

文章编号:1001-1609(2006)01-0073-02

光电式直流电流互感器的研制与挂网运行

张艳^{1,2}, 叶妙元¹, 徐雁¹, 朱明钧¹, 王建生², 王韵², 冯建强²

(1. 华中科技大学电气与电子工程学院, 湖北 武汉 430074; 2. 西安高压电器研究所, 陕西 西安 710077)

Development of the Hybrid-optical Direct Current Transformer and Tentative Operation in HVDC Transmission Network

ZHANG Yan^{1,2}, YE Miao-yuan¹, XU Yan¹, ZHU Ming-jun¹, WANG Jiang-sheng², WANG Yun², FENG Jian-qiang²

(1. Huazhong University of Science & Technology, Wuhan 430074, China;

2. Xi'an High Voltage Apparatus Research Institute, Xi'an 710077, China)

摘要: 介绍了一种新型光电电流互感器的研制及实际挂网运行状况。该新型光电电流互感器克服了传统互感器的不足,采用光供能和光纤传输,实现了高低压完全电气隔离,并完成了全套型式试验。经过实际的挂网试运行,证明其各项性能良好,满足实际工程运行的需要。

关键词: 直流电流互感器; 试验; 回路电阻

中图分类号: TM515

文献标识码: A

Abstract: In this paper, a new hybrid-optical direct current transformer is introduced, and running states are given. Overcoming the shortcomings of traditional transformer, the system gets power from optical source, transmits data with optical fiber, and makes the high voltage isolated from the low voltage section. The transformer has been accomplished the type test. Through the practical tentative operation in HVDC transmission network, the result shows that the transformer functions meet the needs of the project.

Key words: direct current transformer;

circuit resistance; test

1 前言

直流电流互感器是直流系统中测量与继电保护的最基本单元,国内目前许多直流输电系统中采用的仍然是传统的直流电流互感器,随着系统电压等级的不断升高,其缺点便明显地暴露出来。而基于光学传感技术的光电电流互感器则能有效地克服传统电磁式互感器所固有的缺点,与常规电磁式互感器相比,它的优势为^[1]:①高低压完全电气隔离,由于采用光供能,其高低压完全隔离,安全性能高;同时,由于采用了光传输,因而简化了绝缘结构,具有优良的绝缘性能和优越的性价比,抗干扰能力强;

②因无铁心,故不存在磁饱和、铁磁谐振等问题;③功能齐全,测量准确度高;④无噪音、污染小、环保性能好;⑤体积小,重量轻。因此,光电电流互感器能适应电力系统数字化、智能化和网络化的需要。

2 直流光电电流互感器的研制及实现

直流光电电流互感器的主要技术参数:额定频率为直流;额定电压为120 kV;额定电流为3000 A;准确级为0.5/5 P;阶跃响应为最大上升时间<400 μs;二次输出为直流1.5 V。

图1为直流光电电流互感器的原理图。系统包括:①高压侧传感头。传感头主要包括分流器和空心线圈,分流器用来采集主直流电流信号^[2],空心线圈用来采集交流纹波信号;②高压侧电路。高压侧电路主要包括多级放大、A/D变换等,并将传感头采集的电流信号转换成数字信号;③光供能。光供能主要包

