



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 109510178 B

(45) 授权公告日 2020.11.10

(21) 申请号 201811232058.3

(22) 申请日 2018.10.22

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 109510178 A

(43) 申请公布日 2019.03.22

(73) 专利权人 国网浙江省电力有限公司电力科学
研究院

地址 310014 浙江省杭州市下城区朝晖八
区华电弄1号

专利权人 国家电网有限公司
国网浙江省电力有限公司

(72) 发明人 许烽 杨勇 李继红 王敏
朱承治 陆翌 毛航银 王朝亮

(74) 专利代理机构 浙江翔隆专利事务所(普通
合伙) 33206

代理人 张建青

(51) Int.Cl.
H02H 7/26 (2006.01)
H02H 7/22 (2006.01)
H02J 3/36 (2006.01)

审查员 陈文达

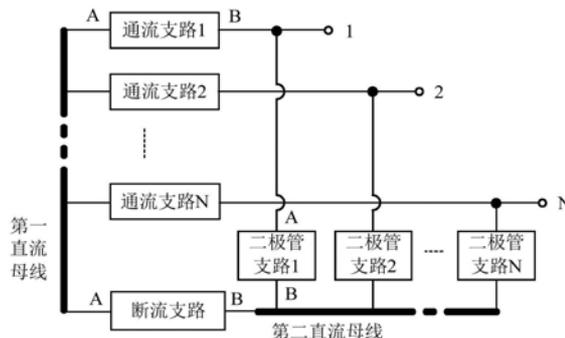
权利要求书2页 说明书5页 附图2页

(54) 发明名称

一种二极管钳位式多端口直流断路器及其
动作时序

(57) 摘要

本发明公开了一种二极管钳位式多端口直
流断路器及其时序动作。本发明采用的技术方案
为：用于正极的直流断路器内，所述断流支路的一
端与第一直流母线相连，另一端与第二直流母
线相连，第一直流母线与通流支路的A端连接，通
流支路的B端与外接端口相连，第二直流母线与
二极管支路的一端连接，二极管支路的另一端与
外接端口相连；用于负极的直流断路器内，所述
断流支路的一端与第一直流母线相连，另一端与
第二直流母线相连，第一直流母线与二极管支路
的一端连接，二极管支路的另一端与外接端口相
连，第二直流母线与通流支路的A端连接，通流支
路的B端与外接端口相连。本发明能够有效实现
直流故障隔离，确保剩余健全系统的正常运行。



1. 一种二极管钳位式多端口直流断路器,包括用于正极的直流断路器和用于负极的直流断路器,两者均包含:两条直流母线、一条断流支路、N条通流支路、N条二极管支路和N个外接端口,其中,N对应于与直流断路器相连的换流器和直流线路个数,其特征在于,

用于正极的直流断路器内,所述断流支路的一端与第一直流母线相连,另一端与第二直流母线相连,第一直流母线与通流支路的A端连接,通流支路的B端与外接端口相连,第二直流母线与二极管支路的一端连接,二极管支路的另一端与外接端口相连;

用于负极的直流断路器内,所述断流支路的一端与第一直流母线相连,另一端与第二直流母线相连,第一直流母线与二极管支路的一端连接,二极管支路的另一端与外接端口相连,第二直流母线与通流支路的A端连接,通流支路的B端与外接端口相连;

所述的通流支路包括一个超快速机械开关和一个负荷转移开关;超快速机械开关的一端作为通流支路的端A,超快速机械开关的另一端与负荷转移开关的一端相连,负荷转移开关的另一端作为通流支路的端B;

所述二极管支路由 N_d 个相互串联的二极管构成, N_d 的计算公式如下:

$$N_d = \text{floor} \left(k_d \frac{U_{db}}{U_{diode}} \right),$$

其中,floor为取整函数, U_{db} 为直流断路器端间额定电压, U_{diode} 为单个二极管可承受的额定电压, k_d 为二极管冗余系数。

2. 根据权利要求1所述的二极管钳位式多端口直流断路器,其特征在于,所述的断流支路包括 N_b 个相互串联的断流单元,所述断流单元由 N_g 个IGBT相互串联再并联一个避雷器构成, N_b 和 N_g 计算公式如下:

$$N_b = \text{floor} \left(k_b \frac{U_{db}}{U_{bu}} \right), \quad N_g = \text{floor} \left(k_g \frac{U_{bu}}{U_{igbt}} \right),$$

