

RX62T

R01AN1090JT0100

Rev.1.00

ホールセンサによる 120 度通電台形波制御方式

2013.02.20

要約

このアプリケーションノートでは、センサ付きブラシレス DC モータ (BLDCM) を RX62T により 6 ステップ台形波制御で駆動する方法を説明します。また、モータ制御アルゴリズムと実験結果が記載されています。

対象デバイス

RX62T

目次

1. はじめに	2
2. プログラム	5
3. 実装と評価	8

1. はじめに

6ステップ方式は3相 BLDC モータを駆動するもっとも単純な方法です。この方法はそれぞれの巻線に電気角 120 度の間通電し、60 度の間電流を遮断するため、120 度通電台形波駆動方式の名称でも知られていません。

1.1 システム構成

このアプリケーションノートでは RenesasElectronicsTaiwan で設計された RX62T 評価ボードを使用します。また、プログラムのデバッグのための E1 エミュレータ、ホールセンサ信号を読み取るためのセンサ入力回路、BLDC モータを駆動するためのインバータ回路、モータの回転速度を指示するための可変抵抗器 (VR)、MCU の状態を端末装置に表示するための UART ポート、モータの回転方向を指示するためのスイッチが使用されます。このアプリケーションノートでは、ホールセンサを使用した 120 度台形波制御方式を対象とします。表 1-1 は、ホールセンサ信号入力に必要なジャンパ設定、表 1-2 は CPU モードの選択のためのジャンパ設定を示します。



図 1-1 システム構成

表 1-1 ホールセンサ制御のジャンパ設定

ジャンパ	J9	J10	J11
ピン	2-3	2-3	2-3

表 1-2 CPU モード設定

ジャンパ	J1	J2	J3	J4
シングルチップモード	-	1-2	1-2	2-3
ブートモード	-	1-2	2-3	2-3

1.2 ブロック図

このアプリケーション例では主に MTU3 モジュールが使用されます。チャンネル 3 と 4 がリセット同期 PWM モードにセットされ PWM 出力に、チャンネル 6 が回転速度の計算に、チャンネル 1 が 1ms と 2ms のタイミングを作る補助カウンタとして使われています。また、3本の GPIO ピンが3個のホールセンサからの信号入力に、ADC が回転速度を指示する可変抵抗器 (VR) の値の読み込みに使われます。

