

大型电机局部放电在线监测的方法研究

崔东君, 刘念

(四川大学电气信息学院, 四川 成都 610065)

摘要:大型电机在电力系统各个生产部门起着关键的作用。而局部放电是发生在电机定子绕组上的常见故障,会造成绝缘的劣化,最终导致绝缘的击穿和短路事故。对局部放电的监测方法进行了整体概述,具体介绍了几种常用的在线监测局部放电的方法:成对耦合器监测法、中线射频监测法、定子槽耦合器监测法、引出线上耦合器监测法,同时介绍了各种方法的传感器设置,噪声的抑制情况。

关键词:局部放电;在线监测;大型电机

Abstract: Large-scale electrical machine plays a key role in power system and each production department. Partial discharge is one of the common failures of stator winding and it can lead to deterioration of the insulation, resulting in insulation breakdown and short circuit. The methods of partial discharge monitoring are described. Five commonly used methods in online partial discharge monitoring of electrical machine are introduced. At the same time, the sensor establishment for each partial discharge monitoring method and the situation of the noise suppression are introduced too.

Key words: partial discharge; online monitoring; large-scale electrical machine

中图分类号: TM930.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1003-6954(2009)05-0050-04

由于大型电机的定子绝缘结构工艺流程长,在制造中不可避免地形成一些空穴。这些绝缘结构被安装在电机定子结构中的不同位置,在电机运行过程中,这些定子绝缘结构在电压、热应力及环境等因素的综合作用下势必会产生放电。电机损坏事故,有相当一部分是电机定子绕组绝缘损坏引起的,而定子绕组绝缘的损坏则很多是由于局部放电造成的,所以对检测到的局部放电进行有效的分析,从而判定绝缘状态,以免造成严重的后果。

通过对大型电机局部放电的监测,可以提高电机的运行效率,逐步由“计划检修”向“状态检修”过渡,大大提高了电机安全、稳定运行水平。

1 局部放电的原因及放电类型

1.1 局部放电的原因

大型电机定子绝缘材料主要是沥青云母或者是环氧云母。由于绝缘材料是充填和浇注的,会不同程度地包含一些杂质、水分、小气泡等异物,所以不可避免地会形成一些空穴,它们由不同或相同材料层组成,层间经常会有一些小的滑动,可能有的地方绝缘与导体粘着不牢,或者定子绕组中预先经过绝缘处理的导条在槽中放置不当,或者可能槽楔松动了,或者

负载下的电磁力将造成微小的移动,擦掉了线圈在槽内部分的漆。长期受热、电、机械应力及环境影响,绝缘中这些薄弱环节在局部场强作用下,空穴内产生局部放电,这样最终导致绝缘击穿,引起电机损坏^[1]。

1.2 局部放电的类型

大型电机定子主绝缘局部放电可以归纳为三种类型:内部放电、端部放电、槽间放电。

(1) 内部放电:内部放电可以发生在绝缘层中间、绝缘层与线棒导体间或绝缘层和防晕层的气隙或气泡中。电机线棒在制造过程中由于工艺上的原因不可避免地会存在微小的气隙,而且电机在运行过程中由于温度、冷热循环及其他原因使这些气隙在纵向方向上逐渐扩大,尤其是主绝缘的许多气隙,常常连成一片,形成所谓脱壳。在这些气隙内部,在强电场的作用下,当工作电压达到气隙的起始放电电压时,就会发生局部放电。由于局部放电的热效应、化学效应以及带电粒子的高速碰撞都会使绝缘层表面侵蚀或使表面绝缘损坏,使绝缘的有效厚度降低,绝缘的电气强度降低,最后导致匝间绝缘或主绝缘的击穿。

(2) 端部放电:大型电机的端部很容易发生局部放电,在很多绝缘事故中,端部放电的比重很高。电机绕组端部的出槽口处属于套管型绝缘结构,一般要采取防止电晕放电的措施,即分段涂刷半导体防晕

层。在实际运行中,由于电机的端部振动、振动引起的固定部件的松动、槽口机械应力集中等原因会使防晕层部分脱落,从而使端部发生局部放电。端部放电比内部放电更剧烈,破坏作用更大,甚至可能发生更为危险的滑闪放电。

