

## 進化している OP07

by Reza Moghimi

### はじめに

OP07 は長期間手直しされながら、その改良版がまだプラスチック・パッケージ品で供給されております。

このアプリケーション・ノートでは OP7x7 が新しい回路設計にもたらしたいくつかの主な特徴をハイライトします。又これらの特徴を利用した多くのアプリケーションを紹介しません。

### 単電源動作

今日の環境下で使用する電子部品として最大の問題の一つは OP07 が両電源を必要とする事です。アナログ・デバイセズ社から販売されているこのオペアンプ・ファミリーはこの問題を解決し、しかもオリジナルの特性に近い値に維持されています。シングル (OP777) , デュアル (OP727) , クワッド (OP747) オペアンプの電源動作範囲は両電源では  $\pm 15\text{V}$  から低い方は  $\pm 1.35\text{V}$  まであり、単電源では  $+30\text{V}$  から低い方は  $+2.7\text{V}$  まであります。

OP777/OP727/OP747 データシートでは  $+5\text{V}$  と  $\pm 15\text{V}$  の電源でデバイスの特性が規定されています。OP7x7 ファミリーは真の単電源駆動能力があるので単電源と両電源の両方のアプリケーションで低い方は負電源又はグラウンドまで動作します。

図 1 は計装アンプ (U3 と U4 で構成) のゲインが 100 に設定されていることを示します。AD589 は  $1.235\text{V}$  を発生します。U1 アンプはブリッジを制御し、 $2.55\text{M}\Omega$  と  $6.19\text{k}\Omega$  の並列抵抗の両端電圧を一定に維持する事により  $200\mu\text{A}$  電流源を発生させます。この電流は均等に分かれ、ブリッジの右半分、左半分の両側に流れるので RTD にも流れて、この値に基づいた出力電圧を発生します。

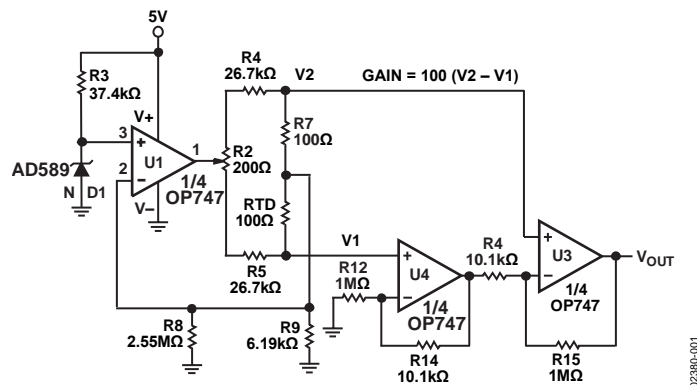


図 1. 低消費電力単電源 RTD アンプ

アナログ・デバイセズ社は、提供する情報が正確で信頼できるものであることを期していますが、その情報の利用に関して、あるいは利用によって生じる第三者の特許やその他の権利の侵害に関して一切の責任を負いません。また、アナログ・デバイセズ社の特許または特許の権利の使用を明示的または暗示的に許諾するものでもありません。仕様は、予告なく変更される場合があります。本紙記載の商標および登録商標は、各社の所有に属します。※日本語資料は REVISION が古い場合があります。最新の内容については、英語版をご参照ください。

Rev. B

©2010 Analog Devices, Inc. All rights reserved.

**アナログ・デバイセズ株式会社**

本社 / 〒105-6891 東京都港区海岸 1-16-1 ニューピア竹芝サウスタワービル  
電話 03 (5402) 8200  
大阪営業所 / 〒532-0003 大阪府大阪市淀川区宮原 3-5-36 新大阪トラストタワー  
電話 06 (6350) 6868

## 目次

はじめに.....	1	レール to レール出力 .....	6
単電源動作.....	1	負レール入力 .....	6
改訂履歴.....	2	3 V 超過の入力電圧 .....	7
超低電源電流.....	4	高精度性能を得るための回路設計上の注意点.....	7
入力クランプ・ダイオードが不要 .....	5		

## 改訂履歴

### 3/10—Rev. A to Rev. B

Changes to Format.....	Universal
Changes to Introduction Section and Single-Supply Operation Section.....	1
Changes to Figure 2 and Figure 4.....	3
Changes to Much Lower Supply Currents Section .....	4
Changes to Absence of Clamping Diodes at the Inputs Section and Figure 10 .....	5
Changes to Figure 14 and Figure 16.....	6
Changes to 3 V Over the Input Section .....	7

