

**アイソレーションアンプ
TLP7920
応用回路（電流検出）と設計ガイド
リファレンスガイド**

RD004-RGUIDE-02

東芝デバイス&ストレージ株式会社

目次

1. 概要	3
1.1. ターゲットアプリケーション	3
2. TLP7920 の特長的な機能について	4
3. 応用回路例、部品表	8
3.1. 電流検出用途応用回路例	8
3.2. 部品表	9
4. 電流検出用途応用回路設計ガイド	9
4.1. 1 次側入力ラインの設計	9
4.2. 2 次側出力ラインの設計	9
4.3. 電流検出抵抗（シャント抵抗）の設計	10
4.4. テストモードに関する注意	11
5. シミュレーション	11
5.1. 基本動作	11
5.2. 測定信号にノイズを重畳した時の動作	12
5.3. フィルタ追加時の動作	13
6. 製品概要	15
6.1. 概要	15
6.2. 外観と端子配置	15
6.3. 内部回路ブロック図	16
6.4. 1 次側/2 次側電源状態の組み合わせによる出力電圧	16

1. 概要

FA市場でのACサーボや汎用インバータ、太陽光・風力発電市場のパワーコンディショナのインバータ等では、高精度・高効率動作/制御のため電流/電圧検出が必須であり、それらの特性精度/安定性・入出力絶縁性能が設計のポイントとなります。高精度の動作/制御を実現するためには、モータの相電流やバス電圧変動をモニタし、より正確にマイコンにフィードバックすることが必要となります。

TLP7920は光結合型のアイソレーションアンプで、これらの要求に応えるために、0.02%（標準）のリニアリティ精度を実現しています。また、20kV/ μ s（標準）のコモンモード過渡耐性（CMTI：Common Mode Transient Immunity）特性により、高いノイズが発生するモータ制御用途でも安定した動作を得ることができます。さらに、絶縁耐圧5000Vrms（最小）を保証しており、さまざまな産業機器用途に使用できます。

上記の特性を実現するため、TLP7920は入力側に高精度な Δ 型AD変換回路を備えたIC、出力側にDA変換回路を備えたICを使用しています。その上で、1-2次間信号伝送にLED-フォトダイオード光伝送を適用することにより絶縁機能を備え、かつその光伝送信号をデジタルコードとすることで、高精度信号伝送を実現しています。

入力アナログ信号は、1次側 Δ 型AD変換回路で符号化デジタルコードデータへ変換され、LEDで出力側へ光伝送されます。2次側回路では、この光信号をフォトダイオードで受信、トランスインピーダンスアンプ、デコーダ回路により復調し、DA変換回路、LPFを介して最終的にはアナログ電気信号が出力されます。

本リファレンスガイドは、TLP7920の特長な機能や特性、特にコモンモード過渡耐性、ノンリニアリティ特性、消費電力特性について説明すると共に、代表的な応用である電流検出回路の設計ガイドを記載しています。TLP7920のその他機能、製品詳細については、データシートをご参照ください。

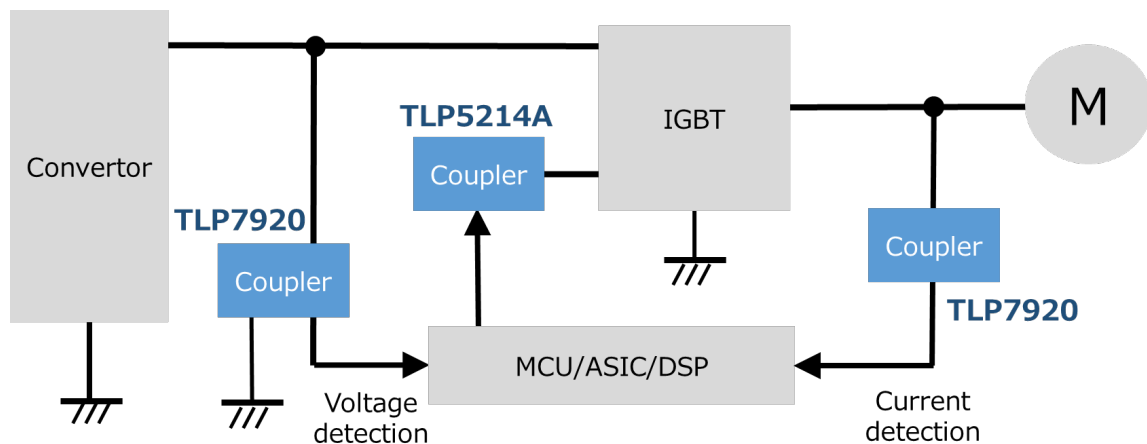
TLP7920 のデータシートダウンロードはこちらから →

[Click Here](#)

1.1. ターゲットアプリケーション

- インバータ、サーボアンプ、ロボット、工作機械、大容量電源などの産業機器用モータの電流検出
- 風力/太陽光発電インバータ、産業用蓄電池用の電流検出
- UPS、サーバ用電源、家庭用蓄電池、エアコンなどのオフィス機器や住宅設備用の電流検出

インバータでの応用例



※ IGBT ゲートドライブ用としてフォトカプラ TLP5214A をラインアップしています。

製品の詳細はこちらから →

[Click Here](#)

2. TLP7920 の特長的な機能について

● コモンモード過渡耐性 (CMTI) について

コモンモード（同相）ノイズは、信号、GND 両ライン双方に重畳し同じ方向に電流が流れるタイプのノイズです。独立した電源で駆動される回路間を電氣的に絶縁しながら信号伝送を行うためにフォトカプラが使用されますが、このような場合においても一方の電位が変動する場合（例えば、ノイズが発生した場合）、コモンモードノイズは発生します。このコモンモードノイズによりフォトカプラ内部の 1 次（入力側）- 2 次（出力側）間のカップリング容量に流れる変位電流があるレベルまで達すると、フォトカプラ、ひいてはシステムの誤動作の原因になります。

過渡的なコモンモードノイズによって生じる変位電流はアイソレーションアンプ内でビットエラーが生じる原因となり、ビットエラーによる誤動作は最悪の場合 IGBT の短絡不良を発生させる可能性があります。従って、このようなコモンモードノイズに対する耐性はシステムを安定動作させるために重要となります。CMTI は、このような GND 間で発生する高スループートの過渡電圧に対応する能力をあらわしており、CMTI が大きいほど、ノイズに対して強く、絶縁が必要とされるアプリケーションでの応用に適していることを意味します。

