

应用保偏光纤的电流传感器远程检测系统

苏立国, 刘振宇, 董小鹏, 游佰强

(厦门大学, 厦门 361005)

摘要:针对传统光纤电流传感器不能进行远程检测缺点,提出一种基于保偏光纤的电流传感器远程检测系统,并对其设计原理进行了详细的分析和讨论。实验表明,该套系统能从根本上解决光纤电流传感器的远程检测应用问题,能够准确有效地进行高强电流的远程实时检测。

关键词:电流传感器; 光纤/ 远程检测; 保偏光纤

中图分类号: TM93; TP212 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-100X(2001)-03-0000-00

Remote Current Detection System Employing Polarization-Maintaining Fiber Current Sensor

SU Li-guo, LIU Zhen-yu, DONG Xiao-peng, YOU Bai-qiang

(Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract: The traditional optical fiber current sensor can not take remote current detection. A novel remote current measurement system employing polarization-maintaining fiber current sensor is proposed and demonstrated in this paper. The working principles and features of this system are analyzed in details. Experimental results show that this system works accurately in detection. The problem that optical fiber current sensor cannot be using for remote detection is resolved successfully.

Keywords: optical fiber; current sensor; remote detection; Polarization-Maintaining Fiber

1 引言

应用光纤电流传感器(Optical Fiber Current Sensor)进行高强电流测量的优点是:抗高电磁噪声干扰、动态范围大、响应快、传感器电流灵敏度高以及光路简单等。

但由于在实测环境中存在扰动(温度、压力等引起的线双折射),从而导致的干扰阻碍了光纤电流传感器的正常应用。传统的解决方案基本分为两类:

将光路进行改进,利用双光路或四光路检测补偿的方法抵消干扰因素的影响^[1]; 利用各种信号处理手段对包含传感信息的正弦信号进行处理,进而消除干扰噪声。第一类处理方案存在的缺陷是:由于光路的复杂程度增加,在振动较大的实测场合容易引起光路的改变,对光路的稳定度要求很高。第二类处理方案存在的缺陷是:信号的提取仍然受光路影响,而且由于光/电转换部分的电路对环境干扰敏感,对环境的要求也很高。两类方案的共同缺点是不能进行远程实时测量。

为了克服这一困难,提出了一种新的光纤电流

传感器远程测量系统。这套系统利用保偏光纤进行远程传感信号的传递,从根本上解决了光纤电流传感器不能进行远程测量的问题。实验中分别对 100~3000A/50Hz 交变电流进行了实测,结果表明该套系统能够有效、准确地进行远程高强电流的检测。

2 保偏光纤及线偏振光在保偏光纤中的传输

考虑普通光纤的非轴对称性和存在的弯曲,在传输两个正交线偏振模时,会发生模式耦合,使偏振态发生变化,尤其对于传感信息包含在线偏振光之中的光纤电流传感器而言,这种线偏振态的变化直接影响实际电流信号的准确测量。为此必须应用能够维持偏振态不变的光纤—保偏光纤。

保偏光纤分为高双折射光纤和低双折射光纤。在此应用和分析的主要是高双折射光纤。制造光纤时,如果增加应力双折射,即人为地使光纤包层有非圆对称的应力施加区,便能够在光纤中产生大量的双折射。如果两个模式的线偏振光同时在高双折射光纤传输,总的线偏振态会沿着光纤作“线偏振—圆偏振—线偏振”的周期变化。如果只有一个模式的线偏振光传输,由于引入大量的线双折射,使得两个模式的相位常数相差特别大,由此减小了由于弯曲等原因引起的模式耦合,该偏振态在传输过程中将保持不变,达到了“保偏”的目的。

收稿日期:2001-02-19

定稿日期:2001-03-18

作者简介:苏立国(1976-),男,硕士研究生,研究方向为光纤电流传感器和数字信号处理。

在该系统中应用的是蝴蝶结型(bow tie)单偏振保偏光纤。分析线偏振光在保偏光纤中的传输过程:

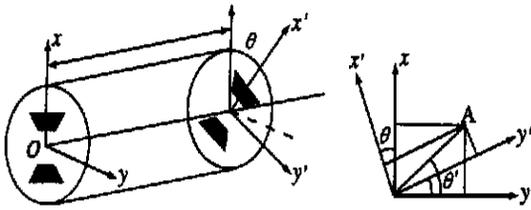


图1 线偏振光在保偏光纤中的传输

令输入光矢量 A 的偏振态坐标为 x-y 坐标系, 偏振角度与 x 轴夹角为 θ , 则偏振光在 x、y 轴的矢量分量为:

$$\begin{aligned} E_x &= A \cos \theta \\ E_y &= A \sin \theta \end{aligned} \quad (1)$$

