

産業用機器を進歩させる 高精度モータ・ドライブ制御



Harald Parzuber
*Motor Drives Sector Manager,
Industrial Systems Team
Texas Instruments*

自動車製造工場で動作するロボットを思い浮かべてみると、ロボットはエンジンをブロックを持ち上げ、自動車のシャーシ内の所定の位置に正確に置き、それを離し、元の姿勢に戻る、という工程を繰り返します。このロボットは人間よりもはるかに大きな重量の部品を持ち上げ、それをより高い繰り返し精度で規定の位置に置き、休止することなく、必要に応じて24時間、同じ動作を継続することが可能です。

このようなロボットは自動車製造や他の業界の主力となり、ロボットの採用は拡大を続けています。ロボティクスの動作には高精度のモータ・ドライブ制御が必須です。多軸ロボットが持ち上げたエンジンを移動させるためには、動作のあらゆる点で、3次元方向に異なる量の力を使わなければなりません。ロボット内のモータは、高精度を保ちながら、各ポイントで異なる速度とトルク(回転力)を供給することが求められ、正確な位置を保つためには、ロボットの制御には、異なる複数の軸の動きを調整することが必要になります。ロボットが自動車エンジンを置いた後、アームを原点復帰させる間、モータのトルクを下げることも必要です。

ロボティクスその他の分野でのモータ・ドライブの制御と同じく、モータ制御そのものはリアルタイム動作での高精度の制御を可能にするエレクトロニクスの進歩に依存しています。ハイエンドの電源、知的機能を持つモータ・ドライブ、高性能の制御信号処理や正確なセンシング・フィードバックなどが協調して、複雑なマシンがその瞬間ごとに必要とする高精度な速度とトルクによって、より高い生産性、機能、そして製造機器と人員両方に対して、より高い安全性を実現しています。TIは、産業用アプリケーション向けに、先進のモータ制御システムの開発を可能にする、幅広い統合ソリューションを供給しています。TIは、各業界が求めている、より高精度で制御可能なモータ・ドライブ製品を開発できる、ソフトウェアや開発ツール群とともに多様なIC(集積回路)を設計技術者に供給します。主要なモータ製品メーカー各社との長年に渡る協働をベースとしたTIのシステムに関する深い専門知識は、

モータ制御システムの設計を簡素化すると同時に、製品の性能を強化します。

モータ制御の利点

モータ・ドライブを電子的に制御することで、コストの削減、生産性の向上や、新しい製造能力につながる、様々な精度を向上させます。ドライブ制御は、シャントと比較して、ロータ位置をより安定に確保でき、モータ出力の予測がより簡単になり、より高効率の電力使用が可能になります。モータ負荷が変化すると、電子制御は入力電圧と供給トルクを瞬間的に変更することで、そのマシンが発揮する力と消費電力を、その瞬間の使用状況に、より緊密に一致させます。さらに、電子入力制御によって、ギヤ、ベルトやプーリーなどの高価な機構を使って異なる速度を出力する代わりに、ドライブの速度をモータ自身で変化させることが可能です。電子制御は、ス

テッピング・モータでは、ロボティクスのモーション制御に必要なマイクロステップと呼ばれる小さな量でロータを回転させることも可能です。これらすべての理由によって、高効率動作のアプリケーションは、求められる作業に対する高い適合性を持ったモータ制御を使うことが可能になり、それ以外の方法で発生する無駄のほとんどを排除できます。

動作の高効率化すると生産性が向上します。例えば、組み立てラインのコンベアベルトは、通常、他のシステムと組み合わせて動作させます。他のシステムはベルトに部品を供給する、部品に何らかの操作をする、あるいは次工程のためにベルトから部品を受け取る、などの動作を行います。ベルトは、一定の速度で前方への回転動作を行います。工程によっては速度の変更、停止や、一時的な逆転などが必要な場合もあります。これらの動作のほかに、ベルトで搬送する部品数や重量の連続的な変化によって、出力を自動的に調整するためモータ・ドライブの制御が必要になります。

工場内では、部品を流す速度を常に最適化するため、しばしば、複数のベルトの同期が必要になることから、複数のモータ間の協調動作も必要になるでしょう。複数の制御されたモータを使い、複数のベルトを、条件の変化に対して予測可能な速度で動作させることは、工場全体の生産性に良い影響を与えるのみならず、現代の製造環境に不可欠な役割を担っています。