(3) 槽间放电:在电机的运行过程中,由于铁芯的振动,导致线棒的固定部件如槽楔、垫条的松动和防晕层的损害。线棒和铁芯接触点过热造成的应力作用,会损伤防晕层。由于这些原因使得定子线棒的低阻层和槽壁或槽底接触不紧密而存在气隙,从而产生高能量的电容性放电。槽间放电就是发生在线棒防晕层和槽壁或槽底之间的放电,放电形式可能是电晕放电、火花放电甚至是电弧放电^[2]。

2 局部放电的监测方法

由于制造工艺的限制,电机在运行中可以存在一定量的局部放电现象,当局部放电的幅值超过一定的限度,就会损坏电机的绝缘系统。电机的绝缘系统从发生异常的局部放电到最终的绝缘系统破坏要经过数月,甚至一年的时间。适时监测出局部放电的异常,及时安排维修,可以延长电机的使用寿命。

局部放电的监测可以分为离线监测和在线监测两大类。以前都是在离线的情况下监测局部放电,为能够准确测出各种电机的局部放电现象,需要花费很大的精力设计实验电路。20 世纪 50 年代,国外学者开始对在线监测进行研究,并取得了一定的成果。主要的在线监测方法有以下几种。

2.1 成对耦合器监测法

这种方法是在电机定子绕组上安装高压耦合电容器,每相各有一对耦合电容器,并将耦合器安装在电机各相汇流环的合适位置上,用以消除来自电机外部的干扰。假设一个来自电机外部的干扰脉冲,从某一相的接线端进入,如图 1(a)所示,这时干扰脉冲将分成两路,分别沿该相的汇流环两边传送至两个耦合电容器,若汇流环两边等长,而且由这两个耦合电容器联接到电机外部的局部放电分析仪的同轴电缆线也等长,这样干扰脉冲沿该相汇流环两边通过耦合电容器和同轴电缆传送至电机外部监测点时的信号是相同的,这两路相同的脉冲信号送入局部放电分析仪前级的高速差动放大器后,其结果是输出为零,即来自电机外部的干扰脉冲将不产生输出。另一方面,发

生在电机内部的局部放电脉冲,例如如图 1(b)中的靠近 A 处局部放电脉冲将使差动放大器产生非零输出,因为靠近 A 处的局部放电脉冲很快被 A 处的耦合器监测到并先送到差动放大器的正输入端,而局部放电脉冲沿汇流环要经一定时间才被另一耦合器监测到并后送到差动放大器的负输入端,于是差动放大器会有输出电压。

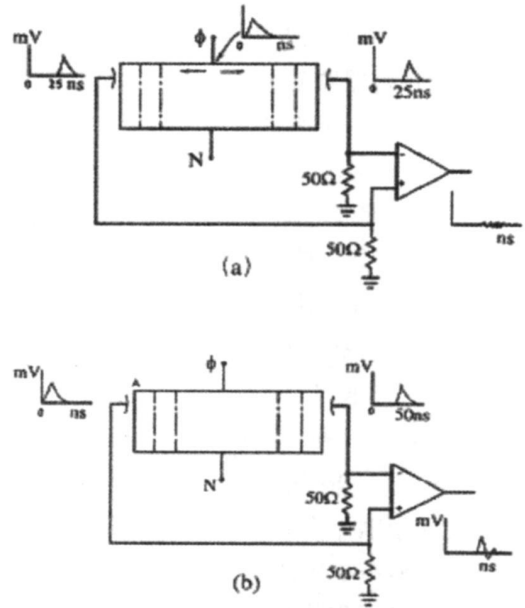


图 1 成对耦合电容器监测原理图

这种监测法适用于水轮发电机,因水轮发电机相对体积大,便于耦合器安装,汇流环母线相对较长,使得有可能识别出局部放电脉冲传播时间的差别。此法是以成对耦合器上的两并联支路完全对称来消除干扰的,实际上使两支路参数完全对称是很难的,因此应尽可能减少这种不对称或采用延时线进行补偿,以提高抑制干扰的能力^[3]。

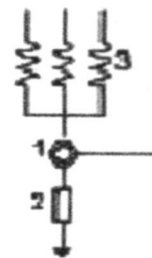


图 2 中线 RF 监测原理图

2.2 中线射频监测法

该方法是通过高频电流传感器、罗科夫斯基线圈或 RC 阻容高通滤波器来监测电机中性点上电弧的高频信号,以发现定子线圈内部放电现象(图 2)。目前已在多台发电机和大型高速电机上采用,取得了较

