

# RX62T

R01AN0901JU0100

Rev.1.00

## PMSM モータの単一シャントセンサレスベクトル制御

2013.02.08

### はじめに

本書では、RX62T の単一シャントセンサレスベクトル制御ソリューションについて紹介します。このソリューションは、単一シャント電流測定とともに RX62T 評価キット上に実装されています。

本書は、評価キットのハードウェアプラットフォーム、単一シャント電流測定、モータ相電流の復元方法、単一シャントセンサレスベクトル制御方式、およびソフトウェア実装について説明します。センサレスベクトル制御のアルゴリズムは、ルネサスアプリケーションノート REU05B0103-0100/Rev.1.00 で紹介した方法に基づいています。

通常、3 シャント電流センサを使用して、電流制御と磁束オブザーバのためのモータ相電流を測定しますが、これによってハードウェアコストが上昇することになります。本アプリケーションノートでは、完全かつ独自のモータ相電流の復元方法について紹介します。

### 対象デバイス

RX62T

### 目次

1. 概要 .....	2
2. ハードウェアプラットフォーム .....	3
3. 仕様と性能データ .....	4
4. システム制御ブロック図 .....	4
5. 単一シャントモータ相電流の測定 .....	6
6. 単一シャントセンサレスベクトル制御方式 .....	13
7. ソフトウェアの記述 .....	14
8. モータと制御のパラメータのチューニング例 .....	16
Appendix A - References .....	18

## 1. 概要

本書は、ルネサス RX62T マイクロコントローラを使用した、単一シャント電流測定による永久磁石同期モータ（PMSM）のセンサレスベクトル制御のソフトウェア設計と実装について説明します。

今日、コスト効率に優れた高性能のマイクロコントローラが利用できるようになったため、多くの設計グループが 3 相永久磁石同期モータ（PMSM）のセンサレスベクトル制御の実装に興味を持つようになっていきます。最新の高度なモータ制御方式を高性能のデジタルモータ制御システムに容易に実装できるようになりました。

製造業者がセンサレス制御手法に興味を持つ最大の理由はコストです。この手法では、モータ電流から速度と角度を推定するため、速度センサ（通常はエンコーダ）が不要となり、コストが低減されます。センサレスベクトル制御の一般的な手法では、3 シャント電流センサを使用しますが、これは駆動系全体のコストを上昇させることになります。特殊なタイマユニットでモータ相電流を測定するのに単一シャント電流測定の手法を使用すると、3 つのシャント電流センサよりも 1 つの高精度のシャント抵抗の方がはるかに安価なため、駆動系のコストはさらに低減されます。

本書では、RX62T の単一シャントセンサレスベクトル制御ソリューションについて紹介します。このソリューションは、単一シャント電流測定とともに RX62T 評価キット上に実装されています。本書は、評価キットのハードウェアプラットフォーム、単一シャント電流測定、モータ相電流の復元方法、単一シャントセンサレスベクトル制御方式、およびソフトウェア実装について説明します。センサレスベクトル制御のアルゴリズムは、ルネサスアプリケーションノート REU05B0103-0100/Rev.1.00 で紹介した方法に基づいています。

アプリケーションノートで説明するソフトウェアは、以下のデバイスとプラットフォームに適用することができます。

- MCU：RX62T および RX62N
- モータ：3 相ブラシレス DC モータ（BLDC）および PMSM モータ
- プラットフォーム：ルネサス評価キット
- 制御アルゴリズム：単一シャントセンサレスベクトル制御

## 2. ハードウェアプラットフォーム

RX62T の評価ボードは、コントローラに電力インバータを組み込んだ単一ボードです。ハードウェアは、図 1 に示すように、低電圧 MOSFET 電力段、通信段、および RX62T マイクロコントローラをベースにしたコントローラが含まれています。

ボードには以下の特長があります。

- 低電圧モータとともに 3 相インバータをボードに搭載
- 24V 外部電源により DC バス電圧の 15V と 5V の電源を供給
- 電源デバイスはルネサスの低電圧 MOSFET を使用
- 電力定格：最大 120 ワット
- 3 シャントと単一シャントの電流測定をサポート
- 外部アンプから内蔵 PGA に簡単にジャンパで変更可能
- H8S2212 MCU を介した PC との USB 通信
- GUI を使用して、モータと制御のパラメータを修正、および速度と位置の両方の制御をチューニング
- ホールセンサとエンコーダを接続するためのコネクタ
- LCD ディスプレイによる動作ステータスの監視
- ポテンショメータと押しボタンで設定されるスタンドアロンモードのサポート
- 第 2 モータの駆動をサポート、別のモータ制御電力段用の信号とコネクタが使用可能

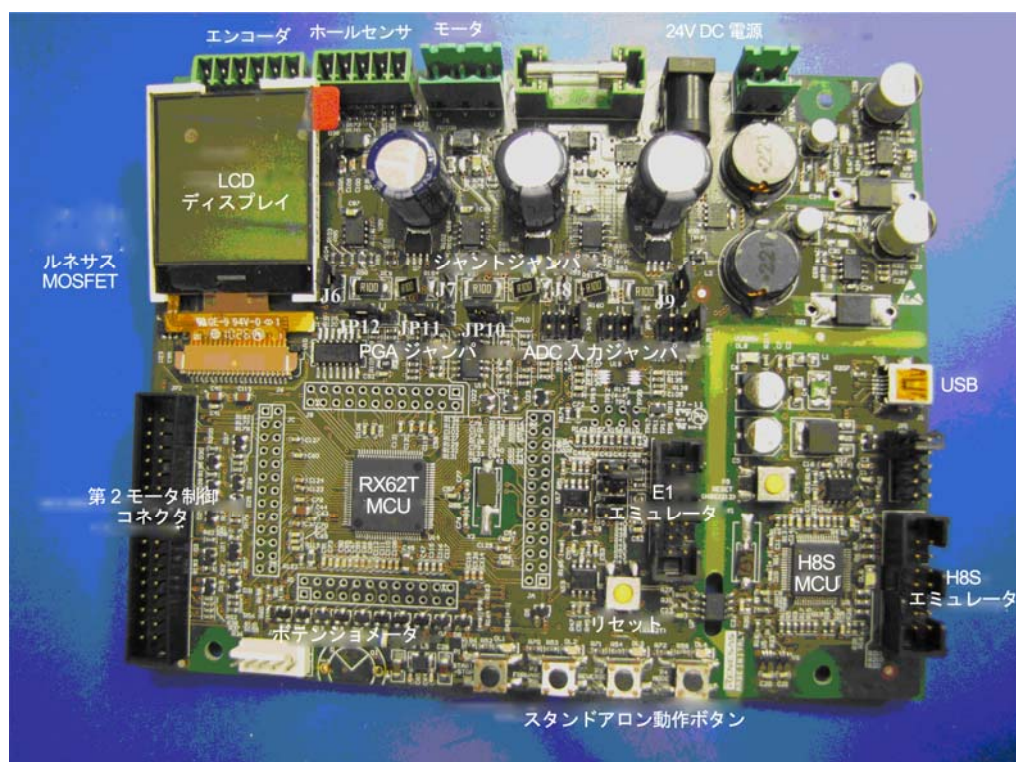


図 1 評価ボード

### 3. 仕様と性能データ

単一シャントのセンサレスベクトル制御は、ルネサス評価キットと RX62T MCU を使用して実装されており、その主な仕様データを以下に示します。

- 入力電圧：24VDC
- 定格バス電圧：24V
- 出力電圧：24VAC
- 定格出力電力：120W
- PWM スイッチング周波数：20KHz
- 制御ループ周波数：10KHz
- 電流測定：単一シャント抵抗器
- 実装：FPU
- CPU 処理能力：26.5%
- 使用フラッシュメモリ：25.072K バイト
- 使用 RAM：4.397K バイト
- 使用スタック：336 バイト

### 4. システム制御ブロック図

単一シャントセンサレスベクトル制御の機能ブロック図を図 2 に示します。システムは、入力 AC/DC 整流器、DC リンク、および出力 DC/AC インバータで構成されています。単一シャントセンサレスベクトル制御のアルゴリズムを実装したコントローラは、ルネサスの RX62T 浮動小数点マイクロコントローラを使用しています。3 シャント電流測定は取り除かれていることが分かります。このソリューションでは、3 シャント電流検知の代わりに単一シャント電流測定を採用しています。DC バス電流をサンプリングすることによって 3 つのモータ相電流を復元しています。

