

# 刀闸操作电弧对载波通道的干扰

郑宁敏, 林 匹

(福建省厦门超高压输变电局, 福建 厦门 361004)

**摘要:** 通过对一起 220 kV 线路刀闸操作引起保护收发信机烧毁事故的调查, 以及对现场实验拍录的干扰波形进行的频谱分析, 初步了解刀闸操作电弧给附近设备造成的干扰量的幅频特性, 并提出一些尚未解决的疑问。

**关键词:** 刀闸操作; 载波通道; 干扰; 收发信机; 载波机

## Disturbance caused by the arcing during operation of isolating switch for power carrier channel

ZHENG Ning-min, LIN Pi

(Xiamen EHV Power Transmission and Transformation Bureau, Xiamen 361004, China)

**Abstract:** Through the investigation of the burntout of the transceiver caused by the operation of 220kV isolating switch, and by the spectrum analysis of the jamming wave recording on site, this paper primarily learns the amplitude—frequency characteristic of the interference which is caused by the arcing during operation of isolating switch and proposes some questions unsolved.

**Key words:** operation of isolating switch; carrier channel; disturbance; transceiver; carrier apparatus

中图分类号: TM73 文献标识码: B 文章编号: 1674-3415(2009)17-0128-04

## 0 引言

变电所刀闸操作过程中电弧产生的强干扰势必对附近的载波设备等造成影响, 严重的情况甚至造成设备的损坏, 但就这个干扰量具体的幅频特性、能量分布等却很少见到详细的分析。福建省 500 kV 厦门变 220 kV 厦梧 II 路保护载波收发信机曾经由于刀闸操作电弧的干扰而多次被烧毁。为了查清事故原因, 并提出合理的解决办法, 我们还原了事故时的操作, 同时利用高速数字录波仪记录刀闸操作电弧对载波机端口等处的干扰波形。通过对波形的频谱分析, 我们可以了解这个干扰量在各个频率段能量的分布, 从而提出进一步的措施解决设备损坏的问题, 同时也可以让我们对刀闸电弧干扰量的特性有个初步的了解。

## 1 事故的基本情况

220 kV 厦梧 II 路 RCS-902 保护采用载波通道, 通道接口设备是南瑞公司的 LFX-912 收发信机, 工作频率是 110 kHz。设备投运后, 在它相邻间隔的旁路刀闸 2337 进行分合的过程中, 两次出现 LFX-912 收发信机的功放插件烧毁。查阅变电所的操作记录, 在厦梧 II 线投运后 2337 刀闸一共操作

了 3 次, 其中最后的一次合闸操作和分闸操作都造成了收发信机插件烧毁。另外, 与厦梧 II 线 902 保护载波通道相邻的其他刀闸(空间距离上 2337 刀闸是最近的)也都有过操作, 但均未发生设备损坏的情况。

事故后我们也进行了多次的现场检查, 确认现场载波通道设备安装符合规范及反措要求。同轴电缆、结合滤波器、阻波器等均经过严格测试确认设备均正常。

由于 LFX-912 收发信机本身的线性滤波元件可以严格地滤除收发信机工作频率外的干扰, 而通过线性滤波器烧毁功放插件的只能是一个装置工作频率附近的干扰量, 为证实这一点, 我们进行了以下的测试。

## 2 测试方法

用高速数字录波仪高阻跨接在保护收发信机的同轴电缆输入端, 利用一段长约 1 m 的高频同轴电缆线作为耦合电容, 在同轴电缆的外屏蔽处串接约 50 nF 的电容器进行分压, 经估算, 分压比约为 500:1。收发信机内除线性滤波器插件保留, 其余插件均拔出。录波设备采样频率设置为 2 MHz, 分别在拉合 2337 刀闸过程中记录收发信机输入端

