

基于 AT91RM9200 的三相工频电参数测量系统设计

关 健,刘林山

(吉林电子信息职业技术学院 机械及自动化工程系,吉林 吉林 132021)

摘要:应用 ARM 微处理器 AT91RM9200 设计了一种用于三相工频电参数的测量系统,实现了电流、电压、频率、相位、有功功率、无功功率以及累计电量等参数的测量、处理和远传通信功能。系统硬件电路设计采用 ADE7754 高精度三相电能测量集成芯片与 ARM 微处理器、电压互感器和电流互感器的测量接口以及 SSD1906 显示接口,采用 RTL8019AS 扩展以太网接口及嵌入式 TCP/IP 协议实现数据远程通信,通过移植实时嵌入式操作系统 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 对所有任务进行调度管理,解决了多任务系统中难以处理的实时性差的问题,同时增强了系统工作的可靠性。

关键词:电参数;测量; $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 操作系统;以太网

中图分类号: TM 930.9

文献标识码: B

文章编号: 1006-6047(2007)06-0085-05

0 引言

随着国民经济的快速发展和人民物质生活水平的不断提高,对电力需求越来越大,电力作为一种重要商品,也越来越受到人们重视。工频电参数的测量在工业控制、电力系统、电气测量及各种机电一体化装置中具有重要意义。而传统的测量电参数的方案,存在硬件电路复杂、软件运算量大、测量精度低等缺点,采用 32 位 ARM 处理器为核心的工频电参数测量系统,实现对电流和电压真有效值、有功功率、功率因数以及累计电量等三相工频电参数的测量、处理、传送,具有结构简单、投资少的特点,并具有较高的测量精度^[1-3]。

1 系统硬件电路组成及实现^[4-7]

1.1 AT91RM9200 微处理器

Atmel 公司的 AT91RM9200^①是基于 ARM 920T 内核的嵌入式微处理器,时钟频率为 180 MHz 时,运算速度可达 200 MIPS。AT91RM9200 集成了丰富的系统外围和应用外围接口及标准接口,内部不仅具有 16 KB 的数据缓存和指令缓存,还具有存储器管理单元。支持 SDRAM 静态存储器,集成有以太网控制器 EMAC,几乎囊括了嵌入式应用领域内的各种主流接口。这款处理器不但性能卓越,同时价格相对低廉,而且还是一款工业级处理器。

以 AT91RM9200 构建的最小系统由 4 个部分组成。

a. 程序存储器。采用一片 HY 57V 64120 扩展 16 位 2 MBFlash 存储系统用于存放用户编写的启动程序,操作系统内核以及应用程序,系统上电或复位

后从此获取指令并开始执行。

b. 数据存储。采用 2 片 HY 57641620 并联组成 32 位存储系统,能充分发挥 32 位 CPU 的数据处理能力。

c. 时钟发生电路用于向处理器以及其他电路提供时钟,由于其内带振荡电路,这里外接 32.768 Hz 的晶振后,可产生慢时钟(SCLK)。

d. 复位电路及看门狗。主要完成系统的上电复位和用户按键复位。JTAG 接口用于芯片内部测试及对系统进行仿真、调试。通过 JTAG 口可以对芯片内部的所有部件进行访问。AT 91 RM9200 内部带有看门狗电路,也可外加看门狗电路,本设计选用的是 MAXIM 公司生产的 MAX6316。

1.2 测量系统外围扩展接口

该测量系统外围硬件主要由采样处理、以太网接口、人机接口、输出执行等组成,结构图如图 1 所示。测量系统能够完成对电参数采集监测,并保存整点时刻电参数数据,保存月统计、年统计数据,实现信号处理、显示供电网络运行状态,完成故障诊断,能够现场查看和设置运行参数并实现远程数据传输。

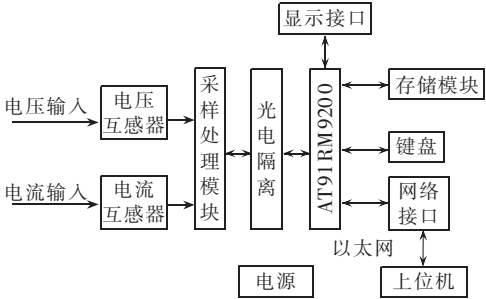


图 1 测量系统结构图

Fig.1 The block diagram of meter structure

① Atmel Corporation. ARM920T-based micro controller AT91RM-9200, 2003.

