

## TB9M003FG

# 1 シャント センサーレス ベクトル制御事例

### 概要

このアプリケーションノートでは、TB9M003FG における 1 シャントセンサーレスベクトル制御の事例を紹介します。

TB9M003FG は、ベクトル制御の処理の一部をハードウェア化した VE(Vector Engine)を搭載しています。VE は、1 シャントセンサーレスベクトル制御におけるソフトウェア処理の軽減を実現できます。

TB9M003FG と弊社が提供するリファレンスソフトウェアを使用することにより、パラメータ調整のみでモーターの基本動作検証が可能です。

東芝デバイス&ストレージ株式会社

これは参考資料です。本資料での最終機器設計はしないでください。

## 目次

概要 .....	1
目次 .....	2
1. VE を使用したベクトル制御の概要 .....	4
1.1. ベクトル制御の原理 .....	4
1.2. ベクトル制御の構成 .....	4
1.3. VE の主な特長 .....	5
1.4. VE のタスク .....	6
2. 1 シャント電流検出 .....	7
2.1. 電流検出方式 .....	7
2.2. シャント方式の電流検出タイミング .....	7
2.3. 1 シャント方式の問題 .....	8
2.4. シフト PWM の概要 .....	8
2.5. 1 シャント方式の電流検出 .....	9
2.6. 動作波形例 .....	10
記載内容の留意点 .....	11
使用上のご注意およびお願い事項 .....	11
使用上の注意事項 .....	11
使用上の留意点 .....	12
製品取り扱い上のお願ひ .....	13

## 図目次

図 1-1	ベクトル制御の座標軸 .....	4
図 1-2	ベクトル制御を実現するための一般的なブロック図 .....	4
図 1-3	VE を使用してベクトル制御を実現するためのブロック図 .....	5
図 1-4	VE の特長 .....	5
図 1-5	モーター制御に関する処理時間の比較 .....	5
図 1-6	タスクスケジュール 例 .....	6
図 1-7	タスクスケジュール（位置推定のタスク選択）例 .....	6
図 1-8	タスクスケジュール（ユーザーソフトウェアの組み合わせ）例 .....	6
図 2-1	各相スイッチング信号と電流検出タイミング .....	7
図 2-2	空間ベクトル変換法（電圧ベクトル V1~V7、セクタ 0~5 の定義） .....	8
図 2-3	V1 の場合の電流経路 .....	8
図 2-5	通常 PWM とシフト PWM .....	8
図 2-6	PWM モードと電流検出率の関係 .....	9
図 2-7	PWM モード変調時の動作波形 .....	10

## 表目次

表 2-1	電流検出方式 .....	7
表 2-2	PWM モード毎の電流検出レベルのイメージ .....	9

### 1. VE を使用したベクトル制御の概要

#### 1.1. ベクトル制御の原理

この章では、弊社の VE を使用したベクトル制御の概要を説明します。  
ベクトル制御では、モーター電流を  $I_d$ (磁束発生に寄与する成分)と、 $I_q$ (トルク発生に寄与する成分)に分解し、それぞれを独立に制御します。  
これにより、制御性が向上し、高効率なモーター制御を実現できます。  
ここで、 $d$  軸および  $q$  軸は、回転子と同期して回転する座標軸です。

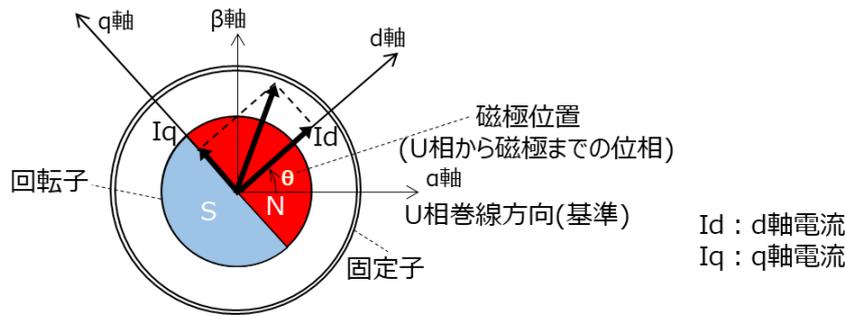


図 1-1 ベクトル制御の座標軸

#### 1.2. ベクトル制御の構成

ベクトル制御の構成を以下に示します。  
TB9M003FG に搭載している VE は、ベクトル制御の処理の一部を CPU に代わって処理します。  
VE は実行する演算処理を予め用意されたタスクから自由を選択することが可能なため、ユーザー自身のソフトウェアと組み合わせた様々な制御が実現可能です。

