



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 114167140 B

(45) 授权公告日 2023.10.27

(21) 申请号 202111464936.6

US 2015285850 A1, 2015.10.08

(22) 申请日 2021.12.03

US 2012314327 A1, 2012.12.13

(65) 同一申请的已公布的文献号

CN 108445361 A, 2018.08.24

申请公布号 CN 114167140 A

CN 2565028 Y, 2003.08.06

(43) 申请公布日 2022.03.11

CN 214750546 U, 2021.11.16

(73) 专利权人 国网江苏省电力有限公司常州供电公司

WO 2016206488 A1, 2016.12.29

地址 213000 江苏省常州市局前街27号

CN 210225342 U, 2020.03.31

专利权人 国网江苏省电力有限公司

CN 110940898 A, 2020.03.31

国家电网有限公司

CN 105842540 A, 2016.08.10

(72) 发明人 陆歆 刘晓康 朱晓舟 夏天雷  
丁翼 罗皎虹 王磊

CN 109633276 A, 2019.04.16

CN 105717426 A, 2016.06.29

CN 106483422 A, 2017.03.08

(74) 专利代理机构 常州佰业腾飞专利代理事务所(普通合伙) 32231

刘麒麟等. 直流电网输电线路短路故障的单端化近似解析计算方法.《电测与仪表》.2020, 47-52.

专利代理师 刘松

Dev Paul. Phasor diagram of a single-phase-ground fault current in a high-resistance grounded power system.《2017 IEEE/IAS 53rd Industrial and Commercial Power Systems Technical Conference (I&CPS)》.2017, 978-985.

(51) Int. Cl.

G01R 27/18 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 206281925 U, 2017.06.27

CN 112578186 A, 2021.03.30

审查员 邢小强

权利要求书2页 说明书8页 附图3页

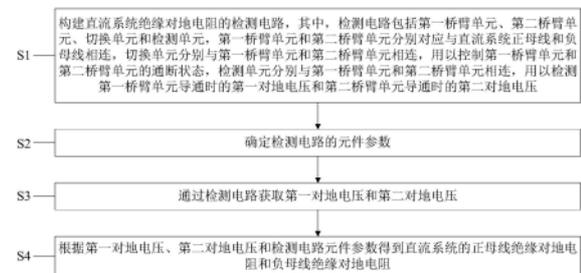
(54) 发明名称

直流系统绝缘对地电阻的检测方法和系统

统正负母线绝缘对地电阻同时等值下降的情况, 并具有较高的检测灵敏度, 从而能够保证直流系统的安全性。

(57) 摘要

本发明提供了一种直流系统绝缘对地电阻的检测方法和系统, 所述系统包括以下步骤: 构建直流系统绝缘对地电阻的检测电路, 其中, 检测电路包括第一桥臂单元、第二桥臂单元、切换单元和检测单元, 检测单元分别与第一桥臂单元和第二桥臂单元相连, 用以检测第一桥臂单元导通时的第一对地电压和第二桥臂单元导通时的第二对地电压; 确定检测电路的元件参数; 通过检测电路获取第一对地电压和第二对地电压; 根据第一对地电压、第二对地电压和检测电路元件参数得到直流系统的正母线绝缘对地电阻和负母线绝缘对地电阻。本发明能够准确检测直流系



CN 114167140 B

1. 一种直流系统绝缘对地电阻的检测方法,其特征在于,包括以下步骤:

构建直流系统绝缘对地电阻的检测电路,其中,所述检测电路包括第一桥臂单元、第二桥臂单元、切换单元和检测单元,所述第一桥臂单元和所述第二桥臂单元分别对应与所述直流系统正母线和负母线相连,所述切换单元分别与所述第一桥臂单元和所述第二桥臂单元相连,用以控制所述第一桥臂单元和所述第二桥臂单元的通断状态,所述检测单元分别与所述第一桥臂单元和所述第二桥臂单元相连,用以检测所述第一桥臂单元导通时的第一对地电压和所述第二桥臂单元导通时的第二对地电压;

确定所述检测电路的元件参数;

通过所述检测电路获取所述第一对地电压和所述第二对地电压;

根据所述第一对地电压、所述第二对地电压和所述检测电路元件参数得到所述直流系统的正母线绝缘对地电阻和负母线绝缘对地电阻,

其中,所述第一桥臂单元包括第一桥电阻和第二桥电阻,并且所述第一桥电阻与所述第二桥电阻阻值不同;所述第二桥臂单元包括第三桥电阻和第四桥电阻,并且所述第三桥电阻和所述第一桥电阻阻值相同,所述第四桥电阻和所述第二桥电阻阻值相同;所述检测单元包括检测电阻和电压传感器;所述切换单元包括切换开关,

确定所述检测电路的元件参数,包括以下步骤:计算所述检测电路的电压偏差率;计算所述检测电路的检测灵敏度;根据所述电压偏差率和所述检测灵敏度确定所述检测电路的元件参数,

通过下列公式计算所述检测电路的电压偏差率:

$$\sigma_{v_{+}} = \frac{\left| V_{+} - \frac{1}{2}V \right|}{0.5V} = \left| \frac{2R_J + R_2}{2R_a + 2R_J + R_2} \right|$$

其中,  $\sigma_{v_{+}}$  表示所述检测电路的电压偏差率,  $V_{+}$  表示所述第一对地电压,  $V$  表示所述直流系统的母线电压,  $R_2$  表示所述第二桥电阻,  $R_J$  表示所述检测电阻,  $R_a$  表示所述直流系统的正母线绝缘对地电阻,