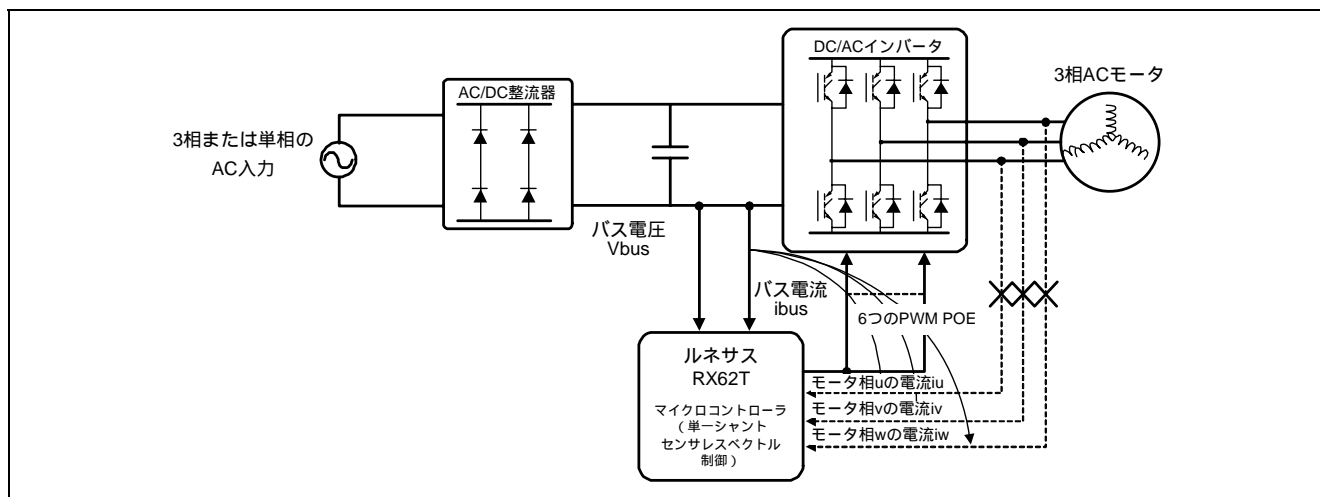


図 2 単一シャントセンサレスベクトル制御の機能ブロック図

RX62T は、最大動作周波数 100MHz で 165DMIPS の 32 ビットの高性能マイクロコントローラで、単精度浮動小数点ユニット (FPU) を備えています。モータ制御を容易にするため、多機能タイマ (MTU、GPT)、高速 12 ビット A/D コンバータ、および 10 ビット A/D コンバータが装備されています。

図 3 は、評価キットのための RX62T マイクロコントローラのブロック図です。RX62T のタイマ MTU3 のチャンネル 6 と 7 を使用して 6 個の PWM 信号を生成し、ボードのモータを相補モードで駆動しています。PWM 変調は、空間ベクトル PWM または正弦波 PWM を第 3 高調波で使用しています。3 相インバータは、ルネサスの低電圧 MOSFET を使用しており、これにより可変の周波数と振幅を用いて 3 相の電圧を生成し、所望の電圧でモータを駆動します。

モータの電流  $i_u, i_v, i_w$  は、3つのシャント抵抗器で測定されます。電流  $i_u, i_v, i_w$  は、それぞれチャンネル AN002、AN001、および AN000 の 12 ビット ADC ユニット 0 で測定されます。単一シャント電流測定の場合、電流  $i_w$  (DC バス電流) が、ボード上のジャンパを通じて、ADC チャンネル AN000 への唯一の入力になります。モータ相電流は、 $i_w$  によって復元されます。一方、バス電圧は、チャンネル AN003 の 12 ビット ADC ユニット 0 で測定されます。

速度は、外部のポテンシオメータによって指定されます。これは 10 ビット ADC チャンネル AN1 に入力されます。MOSFET の温度は、10 ビット ADC チャンネル AN2 で測定されます。

エンコードのパルス A と B は、TCLKA と TCLKB に入力されます。Z パルスは IRQ0 に入力されます。第 2 モータの場合、エンコードのパルス A と B は、TCLKC と TCLKD に入力されます。Z パルスは IRQ3 に入力されます。MTU3 タイマには、2 相のエンコードパルス入力を取り込むための位相計数モードがあります。

モータおよび電源ボードに過電流が生じると、ADC 電流サンプリング回路が POE 信号を生成して、MCU ハードウェアからの PWM 出力を直ちに停止します。また、RX62T 制御システムには、IEC60730 安全規格に準拠したさまざまなシステムレベルの安全機能が備わっています。これには、たとえば、低電圧検出 (LVD)、独立ウォッチドッグタイマ (IWDT)、クロック停止検出、ADC コンバータ自己診断、出力ポートモニタなどがあります。

グラフィカルユーザインターフェース (GUI) が USB 通信によって RX62T MCU と通信します。GUI は、リアルタイムにモータの動作ステータスを表示し、モータと制御のパラメータをチューニングすることができます。ボードは、スタンドアロンモードで動作することもできます。LCD がモータのステータスを表示します。

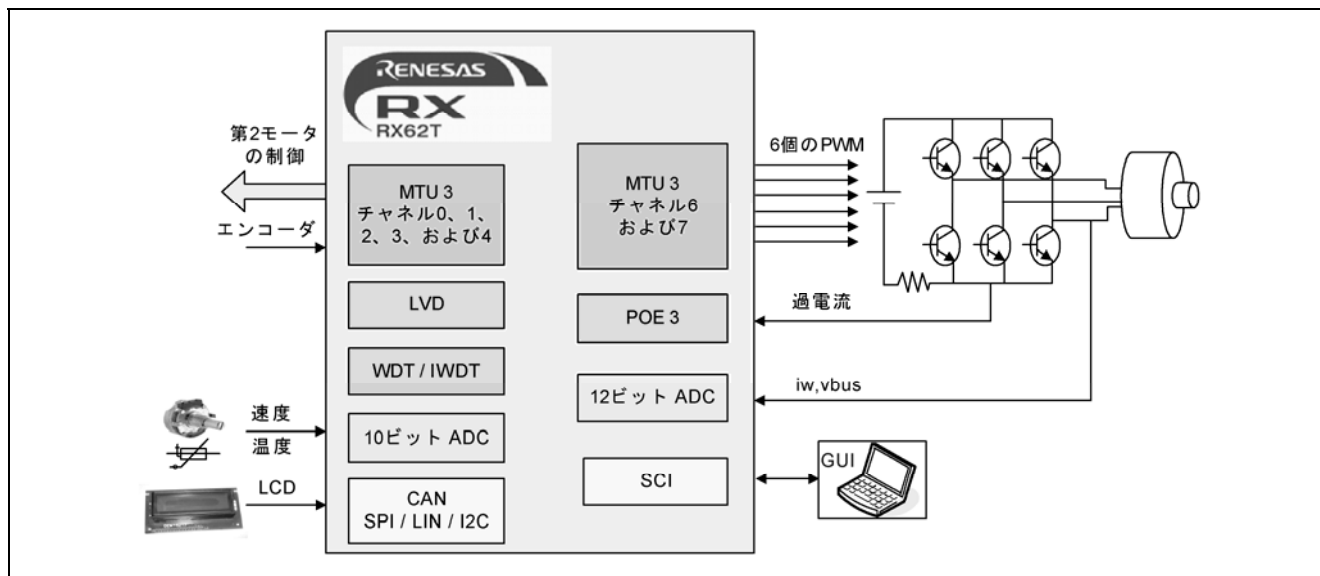


図 3 システム制御ブロック図



## 5. 単一シャントモータ相電流の測定

### 5.1 単一シャント電流の測定回路

図4は、単一シャント電流測定の場合の評価キットのハードウェア回路を示しています。ジャンパ J6 と J9 をオープンにすると同時に J7 と J8 をショートにします。インバータの合成バス電流は、 $0.1\Omega$  の単一のシャント抵抗器で測定することができます。表1に、単一シャント電流測定のジャンパ設定を示します。