其中,floor为取整函数, U_{db} 为直流断路器端间额定电压, U_{bu} 为单个断流单元端间额定电压, U_{igbt} 为单个IGBT可承受的额定电压, k_b 为断流单元冗余系数, k_g 为断流单元内IGBT的冗余系数。

3. 根据权利要求2所述的二极管钳位式多端口直流断路器,其特征在于,所述的 $k_b=2$, $k_g=1.1$ 。

4. 根据权利要求1所述的二极管钳位式多端口直流断路器,其特征在于,所述的 $k_d=1.1$ 。

5. 根据权利要求1所述的二极管钳位式多端口直流断路器,其特征在于,所述超快速机械由 N_m 个相互串联的断口构成, N_m 的计算公式如下:

$$N_m = \text{floor} \left(k_m \frac{U_{db}}{U_{duan}} \right),$$

其中,floor为取整函数, U_{db} 为直流断路器端间额定电压, U_{duan} 为单个断口可承受的额定电压, k_m 为断口冗余系数。

6. 根据权利要求5所述的二极管钳位式多端口直流断路器,其特征在于,所述的 $k_m=$

1.5。

7. 根据权利要求1所述的二极管钳位式多端口直流断路器,其特征在于,所述负荷转移开关由IGBT阀组并联晶闸管旁路阀组构成,所述的IGBT阀组由 N_{tp} 组 N_{ts} 个串联IGBT并联构成,所述的晶闸管旁路阀组由 N_{rp} 组 N_{rs} 个串联双向晶闸管并联构成, N_{ts} 、 N_{tp} 、 N_{rs} 和 N_{rp} 的计算公式如下:

$$N_{ts} = \text{floor} \left(k_{ts} \frac{U_{dt}}{U_{igbt}} \right), \quad N_{tp} = \text{floor} \left(k_{tp} \frac{I_{rm}}{I_{igbt}} \right),$$

$$N_{rs} = \text{floor} \left(k_{rs} \frac{U_{dt}}{U_{thy}} \right), \quad N_{rp} = \text{floor} \left(k_{rp} \frac{I_{rm}}{I_{thy}} \right),$$

其中, U_{dt} 为断流支路导通、负荷转移开关关断下负荷转移开关端间额定电压, I_{rm} 为流过负荷转移开关最大短路电流, I_{igbt} 为单个IGBT最大可承受的百毫秒级过流能力, U_{thy} 为单个晶闸管可承受的额定电压, I_{thy} 为单个晶闸管最大可承受的百毫秒级过流能力, k_{ts} 为IGBT串联冗余系数, k_{tp} 为IGBT串联组冗余系数, k_{rs} 为晶闸管串联冗余系数, k_{rp} 为晶闸管串联组冗余系数。

8. 权利要求1-7任一项所述二极管钳位式多端口直流断路器的动作时序,其特征在于,正常运行情况下,通流支路内的超快速机械开关闭合、负荷转移开关导通,通流支路导通,断流支路关断,直流电流从通流支路流通;故障发生后,动作时序如下:

- 1) 根据故障定位结果,明确故障位置和需要执行故障隔离的多端口直流断路器;
- 2) 接收到分断指令的直流断路器,立即开通断流支路;
- 3) 关断与故障线路相连的通流支路内的负荷转移开关,待流过通流支路的电流减小至零时,将超快速机械开关断开;
- 4) 关断断流支路,故障电流及能量通过避雷器泄放;
- 5) 待流过故障线路的电流为零时,断开故障线路两侧的隔离闸刀,完成故障物理隔离。

一种二极管钳位式多端口直流断路器及其动作时序

技术领域

[0001] 本发明属于直流电网领域,具体地说是一种二极管钳位式多端口直流断路器及动作时序。

背景技术

[0002] 基于电压源型换流器的柔性直流输电技术因其灵活的控制调节能力,近年来受到了国内外学术界和工程界广泛的关注和研究,但需要解决直流短路故障的隔离和切除问题,因而依赖于直流断路器等新技术的发展。高压直流断路器主要分为机械式、固态式和混合式3种类型,其中,结合了常规开关和电力电子器件,最早由ABB研制成功的混合型高压直流断路器最具商业应用价值,备受青睐。

