(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 103368167 A
(43)申请公布日 2013.10.23

(21)申请号 201310262215.6

(22)申请日 2013.06.27

(71)申请人 刘宝稳
地址 277000 山东省枣庄市薛城区巨山街道东托一村

(72)发明人 刘宝稳 高慧会

(51)Int.Cl.
H02H 9/08(2006.01)

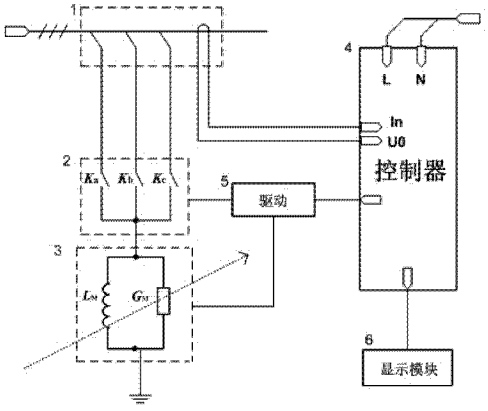
权利要求书2页 说明书5页 附图2页

(54)发明名称

一种单相接地故障基波电流全补偿装置与方法

(57)摘要

本发明公开了一种单相接地故障基波电流全补偿装置与方法，通过在故障相的超前相接入电感和电阻可实现单相接地故障基波电流的全补偿，包括有功电流和无功电流，可消除电网参数不平衡对接地电流的影响。由于全补偿偏置原价强行将零序电压钳制至故障相电源相电势，因而消除间歇性电弧重燃的可能性。本发明需要设备成本低廉，补偿效果好。



CN 103368167 A

1. 一种单相接地故障基波电流全补偿的方法，其特征在于，当中性点不接地电网发生单相接地故障时，在接地故障相的超前相对地接入电抗和电阻，实现接地基波电流的全补偿，包括步骤如下：

步骤 a：电网正常运行时，测量中性点电压 U_{bd}，根据电网线路对地分布总电容和总电导，计算电网线路参数不对称矢量和 k_{bd}：

$$\begin{aligned}\dot{k}_{bd}&=(j\omega C_A+G_A)+\alpha^2(j\omega C_B+G_B)+\alpha(j\omega C_C+G_C)\\&=\dot{U}_{bd}(j\omega C_\Sigma+G_\Sigma)/(-\dot{E}_\delta)\\&=jY_{bd}+G_{bd}\end{aligned}\qquad 式\ 1$$

上式中：其中 $\alpha=e^{120^\circ}$，$C_\Sigma=C_A+C_B+C_C$ 为系统总分布电容，$G_\Sigma=G_A+G_B+G_C$ 为系统分布总电导，C_A、C_B 和 C_C 为三相对地分布总电容，G_A、G_B 和 G_C 为三相对地分布总电导；E_δ 电源相电压；Y_{bd} 和 G_{bd} 分别为电网线路参数不对称矢量和的虚部和实部；

步骤 b：电网正常运行时，根据电网线路对地分布总电容和总电导、电网线路参数不对称矢量和计算满足基波电流全补偿的电感和电导的值：

$$L_M=-1/[1/2\omega(Y_{bd}-\omega C_\Sigma)+\sqrt{3}/6\omega(G_{bd}-G_\Sigma)]\qquad 式\ 2$$

$$G_M=1/2(G_{bd}-G_\Sigma)+\sqrt{3}/6(\omega C_\Sigma-Y_{bd})\qquad 式\ 3$$

以上式中 L_M、G_M 为全补偿偏置原件，式中 Y_{bd} 和 G_{bd} 分别为 E_δ 取故障相电源电势的电网线路参数不对称矢量和的虚部和实部；

步骤 c：当电网发生单相接地故障后，将式 2 和式 3 中的电抗和电导并联，然后接入故障相的超前相。

2. 根据权利要求 1 所述的一种单相接地故障基波电流全补偿的方法，其特征在于，在电网正常运行时，需令 E_δ 分别为 E_A、E_B、E_C 分别计算 k_{bd}，E_A、E_B、E_C 为三相电源电压。

3. 一种单相接地故障基波电流全补偿的装置，其特征在于，包括零序电信号测量模块 1、断路器模块 2、全补偿偏置原件模块 3、控制器模块 4、驱动模块 5、显示模块 6；

