

文章编号:1671-6833(2015)02-0099-06

基于嵌入式 Linux 的液压静力压桩机吊装过载安全监控

廖平, 余卫星, 刘纯亮, 李玉, 郑友娟

(中南大学机电工程学院高性能复杂国家重点实验室, 湖南长沙 410083)

摘要: 针对实现液压静力压桩机吊装部分智能化的需求, 提出了一套基于 S5PV210 处理器和嵌入式 Linux 操作系统的安全监控系统设计方法. 通过多传感器对静力压桩机吊装部分的各种工况进行实时监控, 以判断其工作状态并实现图文和声光报警提示; 并通过 Linux 操作系统记录保存吊装部分运行状态及操作信息, 实现类似黑匣子功能以便于事故记录查询. 试验实践结果表明, 该套系统能够有效地防止静力压桩机吊装部分出现过载问题, 实现了安全监控保护功能.

关键词: 液压静力压桩机; 安全监控; S5PV210; 嵌入式 Linux

中图分类号: TP277

文献标志码: A

doi:10.3969/j.issn.1671-6833.2015.02.022

0 引言

液压静力压桩机具有施工速度快、工效高、无噪声污染、无剧烈振动、无废气污染、无泥浆污染等特点, 目前已经广泛应用于房屋建筑、桥梁基础、基础路基、有轨和无轨路基的预制桩基础施工^[1]. 在文献[2]中, 作者采用了一套基于凸轮机构控制比例溢流阀的溢流压力来实现控制系统压力以达到系统过载保护功能的系统. 但该系统对凸轮机构的安装要求较高, 而凸轮磨损对系统性能影响较大, 导致整套系统在实时性、可靠性上很有限. 笔者在此基础上, 利用三星 S5PV210 微处理器, 设计了一套基于 Linux + QT4.5 的嵌入式系统. 系统通过倾角传感器实时检测吊臂变幅倾角 α , 并根据 α 值实时改变对应角度状态下比例溢流阀的上限卸荷压力, 从而保证系统最大压力不会超过过载极限压力; 压力变送器实时检测出系统压力值通过转换计算得到实时工作下的实际吊重, 并与该角度对应下的额定吊重进行比较判断, 过载则立即通过溢流阀锁定吊臂, 并给以声光报警以示提醒, 实现吊装过载保护功能^[3-4]. 利用嵌入式 Linux 系统进行吊装运行工况状态记录, 实现黑匣子功能, 以便事故时查询.

1 系统原理和总体设计

本系统采用的是三星基于 ARM Cortex-A8 内核的 S5PV210 微处理器, 系统运行嵌入式 ARM

Linux 系统, 利用 QT4.5 设计、实现人机交互界面. 系统通过压力变送器实时检测油缸大腔压力 P_1 和系统压力 P_2 , 通过倾角传感器检测得到吊臂倾角 α (图 1), 然后根据数学模型计算出吊机在该吊臂倾角 α 下的实时吊重 m , 将 m 与当前吊臂倾角 α 所对应的额定吊重 M_e 进行比较, 若 $m > \delta M_e$ (δ 为安全系数), 则可以判定系统处于过载状态, 此时通过先导式比例溢流阀对系统压力进行控制, 从而起到过载保护作用. 另外系统根据信息及时给出声光报警信号, 并在界面上给操作人员以提示信息, 引导操作人员正确操作.

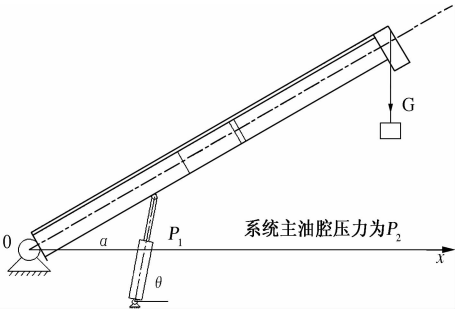


图 1 液压静力压桩机吊装吊臂工作示意图

Fig. 1 Crane cooking schematic of hydraulic static pile driver

2 系统检测数学原理模型

系统通过检测到的吊臂倾角 α , 可以计算出油缸倾角 θ , 根据油缸倾角是否大于 90° , 可以分为两种情况进行转换, 再根据系统吊臂工作数学模型得

收稿日期:2014-06-03; 修订日期:2014-09-06

作者简介:廖平(1964-), 男, 江西樟树人, 中南大学教授, 博士, 主要研究方向:机电一体化和计算机测控技术.