また、高精度で制御されたモータは、新しい製造能力も可能にします。その最も画期的な例は、電子的に制御されたモータが人間を超える強度と速度を備えた高精細グレードのモーション制御です。前に述べたエンジンブロックを移動させるロボットの例では、その力の強さを説明

しましたが、他の例では、動きの精度、速度、またはその両方を説明します。例えば部品を持ち上げて規定の場所に置くロボットでは、人間よりもはるかに高速、かつミクロン単位の誤差で高精細モーション制御を繰り返します。

電子制御モータは、高速、繰り返し、それに時として危険な仕事から作業者を解放する助けをすることで、より安全な環境を提供します。

このトレンドの中で、ロボットが作業者と安全に共同作業を行う設計が、新しく開発されつつあります。しばしば、安全上の問題がシステムの稼働や作業者の手順と関連しますが、これには機器と作業者の両方を電気放電から保護する内部の制御回路も含まれます。産業用機器や、それらを駆動するモータの設計では、高い安全性は常に重要な要素です。

高精度モータ制御の設計上の問題

特定の作業には、数多くの種類のモータが使われますが、産業用モータの多くはAC（交流）電源からの三相電力で動作します。図1に、このようなシステムの代表的な制御回路のブロック図を示します。入力のAC電力はDC（直流）に整流されます。PWM（パルス幅変調）でスイッチングされた三相インバータが3本の高周波パルス電圧波形を発生し、モータの三相巻線に個別の相出力を加えます。これらの三相電力信号では、モータ負荷の変動は、電流フィードバックに反映されて、センシング、A/D変換されて、マイコンと同様のMCU（マイクロプロセッサ）、プロセッサやFPGA（フィールド・プログラマブル・ゲート・アレイ）で構成されたデジタル処理ユニットに伝送されます。

