



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 108599120 B

(45)授权公告日 2019.12.20

(21)申请号 201810255652.8

H02H 3/087(2006.01)

(22)申请日 2018.03.27

H02H 3/06(2006.01)

(65)同一申请的已公布的文献号

H02H 9/04(2006.01)

申请公布号 CN 108599120 A

H02H 7/26(2006.01)

(43)申请公布日 2018.09.28

(73)专利权人 中国科学院电工研究所

地址 100190 北京市海淀区中关村北二条6号

(72)发明人 肖立业 滕尚甫 张志丰 邱清泉

韦统振 张国民

(56)对比文件

CN 107069653 A,2017.08.18,

CN 107276045 A,2017.10.20,

CN 103618298 A,2014.03.05,

CN 103632895 A,2014.03.12,

CN 101515710 A,2009.08.26,

审查员 宋宇程

(74)专利代理机构 北京科迪生专利代理有限责

任公司 11251

代理人 关玲

(51)Int.Cl.

H02H 9/02(2006.01)

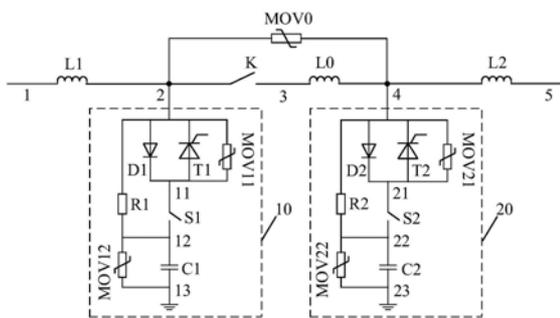
权利要求书8页 说明书9页 附图3页

(54)发明名称

一种直流限流断路器

(57)摘要

一种直流限流断路器,由组合回路、快速机械开关(K)、电感和避雷器组成。电网正常稳态运行时,断路器呈现低阻抗,对电网影响小;在直流输电线路出现故障时,可快速实现故障限流及故障线路的分断,大幅降低直流故障电流对换流站的影响。



1. 一种直流限流断路器,其特征是:所述的直流限流断路器包括第一组合回路(10)、第二组合回路(20)、快速机械开关(K)、第一电感(L1)、第二电感(L2)、第三电感(L0)和第一避雷器(MOV0);第一电感(L1)的一端与快速机械开关(K)的一端在第二连接点(2)连接;快速机械开关(K)的另一端与第三电感(L0)的一端在第三连接点(3)连接;第三电感(L0)的另一端与第二电感(L2)的一端在第四连接点(4)连接;第一避雷器(MOV0)连接在第二连接点(2)和第四连接点(4)之间;第一组合回路(10)、第二组合回路(20)分别连接在第一连接点(2)和第三连接点(3)上;所述的直流限流断路器通过第一连接点(1)和第五连接点(5)串联接入直流系统母线和直流输电线之间;快速机械开关(K)或者是其与双向晶闸管的串联组合;

第一组合回路(10)中,第一二极管(D1)与第一晶闸管(T1)反向并联连接,再与第二避雷器(MOV11)并联连接在第二连接点(2)与第十一连接点(11)之间;第一机械开关(S1)的一端与第二避雷器(MOV11)的一端在第十一连接点(11)连接;第一机械开关(S1)的另一端与第一电容(C1)的一端在第十二连接点(12)连接;第一电容(C1)的另一端与地线在第十三连接点(13)连接;第一电阻(R1)连接在第二连接点(2)和第十二连接点(12)之间;第三避雷器(MOV12)与第一电容(C1)并联连接在第十二连接点(12)和第十三连接点(13)之间;

第二组合回路(20)中,第二二极管(D2)与第二晶闸管(T2)反向并联连接,再与第四避雷器(MOV21)并联连接在第四连接点(4)与第二十一连接点(21)之间;第二机械开关(S2)的一端与第四避雷器(MOV21)的一端在第二十一连接点(21)连接,第二机械开关(S2)的另一端与第二电容(C2)的一端在第二十二连接点(22)连接;第二电容(C2)的另一端与地线在第二十三连接点(23)连接;第二电阻(R2)连接在第四连接点(4)和第二十二连接点(22)之间;第五避雷器(MOV22)与第二电容(C2)并联连接在第二十二连接点(22)和第二十三连接点(23)之间;

在线路启动供电时,首先闭合快速机械开关(K);然后在检测到第一电阻(R1)上的压降与系统额定电压之间的偏差小于阈值时,闭合第一机械开关(S1);在检测到第二电阻(R2)上的压降与系统额定电压之间的偏差小于阈值时,闭合第二机械开关(S2);待第一机械开关(S1)和第二机械开关(S2)都闭合后,再闭合线路的隔离开关,使线路投入运行;

在直流输电线路正常稳态运行时,所述的快速机械开关(K)处于闭合导通状态,第一晶闸管(T1)和第二晶闸管(T2)均处于关断状态;线路电流通路依次为第一电感(L1)、快速机械开关(K)、第三电感(L0)和第二电感(L2);

当检测到第二电感(L2)右侧线路发生短路故障时,所述的直流限流断路器动作如下:立即分断快速机械开关(K),同时触发导通第一晶闸管(T1),第一电容(C1)开始放电,当快速机械开关(K)的触头分离达到预设开距时,触发导通第二晶闸管(T2),在第二电容(C2)与第三电感(L0)的作用下,使得第二电容(C2)的放电电流反向注入快速机械开关(K)所在支路,随后快速机械开关(K)在电流过零点处息弧关断,从而实现对故障线路的分断;第一电容(C1)由放电转为充电状态,第一晶闸管(T1)过零关断,当第一电容(C1)的电压充至第三避雷器(MOV12)动作电压时,剩余能量通过第三避雷器(MOV12)泄放;第一机械开关(S1)或者在电流过零时分断;第二电容(C2)正向放电电流降为零时,第二晶闸管(T2)关断,通过第二二极管(D2)反向放电,当第二电容(C2)的电压充至第五避雷器(MOV22)动作电压时,剩余能量通过第五避雷器(MOV22)泄放;第二机械开关(S2)在第二电容(C2)反向放电电流过零时分断;经过设定时间以后,所述的直流限流断路器开始重合闸动作:直接合闸快速机械开

关(K),完成重合闸动作;或者先进行试探性重合闸操作,即先触发导通第二晶闸管(T2),若检测到第二电容(C2)存在微小放电电流,说明不存在短路故障,若检测到第二电容(C2)存在很大的放电电流,说明仍然存在短路故障,待判断故障已消除时,再合闸快速机械开关(K),完成重合闸动作;或者通过测量第二电阻(R2)上的电流判断短路故障是否已清除,如果短路故障未清除,第二电阻(R2)上流过的电流较大,如果短路故障已经清除,第二电阻(R2)上流过的电流只有很小的漏电流,待判断故障清除后,再进行重合闸动作;

当检测到第一电感(L1)左侧线路发生短路故障时,所述的直流限流断路器动作如下:立即分断快速机械开关(K),同时触发导通第二晶闸管(T2),第二电容(C2)开始放电,当快速机械开关(K)的触头分离达到预设开距时,触发导通第一晶闸管(T1),在第一电容(C1)与第三电感(L0)的作用下,使得第一电容(C1)的放电电流反向注入快速机械开关(K)所在支路,随后快速机械开关(K)在电流过零点处息弧关断,从而实现对故障线路的分断;第二电容(C2)由放电转为充电状态,第二晶闸管(T2)过零关断,当第二电容(C2)的电压充至第五避雷器(MOV22)动作电压时,剩余能量通过第五避雷器(MOV22)泄放;第二机械开关(S2)或者在电流过零时分断;第一电容(C1)正向放电电流降为零时,第一晶闸管(T1)关断,通过第一二极管(D1)反向放电,当第一电容(C1)的电压充至第三避雷器(MOV12)动作电压时,剩余能量通过第三避雷器(MOV12)泄放;第一机械开关(S1)在第一电容(C1)反向放电电流过零时分断,降低第一二极管(D1)和第一晶闸管(T1)的成本;经过设定时间以后,所述的直流限流断路器开始重合闸动作:能够直接合闸快速机械开关(K),完成重合闸动作;或者先进行试探性重合闸操作,即先触发导通第一晶闸管(T1),若检测到第一电容(C1)存在微小放电电流,说明不存在短路故障;若检测到第一电容(C1)存在很大的放电电流,说明仍然存在短路故障;待判断故障已消除时,再合闸快速机械开关(K),完成重合闸动作;或者通过测量第一电阻(R1)上的电流判断短路故障是否已清除,如果短路故障未清除,第一电阻(R1)上流过的电流较大;如果短路故障已经清除,第一电阻(R1)上流过的电流只有很小的漏电流;待判断故障已经清除后,再进行重合闸动作。

2.一种直流限流断路器,其特征是:所述的直流限流断路器包括第一组合回路(10)、第二组合回路(20)、快速机械开关(K)、第一电感(L1)、第二电感(L2)、第四电感(L01)、第五电感(L02)和第一避雷器(MOV0);第一电感(L1)的一端与快速机械开关(K)的一端在第二连接点(2)连接;快速机械开关(K)的另一端与第二电感(L2)的一端在第四连接点(4)连接;第一避雷器(MOV0)连接在第二连接点(2)和第四连接点(4)之间;第四电感(L01)的一端连接在第二连接点(2),第四电感(L01)的另一端与第一组合回路(10)在第六连接点(6)连接;第五电感(L02)的一端连接在第四连接点(4),第五电感(L02)的另一端与第二组合回路(20)在第七连接点(7)连接;

第一组合回路(10)中,第一二极管(D1)与第一晶闸管(T1)反向并联连接,再与第二避雷器(MOV11)并联连接在第六连接点(6)与第十一连接点(11)之间;第一机械开关(S1)的一端与第二避雷器(MOV11)的一端在第十一连接点(11)连接;第一机械开关(S1)的另一端与第一电容(C1)的一端在第十二连接点(12)连接;第一电容(C1)的另一端与地线在第十三连接点(13)连接;第一电阻(R1)连接在第六连接点(6)和第十二连接点(12)之间;第三避雷器(MOV12)与第一电容(C1)并联连接在第十二连接点(12)和第十三连接点(13)之间;

