

# 基于 DSP 的风机振动监测系统

## DSP Based Monitoring System of Fan Vibration

沈安文 赵方亮

(华中科技大学,武汉 430074)

**摘要:** 介绍了基于 DSP 的风机振动实时在线监测系统的设计、组成环节、功能及应用效果。研究了风机系统振动监测点、传感器的选择、振动信号的 A/D 采样、系统各个模块的硬件构成和软件功能的实现等几个问题。系统具有实时振动幅值直观显示、故障提前预警、测量精度高、抗干扰能力强、软件操作界面灵活等特点。风机监测系统设计新颖、美观坚固、操作简单、整体性稳定可靠,具有较高的性价比,值得推广。

**关键词:** 风机 振动 监测 传感器

**中图分类号:** TP216.1 **文献标识码:** A

**Abstract:** The design, compositions, functions and applicable effects for the DSP based real time online monitoring system of fan vibration are introduced. Some aspects of inspected spots in fan system, sensor selection, A/D sample of vibration signal, hardware composition of modules and realization of software function are discussed. The system can intuitively display the vibration value and forecast the breakdown. It features high accuracy, strong anti-interference capability and flexible software operating interface, novel design, beautiful and solid appearance, stable and reliable integration, high ratio to quality/cost, etc. It is easy to operate, and worth to be propagated.

**Keywords:** Fan Vibration Monitoring Sensor

## 0 引言

在许多流程工业的生产过程中风机是不可缺少的关键设备。但是有多种原因能引起风机振动,影响了风机的正常运行,甚至发生风机毁坏的恶性事故,严重影响日常生产计划,给企业带来巨大的经济损失。武钢矿业公司大冶铁矿竖炉球团生产工艺用到的一个大型风机机组,以前只有靠人工定时巡检观测温度和听声音的办法来对风机振动状况进行监测和判断。但由于人工监测受到工人素质和知识面的影响,观察结果存在很大的随意性和不确定性;另外定时巡检也可能会错过一些严重的故障特征信息,而且判断方法过于简单、误判概率较大、状态参数显示不直观、操作繁琐、容易产生误操作等,多次造成风机损坏的重大生产事故。因此,为了保证风机系统工作安全,延长使用寿命,减少球团非计划停产的时间,需要开发一种风机在线振动监测系统,实现直观显示实时振动幅值,故障提前预警,辅助分析故障原因,从而有效地保障风机系统的安全和可靠性。

风机振动检测目前有很多成熟产品,但考虑到大冶铁矿球团厂风机振动检测的特殊性以及该监测系统与球团生产过程自动化系统的兼容性,我们研发了一套基于 DSP 的在线风机振动监测系统。

## 1 系统分析与设计

任何机械设备在动态下都会或多或少地产生一定振动。当设备发生异常时或故障时,振动将会发生变化,一般表现为振幅增大。因此可以利用振动的变化判断设备的状态。

大冶铁矿球团厂的风机系统由拖动电机、风机、联轴器、基座等几个部分组成,如图 1 所示。振动检测点的选择是关键问题之一,因为它关系到能否获得所需的真实完整的状态信息。检测点应该对振动反应敏感,尽量靠近振源,避开信号在传递通道上的空腔,减少信号在传递过程中的损失,而且选择的部位振动信号应该比较集中,符合安全操作要求,适合安装。因此,选择在风机轴、风机外壳、风机和电机联轴、电机轴、风机基座的几个部位安装六个传感器,通过这些点的振动情况就可以反映出整个系统的运行状态了。

