

「发电机」

发电机定子接地保护动作和出口电压互感器故障分析

文/上海电气工程设计有限公司 周 琼

基于印度某电厂发电机定子接地保护动作及发电机出口电压互感器的损坏现象，对故障进行诊断，分析了故障产生的原因，提出了铁磁谐振的消除措施，最终采用微机消谐装置使问题得到了圆满解决。

故障情况

2017年4月12日印度某火电厂（2×300 MW）现场电气保护触发了发电机95%定子接地故障保护误动故障。该电厂是我公司作为BTG承包商参与承建，发电机及发电机保护装置均由我公司负责设计并供货。现场保护动作后，经印方相关人员检查发现，发电机定子绝缘正常，保护二次回路定值和动作逻辑均符合要求，但发电机出口一个电压互感器外壳出现了迸裂。该发电机出口电压互感器采用的是国产JDZX3—20型号的电磁式电压互感器。由于该电气保护误动故障，严重影响电气设备的安全和机组稳定的运行。对于如何避免该类故障的重复发生，提高机组运行的可靠性已成为亟待解决的问题。

电压互感器参数及故障设备照片

因本故障发生而造成迸裂的电压互感器，其二次侧带有开口三角绕组，详细的规格参数如下表所示。

表 电压互感器的规格参数

电磁式电压互感器	JDZX3—20
	24/75/150 kV
	$20/\sqrt{3}/0.11/\sqrt{3}/0.11/\sqrt{3}/0.11/3$ kV
	0.5/3P/3P, 60 VA

印方人员将出现迸裂的电压互感器从现场拆下

来并拍照传给我司（如图1所示），并要求我司对此故障现象进行分析并采取有效可行的应对措施。



图1 外壳出现迸裂的电压互感器

故障原因分析

从图1设备照片可清晰地看出表面的裂痕，从该表面现象初步分析判断引起此次发电机定子接地保护误动故障的原因可能有以下两个方面：

1) 铁磁谐振引起的故障。在中性点非直接接地系统中，当系统运行状态发生突变时，电磁式电压互感器有可能发生铁磁谐振。高压侧的铁磁谐振使得电压互感器承受了超过标准的过电压，铁心迅速饱和，流过电压互感器一次绕组的电流很大，从而导致绕组绝缘过热，最终发生爆裂。

2) 电压互感器二次侧发生短路，而二次侧的保险未及时动作，导致高压熔断器的熔断和电压互感器的损坏。

从现场反馈的情况知,电压互感器一次侧熔丝并未熔断,因此可排除故障发生的第二种原因。由此可推断故障引发的原因应为第一种,即铁磁谐振触发了电气保护误动,并造成了电压互感器的迸裂。而电磁式电压互感器引起的铁磁谐振过电压是中性点不接地系统中最常见且造成事故最多的一种内部过电压,严重地影响供电安全,必须予以重视。

电磁式电压互感器铁磁谐振产生的原因及危害

铁磁谐振的发生一般应具备三个条件。一是电磁式电压互感器的非线性效应,这是产生铁磁谐振的主要原因。二是电压互感器非线性电感要相当大,感抗和容抗的参数匹配要在谐振范围内。三是要有一定的外部激发条件,即系统有某种电压、电流的冲击扰动,如跳、合闸,瞬间短路等。

发电机出口电压互感器二次回路连接有测量回路、保护回路、计量回路、仪表装置回路的电压绕组等负载,是高阻抗回路,二次电流很小,因此电压互感器工作状态相当于空载运行的变压器,实际上就是一种只降电压的被限定结构和使用形式的特殊变压器。正常运行时,电压互感器开口三角的电压($3U_0$)理论上为0 V,在实际中一般也不超过10 V。当系统受到一定的激发条件诸如发生瞬时接地故障等现象时, $3U_0$ 将会迅速升高,当 $3U_0$ 不断升高到一定值时就会形成过电压。当系统上电时,由于电压互感器三相绕组承受电压不同,会在电压互感器中产生很大的谐波电流,导致互感器内部铁心饱和,饱和后的电压互感器励磁电感变小,使二次侧的波形发生畸变。当畸变足够大时,当畸变使得电压互感器的感抗等于容抗时就会形成铁磁谐振。在形成的谐波含量中,三分频(17 Hz),二频(25 Hz),三倍频(150 Hz)三种谐波的成分比重比较大,其他的分量相对很小,一般可忽略。

