

带电线路高频通道状态测试方法研究

郭耀珠¹, 石光¹, 丁卫华², 刘巍¹, 吴春红¹

(1. 河南电力试验研究院, 河南 郑州 450052; 2. 商丘供电公司, 河南 商丘 476000)

摘要: 对高频保护中高频通道的主要问题进行了简单分析, 提出了带电线路高频通道状态测试方法, 研制了相关测试设备, 解决了带电线路的高频通道测试问题。分别对测试方法中高频通道测试判断标准、仿真计算和变电站现场测试的抗干扰问题三个技术关键点做了详细的分析。根据仿真试验得到故障数据, 提出了实用的现场测试方法和标准, 验证了该测试方法的有效性和实用性。本测试方法能够在线路不停电的情况下快速、准确判断高频通道状况, 实现故障时快速定位, 提高电网的安全稳定运行水平。

关键词: 带电线路; 高频通道; 仿真计算; 回波损耗; 输入阻抗

Research on the testing method of high frequency channel state of live power line

GUO Yao-zhu¹, SHI Guang¹, DING Wei-hua², LIU Wei¹, WU Chun-hong¹

(1. Henan Electric Power Research Institute, Zhengzhou 450052, China; 2. Shangqiu Power Supply Company, Shangqiu 476000, China)

Abstract: The paper analyzes the major problems of the high frequency channel in high frequency protection, introduces the testing method of high frequency channel with electrical power, researches and designs relevant testing equipment and solves the testing problem of high frequency channel with electrical power. It analyzes separately the judgement standard of high frequency channel test, the emulational calculation and the anti-jamming problem of site test in transformer substation. It puts forward the practical site testing method and standard according to the data derived from the emulational test, and proves the validity and practicability of the testing method. This testing method can judge the status of the high frequency channel quickly and accurately without line outage and realize the quick fault orientation, which improves the security and stability of the operation of electrical grid.

Key words: live power line; high frequency channel; emulate calculation; return loss; input impedance

中图分类号: TM773 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)24-0142-04

0 引言

高频保护作为高压线路的主保护, 在电力系统中应用广泛。高频保护的高频通道作为高频保护信号的传输通道, 能否正常工作对于电网的安全可靠运行起着非常重要的作用。近年统计显示, 高频保护不正确动作率在线路保护中位居首位, 其中, 大部分误动是由于高频通道加工设备不正常工作引起的, 我省电网也发生了多起区外故障时正方向侧高频保护误动的情况。因此保证高频通道加工设备的完好性是高频保护可靠工作的前提。

目前, 我国电力系统中高频保护通道的运行方式广泛采用短时发信方式, 即正常运行情况下发信机不发信, 载波通道中无高频电流通过, 系统故障时, 保护起动元件才启动发信机发信, 通道中才有高频电流传输。为了确知高频通道完好, 运行部门需对高频通道进行日常巡检。日常巡检只能发现衰

耗严重的缺陷, 不能确定故障环节的具体位置。定期对高频通道加工设备进行停电试验, 这种试验方法对设备、人员、环境要求较高, 加之受停电时间因素影响, 会使高频通道长期带缺陷运行, 易在系统发生故障时造成高频保护不正确动作, 给电网的安全稳定运行带来隐患。因此, 在线路不停电的情况下, 快速、准确地测试高频通道的运行状况, 判断是否存在故障, 进而定位故障点, 会有效提高高频保护的正常动作率, 大大缩短高频保护的退出时间, 提高电网的安全稳定运行水平, 具有巨大的经济效益和社会效益。

