

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

G01R 15/24 (2006.01)

G01R 19/00 (2006.01)



# [12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200810079273.4

[43] 公开日 2009年1月7日

[11] 公开号 CN 101339207A

[22] 申请日 2008.8.28

[21] 申请号 200810079273.4

[71] 申请人 华北电力大学(保定)

地址 071003 河北省保定市永华北大街619号

[72] 发明人 尚秋峰 杨以涵 张国庆 郭志忠  
于文斌 王贵忠

[74] 专利代理机构 石家庄冀科专利商标事务有限公司

代理人 李羨民 高锡明

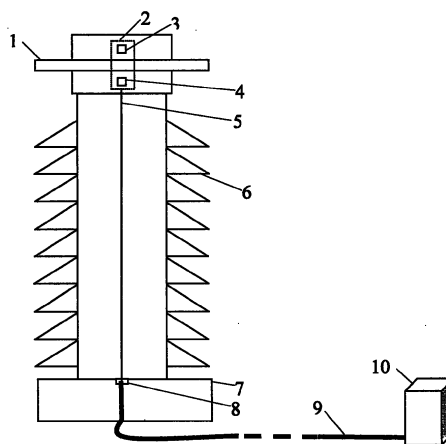
权利要求书2页 说明书10页 附图3页

## [54] 发明名称

一种提高光学电流传感器稳定性的方法

## [57] 摘要

一种提高光学电流传感器稳定性的方法，用于解决高压电流测量中的稳定性问题。其技术方案是：它以电流传感单元和光电信号处理单元组成传感器的基本系统，所述电流传感单元采用两个电流传感头，对称设置在通流导体的两侧；每个电流传感头的输入准直器的输入端接光源，输出准直器的输出端经光纤、光缆接光电信号处理单元；选择不同材料制成两个磁光元件，使它们的费尔德常数的比值与温度之间具有单调的函数关系。本发明不需要引入外部标准参考源即可补偿温度对费尔德常数的影响，在保证传感器具有高精度的同时，还大大提高了长期运行的稳定性。



1、一种提高光学电流传感器稳定性的方法，其特征是，它以电流传感单元和光电信号处理单元组成传感器的基本系统，所述电流传感单元采用两个电流传感头，对称设置在通流导体（1）的两侧；在第一电流传感头（3）中，沿光路方向依次设置第一输入准直器（11）、第一起偏器（12）、第一磁光元件（13）、第一检偏器（14）、第一平行分量输出准直器（15）和第一垂直分量输出准直器（16）；在第二电流传感头（4）中，沿光路方向依次设置第二输入准直器（17）、第二起偏器（18）、第二磁光元件（19）、第二检偏器（20）、第二平行分量输出准直器（21）和第二垂直分量输出准直器（22）；每个输入准直器的输入端接光源，每个输出准直器的输出端经光纤、光缆接光电信号处理单元（10）；将两个电流传感头的磁光元件对称设置在通流导体（1）的两侧，使它们的通光方向相互平行并与通流导体相垂直，两个磁光元件用不同磁光材料制成，其费尔德常数的比值与温度之间具有单调的函数关系。

2、根据权利要求1所述提高光学电流传感器稳定性的方法，其特征是，对光学电流传感器的测量结果进行温度补偿，具体步骤如下：

a、将光学电流传感器和标准测量通道串联接入同一回路进行测量，由标准测量通道提供电流的标准值  $i_b$ ，并测得第一传感头平行分量输出光  $P_{11}$  经光电转换和处理后输出的电压信号  $u_{11}$ 、第二传感头平行分量输出光  $P_{21}$  经光电转换和处理后输出的电压信号  $u_{21}$ 、第一传感头垂直分量输出光  $P_{12}$  经光电转换和处理后输出的电压信号  $u_{12}$ 、第二传感头垂直分量输出光  $P_{22}$  经光电转换和处理后输出的电压信号  $u_{22}$ ；

b、计算两个传感通道的传感变比：

$$K_1(T) = i_{b*} \frac{u_{11} + u_{12}}{u_{11} - u_{12}}$$

$$K_2(T) = i_{b*} \frac{u_{21} + u_{22}}{u_{22} - u_{21}}$$

其中， $K_1(T)$  为第一电流传感头传感变比， $K_2(T)$  为第二电流传感头传感变比；

c、计算温度因子  $q(T) = K_1(T)/K_2(T)$ ;

d、对  $K_1(T)-q(T)$  和(或)  $K_2(T)-q(T)$  的关系进行标定;

e、实时测量时通过计算  $q(T) = \frac{u_{11} + u_{12}}{u_{11} - u_{12}} * \frac{u_{22} - u_{21}}{u_{22} + u_{21}}$ , 由标定曲线  $K_1(T)-q(T)$  和

