

# 压力信号调理电路探讨

丁邦俊

(无锡商业职业技术学院 电子工程系, 江苏 无锡 214153)

**摘要:**以 300kN 抗压强度试验机信号调理电路为基础,探讨在压力信号调理电路设计过程中容易忽视或片面理解的电源解耦、失调电压漂移因素、RFI 片内整流误差等五个问题,并提出相应对策。

**关键词:**压力;信号调理;解耦;RFI 滤波

**中图分类号:** O453

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1671-0142(2005)06-0007-04

300kN 抗压强度试验机目前广泛使用的是液压工作方式,通过液压传动对被测试件加压。液压传感器将压力信号转换为电信号,输入信号调理电路(signal conditioning circuit)。信号调理电路主要由放大、滤波和模数转换组成(图 1)。

目前国内外各科研院所、高校、芯片制造商,对信号调理都有专门研究。美国模拟器件公司(ADI)、美信公司(Maxim)针对调理电路生产有专用芯片;美国国家仪器公司(NI)生产供虚拟仪器(VI)专用信号调理模块;凌特公司(Linear Technology)对信号调理也有专门的研究,与微软合作将嵌入式系统应用于信号调理之中。国内一些厂商也生产信号调理的专用模块。总的来说,专用模块价位较高,在 300kN 压力试验机中使用量不大,国内抗压试验机中调理电路主流以自行设计为主。以实践研究为基础,就抗压强度试验机中压力测试仪中的信号调理容易忽视或片面理解的几个问题进行分析,并提出相应对策。

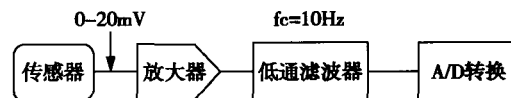


图 1 压力信号调理原理框图

总的来看,专用模块价位较高,在 300kN 压力试验机中使用量不大,国内抗压试验机中调理电路主流以自行设计为主。以实践研究为基础,就抗压强度试验机中压力测试仪中的信号调理容易忽视或片面理解的几个问题进行分析,并提出相应对策。

## 1、电源旁路、解耦不可简单地用 $0.1\mu\text{F}$ 电容旁路

电源解耦通常是用旁路电容器(典型值为  $0.1\mu\text{F}$ )连接在每个 IC 的电源引脚和地之间,达到抑制瞬态电压的目的<sup>[1]</sup>。但是有些情况简单地旁路并不能达到预想的效果,甚至产生比根本没有旁路电容器更坏的瞬态电压。因为进行电源解耦时必须明确知道电路中的电流在何处产生,从何处返回和通过什么路径返回,然后通过适当的路径旁路才能达成旁路解耦的目的。

图 2a 表示的是一无效的负电源端的去耦,信号电流通过去耦电容和较长的地线形成回路,随着信号的变化,在地线和负电源上会形成电位的波动,事实上由于去耦电容的错误连接所形成的干扰有可能

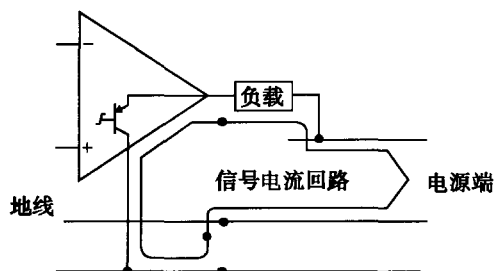


图 2a 无效的负电源去耦

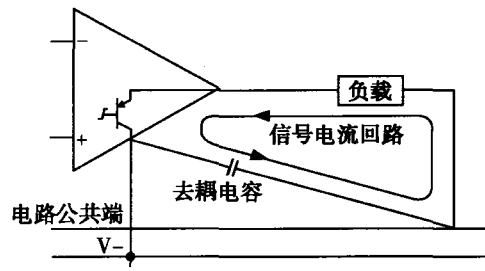


图 2b 优化之后的去耦电路

比想要消除的干扰还要厉害。

图 2b 是经优化之后的去耦电路,信号电流回路未经过较长地线形成回路,只要电容选择恰当,便可大大减小在地线和负电源上所形成的电位波动。如果负载状况较复杂,需考虑得更细一些。图 2c 放大器所带负载与虚地相连(比如负载的地与运放的地不是同一个地),信号电流将不能返回地线,必须再用一个放大器建立一个虚地缓冲,这时用去耦电容将第一个放大器的负电源与第二个放大器的正电源端相连,使信号电流形成回路。因此,正确理解去耦的关键是要弄清负载是谁,电流从何处流过,正确使用去耦电容的关键是绕开地线和其它信号将这些电流旁路。总之,不能用简单的电容接地去处理一个复杂的问题。

