

智能配电变压器监测终端的设计

陈少华, 陶涛, 陈章宝, 梁志雄

(广东工业大学, 广东 广州 510006)

摘要: 介绍了配电变压器终端在供电网中的作用和功能, 阐述了一种基于 GPRS 通信方式的配电变压器监控系统中配变终端的设计和实现。该配变监测终端基于 ARM 处理器和 uClinux 操作系统, 利用专用电能芯片 AED7758 进行变压器运行参数采集, 经 GPRS 网络进行数据传输。该装置具有精度高、可靠性高、实时性好、价格低廉等特点。

关键词: ARM; GPRS; ADE7758; 配变监测终端

Design of intelligent distribution transformer monitor and measurement terminal

CHEN Shao-hua, TAO Tao, CHEN Zhang-bao, LIANG Zhi-xiong
(Guangdong University of Technology, Guangzhou 510090, China)

Abstract: The functions of transformer monitor and measurement terminals are first introduced in this paper. Then, the design and realization of a GPRS network based transformer monitor and measurement terminal is described in detail. This terminal uses ARM microprocessor and uClinux operating system. Data acquisition is achieved through a specific chip - ADE7758 and the data are further transmitted through GPRS network. The terminal is cheap, of good precision, high reliability and perfect real time characteristics.

Key words: ARM; GPRS; ADE7758; transformer terminal unit

中图分类号: TM76 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2008)21-0056-05

0 引言

在电力供配电系统中, 配电变压器是将电能直接分配给低压用户的电力设备, 其运行的各种数据的实时监测是配电自动化系统的一个重要方面。配电变压器监测终端(简称配变终端)是一种对变压器进行实时数据采集与控制的自动化终端设备, 它可以通过通信网络与配网自动化系统相连, 并上报监测的各种数据^[1]。

实际的配电网中, 配电变压器数量众多且分散各处, 针对此种情况, 本文提出了一种低维护、高性能的基于 GPRS 网络配变远程监测系统的设计方案, 并基于 ARM 控制器设计一种新型的配变监测终端装置, 能可靠、实时、廉价地为电力部门的专业分析提供实时数据。分析后, 及时发现配电变压器运行中出现的异常情况并进行处理和优化, 保证配电网正常稳定的运行, 以实现良好的经济和社会效益^[2,3]。

1 配变终端在监测系统中的作用

基于 GPRS 的配变监测系统主要由配变监测终端、通信网络、数据中心组成, 如图 1 所示。配变监测终端置于变压器现场, 通过电压互感器(PT)和电流互感器(CT)对变压器二次侧的电气参数进行采集, 然后发送给 GPRS 模块, 最后 GPRS 模块把数据通过 GPRS 网络传输至数据中心服务器。同时当配变终端出现异常报警时, 主动发送报警信息给相关人员。数据中心服务器端也可以通过监视控制软件进行配变终端参数的设置和修改。配变终端主要

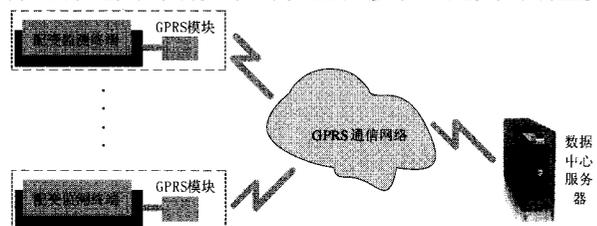


图 1 配变监测系统的结构图

Fig.1 Structure of distribution transformer monitor and measurement terminal

实现变压器运行参数的测量、相关电能的计量、异常情况的报警、运行状况的分析和预测等。

2 配变终端的功能实现

本系统的配电监测终端以 ARM 为控制处理器,配合 GPRS MODERM 通信模块,实现远程变压器运行参数的实时采集,随机或定时发送相结合的监控功能,其结构图如图 2 所示,主要由电能采集部分、油箱温度采集部分、数据处理部分、数据备份部分和 GPRS 发送部分组成。