保偏光纤的快轴和慢轴坐标为 x'-y' 坐标系, 偏振角度与 x'-y' 坐标系夹角为 θ' , 则偏振光在 x'、y' 轴的矢量分量为:

$$\begin{aligned} E_{x'} &= A \cos(\theta - \theta') \\ E_{y'} &= A \sin(\theta - \theta') \end{aligned} \quad (2)$$

应用于光纤电流传感器, $\theta = \theta' = 0^\circ$, 包含的是电流强度 I 的传感信息, 因此, 如果通过保偏光纤传输含有传感信息的线偏振光, 必须使 $E_x = E_{x'}$; $E_y = E_{y'}$, 即 $\theta = \theta' = 0^\circ$, 两坐标系重合时才能实现无误差的传感信号传输。

3 应用保偏光纤的电流传感器远程检测系统

基于以上分析, 应用保偏光纤电流传感器远程检测系统如图 2 所示。依据 Faraday 效应, 由光源经起偏器输出的线偏振光在通过高强电流时, 感生产生偏振态的改变, 系统中应用的是抗扰动的特种光纤: 扭转高双折射光纤 (SPUN HFBI)。再经过十几米至几十米的保偏光纤将传感信号传输到远端的信号处理模块。由 Wollaston 棱镜分成两束偏振态互相正交的线偏振光。这两束光的强度被匹配的两个探测器分别检测出来。随后相应的输出信号被送到计算机进行数据处理。

当保偏光纤与传感器输出线偏振光坐标系夹角为 0° 时, 令 E_{IN} 、 E_{OUT} 分别为输入和输出的电场强度; θ_1 和 θ_2 分别是起偏器及 Wollaston 棱镜的光轴与光纤入射及出射端线双折射轴的夹角, L 是光纤长度, P_0 为光纤中传输的总功率。经探测器得到的光强为 I_1 、 I_2 。可列出系统的 Jones 矩阵如下:

$$\begin{aligned} E_{out} &= \begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos 2\theta & -\sin 2\theta \\ \sin 2\theta & \cos 2\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_x \\ E_y \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} \cos 2\theta & -\sin 2\theta \\ \sin 2\theta & \cos 2\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A & B \\ -B & A^* \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta \\ \sin \theta \end{bmatrix} E_{IN} \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} I_1 &= E_1 E_1^* \\ I_2 &= E_2 E_2^* \end{aligned} \quad (4)$$

其中 $A = \cos(pL) - j(\frac{r}{2p}) \sin(pL)$; $B = (\frac{r}{p}) \sin(pL)$; $p = [(\frac{r}{2})^2 + r^2]^{1/2}$; $r = (\text{SHB 光纤的扭转率})$ 。

当选择 $\theta_1 = \theta_2 = 45^\circ$ 时, 对计算所得的 I_1 、 I_2 进行如下化简处理:

$$S = \frac{I_1 - I_2}{I_1 + I_2} = \cos(2\theta_B) + \frac{r}{p} \sin(2\theta_B) \quad (2_F) \quad (5)$$

式中 $\theta_B = PL$

$$P = [(\frac{r}{2})^2 + r^2]^{1/2}$$

$F = FL$ 为 Faraday 效应引起的偏振态旋转。

当光纤为 N 匝测量时 $F = VNI$, V 为 Verdet 常数。当 $\theta_B = 45^\circ$ 时输出 S 对小信号灵敏度最大。但 θ_B 对温度影响敏感, 容易引起输出信号漂移, 对此将信号 S 分离处理, S 可分离成直流、交流两个分量:

$$\begin{aligned} S_{dc} &= \cos(2\theta_B) \\ S_{ac} &= (\frac{r}{p}) \sin(2\theta_B) \quad (2_F) \end{aligned} \quad (6)$$

因此被测电流的 Faraday 偏振态旋转角度为:

$$S_c = (\frac{r}{p})^{-1} \frac{S_{ac}}{\sqrt{1 - S_{dc}^2}} = 2 F \quad (7)$$

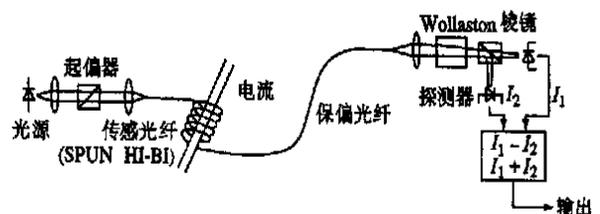


图2 应用保偏光纤的电流传感器远程电流检测原理

4 结果与讨论

实验中分别对 142A、566A、1132A、2820A 的 50Hz 交变电流进行了实测。保偏光纤长度为 10 米, SPUN HFBI 光纤匝数为 10, 扭转率 $\theta = 2^\circ$,

