

集控型智能配网终端的设计与实现

李宁峰,张吉,宋斌

(国网电力科学研究院,江苏南京 210003)

摘要:介绍了一种集控型智能配网终端,其具有本地配网终端功能和区域子站组网能力,可以有效减少配网系统层次,适应各种通信接口方式。围绕全新的硬件平台,采用了三层总线构架和适应浮点计算的中断技术。软件的设计采用了面向对象的方法和基于智能化协议的信息交换技术,可以支撑智能化配网系统的需要。该产品已在国网智能配网领域成功应用。

关键词:集控;配网终端;子站

中图分类号:TM76

文献标志码:B

文章编号:1009-0665(2013)05-0030-04

随着我国经济发展和城市化进程加快,用电负荷日益增加,城乡用户对电能质量要求不断提高,配网自动化成为电力系统自动化领域的新兴热点。配网自动化系统通常由主站层、子站层、远方测控终端和通信网络组成。其中远方测控终端包括测控终端(DTU)、馈线终端(FTU)和配变终端(TTU)等^[1]。DTU主要作用是完成配电网的信息采集和运行控制功能,包括配电开关分合、故障检测、故障隔离和配电网重构等。作为关键的控制终端设备,DTU在配网自动化系统中已有广泛应用。传统的DTU受制于硬件平台数据通信处理能力,与配调主站的通信还需要由一级子站汇集后再转发,虽然组网架构层次清晰,但工程实践中存在网络布设复杂、工程造价和维护成本高、与子站间的通信方式不能灵活改变等不足。随着终端平台技术水平的提高以及处理器能力的增强,文中介绍了一种将子站功能集成到DTU中的配网终端装置,该装置能简化通信网络,提高通信效率,具备灵活的运行配置方式,将逐步成为配网DTU的一个发展趋势。

1 集控型智能配网终端及组网架构

1.1 设计要求

(1) 简化配网层级。集控型智能配网终端的应用,省去子站层装置,简化了系统的通信网络层级,DTU与子站通信功能在终端内部完成,可以提高通信的可靠性。

(2) 通信接口多样化。集控型智能DTU需配备多路电以太网、光纤以太网及232等多种通信接口,可灵活地与主站通信模式匹配,降低配网升级改造工程的复杂度。

(3) 基于数字化标准IEC 61850、IEC 61970和IEC 61968的信息交换系统。采用智能化的信息交换

系统,具有良好的互操作性,可无缝接入智能化配网自动化系统^[2]。同时还具有远程监控和维护的功能,可以节约维护费用。

1.2 集控型智能配网终端配置

集控型智能配网终端采用6U整层机箱,按配置板件的不同,有主机和从机2种配置方式,如图1所示。2种配置采用相同的总线板和面板结构,系统需要扩展或升级时,只需增减板件就能实现主从机相互转换及通信接口的扩展,使集控型DTU应用起来更加灵活。



图1 集控型智能配网终端装置配置

1.3 主从机协同工作方式

由图1可见,从机由交流、遥信、遥控、采样等板件组成,其配置、工作原理与传统DTU一样,主要完成本间隔DTU的监控、故障定位等功能,采样板上设计有以太网口,可将本间隔的信息上送主机。主机配置是在从机的基础上,增加了交换板和通信板2个功能板件。交换板可提供8路以太网接口,其中3路用于装置内通信、采样等板件间信息交换,交换通道既可以采用外部电缆连接,也可以通过装置内部跳线实现,余下5路接口用于接入外部以太网信息,进行配网系统扩展,通过对外的以太网口与各从机或终端设备进行信息交互;通信板的作用是将交换板转来的配网信息连同自身间隔的配网信息汇总处理^[3],并采用光纤、GPRS等多种通信方式直接与主站进行信息交互,通信板具有光、电以太网口、GPRS接口以及传统的RS232、RS485等多种接口,可以与主站方便地匹配。

1.4 组网结构

根据配网系统电压等级和规模的大小,集控型智能配网终端有单主机组网和多主机组网2种方式,如图2所示。单主机结构的组网方式适合小型的独立配网系统,结构简单,网络接线方便。多主机结构的组网方式一般用于大型配网系统,可通过主机的通信扩展功能接入更多的配网终端设备。此外,该智能终端还可以通过配置即插即用的板件,来实现扩充通信接口、扩展采样通道、调整输入交流流量通道变比及适应不同输入电源等系统功能。