(或)  $K_2(T)-q(T)$  给出实际的变比  $K_1(T)$  和(或)  $K_2(T)$ , 并由下式计算被测电流  $i$ :

$$i = K_1(T) * \frac{u_{11} - u_{12}}{u_{11} + u_{12}} \text{ 或 } i = K_2(T) * \frac{u_{22} - u_{21}}{u_{22} + u_{21}} \text{ 或 } i = \frac{1}{2} * (K_1(T) * \frac{u_{11} - u_{12}}{u_{11} + u_{12}} + K_2(T) * \frac{u_{22} - u_{21}}{u_{22} + u_{21}}).$$

3、根据权利要求1或2所述的提高光学电流传感器稳定性的方法,其特征是,所述两个电流传感头的磁光元件设计为薄片状,其通光长度小于1mm。

4、根据权利要求3所述的提高光学电流传感器稳定性的方法,其特征是,所述磁光元件的费尔德常数大于  $10^{-3}$ rad/A。

5、根据权利要求4所述的提高光学电流传感器稳定性的方法,其特征是,所述磁光元件的材料选择稀土铁石榴石类材料,如钇铁石榴石晶体  $Y_3Fe_5O_{12}$  和掺杂的钇铁石榴石晶体,所述掺杂的钇铁石榴石晶体为铋掺杂 YIG、钆掺杂 YIG 或双掺杂 YIG。

---

一种提高光学电流传感器稳定性的方法

### 技术领域

本发明涉及一种能改善光学电流传感器测量稳定性的技术方案，属测量技术领域。

### 背景技术

光学电流传感器(OCT)是高压大电流测量的理想器件。从20世纪60年代起，人们就开始研究光学电流传感器。电力工业用光学电流传感器一般采用Faraday磁光效应原理。经过30多年的研究，取得了很大进展，国内外相继有多种样机挂网试运行的报道。但是到目前为止，光学电流传感器长期运行的稳态测量精度还不能达到电力系统的计量要求，其主要原因是传感器的性能易受外界环境因素(如：温度)变化的影响。

中国专利号CN 1523618给出了一种光电电流传感器的技术方案，它采用引入永磁体和参考光路的方法，补偿温度对测量光路中敏感元件的影响。该方法理论上可以消除温度的影响，但实用中的不足之处是测量准确度依赖于永磁体长期运行的稳定性，对永磁体及参考光路需要严格的电磁屏蔽，对参考通道和测量通道的一致性要求很高。该光电电流传感器经过长期运行后，其两个通道以及每个通道的两个光路的光学器件参数会发生不一致变化，这将对测量准确度产生不容忽视的影响。

### 发明内容

本发明的目的在于克服现有技术的不足、提供一种能够提高光学电流传感器稳定性的方法。

本发明所称问题是以下述技术方案实现的：

一种提高光学电流传感器稳定性的方法，它以电流传感单元和光电信号处理单元组成传感器的基本系统，所述电流传感单元采用两个电流传感头，对称设置在通流导体的两侧；在第一电流传感头中，沿光路方向依次设置第一输入准直器、第一起偏器、第一磁光元件、第一检偏器、第一平行分量输出准直器和第一垂直分量输出准直器；在第二电流传感头中，沿光路方向依次设置

第二输入准直器、第二起偏器、第二磁光元件、第二检偏器、第二平行分量输出准直器和第二垂直分量输出准直器；每个输入准直器的输入端接光源，每个输出准直器的输出端经光纤、光缆接光电信号处理单元；将两个电流传感头的磁光元件对称设置在通流导体的两侧，使它们的通光方向相互平行并与通流导体相垂直，两个磁光元件用不同磁光材料制成，其费尔德常数的比值与温度之间具有单调的函数关系。

上述提高光学电流传感器稳定性的方法，对光学电流传感器的测量结果进行温度补偿，具体步骤如下：

a、将光学电流传感器和标准测量通道串联接入同一回路进行测量，由标准测量通道提供电流的标准值  $i_b$ ，并测得第一传感头平行分量输出光  $P_{11}$  经光电转换和处理后输出的电压信号  $u_{11}$ 、第二传感头平行分量输出光  $P_{21}$  经光电转换和处理后输出的电压信号  $u_{21}$ 、第一传感头垂直分量输出光  $P_{12}$  经光电转换和处理后输出的电压信号  $u_{12}$ 、第二传感头垂直分量输出光  $P_{22}$  经光电转换和处理后输出的电压信号  $u_{22}$ ；

b、计算两个传感通道的传感变比：

$$K_1(T) = i_{b*} \frac{u_{11} + u_{12}}{u_{11} - u_{12}}$$

$$K_2(T) = i_{b*} \frac{u_{21} + u_{22}}{u_{22} - u_{21}}$$

其中， $K_1(T)$  为第一电流传感头传感变比， $K_2(T)$  为第二电流传感头传感变比；

c、计算温度因子  $q(T) = K_1(T) / K_2(T)$ ；

d、对  $K_1(T) - q(T)$  和(或)  $K_2(T) - q(T)$  的关系进行标定；

e、实时测量时通过计算  $q(T) = \frac{u_{11} + u_{12}}{u_{11} - u_{12}} * \frac{u_{22} - u_{21}}{u_{22} + u_{21}}$ ，由标定曲线  $K_1(T) - q(T)$  和