连接关系：零序电信号测量模块 1 连接电网母线，并送出零序电压和零序电流信号给控制器模块 4；站用 220V 电源与控制器模块 4 相连，提供工作电源；全补偿偏置原件模块 3 通过断路器模块 2 与电网线路相连接，全补偿偏置原件模块 3 另一端可靠接地；控制器模块 4 发出控制信号至驱动模块 5，驱动模块 5 根据控制要求控制断路器模块 2 的开断和调节全补偿偏置原件模块 3；控制器模块 4 将计算结果输入显示模块 6；操作步骤如下：

a. 装置开始运行，断路器模块 2 全断开，控制器模块 4 上电并测量中性点电压信号，保存测量数据；

b. 电网正常运行时，控制器模块 4 根据电网参数计算全补偿偏置原件参数，控制器模块 4 发出控制至驱动模块 5，驱动模块 5 调节全补偿偏置原件模块 3 至全补偿值；

c. 电网发生单相接地故障后，控制器模块 4 发出控制至驱动模块 5，驱动模块 5 调节断路器模块 2 中故障相超前相断路器闭合；

d. 控制器模块 4 驱动显示模块 6 显示故障情况；

e. 若需重新测量，从步骤 a 开始重新执行。

一种单相接地故障基波电流全补偿装置与方法

技术领域

[0001] 本发明涉及的是一种电气技术的测量和控制方法，具体是中性点不接地系统发生单相接地故障基波故障电流全补偿的技术。

背景技术

[0002] 小电流接地系统，包括中性点不接地和中性点经消弧线圈接地，发生单相接地故障时电网线电压对称仍可持续供电，我国配电网以小电流接地方式为主。由于消弧线圈在中性点能产生补偿接地电容电流的感性电流，大大减小故障电流，达到熄弧的效果。但是单相接地故障基波电流除了线路对地电容产生的无功分量以外，还包括线路对地电阻产生的有功电流和线路参数不对称产生的不平衡电流。目前工业上广泛使用的消弧线圈只能补偿接地电流的的无功分量对于接地电流的有功分量和电网线路自然不平衡电流无能为力的。

[0003] 目前接地电流全补偿的方法可分为两类：一类是应用在谐振接地系统的滞后相接电容或超前相接电感的方法，或中性点经电阻接地系统超前相接电感的方法。以上两种方法需预调好中性点接地电阻或电感，操作步骤复杂。中性点电抗满足接地电流补偿的要求，再经线路接入电感或电容实际意义不大，且该方法建立在电网线路对地参数已知的条件下。另一类是在中性点有源注入的方式实现，该方法基于有源电力滤波器的方式实现接地电流的全补偿。但是该方法设备复杂，费用较高，实际效果还有待验证。对于中性点不接地系统有源注入的方法需增加接地变压器制造中性点，费用高。

[0004] 经对现有技术领域的检索发现，中国专利申请号为 201120426044.2，授权公告号为 CN202474862U，专利名称为：有源全补偿的消弧线圈装置，该专利为有源注入的方式实现接地电流全补偿的装置。

[0005] 中国专利申请号为 201210277809.X，授权公告号为 CN102818938A，专利名称为：移参换相法电网对地分布参数跟踪测量控制方法，该专利通过把同一偏置原件投切至任意两相即可实现电网线路绝缘参数的测量，包括线路对地分布总电容和总电导。该发明未给出接地电流全补偿的条件。本发明在此基础上实现了中性点不接地系统单相接地故障基波电流的全补偿。

发明内容

[0006] 技术问题：本发明所要解决的技术问题是提供一种单相接地故障基波电流全补偿装置与方法，通过在线路接入特定的偏置原件实现中性点不接地系统单相接地故障基波电流的全补偿。

[0007] 技术方案：为解决以上述技术问题，本发明提出一种单相接地故障基波电流全补偿装置与方法，当中性点不接地电网发生单相接地故障时，在接地相的超前相对地接入电抗和电阻，实现接地基波电流的全补偿。

