

RX62T

R01AN1192JT0100

Rev.1.00

センサレスによる 120 度通電台形波制御方式

2013.02.20

はじめに

このアプリケーションノートでは、逆起電力 (BEMF: back-Electromotive Force) を利用することでセンサを必要としない制御方法について解説します。センサ信号入力を使用しないとロータの位置を知ることができないため、スタート時には 6 ステップ台形波制御による PWM パルスを各相に順に供給しロータを回転させます。いったん MCU が BEMF を読み出すことに成功するとこれを入力信号とする制御に切り替わります。このモータ制御アルゴリズムと実験結果がこのドキュメントに記載されています。

このドキュメントでは記述されている技術の背景として、ホールセンサなどを利用した 6 ステップ整流方法に関する知識をお持ちであることを想定しています。ドキュメントの最後に記された参考資料セクションにあるホールセンサによる 6 ステップモータ制御に関するアプリケーションノートをあわせてお読みください。

対象デバイス

RX62T

目次

1. システム構成	2
2. ブロック図	3
3. BEMF 信号の読み取りの考え方	4
4. フローチャート	6
5. 実装と評価	11
6. 参考資料	13

1. システム構成

このアプリケーションノートでは Renesas Electronics Taiwan で設計された RX62T モータ制御開発ボードを使用します。表 1-1 は、BEMF からの信号を入力する際のジャンパ設定です。BEMF 信号は電圧 $V_{cc}/2$ と比較され、その結果が RX62T に読み込まれます。センサレス制御を実現するためには、3 個のタイマチャネルが使用されます。この動作モードは、立ち上がりおよび立ち下がりエッジのインプットキャプチャモードに設定されています。この詳細は第 3 章に記されています。表 1-2 は CPU モードの選択のためのジャンパ設定です。



図 1-1 システム構成

表 1-1 センサレス制御のジャンパ設定

ジャンパ	J9	J10	J11
ピン	1-2	1-2	1-2

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

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 信号の出力に、チャンネル 2 が回転速度の計算に、チャンネル 0、6 および 7 が U 相、V 相、および W 相から生成される BEMF 信号の計算に使われています。また、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。

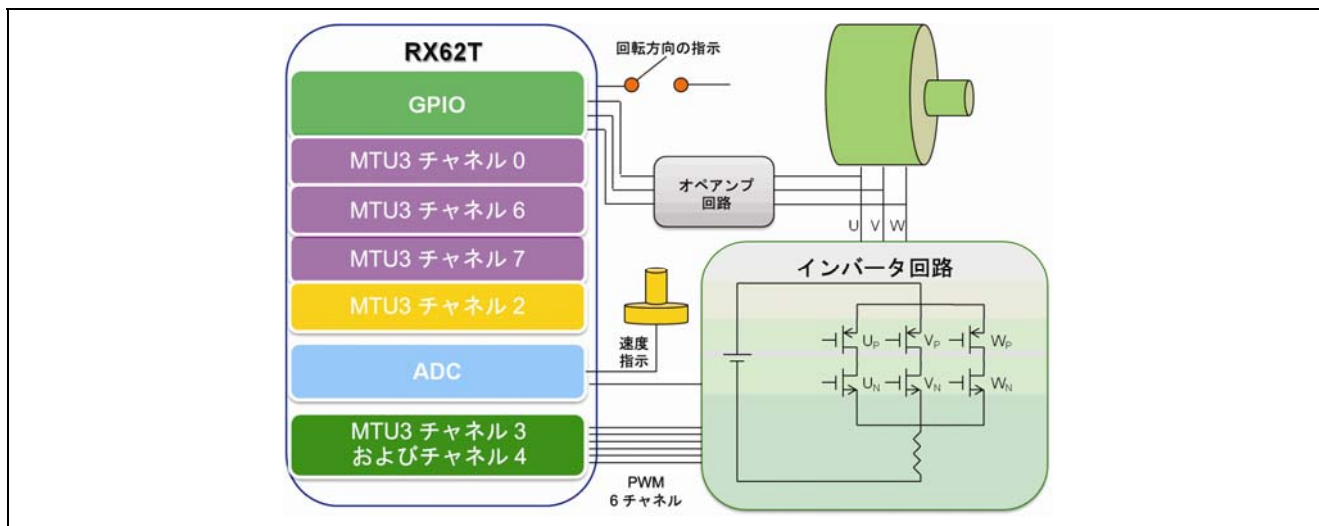


図 2-1 システムのブロック図

3. BEMF 信号の読み取りの考え方

BEMF による制御はホールセンサによる検出を利用しないセンサレス制御を行う多くの方法のうちの一つです。このアプリケーションノートではセンサレス制御を実現するのにこの方法を採用しました。図 3-1 は説明に使用される U 相の BEMF の例です。

図のパルス U は U 相の BEMF 信号を $V_{CC}/2$ と比較した後に得られる入力信号です。図 3-1 では、6 ステップのモータ駆動で相が切り替わったときにスパイクが発生しており、3 番目の割り込み^{*1} がゼロクロス点であることがわかります。ゼロクロス点が判明すると、これから 30 度の遅延の後に U_p PWM 波の駆動をします。（この例では 7 個目の割り込み^{*1} です。ただし 7 個目というのは説明上の一例に過ぎません。）

*1 この割り込みは、立ち上がりおよび立ち下がりエッジにおけるインプットキャプチャのモードに設定された MTU3 タイマによって発生し、その都度カウンタの値を保存します。詳細は図 3-2 を参照してください。

