



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105703336 A

(43) 申请公布日 2016.06.22

(21) 申请号 201510999677.5

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2015.12.28

H02H 7/26(2006.01)

(71) 申请人 国网辽宁省电力有限公司电力科学  
研究院

地址 110006 辽宁省沈阳市和平区四平街  
39-7号

申请人 国网智能电网研究院  
国家电网公司

(72) 发明人 周杨 贺之渊 张艳军 庞辉  
杨杰 李强 马巍巍 那广宇  
张钊 白雪

(74) 专利代理机构 北京安博达知识产权代理有  
限公司 11271

代理人 徐国文

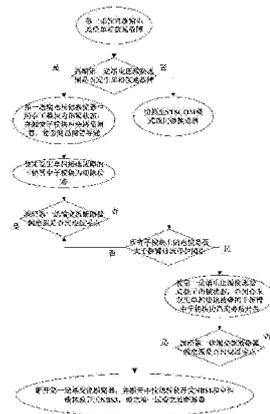
权利要求书5页 说明书10页 附图1页

(54) 发明名称

双极柔性直流输电系统站内单相接地故障控制保护方法

(57) 摘要

本发明提供一种双极柔性直流输电系统站内单相接地故障控制保护方法。发生站内单相接地故障的电压源换流器闭锁之后,将非单相接地故障相下桥臂子模块再次触发为切除状态,可以快速减小交流电流直流偏置,并且避免由非故障相交流电压引起的子模块过压问题,从而降低故障切除时间和暂态子模块过电压应力;闭合非单相接地故障相下桥臂子模块的高速旁路开关可以有效地解决交流电流直流偏置问题和子模块过压问题,从而确保交流断路器正常断开,最大限度的保护换流器。



1. 双极柔性直流输电系统站内单相接地故障控制保护方法,其特征在于:所述双极柔性直流输电系统包括第一柔性直流输电系统和第二柔性直流输电系统;第一柔性直流输电系统和第二柔性直流输电系统通过直流线路与金属回线相连,金属回线一端直接接地,另一端采用中心母线接地开关接地;

第一柔性直流输电系统包括第一送端交流断路器、第一送端换流变压器、第一送端电压源换流器、第一受端电压源换流器、第一受端换流变压器和第一受端交流断路器;

第二柔性直流输电系统包括第二送端交流断路器、第二送端换流变压器、第二送端电压源换流器、第二受端电压源换流器、第二受端换流变压器和第二受端交流断路器;

所述方法包括以下步骤:

步骤1:判断第一送端电压源换流器是否发生单相接地故障,若是则执行步骤2,并将第一受端电压源换流器切换至STATCOM运行模式或使第一受端电压源换流器处于闭锁状态;

步骤2:使第一送端电压源换流器中所有子模块为闭锁状态,并触发子模块中旁路晶闸管,使旁路晶闸管导通;

步骤3:使未发生单相接地故障的下桥臂中子模块为切除状态;

步骤4:判断流经第一送端交流断路器的电流是否出现过零点,若是则执行步骤8,否则执行步骤5;

步骤5:判断所有子模块上的电流是否大于桥臂过流保护阈值,若是则执行步骤6,否则返回步骤4;

步骤6:使第一送端电压源换流器一直处于闭锁状态,并闭合未发生单相接地故障的下桥臂中子模块的高速旁路开关,之后执行步骤7;

步骤7:再次判断流经第一送端交流断路器的电流是否出现过零点,若是则执行步骤8,否则返回步骤6;

步骤8:断开第一送端交流断路器,并断开中性线转换开关NBS1和中性线转换开关NBS3,锁定第一送端交流断路器。

2. 根据权利要求1所述的双极柔性直流输电系统站内单相接地故障控制保护方法,其特征在于:所述直流线路包括极1直流线路和极2直流线路;

送端交流系统通过第一送端交流断路器连接第一送端换流变压器的一次侧,第一送端换流变压器的二次侧连接第一送端电压源换流器,第一送端电压源换流器的正极通过极1直流线路与第一受端电压源换流器的正极连接,第一送端电压源换流器的负极通过中性线转换开关NBS1与金属回线连接,金属回线通过中性线转换开关NBS3与第一受端电压源换流器的负极连接,第一受端电压源换流器与第一受端换流变压器的二次侧连接,第一受端换流变压器的一次侧通过第一受端交流断路器与受端交流系统连接;

送端交流系统通过第二送端交流断路器连接第二送端换流变压器的一次侧,第二送端换流变压器的二次侧连接第二送端电压源换流器,第二送端电压源换流器的负极通过极2直流线路与第二受端电压源换流器的负极连接,第二送端电压源换流器的正极通过中性线转换开关NBS2与金属回线连接,金属回线通过中性线转换开关NBS4与第二受端电压源换流器的正极连接,第二受端电压源换流器与第二受端换流变压器的二次侧连接,第二受端换流变压器的一次侧通过第二受端交流断路器与受端交流系统连接;

所述第一送端换流变压器、第一受端换流变压器、第二送端换流变压器、第二受端换流

变压器均采用Y/ $\Delta$ 接法；

所述第一送端电压源换流器、第一受端电压源换流器、第二送端电压源换流器、第二受端电压源换流器均为模块化多电平电压源换流器，模块化多电平电压源换流器中子模块包括旁路晶闸管和高速旁路开关。

3. 双极柔性直流输电系统站内单相接地故障控制保护方法，其特征在于：所述双极柔性直流输电系统包括第一柔性直流输电系统和第二柔性直流输电系统；第一柔性直流输电系统和第二柔性直流输电系统通过直流线路与金属回线相连，金属回线一端直接接地，另一端采用中心母线接地开关接地；

第一柔性直流输电系统包括第一送端交流断路器、第一送端换流变压器、第一送端电压源换流器、第一受端电压源换流器、第一受端换流变压器和第一受端交流断路器；

第二柔性直流输电系统包括第二送端交流断路器、第二送端换流变压器、第二送端电压源换流器、第二受端电压源换流器、第二受端换流变压器和第二受端交流断路器；

所述方法包括以下步骤：

步骤1：判断第一受端电压源换流器是否发生单相接地故障，若是则执行步骤2，并将第一送端电压源换流器切换至STATCOM运行模式或使第一送端电压源换流器处于闭锁状态；

