

电压基准

杨振吉 92493部队

摘要 文中阐述电压基准器件的现状及应用情况,着重介绍如何提高电压基准的稳定度。

关键词 电压基准 稳定度

The Discussion of Voltage Reference and it's Application

Yang Zhenji

Abstract In this article the present situation of voltage reference and it's application are described. How to raise stability of voltage reference will be described particularly.

Keywords voltage reference stability

直流电压基准有着广泛的用途,直流稳压电源,数模转换器,模数转换器,仪器仪表中都要使用电压基准。目前,国内、外电压基准器件的产品种类繁多,稳定度指标最高达 6×10^{-6} (1000 小时)。电压输出范围从 1V 到 10V 之间,有各种输出,典型值有 1V、1.25V、2V、2.5V、5V、6.2V、6.9V 和 10V 等。温度系数指标最好的达到 $3 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ 。结构上,有两管脚的齐纳二极管和多管脚的集成电路式的电压基准。典型的较高性能的电压基准器件如下表 1:

表 1

型号	稳压值 (V)	稳定度 ($\times 10^{-6}$) (1000 小时)	温度系统 ($\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)
WGY10	6.2	10	5
LM399	6.95	20	0.3
LM369B	10	6	1.5
AD584	2.5、10、5	25	5
AD689	8、192	15	5
AD2710	10	25	2
AD1403	2.5	25	25

如现成的电压基准器件能满足其使用要求,直接使用即可,不作赘述。下面着重探讨如何提高电压基准的稳定度。

1 如何提高更高稳定度的电压基准

目前国内、外定型的电压基准产品中稳定度最好的是 LM169 (LM269, LM369) ($6 \times 10^{-6}/1000$ 小时)。尚不能满足 $7 \frac{1}{2}$ 位 ($8 \frac{1}{2}$ 位) 数字电压表、高性能标准电压源和高位数模转换器的要求,如何解决这

个问题呢?普遍采用的办法是对批量器件进行筛选。选出性能更好的用之。前面已谈到电压基准有单个齐纳二极管,也有集成电路式的。齐纳二极管的稳定度只与自身有关,而集成电路式基准稳定度不仅取决于内部的齐纳二极管,还与电路中的其它器件有关,因此,从单个齐纳二极管式的电压基准中筛选出更高性能的器件之可能性更大。国外的 $8 \frac{1}{2}$ 位数字电压表中的电压基准均为从齐纳二极管中筛选出的优质器件。笔者对各种型号电压基准筛选中得出的结论也是这样的。例如,从 WGY10 (齐纳二极管) 中可筛选出 $2 \times 10^{-6}/1000$ 小时的优质基准。而从 LM369 (集成电路式) 中就难以选出如此高稳定度的器件来。虽然通过筛选可选出性能更佳器件来,但选出来的器件稳定度也是有限的,且数量也有限。如果筛选出来的电压基准仍不能满足要求怎么办呢?从测量不确定度理论可知:n 个

数据算术平均值的标准偏差为其标准偏差 $1/\sqrt{n}$ 。由此可见, n 只电压基准输出电压的平均值之稳定度一定高于单只基准的稳定度。

具体方案如图 1 所示。

设运算放大器 A 为理想运算放大器,则

$$\frac{V_1 - \bar{V}}{R_1} + \frac{V_2 - \bar{V}}{R_2} + \dots + \frac{V_n - \bar{V}}{R_n} = 0$$

即:

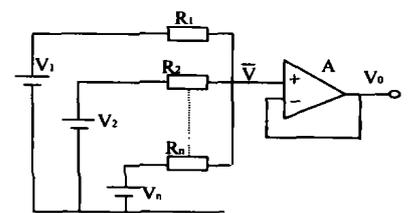


图 1 平均值电路

$$\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \dots + \frac{V_n}{R_n} = \frac{\bar{V}}{R_1} + \frac{\bar{V}}{R_2} + \dots + \frac{\bar{V}}{R_n} \quad (1)$$

对上式求全微分得:

$$\begin{aligned} \frac{dV_1}{R_1} - \frac{V_1}{R_1^2}dR_1 + \frac{dV_2}{R_2} - \frac{V_2}{R_2^2}dR_2 + \dots + \frac{dV_n}{R_n} - \\ \frac{V_n}{R_n^2}dR_n = \frac{d\bar{V}}{R_1} - \frac{\bar{V}}{R_1^2}dR_1 + \frac{d\bar{V}}{R_2} - \frac{\bar{V}}{R_2^2}dR_2 + \dots + \\ + \frac{d\bar{V}}{R_n} - \frac{\bar{V}}{R_n^2}dR_n \end{aligned} \quad (2)$$

等式两边同时除以 \bar{V} , 并整理得:

$$\begin{aligned} \frac{d\bar{V}}{\bar{V}} = \frac{1}{\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}\right)} \left[\frac{V_1}{VR_1} \cdot \frac{dV_1}{V_1} + \frac{V_2}{VR_2} \cdot \frac{dV_2}{V_2} + \dots + \frac{V_n}{VR_n} \cdot \frac{dV_n}{V_n} + \frac{1}{R_1} \left(1 - \frac{V_1}{\bar{V}}\right) \cdot \frac{dR_1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \left(1 - \frac{V_2}{\bar{V}}\right) \cdot \frac{dR_2}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \left(1 - \frac{V_n}{\bar{V}}\right) \cdot \frac{dR_n}{R_n} \right] \end{aligned} \quad (3)$$

