

## Application Brief

# ヒューマノイド ロボットに搭載された電流センシング



Sabari Kannan Muthalagu, Kristen Mogensen, Grace Gibler, Elia Hanna

ヒューマノイド ロボットの安全かつ効率的な動作を実現するには、モーター電流を高精度で測定することが重要です。これらの測定値は、ロボットの関節内にあるアクチュエータの制御アルゴリズムによって使用され、精密な動きとダイナミック性能を実現します。モーターの微細な制御と応答性に優れた動作を必要とする複雑なタスクでは、高い水準の精度を維持することが極めて重要です。

各関節のアクチュエータ (通常は永久磁石同期モーター (PMSM)) は、モーターが動かす必要のある負荷の大きさに応じて電流要件が異なります。電流レベルは一般に  $0.2A \sim 83A$  の範囲内で変動し、ドライブの大半は  $0.2A \sim 31A$  です。ヒューマノイド ロボットはバッテリーを使用して動作し、電圧は通常  $48V$ 、あるいは  $39V \sim 54V$  の範囲内です。バッテリーの充電状態によって異なります。

一般的な電流要件は、次のオプションに分類できます。

- $0.2A \sim 2A$ : 手首と手
- $2A \sim 6.3A$ : 足首、肩、首
- $21A \sim 40A$ : 肘
- $52A \sim 83A$ : 膝、腰、股関節

## ヒューマノイド ロボットに搭載された電流センシング

ヒューマノイド ロボット内のモーターは、さまざまな速度とトルクレベルで動作する必要があります。これは、フィールド オリエンテッド制御 (FOC) のようなモーター制御アルゴリズムを通じて実現できます。このアルゴリズムは、マイコン上で実行され、可変パルス幅変調 (PWM) 信号を、パワー FET を制御するゲートドライバに印加します (図 1 を参照)。

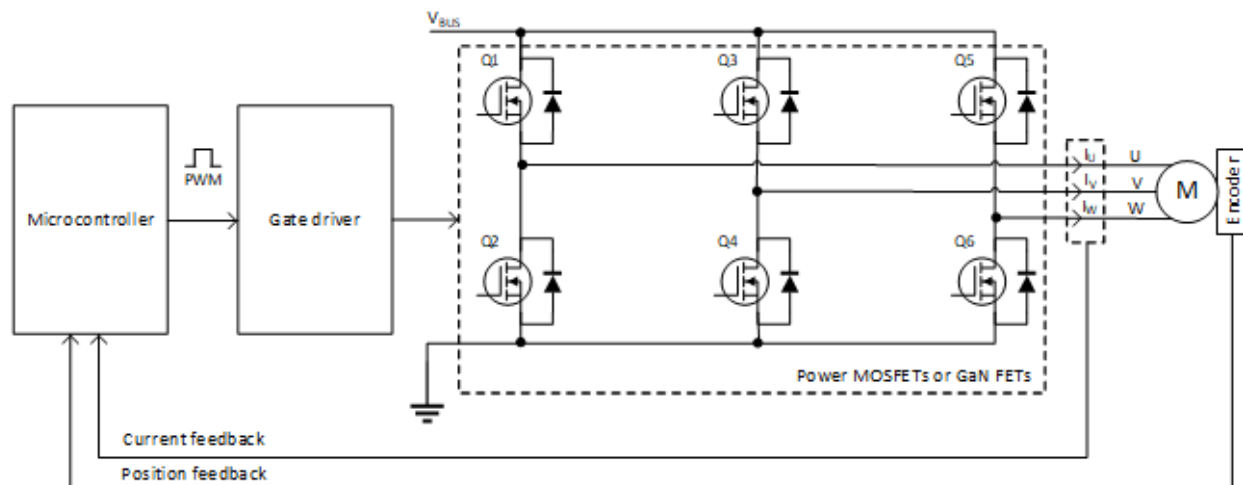


図 1. モーター制御のブロック図

電流センシング機能と監視機能を活用すると、ヒューマノイド ロボットのすべての関節におけるモーターの信頼性の高い性能を検証できます。ヒューマノイド ロボットに搭載された電流センシングは、モーター巻線に流れる電流の監視に一般的に使用されています。これらの測定値は、モーター制御アルゴリズムにとって不可欠な入力です。アルゴリズムは、モーターの負荷、性能、電氣的動作に関するリアルタイム情報を提供するからです。このデータにより、アルゴリズムは電圧とトルクの出力を正確に調整し、安定した動作と正確な位置決めを実現できます。たとえば、**FOC** アルゴリズムは、電流センサから巻線の電流消費データを受信し、エンコーダからモーター シャフトの位置を検出した後、ゲートドライバに印加する必要がある適切な **PWM** 信号を決定します。

電流監視により、モーター性能をリアルタイムで制御でき、速度レギュレーション、トルク管理、消費電力監視のための設計が可能になります。その結果、**3** 相電流の測定値は、ヒューマノイド ロボット内のモーターを効果的に制御するためのアルゴリズムに必要な重要な入力の **1** つとなります。

