

基于 P2020 硬件平台振动监测系统的设计与实现

张文新

(广州航新航空科技股份有限公司创新中心, 广东 广州 510663)

摘要 本研究旨在设计并实现一种基于 P2020 硬件平台的振动监测系统, 用于实现对某型发动机传动装置基于振动的性能监测, 为发动机传动装置的维护决策提供数据支持。该系统可实时采集、存储、处理和分析振动数据, 并可通过地面维护设备对振动监测系统存储的历史数据进行下载和还原分析, 对发动机传动装置的状态进行趋势分析, 进而提高传动装置的运行安全和效率, 降低维护费用, 具有良好的应用前景。

关键词 P2020 硬件平台; 振动监测; 健康管理; 故障诊断

中图分类号: TP27

文献标志码: A

文章编号: 2097-3365(2024)10-0007-03

在当今工业应用中, 振动监测已成为确保机械设备运行安全和高效、降低维护费用的关键技术。本文针对实际工业应用中的某型发动机传动装置, 设计实现了一款基于 P2020 硬件平台的振动监测系统, 该系统通过对安装在该发动机传动装置上振动传感器输出振动信号的实时采集、存储、处理和分析, 并结合地面软件对历史数据的趋势分析处理, 实现了对发动机传动装置基于振动的性能监测, 为发动机传动装置的维护决策提供数据支持。该振动监测系统硬件架构简单, 运行可靠, 对提高传动系统的运行安全和效率, 增强故障预防能力, 降低维护费用, 具有重要意义, 应用前景广阔。

1 基于 P2020 硬件平台的振动监测系统设计

振动监测系统采用 28VDC 供电电源进行工作, 主要由振动监测传感器、信号采集处理器、地面维护设备组成。

1.1 振动监测传感器选型设计

振动监测传感器安装于发动机传动装置的监测点处, 用于实现高频振动信号和低频振动信号的采集、振动信号与电信号的转换。根据实际应用要求, 振动监测传感器选用高温电荷型传感器进行设计。其中, 高频振动监测传感器用于实时监测传动装置内部齿轮、轴等组件的高频振动信号, 量程 $0 \sim 500$ g, 频响范围 $5 \text{ Hz} \sim 12 \text{ kHz}$ (精度 $\pm 5\%$), 灵敏度 10 pc/g , 工作温度范围 $-55 \sim +200$ °C; 低频振动监测传感器用于实时监测传动装置整体的低频振动信号, 量程 $0 \sim 50$ g, 频响范围 $5 \sim 800$ Hz (精度 $\pm 5\%$), 灵敏度 10 pc/g ,

工作温度范围 $-55 \sim +200$ °C, 可以满足振动监测系统的信号采集要求。

1.2 信号采集处理器设计

信号采集处理器基于 NXP 公司的 P2020 芯片为核心处理器进行设计, 是整个振动监测系统的核心处理设备, 主要由振动及转速信号采集处理电路和 P2020 核心处理电路组成, 用于实时采集、存储、处理振动和转速数据, 并进行振动数据分析, 分析结果通过 RS422 总线实时上报给上位机系统, 实现对待测对象的实时监测和预警功能。同时, 信号采集处理器具备数据下载功能, 可通过以太网接口及地面维护设备对信号采集处理器中存储的振动、转速原始数据进行下载和还原分析处理, 对被监测对象的健康状态进行趋势分析, 进而提高发动机传动装置运行安全和效率, 降低维护费用, 实现视情维护功能。

1.2.1 振动及转速信号采集处理电路设计

振动及转速信号采集处理电路用于实现电源转换、振动信号和转速信号的采集、数字量化等功能, 主要由振动信号采集电路、转速信号采集电路、A/D 转换电路、电源转换电路和 FPGA 处理电路等组成。