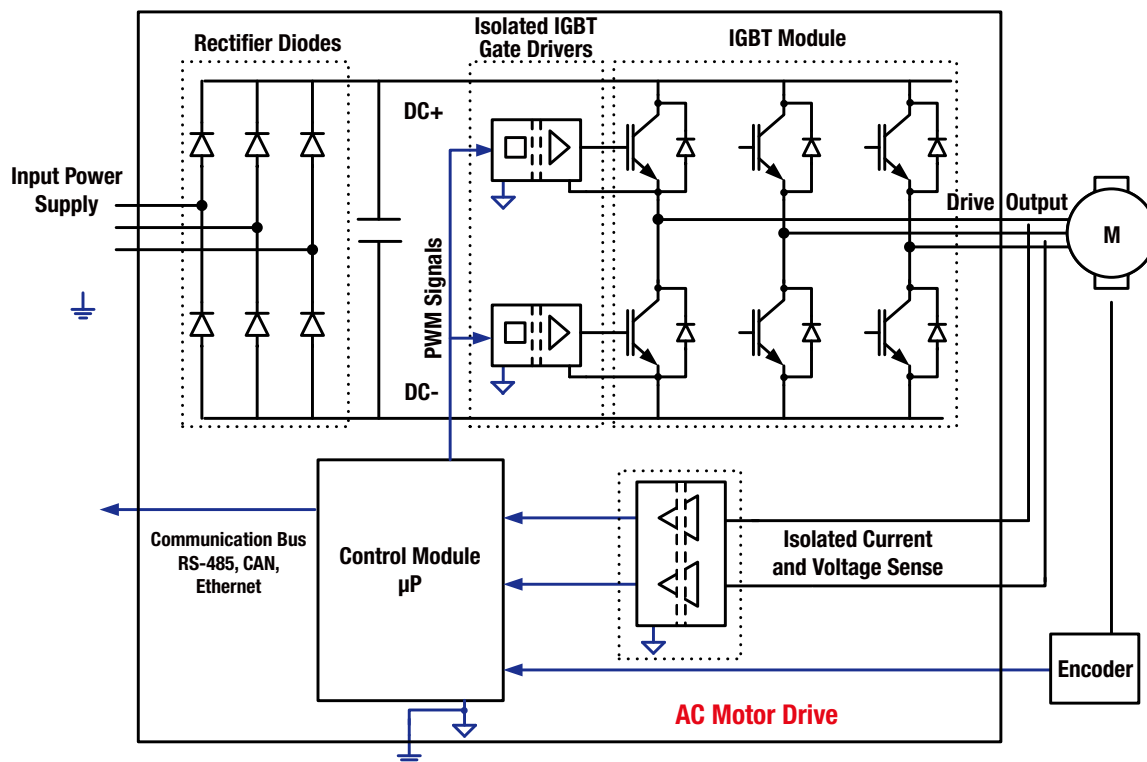


図 1: 三相 AC 誘導モータの制御回路

デジタル処理ユニット内の高速デジタル信号処理アルゴリズムが、条件の変動に対して電力の調整が必要かどうかリアルタイムで判断します。処理ユニットはゲート電力をスイッチングし各巻線への出力電力の安定化を行うためにPWMの制御出力を三相インバータに送り、より高い、あるいは低いトルクや速度をモータから供給します。コントローラは追加のセンシング・データも使って、システムの入力電圧や温度の変化に追従することも可能です。高精度のモータ制御を実現するためには、すべての構成部品には高レベルの性能が必要です。制御システムの電源に使うSMPS（スイッチング・モード電源）には、一貫した高分解能、超高速のスイッチング周波数が求められます。

電源設計は、高電圧、高い周波数を含み、かつ数多くの受動部品が必要であり、これらは管理が難しい誘導性や容量性の相互インピーダンスを発生することから、困難を

伴います。幸いなことに、新しい高周波材料と統合SMPSモジュールによって、制御システム内の高性能電源の設計が簡単になりました。

さらに、高精度モータ制御には、非常に高速のリアルタイム計算が必要で、このためにはDSP（デジタル・シグナル・プロセッサ）内蔵マイコン製品が最適です。DSPは電源の過渡波形その他の異常からシステムを保護するためのデジタル・フィルタその他の関数を実行する能力を提供すると同時に、このような関数を実装するためのアナログ部品の削減にも役立ちます。

基本的な制御で十分な低価格アプリケーション向けには、専用ロジックと汎用マイコンも使われますが、ロボットその他の先進の製造機器内の産業用モータには、瞬時的な応答と高精度のほか、デジタル信号制御マイコン製品が提供するプログラミングの柔軟性や最先端のアルゴリズムが必要です。

モータ制御システムの最大の困難は、電流や電圧を高分解能でセンシングしフィードバックする設計です。多くの設計では1本のシャントで電流フィードバックを計測しますが、より計算を重視する徹底した設計では、3本のシャントすべてからフィードバックを計測します。設計者はアナログ信号の喪失や妨害の可能性を避けるため、センサに可能な限り近い場所でフィードバック信号のデジタル化を行うようになっています。しかし、デジタル・フィードバック信号は、タイミングに潜在的な問題を含んでいます。特にクロック周波数とサンプリングレートが上がるにつれてタイミング・ウィンドウが狭くなります。クロック信号とデータ信号の配線長が異なると、この問題がさらに拡大し、動作中に各部品の温度が上がり信号にドリフトが生じるとデータ・エラーを発生するおそれもあります。先進の信号モジュレータを使った良い設計指針によって、これらの問題を最小限にすることができます。また温度上昇に対応して変数を変化させるアルゴリズムも補償に役立ちます。

アプリケーションに求められる精度が上がるにつれて、モータ制御は温度、入力電圧、タイミングその他の要素の変化に、より注意深く対応させる必要があります。例えば、3次元空間内で物体を直線上に移動させるロボットアームでは、そのシステムが高温で動作している場合、制御設計が温度計測とアルゴリズム調整を行い温度によって変化するパラメータの補償を行わない限り、動作軌跡が変化してしまうことでしょう。

ロボティクスによるミクロン単位の繰り返し精度の部品の持ち上げ移動動作を可能にするためには、これと同種のオンザフライ方式の調整が必要になり、もしそうでなければ、温度ドリフトのため精度が低下して、ミリ単位の精度になってしまうでしょう。製造環境の温度、塵、振動その他のストレス条件が厳しい場合、モータ制御の電子回路は、広い動作条件に渡って一貫した高精度動作を提供するよう、より注意を払って設計しなければなりません。

