

高性能の電圧監視IC【Part 1】

著者：Noel Tenorio、プロダクト・アプリケーション・マネージャ
Anthony Serquina、プロダクト・アプリケーション・マネージャ

概要

この連載では、高性能の電圧監視IC（Voltage Supervisor）について詳細に説明します。今回（Part 1）は、電圧監視ICの動作原理、入力仕様、出力のトポロジ／極性、主な用途などについて解説します。高性能の電圧監視ICの中には、マイクロプロセッサをベースとするシステムの信頼性を高められるように設計されているものがあります。その種の製品を採用すれば、ブラウンアウトの状態が生じたとしてシステム・エラーの発生を回避することができます。本稿では、そうした製品の具体例も紹介します。

はじめに

最近では、組み込みシステムでも多くの演算やデータ処理を実行しなければならないケースが少なくありません。そのようなアプリケーションでは、複雑な演算ルーチンを実行するために性能の高いデバイスが選択されることがあります。つまり、汎用性、速度、柔軟性といった観点から、マイクロコントローラ（MCU）、マイクロプロセッサ（MPU）、FPGAのようなICが使われるということです。ただ、そうしたICの場合、電源について様々な要件や制限が課せられています。そのため、システム開発の初期の段階で、そうした事柄について十分に考慮しておかなければなりません。それを怠ると、システムの性能や信頼性に影響が及ぶ可能性があります。電源に関する問題の一例としては、ブラウンアウト（電圧の低下）が挙げられます。ブラウンアウトが発生すると、システムが誤動作してしまうおそれがあります。つまり、電源が

最小動作電圧を下回ると、マイクロコントローラが誤動作し、システム・エラーが引き起こされる可能性があるということです。このような問題を軽減するために利用できるのが、本連載のテーマである電圧監視ICです。

今回は、アナログ・デバイセズの製品ファミリーを含む高性能の電圧監視ICについて説明します。入出力の仕様などを中心に、電圧監視ICの基本的な使い方について解説します。

電圧監視ICとは何か、どのように機能するのか？

電圧監視ICは、電源レールを監視するために使用されます。監視の結果があらかじめ定められた条件を満たしている場合、同ICは、何らかの動作を実行するために利用できる出力信号を提供します。同ICは、まず監視の対象となる電源レールの値が、あらかじめ規定された電圧の値（スレッシュホールド）を下回ったり上回ったりしないかどうかを検出します¹。その結果を受けて、同ICは一般的には「リセット」と呼ばれる信号を出力します。この信号は、同ICとは別のデバイスをリセット・モードやアクティブ・モードといった動作モードに移行するために使用されます。また、この信号は、特定の電圧範囲を外れた条件下で動作した場合にエラーや誤動作が生じるアプリケーションでも利用できます。一般的なアプリケーションにおいて正常な動作を維持するためには、入力される電源電圧が特定の範囲内に収まっている必要があります。そこで、電源電圧の値に応じ、電圧監視ICのリセット信号によって、他のデバイスをイネーブルあるいはディスエーブルの状態に移行するということです。



図1 (a) に示したのは、そうしたアプリケーションの一例です。この回路では、LDO（低ドロップアウト）レギュレータ「ADP3335」を正常に動作させるために、電圧監視IC「ADM809」を使用しています。ADM809によって電源電圧を監視し、その結果に応じて同レギュレータのシャットダウン・ピンを制御するということです。LDOレギュレータを起動する際、正常な動作を確実に実現するためには、十分な入力エネルギー（または十分に高いレベルの入力電圧）が必要になります。そのため、電圧監視ICを利用して、イネーブル／ディスエーブルの制御を行うということ です²。

電圧監視ICは、MCUと共に使用されるデバイスとしてもよく知られています。MCUがコマンドを実行している際、電源電圧が最小動作範囲を下回ってしまったとします。そうすると、誤動作を起こすおそれのある領域に入り、システム・エラーが発生する可能性があります。この問題を回避するために電圧監視ICを使用するということです。具体的には、MCUの最小動作電圧をスレッシュホールド電圧に設定してその電源電圧を監視します。なお、スレッシュホールド電圧を設定する方法については、後ほど詳しく説明します。

図1 (b) に示したのは、ADM809を使用してMCUの電源を監視するアプリケーションの例です。監視の対象となる電源電圧（以下、監視電圧）は、そのレベルを検出するために電圧監視ICの V_{CC} ピンに供給します。監視電圧がスレッシュホールドを下回ると、適切なレベルで電圧が供給される状態に戻るまで、電圧監視ICはアクティブ・ローのリセット信号を出力します。それを受けたMCUはリセット・モードに移行します³。