### 6/03—Rev. 0 to Rev. A

### 11/02—Revision 0:初版

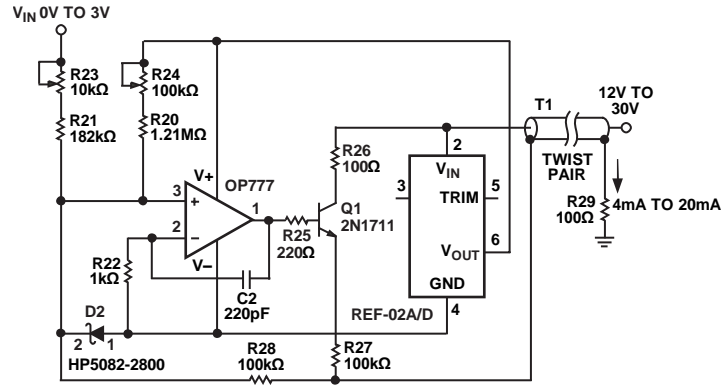


図 2.セルフパワーード 4mA~20 mA 電流ループ・トランスミッタ

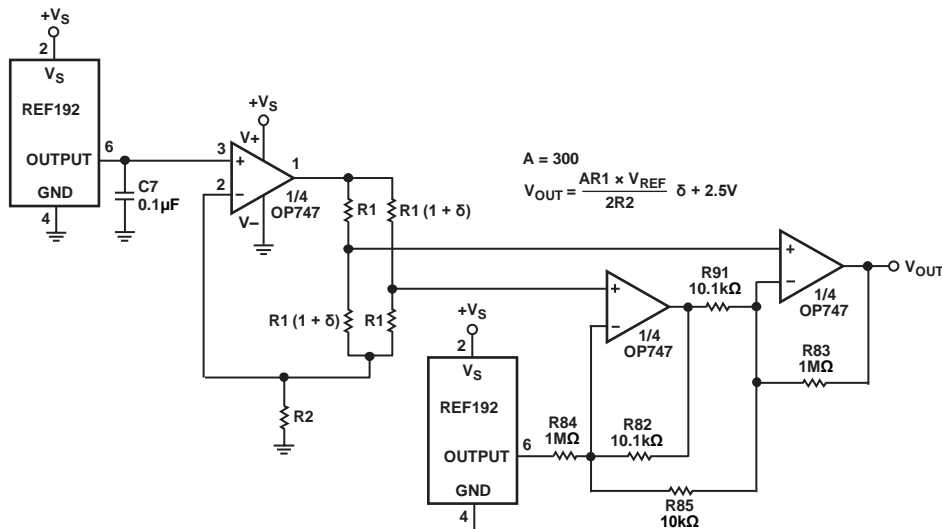


図 3.単電源線形応答ブリッジ

図 2 に示すように、回路は単電源(12V~30V)リターンからフローティングになっています。この回路の消費電流はわずか 1.5 mA なので、他の信号処理回路を駆動するために必要な 2.5mA を供給できます。

OP7x7 は多くのブリッジ・アプリケーションに非常に有用です。図 3 はその出力がブリッジの微小偏差( $\delta$ ) に直線的に比例する単電源ブリッジ回路です。ここで  $\delta$  は次の式の値です。

$$\delta = \frac{\Delta R}{R}$$

単電源システムで AC 信号を処理する時、仮想グラウンド・バイアス回路を利用の方が良い場合があります。図 4 ではアンプ A3 によって仮想グラウンドが行われています。50 Hz を除去するにはツイン-T 回路の抵抗 2.67 k $\Omega$  を 3.16 k $\Omega$  に置き換えてください。感度はツイン-T 回路のキャパシタンスと抵抗それぞれの相対的なマッチング度に依存します。満足できる結果を得るためマイラ (5%) と 1% 抵抗を使用してください。

