

智能变电站数据流定性分析与通信网络性能仿真

智能变电站运行过程中,受诸多故障影响,其数据流传输路径可能出现中断、阻塞以及延迟。以某常规智能变电站系统为例,基于OPNET Modeler软件,构建典型网络仿真模型,对其通信网络进行仿真。结果表明,仿真进行至100 s时,会出现系统故障以及环形故障,对智能变电站通信网络造成如下影响:链路利用率增加、以太网延时波动显著、链路吞吐量迅速降低及数据包时延降低;引入RSTP协议(快速生成树协议)后,链路中断故障得以排除,然而其数据包时延会变大。

陈庆涛¹ 杨海涛² 丁国成² 田 宇¹ 吴兴旺²/1.国网安徽省电力公司
2.国网安徽省电力公司电力科学研究院

0 引言

国际电工委员会IEC 61580协议框架下,变电站通信电缆逐渐被淘汰。通过光纤通信对变电站进行智能化改造,有助于提升其变电站数据标准化、及时性及可靠度^[1]。智能变电站运行过程中,通过智能电表、远程抄表系统(AMR)以及电力通信(PLC)等构件,将用户侧与电网侧实时相连,以便电网管理系统及时响应用户需求,并快速实现能量调度^[2]。一方面虽然改善了电网管理水平,但另一方面却加大了变电站系统数据流,对系统通信网络性能提出更高要求。

在大量部署智能电子设备(IED)后,数据采集、数据传输和数据处理更加频繁,通信系统会面临更大压力^[3]。同时,由于各类数据传输路径存在重复,对中继节点可能造成阻塞,从而引发系统故障^[4]。故障发生后,如果不能够及

时修复数据传输路径,实时数据包、控制指令数据包等关键信息不能够及时传递,会影响智能变电站运行稳定及安全。因此,有必要对智能变电站数据流及其通信网络进行研究。以某常规智能变电站系统为例,对其数据流作定性分析后,运用OPNET Modeler软件,对其通信网络性能进行仿真。通过本研究,希望对改善智能变电站数据流传输稳定性、及时性及安全度有积极作用。

1 智能变电站数据流定性分析

1.1 数据流来源分析

根据国际电工委员会IEC 61580协议,智能变电站系统架构包括站控层、间隔层以及过程层三部分。其中,站控层与间隔层之间通过以太网连接,间隔层与过程层之间则通过交换机连接,此即为“三层两网”分布。正是由于该特征,智能变电站系统中,数据流呈现多向特征,既可能在同一层次不同工作站之间产生横向数据流,也可能在不同层次间进行纵向流动^[5-6]。根据源节点与目的节点差异,智能变电站数据流来源分为如下几类。

1) 过程层—间隔层数据流。当源节点为过程层,而目的节点为间隔层时,会生成变压器变位信息、断路器状态以及合并单元电流值等数据流。此类数据流具有容量最大、实时性最强的特征。

