

压电晶体式涡街流量传感器放大电路的设计

杜清府

(山东大学威海分校控制系 威海 264209)

Design of the Amplifying Circuit for Piezoelectric Crystal Vortex Flow Transducer

摘要 通过对涡街信号频谱的分析,发现涡街传感器主要干扰源为固有振荡频率,并设计了解决此种干扰的传感器放大电路。

关键词 涡街流量计 固有振荡频率 低通滤波器

Abstract Through analyzing the spectrum of the signals of vortex flow transducer, the author found that the vortex flowmeter is mainly disturbed by the frequency of natural oscillation, and designs the amplifying circuit of the transducer to solve this problem of disturbance.

Keywords Vortex flowmeter Frequency of natural oscillation Low-pass filter

0 引言

由于涡街流量传感器无活动部件,重复性好,测量精度较高,输出信号频率与流量成正比等优点,其市场规模迅速扩大,并且市场占有率也逐年提高。

涡街流量传感器设计的关键性技术在于 3 个方面:①传感器表体设计。当流体经过时,产生稳定的卡门涡街信号;②传感器探头的设计。将压电晶体封装在探头内,卡门涡街信号作用于探头时,探头内的压电晶体将涡街信号变成涡街电信号;③放大电路设计。将涡街电信号放大、整形变成相应的脉冲信号。

各相关仪表厂经过多年的研究,表体设计已经成熟,各种卡门涡街发生器的论述已经很多。而后两个方面的设计有很大的关联性,传感器探头设计得好,信噪比大、灵敏度高、信号大,后边的放大电路设计就比较容易,反之,后边的电路设计就困难。多年来,各相关仪表厂研究发现,立片式(压电晶体竖立放置)结构的探头有很大优点,其信号大(可达 100mV),信噪比较高,比圆片式抗震性好。但是,从目前各厂家生产的传感器的使用情况来看,并不令人十分满意。暴露出来的主要问题是:传感器在上限流速时,输出有掉波或增波现象,有时上限频率根本上不去;另一方面,下限流速也达不到设计要求,也就是流体流速接近下限时无脉冲信号输出。所以,现在大多数涡街流量传感器只是在中间流速段时信号比较稳定,这就限制了涡街流量传感器的应用,此问题一直困扰着各涡街仪表生产厂家。为此,笔者应有关厂方要求,对其传感器信号波形进行测量,并进行频谱分析。经分析发现传感器探头的主要问题在于:其固有振荡频率信号干扰着传感器信号,并且涡街信号频率越高,固有频率信号越强;另外,涡街信号在上限和下限流速时幅值差异很

大。

1 传感器探头固有振荡频率

很多资料都介绍涡街信号在高流速时附有高频干扰信号,并有要求在放大电路增加低通滤波器环节,但这种高频干扰信号到底有多大,频率是多少?都没有一个定量的指标,因此,设计放大电路时就比较盲目,设计出的放大电路应用效果不好。图 1 是某仪表厂 50mm 管径涡街流量传感器压电晶体输出信号的波形图,将它进行频谱分析后得到图 2 所示的频谱图,其中 420Hz 谱线为流量卡门涡街信号,它和实际的流量值相符合,2988Hz 谱线为传感器探头高频干扰信号。通过多次实验发现,当改变管道内流体的流量时,频谱图

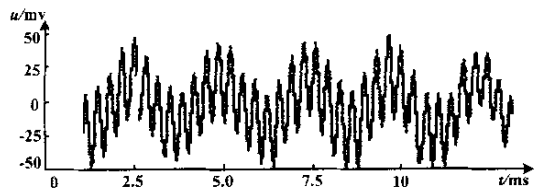


图 1 压电晶体输出信号(50mm 管径)

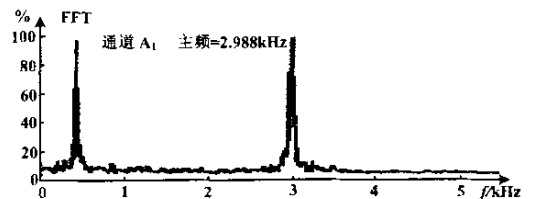


图 2 压电晶体波形频谱

中左边的谱线随相应的流量增加(减小)而右移(左移),而右边的 2988Hz 的谱线位置始终不动。在换其它同规格的探头实验时,高频干扰信号也在 2988Hz

附近。而不同规格的探头,其高频干扰信号的频率则各不相同,图3所示为100mm管径涡街流量传感器压电晶体输出信号的波形图,图4为其频谱图,可以看到其高频干扰信号为2080Hz。经对多种规格传感器探头进行对比,发现不同规格的探头(图5)其高度h各不相同。进一步研究发现,高频干扰信号的频率与探头的高度、直径、材料、壁厚、形状等因素有关,它是传感器探头固有的频率,叫做固有振荡频率。探头的高度越大,固有频率就越低,信号就越大。同一规格探头,涡街信号频率越高(接近固有频率),固有频率的信号对涡街信号的影响就越大。所以,当涡街信号频率非常靠近固有频率时,涡街信号就会被固有频率信号淹没。

