

# 基于 GSM 通信的配电变压器远程监控系统设计

何 为, 蔡梅园, 刘细亮

(重庆大学输配电装备及系统安全与新技术国家重点实验室, 重庆 400030)

**摘要:** 配电变压器是配电网中最重要的电力设备, 其运行状态关系着配电网的稳定。配电变压器监测终端 (TTU) 是配电自动化系统中的重要部分, 保障配电系统的可靠运行。针对配电变压器运行状态的远程实时监控需要, 依据 GSM 的通信协议, 设计了基于单片机 MSP430F449 和 GSM 短信平台的配电变压器远程监控系统。经过模拟运行表明, 该系统建网方便、无需布线和几乎不受区域限制, 一次性投资少, 日常运行费用低, 能够准确测量出配电变压器的各种电参数, 实现监控终端与上位机之间准确的数据传输, 运行稳定。

**关键词:** 配电变压器; GSM Modem; 单片机系统; 远程监测; AT 命令集

## Design of transformer remote monitoring system based on GSM

HE Wei, CAI Mei-yuan, LIU Xi-liang

(State Key Laboratory of Power Transmission Equipment & System Security and New Technology, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

**Abstract:** Distribution transformer is the most important electric power equipment in the distribution network, of which running status relates to the stability of distribution network. The transformer terminal unit, naming TTU, is an important part of distribution automation system and guarantees the security of distribution automation system. In order to realize remote monitoring for the real time status of transformers, the transformer remote monitoring system based on MSP430F449 and GSM flat was designed according to the communication protocol of GSM. The result of simulation shows that parameters of the transformer could be measured accurately and the data transmission between supervise terminal and upper-controller is precise and the system is stable. The building of network is convenient, wireless and free of regional restriction. One time investment is small. The cost of day-to-day running is low.

**Key words:** transformer; GSM modem; SCM system; remote monitoring; AT command set

中图分类号: TM76 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2009)01-0083-04

## 0 引言

随着无线通信技术的不断提高, 利用移动运营商提供的无线网络实现配电网数据采集和监控 SCADA, 是电力系统现代化的一个重要发展方向。由于 GSM 网络的通信技术已经成熟, 覆盖面又广, 利用 GSM 无线通信方式来实现变压器参数的实时采集, 无疑是对现有资源的最大利用。最重要的是 GSM 网络是由移动运营商投资兴建的完整网络, 利用现成的完整网络来构建无线远程监控系统, 可以节省数以千亿计的导线材料及人工费用, 达到环保、节能、资源最大共享的目的, 而且免除了网络的日常修改和维护工作, 最大限度地节省了投资。无论何时何地, 只要有一部电脑和可以上网的电话线就能实现对各地变压器进行监控; 如果配备 GSM 无

线 Modem, 便能实现移动监控。本系统用基于 GSM 网络通信技术和网络微处理器技术相结合的方法, 解决变压器参数远程传输问题, 实现及时报警、实时数据采集和实时负荷监测的功能。其意义在于: 通过监视变压器的运行状况, 优化配网运行方式; 发生故障或异常运行时, 迅速报警, 及时恢复正常供电, 减少停电时间, 保证变压器的安全运行; 记录电压越限时间, 计算电压合格率, 从而合理控制电平水平, 改善供电质量<sup>[1]</sup>。

## 1 系统结构

本系统由现场变压器三相电力参数采集、GSM 通信网络和监测中心上位机软件三大部分构成。变压器三相电力参数采集安装在变压器现场, 通过电压互感器 (PT) 和电流互感器 (CT) 对变压器二次

