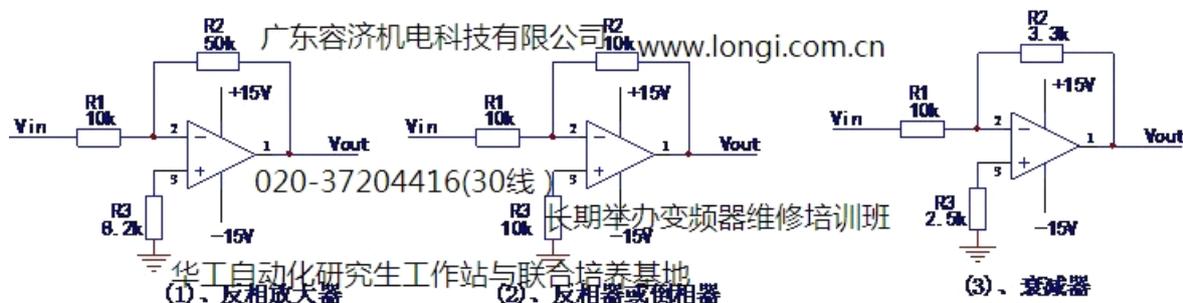


变频器维修之常见模拟电路分析和故障判断

故障检测电路的主体电路还是由由运算放大器构成，通常，运算放大器被接成以下几种类型的电路，完成着对信号模拟放大、比较输出和精密整流三种工作任务。

一、反相放大器电路：



图一 运算放大器反相放大电路

运算放大器，具有输入阻抗高（不取用信号源电流）、输出阻抗低（负载特性好）、放大差模信号（两输入端信号之差）、抑制共模信号（两输入端极性与大小相同）和交、直流信号都能提供线性放大的优良特性。

上图（1）、（2）、（3）、在电路形式上为反相放大器，输出信号与输入信号相位相反，又称为倒相放大器。电路对输入电压信号有电压和电流的双重放大作用，但在小信号电路中，只注重对电压信号的放大和处理。电路的电压放大倍数取决于 R_2 （反馈电阻）与 R_1 （输入电阻）两者的比值。 R_3 为偏置电阻，其值为 R_1 、 R_2 的并联值。因 R_2 、 R_1 的选值（比值）不同，可完成三种信号传输作用，即构成反相放大器、反相器和衰减器三路信号处理电路。（1）电路为反相放大器电路，电路放大倍数为 5；（2）电路为倒相器，对输入信号起到倒相输出作用，无放大倍数，不能称为放大器了。或输入 $0\sim 5V$ 信号，则输出 $0\sim -5V$ 倒相信号；（3）电路为衰减器电路，若输入 $0\sim 10V$ 信号，输出 $0\sim -3.3V$ 倒相信号，为一个比例衰减器。

图（1）、（2）、（3）电路，有两个特征：1、输入、输出信号反相；2、无论是放大或衰减或倒相电路，输出信号对输入信号维持一个比例输出关系，可以笼统地称为反相放大器，因为倒相器的放大倍数为 1，而衰减器恰恰也是利用了电路的放大作用。

有趣的是，此三种反相放大器，在电流、电压检测电路中，都有应用。以电流检测电路为例：这是因为，串于三相输出端的电流互感器内置放大器，输出信号已达伏特级的电压幅度，而 CPU 的输入信号幅度又须在 $5V$ 以下的电压幅度内，故反续电流信号处理电路，有的采用了有一定放大倍数的反相放大器；有的采用了倒相器电路，只是根据 CPU 输入电压信号极性的要求，只对信号进入了倒相处理，并不须再进行放大；部分电路为适配后级电路的信号幅度范围，甚至采用了衰减器电路，对电流互感器来的电压信号衰减一下，再送入后级电路。

检测电路中的模拟信号电路的供电，根据放大交流信号的要求，一般采用正、负 $15V$ 双电源供电。根据反相放大器的电路形式和运算放大器的电路特性，我们可找到相应的检测方法：

1、据反相放大器的特性，以正、负供电的 $0V$ （地）为基准电位，当输入正的信号电压时，输入电压必为 $0V$ 以下的负压，反之输出 $0V$ 以上的正电压。要根据电路和输入、输出脚的静态电路值判断是否处于正常状态；

2、查明该级电路为放大器或倒相器或衰减器，据输入电阻与反馈电阻的比值，可大致测算出输出电

压值，由此可判断电路是否处于正常状态；

3、根据电路对差模信号有放大（或衰减）作用，而对共模信号放大作用为 0 的特性，当短接两输入端时，输出电压应接近 0 电位值；或者测量输出端已有正电压（或负电压输出），但一短接两个输入端，输出电压马上降（或升）为 0V 左右。说明电路是好的，能正常传输信号。