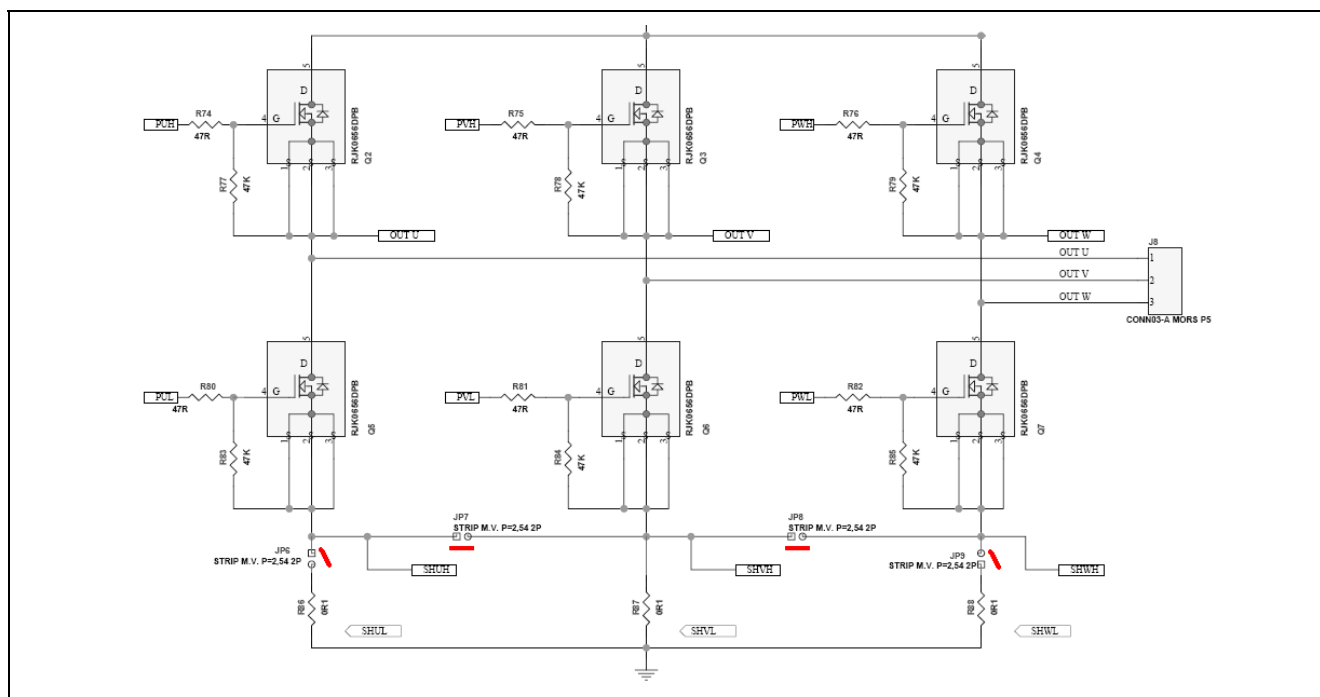


図4 単一シャント電流測定のハードウェア回路

表1 単一シャント電流測定のジャンパ設定

ジャンパ	J6	J7	J8	J9
状態	オフ	オン	オン	オフ

### 5.2 単一シャント電流の読み取り

図5は、スイッチングパターンに関連するシャント電流の読み取りを示しています。

- 下側スイッチの1つまたは2つがオンのときにのみ、シャント内の電流は相電流と関係することになります。
- 下側スイッチの1つがオンのときにのみ、シャント電流はそのスイッチに対応する相電流になります。
- 下側スイッチの2つがオンのとき、シャント電流は、対応する相電流の合計になるため、マイナス第3相電流に等しくなります。

単一シャントシステムでは、常に相電流を読み取れるわけではありません。出力整流の後、少なくとも読み取り回路ハードウェアの安定時間やADCコンバータのサンプリング時間が必要です。したがってPWM周期において、異なるチャネルの整流間に十分な時間差があるときにのみ、単一シャント電流を読み取ることができます。ただし、デッドタイムは悪影響を及ぼします。

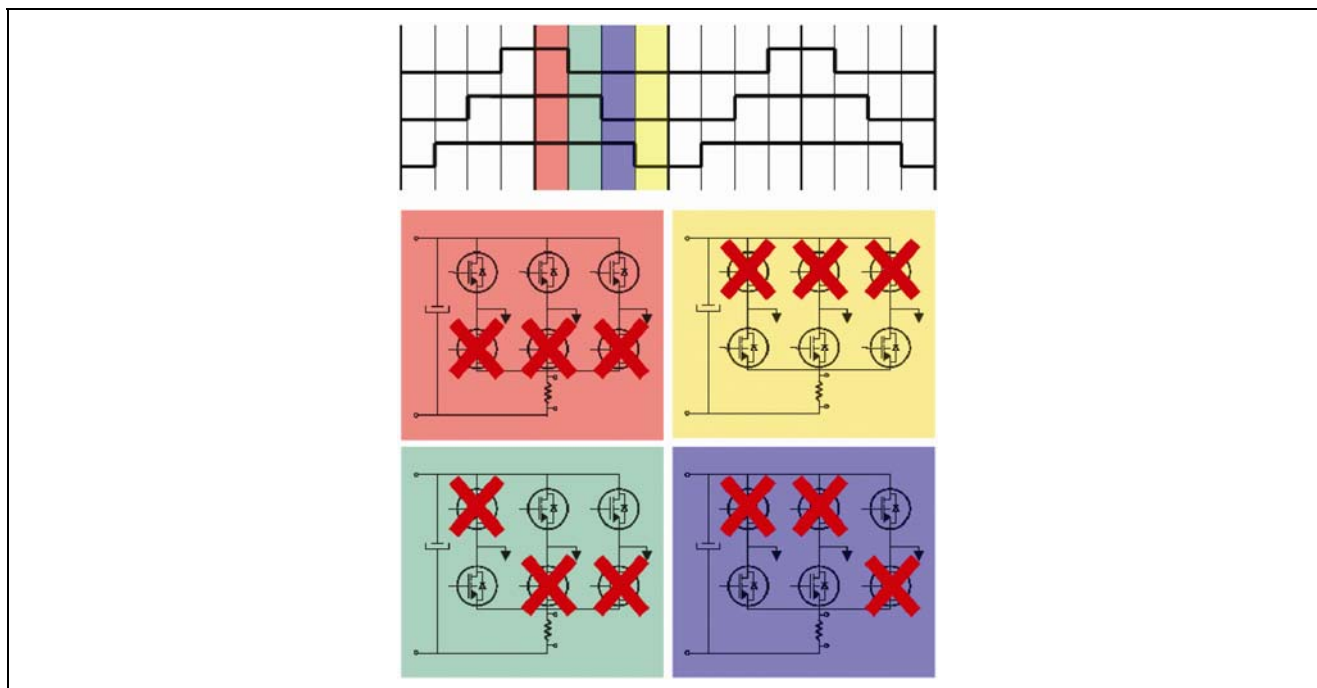


図5 単一シャント電流測定のスウィッチングパターン

### 5.3 単一シャントによるモータ電流の復元

単一シャント電流測定によるセンサレスベクトル制御の実装は、2つのシャント電流測定による実装とよく似ていますが、モータ相電流の復元アルゴリズムを開発する必要があります。図6は、RX62T マイクロコントローラ MTU7.TADCOBRA と MTU7.TADCOBRB の2つの MTU3 タイマチャネル、およびハードウェアトリガの ADC チャンネルを使用して、単一シャント電流検出を実装する方法を示しています。RX62T の 12 ビット ADC チャンネル 0 の AN000 には、AN000\_IWA および AN000\_IWB という2つのデータレジスタがあるので、単一シャント電流サンプリングには、1つの ADC チャンネルで十分であり、2つの ADC チャンネルを使用する従来の方法は必要ありません。

図6では、W相が最大 PWM 値であり、V相がこれより小さな値、U相が最小値になります。W相とV相の立ち上がりエッジ間のシャント電流を測定した場合、W相の電流を測定したことになります。PWMの値に基づくと、W相のみ(つまり Wpのみ - 上側 W相スイッチ)がその時点でオンになります。したがってシャント抵抗器で測定される電流はいずれも W相の電流のみです。次に、V相とU相の立ち上がりエッジ間の電流を測定した場合、W相とV相の両方を合わせた電流が測定されます。つまり、3つの相電流すべての合計がゼロになるため、U相の電流が測定されることになります。したがって、電流測定は、PWM 割り込み中の正確な時刻に行う必要があります。ADC チャンネルをトリガして AN000\_IWA と AN000\_IWB の ADC データレジスタを正確な時刻に読み取るには、2つのタイマチャネル MTU7.TADCOBRA および MTU7.TADCOBRB を使用します。デューティサイクルに基づいて、これらの2つのチャネルの正確なタイマカウンタを計算します。これが、制御方法の既知の出力となります。

このプロセスの一環として、3つのすべての相の PWM デューティ値を比較して、MTU7.TADCOBRA と MTU7.TADCOBRB の2つのタイマチャネルに負荷を加える時間を正確に求めます。3つの PWM デューティ値は常に変化し続けることに注意することが重要です。したがって W相の PWM カウンタは常に最大ではありません。電流測定が行われる相に対して正しいフラグを設定することが必要になるたびに、最大 PWM 値が検出されます。この方法では、すべての PWM カウンタの比較、相に対するフラグの設定、およびトリガされる ADC チャンネルに対応する識別が必要となるため、処理タスクが複雑になり、コードと CPU 時間が大幅に増大します。CPU 処理能力に対する要求は通常、2つのシャント電流センサ方式の SVC よりも高くなります。幸いなことに、ADC チャンネル AN000 はハードウェアによってトリガされるため、はるかに多くの ADC 変換時間を節約できます。さらに RX62T MCU には高度な計算能力が備わっているため、単一シャント電流検出を簡単かつ迅速に実装できるようになります。