铁磁谐振产生的过电流或过电压都有可能造成互感器的损坏,特别是发生低频谐振时,电压互感器相应的励磁阻抗大为降低,最终导致铁心饱和,励磁电流急剧增大,轻者使电磁式电压互感器的高压熔断器熔断、发生匝间短路或爆炸;重者则发生避雷器爆炸、相间短路、保护装置误动作等严重威胁供电系统和电气设备安全稳定运

行的事故。而且谐振具有稳定性,若不采取措施消除就会持续存在。

铁磁谐振的消除措施及故障处理

在中性点不接地系统中,电磁式电压互感器与母线或线路对地电容形成的回路在一定激发条件下可能发生铁磁谐振而产生过电压和过电流,使电压互感器损坏。想要消除铁磁谐振,就必须破坏谐振条件,保证系统的容性阻抗不能等于感性阻抗。工程应用中可采用的消除措施包括在电压互感器开口三角或互感器中性点与地之间装设专用的消谐器,亦可选用三相防谐振电压互感器,抑或在电压互感器开口三角端子上接入电阻或白炽灯泡等方法,进行强制性地破坏谐振条件。

微机消谐装置是放在电压互感器的二次侧开口三角绕组上(所以也叫二次消谐)用于消除铁磁谐振的仪器。其本质是一种高容量非线性电阻器,起到消耗能量、阻尼和抑制谐振的作用,同时电磁式电压互感器一次绕组涌流也将得到有效抑制,高压熔丝不再因为这种涌流而熔断。它与一次消谐器的区别在于微机消谐是一个消谐仪器,具有分析、记录、打印、上传等功能,能够消除工频、三倍频、二频、三分频等频率谐振,因而能够避免由于铁磁谐振而时常发生的电压互感器烧毁甚至爆炸的恶性事故。

经与电压互感器厂家核实,最终对本电厂故障采取的应对措施是采用在电压互感器开口三角加装WXZ微机消谐装置。该装置能够实时显示系统时钟及电压互感器开口三角电压四种频率的电压分量,可以区分过电压、铁磁谐振及单相接地故障。并且装置能够实时监测电压互感器开口三角电压,运用DFT算法计算出零序电压四种频率的电压分量。WXZ微机消谐装置的突出特点是其增加了压敏元件,压敏元件的电抗随谐波电压而变化,从而破坏电压互感器铁磁谐振的产生条件。达到了实时在线消除运行过程中瞬态谐振的目的,极大地降低了谐振产生的可能性。如压敏元件未能完全消除电压互感器产生的铁磁谐振,则瞬间启动大功率消谐元件予以消除(消谐装置原理图如图2所示,各圆圈内数字代表装置端子排)。

WXZ消谐装置在消谐过程中,使用了最优决策算法寻找合理的消除点。因为谐波电压中三分频17 Hz,二频25 Hz,三倍频150 Hz谐波分量叠加在工频50 Hz的基波上,将使基波波形发生严