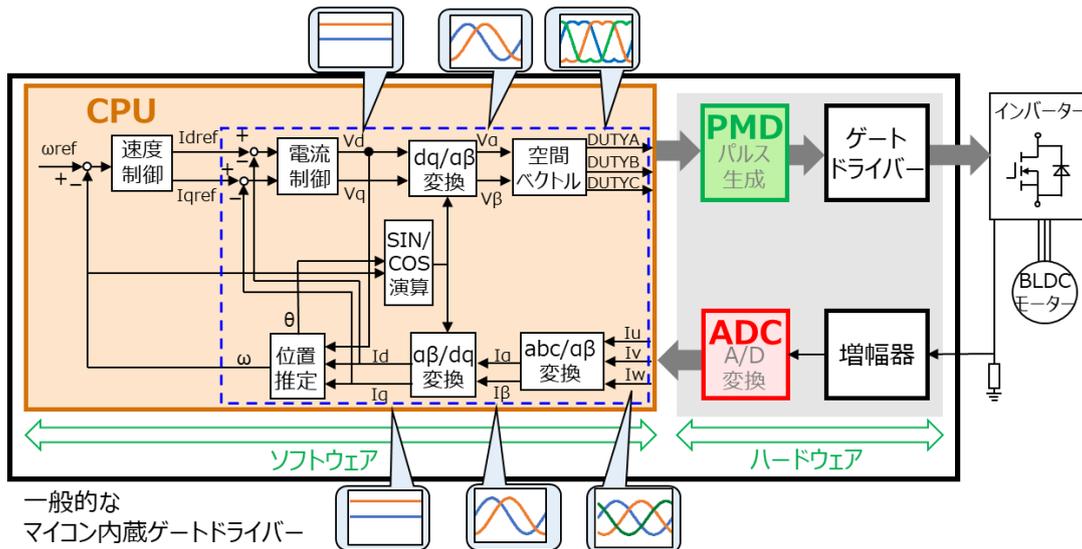


図 1-2 ベクトル制御を実現するための一般的なブロック図

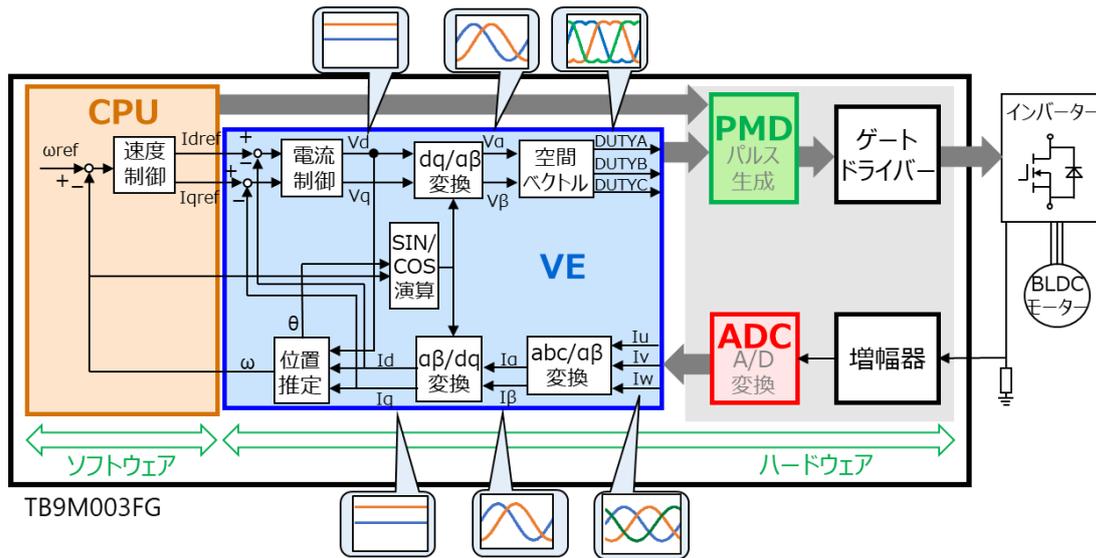


図 1-3 VE を使用してベクトル制御を実現するためのブロック図

### 1.3. VE の主な特長

VE の特長を以下に示します。

TB9M003FG は、処理が遅い安価 CPU と VE の構成で、汎用性と処理速度を両立できます。これにより、安価 CPU でも制御周期  $50 \mu s$  での高速処理が実現できます。

