



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113629750 B

(45) 授权公告日 2023.06.06

(21) 申请号 202110909328.5  
 (22) 申请日 2021.08.09  
 (65) 同一申请的已公布的文献号  
 申请公布号 CN 113629750 A  
 (43) 申请公布日 2021.11.09  
 (73) 专利权人 南方电网科学研究院有限责任公司  
 地址 510000 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 李志平 刘涛  
 (74) 专利代理机构 广州三环专利商标代理有限公司 44202  
 专利代理师 麦小婵 郝传鑫  
 (51) Int. Cl.  
 H02J 3/36 (2006.01)

H02M 7/219 (2006.01)  
 H02M 7/5387 (2007.01)  
 H02M 1/06 (2006.01)  
 H02M 1/36 (2007.01)  
 (56) 对比文件  
 CN 103107549 A, 2013.05.15  
 CN 105024352 A, 2015.11.04  
 DE 3404076 A1, 1985.08.08  
 WO 2015090100 A1, 2015.06.25  
 杨柳; 卢毓欣; 许树楷; 刘涛. 背靠背直流输电技术及其在鲁西异步联网工程中的应用. 南方电网技术. 2018, (第04期), 全文.  
 陆翌; 赵剑; 裘鹏; 宣佳卓; 郭春义; 刘炜. 一种适用于LCC-LCC+FBMMC串联混合型直流输电系统的启动策略. 电力建设. 2017, (第08期), 全文.

审查员 郭桢

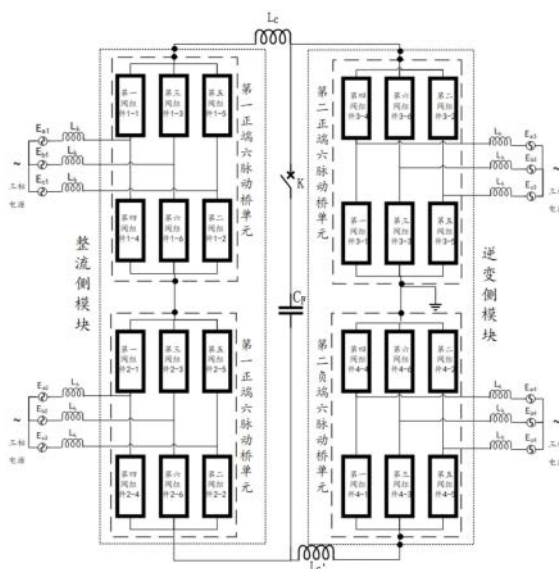
权利要求书2页 说明书10页 附图2页

(54) 发明名称

一种背靠背高压直流输电系统及其解锁启动方法

(57) 摘要

本发明公开了一种背靠背高压直流输电系统解锁启动的设备配置接线方法,包括整流侧平波电抗器、逆变侧平波电抗器、电容、断路器、整流侧换流器和逆变侧换流器;通过整流侧换流器和逆变侧换流器中间并联的电容,整流侧换流器的正端和负端四个阀的全桥导通产生的脉动电流延续到逆变侧换流器的下一次阀触发循环,逆变侧换流器出现全桥导通,则整流侧换流器和逆变侧换流器的三相交流电源均接入背靠背直流输电系统中,系统中建立连续电流,使得背靠背直流输电系统成功解锁启动。



1. 一种背靠背直流输电系统,其特征在于,所述系统包括整流侧平波电抗器、逆变侧平波电抗器、电容、断路器、整流侧换流器和逆变侧换流器:

所述整流侧换流器的输入端分别与所述电容的第一端、所述逆变侧平波电抗器的第一端连接,所述逆变侧平波电抗器的第二端与所述逆变侧换流器的输出端连接;

所述整流侧换流器的输出端与所述整流侧平波电抗器的第一端连接,所述整流侧平波电抗器的第二端分别与所述断路器的第一端、所述逆变侧换流器的输入端连接,所述断路器的第二端与所述电容的第二端连接;

所述整流侧换流器包括两个六脉动桥单元,分别为第一正端六脉动桥单元和第一负端六脉动桥单元;所述整流侧换流器的输入端与所述第一负端六脉动桥单元的输入端连接,所述第一负端六脉动桥单元的输出端与所述第一正端六脉动桥单元的输入端连接,所述第一正端六脉动桥单元的输出端与所述整流侧换流器的输出端连接;

所述逆变侧换流器包括两个六脉动桥单元,分别为第二负端六脉动桥单元和第二正端六脉动桥单元;所述逆变侧换流器的输入端与所述第二正端六脉动桥单元的输入端连接,所述第二正端六脉动桥单元的输出端与所述第二负端六脉动桥单元的输入端连接,所述第二负端六脉动桥单元的输入端接地,所述第二负端六脉动桥单元的输出端与所述逆变侧换流器的输出端连接;

每一六脉动桥单元均包括六个阀组件,分别为第一阀组件、第二阀组件、第三阀组件、第四阀组件、第五阀组件和第六阀组件;

所述六脉动桥单元的输出端分别与所述第一阀组件的输出端、所述第三阀组件的输出端、所述第五阀组件的输出端连接;所述第一阀组件的输入端与所述第四阀组件的输出端连接,所述第三阀组件的输入端与所述第六阀组件的输出端连接,所述第五阀组件的输入端与所述第二阀组件的输出端连接;所述六脉动桥单元的输入端分别与所述第四阀组件的输入端、所述第六阀组件的输入端、所述第二阀组件的输入端连接;

所述第一阀组件的输入端还通过一个换流变压器与三相电源的第一交流端连接,所述第三阀组件的输入端还通过一个换流变压器与所述三相电源的第二交流端连接,所述第五阀组件的输入端还通过一个换流变压器与所述三相电源的第三交流端连接;

所述第一阀组件的控制端、所述第二阀组件的控制端、所述第三阀组件的控制端、所述第四阀组件的控制端、所述第五阀组件的控制端和所述第六阀组件的控制端均用于连接不同的外部控制端。

2. 如权利要求1所述的背靠背直流输电系统,其特征在于,所述每一阀组件包括N个晶闸管组件,分别为第1晶闸管组件~第N晶闸管组件;

第1晶闸管组件的阳极与所述阀组件的输入端连接,所述第1晶闸管组件的阴极与第2晶闸管组件的阳极连接;

第 $i-1$ 晶闸管组件的阴极与第 $i$ 晶闸管组件的阳极连接,第N晶闸管组件的阴极与所述阀组件的输出端连接,每一晶闸管组件的门极与所述阀组件的控制端连接, $N>1, 2\leq i\leq N$ 。

