

Application Note

低コストの AC ゼロ交差検出設計



Zoey Wei

概要

このアプリケーション ノートでは、最大数百ボルトの電圧で動作する AC 電源ラインのゼロ交差点を検出するための簡素化された手法を説明します。この設計は、外付け部品要件は最小限で、完全な機能の検出回路を実装するのに必要な抵抗は 1 つだけです。これに基づき、コストを重視しスペース制約が厳しいアプリケーションにおいて、大きなメリットがあります。

目次

1 実装.....	2
2 MSPM0 での GPIO の選択.....	4
3 代表的なアプリケーション.....	5
3.1 AC ドロップ.....	5
3.2 TRIAC 制御.....	6
4 まとめ.....	7
5 参考資料.....	7

商標

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

1 実装

この設計では、信頼性の高いゼロ交差検出を実現するのに必要となる、MSPM0 マイコンの内部クランプ ダイオードと組み合わせた外付け抵抗は 1 つだけです。

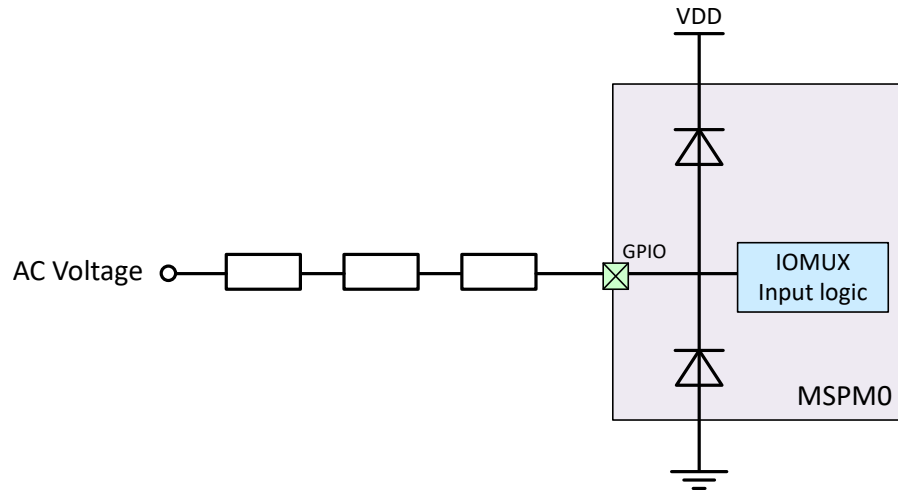


図 1-1. ZCD の図

クランプ ダイオードを内蔵しているため、入力電圧を $-0.3V$ から $VDD + 0.3V$ の範囲に制限し、静電気放電 (ESD) からマイコンを保護します。内部 IOMUX の詳細については、「[MSPM0 C シリーズ マイコン](#)」を参照してください。この設計では、このクランプ メカニズムにより、 VDD を超えるまたは $0V$ を下回る外部から印加される AC 電圧が $0-VDD$ 範囲内に強制的に制限されます。重要なのは、自然にこの有効電圧ウィンドウ内に収まる元の AC 信号セグメントは影響を受けず、ゼロ交差特性が維持されることです。そのため、マイコンは GPIO 割り込みまたは類似の方法を使用して AC ゼロ交差モーメントを確実に検出でき、指定された動作条件への厳格な準拠を維持できます。このアプローチにより、デバイスの整合性を損なうことなく、高精度の AC 信号監視を実現できます。

