

## Application Note

**MSPM0C1104 を使用した広範囲にわたる高分解能の PWM 信号キャプチャ**

Joe Ji, Janz Bai

**概要**

システム設計では、PWM 信号は速度制御またはフィードバックとして使用されます。システム制御の精度要件を満たすには、さまざまな周期で PWM 信号を正確に測定することが重要になります。通常、高分解能の PWM 信号キャプチャを実現するには、高い MCU クロック周波数が必要です。このアプリケーション ノートでは、24MHz の MCU クロック周波数で動作する MSPM0C1104 を使用して、周波数範囲 100Hz ~ 10KHz での入力 PWM デューティ サイクルと周期のキャプチャ誤差を 1% 未満に抑えます。低消費電力のシステム設計にとってこれは大きな利点となります。

**目次**

<b>1 はじめに</b> .....	<b>2</b>
1.1 PWM 信号キャプチャの概要.....	2
1.2 MSPM0C110x の概要.....	2
<b>2 PWM 信号キャプチャ</b> .....	<b>3</b>
2.1 PWM 信号キャプチャ方式.....	3
2.2 TIMx CC ブロックによる PWM 信号キャプチャ.....	3
2.3 GPIO 割り込みによる PWM 信号キャプチャ.....	4
2.4 さまざまな PWM 信号キャプチャ設計の比較.....	5
<b>3 ソフトウェアの実現</b> .....	<b>6</b>
3.1 立ち上がりエッジと立下りエッジの識別.....	6
3.2 時間順序の分類.....	6
3.3 信号フィルタと結果計算.....	8
<b>4 システム テスト</b> .....	<b>9</b>
4.1 テスト設定.....	9
4.2 変数モニタ.....	9
4.3 PWM 信号キャプチャの分解能のテストと比較.....	9
<b>5 まとめ</b> .....	<b>11</b>
<b>6 参考資料</b> .....	<b>11</b>

**商標**

Arm® and Cortex® are registered trademarks of Arm Limited.

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

## 1 はじめに

### 1.1 PWM 信号キャプチャの概要

PWM 信号は、システム設計において速度制御やフィードバックとして広く使用されています。高い PWM キャプチャ精度を達成するには、比較的高い MCU CLK 周波数が必要です。MSPM0C110x シリーズ MCU は、さまざまなペリフェラルがあるシステム設計では有利ですが、MCU CLK がわずか 24MHz であるため、PWM キャプチャでエラーが発生する可能性があります。このアプリケーションレポートでは、1 つのタイマと 1 つの GPIO のみを搭載した MSPM0C110x シリーズ MCU を使用して PWM キャプチャエラーの回避方法を紹介します。この回避方法により、追加作業なしで、100% と 0% の PWM デューティサイクルを特定することもできます。

### 1.2 MSPM0C110x の概要

MSPM0C110x マイクロコントローラ (MCU) は、最大 24MHz の周波数で動作する拡張 Arm® Cortex®-M0+ コアプラットフォームに基づく MSP 高集積超低消費電力 32 ビット MCU ファミリの一部です。これらの MCU は、高性能アナログペリフェラルを統合しています。

MSPM0C110x デバイスは最大 16KB の組込みフラッシュ プログラム メモリと 1KB の SRAM を内蔵しています。このデバイスには、各種の高性能アナログ ペリフェラル (電圧リファレンスとして VDD を含む 12 ビット 1.5MSPS ADC、1 つのオンチップ温度センサなど) が搭載されています。さらに、1 つの 16 ビット高度タイマ、2 つの 16 ビット汎用タイマ、1 つのウィンドウ付きウォッチドッグ タイマ、各種通信ペリフェラル (1 つの UART、1 つの SPI、1 つの I2C など) などのインテリジェントなデジタル ペリフェラルも備えています。これらの通信ペリフェラルは LIN、IrDA、DALI、マンチェスター、スマートカード、SMBus、PMBus プロトコルをサポートしています。

