR (Infinite Impulse Responss) フィルタを 2 段カスケード接続して使用しています。

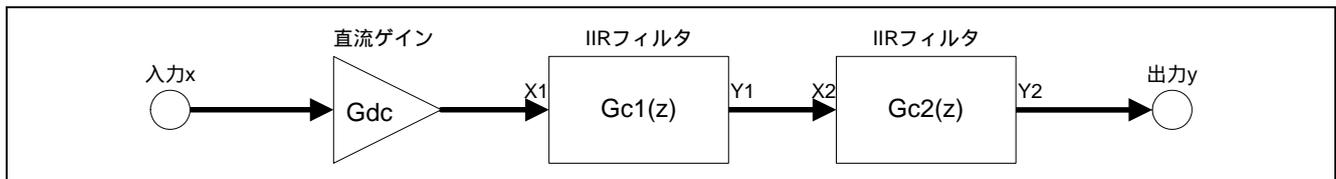


図 6 フィードバック制御器

上記 IIR フィルタの伝達関数を以下に示します。

$$Gc(s) = \frac{(1 + \frac{s}{\omega zi})(1 + \frac{s}{\omega zd})}{(1 + \frac{s}{\omega pi})(1 + \frac{s}{\omega pd})}$$

ωzi : ゼロ周波数 (積分) [Hz]

ωzd : ゼロ周波数 (微分) [Hz]

ωpi : ポール周波数 (積分) [Hz]

ωpd : ポール周波数 (微分) [Hz]

上記伝達関数を差分方程式に変換したものを以下に示します。

$$Gc1(z): Y1[n] = A10 * X1[n] + A11 * X1[n-1] + B11 * Y1[n-1]$$

$$Gc2(z): Y2[n] = A20 * X2[n] + A21 * X2[n-1] + B21 * Y2[n-1]$$

$$A10 = \frac{AZd + 1}{APd + 1} \quad A11 = \frac{-AZd + 1}{APd + 1} \quad B11 = \frac{APd - 1}{APd + 1}$$

$$A20 = \frac{AZi + 1}{APi + 1} \quad A21 = \frac{-AZi + 1}{APi + 1} \quad B21 = \frac{APi - 1}{APi + 1}$$

f_s : スイッチング周波数 [Hz]

$$AZd: \frac{f_s}{f_{zd} * \pi}$$

$$APd: \frac{f_s}{f_{pd} * \pi}$$

$$AZi: \frac{f_s}{f_{zi} * \pi}$$

$$APi: \frac{f_s}{f_{pi} * \pi}$$

X1、および X2 はフィルタへの入力データ、Y1、および Y2 は出力データになります。A10, A11, A20, A21, B11, B21 の各パラメータを変更することでフィルタの調整を行います。

表 4 に、直流昇圧コンバータ部の概要を示します。

表 4 直流昇圧コンバータ部の概要

項目	内容
制御方式	非絶縁型の直流昇圧コンバータ (チョップ方式 DC/DC 変換)
入力電圧	DC 48 [V]
出力電圧	DC200 / 400 [V]
PWM キャリア周期	50 μ s IGBT のスイッチング周期 (PWM キャリア周波数: 20kHz)

3.1.2 マルチファンクションタイマパルスユニット 2 (MTU2)

直流昇圧コンバータのスイッチング制御には、SH7216 の内蔵周辺機能のマルチファンクションタイマパルスユニット 2 (MTU2) のタイマ機能を使用して、IGBT の ON/OFF 制御用の PWM 信号を生成します。MTU2 のチャンネル 0 の動作モードは、PWM モード 1 に設定します。

表 5 にマルチファンクションタイマパルスユニット 2 (MTU2) の機能設定の内容を示します。

MTU2 の詳細は、「SH7216 グループ ハードウェアマニュアル (RJ09B0575)」の「マルチファンクションタイマパルスユニット 2 (MTU2)」の章を参照ください。

表 5 マルチファンクションタイマパルスユニット 2 (MTU2) チャンネル 0 の機能設定

項目	内容
チャンネル	チャンネル 0
MTU2 モジュール 動作クロック	50MHz
動作モード	PWM モード 1 (レジスタはバッファ動作)
PWM キャリア周期	50 μ s (PWM キャリア周波数: 20kHz)
PWM 分解能	20ns (= 1/50MHz)
割り込み処理	TGRB コンペアマッチレジスタのコンペアマッチ割り込み (PWM キャリア周期ごとの割り込み処理)
出力端子	TIOC0A (PB1) 出力端子 <ul style="list-style-type: none"> 初期出力 Lo、アクティブ Hi IGBT の PWM 制御 ドライバ (フォトカプラ) を経由して、IGBT のスイッチングを制御

図7にMTU2のPWM出力波形を示します。

MTU2のPWM1モードでは、PWMデューティ値とPWMキャリアの周期値を、コンペアマッチレジスタに設定して、タイマ出力端子からPWM信号を出力します。

PWMキャリア周期ごとに発生するコンペアマッチ割り込み処理では、ソフトウェアによるPWMデューティの演算や、MTU2レジスタの設定を行います。

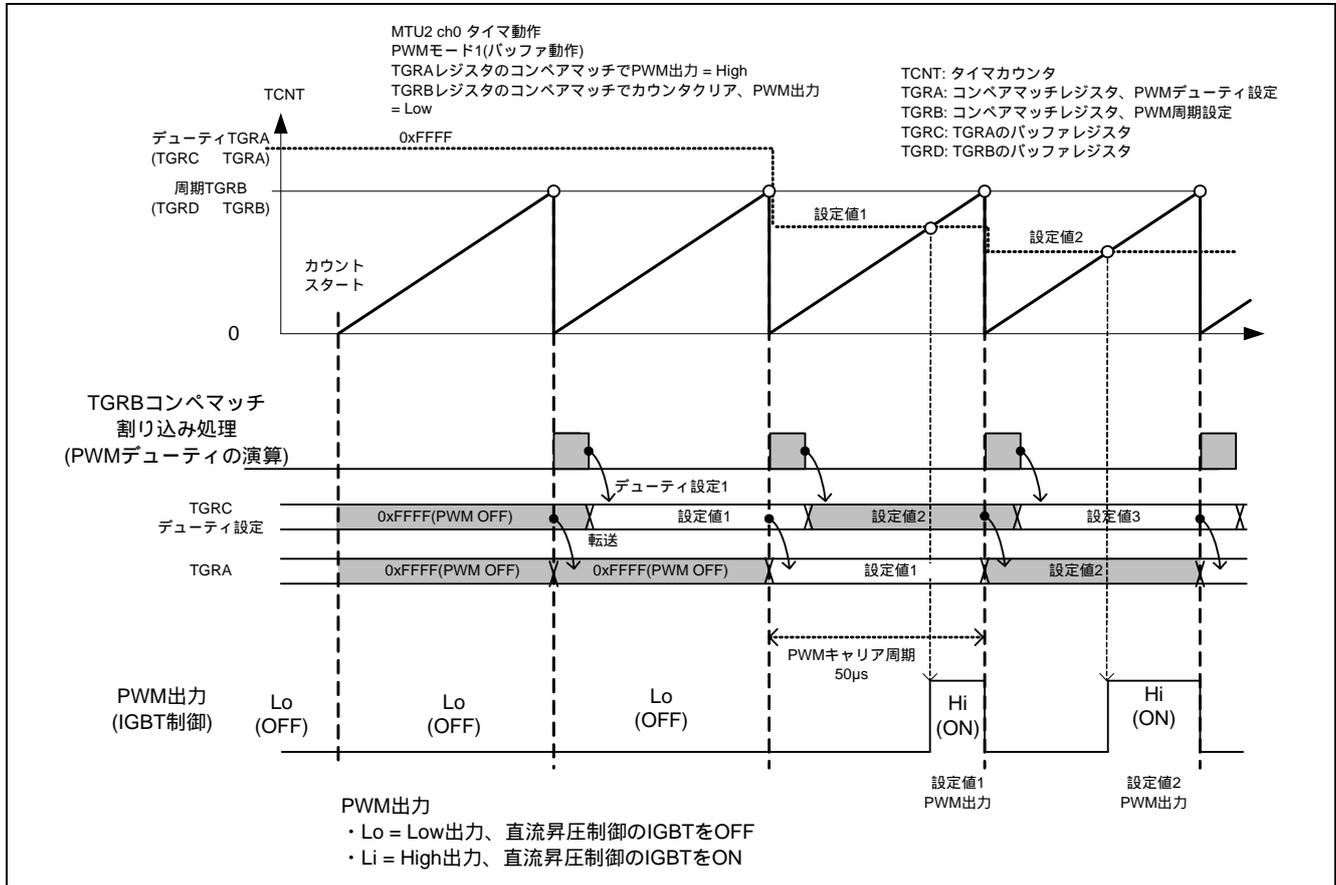


図7 MTU2 チャンネル0のPWM制御

3.1.3 直流昇圧コンバータの起動

図 8 に、直流昇圧コンバータの起動処理を示します。

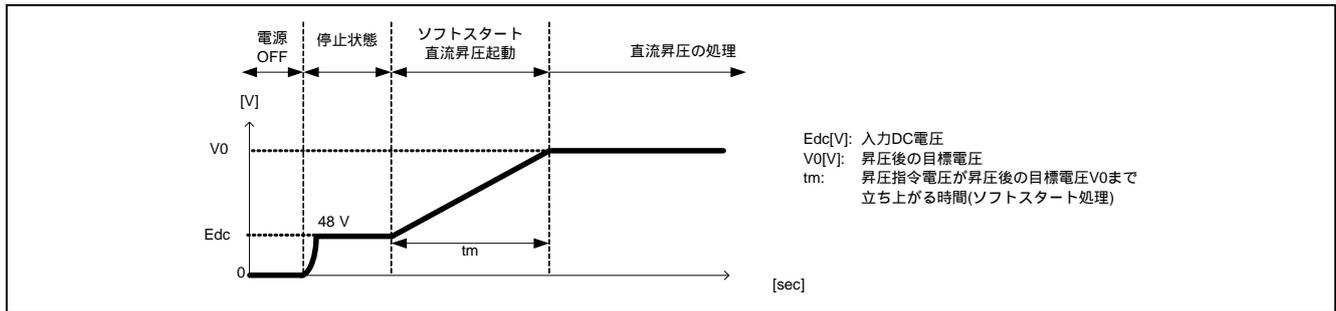


図 8 直流昇圧コンバータの起動処理

(1) 電源 OFF 状態

主電源スイッチ (SW1) を OFF した状態です。

(2) 停止状態

主電源スイッチ (SW1) を ON すると、直流電圧が、直流昇圧コンバータ部の入力に供給されます。直流昇圧コンバータの出力電圧は、供給された直流電圧値まで上昇します。

(3) 直流昇圧の起動処理

制御スタートスイッチ (sw2) を ON すると、ソフトスタートによる直流昇圧処理を開始します。ソフトスタートでは、昇圧後の出力電圧値 (指令値) を、目標の昇圧電圧値まで、一定の割合で上昇させます。ソフトスタートを行うことで、起動時に流れ込む突入電流を制限します。

直流昇圧コンバータ部がソフトスタート中の期間は、後段の AC インバータ部は停止しておきます。

(4) 直流昇圧の処理

ソフトスタート処理が完了すると、後段の AC インバータ部を起動させ、交流電圧の出力処理を行います。直流昇圧コンバータ部では、PWM 信号でスイッチング素子 (IGBT) の ON/OFF 時間を制御して、昇圧後の出力電圧を調整します。出力電圧は、目標の電圧値になるようにフィードバック制御を行います。

3.1.4 直流昇圧処理の制御フロー

図9に、直流昇圧処理の概要フローを示します。

直流昇圧コンバータ部のスイッチング素子は、MTU2 タイマのPWM 信号で制御します。PWM のデューティの計算は、PWM のキャリア周期ごとに発生する MTU2 タイマのチャンネル0 のコンペアマッチ割り込み処理で、ソフトウェア処理で行います。割り込み処理では、直流昇圧コンバータの処理の状態（停止中、ソフトスタート中、昇圧処理中）に合わせて、PWM 制御デューティを計算して、割り込み処理終了時に、その値を MTU2 タイマの PWM デューティレジスタに設定します。

