

設計のバリエーションを広げる モノリシック差動アンプ

汎用型モノリシック差動アンプINA105は、オペアンプと抵抗の組み合わせで構成されているさまざまな回路と置き換えることができます。特に内部に組み込まれている4個の抵抗は、チップ上で非常に良くマッチングが取られているために、個別の抵抗で組んだ場合や、ハイブリッド構成のものに比べ良い特性を得ることができます。

本アプリケーション・ノートではこれらの応用例について解説しています。また新しいファミリーであるINA134、INA2134(デュアル)および単一電源で利用できるINA132にもこの資料を流用することができます。

INA105高精度差動アンプは、たとえば基準電圧発生器、計測アンプ、加算器、電流源やバッファアンプなど大部分のアナログ回路で、オペアンプや抵抗ネットワークと置き換えることができます。INA105は内部的に極めて良くマッチングの取れた4つの抵抗を備えているために、ディスクリートで回路を構成するときのように、抵抗のマッチングに気をを使う必要がありません。

例として、反転型ユニティ・ゲインの差動増幅器で基準電圧発生器を作る場合、高精度の $\pm 10\text{V}$ の基準電圧を得るために、図1aに示すようにREF102にINA105を接続します。このときINA105のオフセットおよびゲインドリフトは、約 $2\text{ppm}/^\circ\text{C}$ をREF102のそれに加えます。

$\pm 5\text{V}$ の基準電圧を得るためには、INA105を図1bに示すように接続し、ツェナー電圧を基準としたような(+)(-)両極性の電圧を作ります。

INA105をオペアンプと組み合わせることで、高精度の計測アンプを構成することができます(図2)。このときの伝達関数に示されるように、ゲインは R_1 と R_2 で決まります。

$$V_o = \left(1 + \frac{2R_2}{R_1}\right)(V_2 - V_1)$$

これらの抵抗はゲインのみに関係し、CMRR(同相モード除去比)は抵抗のマッチングに関係なく高い値を得ることができます。また、差動増幅器の実使用上の誤差は、入力アンプのゲインで分割されるために、計測アンプ全体としての精度は入力アンプの特性によって決まります。

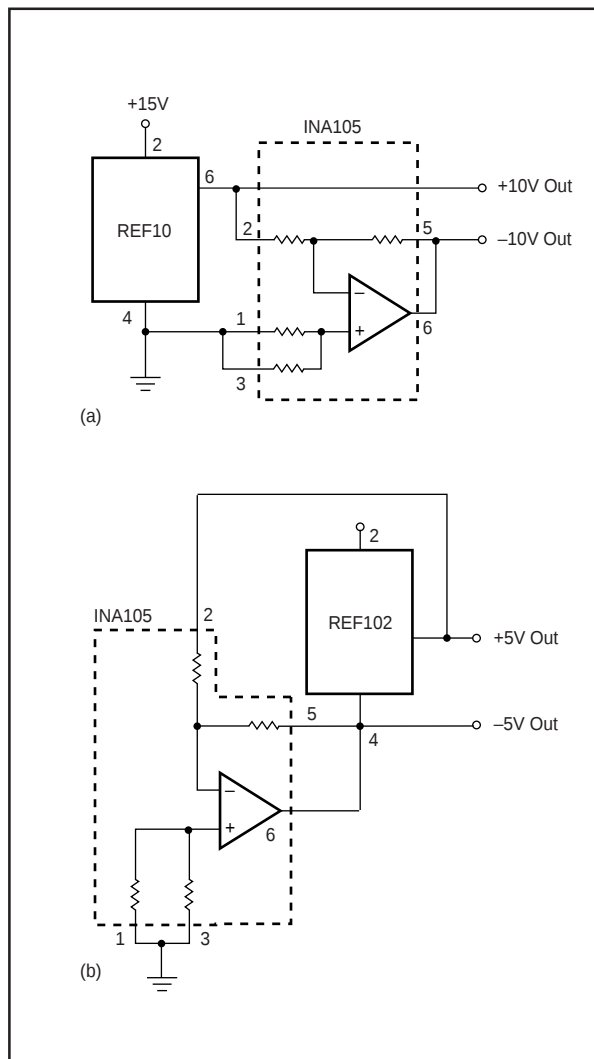


図1. a) INA105のようなユニティ・ゲイン差動アンプで簡単に高精度基準電圧発生器を作る方法：INA105のゲイン、オフセット・ドリフトは、わずか $2\text{ppm}/^\circ\text{C}$ でREF102のそれに加わるだけです。b) REF102の基本出力電圧より低い電圧を取り出すことが可能です。

