

# 一种科氏流量计的改进驱动电路研究

侯山山<sup>1</sup>, 黄丹平<sup>1,2,3</sup>, 徐同旭<sup>1</sup>, 郭康<sup>1</sup>, 张芯豪<sup>1</sup>

(1. 四川理工学院机械工程学院, 四川 自贡 643000; 2. 人工智能四川省重点实验室, 四川 自贡 643000;  
3. 固态酿造关键技术研究四川省院士(专家)工作站, 四川 自贡 643000)

**摘要:**稳定振动的流量管保证着科氏流量计流量测量的准确性,而维持流量管振动的关键是流量计驱动电路。现阶段科氏质量流量计模拟驱动存在一种驱动电路驱动一种型号一次仪表、电路离散元器件繁多、驱动信号幅值不稳定等问题,从而导致流量管振动不稳定,影响流量计算。针对其问题,改进模拟驱动电路,由VCA810和OPA820集成芯片组成的自动增益模块替代离散元器件组成的增益电路,由以TDA2030为核心芯片的集成功放模块代替原有功率放大电路。在驱动电路中,可调整增益模块稳幅单元来改变输出信号幅值,使驱动电路满足不同一次仪表对功率的需求,从而实现驱动多种型号一次仪表的功能。对所研发试验级驱动电路进行测试,实验结果表明所研发驱动电路可以驱动不同型号一次仪表,起振时间满足实际工况需求。

**关键词:**改进电路;集成模块;平稳驱动;可调增益

**中图分类号:**TN710

**文献标志码:**A

## 引言

科氏质量流量计是发展迅速的新型质量流量计之一,因其测量流体质量高准确度、较长使用寿命与不受流体压强、腐蚀性影响的特点,在工业上得到广泛应用。科氏流量计主要由两部分<sup>[1]</sup>组成,其一为一次仪表,即流量传感器,由流量管、速度传感器、温度检测传感器、电磁激振器等组成,一般封装在金属防爆壳内;第二部分为二次仪表,由信号处理系统、显示模块和驱动电路组成,其中驱动电路为流量管稳定振动提供能量。市场销售与应用的科氏流量计,基本使用模拟驱动方法驱动

流量管,维持流量管振动。

然而,目前所研究模拟驱动电路多采用离散元件,占用体积大,元件之间干扰较多,驱动信号幅值不稳定,且不能驱动不同型号一次仪表,因此影响流量测量,增加生产成本。本文提出一种改进传统模拟驱动电路的方法,用集成芯片替代离散元器件组成的电路模块,使模拟驱动电路趋于模块化,结构精简,占用空间更小,并减少元器件和外部环境对驱动电路干扰,输出稳定幅值的驱动信号,使流量管平稳起振,且起振速度更快。此外,还可驱动多种不同型号一次仪表,降低成本。

收稿日期:2017-07-25

基金项目:过程装备与控制工程四川省高校重点实验室项目(GK201602)

作者简介:侯山山(1993-),男,四川德阳人,硕士生,主要从事智能仪器仪表方面的研究,(E-mail)1455151739@qq.com;

通信作者:黄丹平(1968-),男,四川自贡人,副教授,博士,主要从事测控技术方面的研究,(E-mail)984554142@qq.com

## 1 科氏流量计自激振动原理

科氏流量计自激振动系统<sup>[1-5]</sup>结构如图1所示。自激振动系统由模拟驱动电路、流量管和电磁激振器组成。

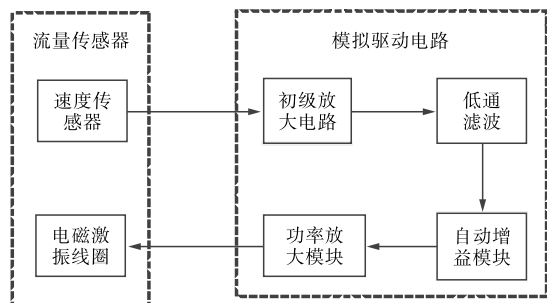


图1 科氏流量计自激振动结构图

驱动电路通过流量管两端速度传感器获取振动信号,该信号经过放大滤波后,再经自动增益、功率放大模块得到驱动信号,驱动电磁激振器,使流量管以一定规律振动,其振动再由传感器捕获,形成回路,由此建立起自激振动。