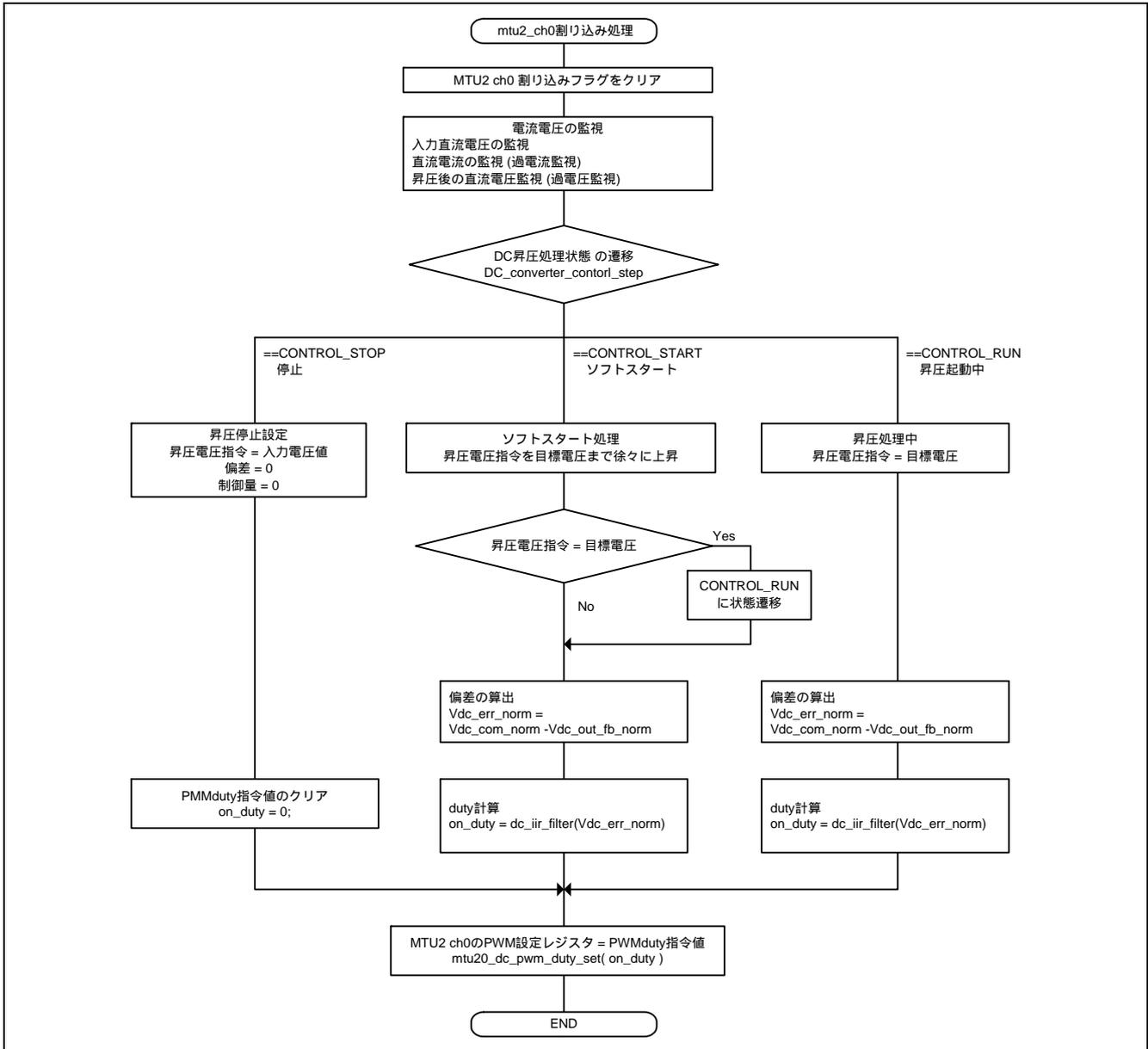


図9 直流昇圧制御の概要フロー（割り込み処理）

3.2 AC インバータ部

3.2.1 構成

図 10 に、システムの AC インバータ部の構成を示します。

AC インバータ部は、直流電圧から正弦波状の交流電圧を生成します。AC インバータ部の入力は、直流昇圧コンバータの昇圧後の直流電圧です。生成した交流電圧 (AC 100 / 220 V) で、AC-FAN (負荷) を回転させます。

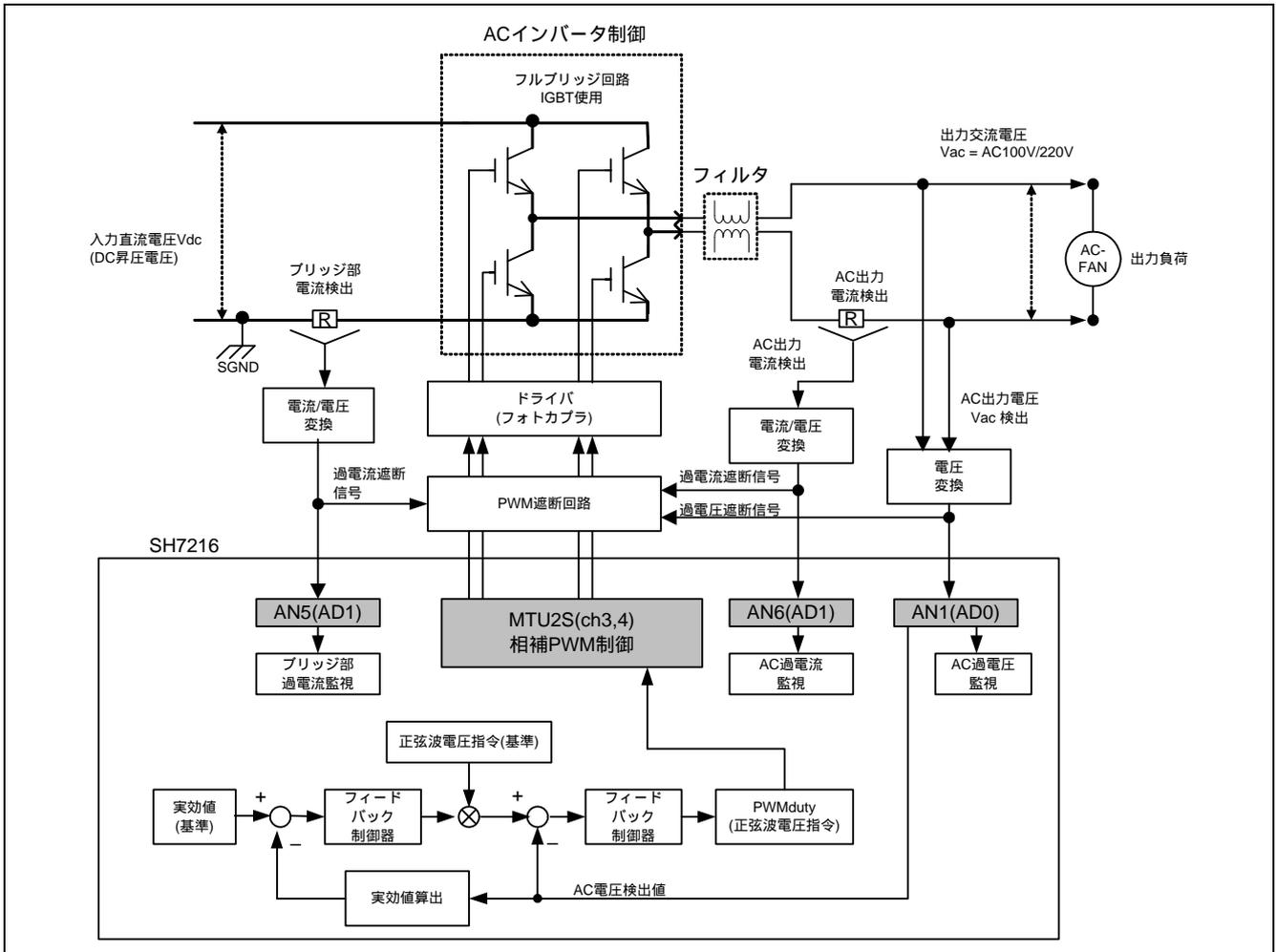


図 10 AC インバータ部

AC インバータ部は、4つのスイッチング素子 (IGBT) を使用したフルブリッジ回路で、非絶縁型 DC/AC 変換を行います。ハイサイドおよびローサイドの IGBT の駆動に、ドライバ (フォトカプラ) を使用します。

IGBT の ON/OFF 制御信号は、SH7216 の内蔵周辺機能のマルチファンクションタイムパルスユニット 2S (MTU2S) のタイマ機能を使用します。

AC インバータ部では、AC 出力電圧が正弦波の交流電圧になるように、フィードバック制御で調整します。AC 出力電圧は、SH7216 内蔵周辺機能の A/D コンバータ (ADC) で検出します。フィードバック制御では、この検出した電圧値より、AC 出力電圧の実効値を算出し、基準となる実効値との偏差を求めます。そして、基準となる正弦波電圧値 (指令) との偏差を求め、電圧指令値を生成します。電圧指令値は、PWM 制御信号のデューティ値に変換して、SH7216 の MTU2S タイマのレジスタに設定します。MTU2S は、相補 PWM 制御機能で、IGBT の ON/OFF 時間を制御します。

フィードバック制御器は、直流昇圧コンバータ部と同等のものを用います。図 6 を参照してください。

表 6 に、AC インバータ部の概要を示します。

表 6 AC インバータ部の概要

項目	内容
方式	非絶縁型の正弦波インバータ (フルブリッジ制御)
入力電圧	DC 200 [V] / 400 [V] (直流昇圧部の出力電圧)
出力電圧	AC 100 [Vrms] ピーク電圧 = ± 141 [V] AC 220 [Vrms] ピーク電圧 = ± 311 [V] 正弦波の交流電圧
連続出力	44W (0.2A \times 220VAC)
出力周波数	50Hz//60Hz (切り替え方式)
PWM キャリア周期	50 μ s フルブリッジ部の IGBT のスイッチング周期 (PWM キャリア周波数: 20kHz)

3.2.2 マルチファンクションタイマパルスユニット 2S (MTU2S)

AC インバータ部は、IGBT を使用したフルブリッジ回路です。この IGBT のスイッチング制御は、SH7216 の内蔵周辺機能のマルチファンクションタイマパルスユニット 2S (MTU2S) の機能を使用します。

MTU2S のチャンネル 3、チャンネル 4 を相補 PWM モードに設定して、PWM 制御波形を生成します。相補 PWM モードでは、正相と逆相がノンオーバーラップの関係にある PWM 信号を 3 相 (6 端子) まで出力可能です。フルブリッジ回路の制御では、2 相分の出力 (4 端子) 端子を使用します。

表 7 にマルチファンクションタイマパルスユニット 2S (MTU2S) の機能設定の内容を示します。

MTU2S の詳細は、「SH7216 グループ ハードウェアマニュアル (RJJ09B0575)」の「マルチファンクションタイマパルスユニット 2S (MTU2S)」の章を参照ください。

表 7 マルチファンクションタイマパルスユニット 2S (MTU2S) チャンネル 3、4 の機能設定

項目	内容	
チャンネル	チャンネル 3、チャンネル 4	
MTU2S モジュール動作クロック	100MHz	
動作モード	相補 PWM モード 3 (カウンタの山、および谷のタイミングでコンペアレジスタにデータを転送)	
PWM キャリア周期	50 μ s (PWM キャリア周波数: 20kHz)	
PWM 分解能	20ns (1/100MHz \times 2)	
短絡防止期間 (デッドタイム)	1500ns	
割り込み処理	TGRA3 コンペアマッチレジスタのコンペアマッチ割り込み (PWM キャリア周期ごとの割り込み処理)	
A/D コンバータの変換スタートトリガ	TGRA3 レジスタのコンペアマッチで、A/D コンバータ (A/D_0, A/D_1) を起動	
出力端子	TIOC3BS (PD10)	<ul style="list-style-type: none"> 相補 PWM1 正相出力 初期出力 Lo・アクティブ Hi ハイサイド (正相) IGBT の制御 (ドライバ (フォトカプラ) 経由)
	TIOC3DS (PD11)	<ul style="list-style-type: none"> 相補 PWM1 逆相出力 初期出力 Hi・アクティブ Hi ローサイド (逆相) IGBT の制御 (ドライバ (フォトカプラ) 経由)
	TIOC4BS (PD13)	<ul style="list-style-type: none"> 相補 PWM3 正相出力 初期出力 Lo・アクティブ Hi ハイサイド (正相) IGBT の制御 (ドライバ (フォトカプラ) 経由)
	TIOC4DS (PD15)	<ul style="list-style-type: none"> 相補 PWM3 逆相出力 初期出力 Hi・アクティブ Hi ローサイド (逆相) IGBT の制御 (ドライバ (フォトカプラ) 経由)
	TIOC4AS (PD12)	未使用、I/O ポート設定
	TIOC4CS (PD14)	未使用、I/O ポート設定