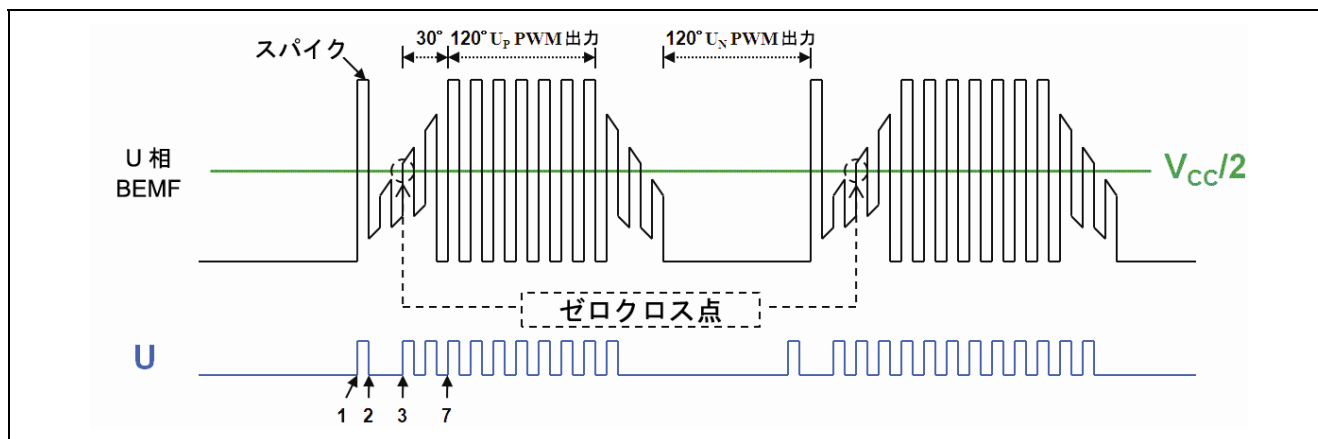


図 3-1 ゼロクロス点の算出

図 3-2 は BEMF 信号の立ち上がりエッジと立ち下がりエッジからゼロクロス点を決定する方法を示しています。

カウンタ（例えば TCNT）の値を保存する変数 Temp を定義します。TCNT は入力信号の立ち上がりエッジと立ち下がりエッジにおいてクリアされます。CntA は割り込みの回数を保存する変数です。Value A はタイミングを判定するために Temp と比較するために設定した値です。

要点:

- (1) 図 3-2 では TCNT の値はスパイクが発生した時にのみ Value A より大きくなります（図 3-1 参照）。
- (2) Temp が Value A より大きくなったときに CntA に 1 をセットし、以降の割り込みで 1 を加えます (CntA++)。
- (3) $Temp < Value A$ が予め定めた回数続いたとき（この例では 7 回）、F_H1（擬似 H1）をロウ（L）とします。F_H1 のロウ（L）を 30 度分遅らせたものが U_p 相の PWM 出力期間を示します。このため、CntA は実際の状況に合わせて調整しなければなりません。
- (4) U_p 相出力の終わりはカウントでは定まらないため、F_H1 をハイ（H）とするタイミングは V 相の BEMF によって判定します。図 3-2 では V が V 相 BEMF 信号で、タイマの動作は U 相と同じモードです。V 相による割り込みが生じると、Temp の値が最小値（一例として $Temp = 17$ ）を超えたときに F_H1 をハイ（H）にセットします。

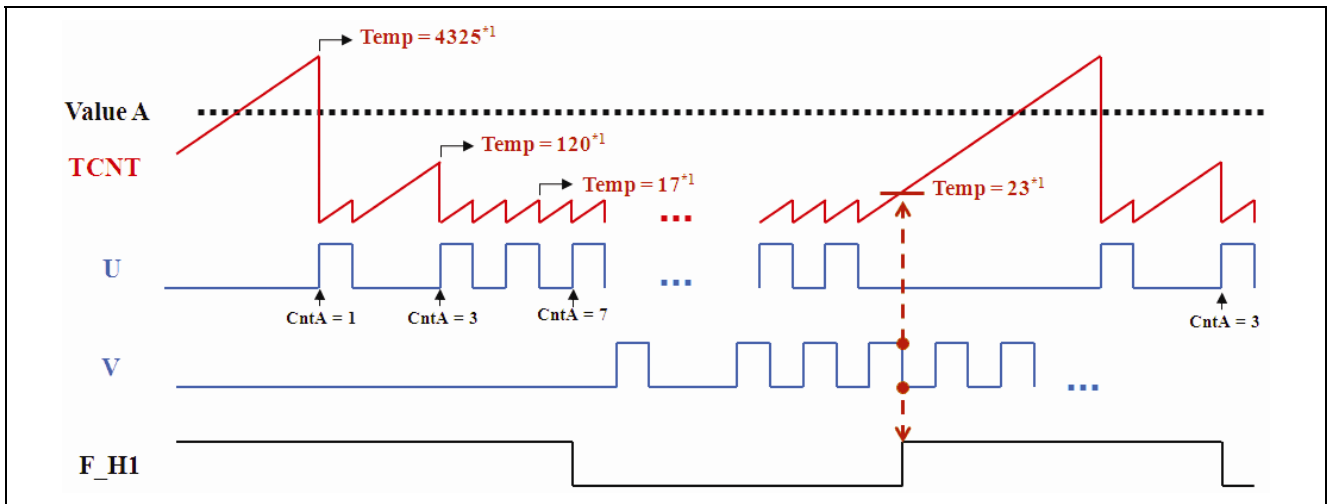



図 3-2 擬似信号の計算

*1 図 3-2 にある Temp の値は説明のための例で、この値は実際の状況に合わせる必要があります。

3 相の BEMF 間の関係が図 3-3 に示されています。赤色の矢印 () は擬似的なホールセンサ信号の立ち上がりエッジを示しています。各相がハイ (H) となる時点は別の相の信号によって判定されていますので、この方法のためには 3 個のタイマチャンネルが必要とされます。