1. 振动信号采集处理电路^[1-2]设计。振动信号采集处理电路在 FPGA 的控制下, 实现对高频振动信号和低频振动信号的实时同步采集、数字量化处理功能, 主要由 TVS 保护电路、电荷电压转换电路、增益调整电路、通道自检切换电路、滤波电路、A/D 转换电路等组成。其中, 电荷电压转换电路采用低噪声、极低偏置电流及 $G\Omega$ 级高输入阻抗的运算放大器进行设计,

采集的电荷型振动信号按 1 mV/g 转换系数转换为 mV 级电压型振动信号后,再经后级增益调整电路和滤波电路将振动信号调理为(0~5)V范围内的电压信号进行处理,进而提高信噪比,保证振动信号的采集精度。

为保证数字量化后振动信号的采集精度,方案选用 24 位分辨率、具备 8 通道同步采样功能的 ADS1278^[3-4] 芯片进行设计,针对 5 Hz~12 kHz 频响范围的振动信号,设计采样频率为 102 400 Hz;满足奈奎斯特采样定理要求,可以保证数字量化后振动信号的采集精度。

2. 转速信号采集处理电路设计。转速信号采集处理电路用于将实时采集的转速信号整形为方波脉冲信号后,输入给 FPGA 进行计数处理并换算为频率值。方案中,设计 FPGA 的全局参考时钟为 100 MHz,远大于实际的转速值输入范围,可以保证频率采集精度不低于 ±1%,满足实际应用需求。

3. 电源转换电路设计。电源转换电路用于将外部输入的 28VDC 供电电源转换为设备工作所需的 ±15VDC、+5VDC、+3.3VDC、+1.8VDC 等内部电源,选用 ±1% 电压输出精度的 DC/DC 电源转换芯片进行设计。

4. FPGA 处理电路设计。FPGA 处理电路用于实现系统时序逻辑控制、信号采集及数字量化、数字滤波及与 P2020 处理器间的数据通信功能,选用 xilinx 公司 K 系列 XC7K325T 芯片为核心芯片设计实现。

1.2.2 P2020 核心处理电路设计

P2020 核心处理电路主要由 P2020 最小系统^[5]、外接 SSD 硬盘、通信接口电路和自检电路等组成,是信号采集处理器的核心控制、数据分析、存储和处理电路。一方面,信号采集处理器在 P2020 核心处理电路的控制下,实现对振动和转速数据的实时采集、存储和分析处理;另一方面,通过通信接口电路,实现与上位机系统及地面维护设备的通讯功能。同时,通过对自检电路的控制,实现对信号采集处理器的自检功能。

1. P2020 最小系统设计。

(1) P2020 最小系统电路主要由处理器芯片 P2020、外扩 DDR3 数据存储器 and QSPI Flash 程序存储器、复位电路、时钟电路、电源转换电路和硬件配置电路等组成。

(2) P2020 处理器芯片为 NXP 公司生产的双 e500 核心架构的高性能处理器,是振动监测系统的核心处理器芯片。该芯片单核主频最高支持 1.2 GHz,具有 DDR、local Bus、SRI0、PCI-E、SPI、USB、SD/MMC、千兆以太网、UART 等丰富的外围接口,支持 -40~+125℃ 工作温度范围,可以很好地满足振动监测系统的实时

控制及运算、数据分析及处理、数据通信等要求。

(3) 外扩 DDR3 数据存储器主要用于实现系统工作过程中的程序加载、数据缓存等功能,采用镁光公司生产的 MT41J256M16 芯片进行设计,总设计容量 2 GB。外扩 QSPI Flash 程序存储器用于存储 CPU 主程序及系统日志信息,采用 1 片 ISSI 生产的、16 MB 容量的 Nor Flash 存储器芯片 IS25LP128F 进行设计,支持 -40~+105℃ 工作温度范围。

(4) 复位电路用于实现对信号采集处理器的上电复位和看门狗功能,选用美信公司生产的工业级 MAX 706 芯片进行设计。该复位电路在系统上电时对 P2020 处理器芯片和 FPGA 芯片进行同步复位,复位完成后,由 FPGA 芯片对其进行喂狗操作,同时 P2020 芯片与 FPGA 芯片间设计心跳指令,当心跳指令状态异常时,停止喂狗操作,由硬件复位电路对系统进行复位重启。

