

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷

G01M 17/10

G01M 17/08



[12] 发明专利说明书

[21] ZL 专利号 01131652.7

[45] 授权公告日 2005 年 5 月 4 日

[11] 授权公告号 CN 1200259C

[22] 申请日 2001.12.30 [21] 申请号 01131652.7

[71] 专利权人 黄采伦

地址 411201 湖南省湘潭市湘潭工学院教工
宿舍 9 栋 1 单元 1 号

[72] 发明人 黄采伦 尹国华 贺旭军

审查员 胡跃澜

[74] 专利代理机构 长沙市融智专利事务所

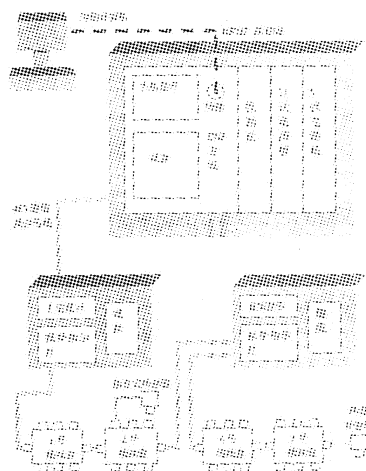
代理人 颜 勇

权利要求书 1 页 说明书 8 页 附图 7 页

[54] 发明名称 铁路车辆走行部在线故障诊断系统

[57] 摘要

本发明涉及一种铁路车辆走行部在线故障诊断系统，包括诊断装置硬件和诊断软件两大部分。它解决了如铁路车辆、化工和矿山等恶劣环境下旋转机械的在线状态监测与故障诊断的技术问题。本发明硬件包括电源电路、传感器、接线盒、检测电路、DSP 主板及 LED 显示器六大部分，软件包括轴温逐点测量、轴温快速扫描测量、振动 SV 值测量、温度振动综合精密诊断、地面顶轮精密诊断、数据转储、参数修改七大可相互切换的功能模块。本发明采用总线式结构，具有离线数据管理功能，集成度高，抗干扰能力强，稳定性好，成本低。可广泛地适用于铁路车辆及其他旋转机械不解体的在线状态监测和实时故障诊断，具有重大的经济效益与社会效益。



1、一种铁路车辆走行部在线故障诊断系统，它包括由传感器、接线盒、电源电路、检测电路、DSP 主板及 LED 显示器构成诊断装置主机和连接于该主机的处理软件系统，其特征在于所述传感器包括设有由数字温度传感元件 DS18B20、压电加速度计和电荷放大器组成的多参量组合传感器；所述接线盒包括设有由 89C51、24C02 及 MAX1480 组成的接线盒电路；所述电源电路包括由一片四运放 IC1、三极管 BG01、2.5V 基准电压 Z1 及电阻、电容二极管组成的电源欠压、过压保护电路和延时启动电路，电容 C01~C06、C09~C11 及滤波器 FIR、防雷二极管 V03~V04 组成的抗电磁干扰电路，二极管 V01、V02 组成的防电源错接电路；所述检测电路包括由 TL034 单运放与一个 1K 的精密电阻组成的电流电压变换电路，运放 4N02、4N03 及电阻电容组成共振及高频滤波电路，由运放 IC5、二极管及电阻组成的绝对值检波和运放 4N04 及电阻电容组成的低通滤波电路组成的解调电路；所述 DSP 主板包括由 TMS320C31、1032E、IS61C1024、DS1642、ST28SF040、串行 ADC、16C552、MAX485、MAX232 及单片机组成；所述 LED 显示器包括由 89C2051、发光二极管、蜂鸣器、LED 数码管及 MAX7219 组成的 LED 显示器电路；所述处理软件系统包括：

一主程序软件单元，该主程序软件单元包括轴温逐点测量、轴温快速扫描测量、振动 SV 值测量、温度振动综合精密诊断、地面顶轮精密诊断、数据转储、参数修改等七大可相互切换的功能模块；

一信号处理软件单元，该软件单元包括对采样信号进行的抗混滤波、小滤变化、FFT 变换的处理；

一专家系统软件单元，该专家系统软件单元包括采用时域振动能量分析、频谱分析以及独特的故障诊断判据相结合构成，其中判据包括设有与数个多参量多标准知识模块进行相互推理的数据判断及诊断处理。

铁路车辆走行部在线故障诊断系统

技术领域

本发明涉及一种在线故障诊断系统，特别是一种适用于如铁路车辆结构复杂、工作环境恶劣、干扰信号复杂场合下的在线故障诊断系统。

背景技术

随着工业生产与科学技术的发展，机械设备越来越复杂，自动化水平亦相应提高，这些设备一旦发生故障，不但设备遭受极大破坏而且给人们的生活与生命也造成极大威胁，为了保证设备安全运行，必须做好维修管理工作。为此，过去全世界都采用预防维修的方法，即定期把全部设备解体检查。经过各国的实践证明，采用定期大修的方法，不但没有减少故障，相反，由于定期维修破坏了原来已经稳定的系统，反而增加了故障，同时又消耗了大量的人力与物力。从 70 年代开始有一些技术先进国家开始采用状态维修的方法（视情维修），即根据设备实际状态决定维修部位与时间，经过许多国家不同领域应用表明，采用状态维修方法，即减少了故障，又节省了巨大的人力物力。

过去对故障诊断技术的褒奖是“可产生无形的经济效益和社会效益”。近二十年来，人们越来越意识到机械设备运行的状态监测与故障诊断的重要性，也意识到了故障诊断技术不仅仅是只能产生无形的经济效益和社会效益，而是可取得巨大的直接经济效益。例如：铁路车辆走行部、煤矿井下风机、水泥厂转窑电机等长时间在恶劣环境运行的机械齿轮及轴承，如果利用在线状态监测与诊断技术长期监视设备运行状况，可以做出合理维修决策，从而减少或缩短停车时间，延长设备的使用寿命，避免了传统定期维修方法所造成大

