

# TRAVEO™ T2G ファミリにおける SMC/ZPD の実装

## 本書について

### 適用範囲と目的

AN226036 では、TRAVEO™ T2G ファミリ MCU を使用したステッピングモータコントロール (SMC) およびゼロポイントディテクション (ZPD) の実装について説明します。

## 目次

	本書について .....	1
	目次 .....	1
1	はじめに .....	2
2	SMC と ZPD について .....	3
3	操作概要 .....	5
3.1	ステッピングモータ操作 .....	5
3.2	ゼロポイント検知 .....	5
4	ユースケースにおける動作例 .....	7
5	ZPD 補正における提案 .....	10
6	用語集 .....	11
7	関連ドキュメント .....	12
	改訂履歴 .....	13
	免責事項 .....	14

## 1 はじめに

### 1 はじめに

このアプリケーションノートでは、TRAVEO™ T2G ファミリ CYT4D シリーズ MCU デバイスを使用した SMC および ZPD の実装方法について説明します。ステッピングモータは、一般的に自動車のメータの針を操作するために使用します。SMC は、TRAVEO™ T2G MCU の TCPWM の PWM とカウンタ機能を使用して実装されます。ZPD は、SMC の停止位置を認識する機能です。ZPD は、TRAVEO™ T2G MCU における ADC のパルスディテクション機能を使用して実装されます。

このアプリケーションノートで使用する機能と用語については、[アーキテクチャテクニカルリファレンスマニュアル \(TRM\)](#) の「Timer, Counter, and PWM」章と「SAR ADC」章を参照してください。

## 2 SMC と ZPD について

### 2 SMC と ZPD について

ここでは、SMC と ZPD の概要を示します。

図 1 に、2 つのコイルをもつ簡単な 4 ステップのステッピングモータ動作を示します。

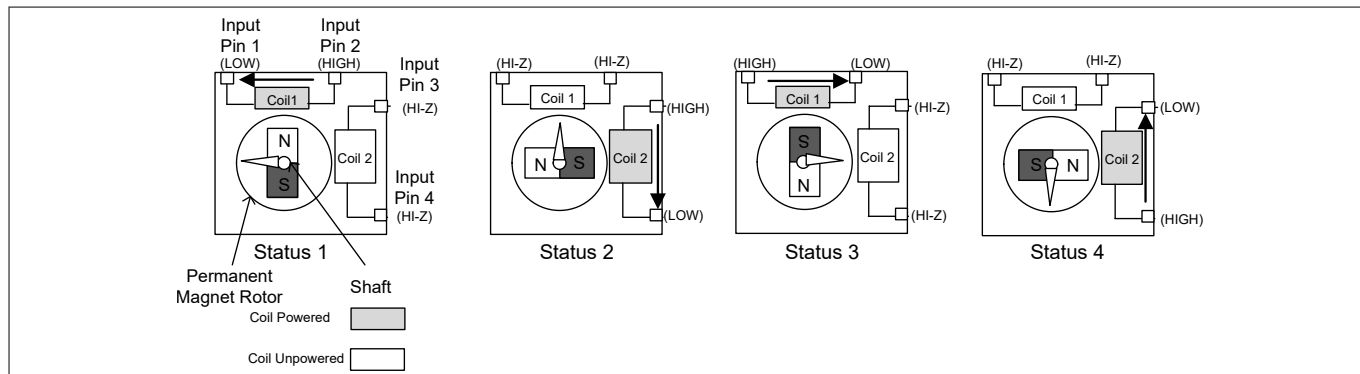


図 1 ステッピングモータ基本動作

図 1 において、このステッピングモータには 2 つのコイル (コイル 1 とコイル 2) とシャフト付き永久磁石ロータがあります。このモータは、2 つのコイルの 1 つが通電されたときに永久磁石ロータが回転して動作します。それぞれのコイルは、2 つの入力があり、モータには合計 4 つの入力信号ピンがあります。

図 1 の例において、永久磁石ロータはステータス 1 から 4 まであり、90 度ごとのステップで時計回りに回転します。ステータス 1 では、ピン 1 が LOW 入力、ピン 2 が HIGH 入力によってコイル 1 に通電または給電されます。コイル 2 は、両方の入力が高インピーダンス (High-Z) のため通電されません。次にステータス 2 では、コイル 2 に通電され、コイル 1 は High-Z 入力のため通電されず、内部の永久磁石ロータは 90 度時計回りに回転します。ステータス 3 では、コイル 1 はステータス 1 とは反対方向に通電され、コイル 2 は通電されず、さらに 90 度永久磁石ロータは回転します。最終的に、ステータス 4 では、コイル 2 はステータス 2 と反対方向に通電され、コイル 1 は通電されず、永久磁石ロータはさらに 90 度回転します。このように、コイルの通電を連続的に変更し、ロータを時計回りに 1 回転 (360 度) させステッピングモータが動作します。

