

文章编号:1007-2934(2018)06-0028-04

# 同相运放电路放大倍数的线性分析

姜泳永,王新春,叶青,刘晋豪

(楚雄师范学院,云南 楚雄 675000)

**摘 要:** 针对同相比比例运放实验装置,以测定电路的放大倍数为研究对象。用非等精度测量方案获取原始数据,引入 SPSS 线性功能处理样本数据,得到系统输出电压与输入电压的关系曲线,验证电路输出电压与输入电压具有线性关系,由此标定出同相比比例运放的放大倍数。并用数字存储示波器直接存储同相运放的同相功能。用置信概率为 95%的不确定度评价实验数据及结果,最终得到更加直观、合理的实验结果。

**关键词:** 同相比比例运放;非等精度测量;SPSS 线性分析;放大倍数;不确定度估算

**中图分类号:** TN 7 **文献标志码:** A **DOI:** 10.14139/j.cnki.cn22-1228.2018.06.008

同相比比例运算放大电路是大学模拟电路中较为重要的实验之一。纵观以往,对于同相比比例运放放大倍数的测量,大都采用等精度测量方案。在一定频率的信号下,对同一幅度的信号进行多次测量,计算出放大倍数;再通过计算平均值的方法,得到一个相对可靠的放大倍数。传统实验方法<sup>[1]</sup>不足之处在于无法展示出电路对不同幅度信号的适应能力,观测输出与输入相位关系通过示波器只能使用相机拍摄或手画记录波形。变革后的实验方案将在线性区域内采用非等精度<sup>[2]</sup>的测量方案,引入 SPSS 软件<sup>[3]</sup>的线性功能对所测数据进行处理,使实验结果直观有效,可显著减小因仪器或人为因素带来的误差。使用数字存储示波器将相位关系直接存储记录,可直观展示同相比比例运放的同相功能。采用置信 95%的不确定度<sup>[4]</sup>评价实验数据及结果,使实验结果更为合理。

## 1 实验仪器及调试

实验测试装置如图 1 所示,主要由 YB1620P 功率函数信号发生器、ZYE220/C 模拟电路实验箱、YB2173B 双路数字交流毫伏表、UT2202C 数字示波器等组成。

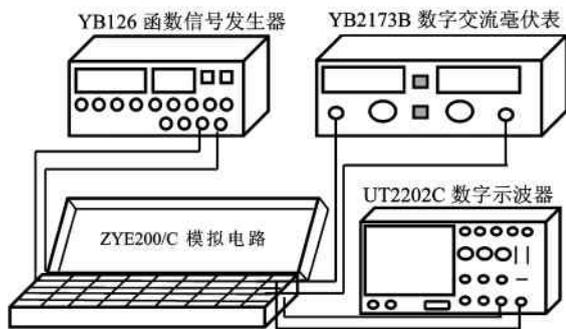


图 1 实验装置图

按如图 1 所示接好电路,由函数发生器为电路输入一个固定频率的交流信号。调节模拟电路试验箱中的电位器,通过双路数字交流毫伏表观测输出电压  $U_o$  和输入电压  $U_i$  值,并通过数字存储示波器观察输出与输入电压的波形变化情况。

## 2 实验原理

### 2.1 测量原理

图 2 为同相比比例运放<sup>[5]</sup>典型电路之一。

图 2 电路使用的运放为  $\mu A741$ ,反馈电阻  $R_F = 100 \text{ k}\Omega$ ,输入电阻  $R_2 = 9.1 \text{ k}\Omega$ ,接地电阻  $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$ 。

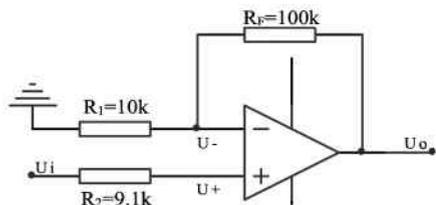


图2 同相比例运算电路

## 2.2 测量同相运放放大倍数原理分析

由图2所示电路处于深度负反馈下,利用“虚短”现象,有  $U_+ = U_-$ ,同时,理想运放输入电阻  $r_i \rightarrow \infty$ ,可视运放同相端、反向端为“虚断”路,因而电路可简化为如图3所示电路。

