

产生特殊要求的精密电压基准源

概述

在实际应用中，系统设计师需要产生非标准输出电压值的电压基准源，或者需要将不同模块的电压基准源以一个特定的基准源作为统一的信号源基准以使各模块相关并获得最佳的系统性能。

为达到以上目的，最大的挑战是信号调理外围器件对于高性能电压基准源温度系数及初始误差造成的影响。外部的放大器和电阻都会影响电路的温度系数和初始误差从而导致电路无法保证高性能。

本文提供了三种经过验证的特殊需求精密电压基准源的设计：产生负电压基准源、产生两倍输出的电压基准源及产生多个相关的电压基准源输出。

关键指标定义

电压基准源往往作为模块及系统的基准，直接关系到系统的性能。治精微已经推出了两个系列的高性能电压基准源：供电电压可达 15 V 的 ZJR1000 系列及供电电流 130 μ A 的低功耗 ZJR1001、ZJR1002、ZJR1003 系列。它们均可达到在 -40 $^{\circ}$ C 至 125 $^{\circ}$ C 温度范围内优于 5 ppm/ $^{\circ}$ C 的温度系数，初始精度优于 $\pm 0.05\%$ ，其综合性能达到业界先进水平。

温度系数：

表征器件的温度特性。它用 25 $^{\circ}$ C 时的输出电压对工作温度范围内的输出电压变化进行归一化处理，以 ppm/ $^{\circ}$ C 为单位，计算公式如下：

$$dV_{OUT}/dT = \frac{V_{OUT}(max) - V_{OUT}(min)}{V_{OUT}(25) \times (T_2 - T_1)} \times 10^6$$

其中：

$V_{OUT}(25)$ ：25 $^{\circ}$ C 时的输出电压。

$V_{OUT}(min)$ ：在温度 T_1 至 T_2 范围内的最低输出电压。

$V_{OUT}(max)$ ：在温度 T_1 至 T_2 范围内的最高输出电压。

对于治精微的电压基准源，一般情况下，温度 T_1 为 -40 $^{\circ}$ C， T_2 为 +125 $^{\circ}$ C。

ZJA3676 是单位增益 36 V 差动放大器。它具备优于 104 dB 的共模抑制比 (CMRR)，550 kHz 的带宽以及仅为 330 μ A 的供电电流。在产生特殊电压基准源的电路中主要用到其超低增益温度系数 (0.04 ppm/ $^{\circ}$ C)、优秀的失调电压温度系数 (0.5 μ V/ $^{\circ}$ C) 特性和体积小特点。

方案 A：产生两倍输出电压的电压基准源

图 1 电路将 ZJA3676 接成了增益为 2 的结构，从而可以产生两倍输出的精密电压基准源。这样的设计可以同时获得精密电压基准源输出和高性能的两倍电压基准源。

精密电压基准源是 ZJR1000-9 (2.5 V 输出)，外接电源 15 V，ZJA3676 供电电压为± 15 V。通过差动放大器 ZJA3676 两倍放大之后输出 5 V 基准电压。

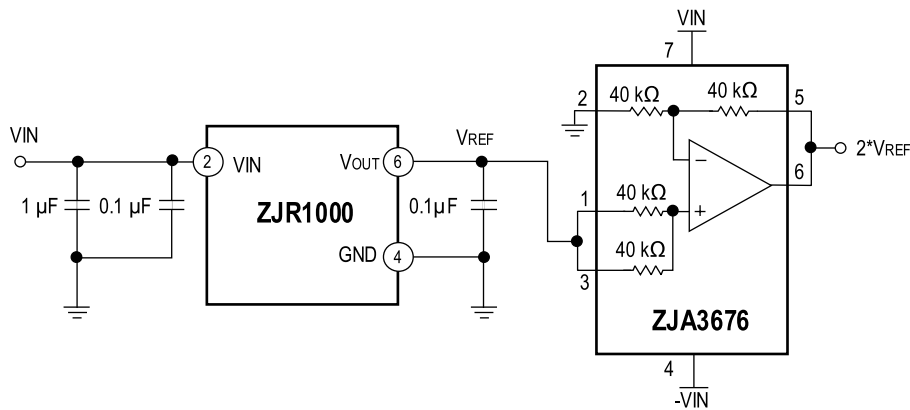


图1. 利用 ZJR1000-9 及 ZJA3676 产生 2 倍输出基准源

由图 2 可见，在-40 °C 至 125 °C 温度范围内，在添加 ZJA3676 之后，两倍电压输出的温度系数与 ZJR1000-9 本身的温度系数基本没有变化。从而用户可以通过此电路获得两路相关的高性能电压基准 VREF 及 2*VREF。

