

采用基于非易失性存储器的数字电位器的多功能可编程放大器

作者: Alan Li

理论上, 运算放大器和机械电位器可以轻松组成可调增益放大器, 可用于需要电子调节功能的多种应用。然而, 这种组合往往不实用, 因为电位器分辨率有限、温度系数不理想、电阻时间漂移较高, 且远程调节较难。现在, 采用内置非易失性存储器*的数字电位器的AD523x系列完全可以取代机械电位器, 增加这种电路的实用性(见图1)。

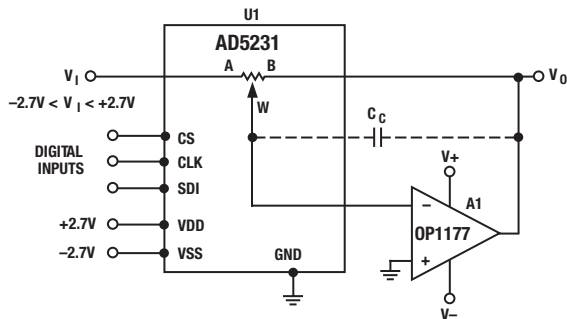


图 1. 可编程放大器/衰减器

基本的可编程放大器

在图1所示电路中, 增益(负)为两个端电阻之比, 输出电压为:

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

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

其中:

R_{AB} = 端到端标称端接电阻

R_{WB} = 端接电阻, W到B, $R_{WB} = R_{AB} \times D/2^N$

*术语“非易失性存储器”和“E2MEM”可互换使用。

R_{WA} = 端接电阻, W到A,

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

D = 二进制字的十进制等效值

N = 位数

增益表达式暗示了一种平衡伪对数特性。这种反相配置十分有用, 因为它支持较宽的增益范围, 从极小到极大, 其单位增益接近半量程。由于电阻采用单芯片制成, 其电阻比自然匹配, 如果采用AD5235, 该电路可产生低至35 ppm/°C的温度系数。作为一种基本构建模块, 该电路适用于多种应用, 尤其是那些存在小信号以及需要高增益的应用。最大增益受电源电压限制。虽然信号已反相, 但接地+输入可最大限度地减小共模输入误差。

由于电位器W端寄生电容 C_W (图中未显示)连接至运算放大器同相节点, 结果会在 $1/\beta O$ 项中产生一个零, 结果可能导致在交越频率产生 0° 相位裕度。如果输入为矩形脉冲或步进函数, 则输出可能振铃或振荡。类似地, 在两个增益值间切换时, 输出也可能振铃, 等效于输入端产生步进变化。

可以增加一个补偿电阻 C_C (如图所示)以消除 C_W 产生的影响。当 $R_{WA} \times C_W = R_{WB} \times C_C$ 时, 会产生最佳补偿。但由于电阻差异使这种情况不可能出现。因此, 应凭经验确定 C_C 的值。一般而言, C_C 为pFs的范围。

相似地, 输出端也连着一个B端接电容(图中未显示)。幸运的是, 该节点的影响不太大, 多数情况下可以不使用补偿电阻。

带线性步进调节功能的双极性可编程增益放大器

在图1所示基本电路中，无论电路提供的是增益还是衰减，输出始终与输入反相。增益随电位器增量的变化为非线性。虽然这对某些情况是非常有用的，但其他应用可能需要双极性增益和/或简单线性关系。例如，电机需要前后自由转动，热电冷却器根据电流方向来加热或冷却激光器，液晶面板需要双极性电压来实现对比度和亮度控制。在最常见的情况下，为了实现一个带任意端点和线性步进调节的双极性驱动，可以如图2所示运用像AD5232这样的双数字电位器。这时，可以对输出 V_O 进行线性编程，以放大处于 $+V_I$ 和 $-K \times V_I$ 之间的电压，其中， K 为 U_1 的两个端接电阻之比(等式1)。A2为 V_{W2} 提供缓冲放大，以降低游标电阻的影响。

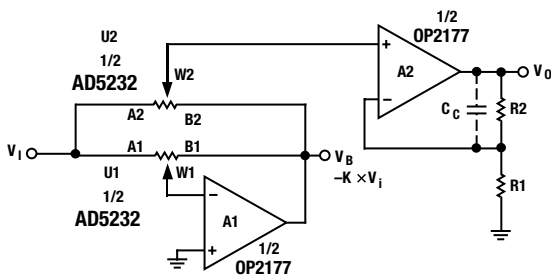


图2.带线性步进调节的双极性可编程增益放大器

图2中的传递函数为：

$$\frac{V_O}{V_I} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \times \left(\frac{D_2}{2^{N_1}}(1 + K) - K\right) \quad (3)$$

在更简单及更常见的情况下，即 $K = 1$ 时，在 U_2 的位置用一个数字电位器(如AD5231)， U_1 由一对匹配电阻取代，以在数字电位器的终端端子处施加 V_I 和 $-V_I$ 。其关系为

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

表1所示为调节 D 的结果，其中A2配置为：单位增益跟随器($R_1 = \infty, R_2 = 0$)，增益为2($R_1 = R_2$)和10($R_2 = 9 \times R_1$)。结果形成一个双极性放大器，具有线性可编程增益和256个步进分辨率。

表1. 电路增益与 D

D (步进)	$R_1 = \infty, R_2 = 0$	$R_1 = R_2$	$R_2 = 9 \times R_1$
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

如图2所示， R_1 和 R_2 可以用一个数字电位器取代——如果需要严格的温度系数匹配和极高的增益的话。如果使用分立电阻，必须进行电阻匹配。

数字电位器的游标电阻为内部固态开关的导通电阻，一般为 50Ω 至 100Ω 。与额定电阻 R_{AB} 相比，该值相对较小，但游标电阻在工作温度范围会翻一倍左右，当器件编程设置为工作在低值时，可能成为主要的误差源。电位器的游标端应始终连接至高阻抗节点，比如运算放大器的输入端，如以上电路所示。OP1177系列——即第四代行业标准OP07——因低失调和低偏置电流特性而被选中。这样做可以减少游标电阻对触点处分压器比的影响。

如果输入电压足够高，使 R_{AB} 中的电压能在任何设置下超过 $5V$ ，则分立电阻应与电位器串联，以符合电压限制规定。参见图3。

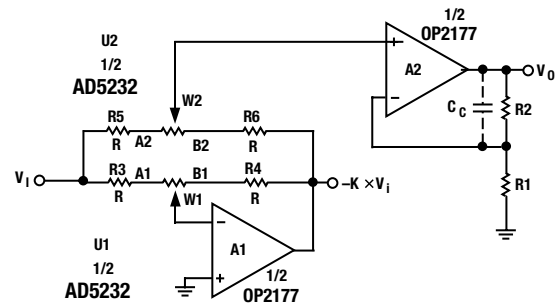


图3.PGA处理高输入电压

如本文所示，利用运算放大器来配置AD523x非易失性存储器数字电位器，用户可以轻松设计出具有高分辨率编程性能、双极性控制性能和线性/对数步进调节功能的多功能放大器。

参考文献

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 (www.analog.com/technology/dataConverters/designTools).
4. This application note originally appeared as an article in Analog Dialogue, Volume 35, 2001. It can be found on ADI's website (www.analog.com/library/analogDialogue/archives/35-03/index.html).

注释