



# (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102841232 A

(43) 申请公布日 2012. 12. 26

(21) 申请号 201210119046. 6

(22) 申请日 2012. 04. 20

(30) 优先权数据

103940/2011 2011. 05. 09 JP

086431/2012 2012. 04. 05 JP

(71) 申请人 阿尔卑斯绿色器件株式会社

地址 日本东京

(72) 发明人 福井洋文

(74) 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司

72002

代理人 胡建新

(51) Int. Cl.

G01R 19/00(2006. 01)

G01R 15/20(2006. 01)

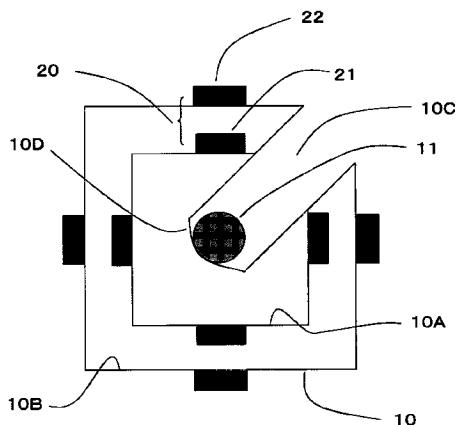
权利要求书 2 页 说明书 8 页 附图 4 页

(54) 发明名称

电线用电流传感器

(57) 摘要

本发明提供一种电线用电流传感器,受电流路径的位置偏移、外部恒定磁场和相邻电线所产生的磁场等变化因素的影响小。一种电流传感器,其特征在于,包括被测量电线(11)、被测量电线(11)的导入部(10C)、被测量电线保持部(10D),以所述被测量电线(11)的设置假想轴为中心轴,将磁传感器元件相对于所述中心轴在圆周上以90度的间隔配置成4对,并且特征在于,把所有对的所述成对磁传感器元件的输出的适当的线性耦合相加。由此,本发明能够容易地确保电线导入部空间,并能够修正由被测量电线的位置偏移、恒定外磁场及相邻电线所产生的外部磁场等变化因素的影响,因此能够提供高精度的小型电流传感器。



1. 一种电流传感器,为了测量在电线中流动的测量电流而在所述电线的周围配置有多个磁传感器元件,其特征在于,

所述多个磁传感器元件被配置成,在与所述电线的轴向垂直的平面上,在以所述电线与所述平面的交点为起点放射出的多个直线上,配置与所述电线的距离不同的两个磁传感器元件而形成磁传感器对,并且在各所述传感器对中,使用预定的耦合系数对两个磁传感器元件的输出值进行线性耦合,将多组进行所述线性耦合而得到的值相加来计算所述测量电流。

2. 根据权利要求 1 所述的电流传感器,其特征在于,

在多组所述磁传感器对中,与所述电线的距离近的各磁传感器到所述电线的距离相等,在多组所述磁传感器对中,与所述电线的距离远的各磁传感器到所述电线的距离相等,用下述数学式 10 表示所述预定的耦合系数,按照下述数学式 2,在各所述磁传感器对中对各磁传感器元件的输出值进行线性耦合后,针对所有磁传感器对进行相加,

[数学式 10]

$$A = \frac{-(R - Y_2)(R + Y_2)Y_1}{(R - Y_1)(R + Y_1)Y_2}, (\theta_{11} = \theta_{12} = 0)$$

[数学式 2]

$$\sum_{j=1}^N S_j = b_0 \sum_{j=1}^N \left( \frac{1}{|\vec{Y}_{j1} - \Delta\vec{X}|} + \frac{A}{|\vec{Y}_{j2} - \Delta\vec{X}|} \right) + 2 \sum_{j=1}^N \vec{b}_c \cdot \vec{e}_{sj} (1 + A) + b_{mn} \sum_{j=1}^N \left( \frac{(\vec{e}_{sj} \cdot \vec{e}_{j1})}{|\vec{R} - \vec{Y}_{j1}|} + A \frac{(\vec{e}_{sj} \cdot \vec{e}_{j2})}{|\vec{R} - \vec{Y}_{j2}|} \right)$$

在此,  $j$  为各所述磁传感器对的标号,  $S_j$  为各所述磁传感器对  $j$  的线性耦合输出,  $A$  为所述耦合系数,  $b_0$  为由被测量电线的电流产生的归一化磁场,  $b_{mn}$  为由相邻电线的电流产生的归一化外部磁场,  $\vec{b}_c$  为与位置无关的恒定外部磁场,  $\vec{e}_{sj}$  为各所述磁传感器对  $j$  的磁灵敏度单位矢量,  $\vec{e}_{j1}$ 、 $\vec{e}_{j2}$  分别为各所述磁传感器对  $j$  中与所述电线近的传感器即内侧磁传感器元件的位置处的相邻电线磁场的单位矢量、以及与所述电线远的传感器即外侧磁传感器元件的位置处的相邻电线磁场的单位矢量,  $\vec{Y}_{j1}$ 、 $\vec{Y}_{j2}$  分别为与被测量电线的轴向垂直的截面上的、各所述磁传感器对  $j$  的内侧磁传感器元件的位置矢量和外侧磁传感器元件的位置矢量,  $\vec{R}$  为相邻电线的位置矢量,  $\Delta\vec{X}$  为被测量电线的位置偏移矢量, 其中  $\vec{Y}_{j1}$  的绝对值为  $Y_1$ ,  $\vec{Y}_{j2}$  的绝对值为  $Y_2$ ,  $\vec{R}$  的绝对值为  $R$ ,  $\Delta\vec{X}$  的绝对值为  $\Delta X$ 。

3. 根据权利要求 1 所述的电流传感器,其特征在于,

在各所述磁传感器对中,由于相邻电线等的影响而引起外部磁场对各磁传感器元件的影响不同的情况下,用下述数学式 9 表示所述预定的耦合系数,按照下述数学式 2,在各所述磁传感器对中对各磁传感器元件的输出值进行线性耦合,并针对所有磁传感器对进行相加,

[数学式 9]

$$A = \frac{-\sum_{j=1}^N \frac{(\vec{e}_{sj} \cdot \vec{e}_{j1})}{|\vec{R} - \vec{Y}_{j1}|}}{\sum_{j=1}^N \frac{(\vec{e}_{sj} \cdot \vec{e}_{j2})}{|\vec{R} - \vec{Y}_{j2}|}}$$