3.2.3 MTU2S の相補 PWM モード

図 11 に MTU2S の相補 PWM モード出力波形を示します。

PWM 制御で使用されるキャリア変調方式には、のこぎり波変調方式と三角波変調方式があります。MTU2S の相補 PWM モードの変調方式は三角波変調方式です。この変調方式では、出力波形は三角波の中心を基準に左右に PWM デューティを可変させます。

AC インバータ部のフルブリッジ回路では、正相（ハイサイド側）の IGBT と逆相（ローサイド側）の IGBT が同時に ON（導通）した場合、短絡により、貫通電流が流れます。これにより、素子の異常発熱や回路の破壊に至ることがあります。この短絡を防ぐために、PWM 信号には、正相と逆相の IGBT が同時に ON することを防ぐデッドタイム（短絡防止期間）を設けます。MTU2S の相補 PWM モードでは、デッドタイム設定用の専用レジスタにデッドタイムを設定することで、デッドタイム付きの相補 PWM 信号の生成が可能です。

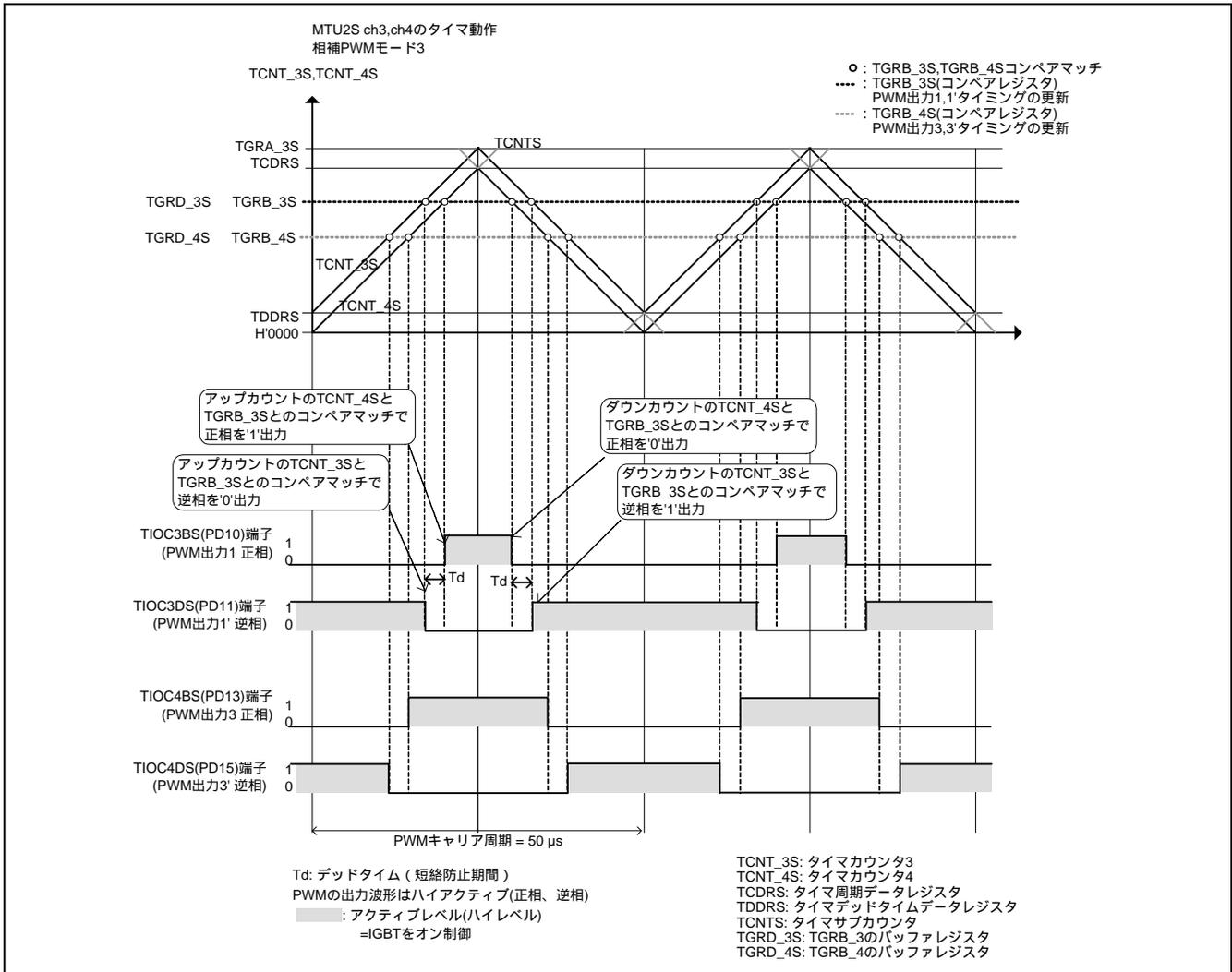


図 11 MTU2S の相補 PWM モード出力波形

MTU2S の相補 PWM モードでは、三角波変調を行います。図 12 に、三角波変調と PWM 信号の関係を示します。三角波変調では、三角波キャリアと出力信号波との比較を行い、正相、および逆相の PWM 信号を生成します。この PWM 信号は、信号波の波高に合わせた、デューティ比となります。PWM 信号で外部のスイッチング素子の ON/OFF を行い、出力電圧を制御します。

AC インバータ部では、この相補 PWM 信号で IGBT をスイッチング制御して、正弦波状の出力電圧を得ます。PWM デューティ比は、MTU2S のキャリア周期ごとに、SH7216 のソフトウェアで演算して MTU2S タイマのレジスタに設定します。

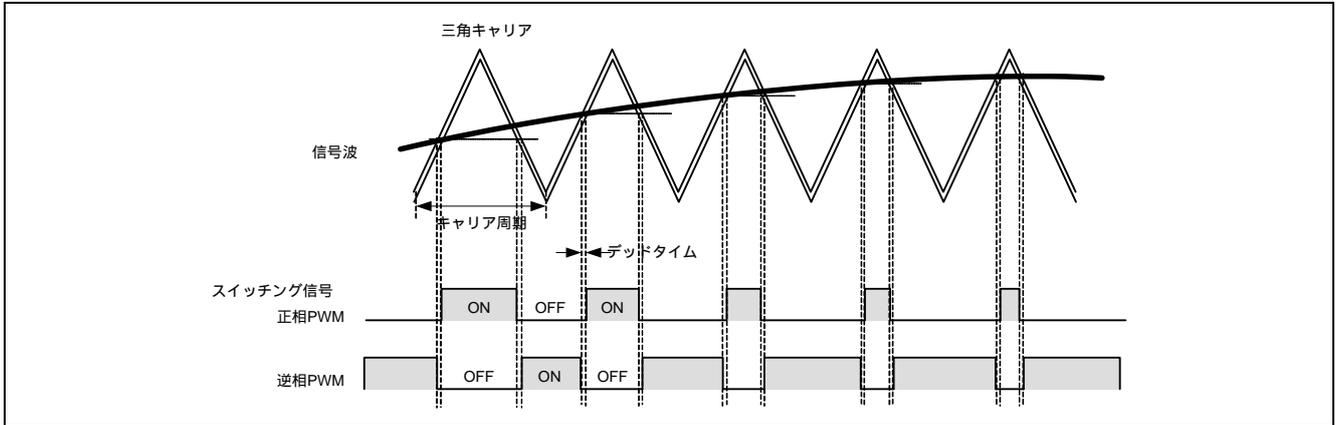


図 12 三角波変調のタイマと PWM 信号の関係

図 13 にシステムの SH7216 の相補 PWM 出力端子とフルブリッジ回路の接続を示します。

SH7216 の MTU2S モジュールから、フルブリッジ回路を制御する相補 PWM 信号を出力します。SH7216 の 3.3V の相補 PWM 信号を 5.0V に変換して、ドライバ (フォトカプラ) に入力します。ドライバは、フルブリッジ回路の IGBT を直接駆動します。

