

*Application Note*ウェアラブル アプリケーションにおける **SPI** 通信の問題と、スマート
ウォッチ アプリケーションにおける **AFE4xxx** を使用した設計

Taemin Kim

概要

ウェアラブル デバイスのトレンドとして、低消費電力と超小型フォーム ファクタを目指し、一つのアプリケーション スマート ウォッチに多様な機能を統合することが求められています。スマートウォッチは最も広く知られているアプリケーションですが、リング、バンド、イヤホンなど、スマートウォッチの範囲は拡大しています。ウェアラブル デザインは多くの場合、Bluetooth®、LTE、5G、SPI、I2C など、さまざまな通信プロトコルが小さなデバイスに組み込まれています。したがって、信号干渉はアプリケーション内でいつでも発生する可能性があり、この干渉を効果的に管理することは非常に重要なスキルであり、専門知識と言えます。このアプリケーション レポートでは、ますます小型化や複雑化が進むウェアラブル デザインで発生する可能性のある通信の問題 (特に SPI) と、原因の特定と解決方法について説明します。

目次

1はじめに.....	2
2 SPI 通信の問題と根本原因.....	3
3 設計.....	5
4まとめ.....	6
5 参考資料.....	6

図の一覧

図 1-1.4 線式 SPI の基本的な回路図.....	2
図 2-1. AFE4xxx の通常の SPI 通信.....	3
図 2-2. 結合ノイズの影響のテスト回路図.....	3
図 2-3. SCLK パスに外部 RF 結合を使用した測定結果.....	4
図 2-4. 入力バッファのヒステリシスの変化の影響による測定結果.....	4
図 3-1. ローパス フィルタの特性の曲線.....	5
図 3-2. 提案された SCLK パスへの LPF 回路図.....	5

1 はじめに

AFE4xxx ファミリは、PPG、EDA、ECG、生体インピーダンス信号の収集をサポートする多用途信号収集システムです。PPG 信号チェーンは、LED 用の電流ドライバと、PD からの信号を検出するレシーバで構成されています。右足駆動 (RLD) の ECG レシーバは、1 対の電極から単一リードの ECG を取得できます。励起機能とセンス機能を内蔵したインピーダンス測定信号チェーンは、BIA、EDA、インピーダンス分光などのアプリケーションに使用できます。各種シグナル チェーンの出力は、共通の ADC によってデジタル化され、FIFO に保存されます。これは、SPI インターフェイスを使用して読み出すことができます。

ますます小型化するウェアラブル デバイスにおいて、各信号のシグナル インテグリティ (SI) は重要な要素となっています。最新のウェアラブル デバイスは、内部の有線通信に加えて、Bluetooth、Wi-Fi、LTE などのさまざまな通信モジュールが内蔵されているため、ノイズの影響を受けやすくなっています。その結果、誤動作を防止するために、アプリケーション内で発生する可能性のある結合およびノイズ レベルを最小限に抑えることが非常に重要です。本レポートでは、SPI 通信の問題に対する対策と、製品設計時に考慮してノイズの影響を軽減する必要がある状況について説明します。

図 1-1 は基本的な SPI 通信ピンと接続を示しています。SPI 4 線式通信は、4 つの通信ライン CS、SCLK、SEN、SDOUT で構成されています。さらに、個別のプルアップとプルダウンは不要で、マスタとスレーブ間の直接接続が必要です。