[ 数学式 2 ]

$$\sum_{j=1}^N S_j = b_0 \sum_{j=1}^N \left( \frac{1}{|\vec{Y}_{j1} - \Delta\vec{X}|} + \frac{A}{|\vec{Y}_{j2} - \Delta\vec{X}|} \right) + 2 \sum_{j=1}^N \vec{b}_c \cdot \vec{e}_{sj} (1 + A) + b_{mn} \sum_{j=1}^N \left( \frac{(\vec{e}_{sj} \cdot \vec{e}_{j1})}{|\vec{R} - \vec{Y}_{j1}|} + A \frac{(\vec{e}_{sj} \cdot \vec{e}_{j2})}{|\vec{R} - \vec{Y}_{j2}|} \right)$$

在此,  $j$  为各所述磁传感器对的标号,  $S_j$  为各所述磁传感器对  $j$  的线性耦合输出,  $A$  为所述耦合系数,  $b_0$  为由被测量电线的电流产生的归一化磁场,  $b_{mn}$  为由相邻电线的电流产生的归一化外部磁场,  $\vec{b}_c$  为与位置无关的恒定外部磁场,  $\vec{e}_{sj}$  为各所述磁传感器对  $j$  的磁灵敏度单位矢量,  $\vec{e}_{j1}$ 、 $\vec{e}_{j2}$  分别为各所述磁传感器对  $j$  中与所述电线近的传感器即内侧磁传感器元件的位置处的相邻电线磁场的单位矢量、以及与所述电线远的传感器即外侧磁传感器元件的位置处的相邻电线磁场的单位矢量,  $\vec{Y}_{j1}$ 、 $\vec{Y}_{j2}$  分别为与被测量电线的轴向垂直的截面上的、各所述磁传感器对  $j$  的内侧磁传感器元件的位置矢量和外侧磁传感器元件的位置矢量,  $\vec{R}$  为相邻电线的位置矢量,  $\Delta\vec{X}$  为被测量电线的位置偏移矢量, 其中  $\vec{Y}_{j1}$  的绝对值为  $Y_1$ ,  $\vec{Y}_{j2}$  的绝对值为  $Y_2$ ,  $\vec{R}$  的绝对值为  $R$ ,  $\Delta\vec{X}$  的绝对值为  $\Delta X$ 。

4. 根据权利要求 1 至 3 中任一项所述的电流传感器, 其特征在于,

设置有用于保持所述多个磁传感器元件的承载体, 在该承载体中形成有用于保持所述电线的保持部和用于向所述保持部引导所述电线的导入部。

5. 根据权利要求 3 或 4 所述的电流传感器, 其特征在于,

所述各内侧磁传感器和所述各外侧磁传感器在以所述电线为中心的具有不同半径的两个圆周上分别被配置成多个组。

6. 根据权利要求 5 所述的电流传感器, 其特征在于,

各所述磁传感器对是以等间隔配置的。

7. 根据权利要求 6 所述的电流传感器, 其特征在于,

各所述磁传感器对以 90 度的等间隔配置有 4 组。

## 电线用电流传感器

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种例如用于检测在电线中流动的电流的值的电流传感器。

### 背景技术

[0002] 以往,使用如下的电流传感器作为用于检测流经电线的电流值的电流传感器:与电线相隔一定距离地配置磁传感器元件,通过感测该位置处的磁场强度来检测在电线中流过的电流值。

[0003] 然而,感测磁场强度的方法在电线的位置发生偏移因而电线和电流传感器之间的距离改变的情况下,存在造成测量误差的问题。

[0004] 因此,为了减小由电线的位置偏移导致的测量误差,已知有对比文件 1 中所公开的那样,隔着电线把一对磁传感器元件与所述电线等距离地相向配置的方案。这样,如果隔着电线将一对磁传感器元件相向布置,则即使在存在恒定外部磁场的影响、或者被测量电线的位置稍稍偏移而与各磁传感器元件间的距离发生改变的情况下,也可以通过对两个磁传感器元件的值进行差分或相加来减小测量误差。

[0005] 专利文献 1:日本特开 2001-153895 号公报

[0006] 然而,虽然上述结构能够减小电线的位置偏移造成的影响,但是当附近存在与要测量的电线不同的其它电线时,会产生由于受到在该相邻电线中流过的电流导致的磁场的影响而不能正确地测量的问题。

### 发明内容

[0007] 本发明是鉴于上述情况而做出的,其目的在于提供一种能够减小电线的位置偏移导致的影响并能够减小外部磁场的影响的电流传感器。

[0008] 为实现上述目的,根据本发明的一种电流传感器,为了测量在电线中流动的测量电流而在所述电线的周围配置有多个磁传感器元件,其特征在于,所述多个磁传感器元件被配置成,在与所述电线的轴向垂直的平面上,在以所述电线与所述平面的交点为起点放射出的多个直线上,配置与所述电线的距离不同的两个磁传感器元件而形成磁传感器对,并且在各所述传感器对中,使用预定的耦合系数对两个磁传感器元件的输出值进行线性耦合,将多组进行所述线性耦合而得到的值相加来计算出所述测量电流。

[0009] 由此,由于使磁传感器元件相向形成磁传感器对,并利用预定的耦合系数对该成对的磁传感器元件的输出值进行线性耦合,因此本发明能够减小外部磁场的影响,进一步地,通过将各磁传感器对线性耦合而获得的值相加来计算出测量电流,因此还能减小由于电线的位置偏移导致的影响。

[0010] 另外,本发明的特征在于,在多组所述磁传感器对中,与所述电线的距离近的各磁传感器到所述电线的距离相等,在多组所述磁传感器对中,与所述电线的距离远的各磁传感器到所述电线的距离相等,用下述数学式 10 表示所述预定的耦合系数,按照下述数学式 2,在各所述磁传感器中对各磁传感器元件的输出值进行线性耦合后,针对所有磁传感器

对进行相加，

[0011] [数学式 10]

$$[0012] \quad A = \frac{-(R - Y_2)(R + Y_2)Y_1}{(R - Y_1)(R + Y_1)Y_2}, \quad (\theta_{11} = \theta_{12} = 0)$$

[0013] [数学式 2]

[0014]

$$\sum_{j=1}^N S_j = b_0 \sum_{j=1}^N \left( \frac{1}{|\vec{Y}_{j1} - \Delta\vec{X}|} + \frac{A}{|\vec{Y}_{j2} - \Delta\vec{X}|} \right) + 2 \sum_{j=1}^N \vec{b}_c \cdot \vec{e}_{sj} (1 + A) + b_{mn} \sum_{j=1}^N \left( \frac{(\vec{e}_{sj} \cdot \vec{e}_{j1})}{|\vec{R} - \vec{Y}_{j1}|} + A \frac{(\vec{e}_{sj} \cdot \vec{e}_{j2})}{|\vec{R} - \vec{Y}_{j2}|} \right)$$

