

基于布拉格光栅的隔离开关触头在线测温方法测评

李晶¹, 周电波¹, 刘晋勇²

(1. 国网四川省电力公司电力科学研究院, 四川 成都 610072;

2. 国网四川省电力公司计量中心, 四川 成都 610045)

摘要: 对基于光纤布拉格光栅的隔离开关触头测温方法的准确性、安全性和实效性进行了测评,证实基于光纤布拉格光栅的隔离开关触头测温系统具有体积小、结构简单、抗干扰性好以及可用于分布式测量的优势,能有效监测整个变电站隔离开关触头的温度情况,提高变电站安全水平。但该方法用于隔离开关触头测温缺乏相应标准和应用经验,并且现行结构对电场分布产生畸变影响等问题,需要在以后的系统中进行完善和改进。

关键词: 隔离开关; 在线测温; 布拉格光栅; 分布式测量; 电场畸变

Abstract: The accuracy, safety and effectiveness of online temperature measurement method for isolating switch contactor based on optical fiber Bragg raster are evaluated. The results show that the proposed online temperature measurement system has the advantages of small size, simple structure and good anti-interference performance, and can be used for the distributed measurement to improve the level of substation security. However, the method lacks the appropriate standards and application experiences for online temperature measurement of isolating switch contactor. Besides, the electric field distortion caused by the existing structure must be refined and improved in the future system.

Key words: isolating switch; online temperature measurement; Bragg raster; distributed measurement; electric field distortion

中图分类号: TM83 文献标志码: B 文章编号: 1003-6954(2017)04-0061-04

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2017.04.013

0 引言

智能变电站的建设是智能电网发展的重要组成部分。与传统变电站相比,智能变电站要实现全站信息数字化、通信平台网络化、信息共享标准化,自动完成信息采集、测量、控制、保护、计量和监测等基本功能,并可根据需要支持电网实时自动控制、智能调节、在线分析决策和协同互助等高级功能。而要建设坚强的智能电网,对智能变电站的安全性和可靠性就提出了更高的要求^[1-2]。在智能变电站中,应对变电设备进行整体状态监测,从而实现对变电站设备运行工况的实时掌握,但在目前状态监测技术本身可靠性还不高的客观背景下,对监测手段和监测设备准确性和可靠性的评估是很有必要的。

近年来,供电负荷逐年猛增,加之维护压力日益加大,隔离开关因安装不良、操作以及材料质量缺陷等因素引起触头接触电阻增大的情况时有发生,可能导致触头温度升高甚至引发隔离开关故障^[3-4]。为此,在智能变电站中,对隔离开关触头温度的实时

监测非常重要,可以及时发现隔离开关存在的温度异常情况,从而在故障发生前作出判断,为隔离开关的维护和检修提供依据^[5-6]。

目前在电力系统中应用的测温系统主要有电类传感器测温系统、红外传感器测温系统以及光纤传感器测温系统。电类传感器测温系统以热敏电阻为测温传感器,面对复杂电磁环境可能导致测温可靠性及准确性变差;红外传感器测温系统可以在远离测温点的地方接收远红外波,优点是不存在高压隔离问题,并且测温系统结构简单,但存在检测点间断、检测范围小以及无法实现在线测量等缺点;光纤传感器测温系统是近年来在各领域得到广泛研究和应用的测温系统,具有结构简单、体积小以及抗干扰性好的优点,适合在恶劣电磁环境下工作^[7-9]。

在四川投运的220 kV团结和劲松智能变电站采用了基于光纤布拉格光栅的隔离开关触头测温系统。光纤布拉格光栅目前鲜有应用于变电站隔离开关触头测温,因此很有必要对在智能站中投入应用的测温系统进行测评,目的是综合评价其监测效果,发现存在的问题,为进一步完善和改进测温系统提供依据。

1 光纤布拉格光栅

1.1 基本原理

光纤布拉格光栅是通过一种特殊紫外光源照射裸光纤而破坏光纤纤芯材料中的原子键而形成的,其在光纤纤芯内的折射率是呈周期性调制的,反射或透射峰的波长与光栅折射率调制周期和纤芯折射率有关。外界温度的变化会影响光栅和纤芯的折射率,从而引起光栅反射或透射峰波长的变化。光纤布拉格光栅在1978年首次由K. O. Hill制作出,目前主要应用于通信和测量领域^[10]。