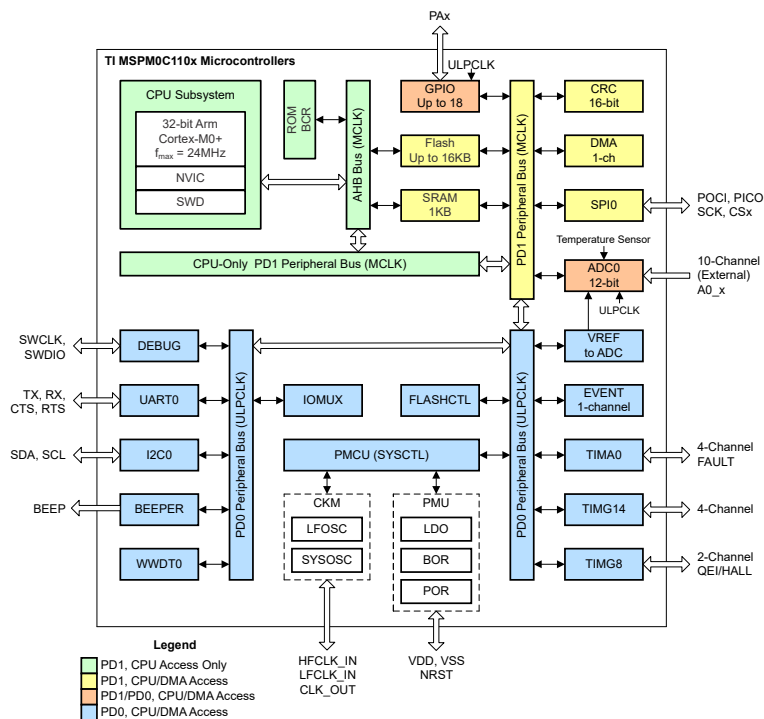


図 1-1. MSPM0C110x の機能ブロック図

## 2 PWM 信号キャプチャ

### 2.1 PWM 信号キャプチャ方式

このセクションでは、2 つの PWM 入力信号キャプチャ方式について説明します。1 つ目は TIMx CC ブロックを使用した PWM 信号キャプチャ方式で、2 つ目は GPIO 割り込みを使用した PWM 信号キャプチャ方式です。

### 2.2 TIMx CC ブロックによる PWM 信号キャプチャ

キャプチャ/コンペア (CC) ブロックは、キャプチャイベントまたは比較イベントに使用されます。MSPM0C シリーズの MCU を使用する場合、TIMG には同一のキャプチャ/コンペア ブロックが最大 2 つあり、TIMA には外部信号や内部信号に対応するために同一のキャプチャ/コンペア ブロックが最大 4 つあります。タイマ キャプチャ モードは、キャプチャ イベントを生成し、時間間隔を記録するために使用します。このモードは速度計算や時間測定に役立ちます。キャプチャ モード構成に関する CC ロック設定と主要レジスタの詳細については、『MSPM0C シリーズ 24MHz マイクロコントローラ デジタル リファレンス マニュアル』を参照してください。

2 つのキャプチャレジスタを使用すると、1 つの入力波形のパルス幅と周期キャプチャを組み合わせることができます。入力信号は CCP のチャンネル 0 に外部から接続でき、IFCTL\_01[1] レジスタは、入力が CCP のチャンネル 1 に内部的に接続されるように構成できます。そのため、キャプチャレジスタ 0 (TIMx.CC0) はパルス幅をキャプチャし、キャプチャレジスタ 1 (TIMx.CC1) は周期をキャプチャします。結合されたパルス幅と周期のキャプチャに対して予想される内部タイミングを 図 2-1 に示します。