高精度モータ・ドライブ制御を実現する TIのテクノロジー

TIでは、現代の統合製造環境で高効率の動作を提供する、高精度モータ制御と高信頼のドライバ回路の設計に必要な先進のテクノロジーを提供しています。TIのソリューションには、絶縁型や非絶縁型のスイッチング・ゲート・ドライバ、リアルタイム制御向けのフィードバック信号変換や高速処理のほか、プログラマブル・クロック・ジェネレータやDC/DC電源などの補助機能が含まれます。TIは先進のSMPSと三相インバータ設計向けに、高周波GaN(ガリウム-窒素)ゲート・ドライバ製品や、複数のGaNスイッチとゲート・ドライバを集積したモジュール製品を供給中です。低電圧の三相インバータ向けには、高性能、高信頼のスマート・ゲート・ドライバ製品、制御用パワー FETを内蔵したドライバ製品、制御機能を集積し簡素化しつつ高精度の制御と開発期間の短縮を提供するドライバ製品も供給しています。

産業仕様に適合するとともに、過酷な産業用環境での使用への試験済み、認定済みの、強化絶縁をはじめとした安全機能を内蔵した製品も供給中です。

さらに、TIではIC製品に付帯して、製品設計を簡素化し開発期間の短縮に役立つ、完備したサポートも提供しています。

最近のモータ制御分野での最も重要な革新的な製品のひとつは、[AMC1306](#)絶縁デルタ-シグマ型モジュレータ製品であり、この製品は電流その他のセンサからの信号をデジタル化し、最大限のタイミング効率でデータ信号とクロック信号の組み合わせを出力します。

AMC1xxx 絶縁信号モジュレータ製品ファミリの最新の製品である AMC1306は、最小限の実装面積に強化絶縁と直列にTIのキャパシティブ絶縁テクノロジーを内蔵しています。**図2**に示すようにセンサ出力レベルの変化をデルタ-シグマ A/D変換し、そのクロックレートのマンチェスタ・コーディングを行い、データ・ストリームに重畳します。