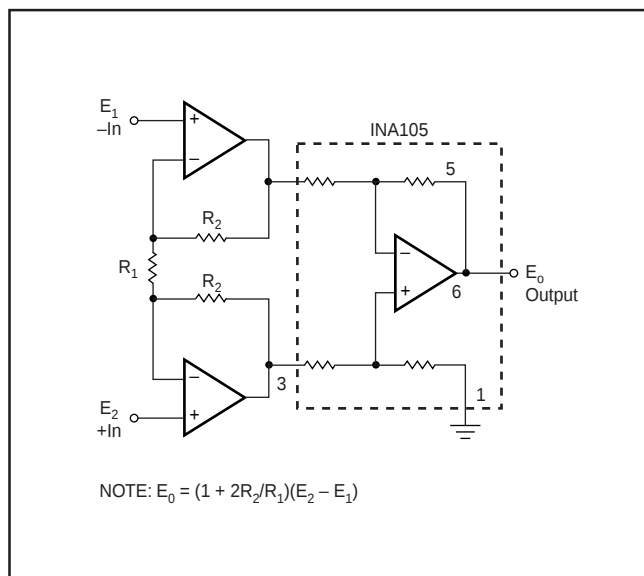


図2. INA105とオペアンプの組み合わせにより、高性能計測アンプを構成することができます。信号源インピーダンスが10kΩを超える場合、前段にFET入力型のオペアンプを使用し、低ノイズ特性を実現した計測アンプ。

低信号源インピーダンス回路に使用する場合、たとえば、入力アンプとしてOPA37バイポーラ・オペアンプを使用することで、ノイズ、オフセットおよびオフセット・ドリフト特性を改善することができます。ソース・インピーダンスがおよそ10kΩ以上の場合には、OPA37の入力バイアス電流ノイズが計測アンプの入力インピーダンスとして働き、全体としてノイズ特性を抑制することとなります。このようなアプリケーションで低ノイズ特性を得るためには、入力段にOPA111のようなFET入力型のオペアンプを使用しなければなりません。表 1に、図2に示すゲイン100でセットした時の計測アンプの諸特性を示します。エレクトロメータ・グレードの計測アンプを構成するには、バイアス電流が75fAであるOPA128を使用します。

図3aに示すような反転(-)入力回路の一方の抵抗をグラウンドに接続し、非反転(+)入力回路の抵抗を並列に使用する回路で、ゲイン2の高精度アンプを作ることができます。INA105の内部抵抗は、温度特性などについても非常に良くマッチングが取られているために、ゲイン精度0.01%、ゲイン温度ドリフト2ppm/°Cが実現できます。

A_1, A_2	R_1 (Ω)	R_2 (kΩ)	Gain (V/V)	CMRR (dB)	I_s	Noise(1kHz) (nV/√Hz)
OPA37GP	50.5	2.5	100	122	80nA	4
OPA111BM	202	10	100	110	1pA	10
OPA128LM	202	10	100	118	75fA	38