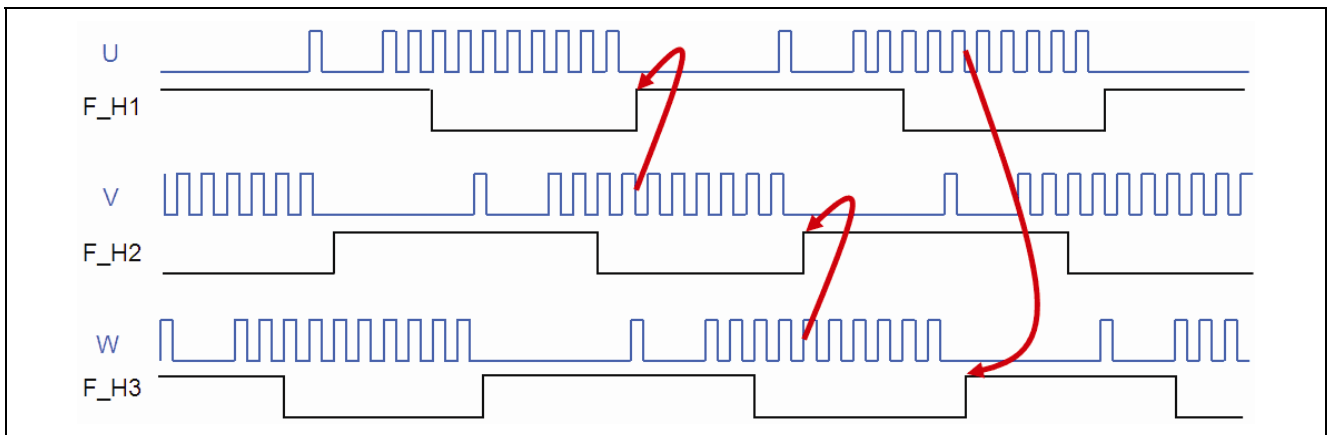


図 3-3 3 相の BEMF 信号と擬似信号の関係

プログラムのフローチャートは次の第 4 章に記載されています。

4. フローチャート

第 4 章では実例プログラムのメインルーチン、PWM および BEMF に関する処理手順を示します。この章では速度の計算方法も記されています。

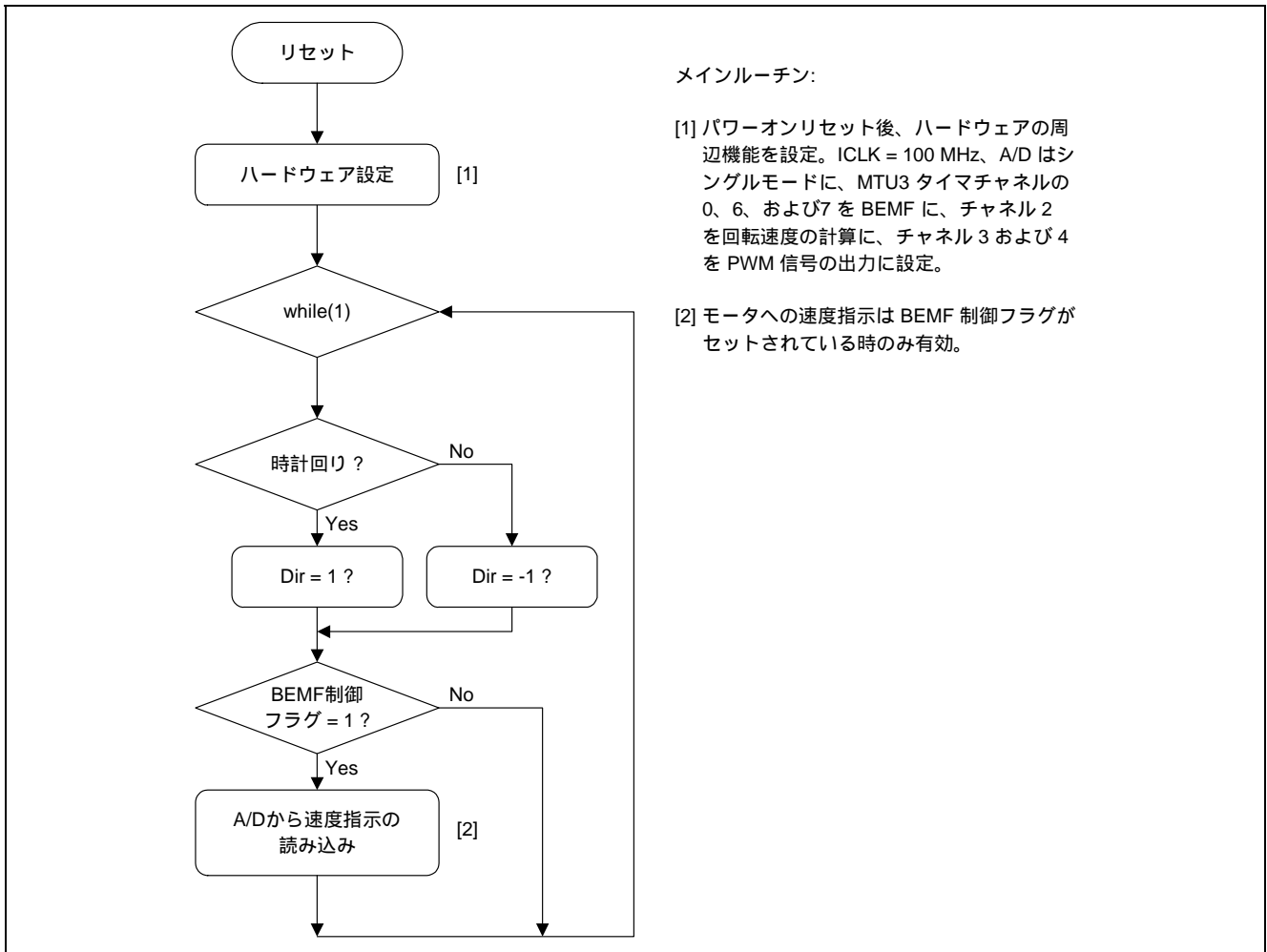


図 4-1 メインルーチンにおける制御手順

このアプリケーションノートでは 4 極のモータが使用されていますので、1 回転で 2 サイクルが実行されます。擬似的なホールセンサ信号を立ち上がりエッジで計算する 1 個のタイマチャンネルの動作周波数は 1562500Hz (ICLK/64=100MHz/64) で、1rps (RevolutionsPerSecond:1 秒間の回転数) のときの 2 個の立ち上がりエッジ間は 781250 です。図 4-2 の例では、TGRA は 390625 を示しています。1rps の条件を使用して TGRA に保存されている値から回転速度を計算することができ、例の値からは 2rps (120rpm) であることが判明します。このアプリケーションノートでは以上の方法で回転速度を計算しています。