図 2.1 にコモンモード電圧 V_{CM} を印加した場合の出力波形の測定回路例を示します。

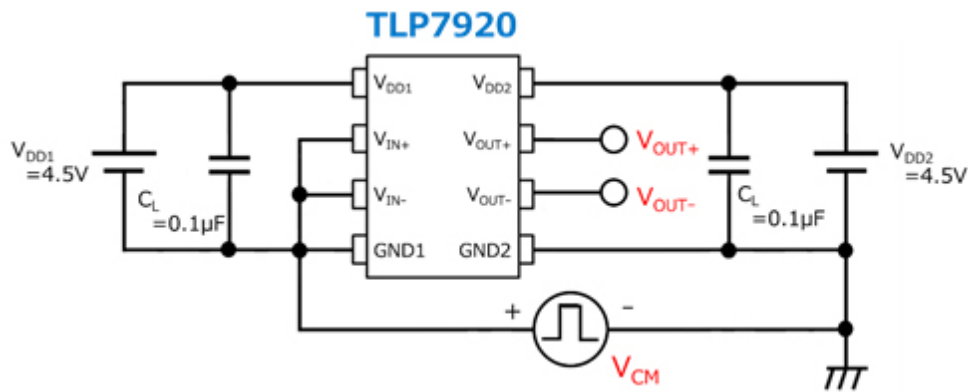


図 2.1 コモンモード電圧 V_{CM} を印加した場合の出力波形測定回路例

インバータ応用での IGBT（含むモジュール）は耐圧 600～650V 系、1200V 系が多く使用されています。電源電圧としては、600～650V 系では 400V、1200V 系では 800V が一般的です。また、スイッチングの立ち上がり t_r 、立ち下り t_f は 100ns 程度が一般的です。これらの条件から V_{CM} の dV/dt を算出すると、電源電圧 400V の場合は $dV/dt = 4kV/\mu s$ 、電源電圧 800V の場合は $dV/dt = 8kV/\mu s$ となります。図 2.2 に TLP7920 にそれぞれのスループートを持つコモンモード電圧 V_{CM} を印加した場合の出力波形の例を示します。双方の場合共に出力に大きなノイズの発生は見られませんが、TLP7920 は実用レベルで問題ない CMTI 特性を持つと言えます。

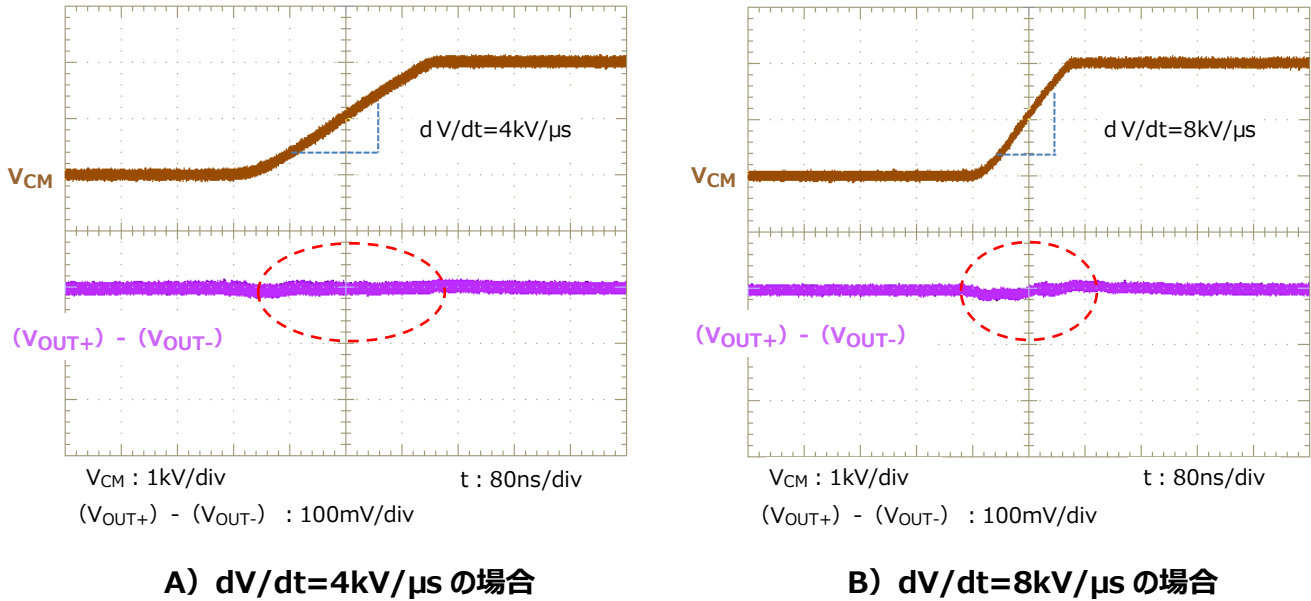


図 2.2 TLP7920 にコモンモード電圧 V_{CM} を印加した場合の出力波形例

参考として図 2.3 にコモンモード電圧 V_{CM} の dV/dt が $60kV/\mu s$ と非常に大きい場合の波形例を示します。アイソレーションアンプの出力にノイズが発生していることが確認されます。このようなノイズが更に大きくなると誤動作の原因となります。

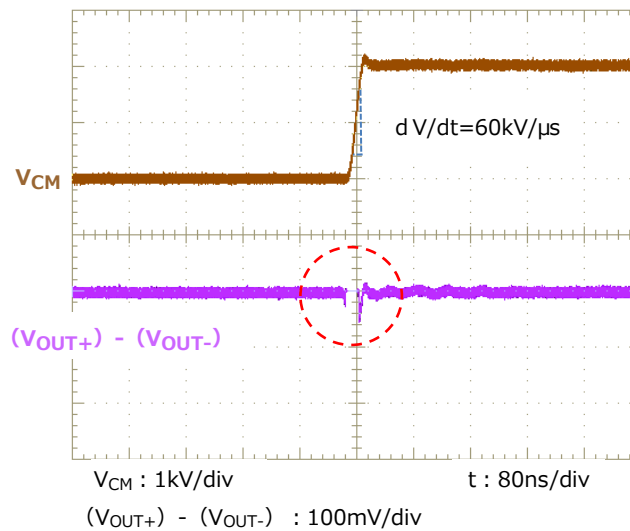


図 2.3 TLP7920 に非常に大きなスルーレートのコモンモード電圧 V_{CM} を印加した場合の出力波形例

● 出力のリニアリティ特性について

アイソレーションアンプを使用して電流の変動を検出し、システムにフィードバックをかける場合、アイソレーションアンプの入出力間のリニアリティが制御の精度に重要な役割を果たします。リニアリティが悪い場合、入力に応じた出力が正確に出てこない（誤差が発生）し、システムの安定度/精度を落としてしまいます。インバータの高速動作化が進んでいる状況下ではより精度の高い制御が必要であるため、誤差を可能な限り小さくすることが重要となってきています。誤差の補

正には電気回路的な方法やソフトウェアによる方法等が考えられますが、これらを用いての補正を行うことは素子特性のバラツキなどを考慮すると複雑かつ難易度が高く、実施は現実的ではありません。このため、リアリティの良いアイソレーションアンプの使用による誤差の低減が現実的な方法になります。測定回路を図2.4に示します。

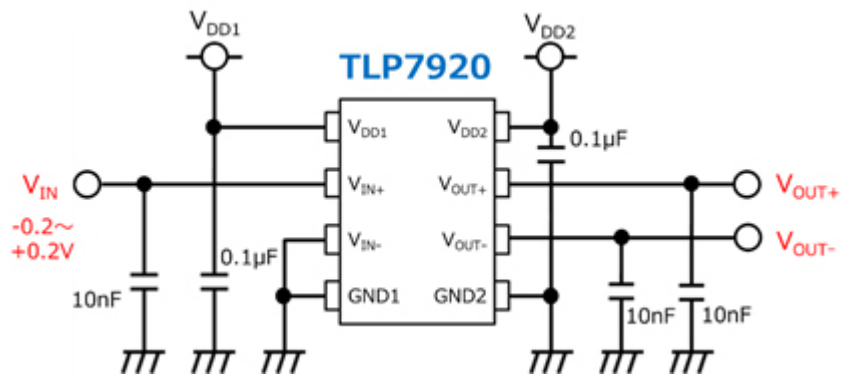


図 2.4 リニアリティ特性の測定回路例

アイソレーションアンプのリニアリティはNL₂₀₀またはNL₁₀₀というパラメータで規定されますが、NL₂₀₀の算出は以下の手順で行います。

1. 入力電圧の差 ($V_{IN+}-V_{IN-}$) と出力電圧の差 ($V_{OUT+}-V_{OUT-}$) との関係をあらわす最適直線を最小二乗法を用いて求める。
2. 最適直線に対する出力電圧の差 ($V_{OUT+}-V_{OUT-}$) の偏差を求める。
3. この偏差の最大値と最小値を求め、それらの絶対値の和 ($|dev_max|+|dev_min|$) を求める。
4. 偏差の絶対値の和の1/2 の フルスケール差動出力電圧 ($V_{OH}-V_{OL}$) に対する比率を求める。

