

**摘要:** 文章研制了基于“中国芯”和“国网芯”的智能配变终端设备。首先介绍了海燕610微处理器的功能和特点;接着阐述了基于海燕610的馈线终端单元的设计实现方案,并对硬件架构和软件功能进行了讨论,对电能测量模块、开关量采集模块和通信模块的设计进行了详细说明;最后给出了下一步的研究方向,即结合芯片的数据处理能力和专用指令研究简化的故障检测算法。

**关键词:** 馈线单元;微处理器;电力;通信;测量

**中图分类号:** TM76 **文献标志码:** A **DOI:** 10.19421/j.cnki.1006-6357.2019.06.001

## 0 引言

随着配电自动化建设的推进,具有遥控、遥测、通信及故障检测功能的馈线终端(feeder terminal unit, FTU)得到了广泛的研发和应用。当前FTU的设计开发大都采用了ARM和DSP相结合的设计思路<sup>[1-11]</sup>,终端和主站的通信方式则有多种方式,如电力线载波通信<sup>[12-13]</sup>、公众移动通信网络<sup>[4, 14-15]</sup>,终端和用户之间的交互除了传统的液晶显示外<sup>[4-5, 14-16]</sup>,还有采用智能手机应用APP<sup>[3]</sup>,以及无线UART<sup>[16]</sup>的方式。

上述FTU的设计采用了不同的处理器,使用了不同的通信传输技术,实现了各具特色的功能形式,然而大多数研究和实现方案采用了国外厂商推出的主控芯片,基于国产控制芯片的研究甚少,因此,设计并实现基于“中国芯”和“国网芯”的FTU产品,进一步提升配电自动化设备的智能化和国产化水平,是加强自主安全可控的电力网络建设和落实国家电网有限公司提出“三型两网”建设目标的技术实践。本文从系统设计、硬件架构设计、软件系统设计等方面阐述了基于“中国芯”和“国网芯”的智能配变终端设备的研制思路。

## 1 FTU系统设计

### 1.1 海燕610微处理器

海燕610处理器是北京智芯微电子科技有限公司研制

**基金项目:** 国网信息通信产业集团两级协同项目(SGIT0000YFJS1800516)。

Supported by State Grid Information & Telecommunication Group Co., Ltd. (SGIT0000YFJS1800516).

的高性能低成本的工业级微处理器(micro controller unit, MCU)产品,型号为SCM610,是“国网芯”战略的重要科技成果。该芯片采用LQFP144封装,集成了32位ARM Cortex M4内核,主频最高可到150 MHz,支持数字信号处理(digital signal processing, DSP)指令集和浮点运算单元(float point unit, FPU),内置256 KB的SRAM和1 MB闪存,支持从SRAM和闪存启动,具备丰富的外设接口,包括:98个GPIO、8路UART、4路SPI、4路PWM、3路I2C、12位ADC、ISO7816、以太网MAC、USB以及高精度参考电压源,可为电力行业设计控制终端提供更多的灵活性。

### 1.2 FTU实现的功能

本方案选用SCM610为主控芯片,根据其处理计算能力和外设接口,设计实现的FTU功能包括电能信息采集、线路开关的状态监测和控制、温度检测。

## 2 FTU硬件架构设计

### 2.1 FTU的硬件架构

FTU硬件包括SCM610的主控模块、电能采集模块、开关量输入/输出模块、通信模块、数据存储模块及电源模块等部分,其组成见图1。

### 2.2 电能采集模块设计

电能采集模块选用防窃电的三相电能计量专用芯片ATT7022B,它集成了6路二阶sigma-delta ADC、参考电压电路、所有功率、能量、有效值、功率因数以及频率测量的数字信号处理等电路,能够测量各相及合相的有功、无功及视在功率,同时还能测量各相电流、电压的有效值以及功率因数、相角、频率等参数<sup>[12]</sup>。

将FTU电量采集通过ATT7022B完成,SCM610芯片

[引文信息] 赵海波, 甄岩, 王立城. 基于海燕610微处理器的FTU设计与实现 [J]. 供用电, 2019, 36 (6): 2-4, 15.