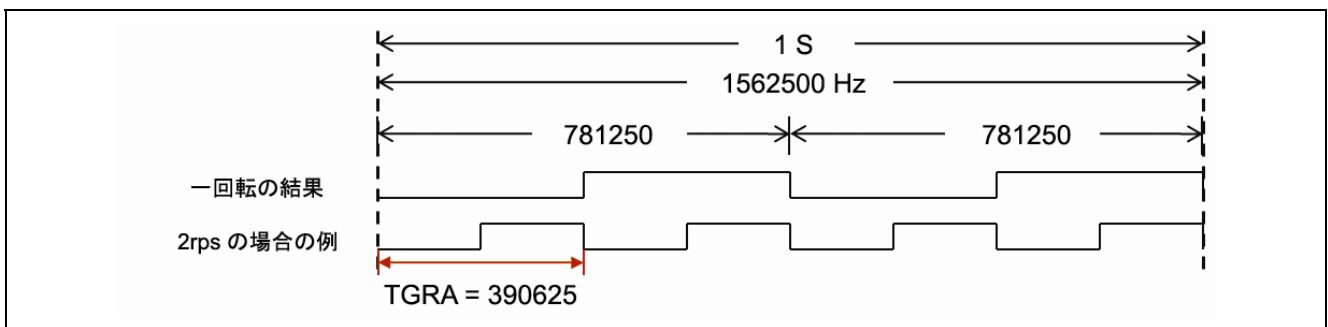
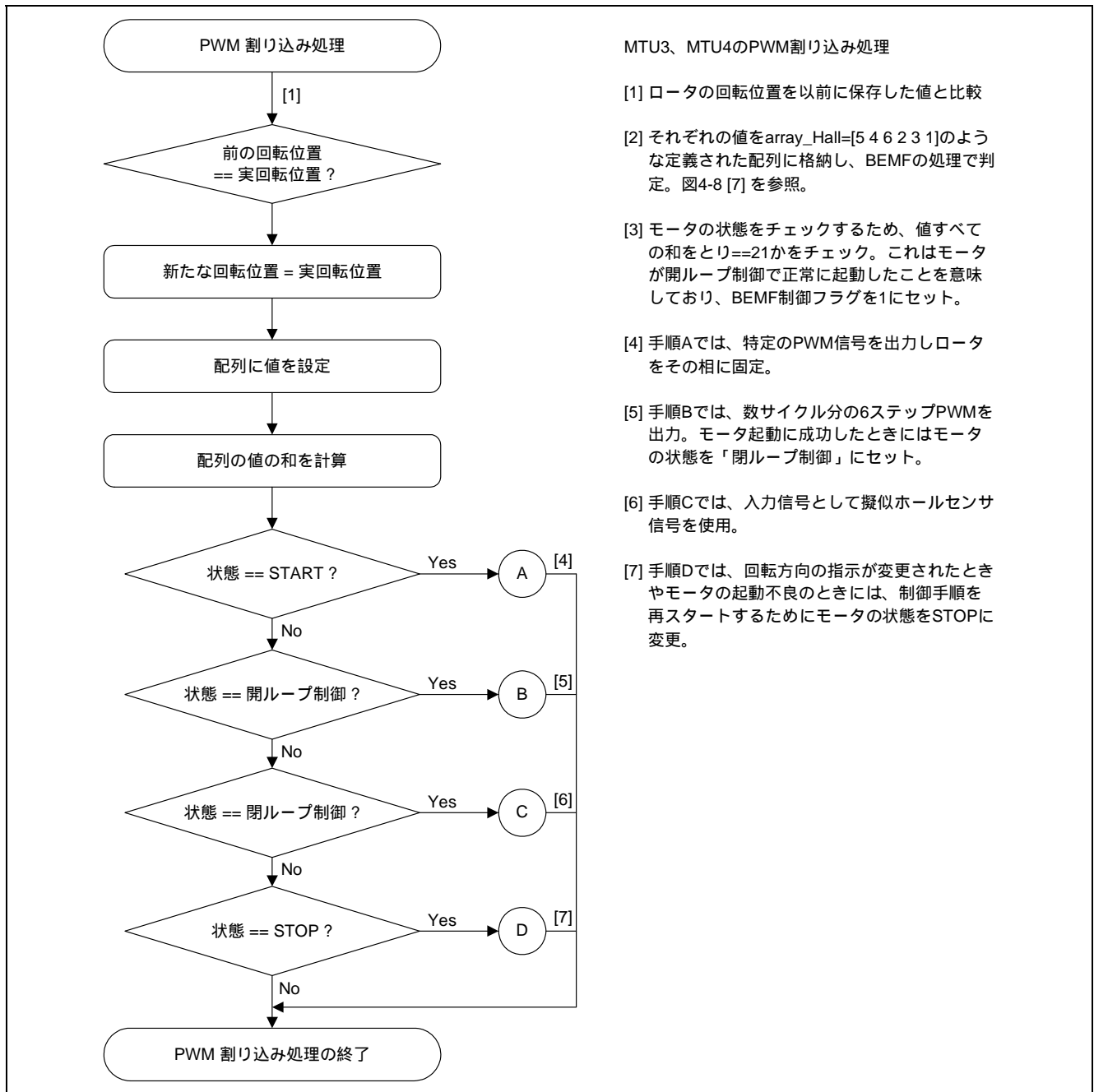


図 4-2 速度計算の例

図 4-3 は、BEMF 信号入力がある場合（閉ループ制御）とない場合（開ループ制御）の両方に関して、PWM パルスを出力する手順を示しています。



MTU3、MTU4のPWM割り込み処理

- [1] ロータの回転位置を以前に保存した値と比較
- [2] それぞれの値をarray_Hall=[5 4 6 2 3 1]のような定義された配列に格納し、BEMFの処理で判定。図4-8 [7]を参照。
- [3] モータの状態をチェックするため、値すべての和をとり==21かをチェック。これはモータが開ループ制御で正常に起動したことを意味しており、BEMF制御フラグを1にセット。
- [4] 手順Aでは、特定のPWM信号を出力しロータをその相に固定。
- [5] 手順Bでは、数サイクル分の6ステップPWMを出力。モータ起動に成功したときにはモータの状態を「閉ループ制御」にセット。
- [6] 手順Cでは、入力信号として擬似ホールセンサ信号を使用。
- [7] 手順Dでは、回転方向の指示が変更されたときやモータの起動不良のときには、制御手順を再スタートするためにモータの状態をSTOPに変更。