3. 如权利要求2所述的背靠背直流输电系统,其特征在于,所述每一晶闸管组件包括晶闸管和RC组件,所述RC组件由电阻与电容串联构成;

所述晶闸管的阳极分别与所述晶闸管组件的阳极、所述RC组件的第一端连接;所述晶闸管的门极与所述晶闸管组件的门极连接;所述晶闸管的阴极分别所述晶闸管组件的阳

极、所述RC组件的第二端连接。

4. 如权利要求2所述的背靠背直流输电系统,其特征在于,所述电容的电容值为所述阀组件的电容值的6~10倍。

5. 一种背靠背直流输电系统的解锁启动方法,其特征在于,所述方法适用于上述权利要求1~4中任一项所述的背靠背直流输电系统,所述方法包括:

控制合上所述断路器,并接通与每一所述六脉动桥单元连接的三相电源;

控制每一所述六脉动桥单元的六个阀组件按照预设时序依次触发。

6. 如权利要求5所述的背靠背直流输电系统的解锁启动方法,其特征在于,所述预设时序具体为:

按照第一预设时间的间隔依次触发第一阀组件、第二阀组件、第三阀组件、第四阀组件、第五阀组件和第六阀组件;每一阀组件触发第二预设时间后截止。

## 一种背靠背高压直流输电系统及其解锁启动方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及输配电技术领域,尤其涉及一种背靠背高压直流输电系统及其解锁启动方法。

### 背景技术

[0002] 高压直流输电系统解锁启动的控制过程如下:逆变侧先以 $150^\circ$ 电角度的大触发角发脉冲后,触发角相对固定不变,接着整流侧以小于 $150^\circ$ 电角度的大触发角发脉冲,然后逐步移相减小触发角。经过约700mS即35个工频周波的时间,即由闭锁状态进入传输功率状态。高压直流输电系统的晶闸管采用的触发控制方式为窄脉冲等间隔触发。解锁期间控制的一个重要特点是配置有补脉冲功能:控制系统发送给阀控装置的触发命令的有效时间,相当于工频 $120^\circ$ 电角度对应的的时间即6.66mS,称为阀的触发窗口时间,阀控命令的有效时间内称阀处于时间窗口内。如果阀导通后出现截止,之后再检测到阀有正向偏置电压,则给阀补发触发脉冲。解锁启动后的任何时刻,12脉动换流器有四个阀处于时间窗口内。

[0003] 阀的偏置电压由两部分组成,第一是交流电源提供的电压,第二是单阀触发导通后系统电源对不导通阀组件的RC回路电容充电电压。

[0004] 现有技术的直流输电系统在刚解锁时,整流侧换流器触发角逐步移相减少过程中,单阀触发导通对阀的RC回路电容充电,增加了正向偏置电压。当触发角的值尚大时,触发时刻阀连接的交流相电压瞬时值较小,对阀的RC回路电容充电量较少,还不能使时间窗口内的其它阀产生正向偏置状态,不产生补脉冲,单阀触发对RC回路电容充电结束后截止,换流器是单阀间歇导通的工作状态。RC回路电容电量不经截止的阀放电。此阶段直流电压上升缓慢,逆变侧换流器处于截止高阻状态。

[0005] 因此现有技术的时间窗口内,难以另四个阀都补脉冲触发导通,四个阀产生间歇性导通,因此在解锁过程难以产生四阀导通触发循环,形成连续电流,启动直流输电系统。

### 发明内容

[0006] 本发明实施例提供一种背靠背高压直流输电系统及其解锁启动方法,通过整流侧换流器和逆变侧换流器中间并联的电容,使整流侧换流器的正端和负端四个阀的易于产生全桥导通;并使导通产生的脉动电流能够延续到逆变侧换流器的下一次阀触发循环,使得所述输电系统的解锁启动获得完成。

[0007] 本发明一实施例提供一种背靠背直流输电系统,所述系统包括整流侧平波电抗器、逆变侧平波电抗器、电容、断路器、整流侧换流器和逆变侧换流器:

[0008] 所述整流侧换流器的输入端分别与所述电容的第一端、所述逆变侧平波电抗器的第一端连接,所述逆变侧平波电抗器的第二端与所述逆变侧换流器的输出端连接;

[0009] 所述整流侧换流器的输出端与所述整流侧平波电抗器的第一端连接,所述整流侧平波电抗器的第二端分别与所述断路器的第一端、所述逆变侧换流器的输入端连接,所述断路器的第二端与所述电容的第二端连接;

[0010] 所述整流侧换流器包括两个六脉动桥单元,分别为第一正端六脉动桥单元和第一负端六脉动桥单元;所述整流侧换流器的输入端与所述第一负端六脉动桥单元的输入端连接,所述第一负端六脉动桥单元的输出端与所述第一正端六脉动桥单元的输入端连接,所述第一正端六脉动桥单元的输出端与所述整流侧换流器的输出端连接;

[0011] 所述逆变侧换流器包括两个六脉动桥单元,分别为第二负端六脉动桥单元和第二正端六脉动桥单元;所述逆变侧换流器的输入端与所述第二正端六脉动桥单元的输入端连接,所述第二正端六脉动桥单元的输出端与所述第二负端六脉动桥单元的输入端连接,所述第二负端六脉动桥单元的输入端接地,所述第二负端六脉动桥单元的输出端与所述逆变侧换流器的输出端连接;

[0012] 每一六脉动桥单元均包括六个阀组件,分别为第一阀组件、第二阀组件、第三阀组件、第四阀组件、第五阀组件和第六阀组件;

[0013] 所述六脉动桥单元的输出端分别与所述第一阀组件的输出端、所述第三阀组件的输出端、所述第五阀组件的输出端连接;所述第一阀组件的输入端与所述第四阀组件的输出端连接,所述第三阀组件的输入端与所述第六阀组件的输出端连接,所述第五阀组件的输入端与所述第二阀组件的输出端连接;所述六脉动桥单元的输入端分别与所述第四阀组件的输入端、所述第六阀组件的输入端、所述第二阀组件的输入端连接;

[0014] 所述第一阀组件的输入端还通过一个换流变压器与三相电源的第一交流端连接,所述第三阀组件的输入端还通过一个换流变压器与所述三相电源的第二交流端连接,所述第五阀组件的输入端还通过一个换流变压器与所述三相电源的第三交流端连接;

[0015] 所述第一阀组件的控制端、所述第二阀组件的控制端、所述第三阀组件的控制端、所述第四阀组件的控制端、所述第五阀组件的控制端和所述第六阀组件的控制端均用于连接不同的外部控制端。