采用 Samsung 公司的 S3C4510 芯片作为控制处理器,内含一个由 ARM 公司设计的 16/32 位 ARM7TDMI RISC 处理器核。由一块可在系统(In-System)进行电擦写的 Flash 存储器芯片 ST39VF1601 (2 MB) 和两块具有较快运行速度的 SDRAM 存储器芯片 K4S641632(并联后共 16 MB)组成系统存储器。Flash 存储器在系统中通常用于存放程序代码、常量表以及一些在系统掉电后需要保存的用户数据等;而 SDRAM 存储器在系统中主要用作程序的运行空间、数据及堆栈区。本系统使用嵌入式操作系统 uClinux 作为软件运行平台,当系统启动后,S3C4510 首先从 0x0 处读取启动代码,完成系统初始化后,程序调入 SDRAM 中运行,以提高系统的运行速度。

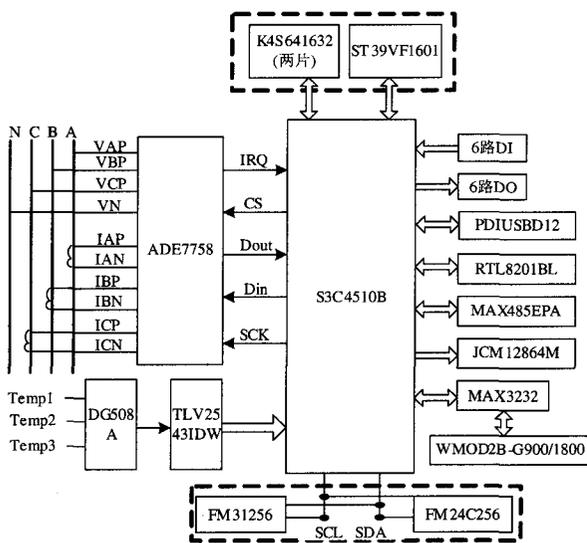


图 2 配电监测终端结构图

Fig.2 Structure of distribution transformer monitor and measurement terminal

配变终端用于监测配电变压器低压侧的电压、电流、功率、周波等信号,采用美国 Analogy Device 公司推出的高精度三相电量测量专业芯片

ADE7758 作为电能采集模块,采集后的数据通过 SPI 总线传输给控制器 S3C4510。变压器三路温度采集通道由温度传感器转换为电信号,经过 8 路选择开关 DG508A 选中一路进行信号匹配,然后送入 12 位串行 A/D 转换器 TLV2543IDW,最后转换数据送入控制器 S3C4510,和电能数据组帧后经 GPRS 发送出去。本系统中采用两片铁电存储器 FM31256 (16MB) 和 FM24C256 (16MB) 用于保存采集的电量和温度数据,以及数据中心对终端的设置信息和掉电保存信息等,其中 FM31256 芯片带有实时时钟功能。系统此外提供 6 路 DI 和 6 路 DO,配置有 USB 接口、485 接口、以太网接口和 LCD 显示器 JCM12864M,组帧后的数据经连接在串口上的 GPRS 模块 WMOD2B-G900/1800 发送出去^[4,5]。

2.1 电能采集模块

配变终端中最重要的部分就是对变压器运行电参数的准确采集,此部分的功能由 ADE7758 来实现。它由两个可编程增益放大器、6 个 24 位 $\Sigma-\Delta$ ADC、数字积分器、数字滤波器、参考电路、有效值与功率信号处理模块和一个 SPI 串口组成。ADE7758 可对三相电压/电流有效值、三相有功无功视在功率进行计量,同时还可以计量电网周波和产生设置多种报警等。该芯片带有数字功率校准寄存器、相位校准寄存器和失调校准寄存器,可以校准尾部元器件引起的误差。ADE7758 动态范围可达 1000:1,与三线制和四线制配电系统兼容。

由 PT 和 CT 将变压器低压侧的电压和电流信号转换为低电压、小电流信号,并且使电网部分与检测部分隔离开来,转换来的信号经过调整和滤波送入 ADE7758 芯片。ADE7758 有 6 路模拟量输入,分成电压和电流 2 个通道,这两个通道中各有一个可编程增益放大器,放大增益为 1, 2 或 4,其大小有用户编程来决定。电流通道由 3 对差分电压输入: IAP, IAN; IBP, IBN; ICP, ICN。这 3 对电流通道最大的信号电压变化范围为 ± 0.5 V, 3 对输入分别代表 A、B、C 三相。电压通道的 VAP, VBP, VCP 和 VN 输入分别代表 A、B、C 三相和零线^[6]。