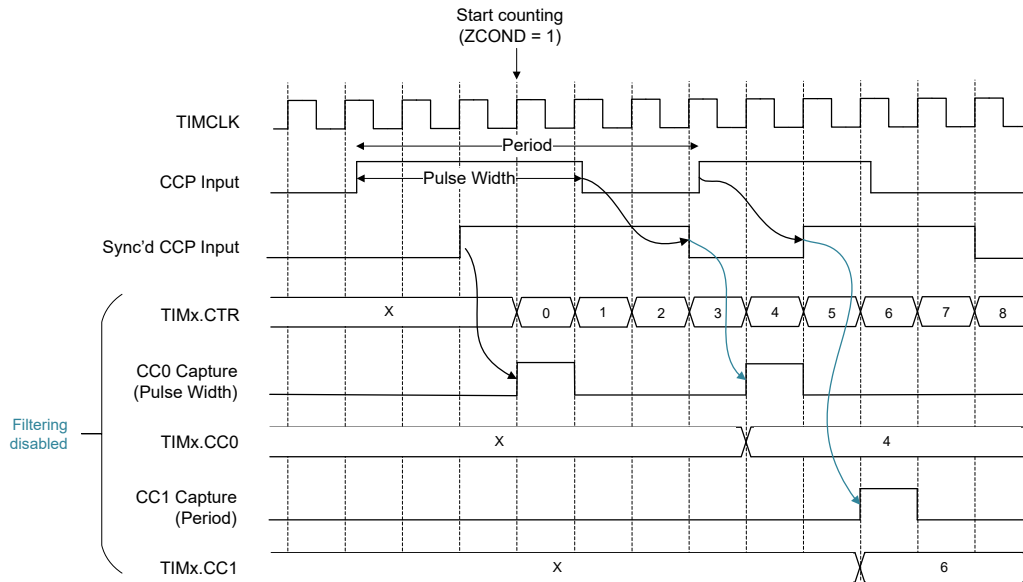


図 2-1. 結合されたパルス幅と周期のキャプチャ

デューティと周期の計算式は次のとおりです。

$$Period = T_{Load} - T_{Cc1} \quad (1)$$

$$Duty = \frac{(T_{load} - T_{CC0})}{Period} \quad (2)$$

- $T_{load}$  は、TIMx.CTR でロードされた最大値です
- $T_{cc0}$  は、TIMx.CC0 のキャプチャ値です
- $T_{cc1}$  は、TIMx.CC1 のキャプチャ値です

この式は、TIMx.CTR がカウントダウン モードに設定されている場合に機能します。

図 2-2 には、T1 でキャプチャされた最初の入力エッジ信号の後に TIMx.CTR を手動で再ロードする必要があるため、この方法のキャプチャ時間の順序が示されています。このエラーは T1 から T2 までの遅延時間によって発生します。

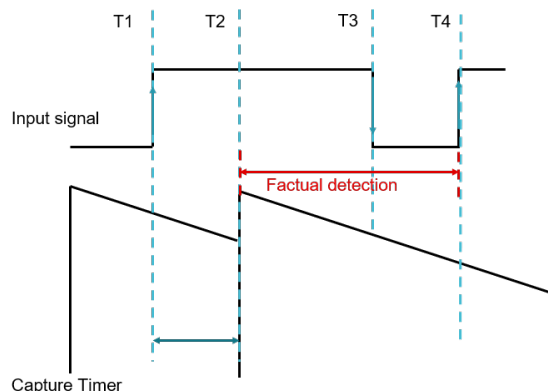


図 2-2. Timx CC ブロックによる PWM デューティ周期キャプチャのタイマ順序

- T1: 割り込みをトリガして PRD 値を CTR にロードする
- T2: タイマ カウント値を割り込みハンドルのロード値に戻す
- T2 - T1: 割り込みハンドラをロード値に入れる時間間隔
- T3: CC0 にロードされた値をカウントする
- T4: CC1 にロードされた値をカウントして割り込みをトリガする

### 2.3 GPIO 割り込みによる PWM 信号キャプチャ

PWM のデューティおよび周期キャプチャは、ソフトウェアで GPIO 割り込みを使用しても実現できます。CPU 割り込みは、GPIO の立ち下がりエッジと立ち上がりエッジの両方で、GPIO ファースト イベント パブリッシャと生成できます。ユーザーは、GPIO 割り込みの CPU タイマ動作を制御して、PWM のデューティと周期をキャプチャできます。キャプチャの時間順序については、後のセクションで説明します。ソフトウェアの詳細については次の章で説明します。キャプチャ精度を向上させるには、GPIO 割り込みの開始直後にタイマを開始または停止し、T1、T2、T3 の間で生じる均等な短い SW 遅延を検証する必要があります。この PWM デューティと周期のキャプチャ方式の時間順序を 図 2-3 に示します。

