



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 107979110 B

(45)授权公告日 2019.08.27

(21)申请号 201711034599.0

(22)申请日 2017.10.30

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 107979110 A

(43)申请公布日 2018.05.01

(73)专利权人 南方电网科学研究院有限责任公司

地址 510663 广东省广州市萝岗区科学城科翔路11号J1栋3、4、5楼及J3栋3楼

(72)发明人 陈怡静 刘涛 黄伟煌 李明
李岩 李婧靓

(74)专利代理机构 北京中博世达专利商标代理有限公司 11274

代理人 申健

(51)Int.Cl.

H02J 3/36(2006.01)

(56)对比文件

CN 107147087 A,2017.09.08,说明书第2-24段,附图1-2.

CN 105119252 A,2015.12.02,全文.

WO 2016184496 A1,2016.11.24,全文.

CN 105048426 A,2015.11.11,全文.

CN 103022988 A,2013.04.03,全文.

黄义隆 等.基于顺控逻辑的楚穗直流MRTB多次分合闸分析与对策.《高压电器》.2014,第50卷(第5期),

厉天威 等.高压直流工程直流转换开关分析与仿真.《南方电网技术》.2014,第8卷(第4期),

审查员 曾丽娟

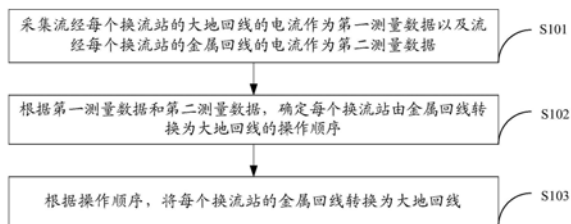
权利要求书4页 说明书11页 附图3页

(54)发明名称

金属回线转大地回线的控制方法、装置及输电系统

(57)摘要

本发明的实施例提供了一种金属回线转大地回线的控制方法、装置及输电系统,涉及电力电子装置控制技术领域,解决了多端直流系统随着换流站的端数以及输电线路的增加,如何安全有效地使得多端直流系统在金属回线转大地回线的问题。该方法包括,采集流经每个换流站的大地回线的电流作为第一测量数据以及流经每个换流站的金属回线的电流作为第二测量数据;根据第一测量数据和第二测量数据,确定每个换流站由金属回线转换为大地回线的操作顺序;根据操作顺序,将每个换流站的金属回线转换为大地回线。本发明实施例用于金属回线转大地回线的控制。



1. 一种金属回线转大地回线的控制方法,应用于多端直流系统,所述多端直流系统包括三个以上换流站,其特征在于,包括:

采集流经每个所述换流站的大地回线的电流作为第一测量数据以及流经每个所述换流站的金属回线的电流作为第二测量数据;根据所述第一测量数据和所述第二测量数据计算每个所述换流站的金属回线转换为大地回线同时存在时,流经所述换流站的大地回线以及金属回线的电流;根据所述换流站的大地回线的电流和所述换流站的金属回线的电流,确定每个所述换流站由金属回线转换为大地回线的操作顺序;

根据所述操作顺序,将每个所述换流站的金属回线转换为大地回线。

2. 根据权利要求1所述的金属回线转大地回线的控制方法,其特征在于,所述根据所述第一测量数据和所述第二测量数据,确定每个所述换流站由金属回线转换为大地回线的操作顺序包括:

根据所述第一测量数据和所述第二测量数据计算每个换流站的金属回线转换为大地回线同时存在时,流经所述换流站的大地回线以及金属回线的电流;

根据所述换流站的大地回线的电流和所述换流站的金属回线的电流,确定每个所述换流站由金属回线转换为大地回线的操作顺序。

3. 根据权利要求1所述的金属回线转大地回线的控制方法,其特征在于,所述多端直流输电系统包括整流站、第一逆变站和第二逆变站;

所述第一测量数据包括大地回线的实际电流;所述第二测量数据包括金属回线的实际电流;

当所述第一测量数据和所述第二测量数据满足下列不等式组时,

$$\frac{RL1IS2_M - R1IS3_M}{R1 + R2 + RL1} \leq \overline{I2};$$

$$\frac{(R1 + R2)IS2_M + R1IS3_M}{R1 + R2 + RL1} \leq \overline{I2};$$

$$\frac{(RL1 + RL2)IS3_M + RL1IS2_M}{R1 + R3 + RL1 + RL2} \leq \overline{I3};$$

$$\frac{(R1 + R3)IS3_M - RL1IS2_M}{R1 + R3 + RL1 + RL2} \leq \overline{I3};$$

所述操作顺序包括:所述整流站、所述第一逆变站和所述第二逆变站的顺序;其中,R1表示所述整流站的接地极等效电阻,R2表示所述第一逆变站的接地极等效电阻,R3表示所述第二逆变站的接地极等效电阻,RL1表示所述整流站与所述第一逆变站之间的线路等效电阻,RL2表示所述第一逆变站与所述第二逆变站之间的线路等效电阻, $\overline{I2}$ 表示第一逆变站的额定直流电流, $\overline{I3}$ 表示第二逆变站的额定直流电流,IS2_M表示第一逆变站的金属回线的实际电流;IS3_M表示第二逆变站的金属回线的实际电流。

4. 根据权利要求1所述的金属回线转大地回线的控制方法,其特征在于,所述多端直流输电系统包括整流站、第一逆变站和第二逆变站;

所述第一测量数据包括大地回线的实际电流;所述第二测量数据包括金属回线的实际电流;

所述根据所述第一测量数据和所述第二测量数据,确定所述整流站与每个所述逆变站由大地回线转换为金属回线的操作顺序包括:

当所述第一测量数据和所述第二测量数据满足下列不等式组时,

$$\frac{RL1IS2_M + RL1IS3_M}{R1 + R2 + RL1} \leq \overline{I2};$$

$$\frac{(R1 + R2)IS2_M - RL1IS3_M}{R1 + R2 + RL1} \leq \overline{I2};$$

$$\frac{(RL1 + RL2)IS3_M - R1IS2_M}{R1 + R3 + RL1 + RL2} \leq \overline{I3};$$

$$\frac{(R1 + R3)IS3_M + R1IS2_M}{R1 + R3 + RL1 + RL2} \leq \overline{I3};$$

所述操作顺序包括:所述整流站、所述第一逆变站和所述第二逆变站的顺序;其中,R1表示所述整流站的接地极等效电阻,R2表示所述第一逆变站的接地极等效电阻,R3表示所述第二逆变站的接地极等效电阻,RL1表示所述整流站与所述第一逆变站之间的线路等效电阻,RL2表示所述第一逆变站与所述第二逆变站之间的线路等效电阻, $\overline{I2}$ 表示第一逆变站的额定直流电流, $\overline{I3}$ 表示第二逆变站的额定直流电流,IS2_M表示第一逆变站的金属回线的实际电流;IS3_M表示第二逆变站的金属回线的实际电流。

5. 一种金属回线转大地回线的控制装置,应用于多端直流系统,所述多端直流系统包括三个以上换流站,其特征在于,包括:

数据采集单元,用于采集流经每个所述换流站的大地回线的电流作为第一测量数据以及流经每个所述换流站的金属回线的电流作为第二测量数据;

数据处理单元,用于根据所述数据采集单元采集的所述第一测量数据和所述数据采集单元采集的所述第二测量数据,计算每个所述换流站的金属回线转换为大地回线同时存在时,流经所述换流站的大地回线以及金属回线的电流;根据所述换流站的大地回线的电流和所述换流站的金属回线的电流,确定每个所述换流站由金属回线转换为大地回线的操作顺序;

所述数据处理单元,还用于根据所述操作顺序,将每个所述换流站的金属回线转换为大地回线。

6. 根据权利要求5所述的金属回线转大地回线的控制装置,其特征在于,所述数据处理单元,还用于根据所述数据获取单元获取的所述第一测量数据和所述数据获取单元获取的所述第二测量数据计算每个换流站金属回线与大地回线同时存在时,流经所述换流站的大地回线以及金属回线的电流;

所述数据处理单元,还用于根据所述换流站的大地回线的电流和所述换流站的金属回线的电流,确定每个所述换流站由金属回线转换为大地回线的操作顺序。

7. 根据权利要求5所述的金属回线转大地回线的控制装置,其特征在于,所述多端直流输电系统包括整流站、第一逆变站和第二逆变站;

所述第一测量数据包括大地回线的实际电流;所述第二测量数据包括金属回线的实际电流;

所述数据处理单元,具体用于当所述数据获取单元获取的所述第一测量数据和所述数据获取单元获取的所述第二测量数据满足下列不等式组时,

$$\frac{RL1IS2_M - R1IS3_M}{R1 + R2 + RL1} \leq \overline{I2};$$

$$\frac{(R1 + R2)IS2_M + R1IS3_M}{R1 + R2 + RL1} \leq \overline{I2};$$

$$\frac{(RL1 + RL2)IS3_M + RL1IS2_M}{R1 + R3 + RL1 + RL2} \leq \overline{I3};$$

$$\frac{(R1 + R3)IS3_M - RL1IS2_M}{R1 + R3 + RL1 + RL2} \leq \overline{I3};$$

所述操作顺序包括:所述整流站、所述第一逆变站和所述第二逆变站的顺序;其中,R1表示所述整流站的接地极等效电阻,R2表示所述第一逆变站的接地极等效电阻,R3表示所述第二逆变站的接地极等效电阻,RL1表示所述整流站与所述第一逆变站之间的线路等效电阻,RL2表示所述第一逆变站与所述第二逆变站之间的线路等效电阻, $\overline{I2}$ 表示第一逆变站的额定直流电流, $\overline{I3}$ 表示第二逆变站的额定直流电流,IS2_M表示第一逆变站的金属回线的实际电流;IS3_M表示第二逆变站的金属回线的实际电流。

8. 根据权利要求5所述的金属回线转大地回线的控制装置,其特征在于,所述多端直流输电系统包括整流站、第一逆变站和第二逆变站;

所述第一测量数据包括大地回线的实际电流;所述第二测量数据包括金属回线的实际电流;

所述数据处理单元,具体用于当所述数据获取单元获取的所述第一测量数据和所述数据获取单元获取的所述第二测量数据满足下列不等式组时,

$$\frac{RL1IS2_M + RL1IS3_M}{R1 + R2 + RL1} \leq \overline{I2};$$

$$\frac{(R1 + R2)IS2_M - RL1IS3_M}{R1 + R2 + RL1} \leq \overline{I2};$$

$$\frac{(RL1 + RL2)IS3_M - R1IS2_M}{R1 + R3 + RL1 + RL2} \leq \overline{I3};$$

$$\frac{(R1 + R3)IS3_M + R1IS2_M}{R1 + R3 + RL1 + RL2} \leq \overline{I3};$$

所述操作顺序包括:所述整流站、所述第一逆变站和所述第二逆变站的顺序;其中,R1表示所述整流站的接地极等效电阻,R2表示所述第一逆变站的接地极等效电阻,R3表示所述第二逆变站的接地极等效电阻,RL1表示所述整流站与所述第一逆变站之间的线路等效电阻,RL2表示所述第一逆变站与所述第二逆变站之间的线路等效电阻, $\overline{I2}$ 表示第一逆变站的额定直流电流, $\overline{I3}$ 表示第二逆变站的额定直流电流,IS2_M表示第一逆变站的金属回线的实际电流;IS3_M表示第二逆变站的金属回线的实际电流。

9. 一种输电系统,其特征在于,包括如权利要求5-8任一项所述的金属回线转大地回线

的控制装置。

金属回线转大地回线的控制方法、装置及输电系统

技术领域

[0001] 本发明涉及电力电子装置控制技术领域,尤其涉及一种金属回线转大地回线的控制方法、装置及输电系统。

背景技术

[0002] 高压直流输电系统运行过程中,运行方式之间的相互转换是直流系统必备的功能。为了避免大地中持续流过过大的电流,当直流系统双极运行中的一极因某种原因需要退出运行时,另一极可以利用退出极的线路作为电流的回流路径从而由大地转换到金属回线运行方式。当退出极需要投入恢复运行时,运行极需要由金属回线转回到大地回线运行方式,最终恢复到双极大回线运行方式。大地和金属回线运行方式之间的转换通过大地回线转换开关(ground return transfer switch,GRTS)以及金属回线转换开关(metallic return transfer breaker,MRTB)的配合才能顺利完成。

[0003] 对于两端系统而言,金属回线向大地回线运行方式的转化已经是非常成熟,工程应用也已经很多。但是对于多端系统而言,由于加入的换流站以及输电线路数目的增加,使得两种运行方式的转换相对复杂许多。本发明将针对三端直流输电系统的特性,给出一种安全可靠的金属转向大地回线运行方式的方法。

发明内容

[0004] 本发明的实施例提供一种金属回线转大地回线的控制方法、装置及输电系统,解决了多端直流系统随着换流站的端数以及输电线路的增加,如何安全有效地使得多端直流系统在金属回线转大地回线的问题。

[0005] 为达到上述目的,本发明的实施例采用如下技术方案:

[0006] 第一方面、本发明的实施例提供一种金属回线转大地回线的控制方法,应用于多端直流系统,多端直流系统包括三个或三个以上换流站,包括:采集流经每个换流站的大地回线的电流作为第一测量数据以及流经每个换流站的金属回线的电流作为第二测量数据;根据第一测量数据和第二测量数据,确定每个换流站由金属回线转换为大地回线的操作顺序;根据操作顺序,将每个换流站的金属回线转换为大地回线。

[0007] 可选的,根据第一测量数据和第二测量数据,确定每个换流站由金属回线转换为大地回线的操作顺序包括:根据第一测量数据和第二测量数据计算每个换流站的金属回线转换为大地回线同时存在时,流经换流站的大地回线以及金属回线的电流;根据换流站的大地回线的电流和换流站的金属回线的电流,确定每个换流站由金属回线转换为大地回线的操作顺序。