図2.5に入力電圧に対する出力の最適直線からの偏差との関係を示します。

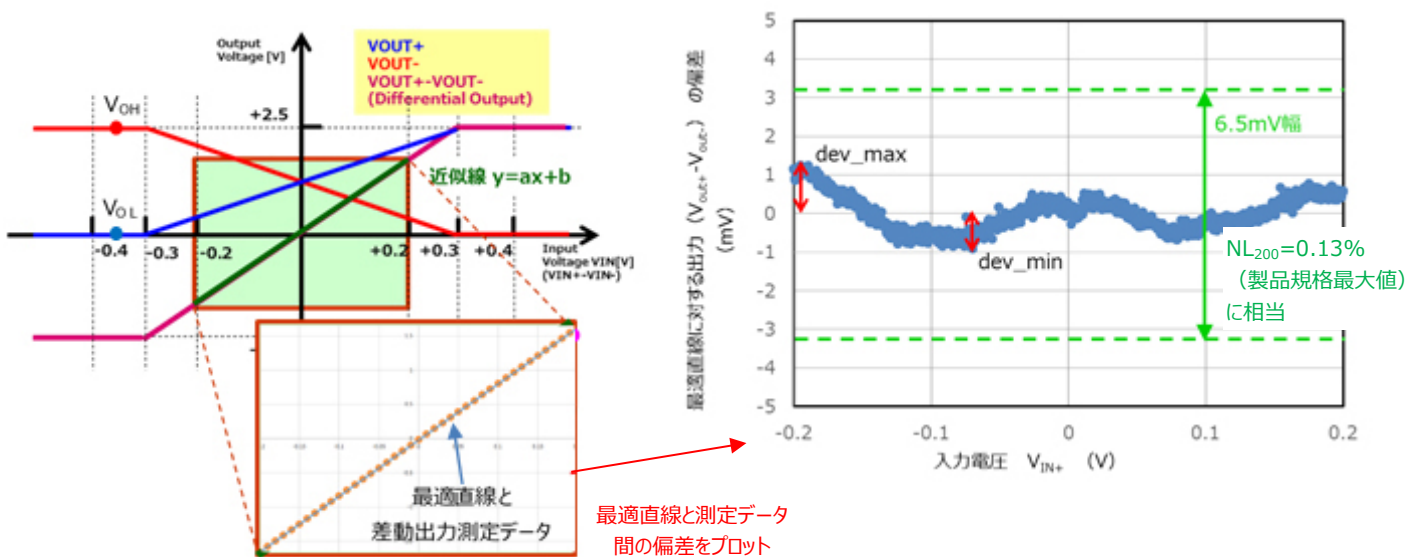


図 2.5 入力電圧 vs 出力の最適直線からの偏差との関係

NL₂₀₀の計算式は以下のようになります。

$$NL_{200} = \frac{(|dev_max| + |dev_min|)}{2} \times 100 (\%)$$

$$NL_{200} = \frac{(|dev_max| + |dev_min|)}{V_{OH} - V_{OL}} \times 100 (\%)$$

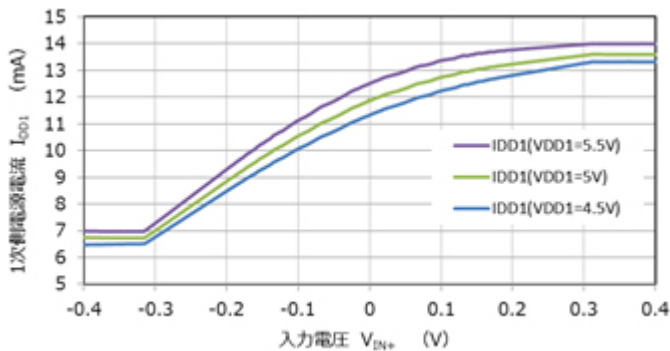
計算例として、図2.5の場合は、dev_max=1.3mV、dev_min=-1mV、V_{OH}-V_{OL}=2.5Vなので、

$$NL_{200} = \frac{0.0013 + 0.001}{2.5} \times 100 = 0.046 (\%)$$

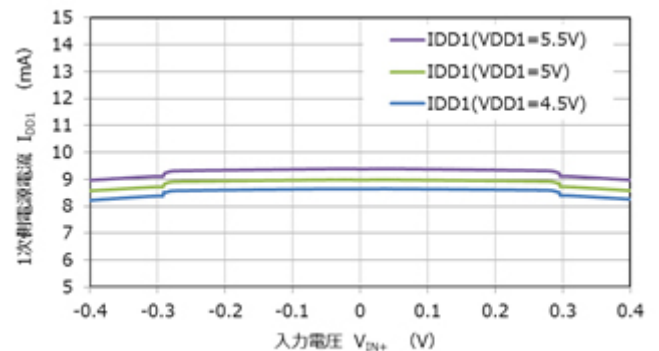
と算出されます。

● 1次側電源電流について

図2.6にアイソレーションアンプの入力電圧と1次側電源電流の関係を示します。他社相当品は、入力電圧の変化に伴って1次側電源電流が変動します。TLP7920では、独自のデジタル変復調技術の導入により、入力電圧の振れ（推奨動作範囲：-0.2~+0.2V）にかかわらず1次側電源電流は9mA（標準）とほぼ一定に安定しています。これにより最大回路電流も低く抑えられ、1次側電源設計に貢献します。