図 2 に、TRAVEO™ T2G MCU によって制御されるステッピングモータのブロックダイアグラムを示します。

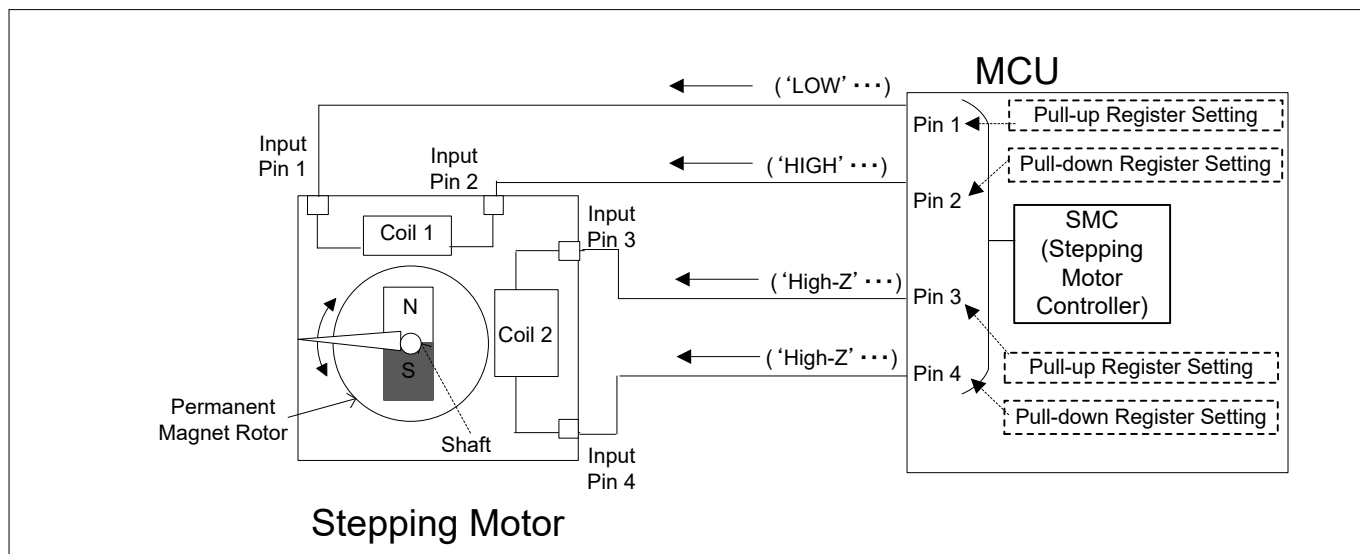


図 2 ステッピングモータと MCU のブロックダイアグラム

MCU の出力によって制御された、図 1 と同じステッピングモータの動作を、図 2 に示します。これらの出力信号は、LOW, High-Z, または HIGH に設定されます。MCU は、LOW, High-Z, および HIGH 信号を 4 つの入力ピンへ固定パターンで出力してステッピングモータを操作します。SMC は、モータに対する信号出力と信号の変更に関す

## 2 SMC と ZPD について

る動作に関係します。MCU ピン 1 から 4 は、レジスタ設定によって内部プルアップおよびプルダウン抵抗を有効にする必要があります。

図 3 に、ステッピングモータ接続に必要な 4 つのピン、ピン 1、ピン 2、ピン 3、およびピン 4 の MCU ポート設定を示します。

図 3 の回路 A に示すように、ピン 1 とピン 3 は、内部 GPIO レジスタによってプルアップ設定 (DRIVE\_MODE=2) に設定されます。ピン 2 とピン 4 は、内部 GPIO レジスタによってプルダウン設定 (DRIVE\_MODE=3) に設定されます。これは、High-Z 信号出力の中間電位を設定するためです。回路 A は、コイルの両側に接続されたピンに対し AD 値を測定します。図 3 の回路 B に示すように、ピン 1 とピン 3 は、レジスタによってプルアップ/プルダウンに設定 (DRIVE\_MODE=1) されます。ピン 2 とピン 4 は、レジスタによってストロングに設定 (DRIVE\_MODE=6) されます。回路 B は、コイルに接続されたピン 2 またはピン 4 の 1 つだけ AD 値を測定します。