[0008] 可选的,多端直流输电系统包括整流站、第一逆变站和第二逆变站;第一测量数据包括大地回线的实际电流;第二测量数据包括金属回线的实际电流;当第一测量数据和第二测量数据满足下列不等式组时,

$$[0009] \quad \frac{RL1IS2_M - R1IS3_M}{R1 + R2 + RL1} \leq \overline{I2};$$

$$[0010] \quad \frac{(R1 + R2)IS2_M + R1IS3_M}{R1 + R2 + RL1} \leq \overline{I2};$$

$$[0011] \quad \frac{(RL1 + RL2)IS3_M + RL1IS2_M}{R1 + R3 + RL1 + RL2} \leq \overline{I3};$$

$$[0012] \quad \frac{(R1 + R3)IS3_M - RL1IS2_M}{R1 + R3 + RL1 + RL2} \leq \overline{I3};$$

[0013] 操作顺序包括：整流站、第一逆变站和第二逆变站的顺序；其中，R1表示整流站的接地极等效电阻，R2表示第一逆变站的接地极等效电阻，R3表示第二逆变站的接地极等效电阻，RL1表示整流站与第一逆变站之间的线路等效电阻，RL2表示第一逆变站与第二逆变站之间的线路等效电阻， $\overline{I2}$ 表示第一逆变站的额定直流电流， $\overline{I3}$ 表示第二逆变站的额定直流电流。

[0014] 可选的，多端直流输电系统包括整流站、第一逆变站和第二逆变站；第一测量数据包括大地回线的实际电流；第二测量数据包括金属回线的实际电流；根据第一测量数据和第二测量数据，确定整流站与每个逆变站由大地回线转换为金属回线的操作顺序包括：当第一测量数据和第二测量数据满足下列不等式组时，

$$[0015] \quad \frac{RL1IS2_M + RL1IS3_M}{R1 + R2 + RL1} \leq \overline{I2};$$

$$[0016] \quad \frac{(R1 + R2)IS2_M - RL1IS3_M}{R1 + R2 + RL1} \leq \overline{I2};$$

$$[0017] \quad \frac{(RL1 + RL2)IS3_M - RL1IS2_M}{R1 + R3 + RL1 + RL2} \leq \overline{I3};$$

$$[0018] \quad \frac{(R1 + R3)IS3_M + RL1IS2_M}{R1 + R3 + RL1 + RL2} \leq \overline{I3};$$

[0019] 操作顺序包括：整流站、第一逆变站和第二逆变站的顺序；其中，R1表示整流站的接地极等效电阻，R2表示第一逆变站的接地极等效电阻，R3表示第二逆变站的接地极等效电阻，RL1表示整流站与第一逆变站之间的线路等效电阻，RL2表示第一逆变站与第二逆变站之间的线路等效电阻， $\overline{I2}$ 表示第一逆变站的额定直流电流， $\overline{I3}$ 表示第二逆变站的额定直流电流。

[0020] 第二方面、本发明的实施例提供一种金属回线转大地回线的控制装置，应用于多端直流系统，多端直流系统包括三个及三个以上换流站，包括：数据采集单元，用于采集流经每个换流站的大地回线的电流作为第一测量数据以及流经每个换流站的金属回线的电流作为第二测量数据；数据处理单元，用于根据数据采集单元采集的第一测量数据和数据采集单元采集的第二测量数据，确定每个换流站由金属回线转换为大地回线的操作顺序；数据处理单元，还用于根据操作顺序，将每个换流站的金属回线转换为大地回线。

[0021] 可选的,数据处理单元,还用于根据数据获取单元获取的第一测量数据和数据获取单元获取的第二测量数据计算每个换流站的金属回线与大地回线同时存在时,流经换流站的大地回线以及金属回线的电流;数据处理单元,还用于根据换流站的大地回线的电流和换流站的金属回线的电流,确定每个换流站由金属回线转换为大地回线的操作顺序。

[0022] 可选的,多端直流输电系统包括整流站、第一逆变站和第二逆变站;第一测量数据包括大地回线的实际电流;第二测量数据包括金属回线的实际电流;数据处理单元,具体用于当数据获取单元获取的第一测量数据和数据获取单元获取的第二测量数据满足下列不等式组时,

$$[0023] \quad \frac{RL1IS2_M - R1IS3_M}{R1 + R2 + RL1} \leq \overline{I2};$$

$$[0024] \quad \frac{(R1 + R2)IS2_M + R1IS3_M}{R1 + R2 + RL1} \leq \overline{I2};$$

$$[0025] \quad \frac{(RL1 + RL2)IS3_M + RL1IS2_M}{R1 + R3 + RL1 + RL2} \leq \overline{I3};$$

$$[0026] \quad \frac{(R1 + R3)IS3_M - RL1IS2_M}{R1 + R3 + RL1 + RL2} \leq \overline{I3};$$

[0027] 操作顺序包括:整流站、第一逆变站和第二逆变站的顺序;其中,R1表示整流站的接地极等效电阻,R2表示第一逆变站的接地极等效电阻,R3表示第二逆变站的接地极等效电阻,RL1表示整流站与第一逆变站之间的线路等效电阻,RL2表示第一逆变站与第二逆变站之间的线路等效电阻, $\overline{I2}$ 表示第一逆变站的额定直流电流, $\overline{I3}$ 表示第二逆变站的额定直流电流。

[0028] 可选的,多端直流输电系统包括整流站、第一逆变站和第二逆变站;第一测量数据包括大地回线的实际电流;第二测量数据包括金属回线的实际电流;数据处理单元,具体用于当数据获取单元获取的第一测量数据和数据获取单元获取的第二测量数据满足下列不等式组时,

$$[0029] \quad \frac{RL1IS2_M + RL1IS3_M}{R1 + R2 + RL1} \leq \overline{I2};$$

$$[0030] \quad \frac{(R1 + R2)IS2_M - RL1IS3_M}{R1 + R2 + RL1} \leq \overline{I2};$$

$$[0031] \quad \frac{(RL1 + RL2)IS3_M - R1IS2_M}{R1 + R3 + RL1 + RL2} \leq \overline{I3};$$

$$[0032] \quad \frac{(R1 + R3)IS3_M + R1IS2_M}{R1 + R3 + RL1 + RL2} \leq \overline{I3};$$

[0033] 操作顺序包括:整流站、第一逆变站和第二逆变站的顺序;其中,R1表示整流站的接地极等效电阻,R2表示第一逆变站的接地极等效电阻,R3表示第二逆变站的接地极等效电阻,RL1表示整流站与第一逆变站之间的线路等效电阻,RL2表示第一逆变站与第二逆变

站之间的线路等效电阻, $\overline{I_2}$ 表示第一逆变站的额定直流电流, $\overline{I_3}$ 表示第二逆变站的额定直流电流。

[0034] 第三方面、本发明的实施例提供一种输电系统,包括如第二方面提供的任一项金属回线转大地回线的控制装置。

[0035] 本发明实施例提供的金属回线转大地回线的控制方法、装置及输电系统,通过采集流经每个换流站的大地回线的电流作为第一测量数据以及流经每个换流站的金属回线的电流作为第二测量数据;从而根据第一测量数据和第二测量数据确定每个换流站由金属回线转换为大地回线的操作顺序;根据操作顺序,将每个换流站的金属回线转换为大地回线;保证了多端直流系统安全有效的进行金属回线转大地回线,从而解决了多端直流系统随着换流站的端数以及输电线路的增加,如何安全有效地使得多端直流系统在金属回线转大地回线的问题。