第二组合回路(20)中,第二二极管(D2)与第二晶闸管(T2)反向并联连接,再与第四避

雷器 (MOV21) 并联连接在第七连接点 (7) 与第二十一连接点 (21) 之间; 第二机械开关 (S2) 的一端与第四避雷器 (MOV21) 的一端在第二十一连接点 (21) 连接, 第二机械开关 (S2) 的另一端与第二电容 (C2) 的一端在第二十二连接点 (22) 连接; 第二电容 (C2) 的另一端与地线在第二十三连接点 (23) 连接; 第二电阻 (R2) 连接在第七连接点 (7) 和第二十二连接点 (22) 之间; 第五避雷器 (MOV22) 与第二电容 (C2) 并联连接在第二十二连接点 (22) 和第二十三连接点 (23) 之间;

在直流输电线路正常稳态运行时, 所述的快速机械开关 (K) 处于闭合导通状态, 第一晶闸管 (T1) 和第二晶闸管 (T2) 均处于关断状态; 线路电流通路依次为第一电感 (L1)、快速机械开关 (K) 和第二电感 (L2);

当检测到第二电感 (L2) 右侧线路发生短路故障时, 所述的直流限流断路器动作如下: 立即分断快速机械开关 (K), 同时触发导通第一晶闸管 (T1), 第一电容 (C1) 开始放电, 当快速机械开关 (K) 的触头分离达到预设开距时, 触发导通第二晶闸管 (T2), 在第二电容 (C2) 与第五电感 (L02) 的作用下, 使得第二电容 (C2) 的放电电流反向注入快速机械开关 (K) 所在支路, 随后快速机械开关 (K) 在电流过零点处息弧关断, 从而实现了对故障线路的分断;

当检测到第一电感 (L1) 左侧线路发生短路故障时, 所述的直流限流断路器动作如下: 立即分断快速机械开关 (K), 同时触发导通第二晶闸管 (T2), 第二电容 (C2) 开始放电, 当快速机械开关 (K) 的触头分离达到预设开距时, 触发导通第一晶闸管 (T1), 在第一电容 (C1) 与第四电感 (L01) 的作用下, 使得第一电容 (C1) 的放电电流反向注入快速机械开关 (K) 所在支路, 随后快速机械开关 (K) 在电流过零点处息弧关断, 从而实现了对故障线路的分断。

3. 一种直流限流断路器, 其特征是: 所述的直流限流断路器包括第一组合回路 (10)、第二组合回路 (20)、第三组合回路 (30)、第四组合回路 (40)、快速机械开关 (K)、第一电感 (L1)、第二电感 (L2)、第三电感 (L0)、第四电感 (L3)、第五电感 (L4) 和第一避雷器 (MOV0); 第四电感 (L3) 的一端与第一电感 (L1) 的一端在第一连接点 (1) 连接; 第一电感 (L1) 的另一端与快速机械开关 (K) 的一端在第二连接点 (2) 连接; 快速机械开关 (K) 的另一端与第三电感 (L0) 的一端在第三连接点 (3) 连接; 第三电感 (L0) 的另一端与第二电感 (L2) 的一端在第四连接点 (4) 连接; 第二电感 (L2) 的另一端与第五电感 (L4) 的一端在第五连接点 (5) 连接; 第一避雷器 (MOV0) 连接在第二连接点 (2) 和第四连接点 (4) 之间; 第一组合回路 (10) 连接在第二连接点 (2) 上; 第二组合回路 (20) 连接在第四连接点 (4) 上; 第三组合回路 (30) 连接在第一连接点 (1) 上, 第一连接点 (1) 在第一电感 (L1) 和第四电感 (L3) 之间; 第四组合回路 (40) 连接在第五连接点 (5) 上, 第五连接点 (5) 在第二电感 (L2) 和第五电感 (L4) 之间; 第四电感 (L3) 的另一端与直流系统母线在第八连接点 (8) 连接, 第五电感 (L4) 的另一端与直流输电线在第九连接点 (9) 连接;

第一组合回路 (10) 中, 第一二极管 (D1) 与第一晶闸管 (T1) 反向并联连接, 再与第二避雷器 (MOV11) 并联连接在第二连接点 (2) 与第十一连接点 (11) 之间; 第一机械开关 (S1) 的一端与第二避雷器 (MOV11) 的一端在第十一连接点 (11) 连接; 第一机械开关 (S1) 的另一端与第一电容 (C1) 的一端在第十二连接点 (12) 连接; 第一电容 (C1) 的另一端与地线在第十三连接点 (13) 连接; 第一电阻 (R1) 连接在第二连接点 (2) 和第十二连接点 (12) 之间; 第三避雷器 (MOV12) 与第一电容 (C1) 并联连接在第十二连接点 (12) 和第十三连接点 (13) 之间;

第二组合回路 (20) 中, 第二二极管 (D2) 与第二晶闸管 (T2) 反向并联连接, 再与第四避

雷器 (MOV21) 并联连接在第四连接点 (4) 与第二十一连接点 (21) 之间; 第二机械开关 (S2) 的一端与第四避雷器 (MOV21) 的一端在第二十一连接点 (21) 连接, 第二机械开关 (S2) 的另一端与第二电容 (C2) 的一端在第二十二连接点 (22) 连接; 第二电容 (C2) 的另一端与地线在第二十三连接点 (23) 连接; 第二电阻 (R2) 连接在第四连接点 (4) 和第二十二连接点 (22) 之间; 第五避雷器 (MOV22) 与第二电容 (C2) 并联连接在第二十二连接点 (22) 和第二十三连接点 (23) 之间;

第三组合回路 (30) 中, 第三二极管 (D3) 与第三晶闸管 (T3) 反向并联连接, 再与第六避雷器 (MOV31) 并联连接在第一连接点 (1) 与第三十一连接点 (31) 之间; 第三机械开关 (S3) 的一端与第六避雷器 (MOV31) 的一端在第三十一连接点 (31) 连接; 第三机械开关 (S3) 的另一端与第三电容 (C3) 的一端在第三十二连接点 (32) 连接; 第三电容 (C3) 的另一端与地线在第三十三连接点 (33) 连接; 第三电阻 (R3) 连接在第一连接点 (1) 和第三十二连接点 (32) 之间; 第七避雷器 (MOV32) 与第三电容 (C3) 并联连接在第三十二连接点 (32) 和第三十三连接点 (33) 之间;

第四组合回路 (40) 中, 第四二极管 (D4) 与第四晶闸管 (T4) 反向并联连接, 再与第八避雷器 (MOV41) 并联连接在第五连接点 (5) 与第四十一连接点 (41) 之间; 第四机械开关 (S4) 的一端与第八避雷器 (MOV41) 的一端在第四十一连接点 (41) 连接; 第四机械开关 (S4) 的另一端与第四电容 (C4) 的一端在第四十二连接点 (42) 连接; 第四电容 (C4) 的另一端与地线在第四十三连接点 (43) 连接; 第四电阻 (R4) 连接在第五连接点 (5) 和第四十二连接点 (42) 之间; 第九避雷器 (MOV42) 与第四电容 (C4) 并联连接在第四十二连接点 (42) 和第四十三连接点 (43) 之间。

4. 按照权利要求3所述的直流限流断路器, 其特征是: 在线路启动供电时, 首先闭合快速机械开关 (K); 然后在检测到第一电阻 (R1) 上的压降与系统额定电压之间的偏差小于阈值时, 闭合第一机械开关 (S1); 在检测到第二电阻 (R2) 上的压降与系统额定电压之间的偏差小于阈值时, 闭合第二机械开关 (S2); 在检测到第三电阻 (R3) 上的压降与系统额定电压之间的偏差小于阈值时, 闭合第三机械开关 (S3); 在检测到第四电阻 (R4) 上的压降与系统额定电压之间的偏差小于阈值时, 闭合第四机械开关 (S4); 待第一机械开关 (S1)、第二机械开关 (S2)、第三机械开关 (S3)、第四机械开关 (S4) 都闭合后, 再闭合线路的隔离开关, 使线路投入运行;

在直流输电线路正常稳态运行时, 所述的快速机械开关 (K) 处于闭合导通状态, 第一晶闸管 (T1) 和第二晶闸管 (T2) 均处于关断状态, 第三晶闸管 (T3) 和第四晶闸管 (T4) 均处于触发预导通状态; 线路电流通路依次为第四电感 (L3)、第一电感 (L1)、快速机械开关 (K)、第三电感 (L0)、第二电感 (L2) 和第五电感 (L4);

线路发生短路故障时, 第三电容 (C3)、第四电容 (C4) 立即通过第三晶闸管 (T3)、第四晶闸管 (T4) 放电;

当检测到第五电感 (L4) 右侧线路发生短路故障时, 所述直流限流断路器动作如下: 故障分断后, 第一电容 (C1)、第三电容 (C3) 由放电转为充电状态, 第一晶闸管 (T1)、第三晶闸管 (T3) 过零关断, 当第一电容 (C1)、第三电容 (C3) 的电压充至第三避雷器 (MOV12)、第七避雷器 (MOV32) 动作电压时, 剩余能量通过第三避雷器 (MOV12)、第七避雷器 (MOV32) 泄放; 第一机械开关 (S1)、第三机械开关 (S3) 或者在电流过零时分断; 第二电容 (C2)、第四电容 (C4)

