

配电网分布式智能馈线自动化系统的通信研究

陈绍辉

(云南电网有限责任公司迪庆维西供电分局, 云南 维西 6746000)

摘要: 在对国内外配电网自愈控制技术的研究基础上, 提出了配电网自愈技术的几种解决方案, 并指出了目前各种解决方案的优点和存在的问题。利用智能分布式馈线自动化系统, 通过智能终端之间的对等通信, 做出分布式智能控制决策, 以实现配电线路中的快速故障隔离。在智能电网快速建设的环境下, 配电网的通信网络逐渐完善, 可建立高效、强大的实时通信系统, 为配电网快速自愈提供了有利条件。提出三种通信程序: 基于连接的 TCP/IP 的可靠通信、基于 UDP 的多播通信和 GOOSE 协议的发布/接收通信, 并对这三种通信程序进行了比较。系统地描述了智能配电自动化系统中使用的三种通信方案的实现, 阐述了系统建模通信方案和 GOOSE 通信的设计思想, 并为解决典型故障隔离过程提供了 GOOSE 解决方案。基于以上分析和验证, GOOSE 协议的通信解决方案在通信效率、及时性和多功能性方面具有一定优势。

关键词: 配电网; 智能分布式; GOOSE 协议; 通信系统

Communication research of distributed intelligent feeder automation system in distribution network

CHEN Shaohui

(Diqing Weixi Power Supply Branch, Yunnan Power Grid Co., Ltd., Weixi 6746000, China)

Abstract: Based on the research on the self-healing control technology of the distribution network at home and abroad, several solutions for the self-healing technology of the distribution network are proposed, and the advantages and problems of the current solutions are pointed out. Using intelligent distributed feeder automation system, through peer-to-peer communication between intelligent terminals, and distributed intelligent control decisions are made, in order to achieve rapid fault isolation in the distribution line. Under the environment of rapid construction of smart grids, the communication network of the distribution network is gradually improved, and an efficient and powerful real-time communication system can be established, which provides favorable conditions for the rapid self-healing of the distribution network. Three communication programs is proposed: reliable communication based on connection-based TCP/IP, multicast communication based on UDP, and release/receive communication based on GOOSE protocol, and these three communication programs are compared. It systematically described the realization of three communication schemes used in the intelligent distribution automation system, explained the system modeling communication scheme and the design idea of GOOSE communication, and provided a solution for GOOSE to solve the typical fault isolation process. Based on the above analysis and verification, the communication solution based on GOOSE protocol has certain advantages in communication efficiency, timeliness and versatility.

Key words: distribution network; intelligent distributed; GOOSE protocol; communication system

1 介绍

1.1 馈线自动化系统

馈线自动化系统的主要功能是在准确定位故障的基础上实现故障隔离,自动恢复非故障区供电^[1]。随着经济的发展,对供电可靠性的要求日益提高。我国迫切需要利用快速馈线自动化技术实现故障隔离,提高供电可靠性。馈线自动化模式有以下几种^[2-3]。

(1) 本地智能模式

这种方法的优点是工程简单,成本低,不依赖通信和主站。缺点是有时需要多次重合闸,对电网影响较大,且故障隔离时间较长。

(2) 集中控制方式

故障隔离和供电恢复依赖于通信和主站,其优点是可靠性高,保护范围广。缺点是故障隔离和电源恢复需要软件介入,故障隔离速度较慢,其运行可靠性依赖于网络拓扑的正确性。

(3) 智能分布式馈线自动化系统(FA)

开关控制器之间可以进行信息交换,故障定位和隔离更加准确、快速。FA不依赖于主站或子站的全局信息,具备一次处理故障、对配电线路变化具有较好的适应性和维护方便等优点,逐渐受到用户的青睐。国家电网公司已将智能分布式馈线自动化系统作为一种主要形式纳入标准。

1.2 IEC 61850 在配电网中的应用

随着智能电网的建设,基于 IEC 61850 的各种应用在数字化变电站、智能电网等领域迅速发展。IEC 61850 具有完整的数据对象建模方法和一致的服务接口,使得不同设备制造商之间的数据交互、功能与互操作性相结合成为可能。IEC 61850 标准的实施是配电自动化产品的发展方向^[4]。