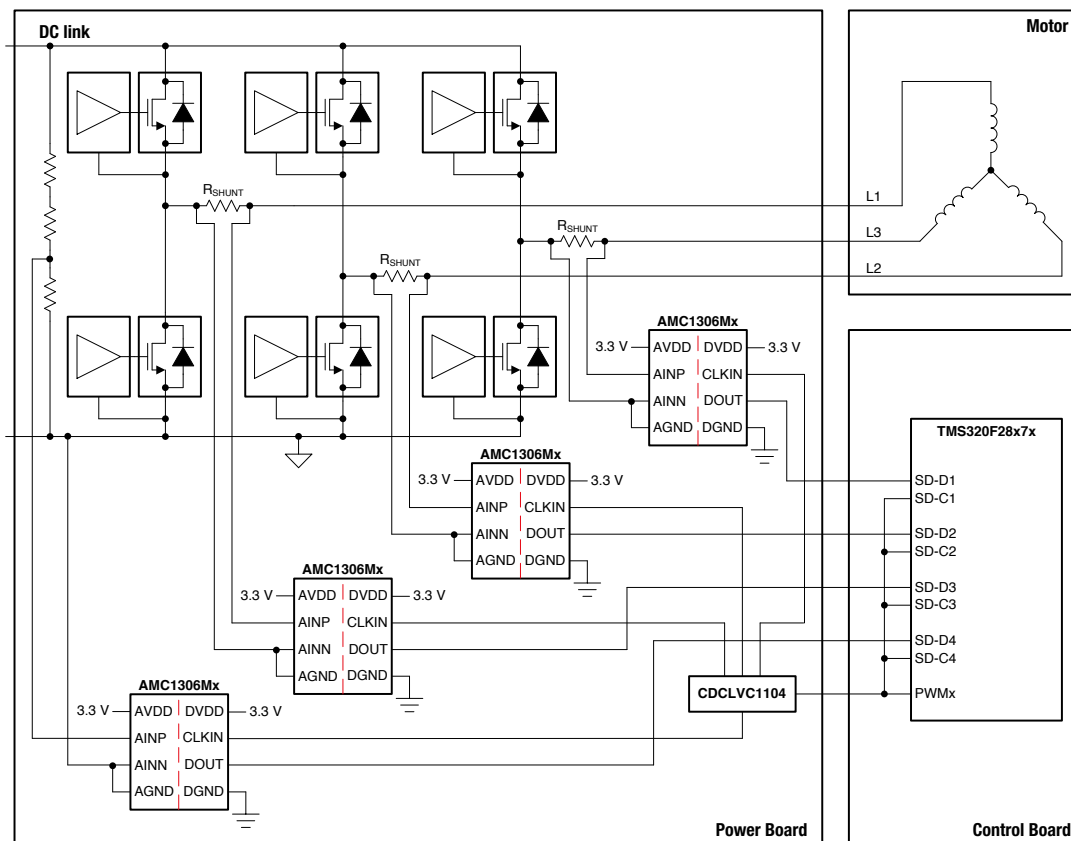


図 2: 小型のデルタ - シグマ型モジュールを使った強化絶縁、モータ相電流センス・リファレンス・デザイン

この結果、温度変化に伴って発生する可能性のあるセットアップ・タイムやホールド・タイムの問題を大幅に解消する、高い堅牢性の信号が得られ、三相モータ制御システムの設計やプリント基板配線を大幅に簡素化できます。

データ・ストリームにクロックを埋め込んだマンチェスタ・コーディング

TIでは AMC1306モジュールを搭載した設計を支援するため、[小型デルタ-シグマ型モジュレギュレータを使った強化絶縁、モータ相電流センス・リファレンス・デザイン](#)を提供しています。図2に、このリファレンス・デザインの機能ブロック図を示します。AMC1306は電流、温度、電圧のセンシングに使用しています。このデバイスは3本のモータ・シャントに発生する三相すべての電力信号電流の電流計測に使用されていますが、図2では簡素化のため、単相のみ示しています。このリファレンス・デザインの赤の点線部分は、安全のため効果的に絶縁されている部分を示しています。特定の強化絶縁の部分は、AMC1306の三角形内の分割によって示されて

いるほか、TIのキャパシティブ絶縁テクノロジーを搭載している ISO53xxx IGBT（絶縁ゲート・バイポーラ・トランジスタ）スイッチ・ドライバ内の赤色の点線によって示されています。

図2では、TIの幅広い C2000™ マイコン製品ファミリーの一つであり、制御システム内での使用を目的とした高性能数値演算と簡素なプログラミングやペリフェラルセットを統合した [TMS320F2837x Delfino™](#) 32ビット浮動小数点マイコンを使って制御処理を行っています。

多様な種類のモータをサポートする C2000 DesignDRIVE ソフトウェア・プラットフォームは、アルゴリズム開発やシステム実装の迅速化に役立ちます。

InstaSPIN™ モータ制御ソリューションは、幅広いアルゴリズム、ツール群やリファレンス・デザインを TI の DSP とアナログの専門知識とともに提供しており、先進のモータ・ドライブ制御設計の評価、学習期間や開発期間の短縮をサポートします。

統合製造環境向けの 高精度モータ製品

各業界は、より高精度の制御、マシン間の通信量の増加、より広範囲のセンシング入力、それにロボティクスや人工知能の新しい機能によって進歩を続けています。これらの進歩は、蒸気機関、流れ作業による大量生産、コンピュータ支援オートメーションに続く第4次産業革命と呼ばれる、新しいレベルの統合オートメーションとデータ交換に発展しています。高精度のモータ制御は、産業用マシンのほとんどすべての動作を駆動していることから、この革命で大きな役割を担っています。先進のTIのテクノロジーは高分解能のモータ制御を実現する上で重要な役割を担うと同時に、引き続き、メーカ各社においてより高いレベルのモータとモーション制御を可能にするために役立っています。

システム開発各社は、モータ製品の機能を向上すると同時に、設計を簡素化するために役立つ、TIの幅広いICソリューション・ポートフォリオと完備したサポートを活用できます。

第4次産業革命の拡がる中、TIはお客様とともに、常に最先端技術の前線を走り続けます。

参考文献

1. Anant S. Kamath, [Isolation in AC Motor Drives: Understanding the IEC 61800-5-1 Safety Standard](#), Texas Instruments (2015).

2. [AMC1306 データシート](#)

その他の資料

- 特に低電圧動作製品向けに設計され、多くのオプションを持つ TI の [幅広いモータ・ドライブ・システム製品ポートフォリオ](#) を検索
- [高効率の電源とモータ・ドライブ・アプリケーション向け設計](#) の詳細



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。