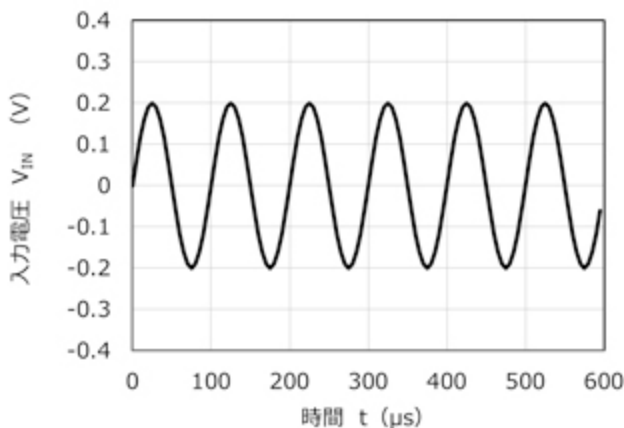
A) 他社相当品



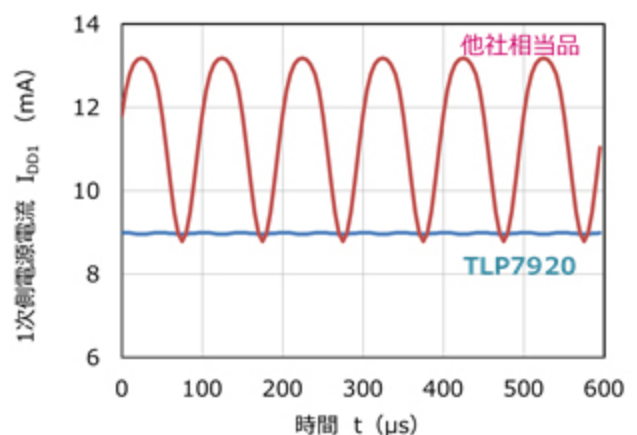
B) TLP7920

図 2.6 アイソレーションアンプの入力電圧と 1 次側電源電流の関係

図2.7は入力電圧をある周波数で変動させた場合の一次側電源電流の変化を示しています。



A) 入力電圧の変化



B) 1次側電源電流の波形

図2.7 入力電圧が変化した場合の1次側電源電流

他社相当品では入力電圧の変化に伴って1次側電源電流が9~13mAの範囲で変動しています。これに対してTLP7920の場合は入力電圧が変化しても1次側電源電流はほぼ9mAを保ち安定しています。例えば、システム内ではアイソレーションアンプの1次側電源はブートストラップ等のフローティング電源が用いられますが、この電源に使われるコンデンサは小容量（小型）のものを使用することができ、回路の小型化を図ることができます。この特性は、電源消費電力の削減や回路の小型化に寄与しますが、システムの高速度動作が進んでいる背景下では電源の揺らぎによって発生するノイズ（EMI）による影響の抑制にも寄与します。

3. 応用回路例、部品表

3.1. 電流検出用途応用回路例

図 3.1 は、TLP7920 の電流検出用途への回路例です。

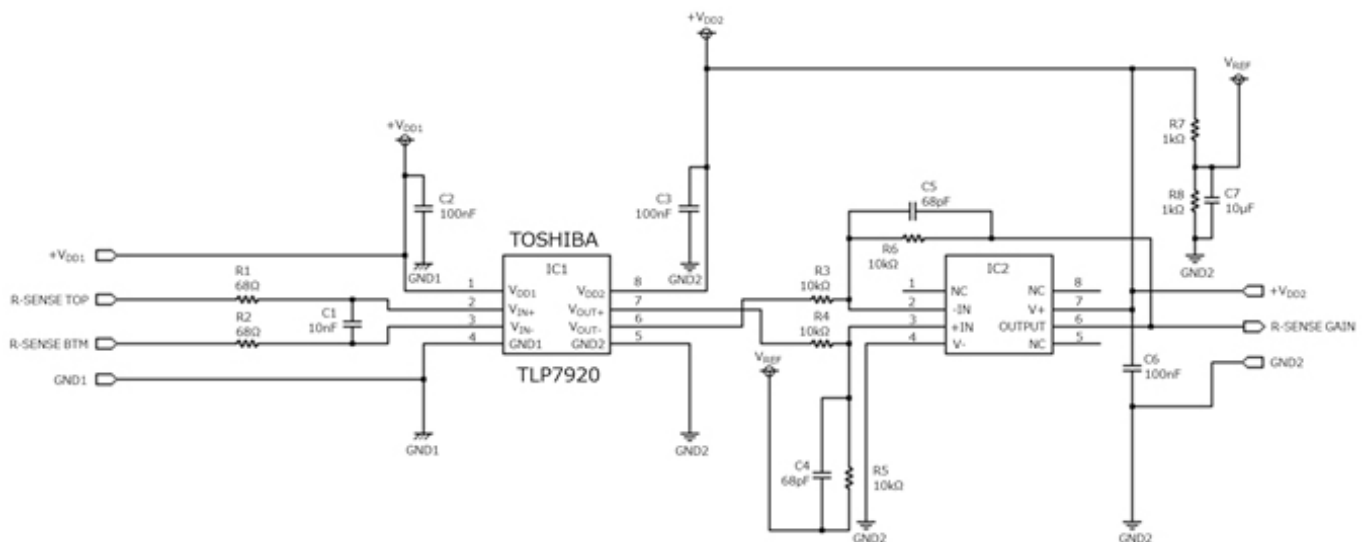


図 3.1. TLP7920 電流検出用途応用回路例

電流検出用途では図 3.1 の「R-SENSE_TOP」、「R-SENSE_BTМ」間に適切な電流検出抵抗（シャント抵抗）を挿入します。シャント抵抗の両端の電圧値を検出することで、シャント抵抗に流れる電流値を算出します。

3.2. 部品表

図 3.1 は、TLP7920 の電流検出用途応用回路例の部品表です。

表 3.1 TLP7920 電流検出用途応用回路例の部品表

アイテム	部品	数量	値	部品名	メーカ	説明	パッケージ名称	標準寸法 mm (inch)
1	IC1	1	—	TLP7920	TOSHIBA		DIP8	9.66 x 7.62
2	IC2	1	—	OPA237UA	TI		SOIC	6.0 x 4.9
3	R1, R2	2	68Ω			0.25W, ±5%	2012	2.0 x 1.25 (0805)
4	R3, R4, R5, R6	4	10kΩ			0.25W, ±0.5%	2012	2.0 x 1.25 (0805)
5	R7, R8	2	1kΩ			0.25W, ±0.5%	2012	2.0 x 1.25 (0805)
6	C1	1	10nF			セラミック、50V, ±10%	1005	1.0 x 0.5 (0402)
7	C2, C3, C6	3	100nF			セラミック、25V, ±10%	2012	2.0 x 1.25 (0805)
8	C4, C5	2	68pF			セラミック、100V, ±5%	1608	1.6 x 0.8 (0603)
9	C7	1	10μF			セラミック、16V, ±10%	2012	2.0 x 1.25 (0805)

4. 電流検出用途応用回路設計ガイド

4.1. 1 次側入力ラインの設計

AD変換器入力部には、クロック動作のスイッチトキャパシタを使用しています。動作追従・特性精度確保のため、入力端子に0.01μFのバイパスコンデンサ（図3.1のC1）の付加を推奨します。AD変換器のエイリアス雑音による影響を防ぐため、入力端子部にアンチエイリアスローパスフィルタの形成を推奨します。これは、上記バイパスコンデンサに加え、直列抵抗（図3.1のR1、R2）を追加することで形成できます。

図3.1での設計例：アンチエイリアスフィルタ定数 R1、R2の設計値

エイリアスフィルタ設計周波数 230kHz、入力端子バイパスコンデンサ 0.01μF

$$R1 = R2 = \frac{1}{2 \times \pi \times 230k \times 0.01\mu} \approx 68 (\Omega)$$

4.2. 2 次側出力ラインの設計

後段ICへの接続配線は、配線カップリング・基板容量等の観点から、できる限り短い配線接続を推奨します。TLP7920はアナログ出力ですから外部ポストアンプ回路（図3.1のIC2、R3、R4、R5、R6、R7、R8、C4、C5）の使用により、アイソレーションアンプの出力信号の差動→単相変換、振幅調整、ノイズフィルタ機能追加設計が可能です。この時、アイソレーションアンプ出力特性（オフセット・ゲイン・応答特性及びそれらの温度依存性）が損なわれない精度の製品をご使用下さい。

図3.1での設計例：単相変換、振幅調整、ノイズフィルタ回路定数の設計値

ノイズフィルタ設計周波数 230kHz、振幅調整ゲイン 0dB、入力シリーズ抵抗10kΩ

$$C4 = C5 = \frac{1}{2 \times \pi \times 230k \times 10k} \approx 68 \text{ (pF)}$$