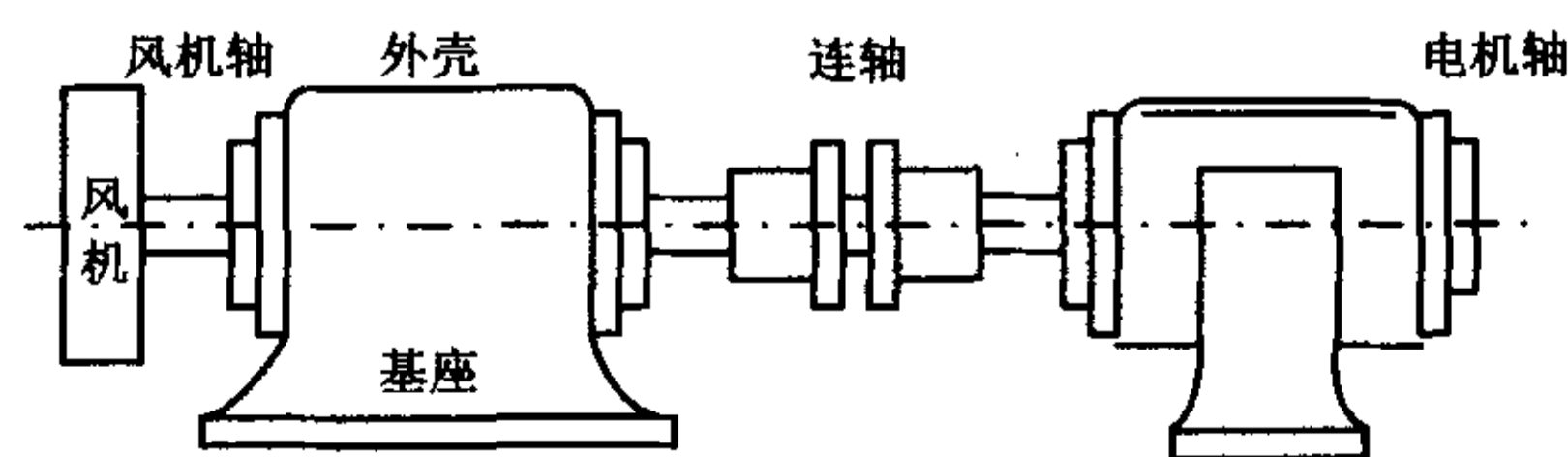


图 1 风机系统及监测点示意图

Fig. 1 Schematic of fan system and inspected spots

由于不同类型的传感器测量的频率范围各有侧重,低频振动(10 Hz 以下)一般选用位移传感器,中频振动(10 ~ 1 000 Hz)一般选用速度传感器,大于 1 000 Hz 的高频振动选用加速度振动传感器,因此只有根据估算出的振源频率和振幅才能选择最适合类型的传感器。球团厂的风机目前工作比较稳定,振动幅值不大,考虑到预警时振幅会增大,但是也不能超过 0.5 mm,超过就应该停机,否则设备有损坏的危险,压电式加速度传感器的频响范围比较宽,用它同时测量位移、速度、加速度三个参数基本上都能满足要求。因此选择量程为 0.5 mm 的压电式加速度振动传感器。

压电式加速度振动传感器一般是不锈钢外壳的圆柱体,底端有螺纹,多种安装方式可供不同场合选择,可以用双头螺柱连接固定,也可以用永久磁座固定,还可以用粘合剂固定。传感器永久性安装以双头螺柱固定最为理想,它的共振频率最高,频率范围最宽,振动信号接收最灵敏。

在本振动监测设备研发之前,我们为大冶铁矿球团厂研制了竖炉球团生产过程自动控制 DCS 系统。由于风机是竖炉球团生产中的关键设备,它的信息和控制必须进入该 DCS 系统。图 2 是系统结构图,由振动传感器、信号调理模块、监测主机、报警输出设备和上位计算机五个部分构成,它集信号采集和在线监测等多种功能于一体。



图 2 系统结构图  
Fig. 2 System structure

系统功能设计的原则是强调易操作性和实用性。本系统功能目标是:显示方式灵活多样、各种参数值均可设定、可灵活设置两级报警值(预警和报警),可根据不同报警程度给予相应的处理,可以本地存储和浏览多组历史报警记录以协助判定故障原因和故障部位,可通过 RS-485 总线或 CAN 总线与生产调度室的上位机实时通信,应具有高精度和强抗干扰能力。

## 2 系统实现

### 2.1 硬件实现

信号采集前端部分采用盛迪 L14 压电式加速度振动传感器,将振动的位移信号转变成微弱的电荷信号。风机至控制室距离较远,用传感器配套的 10 m 专用连

接电缆与信号调理模块连接,信号调理模块将微弱电荷信号放大,经积分后转换成振动位移的峰峰值,并调理为标准的 4 ~ 20 mA 输出,再用普通 16 芯屏蔽电缆将信号调理模块输出的信号送入监测主机的 AD 采样端口,供控制器处理。

监测主机基于高性能 DSP TMS320F2812 实现,由电源板、键盘显示板和主控制板三部分构成。电源板为监测主机提供直流 +5 V 电源和为信号调理模块提供直流 +24 V 电源;键盘显示板完成人机交互功能;主控制板是核心,完成信号采集、数据处理与记录、控制输出和数据通信等功能。