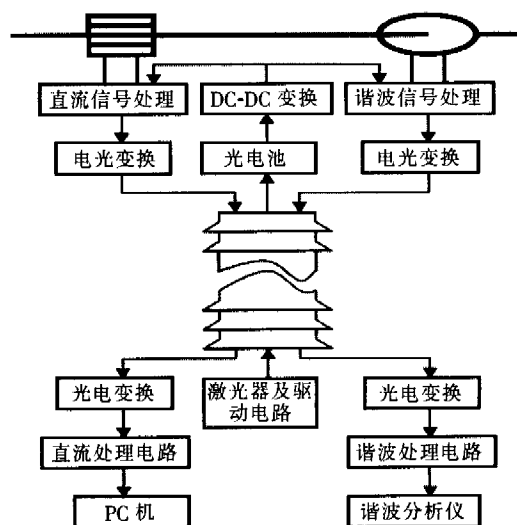


图1 直流光电电流互感器原理图

收稿日期:2005-11-21

作者简介:张艳(1963-),女,河北人,高级工程师,从事高压电器试验工作。

括激光二极管 LD、上传光纤、光电变换、DC/DC 等,给高压侧电路提供能量;④绝缘和信号传输。绝缘和信号传输主要包括复合绝缘子、传输光纤等,高压侧电路输出的电信号被转换为光信号,通过下传光纤传至低压侧电路,而光供能装置提供的光能则通过上传光纤传至高压侧电路;⑤低压侧信号处理。低压侧信号处理。主要包括串并转换、D/A 输出等,并最终获得反映被测电流大小的输出信号^[3]。

3 直流光电电流互感器的试验

3.1 直流光电电流互感器的型式试验

光电电流互感器研制完成后,对其进行了型式试验,试验项目见表 1。

表 1 型式试验项目

序号	试验项目	序号	试验项目
1	直流耐压试验	8	交流温升试验
2	极性反转试验	9	直流温升试验
3	雷电冲击试验	10	误差试验
4	直流局放试验	11	介质损耗测量
5	工频耐压及局放试验	12	短时电流试验
6	无线电干扰测试	13	防雨试验
7	电磁兼容试验	14	密封试验

3.2 直流光电电流互感器的误差试验

由于试验电源的稳定性不是很高,所以试验采用测差原理,即对标准与被测互感器二次输出的差值进行测量,然后将差值与标准二次输出进行比较,由此得出被测互感器的相对误差。

标准互感器 $V_N=K_N I_N$, 被测互感器 $V_X=K_X I_X$, 差值 $\Delta V=V_N-V_X$, I_X 为二次电流显示值。令: $V_X/V_N=K_V I_X/K_N I_N=K_V$; $K_I=K_N/K_X$, 有: $I_X=K_V \cdot K_I \cdot I_N$ 。设 I_X 的相对误差为 $r(I_X)$, 可得: $r(I_X)=r(I_N)+r(K_I)+r(K_V)$ 。

在实际校验系统中,标准互感器的相对误差 $r(I_N)$ 一般远低于被测设备的规定误差限值,即: $r(I_N) \ll r(I_X)$; 同时 K_I 的误差可忽略不计。因此测量 I_X 的相对误差主要取决于 $r(K_V)$ 。

对 K_V 求导,得 $\delta(K_V)$:

$$|\delta(K_V)| = \left| \delta\left(\frac{V_X}{V_N}\right) \right| = \left| \frac{\delta(V_N - \Delta V)}{V_N} \right| = \left| \frac{-V_N \delta(\Delta V) - \delta(V_N) \cdot \Delta V}{V_N^2} \right|$$

省略高阶无穷小项 $\delta(V_N) \cdot \Delta V$, 其相对误差:

$$r(K_V) = \left| \frac{-\delta(\Delta V)}{V_N} \right| / (V_X/V_N) = \frac{\delta(\Delta V)}{V_X} = \frac{\delta(\Delta V)}{\Delta V} \cdot \frac{\Delta V}{V_X}$$

式中: $\delta(\Delta V)/\Delta V$ 为测差装置的相对误差; $(\Delta V)/V_X$ 为测差装置的分辨率。上式说明:两个很接近的量相比较,其比值的相对误差等于测差装置相对误差与两者之间接近程度比值的乘积。其物理意义为:测差法虽然对差值 ΔV 的测量准确度不高,但由于 ΔV 仅占 V_X 的一小部分,所以测量的相对误差不取决于测差装置的相对误差,只要测差装置灵敏度高且稳