通过下列公式计算所述检测电路的检测灵敏度:

$$K = \frac{dV_{+}}{dR_a} = \frac{V(2R_J + R_2)}{(2R_a + 2R_J + R_2)^2}$$

其中,  $K$  表示所述检测电路的检测灵敏度。

2. 根据权利要求1所述的直流系统绝缘对地电阻的检测方法,其特征在于,根据所述第一对地电压、所述第二对地电压和所述检测电路元件参数得到所述直流系统的正母线绝缘对地电阻和负母线绝缘对地电阻,包括以下步骤:

根据戴维宁定理得到所述直流系统的正母线绝缘对地电阻和负母线绝缘对地电阻的并联值公式;

将所述第一对地电压、所述第二对地电压和所述检测电路元件参数代入所述并联值公式得到所述直流系统的正母线绝缘对地电阻和负母线绝缘对地电阻。

3. 根据权利要求2所述的直流系统绝缘对地电阻的检测方法,其特征在于,其中,所述直流系统的正母线绝缘对地电阻和负母线绝缘对地电阻的并联值公式为:

$$R_a || R_b = \frac{(R_2 - (R_1 || R_2))R_J \cdot V}{(V_J^+ - V_J^-)((R_1 || R_2) + R_2)} - (R_1 || R_2) || R_2 - R_J$$

其中,所述 $R_0$ 表示所述直流系统的负母线绝缘对地电阻。

4.一种直流系统绝缘对地电阻的检测系统,其特征在于,包括:

建模模块,所述建模模块用于构建直流系统绝缘对地电阻的检测电路,其中,所述检测电路包括第一桥臂单元、第二桥臂单元、切换单元和检测单元,所述第一桥臂单元和所述第二桥臂单元分别对应与所述直流系统正母线和负母线相连,所述切换单元分别与所述第一桥臂单元和所述第二桥臂单元相连,用以控制所述第一桥臂单元和所述第二桥臂单元的通断状态,所述检测单元分别与所述第一桥臂单元和所述第二桥臂单元相连,用以检测所述第一桥臂单元导通时的第一对地电压和所述第二桥臂单元导通时的第二对地电压;

参数模块,所述参数模块用于确定所述检测电路的元件参数;

检测模块,所述检测模块用于通过所述检测电路获取所述第一对地电压和所述第二对地电压;

计算模块,所述计算模块用于根据所述第一对地电压、所述第二对地电压和所述检测电路元件参数得到所述直流系统的正母线绝缘对地电阻和负母线绝缘对地电阻,

其中,所述第一桥臂单元包括第一桥电阻和第二桥电阻,并且所述第一桥电阻与所述第二桥电阻阻值不同;所述第二桥臂单元包括第三桥电阻和第四桥电阻,并且所述第三桥电阻和所述第一桥电阻阻值相同,所述第四桥电阻和所述第二桥电阻阻值相同;所述检测单元包括检测电阻和电压传感器;所述切换单元包括切换开关,

参数模块具体用于计算检测电路的电压偏差率,并计算检测电路的检测灵敏度,然后根据电压偏差率和检测灵敏度确定检测电路的元件参数,

其中,通过下列公式计算所述检测电路的电压偏差率:

$$\sigma_{V_+} = \frac{\left| V_+ - \frac{1}{2}V \right|}{0.5V} = \left| \frac{2R_J + R_2}{2R_a + 2R_J + R_2} \right|$$

其中, $\sigma_{V_+}$ 表示所述检测电路的电压偏差率, $V_+$ 表示所述第一对地电压, $V$ 表示所述直流系统的母线电压, $R_2$ 表示所述第二桥电阻, $R_J$ 表示所述检测电阻, $R_a$ 表示所述直流系统的正母线绝缘对地电阻,

通过下列公式计算所述检测电路的检测灵敏度:

$$K = \frac{dV_+}{dR_a} = \frac{V(2R_J + R_2)}{(2R_a + 2R_J + R_2)^2}$$

其中, $K$ 表示所述检测电路的检测灵敏度。

## 直流系统绝缘对地电阻的检测方法和系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及对地检测技术领域,具体涉及一种直流系统绝缘对地电阻的检测方法和一种直流系统绝缘对地电阻的检测系统。

### 背景技术

[0002] 随着社会的发展与科技的进步,直流电因其独特的优势得到了越来越多的应用,这也促进了直流系统的不断扩大,但直流系统发生故障时却难以被发现。目前通常采用平衡电桥用于检测直流系统故障,但当直流系统正负接地电阻同等下降时,平衡电桥就难以对其进行准确检测。

### 发明内容

[0003] 本发明旨在至少在一定程度上解决上述技术中的技术问题之一。为此,本发明的一个目的在于提出一种直流系统绝缘对地电阻的检测方法,能够准确检测直流系统正负母线绝缘对地电阻同时等值下降的情况,并具有较高的检测灵敏度,从而能够保证直流系统的安全性。

[0004] 本发明的第二个目的在于提出一种直流系统绝缘对地电阻的检测系统。

[0005] 为达到上述目的,本发明第一方面实施例提出了一种直流系统绝缘对地电阻的检测方法,包括以下步骤:构建直流系统绝缘对地电阻的检测电路,其中,所述检测电路包括第一桥臂单元、第二桥臂单元、切换单元和检测单元,所述第一桥臂单元和所述第二桥臂单元分别对应与所述直流系统正母线和负母线相连,所述切换单元分别与所述第一桥臂单元和所述第二桥臂单元相连,用以控制所述第一桥臂单元和所述第二桥臂单元的通断状态,所述检测单元分别与所述第一桥臂单元和所述第二桥臂单元相连,用以检测所述第一桥臂单元导通时的第一对地电压和所述第二桥臂单元导通时的第二对地电压;确定所述检测电路的元件参数;通过所述检测电路获取所述第一对地电压和所述第二对地电压;根据所述第一对地电压、所述第二对地电压和所述检测电路元件参数得到所述直流系统的正母线绝缘对地电阻和负母线绝缘对地电阻。