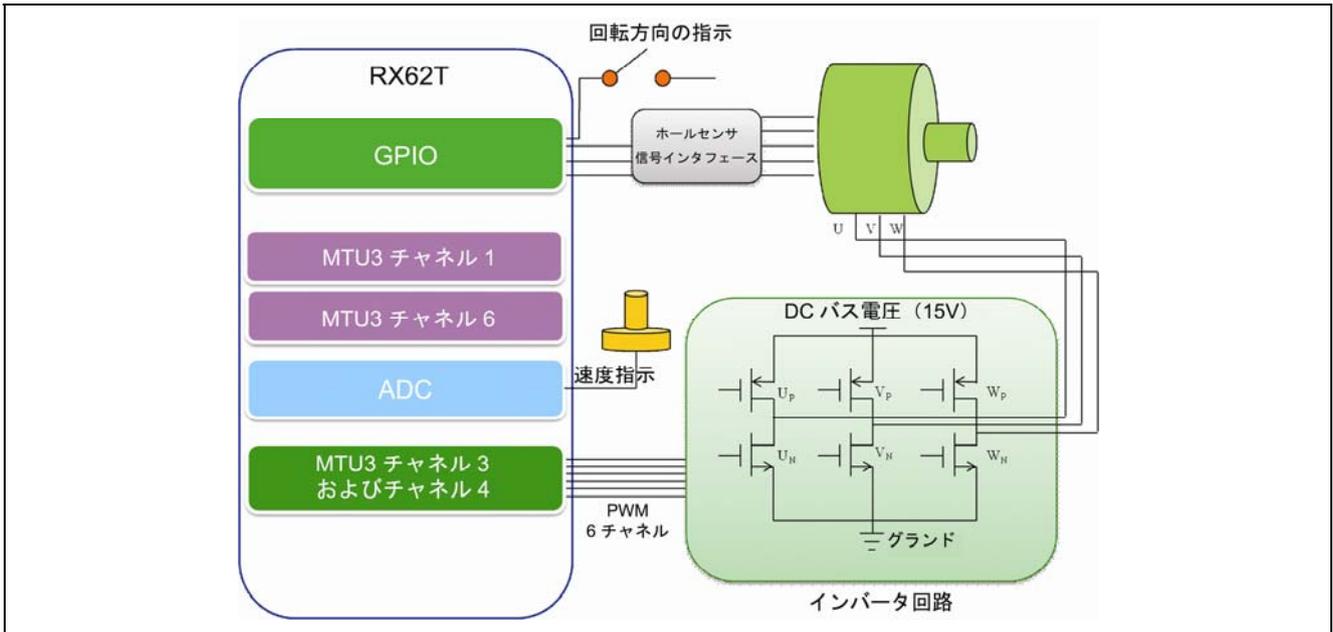


図 1-2 システムのブロック図

1.3 相電圧の制御

モータの 3 個の巻線に対する基本的な電圧の制御はパルス幅変調 (PWM) によって行われます。MOSFET のゲートを駆動するためにマイクロコントローラからどのようにパワーインバータに接続しようとしているかがセクション 1.2 に示されています。モータ端子の電圧は PWM のデューティ比を変化することで制御されています。現在、インバータの駆動には様々な変調方法が使われています。一般に、パルス幅の変調はインバータ回路の上アームのみ、下アームのみ、両者交互、および同時に両者に対して行う手法がありますが、このアプリケーションノートでは上アームを変調する方法のみを採用します。図 1-3 には上アーム変調の場合の基本的な波形が図示されています。この図では上アーム MOSFET 回路 (P サフィックス) のみが変調されています。

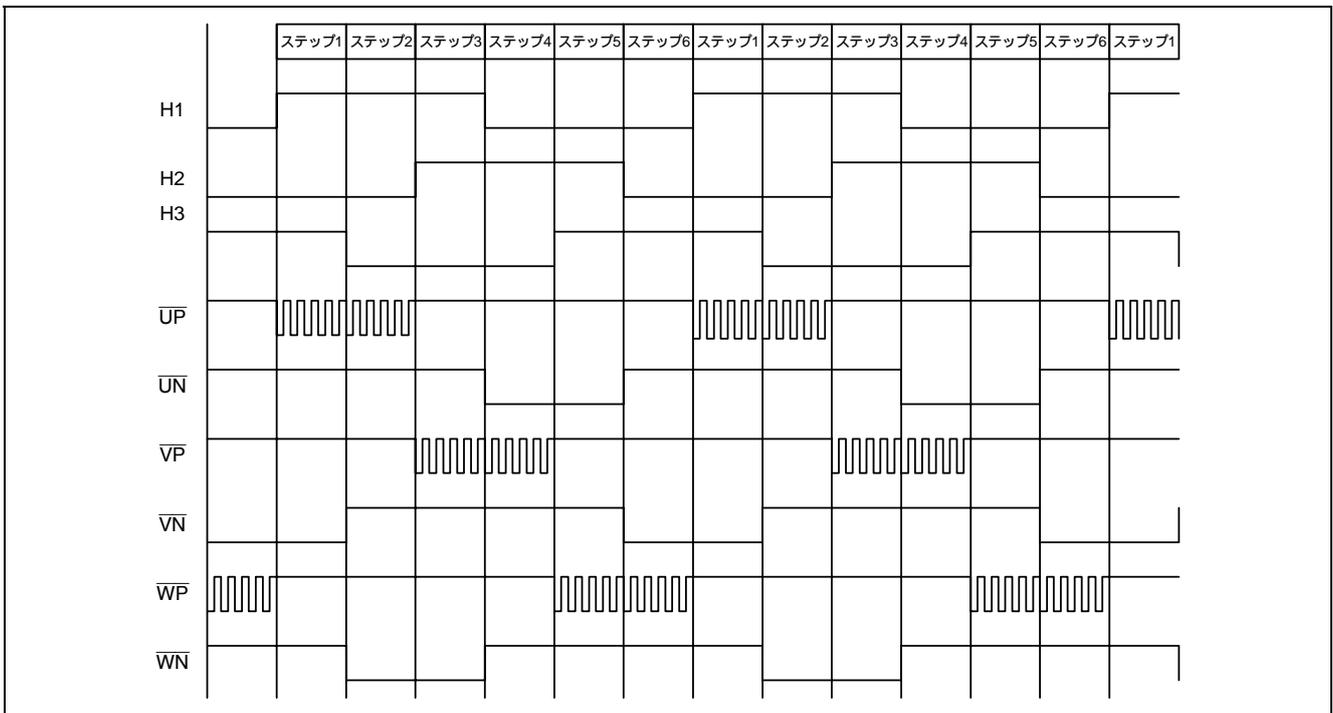


図 1-3 上アームの PWM 変調 (アクティブロウ信号)