(或)  $K_2(T) - q(T)$  给出实际的变比  $K_1(T)$  和(或)  $K_2(T)$ ，并由下式计算被测电流  $i$ ：

$$i = K_1(T) * \frac{u_{11} - u_{12}}{u_{11} + u_{12}} \text{ 或 } i = K_2(T) * \frac{u_{22} - u_{21}}{u_{22} + u_{21}} \text{ 或 } i = \frac{1}{2} * (K_1(T) * \frac{u_{11} - u_{12}}{u_{11} + u_{12}} + K_2(T) * \frac{u_{22} - u_{21}}{u_{22} + u_{21}})。$$

上述提高光学电流传感器稳定性的方法，所述两个电流传感头的磁光元件设计为薄片状，其

通光长度小于 1mm。

上述提高光学电流传感器稳定性的方法，所述磁光元件的费尔德常数大于  $10^3 \text{rad/A}$ 。

上述提高光学电流传感器稳定性的方法，所述磁光元件的材料选择稀土铁石榴石类材料，如钇铁石榴石晶体  $\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$  和掺杂的钇铁石榴石晶体，所述掺杂的钇铁石榴石晶体为铋掺杂 YIG、钆掺杂 YIG 或双掺杂 YIG。

本发明采用在通流导体两侧对称设置双传感头的方法，对高压电流进行测量，通过对传感变比和温度因子之间的关系进行精确标定，可实时补偿温度对费尔德常数的影响；电流传感头的磁光元件采用薄片式结构，有效降低了材料中的线性双折射对测量结果的影响；采用高费尔德常数的磁光元件，可提高测量的灵敏度。本发明不需要引入外部标准参考源就可补偿温度对费尔德常数的影响，在保证电流传感器具有高精度的同时，还大大提高了其长期运行的稳定性。

#### 附图说明

图 1 是本发明的原理示意图；

图 2 为电流传感头的结构示意图；

图 3 为低压侧光电信号处理单元的电原理框图；

图 4 为一个实施例中光学电流传感器的线性度标定过程图；

图 5 为一个实施例中光学电流传感器的温度补偿曲线标定过程图；

图 6 为一个实施例中光学电流传感器的实时测量温度补偿过程图。

图中各标号为：1、通流导体，2、电流传感单元，3、第一电流传感头，4、第二电流传感头，5、光纤束，6、绝缘子，7、底座，8、光纤连接器，9、光缆，10、光电信号处理单元，11、第一输入准直器，12、第一起偏器，13、第一磁光元件，14、第一检偏器，15、第一平行分量输出准直器，16、第一垂直分量输出准直器，17、第二输入准直器，18、第二起偏器，19、第二磁光元件，20、第二检偏器，21、第二平行分量输出准直器，22、第二垂直分量输出准直器。

文中所用符号： $K_1(T)$ 、第一电流传感头传感变比， $K_2(T)$ 、第二电流传感头传感变比， $P_{11}$ 、第一电流传感头传感头平行分量输出光， $P_{21}$ 、第二电流传感头传感头平行分量输出光， $u_{11}$ 、 $P_{11}$  经光

电转换和处理后输出的电压信号,  $u_{21}$ 、 $P_{21}$ 经光电转换和处理后输出的电压信号,  $P_{12}$ 、第一电流传感头垂直分量输出光,  $P_{22}$ 、第二电流传感头垂直分量输出光,  $u_{12}$ 、 $P_{12}$ 经光电转换和处理后输出的电压信号,  $u_{22}$ 、 $P_{22}$ 经光电转换和处理后输出的电压信号,  $q(T)$ 、温度因子,  $V_1(T)$ 、第一磁光元件费尔德常数,  $V_2(T)$ 、第二磁光元件费尔德常数,  $l_1$ 、第一磁光元件的通光长度,  $l_2$ 、第二磁光元件的通光长度,  $i$ 、被测电流,  $P_{01}$ 、输入光强,  $\theta_1$ 、第一磁光元件法拉第旋转角,  $\theta_2$ 、第二磁光元件法拉第旋转角,  $\delta_1$ 、线性双折射,  $T$ 、温度,  $\mu_0$ 、真空磁导率,  $h$ 、传感头与电流导体中心的间距,  $B$ 、 $h$ 处电流  $i$  产生的磁感应强度,  $H$ 、 $h$ 处电流  $i$  产生的磁场强度,  $R_1$ 、第一电流传感头平行分量传感通道的转换系数,  $R_2$ 、第二电流传感头平行分量传感通道的转换系数,  $R_1'$ 、第一电流传感头垂直分量传感通道的转换系数,  $R_2'$ 、第二电流传感头垂直分量传感通道的转换系数,  $m$ 、调制度,  $i_b$ 、电流的标准值。