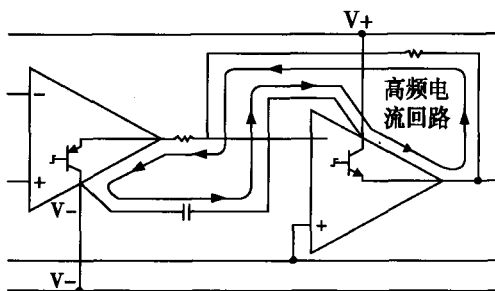


图 2c 虚地负载的去耦电路

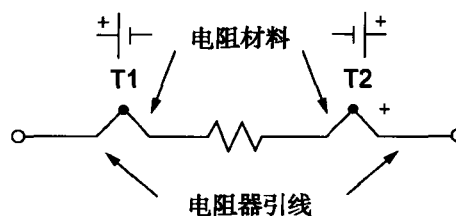


图 3 电阻内部热电势示意图

目前 300kN 抗压试验机中使用的仪表放大器有 AD620、AD623, 如果仪表放大器的地与 A/D 转换芯片的地不是同一个,在仪表放大器的第五脚必须再用一普通运放做一个虚地缓冲。

## 2、失调电压的漂移是多因素引起的

失调电压漂移误差通常认为与有源器件(IC 仪表放大器或采用运放组成分立的仪表放大器)及电阻的温度系数有关的误差,实际上还包括电路元器件或布线中的热电偶效应<sup>[2]</sup>。所谓的热电偶效应,是两种不同的导体连接在一起时,在接点处产生电动势的现象。当这种双金属结点被加热,就会形成一个简单的热电偶而形成电动势。电路中遇到的焊锡、导线以及接线柱等都可能产生实际的热电势。以下是出现热电势的两种情况。

一是电阻内部形成的热电偶。图 3 所示为电阻材料与电阻引线之间存在的热电势,对于碳膜电阻高达  $400\mu\text{V}/^\circ\text{C}$  而特殊结构的精密电阻(如 RCD Components 公司的 HP 系列电阻)可小到  $0.05\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ ,一般金属膜电阻为  $20\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ 。在交变信号中或者在电阻两端处于同一温度场情况下,对信号调理影响不太大,但如果电阻两端的散热不一样或者有一端靠近热源,使得电阻的一端温度比另一端温度高,不同的热电势在调理电路中将会引起一直流误差。以普通金属膜电阻为例,两端温度相差  $1^\circ\text{C}$ ,两端电势之差为  $20\mu\text{V}$ ,对于高精度运放的输入端这样的误差是不能容忍的。图 4a、4b 所示为两种不同电阻的安装方式,错误的方式中,由于气流的作用使得电阻两端的散热不均匀,引起电阻两端的温度场不一样,如果改变一下安装方式,使得气流并行流过电阻的轴线,电阻两端的散热基本一致,可大大减小热电势引起的误差。

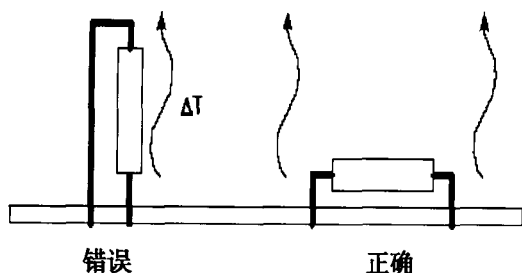


图 4a 插脚电阻安装示意图

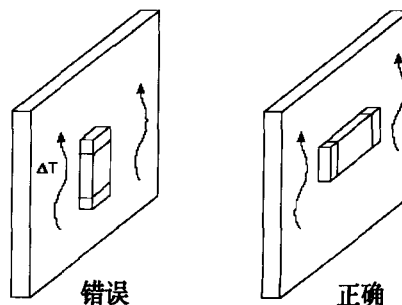


图 4b 贴片元件安装示意图

二是实际电路中的热电偶。图 5 所示为实际电路中形成的热电偶,桥路结构的压力传感器将压力信号转换为电信号,经电阻以差分方式送仪表放大器。每个电阻连线处共形成四个热电偶,两个为电阻内部的热电偶,两个为电阻引线与 PCB 板铜箔导线形成的热电偶。另外 PCB 板铜箔导线与集成运放的引脚(科瓦铁镍钴合金)之间形成的热电偶,大约为  $35\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ ,有些集成放大器为了减小热电热而采用铜引脚。

