

# 用于注水泵的数字振动表设计实现

任毅飞

(天津市滨海新区大港油田第一中学 天津 300280)

**摘要:** 针对注水站的注水泵长期工作产生振动,发生机泵松脱等危险的实际情况和应用需求,设计了一套数字化振动表的完整方案,包括基于 ARM 的硬件平台以及信号处理算法,实现了对于机泵振动信号的实时采集、传输及判决。该振动表方案硬件平台的电源部分具有过电保护功能,传感器灵敏度高,传输速率快,系统使用的信号处理算法在保证效率的前提下实现了较小的误差,并且经过大量实验室实验和现场试验,结果表明本设计具有较高的稳定性与可靠性。

**关键词:** 注水泵;实时采集;振动表

**中图分类号:** TP216.1   **文献标识码:** A   **国家标准学科分类代码:** 510.8040

## Design and realization of the digital vibro-meter for water injection station

Ren Yifei

(Dagang Oilfield First Middle School, Binhai New District, Tianjin 300280, China)

**Abstract:** In this paper, a complete set of vibration meter design including ARM-based hardware platform and signal processing algorithm is proposed to achieve vibration signal acquisition and transmission. This design is based on the actual situation that the pump maybe loose due to vibration caused by long-term running. The power part has over voltage protection function, signal processing algorithm sensor with high sensitivity, fast transfer rates and other characteristics, and the algorithm achieves less error ensuring efficiency. The meter is proved to be of high stability and reliability after a large number of laboratory tests and field trials.

**Keywords:** water injection pump; real-time sampling; vibro-meter.

## 1 引言

油田注水是采油生产中非常重要的工艺之一,注水站的注水泵将水加压后输送到注水管线,经由注水井注入油层。该生产过程涉及压力、温度、液位、流量、含水、电参数等多个参数的监测和控制<sup>[1]</sup>。然而,对于注水泵机组这种连续工作的大型设备来说,还有诸如摩擦诱发喘振、机械松动、不平衡、轴向滑动、不对中等大量表现为振动形式的故障,在监测方面的技术还不成熟,因此迫切需要研制可以应用在注水机泵的振动表仪器设备,用以实时监控。

在目前的典型振动监测中,常用的技术有如下3种。在文献[2-3]中,使用加速度传感器测量,灵敏度普遍约1 000 mV/g,精度偏低,但使用环境要求低,在野外等恶劣环境下都能工作。文献[4]使用速度和位移传感器测量,目前最为普及的是电涡流式传感器,具有结构简单、频响宽、灵敏度高、线性范围大、抗干扰能力强、体积小等优点,但对导磁材料和安装精度敏感。文献<sup>[5]</sup>中提出了光学(激光和

干涉)测量方法,该方法精度较高,但结构复杂,不适用于恶劣环境。

注水泵工作环境较为复杂恶劣,因此本设计基于文献[2-3]中的思路,振动数据采用加速度传感器来获取,通过设计精密放大电路和高精度采集、处理电路系统,实现数字化高精度的实时振动采集处理系统,在满足精度要求的条件下能够很好的适应复杂的工程环境。

## 2 数字化振动表硬件系统设计

### 2.1 系统方案设计

振动表的系统功能框图如图1所示。硬件系统的处理核心为 ARM 处理器,采用美国 TI 公司的 LM3S9B92 芯片,这是一款 Cortex-M3 内核的处理器,最高运行速度 80 MHz,100DMIPS,集成 10/100 M 以太网 MAC 和 PHY 以及多路 UART 接口<sup>[6]</sup>。由其完成信号的采集、处理和通信接口功能。加速度传感器(精度能够达到 3 mg)将振动转换为电压信号,经过 AMP 精密仪表放大器后进入 ARM

