

分布式母线保护通讯系统的研究

彭谦, 王增平, 徐岩, 吴烽, 成敬周

(华北电力大学, 河北 保定 071003)

摘要: 随着变电站综合自动化水平的提高,对通讯系统的要求也日益提高。本文首先比较了以太网与令牌环网,同时阐述了以太网的优越性。然后根据不同传输速率的以太网控制器给出不同的布线结构,实现32个数据采集节点每秒1200次数据采集的实时通讯。

关键词: 分布式母线保护; 共享带宽式网络; 交换式网络

中图分类号: TM63 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2004)24-0025-04

0 前言

母线故障可造成巨大的供电损失和严重的系统干扰。传统的母线保护都是采用把母线保护继电器集中放置在保护小室中的集中式布置。随着计算机通信技术水平的迅速提高,变电站综合自动化在全国范围内逐步推广,而综合变电站自动化往往采用分层的分布式布置,母线保护也是它其中的一个部分。因此,继电保护下放至开关厂的方式得以实施并得到认同。另外,电压水平越高的厂站,占地面积越大,消耗电缆也越多,继电保护下放的经济效益越明显。继电保护下放对微机母线保护也提出了新的要求,显然以前的集中式母线保护难以满足,分布式微机母线保护正是为了适应这种要求而产生的,并且将是以后母线保护发展的趋势^[1]。

到目前为止,除了差动保护和纵联保护外,所有继电保护装置都只能反应保护安装处的电气量。继电保护的作用也只限于切除故障元件,缩小事故影响范围。这主要是由于缺乏强有力的数据通信手段。国外早已提出过系统保护的概念,这在当时主要指安全自动装置。因继电保护的作用不只限于切除故障元件和限制事故影响范围(这是首要任务),还要保证全系统的安全稳定运行。这就要求每个保护单元都能共享全系统的运行和故障信息的数据,各个保护单元与重合闸装置在分析这些信息和数据的基础上协调动作,确保系统的安全稳定运行^[2]。

传统的母线保护主要应用485总线、CAN总线进行通讯,受总线传输速率的限制,不能满足每个采样点数据实时传输。本文主要讨论如何应用以太网,根据不同的网络结构实现母线各处保护之间数据采集的实时传输。

1 以太网相对于令牌环网的优势

各个站直接连在总线上的网络拓扑结构称为总线网。总线网可以使用两种协议。一种是以以太网协议,而另一种是令牌传递总线协议。以太网协议相对于令牌环协议有一定的优势,主要表现在:

1) 以太网没有优先权控制意味着访问控制算法可以很简单。它不需要管理网络上当前的优先权访问级。这还有一个好处,没有优先权的网络访问是公平的,任何站点访问网络的可能性都与其它站相同,没有哪个站可以阻碍其它站的工作。

2) 令牌环采用了“动态监控”的思想,需要有一个站负责管理网络的各种“家务”。传统令牌环网络如果没有动态监控是无法运行的。为了保证网络上至少有一台设备具有这种功能,实际上令牌环上的每个站都内置了此项功能。虽然网络上只有一个站使用该功能,但每个用户都要购买这个额外的功能。而以太网不需要中央控制站,因此在构成相同规模的网络时,以太网比令牌环更加节省资金。

3) 以太网的算法比令牌环更简单。它比令牌环少很多的操作条件。很容易实现站点加入或离开,并且当某条线路连接中断时,其它线路仍然能够继续工作,因此比令牌环可靠。

上述因素导致,在完成相同的任务条件下,令牌环控制器比以太网控制器需要更多的电路。令牌环访问控制算法非常复杂,以至于通常在接口实现中使用嵌入的微控制器,在工作时微控制器需要从主机中加载软件。电路的增加,就意味着更高的价格,高价格意味着较少的销售量^[3]。