(5) 时钟电路选用 SiTime 公司生产的 3 片独立、+3.3 V 供电的工业级有源晶振进行设计,频率稳定度 ±20 ppm,支持 -40~+125℃ 的工作温度范围,分别用于实现为 P2020 处理芯片、FPGA 芯片和以太网 PHY 芯片提供 66 MHz、100 MHz 和 25 MHz 的工作参考时钟功能。

(6) 电源转换电路用于将内部 +5VDC、+3.3VDC、+1.8VDC 等电源转换为 P2020 核心处理电路工作使用的 +3.3 V、+1.8 V、+1.5 V、+1.0 V 等电源,为保证电源精度,电源转换电路选用输出精度不低于 ±1% 的 LDO 芯片设计实现。

(7) 硬件配置电路主要用于实现系统上电时对 P2020 处理器芯片的工作主频、工作模式、启动方式、接口工作模式等方面的硬件初始化功能配置,通过对 P2020 芯片的硬件初始化配置接口进行上、下拉电阻配置实现。本系统中,配置 P2020 处理器芯片的内部系统工作参考时钟及 DDR 控制器工作参考时钟为 400 MHz,内核工作参考时钟 1 GHz,上电采用 QSPI FLASH 方式进行启动,以太网接口采用 SGMII 工作模式。

2. SSD 硬盘选型设计。外扩 SSD 硬盘用于实时存储振动数据和转速数据,并可通过地面维护设备实现对 SSD 存储的历史数据的下载、还原和分析处理。本系统根据实际应用要求,选用 1 片工业级 PCI-E 总线接口的 SSD 硬盘芯片进行设计,硬盘存储容量 128 GB,可以保证振动数据连续存储时间不低于 90 小时。

3. 通信接口电路设计。通信接口电路主要用于实现信号采集处理器与上位机系统、地面维护设备的数据通信功能。信号采集处理器与上位机系统采用 RS422 总线通信接口进行设计,用于实时上报振动数据分析

结果及信号采集处理器的工作状态信息。信号采集处理器与地面维护设备采用千兆以太网口和 RS422 总线通信接口进行设计,其中千兆以太网口用于实现 SSD 硬盘数据下载及设备软件升级使用,RS422 通信接口用于设备的维护使用。

RS422 通信接口电平转换芯片选用美信公司的工业级芯片 MAX3490 进行设计,支持最大 12Mbps 的通信速率;千兆以太网接口选用 Marvell 公司的工业级 PHY 驱动芯片 88E111 设计实现,可以保证满足实际应用需求。

4. 自检电路设计。自检电路在 P2020 处理器的控制下,实现对振动信号采集通道、转速信号采集通道、内部各供电电源、DDR3 数据存储单元、QSPI Flash 程序存储器、SSD 硬盘等功能单元的自检功能,以保证系统的稳定、可靠运行。

1.2.3 信号采集处理器软件设计

信号采集处理器软件由 CPU 软件和 FPGA 软件组成。其中,FPGA 软件驻留在 FPGA 芯片的外扩 Flash 芯片中,采用 Verilog HDL 语言进行设计,用于实现时序逻辑控制、振动信号采集及数字量化、转速信号采集、数字滤波及与 P2020 处理器间的数据通信功能;CPU 软件基于 VxWorks 操作系统^[6-7]、采用 C 语言进行设计开发,是信号采集处理器的核心控制程序,用于实现整机控制及数据实时采集、存储、分析、处理,和与外部设备的数据通信功能。CPU 软件架构设计示意图,如图 1 所示。