ADE7758 内部没有功率寄存器,只有对应的有功无功视在三种能量寄存器^[7]。由于功率就是单位时间内的能量,所以采集功率时,可使 ADE7758 工作在 Line Cycle Energy Accumulation Mode (LINECYC,线性循环能量累计模式),通过设置三相的过零点进行能量累积,然后产生中断请求,控制器 S3C4510 来读取对应寄存器中的数据,在本设计中,笔者采用三相过零点,时间为 1 s 的方法来实现三相功率采集。

ADE7758 的所有功能都是通过读/写片上寄存器来实现的。每个寄存器在读/写时,先执行一个写通信寄存器的操作,然后才开始传输数据。ADE7758 和 S3C4510 的通信通过 IRQ、CS、Dout、Din、SCK 五根线(即 SPI 总线)来实现的,ADE7758 自带一个 SPI 串口和控制器进行通信,而 S3C4510 自身并没有专用的 SPI 接口,本设计中通过 S3C4510 的 5 个通用 I/O 口 P10~P14 来实现 SPI 通信。ADE7758 数据转换完成后中断申请 IRQ(低电平)给 S3C4510,然后 S3C4510 发出低电平选通 ADE7758 的 CS,由 SCK 提供给 ADE7758 时钟,Dout 和 Din 进行数据传输。

2.2 数据处理和组帧模块

ADE7758 采集的数据在送给 GPRS 模块之前,需要进行数据处理。例如 ADE7758 采集的功率是 16 位有方向数据,要以此判断并统计出配电变压器相应的正相有功电能和反相有功电能,及四象限无功电能和电度等。而为了均衡用户用电,使电网避免出现负荷尖峰,需进行最大需量的计量。电能需量是指在某一指定时间间隔内电能用户消耗功率的平均值,最大需量就是在一个电费结算周期(常为一个月)内所有需量的最大值。本设计中最大需量采用了滑差式计算方法,设定滑差时间是 1 min,需量周期为 15 min。建立一个大小为 16 的队列,把每分钟采集到的数据依次放到相应的位置,顺序计算出连续 15 min 的平均功率,如公式(1)所示。

$$WP_{i+15} = \frac{\sum_{i}^{i+14} P_i}{15} \quad (1)$$

其中: P_i 为第 i min 时的功率, WP_{i+15} 为第 $(i+15)$ min 时的需量,依次求出每个需量值,当下一个需量大过前一个需量时,记录此值并从 FM31256 中读出此时刻的时间,以此类推到月末,清除后重新循环。

| | |
|------------|------|
| 帧起始符 (68H) | 1 字节 |
| 终端逻辑地址 | 4 字节 |
| 主站地址与命令序号 | 2 字节 |
| 帧起始符 (68H) | 1 字节 |
| 控制码 | 1 字节 |
| 数据长度 | 2 字节 |
| 数据域 | 变长 |
| 校验码 | 1 字节 |
| 结束码 (16H) | 1 字节 |

图 3 发送数据帧格式
Fig.3 Frame of sent data

发生故障和异常情况时,形成上报故障事项信息和异常报警信息,主动的上报至数据中心,同时通过 GPRS 发送短信给相关的工作人员。在本设计中,相关的报警包括过压、欠压、断相、过流、过负荷、电流不平衡、逆相序、终端来电和停电等,报警的判断时间默认为 15 min,其判断时间和报警的上下限数据可由数据中心的监控软件根据不同的变压器装置进行设置。

终端根据《广东电网公司配变监测计量终端通讯规约(试行)》与数据中心通过 GPRS 网络进行通信,其数据在经过 GPRS 发送的通信格式如图 3 所示。帧是传送信息的基本单元,每帧由帧起始符标志域,控制域,数据长度域,数据域,校验域及帧结束域等 6 个域组成,每个域由若干字节组成。其中,终端逻辑地址在通讯时用来唯一识别一个通讯的最终发起端和接收端,控制码表示要执行的任务操作号。而数据域根据需要发送的任务而不同,例如发报警信息、实时数据、定时发送数据等。

