

用于 HVDC 极线电流测量的光纤电流传感器

张 艳, 李红斌

(华中科技大学电气与电子学院, 湖北 武汉 430074)

Optical Fiber Current Sensor for HVDC Pole Line Current Measurement

ZHAONG Yan, Li Hong-bin

(College of Electrical and Electronic Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

摘要: 高压直流输电系统极线路上的直流电流是高压直流输电系统运行、控制过程中的重要技术参数。由于直流线路中换流装置产生的叠加在直流线路上的谐波电流会干扰邻近的通信线路,这就要求电流传感器能提供准确的谐波电流信号给有源滤波器以有效地抑制谐波电流。基于此,研制了一种适用于高压环境下的光纤电流传感器,直流测量准确可靠,响应快速,谐波测量频带范围宽广,准确度高;介绍了光纤电流测量系统的原理、结构以及设计中采用的关键技术。

关键词: 光纤电流传感器; 直流电流测量; 谐波电流测量; 高压直流输电

中图分类号: TM452

文献标识码: A

Abstract: Direct current on the DC transmission pole line of the high voltage direct current (HVDC) project is one of the most critical technical data for supervising the operating conditions and system control. Harmonic currents, which caused by the converter in HVDC, superimpose on the direct current, and this will interfere the telephone & communication lines. In recent years, the possible interference has been more and more heavily restricted in the specifications of HVDC-schemes, which requires the current sensor to offer the accurate harmonic current signal to active DC filter to suppress interference effectively. For this reason, a new optical fiber current sensor suitable for high-voltage environment is designed to measure currents of HVDC pole line accurately. This paper describes its principle, construction and key technologies adopted in detail.

Key words: optical fiber current sensor;

DC current measurement; harmonic current measurement; HVDC transmission

0 引言

高压直流输电系统极线路上的直流电流是高

压直流输电系统运行、控制过程中的重要技术参数。传统的直流电流测量方法是基于电磁感应原理,用零磁通或磁调制的方法,对绝缘要求高,致使结构复杂,设备体积大而笨重,易受电磁干扰,造价高。

此外,高压直流输电系统中的换流站工作时将在直流侧产生谐波电压。谐波电压产生的叠加在直流线路上的谐波电流会干扰邻近的通信线路^[1-4],这就要求电流传感器能提供准确的谐波电流信号给有源滤波器以有效地抑制谐波电流。由于谐波电流非常小,在含有很大直流分量的线路上,基于电磁感应原理设计的谐波电流互感器将严重饱和,导致二次侧谐波电流波形失真,使得谐波测量准确度不高。基于此,必须研究新型的电流测量系统以准确、可靠地测量 HVDC 极线线路上直流电流和谐波电流。

1 系统概述

为了克服传统测量方法的缺点,研制的光纤电流测量系统采用分流器作为直流测量的传感元件、Rogowski 线圈作为谐波电流测量的传感元件。分流器结构简单,自身不需工作电源,测量没有方向性,测量准确度不受外磁场影响。Rogowski 线圈二次绕在一个非磁性骨架上,使传感器在几安到几百千安的范围内仍然具有优良的线性,由于它不是直接测量电流,即使被测电流含有很大的直流分量,仍然不会饱和,大大提高了测量的动态范围。与被测直流、谐波电流成比例的电压信号通过高压侧处理电路转换成数字信号后再变换成光信号用光纤传输至低压侧进行后续信号处理,光纤优良的绝缘性能使得整个测量系统的安全性比传统测量方法大为提高。

系统的结构框图见图 1(a), (b)。主要包括 4 个部分:传感单元、高压侧处理电路、低压侧处理电路,

收稿日期: 2005-11-01; 修回日期: 2005-12-05

基金项目: 国家科技部资助项目(2004BA409B01-1)。

作者简介: 张 艳(1979-),女,博士研究生,主要研究方向为电子式互感器及其可靠性。

连接光纤及复合绝缘子。传感单元安装在极线输电线路路上。具体测量方案如下:

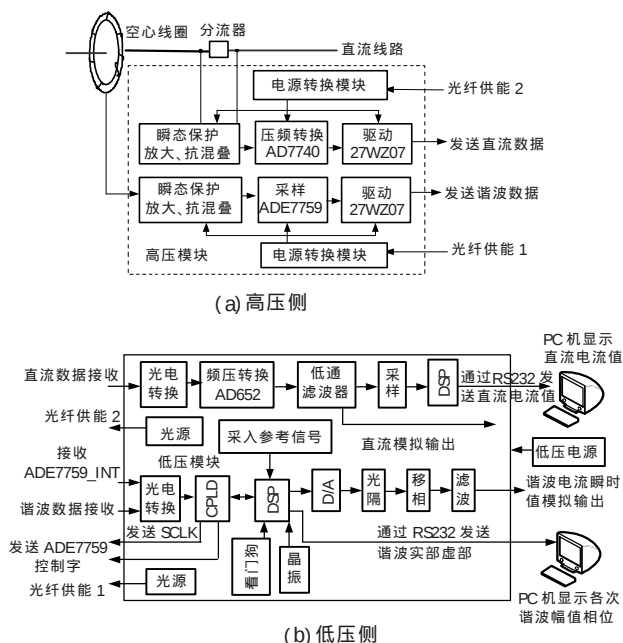


图 1 高压侧与低压侧电路框图

因为直流测量比谐波测量的准确度要求高, 高压侧处理电路采用了不同的转换技术将与被测直流、谐波电流成比例的电压信号转换成数字信号。同步型 V/F 转换的线性度好, 准确度高, 温漂系数小, 抗工频干扰能力强, 因此直流测量采用了 V/F 转换芯片进行模数转换。而 Rogowski 线圈的输出电势正比于被测谐波电流对时间的微分, 必须对其进行积分才能还原出被测谐波电流。因此使用了数字芯片 ADE7759, 它内含数字积分器, 在模数转换前可以对感应电势进行积分。积分后的数字信号再转变成光脉冲信号经光纤传输到低压侧。低压侧将接收的光信号光电转换后还原成电压信号, 在 DSP 处理器中进行相应的数字处理后提供模拟、数字输出接口。

2 关键技术

研制的光纤电流测量系统使用在额定电压 750 kV 的高压系统中, 输电线路的额定直流电流 3 000 A, 额定谐波电流 125 A, 它们在额定电流范围内的测量准确度分别是 0.5% 和 5%。谐波测量的频带范围从 100 ~ 2 500 Hz。为了达到预定的技术指标, 在设计中采用了以下的关键技术。

2.1 Rogowski 线圈新结构

Rogowski 线圈的感应电势正比于被测电流对时间的微分, 比例系数为 Rogowski 线圈的互感系数 M 。所以 Rogowski 线圈的测量准确度取决于一个稳定的互感常数 M 。为了获得高准确度的 Rogowski 线圈, 制作时必须遵循以下原则: 线圈密度恒定; 骨架截面积恒定; 线圈横截面与中心线垂直^[5]。传统的绕

线式 Rogowski 线圈一般采用手工或半手工绕制, 线圈密度很难做到恒定, 性能分散且测量准确度低。改进的 Rogowski 线圈的新结构采用印刷电路板 (PCB) 制作, 完全不需要手工绕制, 由于 PCB 的制造工艺优良, 线圈的互感系数稳定, 使得测量准确度比传统的手工绕制方法提高 1 ~ 2 个数量级。如图 2 所示, 整个 Rogowski 线圈由 2 个或者多个 PCB 板制成的线圈串联连接而成。该方案线圈的原理与传统的 Rogowski 线圈的原理完全一样, 都是在骨架上均匀绕线。线圈为双面板, 绕线通过过孔来穿越骨架的上下表面。该结构用现在的印刷电路板设计制造工艺制作起来非常简单, 绕线密集匀称, 其互感系数的估算和传统的 Rogowski 线圈的方法一样。

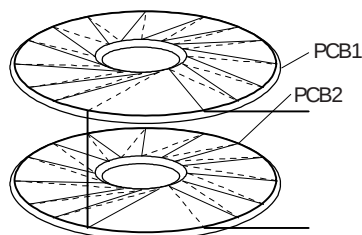


图 2 基于 PCB 板的 Rogowski 线圈

2.2 数字积分器设计

Rogowski 线圈的输出电压为一次电流的微分, 需要采用积分器还原一次电流。在长期应用时, 模拟积分器将引入缓慢变化的漂移, 给互感器的输出带来较大的误差, 而数字积分器受环境温度、湿度、噪声、电磁场等的干扰和影响小, 可靠性和重复性好。采用 ADE7759 构成数字积分器, 响应速度快, 易于使用, 不仅准确度高, 而且成本低, 其优越的温度稳定性使得 Rogowski 电流互感器适合于计量、保护精度等级要求高的应用场合^[6]。

2.3 高压侧供电方案

分流器和 Rogowski 的感应电势很小 (一般为数十毫伏), 为了增强系统的抗干扰能力, 在高压侧即将两者的感应模拟输出电压转变为数字信号, 然后通过光纤传输到低压端。这就需要给高压侧的有源器件供电。光供电方案是在低压侧将电能转化为光能, 借助光纤传输光能, 在高压侧再将光能还原成电能。光供电方案中的核心器件是光源。在同样条件下, 高压侧电路功耗越小, 光源的寿命越长, 可靠性越高。由于高压侧处理电路采用了微功耗设计, 使得 200 mW 左右的光功率能够满足高压侧处理电路的供能要求, 延长了光源的寿命。

3 结语

综上所述, 用于 HVDC 极线电流测量的光纤电流测量系统具有如下优点:

(1) 同时实现极线直流电流和谐波电流的测量, 体积小, 重量轻, 减小了占地面积。(下转第 297 页)