正向放电电流降为零时,第二晶闸管(T2)、第四晶闸管(T4)关断,分别通过第二二极管(D2)、第四二极管(D4)反向放电,当第二电容(C2)、第四电容(C4)的电压充至第五避雷器(MOV22)、第九避雷器(MOV42)动作电压时,剩余能量通过第五避雷器(MOV22)、第九避雷器(MOV42)泄放;第二机械开关(S2)、第四机械开关(S4)在第二电容(C2)、第二电容(C4)反向放电电流过零时分断;经过设定时间以后,所述的直流限流断路器开始重合闸动作:直接合闸快速机械开关(K),完成重合闸动作,或者先进行试探性重合闸操作,即先触发导通第二晶闸管(T2)或第四晶闸管(T4),若检测到第五电感(L4)右侧线路存在微小电流,说明不存在短路故障;若检测到第五电感(L4)右侧线路存在很大的电流,说明仍然存在短路故障;待判断故障已消除时,再合闸快速机械开关(K),完成重合闸动作;或者通过测量第二电阻(R2)或第四电阻(R4)上的电流判断短路故障是否已清除,如果短路故障未清除,第二电阻(R2)或第四电阻(R4)上流过的电流较大;如果短路故障已经清除,第二电阻(R2)或第四电阻(R4)上流过的电流只有很小的漏电流;待判断故障已经清除后,再进行重合闸动作;

当检测到第四电感(L3)左侧线路发生短路故障时,所述的直流限流断路器动作如下:故障分断后,第二电容(C2)、第四电容(C4)由放电转为充电状态,第二晶闸管(T2)、第四晶闸管(T4)过零关断,当第二电容(C2)、第四电容(C4)的电压充至第五避雷器(MOV22)、第九避雷器(MOV42)动作电压时,剩余能量通过第五避雷器(MOV22)、第九避雷器(MOV42)泄放;第二机械开关(S2)、第四机械开关(S4)或者在电流过零时分断;第一电容(C1)、第三电容(C3)正向放电电流降为零时,第一晶闸管(T1)、第三晶闸管(T3)关断,分别通过第一二极管(D1)、第三二极管(D3)反向放电,当第一电容(C1)、第三电容(C3)的电压充至第三避雷器(MOV12)、第七避雷器(MOV32)动作电压时,剩余能量通过第三避雷器(MOV12)、第七避雷器(MOV32)泄放;第一机械开关(S1)、第三机械开关(S3)在第一电容(C1)、第三电容(C3)反向放电电流过零时分断;经过设定时间以后,所述的直流限流断路器开始重合闸动作:直接合闸快速机械开关(K),完成重合闸动作,或者先进行试探性重合闸操作,即先触发导通晶闸管(T1)或第三晶闸管(T3),若检测到第四电感(L3)左侧线路存在微小电流,说明不存在短路故障;若检测到第四电感(L3)左侧线路存在很大的电流,说明仍然存在短路故障;待判断故障已消除时,再合闸快速机械开关(K),完成重合闸动作;或者通过测量电阻(R1)或(R3)上的电流判断短路故障是否已清除,如果短路故障未清除,第一电阻(R1)或第三电阻(R3)上流过的电流较大;如果短路故障已经清除,第一电阻(R1)或第三电阻(R3)上流过的电流只有很小的漏电流;待判断故障清除后,再进行重合闸动作。

5. 一种直流限流断路器,其特征是:所述的直流限流断路器包括第一组合回路(10)、第二组合回路(20)、第三组合回路(30)、快速机械开关(K)、第一电感(L1)、第二电感(L2)、第三电感(L0)、电力电子开关(Q)、第一避雷器(MOV0)、第五机械开关(S01)和第六机械开关(S02);第一电感(L1)的一端与快速机械开关(K)的一端在第二连接点(2)连接;快速机械开关(K)的另一端与电力电子开关(Q)的一端在第三连接点(3)连接;电力电子开关(Q)的另一端与第二电感(L2)的一端在第四连接点(4)连接;第一避雷器(MOV0)连接在第二连接点(2)和第四连接点(4)之间;第一组合回路(10)连接在第二连接点(2)上;第二组合回路(20)连接在第(4)连接点上;第五机械开关(S01)的一端与第一组合回路(10)在第十二连接点(12)连接;第五机械开关(S01)的另一端与第六机械开关(S02)的一端在第六连接点(6)连接;第六机械开关(S02)的另一端与第二组合回路(20)在第二十二连接点(22)连接;第三电感

(L0)的一端连接在第六连接点(6);第三电感(L0)的另一端与第三组合回路(30)在第七连接点(7)连接;

第一组合回路(10)中,第一二极管(D1)与第一晶闸管(T1)反向并联连接,再与第二避雷器(MOV11)并联连接在第二连接点(2)与第十一连接点(11)之间;第一机械开关(S1)的一端与第二避雷器(MOV11)的一端在第十一连接点(11)连接;第一机械开关(S1)的另一端与第一电容(C1)的一端在第十二连接点(12)连接;第一电容(C1)的另一端与地线在第十三连接点(13)连接;第一电阻(R1)连接在第二连接点(2)和第十二连接点(12)之间;第三避雷器(MOV12)与第一电容(C1)并联连接在第十二连接点(12)和第十三连接点(13)之间;

第二组合回路(20)中,第二二极管(D2)与第二晶闸管(T2)反向并联连接,再与第四避雷器(MOV21)并联连接在第四连接点(4)与第二十一连接点(21)之间;第二机械开关(S2)的一端与第四避雷器(MOV21)的一端在第二十一连接点(21)连接,第二机械开关(S2)的另一端与第二电容(C2)的一端在第二十二连接点(22)连接;第二电容(C2)的另一端与地线在第二十三连接点(23)连接;第二电阻(R2)连接在第四连接点(4)和第二十二连接点(22)之间;第五避雷器(MOV22)与第二电容(C2)并联连接在第二十二连接点(22)和第二十三连接点(23)之间;

第三组合回路(30)中,第三二极管(D3)与第三晶闸管(T3)反向并联连接,再与第六避雷器(MOV31)并联连接在第七连接点(7)与第三十一连接点(31)之间;第三机械开关(S3)的一端与第六避雷器(MOV31)的一端在第三十一连接点(31)连接;第三机械开关(S3)的另一端与第三电容(C3)的一端在第三十二连接点(32)连接;第三电容(C3)的另一端与地线在第三十三连接点(33)连接;第三电阻(R3)连接在第七连接点(7)和第三十二连接点(32)之间;第七避雷器(MOV32)与第三电容(C3)并联连接在第三十二连接点(32)和第三十三连接点(33)之间。

6.按照权利要求5所述的直流限流断路器,其特征是:在直流输电线路正常稳态运行时,所述的快速机械开关(K)、电力电子开关(Q)均处于闭合导通状态,第一晶闸管(T1)和第二晶闸管(T2)均处于预导通状态;线路电流通路依次为第一电感(L1)、快速机械开关(K)、电力电子开关(Q)和第二电感(L2);

线路发生短路故障时,第一电容(C1)、第二电容(C2)立即通过第一晶闸管(T1)、第二晶闸管(T2)进行放电;

当检测到第二电感(L2)右侧线路发生短路故障时,所述的直流限流断路器动作如下:立即分断快速机械开关(K)、关断电力电子开关(Q),同时合闸第五机械开关(S01)和第六机械开关(S02),故障电流转移至第五机械开关(S01)、第六机械开关(S02),在快速机械开关(K)的触头达到设定开距时,分闸第五机械开关(S01),再触发导通第三晶闸管(T3),在第三电容(C3)与第三电感(L0)的作用下,第三电容(C3)的放电电流反向注入第五机械开关(S01)所在支路,第五机械开关(S01)在电流过零点处自然分断,从而实现了对故障线路的分断;第一电容(C1)由放电转为充电状态,第一晶闸管(T1)过零关断,当第一电容(C1)的电压充至第三避雷器(MOV12)动作电压时,剩余能量通过第三避雷器(MOV12)泄放;第一机械开关(S1)或者在电流过零时分断;第三电容(C3)的正向放电电流降为零时,通过第三二极管(D3)反向放电,第三机械开关(S3)、第六机械开关(S02)或者在第三电容(C3)反向放电电流过零时分断;第二电容(C2)正向放电电流降为零时,第二晶闸管(T2)关断,通过第二二极管

(D2) 反向放电;第二机械开关(S2)或者在第二电容(C2)反向放电电流过零时分断;经过设定时间以后,所述的直流限流断路器开始重合闸动作:或者先进行试探性重合闸操作,即先触发导通第二晶闸管(T2),若检测到第二电感(L2)右侧线路存在微小电流,说明不存在短路故障;若检测到第二电感(L2)右侧线路存在很大的电流,说明仍然存在短路故障;待判断故障已消除时,再合闸快速机械开关(K)、导通电力电子开关(Q),完成重合闸动作;或者通过测量第二电阻(R2)上的电流判断短路故障是否已清除,如果短路故障未清除,第二电阻(R2)上流过的电流较大;如果短路故障已经清除,第二电阻(R2)上流过的电流只有很小的漏电流;待判断故障已经清除后,再进行重合闸动作;

当检测到第一电感(L1)左侧线路发生短路故障时,所述的直流限流断路器动作如下:立即分断快速机械开关(K)、关断电力电子开关(Q),同时合闸第五机械开关(S01)和第六机械开关(S02),故障电流开始转移至第五机械开关(S01)、第六机械开关(S02),在快速机械开关(K)的触头达到设定开距时,触发导通第三晶闸管(T3),在第三电容(C3)与第三电感(L0)的作用下,第三电容(C3)的放电电流反向注入第六机械开关(S02)所在支路,第六机械开关(S02)在电流过零点处自然分断,从而实现对故障线路的分断;第二电容(C2)由放电转为充电状态,第二晶闸管(T2)过零关断,当第二电容(C2)的电压充至第五避雷器(MOV22)动作电压时,剩余能量通过第五避雷器(MOV22)泄放;第二机械开关(S2)或者在电流过零时分断;第三电容(C3)的正向放电电流降为零时,通过第三二极管(D3)反向放电,第三机械开关(S3)、第五机械开关(S01)或者在第三电容(C3)反向放电电流过零时分断;第一电容(C1)正向放电电流降为零时,第一晶闸管(T1)关断,通过第一二极管(D1)反向放电;第一机械开关(S1)或者在第一电容(C1)反向放电电流过零时分断;经过设定时间以后,所述的直流限流断路器开始重合闸动作:或者先进行试探性重合闸操作,即先触发导通第一晶闸管(T1),若检测到第一电感(L1)左侧线路存在微小电流,说明不存在短路故障;若检测到第一电感(L1)左侧线路存在很大的电流,说明仍然存在短路故障;待判断故障已消除时,再合闸快速机械开关(K)、导通电力电子开关(Q),完成重合闸动作;或者通过测量第一电阻(R1)上的电流判断短路故障是否已清除,如果短路故障未清除,第一电阻(R1)上流过的电流较大;如果短路故障已经清除,第一电阻(R1)上流过的电流只有很小的漏电流;待判断故障已经清除后,再进行重合闸动作。