2.3 数据备份模块

根据国家 DL/T645 标准,终端需保存大量的电能等数据,如何可靠并快速地保存这些数据尤其重要。FM31256 和 FM24C256 是一种具有 IIC 总线的铁电存储器,与其他非易失性存储器相比,读/写速度快、低功耗,芯片擦写次数多、读/写无限性和结构简单等优点,就是每秒钟读/写 30 次,也能使用 10 年。

系统中的 FM31256 有 25 个特殊功能寄存器(SFR) 00H—18H,通过对这些功能寄存器进行操作,可以实现特殊功能。其中包括实时时钟的处理,寄存器(02H—08H)以 BCD 格式提供秒、分、时、周、日、月、年信息,用户可对其进行读/写访问,该芯片外置锂电池,当系统掉电后时钟也能正常运行。FM31256 和 FM24C256 使用二进制的 IIC 总线,二线协议主要由 SDA 和 SCL 两个脚的位状态确定,共有四个状态:开始,停止,数据以及应答,读写方便易行^[8]。FM31256 和 FM24C256 永远都是从机,FM31256 的 00H—85H 用于初始条件设置和数据中心数据设置以及掉电保护数据存放,剩下空间为定时发送的数据备份和报警数据的备份,以便当 GPRS 网络拥挤定时发送不成功时,可由数据中心进行查询和重新发送。

2.4 GPRS 发送模块

GPRS MODEM 采用的是法国 WAVECOM 公司的 WMOD2B-G900/1800 产品,根据发送数据的不同任务,分为定时发送、报警发送、主动查询等功能,对采集来的数据进行数据格式转换为字符型

变量, 然后按照规约中数据帧的格式进行发送。由于本设计采用的是嵌入式系统, 在 uClinux 配置内核时选择如 PPP 协议, 免除了协议的配置编程, 同时加入自己的脚本语言, 使 MODEM 能够便利地自动拨号通讯。

3 系统软件设计

在首次使用前, 必须对系统的 ADE7758 部分进行校正, 把校正参数写入 FM31256, 然后每次启动, 都从 FM31256 中取出校正参数来初始化系统, 主程序主要分为定时发送和实时发送两部分。其工作流程为: 系统上电后, 首先进行初始化程序, 然后判断数据中心是否对时和该变压器额定参数和变比的配置, 接下来进行变压器运行参数的采集和数据处理以及打包发送, 如图 4 所示。

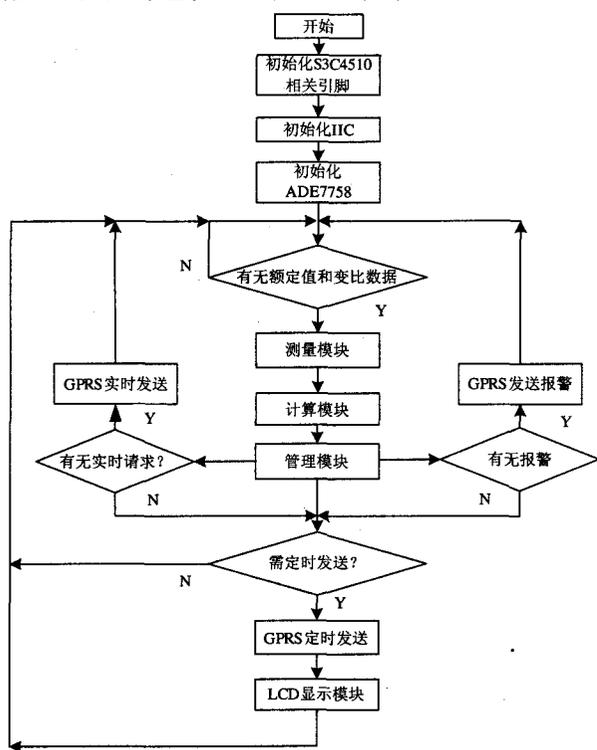


图 4 主程序流程图

Fig.4 Flow chart of the main program

系统初始化部分包括对与 ADE7758 通信和 LCD 显示器通信的引脚及相关寄存器等的设置, ADE7758 读取校正参数和工作方式等的设置, IIC 总线通信的初始化设置等。经过初始化工作之后, 系统可以进入正常的工作模式。然后判断是否有数据中心端送来该变压器装置额定参数、报警上下限值、报警的判断时间、变比系数、FM31256 的对时等数据, 当收到这些相关数据后, 系统进入数据实