さらに、電流センサはシステムの安全性において重要な役割を果たし、モーターの過熱、過負荷、絶縁障害などの潜在的な障害や異常の特定を容易にします。巻線を損傷すると異常な電流消費につながる可能性があり、場合によっては消費電流が過度に高くなり、迅速に対処しないと機器の損傷やダウンタイムにつながる可能性があります。電流センサの測定値を分析することで、システムはモーターの状態を評価し、必要に応じて保護対策を実施できます。たとえば、システムは制御された安全なシャットダウンを開始して、重大な損傷や危険な状況が発生する前にそれを防止することができます。したがって、最大のシステム信頼性を維持し、事故のリスクを最小限に抑えるためには、堅牢で高精度の電流センシング設計をモーター制御システムに統合することが重要です。

## 電流センシング方法

ヒューマノイド ロボット内のモーターを流れる電流は、ローサイド、ハイサイド、インライン電流センシングなど、さまざまな方法を使用して測定できます。電流を測定するには、オペアンプ、抵抗、コンデンサなどのディスクリート部品で構成されたアンプを使用できます。または、電流センシング アンプ、デルタ シグマ変調器、ホール効果センサなどの専用 IC を使用して効率的な設計を実現することも可能です。このアプリケーション ブリーフでは、テキサス インストルメンツのヒューマノイド ロボット向け電流センシング アンプ、絶縁型デルタ シグマ変調器、絶縁型ホール効果電流センサ製品に焦点を当てていきます。

電流センシングは、システムを流れる電流を推定するオームの法則に基づいて実施します。オームの法則によれば、導体を通過する電流は、導体の両端間の電圧降下に正比例し、抵抗に反比例します。シャント抵抗と呼ばれる抵抗をシステム内に配置することで、オームの法則を使用して消費電流を測定します。シャントは、電流測定が必要な回路内に直列に配置されます。シャントを流れる電流によって、シャントの両端で電圧降下が生じます。通常、電圧降下は小さく、多くの場合 **mV** 単位の範囲であるため、電流センシング IC を使用した増幅が必要になります。この電圧差は通常、測定され、増幅されて、妥当な出力電圧を生成します。この出力電圧は、**A/D** コンバータ (**ADC**) とマイコンを使用して、システムに流れる電流を推定するために使用できます。この方法は、システムにシャントが導入され、シャントによって一部の電力が消費されるため、侵入型とみなされます。シャント抵抗の位置は、電流測定の方法によって異なります。