1 高频通道问题简述

输电线路高频保护所用的“相一地”通道, 其简单结构原理图如图1所示。

高频通道中任何元件缺陷都会对整个通道的正常运行带来影响, 引起通道中断、传递特性变坏、

干扰加大等, 影响载波通信的正常运行、造成高频保护的不正确动作, 甚至会对输电线路造成危害。

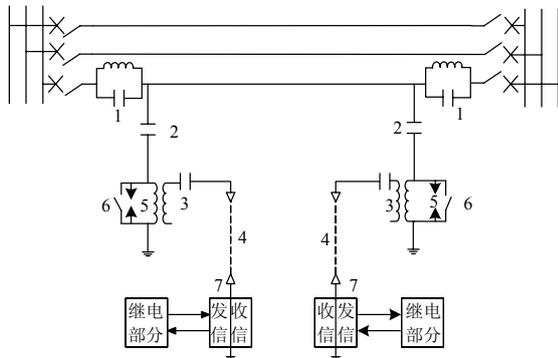


图 1 高频通道示意图

Fig.1 Diagram of high frequency channel

1.1 元件故障

1) 阻波器故障

阻波器调谐元件损坏; 避雷器击穿爆炸; 避雷器及调谐元件盒断线; 避雷器放电间隙击穿。

2) 结合滤波器故障

结合滤波器特性变坏; 变压器击穿; 引线绝缘下降。

3) 高频电缆故障

高频电缆的芯线和外层的绝缘击穿, 导致高频通道短路, 高频信号无法输送。

1.2 阻抗匹配

高频通道在设计时要求各元件均为标称参数, 使得在负载上得到最大输出功率。但实际运行中由于多台载波机的并联运行、高频电缆中的驻波效应、高频电缆与结合滤波器失配、结合滤波器与耦合电容器以及线路特性阻抗失配等原因, 均会造成阻抗失配, 带来衰减增大, 收发信机功耗大等问题。

1.3 干扰原因

高频通道产生较高干扰电平的原因:

- 1) 电力线路接触不良产生的放电现象;
- 2) 瓷瓶绝缘有缺陷或高压设备不良产生的放电现象;
- 3) 阻波器调谐元件损坏, 产生火花放电;
- 4) 耦合电容器引线接触不良产生火花放电现象;
- 5) 结合滤波器内部断线产生火花放电。

2 高频通道状态测试方法研究

长期以来, 对高频通道加工设备状态的判断通常采取定期试验的方式, 试验时需要将线路停电。试验通常采用摆地摊方式, 所用试验设备多, 试验

复杂繁琐, 试验人员难以掌握, 并耗费大量的时间, 测试的结果质量也难以得到保证。2003 年左右开始出现新的测试装置, 进行测试也需要在输电线路停电后, 拆除高频通道加工设备间接线的情况下, 分别对单个高频加工设备进行测试。试验接线和线路引线的拆除必然需要高空作业, 劳动强度大, 存在安全风险, 并且降低了电力线路的运行可靠性。

探索一种新的测试方法, 在电力线路不停电的情况下对高频通道整体进行测试, 并利用测试结果及高频通道运行状态的技术参数来评价设备状态, 减少对高频通道各个元件分别测试的工作量, 且只在判断某个元件存在故障的情况下, 再停电处理。使用这种测试方法会大大提高工作效率, 减少设备停电时间。实现此目标的关键在于, 如何评判整个高频通道的运行状态技术参数及如何测量。带电线路高频通道状态测试方法通过采集高频通道各个环节的电气信号, 对高频通道原始数据、运行方式和各个环节的实际测量数据进行处理, 并由计算机进行仿真辅助分析, 进而判定各高频加工设备的运行状态, 迅速定位引起高频通道异常的环节。高频通道测试判断标准、仿真计算和变电站现场测试的抗干扰问题是该测试方法的三个技术关键。