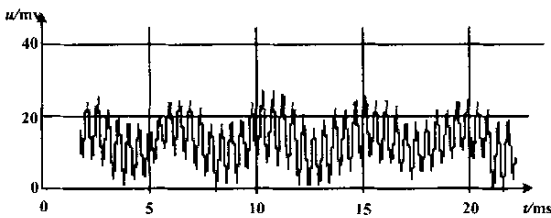


图3 压电晶体输出信号(100mm管径)

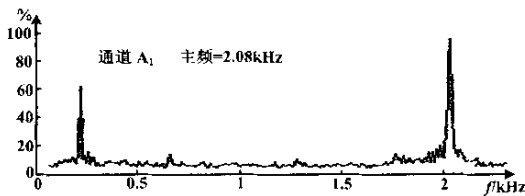


图4 压电晶体

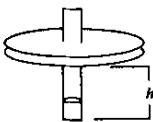


图5 探头结构

在测量蒸汽流量时,50mm管径涡街流量传感器测量上限蒸汽流速为70m/s,涡街信号频率在1400Hz左右。此流速时40mm管径传感器的信号频率为1600Hz,通常它们采用同一规格的探头,其固有频率为3000Hz左右,此时要分离出涡街信号就比较困难,这将对放大电路的设计提出很高的要求。

卡门涡街作用于传感器探头的力与流体介质的密度、流速的平方近似成正比,测量气体时,流速在4~60m/s之间、蒸汽在5~75m/s之间、液体在0.3~7m/s之间。由此可知上限流速和下限流速之比大于15,所以,上限流速涡街信号是下限流速的225倍左右(设

介质密度不变),大信号到200mV以上,小信号小于1mV,再加上其它各种干扰信号,这也是设计放大电路的难点所在。

2 放大器设计

2.1 电荷放大器

放大电路如图6所示,第1级为电荷放大器。当流速在下限附近时,信号很微弱,经过电荷放大器放大为电压信号;当流速在上限附近时,信号很大,肖特基二极管起到自动增益控制作用,放大倍数变小,使得流速上、下限时输出电压信号差异变小。

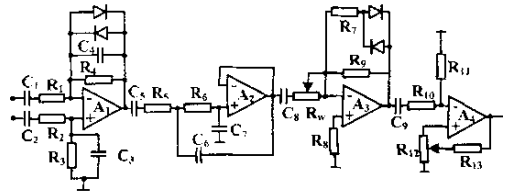


图6 电荷放大器—整形电路原理图

2.2 低通滤波器

低通滤波器就是要滤掉固有频率信号,使涡街信号能通过。但是,涡街的上限信号和固有振荡频率信号相差不到2倍,而且有时固有振荡信号幅值还大于涡街信号,怎样设计这个电路呢?原则是什么?先看有用的涡街信号,下限幅值只是上限的200分之1,假设下限幅值为1mV,上限信号幅值为200mV,那么滤波的结果应该是有用的涡街信号大于1mV,而固有干扰信号要小于(远小于更好)1mV,滤波器阶数越高,效果越好。图6中的第2级电路为二阶滤波器,若需要更高阶滤波器,可以串联同样的电路来实现。下面以50mm管径的传感器为例来确定电路参数。设 R_5 、 R_6 相等, C_6 、 C_7 相等,用两级串联构成4阶滤波器,则

$$u_o = \frac{1}{(1 + j\omega RC)^4} \times u_i$$

根据上述要求,确定RC参数:频率为1400Hz,幅值为200mV的信号输出2mV;频率为3000Hz,幅值为200mV的信号输出0.5mV。RC的数值不准确定。

2.3 自动增益控制放大器

图6中的第3级电路为自动增益控制放大器,其输出信号幅值达到一定值时才能触发后级的施密特触发器,而滤波器输出的信号上限和下限幅值相差200倍,对小信号放大倍数大,大信号放大倍数小,所以 $R_9/R_7=200$,使放大倍数自动调节到200倍。当信号较小时,二极管不导通,放大倍数为 R_9/R_7 ;一旦二极管导通,放大倍数就变小,起到自动增益控制的作用。