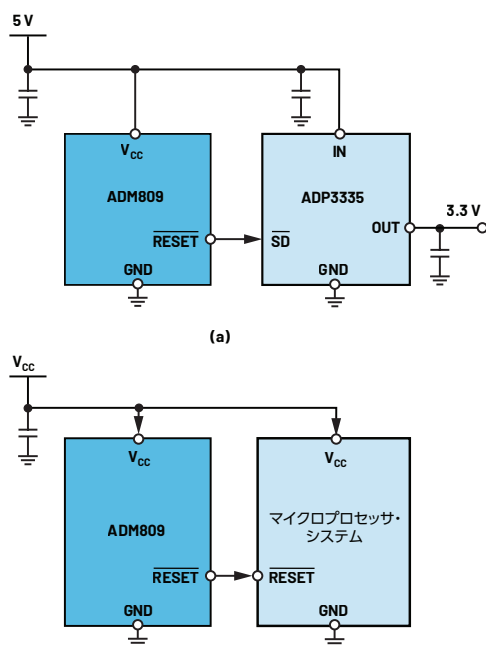


図1. 電圧監視IC（ADM809）の利用例。(a) では入力電圧を監視し、その値が適切なレベルに達したらLDOレギュレータ（ADP3335）をイネーブルの状態に設定します。(b) では、ブラウンアウトの状態が発生した際にマイクロプロセッサ・システムをリセット・モードに移行する処理を実現しています。

電圧監視ICの重要な入力仕様

電圧監視ICを使いこなすためには、4つの重要な入力仕様について理解しなければなりません。そのことが、電圧監視ICを適用するシステムの信頼性を向上させることにつながります。以下に挙げるのがそれら4つの仕様です。

- ▶ リセット・スレッシュホールド
- ▶ スレッシュホールドの精度
- ▶ リセット・スレッシュホールド・ヒステリシス
- ▶ パワーオン・リセット

以下、それぞれについて説明します。

リセット・スレッシュホールド

リセット・スレッシュホールドとは、監視電圧がその値を下回ると、リセット信号がアサートされる電圧レベルのことです。多くの電圧監視IC製品では、リセット・スレッシュホールドは V_{TH} と表記されます。ここで、図2のタイミング図をご覧ください。監視電圧 V_{CC} がリセット・スレッシュホールド V_{TH} を下回ると、リセット出力（ローの信号）がアサートされています。一般的なアプリケーションでは、システムが正常に動作できる最小電圧が V_{TH} として設定されます。

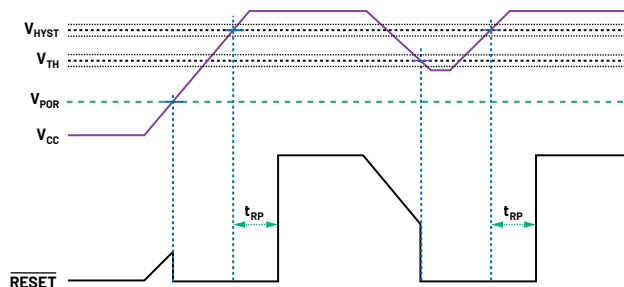


図2. 電圧監視ICの動作。
監視電圧 V_{CC} とリセット出力の関係を示しています。

多くのアプリケーションでは、リセット・スレッシュホールドを設定するために、外付けの抵抗分圧器が使用されます。図3 (a) に示すように監視電圧を分圧し、それをリファレンス電圧と比較します。それにより、監視電圧がリセット・スレッシュホールドを上回っているのか、下回っているのかを検出します。図中の「ADM8612」は電圧監視ICの一例です。

図3 (b) では、電圧監視ICとして「MAX16140」を使用しています。この製品は、抵抗分圧回路を内蔵しており、それにレーザー・トリミングを施した上で出荷されます。そのトリミングにより、リセット・スレッシュホールドの値を設定するということができます。この種の製品を採用した場合、図3 (b) のように外付け部品を数を抑えられます。つまり、実装スペースを節約できるので、小型化が望まれるアプリケーションに適しています。また、許容誤差のある標準抵抗を使用する場合、電圧監視の精度が外部要因に依存することになります。つまり、MAX16140のような製品を採用すれば、より高い精度を実現できることになります。とはいえ、外付け抵抗を使用することにもメリットはあります。外付けの抵抗分圧回路を使用する場合、リセット・スレッシュホールドのレベルを調整することができます。つまり、より柔軟な対応を図れるということです。