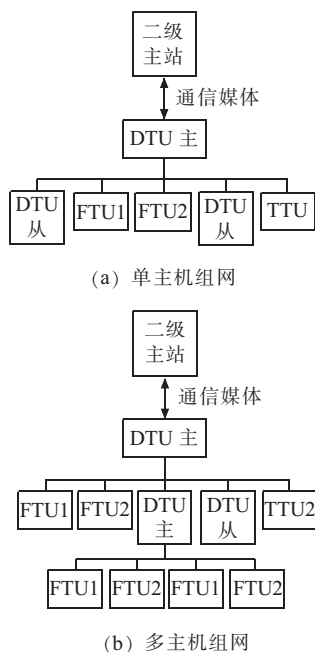


图2 集控型智能配网终端装置组网

2 集控型智能配网终端硬件系统设计

为满足集控型智能配网终端的应用需求,系统硬件在平台技术、总线架构、中断技术等方面进行了全新设计。

2.1 PowerPC 处理器(PPC)架构的硬件平台

最初的配网终端硬件平台多采用单数字信号处理器(DSP),采样、计算和通信功能都由DSP完成,受制于DSP的性能,不具备以太网通信能力,不能适应数字化场合应用。随着配网系统数字化要求的出现,对以太网通信方式的需求大大增加,出现了过渡性的DSP+精简指令系统处理器(ARM)的双核硬件系统架构,DSP负责数据采集和计算,ARM负责网络通信及信息处理。该架构的以太网通信能力有所提高,但仍存在以下两方面影响实时性的瓶颈:

(1) 采样的速率依赖于DSP的主频速度。DSP平台用于数据采集时,其速度受到采样中断频率的限制,为适应不断增多的数据采集和计算量,只能靠提高DSP的主频速度来满足要求,导致采样平台不断升级,甚至仍无法达到要求,增加了项目开发成本。

(2) DSP与ARM数据交换通信延时。DSP本身不具有网络协议及文件系统功能,与ARM平台间的数据交换是通过内部握手协议实现的,输出的数据还需ARM进行处理才能使用,当传输数据量大到一定程度,这个处理过程会对系统的实时性造成很大影响,这也是传统DTU难以实现子站功能的重要原因。

为克服这些技术瓶颈,设计采用了PPC平台作为集控型配网终端的硬件系统平台,采样板上的PPC负责各间隔数据高速采集,通信板上的PPC负责以太网信息处理与传输。PPC内核的处理器选择高性能的MPC86XX系列,该芯片具有高速的PPC内核,连同集成的网络和通信外设,形成一个高端通信系统,完全可以满足集控型配网终端本地数据采集处理和子站通信功能的需要。

2.2 平台总线技术应用

基于MPC86XX的处理器平台,设计了3类总线,即高速的数据总线、完备的管理总线,以及可扩展的低压差分信号(LVDS)总线。数据总线采用千兆以太网,用于子站大量数据的实时传输及交换;管理总线采用百兆以太网,用于与界面管理系统通信、软件调试、任务切换控制等操作;LVDS总线是由美国国家半导体公司提出的一种信号传输模式,在提供高数据传输率的同时,输出功耗很低,而且具有低电压电源兼容性、低噪声、信号传输可靠等优势。引入先进的LVDS总线技术,优势在于使所有板件接口标准统一,可随时增加、减少板件,板件可插入任何槽位,并可带电拔插,使装置在满足严格时钟同步的基础上易于扩展,是一种适合智能配网技术应用的总线。

2.3 高速以太网数据传输技术

现代电力配网系统中,大多网络是通过TCP/IP方式进行通信,配网终端装置接收到报文后产生中断信号,通知VxWorks协议栈来接收报文,之后传送到应用层缓冲区,待任务执行时再处理报文。此过程中间环节较多,并依赖于任务切换机制,无法满足数字化平台采样率要求。

设计中提出以直接数据访问(DMA)方式通过光口直接接收MAC层报文的处理机制,物理结构如图3所示。设计实现时,首先在内存中开辟一段报文缓冲区,之后定义MPC86XX内部的双口RAM寄存器,将MAC层收到的报文数据直接指向已开辟好的内存报文缓冲区,光口接收数据时,会直接存放在该内存中,此过程不占用CPU资源,因而大大提高了报文接收速率,满足了数字化系统对数据处理速度要求。

2.4 适应浮点计算的中断技术

配网系统的故障判断算法中经常会有浮点计算,浮点计算较整型计算会节约很多时间,提高中断效率,

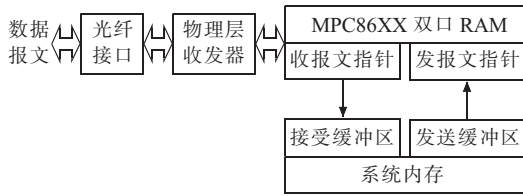


图 3 DMA 方式高速数据传输示意图

但配网终端中 VxWorks 实时多任务操作系统不提供对浮点计算的中断现场保护,这意味着如果一个中断时间片内浮点计算没有结束,出中断后就无法再恢复计算,无疑会引起系统混乱。为解决这个问题,设计中
对浮点运算任务和中断进行了特殊处理。