4.3. 電流検出抵抗（シャント抵抗）の設計

シャント抵抗値の設計は、ワット損失と検出精度の両者を考慮して決定します。これは、ワット損失の観点では抵抗値が小さい方が望ましい一方で、リニアリティ、SN比に代表される検出精度の観点では抵抗値が大きい方が望ましいためです。図4.1に、シャント抵抗値とワット損失の関係を示します。図中の実線（シャント抵抗値とワット損失の関係）と点線（入力振幅補助線）の交差点が設計代表値となります。アイソレーションアンプの電流検出精度入力電圧振幅±200mVを推奨しますので、本条件、検出電流からワット損失を満たすかをご確認されることを推奨します。

設計例：検出電流20A時の入力振幅 V_{in} / シャント抵抗 R_{shunt} 、ワット損失 P_{shunt} 設計値

検出精度（入力振幅）重視し、 $V_{IN}=200\text{mV}$ とした場合

シャント抵抗値：

$$R_{shunt} = \frac{V}{I} = \frac{200m}{20} = 10 \text{ (m}\Omega\text{)}$$

ワット損失：

$$P_{shunt} = I^2 \times R = 20^2 \times 10m = 4 \text{ (W)}$$

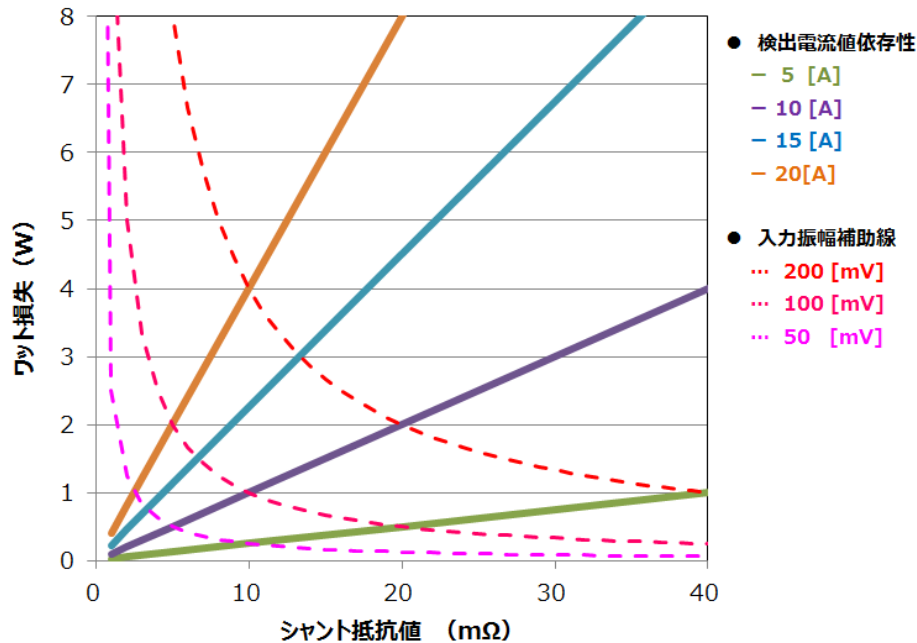


図 4.1. シャント抵抗値とワット損失の関係

4.4. テストモードに関する注意

V_{IN+} もしくは V_{IN-} 端子が $V_{DD1}-2V$ （例： V_{DD1} が5Vの場合 $5V-2V=3V$ ）以上になるとテストモード※が動作します。このような設定では使用しないでください。

※ 補足説明：TLP7920テストモード

TLP7920では、クロック、エンコーダ、デコーダ回路、LEDチップ動作確認のためのテストモード機能を付加しています。これにより、製品出荷検査時に仕様特性項目のみならず、内部信号の動作マージンが十分であることを確認し、品質向上に努めています。

5. シミュレーション

5.1. 基本動作

TLP7920の基本動作を回路シミュレーションで確認します。図5.1にシミュレーション回路を示します。シミュレーションは以下の条件で実施します。

■条件

- ・IC1の V_{DD1} に5Vを印加
- ・IC1の V_{DD2} 、IC2のV+に3.3Vを印加
- ・ V_{in} に以下信号を入力
 V_{in1} ：測定信号（0.2Vp-p、10kHzの正弦波）

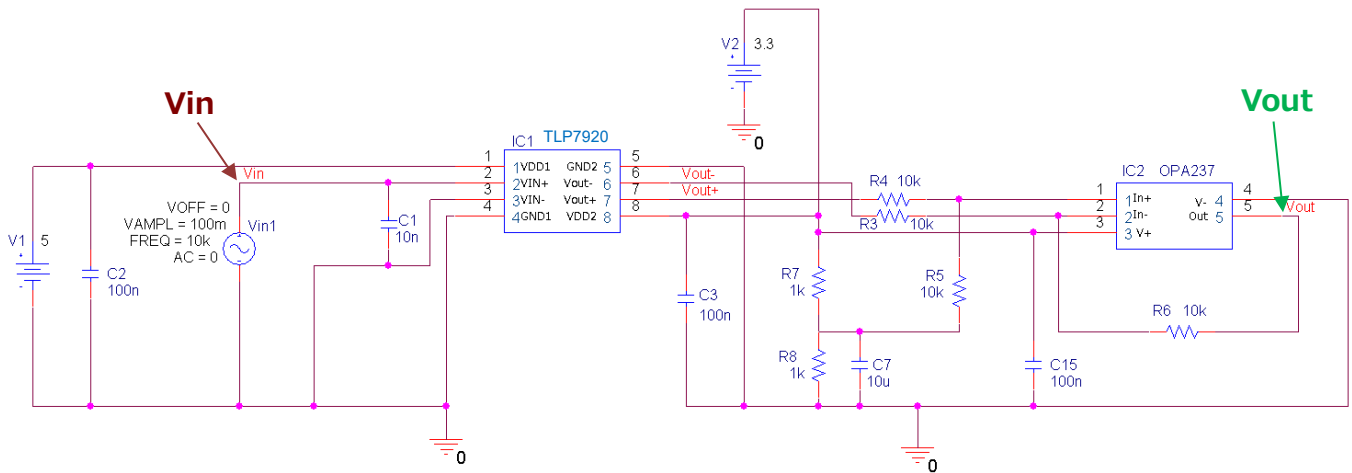


図 5.1 基本動作のシミュレーション回路

図 5.2 はシミュレーション結果です。出力波形は 1.64Vp-p の正弦波（10kHz）で、入力信号 0.2Vp-p の正弦波（10kHz）の 8.2 倍です。アイソレーションアンプのゲインは 8.2 倍（標準）と一致しており、シミュレーションが正しく動作していることがわかります。

