

[配电网]

基于 NUC980 微处理器的馈线终端的设计与实现

文/保定市冀能电力自动化设备有限公司 边 帅

基于 NUC980 微处理器研制了一款高性价比、高扩展性的馈线终端。介绍了 NUC980 微处理器的功能和特点以及馈线终端的设计实现方案。并对模拟量采集、开入采集和通信模块的设计进行了详细说明。实验运行表明,本设计具有可靠、稳定、实时性高、扩展性强等优点。

随着国民经济的快速发展和人民物质文化生活水平的不断提高,对电力的需求越来越大,用户对供电质量和供电可靠性要求越来越高。具有遥控、遥测、遥信、遥调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。当前的 FTU 的设计思路主要有单 ARM、双 ARM 和 ARM+DSP 几种方式;终端与主站的通信方式主要有光纤通信、公共移动通信网络两种方式,终端和用户之间的交互主要有传统的拨码轮、液晶显示、串口通信和网络通信,还有基于 WIFI 和蓝牙等的掌上终端(包括手机应用 APP)方式,更便于现场调试。

市场上的 FTU 都采用了上述的设计思路,由于使用不同的处理器和通信技术,实现了各具特色的 FTU 产品。然而大多数的研究和实现方案,不是 MCU 资源相对紧张,对 FTU 的功能扩展性支持较差,就是 MCU 价格高,焊接生产维修难度大。为更好的服务配电网的快速发展和越来越复杂的功能需求,本文从系统设计、硬件框架设计和软件系统设计等方面阐述了一种高性价比、高扩展性的智能馈线终端的研制思路。

FTU 系统设计

1. NUC980DF61Y 高性能 32 位微处理器

NUC980 系列 32-bit 微处理器是台湾新唐科技股份有限公司基于 ARM926EJ-S 核心研发的高性价比的工业级微处理器,其执行速度高达 300 MHz。本设计使用的是 NUC980 系列中的 NUC980DF61Y。其内置的 64 MB DDR-II RAM 和 216-pin LQFP 封装,在大幅减少 PCB 设计难度和尺寸的同时能有效地降低电磁干扰(EMI),提高产品的 EMC 性能。NUC980DF61Y 提供了丰富的外设接口,包括 104 路 GPIO、2 路 10/100 Mbit/s 以太网 MAC、10 路 UART、1 路 Quad-SPI、2 路 SPI、4 路 I2C、8 路 PWM、1 路 USB 2.0 HS host 和实时时钟等。符合-40~85℃工业温度规格,可以为工业自动化控制、电力行业和工业物联网网关设计提供更多的灵活性及扩展性。

2. FTU 实现的功能

本方案选用 NUC980 系列中的 NUC980DF61Y 作为主控芯片,根据其丰富的外设接口、计算能力和应用现场的实际需求,本方案实现的 FTU 功能包括线路状态检测和保护、开关状态检测和控制、通信、温度检测、人机交互、网络通信和文件存储。