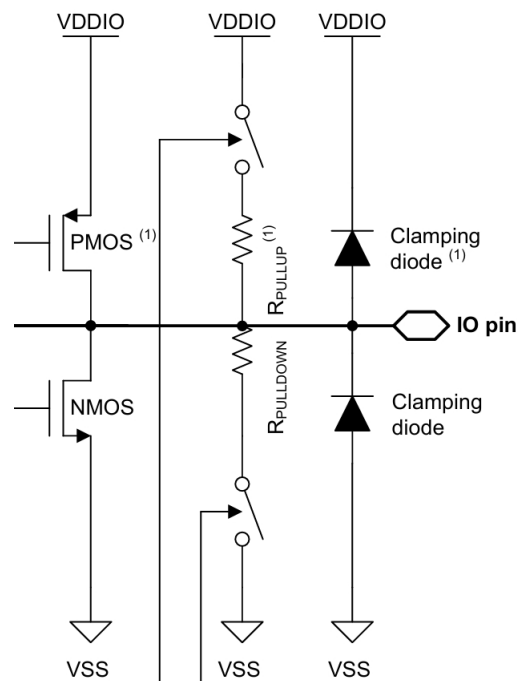


図 1-2. マイコン IOMUX 図

データシートで定義されている MSPM0 マイコンの 6mA の GPIO 入力電流制限に厳密に準拠するための最も安価な方法は、直列接続抵抗ネットワークを使用したハイインピーダンス電流制限設計です。ここでは、1M Ω を選択します。この構成では、中国の標準的な 220VAC/50Hz の商用電源電圧 ($220V_{rms} \times \sqrt{2}/1M\Omega$ と計算) にさらされたとき、ピーク入力電流が実質的に約 311 μ A に制限され、デバイスの絶対最大定格内で信頼性の高い動作が検証されます。

回路の性能特性を向上させるために、1 つの高価値コンポーネントではなく複数の直列抵抗を採用した分散抵抗トポロジの導入を具体的に選択しました。このアプローチは、電界ストレス分布を改善することにより電圧耐力を検証するだけでなく、熱による経年劣化の影響を最小限に抑え、シングルポイント故障モードを排除して長期的な信頼性を最適化します。

2 MSPM0 での GPIO の選択

MSPM0 のすべての汎用 I/O (GPIO) ピンには、5V 許容のオープンドレイン IO ピンを除いて、クランプ ダイオードが装備されています。ODID ピンを使用する場合は、追加の外部保護回路が必要になることがあります。

アナログ ADC 機能付き GPIO を構成する場合、隣接ピン電流による影響を慎重に考慮する必要があります。1 つのチャネルの ADC 変換時に、VDD (正注入) を超える隣接ピンで注入電流が発生した場合、これにより PMOS スイッチがアクティブになり、中間ノードがグランドにプルダウンされます。これにより、ADC チャネルを通過するのではなくグランドへの代替電流パスが作成されるため、リーケージ干渉が防止され、変換精度が維持されます。

逆に、図 2-2 に示すように、負の注入 ($< 0V$) では、隣接するピンが $-0.7V$ まで低下したときに NMOS スイッチがアクティブになり、ON チャネルに意図しないリークが流れます。これにより、導通パスでの電圧降下が発生し、最終的に ADC の読み取り値が歪んで、コード誤差を引き起こす可能性があります。

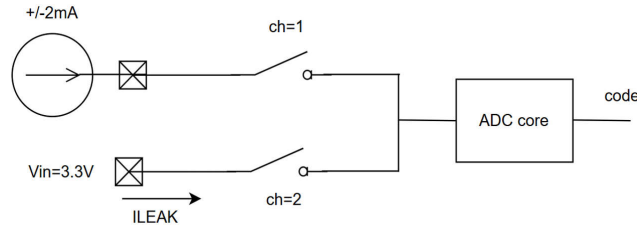


図 2-1. ADC チャネル図

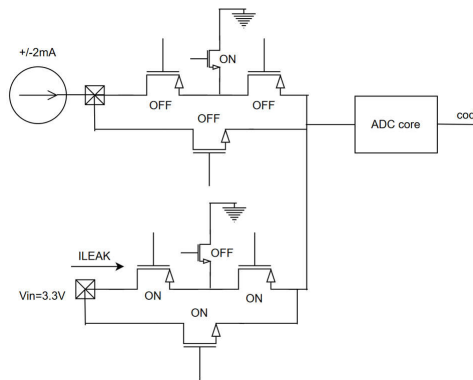


図 2-2. ADC 内部回路

幸い、この問題は新しいハードウェア リビジョンで解決されています。現在の量産デバイスでは、ADC 機能は隣接するピンのリーケージリスクなしに意図したとおりに動作します。ただし、以前のデバイス (MSPM0L1x0x や MSPM0Gx50x など) を使用する場合は、信号整合性の問題の可能性を防止するため、ADC アナログ機能に割り当てられた GPIO チャネルを回避することを強く推奨します。

3 代表的なアプリケーション

3.1 AC ドロップ

産業用機器のフロントエンド AC 信号監視システムでは、ゼロ交差検出 (ZCD) 手法により、リアルタイム電源障害検出に特に価値があることが証明されています。この実装では、フルブリッジ整流器構成を經由して AC 信号を渡し、整流された出力が高値の電流制限抵抗を通過します。クランプ ダイオードは、電圧振幅を安全な動作境界内に制限し、シグナル インテグリティを検証するために戦略的に採用されています。図 3-1 に、マイコンの内部ダイオードによってクランプされた後の電圧を示しています。