[0016] 优选地,所述每一阀组件包括N个晶闸管组件,分别为第1晶闸管组件~第N晶闸管组件;

[0017] 第1晶闸管组件的阳极与所述阀组件的输入端连接,所述第1晶闸管组件的阴极与第2晶闸管组件的阳极连接;

[0018] 第 $i-1$ 晶闸管组件的阴极与第 $i$ 晶闸管组件的阳极连接,第N晶闸管组件的阴极与所述阀组件的输出端连接,每一晶闸管组件的门极与所述阀组件的控制端连接, $N>1, 2\leq i\leq N$ 。

[0019] 优选地,所述每一晶闸管组件包括晶闸管和RC组件,所述RC电路组件由电阻与电容串联构成;

[0020] 所述晶闸管的阳极分别与所述晶闸管组件的阴极、所述RC组件的第一端连接;所述晶闸管的门极与所述晶闸管组件的门极连接;所述晶闸管的阴极分别所述晶闸管组件的阳极、所述RC组件的第二端连接。

[0021] 优选地,所述电容的电容值为所述阀组件的电容值的6~10倍。

[0022] 本发明实施例还提供一种背靠背直流输电系统的解锁启动方法,所述方法适用于上述实施例中任一项所述的背靠背直流输电系统,所述方法包括:

[0023] 控制合上所述断路器,并接通与每一所述六脉动桥单元连接的三相电源;

[0024] 控制每一所述六脉动桥单元的六个阀组件按照预设时序依次触发。

[0025] 作为一种优选方式,所述预设时序具体为:

[0026] 按照第一预设时间的间隔依次触发第一阀组件、第二阀组件、第三阀组件、第四阀组件、第五阀组件和第六阀组件;每一阀组件触发第二预设时间后截止。

[0027] 本发明提供一种背靠背高压直流输电系统解锁启动的设备配置接线方法,包括整流侧平波电抗器、逆变侧平波电抗器、电容、断路器、整流侧换流器和逆变侧换流器;通过整流侧换流器和逆变侧换流器中间并联的电容,第一使整流侧换流器的正端和负端四个阀的易于全桥导通,第二产生的脉动电流延续到逆变侧换流器的下一次阀触发循环,逆变侧换流器出现全桥导通,则整流侧换流器和逆变侧换流器的三相交流电源均接入背靠背直流输电系统中,系统中建立连续电流,使得背靠背直流输电系统成功解锁启动。

## 附图说明

[0028] 图1是本发明实施例提供的一种背靠背直流输电系统的结构示意图;

[0029] 图2是本发明实施例提供的一种阀组件的结构示意图;

[0030] 图3是本发明实施例提供的一种背靠背直流输电系统的解锁启动方法的流程示意图。

## 具体实施方式

[0031] 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作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。

[0032] 本发明实施例提供一种背靠背直流输电系统,参见图1,是本发明实施例提供的一种背靠背直流输电系统的结构示意图,所述系统包括整流侧平波电抗器 $L_C$ 、逆变侧平波电抗器 $L_C'$ 、电容 $C_F$ 、断路器 $K$ 、整流侧换流器和逆变侧换流器:

[0033] 所述整流侧换流器的输入端分别与所述电容 $C_F$ 的第一端、所述逆变侧平波电抗器 $L_C'$ 的第一端连接,所述逆变侧平波电抗器 $L_C'$ 的第二端与所述逆变侧换流器的输出端连接;

[0034] 所述整流侧换流器的输出端与所述整流侧平波电抗器 $L_C$ 的第一端连接,所述整流侧平波电抗器 $L_C$ 的第二端分别与所述断路器 $K$ 的第一端、所述逆变侧换流器的输入端连接,所述断路器 $K$ 的第二端与所述电容 $C_F$ 的第二端连接;

[0035] 所述整流侧换流器包括两个六脉动桥单元,分别为第一正端六脉动桥单元和第一负端六脉动桥单元;所述整流侧换流器的输入端与所述第一负端六脉动桥单元的输入端连接,所述第一负端六脉动桥单元的输出端与所述第一正端六脉动桥单元的输入端连接,所述第一正端六脉动桥单元的输出端与所述整流侧换流器的输出端连接;

[0036] 所述逆变侧换流器也包括两个六脉动桥单元,分别为第二负端六脉动桥单元和第二正端六脉动桥单元;所述逆变侧换流器的输入端与所述第二正端六脉动桥单元的输入端连接,所述第二正端六脉动桥单元的输出端与所述第二负端六脉动桥单元的输入端连接,所述第二负端六脉动桥单元的输入端接地,所述第二负端六脉动桥单元的输出端与所述逆变侧换流器的输出端连接;

[0037] 每一六脉动桥单元包括六个阀组件,分别为第一阀组件、第二阀组件、第三阀组

件、第四阀组件、第五阀组件和第六阀组件；

[0038] 所述六脉动桥单元的输出端分别与所述第一阀组件的输出端、所述第三阀组件的输出端、所述第五阀组件的输出端连接；所述第一阀组件的输入端与所述第四阀组件的输出端连接，所述第三阀组件的输入端与所述第六阀组件的输出端连接，所述第五阀组件的输入端与所述第二阀组件的输出端连接；所述六脉动桥单元的输入端分别与所述第四阀组件的输入端、所述第六阀组件的输入端、所述第二阀组件的输入端连接；

[0039] 所述第一阀组件的输入端还通过一个换流变压器与三相电源的第一交流端连接，所述第三阀组件的输入端还通过一个换流变压器与所述三相电源的第二交流端连接，所述第五阀组件的输入端还通过一个换流变压器与所述三相电源的第三交流端连接；

[0040] 所述第一阀组件的控制端、所述第二阀组件的控制端、所述第三阀组件的控制端、所述第四阀组件的控制端、所述第五阀组件的控制端和所述第六阀组件的控制端均用于连接不同的外部控制端。

[0041] 在本实施例具体实施时，所述系统包括整流侧平波电抗器 $L_C$ 、逆变侧平波电抗器 $L_C'$ 、电容 $C_F$ 、断路器 $K$ 、整流侧换流器和逆变侧换流器；

[0042] 所述整流侧换流器的输入端分别与所述电容 $C_F$ 的第一端、所述逆变侧平波电抗器 $L_C'$ 的第一端连接，所述逆变侧平波电抗器 $L_C'$ 的第二端与所述逆变侧换流器的输出端连接；

[0043] 所述整流侧换流器的输出端与所述整流侧平波电抗器 $L_C$ 的第一端连接，所述整流侧平波电抗器 $L_C$ 的第二端分别与所述断路器 $K$ 的第一端、所述逆变侧换流器的输入端连接，所述断路器 $K$ 的第二端与所述电容 $C_F$ 的第二端连接；