#### 具体实施方式

本发明传感单元的两个磁光元件材料不同, 为薄片式, 具有高费尔德常数; 同时选择两个磁光元件采用不同的材料, 使两个费尔德常数的比值与温度之间具有单调的函数关系; 温度补偿方法包括下列步骤:

a、在实验室将标准测量通道和本发明提出的光学电流传感器串联接入同一个电流回路, 由标准测量通道提供电流的标准值  $i_b$  ;

b、计算两个传感通道的传感变比:

$$K_1(T) = i_b \frac{u_{11} + u_{12}}{u_{11} - u_{12}}$$

$$K_2(T) = i_b \frac{u_{21} + u_{22}}{u_{22} - u_{21}}$$

$u_{11}$ 、 $u_{21}$ 分别为传感头 3、4 平行分量输出光  $P_{11}$ 、 $P_{21}$ 经光电转换和处理后输出的电压信号;  $u_{12}$ 、

$u_{22}$ 分别为传感头 3、4 垂直分量输出光  $P_{12}$ 、 $P_{22}$ 经光电转换和处理后输出的电压信号;

c、计算温度因子  $q(T) = K_1(T)/K_2(T)$ 。

$q(T)$ 反映传感单元的温度信息和两个磁光元件、费尔德常数  $V_1(T)$ 、 $V_2(T)$ 的关系为  $q(T) =$

$V_2(T) * I_2 / (V_1(T) * I_1)$ 。

$I_1$ 、 $I_2$ 分别为磁光元件 13、19 的通光长度，二者相等时，两个磁光元件费尔德常数  $V_1(T)$ 、 $V_2(T)$  的比值即为  $q(T)$ 。

d、将本发明提出的光学电流传感器的传感单元 2 放入温控箱，依据电子式电流互感器国际标准 IEC60044-8 和电子式互感器国家标准，对光学电流传感器施加升温-降温-升温的温度循环，在实验室对  $K_1(T)-q(T)$  和  $K_2(T)-q(T)$  进行标定。

e、实时测量时计算  $q(T) = \frac{u_{11} + u_{12}}{u_{11} - u_{12}} * \frac{u_{22} - u_{21}}{u_{22} + u_{21}}$ ，由标定曲线  $K_1(T)-q(T)$  和  $K_2(T)-q(T)$  给

出实际的变比  $K_1(T)$ 、 $K_2(T)$ ，计算被测电流

$$i = K_1(T) * \frac{u_{11} - u_{12}}{u_{11} + u_{12}} \text{ 或 } i = K_2(T) * \frac{u_{22} - u_{21}}{u_{22} + u_{21}}$$

或对二者进行数字平均可以进一步提高测量精度

$$i = \frac{1}{2} * (K_1(T) * \frac{u_{11} - u_{12}}{u_{11} + u_{12}} + K_2(T) * \frac{u_{22} - u_{21}}{u_{22} + u_{21}})$$

由于传感单元的磁光元件 13、19 为薄片式，材料中的线性双折射可以忽略，可利用本发明所述的定标方法补偿温度对费尔德常数的影响。

为说明线性双折射的影响，假设磁光元件 13 为条状，其通光长度大于通流导体 1 的直径，考虑较大的线性双折射时，其输出为

$$P_{11} = \frac{P_{01}}{2} (1 + 2\theta_1 \frac{\sin \delta_1}{\delta_1})$$

$$P_{12} = \frac{P_{01}}{2} (1 - 2\theta_1 \frac{\sin \delta_1}{\delta_1})$$

$P_{11}$ 、 $P_{12}$ 分别为平行分量和垂直分量的输出光强； $P_{01}$ 为输入光强； $\theta_1$ 为与电流成正比的法拉第旋转角； $\delta_1$ 是线性双折射。

可以看出线性双折射的存在降低传感灵敏度，带来较大误差。线性双折射是由于磁光材料在受热或冷却过程中内应力分布不均匀引起的，磁光材料为温度的不良导体，在温度变化过程中材料沿光路方向产生温差引起内应力分布不均匀。线性双折射具有不确定性，



难以进行标定补偿。

因为线性双折射与材料沿光路方向的长度成正比，所以本发明提出的薄片式材料（长度<1mm）可以看作一个空间微元，线性双折射可以忽略。为保证灵敏度，选择高费尔德常数的磁光材料。

忽略线性双折射的影响，温度对本发明传感头的影响主要是引起磁光材料菲尔德常数变化。磁光材料的法拉第旋转角与电流成正比：

$$\theta_1 = V_1(T)Bl_1 = V_1(T)\mu_0 Hl_1 = V_1(T)\mu_0 \frac{i}{2\pi h} l_1$$

$$\theta_2 = V_2(T)(-B)l_2 = V_2(T)\mu_0(-H)l_2 = -V_2(T)\mu_0 \frac{i}{2\pi h} l_2$$