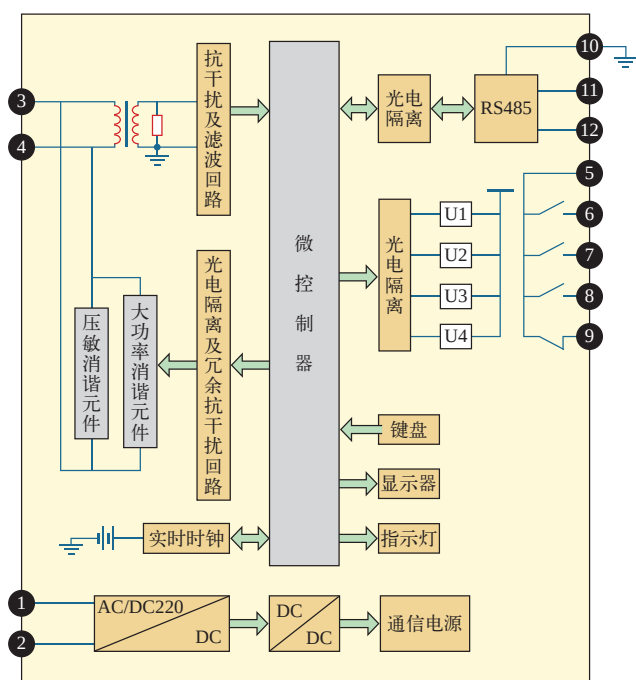


图2 消谐装置原理方框图

重畸变，在消谐元件出口消谐时，如不区分具体的消除点，就很容易造成电压互感器运行的不安全。所以装置能够根据最优决策理论找出合理的消除点（如图3所示），这样既可以消除谐振，又能保证基波不受或少受影响。

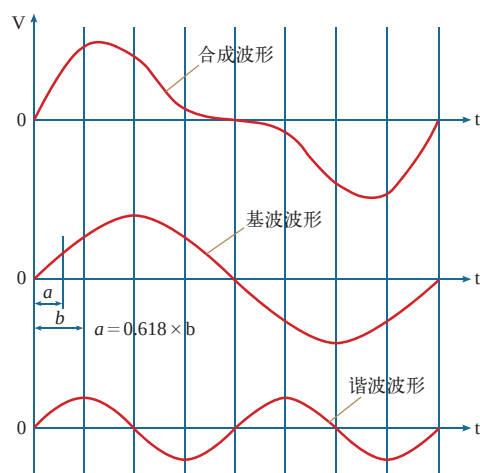


图3 消谐选点示意图

结束语

通过对发电机定子接地保护误动作和发电机出口电磁式电压互感器外壳崩裂的故障现象进行分析，最终采用在发电机出口电压互感器开口三角绕组处加装WXZ微机消谐装置的方法来破坏谐振条件以达到抑制谐振的目的，使故障得到了圆满解决。工程项目中一定要注意考虑采取一定的消谐措施，因为铁磁谐振一旦发生将会影响系统供电安全和电气设备的稳定运行。EA

（收稿日期：2018.03.30）

（编辑：白文亭）

FRABA集团用强劲的财务表现及市场增长庆祝集团成立100周年



Christian Leiser
FRABA集团的大股东和首席执行官

2018年5月，FRABA集团迎来了其成立100周年，在过去的一年中集团的销售额和盈利能力显著增长。集团2017财年（截止12月31日）销售额相比上年同期增长21.5%，全部销售收入约三千一百五十万欧元。增长主要来自于集团旗下两个产品导向业务单元的强劲表现：POSITAL（工业位置/运动传感器）和VITECTOR（大型电动门的安全/保安系统）。

“我们的成功得益于努力的工作以及精心的计划安排”FRABA集团CEO及主要持股人Christian Leiser评价。“创新型产品，例如我们的高分辨率IXARC磁性旋转编码器以及电机反馈KIT编码器已成功被市场广为接受。”Leiser补充道：“我们在德国亚琛的研发中心在开发新型磁性编码器信号处理算法取得的重大进展，以及对我们韦根线圈能量收集技术性能的持续提升将是我们未来成功的重要基石。”

同时VITECTOR业务，尤其在北美地区，也经历了显著的增长。但增长最快的领域是在紧凑型韦根产品的生产上。在2017年，这些‘微型发电厂’（其能够将旋转运动通过磁性过程转换成电能）产量翻倍。FRABA集团是目前全球唯一的韦根导线生产商，并将该技术用于其多圈编码器的自供电计数器模块。同时FRABA集团也提供适用于表面贴装的韦根传感器封装，用于气体和液体的流量计计数。韦根传感器通过能量收集能力能够去除原先设备对于外部电源或者电池的需求。目前有超过500 000台基于韦根的产品正在全球使用。