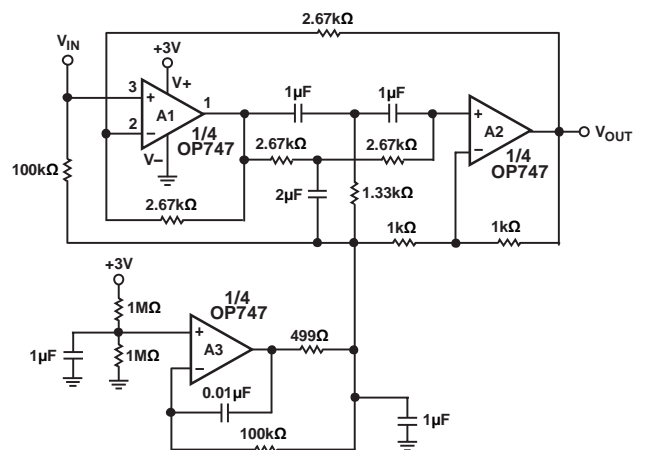


図 4.仮想グラウンドの 3V 単電源 50 Hz/60 Hz アクティブ・ノッチ・フィルタ

## 超低電源電流

OP07 の静止電流は、今日携帯アプリケーションで要求されるレベルより大きいです。±15 V 動作の場合、計装アンプ OP777 の静止電流は 350 μA 以下ですが、OP07 の静止電流は 4mA です。電力消費に関しては、OP777 は多くの携帯アプリケーションに使用できます。

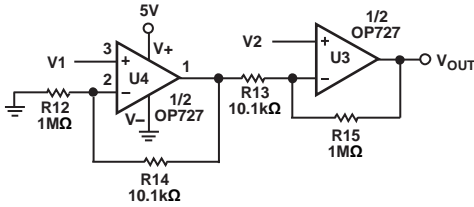


図 5. 単電源マイクロパワー計装アンプ

OP727 はオペアンプ 2 個使いの計装アンプ回路に使用できます。1 個の OP727 アンプを使用した単電源計装アンプを図 5 に示します。真の差動出力を得るには  $R14/R12 = R15/R13$  でなければなりません。dc 回路の CMRR の公式を次に示します。

$$CMRR = 20 \times \log(100 / (1 - (R15 \times R14) / (R13 \times R12)))$$

抵抗回路の精度を抵抗対抵抗の不一致（パーセント）で規定するのが一般的です。これを反映させて CMRR の公式を書き直すと次の式になります。

$$CMRR = 20 \times \log(10000 / \% \text{ mismatch})$$

CMRR を高くするために重要な事は、抵抗比と相対的ドリフトの両方の面でよくマッチングしている抵抗網です。抵抗の絶対値とそれらの絶対的なドリフトは重要ではなく、マッチング度が重要です。抵抗回路のミスマッチ度が 0.1% の場合 CMRR は 100dB です。CMRR を最大にするために、R12 のような抵抗の一つを調整する必要があります。一個のパッケージに収納された 2 個のオペアンプ (OP727) を精度よくマッチングをとる事により性能が大きく向上し、3 個使いのオペアンプ構成以上の性能が得られます。

この回路の場合、 $0.02 \text{ mV} \leq (V1 - V2) \leq 290 \text{ mV}$ 、 $2 \text{ mV} \leq V_{OUT} \leq 29 \text{ V}$  で、 $V_O = 100(V2 - V1)$  となります。