好的效果。由于大型电机运行时具有相当强的背景噪声,而且其励磁绕组滑环上、轴接地电刷或电机高压母线上也会产生电弧,通过电磁干扰产生假局部放电信号。所以必须采用较高精度的消除或抑制干扰信号的技术。

这种监测法的优点是中性线对地电位低,传感器制作与安装相对容易;缺点是对信号处理技术要求较高。必须采用较高精度的消除或抑制干扰信号的技术和局部放电信号识别方法^[4]。

2.3 定子槽耦合器监测法

不同的电机有不同种类的噪声干扰。有些来自电机外部,有些则来自内部。为了能使大型汽轮发电机有效地检测到局部放电脉冲,Stone G. C. 等人提出了在定子槽内安装耦合器的办法。这种定子槽耦合器(SSC)是一种用于检测局部放电信号的“天线”,它装在靠近相端的定子槽的槽楔下面,如图 3 所示。每个 SSC 大约是 50 cm 长、1.7 mm 厚,与定子槽等宽,其材料为环氧玻璃层压薄板。薄板的上平面固定一根检测线,其两端各接有一根输出同轴电缆;薄板的下平面为接地面。定子槽耦合器在频率从 10~1 000 MHz 范围内有相当好的频率响应,因此它能检测出沿定子槽的任何高频信号的真实脉冲波形,每台电机通常装 6 个 SSC。

定子槽耦合器的重要特点是对局部放电和电噪声能产生不同的脉冲响应。理论研究与实际测量表明,定子绕组产生的局部放电脉冲宽度明显小于噪声脉冲的宽度,这是因为噪声经绕组传播时定子绕组起自然滤波作用的结果。脉冲宽度的差别很容易把定子局部放电和所有的噪声区别开来。大约 150 台发电机与重要的电动机(如核反应堆的冷却泵用电动机)已经装有这种 SSC。

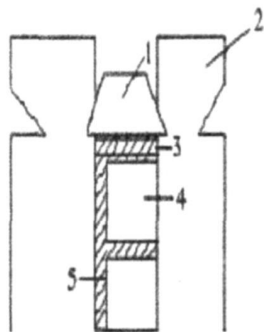


图 3 定子槽安装耦合器方法

这种方法适用于大型汽轮发电机的监测,其优点

是便于把局部放电和所有噪声区别开来;但此法要求在电机内部槽楔下面埋设特制的 SSC,故在耦合器的制作与埋设上所付代价较大。

2.4 引出线上耦合器监测法

这种方法是把每相两个耦合器(每台电机装 6 个耦合器)安装在电机接线端与电源引线上,如图 4 所示,靠近电机的耦合器记为 N,远离电机的耦合器记为 F。这种耦合器一般采用高压耦合电容器(80 pF, 15 kV),两个耦合器之间至少相距 2 m。而在电机监测中,有时是采用高频电流互感器。

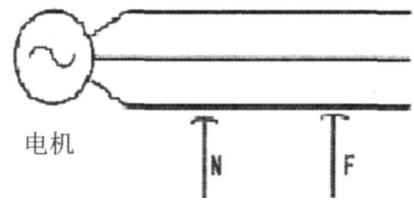


图 4 电机引出线一相所装的耦合器

由图 4 可以看出,当定子绕组产生局部放电脉冲时,耦合器 N 先检测到局部放电信号,经过一定延时后,耦合器 F 才检测到局部放电信号;反之,来自电机外部的噪声,则耦合器 F 比耦合器 N 先检测到。因此,根据装于同一相上的哪一个耦合器先检测到脉冲信号,就能区别是定子的局部放电还是外部噪声。这种方法已应用于大约 500 台电机上^[5]。

在实际应用中耦合器 N 通常装在电机的出线端的接线盒内,耦合器 F 则装在开关柜内或 TV 箱内。而对于高压电动机耦合器 F 有时就不装了,即每相只装一个耦合器 N 于出线端盒内,因为多数电动机与开关柜之间的电缆线很长,长电缆线对电机外部噪声起到了滤波的作用。当然,如果外部噪声太强,对监测还是有影响。

这种监测方法适用于高压电动机、水轮发电机、同步调相机和容量较小的汽轮发电机,也就是说适用于那些噪声源于外部的高压电机。此法优点是耦合器不用安装在电机内部,局部放电信号与外部噪声信号便于区别;缺点是不便识别源于电机内部的噪声,因此不适用于大型汽轮发电机的监测。