步骤2：使第一受端电压源换流器中所有子模块为闭锁状态，并触发子模块中旁路晶闸管，使旁路晶闸管导通；

步骤3：使未发生单相接地故障的下桥臂中子模块为切除状态；

步骤4：判断流经第一受端交流断路器的电流是否出现过零点，若是则执行步骤8，否则执行步骤5；

步骤5：判断所有子模块上的电流是否大于桥臂过流保护阈值，若是则执行步骤6，否则返回步骤4；

步骤6：使第一受端电压源换流器一直处于闭锁状态，并闭合未发生单相接地故障的下桥臂中子模块的高速旁路开关，之后执行步骤7；

步骤7：再次判断流经第一受端交流断路器的电流是否出现过零点，若是则执行步骤8，否则返回步骤6；

步骤8：断开第一受端交流断路器，并断开中性线转换开关NBS1和中性线转换开关NBS3，锁定第一受端交流断路器。

4. 根据权利要求3所述的双极柔性直流输电系统站内单相接地故障控制保护方法，其特征在于：所述直流线路包括极1直流线路和极2直流线路；

送端交流系统通过第一送端交流断路器连接第一送端换流变压器的一次侧，第一送端换流变压器的二次侧连接第一送端电压源换流器，第一送端电压源换流器的正极通过极1直流线路与第一受端电压源换流器的正极连接，第一送端电压源换流器的负极通过中性线转换开关NBS1与金属回线连接，金属回线通过中性线转换开关NBS3与第一受端电压源换流器的负极连接，第一受端电压源换流器与第一受端换流变压器的二次侧连接，第一受端换流变压器的一次侧通过第一受端交流断路器与受端交流系统连接；

送端交流系统通过第二送端交流断路器连接第二送端换流变压器的一次侧，第二送端换流变压器的二次侧连接第二送端电压源换流器，第二送端电压源换流器的负极通过极2直流线路与第二受端电压源换流器的负极连接，第二送端电压源换流器的正极通过中性线

转换开关NBS2与金属回线连接,金属回线通过中性线转换开关NBS4与第二受端电压源换流器的正极连接,第二受端电压源换流器与第二受端换流变压器的二次侧连接,第二受端换流变压器的一次侧通过第二受端交流断路器与受端交流系统连接;

所述第一送端换流变压器、第一受端换流变压器、第二送端换流变压器、第二受端换流变压器均采用Y/ $\Delta$ 接法;

所述第一送端电压源换流器、第一受端电压源换流器、第二送端电压源换流器、第二受端电压源换流器均为模块化多电平电压源换流器,模块化多电平电压源换流器中子模块包括旁路晶闸管和高速旁路开关。

5. 双极柔性直流输电系统站内单相接地故障控制保护方法,其特征在于:所述双极柔性直流输电系统包括第一柔性直流输电系统和第二柔性直流输电系统;第一柔性直流输电系统和第二柔性直流输电系统通过直流线路与金属回线相连,金属回线一端直接接地,另一端采用中心母线接地开关接地;

第一柔性直流输电系统包括第一送端交流断路器、第一送端换流变压器、第一送端电压源换流器、第一受端电压源换流器、第一受端换流变压器和第一受端交流断路器;

第二柔性直流输电系统包括第二送端交流断路器、第二送端换流变压器、第二送端电压源换流器、第二受端电压源换流器、第二受端换流变压器和第二受端交流断路器;

所述方法包括以下步骤:

步骤1:判断第二送端电压源换流器是否发生单相接地故障,若是则执行步骤2,并将第二受端电压源换流器切换至STATCOM运行模式或使第二受端电压源换流器处于闭锁状态;

步骤2:使第二送端电压源换流器中所有子模块为闭锁状态,并触发子模块中旁路晶闸管,使旁路晶闸管导通;

步骤3:使未发生单相接地故障的下桥臂中子模块为切除状态;

步骤4:判断流经第二送端交流断路器的电流是否出现过零点,若是则执行步骤8,否则执行步骤5;

步骤5:判断所有子模块上的电流是否大于桥臂过流保护阈值,若是则执行步骤6,否则返回步骤4;

步骤6:使第二送端电压源换流器一直处于闭锁状态,并闭合未发生单相接地故障的下桥臂中子模块的高速旁路开关,之后执行步骤7;

步骤7:再次判断流经第二送端交流断路器的电流是否出现过零点,若是则执行步骤8,否则返回步骤6;

步骤8:断开第二送端交流断路器,并断开中性线转换开关NBS2和中性线转换开关NBS4,锁定第二送端交流断路器。

6. 根据权利要求5所述的双极柔性直流输电系统站内单相接地故障控制保护方法,其特征在于:所述所述直流线路包括极1直流线路和极2直流线路;

送端交流系统通过第一送端交流断路器连接第一送端换流变压器的一次侧,第一送端换流变压器的二次侧连接第一送端电压源换流器,第一送端电压源换流器的正极通过极1直流线路与第一受端电压源换流器的正极连接,第一送端电压源换流器的负极通过中性线转换开关NBS1与金属回线连接,金属回线通过中性线转换开关NBS3与第一受端电压源换流器的负极连接,第一受端电压源换流器与第一受端换流变压器的二次侧连接,第一受端换

流变压器的一次侧通过第一受端交流断路器与受端交流系统连接；

送端交流系统通过第二送端交流断路器连接第二送端换流变压器的一次侧，第二送端换流变压器的二次侧连接第二送端电压源换流器，第二送端电压源换流器的负极通过极2直流线路与第二受端电压源换流器的负极连接，第二送端电压源换流器的正极通过中性线转换开关NBS2与金属回线连接，金属回线通过中性线转换开关NBS4与第二受端电压源换流器的正极连接，第二受端电压源换流器与第二受端换流变压器的二次侧连接，第二受端换流变压器的一次侧通过第二受端交流断路器与受端交流系统连接；

所述第一送端换流变压器、第一受端换流变压器、第二送端换流变压器、第二受端换流变压器均采用Y/ $\Delta$ 接法；

所述第一送端电压源换流器、第一受端电压源换流器、第二送端电压源换流器、第二受端电压源换流器均为模块化多电平电压源换流器，模块化多电平电压源换流器中子模块包括旁路晶闸管和高速旁路开关。

7. 双极柔性直流输电系统站内单相接地故障控制保护方法，其特征在于：所述双极柔性直流输电系统包括第一柔性直流输电系统和第二柔性直流输电系统；第一柔性直流输电系统和第二柔性直流输电系统通过直流线路与金属回线相连，金属回线一端直接接地，另一端采用中心母线接地开关接地；

