

## ホワイトペーパー

# フォトカプラによるモータ駆動の電流・電圧検出ソリューション

垣花泰史、技師、インダストリアル・コミュニケーション、ルネサスエレクトロニクス株式会社

浅井道成、課長、インダストリアル・コミュニケーション、ルネサスエレクトロニクス株式会社

2020年7月

## 概要

近年、産業機器、特にロボットコントローラ、ACサーボ、NC(数値制御)機器等のモータ駆動機器の厳しい環境下における精度向上要求が強まる一方、これら機器の開発時の設計共通化との両立が課題になっています。

本稿では、これら矛盾する要件の両立を目的に開発されたルネサスの最新の光結合型 $\Delta\Sigma$ モジュレータ「RV1S9353A」を取り上げます。本製品は、高SNR(Signal to Noise Ratio)と低オフセット電圧温度ドリフトによるモータの相電流の高精度検出と、同時に、高入力抵抗による電圧検出対応する、高精度かつ部品共通化に対応できる製品です。



## はじめに

半導体製造装置の微細化対応、各種組立装置の小型高密度実装対応、熟練職人技の機械化等に伴い、これら装置に使用されるロボットコントローラ、ACサーボ、NCサーボ等のモータ駆動機器の厳しい環境下における高精度化とこれら機器の設計の共通化が求められています。本稿では、こうしたアプリケーション向けの高精度の電流検出、電圧検出を同一製品で実現した、ルネサスの最新フォトカプラ「RV1S9353A」を提案します。

## 高精度化に向けた課題

高電圧を使用する産業用モータ駆動機器では、一般に、モータ制御回路の省電力化や電力変換の低損失化のため、図1に示すようなインバータ回路が使用されます。

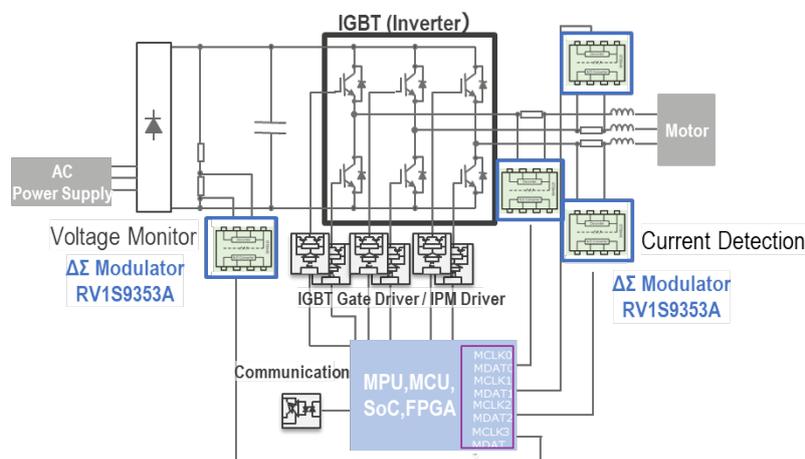


図1. インバータの回路構成例

インバータ回路にはさまざまなフォトカプラが使用されています。IGBT（絶縁ゲートバイポーラトランジスタ）ドライバ〔フォトカプラ〕やIPM（インテリジェントパワーモジュール）ドライバ〔フォトカプラ〕は、MPU（Micro Processing Unit）/ MCU（Micro Control Unit）/ SoC（System on Chip）/ FPGA（Field Programmable Gate Array）等 Controller からIGBTなどのパワーデバイスへのインバータ制御信号（PWM信号）の伝送に使用されています。母線電圧モニタとモータ電流検出には、アイソレーションアンプやΔΣモジュレータが使用されています。また、MPU/MCU/SoC/FPGA等 Controller と外部入出力間の絶縁伝送に通信用フォトカプラが使用されています。

この中で、以下に、モータ電流検出の高精度化、設計の共通化の要求の背景と課題を整理します。

### 高精度化の背景

ロボットコントローラ、ACサーボ、NCサーボの高精度化の背景例を下記に示します。

- ・半導体製造装置の微細化対応、ディスプレイの高精細化
- ・各種組立装置の高速、小型高密度実装対応
- ・熟練職人技の機械化

これら用途に向け、工場内の厳しい環境下（高温、高ノイズ）での高精度位置決め、高精度加工、安定した速度制御性が求められます。

ロボットコントローラ、AC サーボ、NC サーボ等でのサーボ制御を図2に示します。高精度、高速位置決めのため、位置、速度、電流のフィードバックループを有します。このうち、電流制御ループは、モータ回転運動の力（トルク）の制御を担います。MPU/MCU/SoC/FPGA 等 Controller からの電流指令値と実際のモータ電流値を比較し、これを元に PWM のパルス幅を調整し、出力すべき基準波形（正弦波）に近づけるよう制御します。機器の高精度化に向け、高精度の電流検出が求められています。

