

光电式电流互感器技术的研究现状与发展

邱荣光, 刘仕兵

(华东交通大学 电气与电子学院, 江西 南昌 330013)

摘要: 对光电式电流互感器(OCT)和传统的电磁式电流互感器进行了比较,结果表明 OCT 性能优良,是传统电流互感器较为理想的替代产品。对 OCT 技术进行了研究,阐述了有源型 OCT 和无源型 OCT 的工作原理、电路结构和优缺点。分析了目前有源型 OCT 研制过程中存在的主要问题:是双折射效应影响、温度影响、干扰和振动问题,无源型 OCT 的主要问题是高电位侧传感头的电源供应和电磁兼容问题、防电磁干扰问题。综述了光电式电流互感器技术的研究现状并对其进行了展望,高精度、高可靠性、大动态范围是其发展趋势。

关键词: 电磁式电流互感器; 光电式电流互感器; 有源型; 无源型

中图分类号: TM 452⁺.93

文献标识码: A

文章编号: 1006-6047(2006)08-0098-03

目前,电力系统中广泛采用的传统电磁式电流互感器,利用电磁感应原理将电流变换为 5 A/1 A,是为满足电磁式继电保护和控制装置、电动式量测和计量仪表的输入要求而设计的。其主要优点是:简单、可靠性高、输出容量大,性能比较稳定,适合长期运行,并且有长期运行的经验^[1]。然而,随着电力系统传输容量的增加,电压等级升高,传统电流互感器的传感原理出现了以下问题^[1-8]:结构日趋复杂,体积大、造价高;在故障电流下铁芯易饱和,使二次电流值和波形失真,产生测量误差;充油易爆炸而导致突然失效;若输出端开路,产生高电压对周围设备和人员存在潜在的威胁,易受电磁干扰。

因此,必须研制利用其他传感原理的新型电流互感器。目前,在电力系统的保护装置、电网运行监视与控制系统等已基本实现微机化,取用功率很小,故利用其他原理实现电流传感已成为可能。新型电流互感器按高、低压部分的耦合方式,可分为无线电磁波耦合式、电容耦合式和光电耦合式。其中,光电式电流互感器 OCT(Optical Current Transducer)性能最佳。

1 光电式电流互感器

光电式电流互感器按其传感原理的不同,可分为无源型 OCT 和有源型 OCT 2 种。无源型 OCT 又可分为磁光式电流互感器(MOCT)、全光纤型 MOCT 以及混合型 MOCT 3 种。

1.1 无源型 OCT

1.1.1 MOCT

MOCT 的基本工作原理是磁光效应(即材料在外加磁场作用下呈现光学各向异性,使通过材料的光波偏振性质发生改变的现象)。磁场作用下材料呈现的光学各向异性有很多种,主要有法拉第

(Faraday)磁光效应和磁线偏振双折射效应。MOCT 是利用法拉第磁光效应的原理对电流进行测量^[6]。

MOCT 的优点是可以选择高费尔德常数的块状光学材料增加系统的灵敏度,且不受线性双折射的影响。缺点是体积大、笨重、不易操作、光路不易控制,并且对电子电路的稳定性要求较高。

1.1.2 全光纤型 MOCT

全光纤型光电电流互感器 AFOCT(All Fiber Optical Current Transducer)是指传光、传感部分都是采用光纤,其中光纤一般选用单模光纤^[7]。它具有结构简单、灵敏度可随光纤长度变化等优点,但在实现挂网过程中遇到提高精确度与长期稳定性的复杂问题,还需在理论与工艺性能等方面深入研究。

1.1.3 混合型 MOCT

混合型 MOCT 是指传光采用光纤、传感采用磁光材料,一般采用磁光玻璃。其优点是光程短而简单,只需要一小块块状光学材料,可选用高费尔德常数的光学材料、减小磁间隙提高灵敏度,且易对现有电流互感器进行更新改进。缺点是绝缘性差、有磁饱和效应、对附近导线比较敏感,磁场在空隙处不均匀会导致设备的灵敏度依赖于传感元件位置。