図 6 に示すように、OP747 は優れた dc 精度と性能があるので、単一の信号源から複数出力トラッキング電圧リファレンスを発生する回路に使用できます。

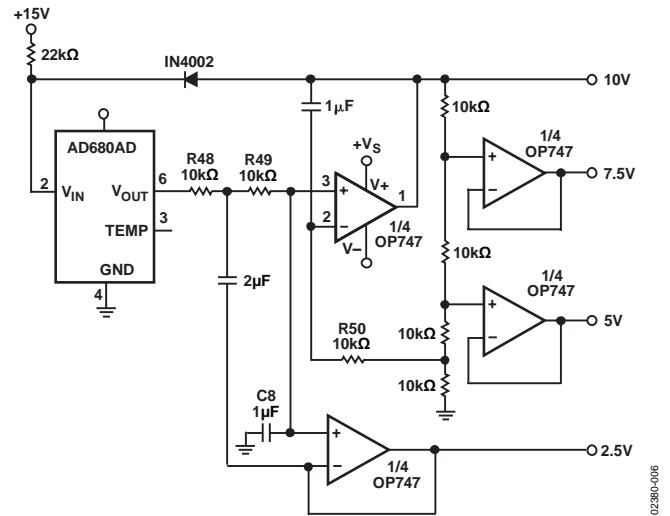


図 6. 複数出力トラッキング電圧リファレンス

図 7 はホールドバック電流制限回路付き電圧レギュレータ又はクローバ保護回路付き高電流電源回路に組み込む事ができる、5V 単電源電流モニターの例を示します。回路はグラウンドまである OP777 の同相範囲を利用しています。電流は電源リターンでモニターされ、0.1 Ω シャント抵抗  $R_{SENSE}$  で非常に小さな電圧降下を生じます。反転端子の電圧は Q1 (2N222A 又は等価の NPN トランジスタ) のフィードバックを通して非反転端子の電圧に等しくなります。これにより R3 の電圧降下が  $R_{SENSE}$  の電圧降下に等しくなります。それ故 Q1 を流れる電流は  $R_{SENSE}$  を流れる電流に直接比例するので、出力電圧は次の式で与えられます。

$$V_{OUT} = 5 \text{ V} - (R2/R3) \times R_{SENSE} \times I_L$$

$I_L$  が増加すると R2 の電圧降下が増加します；それ故より高い電源電流が検出された時  $V_{OUT}$  が減少します。図 7 に示されている部品の値の場合、リターン電流 1A で  $V_{OUT}$  は 2.5 V です。

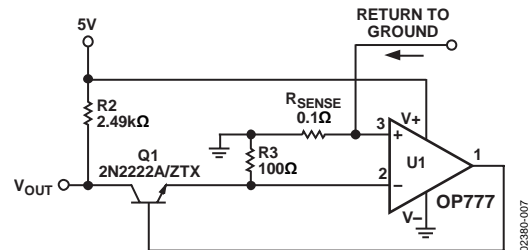


図 7. ローサイド電流検出回路

図 8 は単純な加算アンプとして構成された OP777 を示します。出力は V1 と V2 の合計です。

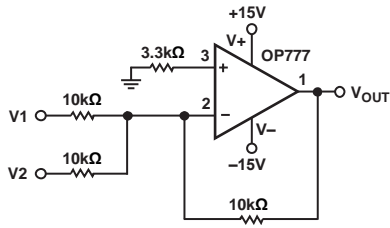


図 8.加算アンプ

**入力ランプ・ダイオードが不要**

アンプの差動電圧が大きいので、整流回路や高精度コンパレータ・アプリケーションでの動作が可能です。外付けランプ・ダイオード (OP07 には内蔵) の必要がありません; このようなダイオードはしばしば高精度オペアンプに必要ですが、多くのコンパレータ回路では問題となります。

