

パワーオンリセット 及び関連する 監視機能

プロセッサ電圧の監視と制御について

マイクロプロセッサやマイクロコントローラを適切に動作させるため、長年、監視回路が使用されてきました。最もよく使われてきた監視機能はパワーオンリセットですが、どの監視回路をどのように使うべきかについては正確な情報があまりありません。また、監視回路は進歩を続けています。本稿では、パワーオンリセットを中心に、関連する監視機能(電圧シーケンシング、電圧トラッキング、マニュアルリセット、パワーフェイル信号、ローライン信号など)について説明するとともに、これらの機能を適切に使用するためのポイントを紹介します。

パワーオンリセット(POR)の機能の1つに、電源が投入されたら、定められたアドレスからプロセッサを動作させるというのがあります。このため、プロセッサに最初に電源が投入されたとき、PORロジック出力によってプロセッサをリセット状態に保ちます。次にPORがしなければならぬのは、プロセッサが規定されたアドレスから動作し始めるのを、3つのイベントが起きるまで抑えることです。3つのイベントとは、システム電源が適切な電圧に安定すること、プロセッサのクロックが安定すること、そして、内部レジスタに適切な値がロードされることです。PORでは、オンボードタイマによって一定時間、プロセッサをリセット状態に保つことによってこれを実現します。プロセッサの電源電圧が定められたスレッシュホールドに達すると、タイマにトリガがかかり

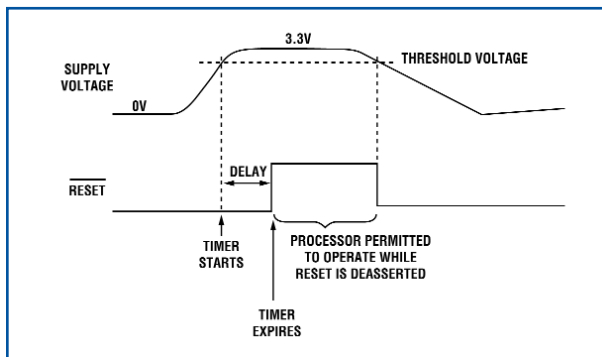


図1. PORは、電源電圧がPORスレッシュホールドを超え、規定された遅延時間が経過するまで、プロセッサをリセット状態に保ちます。

ます。設定時間が経過してタイマがタイムアップすると、POR出力がインアクティブになり、プロセッサがリセット状態から解放されて起動します(図1)。タイマの遅延時間は、プロセッサのデータシートに指定されています。このタイマの有無がPORと単なる電圧検出器の違いです。電圧検出器も電圧スレッシュホールドの検出を行います、イベント経過の時間を処理することはできません。

PORと電圧検出器には、もう1つ、違いがあります。PORは、プロセッサのモニタリングができるよう、ノイズにとっても強く作られています。電源に小さく高速なグリッチが発生しても、プロセッサがそのようなグリッチに反応しないため、PORも反応しないように作られています。しかし、小さなグリッチでも長時間のものや時間の長短にかかわらず大きなグリッチが発生すると、プロセッサに問題が生じることがあります。そのため、使用するPORとしては、リセットをいつアサートするかを決める際に、電源電圧の変動について、その大きさと持続時間の両方を調べるのがベストです。要点は、プロセッサ挙動と同じように反応し、必要なときにのみリセットをアサートすることです。プロセッサが正しく動作している間にリセットしても意味はありません。図2に示すグラフは、MAX6381/MAX6382データシートに記載されているもので、リセットをトリガする電源電圧変動の振幅と持続時間の関係を示しています。このグラフから、MAX6381/MAX6382では、モニタリングしている電源が、10 μ s以上の時間、指定されたスレッシュホールドより100mV以上下がったらリセットを発行することがわかります。

電源電圧がスレッシュホールド以上に戻ると、PORタイマによって、規定時間が経過してからリセット信号がデアサートされます。

プロセッサによっては、双方向リセットピンを持つものがあります。この端子は、リセット信号を受けとるだけでなく、発信することもできます。一見すると、オープンドレイン出力のPORが必要になると思われるかもしれませんが、リセットを発行するのがプロセッサ自身なのか外付けデバイスなのかをプロセッサ側で決める必要があるため、他のことも考える必要があります。そのような条件では、特別なPORが必要になります(MAX6314データシートを参照)。