表 1. 計測アンプの諸特性

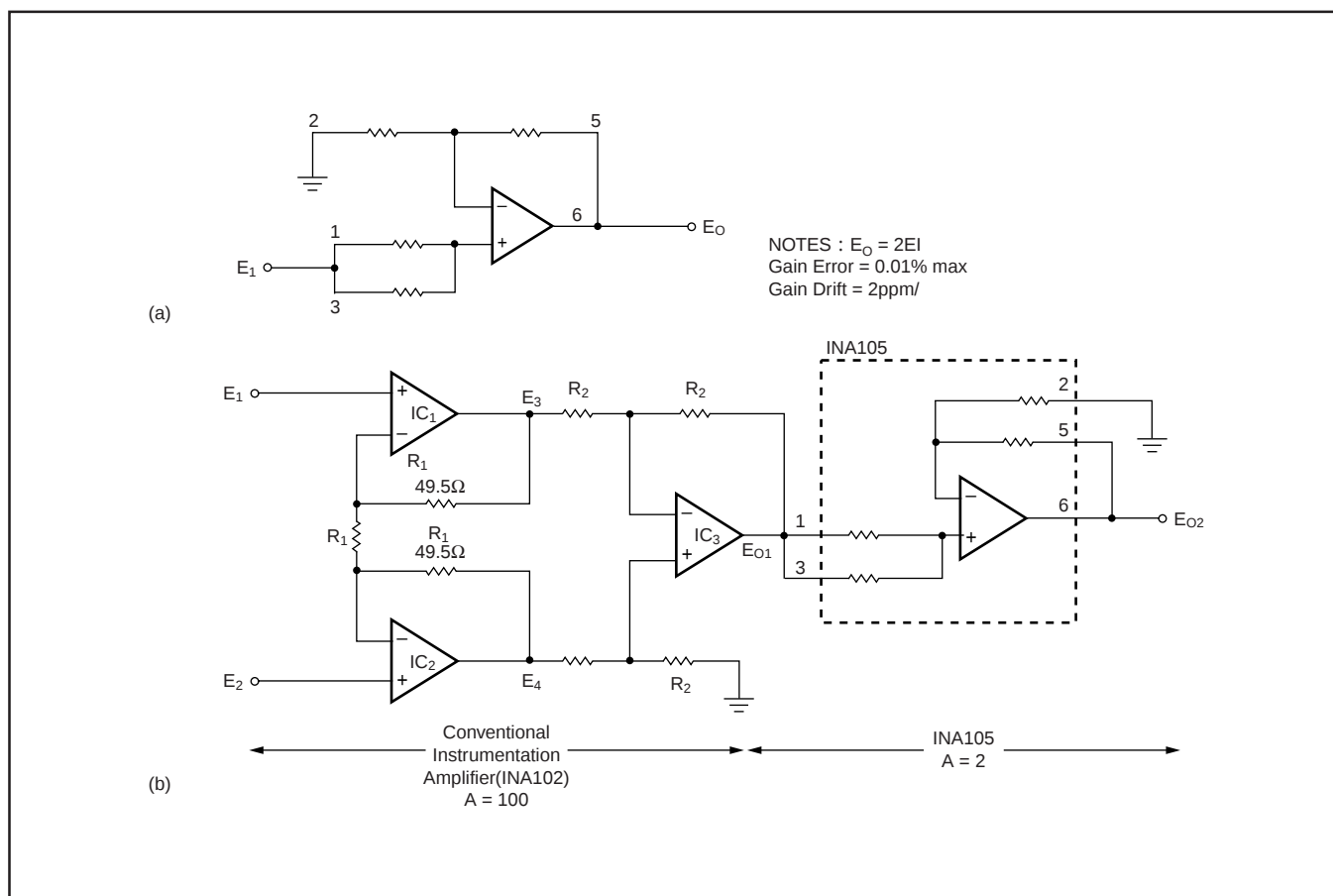


図3. a)高精度ゲイン・ブロック回路($G = 2$) b) INA102とゲイン・ブロック回路の組み合わせINA102のコモンモード電圧範囲を50%拡張

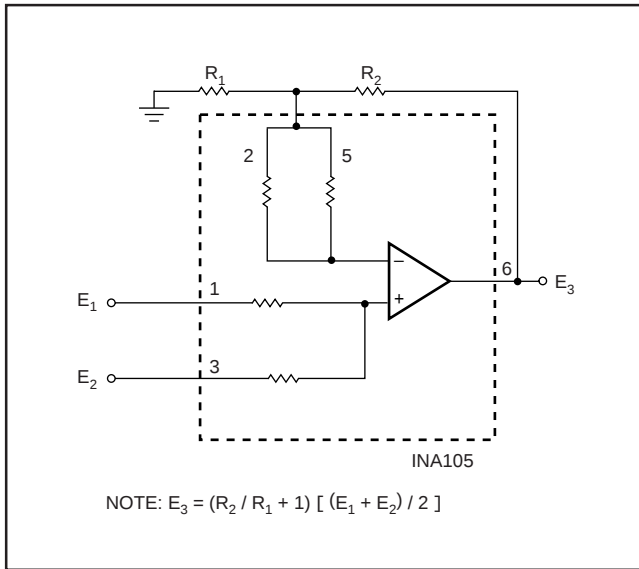


図4. 外部抵抗を接続することでゲインを有する高精度加算器

この高精度ゲインブロックは、計測アンプのゲインドリフトやゲイン精度を低下させることなく、入力コモンモード・レンジを広げることが可能です。たとえば図3bに示す回路では、計測アンプINA102のコモンモード・レンジを5Vから7.5Vまで拡張しています。また一方で現在の計測アンプは、出力段オペアンプがコモンモード入力レンジを制限しているにもかかわらず10Vのドライブ能力を要求されます。そのためこのようなゲインブロックを追加すれば、計測アンプ自体に10Vのドライブ能力を持たせる必要がなくなります。

図3aに示す回路において、非反転(+)入力部の抵抗のそれぞれにまったく別の信号を入力すれば、高精度の加算器となります。もしこの加算器にゲインが必要であるならば、図4に示すようにデバイスの外に抵抗を2本追加します。この場合内部抵抗により加算精度0.01%が保証されますが、ゲイン精度は外付けされた抵抗の精度によって決まります。オフセットエラーは、INA105の出力オフセットの半分を外付け抵抗で決まるゲイン倍したものになります。

