

## 一起电力系统谐振事故分析

刘春玲<sup>1</sup>, 耿卫星<sup>1</sup>, 刘建武<sup>2</sup>, 聂会军<sup>3</sup>, 李静<sup>3</sup>, 孟祥萍<sup>4</sup>

(1. 宁夏电力公司超高压电网运行分公司, 宁夏 银川 750001; 2. 宁夏先科电力设计咨询有限公司, 宁夏 银川 750001;  
3. 吴忠供电局, 宁夏 吴忠 751100; 4. 长春工程学院, 吉林 长春 130001)

**摘要:** 分析了电力系统谐振现象及其特点, 以及谐振对于系统的危害。通过对一个典型谐振案例的电气参数变化规律剖析, 从铁磁谐振角度出发分析事故原因并提出了预防谐振的措施和解决谐振问题的合理化建议。所提出的方法可以有效地减少电力系统谐振事故的发生几率, 有利于提高电力系统安全稳定运行水平

**关键词:** 谐振; 电力系统; 事故; 铁磁谐振

### Analysis on accidents of syntony in power system

LIU Chun-ling<sup>1</sup>, GENG Wei-xing<sup>1</sup>, LIU Jian-wu<sup>2</sup>, NIE Hui-jun<sup>3</sup>, LI Jing<sup>3</sup>, MENG Xiang-ping<sup>4</sup>

(1. Ningxia Electric Power Corporation EHV Grid Operation Branch, Yinchuan 750001, China; 2. Ningxia Xianke Electric Power Design Consulting Co., Ltd, Yinchuan 750001, China; 3. Wuzhong Power Supply Company, Wuzhong 751100, China;  
4. Changchun Institute of Technology, Changchun 130001, China)

**Abstract:** The paper analyzes resonance phenomenon, features and detriment to power system. By describing a typical accident, the paper analyzes electrical parameter variety regular pattern and the accident cause from ferroresonance perspective. Protective measures and rational proposal are proposed to control and reduce syntony. Methods suggested in the paper can reduce occurrence probability of syntony accident, and are in favor of enhancing standard of safety and steady operation in power system.

**Key words:** syntony; power system; accident; ferroresonance

中图分类号: TM86 文献标识码: B 文章编号: 1674-3415(2010)02-0108-03

## 0 引言

电力系统中过电压现象较为普遍。引起电网过电压的原因主要有谐振过电压、操作过电压、雷电过电压以及系统运行方式突变, 负荷剧烈波动引起系统过电压等。其中, 谐振过电压出现频繁, 其危害很大。过电压一旦发生, 往往造成系统电气设备的损坏和大面积停电事故发生。据多年来电力生产运行的记载和事故分析表明, 中低压电网中过电压事故大多数是由于谐振现象引起的。日常工作中发现, 在刮风、阴雨等特殊天气时, 变电站 35 kV 及以下系统发生间歇性接地的频率较高, 当接地使得系统参数满足谐振条件时便会发生谐振, 同时产生谐振过电压。谐振会给电力系统造成破坏性的后果: 谐振使电网中的元件产生大量附加的谐波损耗, 降低发电、输电及用电设备的效率, 影响各种电气设

备的正常工作; 导致继电保护和自动装置误动作, 并会使电气测量仪表计量不准确; 会对邻近的通信系统产生干扰, 产生噪声, 降低通信质量, 甚至使通信系统无法正常工作。

## 1 谐振及铁磁谐振

谐振是一种稳态现象, 因此, 电力系统中的谐振过电压不仅会在操作或事故时的过渡过程中产生, 而且还可能在过渡过程结束后较长时间内稳定存在, 直到发生新的操作谐振条件受到破坏为止。所以谐振过电压的持续时间要比操作过电压长得多, 这种过电压一旦发生, 往往会造成严重后果。运行经验表明, 谐振过电压可在各种电压等级的网络中产生, 尤其在 35 kV 及以下的电网中, 由谐振造成的事故较多, 已成为系统内普遍关注的问题。因此, 必须在设计时事先进行必要的计算和安排, 或者采取一定附加措施(如装设阻尼电阻等), 避免形成不利的谐振回路, 在日常工作中合理操作防止