PORスレッシュホールド電圧の選定 — 単一電源プロセッサの場合

適切なPORスレッシュホールドレベルとそのレベルの精度の選定方法には、よく誤解があります。この問題について検討してみるにあたり、3.3V \pm 0.3V、つまり、3.00V~3.60Vの電源電圧での動作が保証されているプロセッサを使用すると考えてみましょう。スレッシュホールド電圧には2種類の選定方法があります。

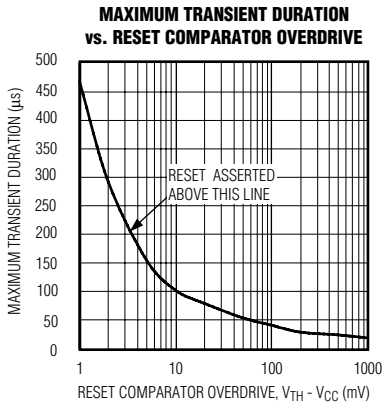


図2. PORはグリッチの振幅と持続時間の両方を勘案してリセットを発行します。

1つは、許容差が小さな3.3V電源を使用し、PORのスレッシュホールドと許容差の合計が $\pm 0.3V$ レンジに収まるようにする方法です。この場合、PORスレッシュホールドは、電源電圧範囲($\pm 3\%$)の下限とプロセッサの許容電圧範囲の下限との間に収まります(図3a)。この方法では、電源が許容差内で変動してもPORがリセットを発行することはありません。しかし、電源電圧が許容差レベルを超えて低下するとPORからリセットが発行されますが、その場合でも、電源電圧自体は、プロセッサの正常な動作保証範囲内にあります。この場合、電圧が動作保証レベル以下となってプロセッサが誤動作を起こす可能性を持つ前にリセットが行われます。

このようなやり方に適したPORは、使用温度範囲で3.00V~3.15Vというスレッシュホールドレンジを持つバージョンのMAX6381です(図3a)。このようなPORを使うと、電源電圧が電源の許容差を超えて低下したとき、プロセッサの許容電圧範囲以下に低下する前にプロセッサのリセットが行われます。また、スレッシュホールドレンジの上端は3.15Vであるため、電源電圧が電源の許容差以内で変動してもリセットは行われません。ただし、電源とプロセッサを結ぶエッジコネクタやボードトレースの電圧降下によって、プロセッサが受ける電圧は3.15Vよりも下がるかもしれません。このような場合、電源電圧が仕様範囲内であっても、リセットとなることがあります。電源を許容差がもっと厳しいものにするか、PORスレッシュホールドの許容差をもっと小さくするか、あるいは両方が必要となることが考えられます。

このような設計は、電源電圧とPORスレッシュホールドが比較的近い場合、電源のグリッチやノイズの影響を受けやすくなります(それぞれの許容差内でPORスレッシュホールドと電源電圧がどのような位置にあるかにもよります)。つまり、この方法は、グリッチやノイズが少なく、電源許容差が小さなシステムに適した方法です。

PORスレッシュホールドレベルの設定には、もう1つの方法があります。プロセッサの動作保証電圧の下限(この例では3.00V)より下にPORのスレッシュホールドを持ってきます。このようにすれば、プロセッサは動作電圧範囲の全域にわたり、リセットされることなく動作することができます。許容差の大きな電源も利用することができます。パワーアップするとき、電源電圧は上昇中であり、PORスレッシュホールドレベルを超えて最終的に規定電圧範囲(この例では3.20V~3.40Vの範囲)に収まると考えます。電源