2 基于以太网的网络结构

下面讨论一下如何应用以太网,实现对 32 个工作站每秒 1200 个采样点的数据实时传输。

2.1 共享带宽式网络

共享式网络提供了全连接网状拓扑(即每个站都直接与网络上其它的站相连),它具有简单清晰、设备少、投资少、运行操作方便,且有利于扩建等优点。接线方式如图 1。

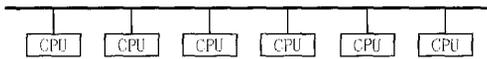


图 1 共享带宽式网络结构

Fig. 1 Structure of sharing widthtype network

当母线上连接 32 个测控单元时,各个单元根据程序,按照确定的顺序依次广播数据。首先考虑以太网帧的结构。前导码包含 8 个字节,目的地址、源地址各 6 个字节。类型域包含 2 个字节,数据域最少包含 46 字节(数据不足时采用填充算法),帧校验序列包含 4 个字节^[3]。 $8 + 6 + 6 + 2 + 46 + 4 = 72$ 。当采用 10 Mb/s 的以太网的时候,数据帧的发送时间为 $72 \times 8 / 10 = 57.6 \mu\text{s}$ 。数据在线路的传输时间为 $5 \mu\text{s}$ ^[4]。则: $57.6 + 5 = 62.6 \mu\text{s}$ 。CPU 的处理时间取 $10 \mu\text{s}$,则 $62.6 + 10 = 72.6 \mu\text{s}$ 。应用 32 个节点, $72.6 \times 32 = 2.3232 \text{ ms}$ 。不能满足 $5/6 \text{ ms}$ 的采样频率。但是可以满足 11 个工作站的传输要求。因此,当工作站少于 11 个的时候,可以采用这种方式。若应用 100 Mb/s 的以太网时, $72 \times 8 / 100 = 5.76 \mu\text{s}$ 。 $5.76 + 5 + 10 = 20.76 \mu\text{s}$ 。 $20.76 \times 32 = 0.664 \text{ ms}$ 。可以满足 $5/6 \text{ ms}$ 的采样频率要求。

但是当总线发生故障时,整个系统只能停止工作,这将影响到整套保护的可靠性。可以用以下两种方式改善这种单一母线模式的性能。

1) 环网模式

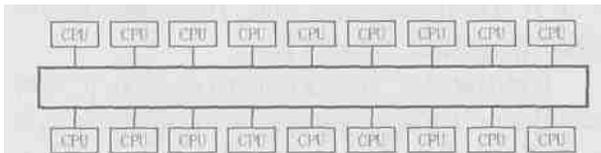


图 2 环网模式接线示意图

Fig. 2 Connection of wring network

各个工作单元以环形方式连接。区别于令牌环方式,各个工作站依次传输数据。在这种工作方式下,如果总线的某处发生了开路故障,各个工作单元

仍然可以通过总线与其它的工作单元进行通讯。

2) 子网模式

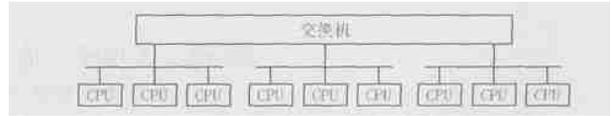


图 3 子网模式接线示意图

Fig. 3 Connection of sub-network mode

相邻工作站组成子网,各个子网通过交换机连接。这种工作方式下,母线不同分段的保护单元连接到不同的总线上,总线之间通过交换机相连,某一条总线发生故障时,其它总线所连的单元仍然能够工作,同时也便于查找总线的故障段。

2.2 交换式网络

交换式网络是传统共享带宽网络的一种替代产品。从结构化布线环境中部署的产品来看,唯一的区别是集线器是交换式的(网桥),而不是共享式的(中继器)。然而,使用共享式网络或交换式网络,网络的运行方式变化很大。

在共享式以太网中,使用 CSMA/CD MAC 算法来仲裁共享信道的使用。如果两个或更多站的队列中同时有帧在等待发送,那么它们将发生冲突。一组竞争信道访问的站称为冲突域。同一个冲突域中的站竞争信道,便导致了冲突和后退,不同冲突域的站不会竞争公共信道,所以它们不会产生冲突。

在交换式网络中,交换机端口就是该端口上的冲突域终点。如果一个端口连接一个共享式网络,那么在该端口的所有站间产生冲突时,该端口的站和交换机其它端口的站之间将不会产生冲突。如果每个端口只有一个端站,那么在任一对端站之间都不会有冲突。

1) 半双工模式

同样考虑 32 个工作站时,布线图如图 4 所示:

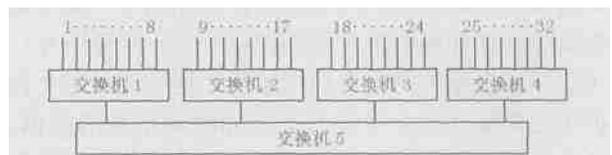


图 4 半双工交换式网络结构

Fig. 4 Network structure of half-duplexing mode

工作站 1 至 8 与交换机 1 相连,工作站 9 至 17 与交换机 2 相连,工作站 18 至 24 与交换机 3 相连,工作站 25 至 32 与交换机 4 相连。交换机 1、2、3、4 通过交换机 5 连接。

各个工作站完成数据采集后,首先把每个奇数工作站的数据传送给与它右邻的偶数工作站,并由偶数工作站组合数据。在第二个工作周期,再把各个偶数工作站的数据两两组合,以此类推,经过 5 个周期,数据集中到一个工作站。再由这个工作站以广播的方式把数据广播给各个站点。

各个工作站要传输采集到的三相的电信号,控制信号,同步信号等等。以每个工作站需要传输 10 字节数据进行讨论。当 4 站点向 8 站点传输的时候,4 站点集合了 1 至 4 站点的所有数据,所以包含了 40 个字节,但是它仍然小于以太网最小数据域 46 字节。所以前三个传输周期的时间是相同的,采用 10 Mb/s 的以太网时,前三个周期所用的总时间为 $72.6 \times 3 = 217.8 \mu\text{s}$ 。8 向 16 传输的时候,数据域为 80 字节。 $(80 - 46) \times 8 / 10 + 72.6 = 99.8 \mu\text{s}$ 。16 向 32 传输的时候,数据域为 160 字节。 $(160 - 80) \times 8 / 10 + 99.8 = 163.8 \mu\text{s}$ 。32 广播的时候,数据域为 320 字节。 $(320 - 160) \times 8 / 10 + 163.8 = 291.8 \mu\text{s}$ 。 $217.8 + 99.8 + 163.8 + 291.8 = 773.2 \mu\text{s}$ 。另外,交换机转发的时间为 $5 \mu\text{s}$, $773.2 + 5 \times 6 = 803.2 \mu\text{s}$ 。可以满足 5/6 ms 的采样频率要求。

2) 全双工模式

为了能够以全双工方式使用以太网,必须满足三个条件:

每个子网只能有两个设备。整个子网必须只包含一个点到点的连接。微分段交换式 hub 的每个端口都满足这个条件。不使用交换机的简单两站连接(见图 5)也能支持全双工操作。

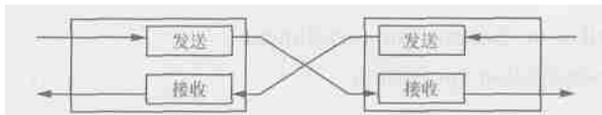


图 5 全双工工作模式

Fig. 5 Full-duplexing pattern

物理介质本身必须能够支持无干扰并发送和接收。

网络接口必须能够使用并且能被配置为全双工模式。

仍然考虑母线上有 32 个工作站,则布线如图 6 所示。

各个工作周期不包含相同数据的工作站点之间互相通信并组合数据,经过 5 个周期,每个工作站点都包含所有站点的数据。全双工工作模式相对于半



图 6 全双工交换式网络结构

Fig. 6 Full-duplexing exchanging type network structure

双工工作模式,在时间上,只是减少了半双工模式最后广播的时间:

$$217.8 + 99.8 + 163.8 + 5 \times 5 = 506.4 \text{ ms}$$

可以满足 5/6 ms 的采样频率要求。

全双工模式相对于半双工模式,数据传输所用的时间减少,但是 32 个接口的全双工交换机增加了整个系统的投资。这对于整个系统来说是不利的。

3) 全双工与半双工结合模式

半双工工作模式下,数据集中到一个工作站,由这个工作站广播使其它站点得到数据。如果这个工作站出现故障,则其它工作站将不能正常工作。因此考虑全双工与半双工结合模式,把数据集中到每个子网的一个工作站,并由这些站完成最后的子网范围广播。

图 7 与图 4 的区别在于图 7 的交换机 5 采用全双工交换机。下面简述这种结构的工作方式:

前三个周期的工作方式与半双工模式相同。

8 与 16、24 与 32 站之间进行全双工通信。各个站点保存 16 个站点的数据。

8 与 24、16 与 32 站之间进行全双工通信。各个站点保存 32 个站点的数据。

分别由 8、16、24、32 在各个子网内广播数据,所有站点都接收到 32 个站点的数据。

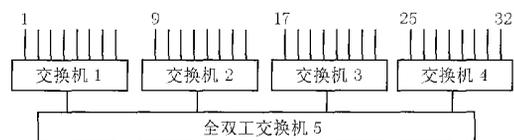


图 7 全双工与半双工结合模式网络结构

Fig. 7 Full-duplexing and half-duplexing networks

这种方式的工作时间与半双工模式相同,所以也可以满足 5/6 ms 的采样频率要求。但是数据最后集中到 4 个站点,增强了整个系统的可靠性。

3 结论

对于分布式母线保护来说,每个工作站需要传输的数据量并不是很大。当选用 10 Mbit/s 的网络时,为了满足对 32 个采样点实时传输的需要,就只能应用交换模式,这就增加了整个系统的投资。随

着工业以太网技术的日渐成熟,100 Mbit/s 的网络技术也在日益完善,所以可以考虑用共享带宽模式取代交换模式来完成数据的传输,从而降低系统投资。但是也要注意,降低成本的同时,可靠性也随之下降。所以要根据预算,结合所保护母线的重要性综合考虑这个问题。

参考文献:

- [1] 宋方方,王增平(SONG Fangfang, WANG Zengping). 分布式母线保护的研究(硕士学位论文)(The Research for Relaying of the Bus of Distributing Type, Thesis) [D]. 保定:华北电力大学(Baoding: North China Electric Power University), 2002.
- [2] 贺家李(HE Jia-li). 电力系统继电保护技术的现状与发展(Current Situation and Development of Relay Protection of Power System Technology) [J]. 中国电力(Electric Power),

1999, 32(10):38-40.

- [3] Seifert R. 千兆以太网技术与应用(Giga Ethernet Technology and Application) [M]. 北京:机械工业出版社(Beijing: China Machine Press), 2000.
- [4] 谢希仁(XIE Xi-ren). 计算机网络(Computer Network) [M]. 北京:电子工业出版社(Beijing: Publishing House of Electronics Industry), 2002.

收稿日期: 2004-04-28; 修回日期: 2004-06-04

作者简介:

彭谦(1980-),男,硕士研究生,主要研究方向为电力系统继电保护; E-mail: pq.ncepu@163.com

王增平(1964-),男,教授、博士生导师,主要从事电力系统继电保护和变电站综合自动化方面的教学和科研工作;

徐岩(1976-),男,博士研究生,主要研究方向为电力系统继电保护。

Research of communication system in the distributed bus protection

PENG Qian, WANG Zengping, XU Yan, WU Feng, CHENG Jingzhou
(North China Electric Power University, Baoding 071003, China)

Abstract: As the improvement of the substation synthesizing automation, the requirement for communication system increases day by day. This paper compares Ethernet and token loop network, and explains the superiority of Ethernet at the same time. It also gives out different wiring structures according to the Ethernet controllers of different transfer rates, to realize realtime communications of thirty-two data sampling nodes with data acquiring at a speed of 2 000 times per second.

Key words: distributed bus protection; sharing width-type network; exchanging-type network

(上接第 14 页 continued from page 14)

Impact analysis of curtailment objective on transaction curtailment in the disposal of power transmission congestion

YANG Hong-ming, LIU Jiar-hua

(School of Electrical and Information Engineering, Changsha University of Science and Technology, Changsha 410077, China)

Abstract: In transaction curtailment study, different transaction curtailment models using different types of curtailment objectives. In order to accurately analyze the impact of these curtailment objectives on transaction curtailment, the general mathematical model for transaction curtailment is established based on AC power flow in this paper, and the curtailment formulae for three typical curtailment objectives are deduced. The transaction curtailment with different curtailment objectives has different correlativities with the transaction sensitivities on congested lines. Thus different curtailment model have different curtailment characteristics, and the transaction curtailment variations are analyzed under different congestion limits. Finally, transaction curtailment of the curtailment models is calculated quantitatively on the IEEE 14-bus system and their curtailment characteristics are tested.

Key words: transaction curtailment; curtailment objective; bilateral transaction