定,两个被比较量越接近,则测量准确度越高。在实际中则要求 V_X 与 V_N 尽量接近,测差装置只要足够灵敏即可。

由上述分析可知,如果直流光电电流互感器的二次输出与标准互感器具有相同的形式和相近的幅值,采用常规的仪器设备,就可获得较高的校验准确度。图 2 为标准电阻测差法原理图,表 2 为标准电阻测差法实验结果。

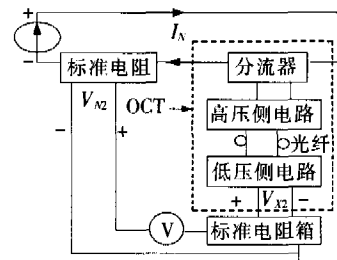


图 2 标准电阻测差法原理图

表 2 标准电阻测差法实验结果

分流器 / mV	试品指示值 I_{dA}/A	差值 / μV	分流器 / mV	试品指示值 I_{dA}/A	差值 / μV
5.263	210.8	+0.5	44.91	1801	+95
10.18	406.4	-18	50.16	2001	-95
15.09	603.5	-36	54.97	2198	-70
20.31	801.3	-51	60.14	2402	-91
25.05	1001	-75	65.04	2595	-38
29.99	1998	-71	70.14	2802	-30
35.14	1409	+75	75.66	3016	-25
40.22	1603	-86	90.43	3602	-75

3.3 直流光电电流互感器的温升试验

按照电流有效值的物理意义,一交流电流在相等条件下,若产生和一直流电流相等的热效应,则该直流电流值为该周期电流的有效值。因此,直流电流的温升试验规定可以用有效值相同的交流电流来等效进行。然而在有些结构中,由于集肤效应产生的影响,交、直流温升的实验结果相差较大,表 3 的实验数据说明了这一点。

表 3 交直流温升试验对比结果

通流时间 / min	实施电流 I_w/A	温升 / $^{\circ}C$	通流时间 / min	实施电流 I_w/A	温升 / $^{\circ}C$
25	3 053	42.33	40	2 980	37
50	3 053	64.26	70	2 980	46
70	3 053	74.72	230	2 980	46
90	3 053	82.66	320	2 980	47

集肤效应产生的电阻值为: $r = \frac{L}{\pi \alpha^2 \gamma} (1 + \frac{\omega^2 \mu^2 \gamma^2}{192} \alpha^4)^{1/4}$, 式中: α 为半径; L 为长度; γ 为电导率, $\gamma = 5.8 \times 10^7$; μ 为磁导率 $\mu = 4\pi \times 10^{-7}$; ω 为角频率。

通过计算,整个结构由集肤效应产生的直流电阻为 $0.498 \mu\Omega$, 交流电阻为 $51.492 \mu\Omega$, 加上分流器本身的电阻,则整个结构的直流电阻为 $25.498 \mu\Omega$, 交流电阻为 $76.492 \mu\Omega$ 。

由此看到,集肤效应对温升效应 (下转第 76 页)



图 2 控制器原理框图

的斯密特触发器,该环节把正弦波变换为方波。控制器的输入端三相交流电压 A、B、C 及整形后的电压 A'、B'、C' 的波形见图 3、图 4。

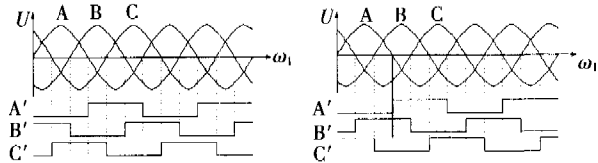


图 3 正向相序时波形图

图 4 逆向相序时波形图

图 3 为正向相序时的电压波形图,由图 3 可知,当 A' 的上升沿到来时, B'、C' 的取值分别为逻辑“0”,“1”。

图 4 所示为逆向相序时的电压波形图,由图 4 可知,当 A' 的上升沿到来时, B'、C' 的取值分别为逻辑“1”,“0”。

图 2 中电路的直流供电电源电压为 12 V,通过对控制器的输入端交流线电压(如 U_{AB})进行降压、整流、滤波、稳压后,可以获得该直流电源电压。

2.3 相序检测及逻辑判断电路

相序检测及逻辑判断电路由 CMOS 数字集成电路^[2] U_2 和 U_3 组成,其中:双 D 触发器 CD4013(U_2)构成相序检测电路,2 输入与门 CD4081(U_3)构成逻辑判断电路。相序检测及逻辑判断电路在系统中负责接收整形后的信号 A'、B'、C' 并对其进行处理,最后