振动监测系统的监测精度要求高,TMS320F2812 拥有丰富的资源,能够充分满足系统的需求。150 MHz 的主频,执行指令周期的速度与一般的单片机相比,具有跨数量级的高速运算优势,保证了系统软件的高运行速度;风机的基频为 50 Hz 左右,拟采样周期控制在 150  $\mu$ s 以内,因此 2812DSP 内置的 80 ns 最小转换时间、12 bits 的 A/D 转换控制器可以达到 0.7 mV 的采样精度,完全可以满足系统的振动信号采集要求。

参数存储、通信等功能和软件调试需要不同的接口,TMS320F2812 接口形式多样,带有 SPI、SCI、eCAN、McBSP 和 JTAG 多种接口模块。SPI 是一个高速、同步串行 I/O 口,利用它连接 EEPROM,存储系统需要保存的参数和状态;通过 SCI 模块和 CAN 模块与上位机实现数据通信;JTAG 用来在线调试。

TMS320 系列 DSP 结构设计提供了低成本、低功耗、高性能的处理能力,具有很高的集成度。高度的集成化不仅可以极大地提高系统的可靠性,而且还可以减少开发成本,同时还降低了系统设计的复杂性,从而进一步提高了系统的可靠性和稳定性。选用 TMS320F2812 作为控制器大大降低了系统成本,节省了电路板空间,提高了系统的可靠性,并且简化了系统设计。

报警和逻辑控制作为输出设备,当振动超过设定值时,或根据报警的级别报警和控制逻辑驱动继电器开始工作,提示操作人员给予适当调整,或直接用主机输出的继电器信号控制风机的运转,或直接关闭风机。

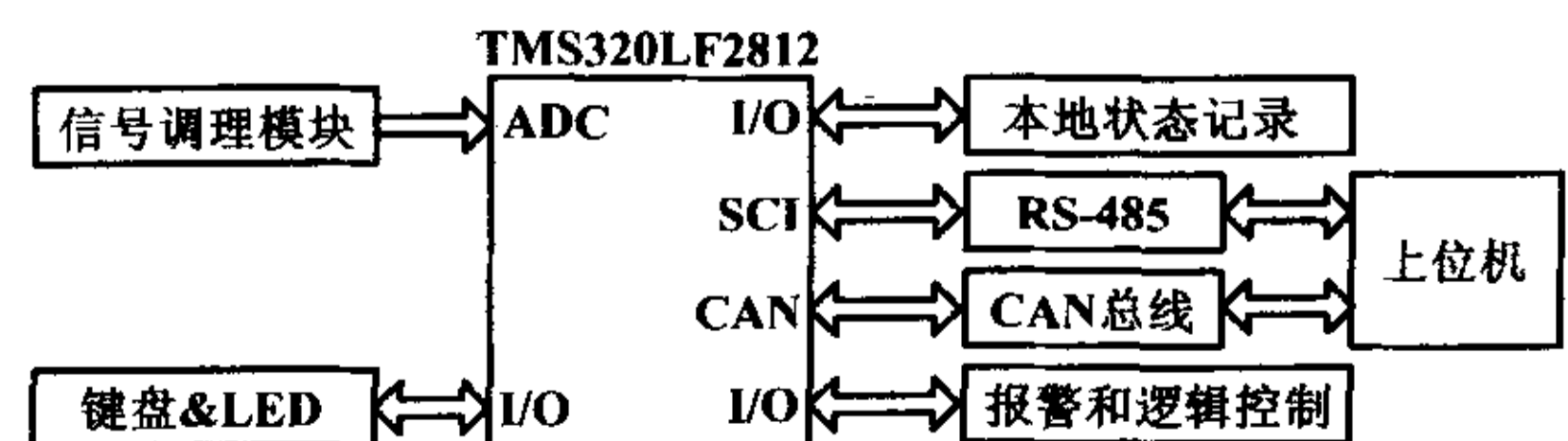


图 3 硬件结构图  
Fig. 3 Hardware structure

上位机远离风机现场,通过 RS-485 工业总线和 CAN 总线接口与现场控制室的监测主机连接,实时接收监测主机发出的振动幅值和需要存储的相关报警历史记录,并生成报表,这样本振动监测系统接入了大冶铁矿球团生产过程自动控制系统。