標準的な 220V および 50Hz の商用電源監視では、電圧は通常、ゼロ交差後、約 50 μ s 以内に 0V から VDD まで上昇します。ゼロ交差検出時に 100 μ s ウォッチ ドッグ タイマを開始するソフトウェア アルゴリズムを実装することにより、このウィンドウ内で高電圧を回復しなかった場合、電源障害を確実に示します。また、連続したゼロ交差の時間間隔から、高精度の AC 周波数測定を求められます。このアプローチは、必要となる計算リソースを最小限に抑えながら、完全な停止と周波数変動の両方を効果的に検出します。

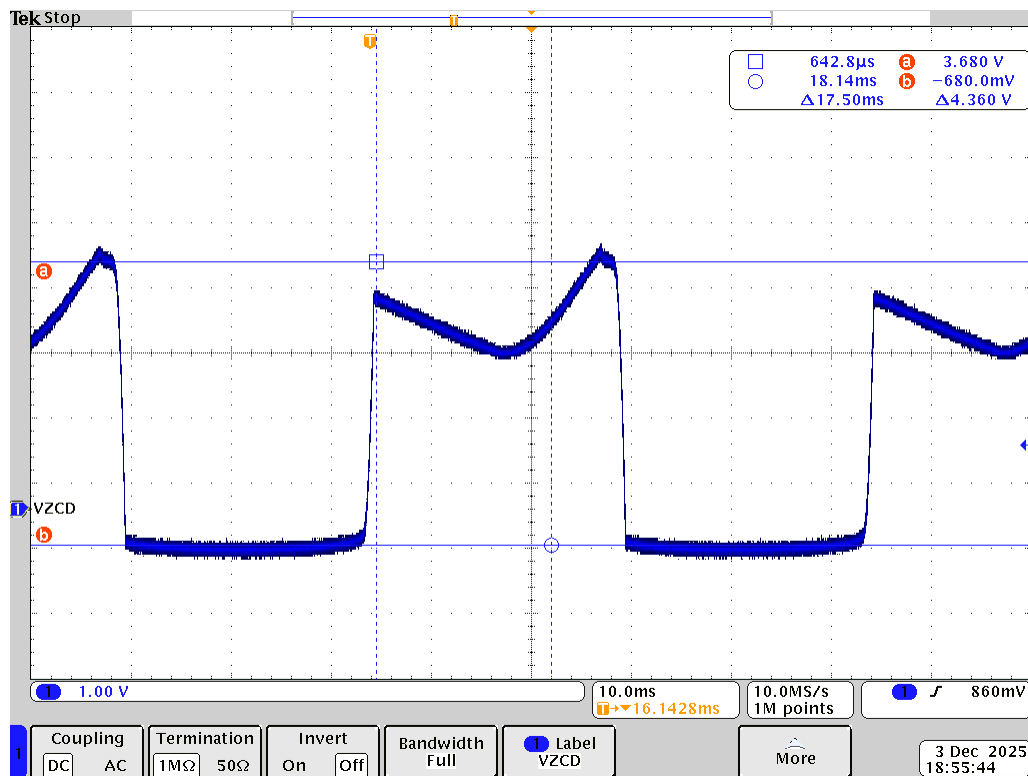


図 3-1. マイコン入力ピンの電圧

3.2 TRIAC 制御

BOM (部品表) コストを最小限に抑えることが重視される基本的なブレンダーや掃除機のようなコスト重視のアプリケーションでは、通常、AC モーターを駆動するスイッチング設計に TRIAC を採用しています。システムの中にはゼロ交差検出 (ZCD) があります。これにより、

1. AC 波形の導通状態を判定します
2. 後続の TRIAC トリガの発射角度を計算します
3. 電源供給を AC サイクルと同期させます

ゼロ交差リファレンスを使用するこのタイミング メカニズムにより、効率的なモーター速度制御が可能になり、超低コストでシステムを実装すると同時に、効果的なモーター速度制御が可能になります。高価な IGBT ベース設計や専用モータードライバ IC を使用するのではなく、基本的なマイコン監視機能を搭載した単一 TRIAC のみを使用します。

図 3-2 では、チャンネル 1 はマイコンに印加されたゼロ電圧検出信号を示しています。この信号は、高い AC 電圧をクランプすることにより得られ、主電源電圧がゼロを超えると切り替えられます。チャンネル 2 は TRIAC のゲート制御信号です。マイコンは電圧ゼロ交差を検出し、点火角度を計算して、TRIAC ゲート信号を商用電源電圧と同期します。