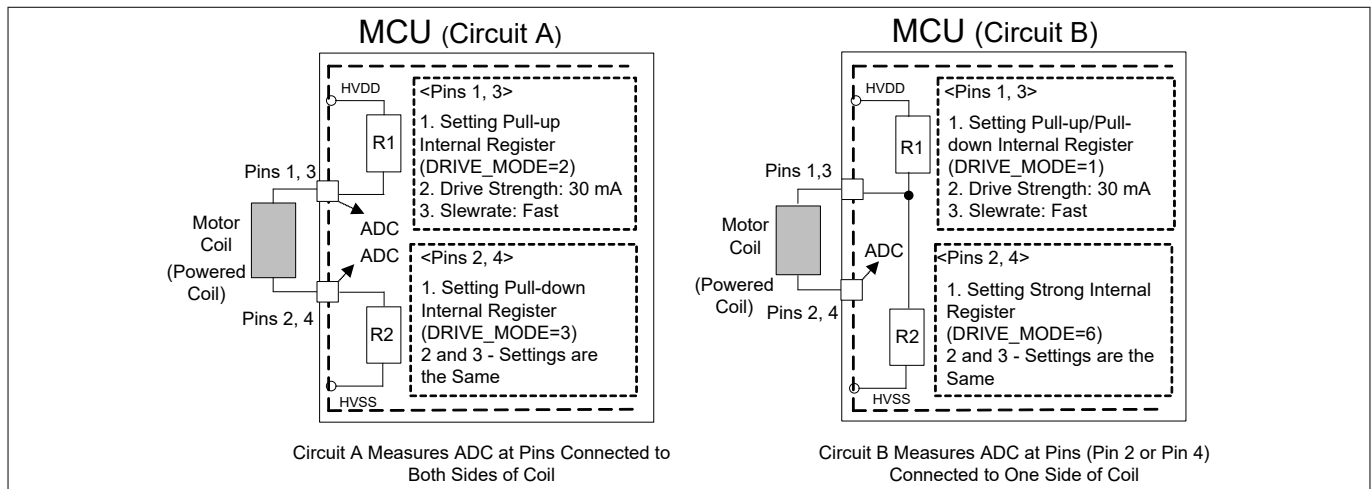


図 3 MCU ピン 1 からピン 4 のポート設定

図 4 に、ステッピングモータにおける ZPD を示します。

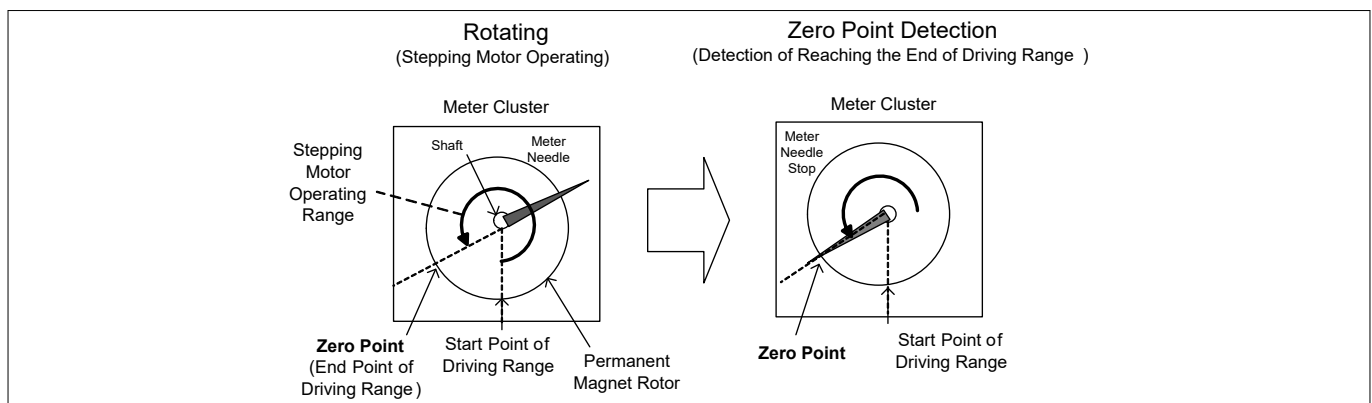


図 4 Zero point detection

図 4 に、自動車のメータクラスタに使用されるステッピングモータの例を示します。このケースでは、モータ回転後の実際の停止位置を認識する必要があります。このアプリケーションノートでは、駆動範囲の終了位置がゼロポイントとして定義されます。ゼロポイントを検知することを ZPD と呼びます。ZPD は、ステッピングモータの入力信号の High-Z を測定することで認識できます。

3 操作概要

3 操作概要

3.1 ステッピングモータ操作

ここでは、ステッピングモータの操作方法を説明します。ステッピングモータは、図 2 のように MCU と 4 つの端子で接続されます。このアプリケーションノートでは、コイル 1 の 2 つの入力端子をピン 1 とピン 2、コイル 2 の 2 つの入力端子をピン 3 とピン 4 と定義します。表 1 に、ピン 1 から 4 の信号パターンを示します。