[0003] 在直流电网中,为有效切除故障线路尽快恢复直流电网剩余健全系统,每条直流线路两端都必须安装直流断路器,直流断路器使用个数颇多,尤其是在电网拓扑较为复杂的环网状结构中,直流断路器的使用个数将明显超过换流器个数。加之当前直流断路器受限于电力电子等器件价格影响,单体成本较为昂贵,导致直流电网投资成本翻倍增加,极不利于直流断路器的推广应用。

[0004] 中国专利申请号2015104836568公开了一种“MMC-HVDC系统及其直流侧隔离装置和隔离方法”;中国专利申请号2016101589116公开了“一种电流转移型高压直流断路器”。从直流断路器高造价器件复用的角度出发,提出了两种新拓扑,能够有效减少直流电网中,直流断路器的总成本,为直流断路器的工程化使用提供了新思路和新方法。但是,第一种拓扑(申请号:2015104836568)在直流故障隔离期间,会形成直流侧多点直接接地模式,会对直流系统产生二次冲击且影响范围大;第二种拓扑(申请号:2016101589116)在动作过程中需要多个超快速机械开关同时断开,导致直流断路器故障隔离的可靠性大大降低。

发明内容

[0005] 针对上述现有技术存在的问题,本发明从直流断路器低成本和高可靠出发,提出一种二极管钳位式多端口直流断路器,其具有与电流转移型直流断路器相同的故障隔离能力,但故障处理过程涉及的动作元件明显减少,不再需要多个超快速机械开关同时动作,直流断路器动作成功率将显著增加。

[0006] 为此,本发明采用如下的技术方案:一种二极管钳位式多端口直流断路器,包括用于正极的直流断路器和用于负极的直流断路器,两者均包含:两条直流母线、一条断流支路、N条通流支路、N条二极管支路和N个外接端口,其中,N对应于与直流断路器相连的换流器和直流线路个数;

[0007] 用于正极的直流断路器内,所述断流支路的一端与第一直流母线相连,另一端与第二直流母线相连,第一直流母线与通流支路的A端连接,通流支路的B端与外接端口相连,第二直流母线与二极管支路的一端连接,二极管支路的另一端与外接端口相连;

[0008] 用于负极的直流断路器内,所述断流支路的一端与第一直流母线相连,另一端与

第二直流母线相连,第一直流母线与二极管支路的一端连接,二极管支路的另一端与外接端口相连,第二直流母线与通流支路的A端连接,通流支路的B端与外接端口相连。

[0009] 作为上述技术方案的补充,所述的通流支路包括一个超快速机械开关和一个负荷转移开关;超快速机械开关的一端作为通流支路的端A,超快速机械开关的另一端与负荷转移开关的一端相连,负荷转移开关的另一端作为通流支路的端B。

[0010] 作为上述技术方案的补充,所述的断流支路包括 N_b 个相互串联的断流单元,所述断流单元由 N_g 个IGBT相互串联再并联一个避雷器构成, N_b 和 N_g 计算公式如下:

$$[0011] \quad N_b = \text{floor} \left(k_b \frac{U_{db}}{U_{bu}} \right), \quad N_g = \text{floor} \left(k_g \frac{U_{bu}}{U_{igbt}} \right),$$

[0012] 其中,floor为取整函数, U_{db} 为直流断路器端间额定电压, U_{bu} 为单个断流单元端间额定电压, U_{igbt} 为单个IGBT可承受的额定电压, k_b 为断流单元冗余系数, k_g 为断流单元内IGBT的冗余系数。

[0013] 为有效提升多端口直流断路器的动作可靠性,可取 $k_b=2, k_g=1.1$ 。

[0014] 作为上述技术方案的补充,所述二极管支路由 N_d 个相互串联的二极管构成, N_d 的计算公式如下:

$$[0015] \quad N_d = \text{floor} \left(k_d \frac{U_{db}}{U_{diode}} \right),$$

[0016] 其中,floor为取整函数, U_{db} 为直流断路器端间额定电压, U_{diode} 为单个二极管可承受的额定电压, k_d 为二极管冗余系数。可取 $k_d=1.1$ 。