片上模数转换器。对外通信采用工业上常用的 RS485 接口。外围电路包括存储模块,完成数据实时存储;JTAG 接口完成程序调试和软件固化;指示灯显示设备工作状态;电源给系统提供稳定可靠的供电。本方案由于采用可编程的处理器,因此具有较强的可扩展性,同时可以完成多路振动数据采集、处理任务。

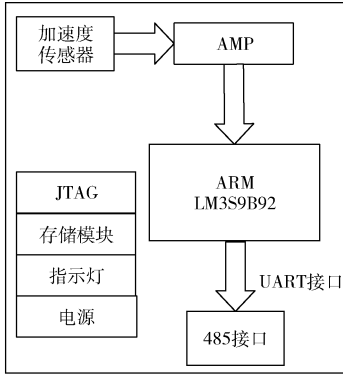


图1 系统结构

## 2.2 各模块电路设计与实现

### 2.2.1 电源模块设计

系统电源设计为直流 24 V 输入,通过直流电源降压模块实现各功能模块需要的电压(图 2)。但在工业环境下电源质量差,为了保证系统正常运行必须设计保护电路。本系统的电源保护电路由保险丝、肖特基二极管、瞬态抑制二极管和压敏电阻构成<sup>[7]</sup>,实现短路、过流过压、冲击浪涌、极性反接等保护功能。

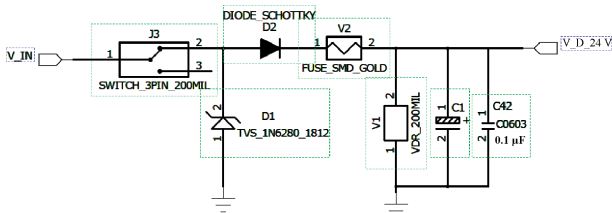


图2 电源保护电路

若短路或者其他故障导致电流过大,电路中的自恢复保险丝能够及时熔断,保护电路。若电路出现故障,输入电压超过设定值,压敏电阻能够导通,大电流迅速通过压敏电阻,配合保险丝来切断电路,不会影响后续电路工作。当电源收到外界冲击干扰时,电路中的瞬态抑制二极管能够变为低阻抗来吸收浪涌功率,从而将电压箝位在可接受的范围内,避免系统中的芯片被击穿损坏。同时,电路接入部分有一个肖特基二极管,在操作不当出现正负极反接的时候能够保护电路,同时肖特基管的压降较小,不影响后续电路工作<sup>[8]</sup>。

### 2.2.2 加速度传感器模块

振动模块采用 CTC 公司的 AC102-1A 高分辨率加速

度传感器<sup>[9]</sup>(图 3),内置电荷放大器,用于测量泵振动的加速度。该传感器具有良好的线性和低噪声,灵敏度可达 100 mV/g  $\pm 10\%$  (25°C),工作温度区间为 -50 ~ +121 °C,频率响应范围为 0.5 ~ 15 000 Hz ( $\pm 3$  dB), 2.0 ~ 10 000 Hz ( $\pm 10\%$ ),在 2 ~ 10 mA 恒流,18 ~ 30 V (DC)电源供电工作的情况下,最大传输距离最远可至 300 m<sup>[10]</sup>,适合在注水站库这类工业现场使用。



图3 AC102-1A 加速度传感器

传感器的输出端接入差分仪表放大器输入端,放大器芯片内部集成 3 个精密仪表放大器,如图 4 所示。左边的 2 个仪表放大器作为输入缓冲放大器,组成增益为 1 的共模抑制全通放大器,能够有效地抑制加速度传感器输出端的直流共模电压。另外这个精密仪表放大器可以提供 80 dB 的 CMR 增益<sup>[11]</sup>,即使传感器输出电压信号非常微弱也能调理到适合于进行模数转换的电压范围。