光纤布拉格光栅具有非常优良的性能,反射率高,带宽窄可小于0.2 nm,当其满足相位匹配条件时,入射光将被反射,峰值反射波长为

$$\lambda_B = 2n_{\text{eff}}\Lambda \quad (1)$$

式中: λ_B 为布拉格光栅的发射波长; Λ 为光栅周期; n_{eff} 为光纤材料的有效折射率。

根据式(1),外界温度引起的光栅中心波长变化可用式(2)表示。

$$\begin{aligned} \frac{d\lambda_B}{dT} &= \frac{\partial \lambda_B}{\partial n_{\text{eff}}} \cdot \frac{dn_{\text{eff}}}{dT} + \frac{\partial \lambda_B}{\partial \Lambda} \cdot \frac{d\Lambda}{dT} \\ &= 2\left(\Lambda \frac{dn_{\text{eff}}}{dT} + n_{\text{eff}} \frac{d\Lambda}{dT}\right) \end{aligned} \quad (2)$$

由此得到中心波长随温度变化率为

$$\begin{aligned} \frac{\Delta\lambda_B}{\lambda_B} &= \frac{1}{\lambda_B} \cdot 2\left(\Lambda \frac{dn_{\text{eff}}}{dT} + n_{\text{eff}} \frac{d\Lambda}{dT}\right) \\ &= \frac{1}{n_{\text{eff}}} \frac{dn_{\text{eff}}}{dT} + \frac{1}{\Lambda} \frac{d\Lambda}{dT} \end{aligned} \quad (3)$$

n_{eff} 和 Λ 是温度 T 和轴向应变 ε 的函数,因此布拉格波长的相对变化量可以表达为

$$\frac{\Delta\lambda_B}{\lambda_B} = (\alpha + \varepsilon) \Delta T + (1 - P_c) \quad (4)$$

可以发现,光栅中心波长的偏移与其环境温度的变化呈线性关系,利用该关系测量波长的变化量就可以测得温度及其变化情况^[11]。

1.2 用于智能变电站的光纤光栅测温系统

如图1所示,用于四川智能变电站的基于光纤布拉格光栅的隔离开关触头测温系统,采用了与电子互感器光缆相同的引下通路与方式:测温光栅与连接光缆用金属护套保护引至合成绝缘子上法兰下部,连接光缆再从合成绝缘子下法兰引出(该智能变电站的隔离开关设备用电子式互感器的合成套管

替代原实心瓷绝缘支柱)。



图1 光纤光栅测温系统的安装

测温系统结构如图2所示,测温头检测隔离开关触头温度并转换为电信号后,通过电缆传输到焊接盒并转换成光信号后由光缆进行传输,最后经过光栅解码后由计算机接收监测信息,从而显示各隔离开关各相触头的温度情况并依据设置进行处理。光电转换通信技术的应用在不改变设备结构的前提下较好地解决了测温系统的高压隔离问题,使其可以更加安全稳定地进行工作。

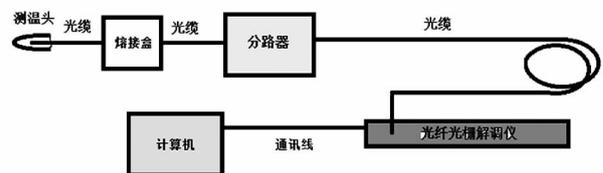


图2 光纤光栅测温系统结构

2 光纤光栅测温系统的相关测试

2.1 试验目的和试验依据

对基于光纤布拉格光栅的隔离开关触头测温系统的准确度与响应时间等参数,在实验室及制造厂分别进行了测试。

测试前,测温系统已进行过耐压试验和电磁兼容试验。其中耐压试验分别取250 mm、350 mm和420 mm的光纤,分别施加42 kV、55 kV和95 kV的工频对地电压,历时1 min,试品均无闪络和击穿。电磁兼容试验中,测温系统分别被施加了以下干扰:强度3 A/m的磁场干扰,接触及空气放电(强度±4 kV)10次的放电干扰;强度3 V/m、频率80~2 000 MHz的射频电磁场干扰;1 kV快速瞬变脉冲群干扰,1 kV正极性5次,负极性5次的浪涌干扰(浪涌发生器和测温系统之间连线长度为1 m)。在干扰施加完毕后,测温系统均能继续正常工作。

实验室测温准确度与响应时间的测试在恒温油槽中进行,系统测试在制造厂内整体组装后进行,测试依据为 GB/T 11022 - 1999《高压开关设备和控制设备标准的共用技术条件》、GB 1985 - 2004《交流隔离开关和接地开关》以及 DL/T 486 - 2000《高压交流隔离开关和接地开关订货技术条件》。