[0008] 一种单相接地故障基波电流全补偿的方法包括步骤如下：

步骤 a：电网正常运行时，测量中性点电压 U_{bd}，根据电网线路对地分布总电容和总电

导，计算电网线路参数不对称矢量和 k_{bd}：

$$\begin{aligned}\dot{k}_{bd}&=(j\omega C_A+G_A)+\alpha^2(j\omega C_B+G_B)+\alpha(j\omega C_C+G_C)\\&=\dot{U}_{bd}(j\omega C_\Sigma+G_\Sigma)/(-\dot{E}_\delta)\\&=jY_{bd}+G_{bd}\end{aligned}$$ 式 1

上式中：其中 $\alpha=e^{120^\circ}$，$C_\Sigma=C_A+C_B+C_C$ 为系统总分布电容，$G_\Sigma=G_A+G_B+G_C$ 为系统分布总电导，C_A、C_B 和 C_C 为三相对地分布总电容，G_A、G_B 和 G_C 为三相对地分布总电导；E_δ 电源相电压；Y_{bd} 和 G_{bd} 分别为电网线路参数不对称矢量和的虚部和实部。

[0009] 在电网正常运行时故障相未知，因而需令 E_δ 分别为 E_A、E_B、E_C 分别计算 k_{bd}，E_A、E_B、E_C 为三相电源电压。

[0010] 步骤 b：电网正常运行时，根据电网线路对地分布总电容和总电导、电网线路参数不对称矢量和计算满足基波电流全补偿的电感和电导的值：

$$L_M=-1/[1/2\omega(Y_{bd}-\omega C_\Sigma)+\sqrt{3}/6\omega(G_{bd}-G_\Sigma)]$$ 式 2

$$G_M=1/2(G_{bd}-G_\Sigma)+\sqrt{3}/6(\omega C_\Sigma-Y_{bd})$$ 式 3

以上式中 L_M、G_M 为全补偿偏置原件，式中 Y_{bd} 和 G_{bd} 分别为 E_δ 取故障相电源电势的电网线路参数不对称矢量和的虚部和实部。

[0011] 步骤 c：当电网发生单相接地故障后，将式 2 和式 3 中的电抗和电导并联，然后接入故障相的超前相。

[0012] 一种单相接地故障基波电流全补偿的装置包括零序电信号测量模块 1、断路器模块 2、全补偿偏置原件模块 3、控制器模块 4、驱动模块 5、显示模块 6。

[0013] 连接关系：零序电信号测量模块 1 连接电网母线，并送出零序电压和零序电流信号给控制器模块 4；站用 220V 电源与控制器模块 4 相连，提供工作电源；全补偿偏置原件模块 3 通过断路器模块 2 与电网线路相连接，全补偿偏置原件模块 3 另一端可靠接地；控制器模块 4 发出控制信号至驱动模块 5，驱动模块 5 根据控制要求控制断路器模块 2 的开断和调节全补偿偏置原件模块 3；控制器模块 4 将计算结果输入显示模块 6。

[0014] 实施步骤：

a. 装置开始运行，断路器模块 2 全断开，控制器模块 4 上电并测量中性点电压信号，保存测量数据；

b. 电网正常运行时，控制器模块 4 根据电网参数计算全补偿偏置原件参数，控制器模块 4 发出控制至驱动模块 5，驱动模块 5 调节全补偿偏置原件模块 3 至全补偿值；

c. 电网发生单相接地故障后，控制器模块 4 发出控制至驱动模块 5，驱动模块 5 调节断路器模块 2 中故障相超前相断路器闭合；

d. 控制器模块 4 驱动显示模块 6 显示故障情况；

e. 若需重新测量，从步骤 a 开始重新执行。

[0015] 有益效果：本发明提出的一种单相接地故障基波电流全补偿装置与方法，该方法可实现单相接地故障基波电流的全补偿，包括接地无功电流、接地有功电流和消除电网自然不平衡电流对接地电流的影响。不需要引入电力电子设备，不需要接地变压器，成本低。