量人力物力的浪费。

据有关资料统计表明：机械设备的故障 70%是振动故障，而振动故障中的 70%是轴承和齿轮的故障。对于本发明所研究的铁路车辆走行部在线故障诊断技术，可用铁道部安监司丁司长在 2000 年铁道学会开幕式上的讲话加以说明，“……“八五”前三年全路发生车辆断轴、热切事故 28 件，其中重大事故 6 件，险性事故 22 件；“九五”前三年全路发生车辆断轴、热切事故 10 件，其中重大事故 4 件，险性事故 6 件……滚动轴承热切事故往往在很短的时间内发生，目前的红外线轴温探测装置由于布点密度、灵敏度等方面的原因，不能完全防止热切事故的发生。目前绝大多数检测装置都是根据发热确定轴承工作是否正常，但轴承破损后往往不首先表现在发热，首先是滚子振动频率发生变化，希望能开发研制根据故障轴承频谱发生变化的新一代轴承运行状态检测装置，及时发现故障，最大限度的防止热切事故发生。……”可见实施中国提速战略对车辆走行部安全的迫切要求。对于机械设备的故障诊断，理论方面在国内外都已经比较成熟，我国在理论上跟踪得比较紧，但由于各方面的原因，在诊断设备及其可靠性等到方面仍有一定差距。特别是在如铁路车辆结构复杂、工作环境恶劣、干扰信号繁杂等场合下旋转机械的在线故障诊断，目前国内还是空白，国际上也只有发达国家采用。

正是在这种情况下，受医疗诊断学中的一些基本逻辑思想的启发，并将之推广到工程技术领域，在二十世纪六、七十年代产生并发展了一门新的综合性边缘学科——机械设备故障诊断。随着信息传感技术、信号处理技术及现代测试技术等相关科学的发展，特别是 EDA、DSP、计算机等技术的飞速发展，为设备故障诊断提供了极大的技术支持，从而使铁路车辆走行部在线故障诊断技术的实现成为可能。

发明内容

本发明的目的在于提供一种设计结构合理、抗干扰能力强、抗振能力好且操作方便，故障确诊率高，适用于如铁路车辆结构复杂、工作环境恶劣、干扰信号复杂等场合下旋转机械的在线故障诊断装置及技术。

本发明的目的是通过如下途径实现的：它的硬件电路包括传感器、接线盒、电源电路、检测电路、DSP主板及LED显示器。电源电路由一片四运放IC1：LM324、BG01：9013、2.5V基准电压Z1及电阻、电容二极管等组成电源欠压、过压保护电路和延时启动电路；由C01~C03及滤波器FIR、C04~C06、C09~C011、防雷二极管V03~V04等组成抗电磁干扰电路；V01、V02组成防电源错接电路。传感器由数字温度传感元件DS18B20、压电加速度计、电荷放大器等组成。接线盒电路由89C51、24C02及MAX1480等组成。检测电路由TL034单运放与一个1K的精密电阻组成电流电压变换电路；由4N02、4N03及电阻电容组成共振及高通滤波电路；解调电路由IC5、二极管及电阻组成的绝对值检波和4N04及电阻电容组成的低通滤波电路构成。DSP主板由TMS320C31、1032E、IS61C1024、DS1642、ST28SF040、串行ADC、16C552、MAX485、MAX232及单片机等组成。LED显示器电路由89C2051、发光二极管、蜂鸣器、LED数码管及MAX7219等组成。本发明提取被测对象的温度、速度、振动冲击等进行多参量、多标准的综合精密诊断，对振动冲击信号进行共振解调、小波变换、FFT变换等综合处理，故障诊断采用时域振动能量分析、频谱分析、独特的故障诊断判据特相结合构成的故障诊断专家系统。

本发明铁路车辆走行部在线故障诊断技术具有以下特点：（1）系统提取被测对象的温度、速度、振动冲击等进行多参量、多标准的综合精密诊断，克服了单一参量、单一标准的局限性；（2）系统对振动冲击信号进行共振解调、小波变换、FFT变换等综合处理；

在解决铁路机车走行部结构复杂、工作环境恶劣、干扰信号繁杂等场合下的齿轮轴承故障诊断方面具有独特优势；（3）系统采用以DSP为核心的在线诊断主机，能对铁路机车及其他旋转机械进行不解体的在线状态监测和实时故障诊断；（4）系统采用时域振动能量分析和频谱分析相结合的故障诊断专家系统；（5）系统采用独特的故障诊断判据特构成故障诊断专家系统知识库；（6）系统综合技术指标为：温度精度 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ，故障确诊率97%，误诊率 $< 3\%$ ，漏诊率为零；（7）系统采用总线式结构，具有集成度高、抗干扰能力强、稳定性好、成本低；（8）系统具有离线数据管理功能，可随时了解被测对象运行的历史状态或进行趋势分析和离线综合精密诊断。