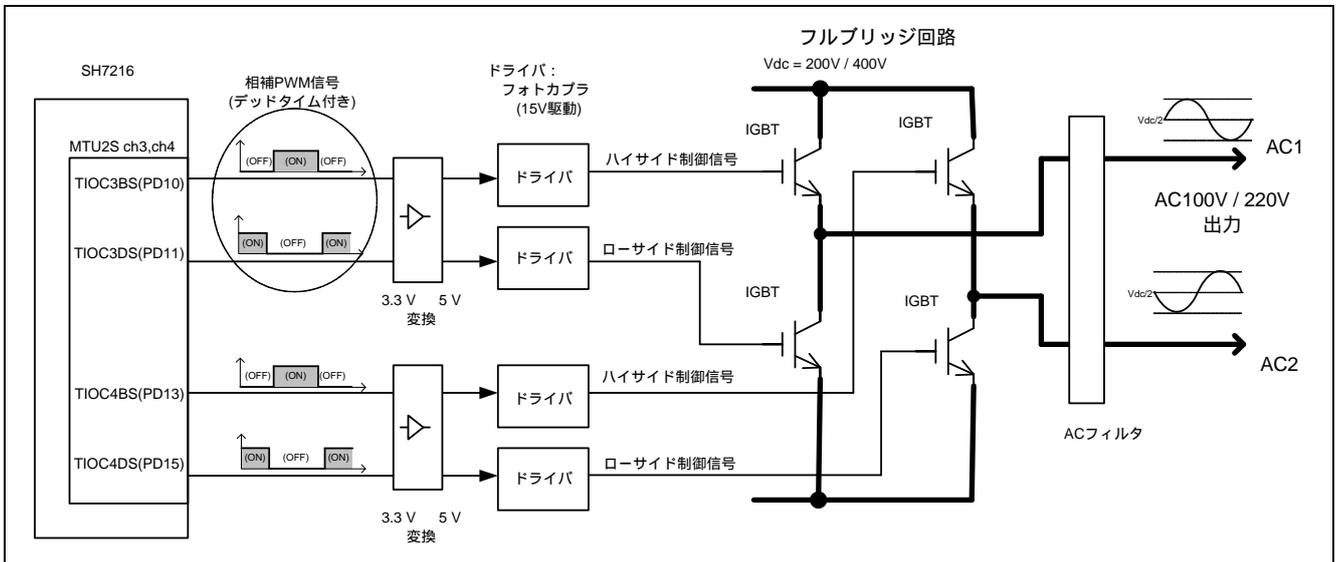


図 13 MTU2S とインバータ回路の接続

3.2.4 AC 出力起動と出力電圧

図 14 に、AC インバータの起動と AC 出力電圧の波形を示します。

AC 出力電圧の制御では、起動時にソフトスタート処理を行い、その後、正弦波状の交流電圧の出力を行います。

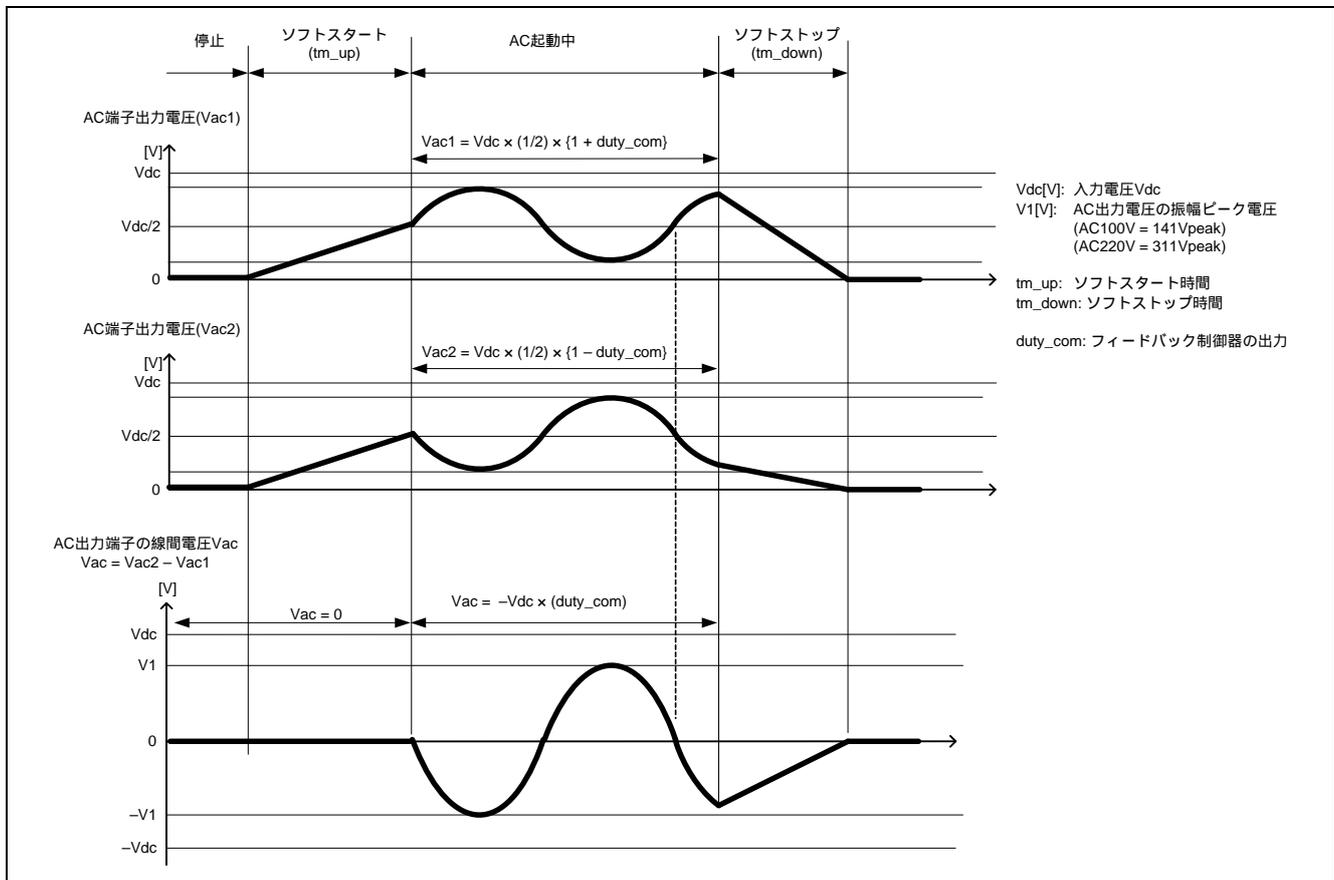


図 14 AC インバータの起動と AC 出力電圧

AC インバータ部は、直流昇圧コンバータ部の昇圧処理が完了した後に、処理を起動します。

(1) 停止中

AC インバータ部の 2 つの AC 出力端子 (AC1 端子、AC2 端子) を制御する相補 PWM 制御信号のデューティ比をそれぞれ duty1, duty2 とすると、停止中は以下のように値を設定します。

$$\begin{cases} \text{duty1} = 0 \\ \text{duty2} = 0 \end{cases}$$

AC インバータ部の 2 つの AC 出力端子の電圧を Vac1, Vac2 とし、出力端子の線間電圧を Vac とします。停止中の出力電圧は、PWM デューティ比の設定から以下ようになります。それぞれ端子は 0V に固定されます。

$$\begin{cases} V_{ac1} = V_{dc} \times \text{duty1} = 0 \\ V_{ac2} = V_{dc} \times \text{duty2} = 0 \\ V_{ac} = V_{ac2} - V_{ac1} = 0 \end{cases}$$

(2) ソフトスタート処理

AC インバータ部の起動では、ソフトスタート処理を行います。ソフトスタートでは、AC 出力電圧が、直流電圧 V_{dc} [V] の 1/2 になるまで、一定の割合で電圧を上昇させます。ソフトスタートを行うことで、起動時の AC 出力端子の急激な電圧変動を抑えます。

ソフトスタート処理時では、PWM デューティ比を以下のように設定します。PWM デューティは、一定の割合で 0% から 50% (1/2) に上昇させます。

$$\begin{cases} \text{duty1} = \frac{1}{2} \times J1 \\ \text{duty2} = \frac{1}{2} \times J1 \\ J1 = 0 \quad 1.0 \end{cases}$$

AC 出力電圧 V_{ac1} , V_{ac2} 、および線間電圧 V_{ac} は、PWM デューティ比の設定から以下ようになります。ソフトスタート中では、2つの AC 出力端子に、同じ電位の電圧が出力され、線間電圧 V_{ac} は 0V となります。

$$\begin{cases} V_{ac1} = V_{dc} \times \text{duty1} = V_{dc} \times \frac{1}{2} \times J1 \\ V_{ac2} = V_{dc} \times \text{duty2} = V_{dc} \times \frac{1}{2} \times J1 \\ V_{ac} = V_{ac2} - V_{ac1} = 0 \end{cases}$$

(3) AC 起動中

ソフトスタートが完了すると、正弦波の交流電圧を出力します。AC 出力端子からは、直流電圧 V_{dc} [V] の 1/2 の電圧を中心した、位相が 180 度ずれた正弦波電圧を出力します。このとき線間電圧 V_{ac} は、正弦波状の交流電圧となります。

AC 起動中の PWM デューティ比は、正弦波状になるように以下のように設定します。

$$\begin{cases} \text{duty1} = \frac{1}{2} (1 + \text{duty_com}) \\ \text{duty2} = \frac{1}{2} (1 - \text{duty_com}) \end{cases}$$

duty_com: フィードバック制御器の出力
duty_com = -1.0[min.] ~ +1.0 [max.]

AC 出力端子の出力電圧 V_{ac1} , V_{ac2} 、および線間電圧 V_{ac} は、PWM デューティ比の設定から以下のようになります。線間電圧 V_{ac} は、周期が 50Hz または 60Hz の正弦波状の交流電圧となります。

$$\begin{cases} V_{ac1} = V_{dc} \times \text{duty1} = V_{dc} \times \frac{1}{2} (1 + \text{duty_com}) \\ V_{ac2} = V_{dc} \times \text{duty2} = V_{dc} \times \frac{1}{2} (1 - \text{duty_com}) \\ V_{ac} = V_{ac2} - V_{ac1} = -V_{dc} \times \text{duty_com} \end{cases}$$

AC100V では、正弦波電圧の振幅電圧は、 $\pm 141V$ です。AC インバータ部入力される直流電圧 $V_{dc} = 200$ [V] とすると、duty_com の目安は、以下の値となります。

$$\frac{V1}{V_{dc}} = \frac{141 [V]}{200 [V]} \cong 0.705 \rightarrow \text{duty_com} = -0.705 \sim +0.705$$

AC220V では、正弦波電圧の振幅電圧は、 $\pm 311V$ です。AC インバータ部入力される直流電圧 $V_{dc} = 400$ [V] とすると、duty_com の目安は、以下の値となります。

$$\frac{V1}{V_{dc}} = \frac{311 [V]}{400 [V]} \cong 0.778 \rightarrow \text{duty_com} = -0.778 \sim +0.778$$

フィードバック処理では、この duty_com を調整し、AC 出力電圧の補正を行います。

(4) ソフトストップ

AC インバータ部の停止では、ソフトストップ処理を行います。ソフトストップでは、停止直前の PWM デューティ比を保持しておき、停止時に、PWM デューティ比を一定の割合で、小さくしていきます。ソフトストップを行うことで、停止時の AC 出力端子の急激な電圧変動を抑えます。

ソフトストップ処理時では、PWM デューティ比を以下のように設定します。PWM デューティは、一定の割合で低下します。

$$\begin{cases} \text{duty1} = \frac{1}{2} (1 + \text{duty_com}) \times J1 \\ \text{duty2} = \frac{1}{2} (1 - \text{duty_com}) \times J1 \end{cases}$$

duty_com: 停止直前のフィードバック制御器の出力を保持
 $J1 = 1.0 \rightarrow 0$

AC 出力電圧 V_{ac1} , V_{ac2} 、および線間電圧 V_{ac} は、PWM デューティ比の設定から以下ようになります。ソフトストップ中では、線間電圧 V_{ac} は、一定の割合で絶対値が低下します。

$$\begin{cases} V_{ac1} = V_{dc} \times \text{duty1} = V_{dc} \times \frac{1}{2} (1 + \text{duty_com}) \times J1 \\ V_{ac2} = V_{dc} \times \text{duty2} = V_{dc} \times \frac{1}{2} (1 - \text{duty_com}) \times J1 \end{cases}$$

$V_{ac} = V_{ac2} - V_{ac1} = -V_{dc} \times \text{duty_com} \times J1$
 $J1 = 1.0 \rightarrow 0$

ソフトストップが完了すると、停止状態に遷移します。

3.2.5 AC インバータの制御フロー

図 15 に、AC インバータの制御フローを示します。

AC インバータの PWM 制御信号のデューティは、PWM のキャリア周期ごとに発生する MTU2S のチャンネル 3 のコンペアマッチ割り込み処理でソフトウェアの演算で設定します。割り込み処理ごとに、AC インバータの処理の状態（停止、ソフトスタート、AC 起動中、ソフトストップ）に合わせて、PWM デューティ値を計算して、その値を MTU2S のレジスタに設定します。

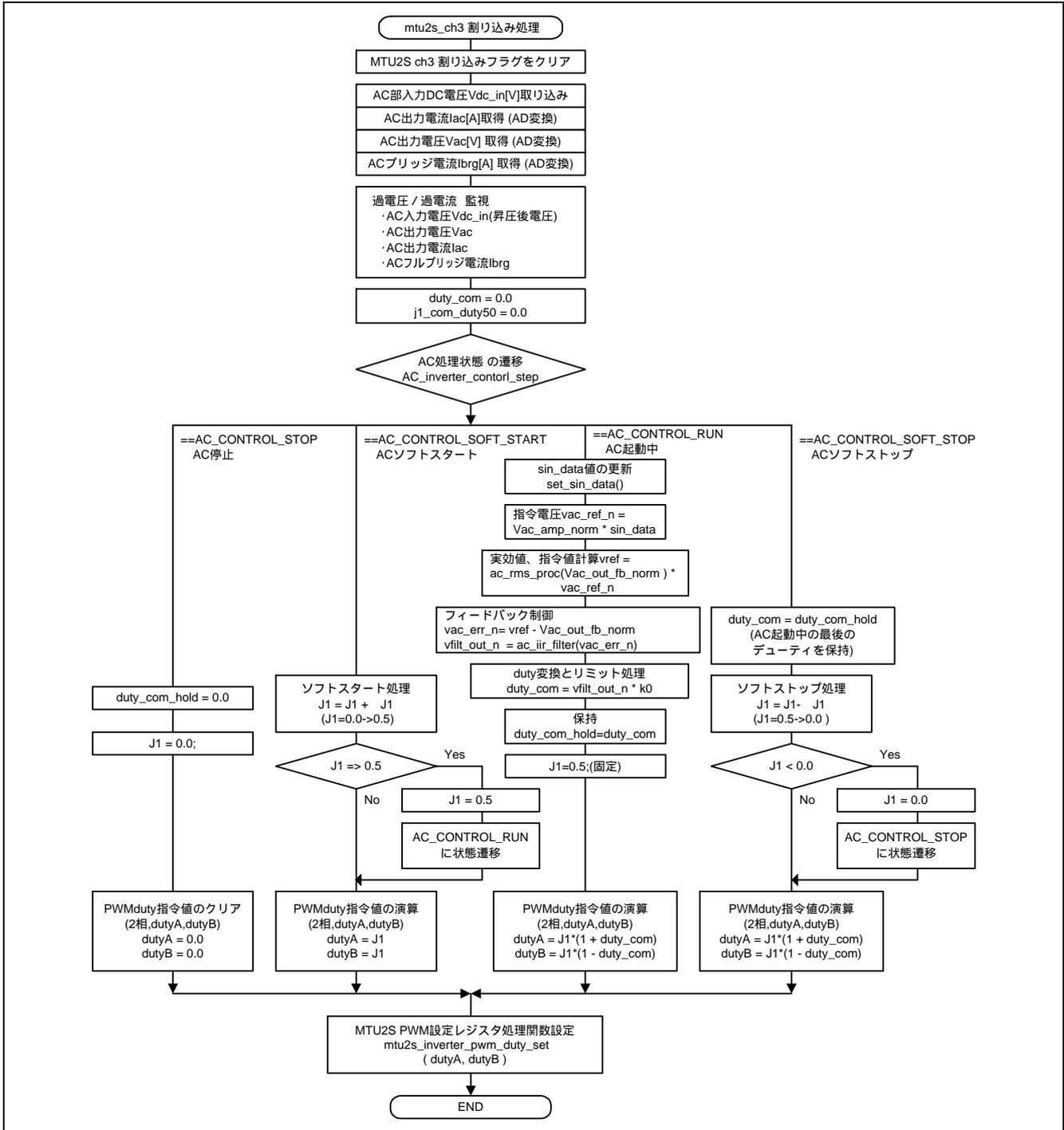


図 15 AC インバータ制御の概要フロー (割り込み処理)