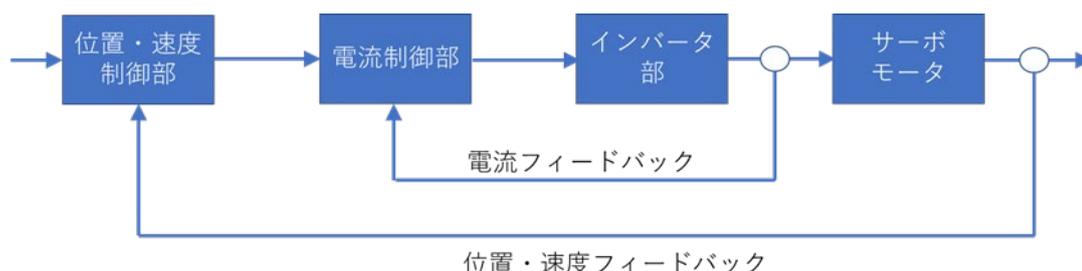


図2. 位置、速度、電流のフィードバックループ

また、電圧検出については一般に図3の様な回路が使用されます。高電圧を抵抗で分圧し(R1, R2)、 $\Delta\Sigma$  モジュレータまたはアイソレーションアンプの入力電圧(200mV)に合わせて分割抵抗 R1, R2 を選択します。この時、 $R1 \gg R2$ 、 $\Sigma$ モジュレータまたはアイソレーションアンプの入力抵抗を  $R_{in}$  とした場合、検出誤差は  $R2 / (R2 + R_{in})$  となり、分圧抵抗 R2 に比べ  $\Delta\Sigma$  モジュレータの入力抵抗  $R_{in}$  を十分に大きくすることで、検出誤差を小さくでき、高精度に検出できます。

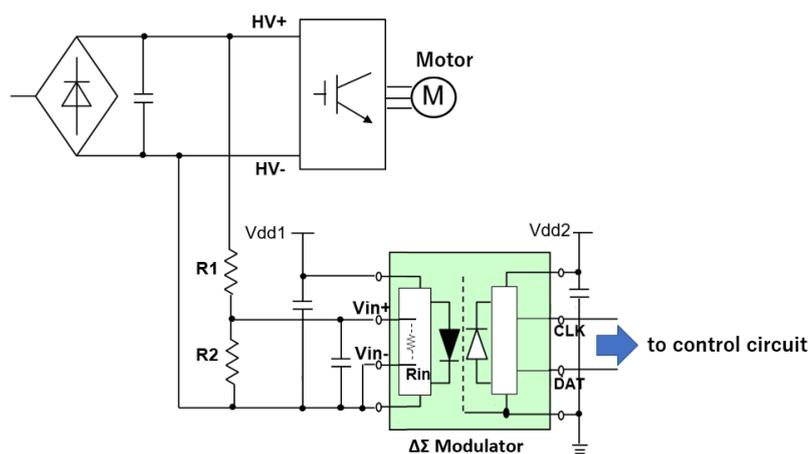


図3. 電圧検出回路例

## 設計共通化（部品共通化）

製品単体コストだけの着目では無く、開発から量産までのトータルでのコスト低減が重要になります。例えば、部品共通化で開発時の設計/評価工数、部品の信頼性試験/認定工数や量産後の部品管理工数等が低減できます。

一般的に、電流検出部は比較的精度の高い $\Delta\Sigma$ モジュレータ、電圧検出にはやや精度の低い高入力抵抗のアナログアイソレーションアンプを使用する例が多くなっています。しかし、この構成ではそれぞれ個別の設計が必要になります。また、アナログアイソレーションアンプでは、抵抗精度検討等、温度特性含めたアナログ設計/評価が必要になっており、こうした部分の削減ができれば開発期間の短縮がはかれトータルでのコスト低減につながります。

## 安全規格対応

低コスト化の一方で、安全性の確保は譲れません。フォトカプラの安全規格として UL1577 や EN60747-5-5 への対応、近年の移行のあったモータ駆動機器の安全規格 UL61800-5-1 への対応は産業機器で必須です。