附图说明

下面结合附图对本发明作进一步详细说明：

图1为本发明硬件结构方框图；

图2为本发明电源电路及抗电磁干扰电路；

图3为本发明电流电压变换电路；

图4为本发明共振电路；

图5为本发明高通滤波器电路；

图6为本发明绝对值检波电路；

图7为本发明低通滤波器电路；

图8为本发明传感器、接线盒原理方框图；

图9为本发明DSP主板原理方框图；

图10为本发明LED显示器原理方框图；

图11为本发明主程序软件方框图；

图12为本发明信号处理软件方框图；

图13为本发明专家系统软件方框图。

具体实施方式

铁路车辆走行部在线故障诊断装置如图1所示（用于DF4B型铁路机车的实际连接），装置包括硬件和软件两部分组成，硬件和

软件均采用功能模块化结构设计。硬件主要包括电源电路、传感器、接线盒、检测电路、DSP主板及LED显示器六大部分。图2的电源电路及抗电磁干扰电路主要是控制DC-DC变换模块在正常范围内(72~144V, 机车使用)能正常工作, 其核心部分为一片四运放LM324, 将基准电压2.5V引入LM224的6、10、13脚, 通过调整R05、R07使5脚的电压为DC72V时等于2.5V, 这样一来输入电压低于DC72V时, DC-DC变换模块REM端将变为高电平, 从而使膜块禁止输出; 同样的道理, 通过调整R04、R06使9脚的电压在输入电压高于DC144V时, DC-DC变换膜块REM端将变为高电平, 从而使膜块禁止输出; 而延时电路是通过R08、C016来实现的; 防高频低频电磁干扰主要由C01~C03及滤波器FIR、C04~C06、C09~C011、防雷二极管V03~V04组成滤波抗干扰电路, 可有效抑制复杂的外界电磁信号对装置产生的电磁骚扰, 并防止装置本身对外界的电磁干扰; V01、V02组成防电源错接电路避免因使用不当对装置造成损害。图3是由TL034运放与一个1K(0.1%)的精密电阻组成, 电路用+/-8V供电, 用于将传感器输出的振动冲击电流信号转换为电压信号; 对于振动冲击的能量为1g, 传感器的灵敏度0.01ma/g, 那么运放的输出为10mv/g, 依此类推, 运放的输出与振动冲击的能量一一对应。装置采用硬件共振解调技术提取淹没在强烈背景噪声中的振动冲击脉冲信号, 有效抑制常规振动、干扰信号对测量的影响; 硬件共振解调电路由图4的共振电路、图5的高通滤波器电路、图6的绝对值检波电路及图7的低通滤波器电路等组成; 图4的共振电路和图5的高通滤波器电路由4N02、4N03及电阻电容组成, 电路中的电容器应当用聚苯乙烯或聚丙烯介质的精密电容器, 具有好的长期稳定性和低的温度系数, 电阻为0.1%的精密电阻。图6的绝对值检波电路和图7的低通滤波器电路由4N04、IC5、二极管及电阻电容组成, 用于对共振器输出的信号进行解调(即检波、滤波),

取出其包罗线（即去除常规振动及干扰信号并放大的振动冲击脉冲信号）。图8为本发明的传感器、接线盒原理方框图，传感器由数字温度传感元件DS18B20、压电加速度计、电荷放大器等组成，接线盒电路由89C51、24C02及MAX1480等组成；温度信号由单片机89C51直接采样，通过RS485总线送DSP主板；振动冲击的通道由DSP主板经RS485总线、接线盒单片机89C51控制，振动冲击信号经匹配放大并转换为电流信号后送检测板，经检测板共振解调后，送DSP主板的ADC采样；在电路设计，功率余量考虑时，不允许引起压电片共振，将DS18B20安装在传感器的温度最敏感点，且DS18B20的感温点与传感器外壳之间的应选导热性能良好的密封材料，不能留空可灌入传热性能差的密封胶，以减少温度惯性，接线盒是本着减少线路干扰的原则设计，每个接线盒对应六个组合传感器，温度信号由六个DS18B20输出单片机直接采样，每个通道的最新采样结果以替换方式暂时存储于内存对应单元，等待主机读取。DSP主板如图9，硬件由TMS320C31、1032E、IS61C1024、DS1642、ST28SF040、串行ADC、16C552、MAX485、MAX232及单片机等组成；这是整个装置的核心部分，它不但要完成故障信号从采样到诊断结果输出的全过程，而且还负责系统其他功能的管理与协调；因此这一部分的设计是否合理，性能是否可靠，直接影响整个系统的稳定性；该电路本着降低功耗、提高可靠性及稳定性、增强抗干扰能力的原则设计；电路中的单片机负责显示键盘管理、参数及时钟修改与存储等工作；它通过16C552与DSP总线连接；DSP运行程序通过单片EEPROM加载，运行存储为单片SBSRAM，转存数据通过USB接口到优盘上或通过RS232接口到转储器，诊断结果均由总线经16C552、MAX1480实现输出，采样数据经RS485、模拟信号线等获得。LED显示器电路由89C2051、发光二极管、蜂鸣器、LED数码管及MAX7219等组成，完成对DSP主板输出的采样结果及诊断结果的显示。

本发明的软件分为地面离线处理部分和在线实时处理部分，两部分软件处理方法及过程完全一致；图 11 是本发明的在线处理主程序软件方框图，主要包括轴温逐点测量、轴温快速扫描测量、振动 SV 值测量、温度振动综合精密诊断、地面顶轮精密诊断、数据转储、参数修改等七大可相互切换的功能模块；图 12 是本发明的信号处理软件方框图，采用抗混滤波、小波变换、FFT 变换等多种信号分析处理方法集成，装置采用车速频率跟踪采样，即被测部件每转 10.24 圈采样一次，以保证能采到各种故障信息的可靠采集；为解决采样信号混叠和高低频在频谱上的分辨率不一的问题，对采样的离散数字信号进行如图 12 所示的处理；图 13 是本发明的专家系统软件方框图，故障诊断采用了时域振动能量分析和频谱分析相结合、正向推理与逆向推理相结合的故障诊断专家系统，克服了单一参量、单一标准的局限性，实现了多参量、多标准的综合精密诊断；温度知识模块主要有如下功能：① 判断测量部件的旋转方向，② 建立或选择当前测点的温度数学模型，③ 计算当前测点的实际温度，④ 记录并保存当前测点的实际温度，⑤ 作出当前测点的温度趋势分析，⑥ 计算当前测点的温度上升率；转频知识模块主要有如下功能：① 判断速度的波动是否大于 $\pm 10\%$ ，大于则重新采样，② 计算可能经过的钢轨接缝个数，③ 剔出钢轨接缝信息，④ 计算各频段的速度变化率，⑤ 计算各类故障的特征频率，⑥ 确定各频段的分段频点；波形知识模块主要有如下功能：① 最大值识别，② 最小值识别，③ 方差（或标准差）识别，④ 偏态指标（或峭度指标）识别，⑤ 无量纲指标（脉冲指标和裕度指标）识别，⑥ 计算初级 dB 值，⑦ 判断初级 dB 值是否超过门限值；频谱知识模块是故障精密诊断的一个重要部分，对 FFT 变换后的幅值谱进行判断，主要有如下判据：① 搜索特征谱线及离散性判据，② 谱线幅值能量判据，③ 谱线清晰度判据，④ 多类故障共存判据，⑤ 故障互调判据，⑥ 高阶谱干扰判据，⑦ 谱线