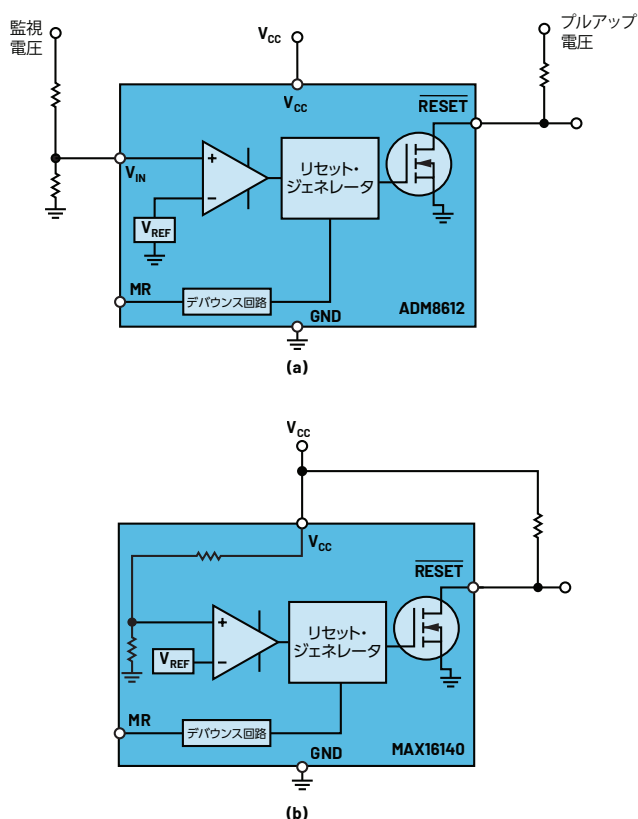


図3. リセット・スレッシュホールドの設定方法。(a)では、電圧監視ICとしてADM8612を使用しています。この場合、リセット・スレッシュホールドは外付けの抵抗分圧器によって設定します。一方、(b)では電圧監視ICとしてMAX16140を使用しています。この場合、リセット・スレッシュホールドはICが内蔵する抵抗分圧器によって設定されます。

スレッシュホールドの精度

スレッシュホールドの精度は、実際のスレッシュホールドが計算値や目標値と比べてどのくらい近い値なのかを表します。スレッシュホールドの精度には、抵抗分圧器やリファレンス電圧といったいくつかの

要因からの影響が及びます。抵抗分圧器やリファレンス電圧の生成回路は、どちらもアナログ回路なので、温度をはじめとする環境要因の影響によって特性が変動します。そのため、リセット・スレッシュホールドの値には許容誤差を設ける必要があります。より精度の高いリファレンス電圧と抵抗を使用すれば許容誤差を小さく抑えられ、スレッシュホールドの精度は高くなります。通常、スレッシュホールドの精度はパーセンテージで表されます。例えば、スレッシュホールドの精度が±1%の電圧監視ICがあったとします。その場合、スレッシュホールドを3.3Vに設定すると、実際のスレッシュホールドは3.267V～3.333V程度になる可能性があります。

リセット・スレッシュホールドの値を設定する際には、スレッシュホールドの精度が非常に重要な意味を持ちます。逆に言えば、必要なスレッシュホールドの精度をあらかじめ把握しておくことが重要になります。精度を考慮せずにリセット・スレッシュホールドの値を設定すると、システムが予期せぬタイミングで誤動作の領域に陥る可能性があります。

リセット・スレッシュホールド・ヒステリシス

リセット・スレッシュホールド・ヒステリシスとは、リセット信号をデアサートするために監視電圧を超える必要がある電圧のことです。一般に、低い電圧を監視する電圧監視ICでは、リセット・スレッシュホールド・ヒステリシスはV_{HYST}またはV_{TH+HYS}と表記されます。

ヒステリシスを設けることにはいくつかのメリットがあります。まず、監視電圧が適切なレベルまで戻る際、ある程度の余裕を持ってスレッシュホールドを超えることが確実にになります。また、リセットをデアサートする前に、電源が安定するまでの余裕を確保できます。そのため、電源のノイズや不安定な状態に対処することが可能になります。仮にヒステリシスが設けられていないとすると、電圧監視ICは、監視電圧がスレッシュホールドを超える際、リセット信号のアサートとデアサートを繰り返すことになるでしょう^{4,5}。例えば、電源ノイズが発生するアプリケーションや、内部抵抗と負荷電流によって電圧降下が生じるバッテリー駆動のシステムでは、そうした状態が発生する可能性があります。図4は、その状態が発生した場合の様子を表したものです。紫色の網掛け部分が問題のある状態を表しています。一方、青色の網掛け部分は、ヒステリシスが設けられている場合の動作を示したものです。後者のリセット出力は、電源が安定するまでシステムをリセット・モードに保持します。それにより、システムの動作が不安定になったり、振動的な挙動を示したりすることを防止できます⁴。

