

研究简报

 K_{CMR} 的一个测试方法

李 光 宇

(国营风光电工厂)

1983 年 9 月 19 日收到

本文简略地分析了运算放大器的共模传输特性,推导出共模抑制比的定义测试法,即失调电压法测 K_{CMR} 。通过误差理论分析,将此法与 IEC (国际电工委员会) 规定的两种方法进行了比较,证明失调电压法测 K_{CMR} 优于通常使用的两种方法。

理想的运算放大器,在共模输入的情况下,输出为零。实际的运算放大器,由于内部不可能完全对称,即使在共模输入电压为零伏时,输出亦不为零。也就是说,存在着输入失调电压 V_{I0} 。加入共模输入电压以后,运放内部各点电位相应发生变化,引起晶体管参数发生变化,这种变化的不一致将导致新的失调;内部电场的变化也同时改变了恒流源的工作状态,并且使温度补偿系统偏离最佳设计值;此外,电场的变化,将导致芯片内部表面复合、反型、沟道效应、漏电(包括寄生 PNP 效应)以及隔离等情况相应变化,这一切都使运放产生新的失调电压,就是共模失调电压 V_{I0CM} (即 ΔV_{I0})。在既定的测试回路中,这个加在运放两输入端的差分信号将被放大,共模增益为 $\Delta V_0/\Delta V_I$, 差模增益为 $\Delta V_0/\Delta V_{I0}$, 定义差模增益与共模增益之比为共模抑制比,即

$$K_{CMR} = \frac{\Delta V_0/\Delta V_{I0}}{\Delta V_0/\Delta V_I} = \Delta V_I/\Delta V_{I0}$$

如果输入端加入交流信号 V_s , 那末

$$K_{CMR} = V_s/V_{I0CM}$$

从定义出发,共模抑制比的测试,归根到底,就是测试出运放的共模失调电压,因而需要采用广义失调电压测试回路。为此,我们首先分析通常失调电压测试回路,如图 1 所示。

图 1 电路可理解为测试共模输入电压为零伏时的失调电压值,扩展到广义的失调电

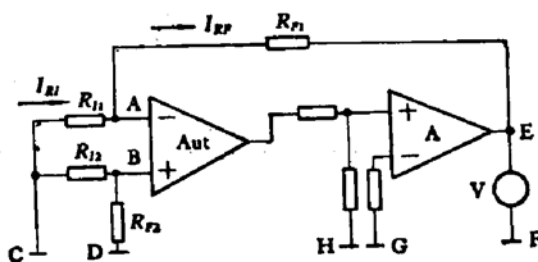
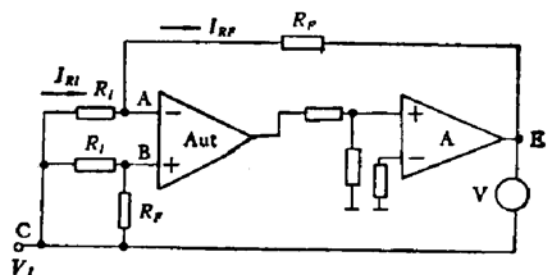


图 1 失调电压测试回路

图 2 失调电压法测 K_{CMR}

压测试回路, 只要将 C、D、H、G、F 各点中的信号端和地端分开即可。为此先推导 V_{I0} 公式如下:

忽略运放基极输入电流的影响, $I_{RI} = I_{RF}$

$$V_C = V_B = 0, V_{I0} = V_{AB} = V_{AC}, V_{AC}/R_{I1} = V_{EC}/(R_{F1} + R_{I1})$$

$$\therefore V_{I0} = \frac{V_{EC} \cdot R_{I1}}{R_{I1} + R_{F1}} = \frac{V_0 R_{I1}}{R_{I1} + R_{F1}}$$