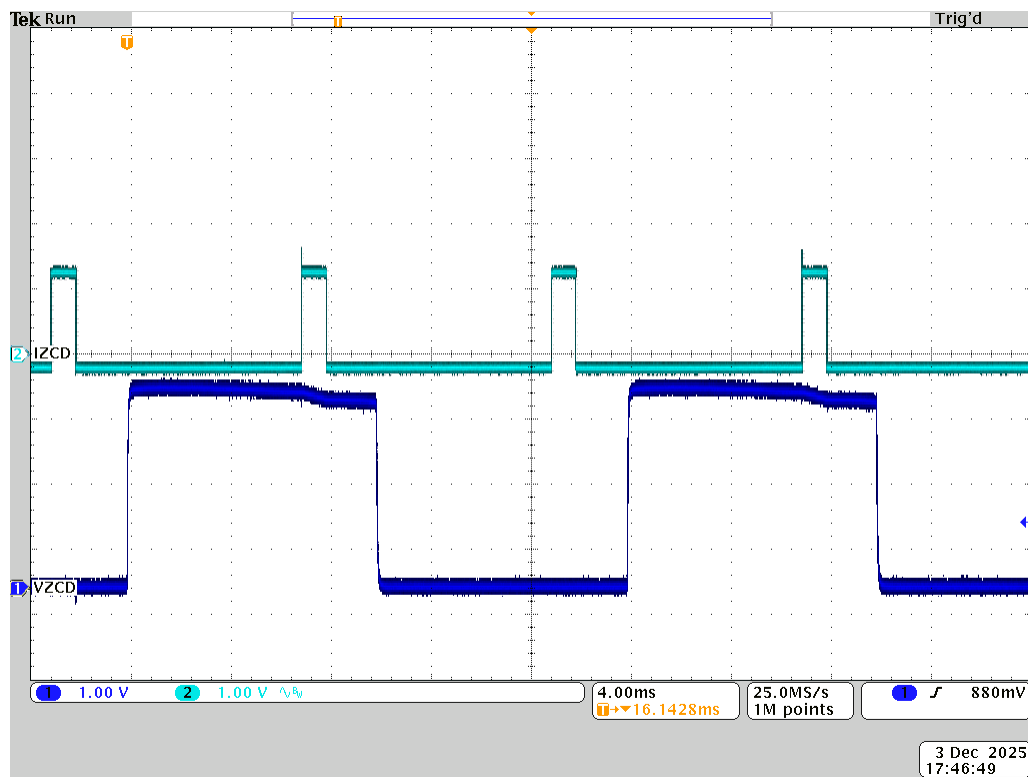


図 3-2. TRIAC モータードライバシステムでのゼロ電圧検出

4 まとめ

このホワイトペーパーは、AC 信号処理向けにコスト最適化されたゼロ交差検出 (ZCD) 設計の実装に焦点を当てています。基本部品のみを必要とする独創的に簡素化された回路設計を採用して、提案した ZCD モジュールを各種アプリケーションで使用できます。

5 参考資料

1. テキサス・インスツルメンツ、『[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
2. テキサス インスツルメンツ、『[MSPM0L130x ミックスド シグナル マイクロコントローラ](#)』、データシート
3. テキサス・インスツルメンツ、『[MSPM0C1105, MSPM0C1106 ミクスト シグナル マイクロコントローラ](#)』データシート
4. テキサス インスツルメンツ、『[MSPM0 C シリーズ マイクロコントローラ](#)』、技術参照マニュアル。
5. テキサス インスツルメンツ、『[LP-MSPM0C1104 評価基板 EVM ユーザー ガイド](#)』。
6. テキサス インスツルメンツ、『[LP-MSPM0C1106 評価基板 EVM ユーザー ガイド](#)』。

重要なお知らせと免責事項

TI 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、TI 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 TI 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、

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 TI 製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、TI 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。TI 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、TI およびその代理人を完全に補償するものとし、TI は一切の責任を拒否します。

TI の製品は、[TI の販売条件](#)、[TI の総合的な品質ガイドライン](#)、[ti.com](#) または TI 製品などに関連して提供される他の適用条件に従い提供されます。TI がこれらのリソースを提供することは、適用される TI 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。TI がカスタム、またはカスタマー仕様として明示的に指定していない限り、TI の製品は標準的なカタログに掲載される汎用機器です。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案する場合も、TI はそれらに異議を唱え、拒否します。

Copyright © 2026, Texas Instruments Incorporated

最終更新日 : 2025 年 10 月