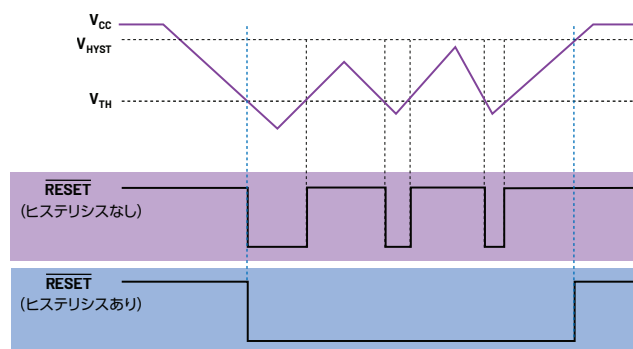


図4. ヒステリシスの有無によるリセット出力の比較

パワーオン・リセット

システムが起動する際、電源電圧は適切な値に向けて上昇し始めます。このとき、電圧監視ICの内部回路は十分にバイアスされていません。そのため、リセット出力は不定の状態になります。その後、電源電圧が上昇し続けると、電圧監視ICへの給電レベルも上がっていきます。そうすると、電圧監視ICは不定の状態から抜け出し、有効なリセット信号を出力するようになります。電圧監視ICが不定の状態を脱し、有効なリセット信号を出力する最小電源電圧をパワーオン・リセット電圧 V_{POR} と呼びます。

ここでは図3 (b) の回路について考えてみます。オープンドレインのリセット出力が V_{CC} にプルアップされている場合、リセット出力は電源電圧 V_{CC} を反映した値になります。その結果、リセット出力にはパワーオン・グリッチと呼ばれるグリッチが発生します⁶。図5に示すように、電圧監視ICは、電源電圧が V_{POR} に達したタイミングで有効なリセット信号を出力するようになります。

高電圧を使用するシステムなど、一部のアプリケーションではパワーオン・グリッチは無視されるので問題にはなりません。それに対し、ロジック・ハイの電圧のスレッシュホールドが低いデバイスなど、一部のアプリケーションではパワーオン・グリッチは望ましくない現象となります⁷。

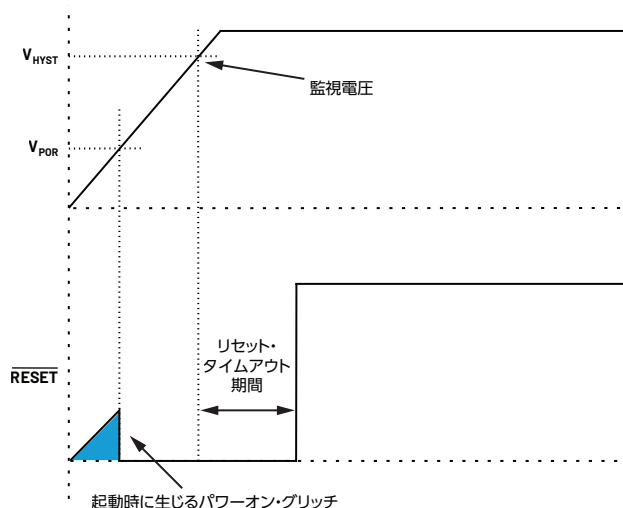


図5. パワーオン・グリッチとパワーオン・リセットの関係

考慮すべき出力仕様

電圧監視ICを使用したシステムを設計する際に考慮すべきことは入力仕様だけではなく、リセット出力の仕様である極性とタイミングについても考慮する必要があります。アプリケーションの要件に応じ、出力の極性についてはアクティブ・ローまたはアクティブ・ハイを選択することができます。

アクティブ・ロー

アクティブ・ロー出力とは、監視電圧がスレッシュホールドを下回った場合、リセット出力がローにアサートされるという意味です。前掲の図2は、アクティブ・ロー出力の電圧監視ICの応答を表しています。アクティブ・ローであることを示すために、リセット出力の名前は $\overline{RESET}$ （リセット・バーと読みます）と表記されています。この出力は、監視電圧がスレッシュホールドを超えて上昇する際、ハイにデアサートされるまでの一定の時間、アサートされたままの状態になります。その時間をリセット・タイムアウト期間 t_{RP} と呼びます。 t_{RP} の固定値であるとは限らず、外付けコンデンサによって調整できるようになっているケースが多いはずです。

アクティブ・ハイ

システムの要件によっては、アクティブ・ハイ出力が必要になることがあります。アクティブ・ロー出力とは対照的に、アクティブ・ハイ出力では、監視電圧がスレッシュホールドを下回るとリセット出力がハイにアサートされます。また、監視電圧がスレッシュホールドを超えて上昇すると、リセット・タイムアウト期間 t_{RP} の後、ローにデアサートされます（図6）。