7. 一种直流限流断路器,其特征是:所述的直流限流断路器为一种“T”型电路结构的基本限流拓扑,具有双向限流作用;所述的基本限流拓扑由第一电感(L1)、第二电感(L2)和第一组合回路(10)组成;第一电感(L1)与第二电感(L2)串联连接在第二连接点(2);第一组合回路(10)连接在第二连接点(2)上;所述的基本限流拓扑通过第一连接点1和第三连接点3串联接入直流输电线之中;

第一组合回路(10)中,第一二极管(D1)与第一晶闸管(T1)反向并联连接,再与第二避雷器(MOV11)并联连接在第二连接点(2)与第十一连接点(11)之间;第一机械开关(S1)的一端与第二避雷器(MOV11)的一端在第十一连接点(11)连接;第一机械开关(S1)的另一端与第一电容(C1)的一端在第十二连接点(12)连接;第一电容(C1)的另一端与地线在第十三连接点(13)连接;第一电阻(R1)连接在第二连接点(2)和第十二连接点(12)之间;第三避雷器(MOV12)与第一电容(C1)并联连接在第十二连接点(12)和第十三连接点(13)之间;

在线路启动供电时,在检测到第一电阻(R1)上的压降与系统额定电压之间的偏差小于

阈值时,合闸第一机械开关(S1);待第一机械开关(S1)闭合后,再闭合线路的隔离开关,使线路投入运行;

在直流输电线路正常稳态运行时,第一晶闸管(T1)处于预导通状态;线路电流通路依次为第一电感(L1)和第二电感(L2);

在第一电感(L1)左侧线路或第二电感(L2)右侧线路发生短路故障时,第一电感(L1)、第二电感(L2)立即限流,第一电容能(C1)通过第一晶闸管(T1)放电,提供部分短路电流,降低非故障侧线路的短路电流幅值及上升率,减小换流站所提供的短路电流;同时,第一电容(C1)的电压的钳位作用能够减缓直流母线电压的跌落。

8.一种直流限流断路器,其特征是:所述的直流限流断路器为一种“ π ”型电路结构的基本限流拓扑,具有双向限流作用;所述的基本限流拓扑由第一电感(L1)、第二电感(L2)、第三电感(L0)、第一组合回路(10)、第二组合回路(20)组成;第一电感(L1)的一端与第三电感(L0)的一端连接在第二连接点(2);第三电感(L0)的另一端与第二电感(L2)的一端连接在第四连接点(4);第一组合回路(10)连接在第二连接点(2)上,第二组合回路(20)连接在第四连接点(4)上;

第一组合回路(10)中,第一二极管(D1)与第一晶闸管(T1)反向并联连接,再与第二避雷器(MOV11)并联连接在第二连接点(2)与第十一连接点(11)之间;第一机械开关(S1)的一端与第二避雷器(MOV11)的一端在第十一连接点(11)连接;第一机械开关(S1)的另一端与第一电容(C1)的一端在第十二连接点(12)连接;第一电容(C1)的另一端与地线在第十三连接点(13)连接;第一电阻(R1)连接在第二连接点(2)和第十二连接点(12)之间;第三避雷器(MOV12)与第一电容(C1)并联连接在第十二连接点(12)和第十三连接点(13)之间;

第二组合回路(20)中,第二二极管(D2)与第二晶闸管(T2)反向并联连接,再与第四避雷器(MOV21)并联连接在第四连接点(4)与第二十一连接点(21)之间;第二机械开关(S2)的一端与第四避雷器(MOV21)的一端在第二十一连接点(21)连接,第二机械开关(S2)的另一端与第二电容(C2)的一端在第二十二连接点(22)连接;第二电容(C2)的另一端与地线在第二十三连接点(23)连接;第二电阻(R2)连接在第四连接点(4)和第二十二连接点(22)之间;第五避雷器(MOV22)与第二电容(C2)并联连接在第二十二连接点(22)和第二十三连接点(23)之间;

在线路启动供电时,在检测到第一电阻(R1)上的压降与系统额定电压之间的偏差小于阈值时,合闸第一机械开关(S1);在检测到第二电阻(R2)上的压降与系统额定电压之间的偏差小于阈值时,合闸第二机械开关(S2);待第一机械开关(S1)、第二机械开关(S2)都闭合后,再闭合线路的隔离开关,使线路投入运行;

在直流输电线路正常稳态运行时,第一晶闸管(T1)、第二晶闸管(T2)处于预导通状态;线路电流通路依次为第一电感(L1)、第三电感(L0)和第二电感(L2);

在第一电感(L1)左侧线路或第二电感(L2)右侧线路发生短路故障时,第一电感(L1)、第二电感(L2)立即限流,第一电容(C1)、第二电容(C2)通过第一晶闸管(T1)、第二晶闸管(T2)放电,降低非故障侧线路的短路电流幅值及上升率、减小换流站所提供的短路电流;同时,第一电容(C1)、第二电容(C2)的电压钳位作用能够减缓直流母线电压的跌落。

一种直流限流断路器

技术领域

[0001] 本发明涉及一种直流限流断路器拓扑,特别涉及一种柔性直流电网的高压直流限流断路器拓扑。

背景技术

[0002] 直流断路器是保证直流输配电系统和直流电网系统稳定安全可靠运行的关键设备之一。与交流系统所不同的是,直流系统的电流并不存在自然过零点,因此直流系统中无法像交流系统一样利用电流的自然过零点关断,因此直流故障电流的开断问题一直是一个值得研究的课题。

[0003] 为了快速有效隔离直流故障,保障直流电网相关设备安全稳定运行,并尽可能减少故障对交直流系统运行带来的影响,需要采用高压直流断路器。目前,高压直流断路器主要有3种类型,即基于传统机械开关的机械式直流断路器、基于纯电力电子器件的固态直流断路器和基于二者结合的混合式直流断路器。机械式直流断路器通态损耗低,但受到振荡时间和机械开关分断速度的影响,难以满足柔性直流系统的要求;固态直流断路器需要使用较多的电力电子器件,导致其通态损耗大、成本高。因此,就目前研发现状而言,基于机械开关和电力电子器件的混合式直流断路器最具大规模应用的前景,为当前研究的重点。

[0004] 随着柔性直流电网的不断发展,直流系统短路阻抗越来越小,短路电流水平越来越高,这对电力系统的危害极大,有必要研究有效的短路电流限制技术。

[0005] 因此,亟待开展新型直流限流断路器的研究。

发明内容

[0006] 为了克服已有技术的不足,本发明提出一种新的直流限流断路器。本发明具有稳态运行时损耗小、出现短路故障时能够快速限流并切除故障、结构简单等特点。

[0007] 本发明直流限流断路器包括第一组合回路、第二组合回路、快速机械开关、第一电感、第二电感、第三电感和第一避雷器。第一电感的一端与快速机械开关的一端在第二连接点连接;快速机械开关的另一端与第三电感的一端在第三连接点连接;第三电感的另一端与第二电感的一端在第四连接点连接;第一避雷器连接在第二连接点和第四连接点之间。第一组合回路、第二组合回路分别连接在第二连接点和第四连接点上。所述的直流限流断路器通过第一连接点1和第五连接点5串联接入直流系统母线和直流输电线之间。

[0008] 第一组合回路中,第一二极管与第一晶闸管反向并联连接,再与第二避雷器并联连接在第二连接点与第十一连接点之间;第一机械开关的一端与第二避雷器的一端在第十一连接点连接;第一机械开关的另一端与第一电容的一端在第十二连接点连接;第一电容的另一端与地线在第十三连接点连接;第一电阻连接在第二连接点和第十二连接点之间;第三避雷器与第一电容并联连接在第十二连接点和第十三连接点之间。

[0009] 第二组合回路中,第二二极管与第二晶闸管反向并联连接,再与第四避雷器并联连接在第四连接点与第二十一连接点之间;第二机械开关的一端与第四避雷器的一端在第

第二十一连接点连接；第二机械开关的另一端与第二电容的一端在第二十二连接点连接；第二电容的另一端与地线在第二十三连接点连接；第二电阻连接在第四连接点和第二十二连接点之间；第五避雷器与第二电容并联连接在第二十二连接点和第二十三连接点之间。