FTU 硬件框架设计

1. FTU 的硬件结构

FTU 硬件包括 NUC980DF61Y 主控电路、模拟量

采集电路、开入量检测电路、开出电路、4G 通信模组、数据存储及电源电路等部分，其框架图如图 1 所示。

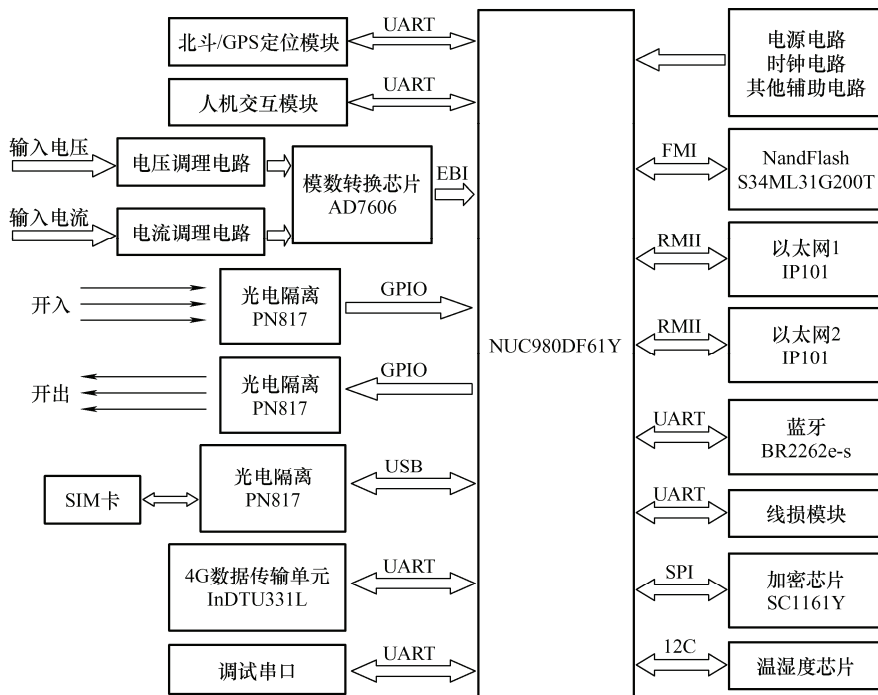


图 1 FTU 硬件框架图

2. 模拟量采集模块设计

模拟量采集电路由行业中常用的 8 通道高精度度 16 位 ADC 芯片 AD7606 和电压/电流调理电路组成。AD7606 采用 5 V 单电源供电，可以处理 ± 10 V 和 ± 5 V 真双极性输入信号，同时所有通道均能以高达 200 KSPS 的吞吐速率采样。

主控 MCU 使用 PWM 方式控制 ADC 的采样频率，并通过 EBI 接口与 AD7606 的 16 位并行数据线连接获取采样数据。如图 2 所示。

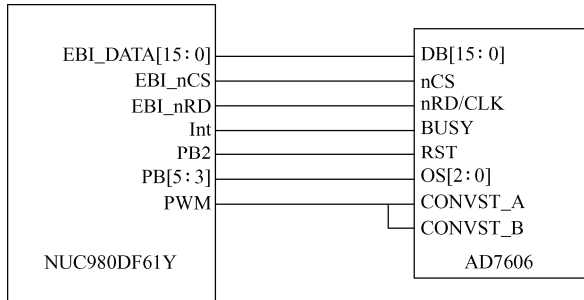


图 2 模拟量采样模块框架图

模拟信号经调理电路后输入采样芯片 AD7606 进行模数转换，转换结果通过总线的方式传递给主控 MCU。MCU 根据获取到的采样点计算得到各相及合相的电压、电流的有效值以及功率因数、相角和频率等参数。

3. 开入/开出采集电路设计

主控芯片 NUC980DF61Y 具有多达 104 路 GPIO 接口，经过光电隔离电路，实现 16 路数字量输入和 4 路数字量输出，满足现场遥信和遥控需求。

开入信号用于获取所连接的现场负荷开关、断路器等触点位置、弹簧储能状态信号，用于设备状态监测。开出信号用于控制现场设备，如合闸、分闸操作。

4. 通信模块设计

为了满足 FTU 的应用场合，FTU 的通信模块支持无线公网、以太网、本地串口和蓝牙 4 种传输方式。

(1) 无线通信模块设计

无线通信模组选用上海移远通信技术股份有限公司生产的 EC20 R2.1，支持 LTE Cat4 的数据传输能力，

即上行峰值速率为 50 Mbit/s 和下行峰值速率为 150 Mbit/s。该模组采用 PCIE-C 封装，支持全网通 7 模 15 频，适用于中国移动、中国联通和中国电信 3 大运营商的所有频段。无线通信模块框架图如图 3 所示。

NUC980DF61Y 通过 USB2.0 接口与 EC20 R2.1 连

接，其连接示意图参见图 1 中的 4G 模组接口部分。4G 模块的拨号功能在主控 MCU 上实现，通过 USB 传输数据（相对于传统的 UART），能够最大化的提高数据的传输速率，充分利用 LTE 的传输能力。为适应现场对无线网络的不同需求，还预留 1 路 UART 接口连接无线数据传输单元。