承受的暂态电压波形。测试方法如图 1 所示。

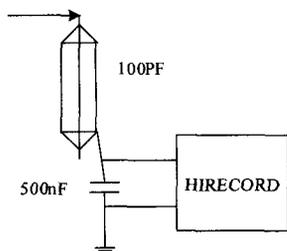


图 1 暂态电压测试示意图

Fig.1 Diagram of the transient voltage test

### 3 测试结果

#### 3.1 收发信机固有发信频率测试

收发信机发信波形如图 2 所示, 其相应的频谱特性见图 3。从发信波形及其频谱图可知, 收发信机发信频率约为 110 kHz, 发信电平约为 12 V。

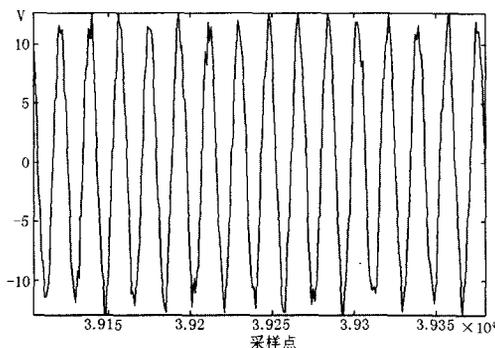


图 2 收发信机发信波形

Fig.2 Transmit wave of transceiver

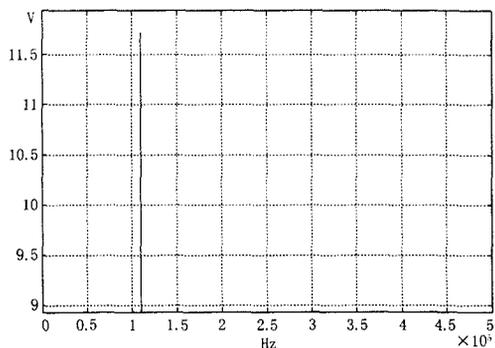


图 3 收发信机发信频谱 (0~100 kHz)

Fig.3 Transmit spectrum of transceiver (0~100 kHz)

#### 3.2 高频通道输入电缆末端空载时拉合 2337 刀闸时测试波形

拔出线滤插件, 高频电缆末端实际开路, 模拟空载情况, 2377 刀闸合、分闸时电压波形全貌如图 4、图 5 所示, 其过电压幅值达 3 000 V 左右。可以

看出, 合闸波形的包络为类弓型, 分闸波形的包络为类纺锤型。虽然波形之间有较大差异, 但经傅立叶分析 (图 6、图 7) 可发现, 2377 刀闸合、分时涌入 236 夏梧 II 路高频通道的过电压频谱基本相似。其特征是: 在 50~150 k 的频段之间积聚了大部分的能量, 其它频段则较小。

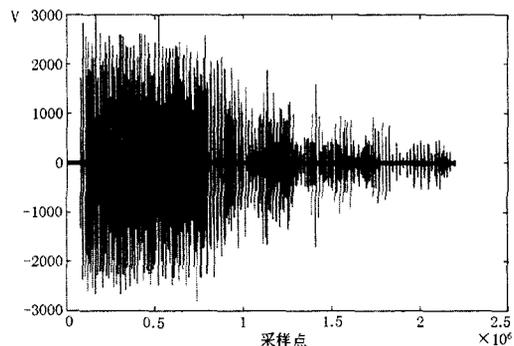


图 4 2377 刀闸合闸时测试波形全貌 (末端开路)

Fig.4 Test wave panorama of connecting 2377 isolating switch (end is opening circuit)

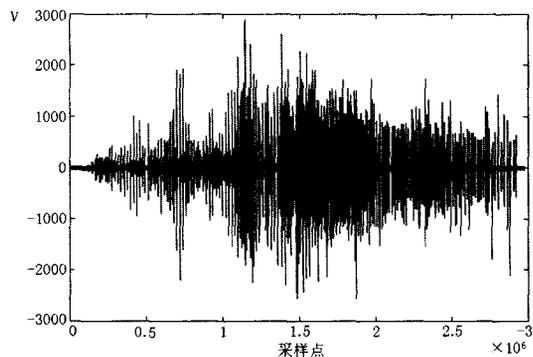


图 5 2377 刀闸分闸时测试波形全貌 (末端开路)

Fig.5 Test wave panorama of disconnecting 2377 isolating switch (end is opening circuit)

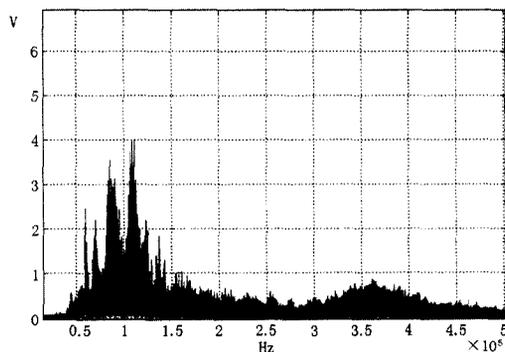


图 6 2377 刀闸合闸时测试波形频谱分析 (末端开路)

Fig.6 Spectrum analysis for the test wave of connecting 2377 isolating switch (end is opening circuit)

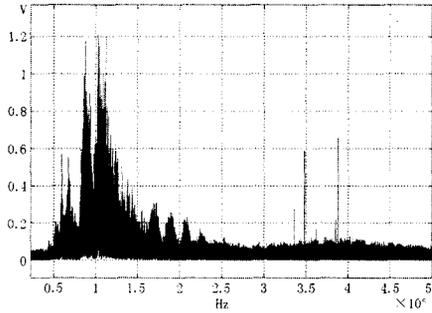


图 7 2377 刀闸分闸时测试波形频谱分析 (末端开路)  
Fig.7 Spectrum analysis for the test wave of disconnecting 2377 isolating switch (end is opening circuit)