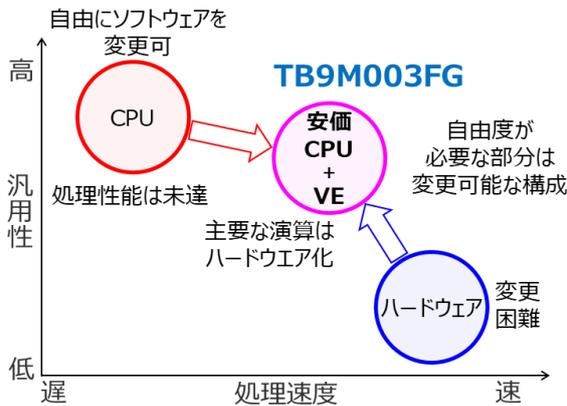


図 1-4 VE の特長

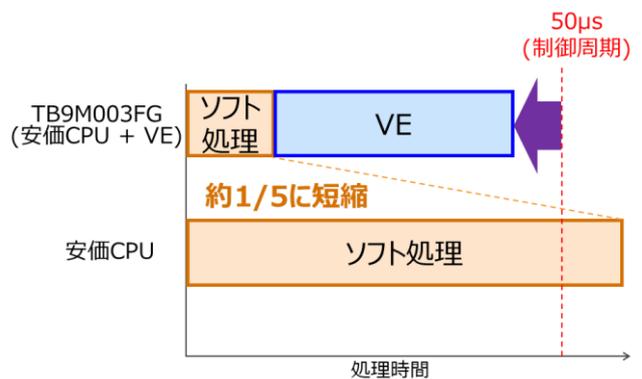


図 1-5 モーター制御に関する処理時間の比較

### 1.4. VE のタスク

VE のタスク実行の処理フロー例を以下に示します。

VE では、ベクトル制御における一連の演算処理をタスク化しています。タスクはユーザーが必要に応じて選択できます。またユーザーのソフトウェアを組み合わせることも可能なためアプリケーションに応じた自由度の高いモーター制御が実現可能です。