1) 高频通道测试判断标准

构成高频通道的元件设备较多, 主要有高频阻波器、耦合电容器、结合滤波器、高频电缆、放电间隙、接地刀闸和收发信机。反映这些元件运行状态的技术参数主要有通道输入阻抗、工作衰耗、传输衰耗、分流衰耗、回波衰耗等。电力线高频通道是高频信号的载波通道, 为了保证负载能够得到最大功率, 设计时就需要考虑信号源内阻和负载的阻抗匹配问题。当线路阻波器及结合滤波器中的元器件参数发生变化时, 结合滤波器的输入阻抗及回波衰耗也将发生变化。对于整个高频通道而言, 其输入阻抗和回波衰耗也能够直接反映通道运行状态的好坏。大量实验室、现场测试数据和仿真计算结果表明, 在线路不停电情况下, 在线路的一侧测试整个通道高频的输入阻抗和回波衰耗, 将测得特性曲线与仿真计算结果进行对比分析, 能够确定相应的故障类型并定位。

2) 仿真计算

不同电压等级的高频保护通道, 它们所采用的设备如结合滤波器、耦合电容器、阻波器及电力线生产厂家不同, 设备参数各不相同, 情况错综复杂, 现场和实验室试验无法完全模拟, 但可以利用仿真软件进行仿真计算。该测试方法采用了 Matlab 仿真试验平台, 如图 2 所示。

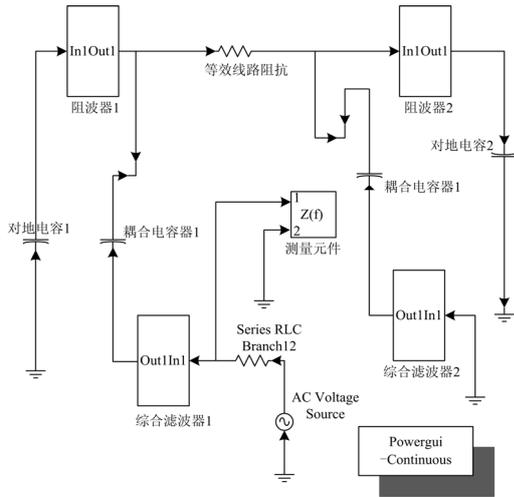


图 2 Matlab 仿真试验图

Fig.2 Diagram of Matlab emulate calculation

将整个高频通道综合考虑，按照各个高频加工设备的参数进行仿真计算，得到设备故障时的仿真试验数据；通过现场和实验室试验，得到的典型数据曲线；将仿真计算结果与现场和实验室试验得到的典型数据进行对比分析，确定高频通道正常和不同故障状态下的典型特性曲线。

3) 变电站现场测试的抗干扰问题

根据确定的测试方法，开发出了测试设备。测试设备运用于现场，要解决的首要问题就是测试设备必须具有很强的抗电磁场干扰能力，特别是在不停电的状况下，通过大量的现场测试和试验，测试设备采取了以下抗干扰措施，来保证设备能正常工作和测试数据的准确性。

利用金属外壳对电磁场进行屏蔽；提高测试电平，使之远远超过现场干扰电压（根据测试，干扰电压在 300 mV 左右）；测试方法上进行保证，对一个频率信号，通过程序控制连续发送 30 次，去掉最大、最小值后取平均值，来保证仪器的精确度。

综上所述，带线路高频通道状态测试方法研究的技术路线为：

a) 采用仿真技术对电力线高频通道进行整体研究，计算出高频加工设备各种故障状态下的典型特性曲线；

b) 通过在实验室对常用高频加工设备如阻波器、结合滤波器等进行故障模拟测试，得到了大量试验数据，与仿真计算结果进行比对验证；

c) 通过试验室和现场测试，对比不同的测试方法和比对手段，制定出判断高频通道工作状态判定和故障定位的标准和方法；

d) 研发高频通道测试装置，实现高频通道工

作状态自动测试，结合仿真计算结果，对高频通道的故障类型和位置进行判定。

3 仿真计算与实验室测试结果比对

受篇幅所限，这里只列出带阻式宽带调谐阻波器部分试验项目的试验数据。带阻式宽带调谐阻波器电路如图 3 所示。

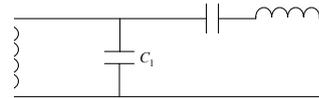


图 3 调谐阻波器电路图

Fig.3 Circuitry of tunable traps

3.1 仿真计算项目

采用了 Matlab 仿真试验平台，对高频通道未损坏和三种典型故障情况的通道电缆侧输入阻抗进行了仿真计算。

1) 无故障情况电缆侧输入阻抗曲线图(图 4)