自激振动平衡的条件为<sup>[1-3]</sup>:

$$|H(j\omega)F(j\omega)| = 1 \quad (1)$$

式(1)为幅值平衡条件。模拟驱动系统若满足公式(2)条件,则流量管可自行起振。

$$|H(j\omega)F(j\omega)| > 1 \quad (2)$$

## 2 模拟驱动电路组成

由图1中可知,科氏流量计模拟驱动电路<sup>[6-8]</sup>主要包含四部分,初级放大电路、低通滤波电路、自动增益模块和功率放大模块。在驱动系统工作时,传感器输出信号与高频干扰信号,经初级放大电路进行放大,再输入到低通滤波电路,滤除高频信号,保留流量管主频附近的信号。

自动增益模块接收来自滤波电路输出的信号,其输出为与输入呈反向的正弦曲线,从而保证驱动力相位的自适应满足<sup>[6]</sup>,无需移相操作。同时自动增益稳幅单元,控制输出信号的幅值,使其稳定在期望幅值附近,以保证流量管振动的稳定性。

功率放大模块为流量管振动提供能量,来自自动增益模块的稳幅信号将被放大为稳定幅值的驱动信号,驱

动流量管振动。功放增益效果好坏,将直接影响流量管驱动效果。

## 3 模拟驱动电路改进方案

传统模拟驱动电路能够驱动流量管,使其以接近主频进行振动。但是其驱动电路中离散元件较多,如图2所示,元件之间易产生相互干扰,影响驱动效果。首先,当驱动电路处于工作状态时,过多的离散元器件将产生相互干扰,易在驱动信号中引入噪声,从而导致流量管振动不稳定。其次,一个模拟驱动电路通常只能使一种型号仪表的流量管起振,兼容性差。此外,过多离散元器件增加了驱动电路本身尺寸,从而增加仪表本身尺寸,给仪表安装造成不便。

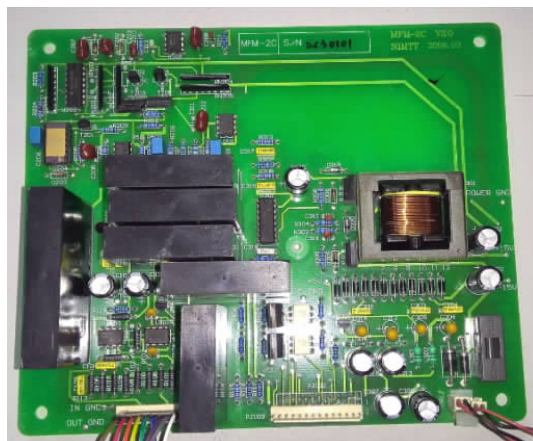


图2 离散元器件模拟驱动电路

针对离散元器件可能产生的问题,本文提出由放大滤波模块、自动增益模块和功放模块三部分组成的模拟驱动电路。放大滤波模块为带放大信号作用的二阶低通滤波器,自动增益模块为使用VCA810和OPA820芯片组成的自动增益控制电路,功放模块为采用TDA2030芯片组成的功放电路。该驱动电路减少离散电子元件使用数量,精简电路结构,减少噪声的引入,从而增加流量管振动平稳性,提高流量管起振速度。

### 3.1 低通滤波器

若采用一阶滤波器进行滤波,虽其结构简单,但经过一阶滤波器滤波后,信号相位与幅值发生较大改变。因科氏质量流量计对驱动信号相位与幅值要求较高,一阶滤波器滤波后信号相位与幅值发生严重变形,直接影响流量管起振效果。因此,采用带放大作用的二阶滤波