4、可以人为改变输入电压值，则输出电压必定有相应变化，可由此判断放大器是否处于正常状态。

【故障实例 1】

某台变频器上电后，即报出 OC 故障，故障复位无效，测电流检测电路，如上图（1）电路，输出电压为+12V，CPU 因有严重过流信号输入，故在上电后报出 OC 信号。用金属镊子短接运算放大器 2、3 脚，测量 1 输出脚电路无变化，仍为+12V，判断运算放大器损坏，更换后，故障排除。

【故障实例 2】

某台变频器，上电后输出欠电压信号，检测上电图（2）电路，输入电压为-3V，但输出电压为 0.7V，说明为本级放大器故障，用一外接直流 12V 电源串接 10k 电阻，输入到反相输入端，输出电压无变化，判断该级放大器损坏，更换后故障排除。

二、同相放大器 and 电压跟随器电路：



图二 同相放大电路、电压跟随器电路

上图（1）电路为同相放大器的典型电路形式，也为放大器电路之一种。输入信号进入放大器的同相端，输出信号同输入信号同相位，电路的电压放大倍数 $=1+R2/R1$ 。也用于故障信号检测电路中对模拟信号的放大处理。该电路当 R2 短接或 R3 开路时，输出信号与输入信号的相位一致且大小相等，因而（1）电路可进一步“进化”为（2）、（3）电路。

上图（2）、（3）为电压跟随器电路，输出电压完全跟踪于输入电路的幅度与相位，故电压放大倍数为 1，虽无电压放大效果，但有一定的电流输出能力。电路起到了阻抗变换作用，提升电路的带负载能力，减弱信号输入回路高阻抗和输出回路低阻抗的相互影响。作为电路跟随器应用时，有时候也采用单电源供电。

（1）、（2）、（3）种电路，也在故障检测电路中，被用于模拟信号的放大、基准电压信号的处理等。

根据电路的特性与作用，可得出检测方法如下：

1、（1）电路为同相放大器电路，输出电压幅度与极性比例跟踪于输入电压，该级电压放大倍数约为 6 倍。当输入电压值为 1V 时，输出电压约为 6V。可据输入、输出电压值的测算判断电路是否处于正常状态；

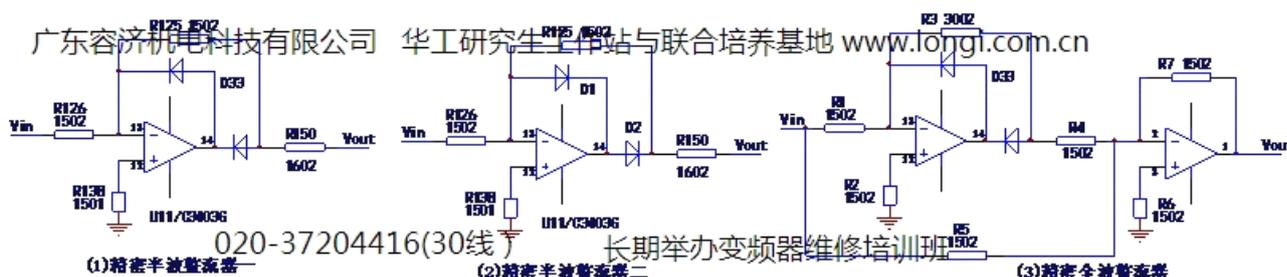
2、（2）（3）电路均为电压跟随器电路，输出电压完全跟踪于输入电压，输出电压应与输入电压相等，据此可以判断电路是否处于正常状态。

3、可通过短接两输入端或人为改变输入端电压的方法，测量输出端电压的相应变化，来判断电路是否处于正常状态。

[故障实例 1]

某台变频器，上电即跳 OH 故障，测温度检测电路的基准电压电路如图（2）的输出电压为 1V，该机为电压比较器电路，测其输入端电压为 5V，正常状态下输出端电压也应为 5V。将输出端负载电路切除后，输出端电压仍为 1.2V，判断为该级放大器损坏，更换后故障排除。