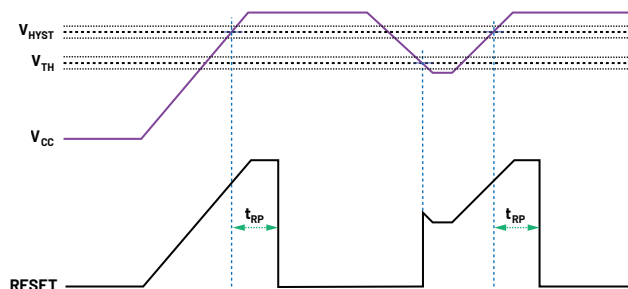


図6. アクティブ・ハイ出力のリセット信号

プッシュプル出力

アプリケーションに応じてもう1つ考慮すべきことがあります。それは出力のトポロジです。これについては、主にオープンドレインかプッシュプルが使われます。

図7は、プッシュプル出力の概念図です。ご覧のように、出力部は相補型の動作を実現するMOSFETのペアで構成されています。下側のMOSFETがオフで上側のMOSFETがオンの状態になると、リセット出力はハイになります。逆に、下側のMOSFETがオンで上側のMOSFETがオフの状態になると、リセット出力はローになります。どちらの場合にも、ほぼレールtoレールの高速な応答が得られます。

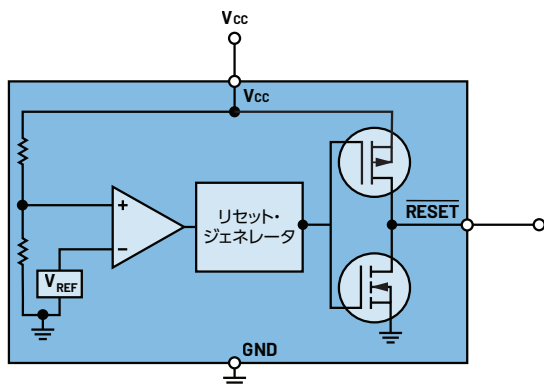


図7. プッシュプル出力

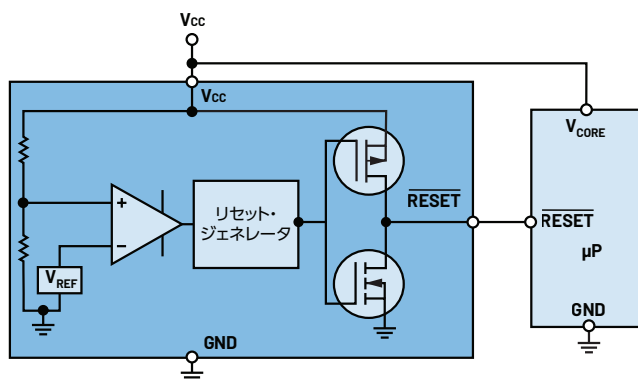


図8. 単一の電源電圧を使用するシステム

リセット信号について言えば、ほとんどのアプリケーションにはプッシュプル型のアクティブ・ロー出力が適しています。ただ、別の出力方式を使用しても構いません。例えば、単一の電源電圧を使用するシステムであれば、プッシュプル出力は非常に容易に利用できます（図8）。しかし、複数種の電源電圧によって動作するマルチ電源のシステムでは、プッシュプル出力を使用するには相応の配慮が必要になります。MCUのリセット入力が1つしかない場合には、特に注意を払わなければなりません⁸。

オープンドレイン出力

出力のトポロジがオープンドレインである場合、電圧監視ICのリセット出力は内蔵MOSFETのドレインにつながっていることになります。図3（b）に示したように、必要なロジック信号を出力するには、リセット・ピンと電源電圧の間にプルアップ抵抗を外付けしなければなりません。このようにすることで、リセット信号はMOSFETがオンになるとローになり、MOSFETがオフになるとハイになります。なお、プルアップ抵抗は、電圧監視ICが使用するのとは異なる電圧レベルに接続することも可能です。電圧監視ICの電源とは異なるレベルのリセット信号を必要とするシステムでは、そのことが有利に働くことがあります⁸。

オープンドレイン出力にはもう1つ長所があります。それは、ワイヤードORの構成を実現できることです。複数の電圧監視ICのオープンドレイン出力を同じバスに接続すると、負論理のOR回路を構成できます⁹。つまり、いずれか1つのリセット出力がローになると、バスのレベルもローになります。言い換えると、すべてのリセット出力がハイの場合だけバスのレベルがハイになるということです。この構成は、複数の電源のいずれか1つの電圧が低下したときにリセットをトリガしたい場合に有用です。

