

# 集成运放电路虚短、虚断与实短、实断之关系比较研究

楚雄师范学院物理与电子科学学院 杨本涛 刘 鹏 杨崔荣 王昆林

**【摘要】**本文论述了在运算放大电路中，虚短、虚断和实短、实断的区别和联系，并通过实验测试阐明了电路分别在虚短、虚断和实短、实断状态下的工作情况，实际证明了在理论上虚短、虚断借用了实短、实断的概念，运放电路在实际的正常工作中虚短、虚断和实短、实断是有着本质上区别的。

**【关键词】**集成运放电路；虚短、虚断；实短、实断；负反馈电路

## 1 问题的提出

集成运放放大电路是一种高电压放大倍数、高输入电阻和低输出电阻的多级直接耦合放大电路，因其最初多用于模拟信号的运算，所以称之为集成运算放大电路，简称集成运放。随着集成电路技术的不断发展，集成运放的性能不断改善，种类也越来越多，现在集成运放的应用远远超出了信号的范围，在电子技术的许多领域都有广泛的应用。

在使用运放时设计电路均将实际运放视为理想运放，采用了虚短、虚断的概念进行计算。电路如图1所示，N点电位为 $u_N$ ，P点电位为 $u_P$ 。运放反相输入端的电流 $i_N$ ，同相输入端电流 $i_P$ 。所谓虚短、虚断，即 $u_N=u_P$ 、 $i_N=i_P=0$ 。根据这一原理由图1，则有：

$$i_1 = i_F \quad \frac{u_i - u_N}{R_1} = \frac{u_N - u_o}{R_F}$$

得： $u_o = -\frac{R_F}{R_1} u_i$  (1)

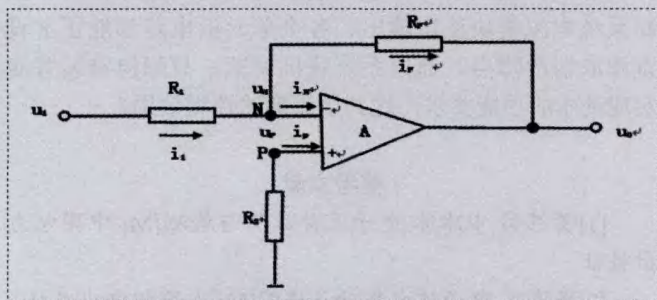


图1 运放电路图

这就是典型的反比例放大电路。式(1)中负号“-”表示输出电压 $u_o$ 的相位与输入电压 $u_i$ 的相位相反，即“反相”。反比例放大电路的电压放大倍数仅仅取决于反馈电阻 $R_F$ 与输入电阻 $R_1$ 之比，即：

$$A_{df} = \frac{u_o}{u_i} = -\frac{R_F}{R_1}$$

与运放内部电路无关。而实际上整个电路工作起来

与运放电路内部是有关系的。所谓虚短、虚断和实际的短路和断路，即与实短、实断是有区别的，实短是真正的短路，即N点电位与P点电位严格相等，也就是将N点与P点严格短路，同相输入端、反相输入端的电位差严格为0，如图2所示。

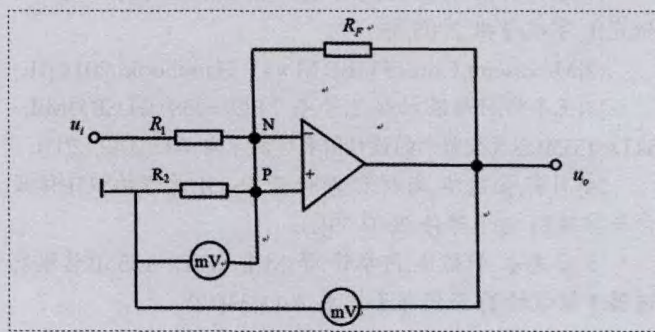


图2 实短电路图

实断是真正的断路，同相输入端、反相输入端的输入电流严格为0。如图3所示。

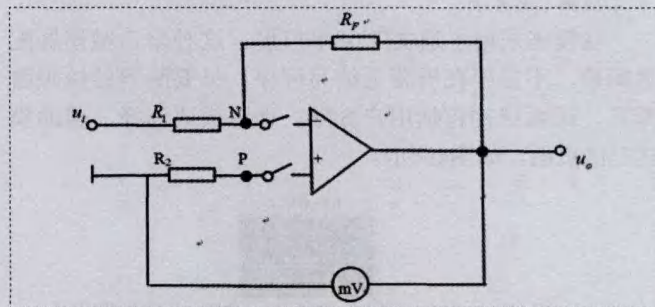


图3 实断电路图

在理论计算中虚短、虚断使用了实短、实断的基本概念，实际电路中的电参量的大小也与理论计算中的基本是一致的，但虚短、虚断与实短、实断是有区别的，为了彻底搞清其中的区别和联系，特别设计实验研究电路，进行实验研究。