[0017] 作为上述技术方案的补充,作为上述技术方案的补充,所述超快速机械由 N_m 个相互串联的断口构成, N_m 的计算公式如下:

$$[0018] \quad N_m = \text{floor} \left(k_m \frac{U_{db}}{U_{duan}} \right),$$

[0019] 其中,floor为取整函数, U_{db} 为直流断路器端间额定电压, U_{duan} 为单个断口可承受的额定电压, k_m 为断口冗余系数。

[0020] 考虑到断口机械应力要求高,可靠性差,可取 $k_m=1.5$ 。

[0021] 作为上述技术方案的补充,所述负荷转移开关由IGBT阀组并联晶闸管旁路阀组构成,所述的IGBT阀组由 N_{tp} 组 N_{ts} 个串联IGBT并联构成,所述的晶闸管旁路阀组由 N_{rp} 组 N_{rs} 个串联双向晶闸管并联构成, N_{ts} 、 N_{tp} 、 N_{rs} 和 N_{rp} 的计算公式如下:

$$[0022] \quad N_{ts} = \text{floor} \left(k_{ts} \frac{U_{dt}}{U_{igbt}} \right), \quad N_{tp} = \text{floor} \left(k_{tp} \frac{I_{rm}}{I_{igbt}} \right),$$

$$[0023] \quad N_{rs} = \text{floor} \left(k_{rs} \frac{U_{dt}}{U_{thy}} \right), \quad N_{rp} = \text{floor} \left(k_{rp} \frac{I_{rm}}{I_{thy}} \right),$$

[0024] 其中, U_{dt} 为断流支路导通、负荷转移开关关断下负荷转移开关端间额定电压, I_{rm} 为流过负荷转移开关最大短路电流, I_{igbt} 为单个IGBT最大可承受的百毫秒级过流能力, U_{thy}

为单个晶闸管可承受的额定电压, I_{thy} 为单个晶闸管最大可承受的百毫秒级过流能力, k_{ts} 为 IGBT 串联冗余系数, k_{tp} 为 IGBT 串联组冗余系数, k_{rs} 为晶闸管串联冗余系数, k_{rp} 为晶闸管串联组冗余系数。可取 $k_{ts}=1.2$, $k_{tp}=1$, $k_{rs}=1.2$, $k_{rp}=1$ 。

[0025] 上述二极管钳位式多端口直流断路器, 正常运行情况下, 通流支路内的超快速机械开关闭合、负荷转移开关导通, 通流支路导通, 断流支路关断, 直流电流从通流支路流通; 故障发生后, 动作时序如下:

[0026] 1) 根据故障定位结果, 明确故障位置和需要执行故障隔离的多端口直流断路器;

[0027] 2) 接收到分断指令的直流断路器, 立即开通断流支路;

[0028] 3) 关断与故障线路相连的通流支路内的负荷转移开关, 待流过通流支路的电流减小至零时, 将超快速机械开关断开;

[0029] 4) 关断断流支路, 故障电流及能量通过避雷器泄放;

[0030] 5) 待流过故障线路的电流为零时, 断开故障线路两侧的隔离闸刀, 完成故障物理隔离。

[0031] 与现有技术相比, 本发明具有的有益技术效果如下:

[0032] (1) 二极管钳位式多端口直流断路器能够有效实现直流故障隔离, 确保剩余健全系统的正常运行。

[0033] (2) 相比于电流转移型直流断路器, 二极管钳位式多端口直流断路器具有结构简单、控制简化、可靠性提升等优势, 能够使得直流断路器在直流电网中具有更好的发展和应用前景。

附图说明

[0034] 图1为本发明用于正极的二极管钳位式多端口直流断路器的结构示意图;

[0035] 图2为本发明用于负极的二极管钳位式多端口直流断路器的结构示意图;

[0036] 图3为本发明通流支路的结构示意图;

[0037] 图4为本发明断流支路的结构示意图;