器<sup>[9-10]</sup>处理信号。

如图 3 所示,为所研发二阶低通滤波电路。所研发电路采用 C1、R1、R2、R3、C2、C3、Rf 和 OP297 组成二阶低通滤波器,来消除传感器输出信号中高频成分,提高起振信号频率精度。与一阶滤波器相比较,二阶滤波器隔高频性能更好,通带衰减更快。由于现有科氏质量流量计最高信号起振频率 1000 Hz 以下,在研发电路中,采用具有精密、低通道、低失调电压和低温漂的集成芯片 OP297,组成二阶滤波器。该滤波器具有良好的滤除高频信号特点,可提高起振电路工作性能。

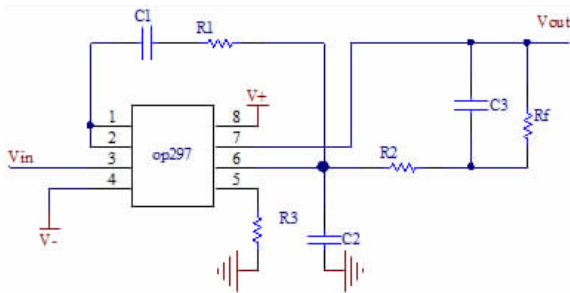


图 3 二阶低通滤波电路图

在滤波电路中,可通过调整 R2 和 Rf 电阻值来调整滤波电路的截止频率,截止频率计算公式为:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{C_2 C_3 R_2 R_f}} \quad (3)$$