半差判据；相位知识模块主要有如下功能：① 确定基频信号相对于转轴上某一确定标记的相位差，② 计算故障振动信号相位差，③ 补偿因滤波、小波变换等造成的相位滞后，④ 计算故障振动信号与旋转标记的相位角，⑤ 振动方向判断；振动稳定性知识模块主要有如下功能：① 计算故障类的 1、2、3、4 阶幅值平均值 G ，② 计算所有谱线的阶幅值平均值 F ，③ 计算 $K = G / F$ ，④ 记录并保存当前测点的 K 值，⑤ 若 K 值小于某一门限值，则认为不存在故障或故障较轻（可以不考虑）； K 值大于该门限值，则对 K 值作趋势分析。

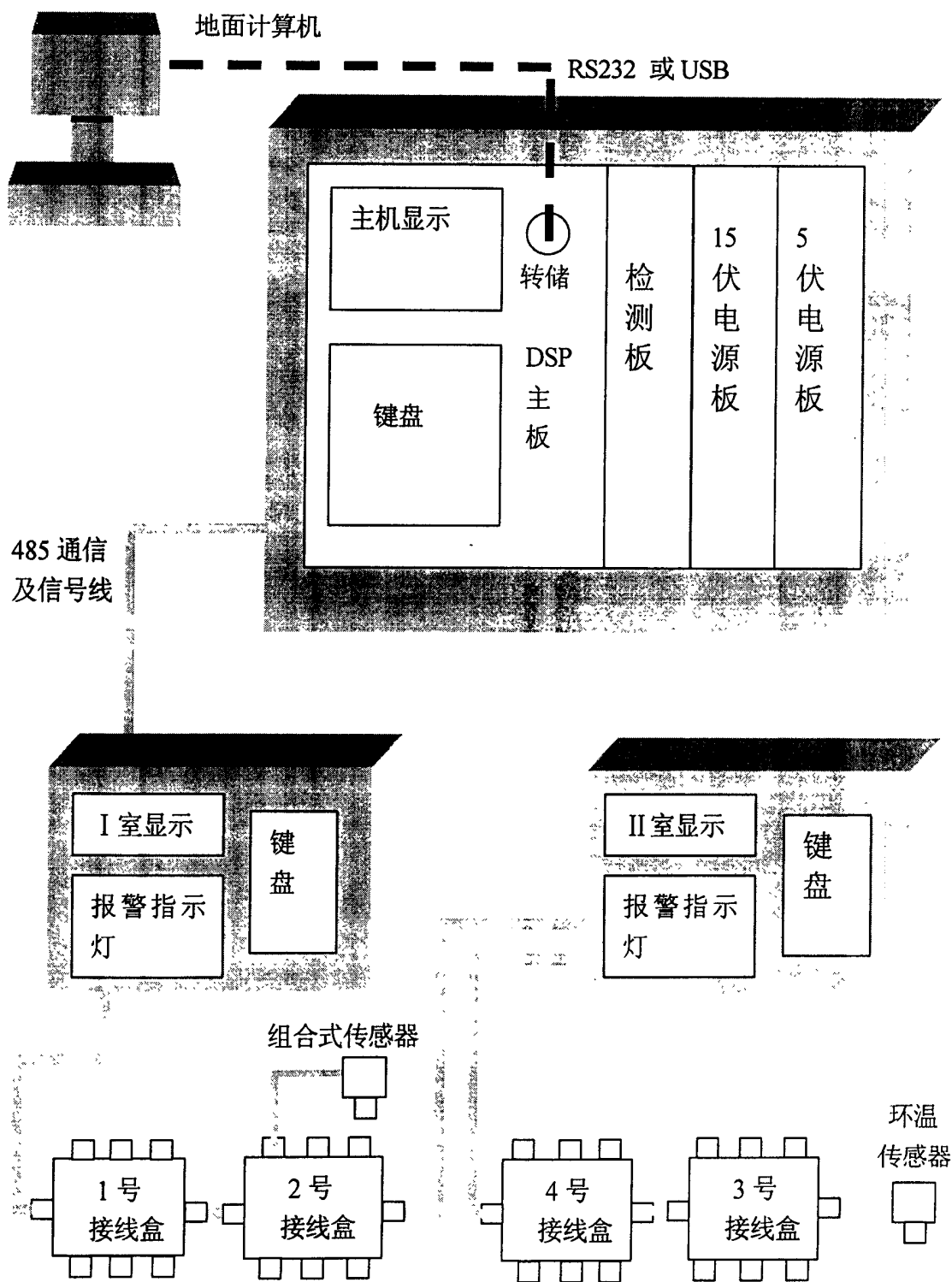


图 1 硬件结构方框图

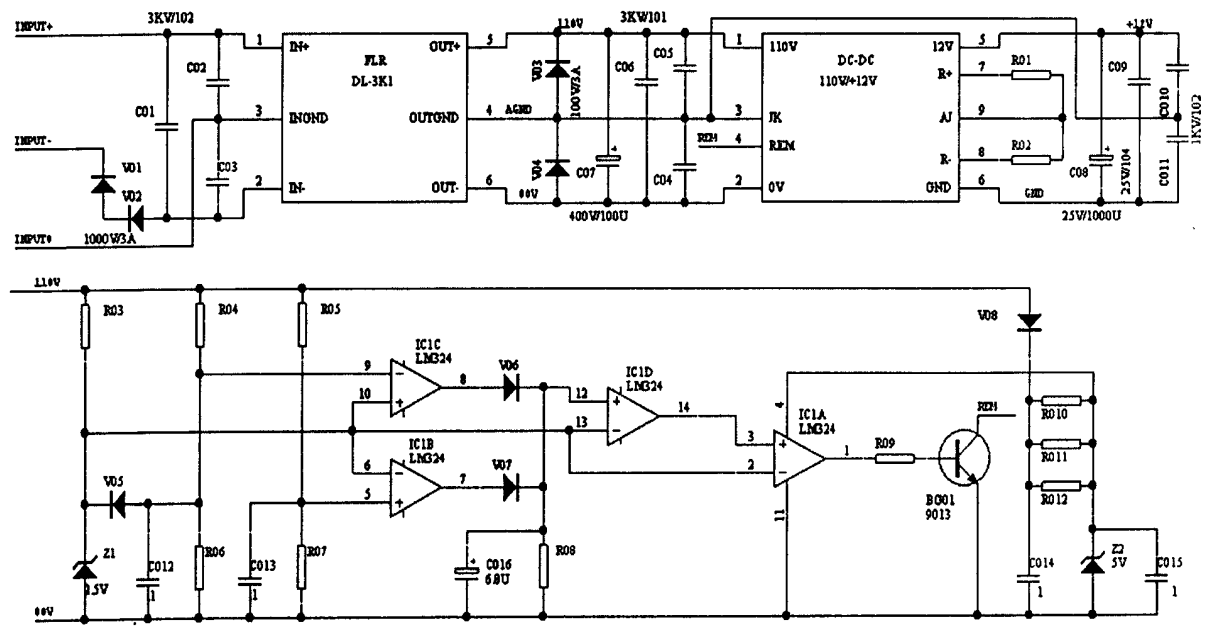


图 2 电源电路及抗电磁干扰电路

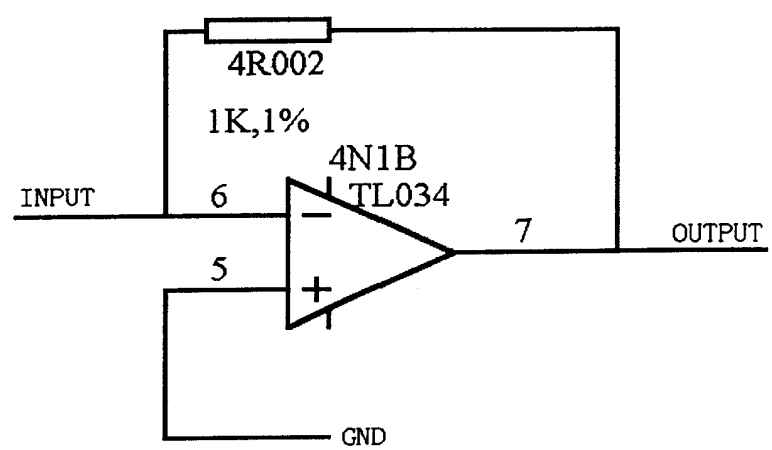