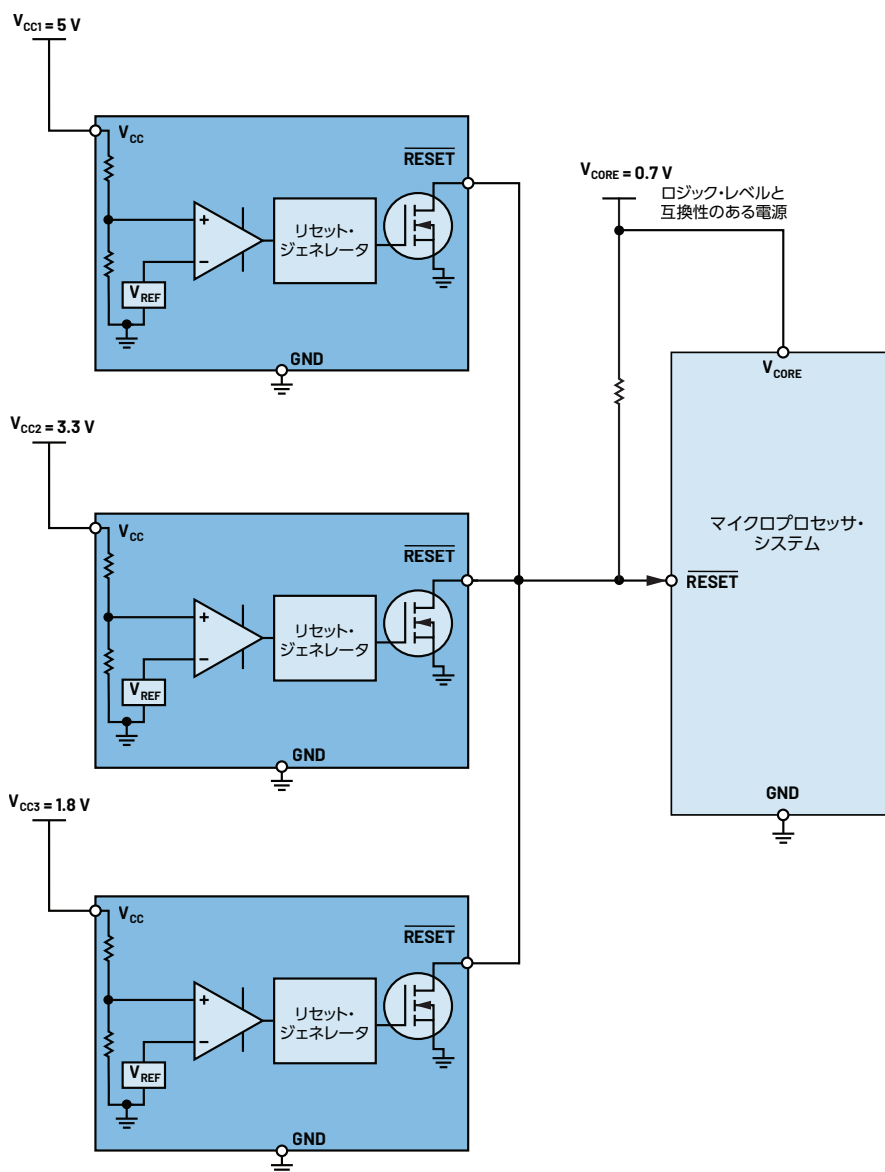


図9. 複数種の電源電圧を監視する回路。
MCU/MPUにリセット入力が1つしかない場合に適した構成です。

アプリケーションの例

図9～11は、電圧監視ICの代表的なアプリケーションの例を示したものです。出力のトポロジと極性が異なる例を取り上げてい

ます。図9は、マルチ電源のシステムを監視する場合の回路の例です。この構成では、オープンドレインの出力が効果的に機能します。

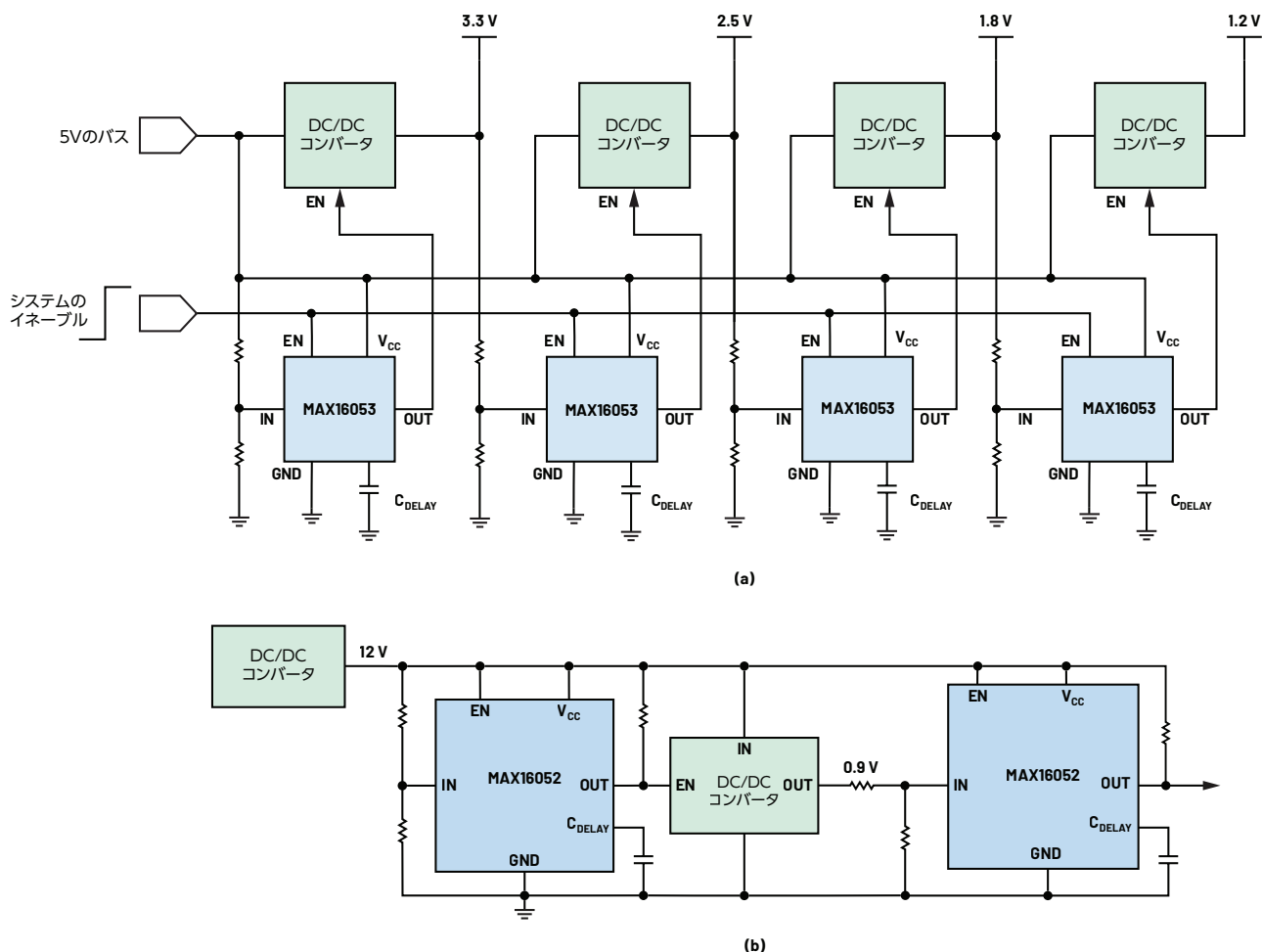


図 10. アクティブ・ロー出力を使用してマルチ電源のシーケンシングを実現する回路。
(a) はプッシュプル、(b) はオープンドレインのトポロジに対応しています。

図 10a、図 10b に示すように、アクティブ・ロー出力は、マルチ電源のシステムのシーケンシングを実現するために、デジタイズチェーン接続で利用することができます。アプリケーションによっては、電源の適切なシーケンシングを行うことが非常に重要な要件になります。例えば、FPGA をベースとするソリューション

は複数種の電源電圧を使用します。通常、そうしたシステムでは、システムの誤動作や不安定な状態を防ぐために電源の適切なシーケンシングが必要になります（それについての規定が設けられているはず）。

図11a、図11bは、アクティブ・ハイ出力を使用する例です。これらのアプリケーションでは、アクティブ・ハイ出力を使ってハイサイドのMOSFETをイネーブルまたはディスエーブルに制御（オン／オフ制御）します。これらの構成により、過電圧保護のための機能や低電圧に対応するシーケンシング機能が実現されています。なお、ハイサイドのMOSFETは、電圧監視ICのアクティブ・ロー出力を使用して駆動することも可能です。詳細については、「[システムのパワー・サイクリングの実現方法、アクティブ・ローの出力を基にハイサイドのMOSFETを駆動する](#)」をご覧ください。