对所研发二阶滤波电路滤波性能进行测试,结果如图 4 与图 5 所示。图 4 为叠加干扰信号的传感器信号,图 5 为二阶滤波器滤波输出信号。

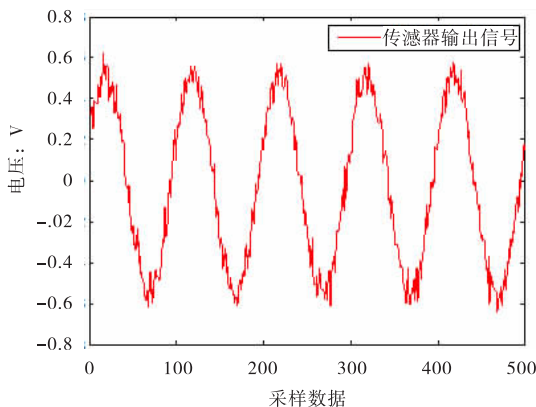


图 4 叠加干扰的传感器信号

由图 4 与图 5 可知,所研发二阶滤波器能够有效滤除高频干扰。因此,采用二阶滤波器的模拟驱动电路,能够有效滤除噪声,保留所需振动频带,有利于平稳、快

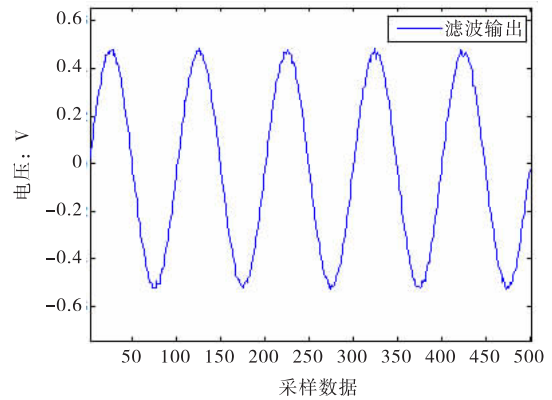


图 5 本文滤波器输出信号

速驱动流量管。

### 3.2 自动增益模块

科氏质量流量计驱动信号幅值的稳定性对其正常起振至关重要,稳定的幅值输出能更快驱动流量管平稳起振。在科氏流量计自激振动系统中,科氏流量计流量管具有低通滤波效果,可自动从噪声中选出满足测量系统所需固有振动频率,选出频率后,需对信号进行稳幅控制。所研发科氏质量流量计驱动电路采用 VCA810 和 OPA820 集成芯片组成自动增益电路<sup>[11-13]</sup>,如图 6 所示,其中 VCA810 芯片增益调节范围较宽(在 -40 dB ~ +40 dB),具有较高增益线性度。OPA820 芯片组成外部方根检测电路,对 VCA810 增益芯片输出信号进行检波,从而起到稳幅效果。电路中添加一些简单的外围元器件,组成自动增益模块。

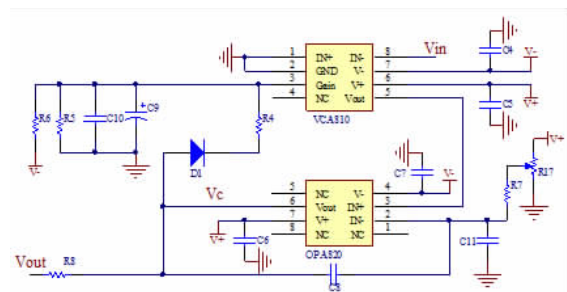


图 6 自动增益模块

自动控制增益电路工作原理如下:当信号由 VCA810 控制芯片输出后,再由 OPA820 芯片组成的检波器,对信号进行检波,得出信号强度电压 Vc。Vc 为该 VCA810 增益控制芯片的增益电压,该电压输入到 VCA810 控制端 Gain 端口,可起到稳定信号电压幅值的作用。由于 VCA810 增益控制端采用负电压控制,其计

算公式为:

$$\text{Gain} = -40(V_c + 1) \quad (4)$$

上述自动增益电路能使输出信号幅值稳定在 0 V ~ 10 V 之间任意值,由此可消除传统模拟驱动一种类型驱动电路只能驱动一种型号流量计的缺点。所研发驱动电路只需改变可变增益电阻 R17 的值,就能改变信号电压幅值,经过功率放大后就能得到不同输出功率,驱动不同型号的流量管。为验证自动控制增益电路实际应用效果,将 R17 设置在某一固定值时,通过信号发生器输出频率为 181 Hz,幅值为 50 mV ~ 800 mV 之间的正弦信号,并将其接入到自动增益电路输入端,使用示波器对自动增益电路输出结果进行测试,读取输出信号峰值电压,实验测试结果见表 1。

表 1 自动增益幅值测试结果

输入电压/V	输出电压/V	输入电压/V	输出电压/V
0.050	0.163	0.450	0.161
0.080	0.163	0.600	0.163
0.150	0.162	0.800	0.162

由表 1 的测试结果可知,当可变单元电阻为某一固定的值时,改变自动增益控制电路输入端信号幅值,其输出信号幅值能准确稳定在系统所需范围。若改变可变增益单元电阻值,则可得到不同电压峰值,使驱动电路能输出不同的功率,从而所研发驱动电路能满足快速平稳驱动不同类型科氏质量流量计。

### 3.3 功率放大模块

驱动电路的功率放大模块为模拟驱动关键部分,为流量管提供稳定振动所需驱动力。本文所使用功率放大模块,以 TDA2030 集成功放芯片作为核心组件,如图 7 所示。该芯片是一种低电压、功率可达到 18 W 的放大芯片,芯片不仅具有闭锁自由运作功能,而且提供输出信号短路保护和过热保护。通过二极管 D2 与 D3 实现输出电压的保护,不至于由于输出电压过大,出现烧毁负载线圈现象。该集成芯片的使用,不仅减小功率放大模块尺寸,而且减弱离散元器件之间相互干扰,从而提高流量管的起振效率。

对本文以 TDA2030 核心的功放模块分别在不同幅值正弦信号下进行性能测试,其功放效果如图 8 所示。其中图 8(a)为输入信号幅值 180 mV 时功放输出曲线,可看出功放效果较好。图 8(b)为功放输入输出电压曲