図 9 に示した簡単な発振器は、図に示されている値の場合、1 kHz で ±Vs の矩形波出力を発生します。他の発振周波数は次の式を利用する事により得られます。

$$f = 1/(2R3 \times C10 \times \ln((R61 + R60)/R61))$$

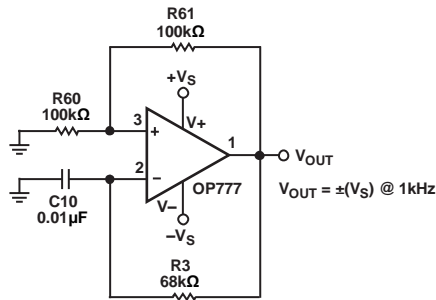


図 9.フリー・ランニング矩形波アンプ

プログラマブル・ウインド・コンパレータは 12 ビット精度があります。DAC8222 は上位と下位の閾値を設定する電圧に使用されます。

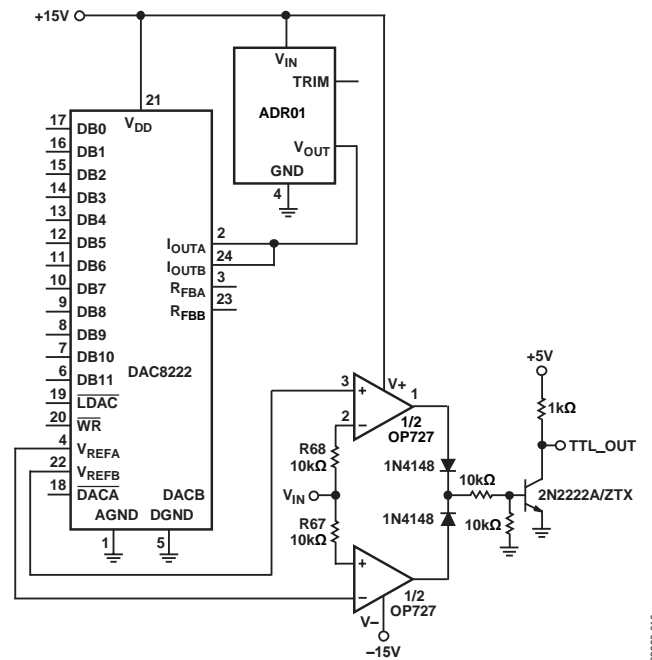


図 10.プログラマブル高分解能ウインド・コンパレータ

OP777 は高精度閾値検出器回路に使用されます。この回路で、 $V_{IN} < V_T$  の時、アンプは負に振れダイオードは逆バイアスになります。ここで  $R_L = \infty$  であれば、 $V_{OUT} = V_{TH}$ 。  $V_{IN} \geq V_{TH}$  の時、フィードバックが行われ、 $V_{OUT} = V_{TH} + (V_{IN} - V_{TH})(1 + R_F/R_S)$  になります。C はループ応答を滑らかにするために選ばれます。

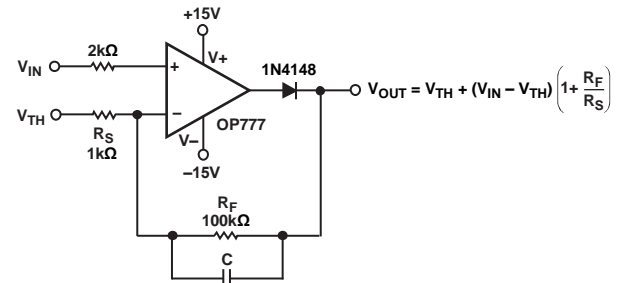


図 11.高精度閾値検出器/アンプ

$V_{IN} > 0V$  で  $< 2\text{ kHz}$  の場合、フィードバック抵抗を通して電流は流れず、出力電圧は入力に追従します。 $V_{IN} < 0V$  の場合、初段のアンプの出力は  $0V$  (すなわち、 $-V_S$ ) となり、2 段目のアンプが反転フォロア回路になります。出力は入力信号を全波整流した波形になります。図 12 に示す回路からわかるように、入力信号を半波整流した波形も初段アンプの出力から得られます。

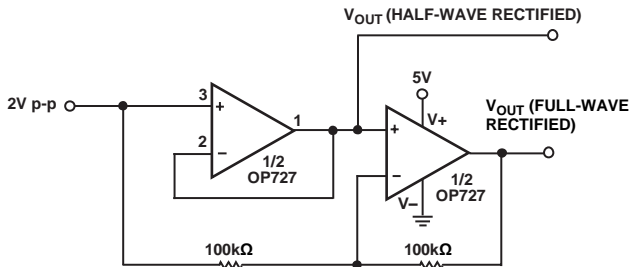


図 12. 単電源半波整流と全波整流

レール TO レール出力

出力は、軽負荷では上下それぞれの電源レールの  $1\text{mV}$  以内まで振れ、デバイスは電圧フォロア回路で安定動作します。出力短絡保護回路により  $\pm 15V$  両電源の場合、 $30\text{ mA}$  ( $5V$  単電源では  $10\text{mA}$ ) に制限されデバイスが保護されます。

負レール入力

アンプは単電源回路でグラウンドの上  $1\text{mV}$  程度の低い信号まで応答します。OP7x7 ファミリーは真の単電源駆動が可能なので、単電源、両電源アプリケーションの両方では負電源あるいはグラウンドまで動作します。

OP727 は高ゲイン、低  $TCV_{OS}$  なので、マイクロボルト・レベルの入力信号でも高精度動作を保證します。(図 13 を参照) この回路では、入力はオペアンプに対して常に同相信号になります。OP727 の  $CMRR$  は  $120\text{dB}$  以上なので、誤差は  $2\text{ ppm}$  以下です。

