

电机绝缘系统在高频冲击下局部放电试验研究

张生德^{1,2}, 汪双灿¹, 赵超²

(1. 上海电器科学研究院, 上海 200063;

2. 上海电机系统节能工程技术研究中心有限公司, 上海 200063)

摘要: 高频冲击局部放电(PD)测试可以有效的检测电机绝缘系统的绝缘状态。根据传感器的不同, 电机绝缘系统在高频冲击下 PD 测试方法主要有两种: 高频电流传感器法和超高频天线法。试验表明: 在高频冲击电压下, PD 主要发生在冲击的上升沿和下降沿, 在同一放电电压下, 上升沿和下降沿的 PD 幅值较大; 在风力发电机定子绝缘系统鉴别试验中, 随着老化试验的进行, 线圈的 PD 起始电压总体呈下降趋势。通过鉴别试验, 可以确定绝缘系统的冲击电压绝缘等级及类型。

关键词: 电机; 高频冲击电压; 局部放电; 绝缘系统

中图分类号: TM 305.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-6540(2018)02-0102-04

Study on the Test of Partial Discharge Under High Frequency Impulse Voltage for Motor Insulation System

ZHANG Shengde^{1,2}, WANG Shuangcan¹, ZHAO Chao²

(1. Shanghai Electrical Apparatus Research Institute, Shanghai 200063, China;

2. Shanghai Engineering Research Center of Motor System Energy Saving Co., Ltd., Shanghai 200063, China)

Abstract: The measurement of partial discharge (PD) under high frequency impulse voltage may be effective to check the insulation condition of the motor insulation system. Depending on the sensor, there were two methods of detecting PD under high frequency voltage for the motor insulation system: High-frequency Current Transducer and ultrahigh frequency antenna. The PD activities mainly occur in both pulse rising edge and falling edge under the impulse voltage. The amplitudes of PD in both rising edge and falling edge were higher under the same applied voltage. In the qualification test of stator insulation system of wind turbines, the PD inception voltages of the coil were decreasing with the aging test. the impulse voltage insulation class and type of stator insulation system are determined by the qualification test.

Key words: motor; high frequency impulse voltage; partial discharge; insulation system

0 引言

在电场作用下, 绝缘系统中导体间绝缘介质内部发生的局部击穿, 称之为局部放电 (Partial Discharge, PD)^[1]。绝缘系统中的电介质和承受的电场一般不均匀, 内部或表面会出现某些区域的击穿场强低于或者高于平均击穿场强的情况, 只要局部电场强度超过该区域电介质的击穿场强, 该区域就会出现 PD。PD 现象在电机绝缘系

统(尤其是高压电机)中非常普遍, 初始阶段一般不会引起整个绝缘系统的损坏, 但是长期持续的 PD 会逐渐腐蚀、损坏电介质, 使放电区域不断扩大, 最终有可能导致绝缘系统发生击穿, 造成绝缘系统失效。PD 测试不但能够了解电气设备的绝缘状况, 还能及时发现许多有关制造工艺与安装方面的问题, 确定绝缘故障原因及其严重程度。因此, 对电机的绝缘系统进行 PD 测试是电机生产和运行中的一项重要预防性试验^[2]。

* 基金项目: 上海张江国家自主创新示范区专项发展资金重点项目(201609-PT-C1085-002)

作者简介: 张生德(1964—), 男, 本科, 高级工程师, 研究方向为电气绝缘技术。

基于绝缘栅双极型晶闸管(IGBT)变频技术的变频电机因易起动、调速性能好、节能等优点在各领域广泛应用,与传统电机相比,变频电机受到频率高、上升时间短的冲击电压冲击,绝缘系统承受更严酷的电、热应力,容易导致过早失效。针对该问题,国际电工标准委员会(IEC)制定了 IEC 60034-18-41 和 IEC 60034-18-42 标准,规定变频电机在运行前必须对其绝缘系统进行鉴别试验(I型、II型),型式试验和认可试验;为了模拟实际情况,标准中采用测试工频或冲击电压下的局部放电起始电压(PDIV)和热、电加速老化等方法评估变频电机绝缘系统承受长期冲击电压的能力。本文依据 GB/T 23642—2009《电气绝缘材料和系统瞬时上升和重复冲击电压条件下的局部放电(PD)电气测量》(IEC/TS 61934)对高频冲击电压下的局部放电测试技术进行试验研究。