附图说明

[0036] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0037] 图1为本发明的实施例提供一种金属回线转大地回线的控制方法的流程示意图;

[0038] 图2为本发明的实施例提供一种金属回线转大地回线的控制方法的可应用的电路结构;

[0039] 图3-a-图3-d为本发明的实施例提供一种金属回线转大地回线的控制方法在实际应用中的测试数据图表;

[0040] 图4为本发明的实施例提供一种金属回线转大地回线的控制装置的结构示意图。

[0041] 附图标记:

[0042] 金属回线转大地回线的控制装置-10;

[0043] 数据采集单元-101;

[0044] 数据处理单元-102。

具体实施方式

[0045] 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。

[0046] 实施例一、本发明的实施例提供一种金属回线转大地回线的控制方法,应用于多端直流系统,多端直流系统包括三个或三个以上的换流站,如图1所示包括:

[0047] S101、采集流经每个换流站的大地回线的电流作为第一测量数据以及流经每个换流站的金属回线的电流作为第二测量数据。

[0048] 需要说明的是,多端直流输电系统初始运行状态为单极金属回线运行;多个是指大于或者等于三个;如图1所示整流站、第一逆变站和第二逆变站均包含第一极和第二极,这里第一极和第二极为两个对地处于相反极性的极;示例性的,假设整流站和逆变站的第二极因故障或者检修退出运行时,此时三个换流站的第一极的线路与大地连接形成大地回路;此时,第二极已退出运行,但是第二极的线路还存在,可以利用第二极的线路作为回线,从而形成金属回路;在实际应用中如图2所示需要采集以及测量两种运行方式(大地回线和金属回线)转化所需要的数据,包括整流站的金属回线的实际电流 $IS1_M$,第一逆变站的金属回线的实际电流 $IS2_M$,第二逆变站的金属回线的实际电流 $IS3_M$ 以及整流站的大地回线的电流 $IS1_G$,第一逆变站的大地回线的电流 $IS2_G$,第二逆变站的大地回线的电流 $IS3_G$ 。

[0049] S102、根据第一测量数据和第二测量数据,确定每个换流站由金属回线转换为大地回线的操作顺序。

[0050] 需要说明的是,在实际的应用,由于不能一瞬间切换金属回线转换为大地回线,因此需要对当前多端直流系统进行分析,从而确定最后如何进行金属回线转换为大地回线;

[0051] 步骤1、先对整流站S1和第一逆变站S2完成大地金属回线转换,再完成第二逆变站S3的大地金属回线转换(大地金属回线转换是指金属回线转换为大地回线)。

[0052] 步骤2、先对S1和S3完成大地金属回线转换,再完成S2的大地金属回线转换。

[0053] 其中,步骤1中的操作顺序,存在以下几种大地金属回线共存的中间转换状态;具体的,步骤1大地金属回线转换全过程如下:

[0054] 初始状态:S1金属回线;S2金属回线;S3金属回线。

[0055] 中间状态1:S1大地金属回线共存;S2大地金属回线共存;S3金属回线。

[0056] 中间状态2:S1大地金属回线共存;S2大地回线;S3金属回线。

[0057] 中间状态3:S1大地金属回线共存;S2大地回线;S3大地金属回线共存。

[0058] 最终状态:S1、S2、S3大地回线运行。

[0059] 其中,步骤2中的操作顺序,存在以下几种大地金属回线共存的中间转换状态;具体的,步骤2大地金属回线转换全过程如下:

[0060] 初始状态:S1金属回线;S2金属回线;S3金属回线。

[0061] 中间状态1:S1大地金属回线共存;S2金属回线;S3大地金属回线共存。

[0062] 中间状态2:S1大地金属回线共存;S2金属回线;S3大地回线。

[0063] 中间状态3:S1大地金属回2线共存;S2大地金属回线共存;S3大地回线。

[0064] 最终状态:S1、S2、S3大地回线运行。

[0065] S103、根据操作顺序,将每个换流站的金属回线转换为大地回线。

[0066] 可选的,根据第一测量数据和第二测量数据,确定每个换流站由金属回线转换为大地回线的操作顺序包括:根据第一测量数据和第二测量数据计算每个换流站的金属回线转换为大地回线同时存在时,流经换流站的大地回线以及金属回线的电流;根据换流站的大地回线的电流和换流站的金属回线的电流,确定每个换流站由金属回线转换为大地回线的操作顺序。

[0067] 可选的,多端直流输电系统包括整流站、第一逆变站和第二逆变站;第一测量数据包括大地回线的实际电流;第二测量数据包括金属回线的实际电流;当第一测量数据和第二测量数据满足下列不等式组时,

$$[0068] \quad \frac{RL1IS2_M - R1IS3_M}{R1 + R2 + RL1} \leq \overline{I2};$$

$$[0069] \quad \frac{(R1 + R2)IS2_M + R1IS3_M}{R1 + R2 + RL1} \leq \overline{I2};$$

$$[0070] \quad \frac{(RL1 + RL2)IS3_M + RL1IS2_M}{R1 + R3 + RL1 + RL2} \leq \overline{I3};$$

$$[0071] \quad \frac{(R1 + R3)IS3_M - RL1IS2_M}{R1 + R3 + RL1 + RL2} \leq \overline{I3};$$

[0072] 操作顺序包括：整流站、第一逆变站和第二逆变站的顺序；其中，R1表示整流站的接地极等效电阻，R2表示第一逆变站的接地极等效电阻，R3表示第二逆变站的接地极等效电阻，RL1表示整流站与第一逆变站之间的线路等效电阻，RL2表示第一逆变站与第二逆变站之间的线路等效电阻， $\overline{I2}$ 表示第一逆变站的额定直流电流， $\overline{I3}$ 表示第二逆变站的额定直流电流。

[0073] 需要说明的是，在大地金属互转的情况下，需根据转换前第二测量数据预先估算各中间状态下大地与金属回线共存情况下的大地回线与金属回线电流如下：

[0074] 对于中间状态S1大地金属回线共存，S2金属回线，S3大地金属回线共存的情况下，经过S3的大地回线以及金属回线电流分别为：

$$[0075] \quad I_{g_S3} = \frac{(RL1 + RL2)IS3_M + RL1IS2_M}{R1 + R3 + RL1 + RL2} \quad (1)$$

$$[0076] \quad I_{m_S3} = \frac{(R1 + R3)IS3_M - RL1IS2_M}{R1 + R3 + RL1 + RL2} \quad (2)$$