[0015] 在此，j 为各所述磁传感器对的标号， $S_j$  为各所述磁传感器对 j 的线性耦合输出，A 为所述耦合系数， $b_0$  为由被测量电线的电流产生的归一化 (Normalized) 磁场， $b_{mn}$  为由相邻电线的电流产生的归一化外部磁场， $\vec{b}_c$  为与位置无关的恒定外部磁场， $\vec{e}_{sj}$  为各所述磁传感器对 j 的磁灵敏度单位矢量， $\vec{e}_{j1}$ 、 $\vec{e}_{j2}$  分别为各所述磁传感器对 j 中与所述电线近的传感器即内侧磁传感器元件的位置处的相邻电线磁场的单位矢量、以及与所述电线远的传感器即外侧磁传感器元件的位置处的相邻电线磁场的单位矢量， $\vec{Y}_{j1}$ 、 $\vec{Y}_{j2}$  分别为与被测量电线的轴向垂直的截面上的、各所述磁传感器对 j 的内侧磁传感器元件的位置矢量和外侧磁传感器元件的位置矢量， $\vec{R}$  为相邻电线的位置矢量， $\Delta\vec{X}$  为被测量电线的位置偏移矢量，其中  $\vec{Y}_{j1}$  的绝对值为  $Y_1$ ， $\vec{Y}_{j2}$  的绝对值为  $Y_2$ ， $\vec{R}$  的绝对值为 R， $\Delta\vec{X}$  的绝对值为  $\Delta X$ 。

[0016] 由此，即使在外部磁场对各磁传感器元件的影响程度相同的情况下，本发明也能够减小外部磁场的影响，而且能够减小由于电线的位置偏移导致的影响，并能够提高测量精度。

[0017] 另外，本发明的特征在于，在各所述磁传感器对中，由于相邻电线等的影响而引起外部磁场对各磁传感器元件的影响不同的情况下，用下述数学式 9 表示所述预定的耦合系数，按照下述数学式 2，在各所述磁传感器对中对各磁传感器元件的输出值进行线性耦合，并针对所有磁传感器对进行相加，

[0018] [数学式 9]

$$[0019] \quad A = \frac{-\sum_{j=1}^N \frac{(\vec{e}_{sj} \cdot \vec{e}_{j1})}{|\vec{R} - \vec{Y}_{j1}|}}{\sum_{j=1}^N \frac{(\vec{e}_{sj} \cdot \vec{e}_{j2})}{|\vec{R} - \vec{Y}_{j2}|}}$$

[0020] [数学式 2]

[0021]

$$\sum_{j=1}^N S_j = b_0 \sum_{j=1}^N \left( \frac{1}{|\vec{Y}_{j1} - \Delta\vec{X}|} + \frac{A}{|\vec{Y}_{j2} - \Delta\vec{X}|} \right) + 2 \sum_{j=1}^N \vec{b}_c \cdot \vec{e}_{sj} (1 + A) + b_{mn} \sum_{j=1}^N \left( \frac{(\vec{e}_{sj} \cdot \vec{e}_{j1})}{|\vec{R} - \vec{Y}_{j1}|} + A \frac{(\vec{e}_{sj} \cdot \vec{e}_{j2})}{|\vec{R} - \vec{Y}_{j2}|} \right)$$

[0022] 在此，j 为各所述磁传感器对的标号， $S_j$  为各所述磁传感器对 j 的线性耦合输出，A 为所述耦合系数， $b_0$  为由被测量电线的电流产生的归一化磁场， $b_{mn}$  为由相邻电线的电流产生的归一化外部磁场， $\vec{b}_c$  为与位置无关的恒定外部磁场， $\vec{e}_{sj}$  为各所述磁传感器对 j 的磁灵敏

度单位矢量,  $\vec{e}_{j1}$ 、 $\vec{e}_{j2}$ 分别为各所述磁传感器对 j 中与所述电线近的传感器即内侧磁传感器元件的位置处的相邻电线磁场的单位矢量、以及与所述电线远的传感器即外侧磁传感器元件的位置处的相邻电线磁场的单位矢量,  $\vec{Y}_{j1}$ 、 $\vec{Y}_{j2}$ 分别为与被测量电线的轴向垂直的截面上的、各所述磁传感器对 j 的内侧磁传感器元件的位置矢量和外侧磁传感器元件的位置矢量,  $\vec{R}$ 为相邻电线的位置矢量,  $\Delta\vec{X}$ 为被测量电线的位置偏移矢量, 其中 $\vec{Y}_{j1}$ 的绝对值为  $Y_1$ ,  $\vec{Y}_{j2}$ 的绝对值为  $Y_2$ ,  $\vec{R}$ 的绝对值为  $R$ ,  $\Delta\vec{X}$ 的绝对值为  $\Delta X$ 。

[0023] 由此, 即使在外部磁场对各磁传感器元件的影响不同的情况下, 本发明也能够减小外部磁场的影响, 而且能够减小由于电线的位置偏移导致的影响, 并能够提高测量精度。

[0024] 另外, 本发明的特征在于, 设置有用于保持所述多个磁传感器元件的承载体, 在该承载体中形成有用于保持所述电线的保持部和用于向所述保持部引导所述电线的导入部。

[0025] 由此, 由于不像箝位式 (clamp) 电流传感器那样为了导入电线而对传感器装置进行分割, 因此本发明能够提供长期可靠性优良的电流传感器。

[0026] 另外, 本发明的特征在于, 所述各内侧磁传感器和所述各外侧磁传感器在以所述电线为中心的具有不同半径的两个圆周上分别被配置成多个组。

[0027] 由此, 本发明能够减小电线位置偏移和外部磁场的影响而提供测量精度高的电流传感器。

[0028] 另外, 本发明的特征在于, 各所述磁传感器对是以等间隔配置的。

[0029] 由此, 本发明能够减小电线位置偏移和外部磁场的影响而提供测量精度高的电流传感器。

[0030] 另外, 本发明的特征在于, 各所述磁传感器对以 90 度的等间隔配置有 4 组。

[0031] 由此, 本发明能够减小电线位置偏移和外部磁场的影响而提供测量精度高的电流传感器。

[0032] 发明效果

[0033] 根据本发明, 通过使磁传感器元件相向形成磁传感器对, 并利用预定的耦合系数对该成对的磁传感器元件的输出值进行线性耦合, 能够减小外部磁场的影响, 进一步地, 通过将各磁传感器对线性耦合而获得的值相加来计算出测量电流, 还能减小由于电线的位置偏移导致的影响。