当输入端加入共模信号以后, 欲使上式公式保持不变, 式中 V_0 仍应是 V_{EC} , 因此 C 点和 F 点都应是信号输入端。从定义出发, B 点电位应和输入信号相等 (R_{I2} 和 R_{F2} 上信号不分流), 因而 D 点也应该是信号输入端。于是, 广义的失调电压测试回路应如图 2 所示, 即失调电压法测 K_{CMR} 。

忽略运放基极输入电流的影响, $I_{RI} = I_{RF}$,

$$V_C = V_B, \Delta V_{AC} = \Delta V_{AB} = \Delta V_{I0}, \Delta V_0 = \Delta V_{EC} = \frac{\Delta V_{AC}(R_F + R_I)}{R_I}$$

所以 $\Delta V_0 = \Delta V_{I0}(R_F + R_I)/R_I$

此回路差模增益 $A_{VD} = \Delta V_0/\Delta V_{I0} = \frac{R_F + R_I}{R_I}$, 共模增益 $A_{VC} = \Delta V_0/\Delta V_I$, 按定

义求得

$$K_{CMR} = \frac{A_{VD}}{A_{VC}} = \frac{R_F + R_I}{R_I} \div \frac{\Delta V_0}{\Delta V_I} = \frac{\Delta V_I}{\Delta V_0} \cdot \frac{R_F + R_I}{R_I}$$

如果采用交流测试, 输入端加入交流信号 V_s (有效值), 输出端交流毫伏表跨接在 E、C 两点 (不接地), 毫伏表读数 V_0 (有效值), 则

$$K_{CMR} = \frac{V_s}{V_0} \cdot \frac{R_F + R_I}{R_I}$$

如果采用直流测试, 要分两个节拍完成。第一个节拍在 C 点加入直流信号 V_I , 直流电压表 (跨接在 E、C 两点) 读数 V_{01} , 第二个节拍在 C 点加入直流信号 $-V_I$, 直流电压表读数 V_{02} , 则

$$K_{CMR} = \frac{2V_I}{|V_{01} - V_{02}|} \cdot \frac{R_F + R_I}{R_I}$$

以上我们从理论上推导出共模抑制比的定义测试法, 即失调电压法测 K_{CMR} 。这种方法, 由于信号电流不再流入电阻网络, 因此 R_I 和 R_F 的失配不再引入新的误差。假如被测运放是理想运放, 即使电阻网络失配, 由于 $V_A = V_B = V_C$, $V_{AC} = 0$, 所以

$$I_{RI} = I_{RF} = 0$$

$V_0 = 0$ (理想运放无失调) 用此方法测共模抑制比时, 如果电阻匹配精度为 0.1%, 测试误差一般小于 0.2%。下面, 我们把这种方法与 IEC 规定的两种方法比较如下:

常规法测 K_{CMR} , 相当于图 1 中 C 点接信号 V_s , 因此产生了两类误差, 一类为原理性误差, 即被测运放 A_{ut} 输入端所加共模电压不是 V_s (交流测试), 而是 $V_s \frac{R_F}{R_F + R_I}$ 。另一类是系统误差, 即

$$K'_{CMR} = \frac{1}{\left| \frac{1}{K_{CMR}} \pm \frac{1}{K_{CMR-R}} \right|}$$

式中, K'_{CMR} 为实测的共模抑制比, K_{CMR-R} 为电阻失配引起的共模抑制比, 分母中 $\pm$ 号代表实测值的两种可能性(上下两臂电阻对调, 即可测得另一个值), 由误差分析理论可知

$$K_{CMR-R} \approx \frac{R_F}{4PR_I}$$

为减小测试误差, 在 K_{CMR} 较高的情况下, 要求电阻精度 P 为 10^{-5} — 10^{-6} , 这在 R_I 较小时(一般为 50Ω 左右)是比较困难的, 特别是电容的匹配(包括消振电容和布线电容)比电阻匹配更难。因此, 1978 年我国提出将变电源法列入 K_{CMR} 测试标准的建议 [47A (China)4], 1980 年 IEC 讨论, 1981 年我国起草的 IEC 秘书处文件《TC47A (Secretariat) 96》在 IEC 会议上被通过为国际标准草案。