表 1 ステッピングモータピン入力信号パターン

MCU とモータ接続ピン	ステップ 1 (信号)	ステップ 2	ステップ 3	ステップ 4
ピン 1 (コイル 1)	LOW	High-Z	HIGH	High-Z
ピン 2 (コイル 1)	HIGH	High-Z	LOW	High-Z
ピン 3 (コイル 2)	High-Z	HIGH	High-Z	LOW
ピン 4 (コイル 2)	High-Z	LOW	High-Z	HIGH

ピン 1 から 4 に対して、それぞれのピン入力信号は、LOW, High-Z, または HIGH 信号のいずれかです。もし、コイル 1 (ピン 1, ピン 2) への入力信号が LOW または HIGH ならば、コイル 2 (ピン 3, ピン 4) への入力は、High-Z です。同様に、もしコイル 1 が High-Z であれば、コイル 2 (ピン 3, ピン 4) への入力は、HIGH または LOW です。これらの LOW, High-Z, および HIGH 信号は、MCU の TCPWM によって出力されます。MCU の 1 つのピンに対する出力信号は、LOW, High-Z, HIGH, High-Z の遷移を繰り返します。これらのステータスは、TCPWM のオーバフロー割込みによって遷移します。表 1 のパターンの繰り返しによって、ステッピングモータを駆動できます。

3.2 ゼロポイント検知

ここでは、どのようにゼロポイントを検知するかを説明します。図 4 に、ZPD の概要を示します。このアプリケーションノートでは、High-Z 信号において ZPD に対し ADC のパルスディテクションが使用されます。

図 5 に、ADC のパルスディテクション機能を示します。このパルスディテクションは、レンジディテクションのイベントをカウントすることでフィルタできます。これは、ポジティブカウンタとネガティブカウンタがあります。ADC のレンジディテクション閾値 (RANGE\_HI) において、閾値よりも高い値がポジティブ、閾値よりも低い値がネガティブになります。ポジティブイベントが発生したとき、ポジティブカウンタはデクリメントします。ポジティブカウンタがアンダフローしたとき、パルスディテクション割込みが発生します。同様に、ネガティブカウンタにおいても、アンダフローが発生したとき、パルスディテクション割込みが発生します。どちらかのカウンタアンダフローの後に、両方のカウンタがリロードされます。この機能は、High-Z の閾値を設定することによって ZPD を検知します。