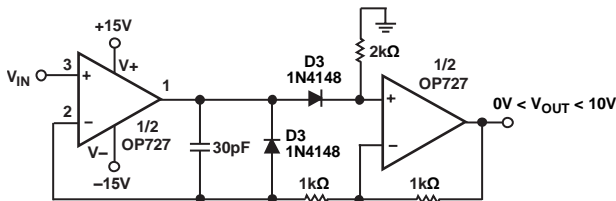


図 13. 高精度絶対値アンプ

図 14 に単電源電流源を示します。マイクロパワー動作を維持するために大きな抵抗値が使用されています。出力電流は抵抗  $R10$  を変える事により調整されます。コンプライアンス電圧は下記のようになります。

$$|V_L| \leq |V_{SAT}| - |V_S|; I_{OUT} = R2 / (R8 \times R10) \times V_S; I_{OUT} = 1\text{ mA to } 11\text{ mA}; R2 = R10 + R7$$

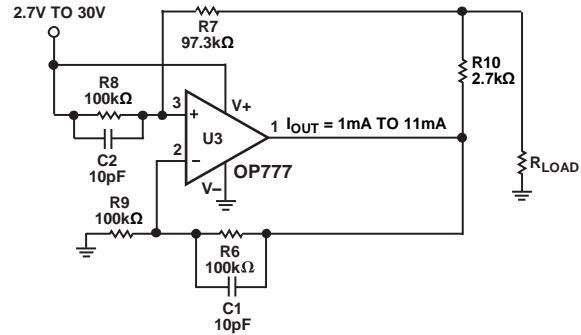


図 14. 単電源電流源

単電源アプリケーションで、モーターあるいはアクチュエータを 2 方向へ駆動する時、しばしば H-ブリッジ (図 15 を参照) が使用されます。このモーター駆動回路は負荷を両方向に  $0V \sim 5V$  の範囲駆動する能力があります。誘導負荷を両方向に駆動する場合、誘導性キックバックからブリッジを保護するためにダイオード・クランプを追加してください。

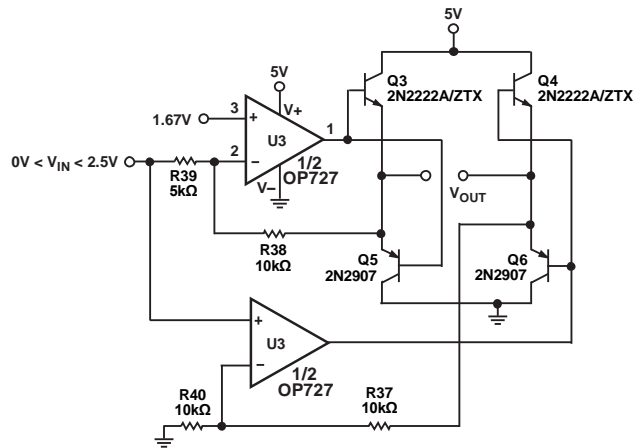


図 15. Hブリッジ

図 16 に示す電流源は接地されている負荷に正と負の両方の電流を供給します。 $Z_{OUT}$  は次の式で与えられます。

$$Z_{OUT} = R2B \times ((R2A/R1) + 1) / ((R2B + R2A)/R1) - R2/R5$$

ここで  $(R2A + R2B)/R1 = R2/R5$  とすれば、 $Z_{OUT}$  が無限大になります。

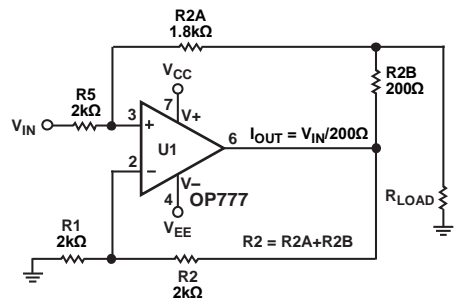


図 16. 双方向電流源

### 3 V 超過の入力電圧

PNP 入力段は  $500\ \Omega$  電流制限抵抗で保護されているので入力電圧が上下いずれの電源電圧から 3V まで超過しても破損や位相反転を生じません。位相反転保護はいずれか一つ又は両方の入力にそれらの入力同相電圧範囲を超えた電圧が印加された時動作します。