第一柔性直流输电系统包括第一送端交流断路器、第一送端换流变压器、第一送端电压源换流器、第一受端电压源换流器、第一受端换流变压器和第一受端交流断路器；

第二柔性直流输电系统包括第二送端交流断路器、第二送端换流变压器、第二送端电压源换流器、第二受端电压源换流器、第二受端换流变压器和第二受端交流断路器；

所述方法包括以下步骤：

步骤1：判断第二受端电压源换流器是否发生单相接地故障，若是则执行步骤2，并将第二送端电压源换流器切换至STATCOM运行模式或使第二送端电压源换流器处于闭锁状态；

步骤2：使第二受端电压源换流器中所有子模块为闭锁状态，并触发子模块中旁路晶闸管，使旁路晶闸管导通；

步骤3：使未发生单相接地故障的下桥臂中子模块为切除状态；

步骤4：判断流经第二受端交流断路器的电流是否出现过零点，若是则执行步骤8，否则执行步骤5；

步骤5：判断所有子模块上的电流是否大于桥臂过流保护阈值，若是则执行步骤6，否则返回步骤4；

步骤6：使第二受端电压源换流器一直处于闭锁状态，并闭合未发生单相接地故障的下桥臂中子模块的高速旁路开关，之后执行步骤7；

步骤7：再次判断流经第二受端交流断路器的电流是否出现过零点，若是则执行步骤8，否则返回步骤6；

步骤8：断开第二受端交流断路器，并断开中性线转换开关NBS2和中性线转换开关NBS4，锁定第一受端交流断路器。

8. 根据权利要求7所述的双极柔性直流输电系统站内单相接地故障控制保护方法，其特征在于：所述直流线路包括极1直流线路和极2直流线路；

送端交流系统通过第一送端交流断路器连接第一送端换流变压器的一次侧，第一送端

换流变压器的二次侧连接第一送端电压源换流器,第一送端电压源换流器的正极通过极1直流线路与第一受端电压源换流器的正极连接,第一送端电压源换流器的负极通过中性线转换开关NBS1与金属回线连接,金属回线通过中性线转换开关NBS3与第一受端电压源换流器的负极连接,第一受端电压源换流器与第一受端换流变压器的二次侧连接,第一受端换流变压器的一次侧通过第一受端交流断路器与受端交流系统连接;

送端交流系统通过第二送端交流断路器连接第二送端换流变压器的一次侧,第二送端换流变压器的二次侧连接第二送端电压源换流器,第二送端电压源换流器的负极通过极2直流线路与第二受端电压源换流器的负极连接,第二送端电压源换流器的正极通过中性线转换开关NBS2与金属回线连接,金属回线通过中性线转换开关NBS4与第二受端电压源换流器的正极连接,第二受端电压源换流器与第二受端换流变压器的二次侧连接,第二受端换流变压器的一次侧通过第二受端交流断路器与受端交流系统连接;

所述第一送端换流变压器、第一受端换流变压器、第二送端换流变压器、第二受端换流变压器均采用Y/ $\Delta$ 接法;

所述第一送端电压源换流器、第一受端电压源换流器、第二送端电压源换流器、第二受端电压源换流器均为模块化多电平电压源换流器,模块化多电平电压源换流器中子模块包括旁路晶闸管和高速旁路开关。

## 双极柔性直流输电系统站内单相接地故障控制保护方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种控制保护方法,具体涉及一种双极柔性直流输电系统站内单相接地故障控制保护方法。

### 背景技术

[0002] 柔性直流输电技术是一种新型直流输电技术,合理的控制保护策略决定了柔性直流输电系统安全稳定运行。它的灵活应用性能使其在城市电网互联、清洁能源并网以及孤岛供电等领域有着广阔的应用前景。随着输电容量的增大和供电可靠性的提高,一些学者提出了双极柔性直流输电系统。然而双极柔性直流输电系统故障特性与单极柔性直流输电系统存在很大区别,尤其是站内交流系统接地故障,现有的控制保护方法已经不再适用,如果不采取合理的保护控制策略,将会严重危害到系统的安全稳定运行。因此,站内交流系统发生单相接地故障时的双极柔性直流输电系统控制保护方法成为一个工程上亟需解决的问题。

[0003] 在交流系统故障中,单相接地故障最为常见。站内交流母线发生单相接地故障时,故障特性最为严重,它会造成交流电流直流偏置,导致交流断路器无法正常断开;即使换流器闭锁,直流线路仍然会对桥臂子模块持续充电,导致子模块严重过压。因此,研究双极柔性直流输电系统站内交流母线单相接地故障控制保护方法具有重要意义。

### 发明内容

[0004] 为了克服上述现有技术的不足,本发明提供一种双极柔性直流输电系统站内单相接地故障控制保护方法,该方法易于实现,并且可以有效地解决直流偏置问题和子模块过压问题。

[0005] 为了实现上述发明目的,本发明采取如下技术方案:

[0006] 本发明提供一种双极柔性直流输电系统站内单相接地故障控制保护方法,所述双极柔性直流输电系统包括第一柔性直流输电系统和第二柔性直流输电系统;第一柔性直流输电系统和第二柔性直流输电系统通过直流线路与金属回线相连,金属回线一端直接接地,另一端采用中心母线接地开关接地;

[0007] 第一柔性直流输电系统包括第一送端交流断路器、第一送端换流变压器、第一送端电压源换流器、第一受端电压源换流器、第一受端换流变压器和第一受端交流断路器;

[0008] 第二柔性直流输电系统包括第二送端交流断路器、第二送端换流变压器、第二送端电压源换流器、第二受端电压源换流器、第二受端换流变压器和第二受端交流断路器;

[0009] 双极柔性直流输电系统站内单相接地故障控制保护方法包括以下步骤:

[0010] 步骤1:判断第一送端电压源换流器是否发生单相接地故障,若是则执行步骤2,并将第一受端电压源换流器切换至STATCOM运行模式或使第一受端电压源换流器处于闭锁状态;

[0011] 步骤2:使第一送端电压源换流器中所有子模块为闭锁状态,并触发子模块中旁路

晶闸管,使旁路晶闸管导通;

[0012] 步骤3:使未发生单相接地故障的下桥臂中子模块为切除状态;

[0013] 步骤4:判断流经第一送端交流断路器的电流是否出现过零点,若是则执行步骤8,否则执行步骤5;

[0014] 步骤5:判断所有子模块上的电流是否大于桥臂过流保护阈值,若是则执行步骤6,否则返回步骤4;

[0015] 步骤6:使第一送端电压源换流器一直处于闭锁状态,并闭合未发生单相接地故障的下桥臂中子模块的高速旁路开关,之后执行步骤7;

[0016] 步骤7:再次判断流经第一送端交流断路器的电流是否出现过零点,若是则执行步骤8,否则返回步骤6;