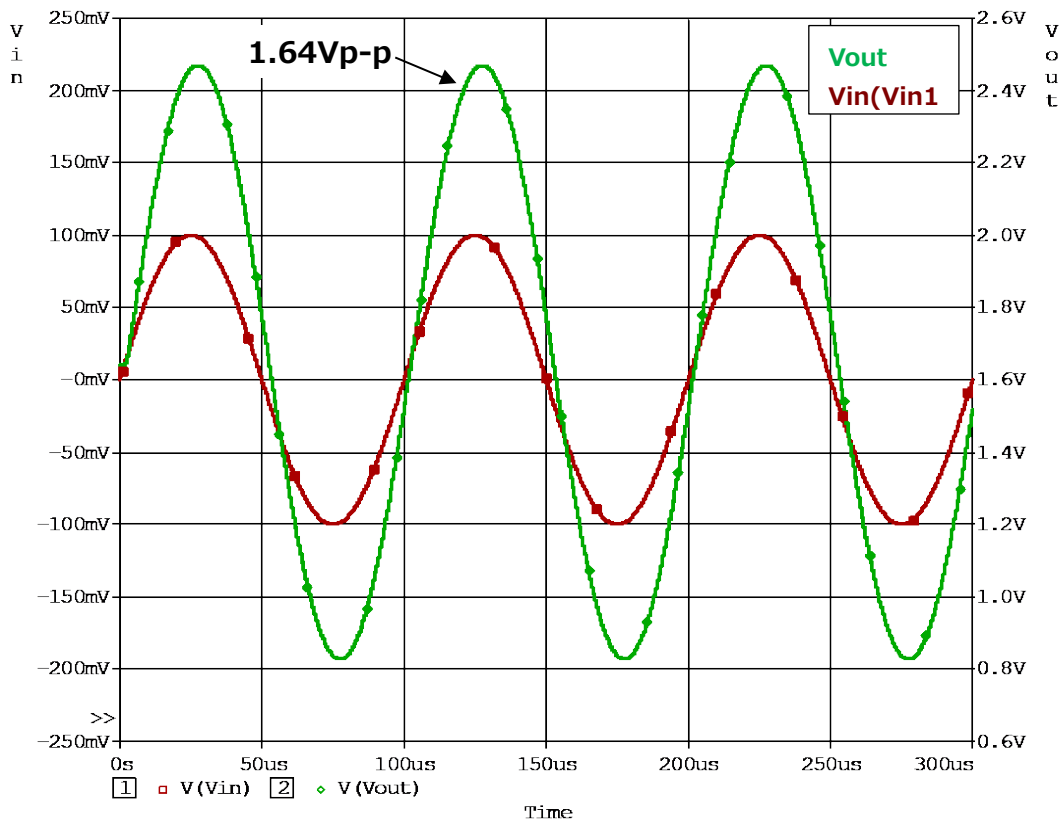


図 5.2 シミュレーション結果

5.2. 測定信号にノイズを重畳した時の動作

測定信号 Vin1 にノイズ信号（100mVp-p、500kHz の正弦波）を重畳した波形を入力し、シミュレーションを実施します。その他の条件は同じです。図 5.3 にシミュレーション回路を示します。

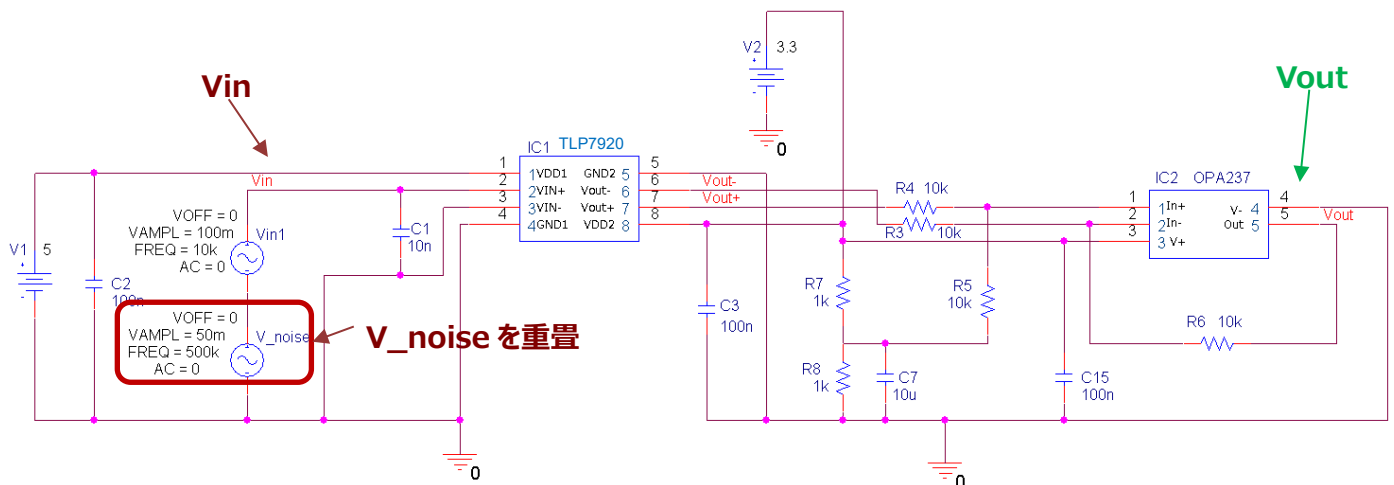


図 5.3 ノイズを重畳した場合のシミュレーション回路

図 5.4 はシミュレーション結果です。出力波形がノイズの影響を受けて正しい測定ができないことがわかります。

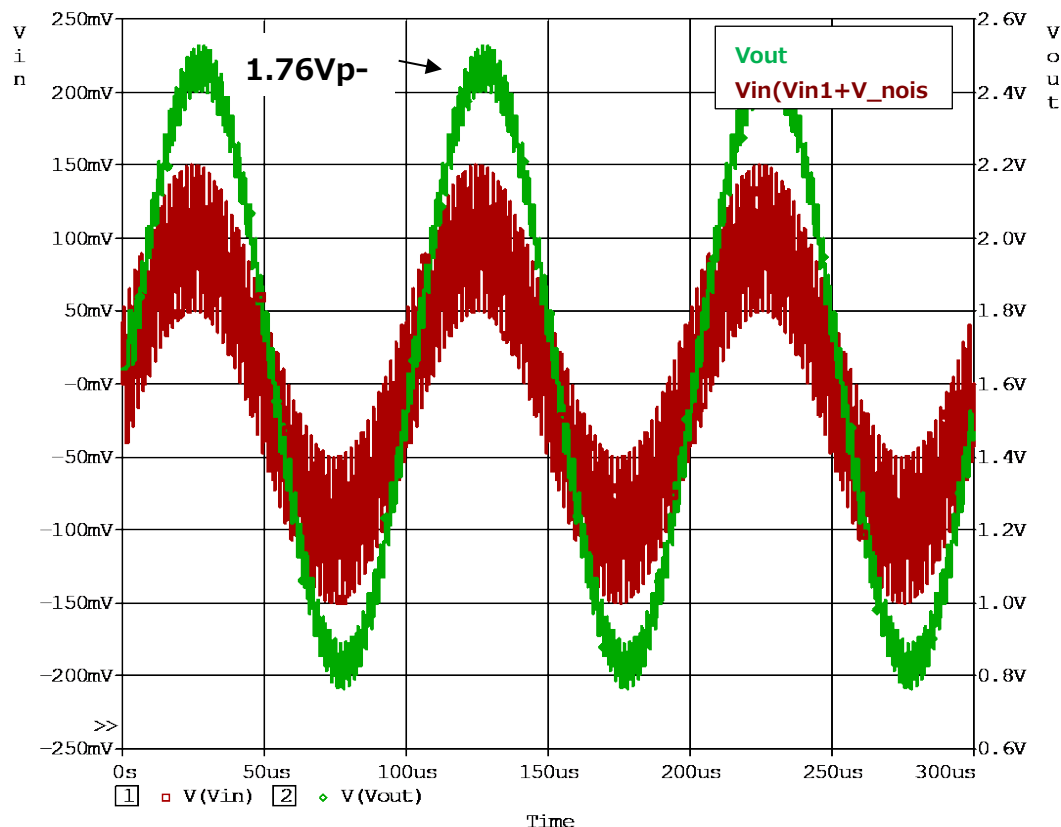


図 5.4 ノイズを重畳した場合のシミュレーション波形

5.3. フィルタ追加時の動作

測定信号Vin1にノイズ信号（100mVp-p、1MHzの正弦波）を重畳した波形を入力し、かつ入力にフィルタを追加した際のシミュレーションを実施します。追加するフィルタは以下の通りです。