## 2 虚短和实短电路研究

虚短电路如图4所示，实短电路如图2所示将N、P两

表2 虚断、实断实验数据表

虚断						实断				
$u_i/mv$	$u_o/mv$	$i_N/\mu A$	$i_P/\mu A$	$(i_N - i_P)/\mu A$	放大倍数	$i_N/\mu A$	$i_P/\mu A$	$u_o/mv$	放大倍数	无芯片输出/mv
50	511	230.0	125.0	105.0	10.22	0	0	2.78	0.056	40.0
70	720	175.0	162.5	12.5	10.28	0	0	2.75	0.039	57.0
90	924	112.5	172.5	-60.0	10.27	0	0	2.50	0.028	73.8
100	1300	175.0	125.0	50.0	10.30	0	0	2.85	0.029	81.0
200	1900	102.5	65.0	37.5	9.50	0	0	2.92	0.015	162.0
300	2890	152.5	127.5	25.0	9.63	0	0	2.61	0.009	244.0
400	3820	85.0	45.0	40.0	9.55	0	0	2.48	0.006	326.0
500	4800	50.0	50.0	0.0	9.60	0	0	2.84	0.006	401.0
550	5210	62.0	122.5	-60.0	9.47	0	0	2.85	0.005	441.0

点直接相连。

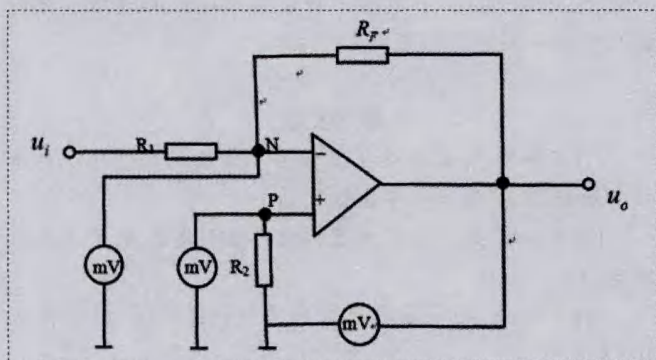


图4 虚短电路图

在对虚短电路的研究中，按虚短电路图4对各元器件进行连接，以信号发生器为信号源，由 $u_i$ 端输入正弦信号， $u_o$ 端输出也是正弦信号。 $u_i$ 端、 $u_o$ 端分别接入双踪示波器，观察其信号的波形。将电路调试正常，调节输入信号 $u_i$ 的大小，且保证输出信号 $u_o$ 波形不失真。用交流毫伏表分别测出N点电位、P点电位及输出端 $u_o$ 的电压，逐渐增大输入信号 $u_i$ 得到不失真的输出信号 $u_o$ 见实验数据表1。

对实短电路的研究，如实短电路图2所示，将N、P两点直接相连，用交流毫伏表分别测量P点和输出端 $u_o$ 的电压；将芯片移除后再用交流毫伏表测输出电压，数据如表1所示：

表1 虚短、实短实验数据表

虚短					实短				
$u_i/mv$	$u_o/mv$	$u_N/mv$	$u_P/mv$	放大倍数	$(u_N - u_P)/mv$	$u_o/mv$	$(u_N = u_P)/mv$	放大倍数	无芯片输出(mv)
50	511	5.30	3.2	10.22	2.10	2.35	22.8	0.047	19.9
70	720	4.78	3.0	10.28	1.78	2.54	31.9	0.036	27.4
90	924	5.41	2.8	10.27	2.60	2.54	41.0	0.028	35.0
100	1300	4.30	3.4	10.30	0.89	2.10	45.9	0.021	39.0
200	1900	3.30	2.9	9.50	0.40	2.60	91.0	0.013	77.9
300	2890	4.41	3.0	9.63	1.41	2.68	138.0	0.009	118.0
400	3820	4.38	3.2	9.55	1.18	2.55	182.0	0.006	158.0
500	4800	4.42	3.0	9.60	1.42	2.80	228.0	0.006	195.0
550	5210	4.00	3.2	9.47	0.80	2.60	250.0	0.005	214.0