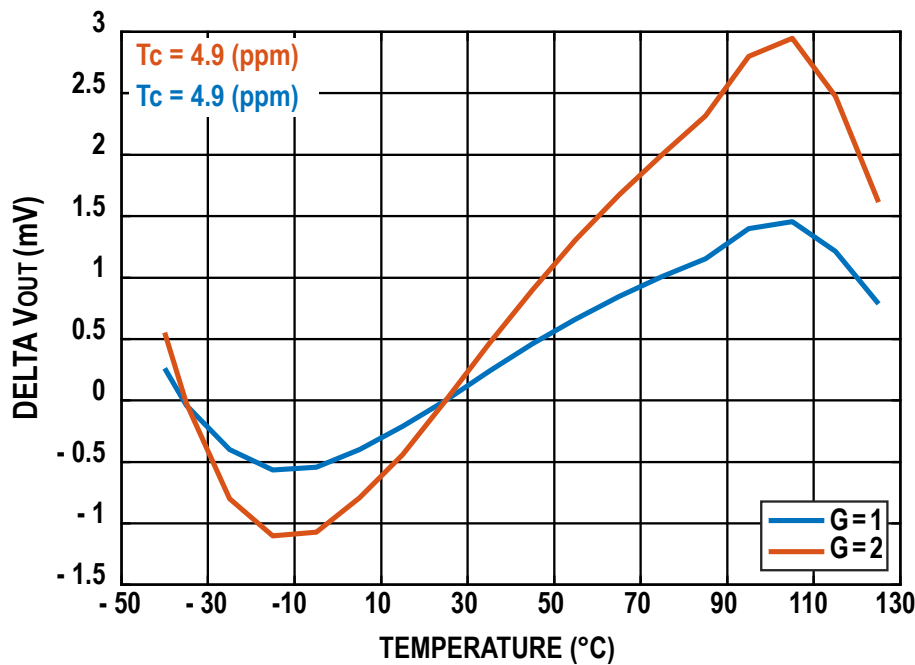


图2. 利用 ZJR1000-9 及 ZJA3676 产生相关的 VREF 及 2*VREF 的高性能电压基准源的温度曲线

方案 B：利用差动放大器产生负输出电压的电压基准源

图 3 的电路可以产生负输出的精密电压基准源。在验证时使用的电压基准源是 ZJR1000-9 (2.5 V 输出)，外接电源 15 V，ZJA3676 供电电压为 ± 15 V。基准源输出电压通过差动放大器 ZJA3676 反向 (即 ZJA3676 增益为 -1) 后输出 -2.5 V 基准电压。

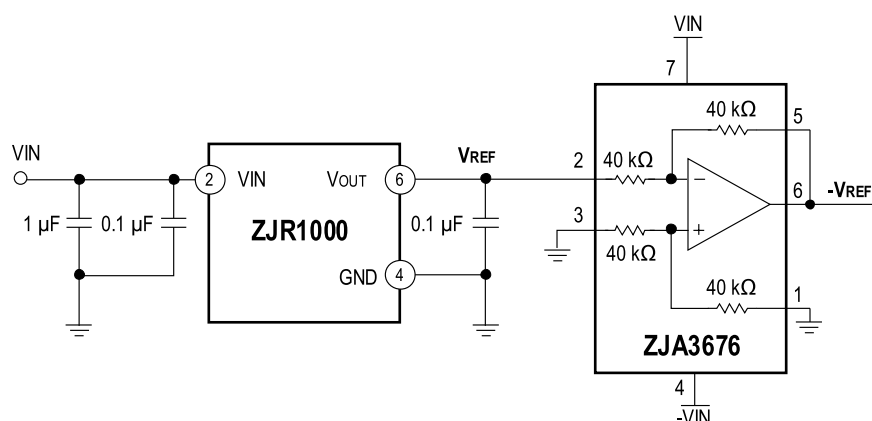


图3. 利用 ZJR1000-9 及 ZJA3676 产生负压输出基准源

由图 4 可见，在 -40 $^{\circ}$ C 至 125 $^{\circ}$ C 温度范围内，在添加 ZJA3676 之后，-VREF 的温度系数与 ZJR1000-9 本身的温度系数基本没有变化。从而用户可以通过此电路获得两路相关的高性能电压基准 VREF 及 -VREF。