输出控制信号,该输出控制信号经 U_4 驱动后控制继电器的吸引线圈 KA_1 、 KA_2 和发光二极管 VD_1 、 VD_2 ,实现三相交流电源的相序控制和相序指示。

2.4 驱动及显示输出电路

驱动电路采用了达林顿管阵列 ULN2003 芯片(U_4),当控制器的输入端三相交流电源为顺向相序时,发光二极管 VD_1 被点亮显示绿色,表示控制器的输入端三相交流电源为顺向相序,这时,发光二极管 VD_2 熄灭,并且继电器 KA_1 的吸引线圈得电;当控制器的输入端三相交流电源为逆向相序时,发光二极管 VD_2 被点亮显示红色,表示控制器的输入端三相交流电源为逆向相序,这时,发光二极管 VD_1 熄灭,并且继电器 KA_2 的吸引线圈得电。

3 结语

笔者介绍的三相交流电源相序检测与相序控制的原理简单可行,给出的电路简单实用,并且很容易在图 1、图 2 电路的基础上设计出具有断相保护及断相指示功能的更完善的系统。用该设计方案已成功地完成了电动机软起动器的交流电源相序指示和相序控制,取得了满意的效果。

参考文献:

- [1] 陈本竹. 三相微电机电源相序自动调节器 [J]. 微特电机, 1996(6): 16-19.
- [2] 赵宝经. 中国集成电路大全 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1985.

(上接第 74 页)

产生相当大的影响,实际温升试验数据也说明了这一点。同时,这也从另一方面定性引证了上述交流电阻值的理论分析。

以传感头内分流器出线端点,即交流温升值最高的点为例,表 3 为对比试验结果。

4 直流光电电流互感器的挂网运行

4.1 回路电阻的测量

在挂网运行前,对电流互感器进行了回路电阻测量,测量电路见图 3。通过测量得出,整个传感头回路电阻为 $45.4 \mu\Omega$ 。

4.2 挂网运行情况

将互感器串入系统主电流回路中,对系统主回

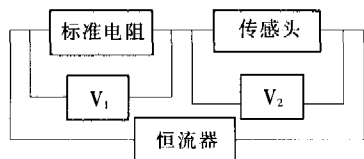


图 3 回路电阻测量原理图

路电流进行了测量。由于系统主电流回路的载体为铝质管母,而光电电流互感器的引出结构为铜质母排,所以为了改善互感器和系统的连接工艺,减小回路电阻,在互感器和系统管母的连接处采用了铜铝过渡板。通流后,互感器运行良好,传感头的实测最高温度为 93°C ,经过一定时间的考验,互感器运行稳定。同时,在试运行期间,对互感器的测量数据进行了分析,并将该测量数据与系统中 ABB 零磁通互感器测量值进行了比较,从分析比较情况得出:互感器运行状况稳定,测量数据线性良好,满足实际挂网运行的要求。

参考文献:

- [1] Ammon J, Huang Dr H. Innovations in HVDC Technology[Z]. Germany: Siemens AG, 2000.
- [2] 揭秉信. 大电流测量[M]. 北京: 机械工业出版社, 1987.
- [3] 吴士普, 刘沛, 徐雁, 等. 光电电流互感器中的光供电技术应用研究[J]. 高电压技术, 2004, 30(4): 52-53.
- [4] 俞大光. 电工基础[M]. 北京: 人民教育出版社, 1961.