これで、各巻線の電圧を(結果的には電流を)PWM タイマを使って制御することができます。ただし、モータの整流機能を正しく働かせるには、これらの信号を適切な順序で出力しなければなりません。このためにはロータの位置が分らなければなりません。これはロータの位置を検知するホールセンサによって行われます。ホールセンサはステータコイルの各相の巻線に対して相対的に定まった位置におかれているため、ロータの回転角を検出することができます(図 1-4 を参照)。図 1-5 はホールセンサの基本的な働きを示しています。状態が電気角で 60 度ごとに変化していることに着目してください。この信号を RX62T の GPIO ピンから読み込み 60 度ごとのロータの回転位置にデコードします。物理的な一回転に相当する電気的回転は、そのモータのポールペア(磁極数)の数によって定まります。ここにある図では 1 ポールペア(2 極)ですが、アプリケーションノートの実例では 2 ポールペア(4 極)のモータが使用されます。

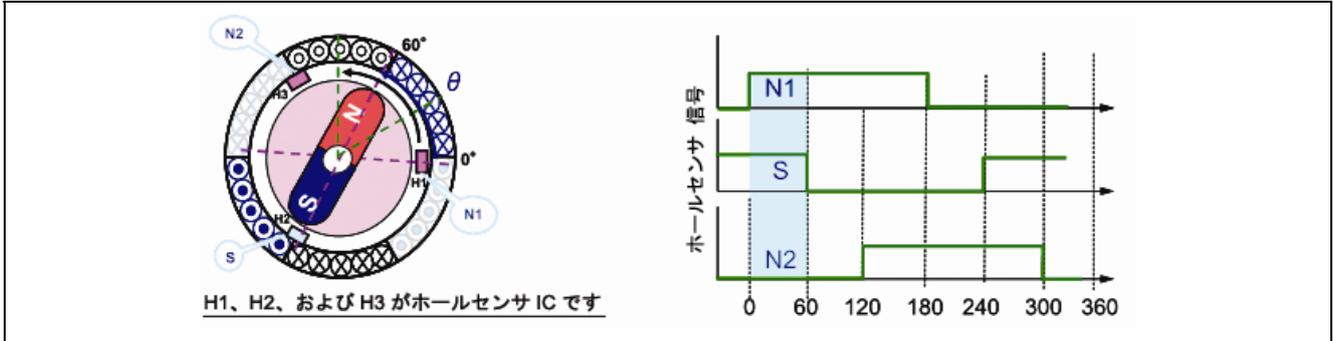


図 1-4 ホールセンサの位置と典型的なホールセンサ信号

1.4 整流

これで電圧の制御ができ、ロータの回転角の検出ができますので、この両者を組み合わせます。モータのデータシートにはよく「ホールセンサの信号を受けたときに各相の巻線を駆動します」と書かれています。図 1-5 には一般的な整流の順序が示されています。この図のモータの場合、ホールセンサからステップ 1 の信号を得たときに UP と VN を駆動します。これによりステータコイルの巻線に磁場が生じ、ロータの磁石に対して適切な角度で作用することでトルクが発生してロータが回転し、両者が一定の位置に並ぼうとします。ホールセンサからの信号がステップ 2 を示したとき、駆動巻線が UP と VN から UP と WN に切り換わり、ロータは回転しつづけます。この操作が回転サイクル全体で続けられ、さらにステップ 1 から繰り返されます。これがモータに対する整流の原理です。

■ = ON となるトランジスタ

ステップ	Up	Vp	Wp	Un	Vn	Wn	ロータ位置
ステップ 1	■				■		0°
ステップ 2	■					■	60°
ステップ 3	■					■	120°
ステップ 4	■					■	180°
ステップ 5	■					■	240°
ステップ 6	■					■	300°