1 变频电机绝缘系统分类

采用变频器供电的电机绝缘系统,要承受变频器产生的具有陡上升沿的连续冲击电压,陡冲击不仅在电机端产生电压,而且还会引起电机定子绕组内部电压分布不均匀,甚至导致绕组内部产生局部放电,使得绝缘过早损坏。由于低压变频电机中可能存在由高频冲击引起的局部放电,常规绝缘系统评定方法不适应变频电机绝缘系统的评定,因此在 IEC 60034-18-41 和 IEC 60034-18-42 中将电压型变频器供电的旋转电机绝缘系统分成两类:I型,绝缘系统在预期寿命期间不受局部放电(PD);II型,绝缘系统在预期寿命期间可能承受局部放电(PD)。额定电压 700 V 及以下电机可能既有 I 型也有 II 型绕组绝缘,额定电压 700 V 以上电机通常为 II 型绕组绝缘。I 型绕组绝缘可采用散绕组及成型绕组,而 II 型绕组绝缘采用成型绕组,如图 1(a)和图 1(b)所示。

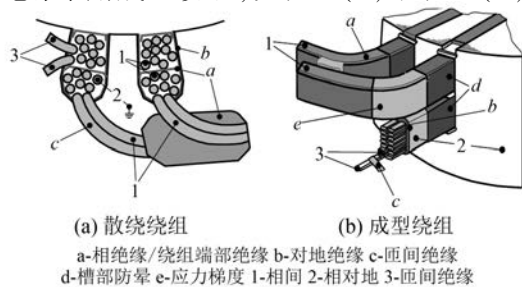


图1 变频电机绕组结构示意图

示^[3-4]。对 I 型和 II 型绕组绝缘系统,其评定规程也不同。

2 局部放电测试系统

根据传感器的不同,变频电机绝缘系统在冲击电压下的局部放电测试方法主要有两种:高频电流传感器法(HFCT)和超高频天线法(UHF)^[5]。HFCT法在应用过程中不能完全去除电源干扰,其适用于电压峰值较低且局部放电脉冲和电源干扰未发生重叠的局部放电检测,原理图如图2所示。UHF法具有较强的信噪比,局部放电脉冲能量主要集中在 400~1 000 MHz 频率范围内,通过频域滤波可以有效抑制冲击电源干扰^[6],原理图如图3所示。

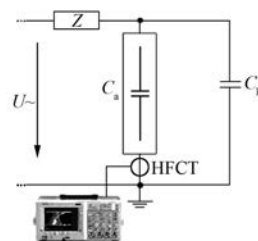


图2 高频电流传感器法(HFCT)

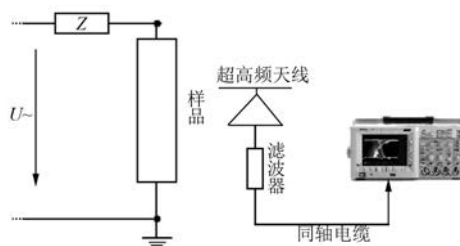


图3 超高频天线法(UHF)

3 试验

3.1 试验电源参数及典型波形

试验电源参数如表1所示,试验电源典型波形如图4所示。

3.2 电机 PDIV 测试

测试样品是三相异步电机(额定功率为 1.1 kW)整机,采用容性负载接线方式,由于试验电机的额定电压较低,用高频电流传感器法(HFCT)进行测试。冲击电压高压线接入电机,电机外壳接地,HFCT感应圈接入回路后连接示

表 1 试验电源参数

参数	要求
波形	对称方波
极性	双极
电压/kV	0~6
频率/kHz	1
冲击上升时间	100 ns±10%,负载时
冲击下降时间	100 ns±10%,负载时