[0006] 根据本发明实施例提出的直流系统绝缘对地电阻的检测方法,通过构建直流系统绝缘对地电阻的检测电路,并确定检测电路的元件参数,然后通过检测电路获取第一对地电压和第二对地电压,最后根据第一对地电压、第二对地电压和检测电路元件参数得到直流系统的正母线绝缘对地电阻和负母线绝缘对地电阻,由此,能够准确检测直流系统正负母线绝缘对地电阻同时等值下降的情况,并具有较高的检测灵敏度,从而能够保证直流系统的安全性。

[0007] 另外,根据本发明上述实施例提出的直流系统绝缘对地电阻的检测方法还可以具有如下附加的技术特征:

[0008] 根据本发明的一个实施例,所述第一桥臂单元包括第一桥电阻和第二桥电阻,并且所述第一桥电阻与所述第二桥电阻阻值不同;所述第二桥臂单元包括第三桥电阻和第四

桥电阻,并且所述第三桥电阻和所述第一桥电阻阻值相同,所述第四桥电阻和所述第二桥电阻阻值相同;所述检测单元包括检测电阻和电压传感器;所述切换单元包括切换开关。

[0009] 根据本发明的一个实施例,确定所述检测电路的元件参数,包括以下步骤:计算所述检测电路的电压偏差率;计算所述检测电路的检测灵敏度;根据所述电压偏差率和所述检测灵敏度确定所述检测电路的元件参数。

[0010] 根据本发明的一个实施例,通过下列公式计算所述检测电路的电压偏差率:

$$[0011] \quad \sigma_{V_+} = \frac{|V_+ - \frac{1}{2}V|}{0.5V} = \left| \frac{2R_J + R_2}{2R_a + 2R_J + R_2} \right|$$

[0012] 其中, $\sigma_{V_+}$ 表示所述检测电路的电压偏差率, $V_+$ 表示所述第一对地电压, $V$ 表示所述直流系统的母线电压, $R_2$ 表示所述第二桥电阻, $R_J$ 表示所述检测电阻, $R_a$ 表示所述直流系统的正母线绝缘对地电阻。

[0013] 根据本发明的一个实施例,通过下列公式计算所述检测电路的检测灵敏度:

$$[0014] \quad K = \frac{dV_+}{dR_a} = \frac{V(2R_J + R_2)}{(2R_a + 2R_J + R_2)^2}$$

[0015] 其中, $K$ 表示所述检测电路的检测灵敏度。

[0016] 根据本发明的一个实施例,根据所述第一对地电压、所述第二对地电压和所述检测电路元件参数得到所述直流系统的正母线绝缘对地电阻和负母线绝缘对地电阻,包括以下步骤:根据戴维宁定理得到所述直流系统的正母线绝缘对地电阻和负母线绝缘对地电阻的并联值公式;将所述第一对地电压、所述第二对地电压和所述检测电路元件参数代入所述并联值公式得到所述直流系统的正母线绝缘对地电阻和负母线绝缘对地电阻。

[0017] 根据本发明的一个实施例,所述直流系统的正母线绝缘对地电阻和负母线绝缘对地电阻的并联值公式为:

$$[0018] \quad R_a || R_b = \frac{(R_2 - (R_1 || R_2))R_J \cdot V}{(V_+^2 - V_+^2) ((R_1 || R_2) + R_2)} - (R_1 || R_2) || R_2 - R_J$$

[0019] 其中,所述 $R_b$ 表示所述直流系统的负母线绝缘对地电阻。

[0020] 为达到上述目的,本发明第二方面实施例提出了一种直流系统绝缘对地电阻的检测系统,包括:建模模块,所述建模模块用于构建直流系统绝缘对地电阻的检测电路,其中,所述检测电路包括第一桥臂单元、第二桥臂单元、切换单元和检测单元,所述第一桥臂单元和所述第二桥臂单元分别对应与所述直流系统正母线和负母线相连,所述切换单元分别与所述第一桥臂单元和所述第二桥臂单元相连,用以控制所述第一桥臂单元和所述第二桥臂单元的通断状态,所述检测单元分别与所述第一桥臂单元和所述第二桥臂单元相连,用以检测所述第一桥臂单元导通时的第一对地电压和所述第二桥臂单元导通时的第二对地电压;参数模块,所述参数模块用于确定所述检测电路的元件参数;检测模块,所述检测模块用于通过所述检测电路获取所述第一对地电压和所述第二对地电压;计算模块,所述计算模块用于根据所述第一对地电压、所述第二对地电压和所述检测电路元件参数得到所述直流系统的正母线绝缘对地电阻和负母线绝缘对地电阻。

[0021] 根据本发明实施例提出的直流系统绝缘对地电阻的检测系统,通过构建直流系统绝缘对地电阻的检测电路,并确定检测电路的元件参数,然后通过检测电路获取第一对地电压和第二对地电压,最后根据第一对地电压、第二对地电压和检测电路元件参数得到直

流系统的正母线绝缘对地电阻和负母线绝缘对地电阻,由此,能够准确检测直流系统正负母线绝缘对地电阻同时等值下降的情况,并具有较高的检测灵敏度,从而能够保证直流系统的安全性。

### 附图说明

- [0022] 图1为本发明实施例的直流系统绝缘对地电阻的检测方法的流程图;  
[0023] 图2为本发明一个实施例的检测电路的电路图;  
[0024] 图3为本发明一个实施例的检测电路的电压偏差率曲线图;  
[0025] 图4为本发明一个实施例的检测电路的检测灵敏度曲线图;  
[0026] 图5为本发明实施例的直流系统绝缘对地电阻的检测系统。