到系统工作实时检测的吊重大小。(1)油缸仰角小于等于 90° 时(图2),即 $c \cdot \cos \alpha \geq (a+b)$ 时

$$\theta = \tan^{-1} \frac{c \cdot \sin \alpha + h}{c \cdot \cos \alpha - (a+b)}. \quad (1)$$

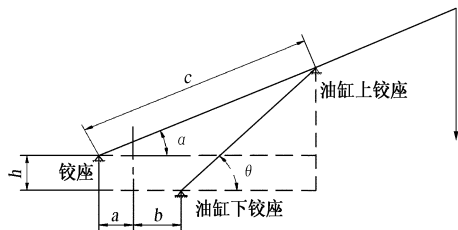


图2 油缸仰角小于 90° 时的关系模型

Fig.2 Relational model when the elevation angle is less than 90°

(2)油缸仰角大于等于 90° 时(图3),即 $c \cdot \cos \alpha \leq (a+b)$ 时

$$\theta = \pi - \tan^{-1} \left(\frac{c \cdot \sin \alpha + h}{a+b-c \cdot \cos \alpha} \right), \quad (2)$$

式中: α 为吊臂铰座到回转中心的距离; b 为油缸下铰座到回转中心距离; c 为吊臂铰座到油缸上铰座距离; α 为吊臂倾角; θ 为油缸仰角。

根据 θ 、 α 等值可以得到吊机的实时吊重为

$$m = \frac{P \cdot c \cdot \sin(\theta - \alpha) \times \pi d^2 - 2.2 M_{q0} \cos \alpha}{22\,540 \times L \cos \alpha} - m_{hl}, \quad (3)$$

式中: m 为实时吊重; P 为油缸大腔压力; c 为吊臂铰座到油缸上铰座距离; α 为吊臂倾角; θ 为油缸仰角; d 为油缸大腔直径; L 为吊臂长度; M_{q0} 为自重力矩; m_{hl} 为滑轮组质量。

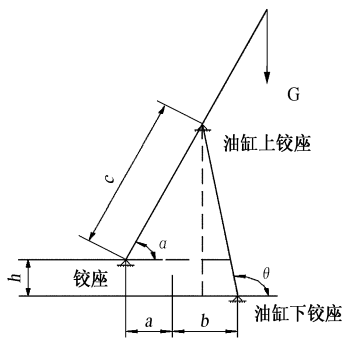


图3 油缸仰角大于 90° 时的关系模型图

Fig.3 Relational model when the elevation angle is greater than 90°

3 系统硬件平台设计

系统硬件主要分为两大模块,1为微处理器模块主板,2为数据信号处理模块板。主板上 UART 串口、USB 接口电路,以实现开发阶段与

PC 机交互作用;有显示屏接口、SD 卡、时钟电路,用以显示时间和记录。主板实现系统软硬件资源管理功能,主要进行人机交互功能。信号处理模板主要为主机提供外接传感器的数据处理,实现模拟信号采集、处理、转换,开关量信号采集、处理,开关量信号输出等功能。系统整体硬件框图如图4所示^[6]。