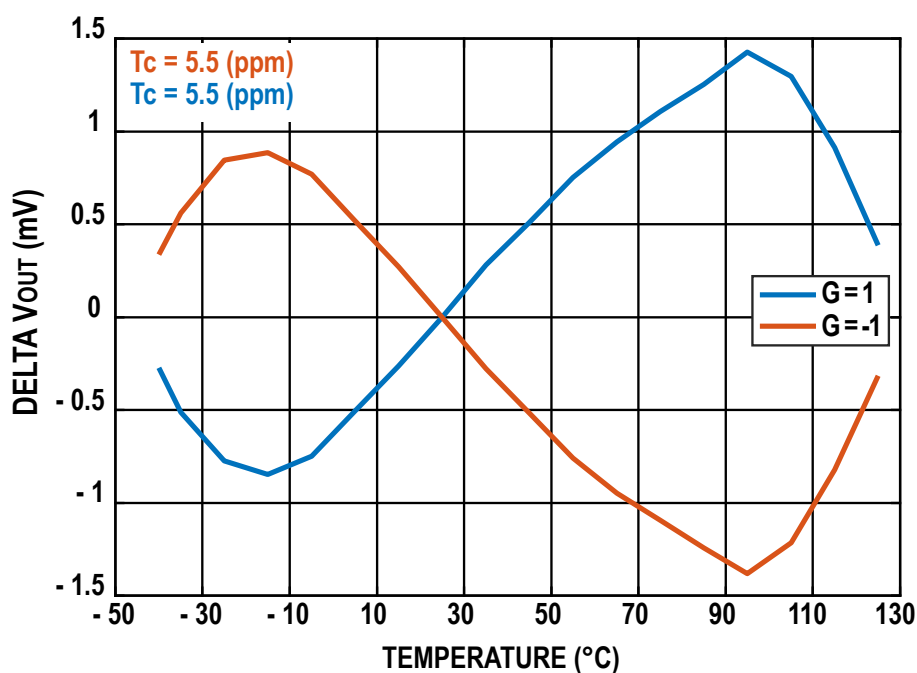


图4. 利用 ZJR1000-9 及 ZJA3676 产生 VREF 及 -VREF 高性能电压基准源的温度曲线

方案 C：利用一片精密电压基准源产生负输出电压基准源

图 5 的电路可以产生负输出的精密电压基准源。它的好处是外接器件少，而且外接器件 R 不影响输出的温度系数。此电路对于治精微的 ZJR1000、ZJR1001、ZJR1002 及 ZJR1003 系列都适用。

验证时使用 ZJR1003-9，外接电源 $\pm 5\text{ V}$ ($V_{CC} = 5\text{ V}$, $V_{EE} = -5\text{ V}$)。需要注意与引脚 GND 连接的电阻 R 的电流和功耗。其阻值为 R，则流过的电流为 $(V_{EE} - V_O)/R$ ，功耗为 $(V_{EE} - V_O)^2/R$ 。尤其是在压差较大时，需要选择合适功率的电阻。由于其温度系数不影响负输出电压基准源的温度系数，从而可以用低成本的电阻。尽管如此，还是推荐使用低温漂的金属膜电阻以获得负输出基准源的低温漂系数、低噪声和低成本。

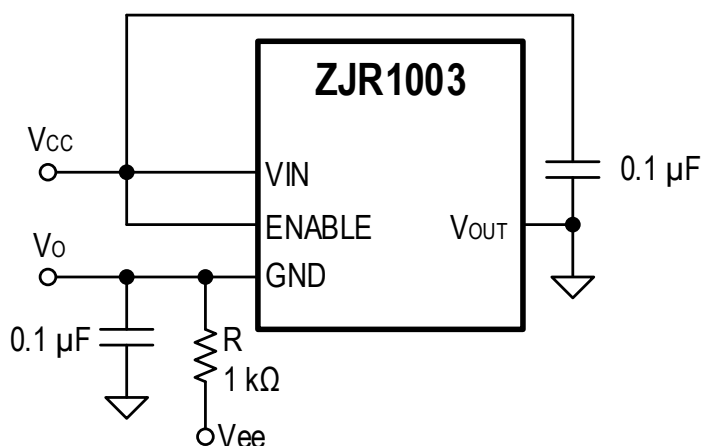


图5. 利用 ZJR1003 产生负输出电压基准源

由图 6 可见，此电路可以获得优于 $5\text{ ppm}/^\circ\text{C}$ 的温度系数，与 ZJR1003 本身的性能相当。外接电阻 R 并不影响负电压基准源的温度系数。