[0017] 步骤8:断开第一送端交流断路器,并断开中性线转换开关NBS1和中性线转换开关NBS3,锁定第一送端交流断路器。

[0018] 所述直流线路包括极1直流线路和极2直流线路;

[0019] 送端交流系统通过第一送端交流断路器连接第一送端换流变压器的一次侧,第一送端换流变压器的二次侧连接第一送端电压源换流器,第一送端电压源换流器的正极通过极1直流线路与第一受端电压源换流器的正极连接,第一送端电压源换流器的负极通过中性线转换开关NBS1与金属回线连接,金属回线通过中性线转换开关NBS3与第一受端电压源换流器的负极连接,第一受端电压源换流器与第一受端换流变压器的二次侧连接,第一受端换流变压器的一次侧通过第一受端交流断路器与受端交流系统连接;

[0020] 送端交流系统通过第二送端交流断路器连接第二送端换流变压器的一次侧,第二送端换流变压器的二次侧连接第二送端电压源换流器,第二送端电压源换流器的负极通过极2直流线路与第二受端电压源换流器的负极连接,第二送端电压源换流器的正极通过中性线转换开关NBS2与金属回线连接,金属回线通过中性线转换开关NBS4与第二受端电压源换流器的正极连接,第二受端电压源换流器与第二受端换流变压器的二次侧连接,第二受端换流变压器的一次侧通过第二受端交流断路器与受端交流系统连接;

[0021] 所述第一送端换流变压器、第一受端换流变压器、第二送端换流变压器、第二受端换流变压器均采用Y/ $\Delta$ 接法;

[0022] 所述第一送端电压源换流器、第一受端电压源换流器、第二送端电压源换流器、第二受端电压源换流器均为模块化多电平电压源换流器,模块化多电平电压源换流器中子模块包括旁路晶闸管和高速旁路开关。

[0023] 所述双极柔性直流输电系统包括第一柔性直流输电系统和第二柔性直流输电系统;第一柔性直流输电系统和第二柔性直流输电系统通过直流线路与金属回线相连,金属回线一端直接接地,另一端采用中心母线接地开关接地;

[0024] 第一柔性直流输电系统包括第一送端交流断路器、第一送端换流变压器、第一送端电压源换流器、第一受端电压源换流器、第一受端换流变压器和第一受端交流断路器;

[0025] 第二柔性直流输电系统包括第二送端交流断路器、第二送端换流变压器、第二送端电压源换流器、第二受端电压源换流器、第二受端换流变压器和第二受端交流断路器;

[0026] 双极柔性直流输电系统站内单相接地故障控制保护方法包括以下步骤:

[0027] 步骤1:判断第一受端电压源换流器是否发生单相接地故障,若是则执行步骤2,并

将第一送端电压源换流器切换至STATCOM运行模式或使第一送端电压源换流器处于闭锁状态；

[0028] 步骤2:使第一受端电压源换流器中所有子模块为闭锁状态,并触发子模块中旁路晶闸管,使旁路晶闸管导通；

[0029] 步骤3:使未发生单相接地故障的下桥臂中子模块为切除状态；

[0030] 步骤4:判断流经第一受端交流断路器的电流是否出现过零点,若是则执行步骤8,否则执行步骤5；

[0031] 步骤5:判断所有子模块上的电流是否大于桥臂过流保护阈值,若是则执行步骤6,否则返回步骤4；

[0032] 步骤6:使第一受端电压源换流器一直处于闭锁状态,并闭合未发生单相接地故障的下桥臂中子模块的高速旁路开关,之后执行步骤7；

[0033] 步骤7:再次判断流经第一受端交流断路器的电流是否出现过零点,若是则执行步骤8,否则返回步骤6；

[0034] 步骤8:断开第一受端交流断路器,并断开中性线转换开关NBS1和中性线转换开关NBS3,锁定第一受端交流断路器。

[0035] 所述直流线路包括极1直流线路和极2直流线路；

[0036] 送端交流系统通过第一送端交流断路器连接第一送端换流变压器的一次侧,第一送端换流变压器的二次侧连接第一送端电压源换流器,第一送端电压源换流器的正极通过极1直流线路与第一受端电压源换流器的正极连接,第一送端电压源换流器的负极通过中性线转换开关NBS1与金属回线连接,金属回线通过中性线转换开关NBS3与第一受端电压源换流器的负极连接,第一受端电压源换流器与第一受端换流变压器的二次侧连接,第一受端换流变压器的一次侧通过第一受端交流断路器与受端交流系统连接；

[0037] 送端交流系统通过第二送端交流断路器连接第二送端换流变压器的一次侧,第二送端换流变压器的二次侧连接第二送端电压源换流器,第二送端电压源换流器的负极通过极2直流线路与第二受端电压源换流器的负极连接,第二送端电压源换流器的正极通过中性线转换开关NBS2与金属回线连接,金属回线通过中性线转换开关NBS4与第二受端电压源换流器的正极连接,第二受端电压源换流器与第二受端换流变压器的二次侧连接,第二受端换流变压器的一次侧通过第二受端交流断路器与受端交流系统连接；

[0038] 所述第一送端换流变压器、第一受端换流变压器、第二送端换流变压器、第二受端换流变压器均采用Y/ $\Delta$ 接法；

[0039] 所述第一送端电压源换流器、第一受端电压源换流器、第二送端电压源换流器、第二受端电压源换流器均为模块化多电平电压源换流器,模块化多电平电压源换流器中子模块包括旁路晶闸管和高速旁路开关。

[0040] 所述双极柔性直流输电系统包括第一柔性直流输电系统和第二柔性直流输电系统；第一柔性直流输电系统和第二柔性直流输电系统通过直流线路与金属回线相连,金属回线一端直接接地,另一端采用中心母线接地开关接地；

[0041] 第一柔性直流输电系统包括第一送端交流断路器、第一送端换流变压器、第一送端电压源换流器、第一受端电压源换流器、第一受端换流变压器和第一受端交流断路器；

[0042] 第二柔性直流输电系统包括第二送端交流断路器、第二送端换流变压器、第二送

端电压源换流器、第二受端电压源换流器、第二受端换流变压器和第二受端交流断路器；

[0043] 双极柔性直流输电系统站内单相接地故障控制保护方法包括以下步骤：

[0044] 步骤1：判断第二送端电压源换流器是否发生单相接地故障，若是则执行步骤2，并将第二受端电压源换流器切换至STATCOM运行模式或使第二受端电压源换流器处于闭锁状态；