図 1-5 一般的な整流順序

2. プログラム

第 2 章では、このアプリケーションノートの実例プログラムがどのような設計となっているかを説明します。図 2-1 はプログラムがどのように実行されるかを記述したメインルーチンです。実例のコードにおけるキャリア周波数は 15kHz で、PWM のデューティサイクルは 1 秒あたり 15K 回です。割り込みごとの手順は図 2-2 に示されています。今回の例ではデューティ比の最大と最小はそれぞれ 80% と 10% としてありますが、この制限は個々のモータの仕様により異なります。図 2-4 と図 2-5 には回転するモータの機械的な回転速度がどのようにして測られているかが示されています。

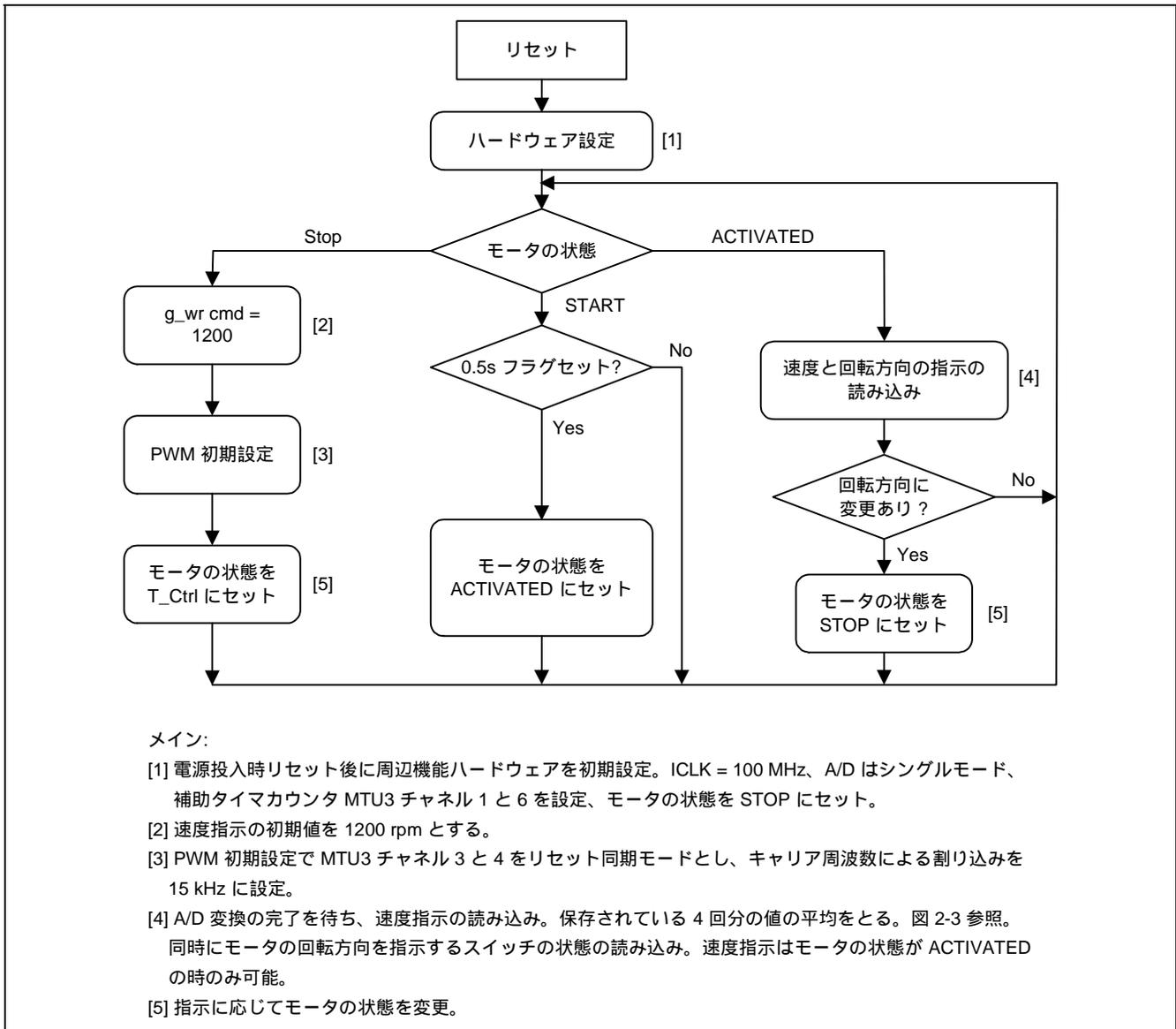


図 2-1 メインコントロールの手順

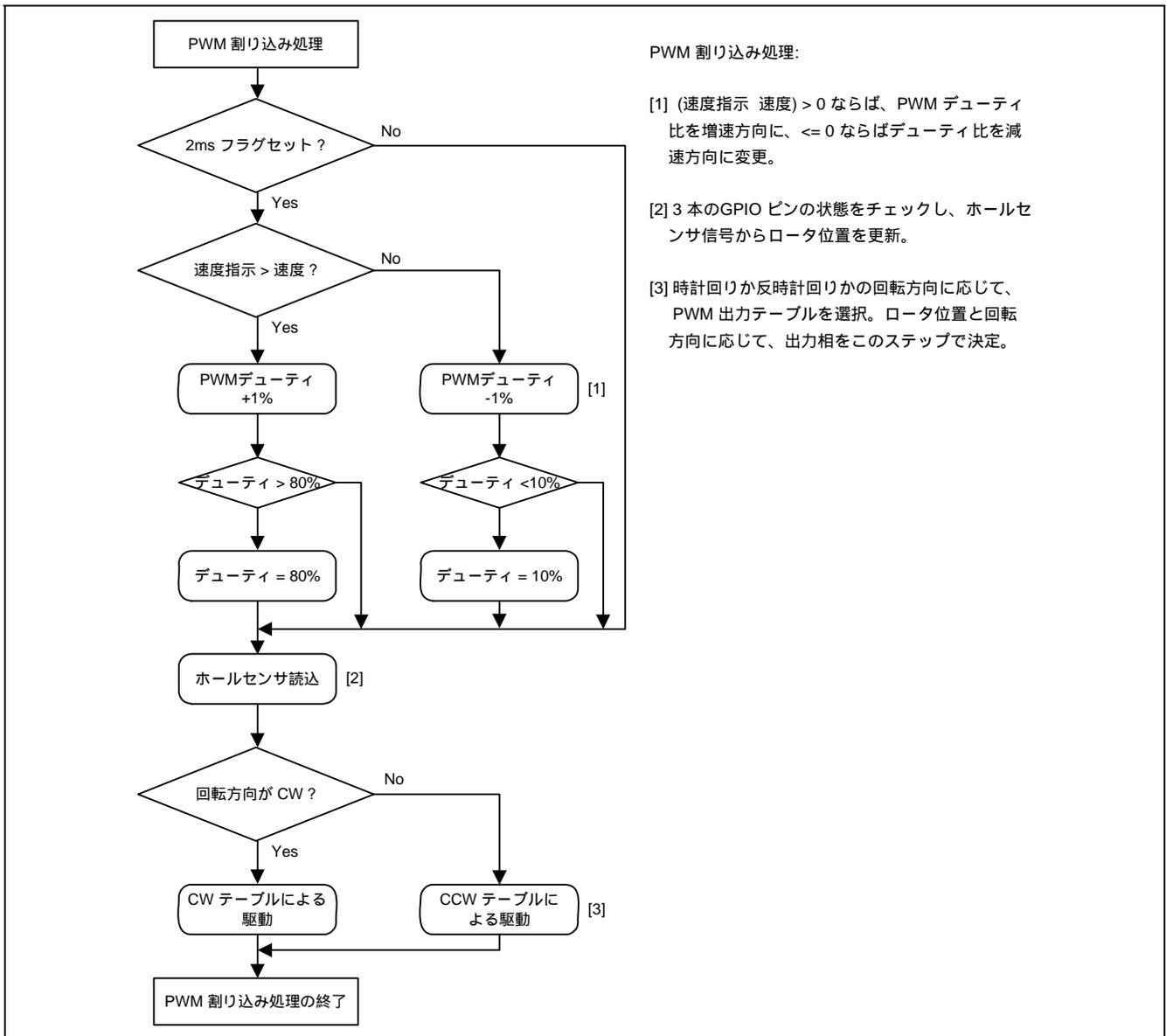


図 2-2 MTU3 チャンネル 3 と 4 における PWM デューティ比の計算手順

プログラム例では速度指示をより正確に読み込むため、A/D 変換の結果を保存する 4 個の変数を使っています。図 2-3 に見られるように、A/D 変換の終了時に割り込みが要求され、変換結果が変数 buf1 に保存され、他の値は順にシフトされます。この 4 個の変数の値を合計し 4 で割った値が速度指示の値として使われます。