图 7 为实际电路输出波形,图 8 为其频谱图,可以看到固有振荡信号,说明前级滤波不够(一级二阶低通滤波)。图 9 为两级四阶低通滤波器滤波后放大输出波形图,图 10 为其频谱图。

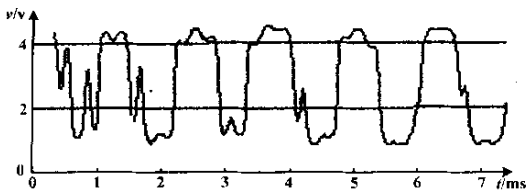


图 7 自动增益控制放大器输出波形

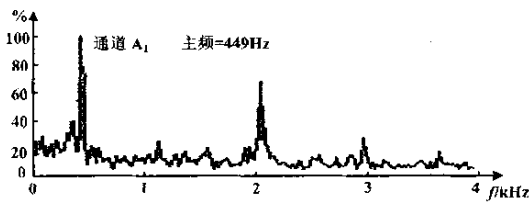


图 8 自动增益控制输出波形频谱

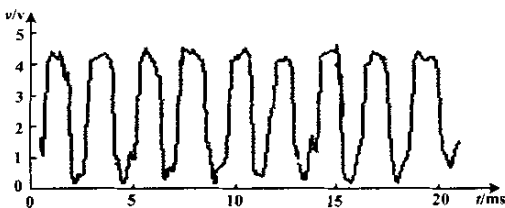


图 9 自动增益放大器输出波形二级四阶

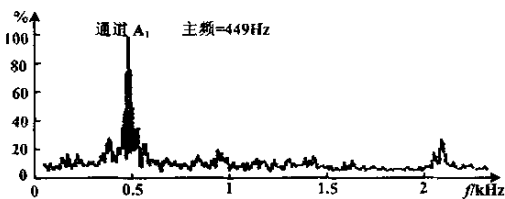


图 10 图 9 相应的频谱图

2.4 整形电路

利用施密特触发器的滞回特性将涡街信号取出来,适当设置域值电压,可以将没有滤去的干扰信号去掉。如图 7 所示,施密特触发器正、负域值电压为图中上、下两条线间的值时,虽然波形图中含有固有干扰信号,但是施密特触发器输出中只有涡街信号的方波而无固有干扰信号。为了调试方便, R_{12} 设计成电位器用于调节滞回电压。

3 结束语

按照上述思想设计的涡街信号放大器已在几个涡

街流量传感器生产厂家得到应用,取得了很好的效果,下限频率更低,上限更高,量程比增加 20% 左右。

参考文献

- 1 孙玉杰. 涡街流量计前置放大器的研制. 东北电力技术, 1998. 8
- 2 徐科军. 涡街流量计输出信号谱分析方法比较. 合肥工业大学学报, 1994. 6

修改稿收到日期 2004 年 5 月 14 日。

作者杜清府,男,1964 年生,1988 年毕业于山东大学,获学士学位,副教授,主要从事测控技术和计算机应用的教学和科研工作。

(上接第 51 页)

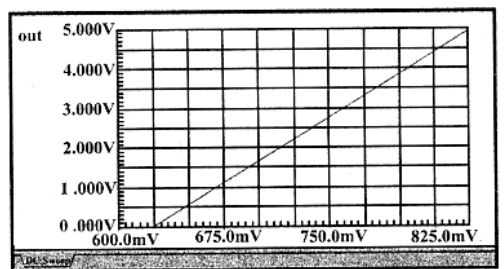


图 6 温补电路的输入输出特性曲线

把温度补偿电路的输出电压进行模—数转换作为线性化电路的第二输出量,采用数据融合或神经网络的方法进行温度误差修正以达到更高要求的测量精度。

4 结束语

实验测试与实际应用表明,各电路运行可靠,性能稳定,精度高,故障率低。测量显示组件电路及传感器的配套电路——激、拾振与温度补偿电路的实现,使检测系统具有自动化程度高、检测速度快、高精度多参数显示的特点,体现了良好的实用性与较高的性价比,可以满足多种测试环境的要求。

参考文献

- 1 郑子礼. 单片机及其外围集成电路技术手册 [M]. 光明日报出版社, 1999
- 2 马忠梅, 籍顺心. 单片机的语言应用程序设计 [M]. 北京航空航天大学出版社, 1998
- 3 王幸之, 王雷, 王闯, 等. 单片机应用系统抗干扰技术 [M]. 北京航空航天大学出版社, 1999

修改稿收到日期 2004-09-02。

第一作者张 男,1974 年生,2004 年毕业于空军工程大学,获硕士学位,现为在读博士研究生,主要研究方向为检测与自动化、传感器网络与网络传感器、传感器数据融合及远程检测与故障诊断。