[0045] 步骤2：使第二送端电压源换流器中所有子模块为闭锁状态，并触发子模块中旁路晶闸管，使旁路晶闸管导通；

[0046] 步骤3：使未发生单相接地故障的下桥臂中子模块为切除状态；

[0047] 步骤4：判断流经第二送端交流断路器的电流是否出现过零点，若是则执行步骤8，否则执行步骤5；

[0048] 步骤5：判断所有子模块上的电流是否大于桥臂过流保护阈值，若是则执行步骤6，否则返回步骤4；

[0049] 步骤6：使第二送端电压源换流器一直处于闭锁状态，并闭合未发生单相接地故障的下桥臂中子模块的高速旁路开关，之后执行步骤7；

[0050] 步骤7：再次判断流经第二送端交流断路器的电流是否出现过零点，若是则执行步骤8，否则返回步骤6；

[0051] 步骤8：断开第二送端交流断路器，并断开中性线转换开关NBS2和中性线转换开关NBS4，锁定第二送端交流断路器。

[0052] 所述所述直流线路包括极1直流线路和极2直流线路；

[0053] 送端交流系统通过第一送端交流断路器连接第一送端换流变压器的一次侧，第一送端换流变压器的二次侧连接第一送端电压源换流器，第一送端电压源换流器的正极通过极1直流线路与第一受端电压源换流器的正极连接，第一送端电压源换流器的负极通过中性线转换开关NBS1与金属回线连接，金属回线通过中性线转换开关NBS3与第一受端电压源换流器的负极连接，第一受端电压源换流器与第一受端换流变压器的二次侧连接，第一受端换流变压器的一次侧通过第一受端交流断路器与受端交流系统连接；

[0054] 送端交流系统通过第二送端交流断路器连接第二送端换流变压器的一次侧，第二送端换流变压器的二次侧连接第二送端电压源换流器，第二送端电压源换流器的负极通过极2直流线路与第二受端电压源换流器的负极连接，第二送端电压源换流器的正极通过中性线转换开关NBS2与金属回线连接，金属回线通过中性线转换开关NBS4与第二受端电压源换流器的正极连接，第二受端电压源换流器与第二受端换流变压器的二次侧连接，第二受端换流变压器的一次侧通过第二受端交流断路器与受端交流系统连接；

[0055] 所述第一送端换流变压器、第一受端换流变压器、第二送端换流变压器、第二受端换流变压器均采用Y/ $\Delta$ 接法；

[0056] 所述第一送端电压源换流器、第一受端电压源换流器、第二送端电压源换流器、第二受端电压源换流器均为模块化多电平电压源换流器，模块化多电平电压源换流器中子模块包括旁路晶闸管和高速旁路开关。

[0057] 所述双极柔性直流输电系统包括第一柔性直流输电系统和第二柔性直流输电系统；第一柔性直流输电系统和第二柔性直流输电系统通过直流线路与金属回线相连，金属回线一端直接接地，另一端采用中心母线接地开关接地；

[0058] 第一柔性直流输电系统包括第一送端交流断路器、第一送端换流变压器、第一送端电压源换流器、第一受端电压源换流器、第一受端换流变压器和第一受端交流断路器；

[0059] 第二柔性直流输电系统包括第二送端交流断路器、第二送端换流变压器、第二送端电压源换流器、第二受端电压源换流器、第二受端换流变压器和第二受端交流断路器；

[0060] 双极柔性直流输电系统站内单相接地故障控制保护方法包括以下步骤：

[0061] 步骤1：判断第二受端电压源换流器是否发生单相接地故障，若是则执行步骤2，并将第二送端电压源换流器切换至STATCOM运行模式或使第二送端电压源换流器处于闭锁状态；

[0062] 步骤2：使第二受端电压源换流器中所有子模块为闭锁状态，并触发子模块中旁路晶闸管，使旁路晶闸管导通；

[0063] 步骤3：使未发生单相接地故障的下桥臂中子模块为切除状态；

[0064] 步骤4：判断流经第二受端交流断路器的电流是否出现过零点，若是则执行步骤8，否则执行步骤5；

[0065] 步骤5：判断所有子模块上的电流是否大于桥臂过流保护阈值，若是则执行步骤6，否则返回步骤4；

[0066] 步骤6：使第二受端电压源换流器一直处于闭锁状态，并闭合未发生单相接地故障的下桥臂中子模块的高速旁路开关，之后执行步骤7；

[0067] 步骤7：再次判断流经第二受端交流断路器的电流是否出现过零点，若是则执行步骤8，否则返回步骤6；

[0068] 步骤8：断开第二受端交流断路器，并断开中性线转换开关NBS2和中性线转换开关NBS4，锁定第一受端交流断路器。

[0069] 所述所述直流线路包括极1直流线路和极2直流线路；

[0070] 送端交流系统通过第一送端交流断路器连接第一送端换流变压器的一次侧，第一送端换流变压器的二次侧连接第一送端电压源换流器，第一送端电压源换流器的正极通过极1直流线路与第一受端电压源换流器的正极连接，第一送端电压源换流器的负极通过中性线转换开关NBS1与金属回线连接，金属回线通过中性线转换开关NBS3与第一受端电压源换流器的负极连接，第一受端电压源换流器与第一受端换流变压器的二次侧连接，第一受端换流变压器的一次侧通过第一受端交流断路器与受端交流系统连接；

[0071] 送端交流系统通过第二送端交流断路器连接第二送端换流变压器的一次侧，第二送端换流变压器的二次侧连接第二送端电压源换流器，第二送端电压源换流器的负极通过极2直流线路与第二受端电压源换流器的负极连接，第二送端电压源换流器的正极通过中性线转换开关NBS2与金属回线连接，金属回线通过中性线转换开关NBS4与第二受端电压源换流器的正极连接，第二受端电压源换流器与第二受端换流变压器的二次侧连接，第二受端换流变压器的一次侧通过第二受端交流断路器与受端交流系统连接；

[0072] 所述第一送端换流变压器、第一受端换流变压器、第二送端换流变压器、第二受端换流变压器均采用Y/ $\Delta$ 接法；

[0073] 所述第一送端电压源换流器、第一受端电压源换流器、第二送端电压源换流器、第二受端电压源换流器均为模块化多电平电压源换流器，模块化多电平电压源换流器中子模块包括旁路晶闸管和高速旁路开关。

[0074] 与现有技术相比,本发明的有益效果在于:

[0075] 1.发生单相接地故障的电压源换流器闭锁之后,将非单相接地故障相下桥臂子模块再次触发为切除状态,可以快速减小交流电流直流偏置,并且避免由非故障相交流电压引起的子模块过压问题,从而降低故障切除时间和暂态子模块过电压应力;;