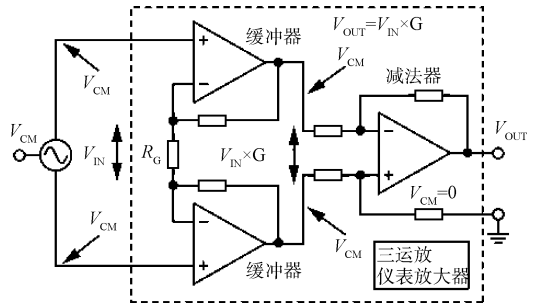


图4 仪表测量放大器结构

其中  $V_{ref}$  是仪表放大器的参考输出地,  $V_{out}$  是放大信号的输出端。

### 2.2.3 RS485 数据通信

目前工业应用中,大多采用两线或四线的 RS485 数据通信协议,因此设计中采用 MAX491 实现两线制 RS485 通信接口。

MAX491 是应用比较广泛的一款 RS485/RS422 通信接口芯片,收发功耗较低,关闭端口时消耗电流在 20 ~ 500  $\mu$ A 之间。芯片采用摆率驱动器来减小 EMI 干扰并可

降低由阻抗不匹配引起的信号反射,无差错数据传输最大速率可达 250 kbps<sup>[12]</sup>。具体的应用电路如图 5 所示。

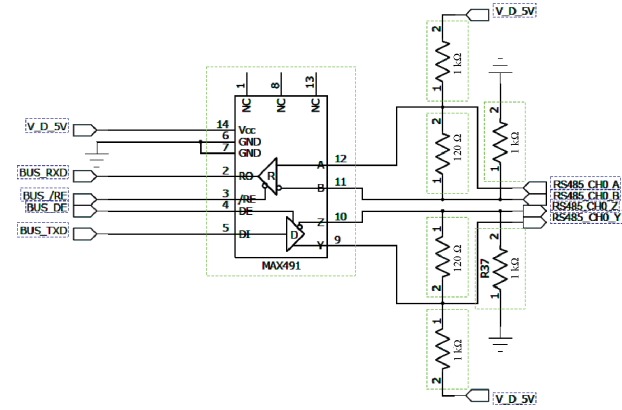


图 5 MAX491 应用电路

RO 和 DI 分别于 ARM 的串口相连,另外需要 2 个 GPIO 用于发送和接收的使能,这就构成了一个全双工的 RS485 通信模块<sup>[13]</sup>。

### 3 振动分析算法

振动信号的时域处理是对振动信号波形的分析,为的是将信号中有用的信息提取出来或将其转换成需要的形式,这是对信号最为直接的描述方法。在本设计中将采集到的振动加速度信号进行基于时域积分的处理。

设加速振动信号为  $a(t)$ , 初始速度为  $v_0$ , 则速度信号:

$$v(t) = \int_0^t a(t) dt = v'(t) + v_0 \quad (1)$$

位移振动信号:

$$s(t) = \int_0^t v(t) dt = s'(t) + s_0 \quad (2)$$

式中:  $s_0$  为初始位移。

事实上,实际采样获得的加速度振动信号含有直流分量,即  $a(t) = a'(t) + \epsilon$ , 因此,式(1)和(2)变成如下形式:

$$v(t) = \int_0^t a(t) dt = v'(t) + (\epsilon t + \delta) + v_0 \quad (3)$$

$$s(t) = \int_0^t v(t) dt = s'(t) + \frac{1}{2}\epsilon t^2 + (\delta + v_0)t + \eta + s_0 \quad (4)$$