式中， $V_1(T)$ 、 $V_2(T)$  为磁光材料的费尔德常数，是温度  $T$  的函数； $i$  为待测电流； $\mu_0$  为真空磁导率； $h$  为传感头 3、4 与电流导体 1 中心的间距； $B$  和  $H$  为  $h$  处电流  $i$  产生的磁感应强度和磁场强度；负号代表方向相反。

费尔德常数随温度变化具有确定的关系，可以通过实验室标定来补偿。

本发明传感单元体积小、易于加工、适合批量生产，双传感头互为备用，可靠性高。可以采用数字平均方法提高测量精度。

本发明可以进行传感通道参数不一致变化实时校正。

当各传感头平行分量和垂直分量传感通道参数不一致时，传感头 3、4 平行分量输出光  $P_{11}$ 、 $P_{21}$  经光电转换和处理后输出的电压信号  $u_{11}$ 、 $u_{21}$ ，垂直分量输出光  $P_{12}$ 、 $P_{22}$  经光电转换和处理后输出的电压信号  $u_{12}'$ 、 $u_{22}'$  分别为：

$$u_{11} = \frac{R_1 P_{01}}{2} (1 + \sin 2\theta_1)$$

$$u_{12}' = \frac{R_1 P_{01}}{2} (1 - \sin 2\theta_1)$$

$$u_{21} = \frac{R_2 P_{02}}{2} (1 + \sin 2\theta_2)$$

$$u_{22}' = \frac{R_2 P_{02}}{2} (1 - \sin 2\theta_2)$$

$R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_1'$ 、 $R_2'$ 分别为传感头3、4平行分量和垂直分量传感通道的转换系数，和光电检测器参数及各光学器件的耦合情况有关。

正常稳态运行时， $\theta_1$ 、 $\theta_2$ 反映交流电流*i*的变化，所以以上四式中第2项为交流分量，第1项为直流分量，分别设为 $u_{11DC}$ 、 $u_{12DC}$ 、 $u_{21DC}$ 、 $u_{22DC}$ 。令

$$u_{12} = \frac{u_{11DC}}{u_{12DC}} \cdot u_{12}'$$

$$u_{22} = \frac{u_{21DC}}{u_{22DC}} \cdot u_{22}'$$

则传感头3、4平行分量 $u_{11}$ 、 $u_{21}$ 分别和垂直分量 $u_{12}$ 、 $u_{22}$ 具有相同的传感通道转换系数，称为通道具有一致性，即通道配平。通道配平后才可以依据差除和运算求解电流： $i = K_1(T) * \frac{u_{11} - u_{12}}{u_{11} + u_{12}}$  或

$$i = K_2(T) * \frac{u_{22} - u_{21}}{u_{22} + u_{21}} \text{ 或 } i = \frac{1}{2} * (K_1(T) * \frac{u_{11} - u_{12}}{u_{11} + u_{12}} + K_2(T) * \frac{u_{22} - u_{21}}{u_{22} + u_{21}})$$

差除和运算用于消除光源光强波动的影响，同时又能解调暂态故障时电流的直流分量。

本发明还可以减少相邻相通导体在暂态故障大电流时的电磁干扰影响。

传感头3、4和相邻相通导体的距离相等，所受的电磁干扰可看做共模分量，采用求差运算即可抑制。

参看图1，本发明提出的光学电流传感器系统包括：高压侧电流传感单元2、低压侧光电信号处理单元10、光纤束5和光缆9。光纤束5置于绝缘子6中，通过底座7中的光纤连接器8和光缆9耦合，光纤束5和光缆9用于传输光。使用时通流导体1与被测电流导体相连，本发明中通流导体1为铜棒。传感单元2通过绝缘物体固定在通流导体1上。高压侧的两个传感头3、4共同构成传感单元2。低压侧光电信号处理单元10完成光电转换、电流信号解调和温度补偿算法。

参看图2，传感头3、4中沿光路方向依次分布有输入准直器11、17、起偏器12、18、磁光元件13、19、检偏器14、20、平行分量输出准直器15、21和垂直分量输出准直器16、22；两个磁光元件13、19材料不同，为薄片式以抑制线性双折射的影响，具有高费尔德

常数以具有高灵敏度，对称分布在通流导体 1 的两侧，二者通光方向相互平行且与通流导体 1 相垂直；选择两个磁光元件 13、19 使两个费尔德常数的比值与温度之间具有单调的函数关系，以便进行温度补偿。磁光元件可选择稀土铁石榴石类材料，如：钇铁石榴石晶体  $Y_3Fe_5O_{12}$  (YIG) 和各种掺杂的钇铁石榴石晶体，包括：铋掺杂 YIG (Bi: YIG)、钆掺杂 YIG (Gd: YIG)、双掺杂 YIG (BiGd: YIG) 等。截面可以是方形也可以是圆形，本实施例中磁光元件 13 为 YIG，截面积为  $1\text{mm}^2$  方形，通光长度为  $0.5\text{mm}$ ；磁光元件 19 为 Gd:YIG，截面积为  $1\text{mm}^2$  方形，通光长度为  $0.1\text{mm}$ 。