整个硬件系统实现的硬件结构框图如图 3 所示,接口电路图如图 4 所示。

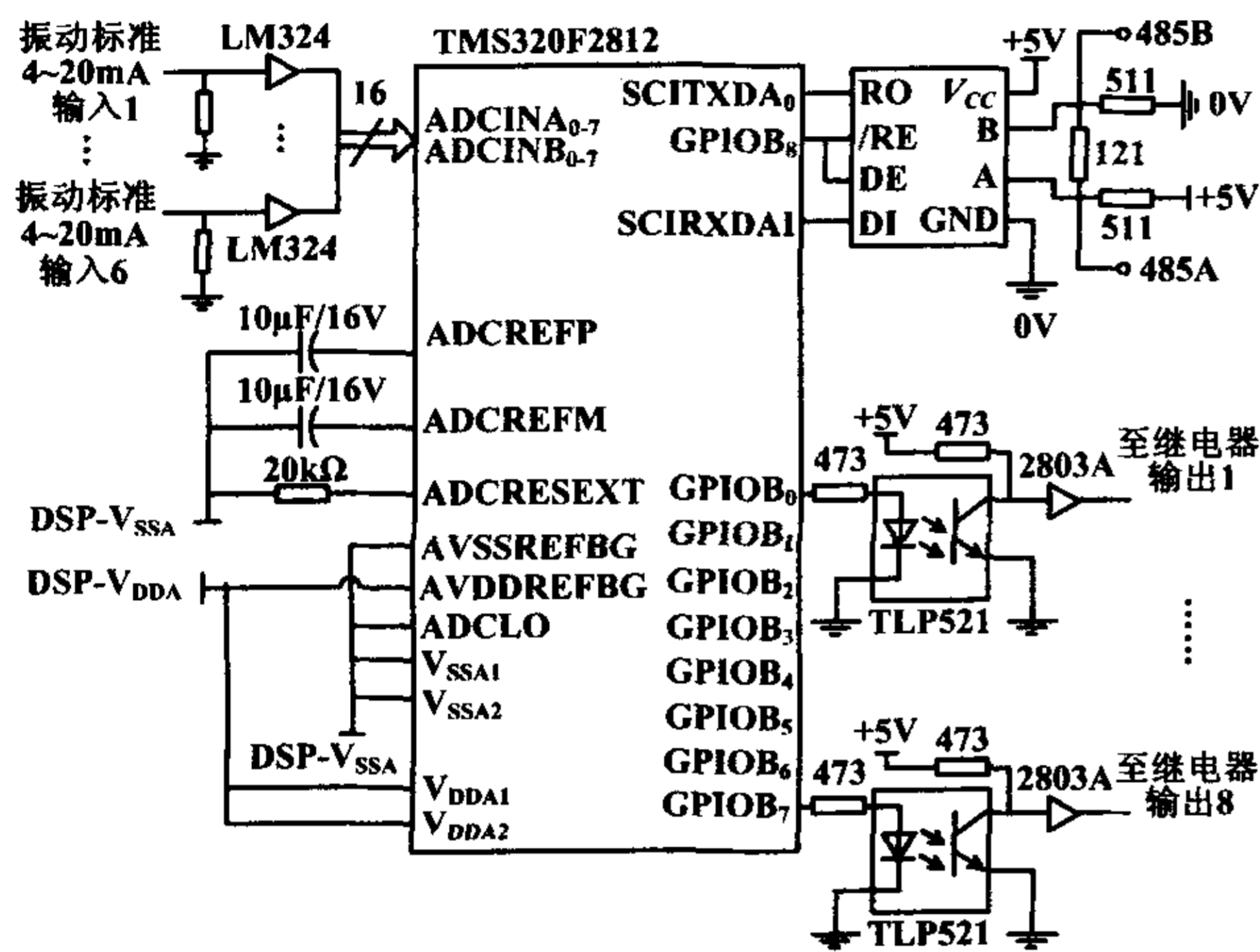


图 4 接口电路图  
Fig. 4 Interface circuit

## 2.2 功能实现

本系统的功能主要通过软件完成,系统软件包括了上位机的软件开发部分和 TMS320F2812 的开发部分。上位机使用组态软件开发平台,在此平台上只需要一些简单的设置就可以非常方便地构成通信程序,通过 RS-485 总线得到通信数据,生成并打印报表。