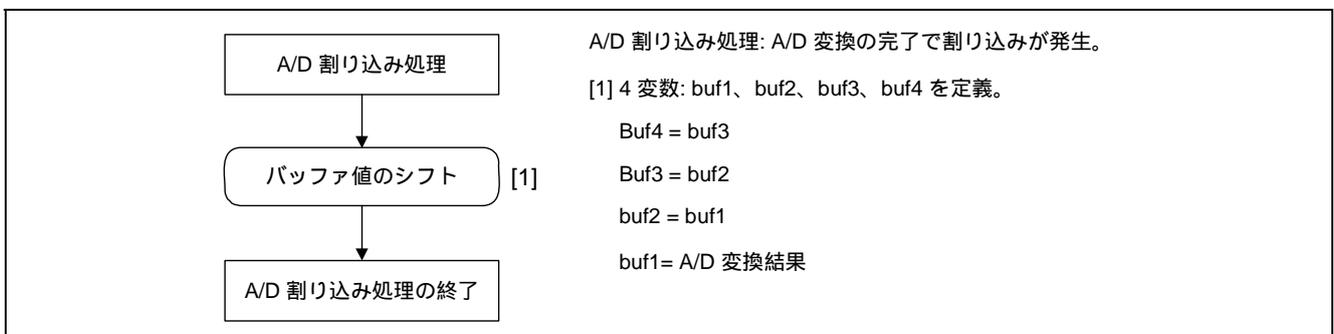


図 2-3 A/D 変換結果の保存手順

回転速度の算出はモータ制御の要点のひとつです。この例では 2 極ペアモータを使用していますので、1 回転で 2 個のパルスが発生します。モータの回転速度を算出するために 1 個のタイマが使用されます。図 2-4 にあるように、タイマは 390625Hz で動作し、パルスの立ち上がりエッジと立ち下りエッジにおけるカウンタの値が TGRA に保存されます。

図の場合には、モータの回転速度は 60rpm (例: rps(RevolutionsPerSecond)は 1 秒間の回転数を指す) です。信号の立ち上がりエッジと立ち下りエッジでカウンタ値をキャプチャしていますので、TGRA の値は 97656 となります。このプログラム例では、これにより 97656 と TGRA の比率を計算してモータの回転速度としています。回転速度の算出の手順は図 2-5 に示されています。