端的电气参数进行采集监测；同时，分析、记录采集数据供上位机查询，并在变压器三相电力参数出现异常事件时主动上传告警信息。GSM 通信网络是监测中心与现场变压器之间的数据传输的桥梁，通过 GSM 网络使现场变压器的相关参数能够实时传送到监测中心计算机；监测中心软件一方面通过 GSM 网络与现场监测器进行双向通信，另一方面为用户提供一个可视化界面，让用户足不出户即可了解远方变压器相对实时的运行状况。与现场 GSM 无线 Modem 相对应，监测中心计算机必须借助 GSM 无线 Modem 拨号进行 GSM 网络，方可与现场监测器进行远程通信。系统结构如图 1 所示。

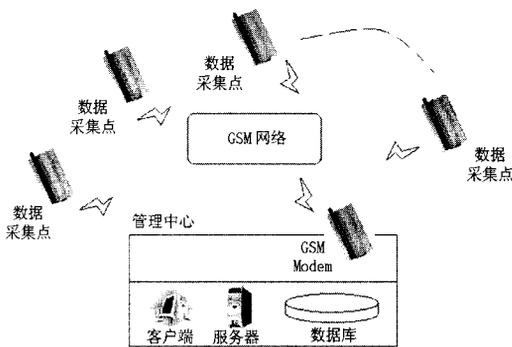


图 1 系统结构图

Fig.1 Structure of the system

变压器三相电力参数采集包括两大部分。一是电力参数采集模块，对变压器三相电气参数进行实时采集；同时存储历史数据，以便监测中心要了解变压器的电压、电流、功率等电参数质量时，可以通过预先设定的查询历史数据命令获取，然后通过监测中心软件分析形成曲线报表等。二是智能监测与 GSM 通信管理模块。该模块监测与分析采集模块送出的实时参数，如果发现电压电流超限或断电来电，则启动 GSM 通信模块的监测中心发送报警信息；当上位机软件发起通信请求时，还要负责握手和建立通信链路。

监测中心软件为用户提供一个可视化的监测界面。该监测界面采用多级电子地图的形式，让用户直观、方便、快捷地了解变压器的运行状态。通过此界面，用户可以及时发现变压器出现的故障。譬如，某变压器 A 相电压过大，则在电子地图中该变压器处出现闪烁亮点，提示用户该变压器出现警情，并伴有声音报警。用户可以点击变压器图标处查看告警详细内容；同时，用户通过查询历史数据库，可以调出变压器的历史运行状态曲线，从而预测变压器的负荷情况。

## 2 系统硬件

本文所叙述的远程监控系统是由信号采集与调理模块、数据采集及处理模块和 GSM 通信模块三部分组成。系统构成原理框图如图 2 所示。

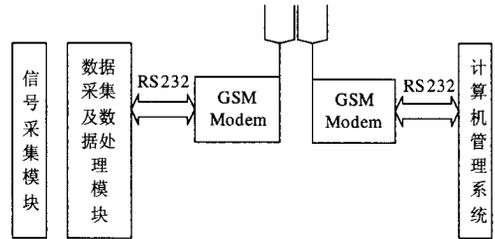


图 2 硬件系统构成原理框图

Fig.2 Structure of hardware system

### 2.1 信号采集与调理模块

本系统是监测配电变压器的各种运行参数，因此所要采集的信号就是配电变压器的 A、B、C 三相的电压信号和电流信号。这些信号都是模拟量信号。由于这些模拟量信号是高电压和大电流，因此需要将高电压和大电流变换成低电压和小电流。本系统采用电压互感器 (PT) 和电流互感器 (CT)。

本系统电压采样电路如图 3 所示。以电阻  $R_1$  为标志分为前一部分信号采集和后一部分信号调理。在信号采集部分中，PT 采用的是电流型电压互感器，额定电流为 2 mA。 $R_0$  是限流电阻，不论额定输入电压多大，调整  $R_0$  的值，使额定输入电流为 2 mA，满足使用条件。副边电路是电流/电压转换电路，调整图 3 中反馈电阻  $R$  和  $r$  的阻值即可得到所需要的电压输出。电容  $C_1$  及可调电阻  $r'$  用来补偿相移。电容  $C_2$  和  $C_3$  是 400~1000 pF 的小电容，用来去耦合滤波。两个反接的二极管起保护运算放大器作用。运算放大器使用 OP07 可达到较高的精确度和较好的稳定性。在信号调理部分中，采用如图 3 所示的低通滤波器，使采集来的电压值达到与 A/D 转换相匹配的电压值，然后进行 A/D 转换。