2.2 实验室的测试

在实验室的恒温油槽中进行了测温系统准确度和响应时间测试,该油槽所用控制器可以将温度的稳定性控制在较高水平,从而为检定光纤测温传感器性能提供了良好的试验条件。

对每个无铠光纤测温传感器准确度进行测试。首先设定了 40.0℃、80.0℃、120.0℃、150.0℃ 4 个温度,经测量得到的标准点温度分别为 42.000℃、79.548℃、119.816℃、151.001℃,然后将无铠光纤测温传感器测量温度的示值与标准温度值相比较,可以得出实验室环境下无铠光纤测温传感器的测温准确度。

参与测试的准确度最低的无铠光纤测温传感器(编号 B600585)在 4 个温度点的测试情况见表 1。

表 1 编号 B600585 的无铠光纤测温传感器测温试验情况

设定点温度/℃	40.0	80.0	120.0	150.0
标准温度示值/℃	42.000	79.548	119.816	151.001
传感器测量示值/℃	42.4	79.8	119.7	150.8

采用恒温油槽进行光纤测温传感器响应时间测试,测试数据显示无铠光纤测温传感器从原始温度 26.0℃ 到目标温度 100.0℃ 的响应时间为 10 s,铠装光纤测温传感器从原始温度 30.0℃ 到目标温度 100.0℃ 的响应时间为 210 s,表明封装后的光纤测温传感器响应时间大大低于无铠光纤测温传感器。

2.3 厂内整体测试

为了验证实际安装后的测温效果,对系统在隔离开关厂进行了模拟测试。为了与变电站实际系统的构成一致,除连接光纤比实际短外,信号传输的所有器件都接入系统进行测试。受现场限制熔纤托盘和多分路器未接入,这样的连接会比变电站实际传输的损耗更小;但该系统为频率调制方式,损耗增加部分不会影响测量精度,故模拟测试系统构成与变电站的实际系统是等效的。

由于在隔离开关工况试验情况下不能使用恒温槽等标准温升方式,现场模拟故障温度上升采用电

阻加热板作为热源。电阻加热板固定在隔离开关动、静触头接触部位,预先埋设了 6 个热电偶。由于测试场地比较空旷,加热板功率相对较小,经过 5 个多小时,加热点温度在 79.7℃ 时达到稳定,光纤测温显示该点温度为 77.9℃。由于热电偶的测量误差较光纤光栅更大,因此不能作为温度测量准确度的判别依据,只能判断其差异能为工程使用所接受。当进行温度下降测试时,光纤测温显示较热电偶温度巡检测仪测试滞后 3 min。



图 3 触头过热故障模拟装置

从预埋的 6 个热电偶测得的温度可看出,在静触座与电子互感器的主导回路中,静触头到电子互感器一次回路连接板有一定的热损失和热阻。测温点布置及数据如图 4 和表 2 所示。



图 4 测温点布置

表 2 各测温点测试数据

测温点	1	2	3	4	5	6
温度值/℃	77.0	79.7	56.5	63.0	34.4	30.0

3 光纤光栅测温系统现场评估

安装于团结变电站和劲松变电站的基于光纤布拉格光栅的隔离开关触头测温系统,其光栅解调仪

通过 RS-232 通信口与后台计算机相连,后台计算机将测得的温度数据储存起来并显示在屏幕界面上,因此,测温系统的界面(如图5所示)可以实时显示各隔离开关各相的温度数值。投入试运行发现:在海拔较高的劲松变电站,各测量支路最大温差为 2.5℃,其中同一隔离开关不同相的温差最大为 1.5℃;海拔较低的团结变电站各测量支路温差则明显小于劲松变电站。

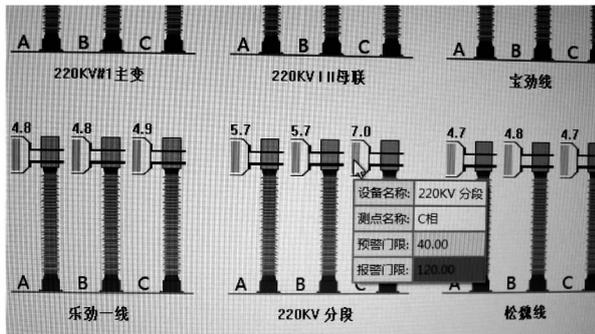


图5 测温系统显示界面

测温系统允许用户修改温度的警告值和报警值。当传感器测得某隔离开关某相的触头温度低于警告值,相应温度数值下方显示为绿色,表示此相温度在正常数值范围内;触头温度高于警告值低于报警值,温度数值下方显示为黄色,表示此相温度可能存在异常,需要适当关注;触头温度高于报警值,温度数值下方显示为红色,表示此相温度过高,可能存在过热现象。一旦某测量支路断开,界面显示的相应隔离开关相应相的颜色将呈现灰色,提示用户该支路已不再进行测温。