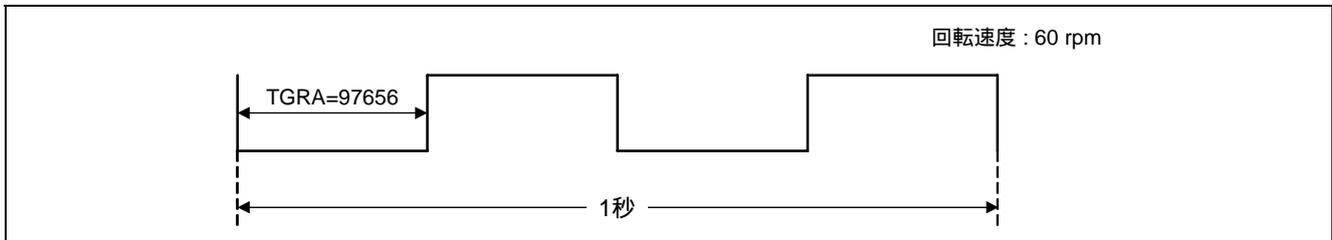


図 2-4 2 極ペアモータの 1 回転に対するホールセンサ信号

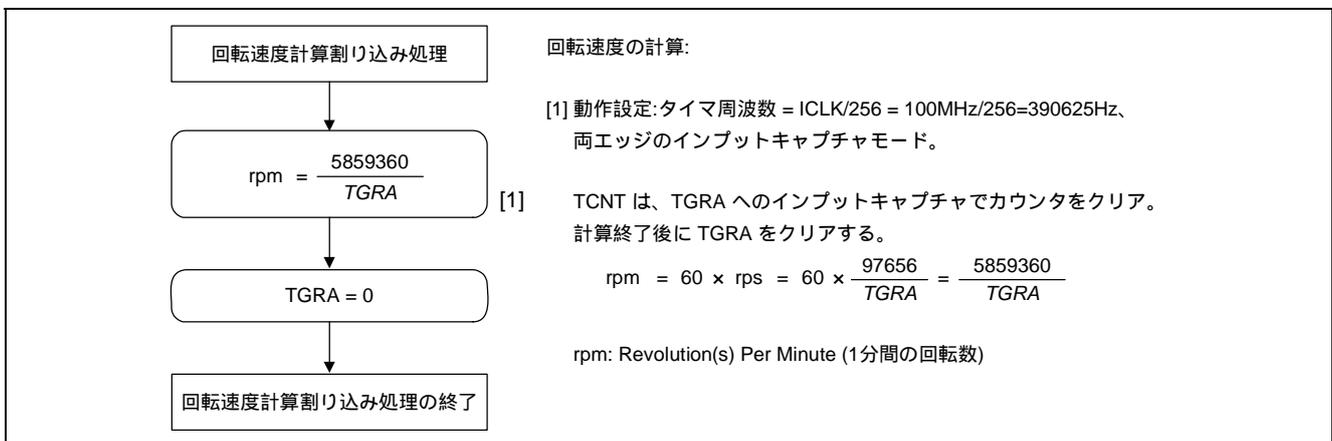


図 2-5 モータの回転速度の計算手順

3. 実装と評価

BLDC モータの仕様は図 3-1 と図 3-2 に記されています。使用されたモータのモデル番号は BLWR110S-15V-8000 で、最大速度は 8000rpm です。今回の実験では、デューティ比 80% の PWM で 8000rpm までのモータの駆動が可能でした。また、無負荷時の最小速度は 300rpm でした。仕様の A 相、B 相、C 相がそれぞれ U 相、V 相、W 相に対応しています。

項目	モータ線の色	ケーブル配線の色
ホールセンサ電源	黄	赤 / 白
ホールセンサ A	青	橙 / 白
ホールセンサ B	橙	橙
ホールセンサ C	茶	黄 / 白
ホールセンサグラウンド	白	黒 / 白
A 相	緑	黄
B 相	赤	赤
C 相	黒	黒

図 3-1 BLWR110S の U、V、W 相の表示色

結線タイプ	スター結線、4 極	最大軸直角方向外力	15N (フランジから 10mm)
ホールセンサ角度	電気角 120 度	最大軸方向外力	10N
軸振れ	0.025mm	絶縁クラス	クラス B
径方向の遊び	0.02mm (負荷 450g)	絶縁耐圧	500V DC (1 分間)
軸方向の遊び	0.08mm (負荷 450g)	絶縁抵抗	100M オーム (500V DC)

図 3-2 BLWR110S 仕様

使用される評価ボードを使用した際の性能は表 3-1 にまとめられています。

表 3-1 RX62T 評価ボードの性能

項目	値	単位
CPU 負荷	1.42	%
最大速度	8000	rpm
最小速度	300	rpm
使用タイマ数	4	チャンネル
入力バス電圧	15	V

図 3-3 はホールセンサ A と U 相逆起電力 (BackEMF) の関係を示しています。波形からわかるように、Up 相の PWM 波は 120 度の間出力されています。

