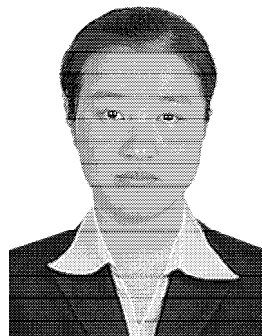


研
究
开
发

一种新型的电力机车用光纤电压互感器

余 丹¹, 孙 文², 徐 雁², 马 坦²

(1. 咸宁职业技术学院 信息与软件工程系, 湖北 咸宁 437100;
2. 华中科技大学 电气与电子工程学院, 湖北 武汉 430074)



作者简介: 余 丹 (1981-), 女, 硕士, 讲师, 从事单片机及计算机应用研究。

摘 要: 针对目前传统电力机车用电压互感器存在谐振、在机车过电分相时容易造成过电压等缺陷, 提出了一种新的检测方案, 有别于传统的电磁感应方式, 该方案使用阻容分压, 并通过光纤传递数字信号。相对于传统互感器本方案在体积、绝缘、安全、精度方面均有较大优势。试验结果显示该方案性能优良, 并可满足机车需求。

关键词: 电力机车; 电压互感器; 光纤; 电容

中图分类号: U264.7; TM451 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-128X(2014)02-0069-04

A New Optical Fiber Voltage Transformer with Capacitor Used on Electric Locomotives

YU Dan¹, SUN Wen², XU Yan², MA Tan²

(1. Department of Information and Software Engineering, Xianning Vocational Technical College, Xianning, Hubei 437100, China;

2. School of Electrical and Electronic Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan, Hubei 430074, China)

Abstract: For the issue that resonance of traditional voltage transformer used on electric locomotives caused overvoltage while locomotive passing neutral section, a new design was presented with resistive-capacitive voltage measurement method replacing existing electromagnetic method and optical fiber transmitting digital signals. The new design showed the advantages such as small size, excellent insulation, operating security and high measuring accuracy. The tests proved that the new design had an excellent performance and could meet the demand of locomotive.

Keywords: electric locomotives; voltage transformer; optical fiber; capacitor

0 引言

高压电压互感器是机车车顶高压电器设备, 主要实现牵引网电压测量、功率计量和保护功能。当前电力机车对电网电压的测量主要是使用传统的电磁式电压互感器^[1]。受传感机理的限制, 传统的电压互感器具有动态范围小、容易产生铁磁谐振过电压和输出不能短路等缺点, 且在机车车顶长期处在多变环境下使用时, 由于油浸式结构和谐振过电压的原因, 可能烧损、开裂甚至爆炸。

理论研究和实际运行及测试显示: 过电分相暂态过程中出现的过电压是发生绝缘事故的主要原因^[2-4],

而过电压则与电压互感器密切相关^[5]。

传统的电磁式电压互感器输出端直接与车载装置相连, 当互感器一次绕组放电或者被击穿时, 高电压可能进入二次侧危及人员和仪表设备的安全。为了保证电压互感器的绝缘效果, 传统的互感器体积大且安装在车顶, 这样增大了迎风面, 不利于机车高速运行。

本文提出了一种新的测量方案, 采用与常规电容式电压互感器 (Capacitor voltage transformer, 简称CVT) 不同的新型互感器取代现有的电磁感应式互感器。该互感器可消除铁磁谐振, 有效控制过电压, 结合无油结构, 从理论上可有效减少开裂和爆炸的风险; 使用光纤传输能量和测量信号, 实现了可靠的电隔离, 完全保证车载设备和工作人员的安全; 有效控制车载高压测量设备的体积和高度尺寸, 有利于安装维护和机车的高速运行。

收稿日期: 2013-09-05; 收修改稿日期: 2013-12-15

基金项目: 强电磁工程与新技术国家重点实验室基金项目 (2013KF001)

1 原理设计

电力机车用光纤电压互感器的基本设计思想在于将电压互感器与车载装置用光纤进行电隔离。电压互感器采用电容式分压器, 光纤传递数字信号及信号采集板所需能量可免受外界电磁场影响, 其工作原理如图1所示。电容分压器将高电压转化为低压电信号, 送入信