显然,在此简单的压力调理电路中,要减小误差必须有精细的设计,由于它们经常是成对地出现,尽量使这些成对的热电偶保持相同的温度是很有效的措施。为此一般用热屏蔽、散热器、沿等温线排列或将大功率电路和小功率电路分开等方法,使热梯度减到最小。在某些特殊场合,放大器输入端电路中正负两端形成热电偶的结点数不一样,为了保证电路热电偶的对称性,可增加一些“傀儡”元件使结点对称,以减小热电势误差。

### 3、射频干扰(RFI)片内整流误差

当有很强的 RF 干扰存在时,RF 信号可能被 IC 整流之后会表现为 DC 输出失调误差<sup>[3]</sup>。发生 RF 整流是因为即使最好的仪表放大器在 20kHz 以上的频率条件下也没有 CMR 能力。很强的 RF 信号首先被仪表放大器的输入级整流,然后表现为 DC 失调误差。一旦被整流,其输出端的低通滤波怎么也不能去除这个误差。如果 RFI 是断续性的,这会导致无法检测的测量误差。解决射频干扰片内整流误差最好的方法是在放大器的输入端增加一差分低通滤波器(见图 6),对 RF 干扰信号衰减。

图 6 中  $R_{1a}=R_{1b}$ 、 $C_{1a}=C_{1b}$  保持电路平衡,以便对 RF 信号有较高的共模抑制能力。 $C_2$  并联于输入端其作用是减小由  $R_{1a}$ 、 $R_{1b}$ 、 $C_{1a}$ 、 $C_{1b}$  失配所引起交流共模抑制误差。RFI 滤波器有两个带宽即差模带宽和共模带宽,差模带宽决定了滤波对差分输入信号的频率响应,共模带宽决定了对共模 RF 信号的抑制能力。在设计 RFI 滤波器时应注意以下问题,所有元件的引脚尽可能短, $R_1$ 、 $R_2$  可用误差为 1% 的金属膜电阻,三个电容要求选用误差小于 5% 的传统的镀银云母电容或使用误差小于 2% 的新型的 PPS 薄膜电容。图 7 是 AD620 输入端所配置的 RFI 滤波器及电阻电容的典型值。

### 4、放大器之后的低通滤波电路不可用常规 1000Hz 的截止频率

抗压试验机中压力传感器信号变化很慢的,典型带宽最高是 10Hz,这样的信号滤波是相当容易的,要想截去干扰成分,必须选择低通滤波器的截止频率  $f_c$ ,目前出售的信号调理器是通用型产品,设计者不得不考虑适用范围问题。一般低通滤波器截止频率  $f_c$  设计为 1000Hz,而  $f_c$  是根据压力信号变化速率而确定的,压力信号的变化速率  $V$  与试验机的加载速度有关,它不是一个固定参数。通过实验证明低通滤波器的截止频率  $f_c$  设计在 5~10Hz 为好(见图 8)。这样能有效地消除工频及高频干扰。为提高滤波性能,最好采用三阶有源低通滤波器。