図5に示すように、INA105を使って電圧制御型の電流源を作ることができます。(改良型ハウランド電流ポンプ)。図5の回路のどちらかの入力を接地し他方をドライブすることで、供給源とするか引込源とするか、入力電圧の極性で変えることができます。また2つの入力からドライブすれば、出力はその差に比例した電流を発生させることができます。

ハウランド電流ポンプを従来の個別部品の構成で実現することは、非常に精密な抵抗のマッチングと温度特性のトラッキングを必要とするためほとんど不可能でした。しかしINA105を使用すれば、2本の抵抗を追加するだけで簡単に作ることができます。外付け抵抗のマッチングは当然必要ですが、これまでのように正確にマッチングさせなければならないというようなことはなくなりました。これは外付け抵抗が、INA105の内部抵抗である25kΩと関連して動作するために、マッチングの必要度は内外の抵抗の比にあらためられるからです。

外付け抵抗が100Ωまたはそれ以下の場合は1%の抵抗が必要です。100Ω以上の場合、電流ソース源の出力インピーダンスおよびCMRRを高く維持するために、5番ピンに抵抗を接続しなけ

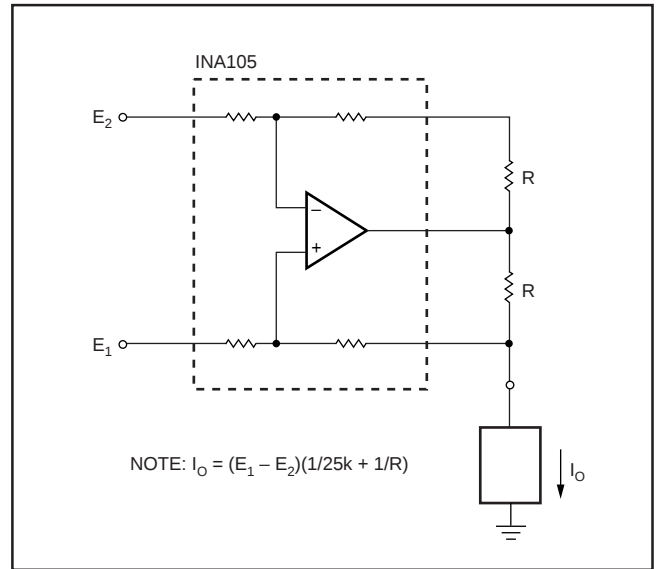


図5. INA105による改良型ハウランド電流ポンプ回路入力信号の極性により、電流の供給、引き込みの両方が可能です。

ればなりません。このときの出力インピーダンスは：

$$Z_o = R' (10^{CMRR/20})$$

で概算できます。ここでR'はRと内部抵抗25kΩの並列抵抗で、CMRRはINA105のCMRR値です。

電流トランスミッタ

INA105の定格出力ソース電流は20mAであり、4mAから20mAの電流変換器に使用することができます。(図6a)。この電流変換器は0Vから10Vの入力を4mAから20mAの出力に変換するもので、図6aのOPA27は反転アッテネータであり、10Vの基準電圧と0Vから10Vの入力信号の組み合わせにより-0.2Vから-1Vの信号をINA105の反転入力に供給します。

電流ポンプの入力が1Vに制限されることにより(50.1Ωの両端の電圧も1Vに制限される)電流変換器が接地された負荷を駆動する場合には、9V以上の追従性が得られます。

オープン・コレクタやオープン・ドレインでない設計の場合、この回路は電流の供給、引込の両方が可能です。

電流変換器にバッファとゲインの両方の機能を持たせるためには、変換器の入力に図6bに示すような対のオペアンプを追加します。先の計測アンプのときのように、このオペアンプにバイポーラまたはFET入力型のどちらを選択すべきかは、アプリケーションによって決めてください。OPA27を使用する場合は、低ノイズ増幅、高いCMRRを必要とするアプリケーションに、そして出力部にNPNトランジスタを接続すれば、熱電対を直接入力することが可能な電流変換器とすることができます。

電流ポンプ回路を作る場合に注意しなければならない点は、外部抵抗の値を可能な限り小さくする必要があるということです。抵抗値が大き(250Ω以上)場合にはCMRRを低下させます。これは、INA105のR₂ / R₁、R₄ / R₃の比を20ppmに調整してあったとしても、各サイドの抵抗値の絶対値誤差が1%程度であるためです。仮に外付け抵抗が250Ωで、それらが完全にマッチングが取れていたとしても、0.01%以上のミスマッチとなり、CMRRを86dBぐらいに低下させます。さらに抵抗値が大きくな