号采集模块进行处理。在信号采集模块中将模拟信号转换为数字信号, 再经过电光转换通过光纤传递给车厢内的信号处理模块。在信号处理模块中还原成数字信号, 交由单片机处理。单片机经过计算给出用于显示的有效值, 同时向控制保护及计量设备提供模拟信号量和实时数字信号采样序列。信号采集模块是微功耗模块, 其能量由低压侧的激光光源通过光纤传送。

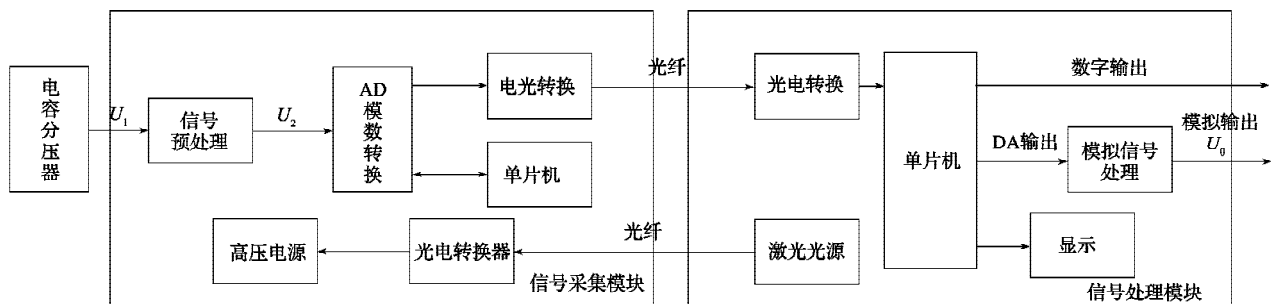


图1 光纤电压互感器原理图

1.1 分压器选择

1.1.1 电磁式电压互感器

当前电力机车主要使用传统的电磁式电压互感器, 其经过长期的发展, 技术已经相当成熟。然而随着电力机车速度的不断提升, 运行安全要求日趋严格, 电磁式电压互感器本身的不足日益突出, 特别是铁磁谐振的危害在电力机车运行过程中表现得非常突出。

文献[7]指出, 当系统中的容性元件与感性的电磁式电压互感器成并联回路时, 有可能发生并联谐振。图2是电力机车运行时, 电压互感器为电磁式的系统等效电路图。此时对于整个系统而言, 电磁式互感器相当于感性负载。

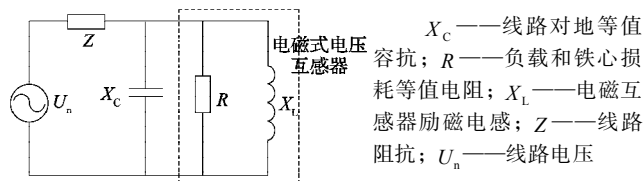


图2 电磁式电压互感器系统等效电路图

在正常运行情况下电磁互感器工作在线性区域, 其励磁阻抗 X_L 很大。当牵引网发生冲击扰动, 例如电力机车过电分相时的暂态过程会使电磁互感器的电压突然升高造成互感器磁路饱和, 励磁阻抗 X_L 相应减小。当 $X_L = -X_C$ 时, 即产生谐振现象。这种形式的谐振在高频、基频和分频下都可能发生。其中分频谐振过电压一般不超过2倍线路电压, 但由于励磁感抗减半, 电压互感器深度饱和, 励磁电流将急剧增大, 甚至达额定值的百倍以上, 从而造成电压互感器发热、喷油甚至爆炸。

电磁互感器的铁心饱和会引起电流、电压波形的畸变, 从而产生谐波, 同时由于电力机车本身也相当于一个谐波源, 因此在电磁互感器发生过电压饱和时, 铁磁谐振十分容易发生, 加之电力机车过电分相频繁,

使得铁磁谐振发生概率大大增加。

1.1.2 电容式电压互感器(CVT)

电力系

统典型CVT由电容单元、中间变压器、补偿电抗器、阻尼器等元件组成, 如图3所示。

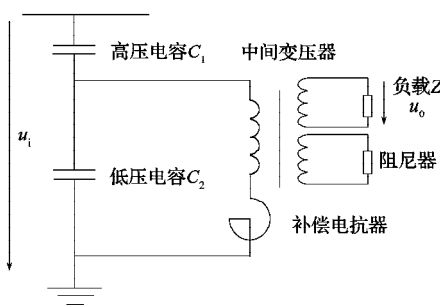
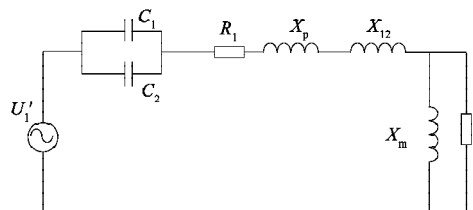