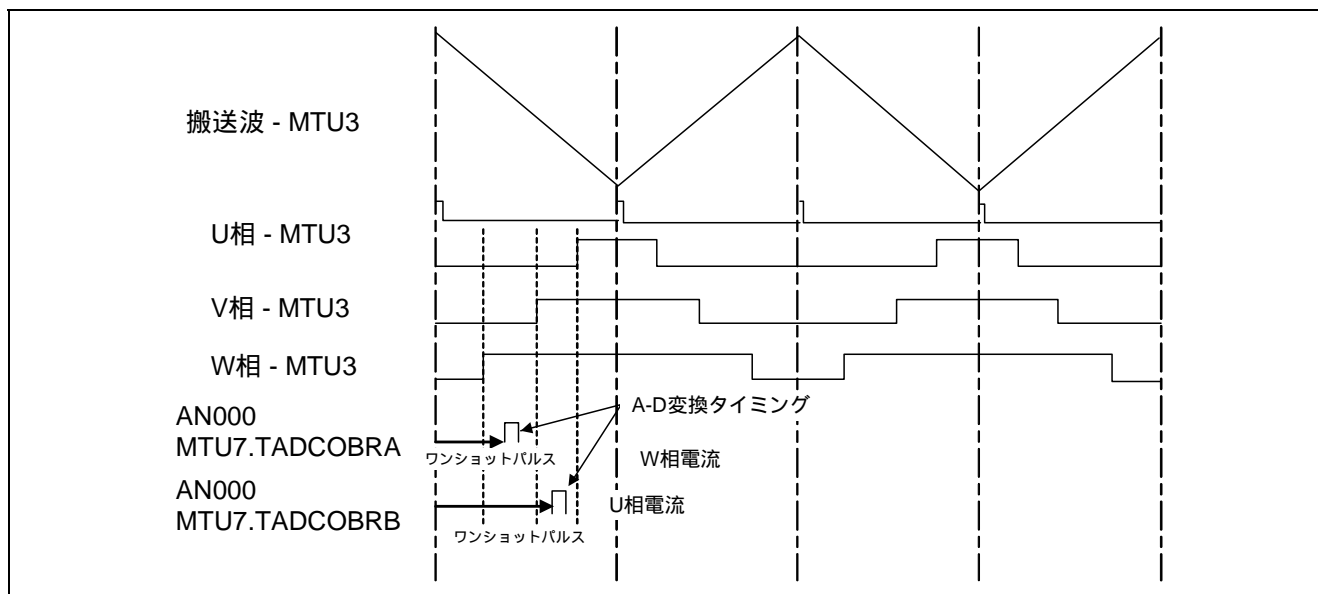


図 6 RX62T の 2 つの MTU3 タイマチャネルを使用した単一シャント電流の検出

モータ相電流  $i_u$ 、 $i_v$ 、および  $i_w$  は、シャント電流から復元されます。上述したように、シャント電流は、AN000\_IWA と AN000\_IWB、すなわち  $i_{aad}$  と  $i_{bad}$  によってそれぞれサンプリングされます。 $du$ 、 $dv$ 、および  $dw$  の PWM デューティ率に従って、以下の手順で AD トリガ時間が設定されてモータ相電流が復元されます。

- $du > dv > dw$  の場合、MTU7.TADCOBRA と MTU7.TADCOBRB に対して以下のトリガ時間を設定します。

$$\text{MTU7.TADCOBRA} = dv + SS$$

$$\text{MTU7.TADCOBRB} = dw + SS$$

SS は、ADC のサンプリング時間とハードウェア回路の設定時間によって決まります。

以下に示すように、単一シャント電流を  $u$  相と  $w$  相の電流に変換します。

$$i_{um} = i_{aad} - i_{ss\_off}$$

$$i_{wm} = -i_{bad} + i_{ss\_off}$$

$i_{ss\_off}$  は、単一シャント電流のオフセットです。
- $du > dw > dv$  の場合、MTU7.TADCOBRA と MTU7.TADCOBRB に対して以下のトリガ時間を設定します。

$$\text{MTU7.TADCOBRA} = dw + SS$$

$$\text{MTU7.TADCOBRB} = dv + SS$$

以下に示すように、単一シャント電流を  $u$  相と  $v$  相の電流に変換します。

$$i_{um} = i_{aad} - i_{ss\_off}$$

$$i_{vm} = -i_{bad} + i_{ss\_off}$$
- $dw > du > dv$  の場合、MTU7.TADCOBRA と MTU7.TADCOBRB に対して以下のトリガ時間を設定します。

$$\text{MTU7.TADCOBRA} = du + SS$$

$$\text{MTU7.TADCOBRB} = dv + SS$$

以下に示すように、単一シャント電流を  $w$  相と  $v$  相の電流に変換します。

$$i_{wm} = i_{aad} - i_{ss\_off}$$

$$i_{vm} = -i_{bad} + i_{ss\_off}$$
- $dv > du > dw$  の場合、MTU7.TADCOBRA と MTU7.TADCOBRB に対して以下のトリガ時間を設定します。

$$\text{MTU7.TADCOBRA} = du + SS$$

$$\text{MTU7.TADCOBRB} = dw + SS$$

以下に示すように、単一シャント電流を  $u$  相と  $w$  相の電流に変換します。

$$i_{um} = i_{aad} - i_{ss\_off}$$

$$i_{wm} = -i_{bad} + i_{ss\_off}$$
- $dv > dw > du$  の場合、MTU7.TADCOBRA と MTU7.TADCOBRB に対して以下のトリガ時間を設定します。

$$\text{MTU7.TADCOBRA} = dw + SS$$

$$\text{MTU7.TADCOBRB} = du + SS$$



以下に示すように、単一シャント電流を  $v$  相と  $u$  相の電流に変換します。

$ivm=iaad-iss\_off$

$ium=-ibad+iss\_off$

- $dw>dv>du$  の場合、MTU7.TADCOBRA と MTU7.TADCOBRB に対して以下のトリガ時間を設定します。

MTU7.TADCOBRA =  $dv + SS$

MTU7.TADCOBRB =  $du + SS$

以下に示すように、単一シャント電流を  $w$  相と  $u$  相の電流に変換します。

$iwm=iaad-iss\_off$

$ium=-ibad+iss\_off$

## 5.4 単一シャント電流 ADC のサンプリングとスケールリング

図 7 は、シャント電流のサンプリングと増幅の回路を示しています。電流の極性があるため、オフセットを追加して 0 ボルトに対する最大負電流をシフトする必要があります。モータがジェネレータモードで動作するとき、バス電流によって方向が逆になります。オフセットと増幅の後、RX62T MCU ADC チャンネル AN000 に入力される単一シャント電流を表 2 に示します。

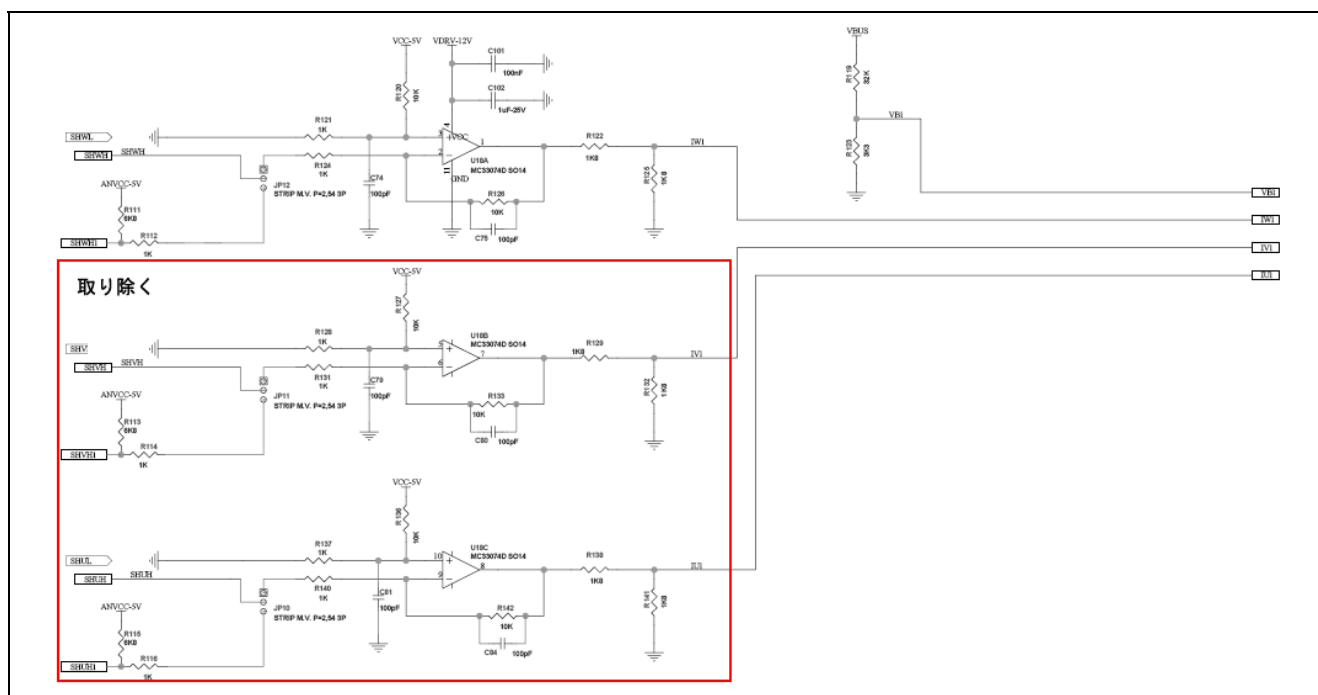


図 7 モータ電流測定回路

表 2 ADC 変換

項目	ADC チャンネル	変換率 (実測値/ADC 入力値)
DC バス電流 - $i_w$	AN000	-5A ~ 5A/0 ~ 5V
DC バス電圧 - $v_{bus}$	AN003	0 ~ 50V/0 ~ 5V

