

不揮発性メモリ付きのデジタル・ポテンショメータを使用した 多機能プログラマブル・アンプ

著者: Alan Li

概念的には、オペアンプとメカニカル・ポテンショメータを組み合わせて、電子的調整が必要とされる多くのアプリケーションで役立つ調整可能なゲイン・アンプを容易に構成することができますが、この組み合わせは、ポテンショメータの限定された分解能、大きな温度係数、抵抗の大きな時間ドリフト、リモート調整の困難さのために実現が困難なことがあります。不揮発性メモリ*を内蔵する AD523x ファミリーのデジタル・ポテンショメータにより、メカニカル・カウンタ部品を置き換えることができるようになったため、これらの回路が実用的になりました(図 1)。

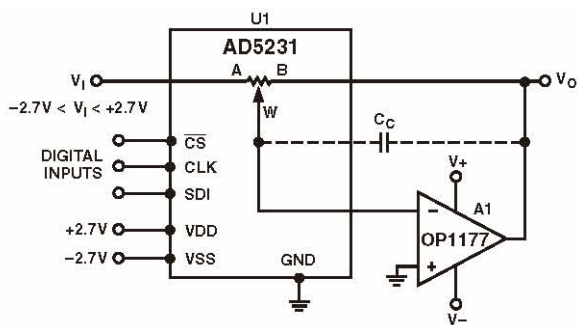


図 1. プログラマブルなアンプ/アテネータ

プログラマブルな基本アンプ

図 1 の回路で、ゲイン(負)は単なる 2 本のピン抵抗の比であり、出力電圧は、

$$V_o = -\left(\frac{R_{WB}}{R_{WA}}\right) \times V_i \quad (1)$$

$$V_o = -\left(\frac{D}{2^N - D}\right) \times V_i \quad (2)$$

ここで、

R_{AB} = ピン間公称抵抗

R_{WB} = W—B 間のピン抵抗、 $R_{WB} = R_{AB} \times D/2^N$

*用語“不揮発性メモリ”と“E2MEM”は同じ意味で使います。

R_{WA} = W—A 間のピン抵抗

$$R_{WA} = R_{AB} - R_{WB} = R_{AB} \times \left(1 - D/2^N\right)$$

D=基数 10 のバイナリ・ワード

N=ビット数

ゲインの式は平衡疑似対数特性です。この反転構成は、ハーフ・スケール付近でゲイン=1 であり、非常に小さい値から非常に大きい値までの広範囲なゲインで使用可能なために役立ちます。抵抗は 1 つのモノリシック・チップで製造されているため、抵抗比は本質的に一致し、回路の温度係数は AD5235 の場合 35 ppm/°C と小さな値になります。この回路は基本的なビルディング・ブロックであるため、特に信号が小さいために大きなゲインを必要とする多くのアプリケーションに適しています。最大ゲインは電源電圧により制限されます。信号は反転しますが、+入力をグラウンドに接続すると、同相モード入力誤差が小さくなります。

ポテンショメータの W ピンの寄生容量 C_w (非表示)はオペアンプの非反転ノードに接続されているため、クロスオーバー周波数で位相マージンを 0°にできる $1/\beta_o$ 項にゼロ点を導入します。入力に方形波パルスまたはステップ関数を入力した場合、出力にリングングまたは発振が発生します。同様に、2 つのゲイン値の間で切り替えを行うことは、入力にステップを与えることと等価なため、同様にリングングが発生します。

このため、図のように補償コンデンサ C_c を接続して C_w の影響を相殺させることができます。最適補償は、 $R_{WA} \times C_w = R_{WB} \times C_c$ のとき得られます。抵抗が変化するためこれはオプションではありません。このため、 C_c を経験的に求める必要があります。一般に、 C_c は数 pF の範囲です。

同様に、B ピンにも容量があり、出力(非表示)に接続されています。幸いなことに、このノードに対する影響は小さく、多くのケースで補償は不要です。

リニア・ステップ調整機能付きのバイポーラ・プログラマブル・ゲイン・アンプ

図1の基本回路では、増幅または減衰のいずれを回路が提供するかに無関係に、出力は常に入力に対して反転しています。ポテンシオメータをインクリメントしたときのゲイン変化は、リニアではありません。この機能は場合によって役立つことがあります。他のアプリケーションではバイポーラ・ゲインおよび/または単純な直線関係が必要になることがあります。例えば、モーターが順方向と逆方向に自由に回転できることが必要な場合、熱電冷却器が電流の向きに応じてレーザを加熱または冷却します。また、LCDパネルでは、コントラストと輝度の制御にバイポーラ電圧が必要です。大部分の一般的なケースで、任意の端点とリニア・ステップ調整を持つバイポーラ駆動を発生するとき、図2でAD5232のような2個のデジタル・ポテンシオメータを使用することができます。 $+V_i \sim -K \times V_i$ の電圧を増幅することにより、出力 V_o をリニアに設定することができます。ここで、 K は $U1$ の2本のピン抵抗の比です(式1)。 $A2$ は、 V_{w2} に対するバッファ・アンプであり、ワイパー抵抗の影響を小さくします。