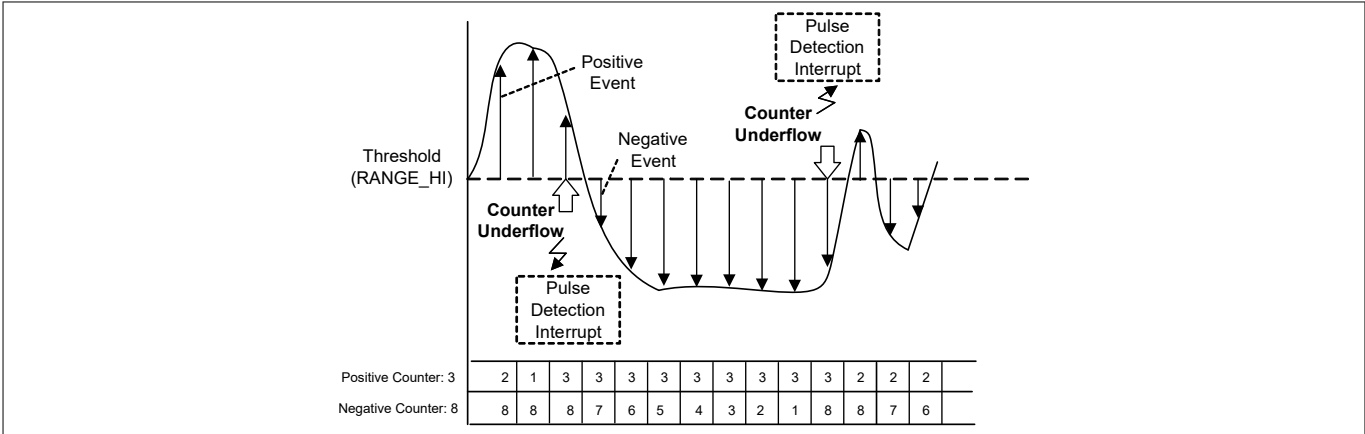


図 5 ADC のパルスディテクション機能の例

ADC のパルスディテクション設定は、アーキテクチャ TRM の「SAR ADC」章を参照してください。

## 3 操作概要

図 6 に、ZPD におけるピン 1 信号 High-Z の例を示します。

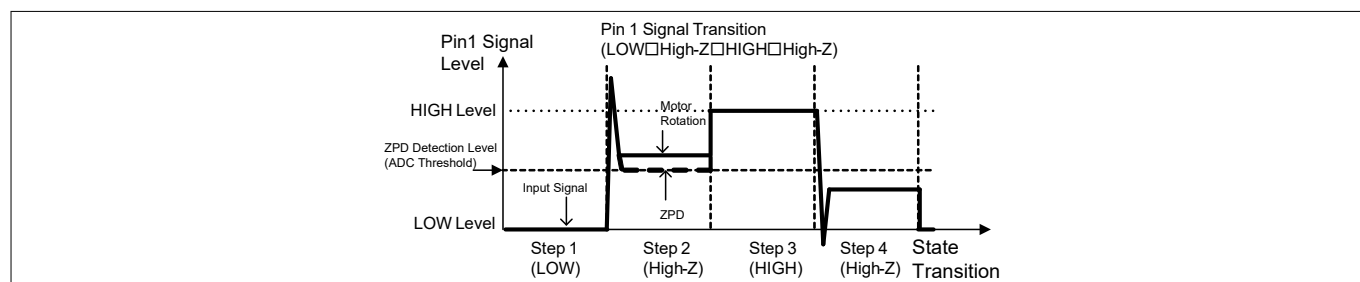


図 6 ZPD におけるピン 1 信号 High-Z の例

ステッピングモータの動作時、図 6 のように、注目点はステップ 2 波形における High-Z 信号です。この High-Z において、中間電位レベルの波形を調整するために、プルアップダウンの設定を行います。同様の波形が、ピン 3 へ出力されます。この中間電位レベルの調整は、ピン 1 とピン 3 両方に設定する必要があります。モータが停止すると、中間レベルにわずかな低下が現れます。このレベルは、波形によって測定できます。このポイントは、ADC のパルスディテクション機能を使用して、ディテクションレベルとして閾値を設定するために使用します。