## ローサイド電流センシング

図 2 に示すように、この方法では電源グラウンドと FET の間にシャント抵抗を配置します。

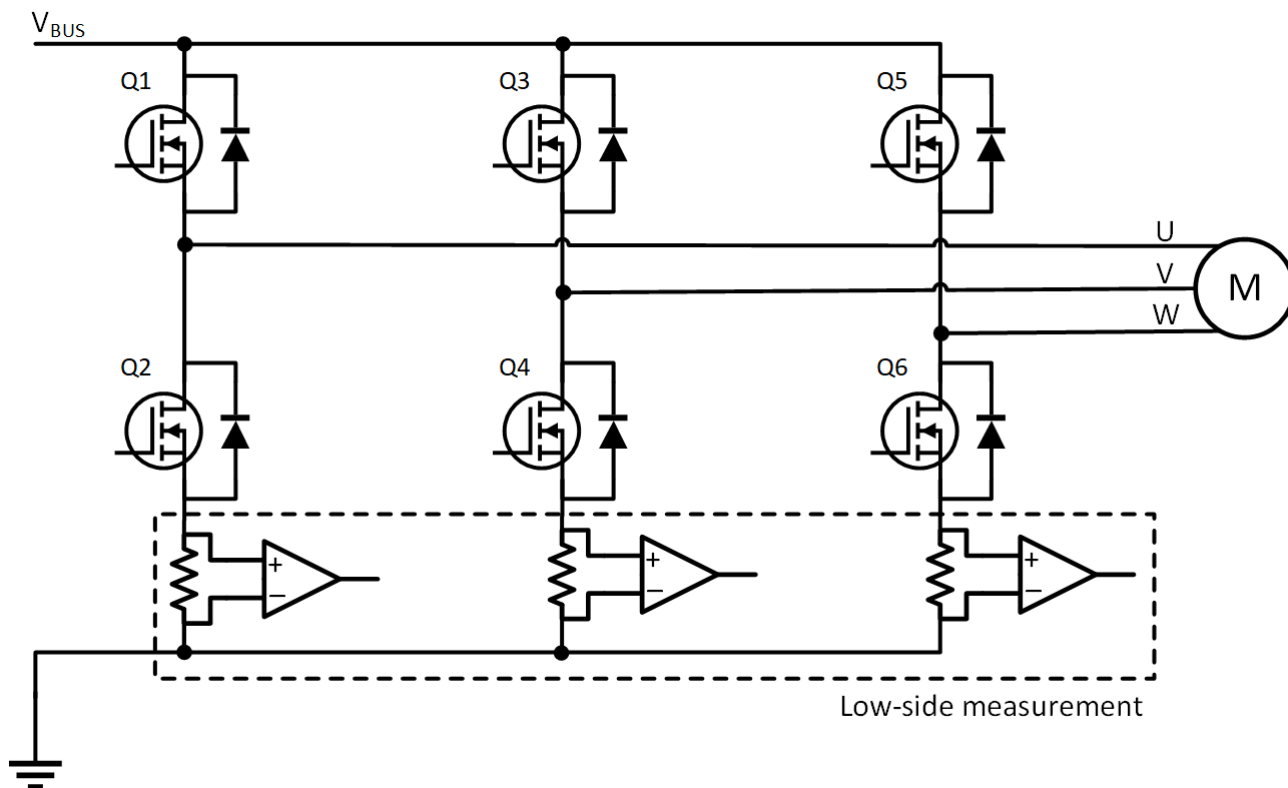


図 2. ローサイド電流測定

抵抗の両端間の電圧降下は、端子に接続された電流センシング IC によって増幅されます。シャント抵抗はグラウンドに近い場所に配置されているため、同相電圧はほぼ 0V を維持します。ただし、この位置にシャント抵抗を配置すると、システムグラウンドに影響を与え、システムグラウンドは実際のグラウンドではなくなります。そのため、この方法ではシステムのグラウンドへの短絡を検出できません。通常、測定には 2 つまたは 3 つの電流センサが使用されます。センサが 2 つしかない場合、3 つ目の値は他の 2 つの測定値から計算できます。この計算はマイコンで処理する必要がありますが、計算結果に、モーターで消費される実際の電流が常に反映されるとは限りません。これは、シャント抵抗に接続されている FET がオンのときのみ測定が有効であるためです。したがって、モーターの消費電流を高精度で推定するには、相当な後処理が必要になります。

## ハイサイド電流センシング

図 3 に示すように、この方法では、DC バスと FET の間にシャント抵抗を配置します。

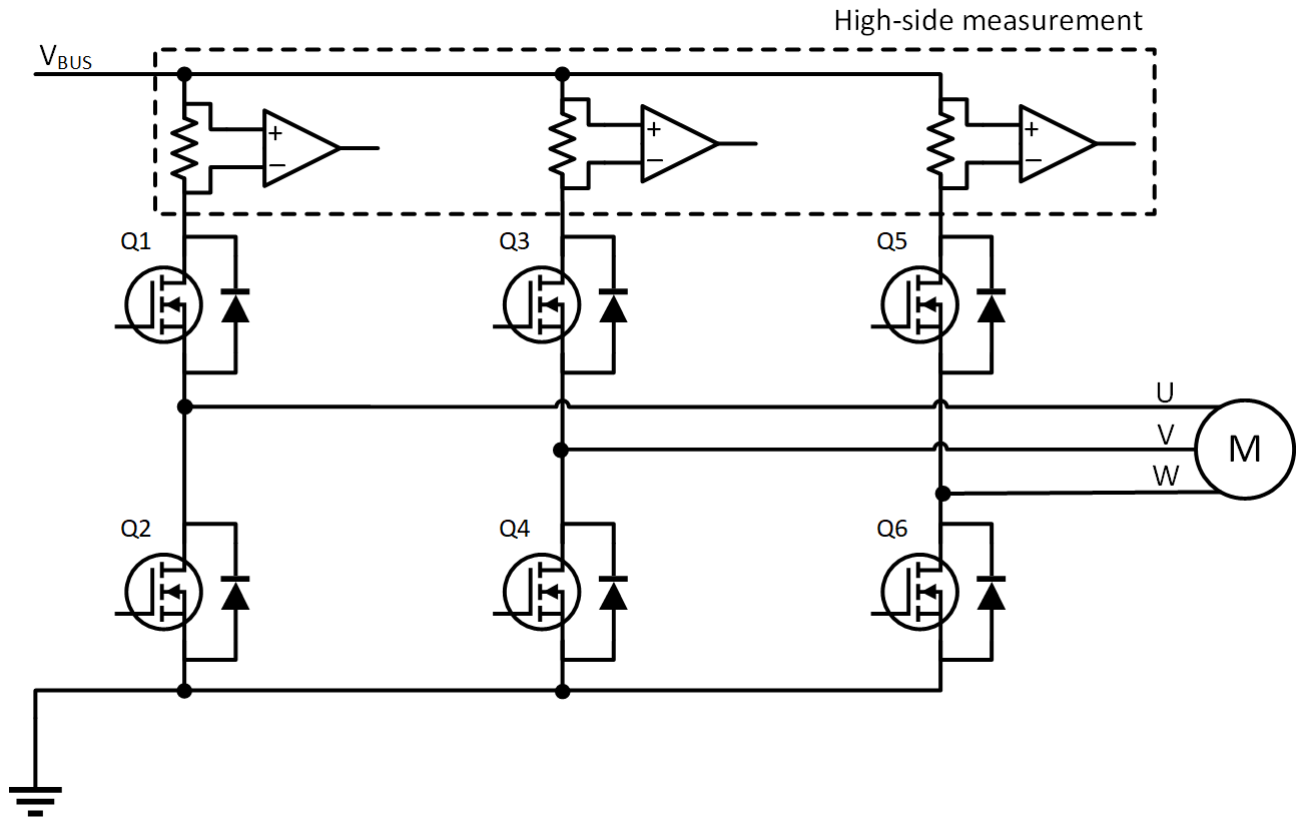


図 3. ハイサイド電流測定

抵抗の両端間での電圧降下が電流センサによって増幅され、出力されます。その結果、同相電圧はバス電圧にほぼ等しくなります。この設定では、システムのグラウンドは影響を受けません。電源電圧が同相電圧を決定するため、電流センシング IC は、特に電源電圧が高いシステムの場合、より高い電圧に対応する必要があります。前述の方法と同様に、測定はシャント抵抗に接続されている FET がオンの場合のみ有効で、相当な後処理が必要です。