Verdet 常数 $V = 1.1 \times 10^{-6}$ rad/A。利用 AC1810 数据采集卡进行数据采集波形如下：

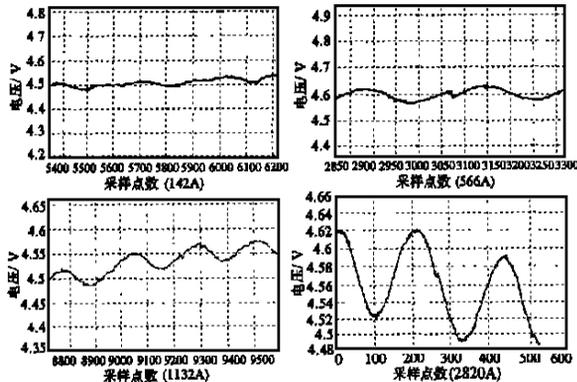


图 3 远程实测电流正弦曲线(12A,566A,1132A,2820A)

由于 AC1810 数采卡使用的是 FIFO512 点的存储形式,因此在曲线中有不连贯的采集样点出现。但 50Hz 的正弦波形明显显示,系统中光电探测器

放大倍数为 1000 倍,由于透镜的耦合效果不好,而采用自聚焦棒耦合,信号较强,约为几十至几百毫伏。对于采集的数据,将利用 PC 机按照前面的理论分析结果进行数据处理,电流强度信息包含在 50Hz 信号的幅度当中,因此出现的直流漂移并不影响实际电流数据的获得。

采用保偏光纤将传感信号传输距离延长,使光纤电流传感器远离环境干扰较大的测量环境,实现远程测量,从根本上抑制了测量干扰,实测效果表明这种基于保偏光纤的光纤电流传感器设计方案是基本令人满意的。

参考文献:

[1] 董小鹏等. 可补偿偏置漂移的扭转光纤电流传感器[J]. 光学学报. 1999, 7:981 ~ 987.

(上接第 47 页)

的串联运行试验表明,各 IEGT 关断时承受的电压差小于单个 IEGT 承受的最大电压的 10%^[5]。

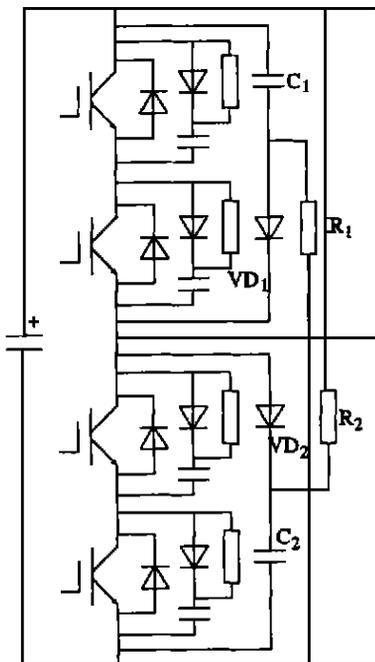


图 6 IEGT 的串联运行吸收电路

4 结论

IEGT 是一种集 GTO 和 IGBT 的优点于一身的

新型器件,它具有导通压降低、工作频率高、电压型门极驱动、安全工作区宽、易于串联使用等优点。这些良好的性能使之很适用于 STATCOM、APF 等大容量、工作频率高的电力电子装置。有理由相信,在未来的柔性交流输电系统中,它会得到广泛的应用。

参考文献:

[1] 赵良炳. 现代电力电子技术基础[M]. 北京:清华大学出版社,1995.

[2] Mitsuhiro Kitagawa, et al. 4.5kV Injection Enhanced Gate Transistor: Experimental Verification of the Electrical Characteristics[J]. Japan J. Appl. Phys. 1997, 36 (6A), Part 1:3433 ~ 3437.

[3] Mitsuhiro Kitagawa, et al. Design Criterion and Operation Mechanism for 4.5kV Injection Enhanced Gate Transistor[J]. Japan J. Appl. Phys. 1998, 37, Part 1 (8): 4294 ~ 4300.

[4] Masayuki Tobita, Ryoichi Kushibiki. Development of New High Power Converter Using IEGT[C]. IPEC-Tokyo, 2000:970 ~ 975.

[5] Tatsuhito Nakajima, Hirokazu Suzuki, et al. Development of IEGT Series and Parallel Connection Technology for High Power Converters[C]. IPEC-Tokyo, 2000:670 ~ 675.