

[母线]

10 kV母线谐振过电压事故分析及预防措施

文/广东电网有限责任公司东莞洪梅供电分局 禤志哲

当前，在电力网络运行中，谐振过电压事故时有发生，对电气设备、电力系统的正常运行及电力系统的供电质量造成了严重影响。结合某变电站10 kV母线谐振过电压事故进行了分析，提出了预防谐振过电压事故的措施。

某110 kV变电站是在原35 kV变电站的基础上通过升压改造、并具有无人值班特性的变电站。按电站设计要求，该站共有110 kV出线4回，35 kV出线6回，10 kV出线16回。该变电站自2015年投

运以来，10 kV系统多次发生谐振过电压现象。最严重的一次造成10 kV电压互感器严重烧损，引起母线三相短路故障，导致该段母线退出运行10 h。该站的站内电气一次接线如下图所示。

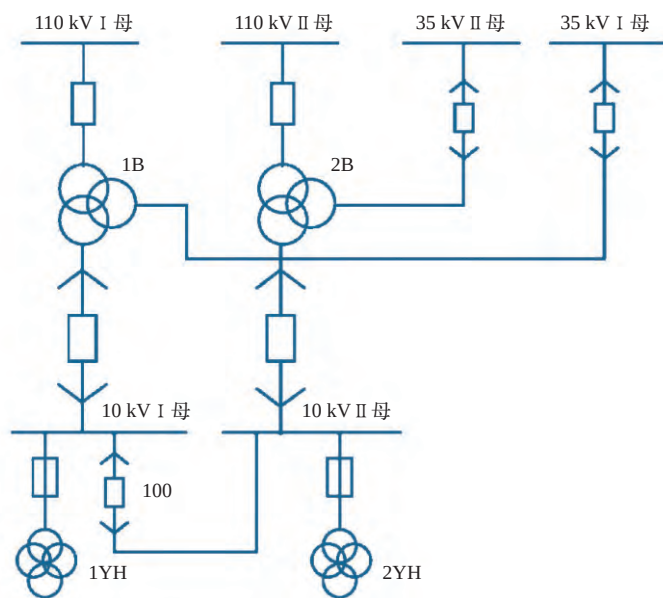


图 站内电气一次接线示意图

事故经过

2014年8月18日下午3点14分，电力系统中的监控装置持续3次发出告警动作并报告复位信息，说明 I 母消谐装置存在问题，因此值班人员重点监视

了10 kV的电压运行情况，并发现三相电压有异常现象。首先是A相的电压突然降低，而其他两相电压升高，运行一段时间后，B相的电压变得最低，其他两相电压升高，具体的数值变化如下表所示。

表 谐振发生时10 kV系统电压幅值表

时间	10 kV I 母电压/kV			10 kV II 母电压/kV		
	A相	B相	C相	A相	B相	C相
15:15	1.576	9.105	10.371	1.213	9.393	9.984
15:20	6.662	3.891	9.949	6.094	4.412	9.732
15:25	6.703	3.961	9.896	6.135	4.488	9.674
15:30	6.697	3.943	9.926	6.123	4.471	9.703
15:35	6.686	3.995	9.955	6.105	4.477	9.727
15:40	0	0	0	6.076	6.029	0.27

15时38分，该站1号主变1B低后备复压过电流 I、II 段保护动作，10 kV 电压的母联断路器 I 段的进线开关处发生事故跳闸。变电站维修人员马上赶到事故现场，发现10 kV 高压室、中央控制室完全被浓烟笼罩，将其通风10 min后，维修人员进入到高压室内部检查电气设备，其中 I 母 YH 间隔被完全烧毁、高压柜的释压顶盖掉落，后柜门出现严重的变形，101与100开关处于分位，II 母电压互感装置C相熔丝熔断，A相和B相正常，10 kV I 母全部失压。1号变电器主要的保护装置有 I 段、II 段的复压过电流后备动作信号，A相、B相、C相均出现故障，其中A相电流二次值（TA变流比为4 000/5）为14.78 A、B相电流二次值为10.38 A、C相电流二次值为15.23 A，除母线PT断开外，I 段各出线保护没有其他信息。