## インライン電流センシング

これは、電流測定に最も広く使用されている方法の 1 つで、[図 4](#) に示すように、モーターの各相にシャント抵抗を追加します。

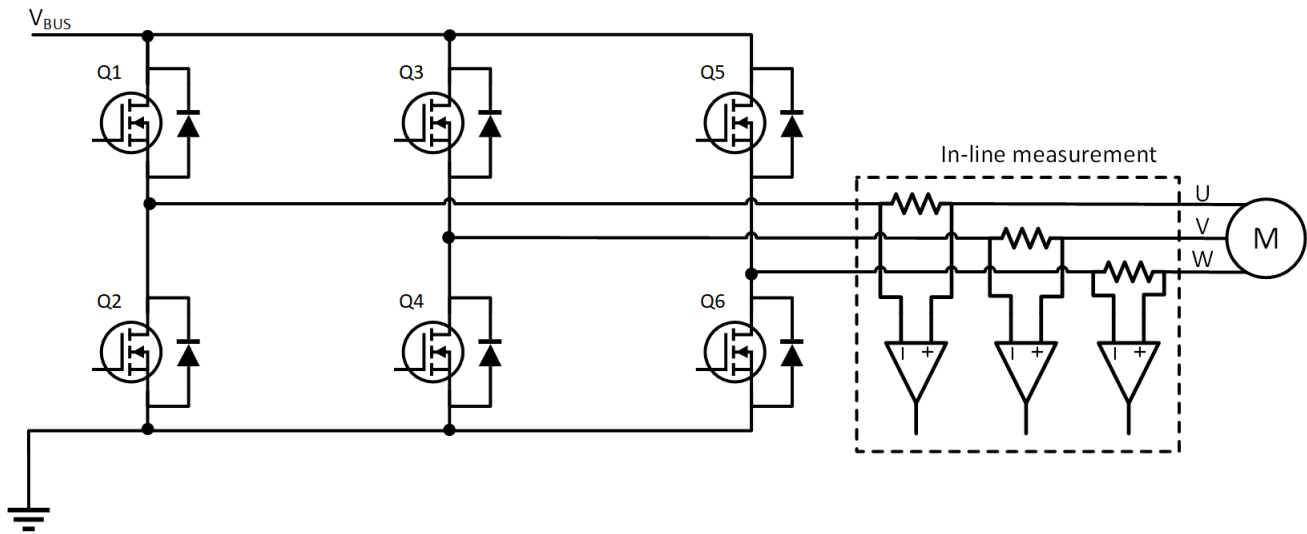


図 4. インライン電流測定

シャント抵抗の両端間での電圧降下は電流センシング デバイスによって増幅され、マイコンに帰還してさらに処理されます。この方法はモーターのすべての相について電流測定を行うため、他の 2 つの方法よりも非常に効果的であり、制御アルゴリズムにとって最も正確かつ重要な測定方法となります。さらに、FET の状態が電流測定に影響することなく、システムの短絡も検出できます。PWM 信号の高周波動作には課題がありますが、テキサス インストルメンツ (TI) の最新の電流センサは、この問題を効率的に処理できるように設計されています。TI では、絶縁型および非絶縁型のさまざまな電流センシング設計を提供しています。さらに、TI はシャント抵抗を内蔵した電流センシング アンプを提供しており、外部シャント抵抗を必要としないコンパクトな設計を実現できます。以下では、最近リリースされた電流センシング アンプと、ヒューマノイド ロボット アプリケーション向けの推奨設計について説明します。

## 電流センシング設計

電流センシング デバイスは、ローサイド、ハイサイド、インラインの各電流センシング機能を提供するヒューマノイド ロボットの重要なコンポーネントです。インライン電流センシングは、ヒューマノイド ロボットのあらゆる関節で精密なモーター制御を行うための最も精度の高い手法です。こうしたロボットの自由度と能力が拡大する中、電流センシングの要件はますます重要になっています。INA241A、INA790x、INA750x は、インライン モーター制御アプリケーション向けに設計されています。いずれのデバイスにも、最大 125kHz のスイッチング周波数をサポートする強化された PWM 除去機能が内蔵されています。これにより、入力側の同相過渡に起因する出力側の信号の乱れを最小限に抑えることができます。

INA241A は、市場で最も高精度な電流センス アンプであり、より厳密な制御ループを実現できます。このアンプは、-5V ~ 110V の同相電圧機能を有し、小さいオフセット電圧 (最大  $\pm 10\mu\text{V}$ )、最小のゲイン誤差 (最大  $\pm 0.01\%$ )、高い DC CMRR (代表値 166dB) という優れた性能を備えています。表 1 に INA241A の仕様と主要な競合製品との比較を示します。

表 1. デバイスの比較

デバイス	INA241A	競合製品 1	競合製品 2
25°C でのゲイン誤差 (最大)	0.01%	0.1%	0.4%
ゲイン誤差ドリフト (ppm/C)	1	30	10
25°C での $V_{os}$ (最大 $\mu\text{V}$ )	15	15	20
$V_{os}$ ドリフト (最大 $\mu\text{V}/\text{C}$ )	0.15	0.6	2.8
CMRR (最小 dB)	150	135	100

さらに、高帯域 (1.1MHz) と高スルー レート (8V/μs) により、高速な突入電流からの保護が可能になり、モーターをより高速に制御するための情報を提供できます。図 5 に、大きな同相過渡による出力の乱れを最小限に抑えた、強化された PWM 除去機能の結果を示します。