1.1.4 无源型 OCT 与传统电流互感器比较

无源型 OCT 较之传统电流互感器有以下优点:

- a. 绝缘性能好,用做传感材料和传输信号的光纤是良好的绝缘材料;
- b. 不含油,没有爆炸危险;
- c. 受电磁干扰影响小;
- d. 不含铁芯,没有磁共振、磁饱和及大电感引起的滞后现象;
- e. 无开路导致高压的危险;
- f. 体积小、重量轻、结构简单;
- g. 测量频带宽,由于光通过传感器部分只需要微秒级时间,因而频带宽度完全由信号处理部分电子线路响应速度决定;

h. 动态范围大,可在相当宽的电流范围内保持良好的线性特性。

虽然 MOCT 已经达到实用化的程度,但是要取代传统的电流互感器还存在 4 个问题。

a. 双折射效应影响。使检偏器的输出光强度变化不与被测电流成正比,影响灵敏度和测量精度。

b. 干扰问题。因采用磁光效应原理,易受导体周围磁场的影响而产生干扰问题,造成测量误差。

c. 温度影响。MOCT 的重要部件是 Faraday 晶体,其特性随温度的变化而变化,会给测量系统带来一定的误差。

d. 振动问题。当测量的光学系统受到电路的开关动作、环境或人为干扰时,就会产生振动。

1.2 有源型 OCT

有源型 OCT 又称为电子式光纤电流互感器,与磁光式电流互感器的主要不同之处是它的高电位侧的传感头采用电子器件,而不是磁光晶体或光纤,因此,高电位侧必须有相应的供电电源。根据传感头的采样方式以及信号调制方式的不同,有源型 OCT 可以分为调幅电子式、压频转换采样式(即 VFC 式)和 AD 转换式(即 ADC 式) 3 种。

1.2.1 调幅电子式电流互感器的工作原理

如图 1 所示,电/光(E/O)变换部分和采样线圈以及校正信号发生器相接。

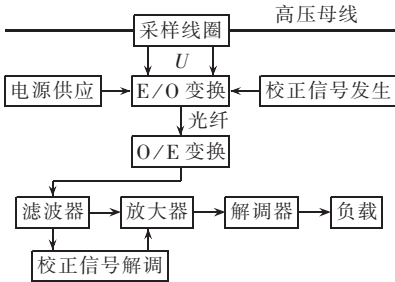


图 1 调幅电子式电流互感器结构图

Fig.1 Structure of amplitude-modulation electronic CT

滤波器接收光/电(O/E)变换的输出,它将工作信号和校正信号分开,工作信号直接连到放大器的输入,再通过解调器和负载将电流信号还原,而校正信号则通过校正信号解调器后连接到影响放大器放大系数的元件上。这样校正信号应在频率、时间或振幅等特征的所有变化范围之内与工作信号区分开来。如果在任一外部条件下,规定了一定的放大器放大系数,那么外部介质条件的改变,包括温度、压力等因素对工作信号和校正信号的传递系数有同样的影响。因此,校正信号解调器的输出电平与影响放大器放大系数的变化参数相应地变化,以保持测量装置的输出工作信号保持不变。

调幅电子式电流互感器的主要优点是结构比较简单,相角误差可以通过调节放大电路的内部相移而减小。但是,由于光纤传输的是模拟信号,温度和其他噪声因素对电路的影响比较大,系统工作不够稳定,因此应用时有一定的困难。

