

单片机在电力机车轴承故障诊断中的应用

林 晓

(机械工程系)

摘 要 分析了电力机车牵引电机滚动轴承故障诊断系统中单片机应用的特点,介绍了单片机完成诊断系统中采样、工况分析、人机对话和数据存档等功能的方法,并讨论了单片机系统软、硬件设计中的关键问题。

关键词 电力机车; 轴承; 故障诊断; 单片机

分类号 U264.1; TP368.1

0 引 言

我国电力机车的维修主要是传统的定期维修,其费用高,零部件的寿命浪费严重,由此而产生的经济损失巨大。而且,在定期维修间隔中出现的故障苗头不能被及时发现,仍然是事故隐患,威胁铁路运行安全。因此,了解和掌握电力机车机械设备在运行过程中的状态,确定其整体或局部的工作是否正常,发现早期故障并分析故障的原因,预报故障的发展趋势,变电力机车的定期维修为状态维修具有巨大的经济和社会效益。目前,国内对电力机车机械设备的状态监测与故障诊断的研究还刚刚起步,在路内尚无应用实例。在电力机车整个机械设备系统中,其牵引电机滚动轴承是个薄弱环节,特别是在弯道多且半径小的线路上更易出现故障,引发事故。因此,铁路机务部门一直在寻找一种在牵引电机不落车、轴承不解体的情况下,及时地检测出电机轴承的早期故障简便而有效的方法。

针对这种情况,华东交通大学“行车机械设备状态监测与故障诊断”研究小组对电力机车牵引电机滚动轴承的故障模式、故障机理进行了研究,开发出先进的轴承故障振动诊断方法,即利用轴承零件中低频冲击所产生的频域十分宽广,频谱极为丰富的故障冲击波的高频分量,激起高频谐振器的谐振,再对高频共振波进行解调处理,获得一个剔除了低频振动干扰,但富含故障信息而信噪比大为提高的共振解调波给单片机做智能化处理,判断故障的量值和故障类型,从而发现轴承的早、中期故障。运用该方法研制出的JDZ-1型电力机车牵引电机滚动轴承故障检测仪填补了国内电力机车检修设备中的一项空白,其检测结果可为电机轴承从定期维修向状态维修过渡提供必要的技术依据。该检测仪在永安机务段试用以来,已

收稿日期: 1994-08-17. 林 晓, 男, 1965年生, 讲师.

成功地检测出多个故障轴承,及时地发现了事故隐患。

JDZ-1型检测仪采用以8031为CPU的单片机系统做为其信号处理的核心部分,成功地实现了检测仪的数字化、智能化。单片机完成检测仪振动信号采集、轴承故障判定、输入输出及数据通讯存档等功能,合理的单片机软硬件设计,大大提高了检测仪的分析精度,扩展了振动信号测量范围,增加了仪器的功能,提高了仪器的可靠性,保证了检测仪故障检出的准确性。本文以JDZ-1型检测仪中单片机系统为例,分析了在电力机车牵引电机轴承故障诊断中单片机应用的特点,介绍了该检测仪单片机系统关键部分软、硬件设计方法,并讨论了在软、硬件设计时的一些关键问题。

1 机车电机轴承故障诊断中单片机系统的功能框图

1.1 单片机在机车电机轴承故障诊断中的应用特点

(1) 检测结果准确

做为状态维修的技术依据,电机轴承的故障诊断结果必须准确。这主要通过诊断方案的正确选取来保证。在振动信号拾取方面,采用共振解调处理是提高信噪比,提取故障信息的必要手段。在单片机系统中,必须保证采样的精度,在诊断分析时多采用浮点数值计算等方法来确保故障检出率。

(2) 人机对话界面友好

设计单片机系统时,必须考虑使用电机轴承故障诊断系统人员的技术水平。在软、硬件上都必须有防止误操作功能,以免检测数据丢失。当进行参数设置时,单片机应有侦错功能,对不合理参数拒绝接收。

(3) 操作简单,测试时间短

JDZ-1型检测仪对SS-3型电力机车一个轴位电机的两个轴承同时进行诊断分析,须电机空转时间最长为24s,总分析时间不超过3min,加上顶车等准备时间,可在两小时内测完一台机车十二个轴承,最大限度地缩短了检测所需时间,减轻现场测试人员的工作量。