2) 间隔层—过程层数据流。当源节点为间隔层,而目的节点为过程层时,



陈庆涛/高级工程师

关键词/Keywords

智能变电站·
变电站数据流·
数据流分析·
数据包通信·
通信网络性能·

国网安徽省电力公司科技项目资助(521500130M0G)。

会生成电容器时间同步、变压器接头变动及跳闸指令等数据流。此类数据流具有可靠性较高、实时性较强的特征。

3) 本间隔—本间隔数据流。当源节点与目的节点相同时, 会生成运行状态信息、继电保护命令及闭锁信息等数据流。此类数据流具有容量小、实时性高以及概率低等特征。

4) 相邻间隔—相邻间隔数据流。此类数据流包括同期防闭锁指令、自适应继电保护以及后备保护等信息, 具有出现概率低、实时性强等特征。

5) 间隔层—站控层数据流。此类数据流包括不定时报文、周期性报文等内容, 具有容量小、正常与否自动识别等特征。

6) 站控层—站控层数据流。此类数据流包括打印机状态、视频/图像文件共享选择项等信息, 具有容量大、实时性偏低等特征。

7) 变电站—远调度数据流。此类数据流包括遥控指令、遥测状态等信息, 具有传输时间不确定的特征。

8) 远调度—变电站数据流。该类数据流内容、特征与变电站—远调度数据流相同。

1.2 数据流性能要求

智能变电站运行过程中, 数据流贯穿整个系统。为确保采样值报文传递准确度、及时性及可靠性, 数据流性能须满足如下标准^[7-8]。

1) 当数据流快速传递时, 配电线间隔信息流 P_1 应小于100 ms, 输电线间隔信息流 P_2/P_3 应小于20 ms, 且不可出现丢包现象。

2) 当数据流中速/低速传递时, P_1 、 P_2/P_3 均应小于100 ms, 且不可出现丢包或者重传现象。

3) 传递原始数据流时, P_1 应小于10 ms, P_2/P_3 应小于3 ms, 且不可出现丢包现象。

4) 传输文件功能信息时, 间隔时间可大于1 000 ms, 且无丢包要求。

5) 当数据流为访问控制命令时, 间隔时间小于500 ms即可。

6) 传递时间同步报文时, 最高对时准确度需达到1 μ s。

2 智能变电站数据流通信网络性能仿真

网络工程优化工具包 (Optimized Network Engineering Tool, OPNET) 是一款常用网络仿真平台, 具有可视性强、稳定性高的优点, 选择其OPNET Modeler 14.5版本。在完成模型构建、仿真设置后, 对智能变电站数据通信网络稳定性进行仿真分析。

2.1 仿真设置

运用OPNET Modeler软件进行数据流通信网络仿真时, 需进行如下设置^[9-11]。

1) 通信带宽稳定为100 Mbits/s。

2) 数据流传递自第10 s开始, 不可中断。

3) 在第20 s时, 出现F1馈线间隔故障, 启动继电保护; 同时, 母线间隔S Breaker IED会接收到来自P&C IED的跳闸指令。

4) 基于IEC 61850协议, 将通信网络协议栈划分为物理层、数据链路层、网络层、传输层以及应用层等五部分。

2.2 模型构建

在OPNET软件中, 针对不同数据流, 会生成不同节点模型。为分析不同场景下数据流通信网络性能, 本研究构建典型网络仿真模型, 如图1所示。

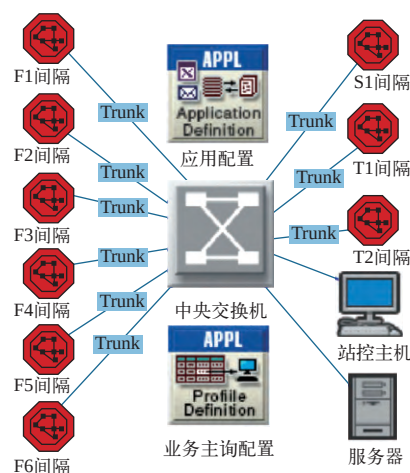


图1 智能变电站数据通信典型网络仿真模型

通过该模型, 可以对系统故障的影响方式、影响大小进行仿真; 还可以对RSTP协议如何影响数据流通信网络稳定性进行分析。

2.3 通信网络性能仿真结果分析

2.3.1 系统故障对通信网络性能的影响

1) 对链路利用率的影响

当智能变电站系统出现故障时，其通信网络数据流会出现异常波动。此时，通信网络链路利用率会受到影响，如下表所示。由表中可知，当出现故障时，各链路利用率均显著增加。其中，中央交换机→Server链路利用率达到19.675%，F1间隔交换机→F1 P&C IED 链路利用率达到17.352，中央交换机→F1间隔交换机等原本利用率为0的链路利用率均超过1.0%。

表 不同工况下链路利用率对比表

(单位: %)