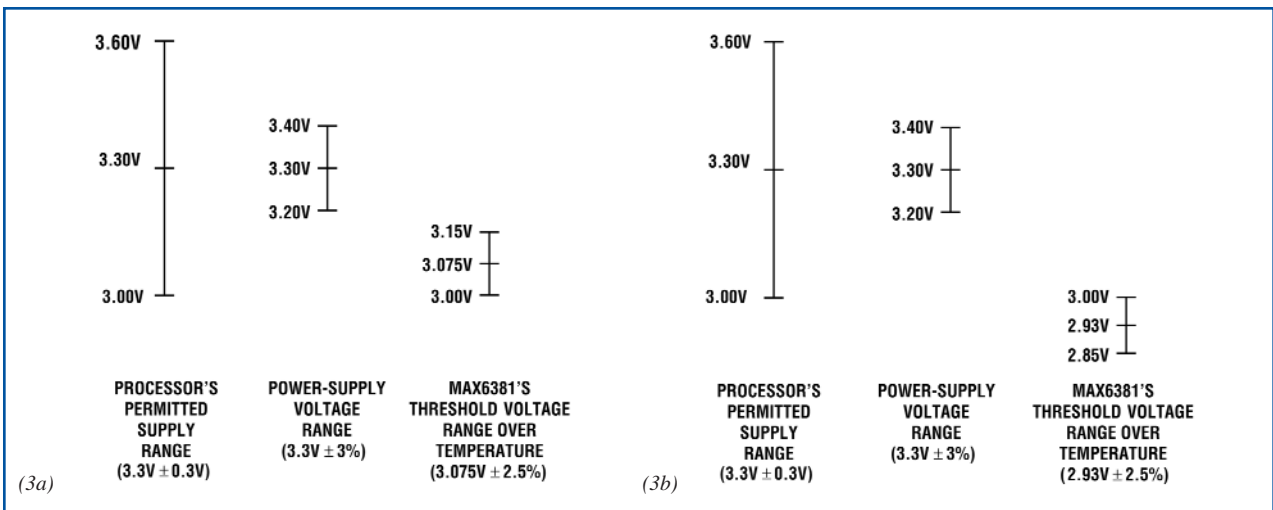


図3. 電源電圧が、プロセッサの許容電圧範囲内で、電源の仕様電圧範囲以下に低下したときにプロセッサをリセットするためには、PORスレッシュホールドを図3aのように設定します。一方、PORスレッシュホールドをプロセッサの許容電圧範囲以下に設定すると(図3b)、許容電圧範囲内ではリセットが起きなくなり、許容差の大きな電源でも利用できるようになります。

電圧の安定は、PORタイマがタイムアウトし、プロセッサが動作を開始する前に達成されると予想されます。パワーOK出力を持つ電源では、この信号によって規定電圧範囲に達したことを確認する場合があります。

このような設計では、一時的な電圧低下への対策がありません。電圧が低下すると、プロセッサの動作保証電圧以下、かつ、PORスレッショルドレベル(この値を下回るとPORからリセットが発行される)以上という状態が発生します。この状態では、プロセッサが誤動作する危険があります。

プロセッサの動作保証電圧範囲内にスレッショルドを設定するという最初の方法と異なり、PORスレッショルドと電源電圧の差が大きい2番目の方法は、大きなグリッチやノイズが発生しやすいシステムに適しています。もちろん、許容差がより大きい電源が使えるようになります。

このような場合には、使用温度範囲で2.85V~3.0Vというスレッショルドレンジを持つバージョンのMAX6381が最適です。スレッショルドは、プロセッサの動作保証電圧の下限以下となります(図3b)。電源は、図3に示すよりも許容差の大きなものを使うこともできます。

プロセッサの動作保証電圧の下限に近い定格電圧を持つ電源を使用し、電力消費を抑えようとする場合もあります。消費電力は電源電圧の自乗に比例するため、これは効果的な方法だと言えます。3.0V~3.6Vという保証電圧のプロセッサであれば、3.15V ±2%の電圧が最適です。ただし、電源からプロセッサまでのエッジコネクタやトレースで大きな電圧降下が発生しないことが条件です。リセットが発行されるほどノイズレベルが大きくなければ、PORとしては、2.85V~3.0Vというスレッショルドレンジを持つMAX6381が最適です。

PORスレッショルド電圧の選定 — デュアル電圧プロセッサの場合

3.3V電源以外の他の電圧(コア電圧として1.8Vなど)も必要とするプロセッサでは、PORも2つの電圧を監視しなければならないことがあります。このタイプのPORでは、2種類の電圧の両方がそれぞれに設定されているPORのスレッショルド値を超え、タイムアウト時間が経過してはじめて、リセットをデアサートします。複数電圧を監視するPORとしては、2電圧用、3電圧用、4電圧用があります。