只在电网故障时接入全补偿偏置原件，因而在电网正常运行时不会像谐振接地系统那样产生谐振过电压。

[0016] 附图说明：

图 1 中性点不接地系统单相接地故障基波电流全补偿原理图；

图 2 单相接地故障有功和无功电流补偿原理图；

图 3 单相接地故障电网自然不平衡电流补偿原理图；

图 4 单相接地故障基波电流全补偿装置结构框图；

图 4 中：

1- 零序电信号测量模块；

2- 断路器模块；

3- 全补偿偏置原件模块；

4- 控制器模块；

5- 断路器控制模块；

6- 显示模块。

具体实施方式

[0017] 为使本发明实施的技术手段、创作特征、技术方案和优点与功效更加清楚明了，下面结合本发明实施例中的附图，给出了详细的实施方式和具体操作过程。

[0018] 本发明的实施可直接从 PT 二次侧取得电网母线零序电压信号，下面以电网 A 相发生单相接地故障为例具体介绍一种单相接地故障基波电流全补偿的方法步骤，如下：

步骤①：电网正常运行时，如图 1，测量中性点电压 U_{bd}：

$$\dot{U}_{bd}=-\dot{E}_A\frac{\dot{k}_{bd}}{j\omega C_\Sigma+G_\Sigma} \qquad \text{式 4}$$

式中：$\dot{k}_{bd}=jY_{bd}+G_{bd}$ 为系统线路参数不对称矢量和，若系统三相参数对称则 $\dot{k}_{bd}=0$。根据电网线路对地分布总电容和总电导，则电网线路参数不对称矢量和：

$$\begin{aligned}\dot{k}_{bd}&=\dot{U}_{bd}(j\omega C_\Sigma+G_\Sigma)/(-\dot{E}_A)\\&=jY_{bd}+G_{bd}\end{aligned} \qquad \text{式 5}$$

上式中：C_Σ 为系统总分布电容，G_Σ 为系统分布总电导；E_A 为 A 相电源相电压；Y_{bd} 和 G_{bd} 分别为电网参数不对称矢量和的虚部和实部。

[0019] 步骤②：电网正常运行时，根据电网线路对地分布总电容和总电导、电网自然不平衡电流计算当 A 相发生接地故障时全补偿偏置原件电感和电导的值，该全补偿偏置原件接入故障相的超前相，即 C 相，则接入后零序电压为：

$$\dot{U}_{bd}=\frac{-\dot{E}_A(jY_{bd}+G_{bd})-\dot{E}_C[1/(j\omega L_M)+G_M]}{j\omega C_\Sigma+G_\Sigma+1/(j\omega L_M)+G_M} \qquad \text{式 6}$$

则全补偿的零序电压条件是

$$\dot{U}_{bd}=-\dot{E}_A \qquad \text{式 7}$$

即强行将零序电压钳制至故障相电源相电势，因而消除间歇性电弧重燃的可能性。解得：

$$L_M=-1/[1/2\omega(Y_{bd}-\omega C_\Sigma)+\sqrt{3}/6\omega(G_{bd}-G_\Sigma)] \qquad \text{式 8}$$

$$G_M=1/2(G_{bd}-G_\Sigma)+\sqrt{3}/6(\omega C_\Sigma-Y_{bd}) \qquad \text{式 9}$$

全补偿偏置原件接入 C 相后，C 相电压为 $-\dot{E}_A+\dot{E}_C$ 。若电网线路参数严格对称，Y_{bd}=G_{bd}=0，则 $L_M=1/(1/2\omega^2C_\Sigma+\sqrt{3}/6\omega G_\Sigma)$、$G_M=-1/2G_\Sigma+\sqrt{3}/6\omega C_\Sigma$，则 L_M、G_M 产生的电流 I_{LGM} 见图 2。

[0020] $G_M=1/2(G_{bd}-G_\Sigma)+\sqrt{3}/6(\omega C_\Sigma-Y_{bd})$ 式 9

图 2 中 I_{LM} 为电感产生的电流，I_{GM} 为电导产生的电流。由式 9 可知，此时偏置原件在 C 相产生的电流与 A 相接地故障电流大小相等。

[0021] 当线路参数不对称时，$L_{bd}=-1/(1/2\omega Y_{bd}+\sqrt{3}/6\omega G_{bd})$、$G_{bd}=1/2G_{bd}-\sqrt{3}/6Y_{bd})$ 产生的电流见图 3。图 2 中 I_{Lbd} 为电感 L_{bd} 产生的电流，I_{Gbd} 为电导 G_{bd} 产生的电流。