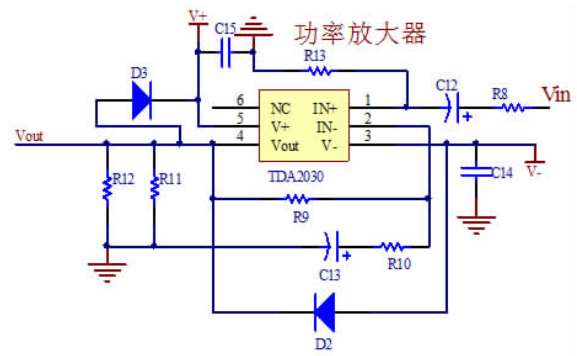
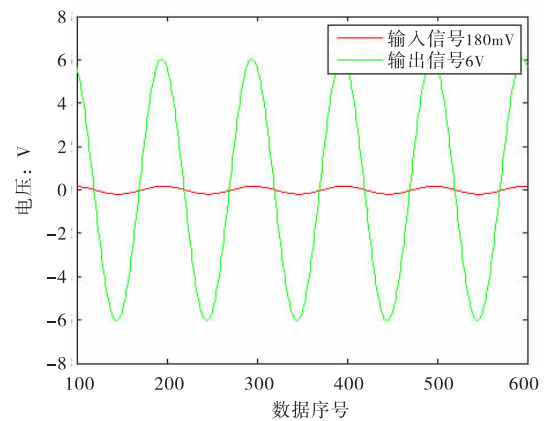
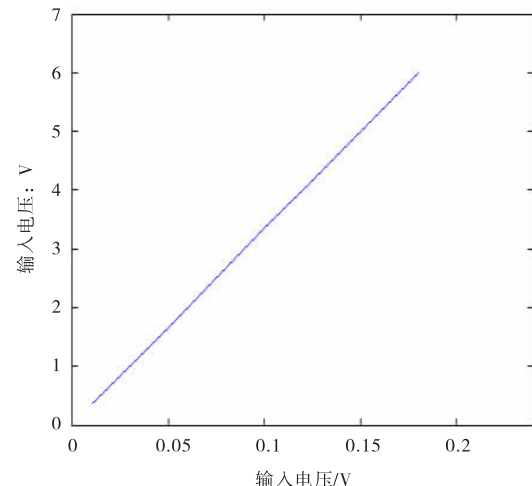


图 7 功率放大器

线,从图中可知该功放模块具有较高的线性放大特点,满足流量计对驱动信号低失真的要求。



(a) 信号放大效果曲线



(b) 功放输入输出曲线

图 8 功率放大电路测试结果

### 3.4 改进模拟驱动电路

本文研发的科氏流量计改进模拟驱动电路原理图如图 9 所示。从图 9 可知,改进模拟驱动电路没有过多的离散元件,可有效避免传统模拟驱动电路离散元件之间的相互干扰。又因自动增益模块稳幅性能对起振效