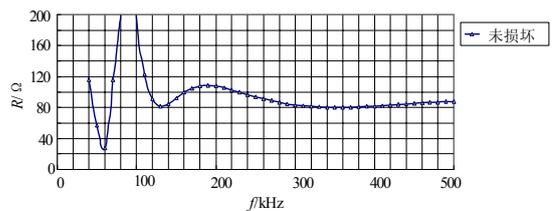


图 4 阻抗曲线图

Fig.4 Impedance curve

2) 阻波器 r 短路电缆侧输入阻抗曲线图(图 5)

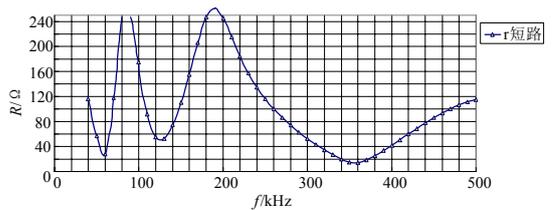


图 5 阻抗曲线图

Fig.5 Impedance curve

3) 阻波器 C1 短路电缆侧输入阻抗曲线图(图 6)

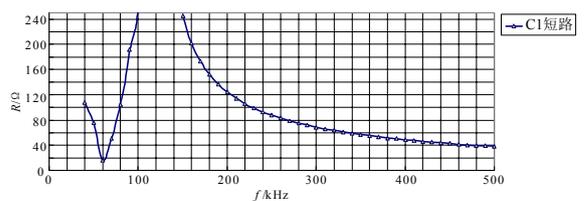


图 6 阻抗曲线图

Fig.6 Impedance curve

4) 阻波器 C2 (r、L2) 开路情况电缆侧输入阻抗曲线图 (图 7)

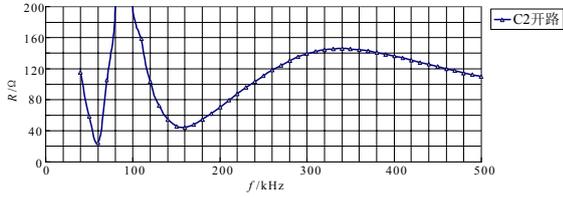


图 7 阻抗曲线图
Fig.7 Impedance curve

3.2 实验室测试

利用开发出的测试装置实测带阻式宽带调谐阻波器不同典型元件故障情况下的通道电缆侧输入阻抗及回波损耗。

1) 未故障时电缆侧输入阻抗及回波损耗曲线图 (图 8、图 9)

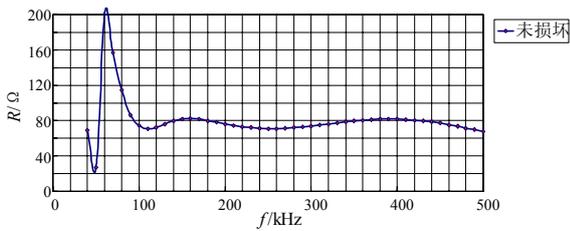


图 8 阻抗特性曲线图
Fig.8 Impedance character curve

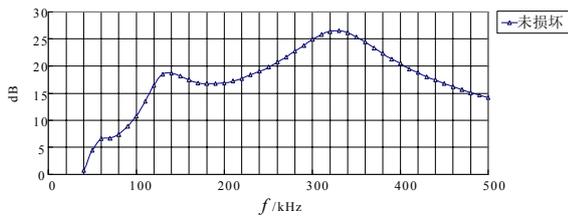


图 9 回波损耗曲线图
Fig.9 Return loss curve

2) 阻波器 r 短路电缆侧输入阻抗及回波损耗曲线图 (图 10、11)