三、精密正、负半波整流器和全波整流器电路：



图三 精密半波、全波整流器电路

由电流互感器来的交流电压信号，要经后续半波或全波整流电路整流成直流电压后，再送入 CPU，供电流显示和控制之用。精密半波或全波整流电路也用作模拟信号的处理和放大。普通整流电路采用二极管做为整流器件，但二极管整流存在非线性失真、有死区电压等缺点，尤其用于小信号整流时，将使输出信号畸变，出现输出误差。利用运算放大器的放大作用和深度负反馈作用，在放大电路中加入二极管，利用二极管的单向导电特性，实现对输入正、负半波信号引入不同深度的负反馈，可以对输入 μV 级信号进行精密整流，电路本身还具有电压跟随或放大作用。

上图（2）为精密负半波整流电路，电路将输入负半波信号进行精密整流后，倒相输出。对正半波输入信号来说，D1 的接入，为放大器引入了深度负反馈；在负半波输入信号的起始段，因信号输入幅度小于 D1、D2 均处于截止，电路处于开环放大状态，微小的信号输入，便会使输出脚电压大于 -0.7V，D1 导通，D2 反偏截止；D2 与 R125 串联引入了适度负反馈（由 R125 的阻值可决定本级电路是整流器还是整流放大器，本级电路为精密整流器，无放大作用），相当于一个反相放大器，输出与输入信号成倒相关系。

上图（1）电路与图（2）电路的不同之处，在于电路中两只二极管的极性相反，成为对输入正半波信号的精密整流电路。整流原理是一样的。

由一个半波整流器电路再加上一个反相求和电路，如图（3），实现将正、负半波输入并反相后输出，可得到全波输出电压波形，即构成了一个全波高精度整流电路。

在故障检测电路中，往往采用整流器电路，对三相输出电流采样信号，进行整流与放大，作为模拟电压信号（电流检测信号）输入后级故障信号处理电路和 CPU 电路，用作过载报警和运行电流的采样处理。

电路输入为交流电压信号，而输出为直流电压信号，大部分电路为整流器，部分电路为整流放大器。

检测方法：

1、整流器电路：输入侧为交流电压，输出侧为直流电压，两测量值比较接近。

2、整流放大器，输入侧为交流电压，输出侧为直流电压，输出直流电压值高于输入交流电压值。

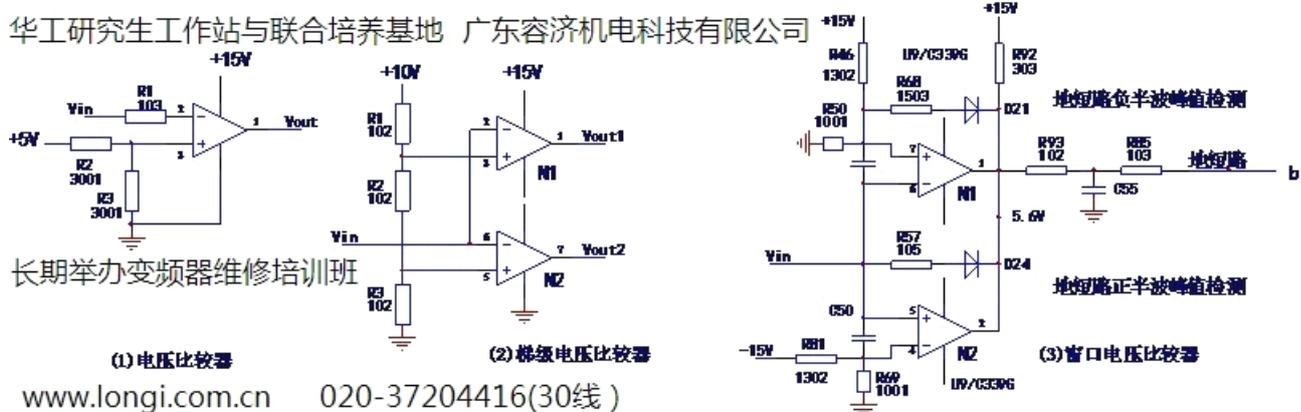
3、可通过短接两输入端或人为改变输入端电压的方法，测量输出端电压的相应变化，来判断电路是否处于正常状态。

[故障实例 1]

某台变频器，上电即跳 OC 故障，检测电流检测电路如图（2）的输出电压为 13V，拔掉电流互感器引线端子，该级放大器仍为 13V，判断整流器电路损坏，更换后故障排除。

四、电压比较器、梯级电压比较器和窗口电压比较器电路：

上述几种电路，都用于模拟信号的放大整流等，其输出信号仍有模拟信号，可称为模拟信号（放大）处理电路，而下文电压比较等电路，则输出为开关量信号，其电路已脱离了模拟放大的范畴，似乎进入了“数字电路”的领域，是拿模拟电路当作了数字电路来应用。