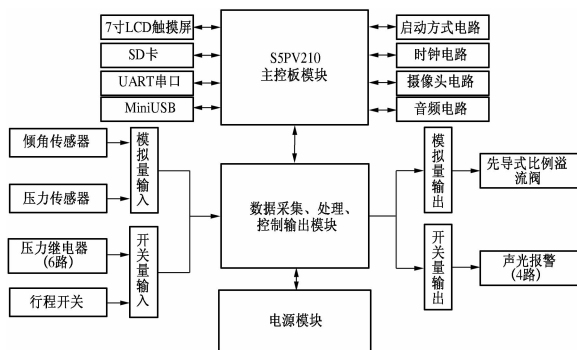


图4 系统硬件模块结构

Fig.4 Module diagram of system hardware

3.1 微处理器主控模块

主控模块采用的是天嵌科技公司的主控核心板 TQ210_COREB 核心板,该核心板处理器采用的是三星 S5PV210 微处理器,主频可达 1 GHz,处理器内部为 64/32 位总线结构,2/32 kB 一级缓存,512 kB 二级缓存。核心板配置 1 G 的 DDR2 内存,1 G 的 SLC Flash。运行 Linux 系统,有效地管理系统资源,主控模块主板为核心板设计了连接接口、SD 卡电路(黑匣子功能)、RS232 串口电路、7 寸触摸屏、摄像头、音频、USB 下载电路、时钟电路等。该处理器能提供很高的数据处理能力,主频可达到 1 GHz,使系统可以满足更高的实时性要求。Linux 系统具有非常好的软硬件资源管理能力使系统可以简便地利用文本文件进行多机型初始化配置,实现一套系统多机型适用;并且能够保存机子运行状态信息,方便事故原因的调查和分析,为往后的系统程序开发升级维护提供便利。

3.2 信号处理模块

信号处理模块可以分为 4 个部分,分别为模拟信号输入、输出模块,数字量开关信号量输入、输出模块。

3.2.1 模拟输入

主要是对传感器输入信号进行调理转换,模拟信号处理总流程如图5所示。本系统共安装了 2 个压力变送器、1 个倾角传感器共 3 个传感器,考虑到信号需要长距离传输,所选用的传感器均为 4~20 mA 电流型输出传感器。在对传感器输

出电流信号转电压信号过程中,采用了高精度电流环接收器 RCV420 芯片,该芯片内部集成了高精度的灵敏电阻,能够保证较高的转换精度.为了消除工业供电上的工频干扰,进一步提高 AD 转换精度,对转换的电压信号进行了工频 50 Hz 的陷波处理.工频陷波采用双 T 型带阻滤波电路,陷波电路如图 6 所示,Multisim 仿真结果如图 7 所示.陷波处理之后进一步进行低通滤波,消除噪声干扰,提高可靠性.最后进入 AD 转换之前加上了电压跟随器,进行阻抗匹配.本系统 AD 转换采用的 AD7928 芯片,该芯片支持 8 个模拟输入通道(以备升级使用),具有 12 位转换精度,转换速率可以达到 1MSPS,完全满足系统精度和实时性要求.