[0038] 图5为本发明二极管支路的结构示意图。

具体实施方式

[0039] 为了更为具体地描述本发明, 下面结合附图及具体实施方式对本发明的技术方案及其相关原理进行详细说明。

[0040] 一种二极管钳位式多端口直流断路器, 包括用于正极的直流断路器(如图1所示)和用于负极的直流断路器(如图2所示), 两者内部结构布置上存在差异, 以分别适用于正极和负极应用场景。但是, 两者内部使用的部件一模一样, 包括: 两条直流母线、一条断流支路、N条通流支路、N条二极管支路和N个外接端口, 其中, N对应于与本发明多端口直流断路器相连的换流器和直流线路个数。

[0041] 图1所示的正极多端口直流断路器内, 断流支路的A端与第一直流母线相连, B端与第二直流母线相连, 第一直流母线与通流支路的A端连接, 通过通流支路的B端与外接端口相连, 第二直流母线与二极管支路的B端连接, 通过二极管支路A端与外接端口相连。N个外接端口都对应于相同接法。

[0042] 图2所示的负极直流断路器内,断流支路的A端与第一直流母线相连,B端与第二直流母线相连,第一直流母线与二极管支路的A端连接,通过二极管支路的B端与外接端口相连,第二直流母线与通流支路的B端连接,通过通流支路A端与外接端口相连。N个外接端口都对应于相同接法。

[0043] 如图3所示,通流支路包括:一个超快速机械开关和一个负荷转移开关。超快速机械开关的一端作为通流支路A端,超快速机械开关的另一端与负荷转移开关的一端相连,负荷转移开关的另一端作为通流支路B端。

[0044] 超快速机械开关本体由 N_m 个相互串联的断口构成。 N_m 的计算公式如下:

$$[0045] \quad N_m = \text{floor} \left(k_m \frac{U_{db}}{U_{duan}} \right),$$

[0046] 其中, U_{db} 为直流断路器端间额定电压, U_{duan} 为单个断口可承受的额定电压, k_m 为断口冗余系数。考虑到断口机械应力要求高,可靠性差,可取 $k_m=1.5$ 。

[0047] 负荷转移开关由IGBT阀组并联晶闸管旁路阀组构成,IGBT阀组由 N_{tp} 组 N_{ts} 个串联IGBT并联构成(图中只画出了一串结构),晶闸管旁路阀组由 N_{rp} 组 N_{rs} 个串联双向晶闸管并联构成(图中只画出了一串结构)。 N_{ts} 、 N_{tp} 、 N_{rs} 和 N_{rp} 的计算公式如下:

$$[0048] \quad N_{ts} = \text{floor} \left(k_{ts} \frac{U_{dt}}{U_{igbt}} \right), \quad N_{tp} = \text{floor} \left(k_{tp} \frac{I_{rm}}{I_{igbt}} \right),$$

$$[0049] \quad N_{rs} = \text{floor} \left(k_{rs} \frac{U_{dt}}{U_{thy}} \right), \quad N_{rp} = \text{floor} \left(k_{rp} \frac{I_{rm}}{I_{thy}} \right),$$

[0050] 其中, U_{dt} 为断流支路导通、负荷转移开关关断下负荷转移开关端间额定电压, U_{igbt} 为单个IGBT可承受的额定电压, I_{rm} 为流过负荷转移开关最大短路电流, I_{igbt} 为单个IGBT最大可承受的百毫秒级过流能力, U_{thy} 为单个晶闸管可承受的额定电压, I_{thy} 为单个晶闸管最大可承受的百毫秒级过流能力, k_{ts} 为IGBT串联冗余系数, k_{tp} 为IGBT串联组冗余系数, k_{rs} 为晶闸管串联冗余系数, k_{rp} 为晶闸管串联组冗余系数。可取 $k_{ts}=1.2$, $k_{tp}=1$, $k_{rs}=1.2$, $k_{rp}=1$ 。

[0051] 如图4所示,断流支路包括 N_b 个相互串联的断流单元,断流单元由 N_g 个IGBT相互串联再并联一个避雷器构成。 N_b 和 N_g 计算公式如下:

$$[0052] \quad N_b = \text{floor} \left(k_b \frac{U_{db}}{U_{bu}} \right), \quad N_g = \text{floor} \left(k_g \frac{U_{bu}}{U_{igbt}} \right),$$

[0053] 其中,floor为取整函数, U_{bu} 为单个断流单元端间额定电压, k_b 为断流单元冗余系数, k_g 为断流单元内IGBT的冗余系数。为有效提升多端口直流断路器的动作可靠性,可取 $k_b=2$, $k_g=1.1$ 。