TMS320F2812 开发使用的是 TI 公司提供的 CCS2000 开发平台,该平台可以直接使用 C 语言编程,使软件有很好的通用性和可读性。整个程序划分为初始化模块、信号采集模块、通信模块、键盘响应模块、显示模块、数据处理模块和报警后处理模块等几个部分,分别实现各自的功能。

信号采集使用定时中断,由事件管理模块 EVA 的一个定时器产生 125 μs 定时中断,中断产生后 ADC 自动启动 AD 转换过程,当转入中断子程序后保存 ADC 的转换结果,所有的采集数据全部用定点数表示,这样 DSP 处理起来比浮点数要快得多。

数据采集得到的是 4 ~ 20 mA 的标准信号,经过 150 Ω 的采样电阻后成为 0.6 ~ 3 V 的电压信号,分别对应 0 ~ 500 μm 的振幅。由于 A/D 采样的精度是 12 位,所以振幅值为 0 的情况下,对应的采样值应该是  $(4094/20) \times 4 = 820$ ,通过等式  $(4096 - 820) \times K_{coeff} = 500$ ,求得采样的比例系数  $K_{coeff} = 15.26$ ,则采样转

换公式为  $Y = (X - 820) \times 15.26$ 。

为了后续程序使用采集数据的方便,将 6 路通道的数值按从大到小的顺序排列放入数组中,只要将数组的第一个单元与报警设定值比较就可以判断本组数据是否大于报警设定值,而且可以方便地找出报警发生时振幅最大的四个通道的值。显示程序则将最新取得的采集数据更新显示,根据不同要求有多种显示模式可供选择,可循环显示各通道值,每次可以显示两个通道的数据,也可固定显示两个通道,这两个通道的选择由用户设置参数决定,还可显示振幅最大的两个通道。

当采集的数据大于一级报警也就是高于预警值时,显示值开始闪烁预警继电器动作,但是不存储预警数据;当采集的数据大于二级报警也就是高于极限报警值时,显示面板显示“Error”并闪烁,振幅最大的四个通道的值及其通道号作为一个历史记录,保存在 EEPROM 中(可保存最近的十个历史记录,系统的其他参数也保存在这里),同时报警继电器动作。

为了便于上位机程序的开发,本监测系统移植了研华公司多通道 A/D 亚当模块 ADAM5017 的协议,大大缩短了开发的时间和提高了可靠性。一旦有字符发送或者接收 DSP 就产生中断,DSP 用中断方式完成通信。通信程序的流程如图 5 所示。