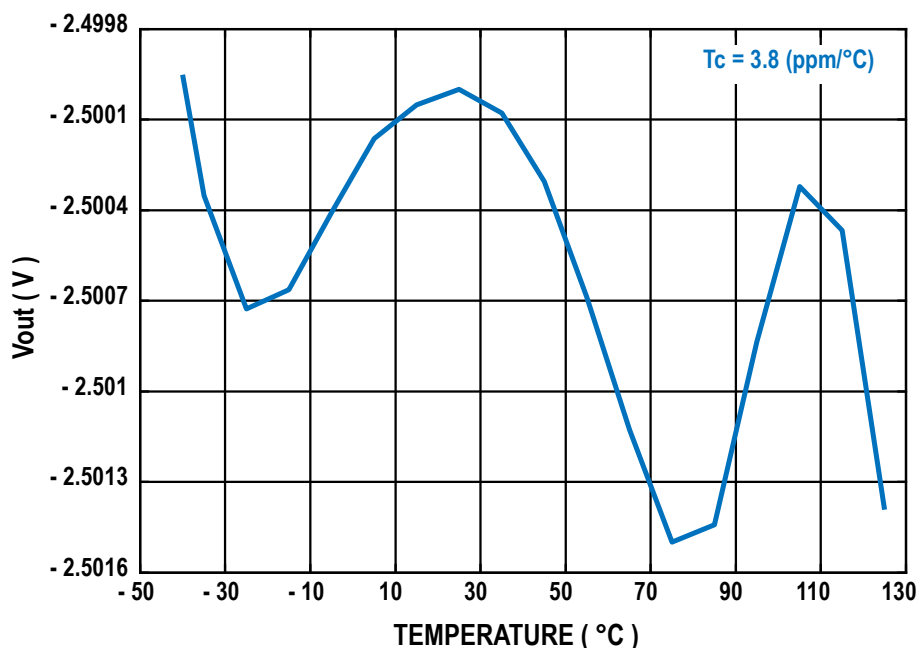


图6. 利用 ZJR1003-9 产生负输出基准源的温度曲线

方案 D：利用差动放大器产生负输出电压和两倍输出的电压基准源

在验证时使用的电压基准源是 ZJR1000-9 (2.5V 输出)，外接电源 5V。ZJA3676 供电电压为 $\pm 15\text{V}$ 。基准源输出电压通过分别是增益为 -1 和 +2 配置的两个差动放大器 ZJA3676 后输出 -2.5V 和 5V 基准电压。

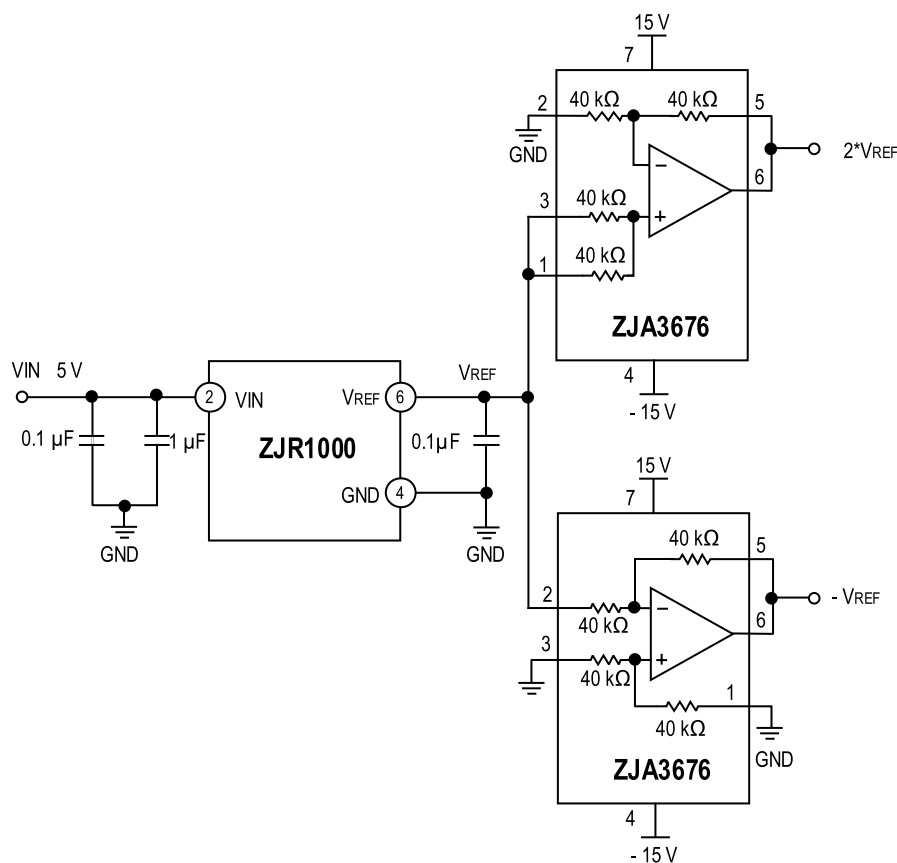


图7. 利用 ZJR1000-9 和 ZJA3676 同时产生负压和两倍输出基准源

在添加 ZJA3676 之后，负输出及两倍输出的温度系数与 ZJR1000-9 本身的温度系数非常接近。获得了高质量的三个电压值输出的电压基准源。ZJA3676 的输出电压及失调电压的温度系数得到了充分验证，几乎不影响信号调理后电路的主要性能。