### 3.3 输入电缆末端接线性滤波器时拉合 2377 刀闸时测试波形

插入接线性滤波插件时, 高频电缆以线滤插件为负载, 2377 刀闸合、分闸时测试波形全貌如图 8、图 9 所示。其电压幅值明显减小, 幅值包络线大都处于 1 000 V 水平以下。但电压波形中出现一些幅值较高的尖脉冲, 达 5 000 V 之巨。后经观察证实, 此尖波是装置线滤板背面焊点间的放电造成的。图 10、图 11 为相应的频谱图, 从中可发现, 其电压频谱与输入电缆末端空载时的电压频谱类似: 在 50~150 k 的频段之间积聚了大部分的能量, 其它频段则较小。

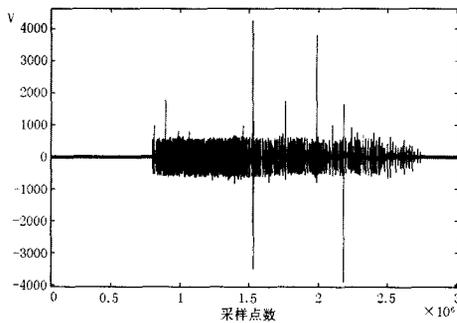


图 8 2377 刀闸合闸时测试波形全貌 (末端接线性滤波器)  
Fig.8 Test wave panorama of connecting 2377 isolating switch (end is connected linear filter)

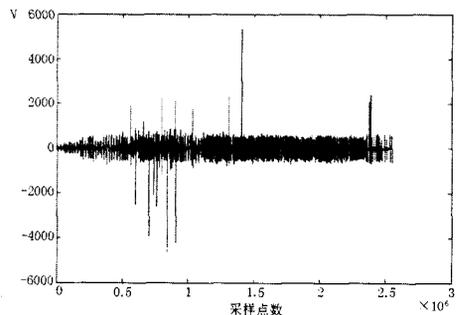


图 9 2377 刀闸分闸时测试波形全貌 (末端接线性滤波器)  
Fig.9 Test wave panorama of disconnecting 2377 isolating

switch (end is connected linear filter)

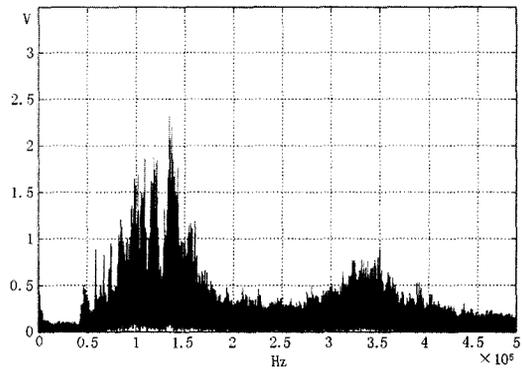


图 10 2377 刀闸合闸时测试波形频谱分析 (末端接线性滤波器)

Fig.10 Spectrum analysis for the test wave of connecting 2377 isolating switch (end is connected linear filter)

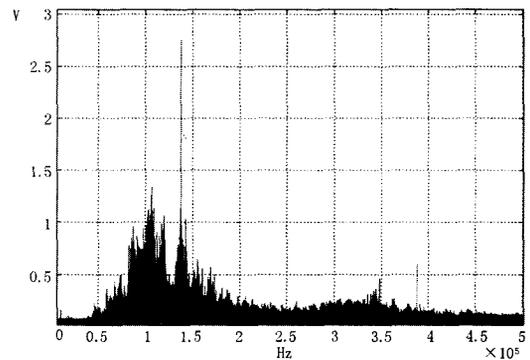


图 11 2377 刀闸分闸时测试波形频谱分析 (末端接线性滤波器)

Fig.11 Spectrum analysis for the test wave of disconnecting 2377 isolating switch (end is connected linear filter)

## 4 分析

1) 通过测试可见, 2337 刀闸合分操作过程中, 电弧产生的干扰量是一个大部分能量集中在 50~150 kHz 之间的宽频信号, 其中电压尖峰出现在 110~120 kHz 左右。

2) 带载情况下, 刀闸操作电弧产生的干扰可在保护收发信机的入端造成 1 000 V 左右的电压。当线性滤波元件的工作特性正好是 110~120 kHz 左右, 这个干扰量将可以通过线滤插件加在之后的功放等元器件上, 从而造成设备损坏。

3) 厦梧 II 路保护收发信机采用的频率应尽量躲开 50~150 kHz 之间, 否者容易受到冲击。事实证明, 其后我们将这个保护频率调整为 300 kHz 以上后, 保护收发信机在 2337 刀闸数次反复操作情况下均未再出现任何异常。