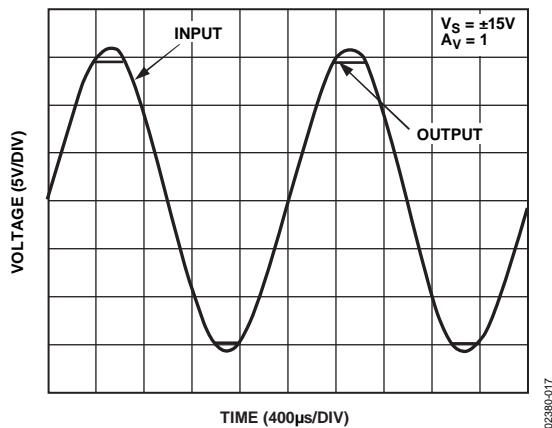


図 17.位相反転なし

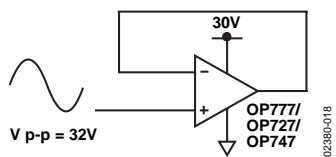


図 18.ユニティ・ゲイン・フォロア

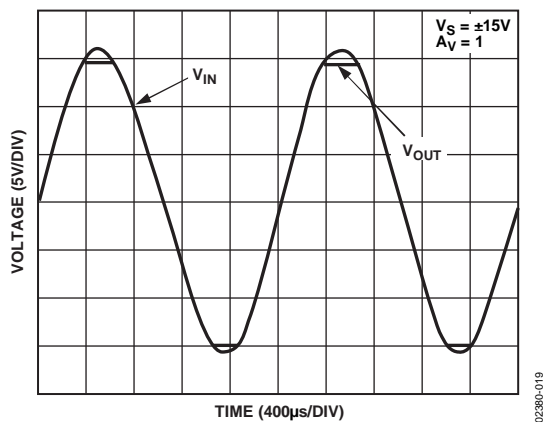


図 19.入力電圧は破損する事なく電源電圧を超える事ができます。

デバイスが単電源又は両電源のいずれで使われようと、その動的性能とノイズ特性は類似しています。  $2\ \text{k}\Omega$  負荷でのスルーレートは  $200\ \text{mV}/\mu\text{s}$  で、ゲイン帯域幅積は  $700\ \text{kHz}$  です。  $0.1\ \text{Hz} \sim 10\ \text{Hz}$  のピーク to ピーク・ノイズは  $0.4\ \mu\text{V}$  で、  $1\ \text{kHz}$  での電圧ノイズ密度は  $15\ \text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$  です。

ゲイン特性は、もちろん、電源電圧が違るとかなり異なります。  $25^\circ\text{C}$  での最大電圧オフセットは  $100\ \mu\text{V}$ 、入力オフセット電流は  $2\ \text{nA}$ 、入力バイアス電流はわずか  $10\ \text{nA}$  未満です。単電源  $5\ \text{V}$  で、  $\text{CMRR}$  は  $110\ \text{dB}$  となり、大信号電圧ゲインは  $10\ \text{k}\Omega$  負荷で  $500\ \text{V}/\text{mV}$  未満です。  $\pm 15\ \text{V}$  電源では  $\text{CMRR}$  は（驚くことではなく）  $10\ \text{dB}$  増加し  $120\ \text{dB}$  になり、大信号電圧ゲインは  $2500\ \text{V}/\text{mV}$  に増えます。

$\pm 15\ \text{V}$  動作回路向けに小型 8 ピン MSOP パッケージの低ノイズ高精度アンプ OP777 があります。 OP777 は 8 ピン SOIC 表面実装パッケージもあります。

このオペアンプ・ファミリーは計測器、リモート・センサー・アクイジション、高精度フィルタに非常に便利です。電圧範囲が広いので単電源電流源や広範囲計装アンプに使用できます。単電源と両電源駆動のリニア応答ブリッジを作成する事ができます。このデバイスは同相電圧範囲が単電源回路でグランドまでであるので、電源コントローラ回路のローサイド電流モニターとして理想的です。

### 高精度性能を得るための回路設計上の注意点

どのアプリケーションでも同じように、最良の性能を得るにはグラウンド・プレーンをしっかり行う必要があります。基準点を低インピーダンスにする事より、グラウンド・ループの好ましくない影響や  $I \times R$  損失を大幅に減らす事ができます。多層基板設計を使いその一層をグラウンド・プレーンにする事により最良の結果が得られます。

センサーを使用する時、高周波干渉ノイズを最小にし、低周波数のグラウンド・ループを防ぐためにシールド接地の技術が必要です。ケーブル・シールド・システムにはケーブル端末コネクタを含む必要があります。