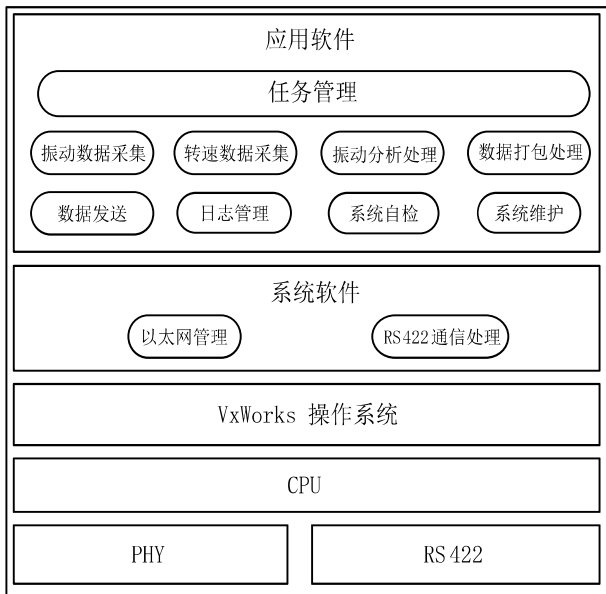


图 1 CPU 软件架构设计示意图

1.3 地面维护设备设计

地面维护设备采用高性能加固计算机笔记本电脑、

并内置专用地面分析软件设计实现。地面维护设备通过千兆以太网口对信号采集处理器 SSD 硬盘中存储的历史振动数据、转速数据进行下载,并通过内置的专用地面分析软件对下载的数据进行还原分析处理,进而实现对被监测对象的健康状态趋势分析和预警功能。

2 振动监测系统应用测试

为验证振动监测系统振动信号的采集精度,采用经过第三方机构校准认证的振动信号发生装置作为基准振动信号输出源,针对 5 Hz ~ 12 KHz、0 ~ 500 g 范围的高频振动信号,及 5 Hz ~ 800 Hz、0 ~ 50 g 范围的低频振动信号,选取典型测试点进行了采集精度测试验证。测试结果表明,振动监测系统振动信号的频率采集精度在整个频响范围内优于 $\pm 0.1\%$;在整个频响范围内、4 ~ 500 g 范围内的振动量值采集精度不低于 $\pm 5\%$,0 ~ 4 g 范围内的振动量值采集精度不低于 $\pm 0.2 g$,可以满足实际应用需求。

3 结束语

本文设计的基于 P2020 硬件平台的振动监测系统,已在某型发动机传动装置的振动性能监测环境中进行实际应用。系统工作稳定可靠,实时处理速度快,结果准确,展示了良好的产品性能。未来,随着技术的进一步发展,这一振动监测系统有望在优化能耗、提高数据处理速度和增强用户交互体验方面取得新的进展,系统的应用领域也可能扩展到更多工业自动化和智能监控领域,为相关领域设备的早期故障检测和预防性维护提供更强大的保证。

参考文献:

- [1] 李东星,荣刚,穆克强,等.基于 FPGA 的高精度振动采集传输系统[J].舰船电子工程,2024,44(01):70-75.
- [2] 施天宇,杨照坤,林希宁.差分驱动电路在 HUMS 系统中的应用设计及问题研究[J].机电工程技术,2022,51(01):61-64.
- [3] 王怀秀,朱国维.24 位高性能模数转换器 ADS1274/ADS1278 及其应用[J].国外电子元器件,2008(05):53-56.
- [4] 尚剑波,范修宏.一种实现 8 通道高速高精度光功率计的方案设计[J].电子元器件与信息技术,2022(01):226-228.
- [5] 何斌,钟洋.基于 P2020 的嵌入式计算机最小系统开发[J].电子科技,2017,30(03):121-124.
- [6] 杨旭光.基于 P2020 与 VxWorks 的嵌入式系统 PCIE 网卡设计[J].电子世界,2017(10):105-106.
- [7] 冯伟.基于 PowerPC 的 VxWorks 快速启动方案研究[J].工业控制计算机,2023,36(09):4-6,9.