**基金项目:** 吉林省科技厅科技发展计划项目(20080414-1)

谐振的产生,降低谐振过电压幅值和及时消除谐振。

在 6~35 kV 系统操作或故障情况下,系统振荡回路中往往由于变压器、电压互感器、消弧线圈等铁芯电感的磁路饱和作用而激发起持续性的较高幅值的铁磁谐振过电压。铁磁谐振可以是基波谐振、高次谐波谐振、分次谐波谐振,其共同特征是系统电压升高,引起绝缘闪络或避雷器爆炸;或产生高值零序电压分量,出现虚幻接地现象和不正确的接地指示;或者在 PT 中出现过电流,引起熔断器熔断或互感器烧坏;母线 PT 的开口三角绕组出现较高电压,使母线绝缘监视信号动作。各次谐波谐振不同特点主要在于:

①分次谐波谐振三相电压依次轮流升高,超过线电压,一般不超过 2 倍相电压,三相电压表指针在相同范围出现低频摆动。

②基波谐振时,两相电压升高,超过线电压,但一般不超过 3 倍相电压,一相电压降低但不等于零。

③高次谐波谐振时,三相电压同时升高或其中一相明显升高,超过线电压,但不超过 3~3.5 倍相电压。

## 2 实例分析

### 2.1 事故前系统运行方式

事故前,某 110 kV 变电站有 110 kV 单母分段、35 kV 单母分段、10 kV 单母分段运行,10 kV I 母接 511 所变、513 负荷 I 线、514 负荷 II 线、518 电容器、519 电容器运行;10 kV 母线 II 段接 521 电容器、522 电容器,电压及负荷均正常;10 kV 母线 II 段 PT 运行。

### 2.2 事故经过

2008 年 6 月 21 日 23 时 12 分,监控语音报警此变电站“10 kV 母线 I 段接地”、“10 kV 母线 II 段接地”信号,监控屏显示 10 kV 母线 II 段电压值为:

$$U_a=6.21 \text{ kV}; \quad U_b=7.03 \text{ kV};$$

$$U_c=7.80 \text{ kV}; \quad 3U_0=64.11 \text{ V}。$$

23 时 14 分,511 所变发出“开关分闸”、“511 开关电流 II 段”动作、复归、“511 站用保护测控装置告警”、“511 开关过负荷告警”、“逆变电源交流失电”复归信号。511 所变开关变为“分”位;同时 513 负荷 I 线、514 负荷 II 线、518 电容器、519 电容器发出“线路保护测控装置告警”、“PT 断线”信号;521 电容器、522 电容器发出“保护装置告警”、“电容器 PT 断线”等信号。随后,后台显示 10 kV 母线 II 段电压值持续升高,23 时 15 分升高为:

$$U_a=8.94 \text{ kV}; \quad U_b=9.91 \text{ kV};$$

$$U_c=12.00 \text{ kV}; \quad 3U_0=119.97 \text{ V}。$$

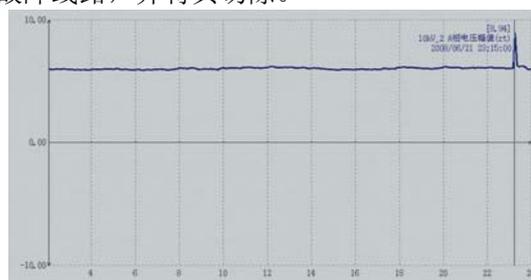
调度值班员于 23 时 18 分下令遥控断开 514 负荷 II 线开关,电压恢复正常。