## 5 结论

虽然就单一的事故处理, 厦门变厦梧 II 线的问题得到了圆满的解决, 但从刀闸电弧干扰的课题来说还有很多问题没有解决, 在此也提出几个疑问希望与广大同行讨论交流。

### 5.1 干扰的传输路径

这种干扰如何在二次回路中产生并传输, 这个问题一直使我们很困惑, 我们始终没能找到一个合理的解释, 有几种假设的可能性也在现场试验中被排除。

1) 一种可能是从一次设备直接通过结合滤波器进入高频电缆。在主接线图上可以看出, 如果干扰量是从刀闸的触头通过一次设备传输到结合滤波器再进入高频电缆的话, 那么这个干扰首先要经过阻波器, 我们知道阻波器的工作频率是 40~500 kHz, 而以上的实验中的主要能量集中段都在这个频率范围内, 并且我们可以确定实验当时厦梧线的阻波器是完好的。所以可以排除干扰量通过一次设备传入高频电缆的可能。

2) 直接通过空间感应进入高频电缆。我们在以上实验时曾经将高频电缆在结合滤波器一侧解开, 同样拉合刀闸, 测试到的干扰量变得非常微弱, 就此也可以排除高频电缆直接感应的可能。

3) 目前我们还无法提出一种可以很好解释并可以验证的干扰传输路径, 所以在预防方面无法从干扰产生及传输上提出可行的方案, 只能被动地在频率选用上避开 110 kHz 频段。

### 5.2 测试结果的代表性

其他的刀闸操作时对附近设备干扰的幅频特性是不是也和我们这次测试的情况相似。

1) 查阅福建省有关资料, 发现以前也曾经有过类似的载波接口设备烧毁事故, 而且事故设备的频率也是在 110 kHz 左右, 最终也是通过更换保护频率的方法解决问题, 但当时没有进行拍波分析, 所以没有办法比较干扰量是否类似。

2) 福建省 500 kV 宁德变 500 kV 宁双、德龙线的载波通道曾经频繁受到刀闸操作的干扰, 在那次事故调查中, 我们也进行了类似的拍波实验, 测试出来的干扰波形在特征上与以上测试的结果非常相似, 只是宁德变的测试波形, 除了在 50~150 kHz 有集中的分布, 在 300~350 kHz 之间也有一个明显的能量集中频段 (与图 10 相类似)。

3) 由于没有足够多的测试样本, 我们无法确定是否所有刀闸操作的干扰量都有着相类似的特征。但假如是这样, 那么今后我们在选用保护载波通道的频率时是否应在选取范围上适当地进行调整, 以避开容易被干扰的 50~150 kHz 频段。

收稿日期: 2008-09-27; 修回日期: 2008-11-05

作者简介:

郑宁敏 (1976-), 男, 学士, 工程师, 长期从事电力系统继电保护管理工作; E-mail: zhengnm@sina.com

林 匹 (1967-), 男, 硕士, 高级工程师, 长期从事电力系统调度及变电运行管理工作。

(上接第 105 页 continued from page 105)

- [5] 白周云, 吕晓德. 电磁兼容设计[M]. 北京: 北京邮电大学出版社, 2001.  
BAI Zhou-yun, Lü Xiao-de. Electromagnetic Compatibility Design[M]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications Press, 2001.
- [6] 刘萍, 魏东兴, 等. 电磁干扰排查及故障解决的电磁兼容技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.  
LIU Ping, WEI Dong-xing, et al. EMI Troubleshooting Techniques[M]. Beijing: China Machine Press, 2002.
- [7] 钱振宇. 3C 认证中的电磁兼容测试与对策[M]. 北京: 电子工业出版社, 2004.  
QIAN Zhen-yu. Electromagnetic Compatibility Test Technology and Countermeasures of 3C Certification [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2004.

- [8] 朱立文. 快速瞬变脉冲群测试的失败原因与对策[J]. 电子产品可靠性与环境试验, 2007, (1): 5-10.  
ZHU Li-wen. The Failure Causes and Countermeasures of EFT/B Immunity Test[J]. Electronic Product Reliability and Environmental Testing, 2007,(1): 5-10.

收稿日期: 2009-05-18; 修回日期: 2009-07-15

作者简介:

肖 勇 (1978-), 男, 工学硕士, 工程师, 主要从事电能计量自动化、电能遥测、电磁兼容性技术研究; E-mail: xiao14@sina.com

周尚礼 (1968-), 男, 高级工程师, 主要从事电能计量、高压技术研究与管理工作;

申妍华 (1977-), 男, 讲师, 主要从事微电子器件、集成电路技术研究和教学工作。