[0022] $\dot{I}_{LGbd}=-\dot{E}_A(jY_{bd}+G_{bd})$ 式 10

由式 10 可知，此时全补偿偏置原件在 C 相除了产生电网 A 相故障的有功和无功电流外还产生消除电网不对称度影响电网不平衡电流。

[0023] 式 8 和式 9 中的全补偿偏置原件产生的全部补偿电流为：

$$\dot{I}_{LGM}=\dot{E}_A(\omega C_\Sigma+G_\Sigma)-\dot{E}_A(jY_{bd}+G_{bd}) \qquad \text{式 11}$$

由式 10 可知全补偿偏置原件可实现电网单相接地基波电流的补偿。

[0024] 步骤③：当电网发生单相接地故障后，将式 8 和式 9 中的电抗和电导并联，然后接入故障相的超前相。

[0025] 一种单相接地故障基波电流全补偿的装置包括：零序电信号测量模块 1、断路器模块 2、全补偿偏置原件模块 3、控制器模块 4、断路器控制模块 5、显示模块 6，见图 4。

[0026] 连接关系：零序电信号测量模块 1 连接电网母线，并送出零序电压和零序电流信号给控制器模块 4；站用 220V 电源与控制器模块 4 相连，提供工作电源；全补偿偏置原件模块 3 通过断路器模块 2 与电网线路相连接，全补偿偏置原件模块 3 另一端可靠接地；控制器模块 4 发出控制信号至驱动模块 5，驱动模块 5 根据控制要求控制断路器模块 2 的开断和调节全补偿偏置原件模块 3；控制器模块 4 将计算结果输入显示模块 6。

[0027] 实施步骤：

a. 装置开始运行，断路器模块 2 全断开，控制器模块 4 上电并测量中性点电压信号，保存测量数据；

b. 电网正常运行时，控制器模块 4 根据电网参数计算全补偿偏置原件参数，控制器模块 4 发出控制至驱动模块 5，驱动模块 5 调节全补偿偏置原件模块 3 至全补偿值；