图3 CVT原理图

CVT不和系统线路对地电容产生铁磁谐振, 但是自身却易发生铁磁谐振。

其工作时戴维南等效电路如图4所示。



C_1 、 C_2 ——高压电容、低压电容； R_1 ——一次回路总电阻； X_p ——补偿电抗器电抗； X_{12} ——中间变压器的漏感抗； X_m ——中间变压器的励磁电抗； Z ——负载阻抗； U_1' ——分压电容上的电压, $U_1' = U_1 \times C_1 / (C_1 + C_2)$

图4 CVT等效电路图

正常情况下, CVT为线性状态, 励磁阻抗和负荷阻抗都很大, 回路电流小。但当电网发生冲击扰动时, 使进入CVT的电压升高, 中间变压器铁心饱和, 励磁电感 X_m 下降, 有可能出现 $X_p + X_{12} + X_m$ 接近 X_C (C_1 、 C_2 的并联容抗)的情况, 由于负载阻抗 Z 远大于 X_m , 负载可视为开路^[9], 于是串联谐振的条件被满足了。在谐振状态下, 回路电流和在中间变压器、电容上的电压都异常增大, 引起熔丝烧断。这种谐振在高频、基频、分频

的情况都会发生。所以同电磁式电压互感器相似, 传统的CVT应用到电力机车上只会使铁磁谐振发生得更加频繁。

1.1.3 光纤电压互感器

根据TB/T 3038—2002《电气化铁道50 kV-25 kV电压互感器》和GB/T 1402—2010《轨道交通 牵引供电系统电压》规定其性能参数如表1^[8]。

有别于传统CVT结构, 本文采用了如图5所示的结构, 由于采用光纤传递数字信号, 二次负载可等效为一个非感性阻抗。由于不含感抗, 使得谐振不可能发生, 从而使过电压大幅降低, 同时采用无油结构, 理论上将不会出现开裂甚至爆炸的情况。

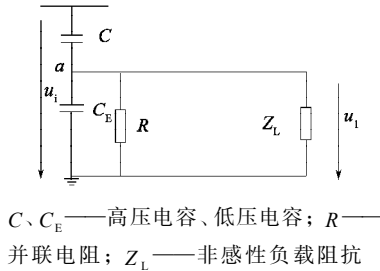


图5 电压互感器原理图

表1 电压互感器绝缘性能参数 kV

项目	数值
额定电压	25
设备最高电压	29
额定工频耐压(方均根值)	85
额定雷电冲击耐受电压	200

由于 $R \ll Z$, 在a点根据节点电流法, 电压传感器的一次电压 u_1 和二次电压 u_2 的关系如下:

$$\frac{u_1}{R} + C_E \frac{du_1}{dt} = C \frac{d(u_1 - u_2)}{dt} \quad (1)$$

整理得:

$$\frac{u_1}{R} + (C + C_E) \frac{du_1}{dt} = C \frac{du_1}{dt} \quad (2)$$

$$\text{令 } u_1 = u_{am} \sin(\omega_1 t + \varphi)$$

保证 $R(C + C_E) \ll \omega$ (ω 为 u_1 的角频率)时:

$$u_2 = RC \frac{du_1}{dt} \quad (3)$$

分压器输出的电压信号是与高电压信号成比例的微分信号。

1.2 信号采集模块

信号采集模块位于车顶, 其主要功能在于将电容分压器输出的电压信号进行预处理之后转化为数字信号并耦合成数字光信

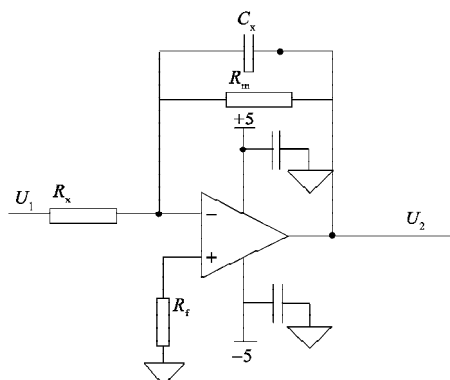


图6 预处理电路

号。该模块采用低功耗元器件, 经过实际测试, 在正常工作情况下整个模块的功耗控制在80 mW以内。信号采集模块在收到分压器送来的微分电压信号后, 由式(4)可知必须进行积分, 积分处理电路如图6所示。