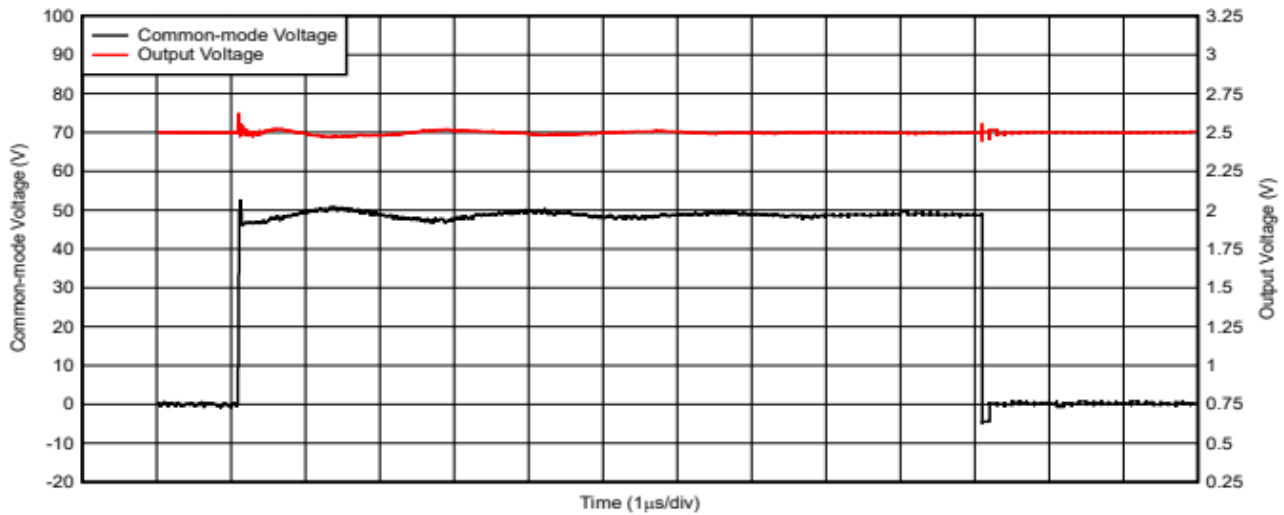


図 5. INA241x の強化された PWM 除去性能

INA241A は外部シャント抵抗を必要とするディスクリート電流センス アンプですが、TI は EZShunt™ 技術を採用したデバイス製品ラインアップをリリースしました。この製品は、シングル チップ デザインでシャント抵抗を内蔵しています。これにより、設計が簡素化されるとともに、基板面積とコストを低減しながら、優れた性能を実現します。INA790x と INA750x はどちらも、強化された PWM 除去機能を搭載した、ヒューマノイド ロボットを対象とした統合型設計です。どちらのデバイスも -4V ~ 110V の同相電圧に対応できます。INA790x は、400μΩ の抵抗を使用して 25°C で 75Arms の電流搬送能力を備えており、INA750x は 800μΩ の抵抗を使用して 25°C で 35Arms の電流搬送能力を備えています。ヒューマノイド ロボットの動作範囲が拡大するにつれて、システムに必要な電流センシング デバイスの数も増加しています。PCB 面積の削減は、ヒューマノイド アプリケーションにおいて大きな利点になります。INA790x は、標準の MSOP パッケージとシャント抵抗よりも PCB のサイズを 38% 縮小しています (図 6 を参照)。