图 3 电流电压变换电路

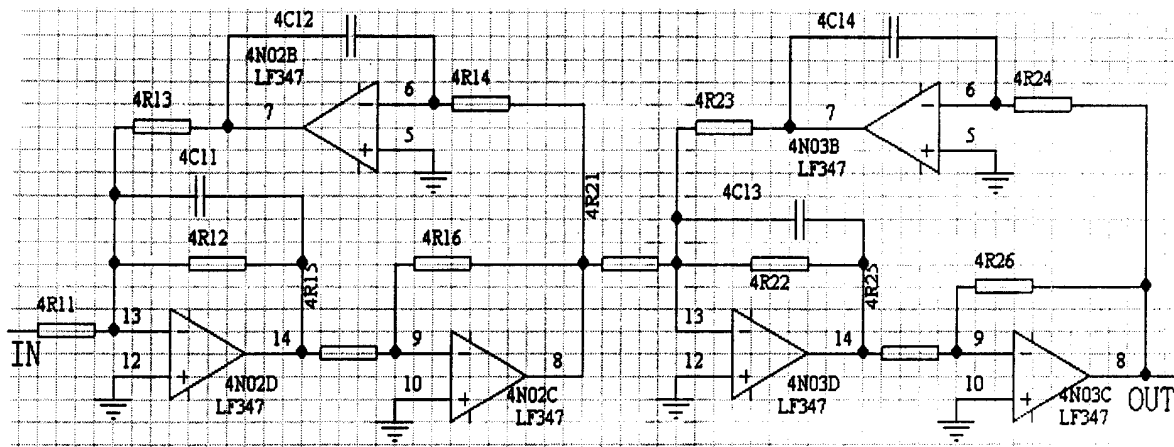


图 4 共振电路

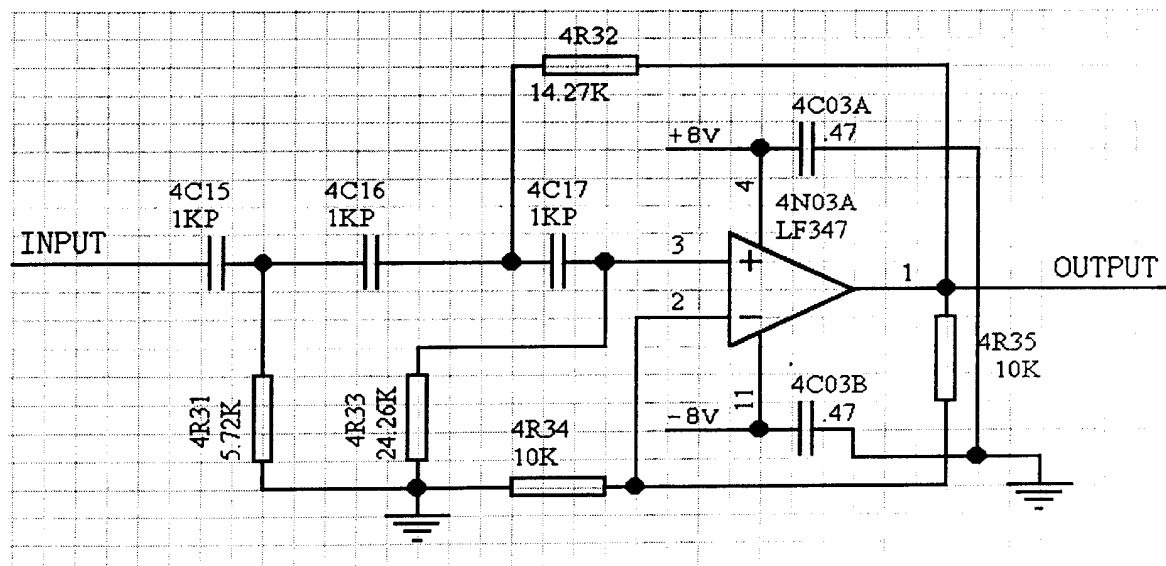


图 5 高通滤波器电路

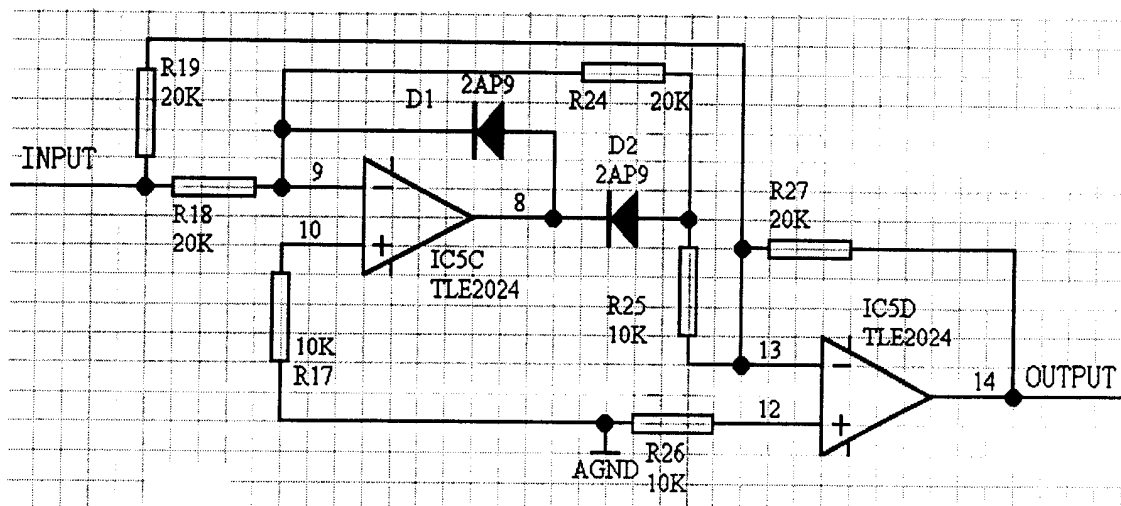


图 6 绝对值检波电路