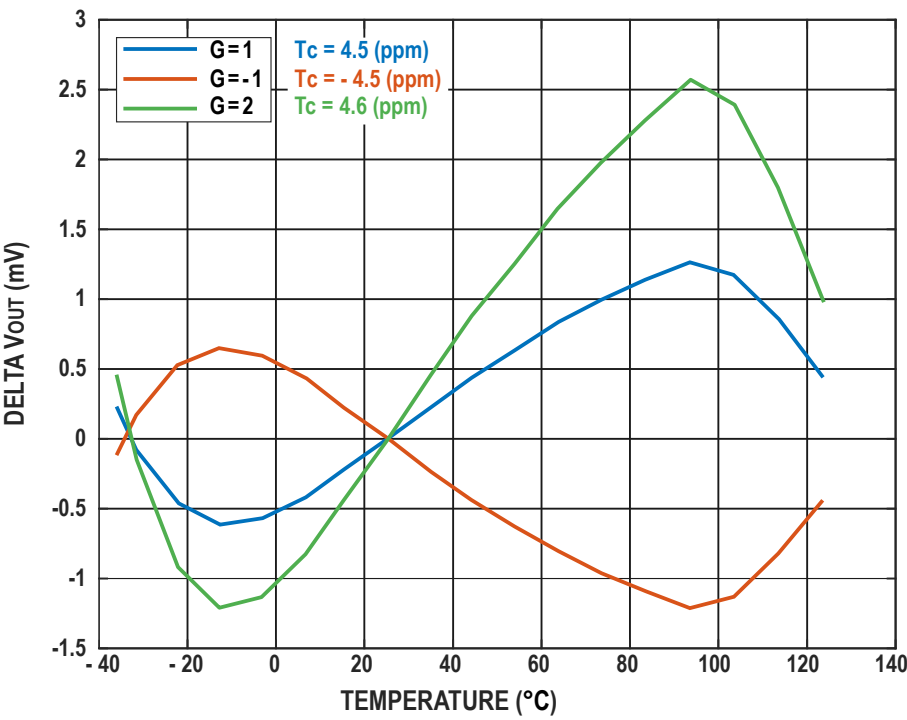


图8. 利用 ZJR1000-9 及 ZJA3676 同时产生单倍、负压和两倍输出基准源的温度曲线

方案讨论：

由此可见，以上 4 种方案产生的特定需求电压基准源的温度系数跟精密电压基准源本身温度系数一致，可以在提供高性能特定需求的基准电压。

而相较于方案 B (VREF, ZJA3676 G = -1)，同样作为实现负输出的方案 C (VREF, 电阻)的优势是该方案所需要的器件少，仅需要一个额外的低成本电阻即可；该方案可以降低电路的复杂程度以及制造成本。但方案 C 仅能提供一个电压输出，而方案 B 可以同时输出高性能的基准源及负电源两路基准电压。

同时，方案 A (VREF, ZJA3676 G = 2) 和方案 B 可以做到从同一个基准源输出同源的、两种高性能基准电压。这两者的温度曲线具备相关性。而方案 D (VREF, ZJA3676 G = 2 及 G = -1) 则是将方案 A 与方案 B 结合，做到了同时输出三种同源的高性能基准电压。这类方案将减少电路设计的复杂程度与后续调整的难度,保证了系统的稳定性。使用 ZJA3676 的一大优势是该器件几乎不会影响特殊需求电压基准的温度系数和初始误差。而且灵活使用 ZJA3676/7 (单位增益单/双通道) 及 ZJA3678/9 (增益为 0.5/2 单/双通道)，可以获得其它增益值的高性能配置，具体请参考它们的数据手册。

方案	输出电压			输出是否同源
	- VREF	VREF	2*VREF	
方案 A (VREF, ZJA3676 G = 2)		√	√	是
方案 B (VREF, ZJA3676 G = -1)	√	√		是
方案 C (VREF, 电阻)	√			/
方案 D (VREF, ZJA3676 G = 2 及 G = -1)	√	√	√	是

表 1 四种高性能电压基准源产生电路的比较

版本修订记录

2023 年 11 月——发布版 A