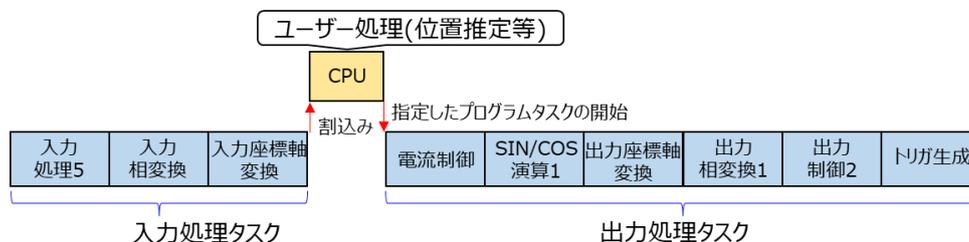


図 1-6 タスク実行の処理フロー 例

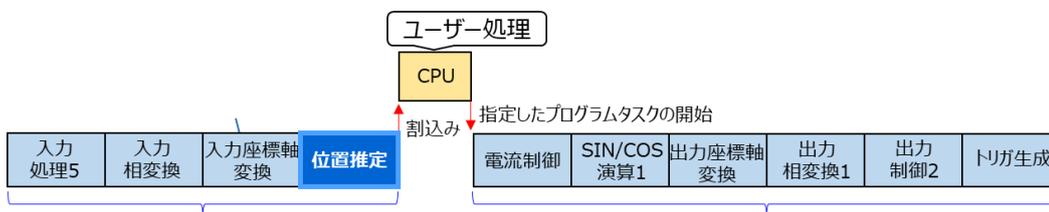


図 1-7 タスク実行の処理フロー（位置推定のタスク選択）例

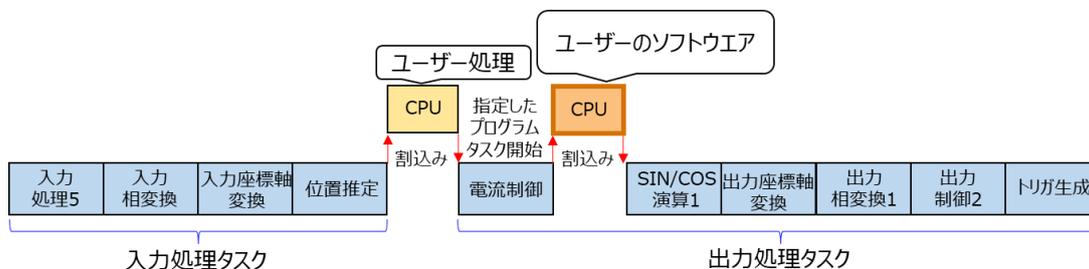


図 1-8 タスク実行の（ユーザーソフトウェアの組み合わせ）例

### 2. 1 シャント電流検出

#### 2.1. 電流検出方式

この章では、電流検出の概要を説明します。

ベクトル制御にはモーター電流の情報が必要です。電流の検出には、以下のような方式があります。

TB9M003FG は1 シャント方式に対応しています。

表 2-1 電流検出方式

	電流センサー方式	3 シャント方式	1 シャント方式
電流検出方法	磁気的に電流を検出する	シャント抵抗の両端電圧を測定し、電流を取得する	3 シャントと同様 (回路構成が3 シャントの3分の1)
電流検出制約	制約なし	制約あり (過変調制御時のみ)	制約あり (電流検出不可能な期間あり)
コスト	高コスト	低コスト	低コスト(3 シャントの3分の1)
回路構成(例)			

#### 2.2. シャント方式の電流検出タイミング

3 シャント方式と、1 シャント方式の電流検出タイミングを以下に示します。

シャント抵抗に生じる電圧からモーター電流を再現するには、PWM(Pulse Width Modulation)1 周期に2 相分の電流を検出する必要があります。残り1 相分は3 相電流の総和が0 になることから求められます。

3 シャント方式では、電流検出タイミングが常に同じタイミングです。一方、1 シャント方式では、シャント抵抗が1 つしかないため、電流検出タイミングを変更する必要があります。

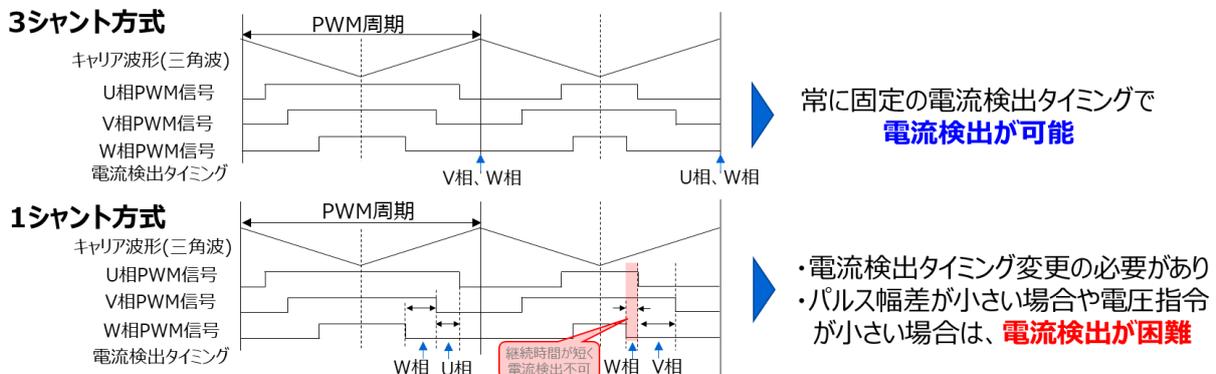


図8 電流検出タイミング

図 2-1 各相スイッチング信号と電流検出タイミング

### 2.3.1 シャント方式の問題

1 シャント方式の電流検出の問題を以下に示します。

1 シャント方式では、空間ベクトル法において電流検出不可能な期間①、②が発生します。この場合、ベクトル制御に必要な2相分の電流が、PWMの1周期中に検出できません。