図 4-3 PWM 制御手順

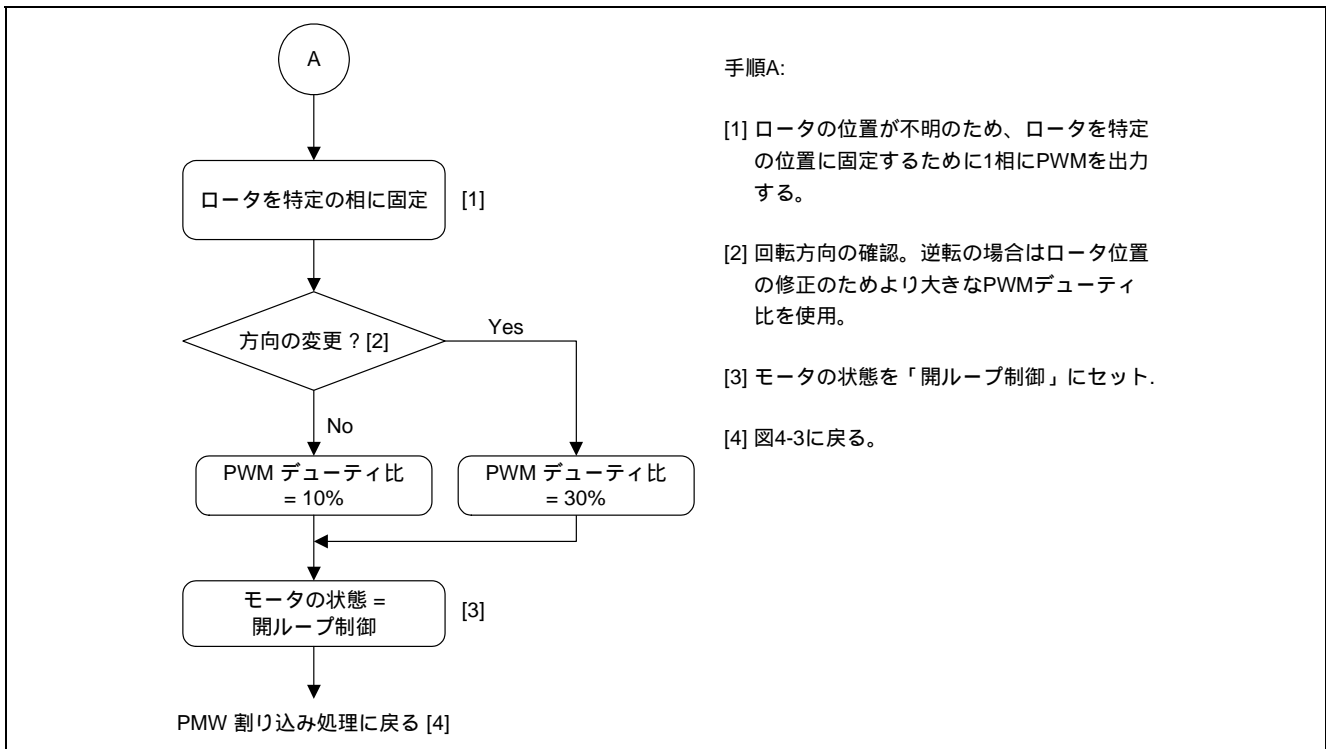


図 4-4 PWM 処理の中の、モータの状態が START のときの処理手順

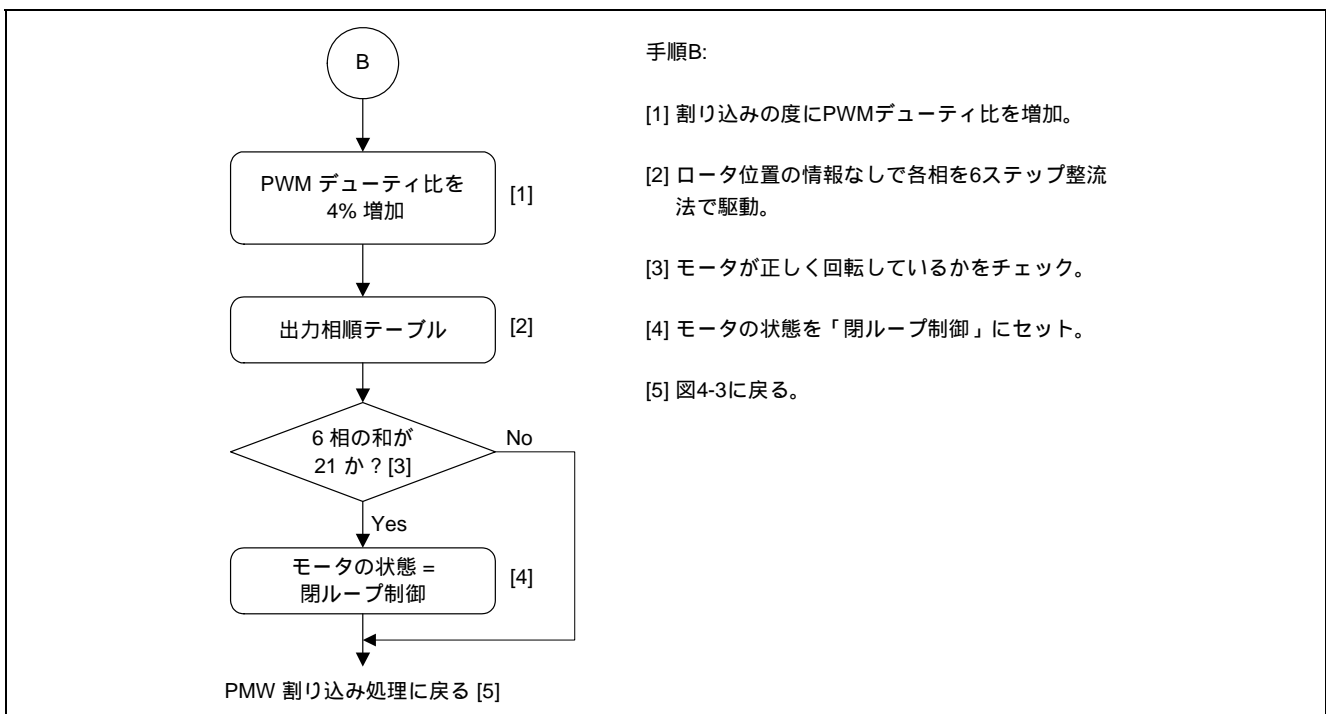


図 4-5 PWM 処理の中の、モータの状態が「開ループ制御」のときの処理手順

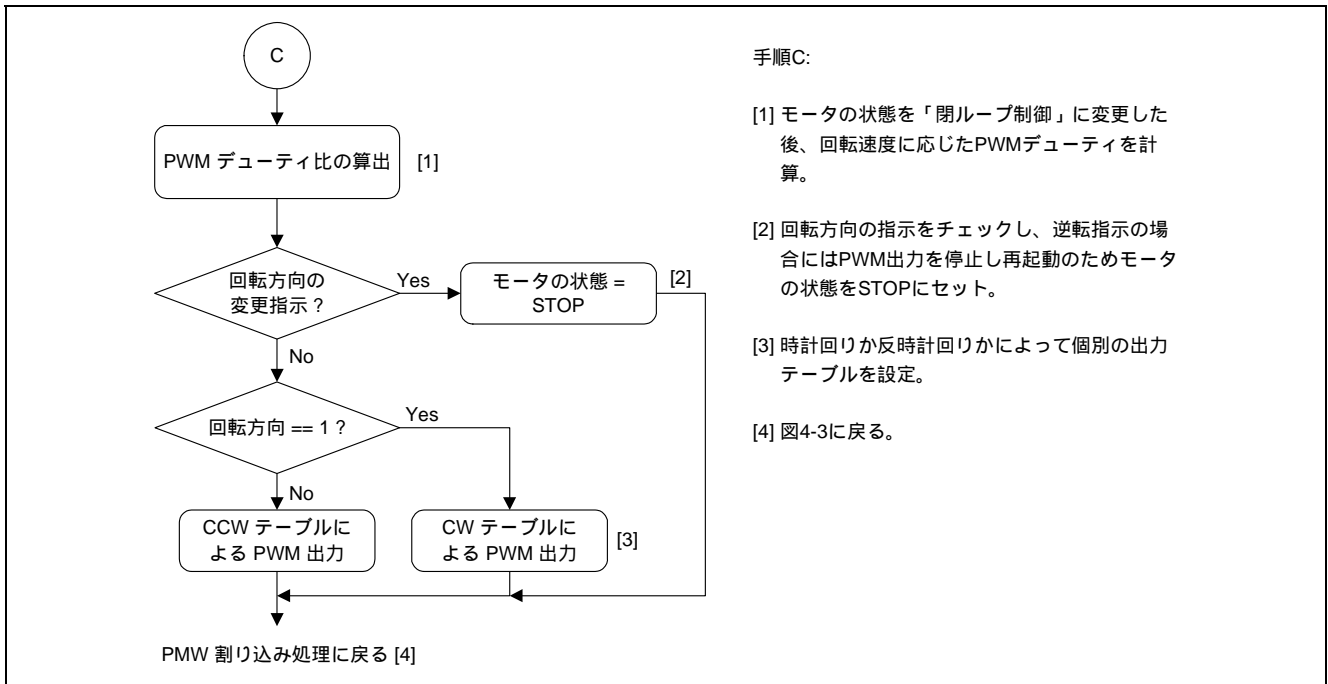


図 4-6 PWM 処理の中の、モータの状態が「閉ループ制御」のときの処理手順

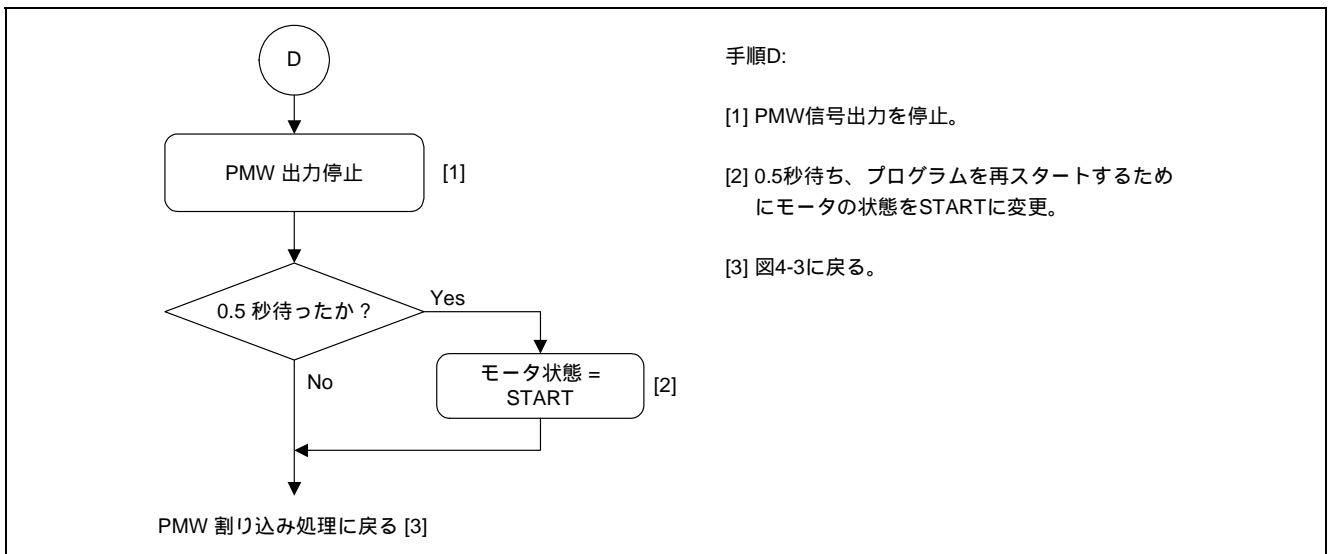