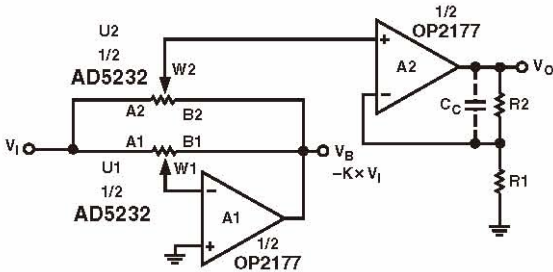


図2.リニア・ステップ調整機能付きのプログラマブルなバイポーラ・ゲイン・アンプ

図2の伝達関数は、

$$\frac{V_o}{V_i} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \times \left(\frac{D_2}{2^N} (1 + K) - K\right) \quad (3)$$

$K = 1$ の簡単なケースでは(この方が一般的です)、ロケーション $U2$ に AD5231 のようなデジタル・ポットを1個接続し、 $U1$ を一致した抵抗対で置き換えて、デジタル・ポットの端点で V_i と $-V_i$ を与えます。関係は次式のようにになります。

$$V_o = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \times \left(\frac{2D}{2^N} - 1\right) \times V_i \quad (4)$$

表1に、 D を調整した結果を示します。ここで、 $A2$ はゲイン=1 ($R1 = \infty, R2 = 0$)、ゲイン=2 ($R1 = R2$)、ゲイン=10 ($R2 = 9 \times R1$)としてあります。結果として、リニアに設定可能なゲインと256ステップの分解能を持つバイポーラ・アンプが得られます。

表1. 回路ゲイン対 D

D (Step)	$R1 = \infty, R2 = 0$	$R1 = R2$	$R2 = 9 \times R1$
0	-1	-2	-10
64	-0.5	-1	-5
128	0	0	0
192	+0.5	+1	+5
255	+0.992	+1.984	+9.92

図2に示すように、厳しい温度係数の一致と非常に高いゲインが必要とされる場合には、 $R1$ と $R2$ をデジタル・ポテンシオメータで置き換えることができます。ディスクリット抵抗を使用する場合は、抵抗の一致が必要です。

デジタル・ポテンシオメータのワイパー抵抗は内部固体スイッチのオン抵抗であり $50 \Omega \sim 100 \Omega$ (typ)です。これは公称抵抗 R_{AB} と比べると小さい値ですが、ワイパー抵抗は全動作温度範囲で約2倍になり、デバイスが小さい値で動作するように設定されると主要な誤差原因になります。ポテンシオメータのワイパー・ピンは、上の回路に示すように、オペアンプの入力ピンのような常に高インピーダンス・ノードに接続する必要があります。業界標準 OP07 の第4世代である OP1177 ファミリーは低オフセットと低バイアス電流特性を持つため、これを選択しました。これにより、タップ・ポイントでの分圧比のワイパー抵抗の影響が小さくなっています。

入力電圧が高いため、与えられた設定で R_{AB} 両端の電圧が5Vを超えてしまう場合は、ポテンシオメータに直列にディスクリット抵抗を接続して制限電圧を満たすようにする必要があります。図3を参照してください。

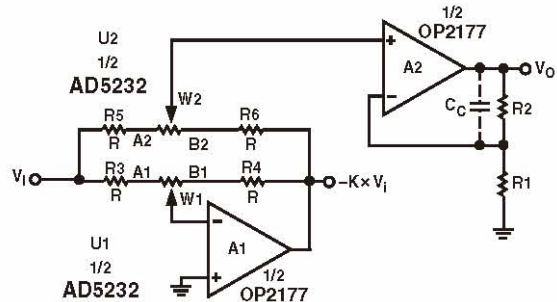


図3.高入力電圧を処理するPGA

この資料に記載するオペアンプ付きの AD523x 不揮発性メモリ・デジタル・ポテンシオメータを使うと、高い分解能の設定機能、バイポーラ制御機能、リニア/対数ステップ調整機能を持つ融通性の高いアンプを容易にデザインすることができます。

参照資料

1. Sergio Franco, Design with Operational Amplifiers and Analog Integrated Circuits, Second Edition, McGraw-Hill, 1998.
2. The engineering staff of Analog Devices, Inc., Daniel H. Sheingold, editor, Analog-Digital Conversion Handbook, Third Edition. Englewood Cliffs, N.J., Prentice Hall, 1986.
3. Digital Potentiometer Selection Guide .
http://www.analog.com/static/imported-files/product_selection_guide/Digital_Potentiometers_prodSelGuide.pdf (英語pdf, 206 KB)
4. This application note originally appeared as an article in Analog Dialogue, Volume 35, 2001. It can be found on ADI's website
<http://www.analog.com/library/analogDialogue/cd/vol35n1.pdf#page=11> (英語pdf, 12.7 MB)