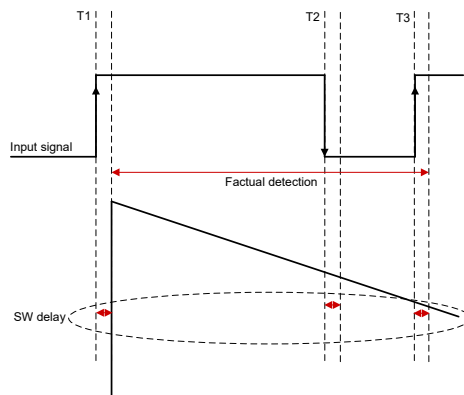


図 2-3. GPIO 割り込みによる PWM デューティ周期キャプチャのタイマ順序

- T1: 立ち上がりエッジで GPIO 割り込みをトリガし、タイマを開始します。
- T2: 立ち下がりエッジで GPIO 割り込みをトリガし、TIMx.CTR 値を記録します。
- T3: 立ち上がりエッジで GPIO 割り込みをトリガし、タイマを停止します。

## 2.4 さまざまな PWM 信号キャプチャ設計の比較

表 2-1 は、MCU ハードウェアによって実現される TIMx CC ブロックによる PWM 信号キャプチャの表に従って、2 つの PWM キャプチャ方式の違いを示しています。GPIO 割り込みによる PWM 信号キャプチャは、より高い精度と実行可能性を実現できます。

**表 2-1. PWM 信号キャプチャ方式の比較**

項目	TIMx CC ブロックによる PWM 信号キャプチャ	GPIO 割り込みによる PWM 信号キャプチャ
キャプチャ遅延	タイマ キャプチャ ブロックによって決まる	割り込みとソフトウェアによって決まる
キャプチャ エラー	タイマ キャプチャ ブロックによって決まる	SW による管理が可能
絶対誤差	PWM の周波数とデューティ サイクルによって異なる	1% 未満であれば容易に誤差を補償できる

### 3 ソフトウェアの実現

デモコードは E2E フォーラムを通じてダウンロードできます。「参照」セクションにフォーラムのリンクが掲載されています。GPIO 割り込み機能による PWM 信号キャプチャを検証するには、CCS プロジェクト事前定義シンボルウィンドウに「Capture\_IO」を追加し、TIMx CC ブロックによる PWM 信号キャプチャを検証するには、CCS プロジェクト事前定義シンボルウィンドウに「Capture\_CC」を追加してください。

#### 3.1 立ち上がりエッジと立ち下りエッジの識別

GPIO 割り込みは、GPIO の立ち上がりエッジと立ち下りエッジの両方でトリガされます。表 3-1 に従って、GPIO 状態を読み取り、GPIO 立ち上がりエッジで割り込みをトリガするか、GPIO 立ち下りエッジで割り込みをトリガするかを特定します。

表 3-1. GPIO の立ち下がりと立ち上がりのエッジ割り込み

GPIO 状態	割り込みをトリガする GPIO エッジ
GPIO 入力 = L 低レベル	立ち下りエッジ
GPIO 入力 = 高レベル	立ち上がりエッジ

#### 3.2 時間順序の分類

このデモでは、GPIO の立ち下りエッジを 1 つの PWM パルスの開始ととらえます。時間順序が正しいと、最初の立ち下りエッジが検出され、立ち上がりエッジが検出され、2 番目の立ち下りエッジが検出されます。コーナー ケースによっては、PWM デューティサイクルが 0.2% を下回ることや、PWM デューティサイクルが 99.7% を上回ることがあります。ノイズが原因で時間順序が不正確になる可能性があります。デモの gflag と gflag\_2 は、正しい時刻順序を特定するために設定されています。さまざまな状況での対応するアクションを表 3-2 に示します