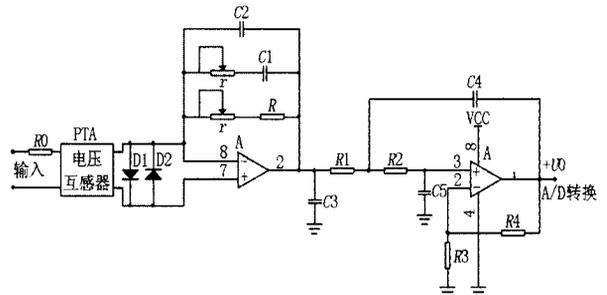


图 3 电压采样电路

Fig.3 Voltage sampling circuit

本系统的电流采样电路只需将图3中的限流电阻 $R_0$ 去掉, 将电压互感器变成电流互感器即可。三相电压和电流共有6个模拟信号, 把从电压互感器和电流互感器输出的模拟量, 经过信号调理后送微处理器进行A/D转换。实验证明, 该方案经济可行。

## 2.2 数据采集及处理模块

数据采集处理模块是以TI公司的MSP430F449为核心的, 由其控制外围的显示单元、通信接口单元、数据采集单元、数据存储单元、实时时钟单元、电源转换单元、开关量输入输出单元等。功能框图如图4所示。

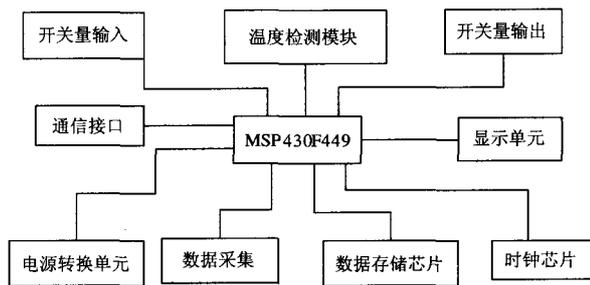


图4 数据采集处理功能框图

Fig. 4 Structure of data sampling and processing

MSP430F449是一种超低功耗16位FLASH单片机, 它的16位精简指令集、16级中断、高效的寻址方式等特点较好地实现了强大的功能和超低功耗的结合, 具有很好的性价比和实用性。其微控制器片内包括60kB +256B的FLASH型程序存储器、具有内部参考电平、采样保持和自动扫描特性的12位A/D转换器。MSP430F449应用在2.2 V供电电源及1MHz主频时, 工作电流仅为280  $\mu$ A, 在低功耗模式下, 工作电流最低可达0.1  $\mu$ A。MSP430F449与89C51相比, 不但指令执行效率高, 而且功耗比后者低得多。与现代程序设计技术结合使用, 可使MSP430的体系结构更为高效。

## 2.3 GSM 通信模块

本系统所采用的GSM通信模块为TC35T。TC35T是由西门子公司推出的GSM专用调制解调器, 主要由GSM基带处理器、GSM射频模块、供电模块、闪存、ZIF连接器、天线接口六部分组成, 可完成语音、数据、短消息以及传真的传送。TC35T具有标准的工业接口和完整的SIM卡阅读器。本系统用TC35T来实现数据通信和GSM远程监控<sup>[2]</sup>。

### 2.3.1 数据通信原理

利用通信模块进行数据通信, 就是将监测的数据作为短消息的内容, 从发送方的通信模块发送出去, 通过短消息中心进行转发。接受方通信模块收

到此短消息后, 存储在SIM卡上。模块外接的控制器(单片机或计算机)从模块中读取短消息后, 根据需要将无用的信息去除, 取出有效信息, 然后将SIM卡中的已读短消息删除, 这样就完成一次单向数据的传输, 这样可以很好地预防数据丢失的问题。由于配电变压器数量众多而且位置也比较分散, 所以我们引入消息队列的概念, 在监测终端较多时主站管理系统能够有序的处理这些短消息, 而不会在时间集中时产生数据丢失的问题。

