

文章编号: 1674-4578(2009)06-0007-03

基于 Multisim 的差动放大电路的性能研究

桂静宜

(黄石理工学院电气与电子信息工程学院, 湖北 黄石 435003)

摘要: 差动放大电路的主要作用是抑制共模信号和放大差模信号, 因而具有良好的温度和噪声特性, 是集成运放的重要基础。为了在实际中更好地应用差放电路, 这里对长尾式和恒流源式差动放大电路不同接法的特征参量, 如共模抑制比、温度特性、传输特性等分别进行了仿真分析。运用 Multisim 进行仿真比较, 可以方便观测不同电路的性能特点, 有利于根据具体电路的设计指标选择合适的差放电路结构形式。

关键词: 差动放大电路; 共模抑制比; 温度特性; 传输特性; Multisim

中图分类号: TN752 **文献标识码:** B

0 引言

直接耦合放大电路有一个缺点, 即零点漂移^[1], 严重时使放大电路无法正常工作。为了解决这一问题, 可采用差动放大电路。诸如由电源波动、温度变化等外界干扰都会引起工作点的不稳定, 它们都可以看作是一种共模信号。差动放大电路能抑制共模信号的放大, 对上述变化有良好的适应性, 使放大器有较高的稳定度。利用差动放大电路的参数对称性来抑制零点漂移, 也就是说, 差动放大电路能放大差模信号, 对共模信号有很强的抑制能力^[2]。差动放大电路的基本形式有三种: 简单式、长尾式和恒流源式。

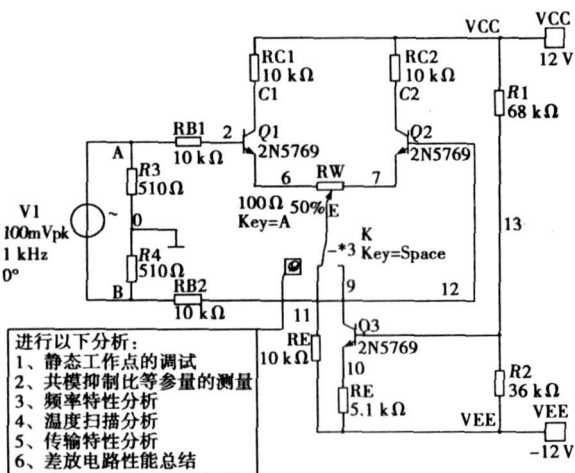


图1 差动放大电路的仿真电路图

如图1所示的电路为差动放大电路, 它采用直接耦合方式, 当开关 K 打向左边时是长尾式差动放大电路, 开关 K 打向右边时是恒流源式差动放大电路。在长尾式差放电路中抑制零漂的效果与共模反馈电阻 R_E 的数值有密切关系, R_E 愈大, 效果愈好。但 R_E 愈大, 维持同样工作电流所需要的负电压 V_{EE} 也愈高。这在一般的情况下是不合适的, 恒流源的引出解决了上述矛盾。在三极管的输出特性曲线上, 有相

当一段具有恒流源的性质, 即当 U_{CE} 变化时, I_C 电流不变。图1中 Q_3 管的电路为产生恒流源的电路, 用它来代替长尾电阻 R_E , 从而更好地抑制共模信号的变化, 提高共模抑制比。

1 差动放大电路的仿真分析

1.1 静态分析

(1) 调节放大器零点^[3]

在测量差放电路各性能参量之前, 一定要先调零。信号源 V_1 不接入。将放大电路输入端 A 、 B 与地短接, 接通 $\pm 12V$ 的直流电源, 用万用表的直流电压档测量输出电压 U_{C1} 、 U_{C2} , 调节晶体管射极电位器 R_W , 使万用表的指示数相同, 即调整电路使左右完全对称, 此时 $U_O=0$, 调零工作完毕。

(2) 测量静态工作点

零点调好以后, 可以用万用表或电压表测量 Q_1 、 Q_2 管各电极电位及射极电阻 R_E 的电压 U_{RE} 。利用Multisim的直流工作点分析更为简便。从直流分析结果中看出, 三极管 Q_1 基—射电压 $U_{BE} \approx 0.6V$, 集—射电压 $U_{CE1} \approx 7.12V$, Q_1 管工作在放大区。同样分析 Q_2 管也工作在放大区, Q_3 管工作在恒流区。