1.3 电参数采集与处理

电参数采集与处理采用美国 ADI 公司推出的带有串行接口和脉冲输出的高精度三相电能测量集成芯片 ADE7754(见 ADE7754. PDF www.analog.com), 该芯片能够提供有功功率、视在功率、电压有效值、电流有效值和波形采样数据的采集与处理,其模拟前端带有片内相位补偿电路,能够与电压互感器(TV)、电流互感器(TA)直接相连。

通过 SPI 接口实现与嵌入式处理器连接,SPI 接口允许 ADE 7754 与若干其他器件共享串行总线。采用 74HC 08 用于逻辑转换,PS 2504 光电隔离器用于外围信号与嵌入式处理器的隔离。总线连接如图 2 所示。

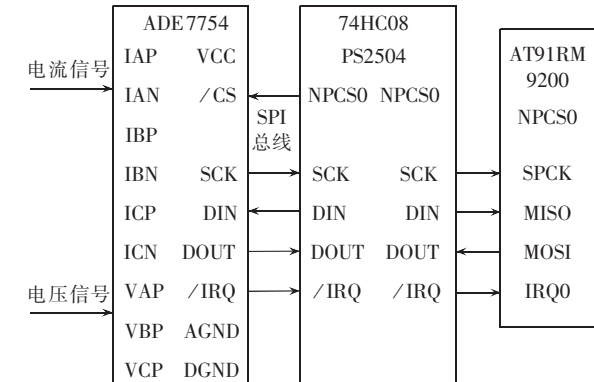


图 2 ADE7754 与 AT91RM9200 的总线连接
Fig.2 The interface between ADE7754 and AT91RM9200

来自电流互感器和电压互感器的信号经 ADC 转换为对应的数字信号。然后,电流信号经电流通道内的高通滤波器滤除 DC 分量,经相位校正的电压信号相乘,产生瞬时功率;此信号经过低通滤波产生瞬时有功功率信号;各相功率相加得到总的三相瞬时有功功率。对视在功率,ADE 7754 以类似的方法求得。不过,先测得电压、电流有效值,然后相乘、相加,求得三相视在功率。三相有功功率和视在功率的输出都送入 ADE 7754 内相应寄存器。被测电压、电流经传感器调理后送 ADE 7754,经 ADE7754 处理,转换为功率/电能信息。处理器测出此信息并处理后送 LCD 显示和通信接口。

1.4 显示接口

AT91RM9200 处理器内部没有集成 LCD 控制器,需要通过专用的显示控制芯片,实现 LCD 显示。

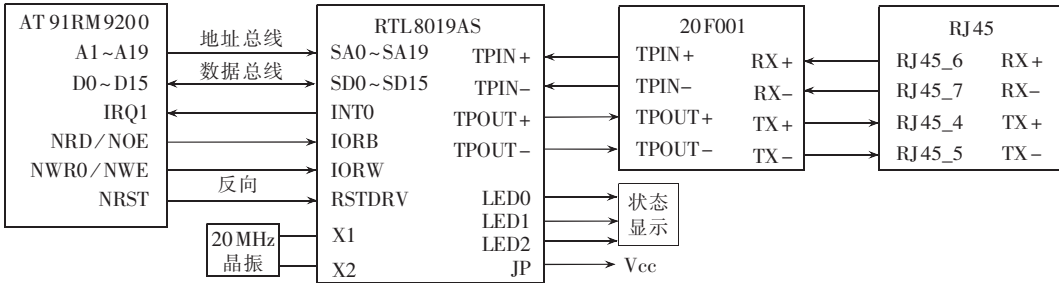


图 4 AT91RM9200 与 RTL8019AS 结构连接
Fig.4 The interface between AT91RM9200 and RTL8019AS