図 6 のステップ 2 (High-Z) において、波形は最初瞬間的に立ち上がるように現れます。これは、モータの逆起電力 (BEMF) 特性によるものです。

## 4 ユースケースにおける動作例

### 4 ユースケースにおける動作例

ここでは、1つのモータに4つの入力信号による SMC のタイミングチャートと、TCPWM と ADC による ZPD について説明します。

図 7 に、1つのモータに対する SMC と ZPD 実装例のタイミングチャートを示します。

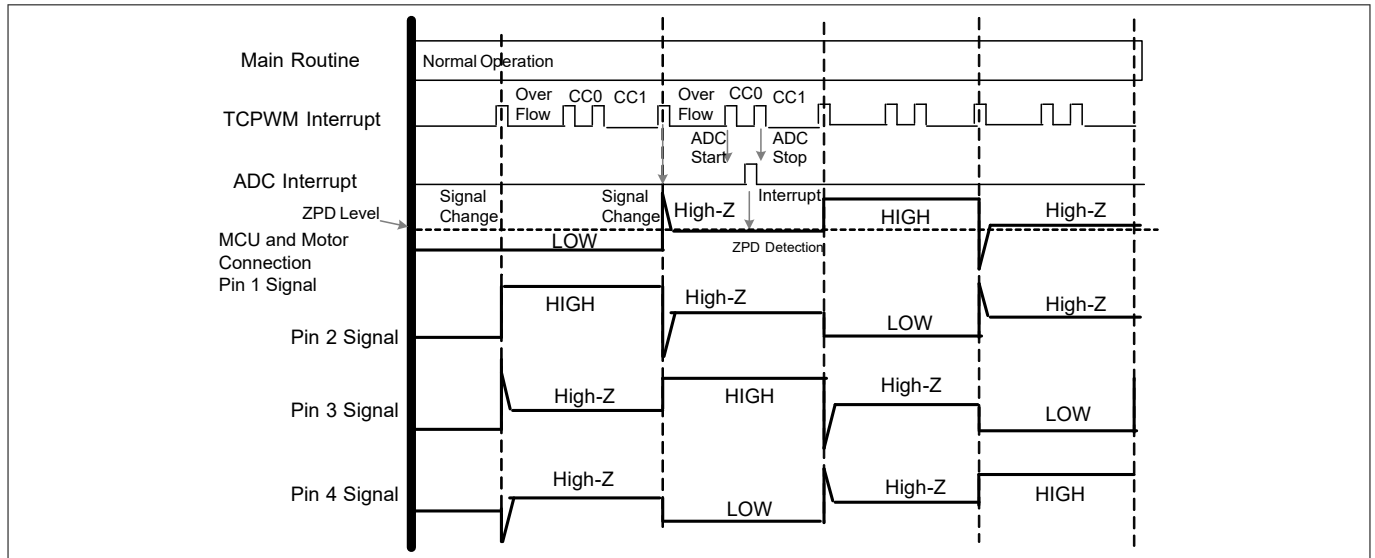
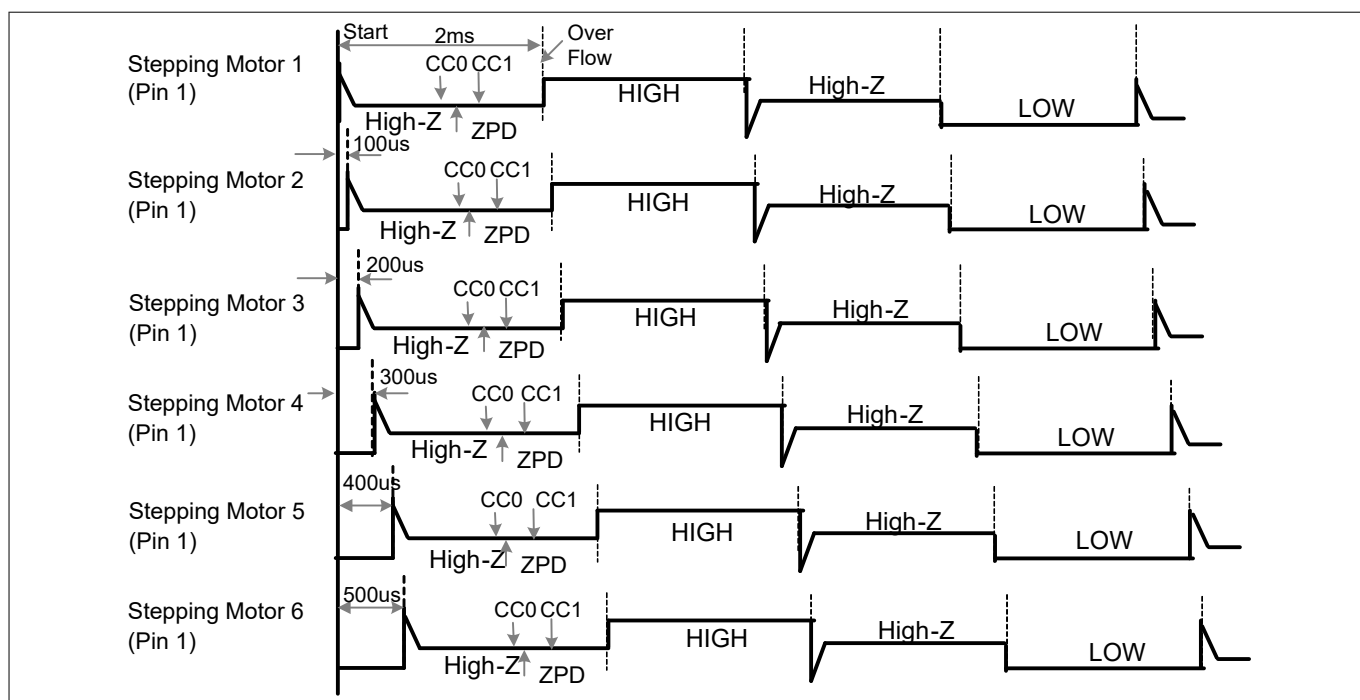


図 7 1つのモータに対する SMC と ZPD 実装例タイミングチャート

図 7 に、モータのピン 1 から 4 の信号と、TCPWM と ADC 割込みのタイミングチャートを示します。図 7 は、モータのピン 1 に対する TCPWM と ADC による ZPD の実装例も示します。はじめに、初期ルーチンは、TCPWM と ADC を初期化します。それから、TCPWM カウンタがオーバーフローしたとき、オーバーフロー割込みが発生します。MCU の信号は、オーバーフロー割込みが発生したとき変更します。TCPWM は、2つのコンペアマッチ機能 (CC0, CC1) を ADC の起動と終了に使用します。もし、TCPWM カウンタが、CC0 または CC1 のカウント値と一致したら、コンペアマッチ割込みが発生します。コンペアマッチ (CC0) 割込みは、図 6 のステップ 2 の High-Z において発生します。CC0 割込みは ADC を起動します。ADC が完了したとき、ADC 割込みが発生します。この ADC 割込みにおいて、ZPD をパルスディテクション機能の閾値によって確認することが可能です。もし、High-Z 信号の中間点が閾値よりも低下したら、ZPD として認識されます。そのため、モータの回転停止を検知することが可能です。2 目目のコンペアマッチ (CC1) 割込みが発生したとき、ADC は終了します。