### 具体实施方式

[0027] 下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0028] 图1为本发明实施例的直流系统绝缘对地电阻的检测方法的流程图。

[0029] 如图1所示,本发明实施例的直流系统绝缘对地电阻的检测方法,包括以下步骤:

[0030] S1,构建直流系统绝缘对地电阻的检测电路,其中,检测电路包括第一桥臂单元、第二桥臂单元、切换单元和检测单元,第一桥臂单元和第二桥臂单元分别对应与直流系统正母线和负母线相连,切换单元分别与第一桥臂单元和第二桥臂单元相连,用以控制第一桥臂单元和第二桥臂单元的通断状态,检测单元分别与第一桥臂单元和第二桥臂单元相连,用以检测第一桥臂单元导通时的第一对地电压和第二桥臂单元导通时的第二对地电压。

[0031] 在本发明的一个实施例中,如图2所示,第一桥臂单元可包括第一桥电阻 $R_1$ 和第二桥电阻 $R_2$ ,第二桥臂单元可包括第三桥电阻 $R_3$ 和第四桥电阻 $R_4$ ,检测单元可包括检测电阻 $R_j$ 和电压传感器U,切换单元可包括切换开关S。其中,第三桥电阻 $R_3$ 和第一桥电阻 $R_1$ 阻值相同,第四桥电阻 $R_4$ 和第二桥电阻 $R_2$ 阻值相同。

[0032] 更具体地,如图2所示,第一桥电阻 $R_1$ 的一端与直流系统的正母线L相连,第一桥电阻 $R_1$ 的另一端与切换开关S的静触点1相连,第二桥电阻 $R_2$ 的一端与直流系统的正母线L相连,第二桥电阻 $R_2$ 的另一端与切换开关S的动触点相连;第三桥电阻 $R_3$ 的一端与直流系统的负母线N相连,第三桥电阻 $R_3$ 的另一端与切换开关S的静触点2相连,第四桥电阻 $R_4$ 的一端与直流系统的负母线N相连,第四桥电阻 $R_4$ 的另一端与切换开关S的动触点相连;检测电阻 $R_j$ 的一端与切换开关S的动触点相连,检测电阻 $R_j$ 的另一端接地;电压传感器U与检测电阻 $R_j$ 并联,以检测通过检测电阻 $R_j$ 的电压,即第一桥臂单元导通时的第一对地电压和第二桥臂单元导通时的第二对地电压。

[0033] S2,确定检测电路的元件参数。

[0034] 需要说明的是,检测电路的元件参数选择将影响直流系统中正母线L和负母线N对地电压的变化,具体而言,检测电路的元件参数越大,检测电路的检测灵敏度越高,同时检

测电路的电压偏差率(通过切换开关切换第一检测单元和第二检测单元的通断状态时产生)也越大,因此为保证检测电路的检测准确性,需要在保证检测电路的检测灵敏度较高的同时,使得检测电路的电压偏差率尽量减少。

[0035] 因此,上述步骤S2具体包括,计算检测电路的电压偏差率,并可计算检测电路的检测灵敏度,然后根据电压偏差率和检测灵敏度确定检测电路的元件参数。

[0036] 更具体地,如图2所示,当直流系统的正母线L单点接地,即切换开关S的动触点与静触点1相接时,此时直流系统的正母线对地电压,即第一对地电压与正母线绝缘对地电阻的关系如下式所示:

$$[0037] \quad V_+ = \frac{[(R_a + R_J) \parallel R_2] R_a \cdot V}{[(R_a + R_J) \parallel R_2 + R_2] (R_a + R_J)} = \frac{R_a \cdot V}{2R_a + 2R_J + R_2}$$

[0038] 其中, $V_+$ 表示直流系统的正母线对地电压,即第一对地电压, $V$ 表示直流系统的母线电压, $R_2$ 表示第二桥电阻, $R_J$ 表示检测电阻, $R_a$ 表示直流系统的正母线绝缘对地电阻。

[0039] 进一步地,可通过下列公式计算述检测电路的电压偏差率:

$$[0040] \quad \sigma_{V_+} = \frac{|V_+ - \frac{1}{2}V|}{0.5V} = \left| \frac{2R_J + R_2}{2R_a + 2R_J + R_2} \right|$$

[0041] 其中, $\sigma_{V_+}$ 表示检测电路的电压偏差率。

[0042] 更进一步地,可通过下列公式计算检测电路的检测灵敏度:

$$[0043] \quad K = \frac{dV_+}{dR_a} = \frac{V(2R_J + R_2)}{(2R_a + 2R_J + R_2)^2}$$

[0044] 其中, $K$ 表示检测电路的检测灵敏度。

[0045] 综上,可得到检测电路的电压偏差率与检测灵敏度的关系,然后可在保证检测电路的检测灵敏度较高的同时,使得检测电路的电压偏差率尽量减少的约束条件下,确定检测电路的元件参数,即第二桥电阻 $R_2$ 、第四桥电阻 $R_4$ 和检测电阻 $R_J$ 的阻值。由此,能够准确检测直流系统正负母线绝缘对地电阻同时等值下降的情况,并具有较高的检测灵敏度。

[0046] 举例而言,如图3所示,当直流系统的正母线接地,即第一检测单元导通时,随着 $R_a$ 的增加,电压偏差率逐渐降低,并且随着 $2R_J + R_2$ 取值的增加,电压偏差率逐渐增加,因此若需要减小电压偏差率,需要保证 $2R_J + R_2$ 取值尽量小;如图4所示,当直流系统的正母线接地,即第一检测单元导通时,随着 $R_a$ 的增加,检测灵敏度逐渐降低,并且随着 $2R_J + R_2$ 取值的增加,检测灵敏度逐渐增加,因此若需要提高检测灵敏度,需要保证 $2R_J + R_2$ 取值尽量大。由此,可结合图3和图4,确定检测电路的元件参数,即第二桥电阻 $R_2$ 、第四桥电阻 $R_4$ 和检测电阻 $R_J$ 的阻值。