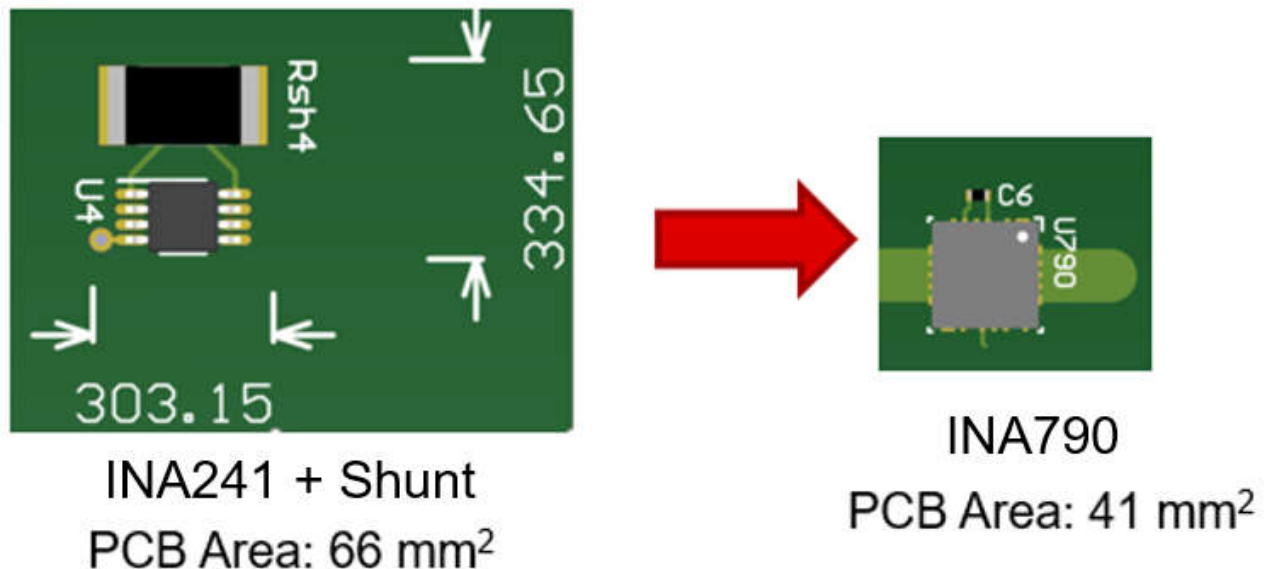


図 6. INA790 は、標準の MSOP + シャントに比べて PCB 面積を 38% 削減



発熱は、ヒューマノイドロボットの設計上の重要な考慮事項です。これらの EZShunt™ デバイスは、プログラムされた温度補償機能を内蔵しているため、デバイスの仕様温度範囲内で温度が変化してもデバイス測定値を正確に維持し、温度に対して優れた性能を発揮します。結果として、設計全体のドリフトは **35ppm/°C** と小さく抑えられます。さらに、デバイスを通じた放熱についても考慮する必要があります。これらの EZShunt™ デバイスは、周囲温度に基づく連続電流搬送能力を備えています。これは、各 EZShunt™ データシートに安全動作領域曲線によって概説されています。この安全動作電流レベルは、抵抗やパッケージへの損傷が発生したり、シリコンの内部接合部温度が **165°C** の制限を超えたりしないように、パッケージ全体での放熱が制限されるように設定されているため、全動作温度範囲にわたる性能を信頼性の高いものにします。

**表 2. 関連デバイス**

デバイス	最適化されたパラメータ
<a href="#">INA241A</a>	超高精度、高速 (1.1MHz BW)、広い同相電圧 (-5V ~ 110V)、強化された PWM 除去機能
<a href="#">INA790x</a>	PWM 除去機能と高速過渡応答機能搭載、110Vcm、75Arms、シャント内蔵
<a href="#">INA750x</a>	PWM 除去機能と高速過渡応答機能搭載、110Vcm、35Arms、シャント内蔵

### その他の推奨デバイス

PWM 除去機能を持たない代替デバイスとしては、[INA296A](#) と [INA791x](#) があります。[INA296A](#) はディスクリート設計で、[INA791x](#) はシャント内蔵設計です。これらのデバイスは、同相電圧範囲が最大 110Vcm までの広いハイサイド センシングで使用でき、負の同相電圧スイングに耐えることができます。

ローサイド センシングのニーズには、[INA381](#) があります。これは過電流アラートを提供するコンパレータが内蔵されており、コストを最適化した低電圧の電流センス アンプです。

**表 3. その他の推奨デバイス**

デバイス	最適化されたパラメータ	性能のトレードオフ
<a href="#">INA296A</a>	超高精度、高速 (1.1MHz BW)、広い同相電圧 (-5V ~ 110V)	<a href="#">INA241A</a> と同じ仕様、ただし PWM 除去機能なし
<a href="#">INA791x</a>	高速過渡応答機能搭載、110Vcm、75Arms、シャント内蔵	<a href="#">INA790x</a> と同じ仕様、ただし PWM 除去機能なし
<a href="#">INA381</a>	26Vcm、過電流コンパレータ内蔵	26Vcm 同相電圧制限

### 絶縁型ホール効果電流センサ

電流センス アンプに加えて、TI では高電圧 AC または DC 測定向けの絶縁型ホール効果電流センシング設計も提供しています。この製品ラインアップは、より大型の産業用ロボットで一般的に見受けられる **400V ~ 600V** の高電圧レベルに対応する絶縁型センシング設計を実現します。この製品は、インライン位相監視用に設計されたアナログ出力と、過電流保護に役立つ追加の過電流コンパレータ機能を備えています。現在、これらのデバイスは最大 **125Arms** の電流搬送能力と **1MHz** オプションを備えています。[TMCS1123](#) (250kHz) と [TMCS1133](#) (1MHz) は **670μΩ** のインピーダンスを達成しており、SOIC-16 パッケージで **80Arms** の電流搬送能力を実現できます。TI のホール効果電流センサはすべて、業界をリードする精度と低ドリフト設計を提供します。パッケージのさらなる革新により、小型で大電流の搬送アプローチが可能になります。

### 絶縁型デルタ シグマ変調器

#### アンプと変調器の比較

設計者は、アナログ出力と変調器出力の 2 種類の絶縁型電流センシング設計から選択できます。絶縁型アンプ ベースの設計では、測定されたアナログ信号に対して、A/D 変換と D/A 変換を数回実行します。絶縁型アンプ、差動からシングルエンドへの変換段、およびマイコンまたは DSP の外部または内部の ADC によって、全体的な精度とノイズ性能が低下すると同時に、レイテンシが増加します。ただし、アンプはシンプルで、統合が容易です。

また、絶縁型変調器ベースの設計では、A/D 変換が一度だけで済みます。これらの設計では、差動からシングルエンドへの変換段が不要になるため、部品数と設計サイズを削減できます。絶縁型アンプ ベースの設計では ADC が使用されており、多くの状況で実現可能な最大のサンプル分解能と精度が制限されますが、ここでは ADC は不要になります。この絶縁型変調器ベースのアプローチであれば、信号ノイズ性能と全体的な精度が向上し、絶縁型アンプ ベースの設計に比べて、大きい信号帯域幅と小さいレイテンシを実現できます。