c. 电网发生单相接地故障后，控制器模块 4 发出控制至驱动模块 5，驱动模块 5 调节断路器模块 2 中故障相超前相断路器闭合；

d. 控制器模块 4 驱动显示模块 6 显示故障情况；

e. 若需重新测量，从步骤 a 开始重新执行。

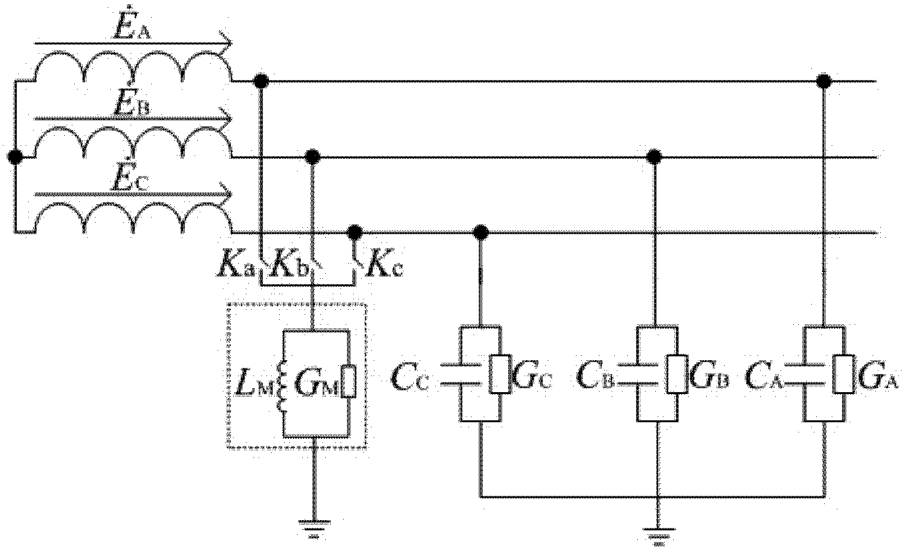

$\dot{E}_A$
$\dot{E}_B$
$\dot{E}_C$
K_a K_b K_c
L_M G_M
C_C G_C C_B G_B C_A G_A

图 1

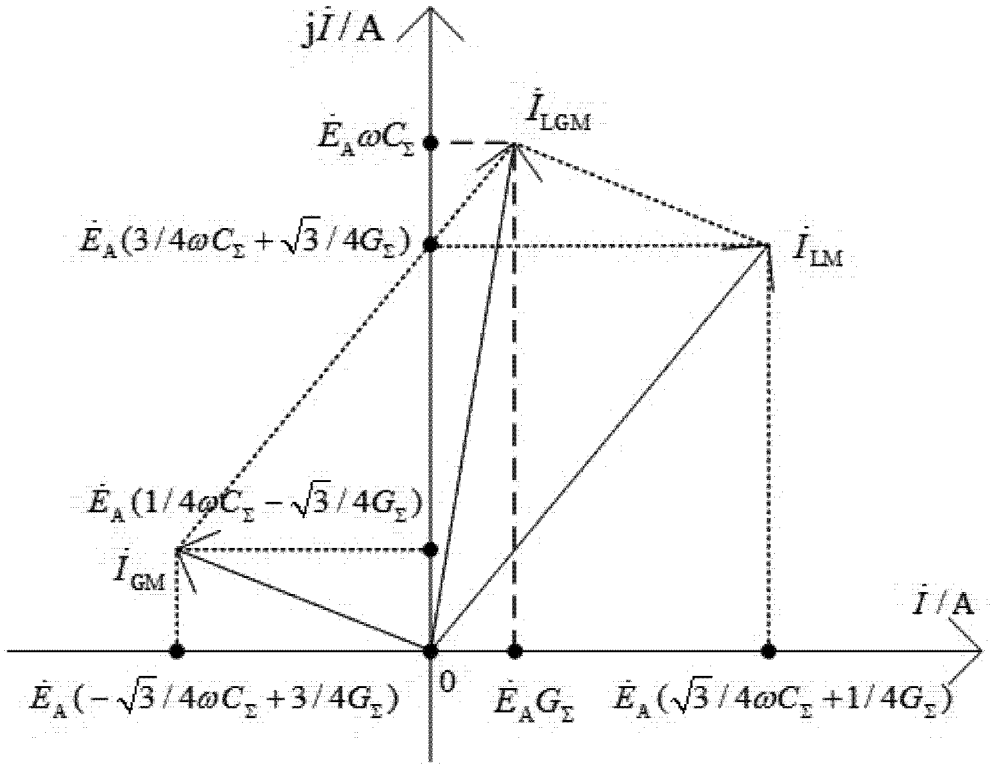

$j\dot{I}$ / A
$\dot{E}_A\omega C_\Sigma$
$\dot{I}_{LGM}$
$\dot{E}_A(3/4\omega C_\Sigma + \sqrt{3}/4G_\Sigma)$
$\dot{I}_{LM}$
$\dot{E}_A(1/4\omega C_\Sigma - \sqrt{3}/4G_\Sigma)$
$\dot{I}_{GM}$
$\dot{I}$ / A
$\dot{E}_A(-\sqrt{3}/4\omega C_\Sigma + 3/4G_\Sigma)$
0
$\dot{E}_A G_\Sigma$
$\dot{E}_A(\sqrt{3}/4\omega C_\Sigma + 1/4G_\Sigma)$