由数据表1中数据可看出在虚短的情况下，实际上 $u_N$ 、 $u_P$ 两点电位差值 $u_N - u_P$ 在 $0.40mv - 2.60mv$ 之间，电路正常工作，整个电路之间的放大倍数保持在 $9.47 - 10.30$ 倍，当实短时 $u_N$ 严格等于 $u_P$ ，电路已不正常工作，无放大能力，输出电压 $u_o$ 实际上是通过反馈电路 $R_F$ 由输入端直通

到了输出端，运放已彻底不起作用，将芯片移除后，输出电压随输入电压增大而增大。

由上述可知，虚短电路中 $u_N$ 、 $u_P$ 两点电压并不能相等，且电压差值要在 $0.40mv - 2.60mv$ 之间，电路才能正常工作。实际若将 $u_N$ 、 $u_P$ 两点连接即实短 $u_N = u_P$ ，运放芯片无输入没有工作，若此时将运放芯片移走，输出端与输入端就只由反馈电路 $R_F$ 相连，输出端点电压 $u_o$ 小于于输入端电压 $u_i$ ，且 $u_o$ 随 $u_i$ 的变动而变动。

### 3 虚断和实断电路研究

虚断电路如图5所示，实断电路如图3所示，将N、P两点与芯片的连接直接断开。

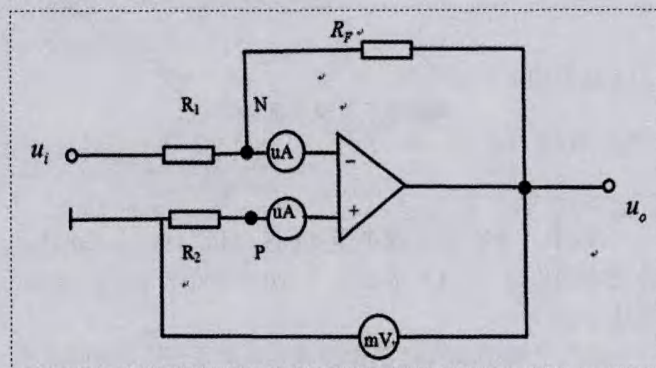


图5 虚断电路图

在对虚断电路的研究中，按虚断电路图5对各元器件进行连接，以信号发生器为信号源，由 $u_i$ 端输入正弦信号， $u_o$ 端输出也是正弦信号。 $u_i$ 端、 $u_o$ 端分别接入双踪示波器，观察其信号的波形。将电路调试正常，调节输入信号 $u_i$ 的大小，且保证输出信号 $u_o$ 波形不失真。用交流电流表分别接入N点、P点与芯片的连接点间，对电流 $i_N$ 、 $i_P$ 进行测量。之后用交流毫伏表测出输出电压 $u_o$ 见实验数据表2。

对实断电路的研究，如实断电路图3所示，直接将N点、P点与芯片的连接点断开，即 $i_N = i_P = 0$ ；之后用交流毫伏表测出输出端 $u_o$ 的电压；芯片移除后，再次测出输出端电压 $u_o$ ，数据如表2所示：

由数据表2中数据可看出在虚断的情况下，实际上 $i_N$ 、 $i_P$ 的电流差值 $i_N - i_P$ 在 $-60.0\mu A - 105.0\mu A$ 之间，也就

正是由于存在着这微小的电流差才使电路正常工作, 整个电路之间的放大倍数保持在9.47—10.30倍。当实断时  $i_N=i_P=0$ , 电路已不正常工作, 没有输入信号进入运放芯片, 无放大能力, 输出电压  $u_0$  实际上是通过反馈电路  $R_F$  由输入端直通到了输出端, 运放已彻底不起作用, 将芯片移除后, 输出电压随输入电压增大而增大。

由上述可知, 虚断电路中  $i_N$ 、 $i_P$  电流并不能等于0, 即  $i_N \neq i_P \neq 0$ , 且电流差值  $i_N-i_P$  要在  $-60.0\mu\text{A}$ — $105.0\mu\text{A}$  之间, 电路才能正常工作。实际若将  $i_N$ 、 $i_P$  与芯片的连接点断开, 即实断  $i_N=i_P=0$ , 运放芯片无输入, 没有工作, 若此时将运放芯片移走, 输出端与输入端就只由反馈电路  $R_F$  相连, 输出端电压  $u_0$  小于输入端电压  $u_i$ , 且输出端电压  $u_0$  随输入端电压  $u_i$  的变动而变动。

