

电子式电流互感器研发现状与应用前景

孙振权, 张文元

(西安交通大学电气工程学院, 陕西 西安 710049)

The Current Situation and the Future of Developing Electronic Current Transducer

SUN Zhen-quan, ZHANG Wen-yuan

(School of Electrical Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

摘要: 介绍了电子式电流互感器的定义、工作原理分类、产品在国内外的发展现状及其应用前景。综合分析后认为: 采样线圈配光纤型电子式电流互感器具有广泛的产品化前景。

关键词: 电子式电流互感器; 工作原理; 应用前景

中图分类号: TM452

文献标识码: A

Abstract: This article summarizes the definition, classification of electronic current transducer (ECT). It's concluded that the ECT with traditional coil matching electro-optical converter has a prosperous future of application.

Key words: electronic current transducer(ECT); principle of operation; future of application

1 电子式电流互感器的定义

在国内, 电子式电流互感器又称为光电式或光学电流互感器, 一般意义上是指一、二次电流通过光纤来传输的电流互感器, 但至今未有明确的严格定义。2000年, IEC根据基于光学和电子学原理的电流互感器(ECT)的发展趋势, 制定了关于ECT的IEC60044-8标准, 明确ECT指采用传统电流互感器(CT)、霍尔传感器、Rogowski线圈或光学装置作为一次转换部分, 利用光纤作为一次转换器和二次转换器之间的传输系统, 并且装有电子器件作测量信号的传输和放大, 其输出可以是模拟量或数字量^[1]。

2 ECT的原理分类

(1) Faraday效应是最早用于测量电流的一种方法^[2], 其基本测量模式有两种: 磁光玻璃传感器、光纤传感器³。

(2) Kerr磁光效应因外加磁场的方向不同分为3类: 极向、横向、纵向。

(3) 逆压磁效应是通过干涉仪测量外加磁场来实现电流测量的。

(4) 霍尔效应是利用半导体霍尔片在霍尔电场

中洛伦兹力与电场力相等时电压与电流的线性关系作为测量依据的。

(5) 电热效应是指通过测量二次电流的热效应, 从而间接测量一次电流。

(6) 磁致伸缩效应。

(7) 铁氧体磁畴效应。

(8) 磁流体热透镜耦合光磁效应。

(9) 电流互感器配光纤型: 传统电流互感器与光纤配合应用, 按照其信号调制方式可分为相位调制、波长调制、强度调制、频率调制、A/D转换以及颜色调制^[4]。

3 ECT的研究现状

ECT的研究是从Faraday效应和传统电流互感器配光纤方式开始的。从20世纪70年代初起步, 主要研究ECT的原理及测量准确度的影响因素; 80年代, 随着计算机和数字信号处理技术的兴起, 各种优质高性能光纤的出现, 研究工作转到消除线性双折射的影响和提高ECT的温度稳定性上。到了90年代初, 出现了利用各种物理效应进行测量的ECT, 如铁氧体磁畴效应、磁流体热透镜耦合光磁效应等。同时光纤技术、高速A/D转换技术与ECT结合, 使得ECT得到了前所未有的发展。90年代后期, 传统电流互感器配光纤型的ECT受到人们的广泛重视, 进行了多次现场挂网运行, 获得了大量的现场运行经验, 已经具备了产品化、实用化的基本条件。目前, ECT的研究, 特别是产品化方面的研究, 又集中到了以Faraday效应测量的ECT和传统电流互感器配光纤型的ECT, 尤其是后者的产品化已达成共识。下面就目前ECT存在的主要问题进行分析。