1.2 差动放大电路特征参量的测量

1.2.1 测量差模电压放大倍数

(1) 双端输入时差模放大倍数的测量^[4]

在图1的电路中, 输入信号频率 $f=1kHz$, 输入信号幅度为 $V_{1P-P}=100mV$ 。开关 K 打向左边, 选择 Simulate/Analyses/Transient Analysis—命令, 在出现的 Transient Analysis 对话框中选取输出变量节点 C_1 和 C_2 , 将 End time 改为 0.002sec, 将 minimum number of time point 设为 1000, 其余项不变, 仿真结果如图2所示。

从图2中可以看出, 两个输出端 C_1 、 C_2 输出电压大小相等方向相反, 但叠有直流分量约为 6.48V, 其电压峰—峰值之差约为 $8.4301 - 4.4510 = 3.9791V$ 。由此求得双端输入

收稿日期: 2009-07-06

作者简介: 桂静宜(1967-), 女, 湖北蕲春人, 本科, 讲师, 主要从事电子技术和信号处理等方面的教学、科研工作。

单端输出时的差模电压放大倍数为 $A_{d1} = \frac{3.979\ 1}{0.1} \approx 39.79$ 。

单击 Simulate/ Postprocessor 命令, 启动后处理功能。在出现的后处理对话框中进行适当的设置, 设置完成后单击 “Calculate”, 结果如图 3 所示。该结果是对两个节点电压 (V_{C1} 、 V_{C2}) 的减法运算得到的。

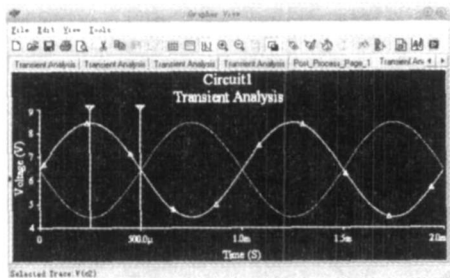


图 2 长尾式差放电路的双端输入单端输出电压波形

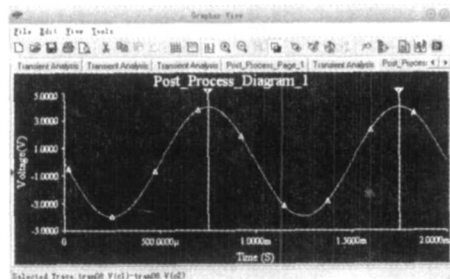


图 3 长尾式差放电路双端输入双端输出的电压波形

从图 3 中可以看出, 输出直流电压为 0, 其峰—峰值为 $3.979\ 1 - (-3.979\ 1) = 7.9582\ \text{V}$ 。由此可求得双端输入双端输出时的差模电压放大倍数为 $A_{d2} = \frac{7.958\ 2}{0.1} = 79.58$ 。

再将开关 K 打向右边, 构成具有恒流源的差动放大电路。按同样的分析方法得知双端输入单端输出时 $A_{d1}' = \frac{4.099\ 2}{0.1} \approx 40.99$, 双端输入双端输出时 $A_{d2}' = \frac{8.198\ 4}{0.1} \approx 81.98$ 。

(2) 单端输入时差模放大倍数的测量

在图 1 的电路中, 将信号源接在 A 端与地之间, B 端接地, 此时为长尾式差放电路的单端输入方式。同理, 以 V_{C1} 作为单端输出得到单端输入单端输出时的差模电压放大倍数为 $A_{d3} = \frac{4.027\ 7}{0.1} \approx 40.28$ 。单端输入双端输出时的差模电压放大倍数为 $A_{d4} = \frac{7.958\ 4}{0.1} \approx 79.58$ 。

再将开关 K 打向右边, 构成具有恒流源的差动放大电路。

重复以上操作, 得到单端输入单端输出时的差模电压放大倍数及双端输出时的差模电压放大倍数。

1.2.2 测量共模电压放大倍数

共模输入方式下, 信号源的电压幅值仍为 $100\ \text{mV}$, 电路其余部分不变。

开关 K 打向左边时, 运行 Transient Analysis 命令, 得到长尾式差放电路共模输入单端输出的电压波形。由于 Multisim 环境下, 电路中的元件特性过分一致, 共模作用时双端