[0047] S3,通过检测电路获取第一对地电压和第二对地电压。

[0048] 具体地,当切换开关S的动触点与静触点1相连时,可通过电压传感器U获取通过检测电阻的电压,即第一对地电压,当切换开关S的动触点与静触点2相连时,可通过电压传感器U获取通过检测电阻的电压,即第二对地电压,由此,可测量获取第一对地电压和第二对地电压。

[0049] S4,根据第一对地电压、第二对地电压和检测电路元件参数得到直流系统的正母线绝缘对地电阻和负母线绝缘对地电阻。

[0050] 具体地,根据戴维宁定理得到直流系统的正母线绝缘对地电阻和负母线绝缘对地电阻的并联值公式,并可将第一对地电压、第二对地电压和检测电路元件参数代入并联值

公式得到直流系统的正母线绝缘对地电阻和负母线绝缘对地电阻。

[0051] 更具体地,当切换开关S的动触点与静触点1相连时,可根据戴维宁定理对通过检测电阻的电压,即第一对地电压采用下列公式表达:

$$[0052] \quad V_J^1 = \frac{\left( \frac{R_2}{(R_1 + R_2) + R_2} - \frac{R_b}{R_a + R_b} \right) R_J}{(R_1 || R_2) || R_2 + R_a || R_b + R_J} \cdot V$$

[0053] 其中,  $V_J^1$  表示第一对地电压。

[0054] 当切换开关S的动触点与静触点2相连时,可根据戴维宁定理对通过检测电阻的电压,即第二对地电压采用下列公式表达

$$[0055] \quad V_J^2 = \frac{\left( \frac{R_1 || R_2}{(R_1 || R_2) + R_2} - \frac{R_b}{R_a + R_b} \right) R_J}{(R_1 || R_2) || R_2 + R_a || R_b + R_J} \cdot V$$

[0056] 其中,  $V_J^2$  表示第二对地电压,  $R_a || R_b$  表示直流系统的正母线绝缘对地电阻和负母线绝缘对地电阻的并联值。

[0057] 进一步地,通过上述公式可得到直流系统的正母线绝缘对地电阻和负母线绝缘对地电阻的并联值公式为:

$$[0058] \quad R_a || R_b = \frac{(R_2 - (R_1 || R_2)) R_J \cdot V}{(V_J^1 - V_J^2) ((R_1 || R_2) + R_2)} - (R_1 || R_2) || R_2 - R_J$$

[0059] 其中,  $R_b$  表示直流系统的负母线绝缘对地电阻。

[0060] 进一步地,可将上述步骤S3得到的第一对地电压  $V_J^1$  和第二对地电压  $V_J^2$ , 以及上述步骤S2确定的元件参数,即第二桥电阻  $R_2$  和检测电阻  $R_J$ , 代入上述直流系统的正母线绝缘对地电阻和负母线绝缘对地电阻的并联值公式中,以求得直流系统的正母线绝缘对地电阻  $R_a$  和负母线绝缘对地电阻  $R_b$ 。

[0061] 根据本发明实施例提出的直流系统绝缘对地电阻的检测方法,通过构建直流系统绝缘对地电阻的检测电路,并确定检测电路的元件参数,然后通过检测电路获取第一对地电压和第二对地电压,最后根据第一对地电压、第二对地电压和检测电路元件参数得到直流系统的正母线绝缘对地电阻和负母线绝缘对地电阻,由此,能够准确检测直流系统正负母线绝缘对地电阻同时等值下降的情况,并具有较高的检测灵敏度,从而能够保证直流系统的安全性。

[0062] 对应上述实施例,本发明还提出了一种直流系统绝缘对地电阻的检测系统。

[0063] 如图5所示,本发明实施例的直流系统绝缘对地电阻的检测系统,包括建模模块10、参数模块20、检测模块30和计算模块40。其中,建模模块10用于构建直流系统绝缘对地电阻的检测电路,其中,检测电路包括第一桥臂单元、第二桥臂单元、切换单元和检测单元,第一桥臂单元和第二桥臂单元分别对应与直流系统正母线和负母线相连,切换单元分别与第一桥臂单元和第二桥臂单元相连,用以控制第一桥臂单元和第二桥臂单元的通断状态,检测单元分别与第一桥臂单元和第二桥臂单元相连,用以检测第一桥臂单元导通时的第一对地电压和第二桥臂单元导通时的第二对地电压;参数模块20用于确定检测电路的元件参数;检测模块30用于通过检测电路获取第一对地电压和第二对地电压;计算模块40用于根据第一对地电压、第二对地电压和检测电路元件参数得到直流系统的正母线绝缘对地电阻和负母线绝缘对地电阻。

[0064] 在本发明的一个实施例中,如图2所示,第一桥臂单元可包括第一桥电阻 $R_1$ 和第二桥电阻 $R_2$ ,第二桥臂单元可包括第三桥电阻 $R_3$ 和第四桥电阻 $R_4$ ,检测单元可包括检测电阻 $R_J$ 和电压传感器 $U$ ,切换单元可包括切换开关 $S$ 。其中,第三桥电阻 $R_3$ 和第一桥电阻 $R_1$ 阻值相同,第四桥电阻 $R_4$ 和第二桥电阻 $R_2$ 阻值相同。