V_1, V_2, \dots, V_n 的电压值比较接近, 它们与 \bar{V} 的差值一般不大于 $0.02V$, 以 $V_i (i=1, 2, \dots, n) = 6.2V$ 为例.

$$\left| 1 - \frac{V_i}{\bar{V}} \right| \leq \left| 1 - \frac{6.18}{6.2} \right| < 0.0033$$

$$\delta\bar{V} = \sqrt{\left(\frac{\delta V_1}{n}\right)^2 + \left(\frac{\delta V_2}{n}\right)^2 + \dots + \left(\frac{\delta V_n}{n}\right)^2 + 0.0033^2 \left[\left(\frac{\delta R_1}{n}\right)^2 + \left(\frac{\delta R_2}{n}\right)^2 + \dots + \left(\frac{\delta R_n}{n}\right)^2\right]} \quad (5)$$

如果采用年稳定度为 5×10^{-5} 的电阻 (有现成的产品), 则 $0.0033\delta R_i = 1.65 \times 10^{-7}$. 即使是经过筛选的电压基准器件, 它的年稳定度也很难达到 2×10^{-6} . 依微小误差准则, 1.65×10^{-7} 与 2×10^{-6} 相比可以忽略不计. 这样式 (5) 中的:

$0.0033^2 \left[\left(\frac{\delta R_1}{n}\right)^2 + \left(\frac{\delta R_2}{n}\right)^2 + \dots + \left(\frac{\delta R_n}{n}\right)^2 \right]$ 可忽略不计. 式 (5) 变为下式:

$$\delta\bar{V} = \sqrt{\left(\frac{\delta V_1}{n}\right)^2 + \left(\frac{\delta V_2}{n}\right)^2 + \dots + \left(\frac{\delta V_n}{n}\right)^2} = \frac{\delta V}{\sqrt{n}} \quad (6)$$

式中: $\delta\bar{V}$ 为每只电压基准的稳定度. 从图 1 中可知 $V_0 = \bar{V}$, 因此

$$\delta V_0 = \frac{\delta V}{\sqrt{n}} \quad (7)$$

从式 (7) 中可见, 如用 4 只电压基准 (n 取 4), 可使稳定度提高 1 倍, 用 9 只 (n 取 9) 可是稳定度提高到原来的 3 倍.

应注意的问题:

a、运算放大器 A 应采用低漂移, 高增益, 低失调, 低输入偏置电流的运算放大器, 确保运算放大器对输出电压 V_0 稳定度的影响可忽略.

b、 n 只电压基准的输出电压值应具有较好的一致

$$\frac{V_i}{\bar{V}} \approx 1$$

R_1, R_2, \dots, R_n 取同一电阻值, 即:

$$R_1 = R_2 = \dots = R_n = R$$

将 $R_1 = R_2 = \dots = R_n = R, \left| 1 - \frac{V_i}{\bar{V}} \right| = 0.0033, \frac{V_i}{\bar{V}} = 1$ 代入式

(3) 整理得:

$$\begin{aligned} \frac{d\bar{V}}{\bar{V}} = \frac{1}{n} \left(\frac{dV_1}{V_1} + \frac{dV_2}{V_2} + \dots + \frac{dV_n}{V_n} \right) + \\ \frac{0.0033}{n} \left(\frac{dR_1}{R_1} + \frac{dR_2}{R_2} + \dots + \frac{dR_n}{R_n} \right) \end{aligned} \quad (4)$$

$\frac{d\bar{V}}{\bar{V}}$ 用 δ_i 表示, 即: \bar{V} 的稳定度

$\frac{dV_i}{V_i}$ 用 $\delta V_i (i=1, 2, \dots, n)$ 表示, 即: V_i 的稳定度

$\frac{dR_i}{R_i}$ 用 $\delta R_i (i=1, 2, \dots, n)$ 表示, 即: R_i 的稳定度

度

各电压基准 V_1, V_2, \dots, V_n 和各电阻 R_1, R_2, \dots, R_n 值的变化是相互独立的, 则 \bar{V} 的稳定度为:

性, 彼此间电压值之差要尽可能小, 以降低对电阻稳定度的要求.

多只筛选出的电压基准输出电压经平均值电路平均后, 可提高其稳定度. 平均值电路有多种, 采用某种电路时, 一定要考虑电路中器件对输出值稳定度的影响. 笔者用精选出的 4 只 LM399 装入图 1 平均值电路, 其输出稳定度达到 $3 \times 10^{-6}/1000$ 小时. 用 4 只精选的 WGY 旧装入图 1 平均值电路, 某输出稳定度达 $1.5 \times 10^{-6}/1000$ 小时. 从式 (7) 中可知基准器件越多, 其稳定度越高, 但要考虑成本和可靠性.

参考文献

- 1 Test & Measurement catalog 1991 FLUKE
- 2 Model 4910 DC Reference standard Manual
- 3 DATA CONVERSION PRODUCTS DATABOOK VOL. 2. 1989
- 4 Linear Databook 1.2.3 National Semiconductor corporation. 1989
- 5 Low Level Measurement KEITHLEY
- 6 肖明耀著. 误差理论与应用. 计量出版社
- 7 廉绵第编. 集成运算放大器. 机械工业出版社