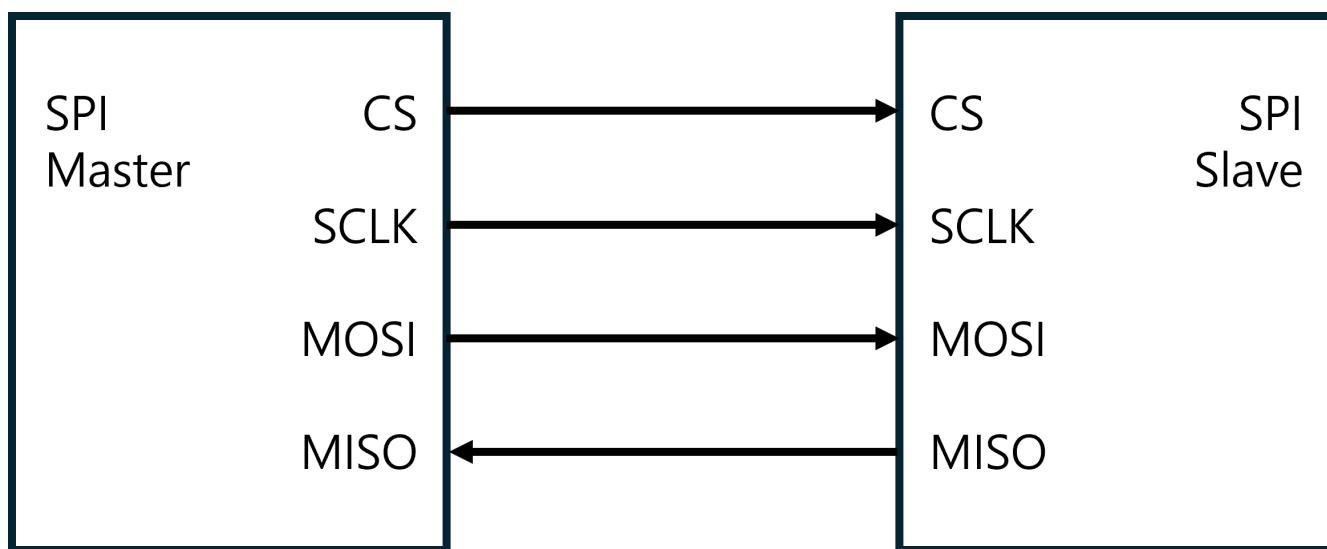


図 1-1. 4 線式 SPI の基本的な回路図

2 SPI 通信の問題と根本原因

通信の問題が発生する理由は、さまざまです。他の回路からのノイズが原因であったり、他の信号が既存の信号に結合して、誤動作を引き起こす可能性があつたりします。本アプリケーションノートでは、RF 信号をオンにしたときに、AFE4xxx デバイスが正常に機能しなくなるケースを説明します。EVB は、干渉を除去し、デバイスの最適な動作を検証するように設計されているため、複雑なシステム構造で発生する可能性のある問題を特定することは困難です。そのため、現場で問題が発生したときに、迅速かつ正確に原因を特定し、お客様に設計を提供することが非常に重要です。

図 2-1 は通常の SPI 通信を示しています。信号は定期的に交換され、ピンに問題がないことを示しています。しかし、AFE4xxx が異常状態の場合、BG が正常に機能しない、一貫性がない、データが受信されないなどの動作を示します。