可得

$$U_2 = -\frac{U_1}{R_x} \cdot \frac{R_m}{1 + j\omega R_m C_x} \quad (4)$$

满足 $\omega R_m C_x \gg 1$ 条件时, R_m 的影响可以忽略:

$$U_2 = -\frac{U_1}{j\omega R_x C_x} \quad (5)$$

$$\text{或 } u_2 = -\frac{1}{R_x C_x} \int u_1 dt \quad (6)$$

再由式(3)可得

$$u_2 = -\frac{RC}{R_x C_x} u_1 \quad (7)$$

从而获得与 u_1 成正比的电压信号 u_2 , 此电压信号供模数转换器采集转换为数字信号。

模数转换器的采样率可参照电力系统数字化变电站标准IEC 61850-9-2协议标准中对电子式互感器的规定: 工频信号采样率为80点/周波或256点/周波, 也可根据铁路系统的需求进行自定义。本系统中采用256点/周波, 即信号采集模块中采样频率为12.8 kHz, 且采用16位高精度模数转换器。

根据现有的一些测试资料, 电容式互感器的测量带宽均在10~30 MHz甚至更高^[6], 因此本系统中限制传感器带宽的主要因素在于采样率。根据采样定理, 本系统理论上可以识别频率为6.4 kHz的信号, 完全可以满足实际使用需求。

1.3 光纤通信

在本系统中, 光纤只是向下传递带有测量信息的数字信号, 为单向传输。因此可选芯径为62.5 μm 的单芯多模光纤。信号采集模块的电/光转换器件LED和信号处理模块的光/电转换器件PIN中心波长均为850 nm。由于车顶的信号模块与车内的信号处理模块仅采用光纤连接, 实现完全的电隔离, 保证了车载设备和工作人员的安全。

1.4 信号处理模块

信号处理模块位于机车内部, 其接收到光信号之后转为电信号并交由单片机处理。单片机经过计算得出实际计量值并显示在液晶屏上, 同时也提供实时的数字信号和模拟信号输出供测量和控制使用。输出的模拟信号已经过滤波、移相、幅值调整等处理, 相位与被测电压同相, 幅值与被测电压成正比。

1.5 高压电源

信号采集模块的整体功耗约为80 mW, 其电源由信号处理模块内的激光光源提供。激光光源通过光纤将激光传输到信号采集模块内的光电转换器, 信号采集

模块内的光电转换器将激光转换为电能供信号采集模块使用。

设计中所用的激光供电方案已在电子式电流互感器中得到应用,并已在220 kV系统挂网运行2年。

2 试验测试

根据铁道部标准TB/T 3038—2002《电气化铁道50 kV、25 kV电压互感器》6.2.3.1规定,测量级电压互感器在额定频率下,电压在80%~120%额定电压 U_N 之间的误差允许范围如表2^[8]。

表2 测量级电压互感器电压误差和相位误差的限值

准确级	电压误差/%	相位误差/(′)
0.2	± 0.2	± 10
0.5	± 0.5	± 20
1	± 1.0	± 40

本方案按照0.2级要求进行测试。

2.1 测量装置误差测试

模拟电容分压器输出,对信号采集模块加载标准电压信号 U_i 。记录信号处理模块输出模拟信号 U_o 。信号采集模块与处理模块通过光纤相接。测试整个测量部分的误差(标准互感器的精度为0.02级,校验仪的精度为0.05级),结果如图7所示。测试结果显示测量装置的电压