### 2.3.2 GSM 远程监控原理

本系统中, 计算机不但可接受通过GSM模块发送过来的终端的数据, 还可以通过GSM模块控制系统终端。GSM模块接收短消息后, 通过串行口RS232传给单片机, 单片机根据接收到的短消息进行处理, 从中提取控制命令, 再对配电变压器进行相应的控制操作。配电变压器的状态信息也是以短消息的形式通过GSM模块发送给短消息服务中心, 再由短消息服务中心发送给计算机。计算机收到短消息后, 根据短消息的内容可发回短消息, 对配电变压器的控制。

### 2.3.3 TC35T 的优点

TC35T像手机一样具备使用GSM网络的能力, 提供标准的RS232接口, 只需将串口线连接至计算机和本文所设计的TTU, 接通电源即可使用。控制命令可以使用专门开发的简洁实用的通信协议来控制TC35T, 也可以使用调制解调器常用的AT命令集。

本系统采用AT命令集实现双向无线通讯功能。选择GSM通信模块能准确地实现上位机与下位机之间的信息传递。实现小批量、非实时、远程数据传输, 不管从安全性、稳定性、收发信息量, 还是从可扩展性、运营费用、二次开发等方面来看都比较理想, 可以充分满足用户需要<sup>[3]</sup>。

## 3 系统软件设计

本系统中的软件设计主要包括两部分: 一部分是TTU的软件设计, 另一部分是上位机的软件设计。TTU的软件设计是在IAR Embedded Workbench开发环境中采用MSP430汇编语言开发, 其中包括系统的初始化模块、数据采集及A/D转换模块、数据存储模块、实时时钟处理模块、显示驱动模块和通信接口模块等。上位机的软件设计, 采用VC6.0开发, 实现友好的人机操作界面; 配置GSM通信模块TC35T的工作模式<sup>[4]</sup>, 使其与计算机之间实现信息交互; 随时可以调用查看配电变压器的各种运行参数的历史记录。数据通信流程图如图4所示。

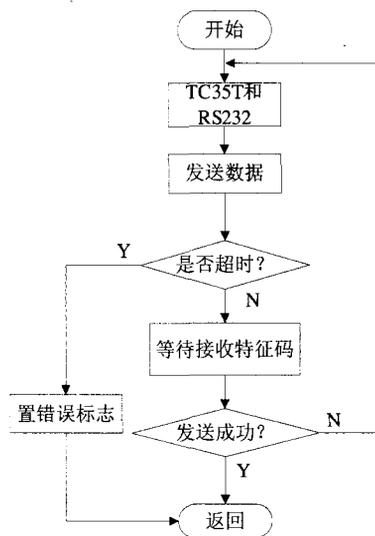


图5 数据通信流程图

Fig.5 Data communication flow

监测软件采用模块化的设计方法，用汇编语言编写。按功能可分为：初始化器件模块、进入GSM网络模块、实时测量模块（与电力远动采集模块之间通信获取实时参数）、历史数据记录模块和GSM远程通信模块。GSM远程通信模块包括呼叫中心建立通信链路模块、发送常规记录子模块、发送一天最大最小值记录子模块、发送越限报警记录子模块、发送来电报警记录子模块以及命令字分析子模块。命令字分析子模块负责实时分析GSM Modem传送过来的命令字符，从而决定如何响应监测中心的请求，给予相应的应答信息。各模块之间通过相关联的参数进行沟通。