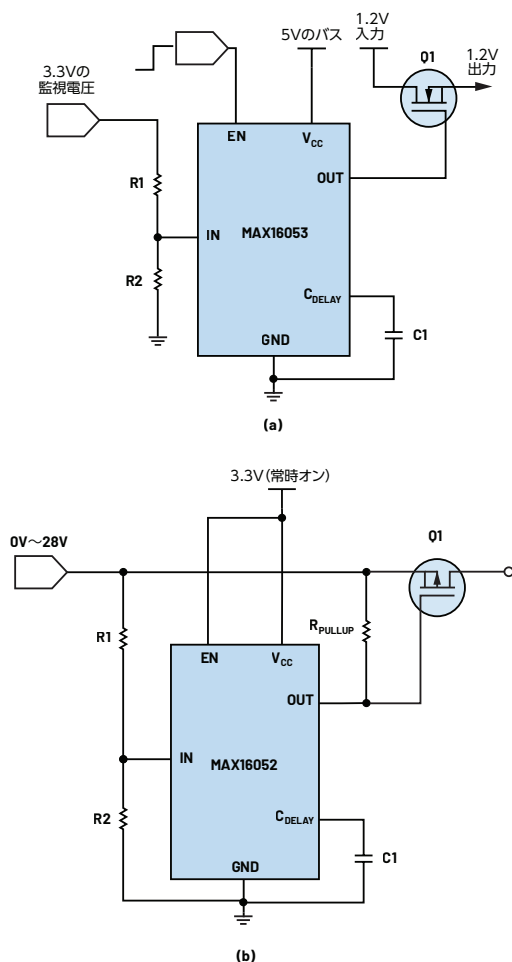


図11. 出力の極性がアクティブ・ハイのアプリケーション。(a) では、NチャンネルのMOSFETを使用して低電圧対応のシーケンシング回路を実現しています。この回路は、プッシュプル・トポロジをベースとしています。(b) は、PチャンネルのMOSFETを使用して実現した過電圧保護回路です。オープンドレインのトポロジを採用しています。

まとめ

電圧監視ICは、他のデバイスをイネーブル、ディスエーブル、リセットに制御するために使用されます。最も一般的な用途としては、MCUのリセット制御が挙げられます。電圧監視ICを利用すれば、システムのエラーや誤動作を回避してアプリケーションの

全体的な信頼性を高めることができます。電圧監視ICを使用してシステムを設計する際には、入力、出力、タイミングの仕様を考慮しなければなりません。アプリケーションに応じ、適切な出力トポロジと極性を備える電圧監視ICを採用することが重要です。それにより、システムの信頼性を高められます。また、目的とする機能を実現する上で活用できるいくつかのメリットを享受することが可能になります。

参考資料

¹ 「[The Why, What, How, and When of Using Microprocessor Supervisors](#) (マイクロプロセッサ用の監視ICは、いつ、どれを、なぜ、どのように使用すべきなのか?)」 Analog Devices、2018年4月

² 「[グリッチのない電圧監視回路ICの基礎](#)」 Analog Devices、2021年11月

³ 「[ADM803/ADM809/ADM810 : Microprocessor Supervisory Circuits in 3-Lead SC70 and SOT-23 \(ADM803/ADM809/ADM810 : 3ピン、SC70/SOT-23のマイクロプロセッサ用監視IC\)](#)」 Analog Devices、2014年10月

⁴ Noel Tenorio 「[電圧監視ICを使いこなす - 電源のノイズやグリッチの影響を回避するには?](#)」 Analog Dialogue、Vol. 57、No. 4、2023年11月

⁵ Pinkesh Sachdev 「[ヒステリシスを追加して、滑らかな低電圧／過電圧ロックアウトを実現する](#)」 Analog Dialogue、Vol. 55、No. 1、2021年3月

⁶ 「[How Glitch-Free Supervisors Aid in High-Reliability Applications](#) (高い信頼性が求められるアプリケーションで、グリッチフリーの監視ICを活用する)」 Analog Devices、2021年9月

⁷ Niño Angelo Pesigan、Ron Rogelio Peralta、Noel Tenorio 「[システムのパワー・サイクリングの実現方法、アクティブ・ローの出力を基にハイサイドのMOSFETを駆動する](#)」 Analog Dialogue、Vol. 58、No. 1、2024年2月

⁸ 「[Choosing Supervisor Outputs](#) (監視ICの出力の選択方法)」 Analog Devices、2002年5月

⁹ 「[マルチ電圧システムにおける監視回路](#)」 Analog Devices、2003年11月

¹⁰ 「[MAX16052/MAX16053 : High-Voltage, Adjustable Sequencing/Supervisory Circuits \(MAX16052/MAX16053 : 高電圧、調整可能なシーケンサ／監視IC\)](#)」 Analog Devices



著者について

Noel Tenorioは、アナログ・デバイセス（フィリピン）のプロダクト・アプリケーション・マネージャです。複数の市場を対象とし、電源監視用の高性能IC製品を担当しています。入社は2016年8月。その前は、スイッチング電源の研究開発に携わる企業に設計エンジニアとして6年間所属していました。パタンガス州立大学で電子／通信工学の学士号を取得。マプア工科大学ではパワー・エレクトロニクスを専攻し、電気工学の大学院学位と電子工学の理学修士号を取得しました。監視IC製品を担当する前は、熱電冷却器で使用するコントローラ製品のアプリケーション・サポートを担当していました。



著者について

Anthony Serquiñaは、アナログ・デバイセス（フィリピン）のプロダクト・アプリケーション・マネージャです。2018年11月に入社。複数の市場を対象とし、電源製品の開発に向けてアプリケーションを担当しています。パワー・マネジメントIC、AC/DCやDC/DCのフロント・エンド電力変換といったパワー・エレクトロニクスの分野において、15年以上にわたる業務経験を有しています。セントルイス大学（フィリピン バギオ市）で電子／通信工学の学士号を取得しました。