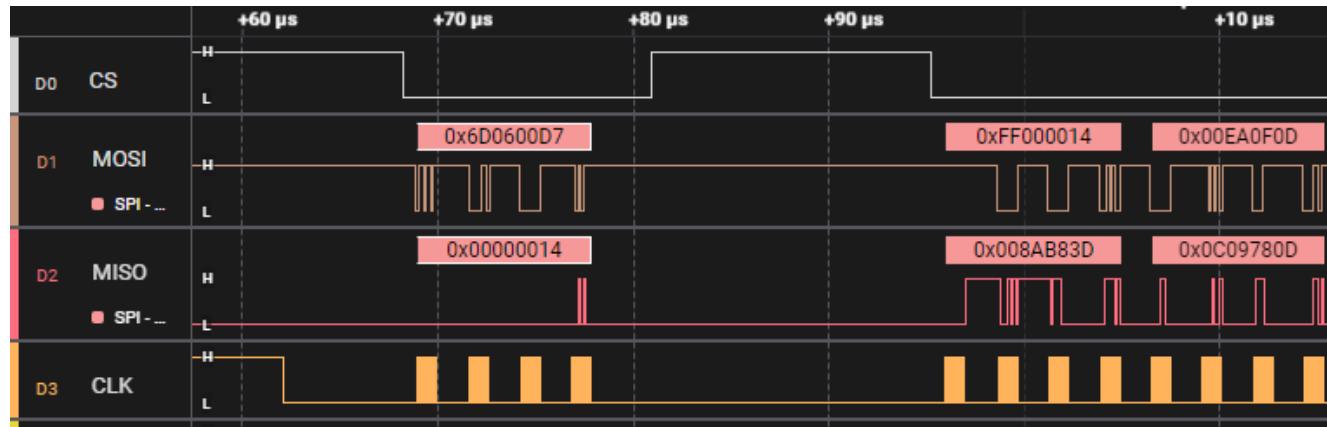


図 2-1. AFE4xxx の通常の SPI 通信

いくつかのテストにより、RF 信号が AFE4xxx の SPI 通信に影響を与えることが確認され、再設計の労力を最小限に抑えて問題を解決するためにさまざまな設計が試みられました。アンテナ効果が原因で、高周波帯域では、外部の電磁ノイズ (EMI) がより深刻になる傾向があります。そのため、ユーザーは以前の設定に比べて SPI 速度 (周波数) を下げようとしたが、同様の問題が発生しました。

そこで、RF 信号を直接 SCLK ラインに印加してデバイスの動作を確認すると、現場で観測されたものと同様の結果が得られました。これにより、SCLK ラインに結合した RF 信号が動作決定に影響を与えることが明らかになりました。図 2-2 は、信号ジェネレータを使用して SCLK ラインに印加された RF 信号の結合ノイズの影響のテスト回路図を示したもので、図 2-3 は立ち上がりエッジを拡大したものです。立ち上がりエッジでのグリッチ (ノイズ) により、信号は Low から High への单一遷移では上昇せず、代わりに中間点で追加のサイクルを行った後に上昇します。SCLK ラインに導入されたこのノイズにより、デバイスは誤動作しました。