電源電圧が1つでも複数でも、スレッショルドの選定方法は同じです。デュアル電圧(たとえば3.3Vと1.8V)のケースでは、2種類のスレッショルドの両方がプロセッサの最低動作保証電圧よりも上あるいは下とすることが考えられます。または、I/O用の3.3Vについては動作保証電圧よりも低いスレッショルドとし、コア電圧の1.8Vについては動作保証電圧の下限以上とするという方法もあります。後者の方法は、I/Oよりもプロセッサコアの方が電源電圧低下の影響を受けやすいことがあるためです。

コア電圧は時と共に低下を続けているため、POR側もより低いスレッショルド電圧に対応する必要があります。MAX6736ファミリでは、外付け抵抗なしで788mV、外付け抵抗を使えば488mVという超低スレッショルドまで対応することができます。これは、最新プロセッサのコア電圧に十分対応することができるスレッショルドです。

低コストシステムで、1.8V電圧を3.3Vから生成している場合、3.3V側だけをモニタリングする場合があります。3.3Vが適正範囲にあれば、1.8V側もそうであると仮定します。より高い信頼性が要求されるシステムでは、通常、両方の電圧を監視します。

マニュアルリセット

電源電圧が許容差以内の状態でも、マニュアルでリセットをトリガしたい場合がよくあります。デバッグや最終テストでも使われる機能ですが、プロセッサがハングアップしたときにも、電源を落とさずにプロセッサを再起動することができて便利です。この機能は、特に、プロセッサの電源を落とすことがない製品で必要とされます。オン/オフスイッチでプロセッサの電源を落とさず、プロセッサの再起動/サスペンドを行うというのもよく用いられる方法です。

マニュアルリセットするためには、I/Oライン、ウォッチドッグタイマ、またはパワーフェイル出力などのロジックシグナルを使うことが多いのですが、プッシュボタンスイッチも使われます。プッシュボタンスイッチは、押されるとバウンスし、最終的な状態に落ち着くまでに何度も開閉を繰り返すことがよくあります。この現象に対応するため、マニュアルリセット入力の多くはデバウンス回路を持っています。

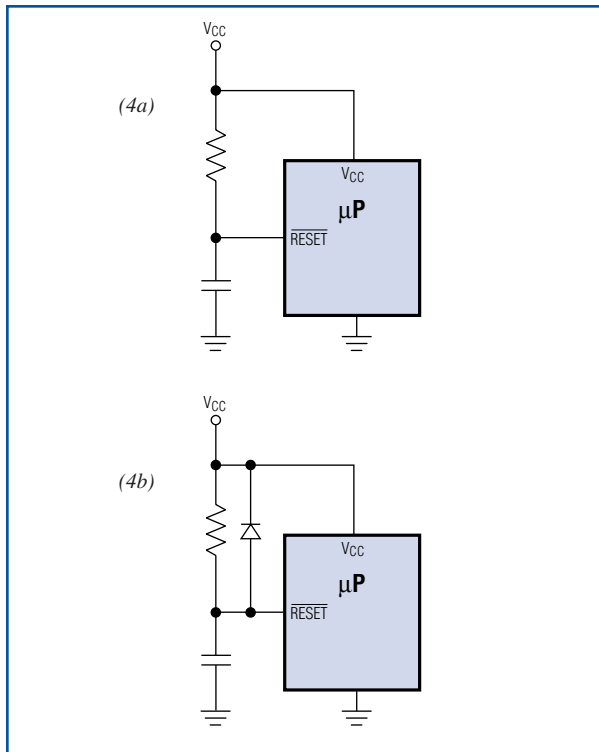


図4. ほとんどのアプリケーションにおいて、ディスクリートR/CによるPOR(図4a)では信頼性が不足します。ダイオードを追加すると(図4b)、高速の電源オンオフによる問題が解消され、回路パフォーマンスが向上します。