[0044] 所述整流侧换流器包括两个六脉动桥单元，分别为第一正端六脉动桥单元和第一负端六脉动桥单元；所述整流侧换流器的输入端与所述第一负端六脉动桥单元的输入端连接，所述第一负端六脉动桥单元的输出端与所述第一正端六脉动桥单元的输入端连接，所述第一正端六脉动桥单元的输出端与所述整流侧换流器的输出端连接；

[0045] 第一正端六脉动桥单元包括第一阀组件1-1、第二阀组件1-2、第三阀组件1-3、第四阀组件1-4、第五阀组件1-5和第六阀组件1-6；

[0046] 第一正端六脉动桥单元的输出端分别与所述第一阀组件1-1的输出端、所述第三阀组件1-3的输出端、所述第五阀组件1-5的输出端连接；所述第一阀组件1-1的输入端与所述第四阀组件1-4的输出端连接，所述第三阀组件1-3的输入端与所述第六阀组件1-6的输出端连接，所述第五阀组件1-5的输入端与所述第二阀组件1-2的输出端连接；所述第一正端六脉动桥单元的输入端分别与所述第四阀组件1-4的输入端、所述第六阀组件1-6的输入端、所述第二阀组件1-2的输入端连接；

[0047] 所述第一阀组件1-1的输入端还通过一个换流变压器 $E_{a1}$ 与三相电源的第一交流端连接，所述第三阀组件1-3的输入端还通过一个换流变压器 $E_{b1}$ 与所述三相电源的第二交流端连接，所述第五阀组件1-5的输入端还通过一个换流变压器 $E_{c1}$ 与所述三相电源的第三交流端连接。

[0048] 需要说明的是换流变压器 $E_{a1}$ 、换流变压器 $E_{b1}$ 与换流变压器 $E_{c1}$ 内部均等同为一个电抗 $L_k$ ；

[0049] 所述第一阀组件2-1的控制端、所述第二阀组件2-2的控制端、所述第三阀组件2-3的控制端、所述第四阀组件2-4的控制端、所述第五阀组件2-5的控制端和所述第六阀组件

2-6的控制端均用于连接不同的外部控制端；

[0050] 第一负端六脉动桥单元包括第一阀组件1-1、第二阀组件1-2、第三阀组件1-3、第四阀组件1-4、第五阀组件1-5和第六阀组件1-6；

[0051] 第一负端六脉动桥单元的输出端分别与所述第一阀组件1-1的输出端、所述第三阀组件1-3的输出端、所述第五阀组件1-5的输出端连接；所述第一阀组件1-1的输入端与所述第四阀组件1-4的输出端连接，所述第三阀组件1-3的输入端与所述第六阀组件1-6的输出端连接，所述第五阀组件1-5的输入端与所述第二阀组件1-2的输出端连接；所述第一负端六脉动桥单元的输入端分别与所述第四阀组件1-4的输入端、所述第六阀组件1-6的输入端、所述第二阀组件1-2的输入端连接；

[0052] 所述第一阀组件1-1的输入端还通过一个换流变压器 $E_{a_2}$ 与三相电源的第一交流端连接，所述第三阀组件1-3的输入端还通过一个换流变压器 $E_{b_2}$ 与所述三相电源的第二交流端连接，所述第五阀组件1-5的输入端还通过一个换流变压器 $E_{c_2}$ 与所述三相电源的第三交流端连接。

[0053] 需要说明的是换流变压器 $E_{a_2}$ 、换流变压器 $E_{b_2}$ 与换流变压器 $E_{c_2}$ 内部均等同为一个电抗 $L_k$ ；所述第一阀组件1-1的控制端、所述第二阀组件1-2的控制端、所述第三阀组件1-3的控制端、所述第四阀组件1-4的控制端、所述第五阀组件1-5的控制端和所述第六阀组件1-6的控制端均用于连接不同的外部控制端；

[0054] 第二正端六脉动桥单元包括第一阀组件3-1、第二阀组件3-2、第三阀组件3-3、第四阀组件3-4、第五阀组件3-5和第六阀组件3-6；

[0055] 第二正端六脉动桥单元的输出端分别与所述第一阀组件3-1的输出端、所述第三阀组件3-3的输出端、所述第五阀组件3-5的输出端连接；所述第一阀组件3-1的输入端与所述第四阀组件3-4的输出端连接，所述第三阀组件3-3的输入端与所述第六阀组件3-6的输出端连接，所述第五阀组件3-5的输入端与所述第二阀组件3-2的输出端连接；所述第二正端六脉动桥单元的输入端分别与所述第四阀组件3-4的输入端、所述第六阀组件3-6的输入端、所述第二阀组件3-2的输入端连接；

[0056] 所述第一阀组件3-1的输入端还通过一个换流变压器 $E_{a_3}$ 与三相电源的第一交流端连接，所述第三阀组件3-3的输入端还通过一个换流变压器 $E_{b_3}$ 与所述三相电源的第二交流端连接，所述第五阀组件3-5的输入端还通过一个换流变压器 $E_{c_3}$ 与所述三相电源的第三交流端连接。

[0057] 需要说明的是换流变压器 $E_{a_3}$ 、换流变压器 $E_{b_3}$ 与换流变压器 $E_{c_3}$ 内部均等同为一个电抗 $L_k$ ；所述第一阀组件3-1的控制端、所述第二阀组件3-2的控制端、所述第三阀组件3-3的控制端、所述第四阀组件3-4的控制端、所述第五阀组件3-5的控制端和所述第六阀组件3-6的控制端均用于连接不同的外部控制端；

[0058] 第二负端六脉动桥单元包括第一阀组件4-1、第二阀组件4-2、第三阀组件4-3、第四阀组件4-4、第五阀组件4-5和第六阀组件4-6；

[0059] 第二负端六脉动桥单元的输出端分别与所述第一阀组件4-1的输出端、所述第三阀组件4-3的输出端、所述第五阀组件4-5的输出端连接；所述第一阀组件4-1的输入端与所述第四阀组件4-4的输出端连接，所述第三阀组件4-3的输入端与所述第六阀组件4-6的输出端连接，所述第五阀组件4-5的输入端与所述第二阀组件4-2的输出端连接；所述第二负