[0077] 对于中间状态S1大地金属回线共存，S2大地金属回线共存，S3大地回线的情况下，经过S2的大地回线以及金属回线电流分别为：

$$[0078] \quad I_{g_S2} = \frac{RL1IS2_M - R1IS3_M}{R1 + R2 + RL1} \quad (3)$$

$$[0079] \quad I_{m_S2} = \frac{(R1 + R2)IS2_M + R1IS3_M}{R1 + R2 + RL1} \quad (4)$$

[0080] 在进行大地向金属回线运行方式转换时，为了确保接地极的安全可靠，经过接地极以及金属回线的电流应该小于该站的额定电流即：

[0081] 在进行步骤1的操作时候，应满足

$$[0082] \quad I_{g_S2} = \frac{RL1IS2_M - R1IS3_M}{R1 + R2 + RL1} \leq \overline{I2} \quad (5)$$

$$[0083] \quad I_{m_S2} = \frac{(R1 + R2)IS2_M + R1IS3_M}{R1 + R2 + RL1} \leq \overline{I2} \quad (6)$$

$$[0084] \quad I_{g_S3} = \frac{(RL1 + RL2)IS3_M + RL1IS2_M}{R1 + R3 + RL1 + RL2} \leq \overline{I3} \quad (7)$$

$$[0085] \quad I_{m_S3} = \frac{(R1+R3)IS3_M - RL1IS2_M}{R1+R3+RL1+RL2} \leq \overline{I3} \quad (8)$$

[0086] 由于主回路参数不可改变,因此为保证接地极以及金属回线的电流不超过各站的额定值 $\overline{I2}$, $\overline{I3}$ 。因此,

[0087] 在进行步骤1的操作时,在进行金属转大地回线操作前,流经S2的直流电流和S3的直流电流应满足不等式组(5)-(8)。

[0088] 通常情况下,接地极电阻小于金属回线电阻,即R1小于RL1、R1小于RL2,R2小于RL1、R2小于RL2,R3小于RL1、R3小于RL2。

[0089] 因此对于两个功率水平不一样的逆变站而言,当IS2_M>IS3_M时,建议按照步骤2的顺序操作,即先进行S3的金属大地转换,当S3完全转换为大地回线后再进行S2的金属大地转换过程,最后进行S1的金属大地转换。

[0090] 可选的,多端直流输电系统包括整流站、第一逆变站和第二逆变站;第一测量数据包括大地回线的实际电流;第二测量数据包括金属回线的实际电流;根据第一测量数据和第二测量数据,确定整流站与每个逆变站由大地回线转换为金属回线的操作顺序包括:当第一测量数据和第二测量数据满足下列不等式组时,

$$[0091] \quad \frac{RL1IS2_M + RL1IS3_M}{R1+R2+RL1} \leq \overline{I2};$$

$$[0092] \quad \frac{(R1+R2)IS2_M - RL1IS3_M}{R1+R2+RL1} \leq \overline{I2};$$

$$[0093] \quad \frac{(RL1+RL2)IS3_M - R1IS2_M}{R1+R3+RL1+RL2} \leq \overline{I3};$$

$$[0094] \quad \frac{(R1+R3)IS3_M + R1IS2_M}{R1+R3+RL1+RL2} \leq \overline{I3};$$

[0095] 操作顺序包括:整流站、第一逆变站和第二逆变站的顺序;其中,R1表示整流站的接地极等效电阻,R2表示第一逆变站的接地极等效电阻,R3表示第二逆变站的接地极等效电阻,RL1表示整流站与第一逆变站之间的线路等效电阻,RL2表示第一逆变站与第二逆变站之间的线路等效电阻, $\overline{I2}$ 表示第一逆变站的额定直流电流, $\overline{I3}$ 表示第二逆变站的额定直流电流。

[0096] 需要说明的是,在金属大地互转的情况下,需根据转换前第二测量数据预先估算各中间状态下大地与金属回线共存情况下的大地回线与金属回线电流如下:

[0097] 对于中间状态S1大地金属回线共存,S2大地回线,S3大地金属回线共存的情况下,经过S3的大地回线以及金属回线电流分别为:

$$[0098] \quad I_{g_S3} = \frac{(RL1+RL2)IS3_M - R1IS2_M}{R1+R3+RL1+RL2} \quad (9)$$

$$[0099] \quad I_{m_S3} = \frac{(R1+R2)IS3_M + R1IS2_M}{R1+R3+RL1+RL2} \quad (10)$$

[0100] 对于中间状态S1大地金属回线共存,S2大地金属回线共存,S3金属回线的情况下,

经过S2的大地回线以及金属回线电流分别为：

$$[0101] \quad I_{g_S2} = \frac{RL1IS2_M + RL1IS3_M}{R1 + R2 + RL1} \quad (11)$$

$$[0102] \quad I_{m_S2} = \frac{(R1 + R2)IS2_M - RL1IS3_M}{R1 + R2 + RL1} \quad (12)$$

[0103] 在进行大地向金属回线运行方式转换时,为了确保接地极的安全可靠,经过接地极以及金属回线的电流应该小于该站的额定电流即：

[0104] 在进行步骤2操作时候,应满足

$$[0105] \quad I_{g_S2} = \frac{RL1IS2_M + RL1IS3_M}{R1 + R2 + RL1} \leq \overline{I2} \quad (13)$$

$$[0106] \quad I_{m_S2} = \frac{(R1 + R2)IS2_M - RL1IS3_M}{R1 + R2 + RL1} \leq \overline{I2} \quad (14)$$

$$[0107] \quad I_{g_S3} = \frac{(RL1 + RL2)IS3_M - R1IS2_M}{R1 + R3 + RL1 + RL2} \leq \overline{I3} \quad (15)$$

$$[0108] \quad I_{m_S3} = \frac{(R1 + R2)IS3_M + R1IS2_M}{R1 + R3 + RL1 + RL2} \leq \overline{I3} \quad (16)$$

[0109] 由于主回路参数不可改变,因此为保证接地极以及金属回线的电流不超过各站的额定值 $\overline{I2}$, $\overline{I3}$ 。因此,

[0110] 在进行步骤2的操作时,在进行金属转大地回线操作前,流经S2的直流电流和S3的直流电流应满足不等式组(13)-(16)。

[0111] 通常情况下,接地极电阻小于金属回线电阻,即R1小于RL1、R1小于RL2,R2小于RL1、R2小于RL2,R3小于RL1、R3小于RL2。

[0112] 对于两个功率水平不一样的逆变站而言,当IS2_M<IS3_M时,建议按照步骤1的顺序操作,即先进行S2的金属大地转换,当S2完全转换为大地回线后再进行S3的金属大地转换过程,进行S3的金属大地转换,当S3完全转换为大地回线后再进行S1的金属大地转换过程,直到S1完全转换为大地回线。

[0113] 具体的,为了清晰展示本发明的实施例提出的金属回线转大地回线的控制方法,结合附图1对在实际的应用中本发明进行进一步详细说明,具体的实现方式如下:

[0114] 下面以图1所示的三端直流输电系统接线简图为例,简要介绍极1由大地回线转为金属回线运行的全过程。图1仅显示涉及大地金属回线转换的开关、隔离开关、断路器等。图1中包含3个换流站,整流站S1为基于LCC的换流站,第一逆变站S2和第二逆变站S3为基于MMC的换流站。输电的额定直流电压水平为800kV,三个换流站的额定功率分别为8000MW,3000MW,5000MW。两个逆变站分别配置大地回线转换开关GRTS以及金属回线转换开关MRTB。S1与S2的之间的等效线路电阻为3.75Ω,S2和S3之间的等效线路电阻为3.63Ω。三站接地极线路及接地极等效电阻为0.4Ω,2.4Ω,1.7Ω。三站运行时,整流站S1和逆变站S2为定电流控制,逆变站S3为定电压控制。

[0115] 系统的初始状态为,三站极1运行在单极金属状态,极2处于退出运行状态。三站极1的旁路母线开关NBS_S1_P1,NBS_S2_P1,NBS_S3_P1处于断开状态,三站极2的旁路母线开

关NBS_S1_P2,NBS_S2_P2,NBS_S3_P2处于闭合状态。两个逆变站的MRTB处于断开状态,GRTS处于闭合状态。

[0116] 由于系统初始状态为极1在额定运行状态,则有在进行金属转大地回线操作前,流经S2的直流电流和S3的直流电流应满足不等式组(13)-(16),根据上述技术方案可知,转换过程按照步骤2的操作顺序执行时操作顺序执行时,具体操作如下:

[0117] 1、系统初始状态为三站单极金属回线运行,当系统接收到需进行金属回线运行命令后, $t=3s$ 闭合MRTB_S3,S3处于金属大地回路共存的状态;

[0118] 2、 $t=5s$, I_{m_S3} 及 I_{g_S3} 稳定后,断开NBS_S3_P2、GRTS_S3、S3完成金属回线向大地回线的转换过程;

[0119] 3、 $t=6s$ 闭合MRTB_S2,S2处于金属大地回路共存的状态;

[0120] 4、 $t=8s$ 待 I_{m_S2} 及 I_{g_S2} 稳定后,断开NBS_S2_P2、GRTS_S2、S2完成金属回线向大地回线的转换过程。

[0121] 整个过程三站大地金属回线上的电流仿真结果如图3-a所示(图3-a给出了额定状态下时,按照步骤2操作时三站金属回线与大地回线上的电流)。

[0122] 若按照步骤1的操作顺序执行时,具体操作如下:

[0123] 1、系统初始状态为三站单极金属回线运行,当系统接收到需进行大地回线运行命令后, $t=3s$ 闭合MRTB_S2,S2处于金属大地回路共存的状态;

[0124] 2、 $t=5s$,待 I_{m_S2} 及 I_{g_S2} 稳定后,断开NBS_S2_P2、GRTS_S2、S2完成金属回线向大地回线的转换过程;

[0125] 3、 $t=6s$ 闭合MRTB_S3,S3处于金属大地回路共存的状态;

[0126] 4、 $t=8s$ 待 I_{m_S3} 及 I_{g_S3} 稳定后,断开NBS_S3_P2、GRTS_S3、S3完成金属回线向大地回线的转换过程。

[0127] 整个过程三站大地金属回线上的电流仿真结果如图3-b所示(图3-b给出了额定状态下时,按照步骤1操作时三站金属回线与大地回线上的电流)。根据图3-c(图3-c给出了额定状态下时,按照步骤1操作时,S2站金属大地回线共存时,大地回线上的电流)以及图3-d(图3-d给出了额定状态下时,按照步骤2操作时,S2站金属大地回线共存时,大地回线上的电流)的仿真结果显示,S2在大地金属回线共存的情况下,接地极会承受1.5倍其额定电流的入地电流,会对接地极的安全可靠运行造成极大的影响;因此,选择步骤2的操作顺序更为合理。

[0128] 本发明实施例提供的金属回线转大地回线的控制方法通过采集流经每个换流站的大地回线的电流作为第一测量数据以及流经每个换流站的金属回线的电流作为第二测量数据;从而根据第一测量数据和第二测量数据确定每个换流站由大地回线转换为金属回线的操作顺序;根据操作顺序,将每个换流站的金属回线转大地回线;保证了多端直流系统安全有效的进行金属回线转大地回线,从而解决了多端直流系统随着换流站的端数以及输电线路的增加,如何安全有效地使得多端直流系统在金属回线转大地回线的问题。

[0129] 实施例二、本发明的实施例提供一种金属回线转大地回线的控制装置,应用于多端直流系统,多端直流系统包括三个及三个以上的换流站,如图4所示包括:

[0130] 数据采集单元101,用于采集流经每个换流站的大地回线的电流作为第一测量数据以及流经每个换流站的金属回线的电流作为第二测量数据。

[0131] 数据处理单元102,用于根据数据采集单元101采集的第一测量数据和数据采集单元101采集的第二测量数据,确定每个换流站由金属回线转换为大地回线的操作顺序。

[0132] 数据处理单元102,还用于根据操作顺序,将每个换流站的金属回线转换为大地回线。

[0133] 可选的,数据处理单元102,还用于根据数据获取单元101获取的第一测量数据和数据获取单元101获取的第二测量数据计算每个换流站的金属回线与大地回线同时存在时,流经换流站的大地回线以及金属回线的电流;数据处理单元102,还用于根据换流站的大地回线的电流和换流站的金属回线的电流,确定每个换流站由金属回线转换为大地回线的操作顺序。

[0134] 可选的,多端直流输电系统包括整流站、第一逆变站和第二逆变站;第一测量数据包括大地回线的实际电流;第二测量数据包括金属回线的实际电流;数据处理单元102,具体用于当数据获取单元101获取的第一测量数据和数据获取单元101获取的第二测量数据满足下列不等式组时,

$$[0135] \quad \frac{RL1IS2_M - R1IS3_M}{R1 + R2 + RL1} \leq \overline{I2};$$

$$[0136] \quad \frac{(R1 + R2)IS2_M + R1IS3_M}{R1 + R2 + RL1} \leq \overline{I2};$$

$$[0137] \quad \frac{(RL1 + RL2)IS3_M + RL1IS2_M}{R1 + R3 + RL1 + RL2} \leq \overline{I3};$$

$$[0138] \quad \frac{(R1 + R3)IS3_M - RL1IS2_M}{R1 + R3 + RL1 + RL2} \leq \overline{I3};$$

[0139] 操作顺序包括:整流站、第一逆变站和第二逆变站的顺序;其中,R1表示整流站的接地极等效电阻,R2表示第一逆变站的接地极等效电阻,R3表示第二逆变站的接地极等效电阻,RL1表示整流站与第一逆变站之间的线路等效电阻,RL2表示第一逆变站与第二逆变站之间的线路等效电阻, $\overline{I2}$ 表示第一逆变站的额定直流电流, $\overline{I3}$ 表示第二逆变站的额定直流电流。