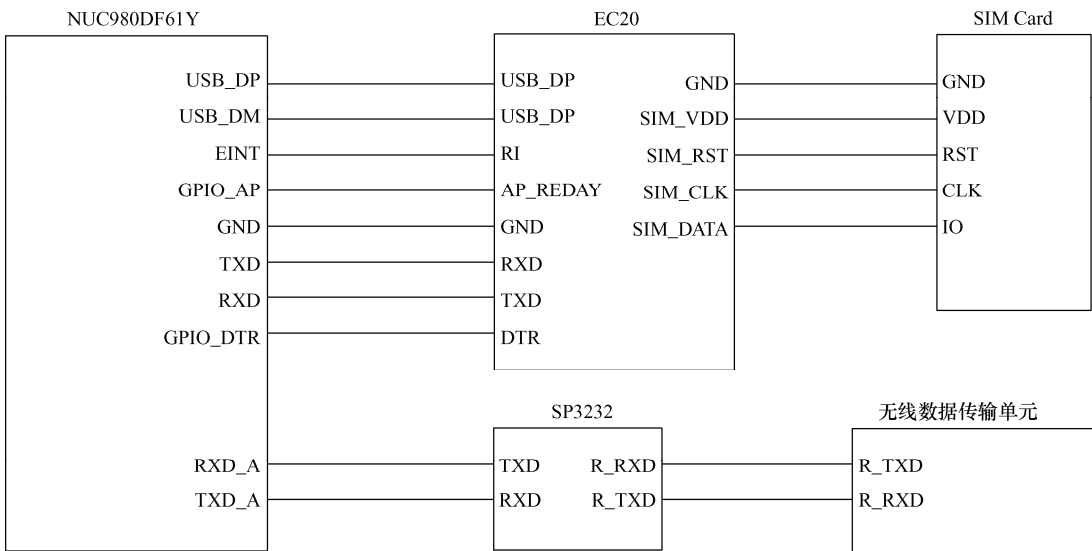


图 3 无线通信模块框架图

(2) 以太网接口设计

以太网接口选用台湾九阳电子设计的低功耗的 10/100 M 以太网 PHY 芯片 IP101，支持自协商模式来配置与目标主机之间的传输方式，支持自动翻转功能，能适应直连和交叉两种形式的网线。

NUC980DF61Y 具有两路以太网接口（EMAC），通过 RMII 接口与两片 PHY 芯片连接，实现双网口功能。IP101 芯片需要一个 25 MHz 的晶振作为时钟源输入，同时会输出一个 50 MHz 的时钟作为以太网 MAC 的时钟源。NUC980DF61Y 的 EMAC 与 IP101 的连接示意图见图 1 以太网接口部分。

(3) 本地串口设计

NUC980DF61Y 具有高达 10 路的 UART 接口，用于连接人机交互模块、北斗/GPS 定位模块、线损模块、4G 数据传输单元、蓝牙模块等扩展装置功能。同时预留 4 路串口，其中 2 路 RS 232 接口（一路用于调试口），2 路 RS 485 接口。

(4) 蓝牙模块设计

蓝牙模块采用百瑞互联技术有限公司开发的蓝牙 4.2 低功耗蓝牙模块 BR2262e-s，其有效传输距离超过 10 m。BR2262e-s 通过 UART 接口与主控 MCU 连接，配合手持终端（可以是手机应用 APP）用于柱上开关控制器的杆下调试。

5. 存储模块设计

NUC980DF61Y 内部不具有存储空间，需要外扩 Flash 存储芯片，本方案中选用 SPANSION 的 S34ML01G200T 型号的 NandFlash 芯片，容量为 128 MB。用于存储程序、历史文件，以录波文件的形式记录配电线路发生故障时刻的电压、电流和开关状态以及存储 FTU 终端的配置信息。

FTU 软件系统设计

1. 系统软件平台

该设计使用的操作系统为 Free RTOS，是一个可裁

剪、可剥夺型的多任务内核，而且没有任务数限制。并且提供了任务管理、时间管理、信号量、消息队列、内存管理、记录功能、软件定时器和协程等实时操作系统所需的所有功能。Free RTOS 操作系统具有源码公开、可移植、可裁减及调度策略灵活的特点，可以免费用于商业产品，开放源码更便于对操作系统进行深度裁剪以适应自己的硬件。