时采集部分。

数据采集的时候, 每间隔 1 min 将所有参数采集一次, 然后判断是否有报警消息 (默认持续时间为 15 min) 需要发送, 当有报警信息时候, GPRS 发送该报警和相关的参数; 同时判断是否有实时数据发送的请求, 当终端收到数据中心的实时数据采集请求后, 转入到实时数据采集和发送部分; 当采集时间到 15 min 后 (此时间可由数据中心设置), 由 GPRS 模块定时发送采集的数据 (发送最近一次采集的数据), 每次采集的数据在终端的 LCD 显示器上可以显示采集的全部数据。

4 装置的校准

该配变终端在实际应用前必须经过校正, 方可达到国家标准和用户的要求。由程控三相电表校验装置给配电终端装置提供标准值, 然后由计算机读出测量值, 由误差计算出相应的校正参数, 通过编程写入到 ADE7758 的偏移、增益寄存器。ADE7758 的校准包括三相的电压、电流、有功、无功、视在和相位补偿几个部分, 校正的先后顺序要求非常重要, 其校正流程图如图 5 所示。

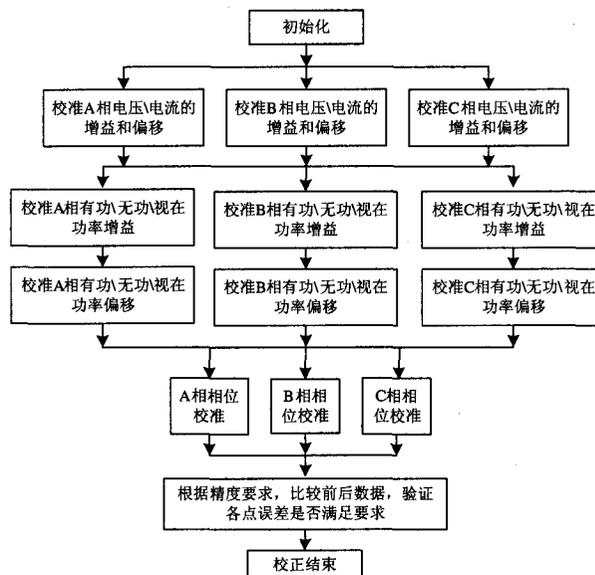


图 5 校正流程图

Fig.5 Flow chart of proof

5 结束语

本文应用电能计量专用芯片 ADE7758 设计的配电变压器监测终端不仅能给数据中心服务器提供丰富的变压器运行参数, 而且精度高、稳定性好、体积小、成本低, 同时对运行的变压器出现的异常

情况进行报警,使电力运行部分能够及时地优化处理配电系统,使用方便,前景可观。

参考文献

[1] 路小军, 吴在军, 郑建勇, 等. 基于 GPRS 通信技术的新型配变远程监控系统[J]. 电力系统及其自动化学报, 2005, 17 (3): 82-86.
 LU Xiao-jun, WU Zai-jun, ZHENG Jian-yong, et al. New Supervisory System for Remote Distribution Transformer Based on GPRS Technology[J]. Proceedings of the CUS-EPSA, 2005, 17 (3): 82-86.

[2] 李涛, 徐建政, 杜晓平. 基于 GPRS 无线通信的配变监测系统的设计与实现[J]. 继电器, 2004, 32(24):37-40.
 LI Tao, XU Jian-zheng, DU Xiao-ping. Design and Application of GPRS Technology in Monitoring System of Distribution Transformer[J]. Relay, 2004, 32 (24): 37-40.

[3] 李如雄, 林梅金. 基于 GPRS 网络的配变监控终端 TTU 的设计[J]. 微计算机信息, 2006, 22 (3): 146-148.
 LI Ru-xiong, LIN Mei-jin. The Study of Transformer Terminal Unit(TTU) Based on GPRS Network[J]. Microcomputer Information, 2006, 22 (3): 146-148.