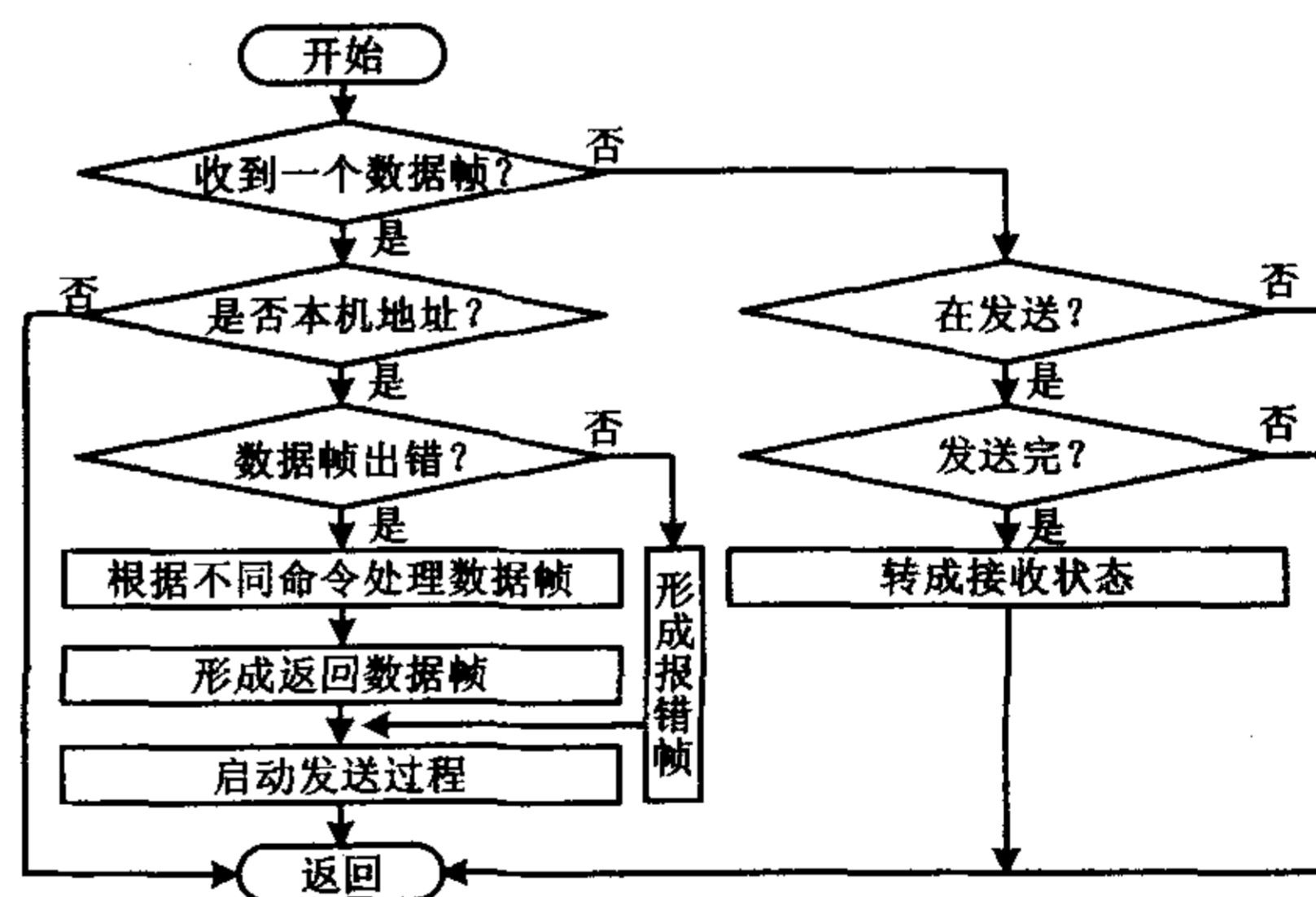


图 5 通信程序流程图

Fig. 5 Flowchart of communication program

## 3 结束语

2005 年 1 月所研制的风机振动监测系统已经投入使用,现场运行情况表明,该系统克服了原有的风机振动监测方法的许多致命缺点,现场的操作工人在控制室随时可以看到风机的振幅值状况,不必象以前经常去风机现场巡视,既节省了劳力又避免了人为的

(下转第 41 页)

DeviceNet 模块组成子站网络。

### 3.1.3 应用设备

具有串口的过压保护仪表。因为选用 AB 的硬件环境,所以应选择配套 AB 的软件支持。

① RSlinx:用于建立 PC 与 SLC 之间的串行连接和 PC 与 1770 - KFD 模块之间的连接;

② RSNetWorx:用于 DeviceNet 组态的软件工具,与 1770 - KFD 配套使用,对整个网络进行配置;