## 附图说明

[0034] 图 1 是本实施方式 (第 1 实施方式) 的被测量电线、磁传感器元件的配置图。

[0035] 图 2 是用于说明上述实施方式 (第 1 实施方式) 的线性耦合系数的确定方法的被测量电线、磁传感器和相邻电线的配置图。

[0036] 图 3 是示出利用差动及非差动方式来对上述实施方式 (第 1 实施方式) 中 4 个元件时电流测量误差对相邻电线位置 (角度) 的依赖性进行比较的结果的图。

[0037] 图 4 是示出上述实施方式 (第 1 实施方式) 的元件对数为 2、3、4、5 时电流测量误差对相邻电线位置 (角度) 的依赖性的图。

[0038] 图 5 是示出上述实施方式 (第 1 实施方式) 中 4 个元件对时在相邻电线电流的影响下电流测量误差对于被测量电线位置偏移的依赖性的图。

[0039] 附图标记说明

- [0040] 10 承载体
- [0041] 10A 内侧面部
- [0042] 10B 外侧面部
- [0043] 10C 被测量电线导入部
- [0044] 10D 被测量电线保持部
- [0045] 11 被测量电线
- [0046] 12 相邻电线
- [0047] 20 磁传感器对
- [0048] 21 内侧磁传感器
- [0049] 22 外侧磁传感器
- [0050] 23 相邻电线位置 (角度  $\theta$ )
- [0051]  $Y_1$  被测量电线和内侧磁传感器的距离
- [0052]  $Y_2$  被测量电线和外侧磁传感器的距离
- [0053] C1 被测量电线的中心
- [0054] C2 相邻电线的中心

### 具体实施方式

[0055] 下面参照图 1 到图 5 说明将本发明的电流传感器具体化的实施方式。

[0056] 本发明的电流传感器具有如图 1 所示的正方形的承载体 10, 在该承载体 10 上与四边对应地分别形成内侧面部 10A 和外侧面部 10B。另外, 承载体 10 的一个角部被切掉而形成电线导入部 10C, 使得能够把用于测量的被测量电线 11 导入承载体 10 的中央。电线导入部 10C 延伸至承载体 10 的中央部从而其延伸端部形成为电线保持部 10D, 并将导入的被测量电线 11 保持在承载体 10 的中央部。

[0057] 在各内侧面部 10A 和各外侧面部 10B 上, 沿着与导入到承载体 10 的中央部的被测量电线 11 的轴线方向正交的方向将各内侧磁传感器元件 21 和外侧磁传感器元件 22 相向设置。通过这些相向配置的内侧磁传感器元件 21 和外侧磁传感器元件 22, 来以被测量电线 11 为中心在其周围按 90 度的等间隔配置 4 对磁传感器对 20。

[0058] 各内侧磁传感器元件 21 和各外侧磁传感器元件 22 可以使用磁阻效应元件, 例如 GMR (Giant Magneto Resistive: 巨磁阻) 元件, 检测由流过被测量电线 11 的电流产生的磁场的强度。另外, 从各内侧磁传感器元件 21 和各外侧磁传感器元件 22 输出的信号经由未示出的放大电路输入到信号处理装置中。信号处理装置具有运算处理电路以及存储器等, 利用预定的线性耦合系数对基于从各磁传感器对 20 中各内侧磁传感器元件 21 输出的信号的输出值和基于从各外侧磁传感器元件 22 输出的信号的输出值进行线性耦合, 并将各磁传感器对 20 的线性耦合的值相加来计算出流过被测量电线 11 的电流值。

[0059] 接着, 具体说明各磁传感器对 20 的线性耦合及根据通过该线性耦合获得的值来计算电流值的方法。

[0060] 作为对由电流传感器进行的电流测量造成影响的外部磁场, 考虑由与被测量电线 11 相邻的其它电线 (以下称为相邻电线 12) 产生的归一化外部磁场  $b_m$  和由其它外部设备等 (未示出) 产生的恒定外部磁场  $b_c$ 。另外, 如图 2 所示, 将被测量电线 11 的中心 C1 和内

侧磁传感器元件 21 之间的距离设为  $Y_1$ , 将被测量电线 11 的中心 C1 和外侧磁传感器元件 22 之间的距离设为  $Y_2$ , 各内侧磁传感器元件 21 和各外侧磁传感器元件 22 的敏感轴均和以被测量电线 11 为中心的圆上各内侧磁传感器元件 21 和各外侧磁传感器 22 的设置点处的切线一致, 方向设定为以电流流动的方向 (垂直于图 1 中的纸面的方向) 为轴逆时针旋转的方向。

[0061] 设  $j$  为磁传感器对的标号 (图 1 示出了  $j = 1 \sim 4$  的 4 个磁传感器对的情况)。当设  $A$  为内侧、外侧磁传感器元件输出值的耦合系数时, 磁传感器对  $j$  的传感器输出  $S_j$  可用数学式 1 表示。

[0062] [数学式 1]

$$[0063] \quad S_j = \frac{b_0}{|\vec{Y}_{j1} - \Delta\vec{X}|} + \frac{b_m(\vec{e}_{sj} \cdot \vec{e}_{j1})}{|\vec{R} - \vec{Y}_{j1}|} + \vec{b}_c \cdot \vec{e}_{sj} + A \left( \frac{b_0}{|\vec{Y}_{j2} - \Delta\vec{X}|} + \frac{b_m(\vec{e}_{sj} \cdot \vec{e}_{j2})}{|\vec{R} - \vec{Y}_{j2}|} + b_c \right)$$

$$[0064] \quad = b_0 \left( \frac{1}{|\vec{Y}_{j1} - \Delta\vec{X}|} + \frac{A}{|\vec{Y}_{j2} - \Delta\vec{X}|} \right) + \vec{b}_c \cdot \vec{e}_{sj} (1 + A) + b_m \left( \frac{(\vec{e}_{sj} \cdot \vec{e}_{j1})}{|\vec{R} - \vec{Y}_{j1}|} + A \frac{(\vec{e}_{sj} \cdot \vec{e}_{j2})}{|\vec{R} - \vec{Y}_{j2}|} \right)$$