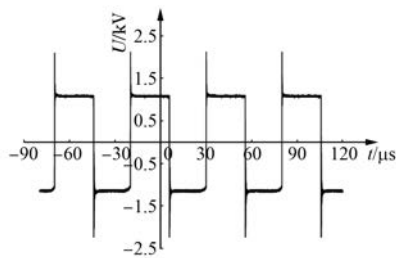


图 4 试验电源典型波形

波器,接线方式见图 5,PD 信号见图 6。在冲击电压下,PD 主要发生在冲击电压的上升沿和下降沿,测试结果如表 2 所示,W 相的测试结果偏低。

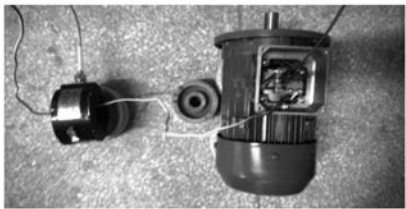


图 5 HFCT 接线

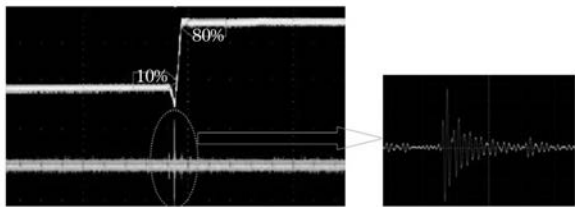


图 6 PD 信号

表 2 三相异步电机脉冲 PD 测试结果

相对地	PDIV/kV	相间	PDIV/kV
U_1 对地	2.60	U_1-V_1	2.30
V_1 对地	2.51	W_1-V_1	2.85
W_1 对地	2.20	U_1-W_1	2.25

注:表 2 中的 PDIV 数据为峰-峰值

3.3 漆包线绞线对 PD 测试

测试样品为线径 1.00 mm 漆包线,按照 GB/T

4074.7 要求制作的绞线对(不浸漆)^[7],用超高频天线法(UHF)测试,将 PD 传感器放置在距试样约 40 cm 处, $U_{p-p}=3$ kV 时的 PD 如图 7 所示。图 7 表明,上升沿和下降沿附近放电幅值明显较高。

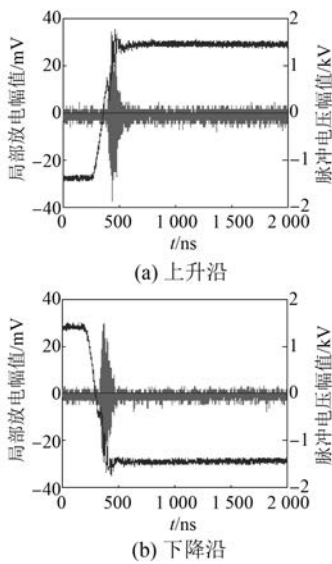


图 7 漆包线绞线对试样的 PD

3.4 风力发电机定子绝缘系统鉴别试验 PDIV 测试

试验样品为风力发电机定子模型线圈(额定电压 $U_N=690$ V),见图 8。采用超高频天线法(UHF)测试 PDIV。



图 8 风力发电机定子模型线圈

根据 IEC 60034-18-41,风力发电机定子模型线圈试验流程见图 9,以匝间绝缘及对地绝缘的 PD 起始电压(PDIV)为寿终判断依据;绝缘系统各部位冲击电压绝缘等级(IVIC)对应的最小 PDIV 如表 3 所示;若连续两个试验周期内,任意部位的脉冲 PDIV 测试值低于对应的最小 PDIV,则判定寿命终了。

线圈 1~线圈 5 每一周期的 PDIV 测试结果如图 10 和图 11 所示,IVIC-A 最小 PDIV~IVIC-D 最小 PDIV 按照 IEC 60034-18-41 计算得出。

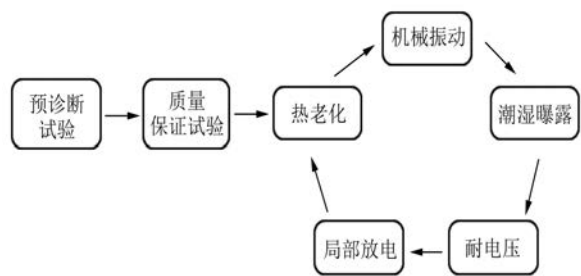


图 9 风力发电机定子模型线圈试验规程

表 3 绝缘系统各部位 IVIC 与最小 PDIV 的关系

冲击电压绝缘等级 (IVIC)	最小 PDIV/kV	
	对地绝缘	匝间绝缘
A (温和)	1.97	0.90
B (中等)	2.69	1.22
C (严酷)	3.59	1.63
D (极端)	4.48	2.04