[0076] 2.闭合非单相接地故障相下桥臂高速旁路开关可以有效地解决交流电流直流偏置问题和子模块过压问题,从而确保交流断路器正常断开,最大限度的保护了换流器;

[0077] 3.高速旁路开关闭合时间只会影响交流断路器断开时间,因此高速旁路开关闭合时间要求并不严格;

[0078] 4.由于下桥臂不存在充电电流,因此高速旁路开关闭合时的离散特性不会造成单个子模块过压。

### 附图说明

[0079] 图1是本发明实施例1双极柔性直流输电系统站内单相接地故障控制保护方法流程图。

### 具体实施方式

[0080] 下面结合附图对本发明作进一步详细说明。

[0081] 实施例1

[0082] 双极柔性直流输电系统站内单相接地故障控制保护方法包括以下步骤:

[0083] 步骤1:判断第一送端电压源换流器是否发生单相接地故障,若是则执行步骤2,并将第一受端电压源换流器切换至STATCOM运行模式或使第一受端电压源换流器处于闭锁状态;

[0084] 步骤2:使第一送端电压源换流器中所有子模块为闭锁状态,并触发子模块中旁路晶闸管,使旁路晶闸管导通;

[0085] 步骤3:使未发生单相接地故障的下桥臂中子模块为切除状态;

[0086] 步骤4:判断流经第一送端交流断路器的电流是否出现过零点,若是则执行步骤8,否则执行步骤5;

[0087] 步骤5:判断所有子模块上的电流是否大于桥臂过流保护阈值,若是则执行步骤6,否则返回步骤4;

[0088] 步骤6:使第一送端电压源换流器一直处于闭锁状态,并闭合未发生单相接地故障的下桥臂中子模块的高速旁路开关,之后执行步骤7;

[0089] 步骤7:再次判断流经第一送端交流断路器的电流是否出现过零点,若是则执行步骤8,否则返回步骤6;

[0090] 步骤8:断开第一送端交流断路器,并断开中性线转换开关NBS1和中性线转换开关NBS3,锁定第一送端交流断路器。

[0091] 所述双极柔性直流输电系统包括第一柔性直流输电系统和第二柔性直流输电系统;第一柔性直流输电系统和第二柔性直流输电系统通过直流线路与金属回线相连,金属回线一端直接接地,另一端采用中心母线接地开关接地;

[0092] 第一柔性直流输电系统包括第一送端交流断路器、第一送端换流变压器、第一送

端电压源换流器、第一受端电压源换流器、第一受端换流变压器和第一受端交流断路器；

[0093] 第二柔性直流输电系统包括第二送端交流断路器、第二送端换流变压器、第二送端电压源换流器、第二受端电压源换流器、第二受端换流变压器和第二受端交流断路器；

[0094] 所述直流线路包括极1直流线路和极2直流线路；

[0095] 送端交流系统通过第一送端交流断路器连接第一送端换流变压器的一次侧，第一送端换流变压器的二次侧连接第一送端电压源换流器，第一送端电压源换流器的正极通过极1直流线路与第一受端电压源换流器的正极连接，第一送端电压源换流器的负极通过中性线转换开关NBS1与金属回线连接，金属回线通过中性线转换开关NBS3与第一受端电压源换流器的负极连接，第一受端电压源换流器与第一受端换流变压器的二次侧连接，第一受端换流变压器的一次侧通过第一受端交流断路器与受端交流系统连接；

[0096] 送端交流系统通过第二送端交流断路器连接第二送端换流变压器的一次侧，第二送端换流变压器的二次侧连接第二送端电压源换流器，第二送端电压源换流器的负极通过极2直流线路与第二受端电压源换流器的负极连接，第二送端电压源换流器的正极通过中性线转换开关NBS2与金属回线连接，金属回线通过中性线转换开关NBS4与第二受端电压源换流器的正极连接，第二受端电压源换流器与第二受端换流变压器的二次侧连接，第二受端换流变压器的一次侧通过第二受端交流断路器与受端交流系统连接；

[0097] 所述第一送端换流变压器、第一受端换流变压器、第二送端换流变压器、第二受端换流变压器均采用Y/ $\Delta$ 接法；

[0098] 所述第一送端电压源换流器、第一受端电压源换流器、第二送端电压源换流器、第二受端电压源换流器均为模块化多电平电压源换流器，模块化多电平电压源换流器中子模块包括旁路晶闸管和高速旁路开关。

[0099] 实施例2

[0100] 两极柔性直流输电系统站内单相接地故障控制保护方法包括以下步骤：

[0101] 步骤1：判断第一受端电压源换流器是否发生单相接地故障，若是则执行步骤2，并将第一送端电压源换流器切换至STATCOM运行模式或使第一送端电压源换流器处于闭锁状态；

[0102] 步骤2：使第一受端电压源换流器中所有子模块为闭锁状态，并触发子模块中旁路晶闸管，使旁路晶闸管导通；

[0103] 步骤3：使未发生单相接地故障的下桥臂中子模块为切除状态；

[0104] 步骤4：判断流经第一受端交流断路器的电流是否出现过零点，若是则执行步骤8，否则执行步骤5；

[0105] 步骤5：判断所有子模块上的电流是否大于桥臂过流保护阈值，若是则执行步骤6，否则返回步骤4；

[0106] 步骤6：使第一受端电压源换流器一直处于闭锁状态，并闭合未发生单相接地故障的下桥臂中子模块的高速旁路开关，之后执行步骤7；

[0107] 步骤7：再次判断流经第一受端交流断路器的电流是否出现过零点，若是则执行步骤8，否则返回步骤6；

[0108] 步骤8：断开第一受端交流断路器，并断开中性线转换开关NBS1和中性线转换开关NBS3，锁定第一受端交流断路器。

[0109] 所述双极柔性直流输电系统包括第一柔性直流输电系统和第二柔性直流输电系统；第一柔性直流输电系统和第二柔性直流输电系统通过直流线路与金属回线相连，金属回线一端直接接地，另一端采用中心母线接地开关接地；

[0110] 第一柔性直流输电系统包括第一送端交流断路器、第一送端换流变压器、第一送端电压源换流器、第一受端电压源换流器、第一受端换流变压器和第一受端交流断路器；

[0111] 第二柔性直流输电系统包括第二送端交流断路器、第二送端换流变压器、第二送端电压源换流器、第二受端电压源换流器、第二受端换流变压器和第二受端交流断路器；