[0065] 更具体地,如图2所示,第一桥电阻 $R_1$ 的一端与直流系统的正母线 $L$ 相连,第一桥电阻 $R_1$ 的另一端与切换开关 $S$ 的静触点1相连,第二桥电阻 $R_2$ 的一端与直流系统的正母线 $L$ 相连,第二桥电阻 $R_2$ 的另一端与切换开关 $S$ 的动触点相连;第三桥电阻 $R_3$ 的一端与直流系统的负母线 $N$ 相连,第三桥电阻 $R_3$ 的另一端与切换开关 $S$ 的静触点2相连,第四桥电阻 $R_4$ 的一端与直流系统的负母线 $N$ 相连,第四桥电阻 $R_4$ 的另一端与切换开关 $S$ 的动触点相连;检测电阻 $R_J$ 的一端与切换开关 $S$ 的动触点相连,检测电阻 $R_J$ 的另一端接地;电压传感器 $U$ 与检测电阻 $R_J$ 并联,以检测通过检测电阻 $R_J$ 的电压,即第一桥臂单元导通时的第一对地电压和第二桥臂单元导通时的第二对地电压。

[0066] 需要说明的是,检测电路的元件参数选择将影响直流系统中正母线 $L$ 和负母线 $N$ 对地电压的变化,具体而言,检测电路的元件参数越大,检测电路的检测灵敏度越高,同时检测电路的电压偏差率(通过切换开关切换第一检测单元和第二检测单元的通断状态时产生)也越大,因此为保证检测电路的检测准确性,需要在保证检测电路的检测灵敏度较高的同时,使得检测电路的电压偏差率尽量减少。

[0067] 因此,参数模块20可具体用于计算检测电路的电压偏差率,并可计算检测电路的检测灵敏度,然后根据电压偏差率和检测灵敏度确定检测电路的元件参数。

[0068] 更具体地,如图2所示,当直流系统的正母线 $L$ 单点接地,即切换开关 $S$ 的动触点与静触点1相接时,此时直流系统的正母线对地电压,即第一对地电压与正母线绝缘对地电阻的关系如下式所示:

$$[0069] \quad V_+ = \frac{[(R_a + R_J) \parallel R_2] R_a \cdot V}{[(R_a + R_J) \parallel R_2 + R_2] (R_a + R_J)} = \frac{R_a \cdot V}{2R_a + 2R_J + R_2}$$

[0070] 其中, $V_+$ 表示直流系统的正母线对地电压,即第一对地电压, $V$ 表示直流系统的母线电压, $R_2$ 表示第二桥电阻, $R_J$ 表示检测电阻, $R_a$ 表示直流系统的正母线绝缘对地电阻。

[0071] 进一步地,可通过下列公式计算述检测电路的电压偏差率:

$$[0072] \quad \sigma_{V_+} = \frac{\left| V_+ - \frac{1}{2}V \right|}{0.5V} = \left| \frac{2R_J + R_2}{2R_a + 2R_J + R_2} \right|$$

[0073] 其中, $\sigma_{V_+}$ 表示检测电路的电压偏差率。

[0074] 更进一步地,可通过下列公式计算检测电路的检测灵敏度:

$$[0075] \quad K = \frac{dV_+}{dR_a} = \frac{V(2R_J + R_2)}{(2R_a + 2R_J + R_2)^2}$$

[0076] 其中, $K$ 表示检测电路的检测灵敏度。

[0077] 综上,可得到检测电路的电压偏差率与检测灵敏度的关系,然后可在保证检测电路的检测灵敏度较高的同时,使得检测电路的电压偏差率尽量减少的约束条件下,确定检测电路的元件参数,即第二桥电阻 $R_2$ 、第四桥电阻 $R_4$ 和检测电阻 $R_J$ 的阻值。由此,能够准确检测直流系统正负母线绝缘对地电阻同时等值下降的情况,并具有较高的检测灵敏度。

[0078] 举例而言,如图3所示,当直流系统的正母线接地,即第一检测单元导通时,随着 $R_a$

的增加,电压偏差率逐渐降低,并且随着 $2R_J+R_2$ 取值的增加,电压偏差率逐渐增加,因此若需要减小电压偏差率,需要保证 $2R_J+R_2$ 取值尽量小;如图4所示,当直流系统的正母线接地,即第一检测单元导通时,随着 $R_a$ 的增加,检测灵敏度逐渐降低,并且随着 $2R_J+R_2$ 取值的增加,检测灵敏度逐渐增加,因此若需要提高检测灵敏度,需要保证 $2R_J+R_2$ 取值尽量大。由此,可结合图3和图4,确定检测电路的元件参数,即第二桥电阻 $R_2$ 、第四桥电阻 $R_4$ 和检测电阻 $R_J$ 的阻值。

[0079] 在本发明的一个实施例中,检测模块30可具体用于,当切换开关S的动触点与静触点1相连时,可通过电压传感器U获取通过检测电阻的电压,即第一对地电压,当切换开关S的动触点与静触点2相连时,可通过电压传感器U获取通过检测电阻的电压,即第二对地电压,由此,可测量获取第一对地电压和第二对地电压。

[0080] 在本发明的一个实施例中,计算模块40可具体用于,根据戴维宁定理得到直流系统的正母线绝缘对地电阻和负母线绝缘对地电阻的并联值公式,并可将第一对地电压、第二对地电压和检测电路元件参数代入并联值公式得到直流系统的正母线绝缘对地电阻和负母线绝缘对地电阻。

[0081] 更具体地,当切换开关S的动触点与静触点1相连时,可根据戴维宁定理对通过检测电阻的电压,即第一对地电压采用下列公式表达:

$$[0082] \quad V_J^1 = \frac{\left( \frac{R_2}{(R_1+R_2)+R_2} - \frac{R_b}{R_a+R_b} \right) R_J}{(R_1||R_2)||R_2+R_a||R_b+R_J} \cdot V$$