端六脉动桥单元的输入端分别与所述第四阀组件4-4的输入端、所述第六阀组件4-6的输入端、所述第二阀组件4-2的输入端连接；

[0060] 所述第一阀组件4-1的输入端还通过一个换流变压器 $E_{a4}$ 与三相电源的第一交流端连接,所述第三阀组件4-3的输入端还通过一个换流变压器 $E_{b4}$ 与所述三相电源的第二交流端连接,所述第五阀组件4-5的输入端还通过一个换流变压器 $E_{c4}$ 与所述三相电源的第三交流端连接。

[0061] 需要说明的是换流变压器 $E_{a4}$ 、换流变压器 $E_{b4}$ 与换流变压器 $E_{c4}$ 内部均等同为一个电抗 $L_k$ ；

[0062] 所述第一阀组件4-1的控制端、所述第二阀组件4-2的控制端、所述第三阀组件4-3的控制端、所述第四阀组件4-4的控制端、所述第五阀组件4-5的控制端和所述第六阀组件4-6的控制端均用于连接不同的外部控制端；

[0063] 本发明实施例提供的一种背靠背直流输电系统,包括整流侧平波电抗器、逆变侧平波电抗器、电容、断路器、整流侧换流器和逆变侧换流器;通过整流侧换流器和逆变侧换流器中间并联的电容,能够使得,第一、整流侧换流器的正端和负端四个阀的全桥导通,第二、产生的脉动电流延续到逆变侧换流器的下一次阀触发循环,逆变侧换流器出现全桥导通,则整流侧换流器和逆变侧换流器的三相交流电源均接入背靠背直流输电系统中,系统中建立连续电流,使得背靠背直流输电系统成功解锁启动。

[0064] 在本发明提供的又一实施例中,所述每一阀组件包括N个晶闸管组件,分别为第1晶闸管组件~第N晶闸管组件；

[0065] 第1晶闸管组件的阳极与所述阀组件的输入端连接,所述第1晶闸管组件的阴极与所述第2晶闸管组件的阳极连接；

[0066] 第 $i-1$ 晶闸管组件的阴极与第 $i$ 晶闸管组件的阳极连接,第N晶闸管组件的阴极与所述阀组件的输出端连接,每一晶闸管组件的门极与所述阀组件的控制端连接, $N>1, 2\leq i\leq N$ 。

[0067] 在本实施例具体实施时,参见图2,是本发明实施例提供的一种阀组件的结构示意图,阀组件包括若干个晶闸管组件；

[0068] 需要说明的是,在本实施例中以晶闸管组件1和晶闸管组件N为例说明阀组件的具体连接方式,在其他实施例中,阀组件可由多个晶闸管构成,具体连接方式类似,在此不作赘述；

[0069] 晶闸管组件1的阳极与阀组件的输入端连接,晶闸管组件1的阴极与晶闸管组件N的阳极连接;晶闸管组件N的阴极与所述阀组件的输出端连接,晶闸管组件1的门极和晶闸管组件N的门极均与所述阀组件的控制端连接；

[0070] 在本发明提供的又一实施例中,所述每一晶闸管组件包括晶闸管和RC组件,所述RC电路组件由电阻与电容串联构成；

[0071] 所述晶闸管的阳极分别与所述晶闸管组件的阳极、所述RC组件的第一端连接;所述晶闸管的门极与所述晶闸管组件的门极连接;所述晶闸管的阴极分别所述晶闸管组件的阳极、所述RC组件的第二端连接。

[0072] 在本实施例具体实施时,参见图2,晶闸管组件1包括晶闸管Q1和RC组件1;晶闸管组件N包括晶闸管QN和RC组件N;RC电路组件1由电阻R1与电容C1串联构成,RC电路组件2由

电阻RN与电容CN串联构成。

[0073] 晶闸管Q1的阳极与晶闸管组件1的阳极连接和RC组件1的第一端连接,晶闸管Q1的阴极与晶闸管组件2的阴极和RC组件1的第二端连接,晶闸管Q1的门极与晶闸管组件1的门极连接;

[0074] 晶闸管QN的阳极与晶闸管组件N的阳极连接和RC组件N的第一端连接,晶闸管QN的阴极与晶闸管组件N的阴极和RC组件N的第二端连接,晶闸管QN的门极与晶闸管组件N的门极连接;

[0075] 需要说明的是,在本实施例中,以两个晶闸管为例说明晶闸管组件的内部连接关系,在其他实施例中,晶闸管组件中晶闸管的数量可为多个,其具体连接关系与本实施例具体实施时相似,在此不做赘述。

[0076] 通过晶闸管组件的门极能够控制阀组件导通,所述RC电路组件能够用于进行导通过程中的充放电,实现电路启动。

[0077] 在本发明提供的又一实施例中,所述电容的电容值为所述阀组件的电容值的6~10倍。

[0078] 在本实施例具体实施是,所述电容的电容值为所述阀组件电容值的6~10倍;

[0079] 其中每一阀组件的电容值应设置相同,或具有相同的量级,所述电容的电容值比阀组件的电容值高一个量级;

[0080] 通过这样的电路参数设计能够便于直流输电系统解锁启动。

[0081] 本发明实施例提供一种背靠背直流输电系统,包括整流侧平波电抗器、逆变侧平波电抗器、电容、断路器、整流侧换流器和逆变侧换流器;通过整流侧换流器和逆变侧换流器中间并联的电容,能够使得,整流侧换流器的正端和负端四个阀的全桥导通产生的脉动电流延续到逆变侧换流器的下一次阀触发循环,逆变侧换流器出现全桥导通,则整流侧换流器和逆变侧换流器的三相交流电源均接入背靠背直流输电系统中,系统中建立连续电流,使得背靠背直流输电系统成功解锁启动。

[0082] 本发明又一实施例提供一种背靠背直流输电系统的解锁启动方法,适用于上述任一实施例所述的背靠背直流输电系统,参见图3,是本发明实施例提供的一种一种背靠背直流输电系统的解锁启动方法的流程示意图,所述方法包括步骤S1~S2:

[0083] S1,控制合上所述断路器,并接通与每一所述六脉动桥单元连接的三相电源;

[0084] S2,控制每一所述六脉动桥单元的六个阀组件按照预设时序依次导通。

[0085] 在本发明提供的又一实施例中,所述预设时序具体为:

[0086] 按照第一预设时间的间隔依次导通第一阀组件、第二阀组件、第三阀组件、第四阀组件、第五阀组件和第六阀组件;每一阀组件导通第二预设时间后截止。

[0087] 在本实施例具体实施时,通过外部控制系统通过控制背靠背直流输电系统的六脉动桥单元触发时序,按照第一预设时间的间隔依次触发第一阀组件、第二阀组件、第三阀组件、第四阀组件、第五阀组件和第六阀组件;每一阀组件触发第二预设时间后截止,第二预设时间可为第一预设时间的四倍,这样可以使得同时存在四个阀组件导通,通过电容使得背靠背直流系统的整流侧换流器形成回路,将初步的交流电压分在整流侧换流器的阀组件上,从而避免在启动过程中逆变侧换流器的阀组件分压,便于整流侧换流器的阀组件的全桥导通,逆变侧换流器在整流侧换流器启动后,同理能够顺利启动。