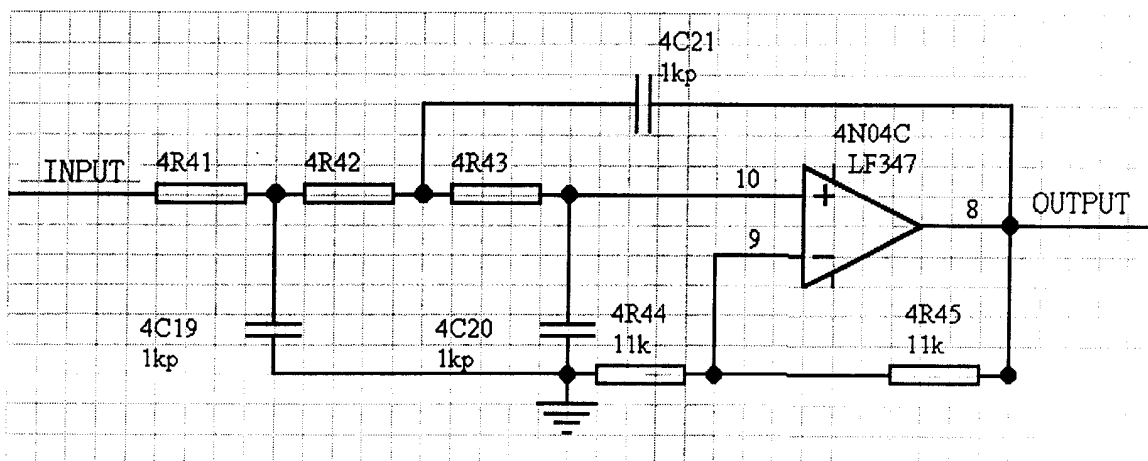


图 7 低通滤波器电路

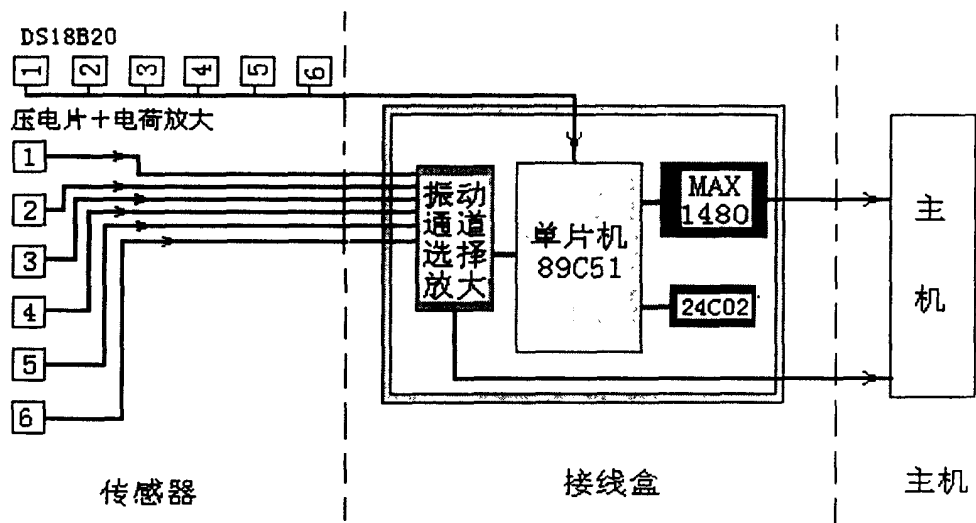


图 8 传感器、接线盒原理方框图

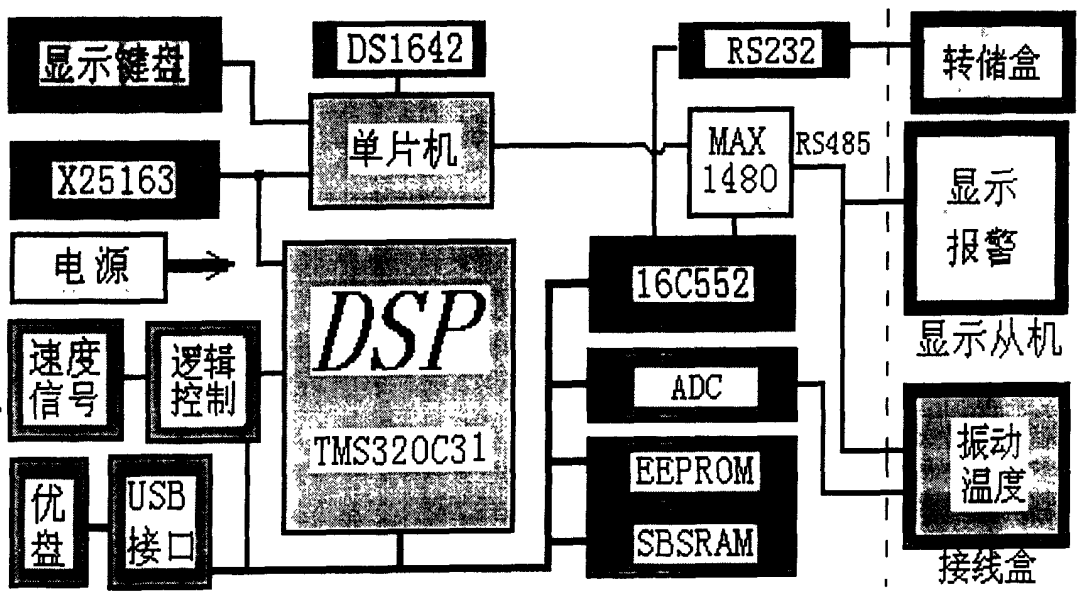


图 9 DSP 主板原理方框图

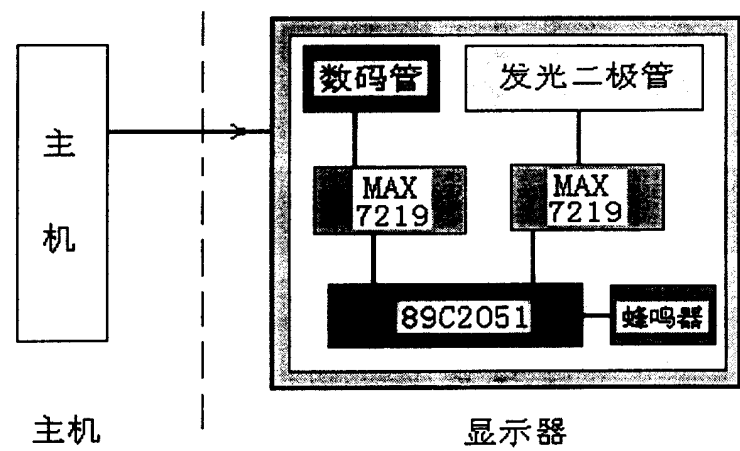