[0140] 可选的,多端直流输电系统包括整流站、第一逆变站和第二逆变站;第一测量数据包括大地回线的实际电流;第二测量数据包括金属回线的实际电流;数据处理单元102,具体用于当数据获取单元101获取的第一测量数据和数据获取单元101获取的第二测量数据满足下列不等式组时,

$$[0141] \quad \frac{RL1IS2_M + RL1IS3_M}{R1 + R2 + RL1} \leq \overline{I2};$$

$$[0142] \quad \frac{(R1 + R2)IS2_M - RL1IS3_M}{R1 + R2 + RL1} \leq \overline{I2};$$

$$[0143] \quad \frac{(RL1 + RL2)IS3_M - R1IS2_M}{R1 + R3 + RL1 + RL2} \leq \overline{I3};$$

$$[0144] \quad \frac{(R1+R3)IS3_M + R1IS2_M}{R1+R3+RL1+RL2} \leq \overline{I3};$$

[0145] 操作顺序包括：整流站、第一逆变站和第二逆变站的顺序；其中，R1表示整流站的接地极等效电阻，R2表示第一逆变站的接地极等效电阻，R3表示第二逆变站的接地极等效电阻，RL1表示整流站与第一逆变站之间的线路等效电阻，RL2表示第一逆变站与第二逆变站之间的线路等效电阻， $\overline{I2}$ 表示第一逆变站的额定直流电流， $\overline{I3}$ 表示第二逆变站的额定直流电流。

[0146] 本发明实施例提供的金属回线转大地回线的控制装置通过采集流经每个换流站的大地回线的电流作为第一测量数据以及流经每个换流站的金属回线的电流作为第二测量数据；从而根据第一测量数据和第二测量数据确定每个换流站由大地回线转换为金属回线的操作顺序；根据操作顺序，将每个换流站的金属回线转换为大地回线；保证了多端直流系统安全有效的进行金属回线转大地回线，从而解决了多端直流系统随着换流站的端数以及输电线路的增加，如何安全有效地使得多端直流系统在金属回线转大地回线的问题。

[0147] 实施例三、本发明的实施例提供一种输电系统，包括如第二方面提供的任一项金属回线转大地回线的控制装置。

[0148] 本发明实施例提供的输电系统，通过采集流经每个换流站的大地回线的电流作为第一测量数据以及流经每个换流站的金属回线的电流作为第二测量数据；从而根据第一测量数据和第二测量数据确定每个换流站由金属回线转换为大地回线的操作顺序；根据操作顺序，将每个换流站的金属回线转大地回线；保证了多端直流系统安全有效的进行金属回线转大地回线，从而解决了多端直流系统随着换流站的端数以及输电线路的增加，如何安全有效地使得多端直流系统在金属回线转大地回线的问题。

[0149] 以上所述，仅为本发明的具体实施方式，但本发明的保护范围并不局限于此，任何熟悉本技术领域的技术人员在本发明揭露的技术范围内，可轻易想到变化或替换，都应涵盖在本发明的保护范围之内。因此，本发明的保护范围应以所述权利要求的保护范围为准。