多くのシステムで通常高い出力ノイズのあるスイッチング電源が使用されます。このノイズは一般的に広帯域周波数に拡散しており、伝導性ノイズや放射ノイズとして不要な電界、又は磁界を生じます。スイッチング電源の電圧出力ノイズは簡単に  $100\ \text{MHz}$  あるいはさらに高い周波数成分にまで及ぶ短期間電圧トランジェント又はスパイクです。スイッチング電源を rms ノイズについて規定する事は通常メーカーのやり方ですが、ユーザーは個々のシステムの出力負荷でのスイッチング・スパイクのピーク（又はピーク to ピーク）振幅も規定する必要があります。ノイズ除去フィルタにはコンデンサ、インダクタ、フェライト・ビーズ、抵抗が使用されます。リニア・ポスト・レギュレーションも使用され影響を受けやすいアナログ回路から電源回路を分離します。アナログ・デバイス社は多数の anyCAP® 低ドロップアウト・リニア・レギュレータを製造しています。これらデバイスとして例えば電源電圧  $12\ \text{V}$  以下の ADP3300 ~ ADP3310 と ADP3335 ~ ADP3339 があります。

コンデンサはおそらくスイッチング素子にとって単一のもっとも重要なフィルタ部品です。スイッチング素子に適した 10 kHz ~ 100 MHz 周波数範囲でのフィルタに有効なコンデンサには一般的に 3 クラスがあります。コンデンサはそれらの汎用誘電体タイプにより幅広く区別されま  
す：電解、フィルム、セラミックコンデンサに関する背景とチュートリアル情報は Walter G. Jung, Richard Marsh, *Picking Capacitors, Part 1* と *Part 2, AUDIO (February, March 1980)* 記事、多数の部品メーカーのカタログにあります。

電源バイパスにはチップ・コンデンサを使用し、コンデンサの一端はグラウンド・プレーンに接続し、もう一端は各電源ピンから  $\frac{1}{8}$  インチ以内に接続してください。さらに追加の大きな値のタンタル電解コンデンサ (4.7  $\mu$ F to 10  $\mu$ F) を並列に接続してください。このコンデンサは必ずしも電源ピンの近くに接続する必要はありません。なぜならデバイスの出力での高速で大きな信号変化に必要な電流を供給するからです。

電圧降下を低減し、インダクタンスを最小限にするために、短く幅広い PCB パターンを使用してください。最小の DCR にするには 1 インチのパターン長あたり少なくとも 200mil のパターン幅にしてください、そして IR 降下やインダクタンスをさらに低減するには 1 オンス又は 2 オンスの銅 PCB パターンを使用してください。

オペアンプの最大ジャンクション温度又は最大電源消費電力の定格を超えないように注意してください。アンプ出力に容量性負荷が接続されている場合は、負荷に流れる rms ac 電流によって起こる電力消費も計算に入れてください。

ピン・インダクタンスを最小限にするために、短いピンの部品又はリードレス部品を使用してください。そうすれば余分な ESL と/又は ESR が加わる可能性を最小限に抑える事ができます。表面実装パッケージがお勧めです。インピーダンスを最小にするため、大きな面積のグラウンド・プレーンを使用してください。周波数、電流、温度の変化に対して部品がどのように動作するか注意してください。

試作設計のシミュレーションにメーカーの部品モデルを利用し、実験室での測定結果がシミュレーション結果にほぼ一致するか確認してください。スパイス・モデルはアナログ回路の特性を推定するための強力なツールです。アナログ・デバイセズ社はそのほとんどの IC のマクロモデルを提供しています。スパイス・モデルは OP777 製品ページからダウンロードできます。

モデルは多くの実際の回路の影響を除外しており、デスクリット部品や PCB パターンのすべての寄生的な影響をシミュレーションする事は不可能なので、生産に入る前に試作を作り立証してください。試作を成功させるために、高精度又は高周波数回路には常にグラウンド・プレーンを使ってください。寄生抵抗、寄生容量、寄生インダクタンスを最小にしてください。ソケットが必要であれば、ピン・ソケット (ケージ・ジャック) を使用してください。試作、最終設計の両方とも、信号配線、部品配置、接地、デカップリングにも同様の注意を払ってください。良く知られている試作技術にはポイント to ポイント配線のフリーハンド・デッドバック、半田実装、CAD レイアウトによって加工された PCB、追加のポイント to ポイント配線が必要な両面多層基板があります。



ノート