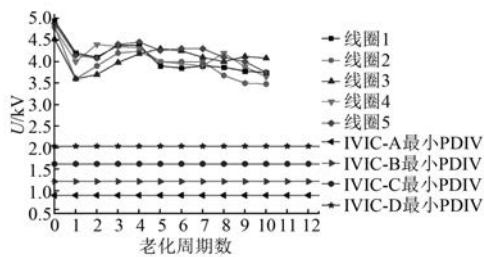


图 10 绝缘系统匝间绝缘 PDIV

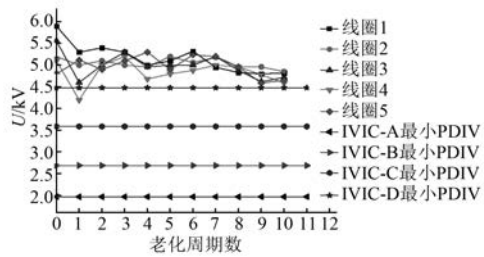


图 11 绝缘系统对地绝缘 PDIV

从图 10 和图 11 可以看出,第一周期热老化后,绝缘系统的匝间绝缘和对地绝缘 PDIV 有明显下降;第二、三热老化周期后 PDIV 有上升趋势;第四热老化周期后,大部分线圈的匝间绝缘和对地绝缘 PDIV 值总体是呈下降的趋势。初步分析可能是由于线圈中各组分材料的热膨胀系数有差异,在第一热老化周期各组分材料进一步交联固化,低分子进一步挥发溢出,导致出现新的缺陷;经过 2~3 个周期后各组分材料充分固化,配合趋于稳定,整体性能有所提升;在随后的热老化周期内热应力对绝缘系统整体劣化起主导作用,

造成各组份材料的热降解,使绝缘系统的 PDIV 总体成下降趋势。就该风力发电机绝缘系统鉴别试验而言,虽然在第一热老化周期后,线圈 4 对地绝缘 PDIV 低于 IVIC D 要求的最小 PDIV,但在随后的热老化周期后线圈 1~线圈 5 的 PDIV 均高于 IVIC D 最小 PDIV。因此该风力发电机绝缘系统的冲击电压绝缘等级为 IVIC D,且为 I 型绝缘系统。

4 结 语

- (1) 高频冲击电压下 PD 检测可以有效的了解变频电机绝缘系统的绝缘状态。目前根据传感器的不同,变频电机绝缘系统的脉冲 PD 测试方法主要有两种:高频电流传感器法 (HFCT) 和超高频天线法 (UHF)。
- (2) 在高频冲击电压下,PD 主要发生在冲击的上升沿和下降沿;在同一放电电压下,上升沿和下降沿的放电幅值较高。
- (3) 在风力发电机定子绝缘系统鉴别试验中,匝间绝缘和对地绝缘在冲击电压下的 PDIV 值总体是呈下降的趋势;通过鉴别试验,可以确定绝缘系统的冲击电压绝缘等级 (IVIC) 及类型。

【参考文献】

[1] 《电气电子绝缘技术手册》编辑委员会.电气电子绝缘技术手册[M].北京:机械工业出版社,2008.

[2] 郭俊,吴广宁,张血琴.局部放电检测技术的现状和发展[J].电工技术学报,2005,20(2): 29-35.

[3] Rotating electrical machines-Part 18-41: Qualification and quality control tests for partial discharge free (Type I) electrical insulation systems used in rotating electrical machines fed from voltage converters; IEC 60034-18-41[S].

[4] Rotating electrical machines-Part 18-42: Qualification and acceptance tests for partial discharge resistant electrical insulation systems (Type II) used in rotating electrical machines fed from voltage converters; IEC 60034-18-42[S].

[5] 电气绝缘材料和系统瞬时上升和重复冲击电压条件下的局部放电 (PD) 电气测量: GB/T 23642-2009[S].

[6] 王鹏,周凯,吴广宁.变频电机绝缘的局部放电检测技术[J].高电压技术,2014,40(2): 519-525.

[7] 绕组线试验方法 第 7 部分: 测定漆包绕组线温度指数的试验方法: GB/T 4074.7-2009[S].

收稿日期: 2017 -06 -20