(4) 可靠的抗干扰措施

检测现场机车电弓的频繁升降,带来电源脉动冲击和很强的电磁干扰。提供可靠的抗干扰性能,是电力机车电机轴承诊断中单片机系统设计不可回避的一个问题。JDZ-1型检测仪整体金属封装,以屏蔽外界干扰,并采用断电保护电路,以保护存放在扩展外部数据存储器中的关键检测数据。在软件上也须采取抗干扰措施,主程序定时对接口电路进行初始化,以防其状态控制标志发生意外改变。

(5) 利于数据存档

电力机车电机轴承的工况检测数据必须利于存档,用于作轴承寿命预测,以确定适当的维修时机。因此,单片机系统必须有记录检测时间、机车标志的功能,并且能与PC机通讯,将检测结果存储在高位机上进行管理。

1.2 JDZ-1检测仪单片机系统功能框图

(1) 硬件功能框图

(2) 软件功能框图

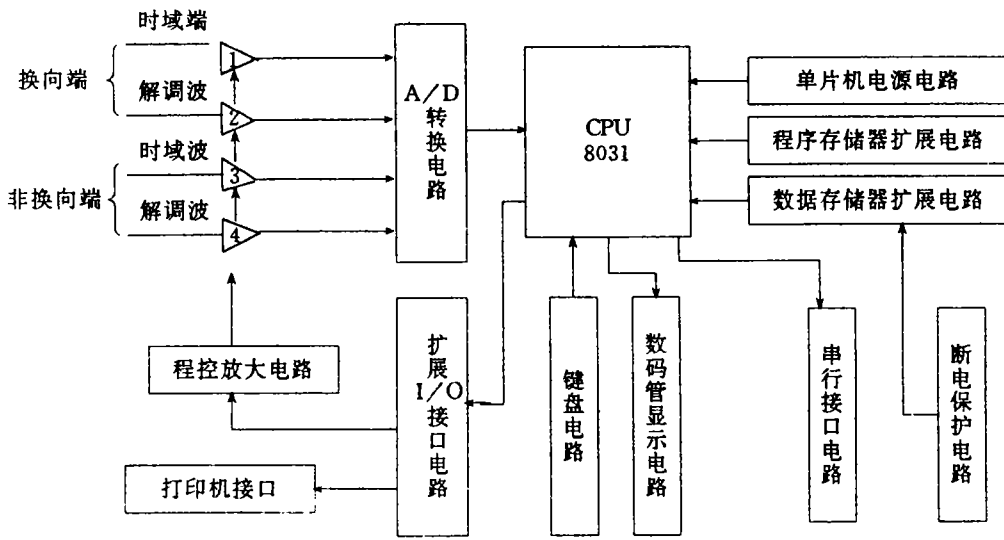


图1 JDZ-1检测仪单片机硬件框图

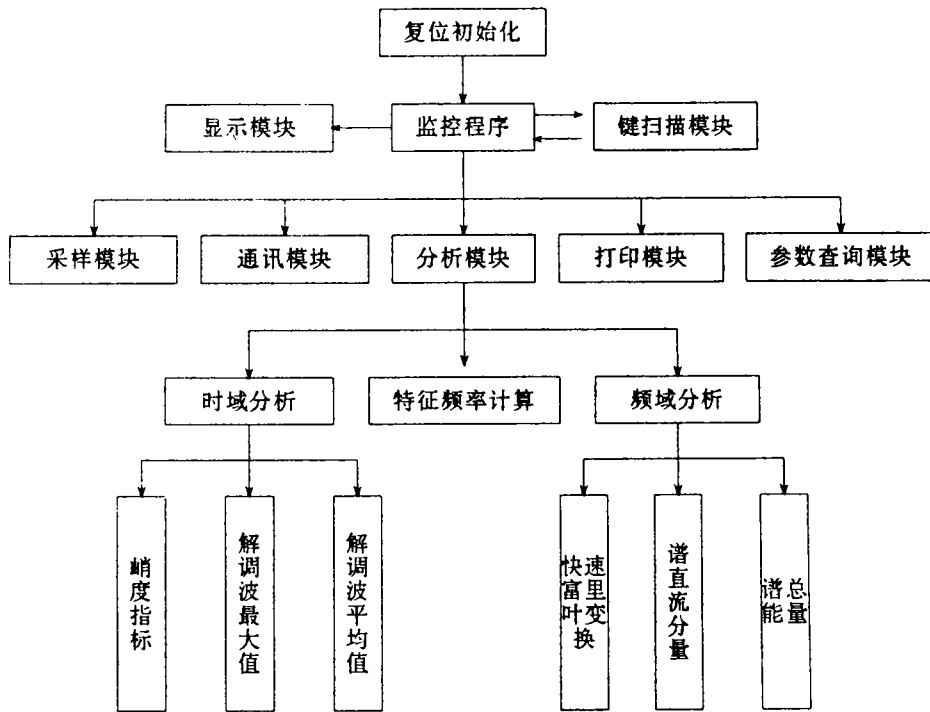


图2 JDZ-1检测仪单片机软件框图

2 单片机对轴承振动信号的采样

JDZ-1 型检测仪扩展一片模/数转换电路 ADC0809, 用于对电机轴承振动信号的采样。ADC0809 具有外围电路简单, 漂移小, 精度高等优点, 自带 8 个模拟通道开关, 可实现 8 路 8 位模拟信号输入, 实际只需占用其中 4 个模拟量输入端, IN0~IN3, 它们分别采样以下信号:

- IN0: 换向端轴承振动时域放大信号 X1;
- IN1: 换向端轴承振动共振解调信号 X2;
- IN2: 非换向端轴承振动时域放大信号 X3;
- IN3: 非换向端轴承振动共振解调信号 X4.

为提高 A/D 转换器的分辨率, 改善 A/D 转换器性能, 采用程控放大器作为 0809 的前置部分, 使 A/D 转换能适应电力机车电机轴承振动检测信号幅值动态范围很宽的特点, 采样数据在信号分析阶段根据不同的程控放大倍数换算成同一基准倍率的参数值再作进一步处理.

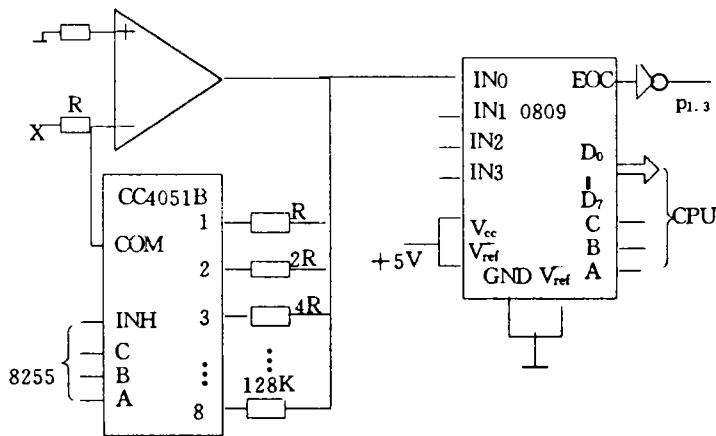


图3 程控放大与A/D转换电路

图 3 表示了第一采样通道程控放大部分与 A/D 转换部分的连接.

图中, CC4051B 是八选一模拟开关, 其控制信号 INH 及通道选择信号 A、B、C 来自单片机扩展并行口芯片 8255A. 在 INH 为高电平时, 8 个反馈电阻均不与运放输入端连通, 此时程控放大部分与 A/D 转换芯片处于高阻隔离状态. 在 INH 为低电平时 C、B、A 取不同值导致不同反馈电阻与运放输入端连通, 从而形成不同的放大倍数. 程控放大倍数调节范围为 1 至 128, 分八档, 两档间相差一倍. 从图中可知, 数/模转换是否完成是通过查询 8031 的 P1.3 引脚的状态来判定的.

程控放大器放大倍数自动调整的控制程序框图如图 4:

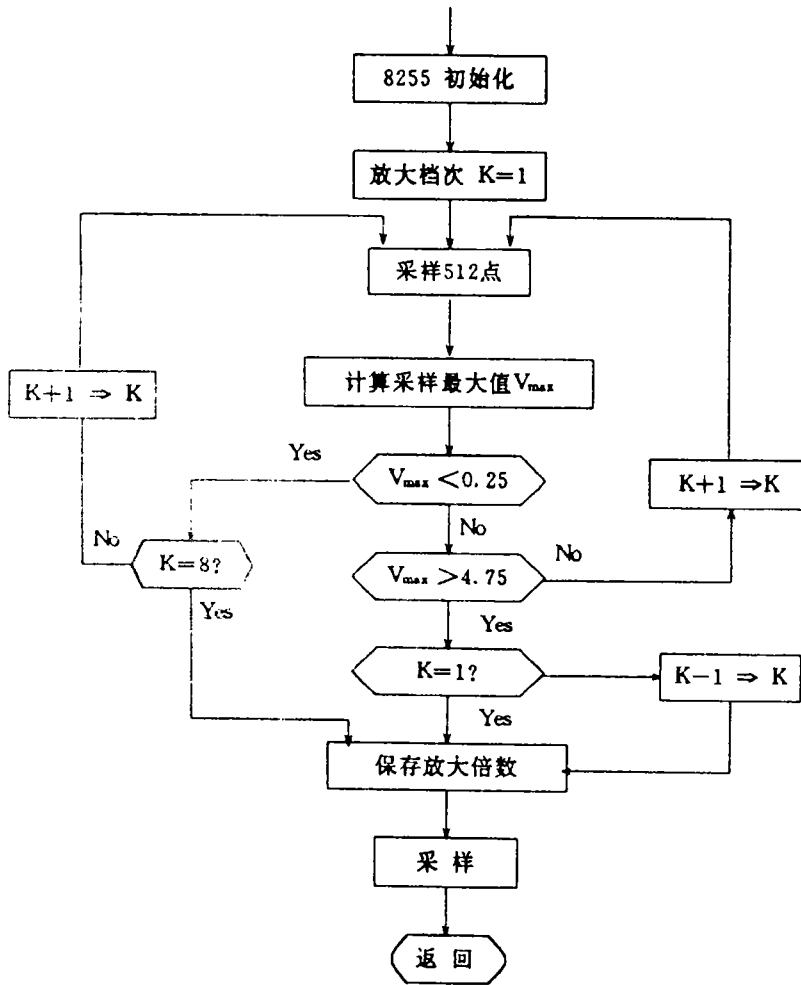


图4 程控放大控制程序框图

在单片机采样电机轴承的振动信号时,采样频率是一个关键,必须保证有精确的采样间隔. JDZ-1 型检测仪利用 8031 的 16 位定时/计数器 T0 产生溢出中断来取得恒定的采样间隔. T0 工作在方式 0 时相当于一个 13 位定时/计数器,赋入初值启动后,当计数溢出时将向 CPU 发出中断请求, CPU 转向中断服务程序执行,只要将 A/D 转换功能程序段编制在中断服务程序内,即可起到定时采样的效果.

JDZ-1 型检测仪采集换向端及非换向端轴承振动的时域放大信号和共振解调信号,每种信号取四个样本,分析时作平均处理,以减小干扰影响. 在车轮悬空,电机空转时四种信号共 16 个样本连续采样,一次完成,获取故障分析所需的 8K 字节数据. 若计入程控放大器放大倍数自动调整占用的时间,一次完整采样约需时 20s.

3 单片机对轴承工况的分析

3.1 时域分析模块

时域分析模块计算三个参数值:

- (1) 轴承振动时域放大信号峭度指标 Kv ;
- (2) 轴承振动共振解调信号最大值 X_{max} ;
- (3) 轴承振动共振解调信号平均值 X .

各个采样信号四个样本数据连续存放在外部数据存储器中, 在程序设计时, 可直接在共振解调信号数据块中一次求出 X_{max} 值, 但 Kv 和 X 的值必须分样本计算, 再求平均值, 否则, 不能起到多个样本分析以减少信号干扰影响的作用. X_{max} 和 X 的计算必须按信号的程控放大倍数还原成同一基准倍率的量值, 而 Kv 因是无量纲参数, 与信号的放大缩小无关, 故不需考虑放大倍数的影响.

3.2 特征频率计算模块

该模块根据检测时电机空转转速 n 计算轴承元件发生故障时的特征频率. 对于 SS-3 型电力机车牵引电机的 4G42328 型向心短圆柱滚子轴承, 各特征频率计算公式可简化如下:

$$\text{内圈: } f_{in} = 0.139n;$$

$$\text{外圈: } f_{out} = 0.095n;$$

$$\text{滚子: } f_{ball} = 0.043n;$$

$$\text{保持架: } f_g = 0.007n.$$

故障特征频率是轴承故障诊断中的重要参数, 它是判别故障部位的主要依据, JDZ-1 型检测仪并不直接输出各特征频率的值, 而是在打印谱图时根据其频率值用不同颜色的笔画出对应的特征谱线, 对照谱图的尖峰形状, 非常容易判断轴承有无故障并确定故障部位, 使诊断结果输出更加直观、形象.