GSM拨号上网时，移动网络供应商分配给手机模块一个IP地址（静态或动态、公用或私有），目前中国移动提供的是动态的IP。为了提高数据传输的可靠性和稳定性，我们可以向移动公司申请APN服务。移动公司可以为接入用户建立VPN（X虚拟专用网），而且移动公司为每个APN客户提供一个绑定网内IP的SIM卡。以重庆为例：申请APN服务时，可以申请接入GZTEST01测试网，并由此获得重庆移动提供的网内IP，它就是一个固定IP。这样，系统的所有数据都是在GZTEST01测试网传输。该系统的管理中心也用一个GSM Modem来接入GSM网内。其实，GZTEST01测试网可以理解为一个大型的无线GSM局域网，而且这个无线局域网给每个GSM终端用户提供的是一个动态的IP地址，当GSM数据采集终端想要实现点对点的数据传输时，就必

须知道对方分配到的动态IP地址。为了解决这个问题，我们的管理中心使用了绑定网内IP的SIM卡拨号上网，所有数据采集模块拨号上网时首先要到管理中心进行注册。只要注册以后双方才能建立通信。由于整个数据传输都是在基于GSM网络建立的VPN上传输的，系统的实时性和安全性都得到了保障。由于通信链路的建立是基于TCP/IP的，所以，我们采集终端的GSM无线调制解调器的驱动处理器还必须带有TCP/IP协议栈。

### 4 实验运行结果

为模拟配电变压器实际运行中的各种状态，搭建了由配电变压器、三个自耦调压器和自制的负载箱组成的配电变压器运行状态实验设备。通过调压器调节负载工作电压大小以调节电流大小及缺相等情况。负载箱为阻容性负载，通过调节电容器的大小调节功率因数。

试验中，设置监测分机每5 min发送一次变压器信息，通过监控软件上显示参数值与用钳形电流表、普通万用表等测得的参数比较，误差在3%以内。通过调节调压器模拟故障情况，软件设置电压上限240 V，将电压调过240 V时软件报警电压过高；将电压降至100 V时软件报警三相不平衡；人为关断变压器监控终端迅速发送报警信息，监控软件显示变压器工作异常。

根据试验运行结果，在试验设备上模拟的各种变压器故障，变压器多参数远程监测系统均可迅速地做出判断，给监控人员提示。

此外，本系统还在重庆市璧山电力局实际运行，分析运行几个月存储的数据，变压器各项参数能及时准确发送到监控室，监控软件处理数据正常，达到预期效果。

### 5 结论与展望

采用 GSM 网络远程数据通信方法解决了远程监测系统通信问题，比起其它有线通信方式有着不可比拟的优越性。由于采用的是无线模式，数据传输的安全性得到了很大的提高。当然，万事有利必有弊。该方法的实施也还存在一些缺陷，如 GSM 通信方式比起 CSD（电路拨号）通信方式的可靠性和实时性还有待提高。但是，随着 GSM 网络的逐渐完整和应用技术的不断成熟，GSM 在其它工业领域的应用必将越来越广阔。

（下转第 103 页 continued on page 103）

电弧接地,装置认定此故障为永久性的接地故障,于是再次闭合故障相的高压接触器、等待值班人员或微机选线处理。

如果发生的故障是金属性的直接接地故障,装置可根据用户要求将故障相母线直接接地,减少流过故障点的电流,发生指示信号,等待值班人员或微机选线处理。如果发生的故障是PT断线故障,装置只发出指示信号,等待值班人员处理。

### 3 结束语

实际运行证明本装置具有以下优点:

(1)大幅度提高电力系统的安全稳定运行水平,可将各类过电压限制到较低的电压水平,使因过电压引起的绝缘事故及连发事故大为减少。

(2)具有完善的过电压保护功能,可保护大气过电压(雷击过电压),操作过电压以及弧光接地过电压,其限制弧光接地过电压的功能比装设消弧线圈更好、更完善,安装本装置后,原来按设计规范要求应装设消弧线圈的系统可以不再装设。