[0088] 在本发明提供的又一实施例中,为了要形成电流通路,需要整流侧换流器的4个阀导通期间,逆变侧换流器的4个阀被触发导通。全桥导通形成过程中,当前新进入时间窗口内的阀在控制发来的脉冲作用下触发导通,对阀的RC回路充电,在一定条件下使时间窗口内的其它阀出现正向偏置电压,会产生补脉冲触发导通。将此暂态过程近似为二阶RLC电路的响应,得出时间窗口内的阀偏置电压变化的规律,以及换流器出现全桥导通的条件。

[0089] 为了使这两个问题获得改善,整流侧平波电抗器和逆变侧平波电抗器之间接入 $C_F=0.2\mu\text{F}$ 直流滤波器电容。以高压端六脉动桥的阀1触发导通来分析,三相电源A相经过第一阀组件接平波电抗器接入 $0.2\mu\text{F}$ 直流滤波器电容,到直流中性点侧接本侧不导通的三个半桥的缓冲RC回路返回系统电源,整流侧换流器电流通路不再经逆变侧换流器而实现了解藕,该电流通路也是一个串联的RLC电路。

[0090] 具体实施时电路参数为: $L_C=150\text{mH}$ ,换流变压器设备的容量 $3S_\varphi=3*199.0\text{MVA}$ ,阀侧电压 $E=135.2\text{kV}$ ,短路电抗 $X_k=16.5\%$ 。关于阀组件,一个阀组件由4个阀段组成,每个阀段有14个晶闸管和RC电路组件,所以每个阀有56个晶闸管,参数如下: $R1=36\Omega\pm 3\%$ , $C1=1.6\mu\text{F}\pm 5\%$ 。

[0091] 在上述设备参数的基础之上,忽略一些次要的因素,得出晶闸管截止时换流阀电路为一个串联的RLC电路在系统解锁触发瞬间,得出整流侧换流器单阀间歇导通的RLC电路参数为: $R=2.016\text{k}\Omega$ , $C=25.0\text{nF}$ , $L=178.8\text{mH}$ 。

[0092] 以触发角 $85^\circ$ 计算初始触发时三相电源A输出的相电压具体计算过程为,

$U_S=E_{\varphi m}\sin(\alpha+30^\circ)=0.906E_{\varphi m}=100.0\text{kV}$ , 计算得 $m=4L/R^2C=7.06$ 。暂态电压过冲峰值如下: $-\delta t_N=-\delta\frac{\pi}{\omega}=\frac{-\pi}{\sqrt{m-1}}=-1.27$ , 所以 $U_N=U_S e^{-\delta t_N}=0.279U_S$ ,  $e^{-\delta t_N}=0.279$ 为电压过冲峰值系数,

振荡半周时间, $t_N=\frac{0.5\pi m}{\sqrt{m-1}}RC=4.5RC=226.9\mu\text{s}$ , 也是电流脉冲宽度。振荡半周时间相应的工频电角

度为 $4.08^\circ$ ,相应的相电压, $U_{S,END}=E_{\varphi m}\sin(\alpha+30^\circ+4.08^\circ)=0.874E_{\varphi m}$ ,所以暂态过程中近似地认为相电压不变。暂态过程中每个阀组件的缓冲RC回路获得直流分量电压为,

$U_B=\frac{1}{3}\times\frac{-C_F}{C_F+C_V}U_C=\frac{-C_F}{3(C_F+C_V)}(1+e^{-\delta t_N})U_S$  得 $U_B=-0.343E_{\varphi m}$ , 整流侧换流器的直流分量电压

负值利于晶闸管获得正向偏置电压。

[0093] 触发角 $85^\circ$ 度时,在同一窗口期,整流侧换流器的四个阀组件称为窗口阀组件,因此四个窗口阀组件的交流分量电压, $0.906E_{\varphi m}$ , $0.574E_{\varphi m}$ , $0.0871E_{\varphi m}$ , $-0.423E_{\varphi m}$ ,顺序第一的窗口阀组件为当前触发阀组件,其余各窗口阀组件的直流分量电压为 $U_B=-0.343E_{\varphi m}$ 。各窗口阀组件的偏置电压为交流分量电压减去直流分量电压,顺序第二、三窗口阀组件获得正偏置电压,顺序第四窗口阀组件是负偏置电压。接入 $0.2\mu\text{F}$ 直流滤波器电容情况下,3个阀导通之后四个窗口电压交流分量的和加在最后一个没导通的阀上,则产生正向偏置电压而形成全桥导通。

[0094]  $160\text{kV}$ 背靠背整流侧换流器全桥导通的计算,电流通路为整流侧换流器输出脉动电压接平波电抗器又接入 $0.2\mu\text{F}$ 直流滤波器电容,得出RLC电路参数为: $R=0.0\Omega$ , $C=$

0.2 $\mu$ F, L=239.6mH。计算得振荡半周时间,  $t_N=0.5T_\omega=\pi\sqrt{LC}=0.686mS$ , 也是电流脉冲宽度, 对应的工频相角12.3°。

[0095] 以整流侧换流器触发角30°度全桥导通过后, 分析下次触发的电路过程。整流侧换流器各阀组件的直流分量电压为窗口阀组件的截止时的交流分量电压,

$$E_{\varphi m} \sin(30^\circ + \alpha + \omega t), E_{\varphi m} \sin(60^\circ + \alpha + \omega t), E_{\varphi m} \sin(90^\circ + \alpha + \omega t), E_{\varphi m} \sin(120^\circ + \alpha + \omega t), \text{取 } \omega t = 12.3^\circ, \text{得}$$

$$0.953E_{\varphi m}, 0.977E_{\varphi m}, 0.740E_{\varphi m}, 0.304E_{\varphi m}。$$

[0096] 全桥导通又截止后, 整流侧换流器和逆变侧换流器进入振荡过程, 忽略振荡过程对直流分量电压的影响, 即保持窗口阀组件的截止时的值。下次触发时最先进入窗口期的阀退出, 各窗口阀组件的交流分量电压初始值,  $\sqrt{2}E_\varphi \sin(60^\circ + \alpha)$ ,

$$\sqrt{2}E_\varphi \sin(90^\circ + \alpha), \sqrt{2}E_\varphi \sin(120^\circ + \alpha), \sqrt{2}E_\varphi \sin(30^\circ + \alpha), \text{得 } 1.0E_{\varphi m}, 0.866E_{\varphi m}, 0.5E_{\varphi m}, 0.866E_{\varphi m}。$$