3.3 電圧検出、電流検出、温度検出

3.3.1 構成

システムは、直流昇圧コンバータ部や AC インバータ部の電圧値、電流値のアナログ検出値を SH7216 の内蔵周辺機能の A/D コンバータで検出してデジタル値に変換します。

図 16 に、各検出機能と A/D コンバータの接続を示します。また、表 8 に A/D コンバータの検出内容を示します。

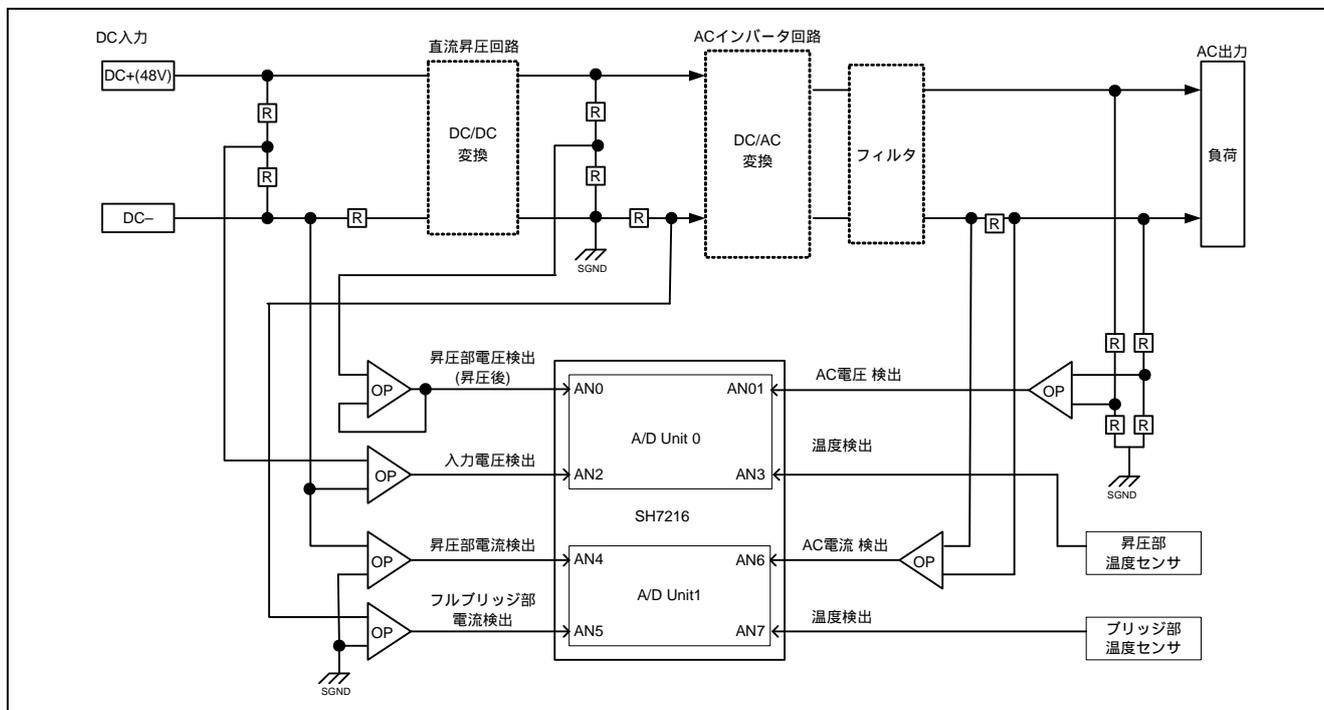


図 16 A/D の接続

表 8 A/D コンバータの検出内容

項目	A/D 端子 (モジュール)	内容	A/D 検出電圧 →アナログ値
入力電圧検出	AN2 (A/D_0)	入力直流電圧 E_d [V] を検出 $E_d = 48$ [V]	0 ~ 3.33 [V] → 0 ~ 70[V]
昇圧部電圧検出	AN0 (A/D_0)	直流昇圧部の昇圧後の電圧値 V_{dc} を検出 $V_{dc} = 200 / 400$ [V]	0 ~ 2.85 [V] → 0 ~ 450[V]
昇圧部電流検出	AN4 (A/D_1)	直流昇圧部の電流値 I_{dc} [A] を検出	0 ~ 3.74 [V] → 0 ~ 3.85 [A]
フルブリッジ部 電流検出	AN5 (A/D_1)	フルブリッジ部の電流値 I_{brg} [A] を検出	0 ~ 3.23 [V] → 0 ~ 11.9 [A]
AC 出力電圧検出	AN1 (A/D_0)	AC 出力電圧の検出値 V_{ac} [Vrms] の絶対値を 検出	0 ~ 3.73 [V] → 0 ~ 341 [Vpeak]
AC 出力電流検出	AN6 (A/D_1)	AC 出力電流値 I_{ac} [A] を検出	0 ~ 3.98 [V] → 0 ~ 0.30 [A]
昇圧部 温度検出	AN3 (A/D_0)	直流昇圧部の IGBT の温度を検出	0.47 ~ 2.94 [V] → 125 ~ 0 [°C]
フルブリッジ部 温度検出	AN7 (A/D_1)	インバータ部フルブリッジ回路の IGBT の温 度を検出	0.47 ~ 2.94 [V] → 125 ~ 0 [°C]

3.3.2 A/D コンバータ

SH7216 は、逐次比較方式の 12 ビット A/D コンバータを 2 ユニット内蔵しています。入力チャンネル数は合計 8 チャンネル (4 チャンネル × 2 ユニット) です。

表 9 に A/D コンバータ (ADC) の機能設定の内容を示します。

A/D コンバータの詳細は、「SH7216 グループ ハードウェアマニュアル (RJJ09B0575)」の「A/D 変換器」の章を参照ください。

表 9 A/D コンバータ (ADC) の機能設定

項目	内容	
チャンネル	A/D モジュール 0 (A/D_0)	A/D モジュール 1 (A/D_1)
A/D モジュール 動作クロック	50MHz	50MHz
動作モード	1 サイクルスキャンモード アナログ入力 0~3 (AN0~AN3) を 1 サイクルでスキャン	1 サイクルスキャンモード アナログ入力 4~7 (AN4~AN7) を 1 サイクルでスキャン
A/D 起動要因	MTU2S ch3 (相補 PWM モード動作) の TGRA3 のコンペアマッチ (50 μ s 周期) で 起動	←
A/D 変換終了 割り込み	なし	なし
専用サンプル& ホールド回路	専用サンプル&ホールド回路機能を無効 (ADBYPSCR.SH = 0)。 チャンネル 0, 1, 2 は通常のインピーダンス変 換回路を使用	専用サンプル&ホールド回路の機能なし。 通常のインピーダンス変換回路を使用
A/D 変換時間	4300 μ s	←
入力端子	AN0 (チャンネル 0): 使用 AN1 (チャンネル 1): 使用 AN2 (チャンネル 2): 使用 AN3 (チャンネル 3): 使用	AN4 (チャンネル 4): 使用 AN5 (チャンネル 5): 使用 AN6 (チャンネル 6): 使用 AN7 (チャンネル 7): 使用

3.3.3 A/D 変換の起動

SH7216 の内蔵 A/D コンバータは、内蔵周辺機能の MTU2S タイマのコンペアマッチ信号をトリガとした A/D 変換の開始が可能です。この機能では、ソフトウェアの処理を介在させることなく、一定の周期で A/D 変換を開始できます。

システムの制御では、A/D コンバータの A/D モジュール 0 (チャンネル 0, 1, 2, 3) は、MTU2S チャンネル 3, 4 の相補 PWM モードの山のコンペアマッチをトリガとして A/D 変換開始します。また、A/D モジュール 1 (チャンネル 4, 5, 6, 7) も同じく、MTU2S チャンネル 3, 4 の相補 PWM モードの山のコンペアマッチをトリガとして A/D 変換開始します。

図 17 に、A/D モジュール 0, 1 の起動タイミングを示します。

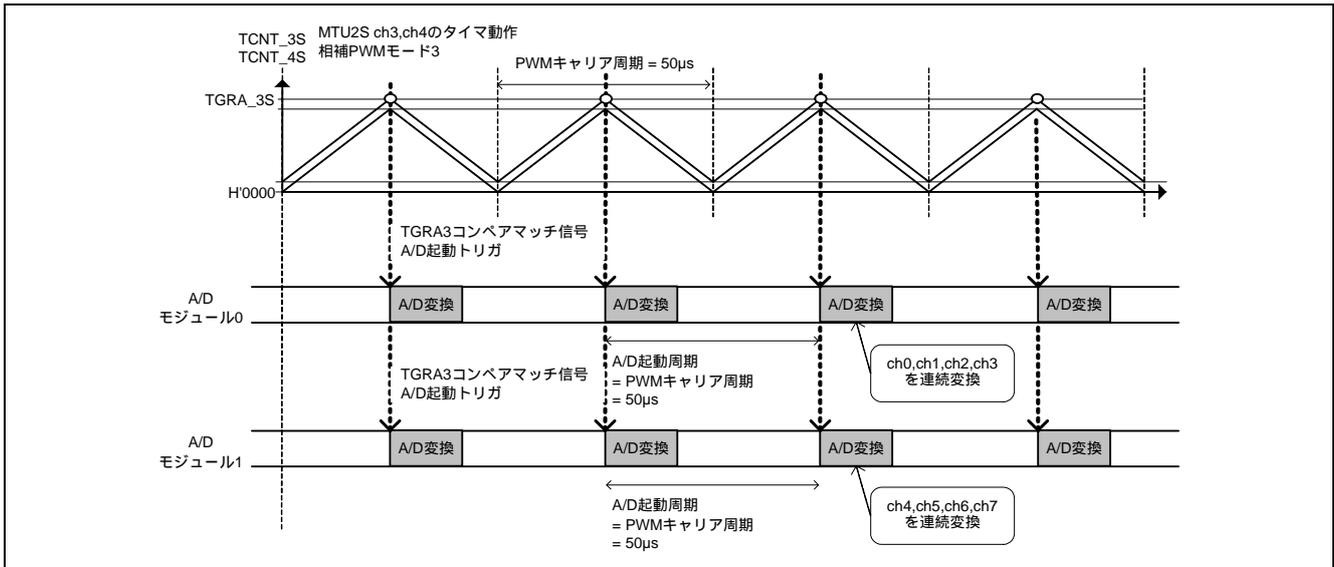


図 17 A/D 起動トリガ

3.4 保護機能

直流昇圧コンバータ部、および AC インバータ部は、システムの保護機能として、ハードウェアによる過電圧検出、過電流検出を行います。

直流昇圧コンバータ部、AC インバータ部の電圧値、および、電流値は、SH7216 の内蔵 A/D コンバータを使用して、アナログ値をデジタル値への変換を行います。したがって、電圧値、または、電流値の上昇は、ソフトウェア処理で、抑制することが可能です。しかし、ソフトウェア処理では、A/D コンバータによるデジタル値への変換、異常発生時の PWM 遮断判定、PWM 出力への制御値の設定などにより、遮断までに時間がかかります。そこでシステムでは、ハードウェア回路による異常判定を行い、急激な電圧上昇、電流上昇の際、ソフトウェアの処理を介在させずに PWM 制御信号を遮断します。異常時に、少しでも早く、制御を停止することで、電圧変換部の部品の保護を行います。