1次側入力ライン：アンチエイリアスローパスフィルタ

設計周波数：230kHz、入力端子バイパスコンデンサ C1 = 0.01 μ F、

R1 = 68 Ω 、R2 = 68 Ω

2次側出力ライン：ノイズフィルタ

設計周波数：230kHz、振幅調整ゲイン 0dB、入力シリーズ抵抗10k Ω

C4、C5 = 68pF

図5.5にシミュレーション回路を示します。

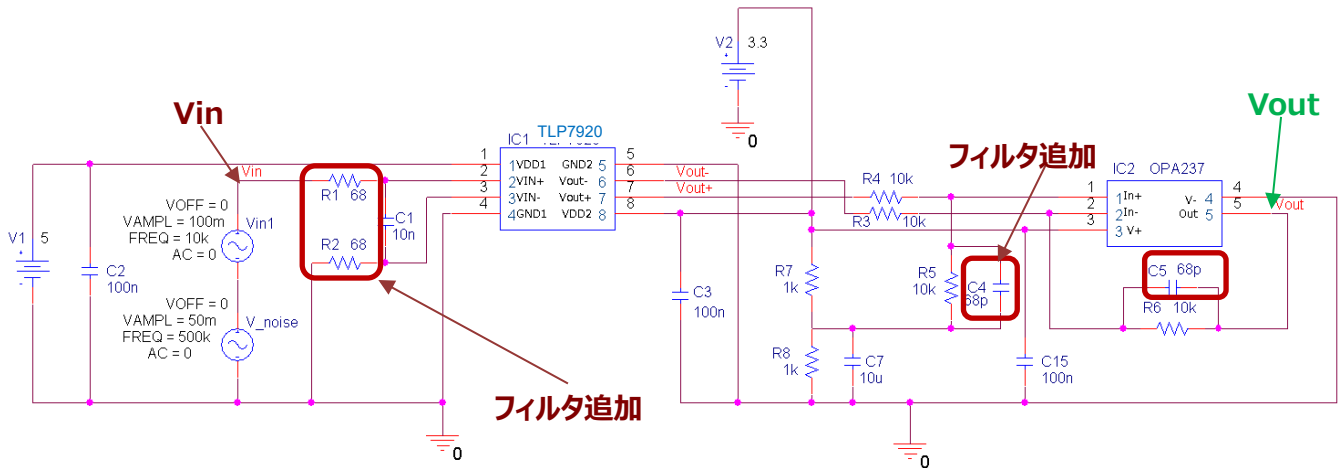


図 5.5 フィルタを追加したシミュレーション回路

図 5.6 はシミュレーション結果です。フィルタを追加したことで、出力波形からノイズが除去されていることが確認できます。また、出力波形は 1.64Vp-p の正弦波 (10kHz) で、入力信号 0.2Vp-p の正弦波 (10kHz) の 8.2 倍です。アイソレーションアンプのゲインは 8.2 倍 (標準) と一致しており、シミュレーションが正しく動作していることがわかります。

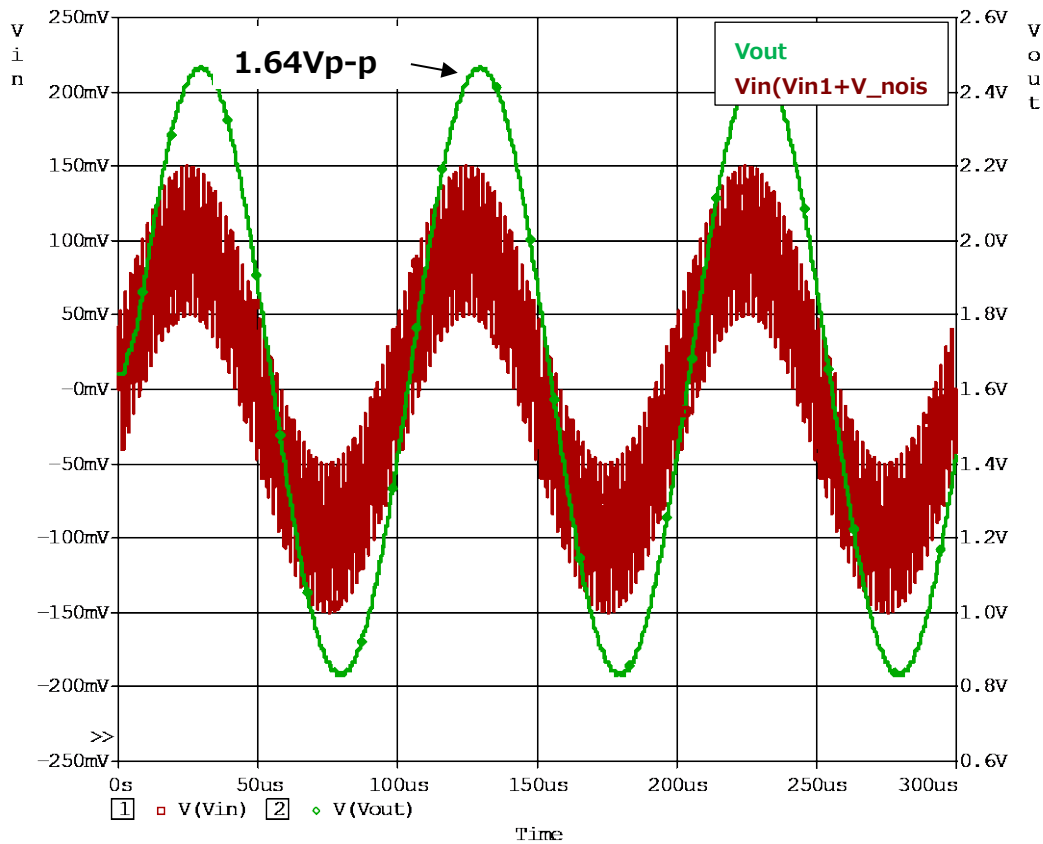


図 5.6 フィルタを追加した場合のシミュレーション波形

6. 製品概要

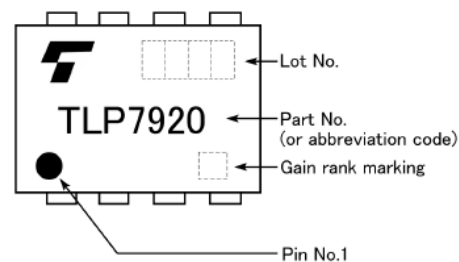
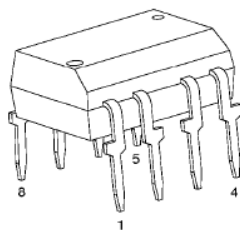
6.1. 概要

TLP7920は、入力側に高精度な $\Delta\Sigma$ 型AD変換回路を備えたIC、出力側にDA変換回路を備えたICを用いた光結合型アイソレーションアンプです。