按照相关的调度制度，维修人员立即对10 kV I 母电气设备做深层次的检查，将10 kV II 母 YH 转检修更换一次侧熔断器。

17时12分，已更换 II 母电压互感装置C相的一次保险，电压已显示恢复正常。

维修工作人员经过仔细检查后，确定10 kV I 母 YH 动静触头、手车套管和刀开关已完全烧毁，不能修复，因此，工作人员马上拆除连接 YH 静触头与母线的母排，以隔离故障点，并全面检查10 kV I 母每一出线开关，并进行机械特性与电气试验。重新清扫被隔离的10 kV I 母，除尘后进行耐压与绝缘两个试验，确保母线与带出线的绝缘性能，将10 kV I 母再次投入使用。

时间：晚上11点59分，运行101开关，10 kV I 母电压正常，第二天凌晨0点过3分，运行100开关，并将10 kV 电压互感装置二次并列，10 kV I 母、II 母均显示恢复正常，凌晨1点，10 kV I 母所带出线完全恢复运行。

出现故障原因

发生故障时，本变电站10 kV、35 kV、110 kV 的运行方式均为单母分段，从表1的数值可知，

开始10 kV I 母A相的电压值骤降到1.5 kV，而B相、C相电压值升高到接近系统的相间电压值，约10 kV，说明该系统出现瞬间单相接地问题，属于常见的故障之一。因变电站所处位置为人口聚居的乡镇，10 kV 母线的出线较多，每个出线的周边环境较为复杂，且负荷用户较多，提升瞬间单相接地问题的发生概率。当A相接地后，系统的接地故障将会在短时间内消失。

10 kV A相、B相、C相母线均已安装电磁电压互感装置，该装置的一次侧中性点在安装时也直接接地，因装置属于带铁心形式的电感构件，所以系统发生间歇性接地问题、瞬间单相接地问题时，可在短时间内消失。系统的扰动可引发电磁电压互感装置出现相应的饱和程度，当达到一定数值后，装置本身的励磁感抗性能将会变小，在这种时候，如果励磁感抗与系统中的对地容抗相匹配的话，很有可能形成单相或者三相的共振回路，导致出现谐振过电压，通常被称之为铁磁式谐振过电压。

铁磁式谐振过电压出现在10 kV 电网（中性点未直接接地）的系统中时，须同时具备以下条件。

首先，电网系统中有谐振的激发因素，如间歇性接地问题、电压出现扰动等；其次，励磁感抗与对地容抗比值刚好匹配。

电力系统中中性点未接地时，受到励磁本身特性的影响，在电力系统稳定运行的过程中，励磁感抗值远超过对地容抗值，因此无法形成谐振。但电力系统出现电压波动时，电磁式电压互感装置的铁芯处于饱和状态，会降低励磁感抗值，使得励磁感抗值与对地容抗值相近，进而出现谐振过电压，且该种现象更容易出现在激磁性能不好的电压互感装置、电力系统单相接地中。

电网系统中性点不接地的情况下，受到互感装置、对地电容和参数不同的影响，将会出现以下3种铁磁共振情况，即分频谐波、基波和高次谐波，产生基波共振的情况时，通常会发生电力系统一相电压骤然降低、其他两相电压升高的情况，此时电力系统中的中性点电压数值比相电压数值略高。同时，出现基波谐振时，中性点会位移至三角形外，三相电压的稳态数值存在明显的不对称，对地电压数值最高值可达到相电压数值的3.5倍。基波谐振的持续时间较长，其也对电压互感装置等电气设备的绝缘性、耐受力提出了更高要求。

从表1中记录的数据与相关录波曲线图的分析可知,当单相对地闪络出现在A相后,在接下来的20 min中,B相的电压数值突然降到3.9 kV,而其他两相电压值升高,特别是C相。工作人员在检查事故原因时发现,电网系统本身的绝缘性能较好,从以上分析可知,在短短的20 min中,系统在持续产生基波谐振,一直到烧毁了I段母线中的电压互感装置,引发三相短路,1号主变压器继电保护设备动作出口,隔离故障。此外,该系统中的谐波C相的电压数值最高,因此,C相的过励磁现象最为严重,从而熔断了一次熔丝。