[0112] 所述直流线路包括极1直流线路和极2直流线路；

[0113] 送端交流系统通过第一送端交流断路器连接第一送端换流变压器的一次侧，第一送端换流变压器的二次侧连接第一送端电压源换流器，第一送端电压源换流器的正极通过极1直流线路与第一受端电压源换流器的正极连接，第一送端电压源换流器的负极通过中性线转换开关NBS1与金属回线连接，金属回线通过中性线转换开关NBS3与第一受端电压源换流器的负极连接，第一受端电压源换流器与第一受端换流变压器的二次侧连接，第一受端换流变压器的一次侧通过第一受端交流断路器与受端交流系统连接；

[0114] 送端交流系统通过第二送端交流断路器连接第二送端换流变压器的一次侧，第二送端换流变压器的二次侧连接第二送端电压源换流器，第二送端电压源换流器的负极通过极2直流线路与第二受端电压源换流器的负极连接，第二送端电压源换流器的正极通过中性线转换开关NBS2与金属回线连接，金属回线通过中性线转换开关NBS4与第二受端电压源换流器的正极连接，第二受端电压源换流器与第二受端换流变压器的二次侧连接，第二受端换流变压器的一次侧通过第二受端交流断路器与受端交流系统连接；

[0115] 所述第一送端换流变压器、第一受端换流变压器、第二送端换流变压器、第二受端换流变压器均采用Y/ $\Delta$ 接法；

[0116] 所述第一送端电压源换流器、第一受端电压源换流器、第二送端电压源换流器、第二受端电压源换流器均为模块化多电平电压源换流器，模块化多电平电压源换流器中子模块包括旁路晶闸管和高速旁路开关。

[0117] 实施例3

[0118] 双极柔性直流输电系统站内单相接地故障控制保护方法包括以下步骤：

[0119] 步骤1：判断第二送端电压源换流器是否发生单相接地故障，若是则执行步骤2，并将第二受端电压源换流器切换至STATCOM运行模式或使第二受端电压源换流器处于闭锁状态；

[0120] 步骤2：使第二送端电压源换流器中所有子模块为闭锁状态，并触发子模块中旁路晶闸管，使旁路晶闸管导通；

[0121] 步骤3：使未发生单相接地故障的下桥臂中子模块为切除状态；

[0122] 步骤4：判断流经第二送端交流断路器的电流是否出现过零点，若是则执行步骤8，否则执行步骤5；

[0123] 步骤5：判断所有子模块上的电流是否大于桥臂过流保护阈值，若是则执行步骤6，否则返回步骤4；

[0124] 步骤6：使第二送端电压源换流器一直处于闭锁状态，并闭合未发生单相接地故障的下桥臂中子模块的高速旁路开关，之后执行步骤7；

[0125] 步骤7:再次判断流经第二送端交流断路器的电流是否出现过零点,若是则执行步骤8,否则返回步骤6;

[0126] 步骤8:断开第二送端交流断路器,并断开中性线转换开关NBS2和中性线转换开关NBS4,锁定第二送端交流断路器。

[0127] 所述双极柔性直流输电系统包括第一柔性直流输电系统和第二柔性直流输电系统;第一柔性直流输电系统和第二柔性直流输电系统通过直流线路与金属回线相连,金属回线一端直接接地,另一端采用中心母线接地开关接地;

[0128] 第一柔性直流输电系统包括第一送端交流断路器、第一送端换流变压器、第一送端电压源换流器、第一受端电压源换流器、第一受端换流变压器和第一受端交流断路器;

[0129] 第二柔性直流输电系统包括第二送端交流断路器、第二送端换流变压器、第二送端电压源换流器、第二受端电压源换流器、第二受端换流变压器和第二受端交流断路器;

[0130] 所述所述直流线路包括极1直流线路和极2直流线路;

[0131] 送端交流系统通过第一送端交流断路器连接第一送端换流变压器的一次侧,第一送端换流变压器的二次侧连接第一送端电压源换流器,第一送端电压源换流器的正极通过极1直流线路与第一受端电压源换流器的正极连接,第一送端电压源换流器的负极通过中性线转换开关NBS1与金属回线连接,金属回线通过中性线转换开关NBS3与第一受端电压源换流器的负极连接,第一受端电压源换流器与第一受端换流变压器的二次侧连接,第一受端换流变压器的一次侧通过第一受端交流断路器与受端交流系统连接;

[0132] 送端交流系统通过第二送端交流断路器连接第二送端换流变压器的一次侧,第二送端换流变压器的二次侧连接第二送端电压源换流器,第二送端电压源换流器的负极通过极2直流线路与第二受端电压源换流器的负极连接,第二送端电压源换流器的正极通过中性线转换开关NBS2与金属回线连接,金属回线通过中性线转换开关NBS4与第二受端电压源换流器的正极连接,第二受端电压源换流器与第二受端换流变压器的二次侧连接,第二受端换流变压器的一次侧通过第二受端交流断路器与受端交流系统连接;

[0133] 所述第一送端换流变压器、第一受端换流变压器、第二送端换流变压器、第二受端换流变压器均采用Y/ $\Delta$ 接法;

[0134] 所述第一送端电压源换流器、第一受端电压源换流器、第二送端电压源换流器、第二受端电压源换流器均为模块化多电平电压源换流器,模块化多电平电压源换流器中子模块包括旁路晶闸管和高速旁路开关。

[0135] 实施例4

[0136] 双极柔性直流输电系统站内单相接地故障控制保护方法包括以下步骤:

[0137] 步骤1:判断第二受端电压源换流器是否发生单相接地故障,若是则执行步骤2,并将第二送端电压源换流器切换至STATCOM运行模式或使第二送端电压源换流器处于闭锁状态;

[0138] 步骤2:使第二受端电压源换流器中所有子模块为闭锁状态,并触发子模块中旁路晶闸管,使旁路晶闸管导通;

[0139] 步骤3:使未发生单相接地故障的下桥臂中子模块为切除状态;

[0140] 步骤4:判断流经第二受端交流断路器的电流是否出现过零点,若是则执行步骤8,否则执行步骤5;

[0141] 步骤5:判断所有子模块上的电流是否大于桥臂过流保护阈值,若是则执行步骤6,否则返回步骤4;

[0142] 步骤6:使第二受端电压源换流器一直处于闭锁状态,并闭合未发生单相接地故障的下桥臂中子模块的高速旁路开关,之后执行步骤7;

[0143] 步骤7:再次判断流经第二受端交流断路器的电流是否出现过零点,若是则执行步骤8,否则返回步骤6;