[0054] 如图5所示,二极管支路由 N_d 个相互串联的二极管构成。 N_d 的计算公式如下:

$$[0055] \quad N_d = \text{floor} \left(k_d \frac{U_{db}}{U_{diode}} \right),$$

[0056] 其中, U_{diode} 为单个二极管可承受的额定电压, k_d 为二极管冗余系数。可取 $k_d=1.1$ 。

[0057] 为有效隔离直流故障, 二极管钳位式多端口直流断路器需要相应的动作时序进行配合。正极直流断路器和负极直流断路器虽然在结构上有所差异, 但是动作时序是相同的。

[0058] 正常运行情况下, 通流支路内的超快速机械开关闭合、负荷转移开关导通, 通流支路导通, 断流支路关断, 直流电流从通流支路流通。故障发生后, 动作时序如下:

[0059] 1) 根据故障定位结果, 明确故障位置和需要执行故障隔离的多端口直流断路器;

[0060] 2) 接收到分断指令的直流断路器, 立即开通断流支路;

[0061] 3) 关断与故障线路相连的通流支路内的负荷转移开关, 待流过通流支路的电流减小至零时, 将超快速机械开关断开;

[0062] 4) 关断断流支路, 故障电流及能量通过避雷器泄放;

[0063] 5) 待流过故障线路的电流为零时, 断开故障线路两侧的隔离闸刀, 完成故障物理隔离。

[0064] 本领域的技术人员容易理解, 以上所述仅为本发明的较佳实施例而已, 并不用以限制本发明, 凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换和改进等, 均应包含在本发明的保护范围之内。