在通信协议实现方面，NUC980DF61Y 软件平台集成了开源的轻量级 TCP/IP 协议栈 LwIP2.1.2，基于该协议栈实现无线网路和双网口的网络通信，为电力业务提供网络支持。

NUC980DF61Y 软件平台采用 Yaffs2 作为 NAND flash 文件系统。Yaffs2 是一个专门为 NAND Flash 设计的文件系统。它采用了类日志结构，结合 NAND Flash 的特点，提供了损耗平衡和掉电保护机制，可以有效地避免意外掉电对文件系统一致性和完整性的影响。因而能够保证电力业务数据的可靠存储。

2. FTU 软件设计

结合软件平台的多任务特性，软件采用模块化设计，主要包括模拟量信息采集与计算模块、保护逻辑处理模块、无线通信模块、I/O 口控制模块和 IEC101/104 规约处理模块，并定义了各功能任务间的消息交互机制。

同时针对交流采样特点，根据软件平台优先级合理分配任务，保证个任务或功能模块的协调运行，提高了系统的稳定性和实时性。

FTU 的主程序主要完成硬件模块的自检与初始化及各个任务和任务同步所需的信号量的创建，然后启动操作系统。自此 CPU 的控制权交由操作系统管理，操作系统根据各任务优先级对任务进行管理和状态切换。不仅满足了多任务的实时性要求，同时还满足了配电系统对 FTU 功能多样化和智能化的要求。

结束语

基于本文设计开发的馈线终端，具有实时模拟量的采集计算、故障检测、线路保护、录波文件及历史文件的存储、IEC101 规约、IEC104 规约等功能。实验运行表明，该设备具有良好实时性，特别是遥信处理和保护处理等有较高的响应速度；能很好满足线路监测的实时和智能化需求，同时能保证与配电系统之间的通信和控制的稳定可靠。在完成本设计全部功能的前提下，NUC980 仍具备丰富的存储、计算资源，具有强大的扩展性以适应越来越复杂的配电网功能需求。EA

(收稿日期：2020.11.17)

(上接第 67 页)

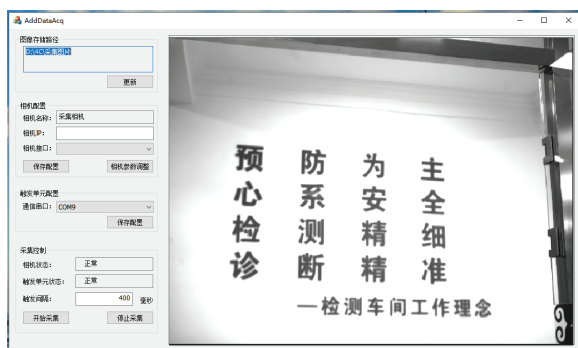


图 2 软件效果（试验测试状态）

结束语

高速铁路轨旁设备安全巡检装置试验室调整测试完成后，2020 年 9 月，在唐呼线呼和浩特东至卓资山间，利用高铁接触网检测车进行的现场测试与验证，

验证结果显示成像能够满足对轨旁设备的成像需求，光照补偿装置满足需求，存在单元正常，成像能够识别轨旁装置及其安装零部件变形、缺失、松脱、部件转动、移位和裂损等缺陷故障，通过对缺陷问题上传 6C 数据中心，实现了缺陷的闭环管理，实际运用效果良好。

鉴于目前高铁和旅客安全的极端重要性，为减轻轨旁设备对运输的影响，降低职工劳动强度，提供巡检质量，轨旁设备的现代化巡检已经必不可少，因此在专业融合背景下，该装置具备模块化、轻便、操作组装简单等优点，能够有效地提高巡检质量和可靠性，保障轨旁设备安全，有较高的实际运用价值和推广价值，本装置目前正在进一步优化结构。EA

(收稿日期：2021.01.06)