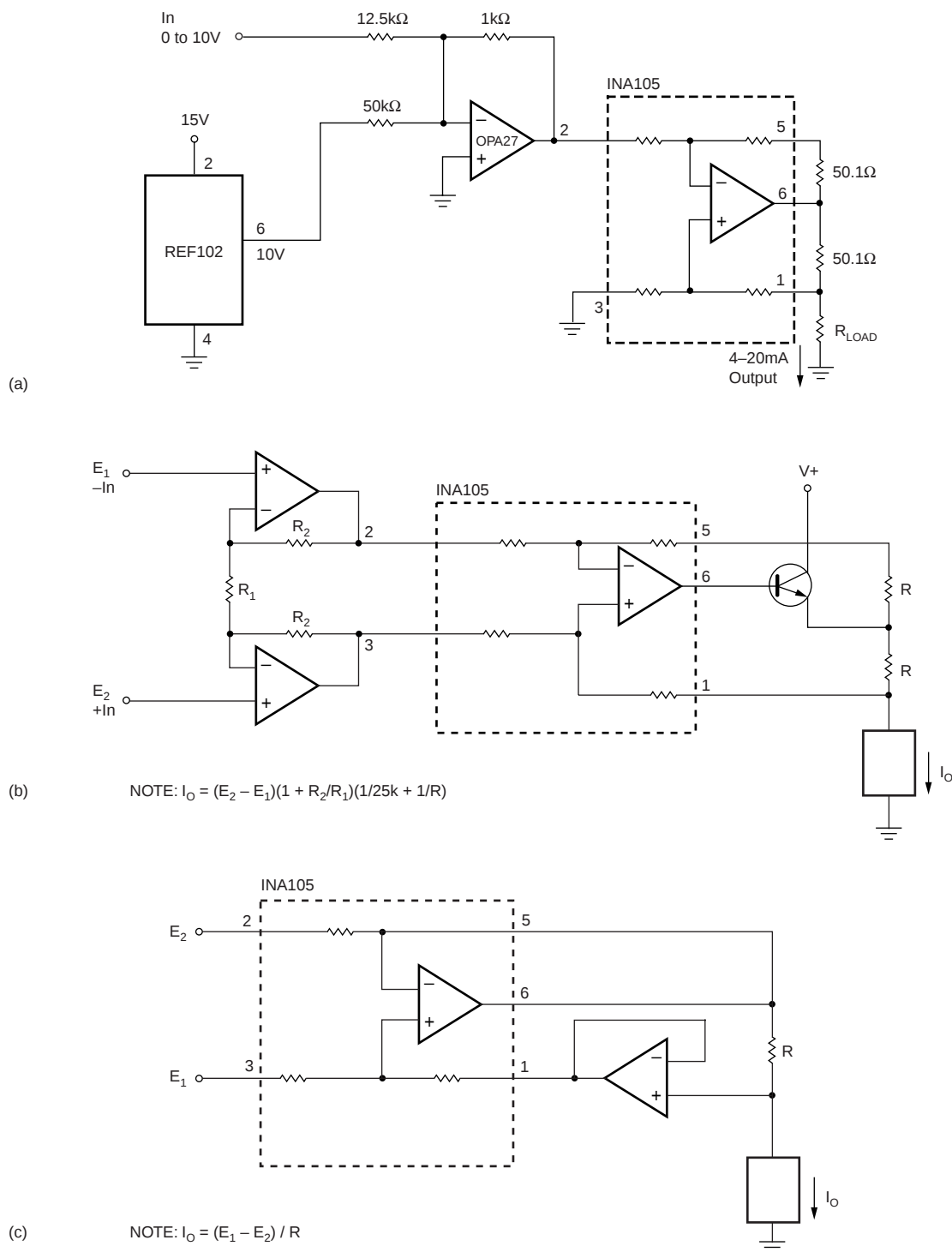


図6. a) 4mAから20mAの電流変換回路OPA27により基準電圧と入力信号0Vから10Vを加算し、INA105の入力に-0.2Vから-1Vの電圧を供給します。b) 2つのオペアンプを入力に使うことで、バッファとゲイン両方の機能を持たせることが可能です。c) 温度特性を改善するために、INA105のリファレンス・ピンにオペアンプを追加します。

ると、その温度特性も影響します。

外部抵抗の温度特性が100ppm/℃で抵抗値が500Ω以上であると、CMRRを大きく低下させてしまいます。このような温度による問題を解決するために、電流変換器としてのINA105の出力にアンプを追加する必要があります(図6c)。このような場合、オペアンプは差動アンプのリファレンス・ピンのバッファとして働くことになり、抵抗をマッチングさせる必要性がなくなります。