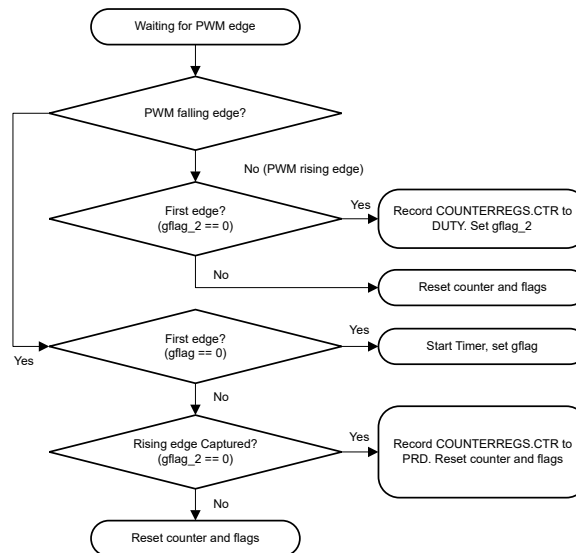


図 3-1. GPIO 割り込みによる PWM デューティ周期キャプチャのソフトウェア図

**表 3-2. さまざまな条件での GPIO 割り込みハンドラのアクション**

GPIO エッジ	gflag	gflag_2	アクション
立ち上がりエッジ	0	0	何もしない
	0	1	発生しない
	1	0	COUNTERREGS.CTR を DUTY に記録し、gflag_2 を設定する
	1	1	カウンタとフラグをリセットする
立ち下がりエッジ	0	0	タイマーを開始し、gflag を設定する
	0	1	発生しない
	1	0	カウンタとフラグをリセットする
	1	1	COUNTERREGS.CTR を PRD に記録し、フラグをリセットする

### 3.3 信号フィルタと結果計算

入力ジッタとノイズの影響を回避するため、デモコードにより、キャプチャされたデューティ サイクルと周期に対してファイラウインドウが設定されます。これはマクロ定義「*Filterwindow*」で変更できます。信号フィルタと結果の計算フローについては、[図 3-2](#)を参照してください。

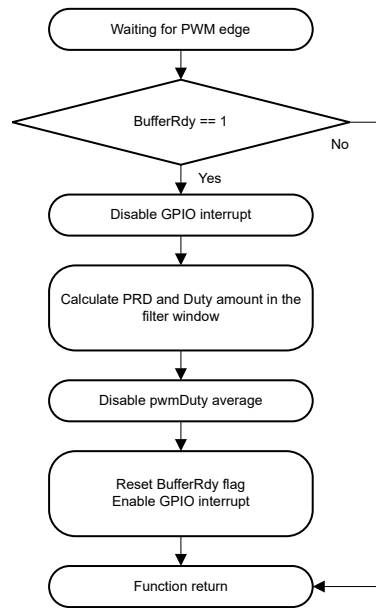


図 3-2. 信号フィルタと結果計算のソフトウェア図



## 4 システム テスト

このセクションでは、PWM キャプチャ方式のテスト設定とテスト結果について説明します。

### 4.1 テスト設定

テスト用のリファレンス PWM を取得するには、波形ジェネレータが必要です。波形ジェネレータの代わりに、高精度 PWM を生成できる別の MCU または DSP を使用することもできます。PWM 信号を PA23 に、GND を LP-MSPM0C1104 に接続します。図 4-1 に示すように、micro-USB ケーブルを介して LP-MSPM0C1104 を PC に接続します。

デモコードは E2E フォーラムでダウンロードできます。「参照」セクションにフォーラムのリンクを掲載しています。事前定義されたシンボル **Capture\_CC** を追加して「ビルド」をクリックし、TIMx CC ブロックによる PWM 信号キャプチャをデバッグするか、事前定義されたシンボル **Capture\_IO** を追加して「ビルド」をクリックし、GPIO 割り込みによる PWM 信号キャプチャをデバッグします。プロジェクトの「タイマクロックプリスケアラ」を 5 に設定し、「必要なタイマ期間」を 12ms に設定して、100Hz 周波数 PWM をキャプチャします。