顺序第四窗口阀组件引发单阀触发的暂态过程, 引起各窗口阀组件的直流分量电压变化, 不考虑

$$\text{电压过冲时阀组件的直流分量电压变化, } U_B = \frac{1}{3} \times \frac{-C_F}{C_F + C_V} (0.866 - 0.304)E_{\varphi m}, U_B = -0.166E_{\varphi m} \text{ 即, 直流分}$$

量电压叠加变化量得整流侧换流器各阀组件的新直流分量电压,  $0.787E_{\varphi m}, 0.811E_{\varphi m}, 0.584E_{\varphi m}$ ,

正向偏置电压为交流分量减去直流分量, 顺序第一、二窗口阀组件获得正向偏置, 顺序第三窗口阀组件反向偏置, 顺序第四阀是当前触发阀。接入0.2 $\mu$ F直流滤波器电容情况下, 会起到钳制直流电压的作用, 3个阀组件导通之后四个窗口阀组件交流分量电压的和减去端口直流电压加在最后一个没导通的阀组件上, 则产生正向偏置电压而形成全桥导通。

[0097] 临界全桥导通的判断条件为整流方式下换流器的输出初始电压大于直流电压值  $U_d$ :  $2\sqrt{2}E \cos 15^\circ \sin(\alpha + 75^\circ) > U_d$ 。

[0098] 以触发角30°度计算初始触发时的输出脉动电压初值得,

$$U_s = 2\sqrt{2} \cos 15^\circ E \sin(75^\circ + 30^\circ) = 356.8kV, \text{ 阀截止时刻换流器输出脉动电压,}$$

$$U_s = 2\sqrt{2} \cos 15^\circ E \sin(105^\circ + 12^\circ) = 329.1kV, \text{ 其脉动性较平缓接近直流, 这里认为不变。}$$

[0099] 假设逆变侧换流器触发角150°相对固定不变, 则逆变侧换流器换流器初始触发时, 窗口阀组件的交流分量电压,  $E_{\varphi m} \sin(30^\circ + \alpha + \omega t), E_{\varphi m} \sin(60^\circ + \alpha + \omega t),$

$$E_{\varphi m} \sin(90^\circ + \alpha + \omega t), E_{\varphi m} \sin(120^\circ + \alpha + \omega t), \text{开始触发时取 } \omega t = 0^\circ, \text{得 } 0.0E_{\varphi m}, -0.5E_{\varphi m}, -0.866E_{\varphi m}, -1.0E_{\varphi m}。$$

若端口直流电压可以使逆变侧换流器全桥导通, 截止时刻,  $\omega t = 12.3^\circ$ , 得窗口阀组件的交流分量电压  $-0.21E_{\varphi m}, -0.673E_{\varphi m}, -0.952E_{\varphi m}, -0.977E_{\varphi m}$ 。按照参考方向窗口阀组件的直流分量为全桥截止时的交流分量电压负值,  $0.21E_{\varphi m}, 0.673E_{\varphi m}, 0.952E_{\varphi m}, 0.977E_{\varphi m}$ 。

$$0.21E_{\varphi m}, 0.673E_{\varphi m}, 0.952E_{\varphi m}, 0.977E_{\varphi m}。$$

[0100] 下次触发时最先进入窗口期的阀退出, 各窗口阀组件的交流分量电压初始值,

$$\sqrt{2}E_\varphi \sin(60^\circ + \alpha), \sqrt{2}E_\varphi \sin(90^\circ + \alpha), \sqrt{2}E_\varphi \sin(120^\circ + \alpha), \sqrt{2}E_\varphi \sin(30^\circ + \alpha), \text{得 } -0.5E_{\varphi m}, -0.866E_{\varphi m}, -1.0E_{\varphi m}, 0.0E_{\varphi m}。$$

顺序第四阀是当前触发阀, 引发单阀触发的暂态过程, 引起各窗口阀组件的直流分量电压变化, 不考虑

$$\text{电压过冲时阀组件的直流分量电压变化量, } U_B = \frac{1}{3} \times \frac{C_F}{C_F + C_V} (0.977 - 0.0)E_{\varphi m}, \text{ 即 } U_B = 0.289E_{\varphi m}。 \text{原直流}$$

分量电压加上变化量得逆变侧换流器各阀组件的新直流分量电压,  $0.499E_{\varphi m}$ ,  $0.962E_{\varphi m}$ ,  $1.241E_{\varphi m}$ , 正向偏置电压为直流分量加上交流分量, 顺序第一阀组件临界状态, 顺序第二、三阀组件获得正向偏置, 顺序第四阀组件是当前触发阀, 换流器能形成全桥导通。

[0101] 以上说明了接入  $C_F=0.2\mu\text{F}$  直流滤波器电容后, 当整流侧换流器建立了一定的直流电压后, 逆变侧换流器的单阀触发能使各窗口阀组件获得正向偏置从而产生补脉冲形成全桥导通。

[0102] 本发明提供一种背靠背高压直流输电系统解锁启动的设备配置接线方法, 包括整流侧平波电抗器、逆变侧平波电抗器、电容、断路器、整流侧换流器和逆变侧换流器; 通过整流侧换流器和逆变侧换流器中间并联的电容, 整流侧换流器的正端和负端四个阀的全桥导通产生的脉动电流能够延续到逆变侧换流器的下一次阀触发循环, 逆变侧换流器出现全桥导通, 则整流侧换流器和逆变侧换流器的三相交流电源均接入背靠背直流输电系统中, 系统中建立连续电流, 使得背靠背直流输电系统成功解锁启动。

[0103] 以上所述是本发明的优选实施方式, 应当指出, 对于本技术领域的普通技术人员来说, 在不脱离本发明原理的前提下, 还可以做出若干改进和润饰, 这些改进和润饰也视为本发明的保护范围。