针对户外隔离开关触头的测温目前应用很少,属于新兴的状态监测手段。另外,不同环境条件、海拔高度和地理条件下的变电站内的隔离开关正常运行温度存在差异,传感器安装于隔离开关触头不同位置测得的温度以及温度变化情况也并非完全相同,因此基于光纤布拉格光栅的隔离开关触头测温方法对于温度警告值和报警值的设置还没有统一、明确的标准,需要在以后的运行中进行总结、研究,以完善该监测方法,提高监测准确性。

用于光信号传输的光纤,每条对应唯一的隔离开关的相应相,安装过程中利用不同支路传感器发射的光的波长不同。在系统安装完毕后,可根据传感器发射波长对传感器和光纤支路进行核对,以保证各测温传感器准确对应相应的测量支路。由于测

量信息是波长编码的,因此测量信号不受光纤传输损耗、光源起伏、传感器老化以及光波偏振态变化等因素的干扰,具有较强的抗干扰能力,适合在恶劣环境下工作。

4 结 语

1) 对基于光纤布拉格光栅的隔离开关触头测温方法进行了室内及变电站现场测评。这是一种新兴的隔离开关测温方法,除了具有体积小、结构简单、抗干扰性好等优点,还特别适用于长距离、分布式测量,从而实现用一套测温系统监测变电站所有隔离开关触头温度,提高了隔离开关设备的安全性,显著降低了监测成本。

2) 在实验室和制造厂,对基于光纤布拉格光栅的隔离开关触头测温系统的准确度及响应时间进行了测评,发现测温系统准确度在 $\pm 0.4^\circ\text{C}$ 以内,分辨率可达 0.1°C ,无铠光纤测温传感器从原始温度 26.0°C 到目标温度 100.0°C 的响应时间为 10 s,铠装光纤测温传感器从原始温度 30.0°C 到目标温度 100.0°C 的响应时间为 210 s。

3) 现代测控、通信及计算机技术整合而成的基于光纤布拉格光栅的隔离开关触头测温系统可以提供隔离开关触头的实时温度显示,并根据用户自行设置和修改的警告值和报警值进行温度监测和情况处理。

4) 基于光纤布拉格光栅的隔离开关触头测温方法,由于没有相应的验收和评测标准,且测温系统的传感器工作在外部环境复杂的场所,信号传输线长、维护要求高,传感器封装、系统稳定性及系统维护工作还将面临较大考验。以上问题还需要通过测温系统在将来日常运行中的表现进行确认及改进,不断完善隔离开关触头温度监测方法,切实提高智能变电站的安全水平。

参考文献

- [1] 李光颖,郑瑞忠. 浅谈智能变电站系统[J]. 电力自动化设备, 2001, 21(6): 37-39.
- [2] 统一坚强智能电网研究工作组. 统一坚强智能电网综合研究报告[R]. 北京: 国家电网公司, 2009.
- [3] 宋泉,崔景春,袁大陆. 2004年高压开关设备运行统计分析[J]. 电力设备, 2006, 7(2): 10-14.

(下转第86页)

外围驱动电路、杂散电感的影响,IGBT的开通时间比技术手册中的时间长,约为 $4\ \mu\text{s}$;关断过程也较长,约为 $16\ \mu\text{s}$ 。可见,脉冲的死区时间约为a、b间隔 $20\ \mu\text{s}$,能够满足开通、关断技术要求。