链路名称	正常时的 链路利用率	故障期间 链路利用率
中央交换机→Server	1.600	19.675
F1间隔交换机→F1 P&C IED	4.751	17.352
F1间隔交换机→中央交换机	0.163	14.059
F1 Breaker IED→F1间隔交换机	0.080	11.696
S间隔交换机→中央交换机	0.163	13.150
S Breaker IED→S间隔交换机	0.080	12.797
F1 P&C IED→F1间隔交换机	0.080	8.937
中央交换机→F1间隔交换机	0.000	7.677
中央交换机→S间隔交换机	0.000	1.754
S间隔交换机→S_Breaker IED	0.000	1.708
F1间隔交换机→F1_Breaker IED	0.000	1.768

2) 对以太网延时的影响

如图2所示，相比较于正常情况，故障状况下以太网延时波动十分显著。

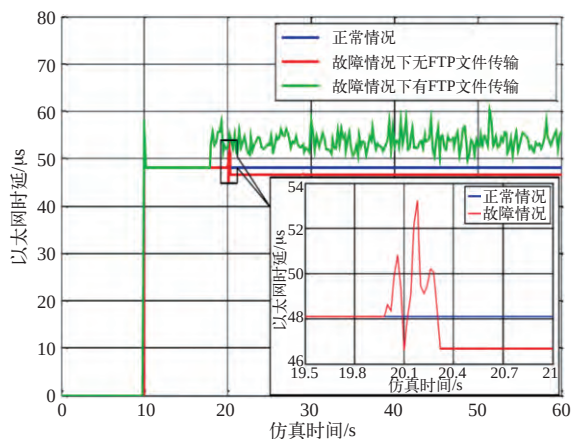


图2 不同情况下数据包以太网延时对比

由图2可知，正常情况下，数据包以太网延时稳定在48.12 μs水平。仿真开始20 s时，系统故障出现，若此时系统存在FTP文件传输作业，则以太网延时超过50 μs，且在54.28 μs水平线上下波动；若此时系统不存在FTP文件传输作业，则以太网延时会急剧降低至46.71 μs水平线。之所以会出现这种现象，是因为故障出现后，GOOSE报文量快速增加，从而加大网络链路负载；进一步的数据包传递可利用链路相对减少，以太网延时就会相应增加。

2.3.2 环形网络故障对通信网络性能的影响

星形网络与环形网络均具有较强实时性，能够满足通信速度要求。事实上，相比较于星形网路结构，环形网络能够更加有效地利用链路，因而具有局部优势。将RSTP协议置入环形网络中，以考察网络故障对通信性能的影响。

1) 对链路吞吐量的影响

如图3所示，当仿真开始100 s时，中央交换机→T1间隔链路出现故障，导致环网短线。由图3可知，出现环网故障后，链路吞吐量由1 000 packets/s快速下降至400 packets/s。为恢复环网运行，仿真时间被延长150 s。

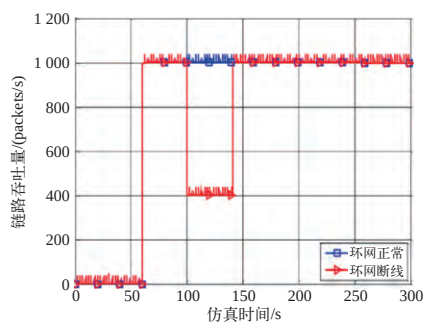


图3 中央交换机→T1间隔链路吞吐量对比

之所以会出现这种巨变，与IED状态数据有关。环网正常情形下，有8个P&C IED及Breaker IED与服务器进行通信；当环网故障出现后，有12个IED停止与服务器通信。若故障导致环网断开，则会有16个IED停止向服务器传输状态数据。由图3可以发现，当环网断开后，仿真系统经过42 s后才回复状态数据通信正常。可见，在置入RSTP协议后，如果环网故障，会降低链路吞吐量，并需

要较长恢复时间。

2) 对数据包时延的影响

如图4所示, 环网正常时, 以太网时延稳定在46.45 μs 水平线, 端到端时延稳定在86.24 μs 水平线。仿真时间100 s处, 出现环网故障, 以太网时延出现波动, 并降低至45.44 μs ; 端到端时延出现波动, 并降低至79.11 μs 。