设计中采用 Solomon 公司推出的一款中小规模的显示控制芯片 SSD1906,这款芯片兼容多种类型的 MCU 接口,支持的 MCU 的总线接口类型包括具有 $\overline{\text{WAIT}}$ 信号的通用 #1 型和通用 #2 型总线接口。AT 91RM 9200 属于 #1 型接口,因而可与 SSD1906 直接连接^[8]。

连接方式:AT91RM9200 的 A[17:1]、D[15:0]、NWR0、NW - R1、NCS2、NWAIT、NRST 引脚,可以分别与 SSD 1906 的 A[17:1]、D[15:0]、 $\overline{\text{WR0}}$ 、 $\overline{\text{WE1}}$ 、 $\overline{\text{CS}}$ 、 $\overline{\text{WAIT}}$ 、RESET 引脚直接相连;NRD 引脚可与 SSD1906 的 RD/ $\overline{\text{WR}}$ 和 RD 引脚相连,作为高字节和低字节的读使能信号。A18 与 SSD1906 的 M/ $\overline{\text{R}}$ 相连。总线连接如图 3 所示。

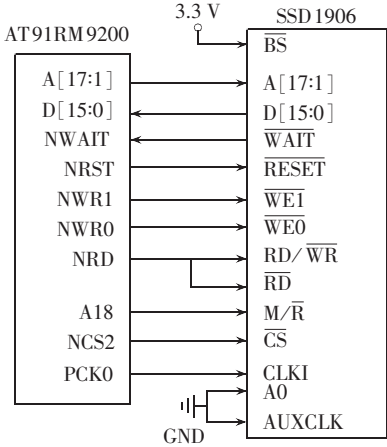


图 3 SSD1906 与 AT91RM9200 的总线连接
Fig.3 The interface between SSD1906 and AT91RM 9200

1.5 以太网接口

从硬件的角度看,扩展以太网接口电路主要由 AT91RM9200 集成的 MAC 控制器和物理层接口两大部分构成。设计中选用性价比较高且带有即插即用功能的全双工以太网控制器 RTL8019AS 作为以太网的物理层接口,RTL8019AS 全双工收发可同时达到 10 Mbit/s 的速率,内置 16 KB 的 SRAM 用于降低对主处理器的要求。方案中将 RTL8019AS 的 RAM 的前 12 页作为发送缓冲区,后 52 页作为接收缓冲区,第 0 页只有 32 B,用来存储以太网的物理地址。硬件连接根据信号的定义即可,信号的发送和接收端通过网络隔离变压器和 RJ45 接口接入传输媒体,实际连接电路如图 4 所示。

2 测量系统软件设计^[4-7,9-10]

2.1 操作系统的移植

嵌入式操作系统 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ ^[11-12]是一个开源代码的占先式多任务的微内核 RTOS,具有代码结构清晰、明了、注释详尽、组织有条理、可裁剪、可固化等特点,已被应用到多种微处理器上。

设计中采用的内核是 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II v} 2.76$ 版本,选用 ADS 1.2 中的 C 编译器。将 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II v} 2.76$ 移植到 AT91RM9200 微处理器上需要修改与体系结构相关的 3 个文件。

a. OS_CPU.H 文件。设置 OP_CPU.H 中与处理器和编译器相关的代码,一个常量来标识堆栈增长方向,几个用于开关中断和任务切换的宏,重新针对具体处理器的字长重新定义一系列数据类型。

b. OS_CPU_C.C 文件。用 C 语言改写 OS_CPU_C.C 中 6 个与操作系统相关的简单函数。

c. OS_CPU_A.ASM 文件。用汇编语言改写 OS_CPU_A.ASM 中的 4 个与处理器相关的函数。然后,修改主头文件 include.h,将 OP_CPU.H 的 3 个文件和其他自己的头文件加入,完成上述工作后, $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 就可以完全运行在 AT91RM9200 上。