ZHAO Haibo, ZHEN Yan, WANG Licheng. FTU design and realization based on Haiyan610 MCU [J]. Distribution & Utilization, 2019, 36 (6): 2-4, 15.

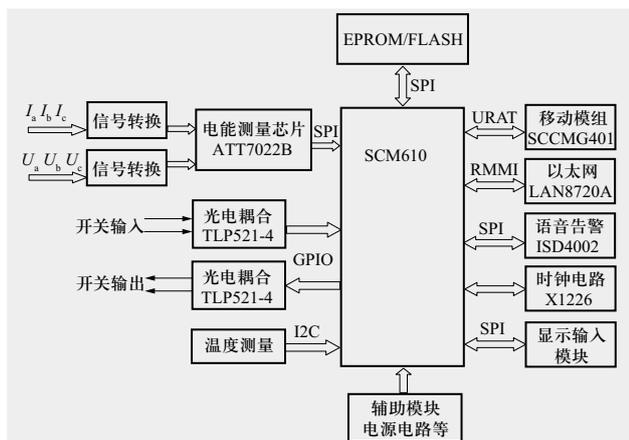


图1 FTU硬件架构图

Fig.1 Architecture of FTU hardware

承担各种通信接口、人机接口和I/O控制等外设的工作，可以降低软件设计的复杂度，有效缩短数字滤波和傅里叶变换的计算时间。

ATT7022B通过4线SPI接口与SCM610进行计量参数以及校表参数的传递。模拟信号经转换电路调整后输入，ATT7022B芯片对其进行取样、运算，最后将结果输出到相应的寄存器并根据软件配置来决定输出哪些信息到显示屏上，默认每5s完成一次数据更新。

### 2.3 开关量采集模块设计

开关电路分为输入和输出2个部分，两路信号需要分别设计。其中，输入信号用于获取所连接的现场继电器、断路器等触点位置信号，用于设备状态监测；而输出信号用于控制现场设备。

主控芯片SCM610拥有多达98个GPIO接口资源，经过光电隔离措施，设计实现16路数字量输入和16路数字量输出，满足遥信和遥控需要。

### 2.4 通信模块设计

为了扩展FTU的适用场合，FTU的通信模块支持移动通信公网和以太网通信2种传输方式。

#### 2.4.1 移动通信模组设计

移动通信模组选用北京智芯微电子科技有限公司研制的国网电力专用模组SCCMG401，该模组采用58-pin的LCC封装，支持5模13频，支持LTE Cat4的数据传输能力，即：上行和下行的峰值速率分别达到50 Mbit/s和150 Mbit/s，适用于中国移动、中国联通和中国电信3个运营商的所有频段。

SCM610和SCCMG401的连接示意图如图2。

#### 2.4.2 以太网口设计

以太网接口选用低功耗的10/100 M以太网物理层芯片LAN8720A，支持通过自协商来配置与目的主机之间的传输模式，支持Auto-MDIX自动翻转功能，以适应直连和交叉2种形式的网线<sup>[7]</sup>。

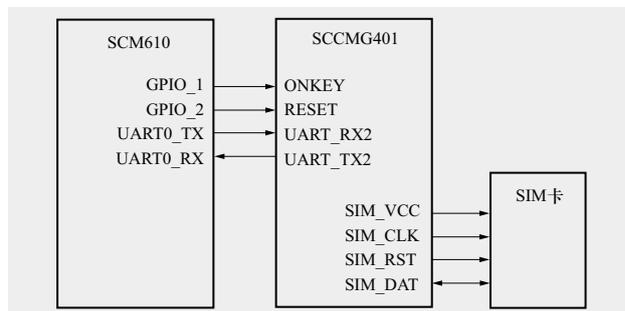


图2 主控芯片和移动通信模组的连接示意

Fig.2 Connection of controller chip and mobile module

LAN8720A通过RMII接口与SCM610芯片集成的以太网MAC（EMAC）连接，且采用SCM610芯片输出的50 MHz时钟作为信号源，SCM610的EMAC和MDIO与LAN8720A的连接示意图见图3。