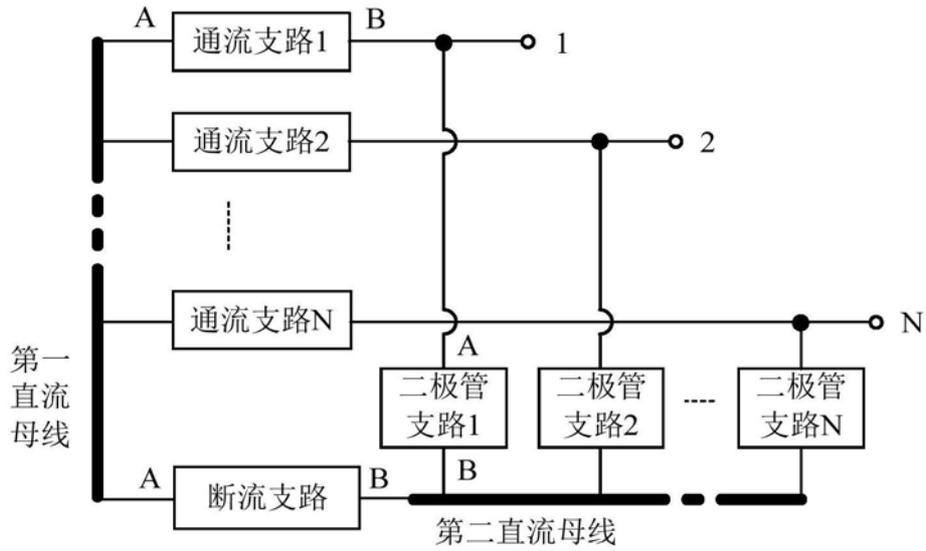


图1

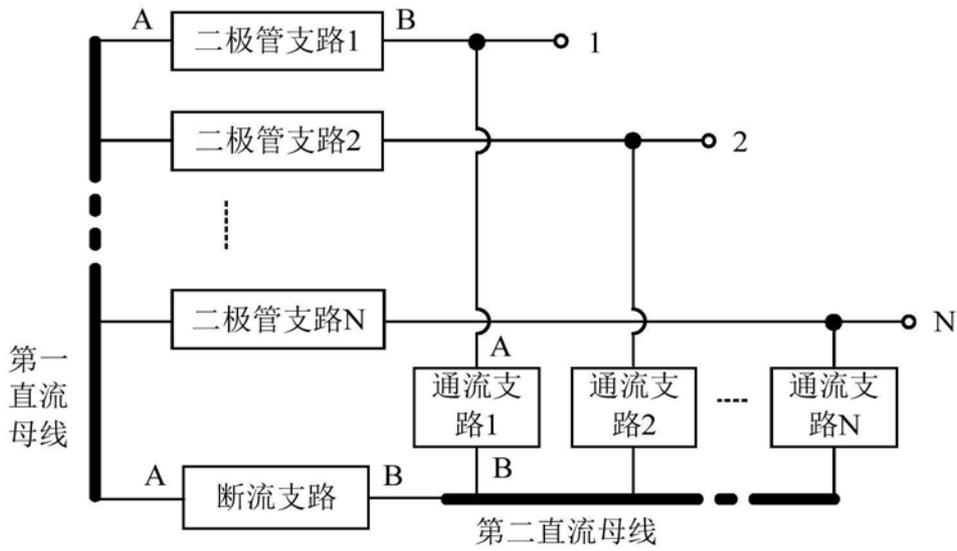


图2

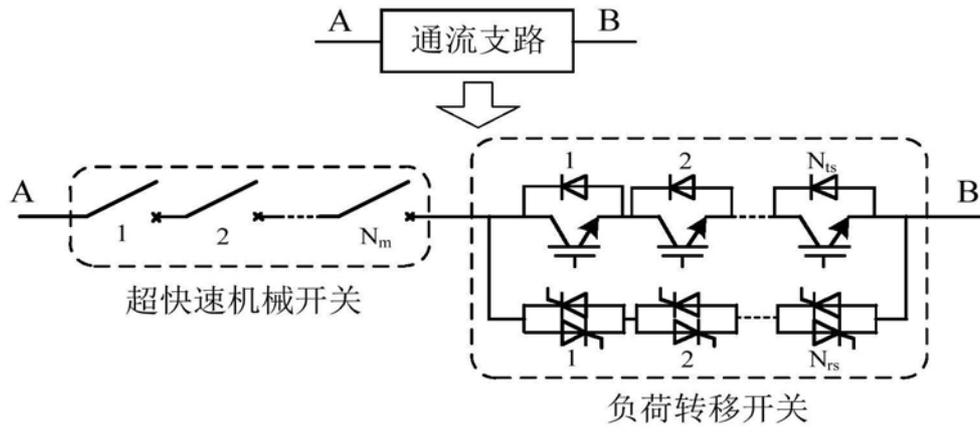


图3

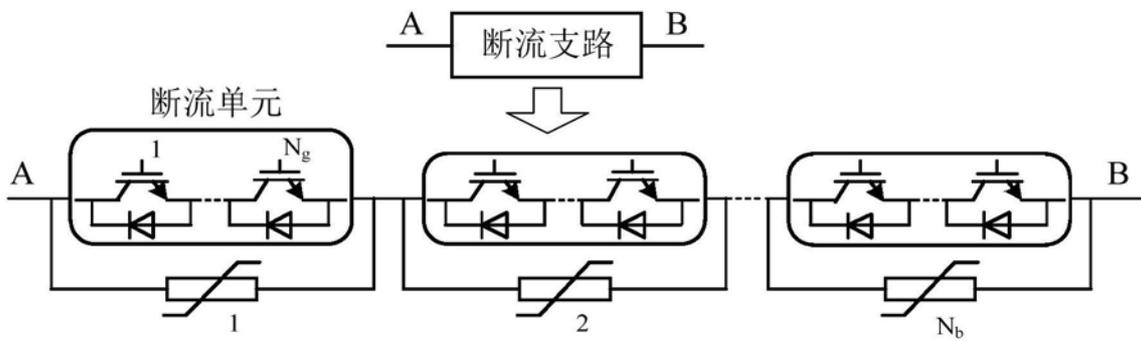


图4

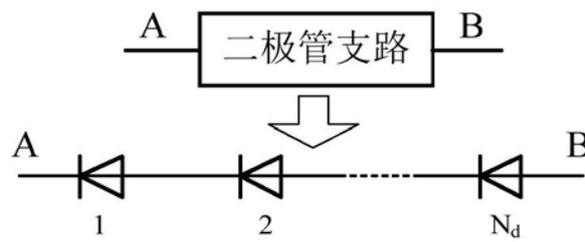


图5