IEC TC57 是正在开发的配电网自动化系统应用指南技术文件 IEC 61850-90-6。该文件给出 IEC 61850 对配电网自动化系统应用的指导,并

描述了现有信息模型的继承和扩展,适合于配电网自动化系统的通信服务。

2 FA 通信方案设计

FA 在处理故障方面有自己的优势,但目前还没有统一的标准通信解决方案和协议。本设计提出了三种通信解决方案,描述了基于 TCP/IP 通信模式、基于 UDP 组播通信模式和基于 GOOSE 协议的发布/接收通信模式的设计过程^[5-6]。

在硬件平台上进行了三种设计实验,综合比较了传输的实时性、通用性和可靠性,得出了最优方案。

2.1 基于 TCP/IP 通信方案

通过拓扑配置信息,可以得到组中其他设备的名称和网络参数。组有 n 个终端,每个设备设置 $n-1$ 个服务器套接字和客户端套接字,分别与组中的其他设备建立连接。信息通过服务器端口传输到其他设备活动的客户端端口,其他客户端在某些情况下也可以主动请求服务器数据,如图 1 所示。

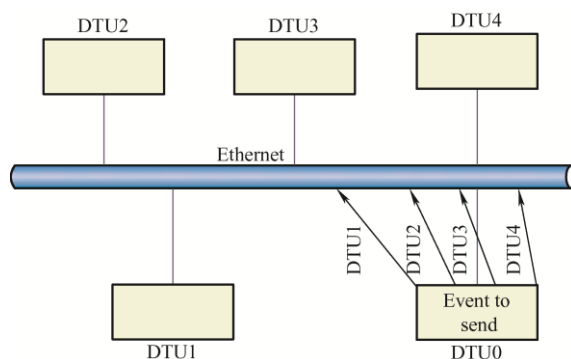


图 1 TCP/IP 通信

Fig. 1 TCP/IP communication

DTU0 有数据要发送,则启动服务器端口发送过程,分别向其他客户端发送数据,同一包格式的数据需要发送 4 次。基于 IEC 60870-5-104ASDU 数据内容的应用层数据传输协议。故障信息传输采用一级数据传输方式进行发送和接收处理。采用 TCP/IP 通信,

可以保证数据传输的可靠性，但传输效率低，通信逻辑复杂，在终端设备数量多的情况下变得更加明显。

2.2 基于 UDP 通信方案

无应答终端之间的数据传输采用 UDP 协议是目前应用比较广泛的通信方式，可以在高效的进程中完成通信。UDP 数据包如表 1 所示。UDP 协议如图 2 所示。

表 1 UDP 数据包
Tab. 1 UDP data packet

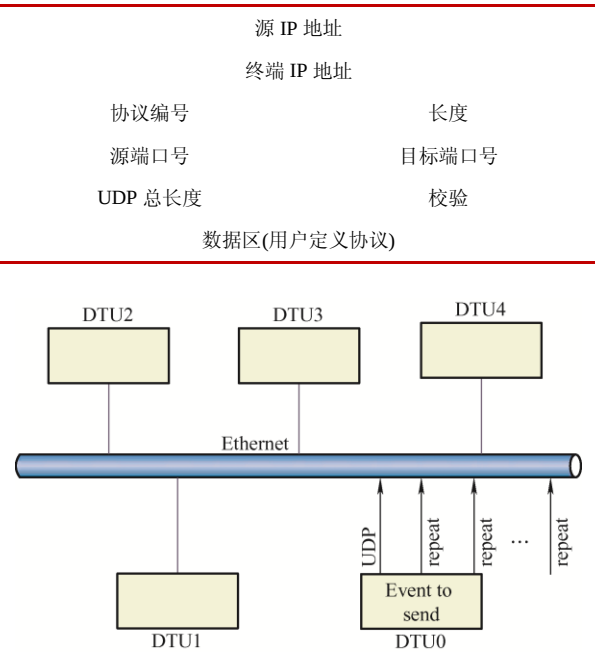


图 2 UDP 协议
Fig. 2 UDP protocol

地址过滤通过目的地 IP 地址，自定义用户数据结构的传输格式，为了提高数据传输的实时性，数据区长度尽量短。

由于 UDP 是一种无连接的传输层协议，需要通过分组重传机制来提高传输的可靠性。

2.3 基于 GOOSE 通信方案

2.3.1 模型设计

根据 IEC 61850 标准的设计原则，设计了配电网终端的数据模型^[7-8]。首先根据功能划分，对于 DTI 配电网可分为报警、控制、保护、测量、录波、FA 和 HMI 接口 7 个基本功能，因此设备设置了 7 个逻辑装置。