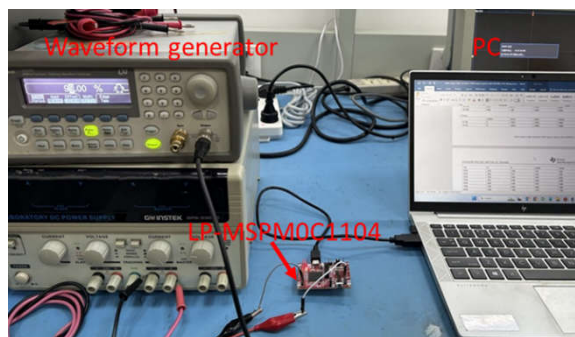


図 4-1. テスト用ハードウェア設定

### 4.2 変数モニタ

どちらのプロジェクトでも、モニタ変数は *pwmDuty* です。キャプチャ誤差を得るため、この値と、波形ジェネレータで設定された実際の PWM デューティを比較します。

### 4.3 PWM 信号キャプチャの分解能のテストと比較

フルレンジとコーナー ケースで 2 つの方式の性能を比較するため、このテストでは 100Hz/ 2KHz/ 5KHz/ 10KHz PWM 周波数を使用し、PWM デューティサイクルの範囲を 0.2% ~ 99.8% にします。図 4-2 は、GPIO 割り込み (青線) と TIMx CC ブロック (オレンジ線) による誤差の比較を示しています。x 軸は PWM デューティサイクルを表して、コーナー ケースを適切に表示するため値は比例しません。y 軸はキャプチャ誤差 (%) を表します。表 4-1 および表 4-2 に、GPIO 割り込み (青線) と TIMx CC ブロック (オレンジ線) によるキャプチャ結果を示します。

すべての PWM デューティ範囲において、GPIO 割り込み方式はキャプチャ誤差を 1% 未満に維持します。また、PWM デューティが 1% 未満および 99% を超える場合は、コーナー ケースで堅牢な性能を発揮し、異常データを回避します。TIMx CC ブロック方式は、PWM デューティが特に 99% を超える場合に高分解能を示していますが、100% を超える誤った結果が出ないようにするため、PWM デューティが 1% 未満のときはキャプチャ値を手動で補正する必要があります。