[0010] 本发明的主要优点：

[0011] 1. 可实现直流短路电流的快速限流，利用电容提供部分故障电流，有效降低非故障侧线路上的故障电流幅值；

[0012] 2. 可实现对故障电流的快速分断，大幅降低直流故障电流对换流站的冲击；

[0013] 3. 该直流限流断路器能够将短路电流控制在较低的水平，从而有效保护线路上的其它电气设备；

[0014] 4. 具有试探性重合闸功能，可有效避免重合闸失败对换流站的再次冲击；

[0015] 5. 系统正常工作时的损耗小，整个拓扑结构简单、易实现，且具有双向分断功能，可靠性高。

附图说明

[0016] 图1为本发明具体实施例1的电路原理图；

[0017] 图2为本发明具体实施例2的电路原理图；

[0018] 图3为本发明具体实施例3的电路原理图；

[0019] 图4为本发明具体实施例4的电路原理图；

[0020] 图5为本发明第一种基本限流拓扑的电路原理图；

[0021] 图6为本发明第二种基本限流拓扑的电路原理图。

具体实施方式

[0022] 下面结合附图和具体实施例对本发明作进一步描述。

[0023] 图1所示为本发明的实施例1。本发明直流限流断路器包括第一组合回路10、第二组合回路20、快速机械开关K、第一电感L1、第二电感L2、第三电感L0和第一避雷器MOV0。第一电感L1的一端与快速机械开关K的一端在第二连接点2连接；快速机械开关K的另一端与第三电感L0的一端在第三连接点3连接；第三电感L0的另一端与第二电感L2的一端在第四连接点4连接；第一避雷器MOV0连接在第二连接点2和第四连接点4之间。第一组合回路10、第二组合回路20分别连接在第二连接点2和第四连接点4上。所述的直流限流断路器通过第一连接点1和第五连接点5串联接入直流系统母线和直流输电线之间。

[0024] 第一组合回路10中，第一二极管D1与第一晶闸管T1反向并联连接，再与第二避雷器MOV11并联连接在第二连接点2与第十一连接点11之间；第一机械开关S1的一端与第二避雷器MOV11的一端在第十一连接点11连接；第一机械开关S1的另一端与第一电容C1的一端在第十二连接点12连接；第一电容C1的另一端与地线在第十三连接点13连接；第一电阻R1连接在第二连接点2和第十二连接点12之间；第三避雷器MOV12与第一电容C1并联连接在第十二连接点12和第十三连接点13之间。

[0025] 第二组合回路20中，第二二极管D2与第二晶闸管T2反向并联连接，再与第四避雷器MOV21并联连接在第四连接点4与第二十一连接点21之间；第二机械开关S2的一端与第四避雷器MOV21的一端在第二十一连接点21连接；第二机械开关S2的另一端与第二电容C2的

一端在第二十二连接点22连接；第二电容C2的另一端与地线在第二十三连接点23连接；第二电阻R2连接在第四连接点4和第二十二连接点22之间；第五避雷器MOV22与第二电容C2并联连接在第二十二连接点22和第二十三连接点23之间。所述的第一机械开关S1和第二机械开关S2也可以是快速机械开关；快速机械开关K也可以是其与双向晶闸管的串联组合。

[0026] 在线路启动供电时，首先闭合快速机械开关K；然后在检测到第一电阻R1上的压降与系统额定电压之间的偏差小于阈值时，闭合第一机械开关S1；在检测到第二电阻R2上的压降与系统额定电压之间的偏差小于阈值时，闭合第二机械开关S2。待第一机械开关S1和第二机械开关S2都闭合后，再闭合线路的隔离开关，使线路投入运行。

[0027] 在直流输电线路正常稳态运行时，所述的快速机械开关K处于闭合导通状态，第一晶闸管T1和第二晶闸管T2均处于关断状态；线路电流通路依次为第一电感L1、快速机械开关K、第三电感L0和第二电感L2。

[0028] 当检测到第二电感L2右侧线路发生短路故障时，本发明直流限流断路器动作如下：立即分断快速机械开关K，同时触发导通第一晶闸管T1，第一电容C1开始放电，当快速机械开关K的触头分离达到预设开距时，触发导通第二晶闸管T2，在第二电容C2与第三电感L0的作用下，使得第二电容C2的放电电流反向注入快速机械开关K所在支路，随后快速机械开关K在电流过零点处息弧关断，从而实现对故障线路的分断。第一电容C1由放电转为充电状态，第一晶闸管T1过零关断，当第一电容C1的电压充至第三避雷器MOV12动作电压时，剩余能量通过第三避雷器MOV12泄放；第一机械开关S1也可以在电流过零时分断。第二电容C2正向放电电流降为零时，第二晶闸管T2关断，通过第二二极管D2反向放电，当第二电容C2的电压充至第五避雷器MOV22动作电压时，剩余能量通过第五避雷器MOV22泄放；第二机械开关S2也可以在第二电容C2反向放电电流过零时分断，降低第二二极管D2和第二晶闸管T2的成本。经过设定时间以后，所述的直流限流断路器开始重合闸动作：可以直接合闸快速机械开关K，完成重合闸动作。也可以先进行试探性重合闸操作，即先触发导通第二晶闸管T2，若检测到第二电容C2存在微小放电电流，说明不存在短路故障；若检测到第二电容C2存在很大的放电电流，说明仍然存在短路故障；待判断故障已消除时，再合闸快速机械开关K，完成重合闸动作。也可以通过测量第二电阻R2上的电流判断短路故障是否已清除，如果短路故障未清除，第二电阻R2上流过的电流较大；如果短路故障已经清除，第二电阻R2上流过的电流只有很小的漏电流；待判断故障已经清除后，再进行重合闸动作。这样，可避免因重合闸后仍有短路故障而再次对系统造成影响。

[0029] 当检测到第一电感L1左侧线路发生短路故障时，本发明直流限流断路器动作如下：立即分断快速机械开关K，同时触发导通第二晶闸管T2，第二电容C2开始放电，当快速机械开关K的触头分离达到预设开距时，触发导通第一晶闸管T1，在第一电容C1与第三电感L0的作用下，使得第一电容C1的放电电流反向注入快速机械开关K所在支路，随后快速机械开关K在电流过零点处息弧关断，从而实现对故障线路的分断。第二电容C2由放电转为充电状态，第二晶闸管T2过零关断，当第二电容C2的电压充至第五避雷器MOV22动作电压时，剩余能量通过第五避雷器MOV22泄放；第二机械开关S2也可以在电流过零时分断。第一电容C1正向放电电流降为零时，第一晶闸管T1关断，通过第一二极管D1反向放电，当第一电容C1的电压充至第三避雷器MOV12动作电压时，剩余能量通过第三避雷器MOV12泄放；第一机械开关S1也可以在第一电容C1反向放电电流过零时分断，降低第一二极管D1和第一晶闸管T1的成

本。经过设定时间以后,所述的直流限流断路器开始重合闸动作:可以直接合闸快速机械开关K,完成重合闸动作。也可以先进行试探性重合闸操作,即先触发导通第一晶闸管T1,若检测到第一电容C1存在微小放电电流,说明不存在短路故障;若检测到第一电容C1存在很大的放电电流,说明仍然存在短路故障;待判断故障已消除时,再合闸快速机械开关K,完成重合闸动作。也可以通过测量第一电阻R1上的电流判断短路故障是否已清除,如果短路故障未清除,第一电阻R1上流过的电流较大;如果短路故障已经清除,第一电阻R1上流过的电流只有很小的漏电流;待判断故障已经清除后,再进行重合闸动作。这样可避免因重合闸后仍有短路故障而再次对系统造成影响。

[0030] 图2所示为本发明的实施例2。本发明直流限流断路器包括第一组合回路10、第二组合回路20、快速机械开关K、第一电感L1、第二电感L2、第四电感L01、第五电感L02和第一避雷器MOV0。第一电感L1的一端与快速机械开关K的一端在第二连接点2连接;快速机械开关K的另一端与第二电感L2的一端在第四连接点4连接;第一避雷器MOV0连接在第二连接点2和第四连接点4之间。第四电感L01的一端连接在第二连接点2;第四电感L01的另一端与第一组合回路10在第六连接点6连接;第五电感L02的一端连接在第四连接点4;第五电感L02的另一端与第二组合回路20在第七连接点7连接。所述的直流限流断路器通过第一连接点1和第五连接点5串联接入直流系统母线和直流输电线之间。

[0031] 所述的第一组合回路10、第二组合回路20与实施例1中对应的第一组合回路10、第二组合回路20的结构组成、连接方式及工作原理均相同。所述的第一机械开关S1和第二机械开关S2也可以是快速机械开关;快速机械开关K也可以是其与双向晶闸管的串联组合。

[0032] 第一组合回路10中,第一二极管D1、第一晶闸管T1、第二避雷器MOV11并联,连接在第六连接点6与第十一连接点11之间;第一电阻R1连接在第六连接点6和第十二连接点12之间。

[0033] 第二组合回路20中,第二二极管D2、第二晶闸管T2、第四避雷器MOV21并联,连接在第七连接点7与第二十一连接点21之间;第二电阻R2连接在第七连接点7和第二十二连接点22之间。

[0034] 在线路启动供电时,本发明直流限流断路器的工作原理与实施例1的工作原理相同。

[0035] 在直流输电线路正常稳态运行时,所述的快速机械开关K处于闭合导通状态,第一晶闸管T1和第二晶闸管T2均处于关断状态;线路电流通路依次为第一电感L1、快速机械开关K和第二电感L2。

[0036] 当检测到第二电感L2右侧线路发生短路故障时,本发明直流限流断路器动作如下:立即分断快速机械开关K,同时触发导通第一晶闸管T1,第一电容C1开始放电,当快速机械开关K的触头分离达到预设开距时,触发导通第二晶闸管T2,在第二电容C2与第五电感L02的作用下,使得第二电容C2的放电电流反向注入快速机械开关K所在支路,随后快速机械开关K在电流过零点处息弧关断,从而实现对故障线路的分断。故障分断后的工作过程以及重合闸动作的工作原理与实施例1相同。

[0037] 当检测到第一电感L1左侧线路发生短路故障时,本发明直流限流断路器动作如下:立即分断快速机械开关K,同时触发导通第二晶闸管T2,第二电容C2开始放电,当快速机械开关K的触头分离达到预设开距时,触发导通第一晶闸管T1,在第一电容C1与第四电感

L01的作用下,使得第一电容C1的放电电流反向注入快速机械开关K所在支路,随后快速机械开关K在电流过零点处息弧关断,从而实现对故障线路的分断。故障分断后的工作过程以及重合闸动作的工作原理与具体实施例1相同。