3 结 论

(1) 电机中的局部放电是由于绝缘材料中的空穴在局部场强的作用下产生的,电机局部放电分为三种类型:内部放电、端部放电、槽间放电。

(2) 电机局部放电在线监测与常规的离线绝缘测试相比, 具有方便、灵敏、有效、无损伤的优点, 能尽早发现电机绝缘内部故障, 有利于有计划、合理地安排维修, 因此局部放电在线监测是诊断大型电机定子绕组绝缘故障、进行大型电机预知维修的有效方法。

(3) 根据电机的特点选择适合的在线监测局部放电的方法, 监测的关键在于把局部放电信号与噪声信号区别开来, 尽可能地把噪声抑制或消除。这涉及到两个方面: 一是耦合器 (或传感器) 的研制与设置, 要有利于局部放电信号的提取, 便于区分和消除噪声; 二是信号的处理, 首先是分离与消除噪声, 然后对局部放电信号作进一步处理, 对定子绕组绝缘状况做出诊断。

参考文献

[1] 王旭红. 高压电机的局部放电及其在线监测方法 [J].

长沙电力学院学报 (自然科学版), 2002, 17(1): 23—25.

[2] 李武峰. 大型发电机定子局部放电在线监测技术的研究 [D]. 华北电力大学硕士论文, 2002.

[3] 刘立生, 邱阿瑞. 高压电机局部放电在线监测方法 [J]. 电工电能新技术, 1999, (3): 23—27.

[4] 刘辉. 发电机定子绕组局部放电监测技术 [J]. 河北电力技术, 2007, 26(1): 8—9.

[5] 陈卓. 大型发电机定子绝缘局部放电在线监测的研究 [D]. 四川大学硕士学位论文, 2005.

作者简介:

崔东君 (1984—), 硕士生, 研究方向电力系统安全监控和故障诊断技术。

刘念 (1956—), 博士, 四川大学教授, 研究方向电力系统安全监控和故障诊断技术、过电压保护等。

(收稿日期: 2009—05—23)

(上接第 23 页)

(2) 安装 SVC 对川电外送能力的提高有一定作用, 但提高的程度对 SVC 安装地点不是特别敏感, 主要与总的安装容量有关, 根据仿真分析, 每 Mvar 的 SVC 约可提高外送功率 0.384 MW。

(3) 尖山 500 kV 站附近线路发生三相短路故障易引起特高压母线电压大幅度降落, 在成都环网上安装 SVC 对特高压无功电压能起到比较明显的作用, 其中以尖山、龙泉、蜀州加装 SVC 效果最好。另外, 在仿真中可以看出, 分散安装 SVC 的效果要优于集中安装。

参考文献

[1] M. Moghavvemi, M. O. Fenuque. Effects of FACTS Devices on Static Voltage Stability. ENCON Proceedings 2000, (2): 357—362.

[2] 吴国红, 贺家李, 余贻鑫, 等. FACTS 装设最佳设置点的选择指标 [J]. 电力系统自动化, 1998, 22(9): 57—60.

[3] 包黎昕, 段献忠, 陈峰, 等. SVC 和 TCSC 提高电压稳定性作用的动态分析 [J]. 电力系统自动化, 2001, 25(13): 21—25.

[4] 倪以信, 陈寿孙, 张宝霖, 等. 动态电力系统的理论和分析 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2002.

[5] 艾欣, 蔡国伟, 徐兴伟, 等. 伊敏—大庆 500kV 系统采用 SVC 提高稳定水平的研究 [J]. 电力系统自动化, 1997, 21(3): 54—57.

[6] 刘宪林, 王鑫. 单机—SVC—无穷大系统机电模式阻尼特性分析. 郑州大学学报 (工学版), 2007, 28(3): 87—90.

[7] 王海风, 李乃湖, 陈珩, 等. 静止无功补偿器阻尼电力系统振荡 [J]. 中国电机工程学报, 1996, 16(3): 190—195.

[8] 张鹏飞, 付红军, 鄢安河, 等. 应用 SVC 提高电网输电能力的研究 [J]. 电力设备, 2007, 8(3): 28—31.

[9] 高文建, 马世英. 动态无功补偿技术在西电东送通道中的应用研究 [J]. 广西电力, 2008, (4): 6—10.

(收稿日期: 2009—05—12)

欢迎订阅《四川电力技术》