(3)改善电网的运行条件。由于消除了这类电网中原作用时间长的弧光接地过电压,使金属氧化锌避雷器(MOA)发生事故的几率大为降低。

(4)选型简单,使用方便

本装置消弧和过电压保护的机理与电网的单相接地电容电流大小无关,因而其保护性能不受电网运行方式的改变和电网扩大的影响,在大网小网中均可使用。

(5)结构简洁,安装方便。整个装置组成一台高压开关柜可替代原电压互感器柜,结构简单,体积小,安装、调试方便,不再另外占地,既适用于变电站,也适用于发电厂的高压厂用系统,既适用于新建站,也适用于老站的改造,原装有消弧线圈的系统,加装本装置,保护更完善。

本保护装置的额定频率为50 Hz,额定电压6~

35 kV,额定电流10~200 A。选型时,要保证装置的额定电压等于系统的额定电压,装置的额定电流不小于1.35倍被保护系统的最大单相接地电容电流。本保护装置适合在-30~+40℃温度范围、2000 m及以下海拔高度环境下工作,并且要求周围不得有粉尘、煤气、烟气等具有爆炸性的混合物。

本保护装置采用新型微控制器和先进电气部件设计,可以准确有效地消除雷击过电压和操作过电压造成的危害,具有优良的消弧及过电压保护性能,因而具有广泛的应用前景。

### 参考文献

- [1] 邹晓明. 农网降损节能的主要技术措施[J]. 农业机械化与电气化, 2006.
- [2] 罗毅,等. 配电网自动化实用技术[M]. 北京:中国电力出版社, 1998.
- [3] 韩水, 配电网无功优化及无功补偿装置[M]. 北京:中国电力出版社, 2003.
- [4] 周恒琦. 消弧及过电压保护装置的应用实践[J]. 中国有色冶金, 2006.

ZHOU Heng-qi. Application of Arc Extinguishing and Over-voltage Protection Device[J]. China Nonferrous Metallurgy, 2006,(04):59-61.

- [5] 张方军,周艳群. 配电系统自动跟踪补偿装置的研究[J]. 工矿自动化, 2006.

ZHANG Fang-jun, ZHOU Yan-qun. The Research of Automatic Tracking Compensation Device of Distribution System[J]. Industry and Mine Automation, 2006,(6):19-22.

收稿日期:2008-03-07; 修回日期:2008-04-15

作者简介:

靳孝峰(1965-),男,本科,副教授,长期从事电子技术以及单片机的教学和研究工作; E-mail:jxfeng369@163.com

张琦(1970-),女,硕士研究生,讲师,长期从事电力电子技术的教学和研究工作。

(上接第86页 continued from page 86)

### 参考文献

- [1] 陈堂. 配电系统及其自动化技术[M]. 北京:中国电力出版社, 2003.  
CHEN Tang. Distribution System and Automation Technology[M]. Beijing: China Electric Power Publishing House, 2003.
- [2] T I. MSP430X4XX Family Users Guide[Z]. TI, 2004.
- [3] 王泽芳,林志峰. SIEMENS TC35T模块组成汽车防盗系统[J]. 广东工业大学学报, 2003(4): 38-41.  
Wang Ze-fang, Lin Zhi-feng. SIEMENS TC35T modem building up car anti-theft system[J]. Guangdong

University of Technology Journal, 2003(4): 38-41.

- [4] SIEMENS Co. AT - Commands for GSM - engine TC 35 [Z]. SIEMENS CO, 2000.

收稿日期:2008-03-13; 修回日期:2008-06-02

作者简介:

何为(1957-),男,教授,博士生导师,主要从事电磁场理论、生物电磁场、电磁兼容和新型成像原理及其数字化医疗仪器的研究;

蔡梅园(1982-),男,硕士研究生,主要从事网络即时通信系统方面的研究;

刘细亮(1982-),男,硕士研究生,主要从事网络即时通信系统方面的研究。E-mail: liu1xi2liang3@yahoo.com.cn