図 18 に、直流昇圧コンバータ部、および、AC インバータ部の保護機能の構成を示します。

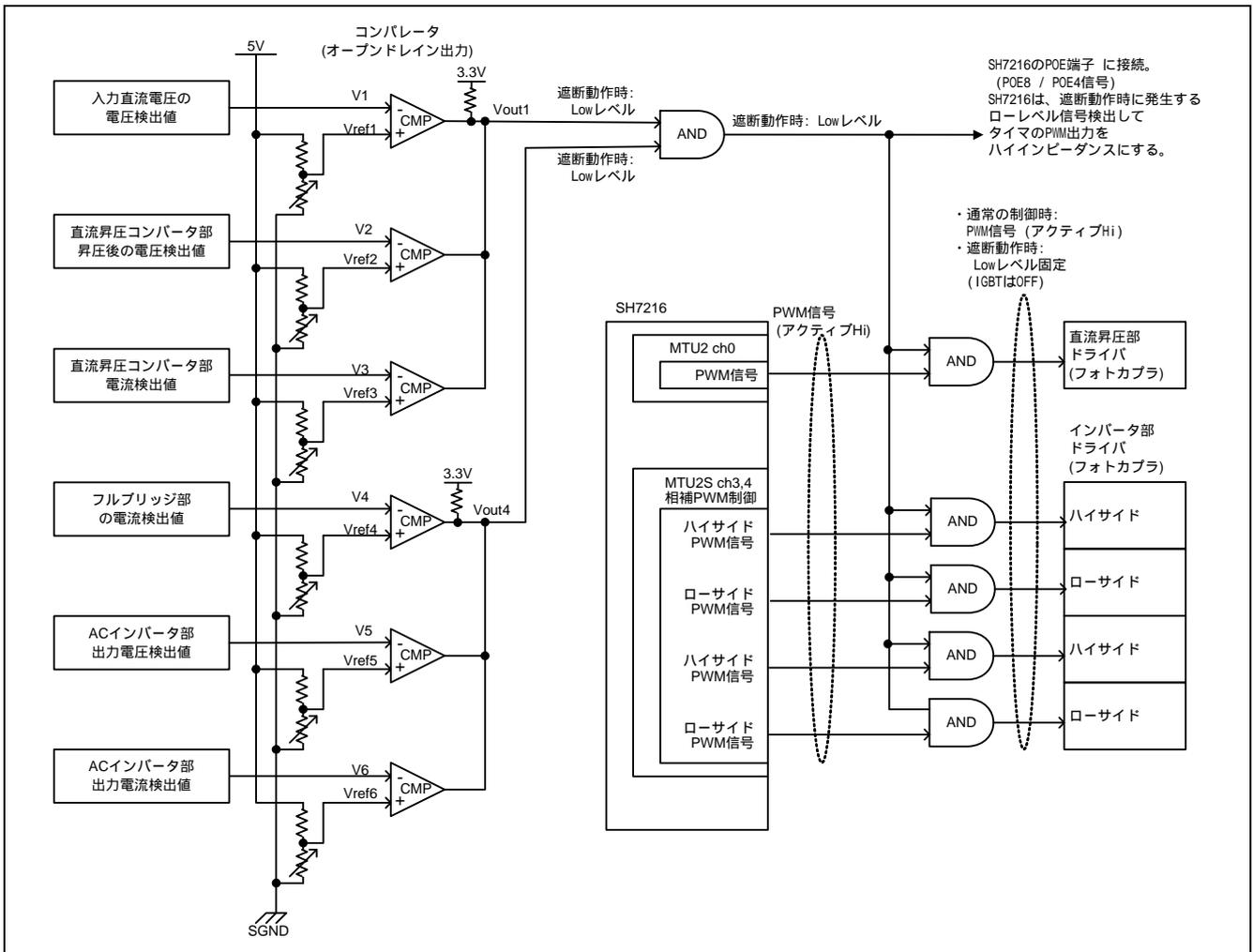


図 18 直流昇圧コンバータ部、AC インバータ部の保護機能

3.4.1 直流昇圧コンバータ部の保護

直流昇圧コンバータ部では、入力直流電圧、昇圧後の直流電圧、および直流電流を監視して、異常発生時にハードウェアによる PWM 信号の遮断を行い、昇圧処理、および AC インバータ処理を停止します。

- (1) 入力直流電圧の異常検出
- (2) 昇圧後の直流電圧の異常検出
- (3) 直流電流の異常検出

異常判定では、電圧、および電流の検出値 V_m と判定基準値 V_{refm} をコンパレータで比較して (m:1,2,3)、その出力信号 V_{out1} で、PWM 信号の遮断回路を制御します。

- $V_m < V_{refm}$ のとき (m:1,2,3)、 $V_{out1} = \text{High}$ レベルとなり、PWM 制御信号で IGBT を通常制御します。
- $V_m > V_{refm}$ のとき (m:1,2,3)、 $V_{out1} = \text{Low}$ レベルとなり、直流昇圧動作、および AC インバータ動作を強制遮断します。異常な電圧上昇と判断して PWM 制御信号を Low レベルに固定して、IGBT のスイッチングを完全に OFF します。遮断判定基準値 (電圧値) は、ボリウム抵抗で設定します。

直流昇圧コンバータ部の異常検出信号は、PWM の遮断回路とは別に、SH7216 の POE8 / POE4 端子に入力します。SH7216 の内蔵周辺機能のポートアウトプットイネーブル 2 (POE2) 機能では、POE8 入力端子にローレベル信号を検出した場合、MTU2 のチャンネル 0 の PWM 出力端子をハイインピーダンスにして、直流昇圧コンバータの制御を遮断することができます。また、POE4 入力端子にローレベル信号を検出した場合、MTU2S のチャンネル 3, 4 の相補 PWM 出力端子をハイインピーダンスにして、AC インバータ部の制御信号を遮断することができます。

3.4.2 AC インバータ部の保護

AC インバータ部では、フルブリッジ部の電流、出力電圧、および出力電流を監視して、異常発生時にハードウェアによる PWM 信号の遮断を行い、昇圧処理、および AC インバータ処理を停止します。

- (1) フルブリッジ部の電流の異常検出
- (2) 出力電圧の異常検出
- (3) 出力電流の異常検出

異常判定では、電圧、および電流の検出値 V_n と判定基準値 V_{refn} をコンパレータで比較して (n:4,5,6)、その出力信号 V_{out4} で、PWM 信号の遮断回路を制御します。

- $V_n < V_{refn}$ のとき (n:4,5,6)、 $V_{out4} = \text{High}$ レベルとなり、PWM 制御信号で IGBT を通常制御します。
- $V_n > V_{refn}$ のとき (n:4,5,6)、 $V_{out4} = \text{Low}$ レベルとなり、直流昇圧動作、および AC インバータ動作を強制遮断します。異常な電圧上昇と判断して PWM 制御信号を Low レベルに固定して、IGBT のスイッチングを完全に OFF します。遮断判定基準値 (電圧値) は、ボリウム抵抗で設定します。

AC インバータ部の異常検出信号は、PWM 信号の遮断回路とは別に、SH7216 の POE8 / POE4 端子に入力します。SH7216 の内蔵周辺機能のポートアウトプットイネーブル 2 (POE2) 機能では、POE8 入力端子にローレベル信号を検出した場合、MTU2 のチャンネル 0 の PWM 出力端子をハイインピーダンスにして、直流昇圧コンバータの制御を遮断することができます。また、POE4 入力端子にローレベル信号を検出した場合、MTU2S のチャンネル 3, 4 の相補 PWM 出力端子をハイインピーダンスにして、AC インバータ部の制御信号を遮断することができます。

3.4.3 ポートアウトプットイネーブル 2 (POE2) 機能

システムでは、直流昇圧コンバータ部、または AC インバータ部に過電圧、過電流が発生した場合、SH7216 の内蔵周辺機能のポートアウトプットイネーブル 2 (POE2) 機能を使用して、SH7216 が出力する PWM 信号の端子をハイインピーダンス状態にして、制御を停止させます。

表 10、表 11 にポートアウトプットイネーブル 2 (POE2) の機能設定の内容を示します。

POE2 の詳細は、「SH7216 グループ ハードウェアマニュアル (RJJ09B0575)」の「ポートアウトプットイネーブル 2 (POE2)」の章を参照ください。

表 10 ポートアウトプットイネーブル 2 (POE2) の機能設定 (POE8 端子)

項目	内容
端子	POE8 (PE4) 入力端子
POE8 端子機能	MTU2 用のチャンネル 0 端子 (PE0/TIOC0A, PE1/TIOC0B, PE2/TIOC0C, PE3/TIOC0D, PB1/TIOC0A, PB2/TIOC0B, PB3/TIOC0C, PB4/TIOC0D) をハイインピーダンス状態にする要求信号を入力
POE8 検出条件	POE8 端子のローレベルサンプリング
割り込み処理	POE8 割り込み
用途	直流昇圧コンバータ部、または AC インバータ部に過電圧、過電流が発生したとき、IGBT を制御する MTU2 (チャンネル 0) の TIOC0A (PB1) 出力端子をハイインピーダンス状態し、PWM 制御を停止する。

表 11 ポートアウトプットイネーブル 2 (POE2) の機能設定 (POE4 端子)

項目	内容
端子	POE4 (PA20) 入力端子
POE4 端子機能	MTU2S 用の大電流端子 (PE5/TIOC3BS, PE6/TIOC3DS, PE0/TIOC4AS, PE1/TIOC4BS, PE2/TIOC4CS, PE3/TIOC4DS, PD10/TIOC3BS, PD11/TIOC3DS, PD12/TIOC4AS, PD13/TIOC4BS, PD14/TIOC4CS, PD15/TIOC4DS, PD29/TIOC3BS, PD28/TIOC3DS, PD27/TIOC4AS, PD26/TIOC4BS, PD25/TIOC4CS, PD24/TIOC4DS) をハイインピーダンス状態にする要求信号を入力
POE4 検出条件	POE4 端子のローレベルサンプリング
割り込み処理	POE4 割り込み
用途	直流昇圧コンバータ部、または AC インバータ部に過電圧、過電流が発生したとき、IGBT を制御する MTU2S (チャンネル 3, 4) の相補 PWM 制御信号出力をハイインピーダンス状態し、制御を停止する。 対象端子 <ul style="list-style-type: none"> ● TIOC4BS (PD13), TIOC4DS (PD15) ● TIOC3BS (PD10), TIOC3DS (PD11)

3.4.4 ソフトウェア保護機能

直流昇圧コンバータ部、AC インバータ部の各部の電圧値、電流値は、SH7216 の内蔵 A/D コンバータで検出して、アナログ値からデジタル値への変換を行っています。電圧、電流値が、異常な値になった場合は、ソフトウェアの処理で判定を行い、昇圧、AC インバータ制御を停止します。

(1) 直流昇圧コンバータ部の保護

直流昇圧コンバータでは、入力直流電圧、昇圧後の直流電圧、および直流電流を監視し、以下の場合、ソフトウェアで停止処理を行います。

- 入力直流電圧が、設定下限電圧、設定上限電圧の範囲から外れている場合
- 昇圧後の直流電圧が、設定上限を超えた場合
- 直流電流が、設定上限を超えた場合

(2) AC インバータ部の保護

AC インバータ部では、フルブリッジ部の電流、出力電圧、および出力電流を監視し、以下の場合、ソフトウェアで停止処理を行います。

- フルブリッジ部に流れる電流が設定上限値を超えた場合
- 出力電圧のピーク電圧が設定上限値を超えた場合
- 出力電流のピーク電流が設定上限値を超えた場合

(3) 異常温度からの保護

直流昇圧コンバータ部の IGBT、および AC インバータ部のフルブリッジ部の IGBT を温度監視します。温度が異常に上昇した場合は、デバイスを保護するため、制御を停止します。

4. 周辺機能

4.1 圧電ブザー

システムは、異常時の警告用に圧電ブザーを搭載します。圧電ブザーは他励振タイプの圧電サウンダです。

圧電ブザーのスイッチング制御には、SH7216 のマルチファンクションタイマパルスユニット 2 (MTU2) の PWM 制御機能を使用します。MTU2 のチャンネル 2 を PWM モードに設定して、一定周期の PWM 制御信号を生成します。

図 19 に、MTU2 と圧電ブザーの接続を示します。また、表 12 に、マルチファンクションタイマパルスユニット 2 (MTU2) チャンネル 2 の機能設定の内容を示します。

MTU2 の詳細は、「SH7216 グループ ハードウェアマニュアル (RJ09B0575)」の「マルチファンクションタイマパルスユニット 2 (MTU2)」の章を参照ください。