図 4-7 PWM 処理の中の、モータの状態が STOP のときの処理手順

3 相の BEMF 信号は同じ手順で処理されます。処理手順の考え方については第 3 章を参照してください。

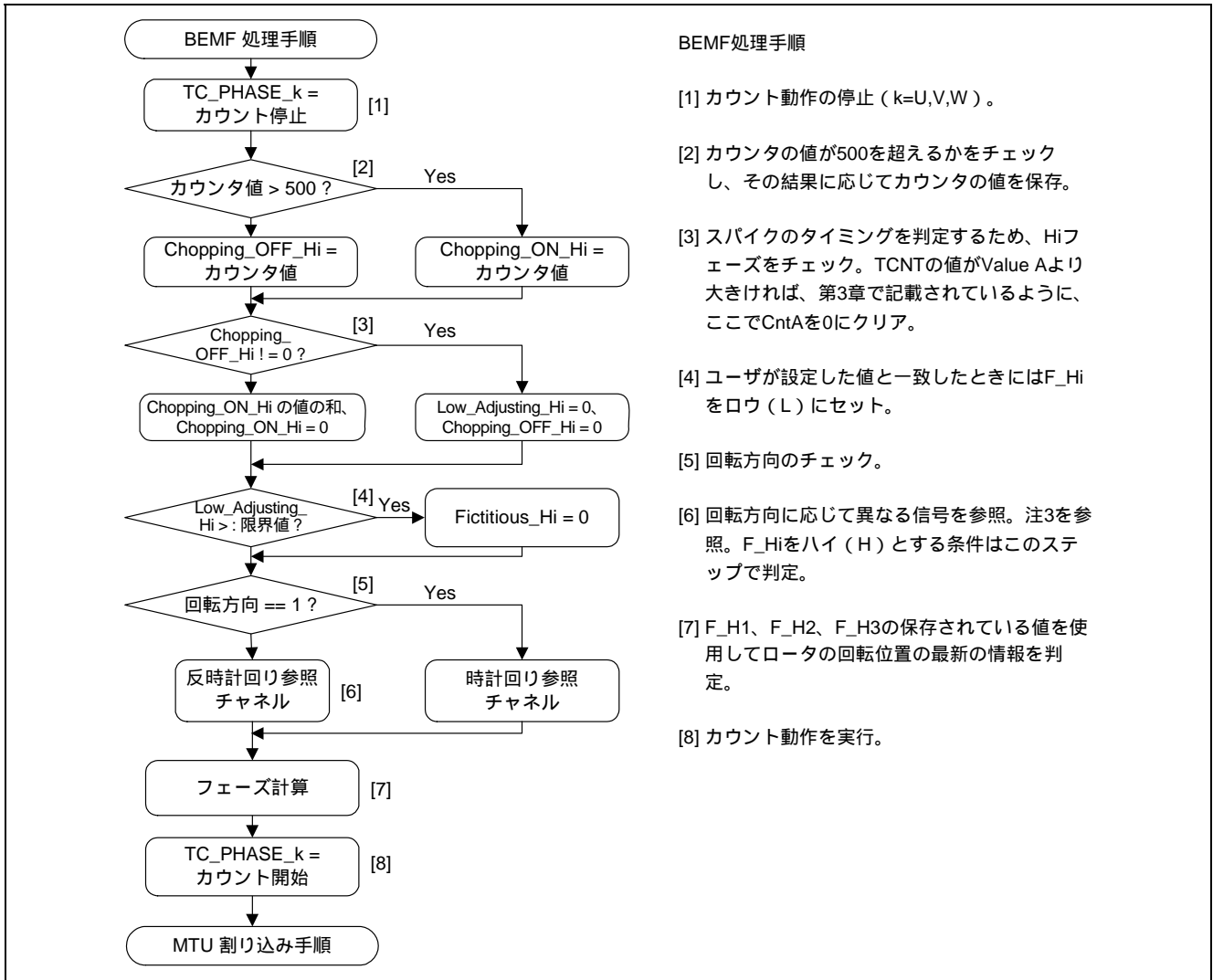


図 4-8 BEMF 処理手順

注 1: i=1,2,3

注 2: 3 相の BEMF 信号で同じ手順を使用します。

注 3: 回転方向に応じた参照テーブルとゼロクロス点の立ち下がりエッジを参照する相は次の表に従います。

割り込み要因	U 相	V 相	W 相
回転方向			
時計回り (CW)	W 相	U 相	V 相
反時計回り (CCW)	V 相	W 相	U 相

5. 実装と評価

実験結果がこの章に記されています。

図 5-1 に見られるように、チャンネル 2 はチャンネル 1 の信号を $V_{cc}/2$ と比較して整形したものです。チャンネル 3 は擬似信号の計算結果で、その方法は第 3 章で述べられています。この図では、実際の状況に即した値として、立ち上がりエッジの比較値は 10 に、立ち下がりエッジの比較値は 500 に設定されています。チャンネル 4 は 120 度の Up 相 PWM 出力です。この例では負荷状態でモータの回転速度は 4092rpm です。