[0065] 在此,  $b_0$  为由被测量电线 11 的电流产生的归一化磁场,  $b_m$  为由相邻电线 12 的电流产生的归一化外部磁场,  $b_c$  为与位置无关的恒定外部磁场,  $e_{sj}$  为磁传感器对  $j$  的磁灵敏度单位矢量,  $e_{j1}$ 、 $e_{j2}$  分别为各磁传感器对  $j$  的内侧、外侧磁传感器元件位置处的相邻电线磁场的单位矢量。另外, 分别用  $Y_{j1}$  (绝对值为  $Y_1$ )、 $Y_{j2}$  (绝对值为  $Y_2$ ) 表示垂直于被测量电线轴线方向的截面上的磁传感器对  $j$  中的内侧磁传感器元件和外侧磁传感器元件的位置矢量, 并且用  $R$  (绝对值为  $R$ ) 表示相邻电线位置矢量。另外, 用  $\Delta X$  (绝对值为  $\Delta X$ ) 表示被测量电线的位置偏移矢量。

[0066] 另外, 用数学式 2 表示各磁传感器对的输出的总和 ( $N$  为磁传感器对的总数, 当前例子中为  $N = 4$ )。

[0067] [数学式 2]

[0068]

$$\sum_{j=1}^N S_j = b_0 \sum_{j=1}^N \left( \frac{1}{|\vec{Y}_{j1} - \Delta\vec{X}|} + \frac{A}{|\vec{Y}_{j2} - \Delta\vec{X}|} \right) + 2 \sum_{j=1}^N \vec{b}_c \cdot \vec{e}_{sj} (1 + A) + b_m \sum_{j=1}^N \left( \frac{(\vec{e}_{sj} \cdot \vec{e}_{j1})}{|\vec{R} - \vec{Y}_{j1}|} + A \frac{(\vec{e}_{sj} \cdot \vec{e}_{j2})}{|\vec{R} - \vec{Y}_{j2}|} \right)$$

[0069] 被测量电流的测量误差为数学式 3, 其表示为数学式 2 中的第 2、3 项的和与第 1 项之比。

[0070] [数学式 3]

[0071]  $error(\%)$

[0072]

$$= 100 \times \left( 2 \sum_{j=1}^N \vec{b}_c \cdot \vec{e}_{sj} (1 + A) + b_m \sum_{j=1}^N \left( \frac{(\vec{e}_{sj} \cdot \vec{e}_{j1})}{|\vec{R} - \vec{Y}_{j1}|} + A \frac{(\vec{e}_{sj} \cdot \vec{e}_{j2})}{|\vec{R} - \vec{Y}_{j2}|} \right) \right) / b_0 \sum_{j=1}^N \left( \frac{1}{|\vec{Y}_{j1} - \Delta\vec{X}|} + \frac{A}{|\vec{Y}_{j2} - \Delta\vec{X}|} \right)$$

[0073] 将数学式 2 按被测量电线的位置偏移  $\Delta X$  展开, 则成为数学式 4。

[0074]

$$\sum_{j=1}^N S_j = b_0 \sum_{j=1}^N \left( \frac{1}{Y_1} \left( 1 + \frac{1}{2} \left( \frac{\Delta X}{Y_1} \right) \cos \theta_{j1} + O\left( \left( \frac{\Delta X}{Y_1} \right)^2 \right) \right) + \frac{A}{Y_2} \left( 1 + \frac{1}{2} \left( \frac{\Delta X}{Y_2} \right) \cos \theta_{j2} + O\left( \left( \frac{\Delta X}{Y_2} \right)^2 \right) \right) \right) + b_c N (1 + A)$$



$$[0075] \quad + b_m \sum_{j=1}^N \left( \frac{(\vec{e}_{sj} \cdot \vec{e}_{j1})}{|\vec{R} - \vec{Y}_{j1}|} + A \frac{(\vec{e}_{sj} \cdot \vec{e}_{j2})}{|\vec{R} - \vec{Y}_{j2}|} \right)$$

[0076] 在此,  $\theta_{j1}$ 、 $\theta_{j2}$  分别为磁传感器对 j 的内侧和外侧磁传感器元件位置与相邻电线的中心 C2 所成的角度, 由于各内侧磁传感器和各外侧磁传感器分别以等角度间隔配置在以被测量电线为中心的半径不同的两个圆周上, 因此数学式 5 和数学式 6 成立。在此, 添加的字符 k 为 1 或 2,  $\theta_0$  为常数。

[0077] [数学式 5]

$$[0078] \quad \cos \theta_{jk} = \frac{(\vec{Y}_{jk} \cdot \vec{R})}{|\vec{Y}_{jk}| |\vec{R}|} = \cos(2\pi(j-1)/N + \theta_0)$$

[0079] [数学式 6]

$$[0080] \quad \sum_{j=1}^N \cos \theta_{jk} = \sum_{j=1}^N \cos(2\pi(j-1)/N + \theta_0) = 0$$

[0081] 将这些结果反映在数学式 2 中得到数学式 7。

[0082] [数学式 7]

[0083]

$$\sum_{j=1}^N S_j = b_0 \sum_{j=1}^N \left( \frac{1}{Y_1} (1 + O((\Delta X / Y_1)^2)) + \frac{A}{Y_2} (1 + O((\Delta X / Y_2)^2)) \right) + 2 \sum_{j=1}^N \vec{b}_c \cdot \vec{e}_{sj} (1 + A) + b_m \sum_{j=1}^N \left( \frac{(\vec{e}_{sj} \cdot \vec{e}_{j1})}{|\vec{R} - \vec{Y}_{j1}|} + A \frac{(\vec{e}_{sj} \cdot \vec{e}_{j2})}{|\vec{R} - \vec{Y}_{j2}|} \right)$$

[0084] 根据数学式 7 可知: 被测量电线的位置偏移的影响中只有位置偏移  $\Delta X$  的 2 次方以上的高阶微小量起作用。也就是说, 可以充分地消除被测量电线的位置偏移的影响。

[0085] 在此, 分析恒定外部磁场的影响。如前所述, 各内侧磁传感器元件 21 和各外侧磁传感器元件 22 的敏感轴均和以被测量电线 11 为中心的圆上各内侧磁传感器元件 21 和各外侧磁传感器 22 的设置点处的切线一致, 方向设定为以电流流动的方向 (垂直于图 1 中的纸面的方向) 为轴逆时针旋转的方向, 因此数学式 8 成立。也就是说, 能够消除恒定外部磁场的影响。