このアプリケーションで使用されるシャント抵抗器は  $0.1\Omega$  です。電流の測定範囲は、-5A ~ 5A です。アンプのゲインは 5 に設定されます。図 8 は、電流検出のスケール変換を示しています。シャント抵抗器  $0.1\Omega$  は、最大  $\pm 5$  アンペアの電流を検出し、この電流を  $\pm 0.5$  ボルトの電圧に転換します。アンプは、この電圧を 5 倍に増幅します。A/D 入力、グラウンドを 0 ボルト基準にした状態で、RX62T の 0 ~ 5 ボルト範囲のアナログ入力信号を受け入れます。アンプの出力電圧には 2.5V のオフセットが追加されます。A/D 入力値 2.5V は電流がゼロと見なされ、2.5V ~ 5V の A/D 入力値は正の電流値に相当し、0 ~ 2.5V は負の電流値に相当します。12 ビット ADC は、0 ~ 4096 のデジタル値として電圧を読み取ります。

$$i_{ss} = KADI * (AN000 - i_{ss\_offset})$$

$$KADI = 5 / (4096 * Rshunt * Kamp)$$

ここで、

$i_{ss}$  は、DC バスのシャント電流です。

$i_{ss\_offset}$  は、DC バスのシャント電流オフセットです。

AN000 は、DC バスのシャント電流の 12 ビット ADC 読取値です。

KADI は、シャント電流のスケールリングです。

Rshunt は、シャント抵抗器の値です。

Kamp は、電流アンプのゲインです。

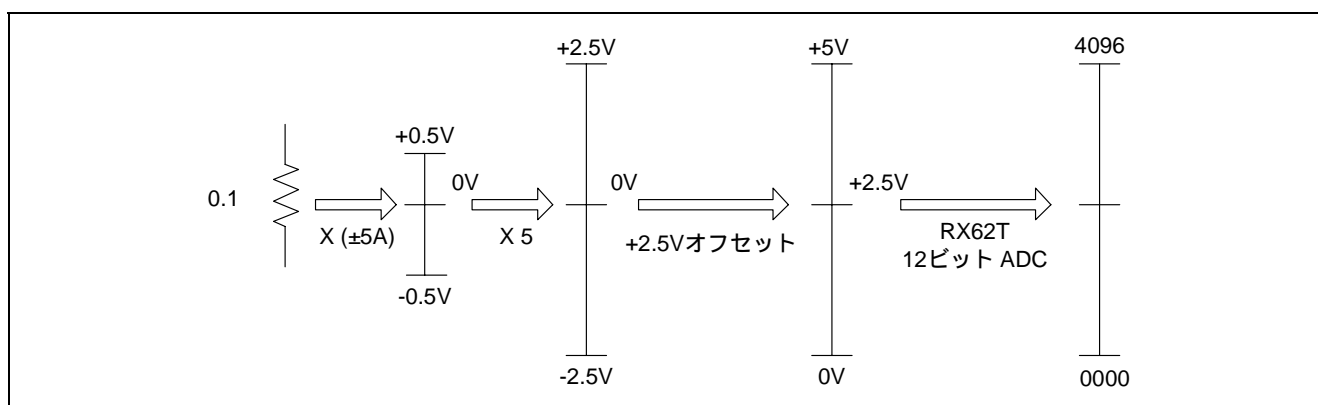


図 8 DC バスの単一シャント電流検出のスケール変換

## 5.5 過電流の保護

図 9 は、過電流回路を示しています。スイッチとゲートドライバには、PWM 信号を停止するためのハードウェアの過電流保護は備わっていません。過電流の回路は評価キットに追加されています。サンプリングした 3 つのシャント電流または単一シャント電流が図 9 に示す回路に入力されます。この回路の最初のパートはアンプです。第 2 のパートではウィンドウコンパレータを使用しています。電流が -5A または 5A を超えると、コンパレータは低レベル信号の POE4 を生成します。この信号は、RX62T マイクロコントローラのポートアウトプットイネーブル (POE) 端子に送信されます。

RX62T の POE を使用すると、POE0#、POE4#、POE8#、POE10#、および POE11# 端子の入力信号の変化に合わせて、MTU 用の PWM 相補出力端子 (MTIOC3B、MTIOC3D、MTIOC4A、MTIOC4B、MTIOC4C、MTIOC4D、MTIOC6B、MTIOC6D、MTIOC7A、MTIOC7B、MTIOC7C、および MTIOC7D) および GPT 用の大電流出力端子 (GTIOC0A-A、GTIOC0B-A、GTIOC1A-A、GTIOC1B-A、GTIOC2A-A、および GTIOC2B-A) をハイインピーダンス状態に置くことができます。また、レジスタ設定に合わせて、MTU 用の PWM 相補出力端子、MTU3\_0 用の端子 (MTIOC0A、MTIOC0B、MTIOC0C、および MTIOC0D) および GPT 用の端子 (GTIOC0A、GTIOC0B、GTIOC1A、GTIOC1B、GTIOC2A、GTIOC2B、GTIOC3A、および GTIOC3B) で多重化された端子機能をハイインピーダンス状態に置くことができます。また同時に割り込み要求を生成することもできます。さらに、クロック発振器からのクロック信号の停止に応じて、MTU 用の PWM 相補出力端子、MTU3\_0 用の端子、および GPT 用の端子で多重化された端子機能をハイインピーダンス状態に置くことができます。

RX62T マイクロコントローラが POE 信号を受信すると、遅延なしに直ちに PWM 出力を停止します。このため、過電流が生じると電源デバイスとハードウェアを保護することができます。また POE は PWM 出力をソフトウェアによってオフにする割り込みも生成します。

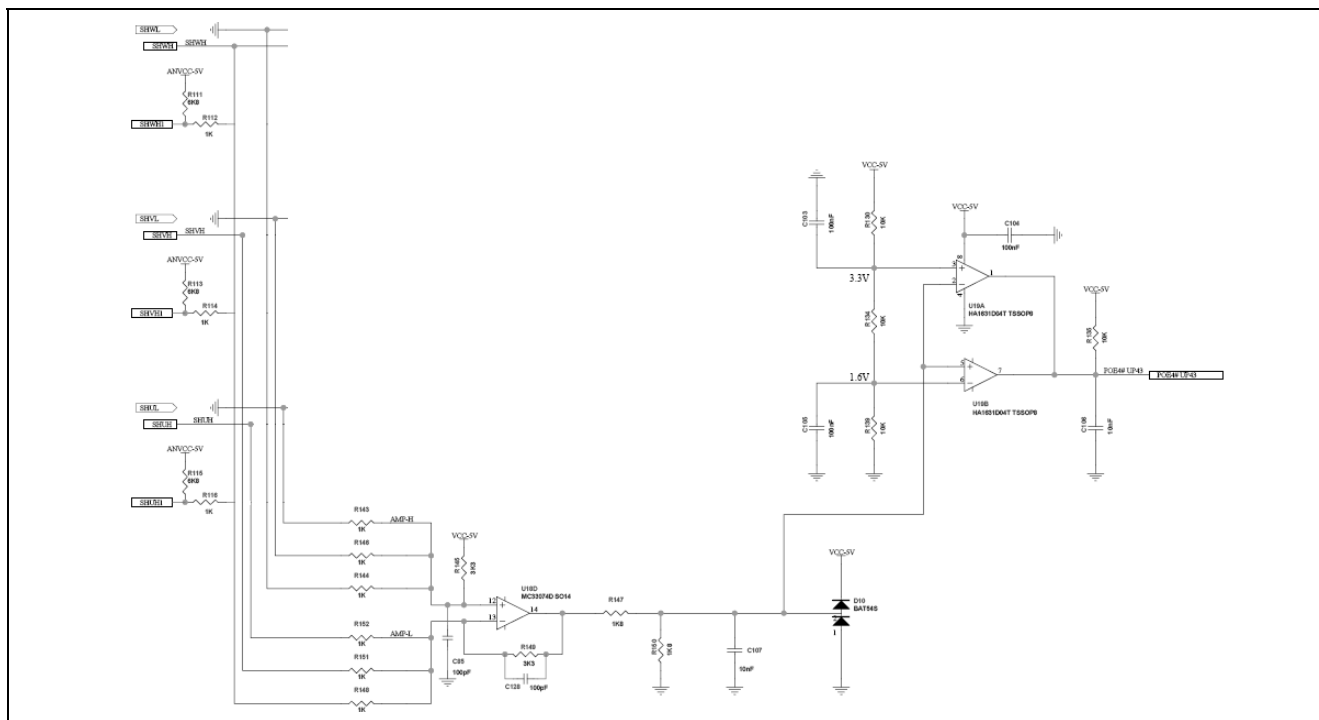


図 9 過電流保護回路

## 5.6 単一シャント電流の読み取りソフトウェアの実装

ソフトウェアの実装には、単一シャント電流オフセットの計算 MC\_SetOff()、単一シャント時間設定 MC\_Set\_SS()、および単一シャント電流の読み取り MC\_Read\_SS()が含まれています。