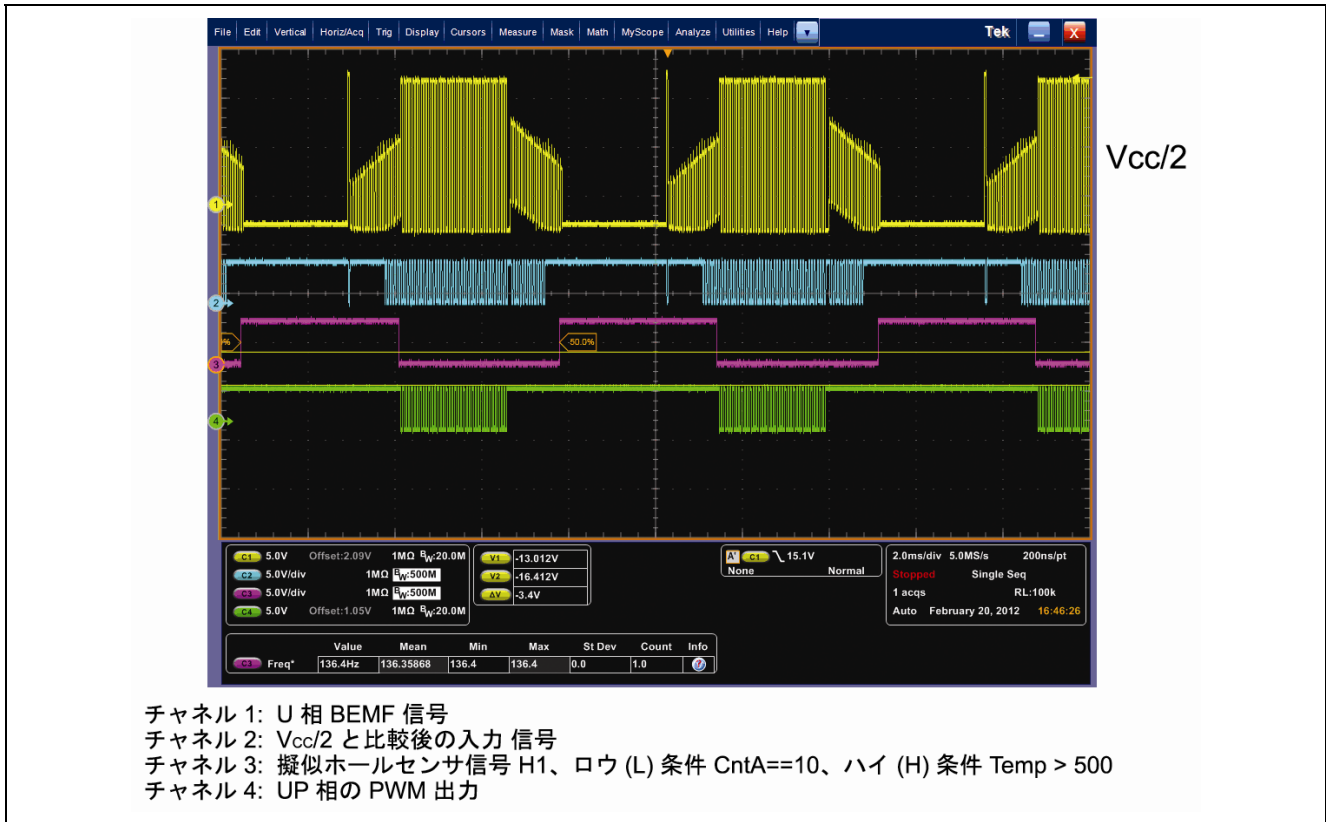


図 5-1 実験結果

この評価ボードを使用した際の性能は次のとおりです。

表 5-1 RX62T モータ制御開発ボードの性能

項目	値	単位
CPU 負荷	9.68	%
最大速度	8000	RPM
最小速度	1000	RPM
使用タイマ数	6	チャンネル
入力バス電圧	15	V

図 5-2 は U 相の電流と 3 相の擬似ホールセンサ信号との関係を示しています。負荷状態で回転速度は 3021rpm です。

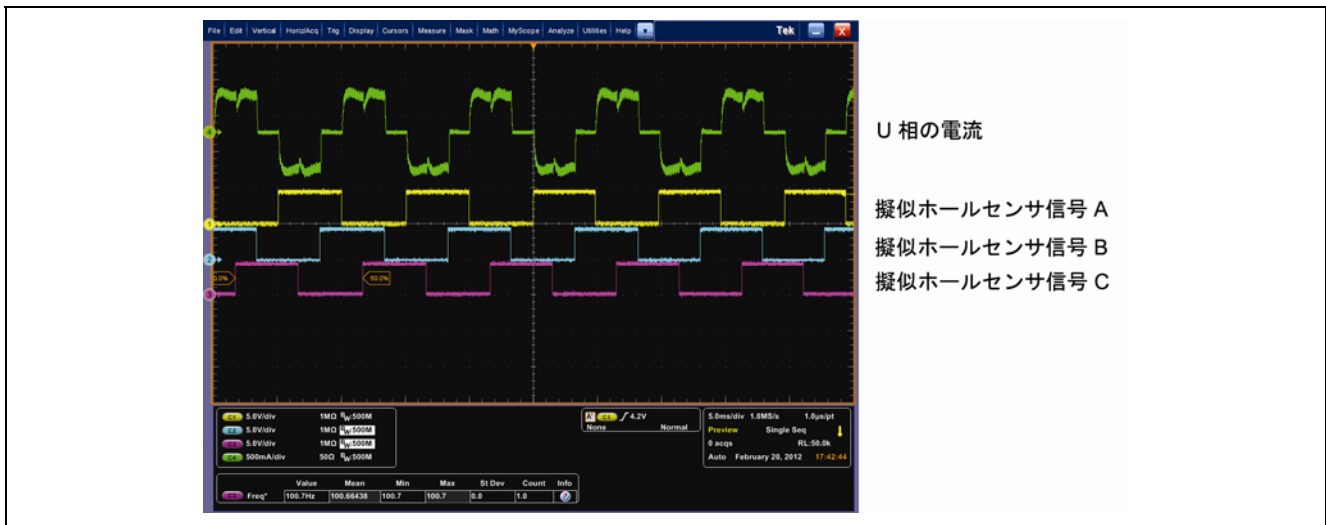


図 5-2 負荷状態での U 相の電流

図 5-3 は 3 相の BEMF 信号の波形です。



図 5-3 3 相の BEMF 信号

6. 参考資料

- アプリケーションノート
REU05B0074-0100/Rev 1.00 Six-Step Trapezoidal Control of a BLDC Motor Using Hall Sensors
- ハードウェアマニュアル
RX62T グループ ハードウェアマニュアル Rev. 1.3
(ホームページ (<http://www.renesas.com>) から最新の版を入手してください)

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	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用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/>