[0086] [数学式 8]

$$[0087] \quad \sum_{j=1}^N \vec{b}_c \cdot \vec{e}_{sj} = 0$$

[0088] 接下来确定线性耦合系数 A。在数学式 2 中, 使  $b_m$  的系数项为 0, 得到数学式 9。由此消除相邻电线的影响。也就是说, 还能够消除被测量电线的位置偏移和外部磁场 (恒定外部磁场和由相邻电线产生的外部磁场这两者) 的影响。

[0089] [数学式 9]

$$[0090] \quad A = \frac{-\sum_{j=1}^N \frac{(\vec{e}_{sj} \cdot \vec{e}_{j1})}{|\vec{R} - \vec{Y}_{j1}|}}{\sum_{j=1}^N \frac{(\vec{e}_{sj} \cdot \vec{e}_{j2})}{|\vec{R} - \vec{Y}_{j2}|}}$$

[0091] 本实施例中磁传感器对数  $N = 4$ , 选择相邻电线和磁传感器对 1 以及被测量电线排

成直线的配置,在此情况下根据数学式 9 得到数学式 10。

[0092] [数学式 10]

$$[0093] \quad A = \frac{-(R-Y_2)(R+Y_2)Y_1}{(R-Y_1)(R+Y_1)Y_2}, (\theta_{11} = \theta_{12} = 0)$$

[0094] 接着利用图 2 和图 3 具体说明本发明对于相邻电线电流的影响的效果。磁传感器对的数目为 4 对,在图 2 中, $R = 8\text{mm}$ , $Y_1 = 4\text{mm}$ , $Y_2 = 5\text{mm}$ ,将被测量电线和相邻电线之间的距离固定为 8mm,使相邻电线的位置以被测量电线为中心旋转,利用数学式 3 求得电流测量误差。在相邻电线位于由直线连接被测量电线和某磁传感器对所得到的方向的延长线上的情况下,设旋转角度  $\theta$  为  $0^\circ$ 。所述磁传感器元件输出的线性耦合系数在  $0^\circ$  的情况下,利用前述方法进行最优化,根据数学式 10, $A = -39/60$ 。将进行该最优化处理的情况为差动,不进行最优化处理而设  $A = 0$  来评估的情况为非差动。图 3 示出在使相邻电线的位置从  $\theta$  为  $0^\circ$  变化到  $45^\circ$  的情况下,差动和非差动这两种方式的电流测量误差是结果。虽然非差动方式下最大电流测量误差超过 5%,但在差动方式下最大误差被抑制在 2% 以下。

[0095] 接着利用图 4 说明相邻电线电流的影响导致的测量误差如何按照磁传感器对的数目变化。设  $R = 8\text{mm}$ , $Y_1 = 4\text{mm}$ , $Y_2 = 5\text{mm}$ ,对于使磁传感器对的数量为 2、3、4、5,并使相邻电线的位置从  $\theta$  为  $0^\circ$  变化到  $90^\circ$  的情况下,利用数学式 3 求得电流测量误差。在各磁传感器对数的情况下,利用数学式 9 对所述磁传感器对输出的线性耦合系数进行最佳化。在磁传感器对的数目为 4 对以上时能够将测量误差抑制在 2% 以下。

[0096] 接着利用图 5 说明磁传感器元件对为 4 对时在相邻电线电流的影响下由于被测量电线的位置偏移导致的电流测量误差。相邻电线在  $\theta = 0^\circ$  方向上, $R = 8\text{mm}$ , $Y_1 = 4\text{mm}$ , $Y_2 = 5\text{mm}$ 。在沿  $\theta = 0^\circ$  的直线上使被测量电线偏移  $-1\text{mm}$  到  $+1\text{mm}$  的情况下,利用数学式 3 求出电流测量误差。在这种情况下也取  $A = -39/60$ ,从而线性耦合系数最优化。在被测量电线的位置偏移从  $-1\text{mm}$  到  $+1\text{mm}$  的过程中能够将电流测量误差抑制在 1% 左右以下。

[0097] 根据上述结构本实施方式能够获得如下效果。

[0098] 根据本实施方式,使内侧磁传感器元件 21 和外侧磁传感器元件 22 相向形成磁传感器对 20,将各磁传感器对在圆周上等角配置,能够利用预定的线性耦合系数对成对的内侧磁传感器元件 21 的输出值和外侧磁传感器元件 22 的输出值进行线性耦合,来消除依赖于位置的归一化外部磁场  $b_m$  和恒定外部磁场  $b_c$  的影响。此外,把各磁传感器对 20 线性耦合所获得的值  $S_j$  相加,根据该相加而获得的值  $\Sigma S_j$  来计算测量电流,由此能够减小由于电线位置偏移造成的影响。也就是说,即使在电流路径位置偏移和外部磁场改变因素混合的情况下,也能够减小被测量电流的测量误差。

[0099] 另外,通过采用磁传感器对结构,能够容易地确保电线导入部空间,实现与使用目的对应的磁传感器总数的选择自由度增加的效果。

[0100] 另外,由于没有像箱位式电流传感器那样为了导入电线而分割传感器装置,因此实现了能够提供长期可靠性优良的电流传感器的效果。

[0101] 此外,本发明不限于上述的实施方式,例如,可以实施如下所述的变形,并且这些实施方式也属于本发明的技术范围。

[0102] (1) 在上述的实施方式中,在被测量电线 11 的周围以 90 度的等角度间隔配置 4 对由内侧磁传感器元件 21 和外侧磁传感器元件 22 构成的磁传感器对 20,但不必须为 90 度的

等间隔,只要是使数学式 6 成立的配置即可。另外,即使是 2 对、3 对等除了 4 对以外的结构,但只要是同样使数学式 6 成立的配置即可。

[0103] (2) 在上述实施方式中,针对设定为线性耦合系数  $A = -39/60$ ,消除由被测量电线的位置偏移和相邻电线造成的归一化外部磁场  $b_m$  所导致的影响的方法进行了说明,但也可以根据外部磁场的发生源及其位置等来使线性耦合系数最优化,并把内侧磁传感器元件的输出值和外侧磁传感器元件的输出值线性耦合以消除外部磁场的影响。

[0104] (3) 在上述实施方式中,内侧磁传感器元件 21 或外侧磁传感器元件 22 是 GMR 元件,但也可以是 MR 元件或霍尔元件等能够进行磁检测的元件。