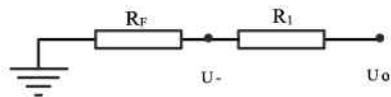


图3 同相比例运放简化电路图

$$\frac{U_o}{U_-} = \frac{R_F + R_1}{R_1} \quad (1)$$

$$\text{整理(1)得 } U_o = \left(1 + \frac{R_F}{R_1}\right) U_- \quad (2)$$

$$\text{由图2的“虚短”、“虚断”可得} \\ U_- = U_+ = U_i \quad (3)$$

$$\text{把(3)带入(2)得} \\ U_o = \left(1 + \frac{R_F}{R_1}\right) U_i \quad (4)$$

$$\text{令 } A_u = 1 + \frac{R_F}{R_1} \quad (5)$$

$$\text{把(5)带入(4)得} \\ U_o = A_u U_i \quad (6)$$

实验时,选择信号源频率  $f = 1 \text{ kHz}$  左右,在其在线性范围内,分别使用不同幅度作为激励,用数字交流毫伏表检测输入输出电压。用SPSS的曲线估计功能,去分析输出电压 ( $U_o$ ) 与输入电压 ( $U_i$ ) 的线性相关性,从而较为直观的标定电路的放大倍数  $A_u$ 。同时利用数字存储示波器直观存储并记录  $U_o$  与  $U_i$  相位关系。

## 2.3 不确定度分析<sup>[6,7]</sup>

直接测量  $z$ , 其不确定度可分 A 类、B 类进行

评定。测量列平均值的标准偏差为

$$u_{(\bar{z})} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (z_i - \bar{z})^2}{n(n-1)}} \quad (7)$$

对 A 类,测量为 7 次,测量结果服从  $t$  分布,当  $p = 0.95$  时,  $z_p = 2.45$ , 则

$$u_{A(\bar{z})} = 2.45 u_{(\bar{z})} \quad (8)$$

(8) 式中的  $\bar{z}$  分别表示  $\overline{U_i}$ 、 $\overline{U_o}$ 。

对于 B 类分量,若其误差极限为  $\Delta$ , 仪器误差服从均匀分布  $C = \sqrt{3}$ , 当  $p = 0.95$  时,  $z_p = 1.96$ , 那么

$$u_{B(z)} = 1.96 \frac{\Delta_z}{\sqrt{3}} \quad (9)$$

(9) 式中的  $\bar{z}$  分别表示  $U_o$ 、 $U_i$ 。

直接测量  $z$  的合成不确定度为

$$u_{(z)} = \sqrt{u_{A(\bar{z})}^2 + u_{B(z)}^2} \quad (10)$$

对于间接测  $y = f(z_1, z_2, \dots, z_i, \dots, z_m)$ , 则  $R_x$  的标准不确定度  $u_{c(y)}$  为

$$u_{c(y)} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{y}{z_i} u_{(z_i)}^2} \quad (11)$$

$y$  的相对不确定度  $u_{r(y)}$  为

$$u_{r(y)} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\ln y}{z_i}\right)^2 u_{(z_i)}^2} \quad (12)$$

考虑(6)、(12)式,被测放大倍数  $A_u$  的相对不确定度为

$$u_{r(A_u)} = \sqrt{\left(\frac{u_{(U_o)}}{U_o}\right)^2 + \left(\frac{u_{(U_i)}}{U_i}\right)^2} \quad (13)$$

对于(13)式,要减小根号下两项对  $u_{r(A_u)}$  的影响,关键是合理选择测量工具。而第二项是影响不确定度的主要因素,实验将研究怎样把不确定度降到最小。

## 3 实验数据处理

### 3.1 测量数据极其处理

测量数据极其处理见表1。

表1 测量输出电压  $U_i$  与输入电压  $U_o$  的原始数据

	$\Delta U_i = 0.01 \text{ mV}$			$\Delta U_o = 0.1 \text{ mV}$			
$k/\text{次}$	1	2	3	4	5	6	7
$U_i/\text{mV}$	5.000	7.500	10.000	12.500	15.000	17.500	20.000
$U_o/\text{mV}$	55.00	82.00	110.10	137.80	165.80	193.50	221.00