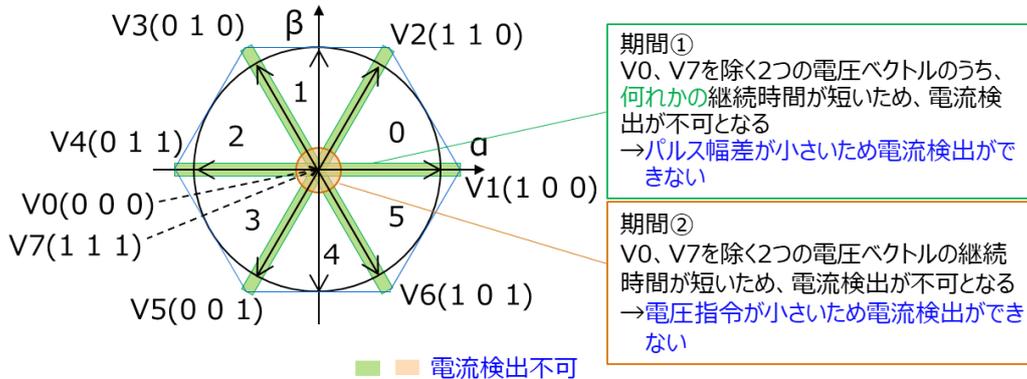


図 2-2 空間ベクトル変換法（電圧ベクトル V1~V7、セクタ 0~5 の定義）

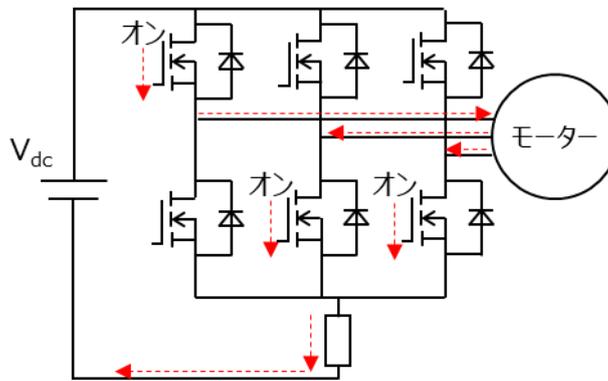


図 2-3 V1 の場合の電流経路

### 2.4. シフト PWM の概要

シフト PWM の概要を説明します。

1 シャント方式において、十分な電流検出可能な期間を確保するため、VE には東芝オリジナルの2種類のシフト PWM 機能を搭載しています。

シフト 1PWM での電流検出タイミングは VE が自動で設定します。シフト 2PWM は固定の電流検出タイミングをユーザーが設定します。ただし、シフト 2PWM の場合は使用するモーターや環境によって調整が必要です。