统一扩展新的特殊节点以实现 FLISR 功能，包括负责馈线自动化逻辑节点的智能分布式控制逻辑、馈线故障定位 (FLOC)、故障隔离 (FISO)、恢复供电的故障段和新的馈线自动化逻辑节点组^[9-12]。FLOC 接收到本地 PIOC 节点的通知，结合相邻 FLOC 节点的信息进行故障诊断，诊断通知 HSU 节点。故障隔离 FISO 由 PTRC 节点启动，节点故障跳到所有交换机周围。同时监控运行情况，如果跳闸不成功，需要与其他 FISO 节点的合作适当扩大隔离范围，确保尽可能恢复供电。隔离成功后，应通知非故障段恢复供电。非故障段恢复电源节点的正向主要是通过第一个出口断路器开关来实现故障上行区域的恢复供电，并合上相应的接触开关，恢复故障下游的供电。

由于 GOOSE 协议编码的复杂性，终端之间需要通过 GOOSE 控制块进行远程数据通信。应该考虑如何最小化 GOOSE 数据集成员来减少协议解析开销。

2.3.2 GOOSE 典型故障隔离

利用 GOOSE 实现馈线自动化装置的点对点通信，运行分布式 FA 的智能控制算法，实现 FLISR。GOOSE 提供 1ED 之间的等价信息交换，可以保证重要事件(如跳闸命令、报警、保护和闭锁等公共数据)在系统范围内快速传递。同时，GOOSE 也是 IEC 61850 协议的一种。采用 GOOSE 通信协议，将大大提高自动化设备之间的兼容性^[13]。

以典型环网线路的典型故障为例，说明 GOOSE 在配电网故障隔离中的应用，如图 3~图 6 所示。

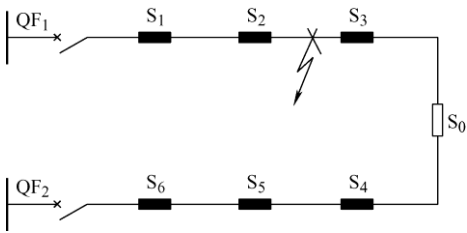
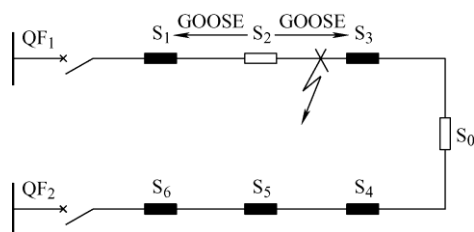
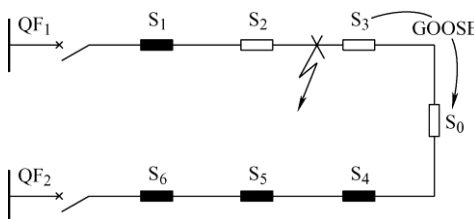
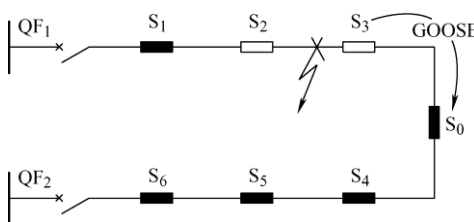


图 3 线路发生故障
Fig. 3 Line failure

图 3 为双环网电源，开关 $S_1 \sim S_6$ 可自动重合闸， S_0 为联络开关。当 S_2 和 S_3 之间发生永久性故障时， QF_1 、 S_1 和 S_2 检测到故障电流的同时，开关发布 GOOSE 信息，由于 S_3 没有检测到故障， S_2 判断故障下，所以快速跳闸，开路故障。由于 S_1 和 S_2 同时检测到故障， S_1 判断不存在故障，自动根据后备保护跳闸延时工作。从 S_2 、 S_3 接收 GOOSE 信息后判断故障段并隔离故障。故障段已隔离后， S_3 发布 GOOSE 信息。

图 4 S_2 快速断开Fig. 4 S_2 quick disconnect图 5 S_3 快速断开Fig. 5 S_3 quick disconnect图 6 S_0 闭合Fig. 6 S_0 closed