[4] 郑安平, 张劲, 朱专政. 新型配变变压器监测终端的设计[J]. 微计算机信息, 2006, 22 (5-2): 244-246.
 ZHENG An-ping, ZHANG Jin, ZHU Zhuan-zheng. Design of New-Style Distribution Transformer Supervisory Terminal[J]. Microcomputer Information, 2006, 22(5-2): 244-246.

[5] 林功平, 徐石明, 罗剑波. 配电自动化终端技术分析[J]. 电力系统自动化, 2003, 27 (12): 59-62.
 LIN Gong-ping, XU Shi-ming, LUO Jian-bo. Technologies of Distribution Automation Terminal[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27 (12): 59-62.

[6] 高继贤, 李晓媛, 靳永强. 基于专用电能表芯片和 SMS 通信的窃电监控系统的设计[J]. 电气应用, 2005, 24 (10): 115-118.
 GAO Ji-xian, LI Xiao-yuan, JIN Yong-qiang. Design of Monitoring and Control System Against Electricity Stealing Based on Special Watt-Hour Meter Chip and SMS Communication[J]. Electrotechnical Journal, 2005, 24 (10): 115-118.

[7] ADE7758 DataSheet. Poly Phase Multifunction Energy Metering IC with per Phase Information ANALOG DEVICES, 2003.

[8] FM3104/16/64/256 Integrated Processor Companion with Memory[Z]. Ramtron International Corporation, 2002.

收稿日期: 2008-01-02; 修回日期: 2008-03-26

作者简介:

陈少华(1954-), 女, 教授, 从事电力系统继电保护与自动装置的教学与研究工作;
 陶涛(1980-), 男, 硕士研究生, 从事变电站自动化系统和继电保护的研究; E-mail: oceanvessel@sohu.com
 陈章宝(1982-), 男, 硕士研究生, 从事变电站自动化系统和继电保护的研究。

(上接第 11 页 continued from page 11)

[4] 李幼仪, 董新洲, 孙元章, 等. 双回线无通道保护研究 (二): 仿真试验[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(12): 56-59.
 LI You-yi, DONG Xin-zhou, SUN Yuan-zhang, et al. Non-communication Protection of Double-circuit Lines System: Part Two Simulation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(12): 56-59.

[5] 李幼仪, 董新洲, 孙元章, 等. 双回线无通道保护研究 (三): 保护实现与试验[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(13): 69-72.
 LI You-yi, DONG Xin-zhou, SUN Yuan-zhang, et al. Non-communication Protection of Double-circuit Lines System: Part Three Implementation and Test[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(13): 69-72.

[6] 葛耀中. 新型继电保护与故障测距原理与技术[M]. 西安: 西安交通大学, 1996.
 GE Yao-zhong. New Types of Protection Relaying and Fault Location Their Theory and Techniques[M]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University, 1996.

[7] Bollen M H J. Traveling-wave-based Protection of Double-circuit Lines[J]. IEEE Proceedings, Part C: Gener,

Transm and Distrib, 1993, 140(1): 37-47.

[8] 李幼仪, 董新洲, 孙元章. 基于电流行波的输电线横差保护[J]. 中国电机工程学报, 2002, 22(11): 6-10.
 LI You-yi, DONG Xin-zhou, SUN Yuan-zhang. Current-traveling-wave Based Protection of Double-circuit Transmission Line[J]. Proceedings of the CSEE, 2002, 22(11): 6-10.

[9] 张举, 张晓东, 林涛. 基于小波变换的行波电流极性比较式方向保护[J]. 电网技术, 2004, 28(4): 51-54.
 ZHANG Ju, ZHANG Xiao-dong, LIN Tao. A Directional Protection Based on Traveling Wave Current Polarity Comparison Using Wavelet Transform[J]. Power System Technology, 2004, 28(4): 51-54.

收稿日期: 2008-01-10; 修回日期: 2008-03-02

作者简介:

王兴国(1981-), 男, 博士研究生, 从事电力系统暂态保护的研究; E-mail: xigua1852@163.com
 黄少锋(1958-), 男, 教授, 博士生导师, 从事电力系统继电保护的研究;
 刘千宽(1967-), 男, 博士研究生, 从事电力系统继电保护的研究。