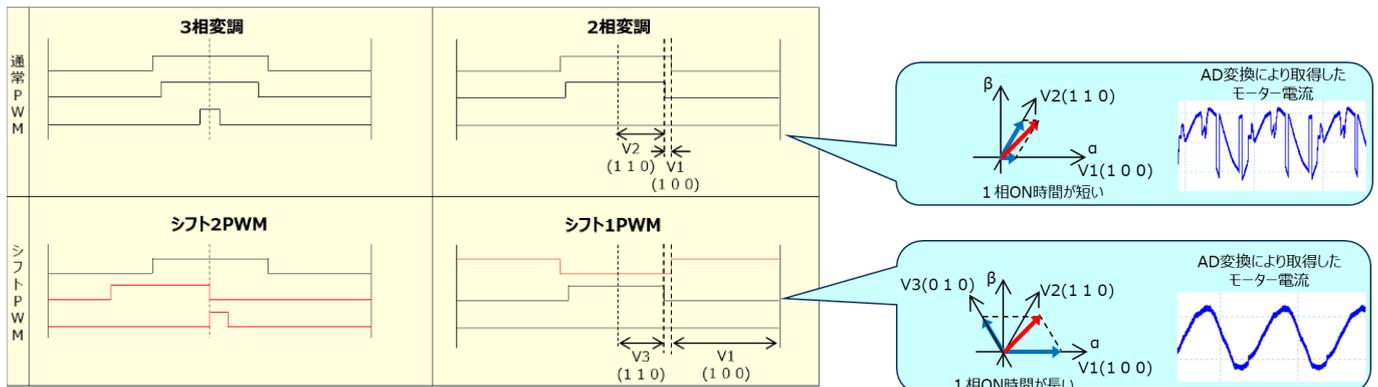


図 2-4 通常 PWM とシフト PWM

### 2.5.1 シャント方式の電流検出

PWM モードと電流検出レベルの関係を以下に示します。

TB9M003FG は、1 シャント方式のみに対応しています。PWM モードに関するパラメータを設定することで、電流検出率が高い PWM モードに自動で切り替え、1 シャントセンサーレスベクトル制御を実現します。

表 2-2 PWM モード毎の電流検出レベルのイメージ

電流検出方式	PWM モード	電流検出レベル				説明
		変調率 低 ← → 高				
1 シャント	通常	極低	低	中	高	低・中変調率にて電流検出率低下
	シフト 1	低	中	高	高	低変調率にて電流検出率低下
	シフト 2	高	高	中	低	中・高変調率にて電流検出率低下
3 シャント	通常	高	高	高	高	常に電流検出率 100%

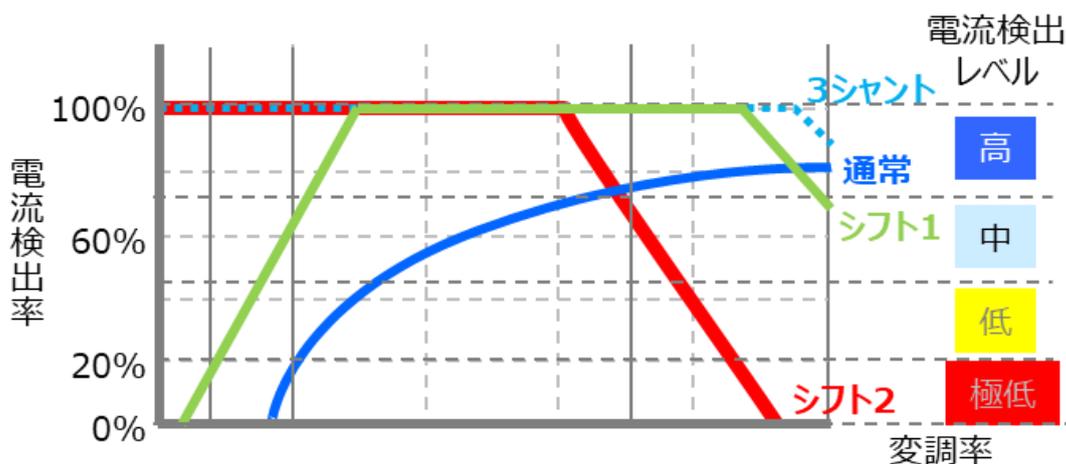


図 2-5 PWM モードと電流検出率の関係

### 2.6. 動作波形例

TB9M003FG における 1 シャントセンサーレスベクトル制御の動作波形例を以下に示します。  
 速度指令を変化させたとき(変調率が変化したとき)の各波形を示しており、PWM モードを切り替えることで変調率によらず常に電流が検出できます。  
 電流誤検出フラグは、電流検出不可期間を示しています。このときに検出した電流は制御に使用しません。