### 5、重视布线工艺

干扰现象在整机调试各工作中经常出现,其原因是多方面的。除外界因素造成干扰外,印制板布线

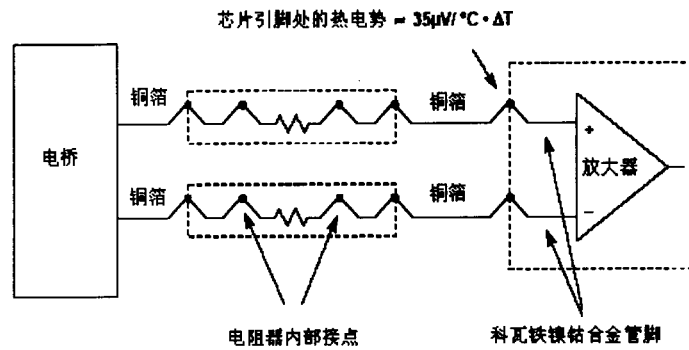


图 5 简单实际电路中的热电偶

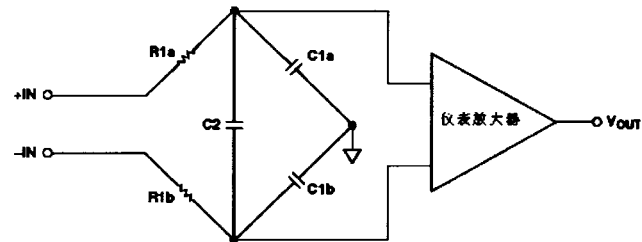


图 6 RFI 滤波器示意图

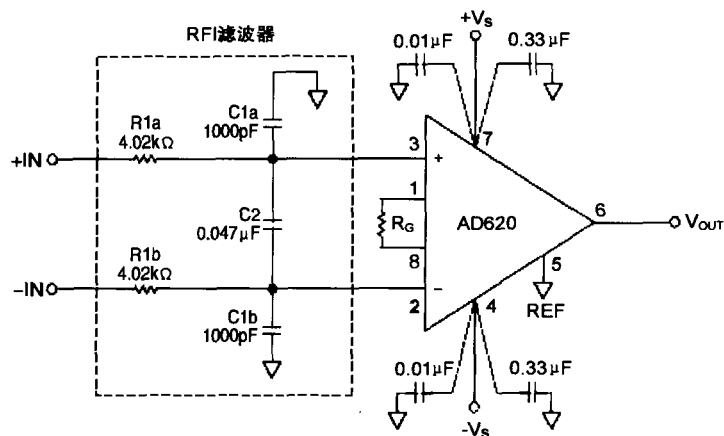


图 7 RFI 滤波器的典型应用

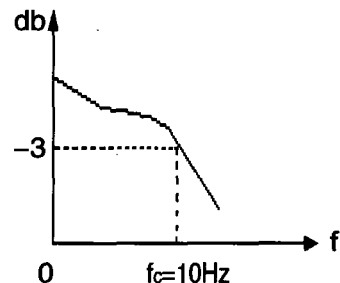


图 8 低通滤波器的特性曲线

不合理,元器件安装位置不当等都可能造成干扰。这些干扰,在排版设计中应重视,要想尽各种办法防止噪声进入系统。认为滤波可以除去噪声,而允许任何形式的噪声进入系统是不对的。

在印制电路的地线布设中,首先考虑各级的内部接地,同级电路的几个接地点要尽量集中,称为一点接地。同级处理好之后,几部分地线分别通过各自地线汇总到线路的总接点,在适当的地方大面积布地。另外注意将模拟的信号调理电路与数字电路合理分开;电源和地线单独引出,印制板的电源线和地线印制条尽量宽,以减小线阻抗,压力传感器输出引线 with 线路板的联接尽可能不用插座;将发热元件与热敏感元件分开。总之要通过一切措施来抑制地线的共阻抗干扰、电源干扰、电磁场干扰及热干扰。

## 6、结语

经验证明,如果在压力测试仪信号调理电路开发阶段思考解决上述问题可大大减小开发费用,如果产品出厂之后再来解决上述问题,所需费用将会数倍甚至数十倍地增加。目前可以在设计阶段将 PCB 板设计与模拟仿真相结合,为短期内设计出高质量高可靠性的产品提供了可能。

### 参考文献:

- [1] Paul Brokaw. An IC Amplifier User's Guide to Decoupling, Grounding, and Making Things Go Right for a Change [J]. AN-202 APPLICATION NOTE.
- [2] Charles Kitchin, Lew Counts. 仪表放大器应用工程师指南(第 2 版)[M]. 冯新强译. Analog Devices, Inc., 2005.
- [3] Charles Kitchin, Lew Counts, and Moshe Gerstenhaber. Reducing RFI Rectification Errors in In-Amp Circuits [J]. AN-671 APPLICATION NOTE.

## Error Budget Analysis and Error Compensation in Pressure Signal Conditioning Circuit of 300kN Test Machine

DING Bang-jun

(Electronic engineering department, Wuxi vocational institute of commercial technology, Wuxi Jiangsu 214153, China)

**Abstract:** The bridge circuit source errors and instrumentation amplifier RTI/ RTO errors in pressure signal conditioning circuit of 300kN test machine are analyzed, and the total error in the worst case is estimated. The measures of error compensation are also discussed.

**Keys words:** pressure signal conditioning; bridge circuit source error; RTI and RTO error

(责任编辑 崔洁)