図7に電源電圧まで追従する電流受信回路を示します。INA105の反転入力にセンス抵抗(R_1)を接続し、その一方を電源のどちら

かにつなぐことで、 $E_O = 100 \cdot I_i$ の電流電圧変換器として動作させることができます。図7において R_2 を追加してあるのは、入力抵抗のマッチングをとることにより高いCMRRを維持するためです。

100Ωは、25kΩに比較すると小さく、86dBのCMRRを維持するためには1%の精度の抵抗で充分です。ピン2に接続された100Ωの直列抵抗はゲインを約0.4%低下させ、100Ωのセンス抵抗の1%の誤差は電流受信機として1.6%程度のゲインのばらつきを発生させます。しかし、この1.6%のゲインのばらつきは大

部分のアプリケーションにおいて問題はないと思われますが、もしこの誤差を0.05%にするならば、 $100.6\Omega \pm 0.02\%$ の抵抗を使う必要があります。

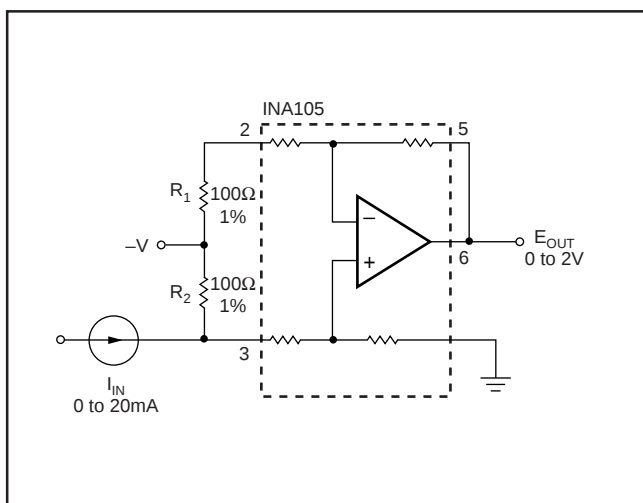


図7. 両方の電源極性まで追従できる電流受信回路 R_2 はINA105の高いICMRR特性を維持するために、入力抵抗のマッチングを取るためのものです。

絶対値バッファの設計

このモノリシック差動増幅器は、信号の絶対値処理を必要とするアプリケーションに適しています。図8aに示すようにINA105にいくつかの素子をつなぐことによって、高精度の絶対値バッファを作ることができます。OPA111はFET入力のおペアンプであり、整流用ダイオード D_1 、 D_2 が入力増幅器のフィードバック・ループの中に入っていることにより、ダイオードの順方向電圧降下分はアンプのオープンループ・ゲインによって補正されます。この回路全体の精度は0.01%でINA105のそれに等しくなります。

信号が負極性の場合、図8aにおいて D_2 が逆バイアスとなるため、等価的に図8bに示すような回路となり、ここで $R_1 = R_2$ であることにより IC_2 は単純に反転器(インバータ)として動作し、入力信号が正極性の場合には D_1 が逆バイアスされ等価的に図8cに示す回路となり、バッファとして動作します。

アナログ回路を制御するために、デジタル信号を扱うアプリケーションにおいて、デジタル的に制御できるゲイン=1のアンプの例を図9に示します。DG188はアナログ・スイッチで、INA105の非反転入力に接続し、デジタル的に信号に接続するか、グラウンドに接続するかをコントロールします。

この場合において、アナログ・スイッチによる誤差は0.01%以下で、DG188は150ns以下で切り換えができ、0.01%誤差までにいたるセトリング時間は5μs以下です。