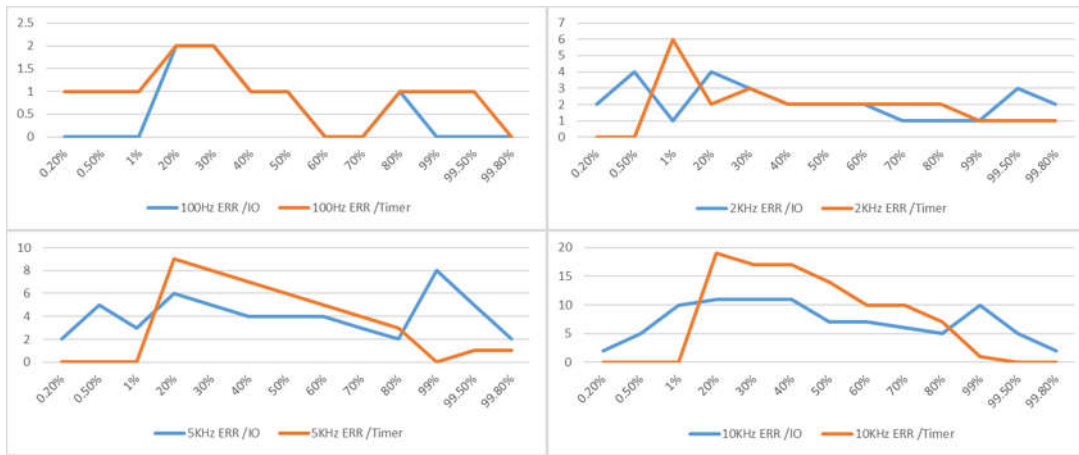


図 4-2. PWM デューティ キャプチャ誤差の比較

表 4-1. GPIO 割り込みによる PWM デューティ サイクル キャプチャ エラー

入力信号	100Hz		2KHz		10KHz			
	計算結果	エラー	計算結果	エラー	計算結果	エラー	計算結果	エラー
0.2%	0.2%	0	0.0%	0.2%	0.0%	0.2%	0.0%	0.2%
0.5%	0.5%	0	0.9%	0.4%	0.0%	0.5%	0.0%	0.5%
1%	1.0%	0	1.1%	0.1%	2.3%	0.3%	0.0%	1.0%
20%	20.2%	0.2%	20.4%	0.4%	20.6%	0.6%	21.0%	1.0%
30%	30.2%	0.2%	30.3%	0.3%	30.5%	0.5%	31.0%	1.0%
40%	40.1%	0.1%	40.2%	0.2%	40.4%	0.4%	41.0%	1.0%
50%	50.1%	0.1%	50.2%	0.2%	50.4%	0.4%	50.7%	0.7%
60%	60.0%	0	60.2%	0.2%	60.4%	0.4%	60.7%	0.7%
70%	70.0%	0	70.1%	0.1%	70.3%	0.3%	70.6%	0.6%
80%	79.9%	0.1%	80.1%	0.1%	80.2%	0.2%	80.5%	0.5%
99%	99.0%	0	99.1%	0.1%	98.2%	0.8%	100.0%	1.0%
99.5%	99.5%	0	99.2%	0.3%	100.0%	0.5%	100.0%	0.5%
99.8%	99.8%	0	100.0%	0.2%	100.0%	0.2%	100.0%	0.2%

表 4-2. TIMx CC ブロックによる PWM デューティ サイクル キャプチャ エラー

入力信号	100Hz		2KHz		5KHz		10KHz	
	計算結果	エラー	計算結果	エラー	計算結果	エラー	計算結果	エラー
0.2%	0.1%	0.1%	0%	0.2%	0%	0.2%	0%	0.2%
0.5%	0.4%	0.1%	0%	0.5%	0%	0.5%	0%	0.5%
1%	0.9%	0.1%	0.4%	0.6%	0%	1.0%	0%	1.0%
20%	20.2%	0.2%	19.8%	0.2%	19.1%	0.9%	18.1%	1.9%
30%	30.2%	0.2%	29.7%	0.3%	29.2%	0.8%	28.3%	1.7%
40%	40.1%	0.1%	39.8%	0.2%	39.3%	0.7%	38.3%	1.7%
50%	50.1%	0.1%	49.8%	0.2%	49.4%	0.6%	48.6%	1.4%
60%	60.0%	0	59.8%	0.2%	59.5%	0.5%	59.0%	1.0%
70%	70.0%	0	69.8%	0.2%	69.6%	0.4%	69.0%	1.0%
80%	79.9%	0.1%	79.8%	0.2%	79.7%	0.3%	79.3%	0.7%
99%	98.9%	0.1%	98.9%	0.1%	99.0%	0	98.9%	1.0%
99.5%	99.4%	0.1%	99.4%	0.1%	99.4%	0.1%	99.5%	0
99.8%	99.8%	0	99.7%	0.1%	99.7%	0.1%	99.8%	0

## 5 まとめ

このアプリケーション ノートでは、1 つのタイマと 1 つの GPIO のみを搭載した MSPM0C110x シリーズ MCU を使用して PWM キャプチャ エラーの回避方法を紹介します。この回避方法により、追加作業なしで、100% と 0% の PWM デューティ サイクルを特定することもできます。このテスト結果から、この方式では PWM 周波数範囲 100Hz ~ 10KHz でキャプチャ誤差を 1% 未満に維持できることが分かります。テスト結果はさらに、PWM デューティ 1% 未満およびコーナー ケース 99% 超過における堅牢性も示しています。

## 6 参考資料

- テキサス インストルメンツ、『[MSPM0 C シリーズ 24MHz マイクロコントローラ テクニカル リファレンス マニュアル](#)』、テクニカル リファレンス マニュアル。
- テキサス・インストルメンツ、『[MSPM0C110x, MSPS003 ミクスト シグナル マイクロコントローラ](#)』データシート
- テキサス・インストルメンツ、『[E2E フォーラム](#)』、E2E フォーラム。