## 変調器付きロボティクスの簡単な紹介

ロボット市場の拡大に伴い、コスト効率に優れた小型フォーム ファクタを実現する、高精度で効率的なデバイスのニーズがますます高まっています。TI の絶縁型同相電流センシング変調器は、これらの要件すべてを満たした設計を実現します。AMC0106M05 または AMC0106M25 を使用することで、ユーザーは 14 ビットを上回る分解能を達成するようにデバイスを構成することができます。これにより、モーターを精密に制御し、設計サイズを 50% 以上削減するほか、PWM スイッチング イベント中も連続測定が可能になります。

## ENOB

AMC0106M05 と AMC0106M25 は機能絶縁型デルタ シグマ電流センシング変調器であり、より高精度の電流測定を実現できます。これらのデバイスは、図 7 に示すように、現在の 8 ~ 11 ビットのアナログ設計と比較して、12 ~ 14 ビットの有効ビット数 (ENOB) を持っています。測定精度の向上により、ロボットの微妙なタスクや動きに適した、低電流レベルと低電圧レベルの測定を改善できます。

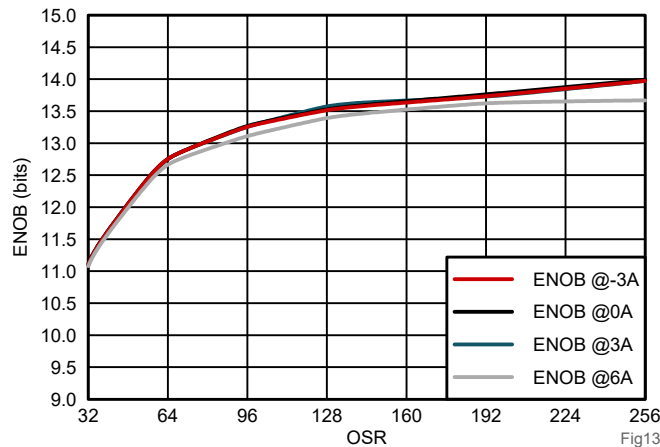


図 7. 位相電流の ENOB と OSR との関係

## PWM

インライン位相電流センシングを使用すると、ローサイド シャント センシングに比べて、PWM サイクル全体にわたってより高い性能、連続的な測定、より高精度なモーター位相電流制御が可能になります。このため、インライン相電流センシングは、サーボドライブやロボット アプリケーションの一般的な選択肢になります。

PWM スイッチングは、相電流サンプリング中に発生します。したがって、位相電流センサは高い同相電圧過渡に対する耐性を持ち、測定精度に影響を与えないことが重要です。図 8 に、1 つの PWM サイクルにわたるモーター相電流と、それに対応する PWM 電圧の概略図を示します。