S_0 获得 GOOSE 信息后，闭合 S_0 开关，恢复 S_3 和 S_0 段之间的电能。

从以上过程可以看出，整个故障隔离过程只需要断路器之间的信息交互并执行相应的动作指令，而不需要主机干预，速度快，可靠性高。

3 FA 通信解决方案测试

为了验证上述通信解决方案的实时性和可靠性，搭建了实验室测试环境，基于 MPC8247 的硬件平台进行系统测试，在测试过程中使用了继电保护测试仪。

3.1 实时测试

实时测试结果如表 2 所示。

表 2 实时测试结果

Tab. 2 Real-time test results

节点编号	通信模式	技术要求/ms	测试结果/ms
4	TCP	<50	41
	UDP	<50	33
	GOOSE	<50	30
5	TCP	<55	49
	UDP	<55	36
	GOOSE	<55	32
6	TCP	<60	59
	UDP	<60	39
	GOOSE	<60	34

从测试结果可以看出，GOOSE 的实时传输明显优于 TCP，并且随着节点数的增加，优势更加明显。

3.2 可靠性试验

为了验证数据传输的可靠性，进行了通信丢包试验。配置 4 个终端进行数据收发，UDP 和 GOOSE 重复周期为 2 ms、4 ms、8 ms 和 16 ms。发送数据包包含发送计数器和重新发送附加的时间允许参数，以通知下一个数据包等待时间最长，检测超时或丢包给出警告，在长时间运行状态下，GOOSE 没有出现丢包现象。

4 结束语

对比以上分析和测试结果，GOOSE 通信方式适用于智能配电馈线自动化系统，满足 IEC 61850 技术体系的要求。采用 GOOSE 通信的馈线自动化系统，可以减少重叠次数，缩短故障隔离时间。GOOSE 作为 IEC 61850 标准协议，有严格

的互操作性测试标准, 保证不同厂家的产品相互兼容。

参考文献

- [1] 曹云东, 刘锐, 侯春光. 基于 GOOSE 的智能分布式 FA 故障自愈研究[J]. 电器与能效管理技术, 2020(1): 31-35.
- [2] 常诚. 智能配电网自愈技术研究与应[D]. 北京: 华北电力大学, 2017.
- [3] 易琨, 詹鸿洁, 陈静, 等. 城市市区配电自动化通信组网设计实例分析[J]. 江西电力, 2019, 43(6): 34-37.
- [4] 胡迅, 彭道刚, 张浩, 等. 基于 IEC 61850 的智能馈线自动化通信技术研究[J]. 电力科学与技术学报, 2017, 32(4): 108-114.
- [5] 黄鸣宇, 祁升龙, 芦翔, 等. 面向配网保护的集分联合馈线自动化控制方法[J]. 河南师范大学学报(自然科学版), 2020, 48(5): 49-54.
- [6] 刘彬, 李盼. 基于无线通信和图像识别的馈线自动化现场自动测试[J]. 无线电通信技术, 2018, 44(2): 202-206.
- [7] 朱正谊. 智能配电网分布式控制应用 IEC 61850 标准的关键技术[D]. 济南: 山东大学, 2018.
- [8] 李维, 王洪林, 宋裕, 等. 配网馈线自动化(FA)测试常见问题及优化策略探讨[J]. 电工技术, 2020(1):

118-120.

- [9] 易琨, 詹鸿洁, 陈静, 等. 城市市区配电自动化通信组网设计实例分析[J]. 江西电力, 2019, 43(6): 34-37.
- [10] 侯晓宁. 基于 XMPP 的配电自动化 IEC 61850 通信映射研究[D]. 淄博: 山东理工大学, 2019.
- [11] 李镇宇. 分布式馈线自动化中的时钟同步技术[D]. 济南: 齐鲁工业大学, 2019.
- [12] 艾绍伟, 燕刚, 潘良煜. FA 馈线自动化典型故障处理分析[J]. 电工技术, 2019(8): 73-74, 77.
- [13] 蒋雯倩, 杨舟, 梁捷, 等. 基于中低压配电线的自动化主站通信系统的研究与设计[C]//2018 智能电网新技术发展与应用研讨会论文集. 计算机工程与应用, 2018, 54(增刊): 467-469.

作者简介:



陈绍辉

陈绍辉(1987—), 硕士, 工程师, 研究方向为配电运维管理。

(收稿日期: 2020-09-12)EA