22 日 01 时 50 分,巡线人员汇报:514 负荷 II 线机砖厂支线奶牛厂变压器引线熔断后搭在变压器外壳上,操作人员已将分支拉开……。故障排除后合上 514 负荷 II 线开关,送电正常,后未见异常情况。

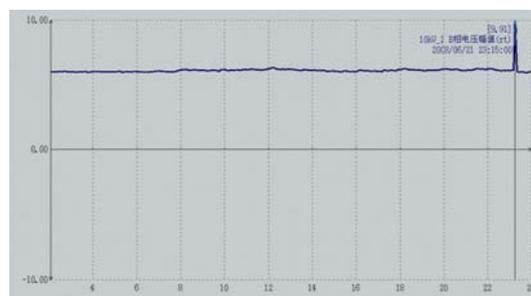
### 2.3 事故原因分析

实例中所涉及变电站的 514 负荷 II 线机砖厂支线奶牛厂变压器引线熔断后搭在变压器外壳上,三相系统对称性被破坏,出现零序电流、中性点偏移和对地电位  $U_0$ ,即开口三角有了零序电压,零序电压叠加在二次侧三相电压上,就出现了二次侧三相电压不平衡现象。

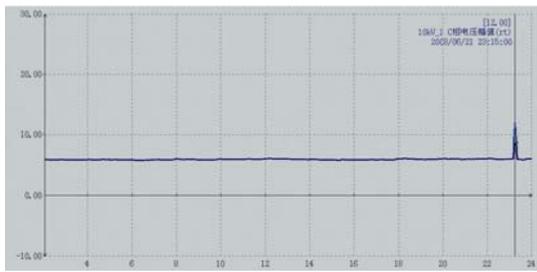
事故起因:514 负荷 II 线机砖厂支线奶牛厂变压器引线熔断后搭在变压器外壳上,然后 10 kV 母线接地,系统参数发生变化满足谐振条件,谐振发生之后 10 kV 母线 II 段三相电压及零序电压迅速升高(如图 1 所示),由电压波形及数值可知是发生高次谐波谐振(铁磁谐振)。正是谐振导致继电保护和自动装置误动作发出的一系列错误信号。此状况下,需要仔细判断真假信号,以便很好地进行事故处理。实例中的事故发生后,当班调度员作出了谐振的准确判断,并根据工作经验进行接地选线,迅速查找出故障线路,并将其切除。



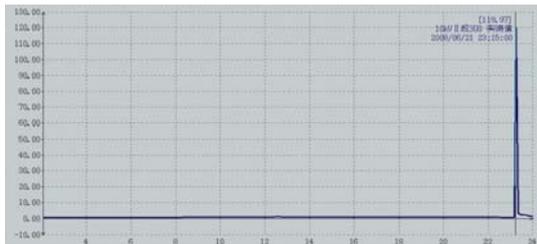
(a) 事故时 10 kV 母线 II 段  $U_a$  波形图



(b) 事故时 10 kV 母线 II 段  $U_b$  波形图



(c) 事故时 10 kV 母线 II 段  $U_A$  电压波形



(d) 事故时 10 kV 母线 II 段  $3U_0$  电压波形

图 1 事故时 10 kV 母线 II 段电压波形图

Fig.1 Voltage oscillogram of 10kV generatrix II when fault occurred

### 3 谐振事故解决方法

PT 在正常工作时, 铁芯磁通密度不高, 不饱和; 但如果在电压过零时突然合闸、分闸或单相接地消失, 这时铁芯磁通就会达到稳态时的数倍, 处于饱和状态, 这时, 某一相或两相的激磁电流大幅度增加, 当感抗与容抗参数匹配恰当 (满足谐振条件) 时, 即会发生谐振, 即铁磁谐振。发生谐振时, 会在电感和电容两端产生 2~3.5 倍额定电压的过电压和几十倍额定电流的过电流, 通过 PT 的电流远大于激磁电流, 严重时会使烧坏 PT 及其它设备。