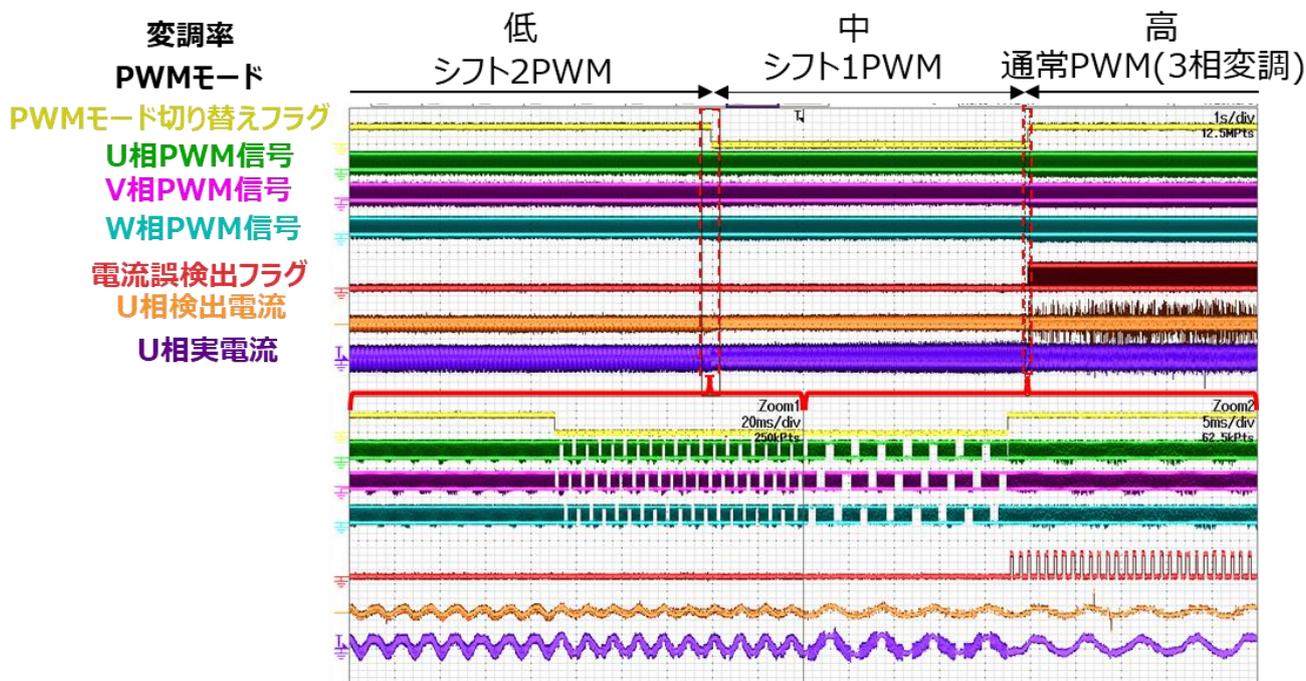


図 2-6 PWM モード切り替え時の動作波形

## 記載内容の留意点

1. ブロック図  
ブロック図内の機能ブロック/回路/定数などは、機能を説明するため、一部省略・簡略化している場合があります。
2. 等価回路  
等価回路は、回路を説明するため、一部省略・簡略化している場合があります。

## 使用上のご注意およびお願い事項

### 使用上の注意事項

- (1) 絶対最大定格は複数の定格の、どの1つの値も瞬時たりとも超えてはならない規格です。複数の定格のいずれに対しても超えることができません。絶対最大定格を超えると破壊、損傷および劣化の原因となり、破裂・燃焼による傷害を負うことがあります。
- (2) 過電流の発生や IC の故障の場合に大電流が流れ続けないように、適切な電源ヒューズを使用してください。IC は絶対最大定格を超えた使い方、誤った配線、および配線や負荷から誘起される異常パルスノイズなどが原因で破壊することがあり、この結果、IC に大電流が流れ続けることで、発煙・発火に至ることがあります。破壊における大電流の流出入を想定し、影響を最小限にするため、ヒューズの容量や溶断時間、挿入回路位置などの適切な設定が必要となります。

## 使用上の留意点

### (1) 過電流検出回路

過電流検出回路はどのような場合でも IC を保護するわけではありません。動作後は、速やかに過電流状態を解除するようお願いします。

絶対最大定格を超えた場合など、ご使用方法や状況により、過電流制限回路が正常に動作しなかったり、動作する前に IC が破壊したりすることがあります。また、動作後、長時間過電流が流れ続けた場合、ご使用方法や状況によっては、IC が発熱などにより破壊することがあります。