2.2 BootLoader 的设计和完成

BootLoader 是在操作系统内核运行之前运行的一小段程序,其作用是初始化硬件设备、建立内存间的映射图、为最终调用操作系统内核做好准备。U_boot 是 BootLoader 中一款非常优秀的软件,其作用是初始化 AT91RM9200 微处理器,并且调到到主要的应用程序,在 U_boot 执行复位后,如果用户向系统控制台发送字符,从而可以用命令行的方式进入 U_boot 的交互状态。U_boot 是由 OpenSource community 支持的项目,它由 GPL license 保护,可从 http://sourceforge.net/projects/U_boot 下载所有最新的源程序。Atmel 公司针对 AT91RM9200 这款芯片专门开发了源程序包,可以从其网站上直接下载,稍加改动就能达到要求,该源程序包主要功能是初始化电源管理控制器、SDRAM、Flash、各种堆栈、异常向量和最终的 C 程序变量,然后在基本的初始化结束后,进入 main() 主函数。运行方式 1 是在 AT91RM9200 的 SRAM 中进行,代码和数据连接地址是在 0x200000,用于调试使用;方式 2 是启动放在 ROM 或 Flash 中的操作系统内核或其他应用程序。该程序是在 ADS 1.2 开发环境下进行并通过 JTAG 口下载的。U_boot 提供了 2 种方式下载数据到目标板的存储器上,一种通过串口,另一种通过网络接口,这里采用后一种方式^[13]。

2.3 嵌入式 TCP/IP 协议的实现

AT91RM9200 接入以太网,必须使用 TCP/IP 协议,而在这里主要实现对电压、电流、功率等电参数的实时上传和控制命令的下载,传输的数据量很

少,要求不是很高,不需要全部的 TCP/IP 协议。对网络协议可以作相应裁剪以占用较小的程序空间和数据空间。 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 本身没有 TCP/IP 协议栈,可以通过把一些开放源代码的 TCP/IP 协议栈,这里选用了 LwIP 移植到 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 上,LwIP 采用一个操作系统封装层为操作系统服务提供一个统一的接口,源代码在 $\cdots/\text{lwip}/\text{src}/\text{core}/\text{sys.c}$ 中,而和具体的操作系统相关的代码在 $\cdots/\text{lwip}/\text{src}/\text{arch}/\text{sys_arch.c}$ 中。操作系统封装层的主要函数包括:

Void sys_init(void) // 系统初始化

Sys_thread_t sys_thread_new(void(...省略 prio) // 创建一个新进程

Sys_mbox_t sys_mbox_new(void) // 创建一个邮箱

Void sys_mbox_free(sys_mbox_t mbox) // 释放并删除一个邮箱

更多信息可以阅读 LwIP 的 doc 目录下面的 sys_arch.txt 文件。LwIP 在 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 上移植过程:系统初始化 sys_init():sys_init() 必须在 tcpip 协议站任务 tcpip_thread 创建前被调用;创建一个和 TCP/IP 相关新进程 sys_thread_new(); LwIP 中的定时事件;

“mbox”的实现:LwIP 使用消息队列来缓冲、传递数据报文,因此要在 sys_arch 中实现消息队列结构 sys_mbox_t,以及相应的操作函数:

Sys_mbox_new() // 创建一个消息队列

Sys_mbox_free() // 释放一个消息队列

Sys_mbox_post() // 向消息队列发送消息

Sys_arch_mbox_fetch() // 从消息队列中获取消息

因为 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 没有对消息队列中的消息进行管理,所以必须在 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 的基础上重新实现。采用的办法:

Typedef struct{

OS_EVENT* pQ;

Void* pvQEntries[MAX_QUEUE_ENTRIES];

} sys_mbox_t;

以上结构中,对队列本身的管理利用 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 自己的 OSQ 操作来完成,然后使用 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 的内存管理模块实现对消息的创建、使用、删除、回收,两部分综合起来形成了 LwIP 的消息队列功能^[14-15]。