输出接近于零, 不太符合客观现实。为了能看清长尾式差放电路和恒流源式差放电路对共模信号的抑制情况, 这里将电位器调为 45%, 使电路两边稍不对称。分析不对称长尾式差放电路共模输入单端输出时共模放大倍数及共模输入双端输出共模放大倍数。

再将开关 K 打向右边, 构成恒流源式差放电路。也可分析得到不对称恒流源式差放电路共模输入单端输出时共模放大倍数及共模输入双端输出时的共模放大倍数。

1.2.3 计算共模抑制比

对长尾式差放电路和恒流源式差放电路仿真结果进行整理, 分别见表 1 和表 2。

表 1 长尾式差动放大电路仿真结果 ($f = 1\ \text{kHz}$ 时)

项目	参数	V_{1P-P}	U_{C1P-P}	U_{C2P-P}	U_{OP-P}	A
双端输入	单端输出	100	3.979 1 V	3.979 1 V	×	$A_{d1} = 39.79$
	双端输出	mV	×	×	7.958 2 V	$A_{d2} = 79.58$
单端输入	单端输出	100	4.027 7 V	3.930 7 V	×	$A_{d3} = 40.28$
	双端输出	mV	×	×	7.958 4 V	$A_{d4} = 79.58$
共模输入	单端输出	100	0.099 2 V	0.094 9 V	×	$A_{c1} = 99.2 \times 10^{-2}$
	双端输出	mV	×	×	4.297 8 mV	$A_{c2} = 4.297 8 \times 10^{-2}$

表 2 恒流源式差动放大电路仿真结果 ($f = 1\ \text{kHz}$ 时)

项目	参数	V_{1P-P}	U_{C1P-P}	U_{C2P-P}	U_{OP-P}	A
双端输入	单端输出	100	4.099 2 V	4.099 2 V	×	$A_{d1}' = 40.99$
	双端输出	mV	×	×	8.198 4 V	$A_{d2}' = 81.98$
单端输入	单端输出	100	4.099 5 V	4.098 7 V	×	$A_{d3}' = 41$
	双端输出	mV	×	×	8.198 2 V	$A_{d4}' = 81.98$
共模输入	单端输出	100	0.7 mV	0.9 mV	×	$A_{c1}' = 0.7 \times 10^{-2}$
	双端输出	mV	×	×	0.309 7 mV	$A_{c2}' = 0.309 7 \times 10^{-2}$

对表 1、表 2 进行比较可以看出, 双端输出时的共模抑制能力比单端输出时的共模抑制能力强。故对长尾式和恒流源式差放电路, 现仅计算双端输出时的共模抑制比。

$$\text{长尾式差放电路的共模抑制比 } K_{CMR} = \frac{A_{d2}}{A_{c2}} = \frac{79.58}{4.297\ 8 \times 10^{-2}} \approx 1.852 \times 10^3$$

$$\text{恒流源式差放电路的共模抑制比 } K_{CMR}' = \frac{A_{d2}'}{A_{c2}'} = \frac{81.98}{0.309\ 7 \times 10^{-2}} \approx 2.647 \times 10^4$$

通过以上的分析可知, 恒流源式差放电路共模抑制能力比长尾式强。

1.3 频率特性分析^[5]

下面的分析均以对称的双端输入双端输出恒流源式差放电路为例进行。

选择 Simulation/ AC Analysis, 弹出交流工作点分析对话框, 在出现的对话框中, 选择需要分析的节点 C_1 , 按下 Simulation 按钮, 得到 C_1 点的幅频特性和相频特性曲线。当然也可利用 Multisim 提供的波特图仪, 将其连接在电

路的输入输出端观察电路的输入输出特性曲线。

1.4 温度扫描分析^[6]

执行 Simulation/Analyses/Temperature Sweep Analysis 命令,在弹出的对话框中,设置温度最高为 100℃,设置 C_1 、 C_2 节点为输出变量。瞬态分析的结果得到 C_1 、 C_2 点的输出波形。使用后处理对两个波形相减,得到双端输出 U_0 的波形,如图 4 所示。