3.3 频域分析模块

电机轴承故障诊断单片机控制程序的频域分析模块的主要功能在于完成振动共振解调信号的快速富里叶变换. 对换向端与非换向端两个解调信号共 8 个样本做频率分析, 需做 8 次 512 点 FFT, 计算量非常大, 因此, 缩短分析时间是程序设计的关键. JDZ-1 型检测仪中的 FFT 模块对输入信号序列的序号重排以及正、余弦值计算均采用查表技术完成, 节省了大量程序运行时间, 使完成一次 FFT 运算仅需 4s.

频域分析模块的 FFT 采用基数 2 按时间选抽算法 (DIT), 其蝶形运算基本公式可写成:

$$b_i = a_i + a'_{i+k} \cos K + a'_{i+k} \sin K,$$

$$b'_i = a_i + a'_{i+k} \cos K - a'_{i+k} \sin K,$$

$$b_{i-k} = a'_i - a'_{i+k} \cos K - a'_{i+k} \sin K,$$

$$b'_{i-k} = a'_i - a'_{i+k} \cos K + a'_{i+k} \sin K,$$

式中下标 l 和 $l+k$ 表示蝶形运算的对偶节点, a 和 b 分别表示蝶形运算的输入和输出量, 上标 r 和 i 分别表示实部和虚部, K 是旋转因子的相角.

FFT 程序分三重循环, 里层由采样点数 n ($=512$) 变量控制, 第二层由 $\sin(K)$ 与 \cos

(K)中变量K控制,最外层由FFT级数M(=9)控制,程序框图如图

5

4 轴承故障检测资料的存档

要有效地实现电力机车电机轴承的状态维修,要对轴承进行连续跟踪检测,根据累积的检测数据进行趋势分析,预报其故障发生时间,确定使用寿命和维修时机.同时,轴承检测资料存档也是机务段做统计报表的一项必要工作,为免去大量手工记录数据的繁琐工作,JDZ-1型检测仪设计了向高位机串行通讯的功能,并有配套检测数据管理软件,完成后续的分析、寿命预测以及查询、报表输出等功能. JDZ-1型检测仪单片机系统一次向高位机传输并存储一台机车共12个轴承的测试数据,共6144字节,包括以下内容:

- (1) 检测时间: 年, 月, 日;
- (2) 轴承特征: 机车号, 轴位, 电机号, 换向端标记;
- (3) 检测参数: 电机空转转速, 时域放大信号放大倍数, 共振解调信号放大倍数;
- (4) 诊断结果: 峭度指标, 共振解调信号最大值及平均值, 谱图总能量及直流分量, 200根谱线百分比值;
- (5) 信号波形: 一个时域放大信号样本

4.1 单片机串行通讯的硬件设计

单片机内含一个全双工串行口,可通过RS232C与PC机实现串行通讯,8031的串行口是TTL电平,而RS232C采用负逻辑,即"1"=-3~-15V,"0"=+3~+15V,故必须进行电平转换.8031串行输出一般采用MC1488来完成.MC1488采用±12V工作电压,要求系统提供+5V以外电源,很不方便. JDZ-1型检测仪的单片机外接一片MAX232做串行接口转换器. MAX232为一新型RS232C转换芯片,它可以实现TTL电平与RS232电平转换,