## 重要なお知らせと免責事項

テキサス・インスツルメンツは、技術データと信頼性データ (データシートを含みます)、設計リソース (リファレンス デザインを含みます)、アプリケーションや設計に関する各種アドバイス、Web ツール、安全性情報、その他のリソースを、欠陥が存在する可能性のある「現状のまま」提供しており、商品性および特定目的に対する適合性の黙示保証、第三者の知的財産権の非侵害保証を含むいかなる保証も、明示的または黙示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、テキサス・インスツルメンツ製品を使用する設計の経験を積んだ開発者への提供を意図したものです。(1) お客様のアプリケーションに適したテキサス・インスツルメンツ製品の選定、(2) お客様のアプリケーションの設計、検証、試験、(3) お客様のアプリケーションに該当する各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、規制、または他の要件への確実な適合に関する責任を、お客様のみが単独で負うものとします。

上記の各種リソースは、予告なく変更される可能性があります。これらのリソースは、リソースで説明されているテキサス・インスツルメンツ製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、テキサス・インスツルメンツはその使用をお客様に許諾します。これらのリソースに関して、他の目的で複製することや掲載することは禁止されています。テキサス・インスツルメンツや第三者の知的財産権のライセンスが付与されている訳ではありません。お客様は、これらのリソースを自身で使用した結果発生するあらゆる申し立て、損害、費用、損失、責任について、テキサス・インスツルメンツおよびその代理人を完全に補償するものとし、テキサス・インスツルメンツは一切の責任を拒否します。

テキサス・インスツルメンツの製品は、[テキサス・インスツルメンツの販売条件](#)、または [ti.com](https://www.ti.com) やかかるテキサス・インスツルメンツ製品の関連資料などのいずれかを通じて提供する適用可能な条項の下で提供されています。テキサス・インスツルメンツがこれらのリソースを提供することは、適用されるテキサス・インスツルメンツの保証または他の保証の放棄の拡大や変更を意味するものではありません。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案した場合でも、テキサス・インスツルメンツはそれらに異議を唱え、拒否します。

郵送先住所: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265  
Copyright © 2025, Texas Instruments Incorporated

## 重要なお知らせと免責事項

テキサス・インスツルメンツは、技術データと信頼性データ(データシートを含みます)、設計リソース(リファレンス デザインを含みます)、アプリケーションや設計に関する各種アドバイス、Web ツール、安全性情報、その他のリソースを、欠陥が存在する可能性のある「現状のまま」提供しており、商品性および特定目的に対する適合性の黙示保証、第三者の知的財産権の非侵害保証を含むいかなる保証も、明示的または黙示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、テキサス・インスツルメンツ製品を使用する設計の経験を積んだ開発者への提供を意図したものです。(1) お客様のアプリケーションに適したテキサス・インスツルメンツ製品の選定、(2) お客様のアプリケーションの設計、検証、試験、(3) お客様のアプリケーションに該当する各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、規制、または他の要件への確実な適合に関する責任を、お客様のみが単独で負うものとし、ます。

上記の各種リソースは、予告なく変更される可能性があります。これらのリソースは、リソースで説明されているテキサス・インスツルメンツ製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、テキサス・インスツルメンツはその使用をお客様に許諾します。これらのリソースに関して、他の目的で複製することや掲載することは禁止されています。テキサス・インスツルメンツや第三者の知的財産権のライセンスが付与されている訳ではありません。お客様は、これらのリソースを自身で使用した結果発生するあらゆる申し立て、損害、費用、損失、責任について、テキサス・インスツルメンツおよびその代理人を完全に補償するものとし、テキサス・インスツルメンツは一切の責任を拒否します。

テキサス・インスツルメンツの製品は、[テキサス・インスツルメンツの販売条件](#)、または [ti.com](https://www.ti.com) やかかるテキサス・インスツルメンツ製品の関連資料などのいずれかを通じて提供する適用可能な条項の下で提供されています。テキサス・インスツルメンツがこれらのリソースを提供することは、適用されるテキサス・インスツルメンツの保証または他の保証の放棄の拡大や変更を意味するものではありません。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案した場合でも、テキサス・インスツルメンツはそれらに異議を唱え、拒否します。

郵送先住所：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265  
Copyright © 2025, Texas Instruments Incorporated