#### 3.1 防止谐振过电压的一般措施

①提高断路器动作的同期性。由于许多谐振过电压是在非全相运行条件下引起的, 因此提高断路器动作的同期性, 防止非全相运行, 可以有效防止谐振过电压的发生。

②在并联高压电抗器中性点加装小电抗。用这个措施可以阻断非全相运行时工频电压传递及串联谐振。

③破坏发电机产生自励磁的条件, 防止参数谐振过电压。

#### 3.2 防止谐振过电压的具体措施

①35 kV 系统中性点经消弧线圈 (加装消谐电阻) 接地, 并在过补偿方式下运行, 它的电压作用在零序回路中, 其原理如图 2 所示。

②尽量减少 6~35 kV 系统并联运行的 PT 台数。  
a. 凡是 6~35 kV 母线分段的变电所, 若母线经

常不分段运行, 应将一组 PT 退出作为备用;

b. 电力客户的 6~10 kV PT 一次侧中性点一律为不接地运行。

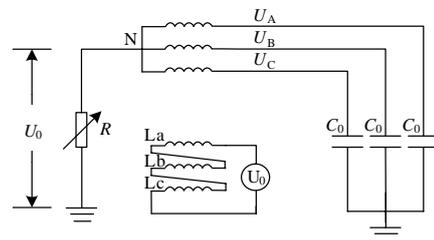


图 2 零序回路消谐电阻加装原理图

Fig.2 Schematic diagram retrofitting detune resistance in zero-sequence circuit

③更换伏安特性不良的 6~35 kV PT。

④6~35 kV 一次侧中性点串联阻尼电阻或二次侧开口三角形绕组并联阻尼电阻或消振器。

⑤6~10 kV 母线装设一组 Y 形接线中性点接地的电容器组。

⑥在 10 kV PT 高压侧中性点串联单相 PT。

在实际工作中谐振的发生往往伴随着接地故障, 很多时候甚至就是由接地引起的, 消除谐振常常采取的有效方法是改变系统运行方式以改变系统参数, 破坏谐振条件。改变系统运行方式经常通过以下途径实现:

a. 投退电容器;

b. 增投线路;

c. 若变电站有一台以上数目的主变, 可视具体运行情况将原本并列 (分列) 运行的变压器分列 (并列);

d. 母线并列解列。

若上述方法不能消振, 应采用寻找线路单相接地故障的方法进行选线, 选出故障线路后, 立即将其切除。选线原则参照系统单相接地故障处理方法。此方法是最有效最能解决问题的, 但往往不一定能准确及时判断出接地线路, 以致延误消振时间, 所以, 工作中为及时消除谐振一般先考虑选择上述四种途径。运行中出现谐振过电压时, 变电所值班人员应准确记录当时发生的现象和母线电压的变化, 但不得用刀闸拉开 PT, 可先根据情况采取消振措施, 事后汇报调度。

### 4 总结

针对某 110 kV 变电站谐振事故, 利用谐振原理与知识, 分析了此次事故发生的原因, 并结合实际工作经验对谐振过电压给出了多种控制措施和方

(下转第 117 页 continued on page 117)

产生谐波,也不利于变压器匝间绝缘。因此,在单相接地故障引起零序电压升高时,由零序过电压保护完成切除变压器的任务更为合适。

对于保护变压器中性点绝缘而言,零序过电压保护也显得比间隙电流保护更重要,零序过电压保护通常和间隙电流保护一起共同构成变压器中性点绝缘保护。所以仅设置间隙电流保护而没有零序过电压保护是不够完善的,特别是当间歇性击穿时,放电电流无法持续,间隙电流保护将不起作用,中性点不接地变压器将无法脱离故障电网。