- MC\_SetOff()は、電流が 0 のときの ADC チャンネルのオフセットを読み取ります。これは、最初に 1 回実行されます。
- MC\_Set\_SS()ルーチンは、整流タイミング (デューティサイクル)  $du$ 、 $dv$ 、 $dw$  に従って、単一シャント ADC 変換の開始の正確な読み取り時間を計算します。また、読み取りが可能かどうかを判断します。可能であればフラグがセットされます。変数 ( $cr\_ss$ ) が特定ケースの情報を維持します。
- MC\_Read\_SS()は、単一シャント変換の読み取りと管理のルーチンです。これは、谷における割り込みごとに呼び出されます。また ADC の変換結果を読み取ります。特定のケース ( $crss$  で示される) に応じて、電流の読取値が内部単位で変換され、正しいモータ相電流に割り当てられます。

図 10 は、単一シャント電流測定フローチャートを示しています。

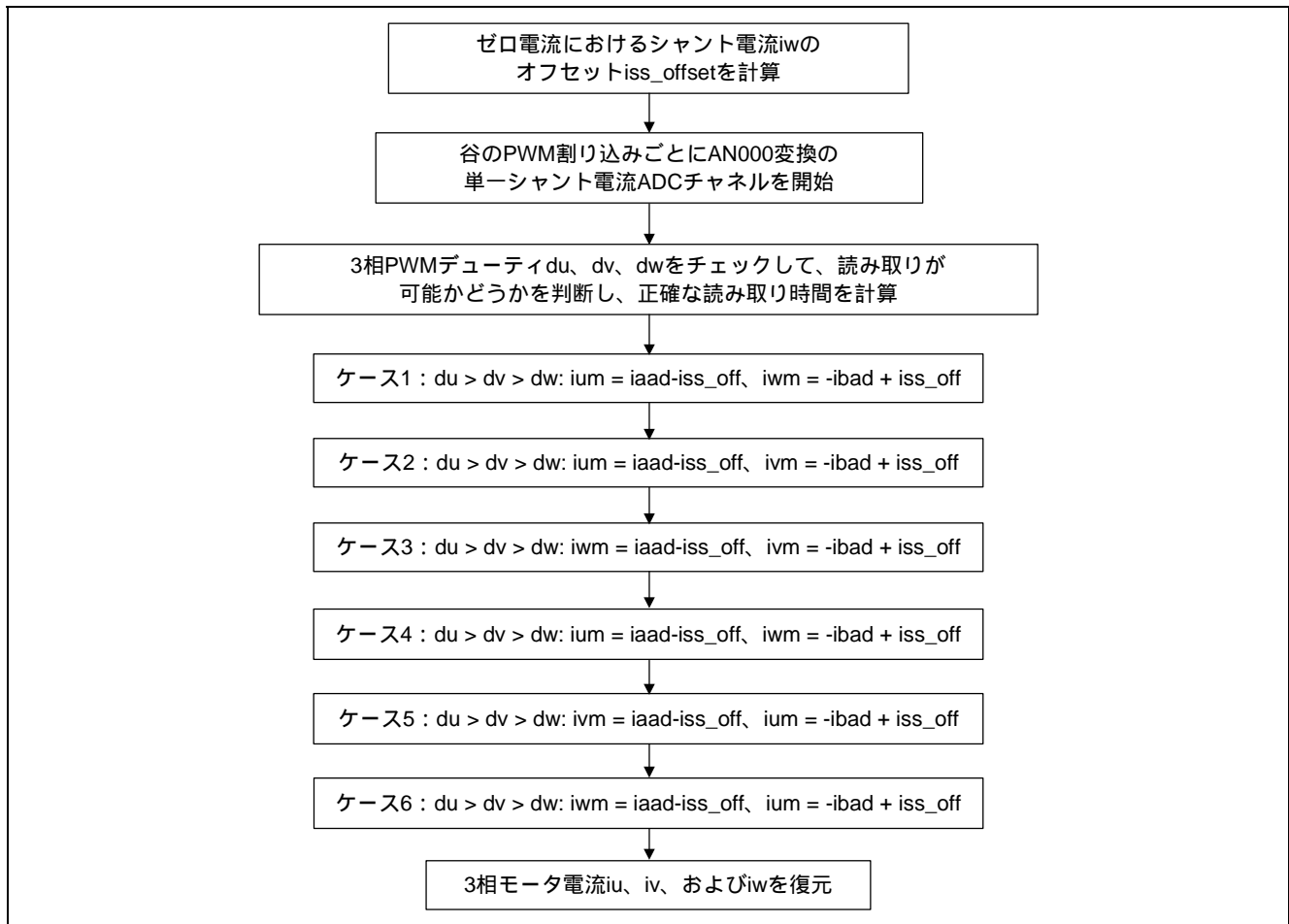


図 10 単一シャント電流測定の流れチャート

## 6. 単一シャントセンサレスベクトル制御方式

単一シャント電流測定方法によるセンサレスベクトル制御では、速度センサと3つのシャント電流センサが不要となります。図4に示すように、モータ電流は、インバータのローサイドに取り付けられたシャント抵抗器を使用して復元されます。このシャント抵抗器は、モータの全電流範囲を測定可能な精密な抵抗器によって実装されます。単一シャントを使用することで、3つのモータ電流を測定することができます。このためこの方法は、「単一シャント電流検出センサレスベクトル制御」と呼ばれています。

図 11 に実装を示します。制御システム全体は、磁束オブザーバ、速度オブザーバ、速度調整器、電流測定と復元、2つの電流調整器、VC 変換、および PWM ジェネレータから構成されています。速度と電流の調整器は従来の PI コントローラを使用しています。SVC の全体システムには、2つの制御ループ、内部電流ループ、d 軸電流  $i_d$  制御、q 軸電流  $i_q$  制御、および外部速度ループがそれぞれに含まれています。基準速度  $v_r^*$  を指定すると、制御システムは自動的にこれとモータの実測速度  $v_r$  とを比較します。この実測速度は、速度センサなしに磁束と電流から直接観測されます。モータの機械的な運動方程式に従えば、速度誤差  $v_r$  は、トルクプロファイルでなければなりません。したがって速度コントローラの出力は、トルク基準値  $i_{qs}^*$  と見なすことができます。ロータの磁束  $\lambda_{dr}^*$  は、定格速度以下でゼロになると想定されるため、磁束の減少が見られるときには、定格速度以上になるよう自動的に調整されます。適正な調整が行われれば、モータ速度  $v_r$  は所定の値  $v_r^*$  に追従し、モータはすばやく安定状態に達します。