由光纤束 5 进入传感头 3、4 的输入光  $P_{01}$ 、 $P_{02}$  经输入准直器 11、17 变为平行光，起偏器 12、18 将平行光变为线偏振光，根据法拉第磁光效应原理，在通流导体 1 产生的磁场作用下，线偏振光通过磁光元件 13、19 后其偏振面将发生旋转，旋转的角度称为法拉第旋转角  $\theta_1$ 、 $\theta_2$ ，与电流成比例：

$$\theta_1 = V_1(T)Bl_1 = V_1(T)\mu_0 Hl_1 = V_1(T)\mu_0 \frac{i}{2\pi h} l_1$$

$$\theta_2 = V_2(T)(-B)l_2 = V_2(T)\mu_0(-H)l_2 = -V_2(T)\mu_0 \frac{i}{2\pi h} l_2$$

检偏器 14、20 的两个透光轴与起偏器 12、18 的透光轴之间的夹角分别为  $\pm 45^\circ$ ，将角度值转化为平行分量输出光强  $P_{11}$ 、 $P_{21}$  和垂直分量输出光强  $P_{12}$ 、 $P_{22}$ ：

$$P_{11} = \frac{P_{01}}{2}(1 + \sin 2\theta_1)$$

$$P_{12} = \frac{P_{01}}{2}(1 - \sin 2\theta_1)$$

$$P_{21} = \frac{P_{02}}{2}(1 + \sin 2\theta_2)$$

$$P_{22} = \frac{P_{02}}{2}(1 - \sin 2\theta_2)$$

$P_{11}$ 、 $P_{21}$  和  $P_{12}$ 、 $P_{22}$  经平行分量输出准直器 15、21 和垂直分量输出准直器 16、22 耦合进入光纤束 5。

参看图 3，低压侧光电信号处理单元包括光源和信号处理部分。本实施例中光源采用

波长为 1550 nm 的激光器 (LD)，光源驱动电路为恒流输出以减少光强的波动。信号处理部分包括四个光电检测器、四个前置放大和滤波电路和数字处理系统。数字处理系统由微处理器、A/D 转换模块、存储模块、显示模块和通信模块构成。

光源发出的光经过光缆 9 传送到底座 7 的光纤连接器 8，经分光后分别由光纤束 5 中的两根上行光纤传送到传感单元 2，成为传感头 3、4 的输入光  $P_{01}$ 、 $P_{02}$ 。

由传感单元 2 输出的四路光信号  $P_{11}$ 、 $P_{21}$  和  $P_{12}$ 、 $P_{22}$  经光纤束 5 和光缆 9 传送给四个光电检测器，光电检测器将光信号转换为和光强成比例的电信号，再经过前置放大和滤波后输出电压信号  $u_{11}$ 、 $u_{21}$  和  $u_{12}$ 、 $u_{22}$ 。数字处理系统将  $u_{11}$ 、 $u_{21}$  和  $u_{12}$ 、 $u_{22}$  进行 A/D 转换，由微处理器对相应的数字信号进行电流信息的解调和温度补偿算法，并完成信息的存储、显示和通信功能。微处理器可以采用 DSP 芯片，也可以采用工控机。

参看图 4，光学电流传感器在出厂试验之前完成实验室标定工作。具体的标定内容包括线性度标定和温度补偿曲线标定。

调节大电流信号发生器，使待测电流在额定值的 5%~120% 范围内变化，标准测量通道和光学电流传感器同步测量，对光学电流传感器进行线性度标定。具体步骤如下：

(1) 由标准测量通道的输出乘以标准通道的变比计算电流的标准值  $i_b$ 。

标准通道的各部件需要经过严格的溯源，而且标准通道的精度必须满足微小误差原则，即与被校验测量通道的测量误差相比可以忽略，则标准通道的测量结果可作为“真值”来对待。在本实施例中，标准通道的整体测量误差不大于被校验通道的测量误差的五分之一。

(2) 由信号处理单元计算光学电流传感器的调制度  $m$ ：

每个传感头作为检偏器的偏振棱镜的两个透光轴与起偏器的透光轴之间的夹角分别为  $\pm 45^\circ$ ，由信号处理单元测得传感头 3、4 的输出信号分别为  $(u_{11}$ 、 $u_{12})$  和  $(u_{21}$ 、 $u_{22})$ ，求得调制度  $m$ ：

$$m_1 = \frac{u_{11} - u_{12}}{u_{11} + u_{12}}$$

$$m_2 = \frac{u_{22} - u_{21}}{u_{21} + u_{22}}$$

(3) 光学电流传感器各传感通道的变比为:

$$K_1(T) = i_b / m_1$$

$$K_2(T) = i_b / m_2$$

参看图 5, 将光学电流传感器的传感单元 2 放入温控箱, 依据电子式电流互感器国际标准 IEC60044-8 和电子式互感器国家标准, 对光学电流传感器施加升温-降温-升温的温度循环, 对光学电流传感器进行温度补偿曲线标定。具体步骤如下:

(1) 对于标准中规定的各温度点重复图 4 中的各步骤, 计算传感通道的变比  $K_1(T)$  和  $K_2(T)$ 。

(2) 计算温度因子  $q(T) = K_1(T) / K_2(T)$ 。

(3) 在实验室对  $K_1(T) - q(T)$  和  $K_2(T) - q(T)$  进行标定。

参看图 6, (1) 由信号处理单元测得传感头 3, 4 的输出信号分别为  $(u_{11}, u_{12})$  和  $(u_{21}, u_{22})$ , 实时计算  $q(T) = \frac{u_{11} + u_{12}}{u_{11} - u_{12}} * \frac{u_{22} - u_{21}}{u_{22} + u_{21}}$ 。

(2) 由标定曲线  $K_1(T) - q(T)$  和  $K_2(T) - q(T)$  给出实际的变比  $K_1(T)$ 、 $K_2(T)$ 。

(3) 计算被测电流

$$i = K_1(T) * \frac{u_{11} - u_{12}}{u_{11} + u_{12}} \text{ 或 } i = K_2(T) * \frac{u_{22} - u_{21}}{u_{22} + u_{21}}$$

$$\text{或 } i = \frac{1}{2} * (K_1(T) * \frac{u_{11} - u_{12}}{u_{11} + u_{12}} + K_2(T) * \frac{u_{22} - u_{21}}{u_{22} + u_{21}})$$