[0038] 图3所示为本发明的实施例3。本发明直流限流断路器包括第一组合回路10、第二组合回路20、第三组合回路30、第四组合回路40、快速机械开关K、第一电感L1、第二电感L2、第三电感L0、第四电感L3、第五电感L4和第一避雷器MOV0。第四电感L3的一端与第一电感L1的一端在第一连接点1连接;第一电感L1的另一端与快速机械开关K的一端在第二连接点2连接;快速机械开关K的另一端与第三电感L0的一端在第三连接点3连接;第三电感L0的另一端与第二电感L2的一端在第四连接点4连接;第二电感L2的另一端与第五电感L4的一端在第五连接点5连接;第一避雷器MOV0连接在第二连接点2和第四连接点4之间。第一组合回路10连接在第二连接点2上;第二组合回路20连接在第四连接点4上;第三组合回路30连接在第一连接点1上,第一连接点1在第一电感L1和第四电感L3之间;第四组合回路40连接在第五连接点5上,第五连接点5在第二电感L2和第五电感L4之间。第四电感L3的另一端与直流系统母线在第八连接点8连接,第五电感L4的另一端与直流输电线在第九连接点9连接。

[0039] 所述的第一组合回路10、第二组合回路20与实施例1中对应的第一组合回路10、第二组合回路20的结构组成、连接方式及工作原理均相同。

[0040] 第三组合回路30中,第三二极管D3与第三晶闸管T3反向并联连接,再与第六避雷器MOV31并联连接在第一连接点1与第三十一连接点31之间;第三机械开关S3的一端与第六避雷器MOV31的一端在第三十一连接点31连接;第三机械开关S3的另一端与第三电容C3的一端在第三十二连接点32连接;第三电容C3的另一端与地线在第三十三连接点33连接;第三电阻R3连接在第一连接点1和第三十二连接点32之间;第七避雷器MOV32与第三电容C3并联连接在第三十二连接点32和第三十三连接点33之间。

[0041] 第四组合回路40中,第四二极管D4与第四晶闸管T4反向并联连接,再与第八避雷器MOV41并联连接在第五连接点5与第四十一连接点41之间;第四机械开关S4的一端与第八避雷器MOV41的一端在第四十一连接点41连接;第四机械开关S4的另一端与第四电容C4的一端在第四十二连接点42连接;第四电容C4的另一端与地线在第四十三连接点43连接;第四电阻R4连接在第五连接点5和第四十二连接点42之间;第九避雷器MOV42与第四电容C4并联连接在第四十二连接点42和第四十三连接点43之间。所述的第三机械开关S3、第四机械开关S4也可以是快速机械开关;快速机械开关K也可以是其与双向晶闸管的串联组合。

[0042] 本发明直流限流断路器是由实施例1演变的一种高阶限流断路器拓扑。

[0043] 参照实施例2,也可以去除第三电感L0,在第一组合回路10、第二组合回路20与对应的第二连接点2、第四连接点4之间分别串联第四电感L01、第五电感L02。

[0044] 在线路启动供电时,首先闭合快速机械开关K;然后在检测到第一电阻R1上的压降与系统额定电压之间的偏差小于阈值时,闭合第一机械开关S1;在检测到第二电阻R2上的压降与系统额定电压之间的偏差小于阈值时,闭合第二机械开关S2;在检测到第三电阻R3上的压降与系统额定电压之间的偏差小于阈值时,闭合第三机械开关S3;在检测到第四电阻R4上的压降与系统额定电压之间的偏差小于阈值时,闭合第四机械开关S4。待第一机械开关S1、第二机械开关S2、第三机械开关S3、第四机械开关S4都闭合后,再闭合线路的隔离开关,使线路投入运行。

[0045] 在直流输电线路正常稳态运行时,所述的快速机械开关K处于闭合导通状态,第一晶闸管T1和第二晶闸管T2均处于关断状态,第三晶闸管T3和第四晶闸管T4均处于触发预导通状态;线路电流通路依次为第四电感L3、第一电感L1、快速机械开关K、第三电感L0、第二电感L2和第五电感L4。

[0046] 线路发生短路故障时,第三电容C3、第四电容C4立即通过第三晶闸管T3、第四晶闸管T4放电。

[0047] 当检测到第五电感L4右侧线路发生短路故障时,本发明直流限流断路器动作如下:故障分断过程与实施例1第二电感L2右侧线路发生短路故障时的故障分断过程相同。故障分断后,第一电容C1、第三电容C3由放电转为充电状态,第一晶闸管T1、第三晶闸管T3过零关断,当第一电容C1、第三电容C3的电压充至第三避雷器MOV12、第七避雷器MOV32动作电压时,剩余能量通过第三避雷器MOV12、第七避雷器MOV32泄放;第一机械开关S1、第三机械开关S3也可以在电流过零时分断。第二电容C2、第四电容C4正向放电电流降为零时,第二晶闸管T2、第四晶闸管T4关断,分别通过第二二极管D2、第四二极管D4反向放电,当第二电容C2、第四电容C4的电压充至第五避雷器MOV22、第九避雷器MOV42动作电压时,剩余能量通过第五避雷器MOV22、第九避雷器MOV42泄放;第二机械开关S2、第四机械开关S4也可以在第二电容C2、第二电容C4反向放电电流过零时分断,降低第二二极管D2、第二晶闸管T2及第四二极管D4、第四晶闸管T4的成本。在经过设定时间以后,所述的直流限流断路器开始重合闸动作:可以直接合闸快速机械开关K,完成重合闸动作。也可以先进行试探性重合闸操作,即先触发导通第二晶闸管T2或第四晶闸管T4,若检测到第五电感L4右侧线路存在微小电流,说明不存在短路故障;若检测到第五电感L4右侧线路存在很大的电流,说明仍然存在短路故障;待判断故障已消除时,再合闸快速机械开关K,完成重合闸动作。也可以通过测量第二电阻R2或第四电阻R4上的电流判断短路故障是否已清除,如果短路故障未清除,第二电阻R2或第四电阻R4上流过的电流较大;如果短路故障已经清除,第二电阻R2或第四电阻R4上流过的电流只有很小的漏电流;待判断故障已经清除后,再进行重合闸动作。这样可避免因重合闸后仍有短路故障而再次对系统造成影响。

[0048] 当检测到第四电感L3左侧线路发生短路故障时,本发明直流限流断路器动作如下:故障分断过程与实施例1第一电感L1左侧线路发生短路故障时的故障分断过程相同。故障分断后,第二电容C2、第四电容C4由放电转为充电状态,第二晶闸管T2、第四晶闸管T4过零关断,当第二电容C2、第四电容C4的电压充至第五避雷器MOV22、第九避雷器MOV42动作电压时,剩余能量通过第五避雷器MOV22、第九避雷器MOV42泄放;第二机械开关S2、第四机械开关S4也可以在电流过零时分断。第一电容C1、第三电容C3正向放电电流降为零时,第一晶闸管T1、第三晶闸管T3关断,分别通过第一二极管D1、第三二极管D3反向放电,当第一电容C1、第三电容C3的电压充至第三避雷器MOV12、第七避雷器MOV32动作电压时,剩余能量通过第三避雷器MOV12、第七避雷器MOV32泄放;第一机械开关S1、第三机械开关S3也可以在第一电容C1、第三电容C3反向放电电流过零时分断,降低第一二极管D1、第一晶闸管T1及第三二极管D3、第三晶闸管T3的成本。在经过设定时间以后,所述的直流限流断路器开始重合闸动作:可以直接合闸快速机械开关K,完成重合闸动作。也可以先进行试探性重合闸操作,即先触发导通第一晶闸管T1或第三晶闸管T3,若检测到第四电感L3左侧线路存在微小电流,说明不存在短路故障;若检测到第四电感L3左侧线路存在很大的电流,说明仍然存在短路故

障;待判断故障已消除时,再合闸快速机械开关K,完成重合闸动作。也可以通过测量第一电阻R1或第三电阻R3上的电流判断短路故障是否已清除,如果短路故障未清除,第一电阻R1或第三电阻R3上流过的电流较大;如果短路故障已经清除,第一电阻R1或第三电阻R3上流过的电流只有很小的漏电流;待判断故障已经清除后,再进行重合闸动作。这样可避免因重合闸后仍有短路故障而再次对系统造成影响。

[0049] 图4所示为本发明的具体实施例4,本发明直流限流断路器包括第一组合回路10、第二组合回路20、第三组合回路30、快速机械开关K、第一电感L1、第二电感L2、第三电感L0、电力电子开关Q和第一避雷器MOV0、第五机械开关S01和第六机械开关S02。第一电感L1的一端与快速机械开关K的一端在第二连接点2连接;快速机械开关K的另一端与电力电子开关Q的一端在第三连接点3连接;电力电子开关Q的另一端与第二电感L2的一端在第四连接点4连接;第一避雷器MOV0连接在第二连接点2和第四连接点4之间。第一组合回路10连接在第二连接点2上;第二组合回路20连接在第四连接点4上;第五机械开关S01的一端与第一组合回路10在第十二连接点12连接;第五机械开关S01的另一端与第六机械开关S02的一端在第六连接点6连接;第六机械开关S02的另一端与第二组合回路20在第二十二连接点22连接;第三电感L0的一端连接在第六连接点6;第三电感L0的另一端与第三组合回路30在第七连接点7连接。

[0050] 所述的第一组合回路10、第二组合回路20、第三组合回路30与实施例3中对应的第一组合回路10、第二组合回路20、第三组合回路30的结构组成、连接方式及工作原理均相同。所述的第五机械开关S01、第六机械开关S02也可以是快速机械开关。

[0051] 在直流输电线路正常稳态运行时,所述的快速机械开关K、电力电子开关Q均处于闭合导通状态,第一晶闸管T1和第二晶闸管T2均处于预导通状态;线路电流通路依次为第一电感L1、快速机械开关K、电力电子开关Q和第二电感L2。