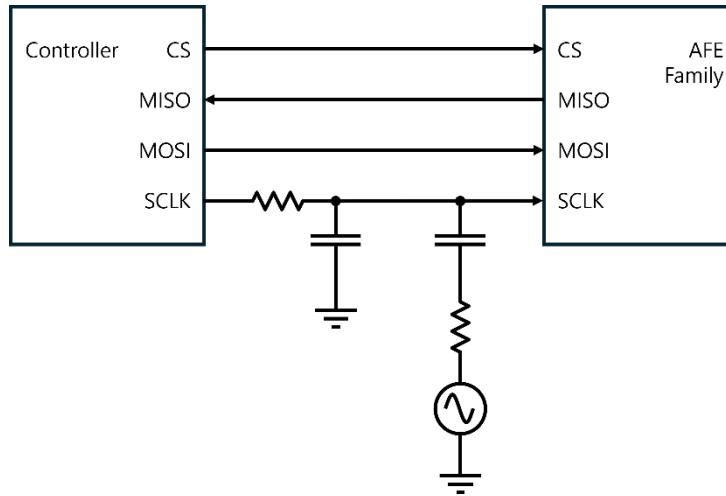


図 2-2. 結合ノイズの影響のテスト回路図

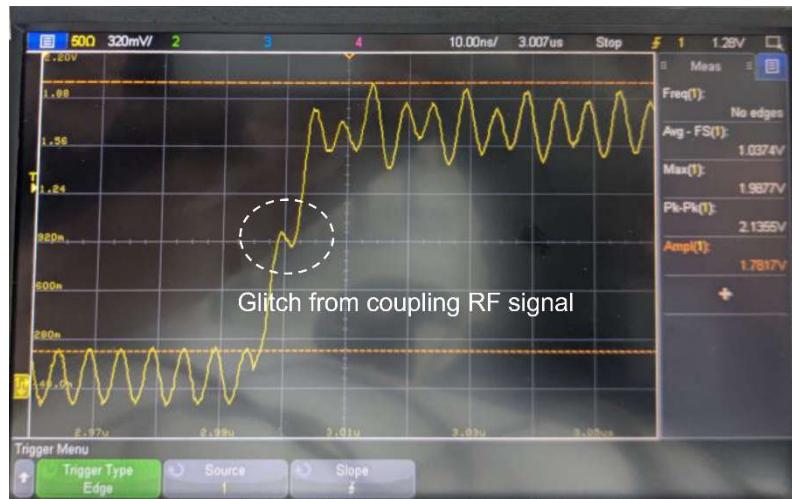


図 2-3. SCLK パスに外部 RF 結合を使用した測定結果

図 2-4 は立ち上がりエッジで発生するグリッチの影響を示しています。VIH と VIL の各レベルでのグリッチは、AFE の内部クロックに誤動作を引き起こします。ノイズのない信号は信号が立ち上がるにつれて均等に立ち上がる必要がありますが、グリッチによって立ち上がりエッジで High から Low に降下しています。

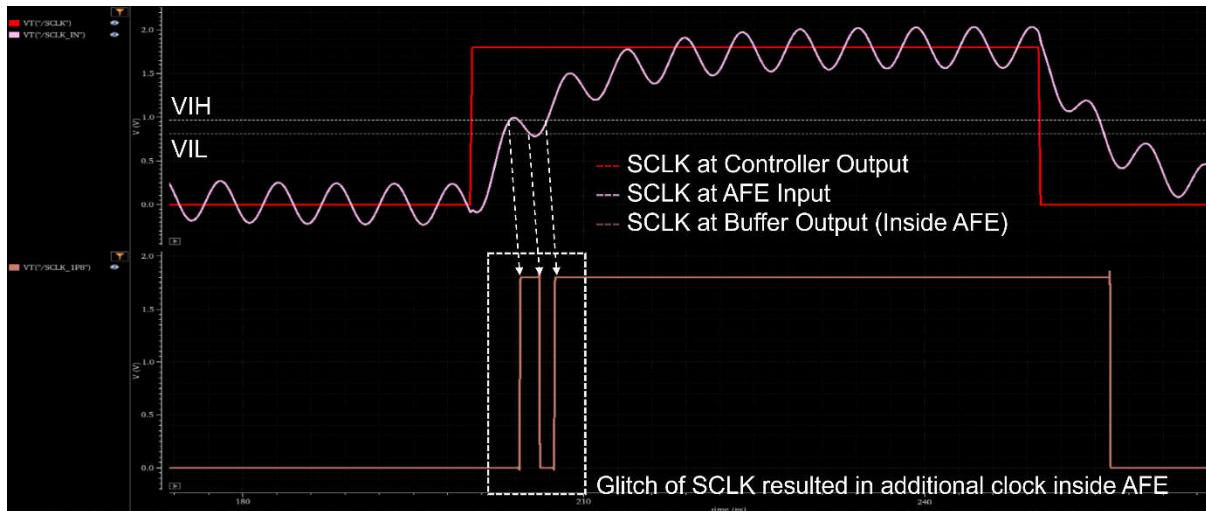


図 2-4. 入力バッファのヒステリシスの変化の影響による測定結果

3 設計

現場で適用可能な設計としては、SCLK ラインにフィルタを追加してノイズを除去することが挙げられます。SPI 通信自体は特に高速ではないため、追加フィルタが遅延により通信に影響を与える可能性は非常に低いです。高周波を除去するにはローパスフィルタが必要です。カットオフ周波数は、動作周波数を考慮したうえで、動作周波数とマージンの約 3 倍にする必要があります。図 3-1 は LPF の基本特性の曲線を示したものです。