図 8 に、6つのステッピングモータに対する SMC と ZPD のタイミングチャート例を示します。

## 4 ユースケースにおける動作例

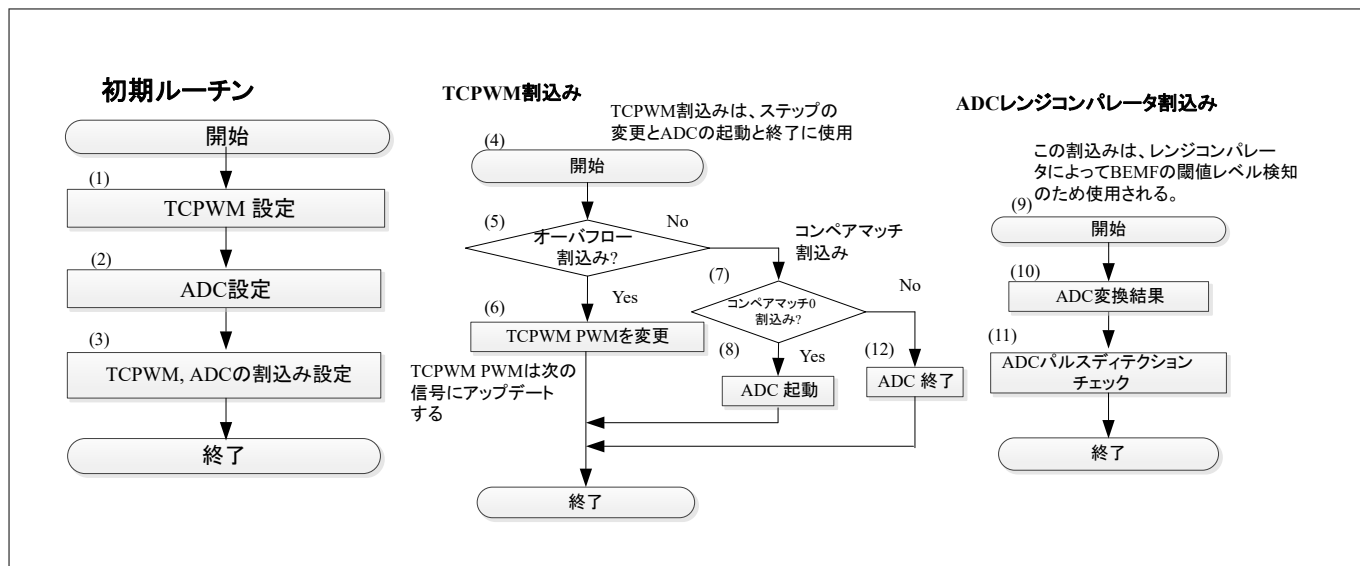


**図 8** 6つのステッピングモータの SMC と ZPD タイミングチャート例

**図 8** に、6つのステッピングモータそれぞれのピン 1 の SMC 信号とタイミング示します。

**図 8** のように、6つのステッピングモータ接続における ADC の ZPD ディテクションは、動作の開始時間を遅延させることによってオーバラップすることなく実行します。そのため、6つのステッピングモータすべてを制御することが可能です。

**図 9** に、SMC と ZPD 実装のフローを示します。この例は、1つのモータにおけるケースを示します。



**図 9** SMC と ZPD 実装フロー例

**表 2** に、1つの SMC と ZPD 実装における MCU のペリフェラル機能を示します。



## 4 ユースケースにおける動作例

表 2 1 つの SMC と ZPD における MCU パリフェラル機能

MCU パリフェラル機能	実装に向けた使用
TCPWM0	TCPWM0 はステップステートのアップデートと ADC の起動と停止に使用します。
TCPWM1	TCPWM1 は信号設定に使用します。
ADC0	ADC0 はピン 1 の ZPD をパルスディテクションするために使用します。
ADC1	ADC1 はピン 3 の ZPD をパルスディテクションするために使用します。

以下に、図 9 のフローを説明します。

1. 初期ルーチンにおいて、SMC に対する TCPWM の PWM とカウンタを初期設定してください。カウンタは割込みに使用します。PWM は信号の設定とアップデートに使用します。初期信号を PWM へ設定します。
2. ZPD のため ADC を初期化してください。ADC は、High-Z での AD 変換結果の取得とパルスディテクション機能を使用します。
3. 割込みを設定してください。TCPWM は、オーバフロー割込みとコンペアマッチ割込み設定をします。ADC は、ADC 完了割込みを設定します。
4. TCPWM カウンタのオーバフロー割込み発生時、TCPWM 割込みルーチンが実行されます。
5. 割込みルーチンは、オーバフローまたはコンペアマッチのいずれの割込みが発生したかを確認します。オーバフローの場合、手順 6 に進んでください。そうでない場合、手順 7 に進んでください。
6. TCPWM 割込みは次のステップに移行し、信号を変更します。
7. コンペアマッチ (CC0, CC1) 要因を確認してください。コンペアマッチ (CC0) の場合、手順 8 に進んでください。コンペアマッチ (CC1) の場合は、手順 12 に進んでください。
8. ADC を起動してください。
9. ADC 完了後、ADC 割込みが発生します。
10. ADC 割込みルーチンは、High-Z 信号の AD 変換結果を取得します。
11. パルスディテクション機能によって ZPD 検知を確認してください。
12. ADC を終了してください。
13. 上記手順 4 から 12 を繰り返すことによって、ステッピングモータ動作と ZPD の実装ができます。