### 3.2 用 SPSS 分析 $U_o-U_i$ 定标曲线

将表 1 数据输入 SPSS 中,以  $U_i$  为自变量,  $U_o$  为因变量,所得曲线如图 4 所示。

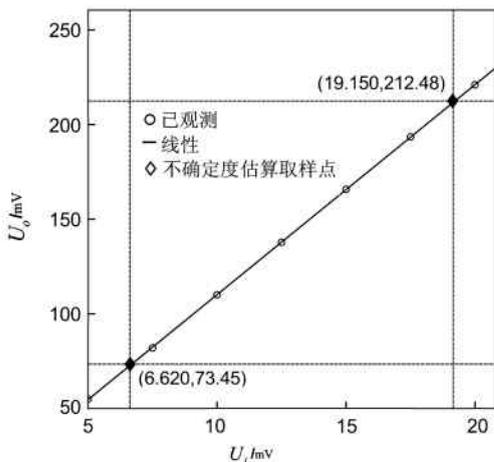


图 4  $U_o-U_i$  的定标曲线图

由 SPSS 曲线估计功能得其定标曲线为

$$U_o = 11.0957U_i - 0.8107 \quad (14)$$

### 3.3 放大倍数不确定度的估算

根据图 4 的  $U_o-U_i$  定标曲线,在直线上适当取样  $U_{o1}$ 、 $U_{i1}$ ;  $U_{o2}$ 、 $U_{i2}$  值,合理估算  $A_u$  的不确定度。由(14)可得

$$U_o = 11.096U_i \quad (15)$$

由图 4 直线上  $U_{o1}$ 、 $U_{i1}$ ;  $U_{o2}$ 、 $U_{i2}$  取样值,可得

$$A_u = \frac{U_{o2} - U_{o1}}{U_{i2} - U_{i1}} \quad (16)$$

由(13)可得

$$u_{r(A_u)} = \sqrt{\left(\frac{u(U_{o2}-U_{o1})}{U_{o2}-U_{o1}}\right)^2 + \left(\frac{u(U_{i2}-U_{i1})}{U_{i2}-U_{i1}}\right)^2} \quad (17)$$

由图 4 取样点,结合(15)、(16)、(17)可得表 3 实验结果。

表 2 同相比例运算放大倍数的实验结果

$u(U_{o1}) =$ $u(U_{o2})/10^{-1} \text{ mV}$	$u(U_{i1}) =$ $u(U_{i2})/10^{-2} \text{ mV}$	$A_u$	$u_{r(A_u)}/\%$
1.1	1.1	11.10±0.02	0.2

## 4 对同相运放输出与输入相位观测

按图 1 所示实验装置图连接电路,由 YB1620P 功率函数信号发生器输入电压  $U_i$  频率为 1 kHz 的正弦信号,并接入 UT2202C 数字示波

器 CH1 接线柱;  $U_i$  通过 ZYE220/C

模拟电路试验箱输出电压  $U_o$ ,使  $U_o$  接入数字示波器 CH2 接线柱;其输出与输入电压波形对比如图 5 所示。

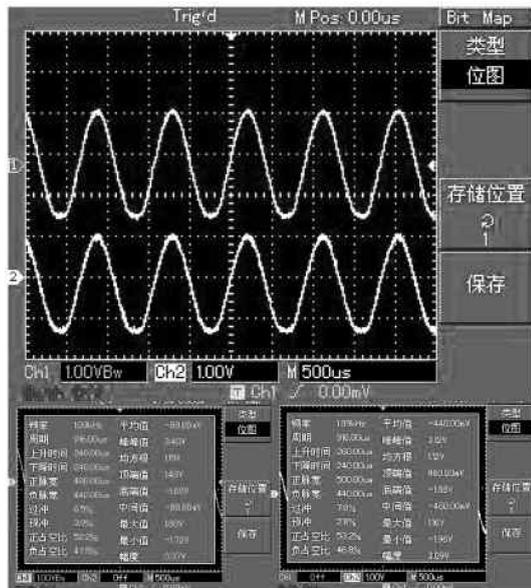


图 5 对同相运放电路输出与输入电压相位的监测

## 5 结论

由表 1 数据,应用 SPSS 线性分析功能得定标方程(14)式以及图 4,并得到  $U_o-U_i$  定标曲线图。得出了输出电压( $U_o$ )与输入电压( $U_i$ )成线性关系,实验所得定标方程(14)式及图 4 实验曲线与理论分析(4)、(5)式具有一致性