ディスクリートPORとプロセッサ内蔵POR

抵抗とコンデンサによるディスクリートPOR(図4a)を使うのは危険です。このようなPORでは出力の上昇・下降に時間がかかるため、プロセッサによっては問題が発生します。特に、リセット入力にシュミットトリガを持たないプロセッサや双方向リセットピンを持つプロセッサで問題となります。前者にはシュミットトリガ回路を追加すればいいのですが、別の問題が、コストやスペース、スタートアップなどに発生します。

ディスクリートPORでは、POR時定数よりもさらに遅い速度で上昇する電源を使用すると、別の問題が起きます。電源が安定する前に、プロセッサがリセットから解放されることがあります。この問題を避けるためには、R/C回路の時定数を伸ばすなどの対策が必要です。POR内蔵プロセッサのメーカーの一部は、電源の昇圧速度が遅い場合、リセット入力にR/C(及びダイオード。詳細は後述)を追加すべきだとしていたりもしています。

パワーアップ後にグリッチが発生すると、R/C回路がフィルタとして働き、リセットが発生しません。電圧が低下しても、プロセッサリセットピンの電圧が V_{IH} 以上に保たれ、リセットが発生しません。電源電圧がプロセッサの最低動作保証電圧以下まで低下しても同じことが起きます。原因は、リセットピンの V_{IH} がプロセッサの最低動作保証電圧以下であることが多いためです。電源がオフとなり、

その後すぐにオンとなるような場合にも、問題が起きます。電源が復旧するまでの時間では、コンデンサに蓄えられた電荷が放電しきれないことがあるためです。

R/C回路にダイオードを追加すると(図4b)、グリッチ発生時にはダイオード経路でコンデンサが放電するため、グリッチに反応するようになります。ただし、リセットピンにおける電圧が $V_{IL}(\min)$ まで低下するほど大きなグリッチでなければなりません。また、ダイオードのないR/C回路について指摘した他の問題は、この回路でも発生する可能性があります。しかし、電源が短時間でオフ/オンされたときに発生する問題は、ダイオードの追加によって解消することがあります。

内蔵されたPORならこれらの問題が発生することはなく、大半の機器に適しています。

プロセッサ内蔵PORにも、難しい点があります。精度が低く、低い電圧でいろいろな問題が生じることが多いのです。また、パワーアップ時のリセットはできるが、ブラウンアウト(brownout)状態における電源電圧の低下によるリセットはできないものもあります。そのような場合にはディスクリート回路を追加するようにと指示しているメーカーもあります。

最後に、内蔵PORは、複数電源を使用するシステムでは他の問題が生じることがあることを述べます。たとえば、プロセッサに最適の内蔵PORのタイムアウトが、電源電圧の上昇速度がより遅い外付け回路(メモリなど)には不適切であるということもあります。そのような場合、遅延時間がより長い外付けPORを採用し、プロセッサと外付け回路の電源の両方を監視するといったソリューションが考えられます。

パワーフェイル信号とローライン信号

パワーフェイル信号やローライン信号を持つ監視回路は、電圧低下(brownout)や電源喪失が避けられないと判断したとき、プロセッサに警告を送ります。これらの割込信号がプロセッサに到達すると、プロセッサがパワーダウンルーチンに入ることができます。このルーチンでは、処理を中断し、PORにより、リセットされる前に重要なデータのバックアップを行います。

パワーフェイル信号を生成するためには、パワーフェイルコンパレータで非安定化DC電圧(または上流の安定化電圧)をモニタリングします。このモニタリングする電圧はプロセッサや監視回路に電源を供給するレギュレータへの入力電圧です。レギュレータの出力電圧は出力コンデンサによって保持されるため、レギュレータ電圧上流の非安定化電源の電圧が先に低下します(図5)。つまり、非安定化電圧が低下したということは、続いてレギュレータ出力電圧が低下する可能性があるということなのです。上流の電圧低下を検出し、プロセッサに割込をかければ、電源電圧が大きく低下してリセットされる前に、プロセッサにパワーダウンルーチンを実行させることが可能になります。