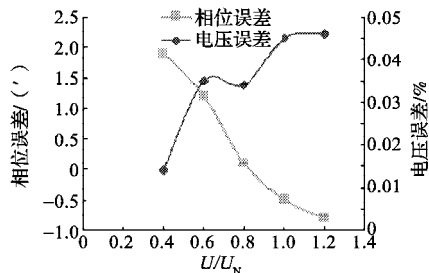


图7 测量装置误差曲线

误差优于万分之五,相位误差小于2′。

2.2 整机误差测试

高压分压器和测量装置组成整个光纤电压互感器,如图8。在试验室室温条件下进行高压误差检验,结果如图9所示。

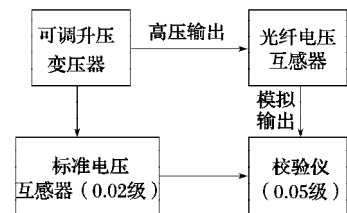


图8 整机误差测试原理图

从测试结果看,室温时本系统在0.4~1.2倍额定电压下,电压误差优于千分之一,相位误差小于2′。

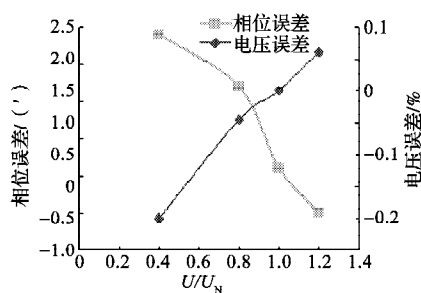


图9 整机误差曲线

3 结语

利用分压原理与光电隔离,该系统高压低压之间完全电隔离,安全等级高,具有良好的应用前景。下一步将对整个系统进行温度稳定性试验、电磁兼容试验等试验研究,进一步验证该系统的稳定性与可靠性。

本文所介绍的电力机车用光纤电压互感器方案已获新型实用专利授权并已提出发明专利申请。

参考文献:

- [1] 邓木生,王强,李华柏,等.电力机车干式高压电压互感器故障分析及预防措施[J].机车电传动,2011(2).
- [2] Qu Zhijian, Liu Mingguang, Guo Liang, et al. Transient processes time series analysis of high-speed railway power traction and over-voltage protection[C]//2012 International Conference on Computer Distributed Control and Intelligent Environmental Monitoring. Los Alamitos, CA, USA: IEEE Computer Society, 2012: 818-821.
- [3] 赵峰,张泰伟,张忠.接触网关节式电分相过电压的研究[J].兰州交通大学学报,2009,28(1): 52-55.
- [4] 刘明光,路延安,魏宏伟,等.关节式电分相过电压试验研究[J].电气化铁道,2007(4): 15-17.
- [5] 宫衍圣.电力机车过关节式电分相过电压研究[J].铁道学报,2008,30(4): 103-107.
- [6] 高长征,司秉千,田春光.适用于谐波测量的CVT宽频传输特性测试方法[J].吉林电力,2011,39(5): 1-4.
- [7] 董国震,和敬涵.电力系统局部电路谐波谐振产生原因分析及对策[J].继电器,2007,35(1): 77-80,84.
- [8] TB/T 3038—2002 电气化铁道50 kV、25 kV电压互感器[S].
- [9] 夏长根,蔡秀雯,谭伟璞,等.一起35 kV电容式电压互感器爆保险分析[J].电力电容器,2006(3).

动态消息

新一代永磁现代有轨电车在中国南车下线

2014年2月17日,目前国际最先进的第三代100%低地板有轨电车样车在南车青岛四方机车车辆股份有限公司下线,该车辆在国内首次采用永磁电机驱动、铰接转向架两项世界领先技术,具有高效安全、低噪环保、运营维护成本低、曲线通过能力强的技术特性。

该车辆采用世界上最先进的驱动技术,同步永磁电机直接驱动,转向架无传统的齿轮箱,体积小,传动效率高,启动

加速快,运营可靠,维护费用低。该车辆首次采用铰接转向架技术,其转弯灵活,曲线通过能力强,最小转弯半径可以达到18 m。列车运行时无轮轨滑动、齿轮箱传动噪声。其人均能耗约相当于公交车的1/4,小汽车的1/10。车辆设有智能网络控制、视频监控、紧急报警、乘客信息等系统,视频监控系统不仅可监视车内的旅客乘坐环境,也可监视车外站台信息以及车辆前端的轨道情况,可以最大限度地保证车辆的运营安全。为减少高架接触网对城市景观的影响,该车辆还设有车载储能系统,可实现无接触网牵引模式。

该现代有轨电车将进行一系列的型式试验和线路试验,之后将正式投入运营。

(朱一迪)