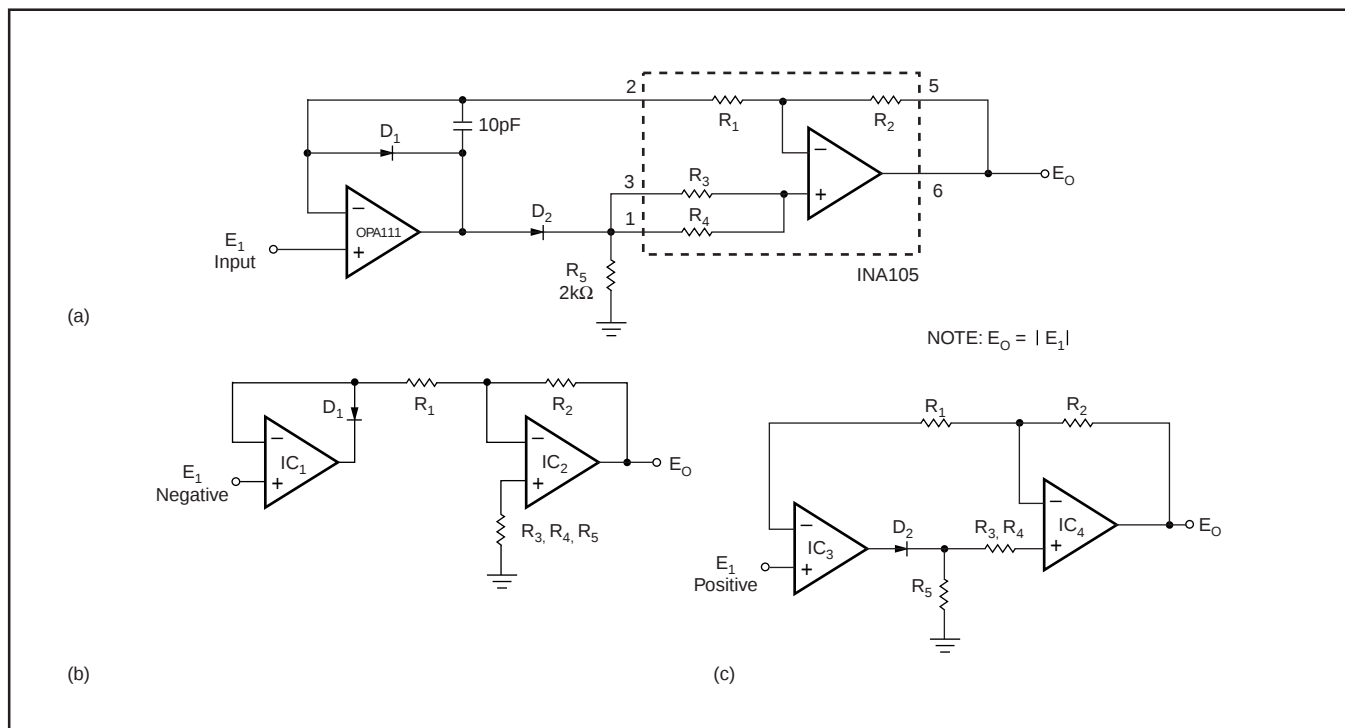


図8. a) 数個の部品をINA105に追加することで、絶対値回路を作ることができます。この場合、OPA111 FET入力オペアンプをバッファとして使用します。b) 入力信号が負(-)極性の場合、上の回路は等価的にユニティ・ゲイン反転バッファとして機能します。c) 入力信号が正(+)極性の場合、上の回路はユニティ・ゲイン・バッファとして機能します。

差動アンプの基本概念

INA105のような差動アンプの基本的なことから、ユニティ・ゲイン反転アンプとゲイン2の非反転アンプ、及び入力部の1/2分割の抵抗の組み合わせにより構成されています。