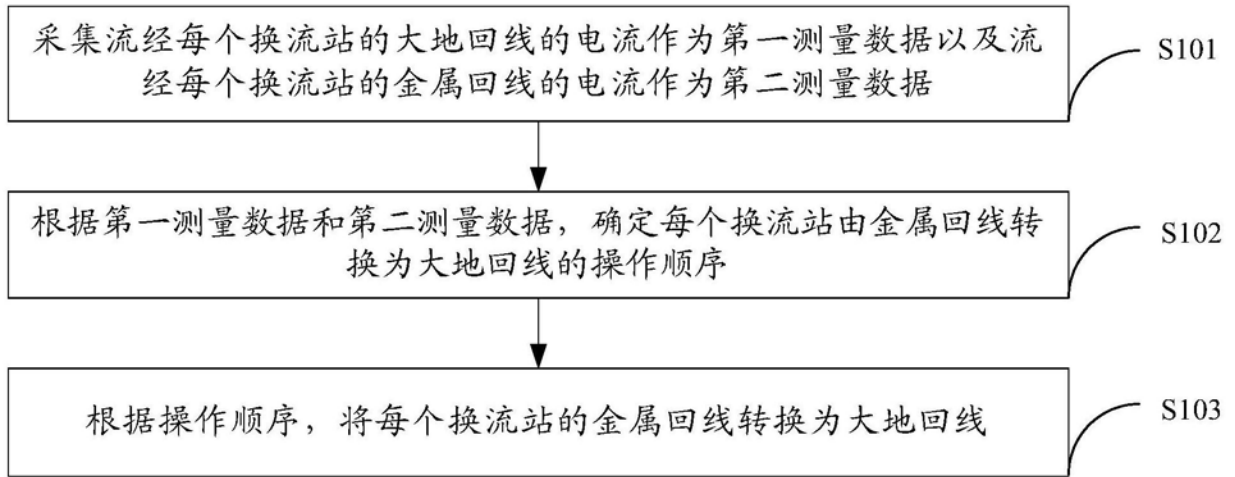


图1

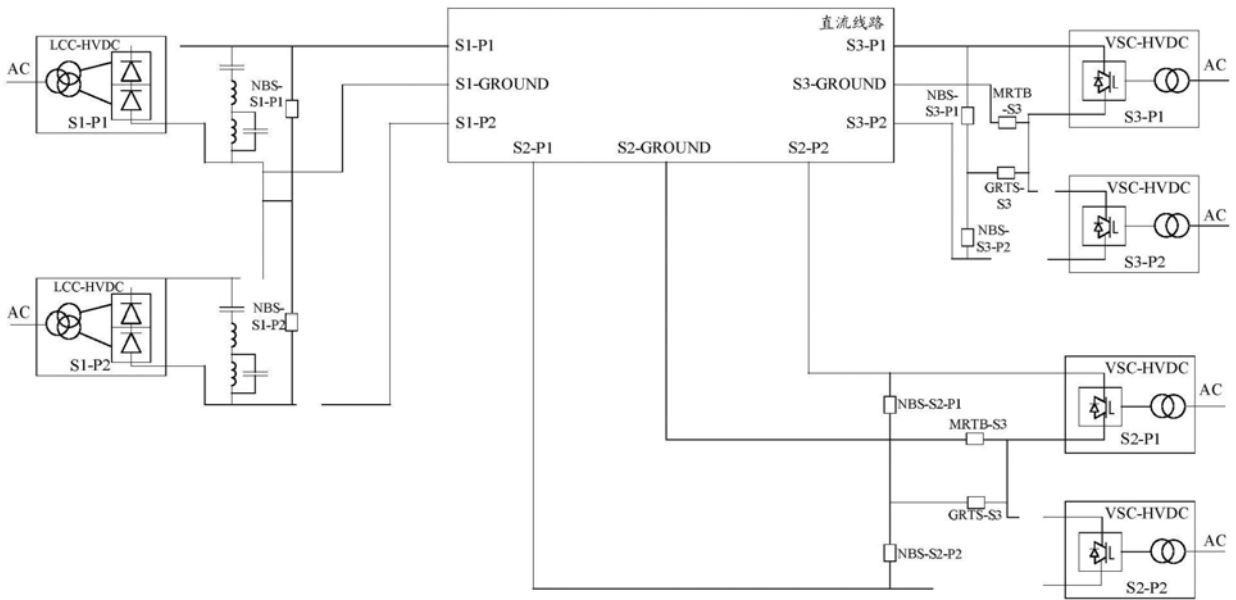


图2

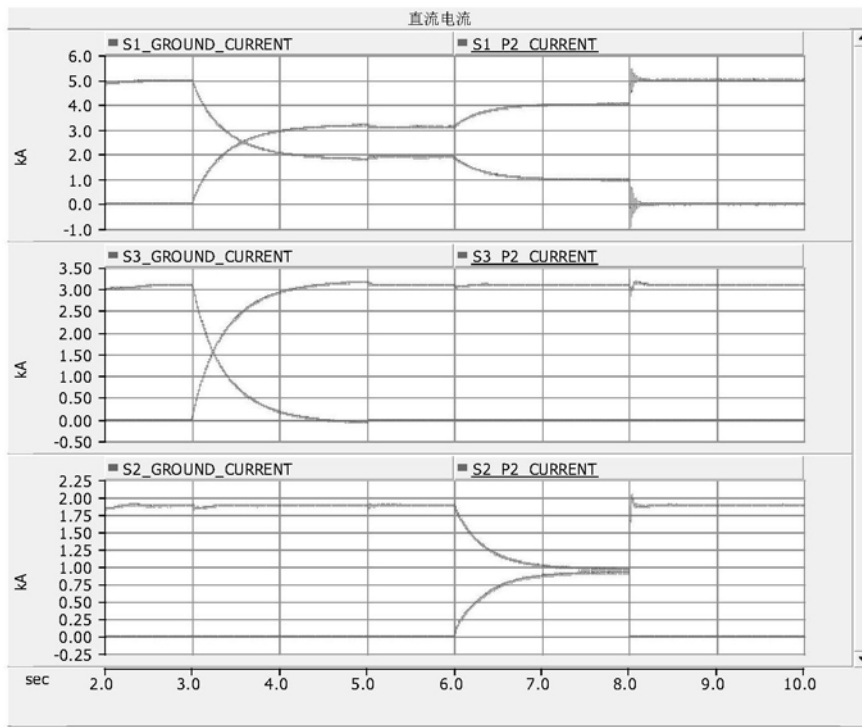


图3-a

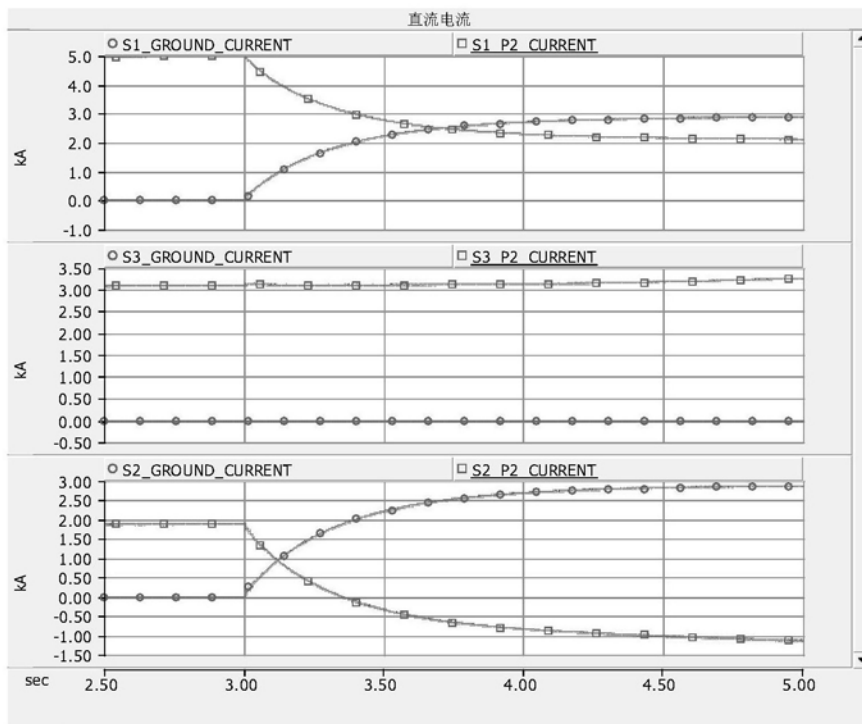


图3-b

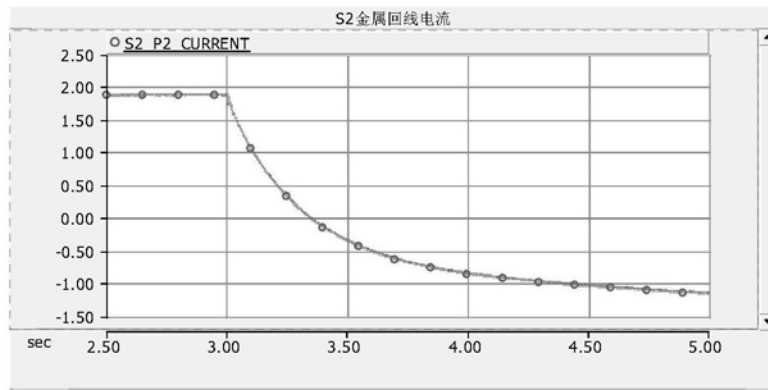


图3-c

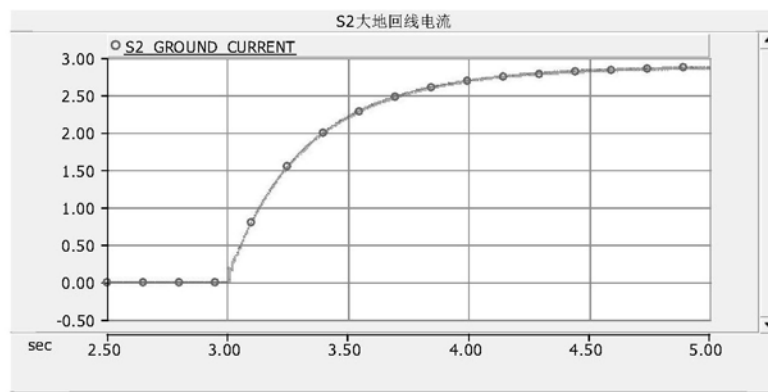


图3-d

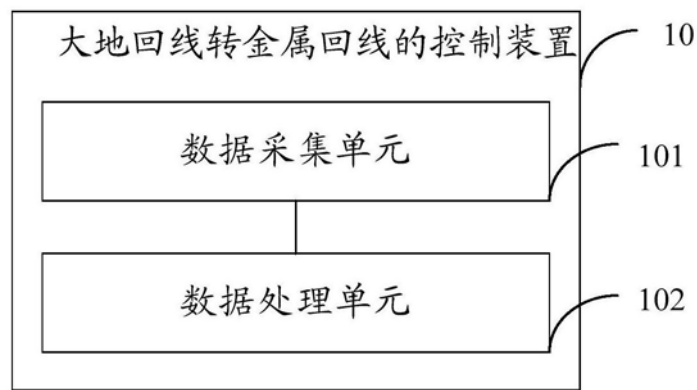


图4