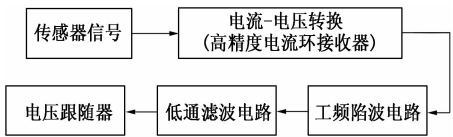


图 5 模拟信号处理流程

Fig. 5 Flow diagram of analog signal processing

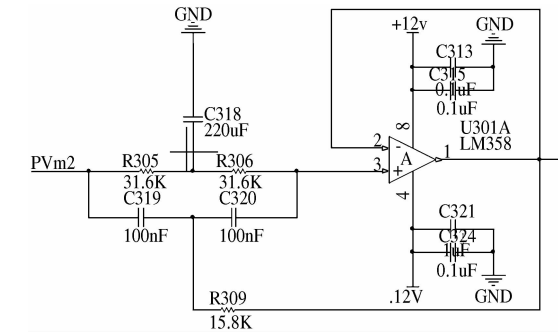


图 6 50 Hz 工频陷波电路

Fig. 6 50 Hz power frequency trap cirouil

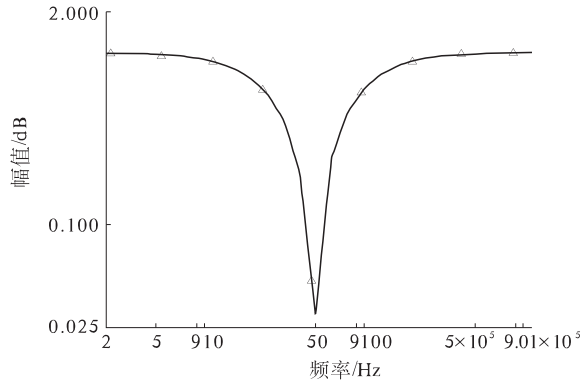


图 7 50 Hz 工频陷波电路仿真结果

Fig. 7 50 Hz power frequency trap circuil simulation results

3.2.2 模拟输出

系统比例溢流阀的控制通过电压控制配套使

用的放大器板实现.放大器所要求的输入信号为 0~10 V 的电压信号.本系统利用 DA 转换电路以输出电压信号,所采用的 DA 芯片的型号为 AD5328 芯片,该芯片具有 12 位转换精度,输出 0~5 V 电压信号,通过对 0~5V 输出进行 2 倍线性放大处理,得到 0~10 V 电压信号的输出.在最终输出前加以光耦隔离,以提高系统抗干扰能力,如图 8 所示.光耦电路中的 VR400 为可调电阻,用以精确调整光耦两端的电压,以保证输出电压与输入电压大小相等.在对系统模拟输出进行电压测试时,将 0~10 V 电压进行 20 等分,分别利用放大器控制比例溢流阀得到比例溢流阀的卸荷压力,利用 Matlab 对实验测试数据进行校准拟合,得到的比例溢流阀的二次拟合曲线如图 9 所示.

3.2.3 开关量信号输入

系统本部分电路主要是利用接近开关识别吊机运行状态,分为油缸举升、油缸下放、卷扬抬升、卷扬下放等工况,通过对不同的工况的识别可以对不同工况下的吊机过载情况进行不同的处理,并在显示器上显示不同工况下的系统运行信息,在系统过载情况下,给以相应的过载报警信息和正确的处理操作,以防止客户在系统过载后进一步错误操作.

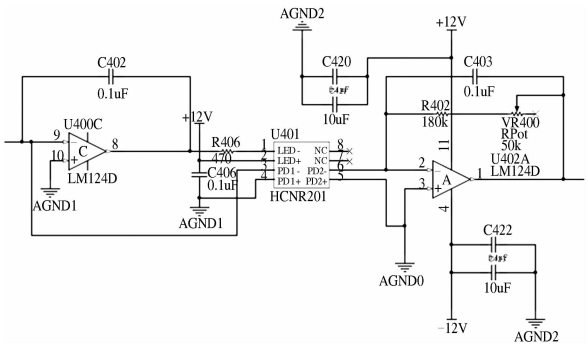


图 8 光耦隔离电路

Fig. 8 Optocouple isolation circuit

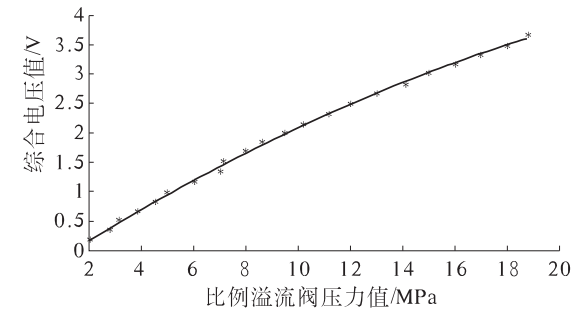


图 9 比例溢流阀校准曲线

Fig. 9 The calibration curve of proportional relief valve

3.2.4 开关量信号输出

开关量信号输出主要是实现声光报警功能,提示客户以报警信息,避免进一步的错误操作.具体的报警控制策略如图 10 所示.信号输出主要是利用 ULN2003A 芯片以控制 24 V 继电器的输出,并加以线性光耦隔离实现抗干扰能力.