图 10 LED 显示器原理方框图

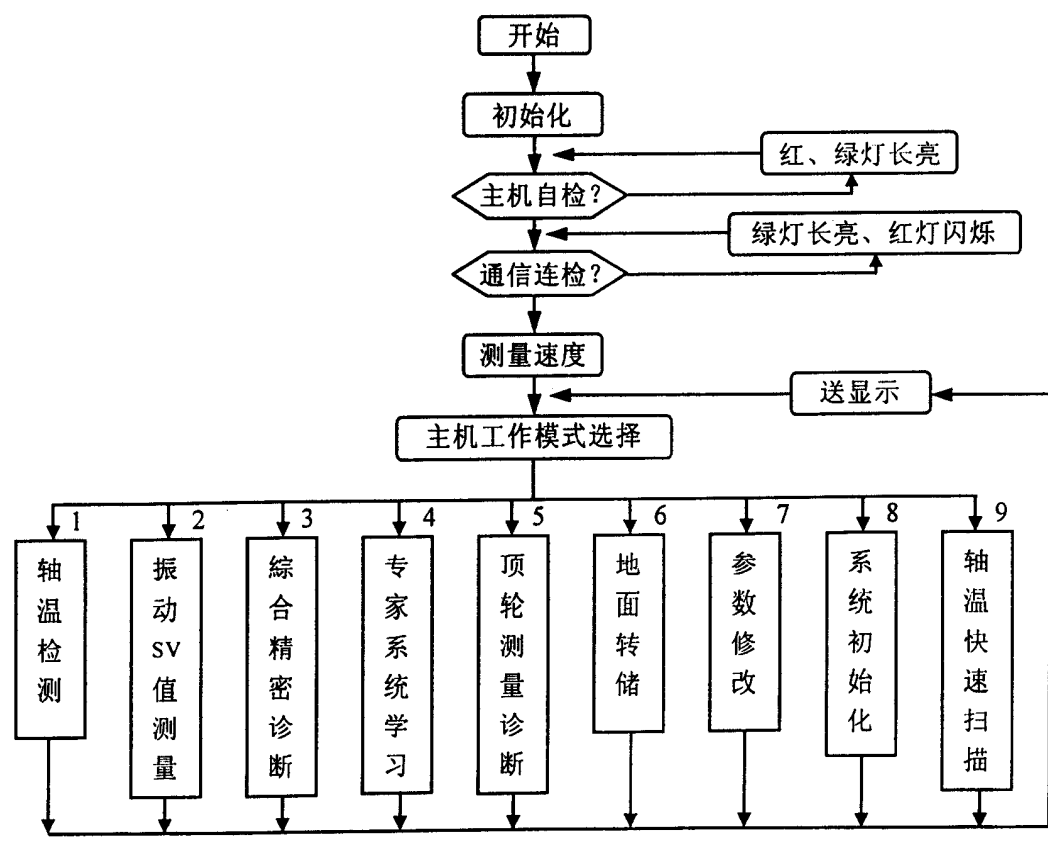


图 11 主程序软件方框图

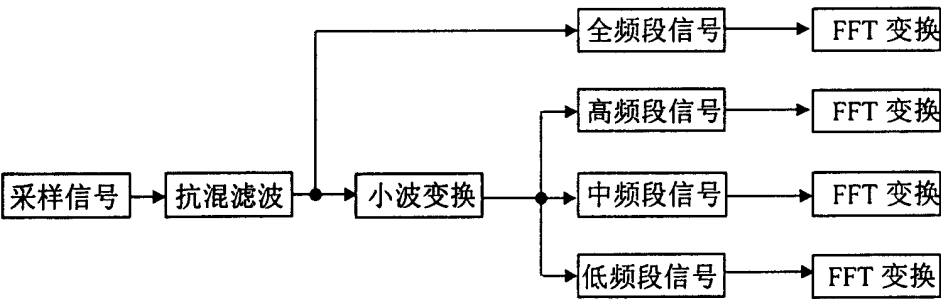


图 12 信号处理软件方框图

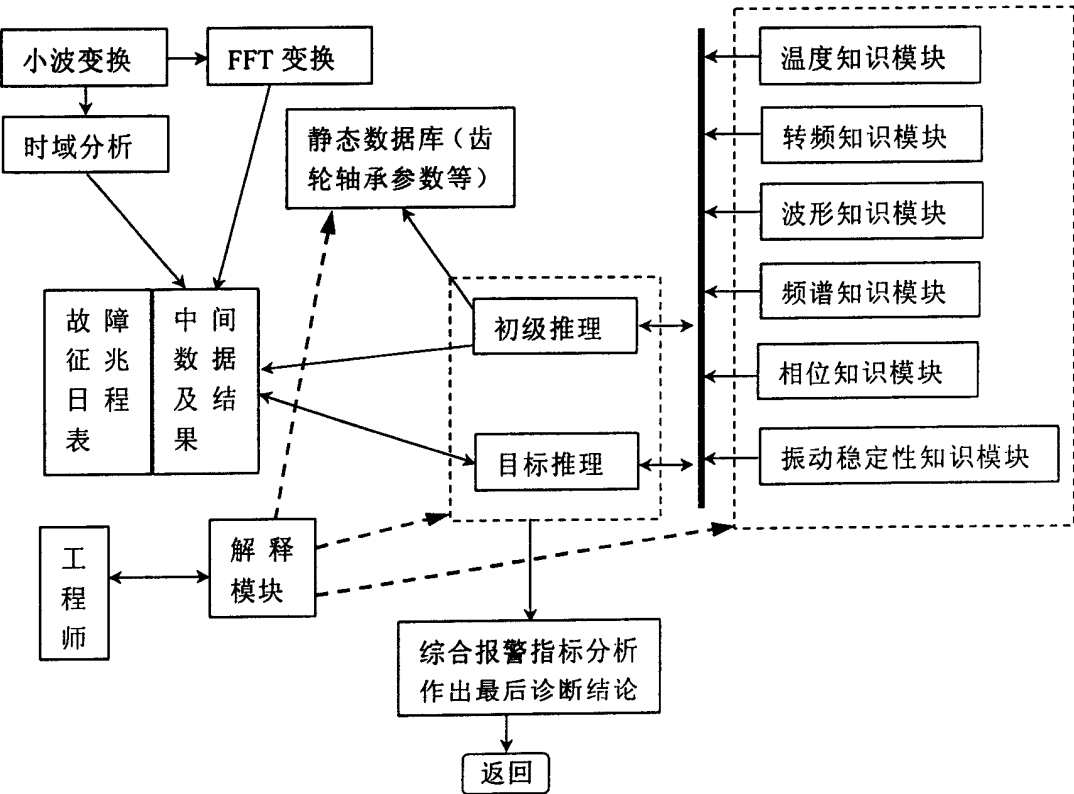


图 13 专家系统软件方框图