## ルネサスの最新フォトカプラ - 「RV1S9353A」

ルネサスの「RV1S9353A」は、表 1 に示すように、業界標準のノイズ耐量 CMR (Common Mode noise Rejection) を維持しつつ、高 SNR と低オフセット電圧ドリフト、低オフセット温度ドリフトによるモータの相電流の高精度検出と同時に、高入力抵抗による電圧検出対応する、高精度かつ部品共通化に対応できる光結合型 $\Delta\Sigma$ モジュレータです。

表 1. 「RV1S9353A」特性概要

品名*1)	パッケージ		絶対最大定格		電気特性							
	PKG	沿面 [mm]	絶縁耐圧 [Vr.m.s.]	Ta Max [°C]	出力 クロック 周波数 typ [MHz]	ゲイン 誤差 Max [%]	ゲイン 温度 ドリフト typ [ppm/°C]	オフセット 温度 ドリフト typ [uV/°C]	SNR typ [dB]	CMR typ [kV/us]	VDD1 /VDD2 [V]	入力 抵抗 typ [k $\Omega$ ]
RV1S9353A CCSP-120C	SDIP8	8	5000	110	10	0.5	30	0.2	85	25	4.5~5.5 /3~5.5	500

パッケージは図4に示す通り、1.27mmピッチ、沿面/空間距離8mm、絶縁耐圧5kVr.m.s.の8pin SDIPです。小型でありながら、AC200V系、400V系のモータ駆動機器の強化絶縁に最適です。

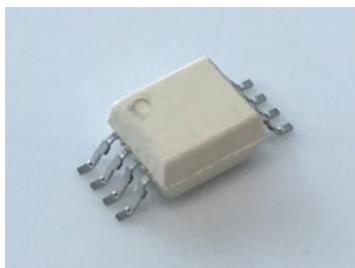


図4. RV1S9353A SDIP8パッケージ

### 高精度化

高精度の電流検出のため、RV1S9353Aは2次の $\Delta\Sigma$ AD変換回路をベースに微細化プロセスの採用、回路設計技術により、業界標準のCMRを維持しつつ、実行的な分解能の向上、セットでの補正が難しい温度ドリフトを改善しています。従来品PS9352Aとの比較を図5に示します。RV1S9353AはSNR=85dB(typ.)、ENOB=13.8bits(typ.)と実効的な分解能が高く、また、入力オフセット電圧温度ドリフト0.2 $\mu$ V/ $^{\circ}$ C(typ.)、基準電圧温度ドリフト30ppm/ $^{\circ}$ C(typ.)と低く、温度変化に対するセット精度への影響を低減します。RV1S9353Aは200mV入力電圧範囲でシャント抵抗との組合せで150A程度までの電流検出に最適です。

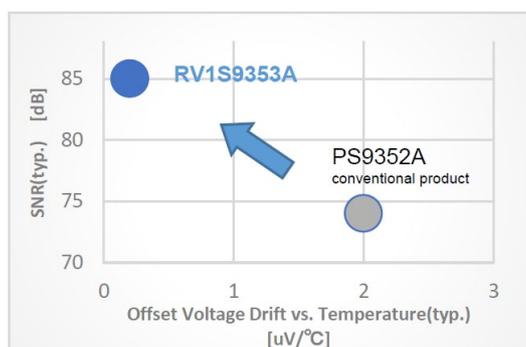


図5. 従来品との特性比較

また、電圧検出についても、一般的な電流検出用 $\Delta\Sigma$ モジュレータの入力抵抗、数10k $\Omega$ に対し、RV1S9353Aの入力抵抗は一桁大きい500k $\Omega$  typのため、検出誤差(図3の $R2/(R2+R_{in})$ )を小さくすることができます。

## 設計共通化（部品共通化）

RV1S9353A は電流検出用としては高入力抵抗（typ. 500k $\Omega$ ）を有した世界で唯一の高精度 $\Delta\Sigma$ モジュレータです。前項の通り本デバイスは電流検出用途に使用が可能だけでなく、電圧検出にも使用することが可能であり、回路の共通化が図れます。更に、電圧検出部にこの $\Delta\Sigma$ モジュレータを使うことで、これまでのアナログアイソレーションアンプで必要とした複雑なアナログ設計も不要となります。これは、フィルタ部分がデジタルフィルタになることで、同じ部品、回路でも異なる特性のフィルタを実現できること、フィルタの特性が部品や温度のバラつきに左右されないことによります（表2）。