表 2 实验结果,可得同相比比例运算放大倍数的数值分别为 11.10,对比理论计算放大倍数的数值  $|A_u| = 11$ ,二者具有较为相近,表明所拟合的  $U_o-U_i$  直线(图 4)的斜率是客观的。

为了能更好实现实验数据线性分析的合理性。在现行参数并保证线性情况下,应选择信号源频率  $f = 1 \text{ kHz}$  左右,输入信号幅度应控制在  $5 \text{ mV} \sim 20 \text{ mV}$  之间,输出电压可调控在  $55 \sim 220 \text{ mV}$  之间。这样可使测量结果较为可靠,线性分析实验结果更为合理。

由图 5 实验观测结果,通道 CH2( $U_o$  波形)与 CH1( $U_i$  波形)的相位为同相。表明同相比比例运放输出电压( $U_o$ )与输入电压( $U_i$ )为同相,与理论分析的(4)、(5)式具有一致性。使用数字存储示

波器可以及时监测信号的相位关系,自带 USB 接口拷贝便捷有效。

能够得到较为理想的(14)式和图4以及表2实验结果。除了借助了强有力的计算机辅助(SPSS软件)分析手段外,表明所测数据(表1)测量的质量较高,从而使得因仪器或人为因素所致的偶然误差与系统误差已降为较小。

对照(14)式中的斜率为11.10与理论计算放大倍数 $|A_u|=11$ 具有较好吻合度,尤其查看实验结果的表3中放大倍数的实验结果,由该实验方案所得放大倍数的实验值只在百分位上可疑,而以往的实验方案所得放大倍数的实验值一般为个位或十分位上可疑。说明应用SPSS的线性分析同相比比例运算放大倍数,是可以提高测量数据及实验结果的分析精度,且数据的处理过程及结果直观有效。该实验方案具有一定创新性。

## 参考文献:

- [1] 王新春.模拟电子技术实验指导[M].西南交通大学出版社,2014:54-56.
- [2] 徐红,曹冬梅.非等精度测量电阻的数据处理[J].价值工程,2012.1006-4311(2012)03-0262-02.
- [3] 宋志刚,何旭洪.SPSS 16.0 Guide to Data Analysis[M].北京:人民邮电出版社,2008:115-186.
- [4] 任海峰,阎维平,等.不确定度原理在锅炉热效率测试中的应用[J].热力发电,2013.1002-3364(2013)03-0008-03.
- [5] 李洁.电子技术基础(第二版)[M].清华大学出版社,2008:94-114.
- [6] 胡晓春,王新春,等.用板式电位差计实验系统与SPSS标定电池的电动势[J].实验科学与技术,2014(4):18-20.
- [7] 罗晓琴.模块化教学在电位差计实验中的应用[J].大学物理实验,2015(5):44-46.

## Linear Analysis of Amplification Factor of the Same-phase Op-amp Circuits

JIANG Yongyong, WANG Xinchun, YE Qing, LIU Jinhao

(Chuxiong Normal University, Chuxiong 675000)

**Abstract:** According to the same - phase proportional operational amplifier experiment device, measuring the amplification factor of the circuit is designed to the research object. The measurement data are obtained by the way of non-equal precision measurement. Using the linear estimation function of SPSS is to analyze the experimental data. Its aim is to get the output and input voltage calibration curve and to verify the linear relationship between output and input voltage. The result is that the coincident proportional amplification multiples are obtained. At the same time, using the function of signal the direction of observation and record function with confidence probability of 95% is to analyze and evaluate the measurement data and experimental results. According to above procedures, the research can get more reliable and reasonable results.

**Key words:** same-phase proportional operational; unequal precision measurement; linear analysis of SPSS; amplification factor; uncertainty estimation