[0083] 其中, $V_J^1$ 表示第一对地电压。

[0084] 当切换开关S的动触点与静触点2相连时,可根据戴维宁定理对通过检测电阻的电压,即第二对地电压采用下列公式表达

$$[0085] \quad V_J^2 = \frac{\left( \frac{R_1||R_2}{(R_1||R_2)+R_2} - \frac{R_b}{R_a+R_b} \right) R_J}{(R_1||R_2)||R_2+R_a||R_b+R_J} \cdot V$$

[0086] 其中, $V_J^1$ 表示第二对地电压, $R_a||R_b$ 表示直流系统的正母线绝缘对地电阻和负母线绝缘对地电阻的并联值。

[0087] 进一步地,通过上述公式可得到直流系统的正母线绝缘对地电阻和负母线绝缘对地电阻的并联值公式为:

$$[0088] \quad R_a||R_b = \frac{(R_2 - (R_1||R_2)) R_J \cdot V}{(V_J^1 - V_J^2) ((R_1||R_2) + R_2)} - (R_1||R_2)||R_2 - R_J$$

[0089] 其中, $R_b$ 表示直流系统的负母线绝缘对地电阻。

[0090] 进一步地,可将上述检测模块30得到的第一对地电压 $V_J^1$ 和第二对地电压 $V_J^2$ ,以及上述参数模块20确定的元件参数,即第二桥电阻 $R_2$ 和检测电阻 $R_J$ ,代入上述直流系统的正母线绝缘对地电阻和负母线绝缘对地电阻的并联值公式中,以求得直流系统的正母线绝缘对地电阻 $R_a$ 和负母线绝缘对地电阻 $R_b$ 。

[0091] 根据本发明实施例提出的直流系统绝缘对地电阻的检测系统,通过构建直流系统绝缘对地电阻的检测电路,并确定检测电路的元件参数,然后通过检测电路获取第一对地电压和第二对地电压,最后根据第一对地电压、第二对地电压和检测电路元件参数得到直流系统的正母线绝缘对地电阻和负母线绝缘对地电阻,由此,能够准确检测直流系统正负母线绝缘对地电阻同时等值下降的情况,并具有较高的检测灵敏度,从而能够保证直流系统的安全性。

[0092] 在本发明的描述中,术语“第一”、“第二”仅用于描述目的,而不能理解为指示或暗示相对重要性或者隐含指明所指示的技术特征的数量。由此,限定有“第一”、“第二”的特征可以明示或者隐含地包括一个或者更多个该特征。“多个”的含义是两个或两个以上,除非另有明确具体的限定。

[0093] 在本发明中,除非另有明确的规定和限定,术语“安装”、“相连”、“连接”、“固定”等术语应做广义理解,例如,可以是固定连接,也可以是可拆卸连接,或成一体;可以是机械连接,也可以是电连接;可以是直接相连,也可以通过中间媒介间接相连,可以是两个元件内部的连通或两个元件的相互作用关系。对于本领域的普通技术人员而言,可以根据具体情况理解上述术语在本发明中的具体含义。

[0094] 在本发明中,除非另有明确的规定和限定,第一特征在第二特征“上”或“下”可以是第一和第二特征直接接触,或第一和第二特征通过中间媒介间接接触。而且,第一特征在第二特征“之上”、“上方”和“上面”可是第一特征在第二特征正上方或斜上方,或仅仅表示第一特征水平高度高于第二特征。第一特征在第二特征“之下”、“下方”和“下面”可以是第一特征在第二特征正下方或斜下方,或仅仅表示第一特征水平高度小于第二特征。

[0095] 在本说明书的描述中,参考术语“一个实施例”、“一些实施例”、“示例”、“具体示例”、或“一些示例”等的描述意指结合该实施例或示例描述的具体特征、结构、材料或者特点包含于本发明的至少一个实施例或示例中。在本说明书中,对上述术语的示意性表述不必针对相同的实施例或示例。而且,描述的具体特征、结构、材料或者特点可以在任一个或多个实施例或示例中以合适的方式结合。此外,在不相互矛盾的情况下,本领域的技术人员可以将本说明书中描述的不同实施例或示例以及不同实施例或示例的特征进行结合和组合。