1.2.2 VFC 有源光电式电流互感器工作原理

VFC 有源光电式电流互感器结构如图 2 所示。

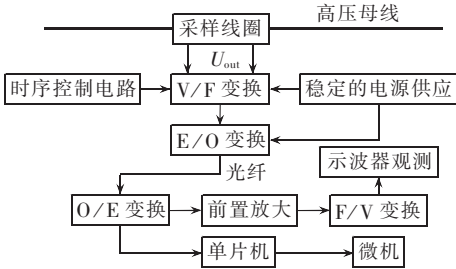


图 2 VFC 有源光电式电流互感器结构图

Fig.2 Structure of VFC active OCT

图中,线电流经过采样线圈后进入电压/频率转换电路,即 V/F 转换部分,经过 V/F 转换后,电流的变化将被转变成为脉冲频率的变化,这一电脉冲信号经过 E/O 变换器件变换后,变为光脉冲,经过光纤传到地电位侧。地电位侧的 O/E 变换器件将光信号还原成为电信号,经过放大器的放大后进入频率/电压转换电路,即 F/V 转换部分,这样,母线侧的电流信号就可以变成成为可以反映在示波器上的模拟信号。另外,也可以将该电信号送入单片机或微机进行信号处理,完成继电保护、在线检测等功能^[8-10]。

采用 V/F 变换器的主要优点是:结构简单,相对而言占用的计算机资源比较少;精确度、抗干扰性能比较高;比较适合信号的远距离传输;容易满足同时传输多路信号的要求。

1.2.3 ADC 光电式电流互感器工作原理

ADC 光电式电流互感器结构如图 3 所示。

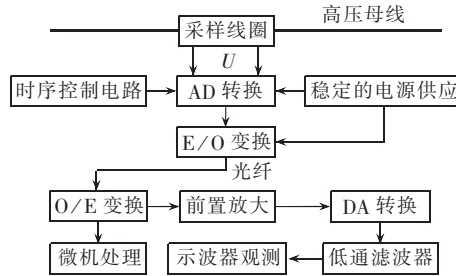


图 3 ADC 式电流互感器结构图

Fig.3 Structure of ADC CT

ADC 与 VFC 式结构类似,但它又有 2 个特点。

a. 高电位侧用 AD 变换器取代了 V/F 变换器,低电位侧用 DA 变换器取代了 F/V 变换器,经过 AD 转换的数字信号驱动 LED 通过光纤将光信号串行传输到低电位侧,经过放大器的放大后,再由 DA 转换器将数字信号还原成为模拟信号。目前,集成电路工业的发展使得高电位侧采用 AD 转换器件进行采样成为可能。

b. 由于 AD 转换器件对时序的要求,必须高电位侧加上时序控制电路。在目前情况下,光纤的传输一般采用多路频分复用和多路时分复用 2 种方式,因此为了将多路信号传输到低电位侧,必须采

用2根光纤传递信息,一路是时钟信号,而另一路是数据采样信号。

ADC光电式电流互感器的主要优点在于:目前的AD变换器的转换精度比较高,可以通过选用合适的AD变换器满足系统对精度的要求;传感头的功耗比较小;接收端的电路相对比较简单,可以直接和计算机进行数据通信。

1.2.4 有源型光电电流互感器的优缺点

有源型光电电流互感器的优点是:简单、尺寸小、造价低、精度高,设备安装、检修方便,运行安全,有利于变电站综合自动化水平的提高,测量动态范围宽、灵敏度高。因此,在现代电子器件可靠性高、性能稳定的条件下易于实现精度高、输出大的实用性产品。

在研制过程中面临的主要问题是高电位侧传感头的电源供应问题和电磁兼容问题。由于传感头完全采用电子线路,而它的电源供应是通过光电池等O/E转换器件得到的,如果传感头电子线路消耗能量过大,则要求能量提供单元提供更高的能量输出,这将使整个系统的结构复杂化。因此,应该尽量减小电子线路的功率消耗,以有限的能量实现较为完整的功能。此外,由于传感头安装在高压输电线路附近,电流流过母线将会引起空间强大的电磁辐射,这些辐射将对传感头电子线路产生比较强的电磁干扰,影响系统的可靠性和稳定性。因此,对传感头采用适当的抗干扰措施和电磁屏蔽方法也是非常必要的^[9]。

2 结语

光电式电流互感器具有传统电磁式电流互感器无法比拟的优点,是传统电流互感器较为理想的替代产品,光电互感器的发展趋势必将是高可靠性、高精度、大动态范围,可广泛用于电力工业领域。国际电工委员会(IEC)于1999年出台了IEC 60044-8标准,为开发利用光电电流互感器提供了依据。

参考文献:

- [1] 刘发胜. 互感器的发展状况[J]. 电气时代,2003(8):84-85.
LIU Fa-sheng. Development situations of current transformers

- [J]. Electric Age,2003(8):84-85.
- [2] 王少奎. 电子式电流互感器的发展现状及研制难点[J]. 变压器,2003,40(5):20-25.
WANG Shao-kui. Development difficult points and present situation of electronic current transformer [J]. Transformer,2003,40(5):20-25.
- [3] 罗苏南,叶妙元. 电子式互感器的研究进展[J]. 江苏电机工程,2003(3):52-54.
LUO Su-nan, YE Miao-yuan. Research development of electronic transducer[J]. Jiangsu Electrical Engineering,2003(3):52-54.
- [4] 张永,罗苏南. 数字式光电电流/电压互感器[J]. 电力自动化设备,2002,22(6):47-49.
ZHANG Yong, LUO Su-nan. Digital opto-electronic instrument transformers [J]. Electric Power Automation Equipment,2002,22(6):47-49.
- [5] 李澎,蔡志斌,罗承沐. 光电电流互感器的供电电路的研究[J]. 电工电能新技术,2003,22(4):68-72.
LI Peng, CAI Zhi-bin, LUO Cheng-mu. Study on power supplies for hybrid optical current transformer[J]. Advanced Technology of Electrical Engineering and Energy,2003,22(4):68-72.
- [6] 颜研,张涛,罗承沐,等. 一种混合式光电电流互感器的电子电路[J]. 变压器,2001,38(11):7-10.
YAN Yan, ZHANG Tao, LUO Cheng-mu, et al. Circuit of hybrid optical current transformer[J]. Transformer,2001,38(11):7-10.
- [7] 乔峨,安作平,罗承沐,等. 光电式电流互感器的开发与应用——21世纪互感器技术展望[J]. 变压器,2000,37(1):40-43.
QIAO E, AN Zuo-ping, LUO Cheng-mu, et al. Development and application of optical current transformer: looking forward for instrument transformer technology in 21st century[J]. Transformer,2000,37(1):40-43.
- [8] 柴雄良,程兆谷,高海军. 新型光电混合式电流互感器设计[J]. 激光技术,2003(5):392-395.
CHAI Xiong-liang, CHENG Zhao-gu, GAO Hai-jun. Design of a novel electrical optical hybrid current transducer [J]. Laser Technology,2003(5):392-395.
- [9] 易本顺,刘延冰,阮芳. 光学电流传感器现场运行性能分析[J]. 中国电机工程学报,1997,17(2):138-140.
YI Ben-shun, LIU Yan-bing, RUAN Fang. Field performance analysis of optical current transducer [J]. Proceedings of the CSEE,1997,17(2):138-140.
- [10] 罗苏南,叶妙元. 光学组合互感器的研究[J]. 电工技术学报,2000,15(6):45-49,74.
LUO Su-nan, YE Miao-yuan. Research on optical combined transformer[J]. Transactions of China Electrotechnical Society,2000,15(6):45-49,74.

(责任编辑:柏英武)

作者简介:

邱荣光(1972-),女,河北秦皇岛人,讲师,研究方向为变电站综合自动化(E-mail:liucyier@163.com);

刘仕兵(1970-),男,湖北麻城人,硕士研究生,研究方向为高速电气化铁路接触网检测技术。

Research status quo and development of optical current transducer

DI Rong-guang, LIU Shi-bing

(School of Electrical Engineering, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: The comparison between OCT(Optical Current Transducer) and traditional electromagnetic current transformer shows that the former is the ideal substitute for the latter with its good performance. OCT technique is studied and working principles, structures as well as merits and demerits of active and reactive OCTs are expounded. Main problems of them are analyzed, such as dual-refraction effect, temperature, interference and vibration in active OCT and power supply at high-voltage side, electromagnetic compatibility and electromagnetic interference in reactive OCT. The status quo and development trend of OCT technique toward high precision, high reliability and large dynamic range are summarized.

Key words: electromagnetic current transducer; OCT; active type; reactive type