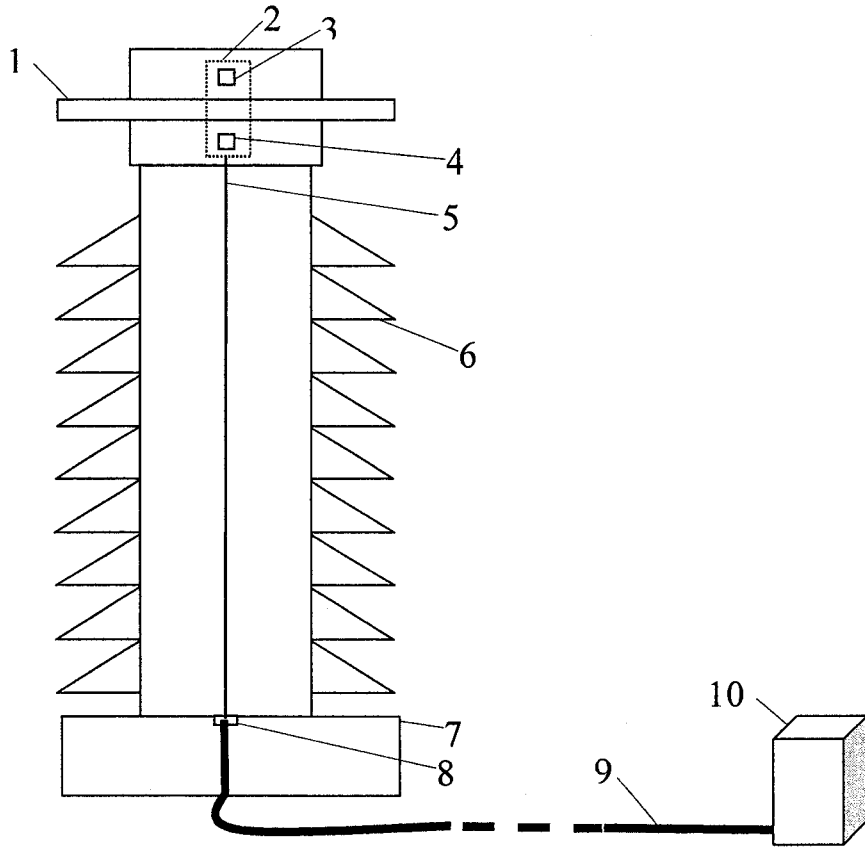


图 1

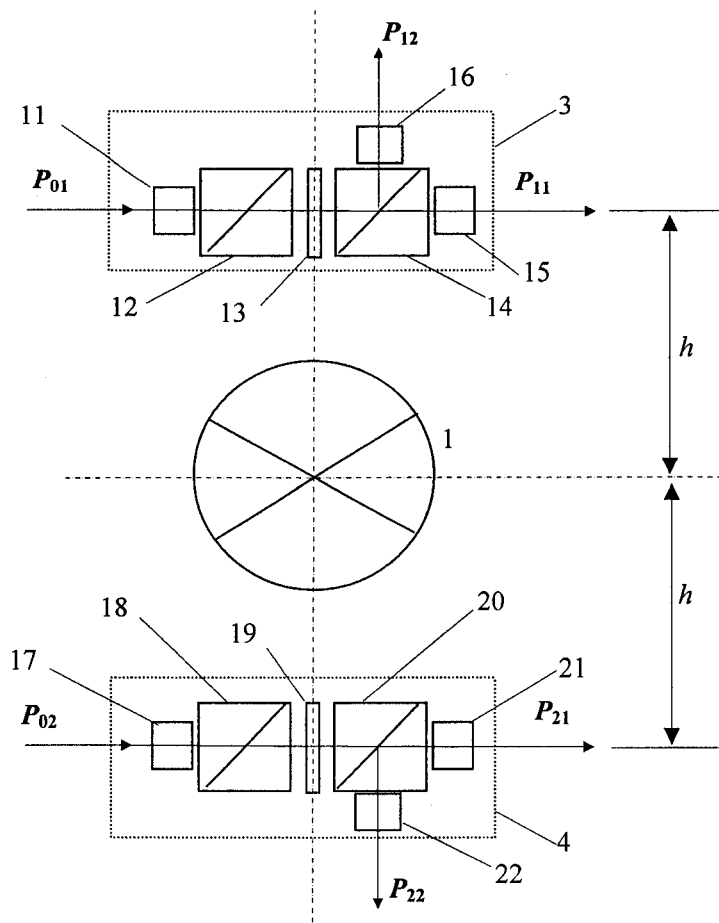


图 2

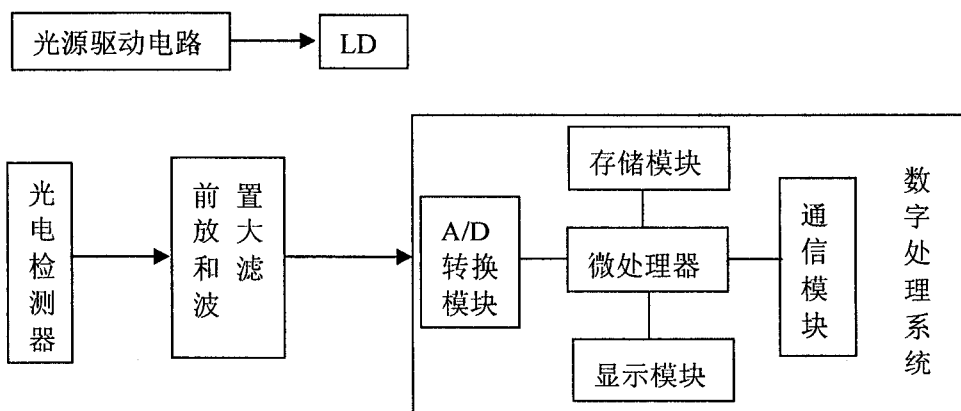


图 3

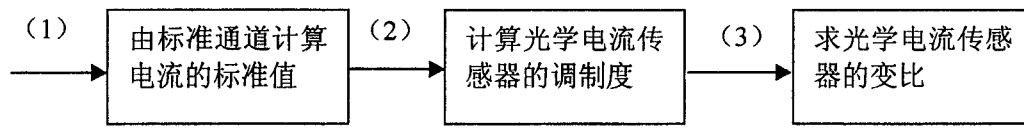


图 4

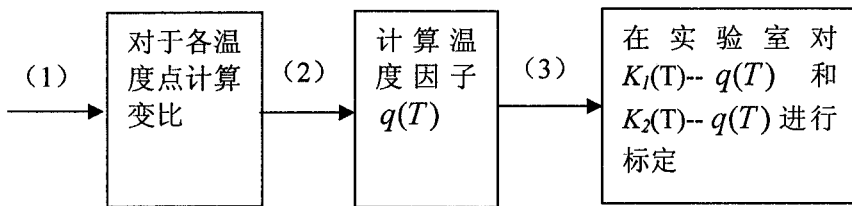


图 5

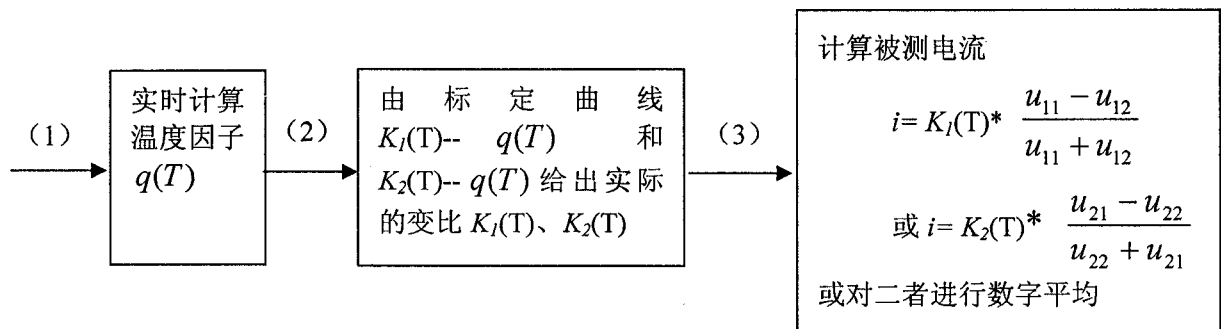


图 6