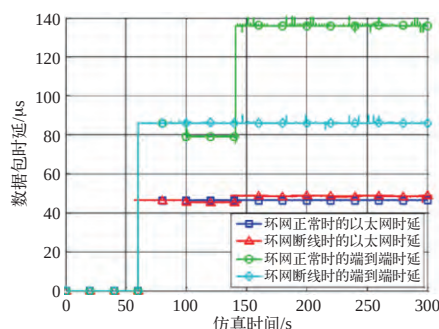


图4 环网正常与故障情形下数据包时延对比

为恢复数据通信, 引入RSTP协议对T1间隔→中央交换机链路进行修复。由图4可知, 仿真进行至146 s时, 数据包通信链路被修复, 然而数据包时延有显著增加。其中, 端到端时延增加至138.52 μs 水平线, 以太网时延增加至48.35 μs 水平下。之所以会出现这种现象, 是由RSTP协议修复过程中改变数据包传递路径所致。在环网正常情形下, 数据包传递路径为T1间隔→中央交换机→服务器; 修复完成后, 原路径被修改, 新路径为T1间隔→S间隔→T2间隔→F4间隔→F3间隔→F2间隔→F1间隔→中央交换机→服务器。显然, 修复后路径包含更多中继节点, 数据包时延会相应增加。

3 结束语

以常规智能变电站为例, 基于典型数据流模型, 对其数据流进行定性分析, 并对其数据通信网络性能进行仿真, 得出如下结论。

1) 依据源节点与目的节点差异, 智能变电站数据流来源包括如下几点: 过程层—间隔层数据流、间隔层—过程层数据流、本间隔—本间隔数据流、相邻间隔—相邻间隔数据流和间隔层—站控层数据流。各类数据流均有相应性能要求。

2) 智能变电站通信网络性能会受到系统故障

影响, 主要体现在两方面: 链路利用率增加、以太网延时波动显著。

3) 智能变电站通信网络性能会受到环形故障影响, 链路吞吐量迅速降低, 且恢复时间较长(本次仿真耗时42 s), 故障期间数据包时延降低, 故障修复后数据包时延显著增加。

参考文献

- [1] 马斌, 朱毅, 刘秀亮. 智能变电站通信网实时监测系统研究[J]. 电力信息与通信技术, 2016(2): 102-106.
- [2] 朱林, 王鹏远, 石东源. 智能变电站通信网络状态监测信息模型及配置描述[J]. 电力系统自动化, 2013, 37(11): 87-92.
- [3] 欧阳帆, 刘海峰, 赵永生, 等. 智能变电站通信网络阻塞故障及其防范措施分析[J]. 电网技术, 2011, 35(11): 7-11.
- [4] 李晓辉, 覃朝云, 甘景福, 等. 电容型设备带电测试装置在智能变电站中的应用[J]. 电气应用, 2012(12): 66-68.
- [5] 李晨曦, 赵鹏, 刘斌, 等. 智能变电站优化组网的通信网络研究[J]. 陕西电力, 2014, 42(8): 51-54.
- [6] 徐春霞, 张艳霞, 葛跃田. 智能变电站过程层网络数据流的分析与研究[J]. 中国电力, 2013, 46(8): 153-159.
- [7] 于同伟, 杨兴超, 葛维春, 等. 智能变电站智能组件电磁兼容控制技术的分析与研究[J]. 电气应用, 2014(5): 34-37.
- [8] 张志丹, 黄小庆, 曹一家, 等. 基于虚拟局域网的变电站综合数据流分析与通信网络仿真[J]. 电网技术, 2011, 35(5): 204-209.
- [9] 张志鹏, 梁猛, 郭朝云. 1 000 kV变电站智能化方案研究[J]. 电力建设, 2015, 36(5): 99-104.
- [10] 黄忠胜, 刘娟, 廖小君, 等. 智能变电站GOOSE组网应用[J]. 中国电力, 2015, 48(12): 43-47.
- [11] 王志华, 杜振华, 董天平, 等. 智能变电站网络风暴抑制技术研究[J]. 电气工程学报, 2016, 11(2): 40-46.

(收稿日期: 2017-04-06) EA