式中:  $\delta, \eta$  分别为  $\epsilon$  一次、二次积分得到的积分常量。

由于直流分量  $\epsilon$  在时域积分中会累加,则一次积分后速度信号含有一次趋势项  $\epsilon t + (\delta + v_0)$ 。

同理,二次积分后得到位移振动信号中含有二次趋势项  $\epsilon t^2 / 2 + (\delta + v_0)t + (\eta + s_0)$ 。

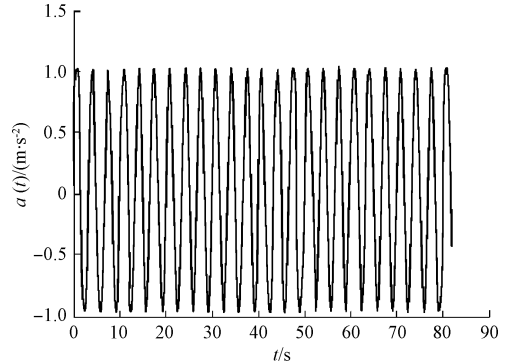
因此需要在每次积分之后,去掉其结果中的直流分量<sup>[14]</sup>。

### 4 实验测试

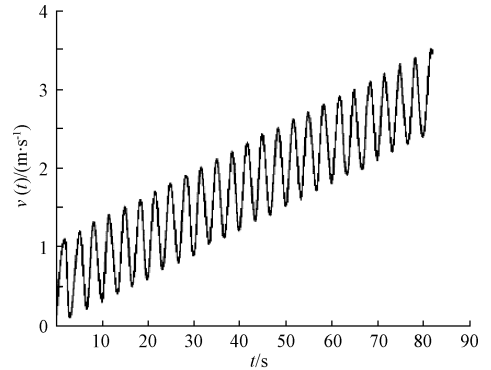
#### 4.1 软件仿真分析

设采样频率  $f_s = 50$  Hz, 振动加速度信号频率为

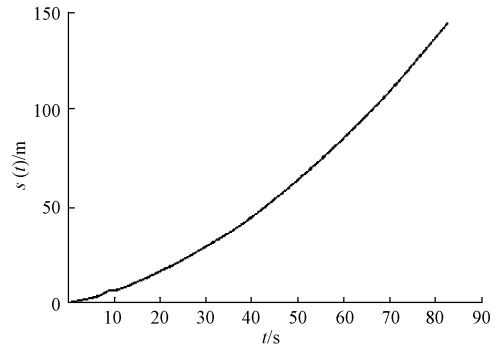
0.3 Hz, 幅值为  $1 \text{ m/s}^2$ , 直流分量为  $0.03 \text{ m/s}^2$ , 信号写为  $a(t) = \sin(0.6\pi t + 0.03)$ 。通过仿真得结果如图 6 所示,其中图 6(a)是含有直流分量的加速度振动信号,积分可得到含有一次趋势项的速度信号,如图 6(b)所示<sup>[14]</sup>。



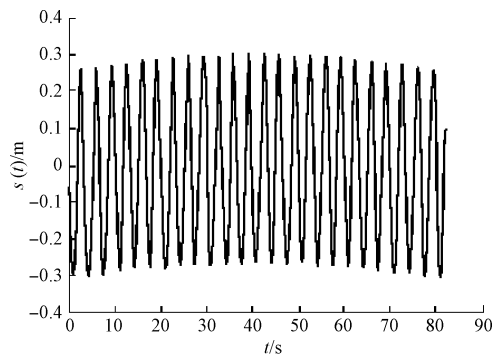
(a) 加速度信号



(b) 速度信号



(c) 位移信号



(d) 消除二次趋势位移信号

图 6 信号处理过程

图 6(c)是含有二次趋势项的位移信号,图 6(d)是积分后消除二次趋势的信号。

通过仿真结果可以看出,这种运用拟合多项式求极值的方法可以用到振动表中,通过 ARM 处理器编程来实现振动信号的趋势项实时消除,能够测得相对误差较小的电压波形<sup>[15]</sup>。

#### 4.2 现场试验测试

振动表安装在机泵底座周围,环境振动严重,对设备耐用性提出了更高的要求。因此为振动表(图 7)采用了铝合金的外壳,外部有固定螺栓的接口,用于固定;使用 DN20 接口用于对外连线,可以使用软管进行连接,既方便连线,又耐用美观;设备也有密封圈,保证了内部的隔绝。完成振动表的外观设计与安装后,在实验室测试间、油田注水站现场分别进行了 3 次实验,工作温度均在 $-40\sim 85\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