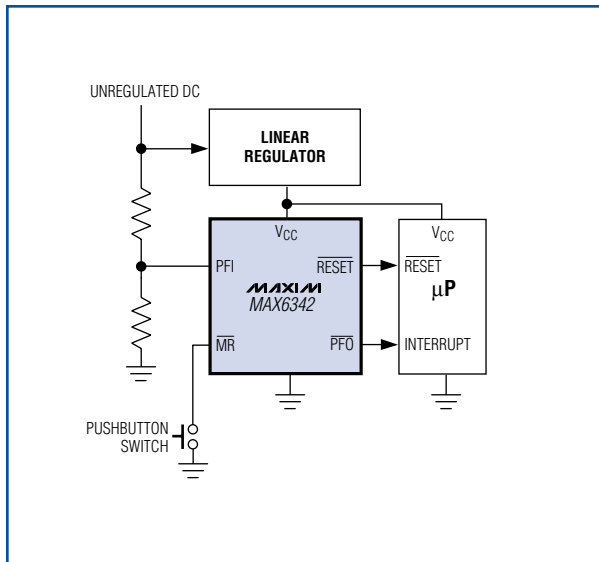


図5. MAX6342では、非安定化DC電源の電圧低下をモニタリングし、パワーフェイルコンパレータによってパワーフェイル信号(PFO)を生成します。

非安定化電圧(あるいは上流の安定化電圧)にアクセスすることができないときでも、電源喪失が起きそうだという警告をプロセッサで受信することは可能です。この場合、監視回路のローライン信号を使用します。ローライン信号は、モニタリングしている電源電圧がリセットスレッシュホールドのほんの少し上(たとえば、150mV上)まで低下すると、アクティブになります。このように、ローライン信号も、PORからリセットが発行されるほど電源電圧が低下するかもしれないとプロセッサに警告するために使えるのです。パワーフェイルコンパレータの信号による場合と同じように、プロセッサは、電圧低下や電源喪失によりPORからリセットが発行される場合に備え、重要なデータのバックアップを行います。

電圧シーケンシングと電圧トラッキング

デュアル電源を必要とするプロセッサのデータシートでは、通常、2つの電圧をかける順番が指定されています。この順番が守られるように電源のシーケンシングを行う機能が、MAX6819/MAX6820などにあります。プロセッサ電源のシーケンシングが不適切だと、プロセッサがラッチアップしてしまったり、不正な起動となったり、長期間の使用で信頼性が低下したりする可能性があります。電源電圧がローカルに生成されていないこともあります(たとえば、メインシステムバスや他で調達したシルバボックス電源、シーケンシングに必要なイネーブル出力やパワーOK出力を持たない電源などからとる場合)。そのような場合、パワーオンシーケンシングやパワーオフシーケンシングは制御も予測も難しくなるため、電圧シーケンシング用ICが必要になります。このような

タイプのICは、各電源電圧のターンオン時間やターンオフ時間が、抵抗性負荷や容量性負荷の影響を受けるときにも必要です。電源がパワーアップ/パワーダウンする順番が一定しないからです。

MAX6741/MAX6744では、ユニークな方法で2電源のシーケンシングを行うことができます。まず、一方の電源をパワーアップします。次に、遅延時間だけ待った後、2番目の電源にパワーOK出力を出し、シャットダウンから復帰させてパワーアップします。両方の電源が起動した後、ある遅延時間が経過したら、MAX6741/MAX6744はリセット信号をデアサートします。

プロセッサによっては、パワーアップ中、2つの電源が互いにトラッキングするようにしなければならないものがあります。そのような場合には、MAX5039/MAX5040を使い、電圧が低い方の電源が安定するまで、2つの電源をクランプして、トラッキングを実現します。電圧が低い方の電源が安定した後、電圧が高い方の電源だけが目標電圧まで昇圧しつづけます。