果影响较大,故定制自动增益模块以避免人工焊接电路 带来的问题,实物连接的试验级模拟驱动如图 10 所示。

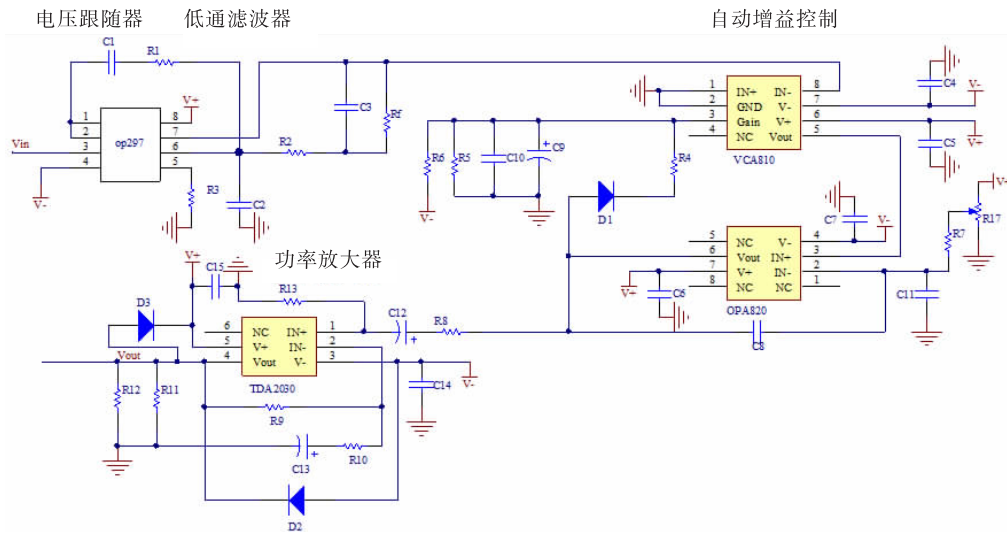


图 9 改进驱动电路原理图

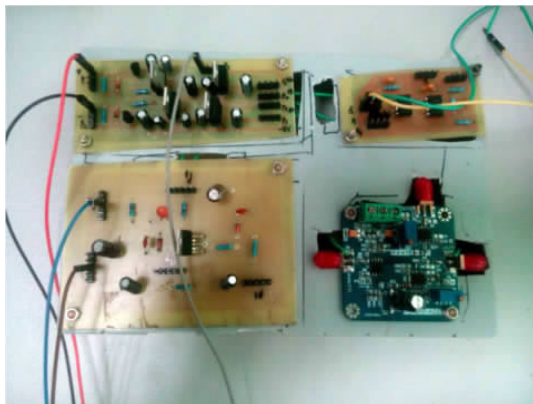


图 10 本文研发试验级驱动电路

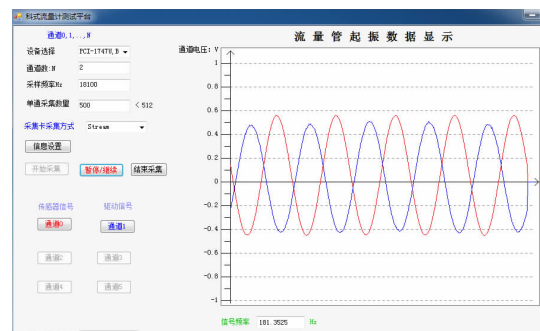


图 11 流量管起振数据显示平台

### 4 驱动电路测试

现以四川中测科技发展有限公司 TH010 型流量传感器作为测试对象,两个流量计传感器流量管主频分别约为 181 Hz、68 Hz,流量计准确度 0.5 级,分别使用离散元器件模拟驱动电路与本文所研发模拟驱动电路进行起振测试。

测试中,将传感器输出信号接入驱动电路中,电磁激振线圈则与驱动电路输出端相连接,同时采用 NI 的 PCI-1747U 数据采集卡采集数据,并在 C#编写的采集显示界面进行动态显示,其振动稳定时状态如图 11 所示。

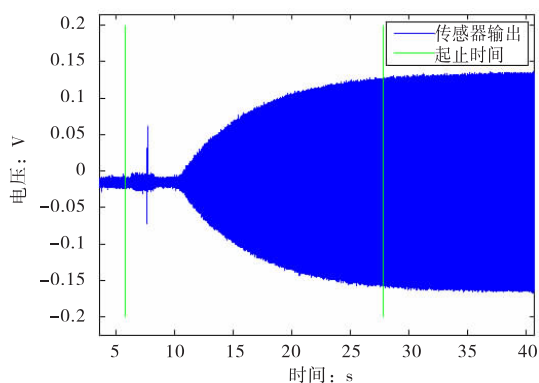
采集结束,将采集数据导入到 Matlab 中,以便于观察传感器信号起振时间曲线。图 2 给出的模拟驱动测