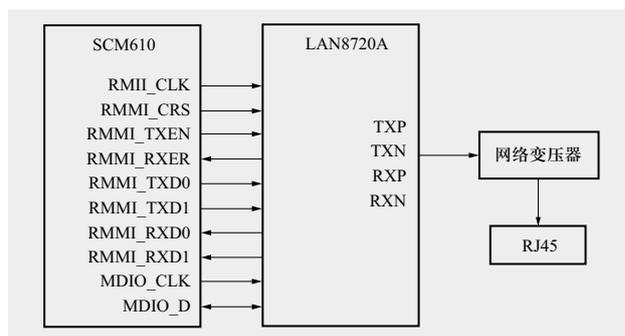


图3 主控芯片和以太网芯片的连接示意

Fig.3 Connection of controller chip and Ethernet chip

### 2.5 存储模块设计

SCM610内置的闪存为1 MB，选用容量4 MB的SPI接口FLASH芯片AT25DF321A进行扩充，用于记录配电线路发生故障时的电流、电压和开关的开合状态以及终端的配置信息。

## 3 FTU软件系统设计

### 3.1 系统软件平台

SCM610已适配的操作系统为 $\mu$ C/OS-II，是基于优先级调度的抢占式实时内核，具备任务调度和管理、时间管理、内存管理等功能，能够保证多个任务的并行实时处理和切换，提高了MCU的利用效率和任务的实时性。

在通信协议实现方面，SCM610平台软件集成了开源1.4.1版本的轻量级TCP/IP协议栈，方便电力业务应用层的通信实现。

### 3.2 FTU软件设计

根据硬件电路设计，FTU软件将各种信息采集、人机接口功能、I/O控制功能和通信功能在逻辑上划分为并发运行的多个任务<sup>[8, 17-19]</sup>，并定义多个任务之间的交互流

程,由操作系统进行任务的管理和状态切换,不仅满足了多任务的实时性要求,而且可以有效管理采集的各种信息,满足配电系统对FTU功能的多样化和智能化的要求。

主控软件实现2个中断处理程序:一个是串口数据接收的事件中断,用来及时响应主站发来的命令字,享有高的任务优先级;另一个是定时器中断,用来处理电能测量数据、查询所监测的开关状态和温度信息,实现IEC 60870-5-104规约,完成和配电主站的应用层通信<sup>[20]</sup>。FTU软件实现的主流程见图4。

## 4 结语

本文设计开发了基于“国网芯”海燕610处理器的馈线终端,具有实时电量采集、处理、存储、开关状态监测与控制、温度监测等功能,实验运行表明,该设备能很好地满足线路监测的实时和智能化的要求,和配电主站系统之间的通信与控制稳定可靠。项目下一步的开