[0052] 线路发生短路故障时,第一电容C1、第二电容C2立即通过第一晶闸管T1、第二晶闸管T2进行放电。

[0053] 当检测到第二电感L2右侧线路发生短路故障时,本发明直流限流断路器动作如下:立即分断快速机械开关K、关断电力电子开关Q,同时合闸第五机械开关S01和第六机械开关S02,故障电流开始转移至第五机械开关S01、第六机械开关S02,在快速机械开关K的触头达到设定开距时,分闸第五机械开关S01,再触发导通第三晶闸管T3,在第三电容C3与第三电感L0的作用下,第三电容C3的放电电流反向注入第五机械开关S01所在支路,第五机械开关S01在电流过零点处自然分断,从而实现对故障线路的分断。第一电容C1由放电转为充电状态,第一晶闸管T1过零关断,当第一电容C1的电压充至第三避雷器MOV12动作电压时,剩余能量通过第三避雷器MOV12泄放;第一机械开关S1也可以在电流过零时分断。第三电容C3的正向放电电流降为零时,通过第三二极管D3反向放电,第三机械开关S3、第六机械开关S02可以在第三电容C3反向放电电流过零时分断。第二电容C2正向放电电流降为零时,第二晶闸管T2关断,通过第二二极管D2反向放电;第二机械开关S2也可以在第二电容C2反向放电电流过零时分断。经过设定时间以后,所述的直流限流断路器开始重合闸动作:可以先进行试探性重合闸操作,即先触发导通第二晶闸管T2,若检测到第二电感L2右侧线路存在微小电流,说明不存在短路故障;若检测到第二电感L2右侧线路存在很大的电流,说明仍然存在短路故障;待判断故障已消除时,再合闸快速机械开关K、导通电力电子开关Q,完成重合

闸动作。也可以通过测量第二电阻R2上的电流判断短路故障是否已清除,如果短路故障未清除,第二电阻R2上流过的电流较大;如果短路故障已经清除,第二电阻R2上流过的电流只有很小的漏电流;待判断故障已经清除后,再进行重合闸动作。这样,可避免因重合闸后仍有短路故障而再次对系统造成影响。

[0054] 当检测到第一电感L1左侧线路发生短路故障时,本发明直流限流断路器动作如下:立即分断快速机械开关K、关断电力电子开关Q,同时合闸第五机械开关S01和第六机械开关S02,故障电流开始转移至第五机械开关S01、第六机械开关S02,在快速机械开关K的触头达到设定开距时,触发导通第三晶闸管T3,在第三电容C3与第三电感L0的作用下,第三电容C3的放电电流反向注入第六机械开关S02所在支路,第六机械开关S02在电流过零点处自然分断,从而实现了对故障线路的分断。第二电容C2由放电转为充电状态,第二晶闸管T2过零关断,当第二电容C2的电压充至第五避雷器MOV22动作电压时,剩余能量通过第五避雷器MOV22泄放;第二机械开关S2也可以在电流过零时分断。第三电容C3的正向放电电流降为零时,通过第三二极管D3反向放电,第三机械开关S3、第五机械开关S01可以在第三电容C3反向放电电流过零时分断。第一电容C1正向放电电流降为零时,第一晶闸管T1关断,通过第一二极管D1反向放电;第一机械开关S1也可以在第一电容C1反向放电电流过零时分断。经过设定时间以后,所述的直流限流断路器开始重合闸动作:可以先进行试探性重合闸操作,即先触发导通第一晶闸管T1,若检测到第一电感L1左侧线路存在微小电流,说明不存在短路故障;若检测到第一电感L1左侧线路存在很大的电流,说明仍然存在短路故障;待判断故障已消除时,再合闸快速机械开关K、导通电力电子开关Q,完成重合闸动作。也可以通过测量第一电阻R1上的电流判断短路故障是否已清除,如果短路故障未清除,第一电阻R1上流过的电流较大;如果短路故障已经清除,第一电阻R1上流过的电流只有很小的漏电流;待判断故障已经清除后,再进行重合闸动作。这样可避免因重合闸后仍有短路故障而再次对系统造成影响。

[0055] 图5所示为本发明用于限流的第一种基本拓扑。第一种基本限流拓扑为一种“T”型电路结构,具有双向限流作用,由第一电感L1、第二电感L2和第一组合回路10组成。第一电感L1与第二电感L2串联连接在第二连接点2;第一组合回路10连接在第二连接点2上。所述的基本限流拓扑通过第一连接点1和第三连接点3串联接入直流输电线之中。

[0056] 第一组合回路10中,第一二极管D1与第一晶闸管T1反向并联连接,再与第二避雷器MOV11并联连接在第二连接点2与第十一连接点11之间;第一机械开关S1的一端与第二避雷器MOV11的一端在第十一连接点11连接;第一机械开关S1的另一端与第一电容C1的一端在第十二连接点12连接;第一电容C1的另一端与地线在第十三连接点13连接;第一电阻R1连接在第二连接点2和第十二连接点12之间;第三避雷器MOV12与第一电容C1并联连接在第十二连接点12和第十三连接点13之间。

[0057] 在线路启动供电时,在检测到第一电阻R1上的压降与系统额定电压之间的偏差小于阈值时,合闸第一机械开关S1。待第一机械开关S1闭合后,再闭合线路的隔离开关,使线路投入运行。

[0058] 在直流输电线路正常稳态运行时,第一晶闸管T1处于预导通状态;线路电流通路依次为第一电感L1和第二电感L2。

[0059] 在第一电感L1左侧线路或第二电感L2右侧线路发生短路故障时,所述基本限流拓

扑的第一电感L1、第二电感L2立即限流,且第一电容C1通过第一晶闸管T1放电,提供部分短路电流,进一步大幅降低非故障侧线路的短路电流幅值及上升率,减小换流站所提供的短路电流;同时,第一电容C1的电压的钳位作用可减缓直流母线电压的跌落。

[0060] 图6所示为本发明用于限流的第二种基本拓扑。第二种基本限流拓扑为一种“ π ”型电路结构,具有双向限流作用,由第一电感L1、第二电感L2、第三电感L0、第一组合回路10、第二组合回路20组成。第一电感L1的一端与第三电感L0的一端连接在第二连接点2;第三电感L0的另一端与第二电感L2的一端连接在第四连接点4;第一组合回路10连接在第二连接点2上,第二组合回路20连接在第四连接点4上。所述的基本限流拓扑通过第一连接点1和第五连接点5串联接入直流输电线之中。所述的第一组合回路10与图5所示的第一种基本限流拓扑中的第一组合回路10具有相同的结构组成、连接方式和工作原理。

[0061] 第二组合回路20中,第二二极管D2与第二晶闸管T2反向并联连接,再与第四避雷器MOV21并联连接在第四连接点4与第二十一连接点21之间;第二机械开关S2的一端与第四避雷器MOV21的一端在第二十一连接点21连接;第二机械开关S2的另一端与第二电容C2的一端在第二十二连接点22连接;第二电容C2的另一端与地线在第二十三连接点23连接;第二电阻R2连接在第四连接点4和第二十二连接点22之间;第五避雷器MOV22与第二电容C2并联连接在第二十二连接点22和第二十三连接点23之间。

[0062] 在线路启动供电时,在检测到第一电阻R1上的压降与系统额定电压之间的偏差小于阈值时,合闸第一机械开关S1;在检测到第二电阻R2上的压降与系统额定电压之间的偏差小于阈值时,合闸第二机械开关S2。待第一机械开关S1、第二机械开关S2都闭合后,再闭合线路的隔离开关,使线路投入运行。

[0063] 在直流输电线路正常稳态运行时,第一晶闸管T1、第二晶闸管T2处于预导通状态;线路电流通路依次为第一电感L1、第三电感L0和第二电感L2。

[0064] 在第一电感L1左侧线路或第二电感L2右侧线路发生短路故障时,本发明基本限流拓扑的第一电感L1、第二电感L2立即限流,且第一电容C1、第二电容C2通过第一晶闸管T1、第二晶闸管T2放电,更大幅度降低非故障侧线路的短路电流幅值及上升率、减小换流站所提供的短路电流;同时,第一电容C1、第二电容C2的电压钳位作用可减缓直流母线电压的跌落。