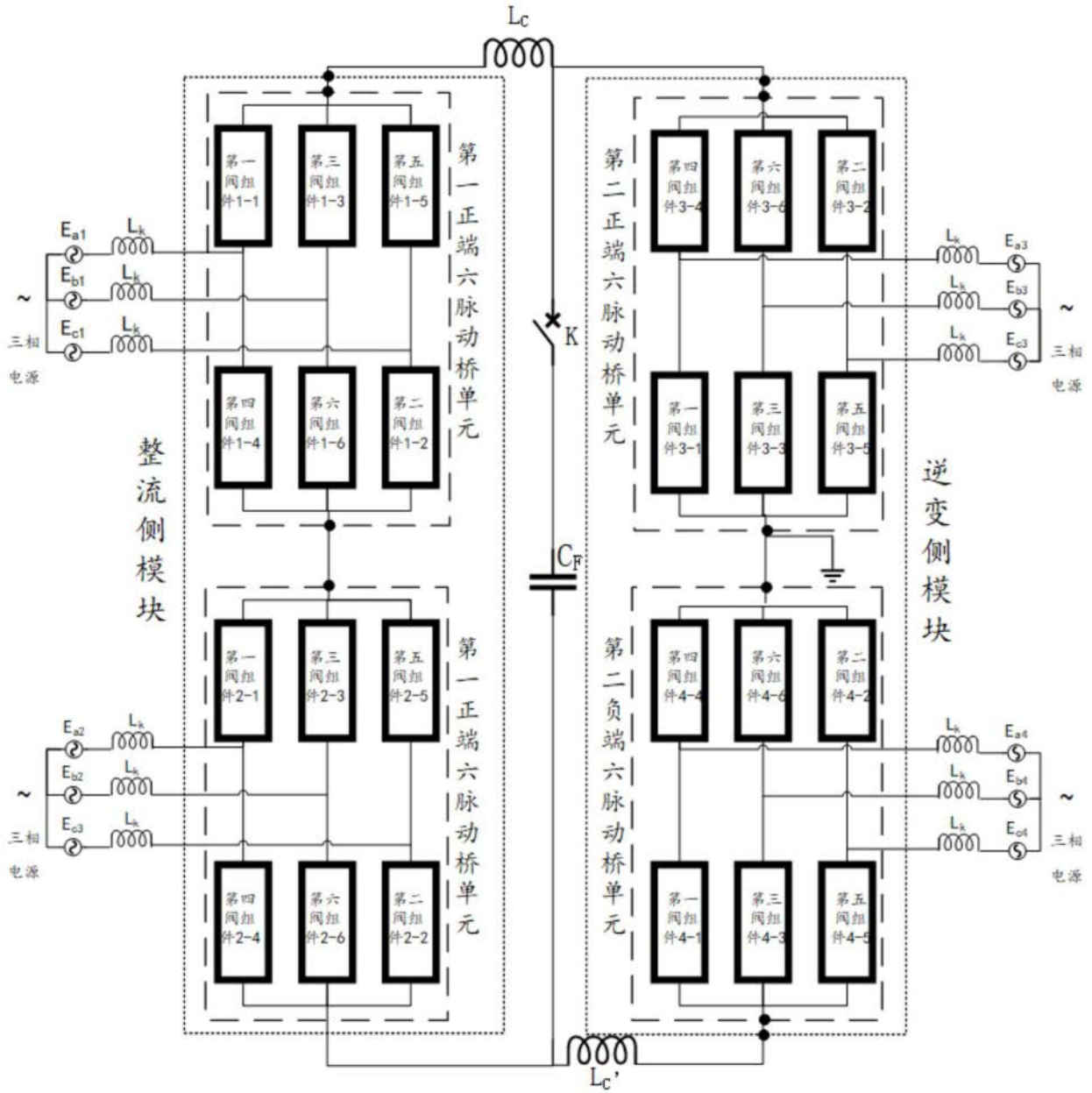


图1

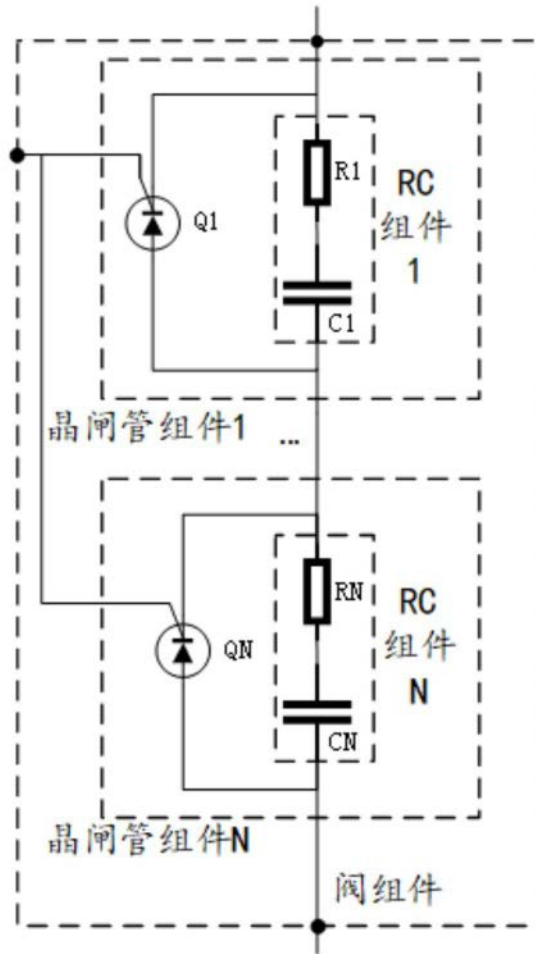


图2

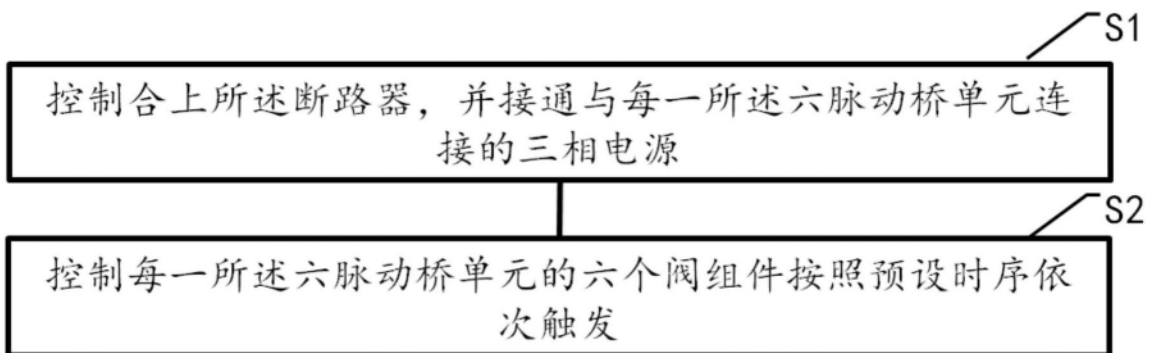


图3