③ RSLogix 500:用于 SLC 500 PLC 编程的工具。整体的应用环境连接如图 7 所示。

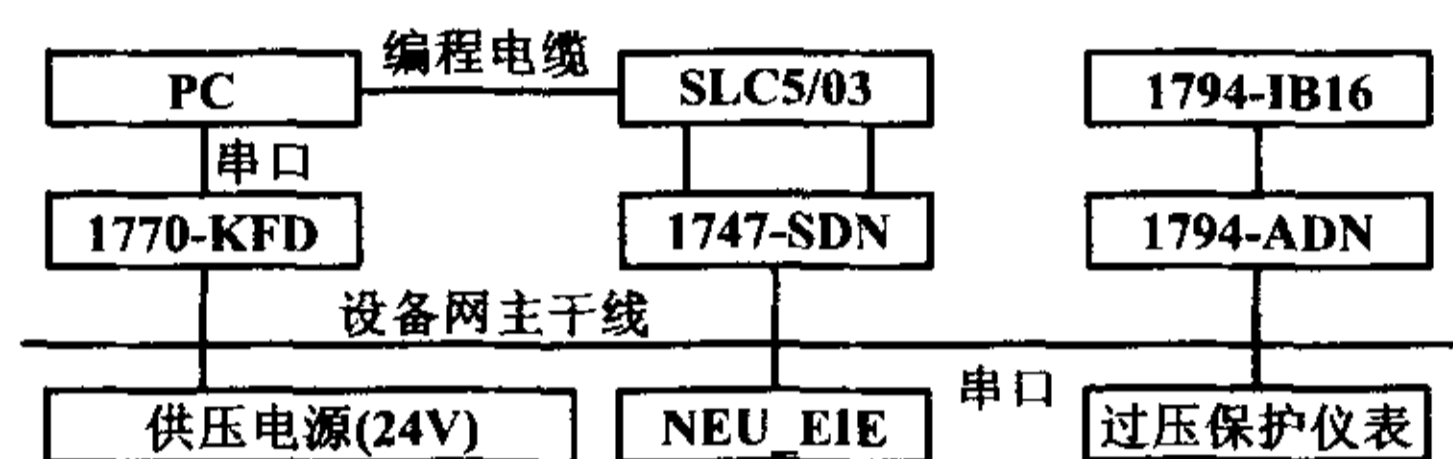


图 7 网络连接示意图

Fig. 7 Schematic of network connection

### 3.2 测试步骤<sup>[4]</sup>

测试步骤如下:

① 按图 7 连接好整个网络;

② 用 RSlinx 配置网络波特率等,使 PC 与 KFD 相连,扫描整个网络;

③ 导入 EDS 文档,用 RSNetWorx 扫描网络,进行网络组态;

④ 用 RSLogix 500 编写梯形图,控制整个系统的数据流向。

### 3.3 测试结果分析

当从 FLEX I/O 模块采集上来数据以后,通过 DeviceNet 网络发送给 RS-232 转 DeviceNet 模块,再通过串口,将模块收到的数据发送给过压保护仪表,同时过压保护仪表将实时电压值通过串口发送给 RS-232 转 DeviceNet 模块,模块将实时电压值发送给主站,同

时在 PLC 中对电压值进行监控。数据传输的过程中通过 CAN 总线数据采集卡可以观察到实时的数据,在 PLC 中也观察到了实时的电压值。完成了数据重组并传输的功能。在数据传输的过程中,对于请求的响应时间远小于轮询周期,完全满足了 DeviceNet 网络的实时性要求。从而证明 RS-232 转 DeviceNet 模块的功能已经完全能实现。

## 4 结束语

作者通过对 DeviceNet 协议的深刻理解,首先对硬件和软件作出了初步的设计,经过不断的测试与实验,加以对硬件的修改和软件的完善,以及 EDS 文档的编写,终于完成了预期的目标,成功地实现了 RS-232 转 DeviceNet 网络模块的功能。在整个设计过程中,对于协议和对网络通信过程的正确理解至关重要,同时也是整个设计的重点与难点,在完成了模块作为网络从节点的功能后,其余的工作便可以水到渠成。

### 参考文献

- 1 张 戟. 基于现场总线 DeviceNet 的智能设备开发指南[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2004.
- 2 饶运涛,邹继军,郑勇芸编著. 现场总线 CAN 原理与应用技术[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2003.
- 3 李正军编著. 现场总线及其应用技术[M]. 北京:机械工业出版社,2005.
- 4 吴 晔,费敏锐. DeviceNet 现场总线从节点的应用开发[J]. 仪器仪表学报,2002.
- 5 Steve Biegacki, Dave VanGompel. The application of DeviceNet in process control[J]. ISA Transactions, 1996, (2), 169 - 176.

收稿日期:2005-08-04。

第一作者张平,男,1959年生,1986年毕业于东北大学自动化专业,获学士学位,工程师;主要研究领域为自动化仪表。

(上接第 37 页)

测量误差。而且系统充分考虑了球团厂风机设备的结构特点和运行条件,从而保证了监测精度高,适应性好,而且具有抗强电流环境干扰的能力。真正做到了直观、准确、可靠地连续监测和保护机组安全运行。球团厂上下都对此系统普遍表示满意,认为风机振动监测系统设计新颖、美观坚固、操作简单方便、工作可靠、系统造价远远低于市场上的同类产品,具有很高的性价比。

### 参考文献

- 1 易良策. 简易振动诊断现场实用技术[M]. 北京:机械工业出版社,2003.
- 2 廖伯瑜. 机械故障诊断基础[M]. 北京:冶金工业出版社,1995.
- 3 刘和平主编. TMS320LF240x DSP 结构、原理及应用[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2002.

修改稿收到日期:2005-11-30。

第一作者沈安文,男,1967年生,1997年毕业于华中理工大学控制系,获博士学位,教授;主要研究方向为电力电子与运动控制、复杂工业过程的流程控制、计算机网络控制等。