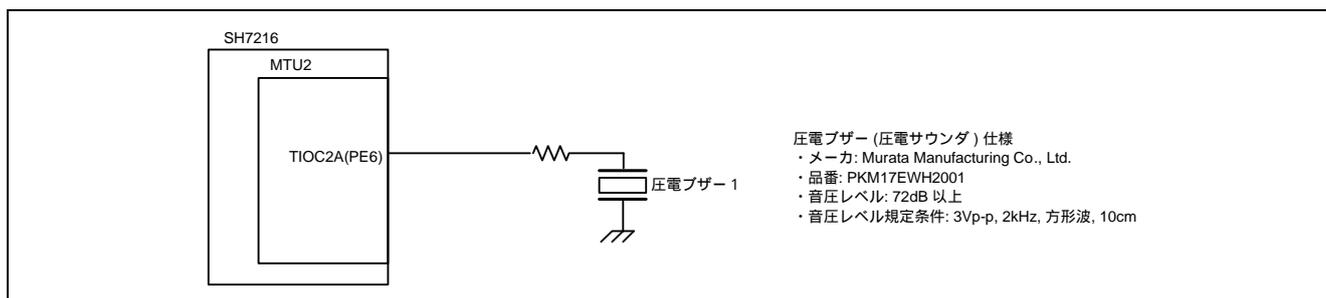


図 19 電子ブザーの接続

表 12 マルチファンクションタイマパルスユニット 2 (MTU2) チャンネル 2 の機能設定

項目	内容
チャンネル	チャンネル 2 (圧電ブザー 1 の PWM 制御)
MTU2 モジュール 動作クロック	50MHz
動作モード	PWM モード 1
PWM キャリア周期	チャンネル 2: 500 μ s (PWM キャリア周波数: 2kHz)
PWM デューティ	チャンネル 2: 50%
PWM 分解能	20ns (= 1/50MHz)
割り込み処理	なし
出力端子	チャンネル 2: — TIOC2A (PE6) 出力端子 — 初期出力 Lo、アクティブ High レベル — 圧電ブザー 1 の PWM 制御

4.2 液晶表示モジュール (LCM)

システムは、液晶表示モジュール (LCM) を搭載します。システム動作中の状態やエラー状態を表示します。

図 20 に、SH7216 と液晶表示モジュール (LCM) の接続を示します。LCM の制御は、SH7216 の IO ポート機能を使用して、ソフトウェアの処理で行います。システムの起動時の初期化の段階で、LCM 初期設定を行います。

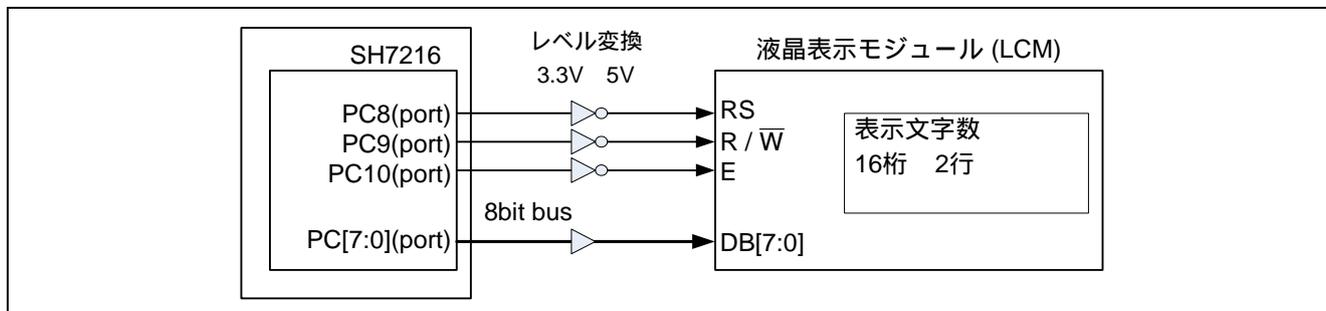


図 20 液晶表示モジュール (LCM) の接続

5. 参考プログラム

5.1 概要

参考プログラムは、本デモシステムの直流昇圧コンバータ部、AC インバータ部で使用している SH7216 内蔵周辺機能の初期設定、および、直流昇圧コンバータ部、AC インバータ部の電圧処理の部分について示します。

- 直流昇圧コンバータ部の処理
マルチファンクションタイムパルスユニット 2 (MTU2) チャンネル 0 を PWM モードに設定し、直流昇圧コンバータ部 (スイッチング素子) の PWM 制御を行います。
- AC インバータ部の処理
マルチファンクションタイムパルスユニット 2S (MTU2S) チャンネル 3、チャンネル 4 を相補 PWM モードに設定して、AC インバータ部 (フルブリッジ回路) の PWM 制御を行います。
- 電圧値の検出
直流昇圧コンバータ部の入出力電圧の検出、および AC インバータ部の AC 出力電圧の検出を、A/D コンバータ (ADC) で行います。

5.2 適用条件

- マイコン SH7216 [R5F72167]
- 動作周波数
内部クロック: $I\phi = 200\text{MHz}$
バスクロック: $B\phi = 50\text{MHz}$
周辺クロック: $P\phi = 50\text{MHz}$
MTU2S クロック: $M\phi = 100\text{MHz}$
ADC クロック: $A\phi = 50\text{MHz}$
- MCU 動作モード シングルチップモード
- 統合開発環境 ルネサス エレクトロニクス製
High-performance Embedded Workshop Version 4.08.00.011
- C コンパイラ ルネサス エレクトロニクス製 SuperH RISC engine ファミリ
C/C++ compiler package for SuperH RISC engine family V.9.03 Release 02
- コンパイルオプション
(-cpu=sh2afpu -fpu=single*¹ -include="\$ (WORKSPDIR) ¥inc"
-object="\$ (CONFIGDIR) ¥\$ (FILELEAF) .obj" -debug -gbr=auto -chgincpath
-errorpath -global_volatile=0 -opt_range=all -infinite_loop=0 -del_vacant_loop=0
-struct_alloc=1 -nologo)

【注】 *1 SH2A-FPU の浮動少数点モードは Single に設定 (-fpu=single)、浮動小数点演算は、すべての単精度浮動小数点数 (float 型) で行う。

5.3 参考プログラムの構成

参考プログラムの構成を示します。

5.3.1 初期設定

表 13 に、参考プログラムの SH7216 初期設定ファイルを示します。設定ファイルは、開発ツールの統合開発環境 (High-performance Embedded Workshop) で SH7216 の新規プロジェクト作成し、その雛形ファイルから作成しています。

表 13 SH7216 初期設定ファイル

ファイル	内容
resetprg.c	リセット処理 <ul style="list-style-type: none"> リセット処理後にメイン関数 (main()) を実行します。
vecttbl.c	内蔵周辺機能の割り込みベクタテーブル定義
vect.h	ベクタテーブルのヘッダ定義
inprg.c	内蔵周辺機能の割り込み処理の関数定義
stbcr_init.c	内蔵周辺機能の低消費電力モードの初期設定 内蔵周辺機能のスタンバイを解除します。
cpg.c	クロックパルス発振器 (CPG) の設定 SH7216 の内部クロック、および周辺モジュールの動作周波数を設定します。
dbstc.c	B セクション、R セクションの初期化処理
hwsetup.c	内蔵周辺機能の初期設定
intc_init.c	内蔵周辺機能の割り込み優先レベルの設定
stacksct.h	スタックサイズの定義
iodef.h	SH7216 の内蔵周辺機能のレジスタ定義
typedef.h	変数の型変換定義

5.3.2 メイン関数

表 14 に、メイン関数の処理を示します。メイン関数は、リセット後に最初に実行し、SH7216 の内蔵周辺機能の初期設定、システム動作の初期設定を行います。設定完了後は、ループ処理で待ち状態となり、タイマ (MTU2, MTU2S) 割り込みの発生を待ちます。直流昇圧コンバータ部、AC インバータ部の制御は、すべてタイマ割り込み処理で行います。

表 14 メイン関数の処理

ファイル	関数	内容
main.c	main(void)	メイン関数 <ul style="list-style-type: none"> 直流昇圧コンバータ部、AC インバータ部の初期設定 AD コンバータの初期設定 AC 出力電圧の AD オフセット値の設定 MTU2 タイマ (チャンネル 0) の初期設定 MTU2S タイマ (チャンネル 3, 4) の初期設定 内蔵周辺機能の割り込み優先レベル設定 MTU2, MTU2S のタイマカウンタを同期してスタート

5.3.3 内蔵周辺機能の設定

表 15 に、参考プログラムで使用している SH7216 内蔵周辺機能の設定ファイルと処理関数を示します。

- MTU2 (チャンネル 0) の機能設定 (直流昇圧コンバータ部の制御)
- MTU2S (チャンネル 3, 4) の機能設定 (AC インバータ部の制御)
- AD コンバータの機能設定 (電圧の検出)

表 15 SH7216 内蔵周辺機能の設定ファイルと処理関数

ファイル	関数	内容
mtu2_ch0.c mtu2_ch0.h	mtu2_ch0_init(void)	MTU2 (チャンネル 0) の初期設定 <ul style="list-style-type: none"> • MTU2 を PWM モードに設定 • PWM キャリア周波数 20KHz • 直流昇圧コンバータ部の PWM 制御を行う
	mtu2_ch0_mtu2s_sync_start(void)	タイマカウンタのスタート設定 <ul style="list-style-type: none"> • MTU2 (チャンネル 0) と MTU2S (チャンネル 3, 4) のタイマカウンタを同期してスタート
	mtu20_dc_pwm_duty_set(float)	MTU2 (チャンネル 0) の PWM 信号出力の設定 <ul style="list-style-type: none"> — 関数引数: PWM デューティ値 [0.0 から 1.0 (0%から 100%)] • 直流昇圧コンバータ部の昇圧回路を制御する PWM デューティ値をタイマレジスタに設定する
	mtu2_ch0_pfc_set(void)	MTU2 (チャンネル 0) のタイマ端子設定 <ul style="list-style-type: none"> • IO ポートをタイマ出力端子機能に設定
	mtu2_ch0_pfc_off(void)	MTU2 (チャンネル 0) のタイマ端子設定 <ul style="list-style-type: none"> • タイマ出力端子を IO ポート入力機能に設定
mtu2s_ch3_4.c mtu2s_ch3_4.h	mtu2s_ch34_init(void)	MTU2S (チャンネル 3, 4) の初期設定 <ul style="list-style-type: none"> • MTU2S を相補 PWM モードに設定 • PWM キャリア周波数 20kHz • AC インバータ部の PWM 制御を行う
	mtu2s_inverter_pwm_duty_set(float, float)	MTU2S (チャンネル 3, 4) の相補 PWM 信号出力の設定 <ul style="list-style-type: none"> — 関数引数 1、引数 2: PWM デューティ値 [0.0 から 1.0 (0%から 100%)] • AC インバータ部の AC フルブリッジ回路を制御する PWM デューティ値をタイマレジスタに設定する
	mtu2s_ch34_set_pfc(void)	MTU2S (チャンネル 3, 4) のタイマ端子設定 <ul style="list-style-type: none"> • IO ポートをタイマ出力端子機能に設定
	mtu2s_ch34_set_pfc_off(void)	MTU2S (チャンネル 3, 4) のタイマ端子設定 <ul style="list-style-type: none"> • タイマ出力端子を IO ポート入力機能に設定
adc.c adc.h	adc01_init(void)	ADC (モジュール 0, 1) の初期設定 <ul style="list-style-type: none"> • AD コンバータの動作設定 • AD 変換の起動トリガ (起動要因) の設定 • 直流昇圧コンバータ部、AC インバータ部の電圧検出用の AD 入力端子の設定

5.3.4 直流昇圧コンバータ部の処理

表 16 に、直流昇圧コンバータ部を制御する設定ファイルと処理関数を示します。

直流昇圧コンバータ部の制御は、すべて MTU2 (チャンネル 0) のタイマ割り込み (int_mtu2_tgib0()関数) で処理します。割り込み処理は、PWM キャリア周期ごとに発生し、以下の処理を行います。

- 直流昇圧コンバータ部の起動処理 (停止、ソフトスタート、起動) を制御する。
- 入力直流電圧、直流昇圧電圧の検出値の取り込み (AD 変換値)
- 電圧フィードバック制御器 (DC) を実行して、PWM デューティ値 (指令値) を算出する。
- MTU2 (チャンネル 0) タイマレジスタに PWM デューティ値 (指令値) を設定する。