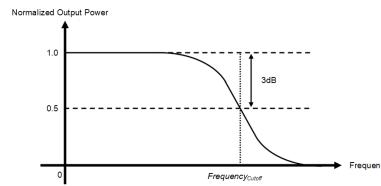


図 3-1. ローパス フィルタの特性の曲線

ローパスフィルタ (LPF) のカットオフ周波数は F_c です。 F_c は以下の式で表されます。

$$F_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad (1)$$

さらに、クロック ノイズを除去してデバイスの通常動作を維持するため、フィルタはスレーブ、AFE4xxxx、およびピンのできるだけ近くに配置する必要があります。フィルタを通信ラインの中間またはマスタ側に配置すると、ノイズが発生し、フィルタ処理された信号に再導入される可能性があります。図 3-2 はフィルタの配置方法を示したものです。

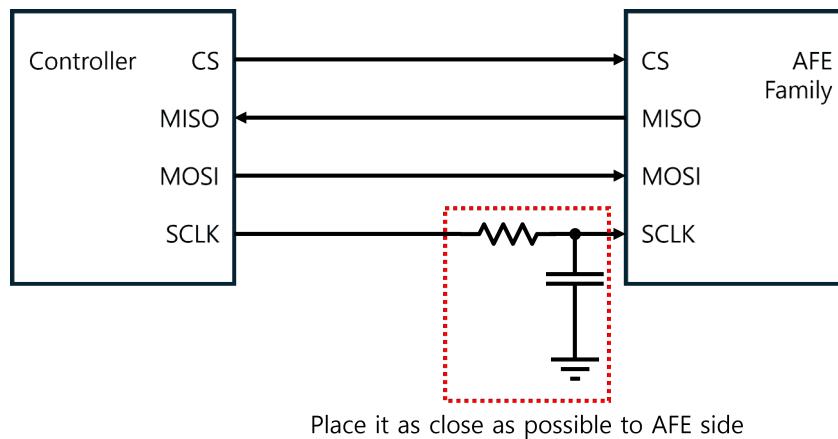


図 3-2. 提案された SCLK パスへの LPF 回路図

もう 1 つのアプローチは、デバイスの次のバージョンを設計するときに、SCLK バッファのヒステリシス マージンを増やすことです。ウェアラブル デバイスのトレンドは、外部ノイズを最小化して、消費電力、製品サイズ、価格競争力を実現することです。そのため、次世代製品の開発においてバッファのヒステリシスを改善することは、ウェアラブル デバイスだけでなく PE をターゲットとするすべてのデバイスについても考慮する必要があります、その性能は製品の競争力を高めることになります。

4 まとめ

本アプリケーションノードでは、スマートデバイスのノイズに起因する SPI 通信エラーのテストと設計を提案します。複数の通信を使用するアプリケーションで SPI 通信エラーが発生する場合、最初にチェックするのは、クロックが適切に入力されているかどうかです。クロック信号にノイズが結合すると、AFE4xxx チップ自体の誤動作が発生する可能性があります。クロックに導入されたノイズ信号を除去するには 2 つの方法があり、ローパスフィルタ (LPF) を使用して製品ヒステリシスのバックファーマージンを増やします。ただし、スペースと時間の制約が限られている場合は、LPF を AFE4xxx (スレーブ) のできるだけ近くに配置すると、ノイズに起因する問題を解決できる可能性があります。

5 参考資料

1. テキサスインスツルメンツ、「[AFE4432 光学バイオセンシング用の超小型、統合型 AFE](#)」、データシート。
2. テキサスインスツルメンツ、「[AFE4432 EVM ユーザー ガイド](#)」、ユーザーガイド。
3. テキサスインスツルメンツ、「[INA901-SP 電流検出アンプのシングルイベントラッチアップ \(SEL\) テストレポート](#)」、放射線レポート。
4. テキサスインスツルメンツ、「[アクティブローパスフィルタ設計](#)」、アプリケーションレポート。

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默示保証、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、明示的または默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、(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、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 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