图 2

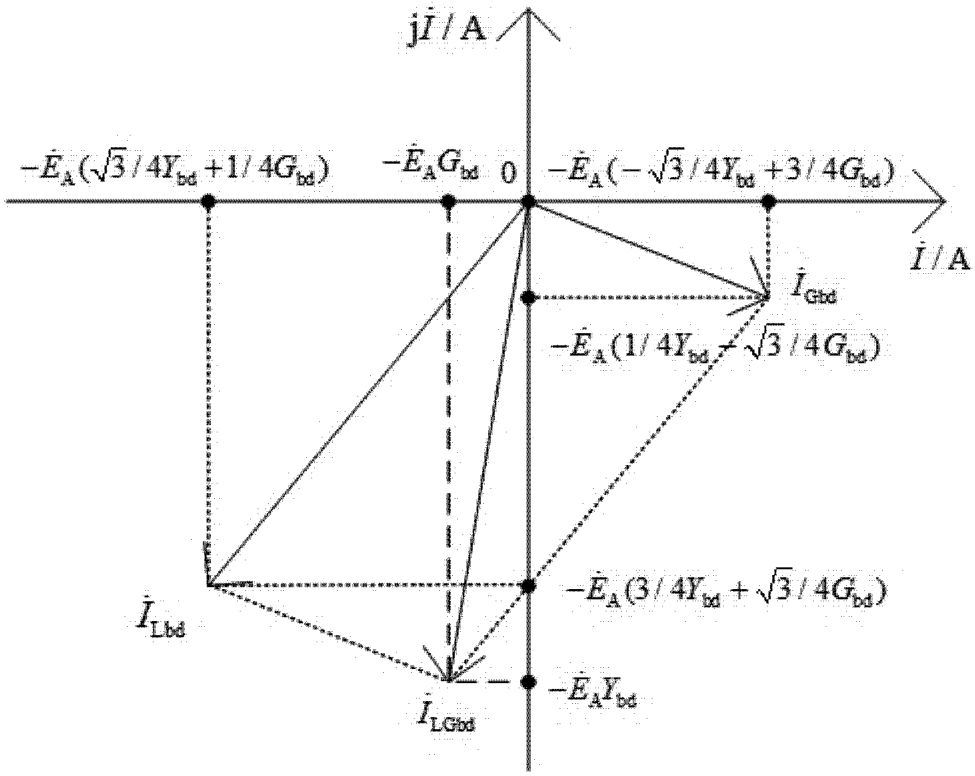

jİ / A
$-\dot{E}_A(\sqrt{3}/4Y_{bd}+1/4G_{bd})$
$-\dot{E}_A G_{bd}$
0
$-\dot{E}_A(-\sqrt{3}/4Y_{bd}+3/4G_{bd})$
İ / A
$\dot{I}_{Gbd}$
$-\dot{E}_A(1/4Y_{bd}-\sqrt{3}/4G_{bd})$
$-\dot{E}_A(3/4Y_{bd}+\sqrt{3}/4G_{bd})$
$\dot{I}_{Lbd}$
$-\dot{E}_A Y_{bd}$
$\dot{I}_{LGbd}$

图 3

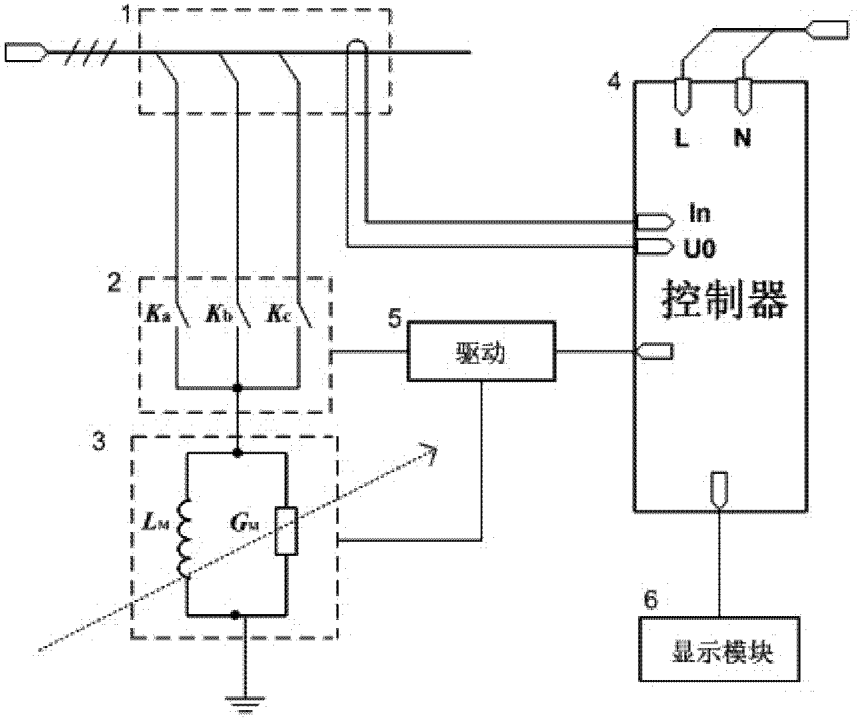

1
2
3
4
5
6
L
N
In
U0
控制器
驱动
显示模块
K_a
K_b
K_c
L_M
G_u

图 4