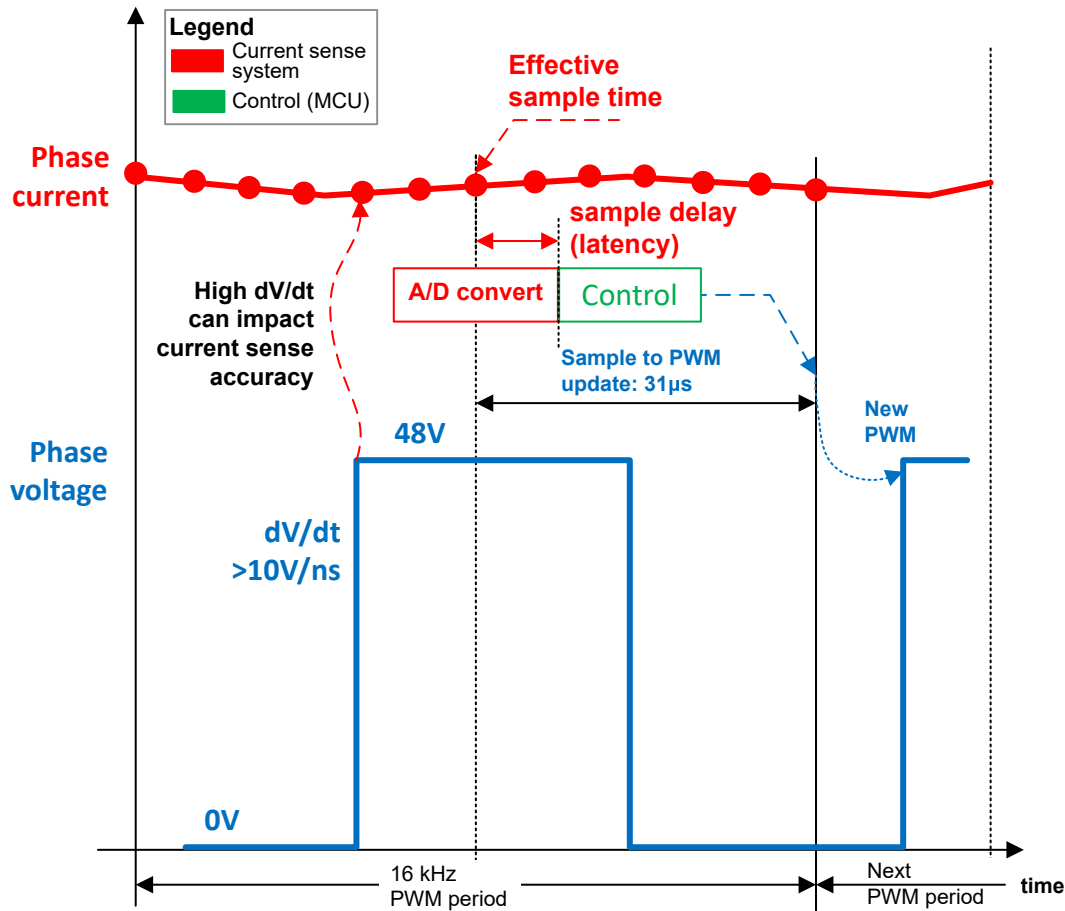


図 8. 閉ループ位相電流制御と短絡検出のための電流サンプリング

AMC0106M05 および AMC0106M25 変調器は、150V/ns という高い CMTI を持っており、PWM スイッチング中にブランキング時間が必要な競合製品とは異なり、常時連続サンプリングが可能です。

表 4. 関連デバイス

デバイス	パラメータ
AMC0106M05	電流センシング向け、±50mV 入力、機能絶縁型、デルタシグマ変調器
AMC0106M25	電流センシング向け、±250mV 入力、機能絶縁型、デルタシグマ変調器

電流測定オプションを 表 5 にまとめます。

表 5. 電流センシング方法の比較

	電流センスアンプ	デルタシグマ変調器	ホール効果センサ
精度	中	高	低
標準電流レベル	50A	100A	100A
PCB の難易度	中	中	低

## まとめ

ヒューマノイド ロボットには、関節を制御するための多数のモーターが搭載されています。電流センシングは、これらのモーターの監視とフィードバックの提供において重要な役割を果たします。ローサイド、ハイサイド、インラインの各電流センシングはいずれも電流監視に使用できますが、ヒューマノイド ロボットで最も効果的なモーター制御方法を実現するのは、インライン センシングです。テキサス インストルメンツには、[INA241A](#)、[INA790x](#)、[INA750](#) など、インライン モーター制御を目的とした電流センシング設計が多数用意されています。これらのデバイスはいずれも PWM 除去機能の強化と高帯域幅を備えており、出力からの外乱を最小限に抑え、高速セトリング タイムを実現します。TI の機能的絶縁型電流センシング変調器である [AMC0106M05](#) と [AMC0106M25](#) は、小型フォーム ファクタで最高レベルの精度を実現すると共に、高い CMTI と、ブランキング時間のない PWM サイクル全体にわたる連続センシングを実現します。TI が提供するこれらの高精度小型サイズ設計により、エンジニアがヒューマノイド ロボットの電流センシング要件を隔々まで満たすのに役立ちます。

## 関連資料

- [ヒューマノイド ロボットのモーター制御](#)
- [PWM 除去機能搭載、低ドリフト、高精度、インライン モータ電流測定](#)
- [3 相モーター ドライブにおけるシャント ベース電流センシング用アンプの選択](#)
- [協力ロボットと産業用ロボットのアームの電流センシング](#)
- [低ドリフト、高精度のインライン絶縁型磁気式モーター電流測定](#)
- [ハイサイド モーター電流の監視による過電流保護](#)
- [48V ロボット/サーボドライブ向け、高分解能、小型フォーム ファクタの位相電流検出](#)

## 商標

EZShunt™ is a trademark of Texas Instruments.

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

## 重要なお知らせと免責事項

テキサス・インスツルメンツは、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黙示保証、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、明示的または黙示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、テキサス・インスツルメンツ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す。(1) お客様のアプリケーションに適した テキサス・インスツルメンツ製品の選定、(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、その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 テキサス・インスツルメンツ製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、テキサス・インスツルメンツ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。テキサス・インスツルメンツ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、テキサス・インスツルメンツおよびその代理人を完全に補償するものとし、テキサス・インスツルメンツは一切の責任を拒否します。

テキサス・インスツルメンツの製品は、[テキサス・インスツルメンツの販売条件](#)、または [ti.com](https://www.ti.com) やかかる テキサス・インスツルメンツ製品の関連資料などのいずれかを通じて提供する適用可能な条項の下で提供されています。テキサス・インスツルメンツがこれらのリソースを提供することは、適用されるテキサス・インスツルメンツ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。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案した場合でも、テキサス・インスツルメンツはそれらに異議を唱え、拒否します。

郵送先住所: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265  
Copyright © 2025, Texas Instruments Incorporated

## 重要なお知らせと免責事項

テキサス・インスツルメンツは、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黙示保証、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、明示的または黙示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、テキサス・インスツルメンツ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す。(1) お客様のアプリケーションに適したテキサス・インスツルメンツ製品の選定、(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、その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テキサス・インスツルメンツ製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、テキサス・インスツルメンツ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。テキサス・インスツルメンツ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、テキサス・インスツルメンツおよびその代理人を完全に補償するものとし、テキサス・インスツルメンツは一切の責任を拒否します。

テキサス・インスツルメンツの製品は、[テキサス・インスツルメンツの販売条件](#)、または [ti.com](https://www.ti.com) やかかるテキサス・インスツルメンツ製品の関連資料などのいずれかを通じて提供する適用可能な条項の下で提供されています。テキサス・インスツルメンツがこれらのリソースを提供することは、適用されるテキサス・インスツルメンツ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。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案した場合でも、テキサス・インスツルメンツはそれらに異議を唱え、拒否します。

郵送先住所：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265  
Copyright © 2025, Texas Instruments Incorporated