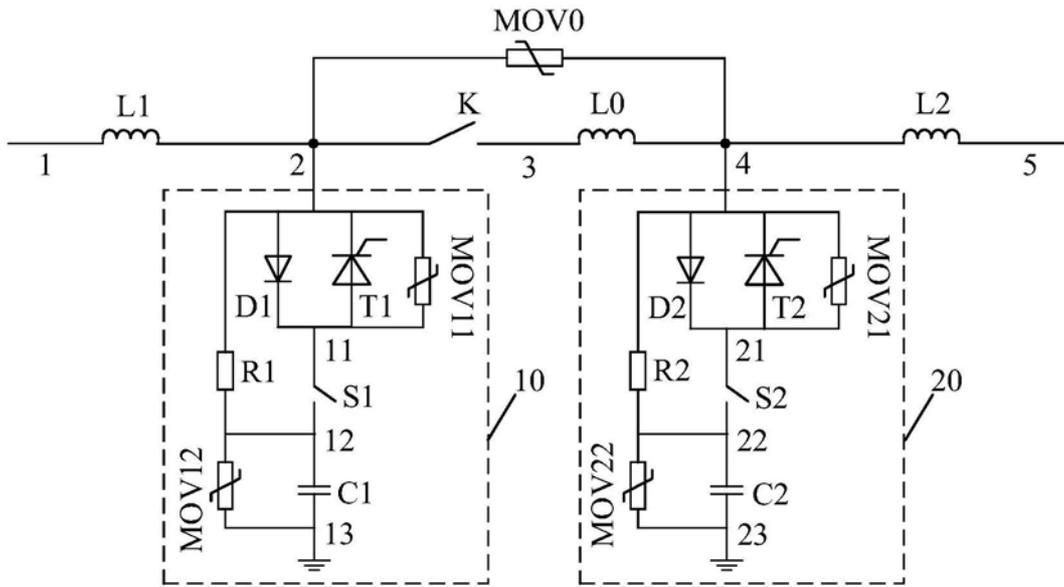


图1

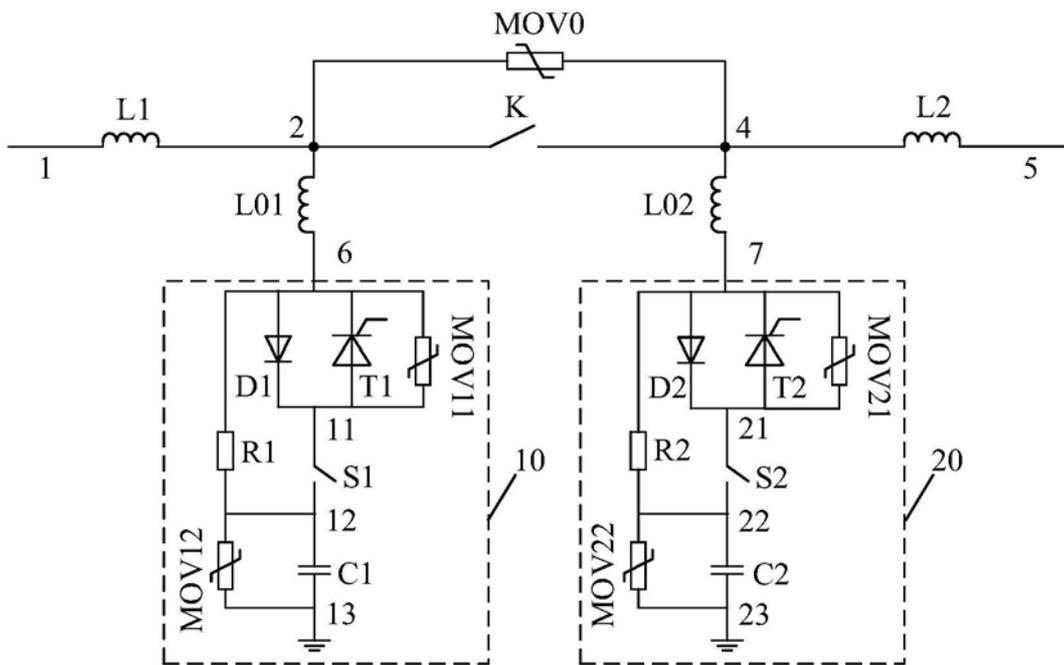


图2

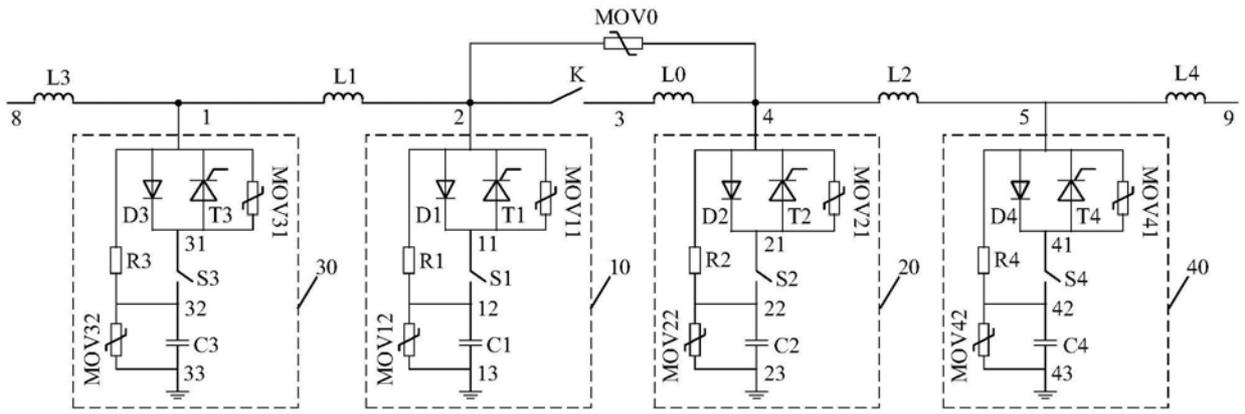


图3

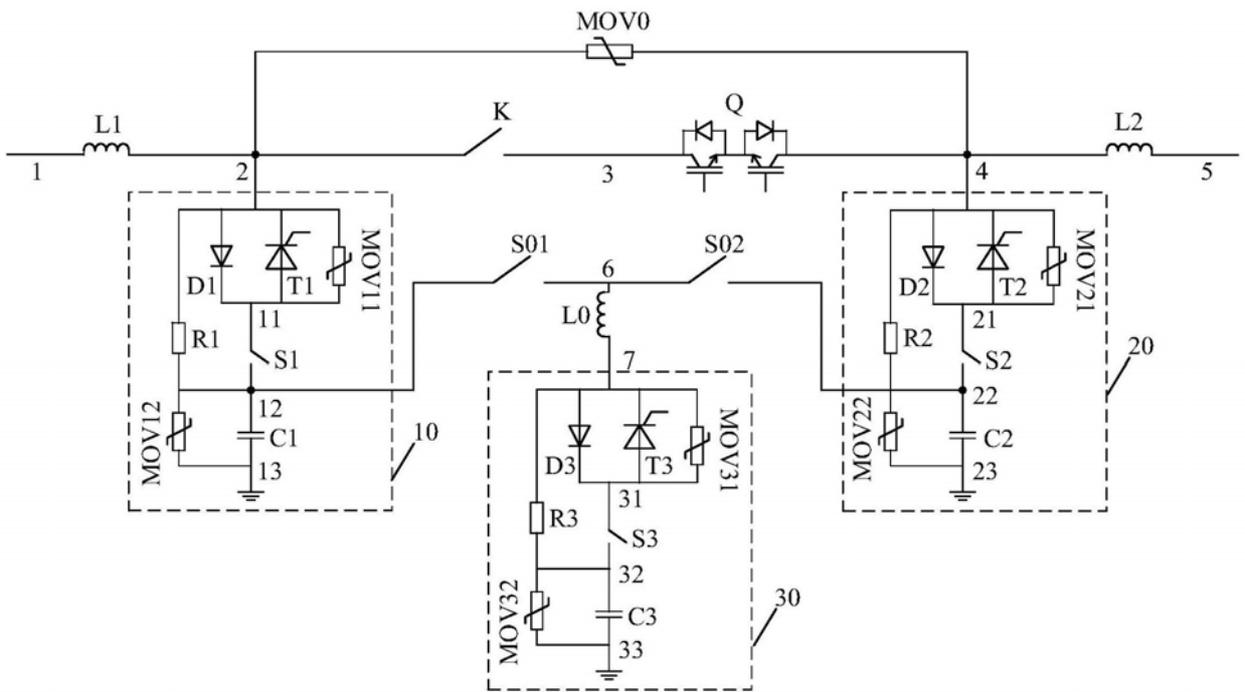


图4

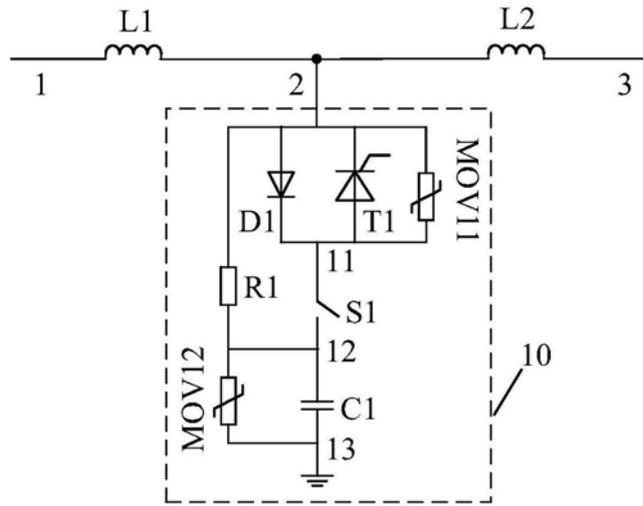


图5

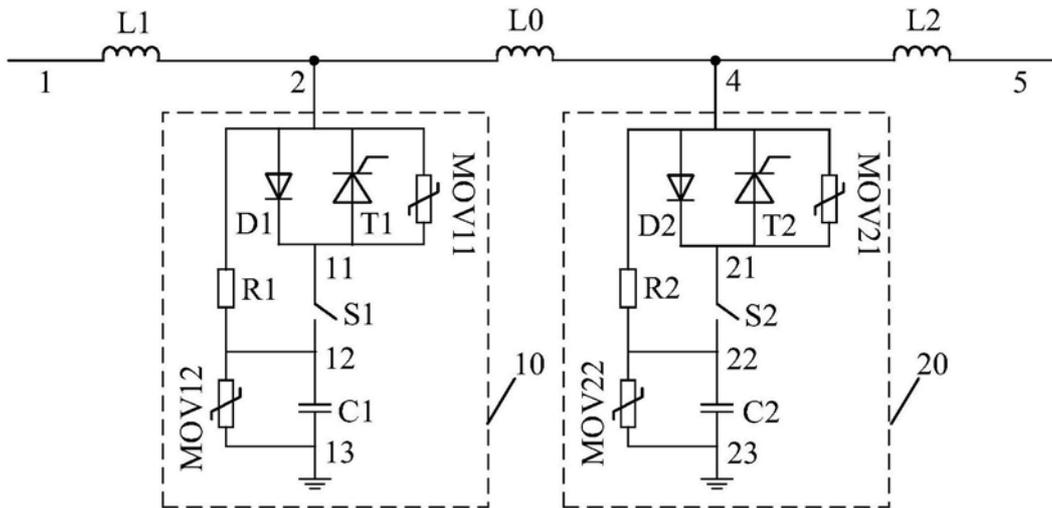


图6