2.4 以太网硬件接口驱动的实现

RTL8019AS 内部可分为远程 DMA 接口、本地 DMA 接口、介质访问控制逻辑、数据编解码逻辑和其他端口。

2.4.1 RTL8019AS 的初始化

RTL8019AS 的初始化主要包括设置相关工作模式的寄存器,例如:选择 CR=0X21,选择页 0 寄存器,RCR=0XE0,设置接收配置寄存器,TCR=0XE2,设置发送配置寄存器等。分配和初始化接收和发送缓冲区,初始化网卡接收地址。

Void Rtl8019as_Init()

```
{
Ethernet_Reg00=0x21; // 终止远程 DMA
Ethernet_Reg04=0x40; // 设置发送缓冲区起始地址
Ethernet_Reg01 = 0x41; // 设置接收缓冲区首页面地址
Ethernet_Reg02=0x80; // 设置接收缓冲区停止页面地址
Ethernet_Reg03=0x4c; // 设置接收缓冲区最后页面指针
Ethernet_Reg07=0xff; // 清除中断标志位
Ethernet_Reg0a=0; // 设置远程 DMA 字节数
Ethernet_Reg0b=0; // 远程字节数清零
Ethernet_Reg0c=0x20; // 监视方式,不接收数据包
Ethernet_Reg0d=0x02; // 选择内部 Loopback 方式
Ethernet_Reg0e=0x48; // 8 位 DMA 方式
Ethernet_Reg0f=0x00; // 禁止一切中断
Ethernet_Reg00=0x61; // 选择寄存器页面 1
Ethernet_Reg07=0x4d; // 设置首先接收缓冲器页面地址
Ethernet_Reg08=0xff;
Ethernet_Reg09=0xff; // 多点寄存器地址
Ethernet_Reg0a=0xff; // 接收所有组播地址的数据包
Ethernet_Reg0b=0xff;
Ethernet_Reg0c=0xff;
Ethernet_Reg0d=0xff;
Ethernet_Reg0e=0xff;
Ethernet_Reg0f=0xff;
Ethernet_Reg01=mac[0]; // 设置 MAC 地址
Ethernet_Reg02=mac[1];
Ethernet_Reg03=mac[2];
Ethernet_Reg04=mac[3];
Ethernet_Reg05=mac[4];
Ethernet_Reg06=mac[5];
Ethernet_Reg0c=0xcc; // 使用接收缓冲区
Ethernet_Reg0d=0xe0; // 设置发送配置寄存器
Ethernet_Reg00=0x22; // 回到正常工作方式
}
```

初始化完成之后就可以进行报文的发送和接收。

2.4.2 接收数据包

RTL8019 AS 接收到以太网数据包后自动将其存入接收缓冲区并发出中断信号。AT91RM9200 在中断程序里通过 DMA 就可以接收数据,这里主要是对一些相关的寄存器进行操作。

```
Void getnic_data(U8 *data,U16 len){ // 设置读取数据存放的地址和长度
Ethernet_Reg07=0x40; // 清除中断标志
Ethernet_Reg0a=0xlen; // Reg0a,Reg0b 设置需读取的字节长度
Ethernet_Reg0b=0;
Ethernet_Reg00=0x0a; // 开始远程 DMA 读取
While(len--)
```

```
{
U8 b=Ethernet_Reg10;
*data++=b
}
}
```

2.4.3 发送数据包

发送部分只要写入数据缓冲区,启动执行命令,RTL8019 AS 自动发送。一般在 RAM 内开辟 2 个以太网数据空间作为发送缓冲区,只要配置发送数据的物理地址、源地址、目的地址、数据包类型以及发送的数据即可^[16]。

```
Void putnic_data(U8 *data,U16 len) // 发送数据存储地址和长度
{
Ethernet_Reg07=0x40; // 清除中断标志
Ethernet_Reg0a=len; // 设置数据长度
Ethernet_Reg0b=0;
Ethernet_Reg00=0x12;
Outnic(CMDR,012); // 开始远程写数据
While(len--)
Ethernet_Reg10=*data++;
len=255;
While(len&&(Ethernet)Reg07&0x40)==0)
len--;
}
```