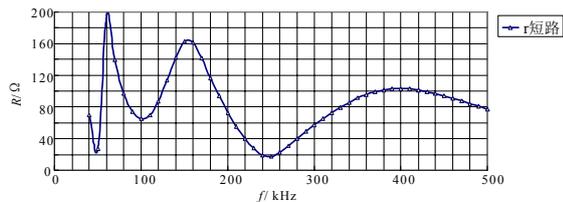


图 10 阻抗特性曲线图
Fig.10 Impedance character curve

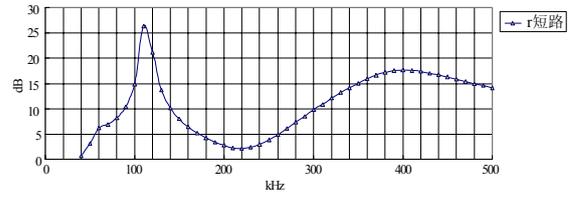


图 11 回波损耗曲线图
Fig.11 Return loss curve

3) 阻波器 C1 短路电缆侧输入阻抗及回波损耗曲线图 (图 12、13)

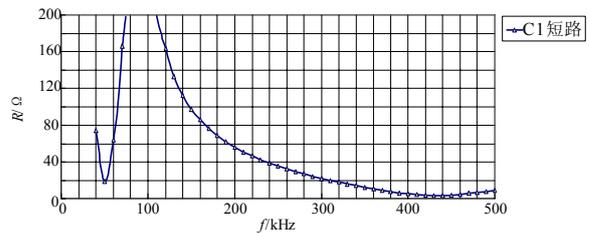


图 12 阻抗特性曲线图
Fig.12 Impedance character curve

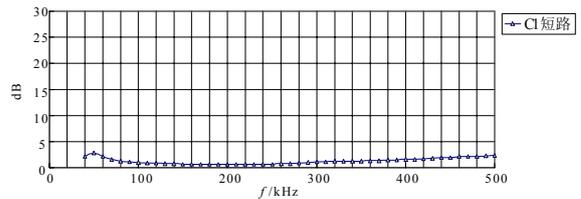


图 13 回波损耗曲线图
Fig.13 Return loss curve

4) 阻波器 C2 (r、L2) 开路情况电缆侧输入阻抗及回波损耗曲线图 (图 14、15)

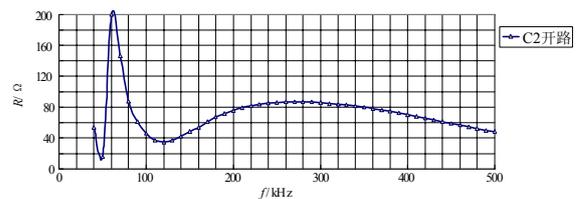


图 14 阻抗特性曲线图
Fig.14 Impedance character curve

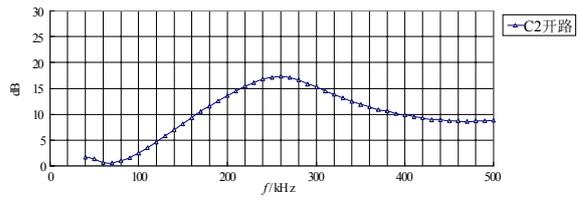


图 15 回波损耗曲线图
Fig.15 Return loss curve

(下转第 212 页 continued on page 212)

