

デジタル電流センサによる電力とエネルギーの監視

Dennis Hudgins



電力効率の高いシステムの需要が増大し続けるにつれ、システムの消費する電力とエネルギーを正確に監視することはますます重要となり、より多くのエンジニアが解決の必要に迫られています。この問題の解決策の1つは、電流と電圧の両方にアナログ/デジタル・コンバータ(ADC)を使用してから、結果をプロセッサで乗算し、電力を算出することです。しかし、電流と電圧の情報を取得する間に通信遅延とオーバーヘッドが発生するため、電流と電圧の両方が双方独立に変化する可能性があり、電力測定に時間同期誤差が発生します。電流と電圧の測定間の遅延を最小化するため、プロセッサはADC通信および電力の計算に十分な処理能力を振り分けられる必要があります。プロセッサを主にこの機能のために割り当てても、システム内の他のデバイスとの相互作用により電圧および電流の測定が遅延し、電力監視の精度が低下する可能性があります。システムの電圧、電流、電力の平均化や、エネルギーの監視など別の役割を追加すると、プロセッサに新たな機能が要求され、さらに負荷は重くなります。

電力を監視するための、より優れた方法は、デジタル電流モニタを使用して数学的な処理を行い、プロセッサをシステムの他の処理のために解放し、高レベルのシステム動作が必要とされる時のみプロセッサへアラートを発行することです。テキサス・インスツルメンツは、この問題に対処するため広範なデジタル電力および電流モニタを提供しています。このような電力、電流、電圧モニタの1つがINA233です。INA233はI²C、SMBus、PMBus互換のインターフェイスにより、電圧、電流、電力、エネルギーの監視が可能です。INA233の代表的なアプリケーションおよびブロック図を、[図1](#)に示します。

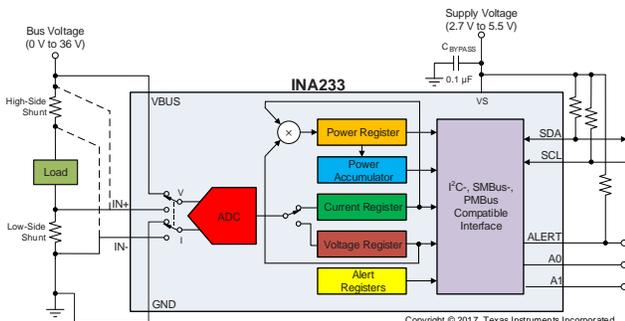


図 1. INA233の代表的なアプリケーション回路

電力変換エンジンの簡略化されたブロック図を、[図2](#)に示します。電力計算の時間同期誤差を最小限に抑えるため、電力はインターリーブ形式でのシャントおよびバス電圧の測定結果から内部的に計算されます。

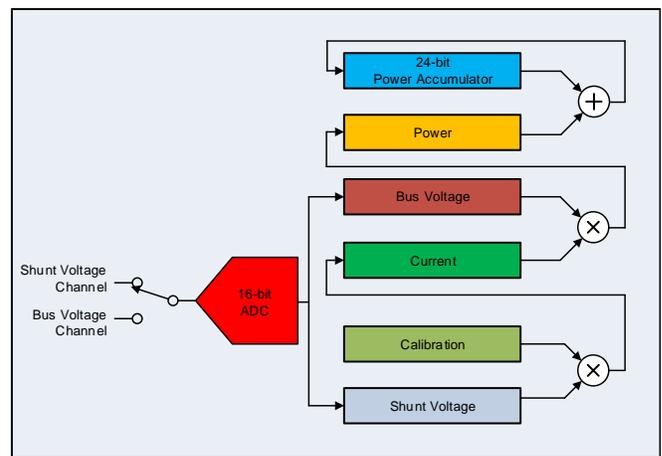


図 2. INA233電力変換エンジン

電力の内部的な計算は、ADCの変換レートやデジタル・バス通信とは独立に、バックグラウンドで行われます。このデバイスにはALERTピンもあり、電流、電力、またはバス電圧が予測される動作範囲外のと看、ホスト・プロセッサへ通知します。INA233では、フォルト・イベントが独立に処理され、ALERTピンがアサートされたとき内部のステータス・レジスタを読み出すことで、複数のフォルト状況を同時に報告可能です。INA233の内部処理およびアラート機能により、ホスト・プロセッサが解放されて他の作業を管理できるようになり、デバイスは継続的にシステムの監視を行います。追加の注意が必要な場合のみ、ホスト・プロセッサはALERTピンにより通知を受けます。

INA233には24ビットの電力アキュムレータも搭載されており、現在の電力読み出し値を前の電力読み出し値へ継続的に加算します。この電力アキュムレータを使用して、システムのエネルギー消費量を監視し、時間による電力消費量の平均値を得ることができます。電力レベルはどの時点でも変動の可能性があるので、エネルギーの監視により長期