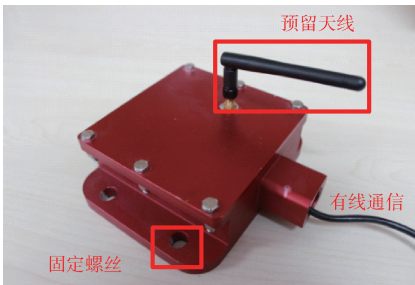


图 7 振动表实物

通过表 1 的测试结果可以说明,该振动表的设计能够精确测出设备振动的相关参数,实时地向工作人员反映设备工作状况,具有较高的稳定性与可靠性。

表 1 振动表测试结果

编号	项目	单位	设计指标	实测指标	备注
1	RS485 通信速率	kbps	200	230.4	可以设置更高
2	RS485 误码		$<E-6$	0	
3	ZigBee 通信速率	kbps	200	250	
4	ZigBee 通信距离	m	100	120	低功率 ZigBee 模块
5	ZigBee 通信距离	m	1000	1300	高功率 ZigBee 模块
6	ZigBee 误码率		$E-6$	0	
7	振动采集精度	mg	$<3.9$	0.1	

## 5 结 论

在本设计中,以 ARM 处理器为核心,使用振动加速度

传感器对振动数据进行数据采集,放大后将数据传输至处理器进行处理与分析,通过软件仿真与实际测试,测试结果均表明该振动表的设计方案实现了预期的设计目标,具有可行性。

## 参考文献

- [1] 刘晴,赵智,方睿,等. 油田站库数据网络化实时监控技术研究与应用[C]. 中国石油和化工自动化第十届全国年会论文集,2011,312-315.
- [2] 张建新,张合. 压电加速度传感器输出信号可变增益控制[J]. 测试技术学报,2011,25(4):332-336.
- [3] 何平,潘国峰,孙以材,等. 压力传感器温度漂移补偿的 RBF 网络模型[J]. 仪器仪表学报,2008,29(3):572-576.
- [4] 刘敏,孙长生. 电涡流式振动位移传感器应用和运行分析[J]. 浙江电力,2009,28(2):52-54.
- [5] 万瑾,黄元庆. 激光三角法测量的研究[J]. 三明学院学报,2006,23(4):361-364.
- [6] Texas Instruments. Stellaris LM3S9B92 Microcontroller DATA SHEET [EB/OL]. TI Web site,2014-3-9.
- [7] 蔡洁华,路多,张红,等. 高频开关直流电源的保护技术探讨[J]. 电子制作,2013(12):12-12,8.
- [8] 邹静. 浅谈用电信息采集终端雷电浪涌防护技术[J]. 江西电力,2014(6):75-77,84.
- [9] 孙圣和. 现代传感器发展方向[J]. 电子测量与仪器学报,2009,23(1):1-10.
- [10] Connection Technology Center. Multi-Purpose Accelerometer [EB/OL]. etconline Web site,2014-3-9.
- [11] 刘召辉. 低噪声专用仪表放大器的设计[D]. 杭州:浙江大学,2008.
- [12] Maxim. MAX491 Low-Power, Slew-Rate-Limited RS-485/RS-422 Transceivers [EB/OL]. Maxim Web site,2014-10-12.
- [13] 吴兴中,欧青立. 一种 PC 与单片机多机 RS232 串口通信设计[J]. 国外电子测量技术,2009,28(1):74-76.
- [14] 陈为真,汪秉文,胡晓娅. 基于时域积分的加速度信号处理[J]. 华中科技大学学报:自然科学版,2010,28(S1):1-4.
- [15] 孙苗钟. 基于 MATLAB 的振动信号平滑处理方法[J]. 电子测量技术,2007,30(6):55-57.

## 作者简介

任毅飞,1998 年出生,高中在读,主要研究方向为无线数据采集与传输。

E-mail: renyifei1998@163.com