已经实施运行情况良好。针对通道异常影响远跳装置判别的问题,最佳解决方案是将保护通道由载波改为复用 2M 光纤通道。建议厂家开发出具有以太网接口的光纤接口设备,方便和监控系统交换机的以太网口连接,解决长期困扰我们不能采集通信室内与保护有关设备的异常及收发工作信号问题。目前 500 kV 主网线路保护对通信通道的依赖越来越强,随着光纤网络的逐步完善、施工工艺和保护产品技术的不断提高,光纤通道的全面运用将是未来保护通道发展的必然趋势^[5]。从这次隐患发现到解决我们可以看出应该加强设计、施工、验收的把关,才能确保电网安全稳定运行。

参考文献

[1] 朱声石. 高压电网继电保护原理与技术[M]. 三版.北京: 中国电力出版社, 2005.
 ZI-IU Sheng-shi. Principle and technology of relay protection for high voltage electric power net[M]. Third edition. Beijing: China Electric Power Press, 2005.

[2] 贺家李, 宋从矩. 电力系统继电保护原理[M]. 北京: 中国电力出版社, 1994.
 HE Jia-li, SONG Cong-ju. The relay protection principle

of electric power system[M]. Beijing: China Electric Power Press, 1994.

[3] 国家电力调度通信中心. 电力系统继电保护实用技术问答[M]. 北京: 中国电力出版社, 2001.
 State electric power dispatching communication center. electric system relaying technology dialogue[M]. Second edition. Beijing: China Electric Power Press, 2001.

[4] 韩天行. 微机型继电保护及自动化装置检验调试手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.
 HAN Tian-xing. The tiny model protects after the eelectricity and the sutomation equip examination to adjust to try the manual[M]. Beijing: China Machine Press, 2004.

[5] 李瑞生. 光纤电流差动保护与通道试验技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2006.
 LI Rui-sheng. Line fiber optical diferential protection and experimental technique of optical fiber channel[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2006.

收稿日期: 2009-12-14; 修回日期: 2010-03-23

作者简介:

陈晓彬 (1979-), 男, 工程师, 工程硕士, 主要从事继电保护检修管理工作。E-mail: cxbcbj@126.com

(上接第 145 页 continued from page 145)

3.3 结论

1) 从大量的故障仿真计算结果来看,在高频通道不同运行状态及不同的故障类型下,电缆侧输入阻抗随频率变化的曲线具有明显不同的特征,可以用作判断高频通道运行状态和故障类型的依据。

2) 实验室测试结果与仿真计算结果基本一致,阻抗特性曲线变化趋势基本一致,可以确定该理论和方法的有效性。

3) 当高频通道有元件故障时,整个通道的回波衰耗在某一频段甚至整个工作频段会降低,因此整个通道的回波衰耗也可做为判断标准之一。

4 结束语

带电高频通道状态测试方法与测试装置将整个高频通道综合考虑,按照各个高频加工设备的参数进行仿真计算,得到了设备出现故障时的仿真试验数据,据此提出了实用的现场测试方法和标准,并通过采用独立研制的测试设备进行了现场测试,验证了该方法的有效性和实用性。该方法可以在线路不停电的情况下快速、准确判断高频通道状况,并

且在高频通道故障时实现快速定位,操作简单,极大地降低了工作强度,节省了设备停电时间。该方法研究方向具有独特性,是一项很有意义且很有必要的工作,大大提高了高频保护的正确动作率,有效缩短了高频保护的退出时间,从而提高电网的安全稳定运行水平。

参考文献

[1] 王广延, 吕继绍. 电力系统继电保护原理与运行分析[M]. 北京: 水利电力出版社, 1995.

[2] 葛耀中. 高压输电线路高频保护[M]. 北京: 北京水利电力出版社, 1986.

收稿日期: 2009-12-16

作者简介:

郭耀珠 (1964-), 女, 高级工程师, 从事电力系统继电保护工作; E-mail: gyaozhu@sina.com

石光 (1971-), 男, 高级工程师, 从事电力系统继电保护管理工作;

丁卫华 (1976-), 女, 工程师, 长期从事电力系统继电保护生产运行工作。