的なシステムの消費電力の平均値をより正確に測定できます。システムのエネルギー消費量が判明すれば、システムの実行時間と電力効率を測定するための指標が得られ、電源電圧とプロセッサのクロック速度の調整による電力最適化の効果も明確になります。

シャントとバス電圧測定のADC変換時間は、どちらも140µs～8.244msの範囲でプログラム可能です。変換時間を長くすると、ノイズ感受性が低下し、デバイスの測定結果が安定する利点があります。ADC変換時間の延長が測定結果に与える影響を、[図 3](#)に示します。

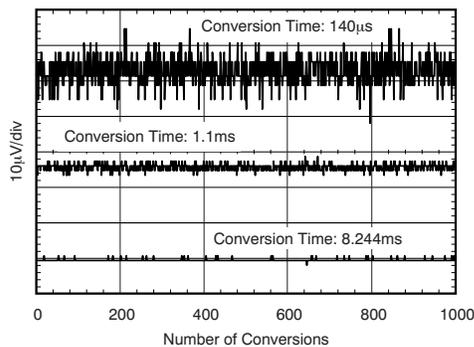


図 3. ノイズとADC変換時間との関係

ADC変換時間がプログラム可能なことに加えて、このデバイスは最大1024の変換サイクルを平均化し、平均化の終了後に内部の電力、電流、電圧レジスタを更新できます。変換時間がプログラム可能なことと、平均化ウィンドウにより、システムのタイミング要件に合わせて、デバイスのテレメトリ更新レートを調整できます。

INA233にはADC変換時間の平均化および変更機能が組み込まれていますが、ユーザーは平均化が完了し、結果が得られるまで待つ必要があります。内部電力アキュムレータの利点の1つは、ホストが必要なときに平均電力を計算でき、平均化のインターバルが完了するまでの遅延が発生しなくなることです。平均電力を必要なときに読み出すには、[式 1](#)に示すように累算された合計電力の値を取得し、その累算期間の合計サンプル回数で除算します。

$$\text{Average Power} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{ADCPowerMeasurement}_i}{n}$$

$$= \frac{\text{Total Accumulated Power over } n \text{ samples}}{\text{Number of samples}} \quad (1)$$

平均電力が算出されると、[式 2](#)に従い、平均電力とその平均に対応する期間を乗算、または合計累算電力とADCの変換時間を乗算して、エネルギー消費量が決定されます。

$$\text{Energy} = \text{Average Power} \times \text{time}$$

$$= \left(\frac{\sum_{i=1}^n \text{ADCPowerMeasurement}_i}{n} \right) \times (n \times \text{ADC conversion time})$$

$$= \text{Total Accumulated Power} \times \text{ADC conversion time} \quad (2)$$

ADC変換時間は最大10%程度変化する可能性があるため、平均電力と、外部の時間ベースにより測定された時間とを乗算することをお勧めします。エネルギー計算の時間間隔は、デジタル・バスによる通信時間が、エネルギー計算に使用される合計時間に対して無視できるだけ、長くする必要があります。

INA233の電力アキュムレータのサイズは24ビットに制限されています。オーバーフローを避けるため、ホストはアキュムレータの値を定期的に読み出し、クリアする必要があります。アキュムレータは、読み出しごとに自動的にクリアするように構成できます。オーバーフローまでの時間は電力、ADCの変換時間、平均化時間の関数となります。大きな電力レベルでは、小さな電力レベルよりも、電力アキュムレータのオーバーフローは早く発生します。また、変換時間が長い、および平均化の回数が多い場合はオーバーフローまでの時間が長くなります。電力が小さい場合、オーバーフローまでの時間を数時間から数日までに延長できます。

INA233は、テキサス・インスツルメンツが供給する多くのデジタル電流モニタの1つです。システムを監視し、ホスト・プロセッサをより高度な作業のため解放できる、いくつかの代替デバイスを[表 1](#)に示します。

表 1. その他の推奨デバイス

デバイス	最適化されるパラメータ	性能のトレードオフ
INA226	I2C/SMBus互換で小さなレジスタ・セット	電力アキュムレータなし、独立のフォルト監視なし
INA231	WCSPパッケージ、小さなレジスタ・セット、低コスト	低精度、電力アキュムレータなし、独立のフォルト監視なし
INA219	最も低コスト、小さなレジスタ・セット	低い精度と分解能、ALERTなし、電力アキュムレータなし
INA3221	3つのチャンネルを監視	低い精度と分解能、バスとシャントの電圧を監視