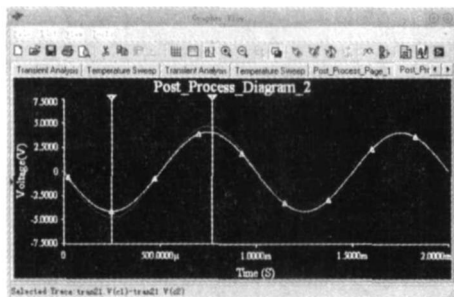


图 4 双端输入双端输出恒流源式差放电路的温度扫描特性曲线

为了说明温度变化对电路输出波形的影响,本例输出了温度变化前后的两个分析结果。tran21 是温度变化前瞬态分析的结果,tran22 是温度变化后瞬态分析的结果。从图 4 中可看出,温度变化对输出波形有影响,但影响并不是很大。因此差放电路有利于抑制电路的温度特性,即电路在不同的温度下工作,电路性能不会有太大的改变。

1.5 传输特性分析

以上讨论的是三极管差放电路的小信号工作特性。在电子线路分析与设计中,还关心差分放大电路在什么样的差分输入范围内,能处于线性工作状态(即三极管工作在放大区),这可以通过差放电路的传输特性来完成。

在双端输入双端输出恒流源式差放电路中,在两个输入端之间连接了一个电压源 V_1 作为差分输入电压信号。利用 Multisim 所提供的直流扫描分析工具得到差放电路的传输特性。从传输特性曲线上可以看出,只有当输入差分信号的

绝对值小于 0.3 V 时,放大电路才工作在线性区。

2 结论

可见, Multisim 能对差放电路的性能特点进行很好地仿真分析。通过以上的分析,对差放电路性能总结如下:

(1) 单端输入时,由于引入了很强的共模负反馈,两个三极管工作在差分状态。

(2) 单端输出时,可以选择从不同的三极管输出,而使输出电压与输入电压反相或同相。

(3) 双端输出时,差模电路放大倍数基本上与单管放大电路的电压放大倍数相同;单端输出时, A_d 约为双端输出时的一半。

(4) 双端输出时,两管集电极电压的温漂互相抵消,所以在理想情况下共模抑制比 $K_{CMR} = \infty$;单端输出时,由于通过长尾电阻或恒流三极管引入了很强的共模负反馈,因此仍能得到较高的共模抑制比,不如双端输出时高。

参考文献

- [1] 华成英,童诗白.模拟电子技术基础[M].第4版.北京:高等教育出版社,2006.5.
- [2] 李哲英,骆丽,李金平.模拟电子线路分析与 Multisim 仿真[M].北京:机械工业出版社,2008.1.
- [3] 杨欣,王玉凤,刘湘黔.电路设计与仿真—基于 Multisim8 与 Protel 2004[M].北京:清华大学出版社,2006.4.
- [4] 郑步生,吴渭. Multisim 2001 电路设计及仿真入门与应用[M].北京:电子工业出版社,2002.2.
- [5] 聂典. Multisim9 计算机仿真在电子电路设计中的应用[M].北京:电子工业出版社,2007.6.
- [6] 周凯. EWB 虚拟电子实验室—Multisim7&Ultiboard7 电子电路设计与应用[M].北京:电子工业出版社,2005.6.

Performance Research of Differential Amplifier Circuit Based on Multisim

Gui Jing-yi

(School of Electrical & Electronic Information Engineering, Huangshi Institute of Technology, Huangshi Hubei 435003, China)

Abstract: The function of differential amplifier circuit is to lower common-mode signal and enlarge differential signal, so its temperature and noise characteristic is good and it is the fundamental part of operating amplifier. In order to have the better application with differential amplifier circuit in practice, this paper analyses the character parameter of different connected way for long-tailed pair circuit and constant current source circuit, such as common-mode rejection ratio, temperature characteristic and transmitter characteristic. Based on Multisim, this paper simulates different kinds of differential amplifier circuit, it can easily observe the performance character, and help people to choose suitable differential circuit according to embodied design index.

Key words: differential amplifier circuit; common-mode rejection ratio; temperature characteristic; transmitter characteristic; Multisim