直流昇圧コンバータ部の制御フローは、「図 9 直流昇圧制御の概要フロー (割り込み処理)」を参照ください。

表 16 直流昇圧コンバータ部の設定ファイルと処理関数

ファイル	関数	内容
DC_converter.c DC_converter.h	int_mtu2_tgib0(void)	MTU2 (チャンネル 0) のコンペアマッチ割り込み処理 <ul style="list-style-type: none"> • 直流昇圧コンバータ部の起動処理 • 電圧フィードバック制御器 (DC) を実行し、PWM デューティ値 (指令値) を算出する • MTU2 (チャンネル 0) のタイマレジスタに PWM デューティ値を設定する
dc_iir_inline.c dc_iir_inline.h	dc_iir_filter_init(void)	電圧フィードバック制御器 (DC) の初期設定 <ul style="list-style-type: none"> • 制御器のパラメータを設定する (設定値はヘッダファイルに定義)
	dc_iir_filter_clear(void)	電圧フィードバック制御器 (DC) の内部変数のクリア
	dc_iir_filter(float)	電圧フィードバック制御器 (DC) <ul style="list-style-type: none"> — 関数引数: 直流昇圧電圧の偏差 — 関数戻り値: PWM デューティ値 • 直流昇圧コンバータの電圧フィードバック処理用の制御器 (IIR フィルタ) • 直流昇圧電圧の偏差 (検出値と目標値との差分) から、直流昇圧コンバータ部を制御する PWM デューティ値 (指令値) を求める

5.3.5 AC インバータ部の処理

表 17 に、AC インバータ部を制御する設定ファイルと処理関数を示します。

AC インバータ部の制御は、すべて MTU2S (チャンネル 3, 4) のタイマ割り込み (int_mtu2s_tgia3()関数) で処理します。割り込みは、PWM キャリア周期ごとに発生し、以下の処理を行います。AC インバータ部では 2 つの電圧フィードバック制御器 (ACrms, AC) を使用します。

- AC インバータ部の起動処理 (停止、ソフトスタート、起動、ソフトストップ) を制御する。
- AC 出力電圧の検出値の取り込み (AD 変換値)
- AC 出力電圧の実効値を算出する。
- 電圧フィードバック制御器 (ACrms) を実行して、AC 出力電圧の実効値 (指令値) を算出する。
- 電圧フィードバック制御器 (AC) を実行して、AC インバータ制御用の PWM デューティ値 (正弦波) を算出する。
- PWM デューティ値 (正弦波) を MTU2S (チャンネル 3, 4) のタイマレジスタに設定する。

AC インバータ部の制御フローは、「図 15 AC インバータ制御の概要フロー (割り込み処理)」を参照ください。

表 17 AC インバータ部の設定ファイルと処理関数

ファイル	関数	内容
AC_inverter.c AC_inverter.h	int_mtu2s_tgia3(void)	MTU2S (チャンネル 3, 4) のコンペアマッチ割り込み処理 <ul style="list-style-type: none"> • AC インバータ部の起動処理 • AC 出力電圧 (実効値) の処理 (実効値の算出、電圧フィードバック制御器 (ACrms) の実行) • 電圧フィードバック制御器 (AC) を実行する • MTU2S (チャンネル 3, 4) のタイマレジスタに PWM デューティ値を設定する
	select_AC_Hz_init(void)	AC 出力電圧 (正弦波) の周波数設定 <ul style="list-style-type: none"> • 周波数: 60[Hz]
	set_sin_data_clear(void)	sin 値の初期化
	float set_sin_data(void)	sin 値の算出 — 関数戻り値: sin 値 [-1.0 から 1.0]
ac_rms_control.c ac_rms_control.h	ac_rms_proc_init(void)	AC 出力電圧 (実効値) の処理の初期設定
	float ac_rms_proc(float)	AC 出力電圧 (実効値) の処理 — 関数引数: AC 出力電圧の検出値 — 関数戻り値: AC 出力電圧 (実効値) の指令値 <ul style="list-style-type: none"> • AC 出力電圧 (検出値) から、AC 出力電圧の実効値 (検出値) を求める • 電圧フィードバック制御器 (ACrms) を実行し、AC 出力電圧の実効値 (指令値) を算出する
ac_rms_iir_inline.c ac_rms_iir_inline.h	ac_rms_iir_filter_init(void)	電圧フィードバック制御器 (ACrms) の初期設定 <ul style="list-style-type: none"> • 制御器のパラメータを設定する (設定値はヘッダファイルに定義)
	ac_rms_iir_filter_clear(void)	電圧フィードバック制御器 (ACrms) の内部変数のクリア
	ac_rms_iir_filter(float)	電圧フィードバック制御器 (ACrms) <ul style="list-style-type: none"> — 関数引数: AC 出力電圧 (実効値) の偏差 — 関数戻り値: AC 出力電圧 (実効値) の指令値 • AC 出力電圧の実効値を制御する電圧フィードバック制御器 (IIR フィルタ) • AC 出力電圧 (実効値) の偏差 (目標値と検出値との差分) から AC 出力電圧 (実効値) の指令値を求める

表 17 AC インバータ部の設定ファイルと処理関数 (続き)

ファイル	関数	内容
ac_iir_inline.c ac_iir_inline.h	ac_iir_filter_init(void)	電圧フィードバック制御器 (AC) の初期設定 <ul style="list-style-type: none"> 制御器のパラメータを設定する (設定値はヘッダファイルに定義)
	ac_iir_filter_clear(void)	電圧フィードバック制御器 (AC) の内部変数のクリア
	ac_iir_filter(float)	電圧フィードバック制御器 (AC) — 関数引数: AC 出力電圧の偏差 — 関数戻り値: PWM デューティ値 (正弦波) <ul style="list-style-type: none"> AC 出力電圧を正弦波状に制御する電圧フィードバック制御器 (IIR フィルタ) AC 出力電圧の偏差 (検出値と目標値との差分) から AC インバータ制御用の PWM デューティ値 (正弦波) を算出する

5.3.6 共通ファイル

表 18 に、システム共通の設定ファイルと処理関数を示します。

表 18 設定ファイルと処理関数

ファイル	関数	内容
common.h	—	システム共通のヘッダファイル (定数の定義) <ul style="list-style-type: none"> 直流昇圧コンバータ部の制御定数 AC インバータ部の制御定数 AD 変換値から電圧値への変換定数
DCAC_control.c DCAC_control.h	set_Edc_volt_data(void)	入力直流電圧値の取得 <ul style="list-style-type: none"> AD 変換結果から直流昇圧コンバータ部の入力直流電圧値を算出する
	set_Vdc_out_fb_volt_data(void)	直流昇圧電圧値の取得 <ul style="list-style-type: none"> AD 変換結果から直流昇圧コンバータ部の直流昇圧電圧値を算出する
	set_Vac_out_fb_volt_data(void)	AC 出力電圧値の取得 <ul style="list-style-type: none"> AD 変換結果から AC インバータ部の AC 出力電圧値を算出する
	set_Vac_ad_offset_data12(void)	AD オフセット値の設定 <ul style="list-style-type: none"> システム起動に AD コンバータを起動して、AC 出力電圧の AD オフセット値を設定する
param_set.c param_set.h	param_set(void)	システム制御変数の初期値設定 <ul style="list-style-type: none"> 直流昇圧コンバータ部の直流昇圧電圧値の目標値を設定 AC インバータ部の AC 出力電圧の目標値を設定 電圧リミット値の設定

6. 参考ドキュメント

- ハードウェアマニュアル
SH7216 グループ ハードウェアマニュアル (RJJ09B0575)
(最新版をルネサス エレクトロニクス ホームページから入手してください。)
- ソフトウェアマニュアル
SH-2A, SH2A-FPU ソフトウェアマニュアル (RJJ09B0086)
(最新版をルネサス エレクトロニクス ホームページから入手してください。)

ホームページとサポート窓口

ルネサス エレクトロニクスホームページ

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

お問合せ先

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

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。

改訂記録

Rev.	発行日	改訂内容	
		ページ	ポイント
1.00	2010.05.19	—	初版発行
2.00	2011.03.25	—	全面改訂

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、本文を参照してください。なお、本マニュアルの本文と異なる記載がある場合は、本文の記載が優先するものとします。

1. 未使用端子の処理

【注意】未使用端子は、本文の「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。未使用端子は、本文「未使用端子の処理」で説明する指示に従い処理してください。

2. 電源投入時の処置

【注意】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. リザーブアドレスのアクセス禁止

【注意】リザーブアドレスのアクセスを禁止します。

アドレス領域には、将来の機能拡張用に割り付けられているリザーブアドレスがあります。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。

4. クロックについて

【注意】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。

5. 製品間の相違について

【注意】型名の異なる製品に変更する場合は、事前に問題ないことをご確認下さい。

同じグループのマイコンでも型名が違くと、内部メモリ、レイアウトパターンの相違などにより、特性が異なる場合があります。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。

ご注意書き

1. 本資料に記載されている内容は本資料発行時点のものであり、予告なく変更することがあります。当社製品のご購入およびご使用にあたりましては、事前に当社営業窓口で最新の情報をご確認いただきますとともに、当社ホームページなどを通じて公開される情報に常にご注意ください。
2. 本資料に記載された当社製品および技術情報の使用に関連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の侵害等に関し、当社は、一切その責任を負いません。当社は、本資料に基づき当社または第三者の特許権、著作権その他の知的財産権を何ら許諾するものではありません。
3. 当社製品を改造、改変、複製等しないでください。
4. 本資料に記載された回路、ソフトウェアおよびこれらに関連する情報は、半導体製品の動作例、応用例を説明するものです。お客様の機器の設計において、回路、ソフトウェアおよびこれらに関連する情報を使用する場合には、お客様の責任において行ってください。これらの使用に起因しお客様または第三者に生じた損害に関し、当社は、一切その責任を負いません。
5. 輸出に際しては、「外国為替及び外国貿易法」その他輸出関連法令を遵守し、かかる法令の定めるところにより必要な手続を行ってください。本資料に記載されている当社製品および技術を大量破壊兵器の開発等の目的、軍事利用の目的その他軍事用途の目的で使用しないでください。また、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に使用することができません。
6. 本資料に記載されている情報は、正確を期すため慎重に作成したのですが、誤りがないことを保証するものではありません。万一、本資料に記載されている情報の誤りに起因する損害がお客様に生じた場合においても、当社は、一切その責任を負いません。
7. 当社は、当社製品の品質水準を「標準水準」、「高品質水準」および「特定水準」に分類しております。また、各品質水準は、以下に示す用途に製品が使われることを意図しておりますので、当社製品の品質水準をご確認ください。お客様は、当社の文書による事前の承諾を得ることなく、「特定水準」に分類された用途に当社製品を使用することができません。また、お客様は、当社の文書による事前の承諾を得ることなく、意図されていない用途に当社製品を使用することができません。当社の文書による事前の承諾を得ることなく、「特定水準」に分類された用途または意図されていない用途に当社製品を使用したことによりお客様または第三者に生じた損害等に関し、当社は、一切その責任を負いません。なお、当社製品のデータ・シート、データ・ブック等の資料で特に品質水準の表示がない場合は、標準水準製品であることを表します。
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
高品質水準： 輸送機器（自動車、電車、船舶等）、交通用信号機器、防災・防犯装置、各種安全装置、生命維持を目的として設計されていない医療機器（厚生労働省定義の管理医療機器に相当）
特定水準： 航空機器、航空宇宙機器、海底中継器、原子力制御システム、生命維持のための医療機器（生命維持装置、人体に埋め込み使用するもの、治療行為（患部切り出し等）を行うもの、その他直接人命に影響を与えるもの）（厚生労働省定義の高度管理医療機器に相当）またはシステム等
8. 本資料に記載された当社製品のご使用につき、特に、最大定格、動作電源電圧範囲、放熱特性、実装条件その他諸条件につきましては、当社保証範囲内でご使用ください。当社保証範囲を超えて当社製品をご使用された場合の故障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おりますが、半導体製品はある確率で故障が発生したり、使用条件によっては誤動作したりする場合があります。また、当社製品は耐放射線設計については行っておりません。当社製品の故障または誤動作が生じた場合も、人身事故、火災事故、社会的損害など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、機器またはシステムとしての出荷保証をお願いいたします。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、お客様が製造された最終の機器・システムとしての安全検証をお願いいたします。
10. 当社製品の環境適合性等、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。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、当社は、一切その責任を負いません。
11. 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固くお断りいたします。
12. 本資料に関する詳細についてのお問い合わせその他お気付きの点等がございましたら当社営業窓口までご照会ください。

注1. 本資料において使用されている「当社」とは、ルネサス エレクトロニクス株式会社およびルネサス エレクトロニクス株式会社とその総株主の議決権の過半数を直接または間接に保有する会社をいいます。

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



ルネサス エレクトロニクス株式会社

■営業お問合せ窓口

<http://www.renesas.com>

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

ルネサス エレクトロニクス販売株式会社 〒100-0004 千代田区大手町2-6-2（日本ビル）

(03)5201-5307

■技術的なお問合せおよび資料のご請求は下記へどうぞ。
総合お問合せ窓口：<http://japan.renesas.com/inquiry>