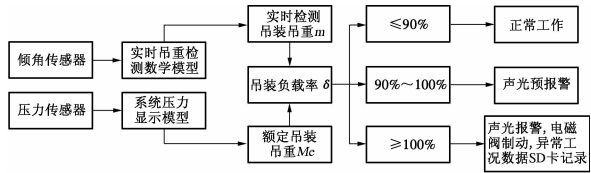


图 10 液压静力压桩机吊装起重机安全监控报警控制
Fig.10 The alarm policy of the safety monitoring system

4 系统驱动软件设计

Linux 操作系统下的设备驱动程序主要扮演系统应用与系统硬件直接实际操作映射的作用,主要有 3 类设备:块设备、字符设备和网络设备.本系统采用的硬件均是通过 SPI 接口以流字节的形式进行数据交换,固以字符型设备来设计驱动程序^[7].如图 11 所示,系统应用程序是利用系统调用实现与运行于系统内核层中的驱动程序进行交互,并通过驱动接口,实现对具体底层硬件进行数据交互和控制^[8-9].

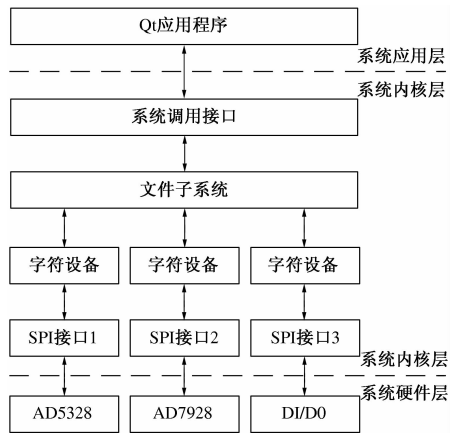


图 11 系统驱动结构图
Fig.11 The architecture diagram of system driver software

5 系统控制软件设计

系统主控制逻辑由面向对象编程软件 Qt4.5 实现,并通过开机运行脚本,设置系统开机后进入主监控程序中,然后循环监测运行. Qt 是基于面向对象的 C++ 语言,是跨平台的图形用户界面应用程序开发框架,Qt 所独有的信号与槽通信机制使得系统在事件设计处理中很方便,Qt 也提供了

简便的国际化支持和语言字符翻译. 为了运行嵌入式系统 Qt 应用,首先要进行环境配置,在 ubuntu 系统中进行 Qt 源码的交叉编译,得到嵌入式系统环境下的 Qt 运行库,将相应库文件移植进嵌入式系统设备中,配置好系统环境,实现 Qt 应用程序的运行^[10].

系统主监测控制程序主要实现吊机运行状态的界面显示:①显示系统压力、回油压力、实时吊重、变幅倾角、吊臂重物下放时的极限角度、系统工作状态、信息提醒以及系统运行时间的相关信息的显示;②实现吊机机型等参数显示;③实现吊机运行状态的信息记录保存,包括报警记录信息的记录和查阅,实现系统相关的帮助功能介绍及查阅;④实现出厂化进行特定机型子型号的选择,并设置用户密码登录界面以防止客户对机型参数数据的误操作. 主要实现功能框图如图 12 所示.

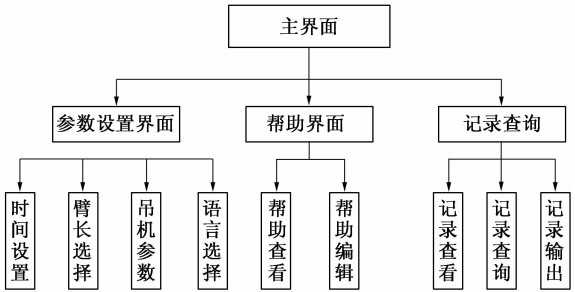


图 12 系统主要界面结构图
Fig.12 Diagram of main system interface

系统进入主控制程序后,首先读取 SD 卡中配置好的吊机参数、吊机额定吊重、程序显示语言、时钟等信息;随即进入吊机实时数据的检测扫描,得到吊机实时运行的相关信息,并进入主控制逻辑,图 13 为系统控制主流程,对应不同的工况条件,程序跳转至不同的判断逻辑中,并在主界面上进行对应的操作显示状态和报警状态^[11-14].