#### 4 结束语

由以上分别对虚短和实短电路、虚断和实断电路的研究得出, 虚短、虚断和实短、实断有着本质的区别, 在虚短电路中  $u_N$ 、 $u_P$  两点的电压并不相等, 即并不满足  $u_N=u_P$ , 且电压差值  $u_N-u_P$  在  $0.40\text{mv}$ — $2.60\text{mv}$  之间, 芯片才正常工作; 在虚断电路中, 电流  $i_N$ 、 $i_P$  并不等于零, 即并

不满足  $i_N=i_P=0$ , 电流差  $i_N-i_P$  在  $-60.0\mu\text{A}$ — $105.0\mu\text{A}$  之间, 芯片正常工作; 正是由于  $N$ 、 $P$  两点的电压  $u_N$ 、 $u_P$  和电流  $i_N$ 、 $i_P$  存在着这微小的差别才使芯片正常工作。其原因是运放芯片本身的放大能力极大, 一般在  $10^5$  以上, 故而有一个微小的信号输入, 电路就能正常工作, 而真正的实短、实断电路中  $u_N=u_P$ 、 $i_N=i_P=0$  时, 芯片已无输入信号, 故不能工作, 此时与芯片移除时无异。而运放电路在理论计算中虚短、虚断使用了实短、实断的基本概念, 实际电路在工作中的电参量的大小与理论计算中的基本是一致的。其原因在于电路中有反馈电阻  $R_F$  形成负反馈电路, 起到了关键的作用。

#### 参考文献

- [1] 霍亮生. 集成运放在信号运算方面的应用[M]. 电子技术基础, 北京: 清华大学出版社, 2011.
- [2] 刘浩斌. 数字电路与逻辑设计[M]. 北京: 电子工业出版社, 2003.
- [3] 白中英. 数字逻辑与数字系统[M]. 北京: 科学出版社, 1998.
- [4] 沈复兴. 电子技术基础(下册)[M]. 北京: 电子工业出版社, 2004.

(上接第40页)

表2 补充增强信息类型

有效负载类型 (payload type)	补充增强信息语法定义
0	缓存周期SEI消息语法
1	图像定时SEI消息语法
2	Reserved sei Message 语法

表2中, 当有效负载类型 (payload type) 为2时, 补充增强信息 (SEI) 语法定义为Reserved\_sei\_Message 语法定义。

加入了增强现实信息数据的SEI单元在H. 264码流中的形态如图3所示:

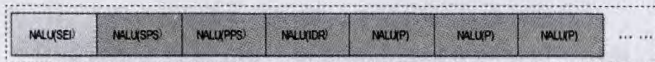


图3 加入了SEI的NALU序列

SEI单元可在任意完整的NALU单元之间插入, 可以是每个IDR帧前插入, 也可以在某个P帧或B帧前插入。

SEI单元的内部结构如表3所示:

表3 增强现实信息用户数据的SEI内部结构

字节偏移	域名称	值(十六进制)	描述
0~3	Start code	00 00 00 01	NAL的起始码
4	NALU type	06	SEI类型标识
5~20	uuid_iso_iec_11578	[16字节标识符, 使用国标编号“XXXXXX”]	SEI子类型标识, 表明以下数据是采用本标准的编码方式。
21~?	增强现实信息数据		经过base64编码的用户数据

由于增强现实信息视频码流符合H. 264的标准规范, 因此原有存储和解码设备无需改动即可使用。使用增强

现实信息规范的解码平台可从中提取并分析额外信息。

#### 5 难点问题分析

在视频监控系统部署增强现实技术, 取得了几大成效。第一, 使用者在观看时可以实现所见即所得, 极大的解放了劳动力, 提升了工作效率。第二, 将视频画面的背景进行了结构化描述, 为大数据分析平台提供了宝贵的数据源。

但是目前有两大不足。第一, 所有的增强现实信息必须人工添加, 无法自动识别。这也是短期内无法解决的问题。第二, 人工添加时, 同一处目标会多次出现在不同的摄像机画面中, 每个画面都需要单独添加增强信息, 不能复用。这个问题的解决方法是建立全球唯一实体三维坐标库。但现在受制于传感器的精度, 即使建立了全球数据库, 也无法精确定位。所以提升传感器精度是必须跨越的技术门槛。

#### 参考文献

- [1] 朱森良, 姚远, 蒋云良. 增强现实综述[J]. 国图象图形学报, 2004, 7:767.
- [2] 汪雪莲. 电子罗盘的方位测量误差及其补偿校正[J]. 声学与电子工程, 2005, 4:40.