图四 三种电压比较器电路

电压比较器的作用是比较两个输入电压信号的大小，图（1）电路，放大器的同相输入端的电压，为 R2、R3 两电阻对+5V 的分压值 2.5V，称为基准电压值，输入信号与此基准值比较，高于此值时，则输出为 0V 低电平信号，低于低值时，则输出为+15V 高电平信号。电路又称为单值比较器，电路的输出状态取决于输入信号电压的一个值（一个点）——2.5V。

将两级电压比较器接为图（2）电路，则成为梯级电压比较器，电路有一路输入信号，两路输出信号。N1、N2 两级电压比较器，输入的是同一路信号电压，但两级电路同相输入端的基准电压值不同，N1 基准电压为 6.6V，N2 基准电压值则为 3.3V。当输入信号由 0V 到逐渐上升时，当上升为 3.3V 以上时，N2 的输出状态先变为低电平；N2 在输入信号值大于 6.6V 时，才有低电平信号输出。图（2）电路在用于直流回路电压检测电路时，当因负载电机再生发电能量回馈至直流回路，使直流回路电压上升到一定值时，N2 先输出制动动作信号，将制动电阻接入直流回路，消耗电压增量；若电压继续上升，N1 则输出 OU 过压信号，变频器保护停机。

若将两级电压比较器接为图（3）电路，则构成窗口电压比较器电路。相对于单级电压比较器电路，窗口电压比较器可称为双值比较器了。电路有两个基准比较值，输出一路信号。当输入信号 \geq 基准电压 1 \leq 基准电压 2 时，电路输出状态转换。在输入信号的中间值的一个范围内，输出状态不变。图（3）电路为接地故障信号处理电路。N1 放大器的同相端是 R46、R50 对+15V 的分压值，N2 放大器的反相端是 R81、R69 对-15V 的分压值。输入三相电流采样信号进入到 N1 的反相输入端和 N2 的同相输入端，分别与正分

压值和负分压值相比较，无论是输入信号的正半波或负半波，只要大于两个基准值，便会报出地短路信号。

电压比较器应用数字电路，可据信号幅度灵活设置基准电压，比采用数字电路更为方便。另外，图（3）电路采用开路集电极输出的运算放大器电路，可以实现输出端的并联输出，使电路更为简洁。若采用普通放大器，则输出信号还要经两只二极管隔离，再并接在一起。

三类电压比较器电路，常用于将检测的电流或电压的模拟信号，转化为开关量信号——故障信号输出，供实施控制动作和停机保护之用。

检测方法：

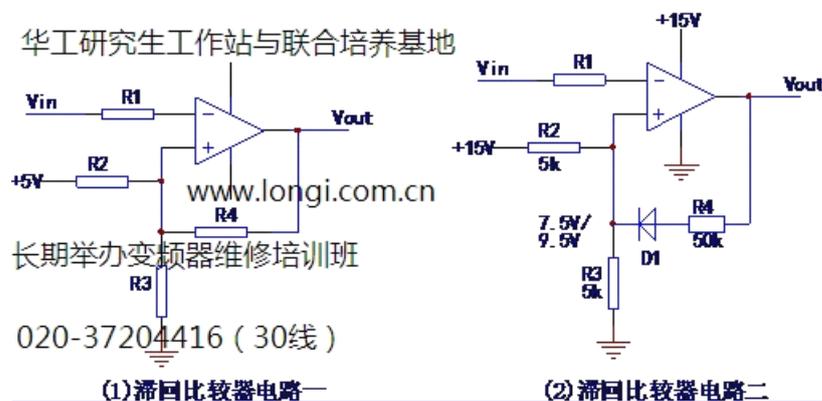
1、放大器输出端只有两个电平状态，低电平，接近供电的地电平或负供电值；高电平，接近正供电值；

2、测反相输入端低于同相输入端电压值，则输出为低电平，反之，则输出为高电平。

3、可通过短接两输入端或人为改变输入端电压的方法，测量输出端高低电平的相应变化，来判断电路是否处于正常状态。

五、滞回比较器电路：

也为电压比较器电路之一种。电压比较器的图（3）电路，也即为滞回电压比较器电路。电压比较器电路只要再引入一正反馈电路，便可“升级”为滞回比较器电路。滞后比较器双被称为具有滞后特性的电压比较器电路。如果把普通的电压比较看作为“电压点比较”的话，滞回比较器则可看作为“电压段比较”的比较器电路。通常，我们希望电路的输出状态足够稳定，电压比较在一个“点”上比较输出，会因频繁输出造成输出状态的不稳定。将输入电路的“点”比较，改进为“段”比较，能较好地解决这一问题——在输入电压变化的一个“段值”内，输出状态不变。图（2）电路由 R4、D1 构成一个正反馈支路，将电路的“点”比较特性转化为“段”比较特性。