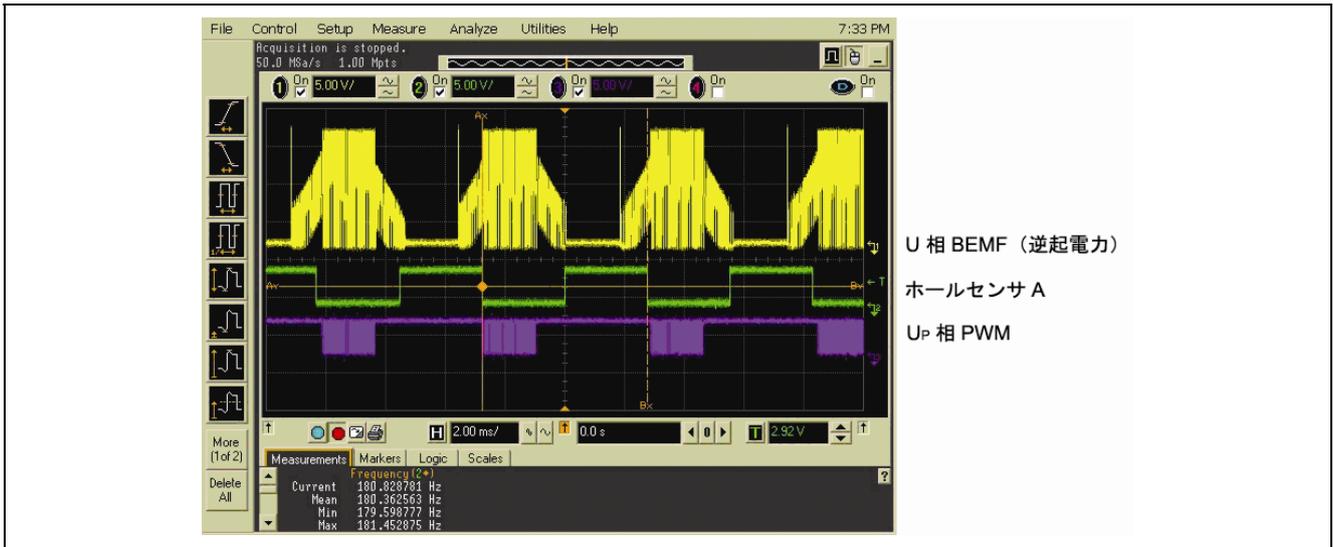


図 3-3 BEMF (逆起電力) とホールセンサ信号

図 3-5 は RX62T に読みこまれる 3 個のホールセンサの信号を示しています。電源が入っていればロータの回転位置は 3 個のホールセンサによって検出されています。各相の PWM 信号は図 3-4 のコードの抜粋にあるルックアップテーブルにしたがって出力されます。ステップは、テーブルで方向を確認するように定義されています。(ステップ 1 からステップ 6 はテーブルの要素 1 から 6 に相当しています。)

```

/* switch table for pwm output */
const unsigned char Output_CW[8] =
{
    /* WF VF UF */
    0xD8, /* output disable */
    0xDB, /* STEP 1 */
    0xDD, /* STEP 2 */
    0xD9, /* STEP 3 */
    0xDE, /* STEP 4 */
    0xDA, /* STEP 5 */
    0xDC, /* STEP 6 */
    0xD8, /* output disable */
};
    
```

図 3-4 駆動対象ピンのルックアップテーブル

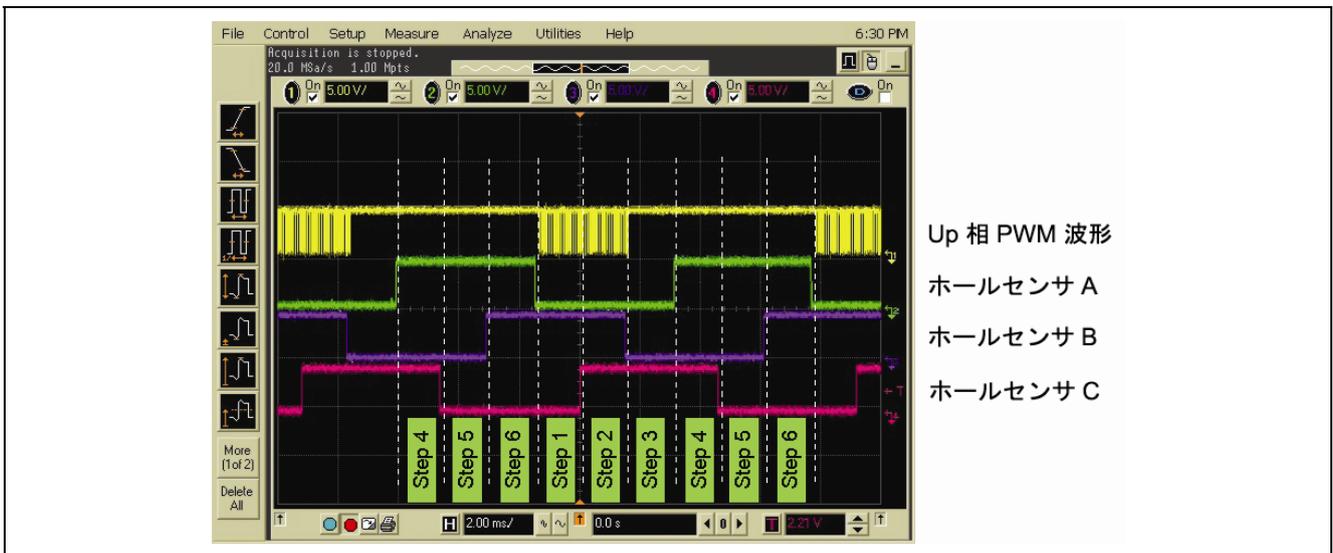


図 3-5 6 ステップ PWM 信号 (アクティブロウ)

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	2013.02.20	—	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）がありません。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っていると、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。型名が異なる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て、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情報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/>