[0144] 步骤8:断开第二受端交流断路器,并断开中性线转换开关NBS2和中性线转换开关NBS4,锁定第一受端交流断路器。

[0145] 所述双极柔性直流输电系统包括第一柔性直流输电系统和第二柔性直流输电系统;第一柔性直流输电系统和第二柔性直流输电系统通过直流线路与金属回线相连,金属回线一端直接接地,另一端采用中心母线接地开关接地;

[0146] 第一柔性直流输电系统包括第一送端交流断路器、第一送端换流变压器、第一送端电压源换流器、第一受端电压源换流器、第一受端换流变压器和第一受端交流断路器;

[0147] 第二柔性直流输电系统包括第二送端交流断路器、第二送端换流变压器、第二送端电压源换流器、第二受端电压源换流器、第二受端换流变压器和第二受端交流断路器;

[0148] 所述所述直流线路包括极1直流线路和极2直流线路;

[0149] 送端交流系统通过第一送端交流断路器连接第一送端换流变压器的一次侧,第一送端换流变压器的二次侧连接第一送端电压源换流器,第一送端电压源换流器的正极通过极1直流线路与第一受端电压源换流器的正极连接,第一送端电压源换流器的负极通过中性线转换开关NBS1与金属回线连接,金属回线通过中性线转换开关NBS3与第一受端电压源换流器的负极连接,第一受端电压源换流器与第一受端换流变压器的二次侧连接,第一受端换流变压器的一次侧通过第一受端交流断路器与受端交流系统连接;

[0150] 送端交流系统通过第二送端交流断路器连接第二送端换流变压器的一次侧,第二送端换流变压器的二次侧连接第二送端电压源换流器,第二送端电压源换流器的负极通过极2直流线路与第二受端电压源换流器的负极连接,第二送端电压源换流器的正极通过中性线转换开关NBS2与金属回线连接,金属回线通过中性线转换开关NBS4与第二受端电压源换流器的正极连接,第二受端电压源换流器与第二受端换流变压器的二次侧连接,第二受端换流变压器的一次侧通过第二受端交流断路器与受端交流系统连接;

[0151] 所述第一送端换流变压器、第一受端换流变压器、第二送端换流变压器、第二受端换流变压器均采用Y/ $\Delta$ 接法;

[0152] 所述第一送端电压源换流器、第一受端电压源换流器、第二送端电压源换流器、第二受端电压源换流器均为模块化多电平电压源换流器,模块化多电平电压源换流器中子模块包括旁路晶闸管和高速旁路开关。

[0153] 最后应当说明的是:以上实施例仅用以说明本发明的技术方案而非对其限制,所属领域的普通技术人员参照上述实施例依然可以对本发明的具体实施方式进行修改或者等同替换,这些未脱离本发明精神和范围的任何修改或者等同替换,均在申请待批的本发明的权利要求保护范围之内。

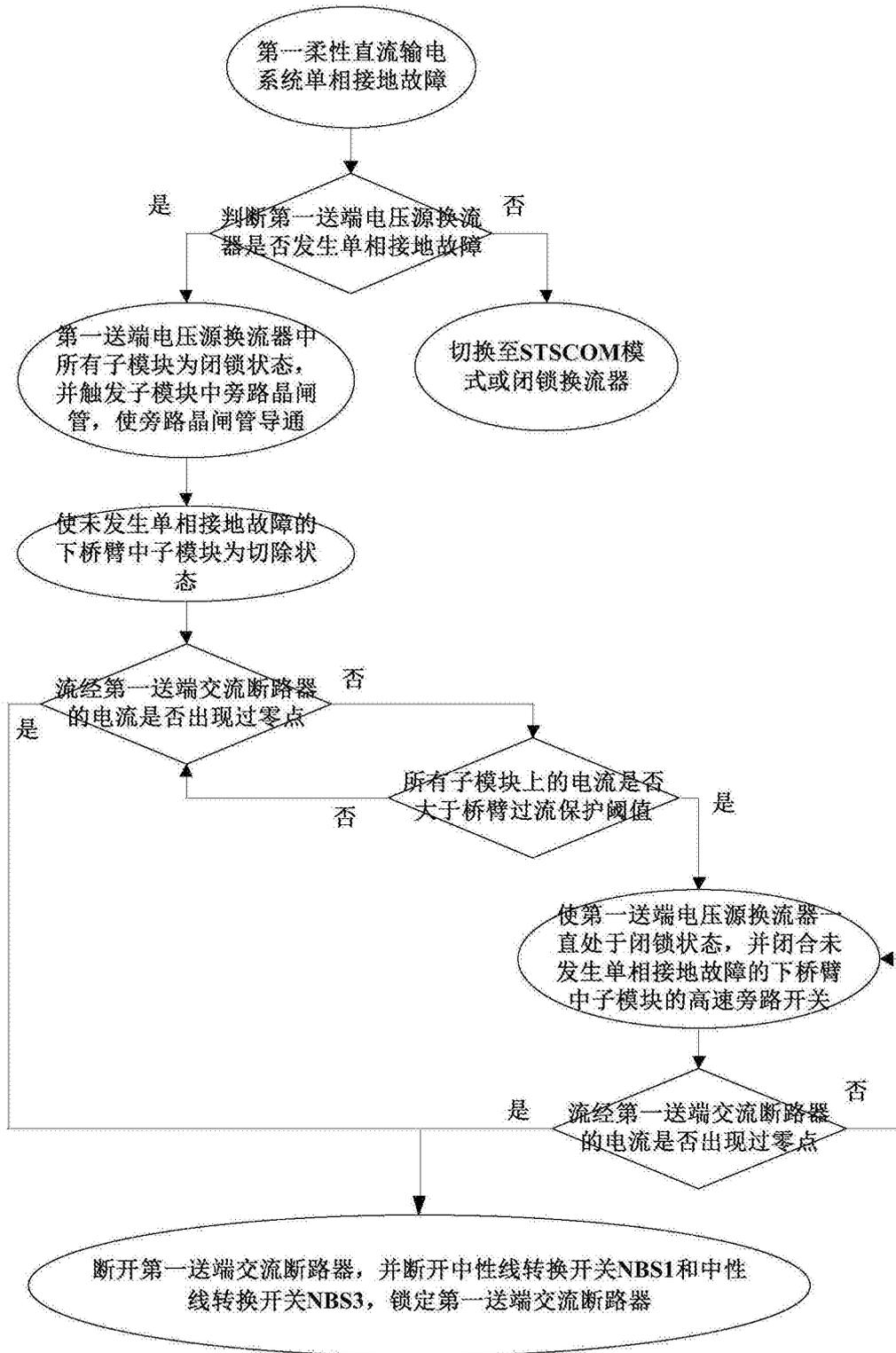


图1