10 kV母线谐振过电压事故预防方式

10 kV电力系统是当前供电系统中重要组成部分,其运行方式为中性点未接地,电力系统的参数、容量变化空间大、结构复杂,且电压互感器本身具备非线性、容易饱和等方面特性,随着电网系统运行方式、参数等因素的变化,励磁感抗数值与对地容抗数值极易匹配,进而引起谐振过电压,且该现象持续时间长,如果没有及时消除,会造成电压互感器烧毁的问题,从而严重威胁到电网系统的安全。

本变电站在设计前,也考虑到消除、抑制谐振过电压的预防措施,比如将KSX196-HA型消谐设备安装在三角形的回路处,其主要的原理为循环检测三角形回路的电压值,当电压数值小于30 V时,说明电力系统的设备均处于稳定工作的状态,而电压数值超过30 V时,消谐装置将会发出警告,说明电力系统出现问题。并借助滤波、监测、放大等处理技术,重新分析、整理、计算电压数据,在判断出系统本身的故障问题后,再发出对应的指示。当判断为铁磁谐振故障时,装置CPU会马上启动消谐电路,导通晶闸管,使得铁磁谐振处于强大阻尼下而消除。

在实际系统运行过程中,10 kV母线的电压互感装置开口三角处安装接地监视装置,通常 $3U_0$ 须大于15 V,因此会延长时间发出告警信号,而系统中KSX196-HA型消谐设备的启动门槛 $3U_0$ 自动设置在30 V,数值过高,会降低消谐装置的灵敏度。

结合本变电站电气设备的运行情况,为防止出现10 kV系统谐振过电压事故,应贯彻实施“消除”“预防”的理念,并基于变电站整体角度,统筹治理。

1) 选择电磁式电压互感装置时,应注重其励

磁性能,主要包括两方面。励磁性能的一致性与量值,基于一致性的角度分析,应科学配组三相互感装置,从而确保三相电压等特性的协调性;基于量值的角度分析,工作人员可适当调整装置内部铁心的布置方式,减少其出现饱和的次数,从而避免谐振过电压事故。根据《国家电网公司十八项电网重大反事故措施》可知,变压器应在1.9 V电压下,铁心仍不饱和。

2) 选择电力系统的二次消谐设备时,应注意其安装程序的方便性、消谐反应的快速性、抗干扰能力等方面的因素。在传统的电力系统中,通常都会使用电压互感装置开口三角、白炽灯的方式,通过该种方式消除电容或者电感中的能量,以此破坏形成谐振产生条件。为进一步规范电力系统的生产管理,提升系统的安全性,当前大多数的变电站都开始使用具有多种功能的消谐设备,在实际运用过程中,消谐设备的生产厂、型号和种类较多,工作人员应结合变电站实际情况,选择最恰当的消谐设备。

3) 在系统中设置消弧线圈,变电站采用接地变压器。该变压器为系统中未接地的中性点提供临时中性点,再借助消弧线圈使其接地,以此形成系统全面的接地保护。如果出现单相接地问题时,该接地保护出现的感性电流会补偿接地的电容电流,从而消除接地点电弧,避免发生铁磁式谐振过电压。

4) 做好临时倒闸工作,包括隔离目前全部的电容器、投入系统预先规定的电气设备或线路、向总调度室申请,切除电力系统中馈线较长的部分,以此改变原本电力系统的参数,使其无法形成谐振产生的条件。

结束语

总之,如果谐振过电压的故障出现时间过长,不仅会直接影响到电气设备与电力系统的顺利运行,更会降低供电过程的可靠性与稳定性。基于此,相关维修人员必须全面分析事故原因,结合事故的结果和电力系统的实际情况,采取针对性措施,最大程度上降低谐振过电压故障的出现机率。同时,本文中的变电站在贯彻实施预防措施后,经过实践证明,其谐振过电压故障已经没有出现,从而提升了系统整体运行质量和效率。EA

(收稿日期:2016.12.10)

(编辑:刘群点)