モータ相電流は、DC バスから直接測定したシャント電流から変換されます。モータ電流の復元ブロックは、3 相 PWM デューティ値に従って電流の復元を実行します。

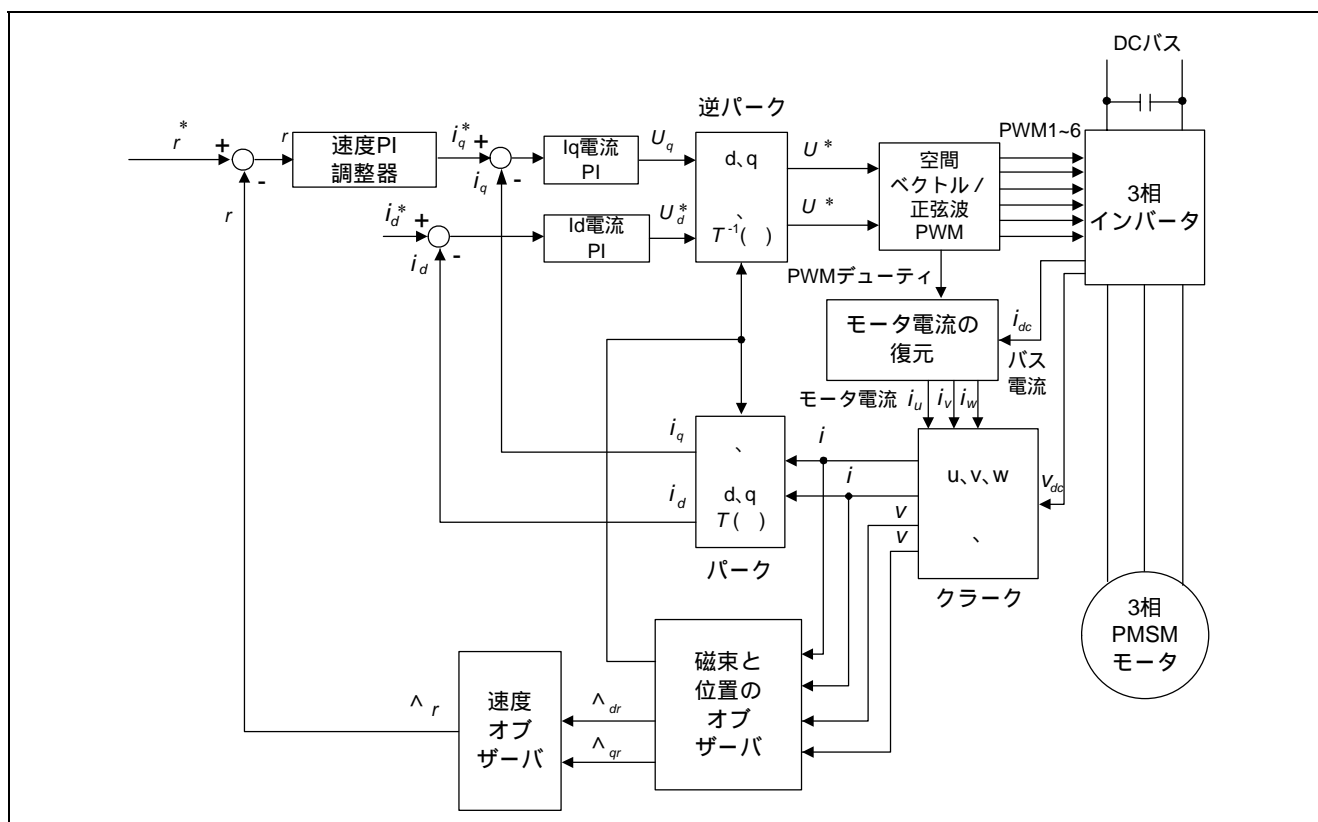


図 11 単一シャントセンサレスベクトル制御のブロック図



## 7. ソフトウェアの記述

単一シャントセンサレスベクトル制御のソフトウェアには、以下の特長があります。

- すべてのコードが C 言語で記述されています。
- ソフトウェアは、SVC ブロック図に従ってモジュール化されています（図 9 に示すとおり）。
- コアの SVC モジュールは通常、変更なしで使用できます。
- I/O 定義と MCU 基本ドライバは自動的に HEW によって生成されます。
- モータと制御のパラメータは、「customize.h」というヘッダファイルと GUI ユーザインターフェースを用いて簡単にチューニングできます。

### 7.1 単一シャントセンサレスベクトル制御ソフトウェアの実装

単一シャントセンサレスベクトル制御ソフトウェアのアーキテクチャは、ルネサスのアプリケーションノート REU05B0103-0100/Rev.1.00 のアーキテクチャによく似ています。図 12 は、ルネサスの HEW を使用した単一シャントセンサレスベクトル制御のワークスペースを示しています。

- コードには、dbsct.c、hwsetup.c、intprg.c、main.c、motorcontrol.c、resetprg.c、userif.c、および vectbl.c が含まれています。
- 単一シャント電流の復元は「motorcontrol.c」に配置されています。
- ベクトル制御変換および速度と位置のオブザーバのためのコアのセンサレスベクトル制御モジュールは、Single\_Shnt\_SVC\_Lib.lib のライブラリに配置されています。

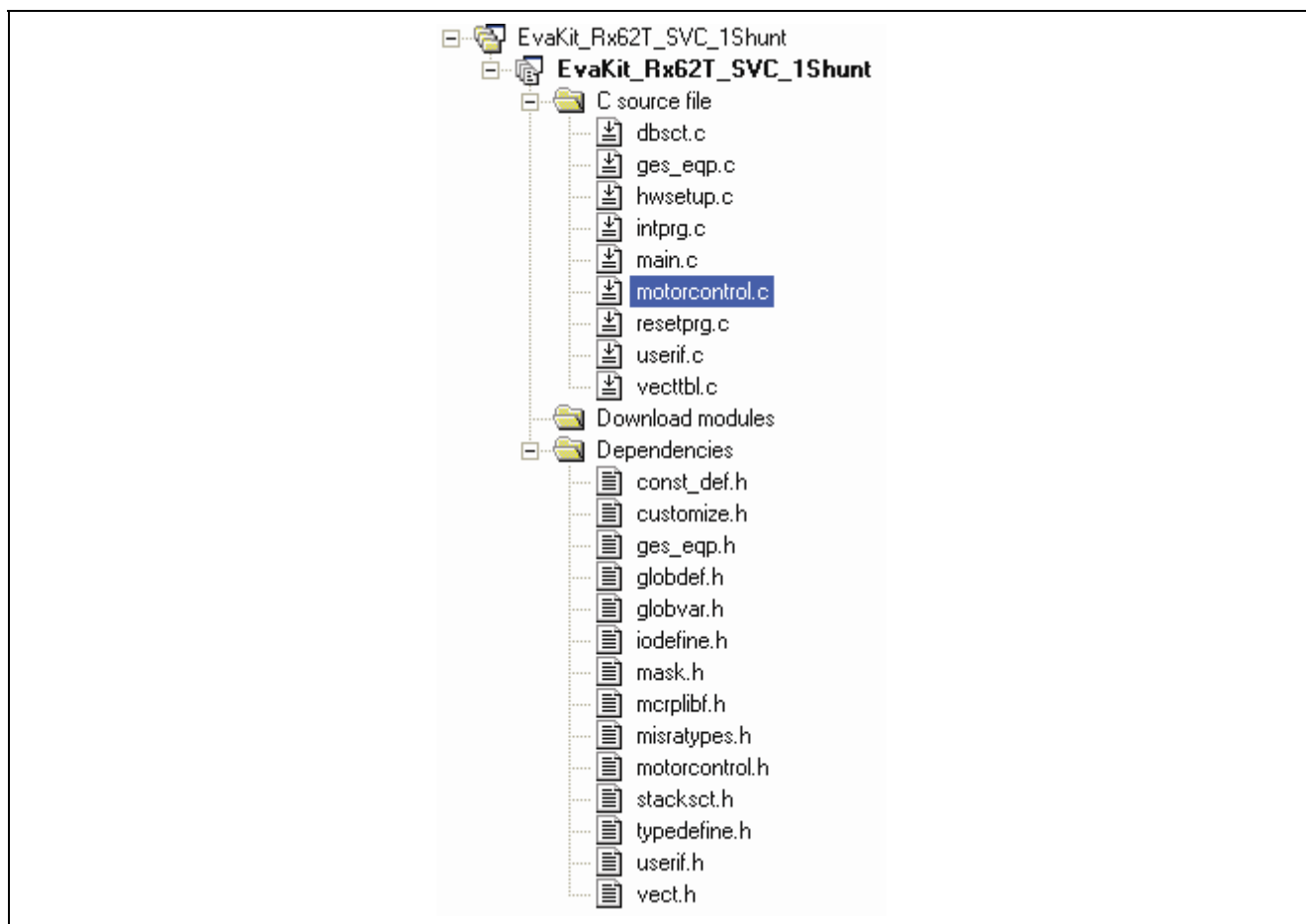


図 12 単一シャント SVC ソフトウェアのワークスペース

## 7.2 単一シャントセンサレスベクトル制御のフローチャート

MTU3 タイマ割り込みが単一シャントセンサレスベクトル制御を実装します。図 13 は、単一シャントセンサレスベクトル制御のフローチャートです。開ループで始まり、次に閉速度ループに切り替わります。

単一シャントセンサレスベクトル制御の主要な手順は次のとおりです。

- 単一シャント電流と DC バス電圧を読み取って変換します。
- PWM デューティに従って、単一シャント電流からモータ相電流を復元します。
- モータの電源がオンになると、起動手順によって開ループの開始が処理されます。
- モータが所定の時刻に起動した後、システムは閉速度ループに切り替わります。
- ロータの位置と速度は、タイミングよく位置と速度を更新できるようにするため、搬送周波数と同期して推定されます。
- 電流 PI コントローラ出力  $v_d$  と  $v_q$  は、元の 3 相電圧  $v_u$ 、 $v_v$  および  $v_w$  に変換され、これを使用して PWM のデューティ率が計算されて所望の電圧でモータが駆動されます。