### (2) 熱遮断回路

熱遮断回路 (通常: サーマルシャットダウン回路) は、どのような場合でも IC を保護するわけではありません。動作後は、速やかに発熱状態を解除するようお願いします。

絶対最大定格を超えて使用した場合など、ご使用法や状況により、熱遮断回路が正常に動作しなかったり、動作する前に IC が破壊したりすることがあります。

## 製品取り扱い上のお願い

株式会社東芝およびその子会社ならびに関係会社を以下「当社」といいます。

本資料に掲載されているハードウェア、ソフトウェアおよびシステムを以下「本製品」といいます。

- 本製品に関する情報等、本資料の掲載内容は、技術の進歩などにより予告なしに変更されることがあります。
- 文書による当社の事前の承諾なしに本資料の転載複製を禁じます。また、文書による当社の事前の承諾を得て本資料を転載複製する場合でも、記載内容に一切変更を加えたり、削除したりしないでください。
- 当社は品質、信頼性の向上に努めていますが、半導体・ストレージ製品は一般に誤作動または故障する場合があります。本製品をご使用頂く場合は、本製品の誤作動や故障により生命・身体・財産が侵害されることのないように、お客様の責任において、お客様のハードウェア・ソフトウェア・システムに必要な安全設計を行うことをお願いします。なお、設計および使用に際しては、本製品に関する最新の情報（本資料、仕様書、データシート、アプリケーションノート、半導体信頼性ハンドブックなど）および本製品が使用される機器の取扱説明書、操作説明書などをご確認の上、これに従ってください。また、上記資料などに記載の製品データ、図、表などに示す技術的な内容、プログラム、アルゴリズムその他応用回路例などの情報を使用する場合は、お客様の製品単独およびシステム全体で十分に評価し、お客様の責任において適用可否を判断してください。
- 本製品は、特別に高い品質・信頼性が要求され、またはその故障や誤作動が生命・身体に危害を及ぼす恐れ、膨大な財産損害を引き起こす恐れ、もしくは社会に深刻な影響を及ぼす恐れのある機器（以下“特定用途”という）に使用されることは意図されていませんし、保証もされていません。特定用途には原子力関連機器、航空・宇宙機器、医療機器（ヘルスケア除く）、車載・輸送機器、列車・船舶機器、交通信号機器、燃焼・爆発制御機器、各種安全関連機器、昇降機器、発電関連機器などが含まれますが、本資料に個別に記載する用途は除きます。特定用途に使用された場合には、当社は一切の責任を負いません。なお、詳細は当社営業窓口まで、または当社 Web サイトのお問い合わせフォームからお問い合わせください。
- 本製品を分解、解析、リバースエンジニアリング、改造、改変、翻案、複製等しないでください。
- 本製品を、国内外の法令、規則及び命令により、製造、使用、販売を禁止されている製品に使用することはできません。
- 本資料に掲載してある技術情報は、製品の代表的動作・応用を説明するためのもので、その使用に際して当社及び第三者の知的財産権その他の権利に対する保証または実施権の許諾を行うものではありません。
- 別途、書面による契約またはお客様と当社が合意した仕様書がない限り、当社は、本製品および技術情報に関して、明示的にも黙示的にも一切の保証（機能動作の保証、商品性の保証、特定目的への合致の保証、情報の正確性の保証、第三者の権利の非侵害保証を含むがこれに限らない。）をしておりません。
- 本製品、または本資料に掲載されている技術情報を、大量破壊兵器の開発等の目的、軍事利用の目的、あるいはその他軍事用途の目的で使用しないでください。また、輸出に際しては、「外国為替及び外国貿易法」、「米国輸出管理規則」等、適用ある輸出関連法令を遵守し、それらの定めるところにより必要な手続を行ってください。
- 本製品の RoHS 適合性など、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い合わせください。本製品のご使用に際しては、特定の物質の含有・使用を規制する RoHS 指令等、適用ある環境関連法令を十分調査の上、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、当社は一切の責任を負いかねます。