リセットシーケンシング

2つのプロセッサを持つ回路の多くは、片方が他方よりも先にリセットから復帰しなければならないという制限があります。このような場合、2つのPORを接続して使うことがよく行われてきました。一方のPORの出力によって、最初に復帰すべきプロセッサのリセットと2番目に復帰すべきプロセッサのマニュアルリセット入力の制御を行うのです。2番目のPORの出力により、2番目のプロセッサ(あるいはメモリ)のリセットを行います。現在は、このようなタスクに最適な時間差リセット出力付のデュアルPORがあります(図6)。このようなPORでは、マスタ電源電圧(図6の例では3.3V)がPOR内部に設定されているスレッシュホールド以下に低下すると、両方のリセット出力をデアサートします(スレープ側のPORの方が、マスタ側よりも少し早くデアサートされる)。スレッシュホールド以上に電源電圧が復帰すると、タイマのタイムアウトを待って、2本のリセット出力の一方がデアサートされます(図6のRESET1)。2番目のPORがタイマを起動し、出力をデアサートするためには、2つの条件が満足される必要があります。RESET1がデアサートされていることと、2番目のPORで監視しているスレープ電源電圧が外付け抵抗で設定されたスレッシュホールド以上であることの2点です。2つのプロセッサの両方に同じ電源電圧を供給している場合は、抵抗分圧器を使用せず、RSTIN2を直接電源につなぐことができます。

図6のMAX6392では、最初のPOR出力がリセットから復帰した後でないと、2番目のPOR出力がリセットから復帰しません。2番目のPOR出力がリセット復帰する時間自体が、最初のPOR出力のデアサートからの経過時間として規定されます。つまり、図6の回路では、マスタプロセッサが起動した後でなければ、スレーププロセッサ

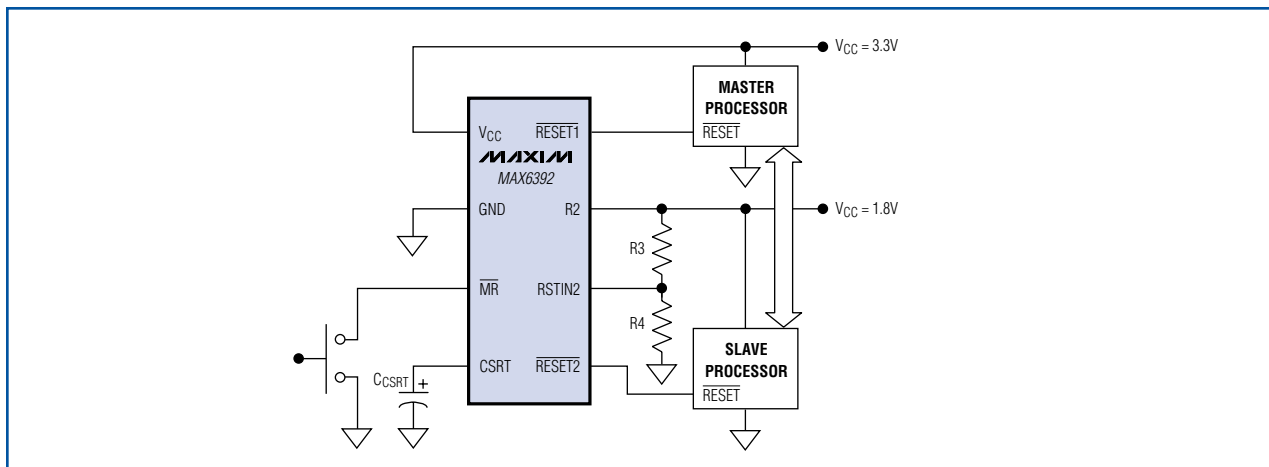


図6. この回路では、2つのプロセッサに供給する電源を監視し、マスタプロセッサをリセットから復帰させた後に、スレーブプロセッサをリセットから復帰させます。

がリセットから復帰することはできないのです。2番目のPORの遅延時間は、外付けコンデンサによって伸ばすことが可能です。

3つのプロセッサをシーケンシングしなければならない場合は、DS1830を使う方法があります。このデバイスに内蔵されている3つのPORは、電源電圧がPORスレッショルドを通過後の最小リセット時間が10ms、50ms、100msとなっています。このリセット時間を2倍あるいは5倍に設定可能なロジック端子も用意されています。

まとめ

マイクロプロセッサ監視回路を適切に選択し動作させることは、決して難しいことではないのですが、注意しなければならない点もあります。1つはパワーオンリセットです。電源とPORスレッショルドについて、電圧と許容差が適切になるように注意しなければなりません。また、プロセッサが必要とする複数電源のリセットやリセットシーケンシング、パワーシーケンシング、電圧トラッキングなどが行える新しいデバイスも登場しており、十分に考慮の価値があります。

EDNの2004年4月号にも同様の記事が掲載されています。