试结果如图 12 所示,本文研发模拟驱动试验结果如图 13 所示。

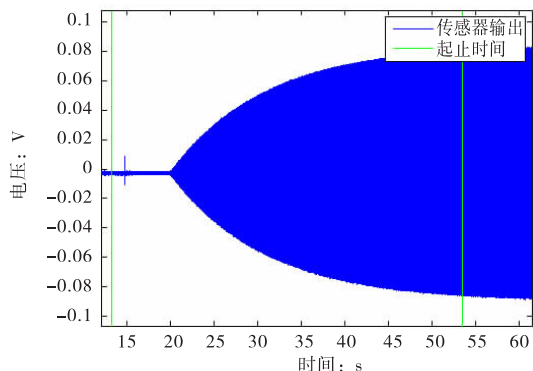
文献[14]以达到稳定幅值 80% 的时间作为流量管起振时间,其模拟驱动起振时间约为 22 s。本测试中流量管起振时间,以上电瞬间开始计时,传感器输出信号幅值达到稳定幅值的 95% 作为终止时刻,两者之差作为起振时间。可从导出的数据计算出,所研发模拟驱动电路平稳驱动流量管,181 Hz 的流量传感器起振时间约 15.8 s,68 Hz 的流量传感器起振时间约 32.8 s,而图 2 中具有较多离散元件模拟驱动电路驱动两流量传感器起振时间分别约 22.3 s 和 40.3 s,相比之下,本文改进模拟驱动电路起振速度更快。

### 5 结束语

为改进科氏质量流量计模拟驱动电路,提高起振速度与增加振动稳定性,采用 VCA810 和 OPA820 集成芯

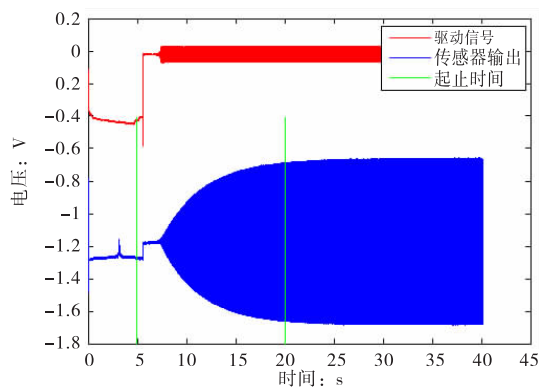


(a) 181 Hz流量传感器起振曲线

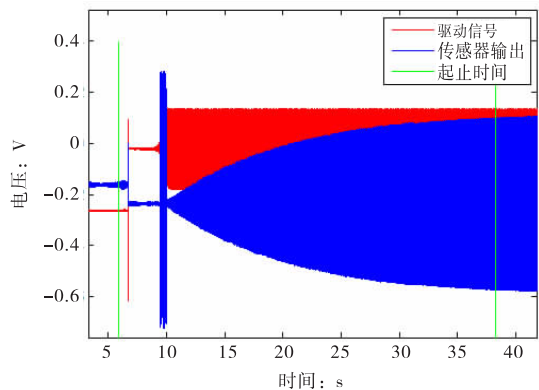


(b) 68 Hz流量传感器起振曲线

图12 离散电路起振结果



(a) 181 Hz流量传感器起振曲线



(b) 68 Hz流量传感器起振曲线

图13 改进模拟驱动起振实验结果

片代替离散元件组成的电路,消除过多元件之间的干扰,从而增加驱动信号的稳定性,提高流量管起振性能。使用改进模拟驱动对不同流量计进行测试,实验结果表明改进模拟驱动电路能够使流量管快速平稳起振,且所研发的驱动电路可以驱动不同型号的科氏质量流量计。此外,改进模拟驱动具有结构简单、工作稳定、兼容性好、抗干扰能力强等特点,满足工程需要。

参考文献:

[1] 徐科军,徐文福.科氏质量流量计模拟驱动方法研究[J].计量学报,2005,26(2):149-154.