6 试验结果及结论

利用一台 120 t 液压静力压桩机进行上机调试试验,为了方便试验过载情况,进行修改吊机额定起重参数,变幅倾角小于 18°的额定起重参数全修改为 0.9 t,18°以上的额定起重按比例进行缩小. 表 1 中数据为液压静力压桩机起吊 1.4 t 重重物的测试数据,表中测试数据为吊臂举升重物所测得的实时吊重检测数据,吊臂下降时进行试验测试数据可以发现,吊臂下放重物所测得的实时吊重检测数据,最大误差可以达到 27.20%. 从表中可以看出,重物在抬升过程中,系统所测得数

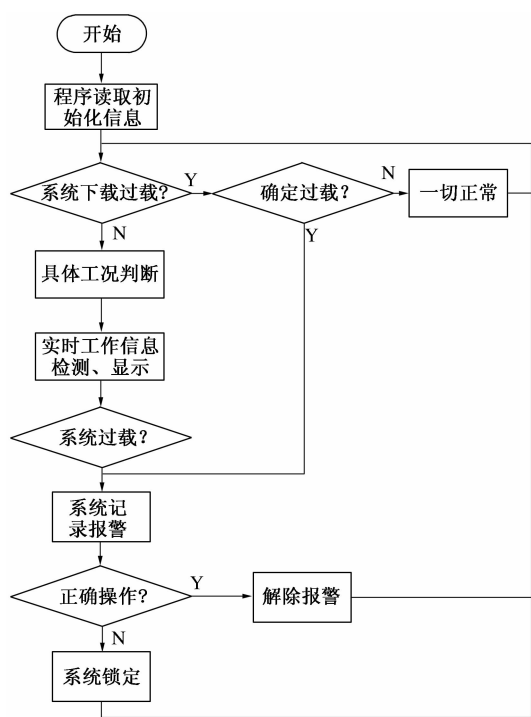


图 13 系统控制流程图

Fig. 13 Diagram of system control flow

表 1 液压静力压桩机吊机过载保护系统实时检测数据

Tab. 1 Real time test data of crome overload protection system

实验 次数	变幅 倾角 $\theta/(^{\circ})$	油缸 压力 P_1/MPa	实际 吊重 m/t	误差度 /%
1	18.3	7.2	1.523	8.78
2	23.0	6.2	1.308	6.57
3	25.0	6.2	1.336	4.57
4	27.6	6.1	1.365	2.50
5	29.8	6.0	1.381	1.36
6	31.6	5.8	1.373	1.93
7	33.6	5.7	1.384	1.14
8	35.8	5.5	1.371	2.07
9	37.5	5.4	1.380	1.43
10	39.2	5.4	1.417	1.21
11	41.4	5.2	1.429	2.07
12	43.5	5.1	1.407	0.50
13	45.2	5.0	1.418	1.28
14	47.6	4.8	1.409	0.64
15	49.2	4.8	1.450	3.57
16	52.9	4.3	1.450	3.57
17	54.8	4.3	1.450	3.57
18	53.0	4.4	1.420	1.43
19	57.2	4.2	1.495	6.78

据比较准确,除了小角度下的误差在 8% 左右外,其他数据误差均比较小,但重物在下放过程中系统测试数据误差普遍比较大,且基本上是大于与

抬升过程对应角度的数据,这是因为系统下放重物时,油缸无杆腔有较大压力对油缸有杆腔检测的油压影响有关. 所以系统在显示实时吊重检测数据时,应该采用抬升重物所测得的实时重物重量. 在吊机模拟系统过载情况时,系统能够准确迅速的检测出过载情况并立即停止吊臂的继续危险操作,然后给出声光报警,在界面上给以用户正确操作提醒. 试验表明,高达 1 GHz 的 32 位处理器能够完成高性能、高速率的数据处理任务,加上 linux 系统并行任务的处理,该系统能够满足液压静力压装机吊机系统实时性准确性要求,能够较好的解决液压静力压桩机吊机施工过程中出现的过载情况.