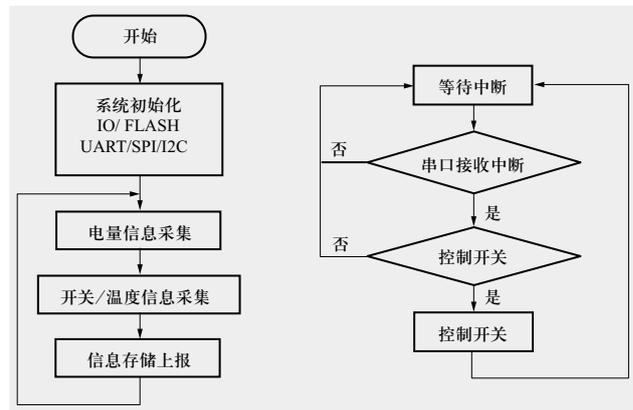


图4 FTU软件实现的主流程示意

Fig.4 Main sequence of FTU software realization

发任务在于结合海燕610的DSP/FPU计算指令,研究简单有效的欠压/过流故障检测算法,进一步拓展基于“国网芯”FTU的功能。

DU

## 参考文献

- [1] 何周, 朱晨光, 徐铭辉, 等. 基于ARM的馈线自动化终端FTU的设计与实现 [J]. 电气制造, 2014 (10): 62-63.
- [2] 黄均安. 基于ARM+DSP的FTU设计 [J]. 安徽水利水电职业技术学院学报, 2014, 14 (4): 59-61, 92. HUANG Junan. The design of FTU based on ARM+DSP [J]. Journal of Anhui Technical College of Water Resources and Hydroelectric Power, 2014, 14 (4): 59-61, 92.
- [3] 朱灏, 彭道刚, 钱玉良, 等. 基于ARM Cortex-M4内核和CAN总线的智能馈线终端 [J]. 仪表技术与传感器, 2017 (4): 58-62. ZHU Hao, PENG Daogang, QIAN Yuliang, et al. Intelligent feeder terminal unit based on ARM cortex-M4 kernel and CAN bus [J]. Instrument Technique and Sensor, 2017 (4): 58-62.
- [4] 张学慧, 李文才. 配电终端柱上FTU的设计与应用 [J]. 中国科技信息, 2016 (24): 15-16.
- [5] 谢志远, 罗先南, 郭以贺. 基于IEC 870-5-101的FTU远程控制软件设计 [J]. 电力系统通信, 2010, 31 (2): 54-56. XIE Zhiyuan, LUO Xiannan, GUO Yihe. Software design of FTU remote control based on IEC 870-5-101 protocol [J]. Telecommunications for Electric Power System, 2010, 31 (2): 54-56.
- [6] 刘仕兵. 基于DSP的馈线终端装置FTU的设计与实现 [J]. 华东交通大学学报, 2009, 26 (3): 58-63. LIU Shibing. Design and realization of feeder terminal unit based on DSP [J]. Journal of East China Jiaotong University, 2009, 26 (3): 58-63.
- [7] MENG Song, ZHANG Liping, CHEN Yuchen, et al. Online monitoring system design of intelligent circuit breaker based on DSP and ARM [J]. International Journal of Advanced Computer Science and Applications, 2014, 4 (8): 93-96.
- [8] 蔡杰. 智能FTU装置的软件设计与实现 [D]. 厦门: 厦门大学, 2013.
- [9] CHANG H C, CHEN C C, HUANG L C, et al. Design and implementation of remote terminal unit for feeder automation system with high performance microcontroller [C] //2011 6th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, June 21-23, 2011, Beijing, China.
- [10] JUSOH W N S E W, GHANI M R A, HANAFIAH M A M, et al. Remote terminal unit (RTU) hardware design and development for distribution automation system [C] //2014 IEEE Innovative Smart Grid Technologies - Asia (ISGT ASIA), May 20-23, 2014, Kuala Lumpur, Malaysia.
- [11] LIU S B. Design and realization of feeder terminal unit based on DSP [C] //2009 Second International Symposium on Computational Intelligence and Design, December 12-14, 2009, Changsha, Hunan, China.
- [12] 周婷. 基于PLC通信技术的FTU系统设计 [J]. 自动化应用, 2017 (5): 98-100.
- [13] SHARMA P. Design and implementation of a stand-alone remote terminal unit [J]. IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering, 2013, 7 (1): 74-83.
- [14] 邹强. 馈线自动化智能终端的通信系统的设计与实现 [D]. 西安: 西安电子科技大学, 2016.
- [15] KAUSTUBH G, PARINAY K, PRAVIN B, et al. Internet of things based robotic ARM [J]. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), 2017, 4 (3): 757-759.
- [16] 程立, 李政, 黄伟, 等. 基于无线UART的FTU系统实现 [J]. 电气技术, 2012 (6): 64-68. CHENG Li, LI Zheng, HUANG Wei, et al. System implementation of FTU based on wireless UART [J]. Electrical Engineering, 2012 (6): 64-68.
- [17] WU N, GUO Y J, WEI Y Q, et al. Study on new smart transformer terminal unit based on ARM and GPRS network [J]. Electronics, 2013, 1 (2): 144-149.
- [18] 刘毅. 基于DSP的FTU核心模块的研制 [D]. 济南: 山东大学, 2005.
- [19] JEONG L S, KIM P J, KU D S, et al. Implementation of DNP RTU in the electric power SCADA system [C] // Annual SICE Conference, September 20-23, 2016, Tsukuba, Japan.
- [20] 游斌. 配电自动化通信系统研究及IEC60870-5-104通信协议软件设计与实现 [D]. 厦门: 厦门大学, 2013.

(下转第15页 continued on page 15)