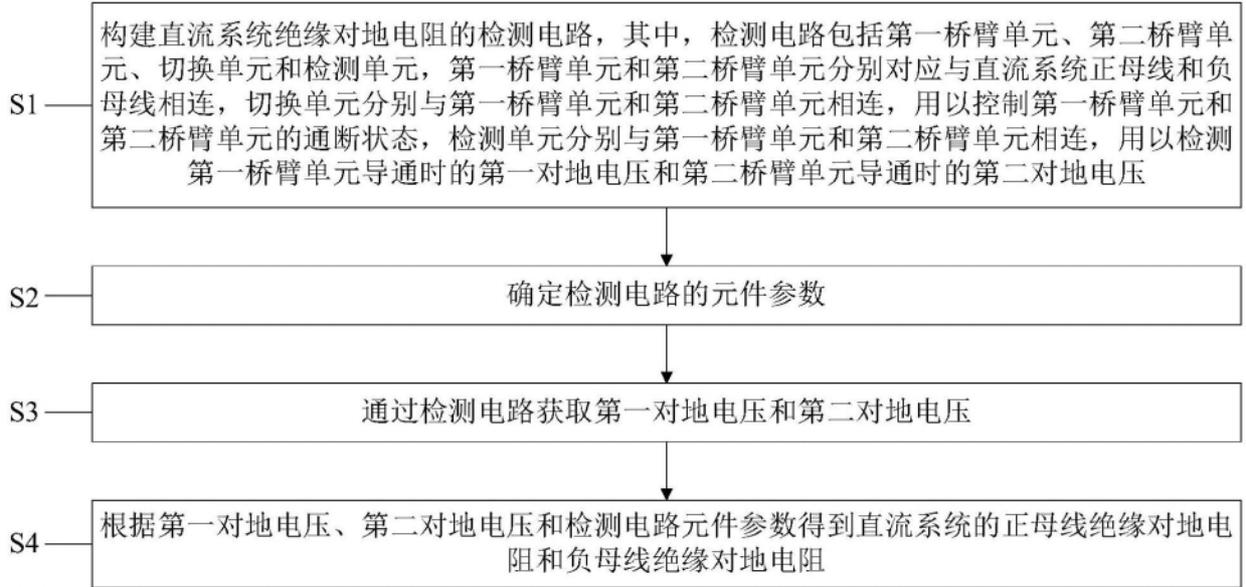


图1

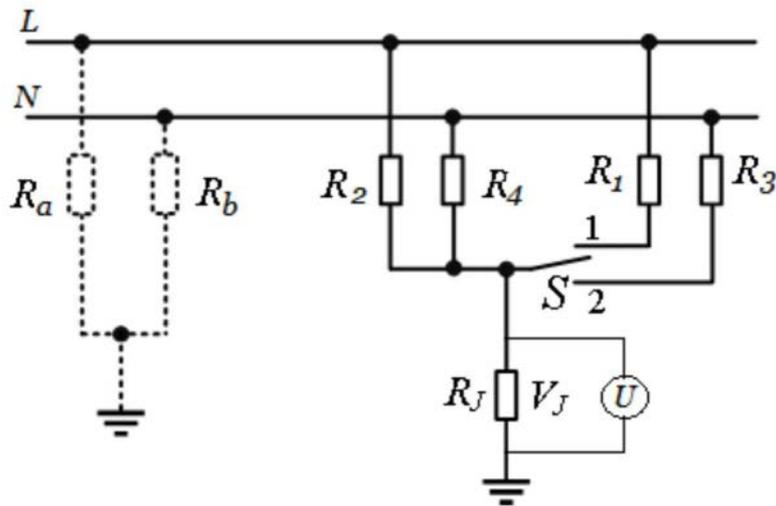


图2

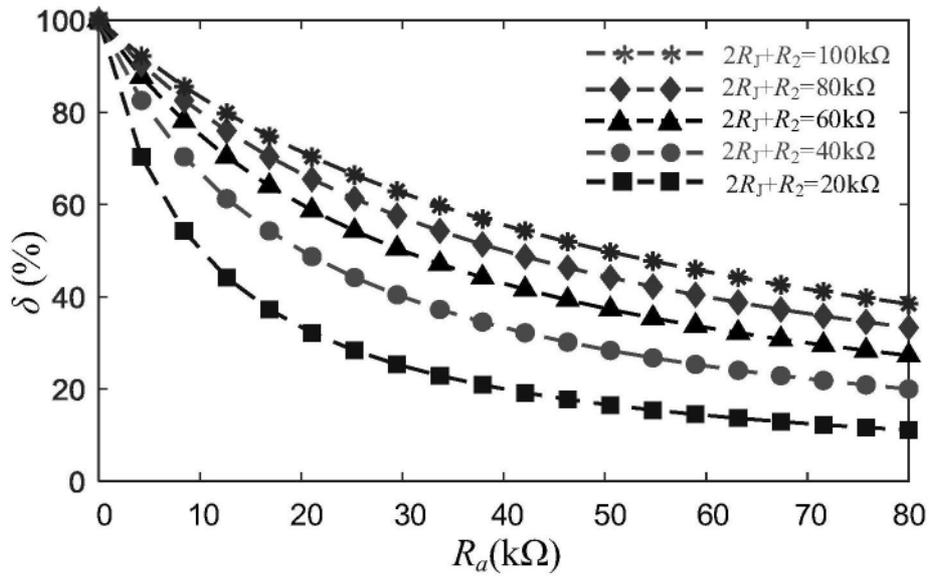


图3

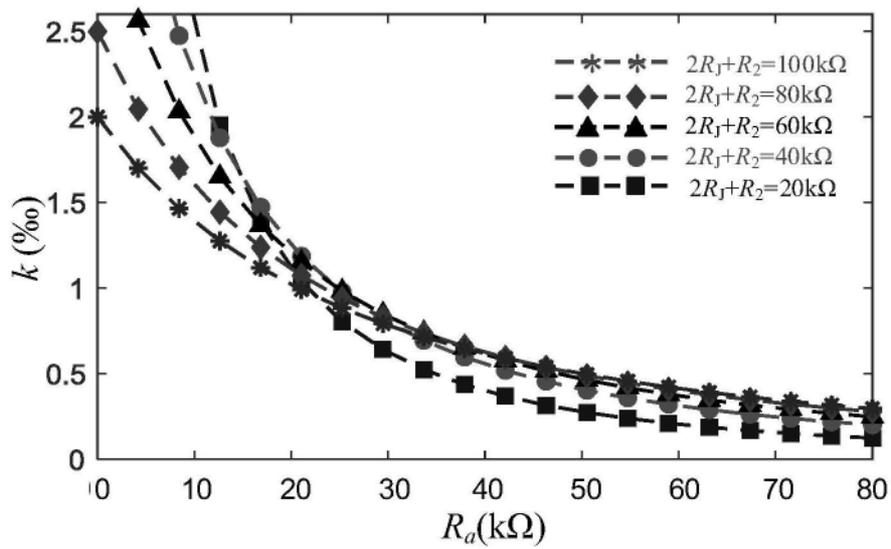


图4



图5