7 结论

通过现场吊装系统模拟过载试验可知:在吊装系统过载情况时,系统能够准确迅速的检测出过载情况并立即停止切断系统,防止吊臂的继续危险操作,然后声光报警,并在界面上给以正确操作提示. 并且能有效记录系统运行信息,实现了黑匣子可查功能. 另外,试验结果表明,高达 1GHz 的 32 位处理器能够完成高性能、高速率的数据处理任务,加上 linux 系统并行任务的处理,该系统能够满足液压静力压装机吊装系统实时性准确性要求,能够较好的解决液压静力压桩机吊装施工过程中出现的过载情况.

参考文献:

[1] 杨薛亮,陶阳. 浅谈我国起重机安全装置的现状 & 发展[J]. 建筑机械化,2011(11):83-86.

[2] 胡均平,刘兴农,朱桂华. 液压静力压桩机吊机过载保护系统研究设计[J]. 工程机械,2005(5):21-23.

[3] WANG An-min, HE Zhao-min, ZHANG Xue-qiang. Crane lifting moment limiter based on AT89C52 single-chip microcomputer [J]. Instrument Technique and Sensor,2008(6):475-490.

[4] 赵福令,赵海涛,王欣,等. 基于 ARM 的履带起重机械力矩限制器系统设计[J]. 工程机械,2010,41(2):49-54.

[5] 计三有,张伟健,仇艳丽. 基于 ARM-Linux 的门座起重机作业监控系统的实现[J]. 工程机械,2013,44(6):6-11.

[6] KARL A RAYNAT, GARY R S. Intelligent positioning of mobile cranes for steel erection[J]. Computer - Aided Civil and Infrastructure Engineering, 1993, 8(1):67-74.

- [7] XU Wei, HU Zhi-zhong, XIAO Qian-gui. Implementation of SPI and driver for AD7714 based on embedded Linux[J]. Instrument Techniques and Sensor, 2011, 62(4):42-44.
- [8] Implementation of SPI and driver for AD7490 and AT91RM9200[J]. Computer Measurement & Control, 2009, 17(10):2089-2091.
- [9] 仇洁婷, 陈儒军, 何展翔, 等. Linux2.6 内核下同步串行通信驱动的开发与应用[J]. 计算机应用, 2012, 30(3):850-853.
- [10] The Research of Qt_Embedded and Embedded Linux application in the intelligent monitoring system control [C]//2010 2nd International Conference on Advanced Computer Control (ICACC 2010), 83-86.
- [11] 程荣龙, 乔爱民, 罗少轩. 汽车起重机电力矩限制器软件系统的抗干扰设计[J]. 安徽科技学院学报, 2010, 24(5):9-13.
- [12] 张甜甜, 王文军, 陈辉. 线性光耦 HCNR201 在模拟电压测量中的应用[J]. 可编程控制器与工厂自动化, 2009(9):94-97.
- [13] 任洪林, 陈玥名. 消除电网工频信号干扰的陷波电路设计[J]. 佳木斯大学学报:自然科学版, 2007, 25(1):5-6.
- [14] 张文华. 基于 DSP 的塔式起重机安全监控系统研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学机电工程学院, 2010.

An Overload Safety Monitoring System of Lifting in Hydraulic Static Pile Driver Based on Embedded Linux

LIAO Ping, YU Wei-xing, LIU Chun-liang, LI Yu, ZHENG You-juan

(State Key Laboratory of High Performance Complex Manufacturing, Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract: For the realization of intelligent demand of the lifting part of the hydraulic static pile driver, a design about a set of safety monitoring system based on S5PV210 processor and embedded Linux operating system is proposed in the paper. To achieve the function of graphics, sound and light alarm, the system monitors the real-time status of various conditions by multi-sensor installed on the static pile driver lifting parts. We record the running and lifting operation information via the Linux operating system, which is similar to the black box. The experiment results demonstrate that the system can effectively prevent the overload problem and achieve the monitor protection function.

Key words: hydraulic static pile driver; safety monitoring system; S5PV210; embedded Linux