[0105] 此外,本发明能够在不脱离要旨的范围内实施各种变形。

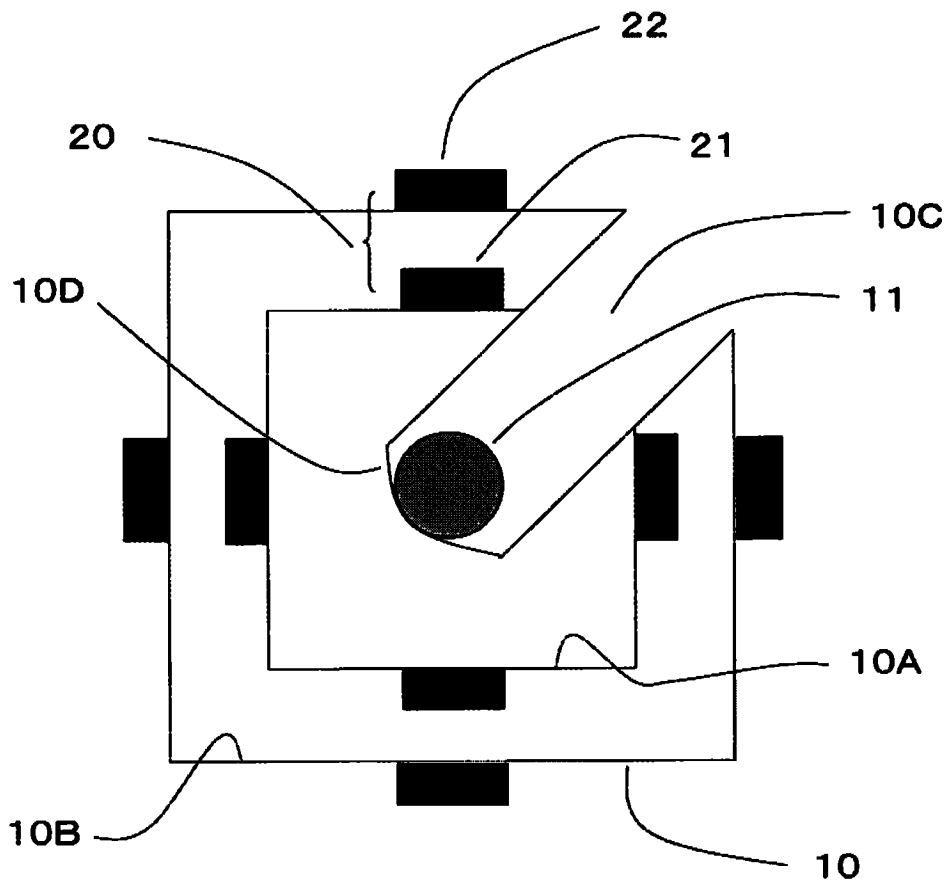


图 1

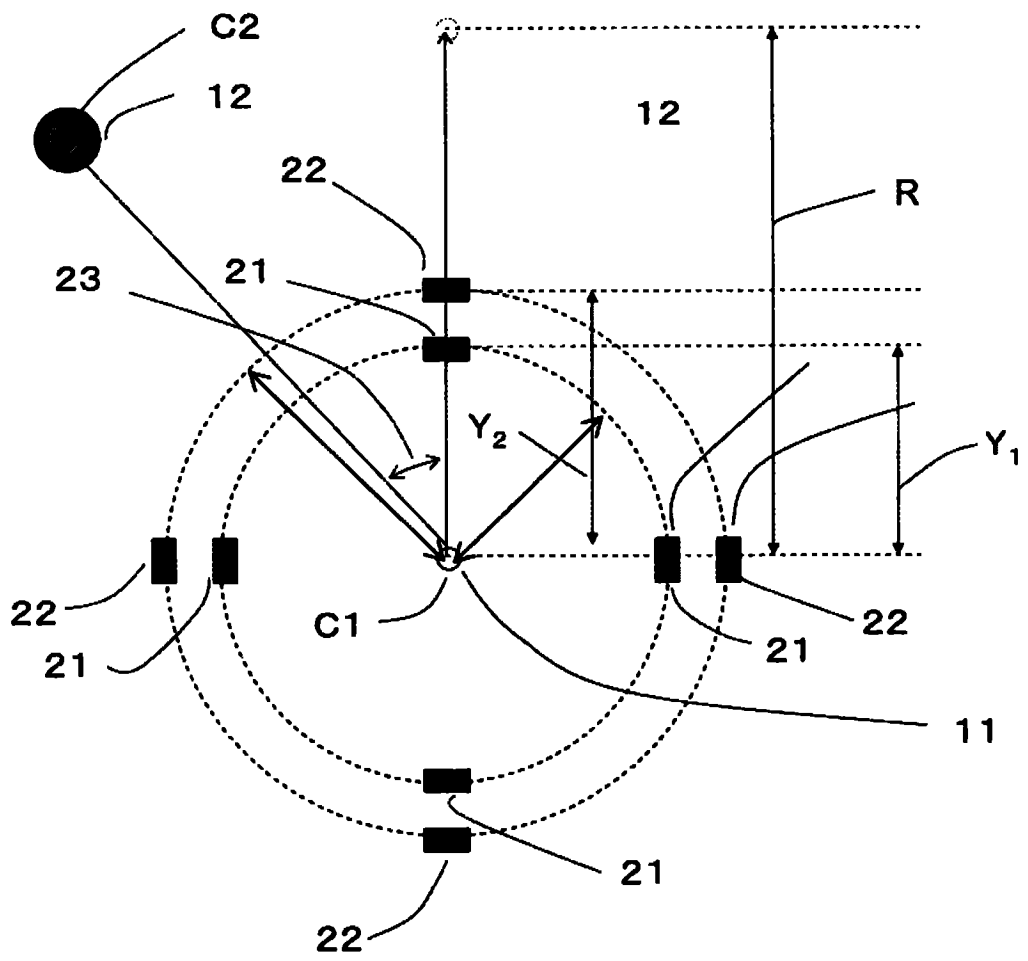


图 2