2.5 程序运行流程

程序在运行之前先要进行硬件自检以确保硬件部分无故障,为操作系统的运行做好底层准备。由 ADE 7754 完成电参量采集、运算,操作系统初始化之后,对任务进行优先级排序,具体的流程如图 5 所示。

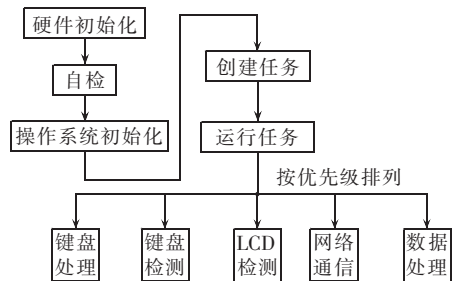


图 5 程序运行流程图
Fig.5 Program flowchart

3 结语

测量系统利用了 32 位嵌入式微处理器强大的数据处理能力和网络功能,现场采集的数据可以通过以太网与上下位机进行通信。采用了 $\mu C / OS - II$ 操作系统,使得系统具有强大的多任务管理、定时器管理、终端管理、存储管理等功能,通过对相关寄存器的实时监控,可以提高系统的稳定性,增强系统的可靠性。

参考文献:

- [1] 林海雪. 电压和电流频率和电能质量国家标准手册[M]. 北京: 中国电力出版社, 2001.
- [2] 杨存祥, 丁守强, 孔汉. 基于 DSP 的电参数测量系统的应用研究[J]. 中国仪器仪表, 2005(12): 68-70.
YANG Cun-xiang, DING Shou-qiang, KONG Han. Application and research of DSP in the electric power measurement system[J]. China Instrumentation, 2005(12): 68-70.
- [3] 陆东生, 赵素华, 王振东. 基于 DSP 的多功能电能质量检测仪的研制[J]. 电测与仪表, 2006, 43(482): 19-22.
LU Dong-sheng, ZHAO Su-hua, WANG Zhen-dong. The development of a multifunction power quality measure based on DSP[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2006, 43(482): 19-22.
- [4] 陈晓平, 周腊吾, 张堃, 等. 基于嵌入式的电能质量监测系统设计[J]. 仪器仪表用户, 2006(1): 21-22.
CHEN Xiao-ping, ZHOU La-wu, ZHANG Kun, et al. Design to the supervising system of power quality based on embedded[J]. Instrumentation Customer, 2006(1): 21-22.
- [5] 董书有, 李占春, 王占国, 等. 一种基于 DSP 芯片的三相电参数测量系统[J]. 北方交通大学学报, 2005, 25(1): 104-107.
DONG Shu-you, LI Zhan-chun, WANG Zhan-guo, et al. A three-phase electrical parameters measurement system using a specially designed DSP chip[J]. Journal of Northern Jiaotong University, 2005, 25(1): 104-107.
- [6] YAN Jun-fang, HU Jing. Development of innovative electrical parameter measuring instrument with net link access based on ARM and uClinux[C]//ICIA 2004 Proceedings of 2004 International Conference on Information Acquisition. Hefei, China: [s.n.], 2004: 168-171.
- [7] 李分秋, 吴为麟. 基于 ARM 的电能质量监测控制器的研制[J]. 江南大学学报: 自然科学版, 2006, 5(2): 199-203.
LI Fen-qiu, WU Wei-lin. Study on ARM-based power quality monitoring and control instrument[J]. Journal of Southern Yangtze University: Natural Science Edition, 2006, 5(2): 199-203.
- [8] 赵宏图, 王续进. SSD1906 显示控制器与 AT91RM9200 的接口技术[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2005(1): 41-52.
ZHAO Hong-tu, WANG Xu-jin. The interface technology of the SSED 1906 & AT91RM9200[J]. Microcontroller & Embedded Systems, 2005(1): 41-52.
- [9] 郭松林, 付家才, 卜树波. 三相工频电参数测量系统的设计[J]. 电测与仪表, 2005, 42(12): 26-30.
GUO Song-lin, FU Jia-cai, BU Shu-bo. The design on the measurement system for three-phase frequency electric parameter[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2005, 42(12): 26-30.
- [10] 蔡雪松, 李文会, 王卫宁. 嵌入式 ARM-Linux 系统在便携式测流仪中的应用研究[J]. 上海船舶运输科学研究所学报, 2005, 28(2): 73-81.
CAI Xue-song, LI Wen-hui, WANG Wei-ning. Research on the application of embedded ARM-Linux system in portable current measurement instrument[J]. Journal of SSSRI, 2005, 28(2): 73-81.