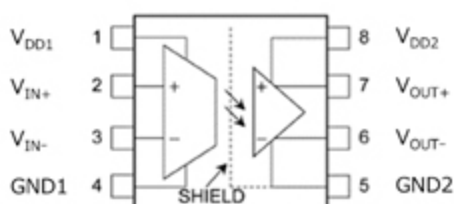
- 推奨電源電圧：入力側 4.5~5.5V、出力側 3.0~5.5 V
- 推奨動作温度範囲：-40~+105°C
- コモンモード過渡耐性：15 kV/ μ s（最小）
- 消費電力が少ない：入力供給電流 8.6mA（標準）、出力供給電流 6.2mA（標準）
- 出力非線形特性がよい
 $NL_{200} = 0.02\%$ （標準） @ $V_{in+} = -200mV \sim +200mV$
 $NL_{100} = 0.015\%$ （標準） @ $V_{in+} = -100mV \sim +100mV$
- 温度特性がよい
 入力オフセット電圧周囲温度ドリフト：2 μ V/ $^{\circ}$ C（標準）
 ゲイン周囲温度ドリフト：0.00012 V/V/ $^{\circ}$ C（標準）
 出力非線形特性周囲温度ドリフト：0.00007 %/ $^{\circ}$ C（標準）
- 安全規格
 UL認定品 UL1577、ファイルNo.E67349
 cUL認定品 CSA Component Acceptance Service No.5A ファイルNo.E67349
 VDE認定品 EN60747-5-5、EN60065、EN60950-1、EN62368-1（注1）
 注1：VDE認定品を採用する場合は“オプション（D4）品”をご指定ください。

6.2. 外観と端子配置

製品外観と現品表示



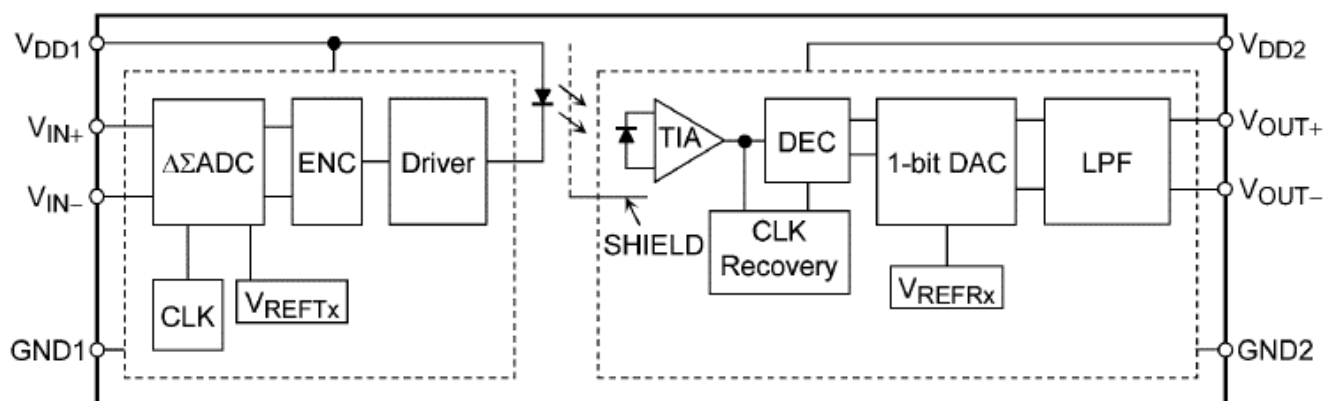
端子接続



端子番号	記号	機能
1	V _{DD1}	電源電圧（入力側）
2	V _{IN+}	正入力
3	V _{IN-}	負入力
4	GND1	入力側グランド
5	GND2	出力側グランド
6	V _{OUT-}	負出力
7	V _{OUT+}	正出力
8	V _{DD2}	電源電圧（出力側）

図 6.1 TLP7920 の製品外観、現品表示、端子接続

6.3. 内部回路ブロック図



注：1ピンと4ピンの間と5ピンと8ピンの間にバイパス用のコンデンサ0.1μFを付ける必要があります。

図 6.2 TLP7920 の内部回路のブロック図

6.4. 1次側/2次側電源状態の組み合わせによる出力電圧

表 6.1 に 1 次側・2 次側電源状態の組み合わせによる出力状態を示します。

表 6.1 電源状態の組み合わせによる出力

■ V_{OUT+}出力

		1次側電源 V _{DD1}	
		ON	OFF
2次側電源 V _{DD2}	ON	$V_{IN} \times \text{Gain}/2 + 1.25 \text{ (V)}$	GND
	OFF	GND	GND

■ V_{OUT-}出力

		1次側電源 V _{DD1}	
		ON	OFF
2次側電源 V _{DD2}	ON	$V_{IN} \times \text{Gain}/2 + 1.25 \text{ (V)}$	+2.5V
	OFF	GND	GND

ご利用規約

本規約は、お客様と東芝デバイス&ストレージ株式会社（以下「当社」といいます）との間で、当社半導体製品を搭載した機器を設計する際に参考となるドキュメント及びデータ（以下「本リファレンスデザイン」といいます）の使用に関する条件を定めるものです。お客様は本規約を遵守しなければなりません。本リファレンスデザインをダウンロードすることをもって、お客様は本規約に同意したものとみなされます。なお、本規約は変更される場合があります。当社は、理由の如何を問わずいつでも本規約を解除することができます。本規約が解除された場合は、お客様は、本リファレンスデザインを破棄しなければなりません。またお客様が本規約に違反した場合は、お客様は、本リファレンスデザインを破棄し、その破棄したことを証する書面を当社に提出しなければなりません。

第1条 禁止事項

お客様の禁止事項は、以下の通りです。

1. 本リファレンスデザインは、機器設計の参考データとして使用されることを意図しています。信頼性検証など、それ以外の目的には使用しないでください。
2. 本リファレンスデザインを販売、譲渡、貸与等しないでください。
3. 本リファレンスデザインは、高温・多湿・強電磁界などの対環境評価には使用できません。
4. 本リファレンスデザインを、国内外の法令、規則及び命令により、製造、使用、販売を禁止されている製品に使用しないでください。

第2条 保証制限等

1. 本リファレンスデザインは、技術の進歩などにより予告なしに変更されることがあります。
2. 本リファレンスデザインは参考用のデータです。当社は、データおよび情報の正確性、完全性に関して一切の保証をいたしません。
3. 半導体素子は誤作動したり故障したりすることがあります。本リファレンスデザインを参考に機器設計を行う場合は、誤作動や故障により生命・身体・財産が侵害されることのないように、お客様の責任において、お客様のハードウェア・ソフトウェア・システムに必要な安全設計を行うことをお願いします。また、使用されている半導体素子に関する最新の情報（半導体信頼性ハンドブック、仕様書、データシート、アプリケーションノートなど）をご確認の上、これに従ってください。
4. 本リファレンスデザインを参考に機器設計を行う場合は、システム全体で十分に評価し、お客様の責任において適用可否を判断して下さい。当社は、適用可否に対する責任は負いません。
5. 本リファレンスデザインは、その使用に際して当社及び第三者の知的財産権その他の権利に対する保証または実施権の許諾を行うものではありません。
6. 当社は、本リファレンスデザインに関して、明示的にも黙示的にも一切の保証（機能動作の保証、商品性の保証、特定目的への合致の保証、情報の正確性の保証、第三者の権利の非侵害保証を含むがこれに限らない。）をせず、また当社は、本リファレンスデザインに関する一切の損害（間接損害、結果的損害、特別損害、付随的損害、逸失利益、機会損失、休業損、データ喪失等を含むがこれに限らない。）につき一切の責任を負いません。

第3条 輸出管理

お客様は本リファレンスデザインを、大量破壊兵器の開発等の目的、軍事利用の目的、あるいはその他軍事用途の目的で使用してはなりません。また、お客様は「外国為替及び外国貿易法」、「米国輸出管理規則」等、適用ある輸出関連法令を遵守しなければなりません。

第4条 準拠法

本規約の準拠法は日本法とします。

End of Document