[2] 齐晓霞.质量流量计的原理及应用[J].仪器仪表用户,2016,23(4):44-46.

[3] 徐科军,张瀚.一种科氏流量计的数字信号处理与驱动方法研究[J].计量学报,2004,25(4):339-343,379.

[4] 徐科军,于翠欣,苏建徽,等.科里奥利质量流量计激励电路的研制[J].合肥工业大学学报:自然科学版,2000,23(1):37-40.

[5] HENRY M P,ZAMORA M E.Startup and operational techniques for a digital flowmeter:US,US7146280B2 [P].2005-09-27.

[6] 涂亚庆,苏奋华,沈廷整,等.自适应陷波器的科氏流量计信号频率跟踪方法[J].重庆大学学报:自然科学版,2011,34(10):147-152.

[7] CHEN K,ZHENG D Z,FAN S C,et al.Novel Coriolis mass flowmeter signal processing algorithms based on DFT and digital correlation[C]//Proceedings of 2010 IEEE Symposium on industrial electronics and applications,Penang,Malaysia,October 3-5,2010:56-60.

[8] 杨帆,侯宏,李国平,等.科里奥利质量流量计增益控制闭环设计[J].华中科技大学学报:自然科学版,2009,37(4):86-88.

[9] 黄丹平,汪俊其,于少东,等.科式质量流量计新型模拟驱动电路研究[J].自动化与仪表,2016,31(1):71-76.

[10] 周靖,周建兵,洪旭,等.非周期信号 LC 与 RC 滤波的数值分析研究[J].系统仿真学报,2016,28(12):2939-2945.

[11] ZHANG Y H,YANG L.Design of voltage-controlled dynamic band-pass filter based on VCA810[J].Journal of Measurement Science and Instrumentation,

- 2015,6(2):147-152.
- [12] 吴剑明,张小康,黄身钦,等.两级放大反馈自动增益控制电路设计[J].仪表技术与传感器,2016(8):97-99.
- [13] 刘琦.一种自动增益控制放大器的设计[J].电子制作,2015(14):6-7.
- [14] 李苗,徐科军,朱永强,等.科氏质量流量计的3种驱动方法研究[J].计量学报,2011,32(1):37-39.

## Research on an Improved Driving Circuit of Coriolis Mass Flow Meter

*HOU Shanshan<sup>1</sup>, HUANG Danping<sup>1,2,3</sup>, XU Tongxu<sup>1</sup>, GUO Kang<sup>1</sup>, ZHANG Xinhao<sup>1</sup>*

(1. School of Mechanical Engineering, Sichuan University of Science & Engineering, Zigong 643000, China;

2. Artificial Intelligence Key Laboratory of Sichuan Province, Zigong 643000, China; 3. Research on Key Technologies of Solid State Brewing Academician (Expert) Workstation of Sichuan, Zigong 643000, China)

**Abstract:** The drive circuit is the key factor whether the Coriolis mass flow meter can work normally. Nowadays, the traditional analog drive system of Coriolis mass flow meter which consists of many discrete electronic components has common problems. First, much extra noise may be caused by discrete components which influence accuracy of measurement. Second, the traditional analog drive system has limited used range. In order to improve the performance of analog drive circuit, the integrated chip has been applied in the new analog drive circuit, which will decrease much noise. The VCA810 and OPA820 will be combined together to form auto gain module, and the TDA2030 will be the core of power amplifier module. In the improved analog drive circuit, one particular resistance of auto gain module has adjustable value, which can adapter to the power supply of different type flow meter. Experiments show that the new analog drive circuit has better effect compared with the traditional drive circuit.

**Key words:** improved circuit; integrated module; smooth driving; adjustable gain