图五 两种滞回比较器电路

控制原理简述如下：

先假定图（2）电路被用于制动动作信号的处理，输入信号为直流回路的电压采样信号。当直流回路的电压因负载电机再发能量回馈造成异常上升，达 680V 时， V_{in} 输入电压值达 9.5V 以上，高于放大器反相端基准电压值时，放大器输出低电平信号，后级制动电路动作，将制动电阻接入直流回路，对电压增量进行消耗；因制动电阻的消耗作用， V_{in} 输入电压值很快下降到 9.5V 以下，可是制动信号仍在输出中，并不是直流回路电压稍为回落，制动信号即行消失，这就看出了滞后比较器的作用。制动电路继续工作，

一直到直流回路电压回复为 620V 以下时，采样输入电压低于 7.5V 时，制动电路才停止工作。

电路静态时，放大器同相端电压（7.5V）高于反相端电压，输出电压为近 15V 的高电平电压，由 R4、D1 引入到同相端电路，将同相端电压“人为垫高”为 9.5V。当输入电压高于 9.5V 时，电路输出状态反转，输出端变为低电平。D1 反偏截止，反馈回路中断，同相端基准电压恢复为 7.5V 分压值。这样，当输入采样电压低于 7.5V 时，制动信号才停止输出。

滞回比较器电路，常用于直流回路的电压检测，输出制动信号和过、欠压故障信号等。

检测方法同电压比较器，从略。

广东容济机电科技有限公司（原为“广东容济自动化设备有限公司”）从事工控技术服务行业多年，被誉为“**工控界的黄埔军校**”，培养出大量资深的电子电气工程师，在工控行业影响深远。高级技工及工程师占从业人员的三分之二以上，拥有雄厚的技术力量。

公司以“做最优秀的工控技术服务商”为市场目标。服务内容包括自动化产品的销售与维修，电子产品开发，工厂设备定期维护，工控技术培训，自动化系统的设计、安装和调试，单机设备自动化联线等七大部分。

从 2010 年 7 月份开始，广东容济联合**华南理工大学自动化科学与工程学院**，进行校企合作，强强联合，共同打造自动化专业的研究生培养基地（以下称“基地”），建立长期性的自动化研究生工作站，研究课题包括：工控产品芯片级维修，伺服马达编码器替代研究，工控维修连锁经营技术管理，工控项目现场管理，工控改造项目技术研究，自动化成套项目研发，机车电子数字点火研究，内燃机管理系统研发，电动车智能控制器开发，摩托车混合动力研发，摩托车涡轮增压控制器研发。

从 2010 年 10 月开始，广东容济机电科技有限公司通过与百度官方合作，共建了百度知道开放平台--容济知道，成为工业自动化行业第一家专业解答工控技术的交流中心。统计数据显示，百度知道开放平台自诞生以来，已经陆续吸引了上千家网站的申请合作，并且有 700 余家来自各个行业、地方的网站开辟了知道合作频道，累计解决了超过 38 万问题。随着开放平台运作的深化，百度知道致力于消除人们之间的知识鸿沟、推动知识社会到来的宏伟目标正在变成现实。

基地秉承广东容济的技术人才培养精神，全力打造面向市场的研究生人才，结合华工自动化的理论教学，对外开展面对社会招生的维修类技术的培训，目前维修类技术培训已经举办了三十六期，采用广东容济公司出版的《变频器维修技术》为主的教材，重视实践和动手能力的培养，培养出来的学员能够马上胜任工控产品的芯片级维修，市场反应良好。

基地正在研究新的解决方案，以迎接未来汽车、自水处理、橡塑、纤化、线缆、冶金、造纸、印刷、木业、食品、电力、制药、智能楼宇、机械等行业的挑战。基地拥有雄厚的技术实力和丰富的维修经验，目前被 Parker SSD 传动、西门子、富士、三菱、施耐德、伦茨、ABB、AB、包米勒等国际工控品牌授权为华南地区的维修服务中心。基地是欧陆直流调速器维修服务中心，同时建立了广州变频器维修中心，长期从事变频器维修、伺服系统维修、触摸屏系统维修、数控系统维修等技术服务，基地配有先进的测试仪器，包括多通道示波器、短路跟踪仪、在线测试仪、通讯检测仪、逻辑分析仪和编码器专用检测仪等，建有系列重载测试和通讯检测设备，备有充足的零部件。