首先开辟中断浮点栈空间用于存储中断现场信息,且不同的中断需要建不同的浮点栈,以防栈空间混叠^[4],例如:

```

Typedef struct fpStack1 /*FP_STACK1*/
{double fp1[FP_NUMS];/* *32 doubles*/
int fpstu; /* *control status*/
int p1; /* *8byte*/
} FP_STACK1;
FP_STACK1 fppStack1;

```

然后在编程中调用系统函数对浮点寄存器进行手动中断现场保护,调用顺序为 fppSave(fppTestStack1)、浮点运算过程、fppRestore(fppTestStack1),这几个函数可放在浮点计算调用开始和结束的位置,对不需要浮点计算的系统,该浮点计算保护过程可省略。

2.5 电源系统的设计

作为集控型智能配网终端,不可避免会在单电源的场合应用。当主电源故障失电时,备用电源的设计就显得尤其重要。集控型 DTU 将备用电源部分作为一个独立系统进行设计,包括主电源状态自动在线监测模块、主电源失电自动切换至备电模块、蓄电池状态监测模块、蓄电池活化维护模块等。可完成主备电源切换、蓄电池状态报警、自动选择充电方式和充电电流、预测蓄电池的剩余工作时间、蓄电池活化周期智能整定等主后备电源的监测及管理等工作,保障电源系统安全、稳定、可靠地运行。

3 集控型智能配网终端软件实现

3.1 系统架构

集控型配网终端软件设计中兼顾了子站和 DTU 功能,简化了数据传输通道,使得系统工作效率大为提高。软件架构包括通信数据收发及控制模块、本地 DTU 模块、子站模块三部分。软件采用面向对象设计方法,分层分布配置,模块化封装,移植性能好;采用基于 IEC61850、IEC61970 等的信息交换系统,具有强大的智能化接入能力,除可以接入其他厂家相关设备外,

还支持各级调度系统、GPS 对时系统、MIS/SIS 系统以及继电保护信息系统的接入,对智能化配网应用具有很好的支撑能力。系统架构及各部分实现的主要功能如图 4 所示。

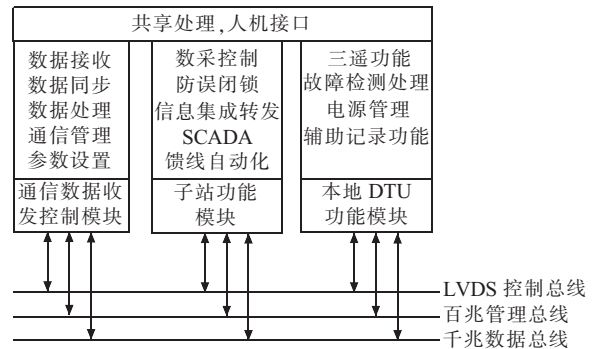


图 4 集控型配网终端软件系统架构

3.2 主要功能模块

3.2.1 本地 DTU 软件模块

本地 DTU 软件模块主要包括:遥测、遥信、遥调模块,电源运行管理模块,装置配置、运行等参数设置模块,SOE、遥控、运行、自检、负荷曲线等辅助记录模块,本地实验与调试模块,母线故障检测功能模块,馈线故障检测功能模块,无功补偿模块以及人机接口模块等。面向对象的设计思想,采用模块化设计方法,可以实现本地 DTU 的信息采集、故障检测、执行子站控制命令等各种功能^[5]。

3.2.2 配网子站软件模块

终端可完成主控型配网子站的功能,相应软件模块有:规约数据库管理模块,遥控闭锁检查模块,信号合成与转换模块,打印模块,远程维护模块及故障监测和隔离模块,故障定位和恢复供电模块。另外,子站应用相关的系统及规约调试功能、人机接口功能、事件记录功能、双机电源切换功能等模块,已与 DTU 部分相关软件模块合并处理,既提高了终端软件的运行效率,也方便运行、调试人员的操作和维护工作。

3.2.3 通信数据收发及控制软件模块

主要软件模块包括:主从机通信管理模块,双主机通信管理模块,61850 对下通信模块及数据接收、同步、控制模块。这里包含了本地 DTU 与子站的装置内部通信、外部 DTU 与子站的外部通信以及本地子站对主站的调度通信。通信部分软件底层公用,应用层可配置,提高了配网终端的代码使用效率和装置运行的稳定性。