表 2. アナログフィルタとデジタルフィルタ比較

	アナログフィルタ	デジタルフィルタ
特徴	<ul style="list-style-type: none"><li>異なる特性のフィルタには異なる部品、回路要</li><li>フィルタ特性、温度ドリフト影響</li><li>フィルタ精度、部品精度（バラつき）影響</li><li>高次フィルタは複雑で部品点数多い</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>同じ部品、回路で異なる特性のフィルタ可能</li><li>フィルタ特性、温度ドリフト影響ない</li><li>フィルタ精度、部品精度（バラつき）影響ない</li><li>高次フィルタがアナログに比較し容易</li></ul>

## 安全規格対応

断面図を図6に示します。ポリイミドフィルムを使用した対向型構造を採用し、発光ダイオード(LED)と受光 IC を対向させて、400  $\mu\text{m}$  の絶縁距離を確保しています。この構造は、絶縁距離が 10  $\mu\text{m}$  程度のデジタルアイソレータのオンチップ構造と異なり、入出力間の距離を大きく取るでき、絶縁耐圧定格に対し電圧マージンを確保できます。

また、寿命が尽きた際のモードを考えた場合もフォトカプラは LED の輝度低下によるもので、絶縁は確保されていますが、デジタルアイソレータの寿命は酸化膜破壊、ポリイミド膜破壊に伴い、絶縁破壊に至り、感電事故が懸念されます。フォトカプラは、40 年以上にわたり絶縁素子として多くの電子機器で使用されており、システムの安全性の向上に貢献しています。

RV1S9353A は UL1577 においても非常に厳しい Double protection を取得している他、DIN EN 60747-5-5 (VDE 0884-5) もオプション対応しています。また、モータ駆動機器の規格が UL508C から UL61800-5-1 へ移行し、沿面/空間距離の変更もありましたが、RV1S9353A は AC200V 系、AC400V 系機器の強化絶縁に対応可能です。

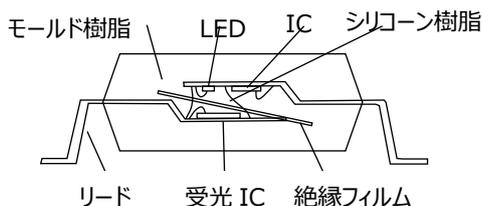


図 6. RV1S9353A の断面構造図

---

## 結論

ロボットコントローラ、AC サーボ、NC サーボ等のモータ駆動機器の厳しい環境下における高精度化とこれら機器の部品共通化に対し、ルネサスの  $\Delta \Sigma$  モジュレータ「RV1S9353A」は高精度の電流検出、電圧検出を同一製品で実現することで、相反する課題に対してソリューションを提供します。

## 追加のリソース

ルネサスエレクトロニクスフォトカプラ Web サイト :

<https://www.renesas.com/products/optoelectronics.html>

ルネサスエレクトロニクスフォトカプラカタログ :

<https://www.renesas.com/jp/ja/doc/products/opt/r08cp0001jj0200-photocoupler.pdf>

©2020 Renesas Electronics Corporation またはその関連会社 (Renesas) が著作権を所有。すべての商標および商品名は、それぞれの所有者のもので。ルネサスは、本書に記載されている情報は提供された時点では正確であると考えていますが、その品質や使用に関してその責任を負いません。すべての情報は、商品性、特定の目的への適合性、または非侵害を含みますがこれらに限定されないことを含め、明示、黙示、法定、または取引、使用、または取引慣行の過程から生じるかどうかにかかわらず、いかなる種類の保証もなく現状のまま提供されます。ルネサスは、直接的、間接的、特別、結果的、偶発的、またはその他の損害について、そのような損害の可能性が通知された場合でも、本書の情報の使用または信頼から生じる責任を負いません。ルネサスは、予告なしに製品の製造を中止するか、製品の設計や仕様、または本書の他の情報を変更する権利を留保します。すべてのコンテンツは、米国および国際著作権法によって保護されています。本資料で特に許可されている場合を除き、本資料のいかなる部分も、ルネサスからの書面による事前の許可なしに、いかなる形式または手段によっても複製することはできません。訪問者またはユーザーは、いかなる公共または商業目的のために、この資料の派生物を修正、配布、公開、送信、または作成することを許可されていません。