その伝達式は、

$$E_O = -E_{I1} + E_{I2}$$

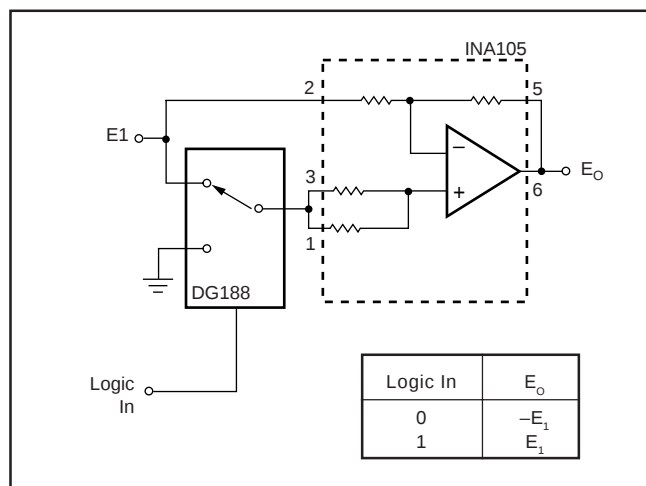


図9. DG188アナログ・スイッチを使用し、アンプのゲイン極性を制御する方法。ロジック入力レベルにより反転または非反転バッファになります。

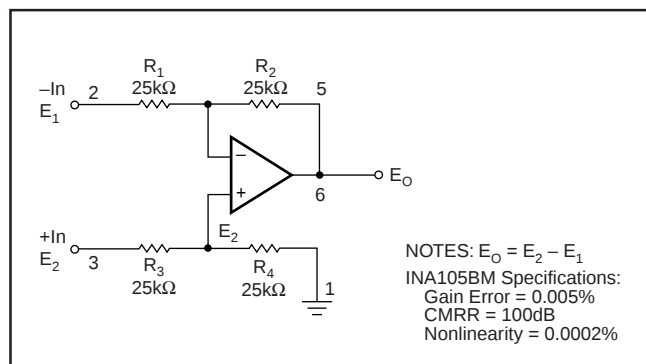


図10. INA105のような差動アンプは、ユニティ・ゲイン反転アンプ、ゲイン2のアンプと対の抵抗分割器により構成されています。

E_1 は反転入力電圧、 E_2 は非反転入力電圧であり、もし E_1 と E_2 が等しければその出力はゼロとなります。差動増幅器は2つの入力信号の差分に対してのみ動作し、同相分の電圧は除去するように働きます。

同相信号は、双方の入力に現れる信号です。出力電圧 V_O は次式で与えられます。

$$V_O = \left(\frac{R_1 + R_2}{R_1} \right) \left(\frac{R_4}{R_3 + R_4} \right) V_2 - \frac{R_2}{R_1} V_1$$

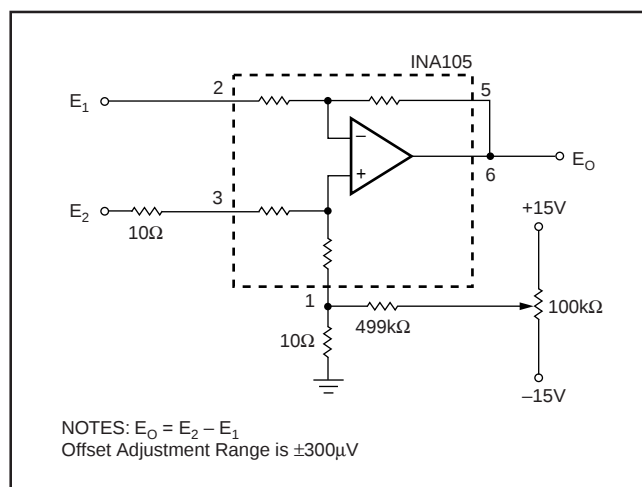


図11. オフセット調整回路

INA105の100dBのCMRRは、 R_4/R_3 と R_2/R_1 のマッチングが0.002%によって実現されます。またそれぞれの抵抗のTCRが2ppm/°Cであれば、85°Cで86dB(最小)のCMRRが保証できます。

このように差動増幅器の使用において重要なことは、抵抗のマッチングをとることです。

実際の使用において、信号源インピーダンスがこれらの抵抗に直接加わることとなり、これによる5.0オームの抵抗差がCMRRを80dBに下げることになる点を考慮する必要があります。また、このような差動増幅器においては、 $R_2/R_1 = R_4/R_3$ の関係を厳しく調整してあるために、正しく図10に示すように接続する必要があります。 R_3 と R_4 を入れ替えて使用しても、差動増幅器としての機能にはなんの変化もありますが、その特性は劣化することになります。ピン1とピン3を逆にすると、相対精度0.002%が0.01%に低下し、CMRRの他に温度ドリフトと熱帰還誤差も大きくなることが予想されます。

このようなことから、オフセット電圧を調整するための回路を外付けにする場合は、抵抗のマッチングを充分考慮する必要があります。オフセット調整を必要とする場合には、図11に示してあるように入力、およびリファレンス・ピンに10Ωを直列に接続することにより、499kΩを介して300μVのオフセット調整範囲を実現することができます。

このアプリケーションノートに記載されている情報は、信頼しうるものと考えておりますが、不正確な情報や記載漏れ等に関して弊社は責任を負うものではありません。情報の使用について弊社は責任を負えませんが、各ユーザーの責任において御使用下さい。価格や仕様は予告なしに変更される場合がありますのでご了承下さい。ここに記載されているいかなる回路についても工業所有権その他の権利またはその実施権を付与したり承諾したりするものではありません。弊社は弊社製品を生命維持に関する機器またはシステムに使用することを承認または保証するものではありません。

日本バー・ブラウン株式会社

<http://www.bbj.co.jp/>

本社 〒222-0033 横浜市港北区新横浜2-3-12 新横浜スクエアビル ☎ 045-476-7870

大阪営業所 〒532-0011 大阪市淀川区西中島6-1-1 新大阪プライムタワー ☎ 06-305-3287

フリーラインFAX

本社 ☎ FAX.0120-068801
大阪 ☎ FAX.0120-068805

万一つながらない場合は、お手数ですが弊社営業部FAX045-476-7889（有料）までご連絡くださるか、あるいはTELにてお問い合わせください。