3.3 终端软件实现的关键技术

3.3.1 通信网自愈传输功能

配电系统运行过程中,通信线路一旦出现故障,会导致一片区域的配电设备失去监视和控制,因此提高子站以上的通信线路可靠性非常重要。自愈传输网是

一种有效的方法,即在无人工参与的情况下,网络能及时地发现传输错误,并能在极短的时间内自动恢复承载的业务,对用户而言根本感觉不到网络的故障和切换。集控型终端软件支持自愈网功能,其主通道和备用通道采用两个通信口连接不同的通信通道。正常情况下,当终端有数据要收发时,处理器同时经2个口收发数据,并进行实时误码率侦测,如果发现主通道误码率高,而备通道误码率低,就将主通道切换成备用通道,当主通道误码率恢复正常时再切换回来。如果侦测到主通道通信故障,就立即切换至备用通道,同时发出告警信号,通知维护人员现场查看。

3.3.2 辅助调试功能

终端系统在运行前需进行全面调试,过程中经常会遇到相关条件不具备或需定位故障点的情况,为此增加了辅助调试功能,装置中准备了设备信号表、保护信号表、自检信号表、监控转发表和四遥信号表,当与子站信号状态不一致时,根据终端所提供的各种信号类别,调试人员能够判断究竟是哪一层配置出现差错,从而快速定位故障点并处理问题,这一功能可以提高调试的效率。

3.3.3 无功自动补偿控制功能

集控终端可按照配电网络中配变实测的无功需求量,对当地1~16组电容器进行循环投切,并有过压欠压闭锁、相序错、谐波越限闭锁等功能;可提供有触点、无触点、复合投切式等多种方式的操作选择;在控制策略上采取预测方法,避免调节震荡和调节过程电压越限,保证以最少的动作次数取得最佳的补偿效果。

3.3.4 基于零序电流频率的故障定位功能

配网系统的故障定位方法按利用信号不同,有主动法和被动法2种^[6]。主动法需要用设备注入信号,投资较大;被动法用采集到的电信号进行分析判断来确定故障点,然后对其进行隔离和相关处理。传统的被动故障定位法存在数据传输量大、需要较多零序互感器投入等缺点,为解决这一问题,集控终端采用了零模电流和频率差异特征计算故障定位的方法。该方法只需

要监测电流,计算零模电流,其传输数据为零模电流的频率值,通信数据量小,且不需要各FTU实现精确对时,定位的精度和速度也有很大提高,在应用中取得了很好的效果。

4 结束语

集控型智能配网终端装置采用了全新的硬件架构和软件设计方案,提高了配网装置运行的效率和可靠性。从国网多处现场运行的情况来看,集控型智能配网终端减少了一级通信网络层次,可以直接和区域主站对接,通信接口实现了多样化、冗余化,可以很好地支撑智能配网系统的运行,达到了集控型智能DTU的设计要求。集控型智能配网终端的研制,是终端平台技术进步在配网领域的具体体现,随着该类应用的逐步成熟与完善,将会使配电网自动化系统的架构日趋简化,运行更加稳定。

参考文献:

- [1] 杨永标,周立秋,丁孝华,等.智能配用电园区技术集成方案[J].电力系统自动化,2012,36(10):74-78.
- [2] 张小飞,李佩娟,王洁松,等.智能变电站网络应用及测试技术研究[J].江苏电机工程,2012,31(4):34-38.
- [3] 徐瑞林,高晋,杨洪涛,等.智能变电站过程采用值传输协议的分析与程序实现[J].江苏电机工程,2012,31(3):46-49.
- [4] 王明飞,张效义,李鸥,等.Vxworks下MPC860的中断处理机制及其应用[J].微计算机信息,2005(3):1-2.
- [5] 朱永利,姚建国,刘骥.微电网关键技术及研究现状[J].江苏电机工程,2012,31(3):81-84.
- [6] 孙波,孙同景,薛永端,等.基于暂态信息的小电流接地故障区段定位[J].电力系统自动化,2008,32(3):52-55.

作者简介:

李宁峰(1969),男,福建厦门人,高级工程师,从事变电站综合自动化研究工作;

张吉(1979),男,吉林白城人,工程师,从事变电站综合自动化研究工作;

宋斌(1968),男,江苏扬州人,高级工程师,从事电力系统及其自动化研究工作。

A Smart Power Distribution Terminal with Integrated Control Model

LI Ning-feng, ZHANG Ji, SONG Bing

(State Grid Electric Power Research Institute, Nanjing 210003, China)

Abstract: This paper introduces the integrated smart DTU which can also be used as a regional substation. This terminal can reduce the number of layers of power distribution system and is flexible for various interfaces. It utilizes three-layer bus structure and a special interrupting technology for float calculation. The adaptations of object-oriented method and smart protocol based data exchange technology in its software make it compatible to the smart power distribution system. The terminal has been successfully applied in some smart power distribution systems of China's power grid.

Key words: integrated controlling; distribution terminal; substation