变电源法测 K_{CMR} 如图 3 所示。

显然, 变电源法测共模抑制比属于模拟测试(非纯定义测试), 因为实际上并没有在输入端施加共模信号。此外, 变电源法测共模抑制比还存在以下问题:

1. 电源内阻 r 和滤波电容 C' 造成相称两电流的差异, 可能引入差模相差, 因此, 要求 $r/T \ll 1$, 式中 $r = rC'$, T 为信号周期。
2. 此电路对辅助放大器 A 的共模输入范围要求较大, 要大于信号峰峰值, 以防 A_{ut} 输出端不能与信号波形一致而导致输入端的差异。
3. 由于正负电源都要浮地, 将相应增加测试系统及参数转换的部分电路, 也会引入一定的干扰。

综上所述, 失调电压法测 K_{CMR} , 作为定义性测试, 兼备了 IEC 规定的二种方法的优点, 测试简单可靠、原理清楚易懂, 计算公式不变。

在以上分析的基础上, 我们用大量器件对三种方法进行了对比测试, 得出以下结论:

当 K_{CMR} 较低时 ($< 80\text{db}$), 三种方法测试结果相差不大, 但当 K_{CMR} 较高时(如接近或超过 120db), 变电源法和失调电压法测得值相近(但变电源法易自激, 消振比失调电压法难度大), 而常规法测得值偏离较大, 甚至少数器件测得输出为零, 从而导出 K_{CMR} 无穷大。我们取常规法电压表指示输出值为 V_{01} , 再将上下两臂电阻对调, 电压表指示 V_{02} , 令 $V_0 = \frac{V_{01} + V_{02}}{2}$, 代入 K_{CMR} 的公式, 得到的 K_{CMR} 值也与另外两种方法相近, 这就从实践上证实了我们的分析是正确的, 证实了失调电压法测 K_{CMR} 是可行的, 是对现存两种方法的改进。

失调电压法测共模抑制比, 应用于 FLC-II 运放自动测试台, 一年半来, 取得了较好的测试效果。

运算放大器共模抑制比的测试, 建议采用失调电压法, 以提高测试精度、减小测试误差。

参 考 文 献

- [1] D. F. Stovt, M. Kavfman, «Handbook of Operational Amplifier Circuit Design».

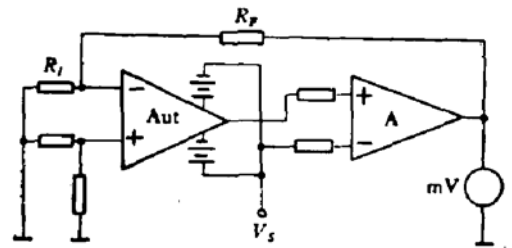


图 3 变电源法测 K_{CMR}

- [2] E. R. Hantek «Applications of Linear Integrated Circuits», 1975, by John Wiley and Sons Inc.
- [3] P. R. Gray and R. G. Meyer, *IEEE Trans. Circuits and Systems*, CAS-21, 3 (1974).
- [4] Warner, R. M. Jr., and J. N. Fordemwalt (eds), *Integrated Circuits: Design Principles and Fabrication*, McGraw-Hill Book Company, New York, 1965.

A Testing Method for Op-Amp K_{CMR}

Li Guangyu

(Feng Guang Electric Factory)

Abstract

After a brief discussion on Op-Amp common-mode transfer characteristics, the Op-Amp CMRR definition measuring method is derived, i.e. the CMRR testing method of measuring input offset voltage.

After being submitted to a theoretical error analysis, and compared with the two methods of measuring CMRR from the documents "IEC147-2J-1978" and "TC47A (Secretariat) 96", it has been proved that CMRR testing method of measuring input offset voltage is better than the two methods generally used.