特图见图 5。本电源采用串并联谐振技术^[6], 工作频率为 60 ~ 120 kHz, 运用图 3 所示的补偿网络可使系统在 10 kHz 处通过零点具有 -20 dB 的斜率, 从而保证了系统的稳定裕量, 改善了暂态特性和快速响应能力。

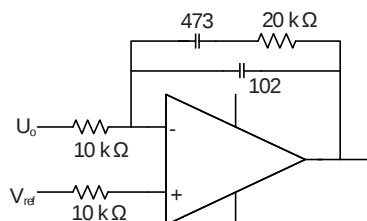


图 4 反相放大超前滞后补偿环节

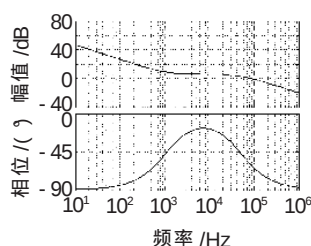


图 5 补偿电路的波特图

3 实验结果

在一个满载输出 1 000 V, 200 W 的开关电源中, 采用上述设计的采样电压隔离电路, 获得了满意的效果。输出电压可实现 250 ~ 1 000 V 连续可调,

在满载输出 1 000 V 时, 输出低频交流纹波 ≤ 1 V, 高频纹波 ≤ 200 mV, 有效地实现了取样电压的高线性度隔离, 屏蔽了输出电路的噪声对控制电路的影响, 并使闭环控制系统保持较好的稳态特性和暂态特性。根据实验结果, 该电路可应用在满载输出 5 kV, 2.5 kW 的开关电源系统中。

对于上述所设计的采样电压隔离转换电路, 只要改变取样端分压电阻的比例, 就可以满足不同电压的隔离要求; 同时改变电阻 R_3 , R_4 和 R_6 和 R_7 的比例, 则可以满足不同的输入输出电压要求; 如果采用双电源供电, 并采用更精密的运放, 则可以使隔离电路具有更高的线性度和频带宽度。因此, 通过灵活设计, 该电路可以适用于不同需要的模拟信号隔离场合, 具有较强的实用性。

参考文献:

- [1] HCN200/201. datasheet[Z]. Agilent Technologies.
- [2] CA3130A. datasheet[Z]. Intersil Technologies.
- [3] 那文鹏, 王 昊, 陈 东. 线性光耦合器模拟信号隔离电路[J]. 辽宁工学院学报, 2000(5): 12-14.
- [4] 吕勇军. 模拟光耦 HCN201 及在数据采集系统中的应用[J]. 国外电子元器件, 2003(4): 68-69.
- [5] 徐德洪. 电力电子系统的建模与控制技术 [M]. 浙江: 浙江大学出版社, 2001.
- [6] Bhat A K S. Analysis, Optimization and Design of a Series-parallel Resonant Converter[C]// APEC 1990: 155-164.

(上接第 294 页)

(2) 采用光纤在高、低压侧间传输信号, 系统绝缘相对简单, 动态范围宽, 抗电磁干扰能力强。

(3) 基于 PCB 板的平面形 Rogowski 线圈及数字积分器的使用, 提高了谐波测量的准确度、稳定性。

(4) 低功耗电路设计降低了对光源的要求, 提高光源的寿命和可靠性。

目前正在分析影响系统可靠性的各种因素, 对系统的可靠性进行评估, 最终将该产品的可靠度量化, 为光纤电流测量系统的实用化提供理论依据。

参考文献:

- [1] FANG Zheng-peng. A New Approach to Harmonic Compensation in Power Systems-a Combined System of Shunt Passive and Series Active Filters [J]. IEEE Trans. on Industry

Applications, 1990, 26(6): 983-990.

- [2] ZHANG Wen-yan, Asplund G. Active DC Filter for HVDC System-a Test Installation in the Konti-Skan DC Link at Lindome Converter Station[J]. IEEE Trans. on Power Delivery, 1993, 8(3): 1599-1606.
- [3] ZHANG Wen-yan, Asplund G. Active DC Filter for HVDC Systems [J]. IEEE Computer Applications in Power, 1994, 7(1): 40-44.
- [4] ZHANG Wen-yan, Alf J Isaksson, Ake Ekstrom. Analysis on the Control Principle of the Active DC Filter in the Lindome Converter Station of KONti-Skan HVDC Link [J]. IEEE Trans. on Power Delivery, 1998, 13(2): 374-381.
- [5] Kojovic L. Rogowski Coils Suit Relay Protection and Measurement [J]. IEEE Computer Applications in Power, 1997, 10(3): 47-52.
- [6] 张明明, 张 艳, 李红斌, 等. Rogowski 电流互感器的积分器技术[J]. 高电压技术, 2004, 30(9): 13-16.

欢迎投稿! 欢迎订阅! 欢迎评刊! 欢迎刊登广告!