## 5 ZPD 補正における提案

### 5 ZPD 補正における提案

ZPD 補正のためのサンプル手順を説明します。

1. ソフトウェアで、各モータの閾値レベルの差異を確認してください。
2. モータが停止するまで回転させて、波形と ADC 変換結果を測定してください。
3. 外部実験装置に波形データを送信し、レンジコンパレータの閾値レベルに対する適切な範囲を計算してください。
4. ワークフラッシュに計算した閾値レベルを書き込んでください。
5. 計算値を反映したアプリケーションソフトウェアを再実行し、外観から検査して針のゼロポイントを確認してください。

## 6 用語集

## 6 用語集

表 3 用語集

用語	説明
ADC	Analog Digital Conversion (アナログ-デジタル変換)。詳細については、 <a href="#">Architecture TRM</a> の「SAR ADC」章を参照してください。
MCU	Microcontroller Unit (マイクロコントローラー ユニット)
SMC	Stepper/Stepping Motor Controller
TCPWM	Timer, Counter, and Pulse Width Modulator (タイマ/カウンタ/パルス幅変調器)。詳細については、 <a href="#">Architecture TRM</a> の「Timer, Counter, and PWM」章を参照してください。
ZPD	Zero Point Detection (ゼロ点検出)

## 7 関連ドキュメント

### 7 関連ドキュメント

以下は TRAVEO™ T2G ファミリのデータシートおよびテクニカルリファレンスマニュアルです。これらの資料を入手するには[テクニカルサポート](#)に連絡してください。

- デバイスデータシート
  - CYT4DN Datasheet 32-Bit Arm® Cortex® -M7 microcontroller TRAVEO™ T2G Family
- CYT4D シリーズ
  - TRAVEO™ T2G Automotive Cluster 2D Family Architecture Technical Reference Manual (TRM)
  - TRAVEO™ T2G Automotive Cluster 2D Registers Technical Reference Manual (TRM)

## 改訂履歴

### 改訂履歴

版数	発行日	変更内容
**	2020-10-22	これは英語版 002-26036 Rev. **を翻訳した日本語版 002-31399 Rev. **です。
英語版*A	2021-03-11	本版は英語版のみの発行です。英語版の改訂内容: Updated to Infineon template.
*A	2024-06-12	これは英語版 002-26036 Rev. *B を翻訳した日本語版 002-31399 Rev. *A です。英語版の改訂内容: Template update; no content update

## Trademarks

All referenced product or service names and trademarks are the property of their respective owners.

**Edition 2024-06-12**

**Published by**

**Infineon Technologies AG**  
**81726 Munich, Germany**

**© 2024 Infineon Technologies AG**  
**All Rights Reserved.**

**Do you have a question about any aspect of this document?**

**Email: [erratum@infineon.com](mailto:erratum@infineon.com)**

**Document reference**  
**IFX-vst1685623709660**

## 重要事項

本手引書に記載された情報は、本製品の使用に関する手引きとして提供されるものであり、いかなる場合も、本製品における特定の機能性能や品質について保証するものではありません。本製品の使用前に、当該手引書の受領者は実際の使用環境の下であらゆる本製品の機能及びその他本手引書に記された一切の技術的情報について確認する義務が有ります。インフィニオンテクノロジーズはここに当該手引書内で記される情報につき、第三者の知的所有権の不侵害の保証を含むがこれに限らず、あらゆる種類の一切の保証および責任を否定いたします。

本文書に含まれるデータは、技術的訓練を受けた従業員のみを対象としています。本製品の対象用途への適合性、およびこれら用途に関連して本文書に記載された製品情報の完全性についての評価は、お客様の技術部門の責任にて実施してください。

## 警告事項

技術的要件に伴い、製品には危険物質が含まれる可能性があります。当該種別の詳細については、インフィニオンの最寄りの営業所までお問い合わせください。

インフィニオンの正式代表者が署名した書面を通じ、インフィニオンによる明示の承認が存在する場合を除き、インフィニオンの製品は、当該製品の障害またはその使用に関する一切の結果が、合理的に人的傷害を招く恐れのある一切の用途に使用することはできないこと予めご了承ください。