3.1 Faraday效应测量的ECT存在的问题

(1) 环境温度的影响。温度的变化会导致磁光玻璃的Verdet常数发生变化; LED的发光波长随温度的变化而变化, 波长的变化又会导致Verdet常数变化。

(2)光学系统的长期稳定性,光学部件准确定位的困难,组装时的应力会导致双折射。利用双光路减弱干扰双折射时,光路系统相当复杂。

(3)光学系统的加工、装配工艺有待提高。光学材料的加工工艺、光路耦合工艺、光路的装配工艺的要求都很高。

3.2 传统互感器配光纤型 ECT 存在的问题

(1)传感器的供能问题。

(2)Rogowski 线圈输出信号与其结构关系问题,温度变化导致结构变化从而影响输出结果。

(3)电子线路测量准确度问题。

3.3 两类 ECT 存在的共同问题

(1)与常规电流互感器的接口、兼容问题。其输出接口没有统一标准,产品的标定尚未规范化,频率响应、动态范围、信噪比、波形畸变、稳定性的检验和标定需有特殊规范。

(2)校验问题。ECT 输出为弱电信号,且包括数字量,必须探索新的校验方法。

(3)可靠性问题,包括电磁兼容、系统热稳定性及电子元件的可靠性问题。

4 ECT 国内外研发与生产现状

国内研制的 ECT 于 1993 年在广东新会 110 kV 变电站投入了试运行^[5]。广州、武汉、山东、西安等地的一些企业开始或已经投巨资,用于 ECT 产品产业化。

国外很多大公司投入了大量的人力物力对 ECT 进行研究与试制,如 ABB, 西门子, GEC, Alstom, 东芝, 三菱等, 并且有一些产品在电力系统中试运行。1995 年, GEC, Alstom 公司在美国奥兰多的 Bonneville 安装了 525 kV 组合式电压电流传感器^[6]。

国内外学者正在对 ECT 的产品化过程中遇到的具体问题进行分析性探索。针对温度和应力对 ECT 测量结果的影响, 瑞典的 Jaeklin AA, 日本的 Katsukawa H, 英国的 Richardson Z J 等提出利用不同双折射主轴的磁光玻璃组合成传感头, 根据不同的测量值进行温度补偿^[7,8]; 美国的 Ulmer Edward A 通过测定检偏器相对于磁光玻璃特征方向的最佳夹角来降低温度变化导致的双折射^[9]; 德国的 Bosselmann T, 华中科技大学在信号处理模块中将两路输出信号分别交直流分离后和差相除, 旋转检偏器以获得最小的温度漂移^[10]; 清华大学、日本的 Hidenobu K 等采取柔性固定措施减弱温度和应力对磁光玻璃的作用^[11]; 西门子公司的 Willsch M, Mohr S 等利用双波长或多波长光源进行检测以抑制温度和振动的影响^[12]; 英国的 Yi B, Cruden A, 日本的 Yoshino T, Chno Y 等利用增加光路长度的办法提高测量灵敏度^[13]。但是, 以上各种方法均是在实验室条件下取得的成果, 不同程度上存在着通用性差、装置复

杂、受现场工况影响较大的问题。因此, 基于 Faraday 效应的 ECT 进入实用化阶段还需做大量工作。

5 ECT 的特点及应用前景

5.1 ECT 的优点

(1)体积小、质量轻、价格低。

传统的电流互感器绝缘结构复杂, 体积质量较大, 美国西屋公司公布的 345 kV ECT 的高度为 2.7 m, 重量为 109 kg, 而同电压等级的充油电磁感应式电流互感器高为 6.1 m, 重量达 7 718 kg^[14]。传统的电流互感器造价随电压等级呈指数关系上升, 而 ECT 的造价一般随电压等级升高呈线性增加。

(2)测量回路与被测高压之间通过光纤实现电气隔离, 绝缘可靠。

(3)无铁心、不存在磁饱和及铁磁谐振问题。

ECT 一般不用铁心作磁耦合, 消除了磁饱和及铁磁谐振现象, 使互感器的暂态响应好、稳定性好, 保证了系统运行的高可靠性。

(4)暂态响应范围大、速度快, 频率响应宽、测量准确度高。

电网运行时, 电流互感器流过的电流并不大, 但短路电流却很大。电磁感应式电流互感器因存在磁饱和问题, 难以实现大范围测量, 一个通道不能同时满足计量和保护的需要, ECT 有很宽的动态范围, 一个测量通道额定电流为几十到几千安培, 过电流范围可达几万安培。既可同时满足计量与保护的需要, 又可免除传统电流互感器多个测量通道的复杂结构^[14]。