### 3.2 接地方式控制及零序保护改进措施

要确保 110 kV 系统为有效接地系统,须保证电源端变压器 110 kV 侧中性点有效接地。如果保护整定允许,可以将电源侧两台并列运行的变压器中性点同时接地。

因为带电源变压器失去接地中性点后可能成为非有效接地系统,所以对于电源端变压器或者将来可能带电源的变压器,在设计阶段就应考虑配置完整的中性点间隙保护,包括中性点零序过电流保护、中性点间隙电流保护以及母线开三角零序电压保护。在 110 kV 馈出线路上,不论并接几台变压器,在电源侧中性点接地的情况下,各终端变压器中性点可以不接地运行。在实际运行中,为防止可能出现的不安全因素,可安排其中一台中性点接地。

已经投入运行的未配置母线 PT 开三角零序电压保护以及中性点间隙电流保护的 110 kV 变电所,为避免中性点间隙抢先放电等情况,可增大原先装设的中性点棒间隙距离。

今后设计的 110 kV 变电所,高压侧宜采用三相电压互感器,并设置零序过电压保护和变压器中性点间隙电流保护。这种配置可以提供灵活的运行方式,适应未来电网结构的变化。对继电保护设备的整定,可以在中性点零序电流保护第一时限切除另一台不接地变压器,以避免停电范围扩大和放电间隙出现的偶然因素。

### 参考文献

- [1] 李福寿. 中性点非有效接地电网的运行[M]. 北京: 水利电力出版社, 1993.
- [2] 贺家李, 宋从矩, 等. 电力系统继电保护原理(增订版)[M]. 北京: 中国电力出版社, 2004.
- [3] 王瑞. 电力变压器保护的研究(硕士学位论文)[D]. 济南: 山东大学, 2005.
- [4] 王广延. 电力系统元件保护原理[M]. 北京: 水利电力出版社, 1986.
- [5] 王维俭, 侯炳蕴. 大型机组继电保护理论基础[M]. 北京: 水利电力出版社, 1989.

收稿日期: 2009-02-15

作者简介:

刘超(1983-), 男, 工程师, 研究生, 从事现代信息理论在电力系统自动化中的应用研究; E-mail: caudy@126.com

何林海(1968-), 男, 高级工程师, 大学, 从事电力系统设计工作及电力系统继电保护等方面的研究;

崔晓云(1968-), 女, 高级工程师, 大学, 从事输配电网设计工作及变电所综合自动化等方面的研究。

(上接第 110 页 continued from page 110)

法,以便具体工作中借鉴和运用,有效提高系统运行稳定性,提高供电安全性和可靠性。

### 参考文献

- [1] 于丽敏, 徐其军, 李京. WGYC-1A 型微机式过压过激磁保护特性分析[J]. 东北电力技术, 2002(7): 48-50. YU Li-min, XU Qi-jun, LI Jing. Features Analysis on WGYC-1A Type Microcomputer Overvoltage & Overexcitation Protection[J]. Northeast Electric Power Technology, 2002(7): 48-50.
- [2] 李向宏. 发变组过激磁问题探讨[J]. 山西电力技术, 1999, (6): 23, 59. LI Xiang-hong. Over-Excitation Study of Generator-Transformer Unit[J]. Shanxi Electric Power, 1999, 89(6): 23, 59.
- [3] 耿毅. 工业企业供电[M]. 北京: 冶金工业出版社,

1985.

- [4] 解广润. 电力系统过电压[M]. 北京: 水利电力出版社, 1991.
- [5] 华田生. 发电厂和变电所电气设备运行[M]. 北京: 中国电力出版社, 2000.

收稿日期: 2009-02-16; 修回日期: 2009-04-07

作者简介:

刘春玲(1980-), 女, 研究生, 从事电力系统高压试验工作, 研究方向为高压直流输电; E-mail: belling2004@sohu.com

耿卫星(1976-), 男, 研究生, 从事电力系统继电保护工作, 研究方向为电力系统稳定与控制;

刘建武(1982-), 男, 本科, 从事变电站电气设计工作, 研究方向为高压直流输电。