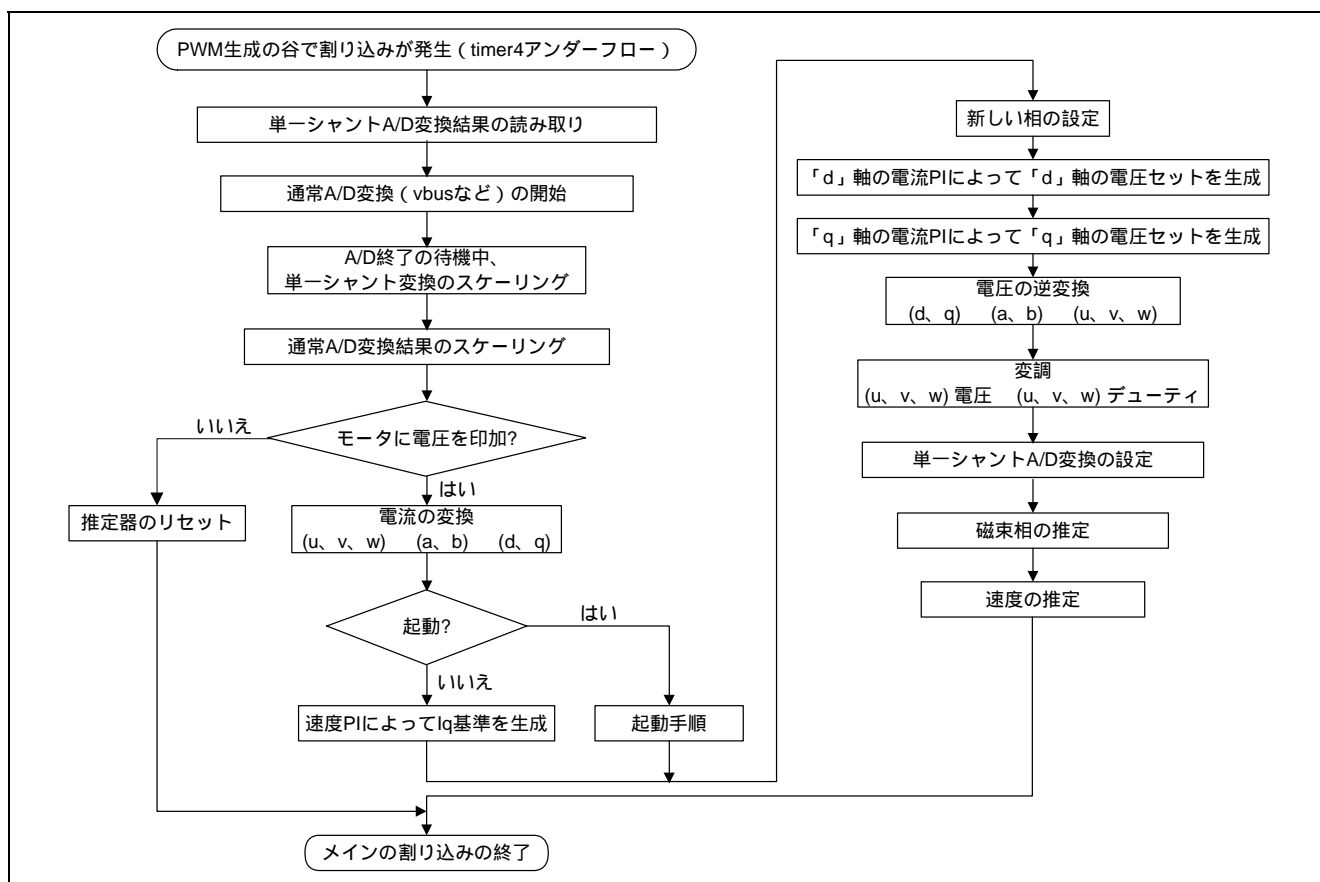


図 13 単一シャントセンサレスベクトル制御のフローチャート

## 8. モータと制御のパラメータのチューニング例

### 8.1 ヘッドファイルによるチューニング

BLDC モータとそのデータシートを図 14 と表 3 に示します。モータは 24V の 4 極 3 相の BLDC モータであり、ホールセンサと 1 回転あたり 1000 ラインの直交エンコーダ(インデックス付き)が装着されています。定格電力は 30 ワットで定格速度は 4,000rpm です。データシートによると、3 シャントセンサレスベクトル制御を実行するためにはモータと制御のパラメータを正しく修正する必要があります。



図 14 評価キット用の BLDC モータ

表 3 モータのデータシート

モータ極	8
相	3
電圧	24 V
電流	1.5 A
電力	30 ワット
速度	4000rpm
インダクタンス	2.3mh
ステータ抵抗	1.68
ホールセンサ	3
エンコーダ	1000 パルス/回転

最初にモータのパラメータを定義します。

- #define R\_STA\_CUSTOM 8 // ステータ相の抵抗：0.8 Ω \* 10
- #define L\_SYN\_CUSTOM 11 // インダクタンス（ヘンリー）：2.3mh\*10000
- #define POLES\_CUSTOM 4 // 極：4 ペア
- #define I\_START\_CUSTOM 1.5 // 起動電流：1.5A
- #define IQ\_MAX\_CUSTOM 5.0 // 最大 iq 電流：5.0A
- #define RPM\_MIN\_CUSTOM 500 // 最小モータ速度：500rpm
- #define RPM\_MAX\_CUSTOM 4000 // 最大モータ速度：4,000rpm

Second, tune control parameters:

- #define R\_ACC\_CUSTOM 1000 // 加速ランプ：1000rpm/秒
- #define KP\_CUR\_CUSTOM 60 // 電流コントローラの比例ゲイン
- #define KI\_CUR\_CUSTOM 80 // 電流コントローラの積分ゲイン
- #define KP\_SPD\_CUSTOM 40 // 速度コントローラの比例ゲイン
- #define KI\_SPD\_CUSTOM 150 // 速度コントローラの積分ゲイン

## 8.2 GUI によるチューニング

モータと制御のパラメータは、図 15 に示すルネサスの使いやすいグラフィカルユーザーインターフェースを用いてチューニングすることができます。コードを修正しなくても、さまざまなモータとアプリケーションに合わせてパラメータを設定することができます。パラメータウィンドウによって 20 のパラメータをセットアップすることができます。これらのパラメータを上下にスクロールして設定の変更を行い、EEPROM に「書き込む」ことができますが、これによって「customize.h」ファイルが変更されることはありません。リセットによって元の値が復元されます。図 16 から分かるように、これらのパラメータは「customize.h」ファイルの各#define を反映しています。モータと制御のパラメータは GUI によって簡単に変更できます。



図 15 評価 GUI のインターフェース

INDEX	DESCRIPTION	UNIT	MIN	MAX	VALUE	VALID
1	00. Default Parameters Setting	-	0	32767	0	true
2	01. Minimum Speed	rpm	200	5000	500	true
3	02. Maximum Speed	rpm	1000	20000	2500	true
4	03. Acceleration	rpm/s	1	10000	1000	true
5	04. Deceleration	rpm/s	1	10000	1000	true
6	05. Polar couples	-	1	5	5	true
7	06. Startup Current	Apk/10	0	5000	10	true
8	07. Maximum "q" Current	Apk/10	0	5000	20	true
9	08. Stator Resistance	Ohm/10	0	5000	17	true
10	09. Synchronous Inductance	Henry/10000	0	5000	12	true
11	10. Startup Time	ms	300	10000	1000	true
12	11. Current Loop Kp	-	0	2047	60	true
13	12. Current Loop Ki	-	0	1023	80	true
14	13. Speed Loop Kp	-	0	4095	10	true
15	14. Speed Loop Ki	-	0	4095	100	true
16	15. Startup offset V	V/10	0	32767	0	true
17	16. Startup delta V	V/10	0	32767	0	true
18	17. PI Tuning trigger	-	0	32767	0	true
19	18. Free	-	0	32767	0	true
20	19. Free	-	0	32767	0	true

図 16 パラメータウィンドウ

## Appendix A - References

1. RX62T Group User's Manual: Hardware, R01UH0034EJ0110, April 20, 2011
2. DevCon 2010 Courses:
  - ID-620C, Complete Motor Control Integration with RX62T.
  - ID 623C, Understanding Sensor-less Vector Control with Floating Point Unit (FPU) Implementation.
3. Application Note of Sensorless Vector Control of three-phase PMSM motors, REU05B0103-0100/Rev.1.00, March, 2009
4. Application Note of Mcrp05: Brushless AC Motor Reference Platform, REU05B0051-0100, Feb, 2009
5. Huangsheng Xu, Rohan Hubin, and Dave Cocca, "Sensorless Vector Control of PMSM Motor using One Shunt Current Detection", IEEE-IAS 2008, Oct. 5-9, Edmonton, Alberta, Canada.
6. Huangsheng Xu, and Yashvant Jani, "Understanding Sensorless Vector Control for Brushless DC Motors", ESC-2008, Embedded System Silicon Valley conference, April 15-17, San Jose, California, USA.



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/>

お問い合わせ先

<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	2013.02.08	—	初版発行

## 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. 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（予約領域）のアクセス禁止

【注意】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、将来の機能拡張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。

### 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、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、内部 ROM、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。お客様の機器・システムの設計において、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て、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。
2. 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。
3. 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に関し、当社は、何らの責任を負うものではありません。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。
4. 当社製品を改造、改変、複製等しないでください。かかる改造、改変、複製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。
5. 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）、交通用信号機器、  
防災・防犯装置、各種安全装置等  
当社製品は、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（原子力制御システム、軍事機器等）に使用されることを意図しておらず、使用することはできません。たとえ、意図し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損害が生じても、当社は一切その責任を負いません。なお、ご不明点がある場合は、当社営業にお問い合わせください。
6. 当社製品をご使用の際は、当社が指定する最大定格、動作電源電圧範囲、放熱特性、実装条件その他の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。
7. 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。
8. 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。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。
9. 本資料に記載されている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。また、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に使用しないでください。当社製品または技術を輸出する場合は、「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。
10. お客様の転売等により、本ご注意書き記載の諸条件に抵触して当社製品が使用され、その使用から損害が生じた場合、当社は何らの責任も負わず、お客様にてご負担して頂きますのでご了承ください。
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禁じます。

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/contact/>