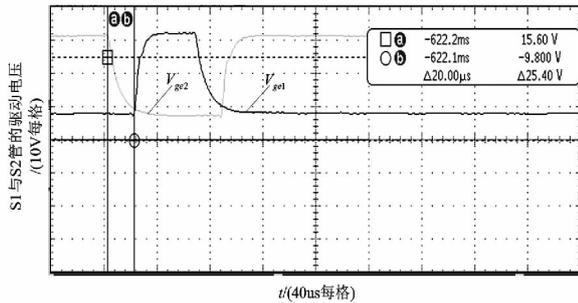


图13 加入死区的 S_1 、 S_2 门极驱动电压波形

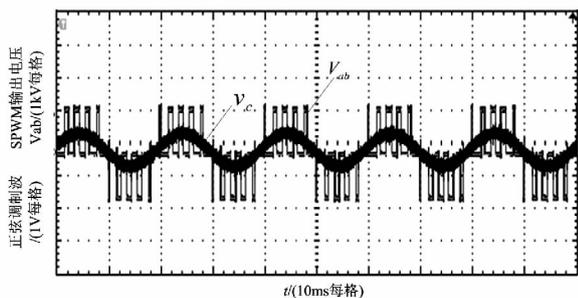


图14 交流侧输出的SPWM脉冲电压

图14为全桥电路输出的SPWM脉冲电压。可见,连续开关动作时,单极性调制的脉冲 V_{ab} 与正弦调制波 v_c 的变化趋势基本一致。由于三角载波的频率较低,在每个正弦波的半周共对应5个脉冲高电平。该输出脉冲的正负电平切换平滑,且无 $20\ \mu\text{s}$ 之下的窄脉冲,满足中压IGBT的性能要求。

5 结语

针对中压驱动系统的IGBT技术特性,设计了一种新型SPWM调制系统方案。对各厂家的中压IGBT

参数特性进行了对比,指出其对死区、开关频率要求较为严格。采用FPGA设计PWM信号算法,具有实时性高、软件设计灵活的优点。自主设计了IGBT的驱动板卡,驱动芯片采用了concept产品,其综合性能较为理想。所设计的SPWM调制系统可广泛应用于机电驱动、发电、自动化等领域。

参考文献

[1] 陈根,王勇,蔡旭.兆瓦级中压风电变流器的新型串联混合三电平NPC拓扑[J].中国电机工程学报,2013,33(9):48-54.

[2] 王海霞,曾成,伍萍辉.基于FPGA的高频整流SPWM波形发生器[J].电测与仪表,2013,50(1):94-97.

[3] 曹阳,凌志斌,马勤冬,等.基于FPGA的载波移相PWM发生器设计[J].电气传动,2014,44(7):19-23.

[4] 龚亚力,乔海强,钱帆,等.基于OMAPL138+FPGA的多路PWM发生器设计及应用[J].电测与仪表,2016,53(14):124-128.

[5] 李宁,王跃,王兆安.基于双调制波的三电平NPC变流器载波调制策略[J].电网技术,2014,38(3):707-714.

[6] 黄伟煌,胡书举,许洪华.中点钳位型中压三电平风电变流器的损耗分析[J].电力系统自动化,2014,38(15):65-70.

[7] 刘建平,侯凯,李伟邦,等.串联IGBT保护模块设计和故障诊断分析[J].电气传动,2015,45(10):76-80.

作者简介:

王鹏(1985),助理工程师,研究方向为风力发电机组工艺设计与开发;

时春雨(1983),助理工程师,研究方向为风力发电机组工艺设计与开发。

(收稿日期:2017-02-20)

(上接第64页)

[4] 李刚,王晓峰,周水斌,等.一种智能变电站断路器状态监测方案[J].电力系统保护与控制,2010,38(14):140-143.

[5] 关根志,贺景亮.电气设备的绝缘在线监测与故障维修[J].中国电力,2000,33(3):46-50.

[6] 戴利波.紫外成像技术在高压设备带电检测中的应用[J].电力系统自动化,2003,27(20):97-98.

[7] Boggs S. A., Stone G. C. Fundamental Limitations in the Measurement of Corona and Partial Discharge[J]. IEEE Transaction on Dielectrics and Electrical Insulations, 1982,17(2):143-150.

[8] 何海涛,姚国珍.光纤光栅解调技术在电力系统中的应用[J].电力系统通信,2010,31(212):42-45.

[9] 郭团,赵启大,刘丽辉,等.光强检测型光纤光栅温度不敏感动态压力传感研究[J].光学学报,2007,27(2):207-211.

[10] 张燕君,姜俊波,唐瑞雪,等.新型分布式布拉格光纤光栅传感系统的研究[J].光电工程,2010,37(1):88-94.

[11] 莫德举,廖妍,傅伟铮.光纤布拉格光栅温度传感实验特性研究[J].测控技术,2006,25(3):24-26.

(收稿日期:2017-03-06)