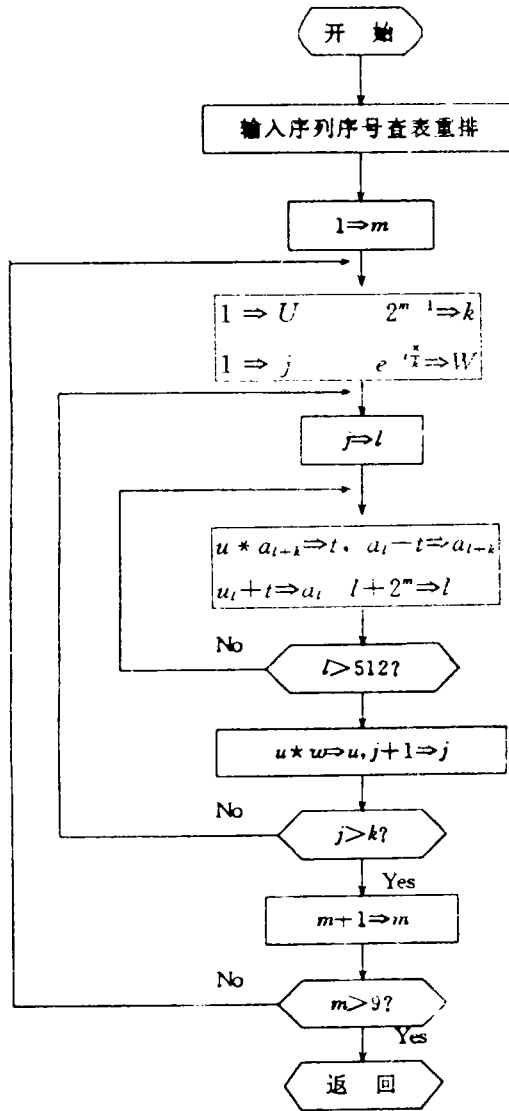


图5 FFT程序框图

MAX232 内部有电压倍增电路和转换电路, 仅需+5V 电源便可工作. 8031 串行接口电路如下:

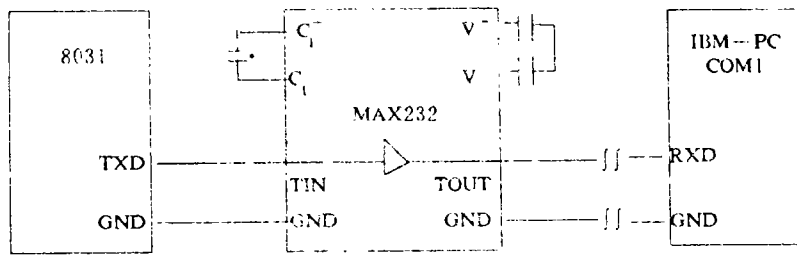


图6 串行通讯接口电路

4.2 波特率选择

波特率是串行通讯中的一个关键参数, 通讯双方波特率的一致性直接影响数据传输的正确与否, 当波特率误差超过 4.5% 时甚至会出现传输失败.

RS-232C 通讯标准采用标称波特率. IBM-PC 的串行通讯控制器采用的是 Intel 8250, 其波特率采用 1.8432MHz 专用时钟由 16 位的除法器产生, 可以精确地定出各种标称波特率. 而 8031 的波特率采用系统时钟由定时器 T1 产生, 由于系统时钟一般为 6.0MHz 或 12.0MHz, 有效位数少, 而 T1 又是用的 8 位自动装入定时方式, 因此, 很难定出各种标称波特率. 故 8031 与 PC 机串行通讯时, 由于波特率误差, 较难使用较高的标称波特率. 若要采用高波特率, 缩短通信时间, 可采用非标称波特率.

JDZ-1 检测仪的单片机晶振时钟 8MHz, 其通讯软件经逐步尝试, 确定 7200 为最佳波特率. 此时完成检测数据的一次传输时间仅需 6s. 但因 7200 为非标称波特率, PC 机数据接收程序将不能调用 INT14H 的功能 0 来初始化串行口波特率, 只能直接往除法器送控制常数, 程序稍复杂.

5 结束语

JDZ-1 型电力机车牵引电机滚动轴承故障检测仪自现场试用以来, 已成功地检出多起轴承故障, 验证了检测仪故障检测方案的可行性, 也验证了该仪器单片机软、硬件系统的合理设计和可靠性能, 是单片机在故障诊断领域应用的一个成功实例.

参 考 文 献

- [1] 沈德全. MCS-51 系列单片机接口电路与应用程序实例. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1990
- [2] 肖时江. MCS-51 单片机与 IBM-PC 微机的串行通讯. 计算机应用研究, 1991, (5)
- [3] 李殿生. 微型计算机的抗干扰措施. 测控技术, 1990, (3)
- [4] 张孝权. 单信号多通道输入法改善 A/D 转换器性能. 电测与仪表, 1989, (4)
- [5] 佟德纯. 工程信号处理及应用. 上海: 上海交通大学出版社, 1989

Application of Single-chip Microcomputer in Fault Diagnosis of Motor's Bearing on Electrical Locomotive

Lin Xiao

Abstract This article analyses the specific application characteristics of single-chip microcomputer used in fault diagnosis system of traction motor's roller bearing on electrical locomotives, introduces the method of vibration signal sampling, state distinguishing, parameter inputting, analysis result outputting and data storing in this system, and discusses the main problems on its design of hardware and software.

Key words Electrical locomotive; Bearing; Fault diagnosis; Single-chip microcomputer