(5)抗电磁干扰性能优异

电磁感应式电流互感器二次回路不能开路, 低压侧存在因开路而产生高电压的危险, ECT 的一二次完全隔离, 低压侧不存在因开路而产生高压的危险, 又因没有磁耦合, 消除了电磁干扰对互感器性能的影响。

(6)便于向数字化发展

ECT 一般以数字量输出, 完全适应电力计量与保护的数字化、微机化和自动化发展的潮流。

5.2 ECT 的应用前景

(1)国际电工委员会关于 ECT 标准的出台, 以及我国已经酝酿起草的 ECT 国家标准, 预示着 ECT 的产品化应用已初步具备了行业规范, 为 ECT 的市场化提供了基础平台。

(2)经过几年的电网改造, 电网的综合自动化水平得到了很大提高, 对相应的网络瞬态保护提出了更快速的要求。随着电网的扩大, 输电线路越来越长, 传统的电流互感器已经无法满足距离保护的瞬态特性要求, 预计在未来 5~10 年中, ECT 会在各种电压等级的电网中大量安装和使用。

(3)国内外研究单位对 ECT 的技术进行了近 30 年的探索, 无论在实验室还是在现场挂网试运

行,都已积累了一定的经验,特别是基于采样线圈配光纤型的ECT已经具备了产品化的条件。

(4)国内外不少企业斥资投入ECT制造领域,也推动了ECT的市场化应用进程。

6 采样线圈配光纤型ECT产品化需解决的几个问题

(1)参照传统的电流互感器首先设计出ECT的整体设计方案。

(2)采样线圈的结构、工艺参数的设计定型。

(3)光纤信号传输系统的工艺及参数的选定。

(4)光电转换与电光转换,能量供应,D/A,A/D,与综保装置接口等电子电路设计。

(5)ECT的参数校验与标定方法。

根据电子式电流互感器工作原理的分类,结合当前材料、工艺状况及电网设备水平,笔者认为:采样线圈配光纤型电子式电流互感器在充分解决以上问题的基础上具有广泛的产品化前景。

参考文献:

- [1] IEC 60044-8. 电子式电流互感器[S].
 - [2] U Holm, H Sohlstrom, T Brogardh. Measurement System for Magneto-optic Sensor Materials[J]. J Phys. E: Sci. Instruments, 1984, 17: 885-889.
 - [3] Ning Y N, Wang Z P, A W Palmer, et al. Recent Progress in Optical Current Sensing Techniques[J]. Review of Science Instruments, 1995, 66(5): 3 097-3 111.
 - [4] 靳伟, 廖延彪, 张志鹏. 导波光传感器: 原理与技术[M]. 北京: 科学出版社, 1998.
 - [5] 平绍勋, 黄仁山. 光电式电流互感器的现状和发展[J]. 高压电器, 2001, 37(3): 43-46.
 - [6] 朱勇, 叶妙元. 220 kV 组合式光学电压电流互感器的设计[J]. 高电压技术, 2000, 26(2): 34-36.
 - [7] A A Jaecklin, M Lietz. Elimination of Disturbing Birefringence Effects on Faraday Rotation[J]. Applied Optics, 1972, 11(3): 617-621.
 - [8] H Katsukadwa, H Ishikawa, H Okajima, et al. Development of an Optical Current Transducer with a Bulk Type Faraday Sensor for Metering[J]. IEEE Trans. on Power Delivery, 1996, 11(2): 702-707.
 - [9] A Ulmer, A Jr. High-accuracy Optical Current Transducer for Delivery, Electric Power Systems[J]. IEEE Trans. on Power 1990, 5(2): 892-898.
 - [10] 易本顺, 刘延冰, 阮芳. 光学电流互感器现场运行性能分析[J]. 中国电机工程学报, 1997, 17(2): 138-140.
 - [11] Ma X Y, Lou C M. A Method to Eliminate Birefringence of a Magneto-optic AC Current Transducer with Glass Ring Sensor Head[J]. IEEE Trans. on Power Delivery, 1998, 13(4): 1 025-1 029.
 - [12] M Willsch, S Mohr, T Bosselmann. Extension of the Measuring Range of Magneto Optic Current Sensors Using Two Wavelengths Evaluation[A]. 13th International Conference on Optical Fiber Sensors[C], Kyongju, Kore, 1999.
 - [13] B Yi, A Cruden, J R Medonald, et al. A Novel Bulk-glass Optical Current Transducer Having an Adjustable Multi-Ring Optical Path[A]. IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference[C], Ottawa, Canada, 1997.
 - [14] 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.
- 作者简介: 孙振权(1966-), 男, 在职项士, 研究方向为现代高压测量。
-
- (上接第 375 页)
- [3] 夏道止, 沈赞坝. 高压直流输电系统的谐波分析与滤波[M]. 北京: 水利电力出版社, 1994.
 - [4] D Rivas, I. Moran, J Dixon. Improving Passive Filter Compensation Performance with Active Techniques [A]. Proceedings of 9th International Conference on Harmonics and Quality of Power[C], Orlando, Florida, USA, 2000.
 - [5] Lin Kun-ping, Lin Ming-hoon, Lin Tung-ping. An Advanced Computer Code for Single-tuned Harmonic Filter Design[J]. IEEE Trans. on Industry Applications, 1998, 34(4): 640-648.
 - [6] 浙江大学直流输电电科研组. 直流输电[M]. 北京: 电力工业出版社, 1982.
 - [7] Nalson David. A Self-tuning Filter for the Mitigation of Power System Harmonics[D]. University of Alberta, Canada, 2000.
 - [8] Joshua Phinney, Kavid J Perreault. Filters with Active Tuning for Power Applications[J]. IEEE Trans. on Power Electronics, 2003, 18(2): 636-647.
 - [9] Lennart Carlsson, Gunnar Flisberg. Recent Classic HVDC Development[EB/OL]. http://www.abb.com/, 2002-03-18.
 - [10] H Funato, A Kawamura. Proposal of Variable Active-passive Reactance [A]. Proceedings of IECON'92 [C], San Diego, USA, 1992.
 - [11] H Funato, A Kawamura. Control of Variable Active-passive Reactance and Negative Inductance[A]. Proceedings of PESC'94[C], Taipei, China, 1994.
 - [12] H Funato, A Kawamura. Realization of Negative Inductance Using Variable Active-passive Reactance [J]. IEEE Trans. on Power Electronics, 1997, 12(4): 589-596.
 - [13] D Hamill, M T Bina. The Bootstrap Variable Inductance and its Application in AC Power Systems [A]. Proceedings of APEC'99[C], Dallas, Texas, USA, 1999.
 - [14] S Bhattacharya, Cheng Po-tai, D M Divan. Hybrid Solutions for Improving Passive Filter Performance in High Power Applications [J]. IEEE Trans on Industry Application, 1997, 33(3): 732-747.
 - [15] A M Gole, M Meisingset. An AC Active Filter for Use at Capacitor Commutated HVDC Converters [J]. IEEE Trans on Power Delivery, 2001, 16(2): 335-341.
 - [16] 李达义, 陈乔夫, 贾正春. 基于磁通可控的可调电抗器的新原理[J]. 中国电机工程学报, 2003, 23(2): 116-120.
- 作者简介: 同向前(1961-), 男, 博士生, 主要研究方向为电力电子技术在电力系统中的应用及电能质量。