表 2. 関連するTech Note

SBOA179	A/Dコンバータ内蔵電流センシング
---------	-------------------

TIの設計情報およびリソースに関する重要な注意事項

Texas Instruments Incorporated ("TI")の技術、アプリケーションその他設計に関する助言、サービスまたは情報は、TI製品を組み込んだアプリケーションを開発する設計者に役立つことを目的として提供するものです。これにはリファレンス設計や、評価モジュールに関する資料が含まれますが、これらに限られません。以下、これらを総称して「TIリソース」と呼びます。いかなる方法であっても、TIリソースのいずれかをダウンロード、アクセス、または使用した場合、お客様(個人、または会社を代表している場合にはお客様の会社)は、これらのリソースをここに記載された目的にのみ使用し、この注意事項の条項に従うことに合意したものとします。

TIによるTIリソースの提供は、TI製品に対する該当の発行済み保証事項または免責事項を拡張またはいかなる形でも変更するものではなく、これらのTIリソースを提供することによって、TIにはいかなる追加義務も責任も発生しないものとします。TIは、自社のTIリソースに訂正、拡張、改良、およびその他の変更を加える権利を留保します。

お客様は、自らのアプリケーションの設計において、ご自身が独自に分析、評価、判断を行う責任がお客様にあり、お客様のアプリケーション(および、お客様のアプリケーションに使用されるすべてのTI製品)の安全性、および該当するすべての規制、法、その他適用される要件への遵守を保証するすべての責任をお客様のみが負うことを理解し、合意するものとします。お客様は、自身のアプリケーションに関して、(1) 故障による危険な結果を予測し、(2) 障害とその結果を監視し、および、(3) 損害を引き起こす障害の可能性を減らし、適切な対策を行う目的で、安全策を開発し実装するために必要な、すべての技術を保持していることを表明するものとします。お客様は、TI製品を含むアプリケーションを使用または配布する前に、それらのアプリケーション、およびアプリケーションに使用されているTI製品の機能性を完全にテストすることに合意するものとします。TIは、特定のTIリソース用に発行されたドキュメントで明示的に記載されているもの以外のテストを実行していません。

お客様は、個別のTIリソースにつき、当該TIリソースに記載されているTI製品を含むアプリケーションの開発に関連する目的でのみ、使用、コピー、変更することが許可されています。明示的または黙示的を問わず、禁反言の法理その他どのような理由でも、他のTIの知的所有権に対するその他のライセンスは付与されません。また、TIまたは他のいかなる第三者のテクノロジーまたは知的所有権についても、いかなるライセンスも付与されるものではありません。付与されないものには、TI製品またはサービスが使用される組み合わせ、機械、プロセスに関連する特許権、著作権、回路配置利用権、その他の知的所有権が含まれますが、これらに限られません。第三者の製品やサービスに関する、またはそれらを参照する情報は、そのような製品またはサービスを利用するライセンスを構成するものではなく、それらに対する保証または推奨を意味するものでもありません。TIリソースを使用するため、第三者の特許または他の知的所有権に基づく第三者からのライセンス、あるいはTIの特許または他の知的所有権に基づくTIからのライセンスが必要な場合があります。

TIのリソースは、それに含まれるあらゆる欠陥も含めて、「現状のまま」提供されます。TIは、TIリソースまたはその仕様に関して、明示的か暗黙的にかかわらず、他のいかなる保証または表明も行いません。これには、正確性または完全性、権原、続発性の障害に関する保証、および商品性、特定目的への適合性、第三者の知的所有権の非侵害に対する黙示的保証が含まれますが、これらに限られません。

TIは、いかなる苦情に対しても、お客様への弁済または補償を行う義務はなく、行わないものとします。これには、任意の製品の組み合わせに関連する、またはそれらに基づく侵害の請求も含まれますが、これらに限られず、またその事実についてTIリソースまたは他の場所に記載されているか否かを問わないものとします。いかなる場合も、TIリソースまたはその使用に関連して、またはそれらにより発生した、実際の、直接的、特別、付随的、間接的、懲罰的、偶発的、または、結果的な損害について、そのような損害の可能性についてTIが知らされていたかどうかにかかわらず、TIは責任を負わないものとします。

お客様は、この注意事項の条件および条項に従わなかったために発生した、いかなる損害、コスト、損失、責任からも、TIおよびその代表者を完全に免責するものとします。

この注意事項はTIリソースに適用されます。特定の種類の資料、TI製品、およびサービスの使用および購入については、追加条項が適用されます。これには、半導体製品(<http://www.ti.com/sc/docs/stdterms.htm>)、評価モジュール、およびサンプル(<http://www.ti.com/sc/docs/sampterm.htm>)についてのTIの標準条項が含まれますが、これらに限られません。