- [11] 王涛, 刘建辉. 基于 ARM 微处理器的 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 的移植研究[J]. 微计算机信息, 2005(7): 75-76, 144.
WANG Tao, LIU Jian-hui. The research of $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ port for ARM microprocessors[J]. Control & Automation, 2005(7): 75-76, 144.
- [12] LABROSSE J J. 嵌入式实时操作系统 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ [M]. 2 版. 邵贝贝, 译. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2003.
- [13] 童大鹏, 冉蜀阳, 张礁, 等. 基于 AT91RM9200 微控制器的 Boot-loader 的分析与开发[J]. 微计算机应用, 2005, 26(3): 345-349.
TONG Da-peng, RAN Shu-yang, ZHANG Jiao, et al. Analysis and exploitation of bootloader based on AT91RM9200 micro-computer applications[J]. Microcomputer Applications, 2005, 26(3): 345-349.
- [14] 王原丽, 王丽. 基于 ARM 的嵌入式 TCP/IP 协议栈的实现[J]. 现代电子技术, 2005(22): 4-6, 9.
WANG Yuan-li, WANG Li. Implementation of embedded TCP/IP protocol based on ARM[J]. Modern Electronics Technique, 2005(22): 4-6, 9.
- [15] 何轩, 夏应清, 李祥. 基于 ARM 微处理器的嵌入式以太网接口[J]. 电气时代, 2005(1): 119-120.
HE Xuan, XIA Ying-qing, LI Xiang. The interface of the Ethernet-embedded based on ARM[J]. Electrical Age, 2005(1): 119-120.
- [15] 段海龙, 彭俊辉, 程建. 基于 ARM 的嵌入式以太网通信的实现[J]. 机械与电子, 2006(2): 9-12.
DUAN Hai-long, PENG Jun-hui, CHENG Jian. Realization of Ethernet-embedded communications based on ARM[J]. Machine & Electronics, 2006(2): 9-12.

(责任编辑: 柏英武)

作者简介:



关 健

关 健(1956-), 男, 吉林吉林人, 副教授, 主要从事工业供配电、电气智能控制工程和工业自动化等方面的教学和科研工作(E-mail: gj71@163.com);

刘林山(1974-), 男, 辽宁铁岭人, 讲师, 硕士研究生, 主要研究方向为嵌入式系统设计与智能网络控制(E-mail: liulinshan_haha@eyou.com)。

Design of AT91RM9200-based power frequency electrical parameter meter

GUAN Jian, LIU Lin-shan

(Jilin Vocational Technology College of Electronic and Information, Jilin 132021, China)

Abstract: An AT91RM9200-based meter is designed for measuring three-phase power frequency electrical parameters of current, voltage, frequency and phase, as well as calculating active power, reactive power and total energy. The interfaces between ADE7754 (the integrative chip for measuring three-phase electrical energy with high precision) and ARM or PT or CT, as well as the display interface between ARM and SSD1906, are designed. The RTL8019AS, as the extended Ethernet interface, and the embedded TCP/IP protocol are adopted to realize the telecommunication. The embedded $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ real-time operating system is used to dispatch all tasks, which improves the real-time performance of multi-task system and strengthens the system reliability.

Key words: electrical parameter; measurement; $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ operating system; Ethernet