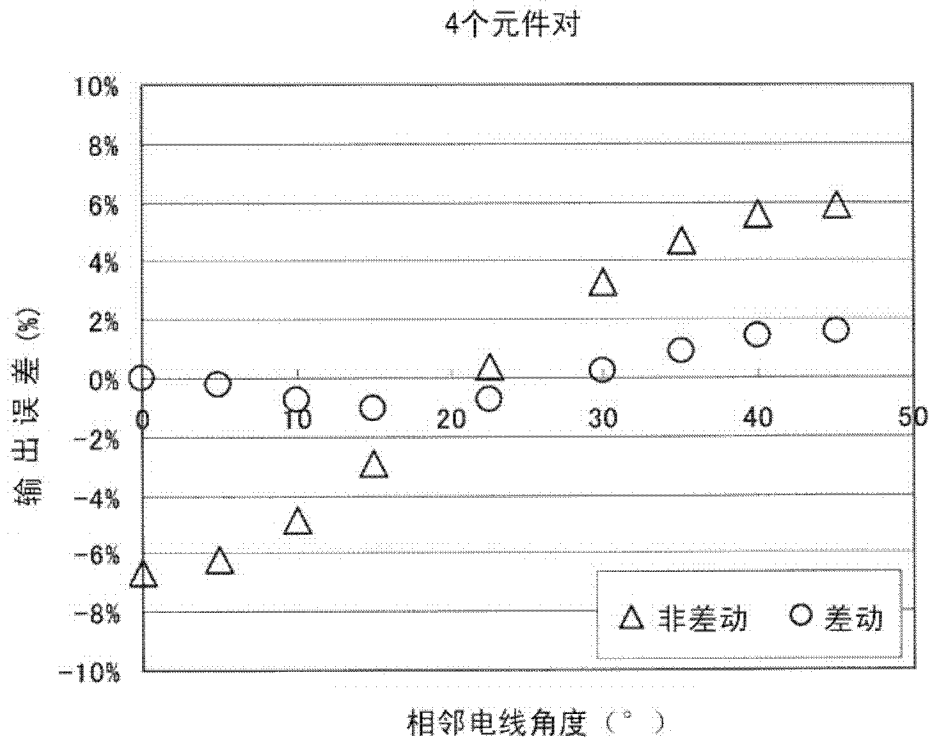


图 3

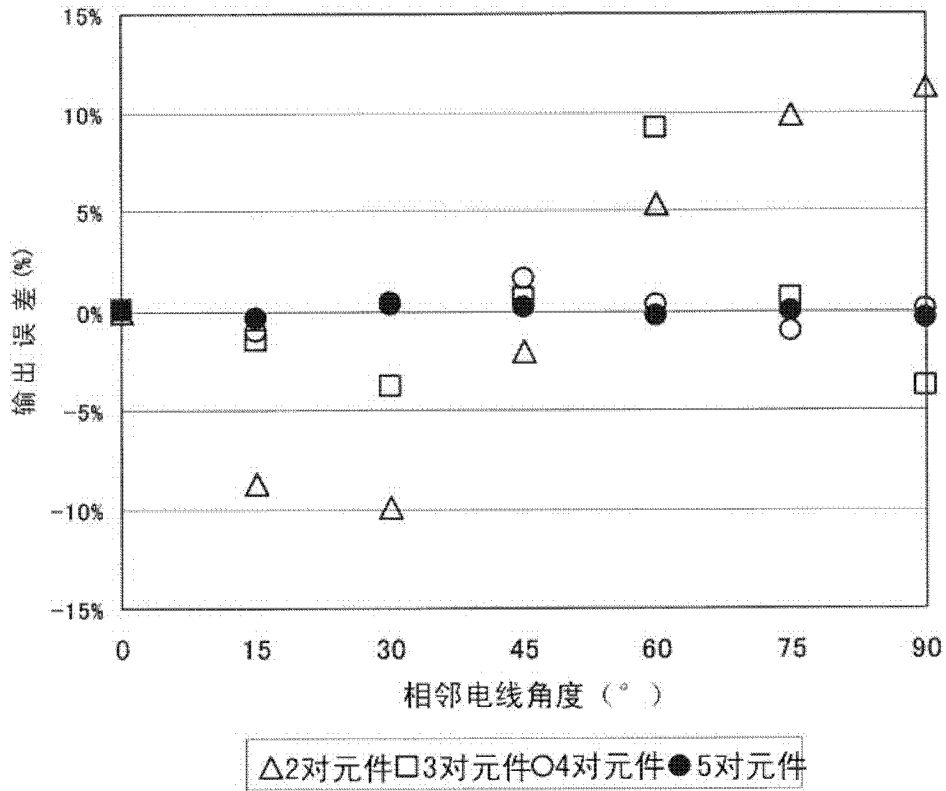


图 4

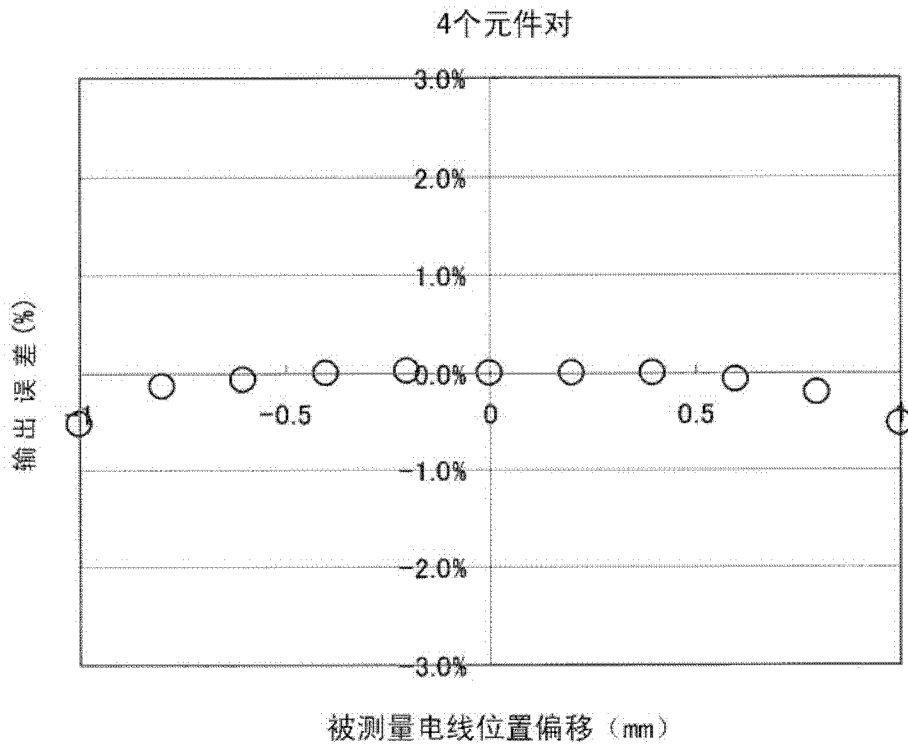


图 5