



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106452035 B

(45)授权公告日 2019.05.24

(21)申请号 201610917430.9

(22)申请日 2016.10.21

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 106452035 A

(43)申请公布日 2017.02.22

(73)专利权人 四川大学  
地址 610065 四川省成都市武侯区一环路  
南一段24号

(72)发明人 王渝红 刘程卓 龚鸿 王媛  
阳莉汶 邹朋 陈阳

(74)专利代理机构 成都时誉知识产权代理事务  
所(普通合伙) 51250  
代理人 何悦

(51)Int.Cl.  
H02M 1/34(2007.01)

(56)对比文件

CN 104137211 A,2014.11.05,说明书第25-46段及附图3.

CN 104753044 A,2015.07.01,全文.  
Arman Hassanpoor等.Technical

Assessment of Load Commutation Switch in Hybrid HVDC Breaker.《IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS》.2015,第30卷(第10期),第5393-5400页.

审查员 谢冬莹

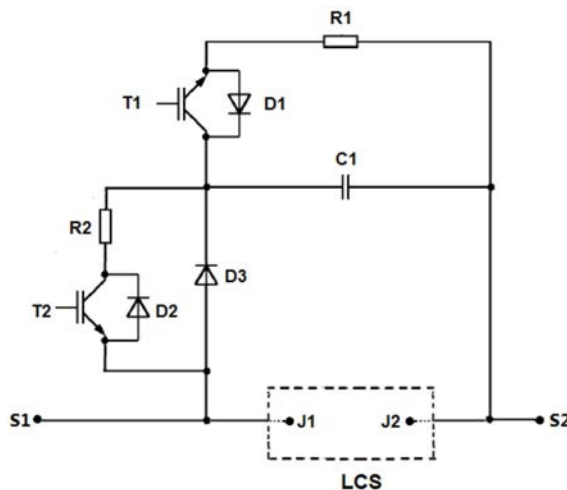
权利要求书3页 说明书5页 附图4页

(54)发明名称

一种适用于混合式高压直流断路器双向串联负载换流开关的缓冲电路

(57)摘要

本发明提出了一种适用于混合式高压直流断路器双向串联负载换流开关的缓冲电路结构及控制策略。所述其中一个单向缓冲电路结构包括电容C1,绝缘栅双极型晶体管T1、T2,二极管D1、D2、D3,电阻R1、R2。T1的集电极、发射极分别与D1的阴极、阳极相连;R1的一端与T1的发射极相连,另一端与S2相连;T2的集电极、发射极分别与D2的阴极、阳极相连;R2的一端与T2的集电极相连,另一端与T1的集电极相连;D3的阴极、阳极分别与T1的集电极、T2的发射极相连;C1的一端与T1的集电极相连,另一端与节点S2相连。所述电路控制策略包括在混合式高压直流断路器分、合闸时,对T1、T2的控制。本发明结构、控制简单,提高了混合式高压直流断路器的速动性和可靠性。



1. 一种适用于混合式高压直流断路器双向串联负载换流开关的缓冲电路,其特征在于,包括:缓冲电容C1,绝缘栅双极型晶体管T1、T2,二极管D1、D2、D3,电阻R1、R2;负载换流开关两端节点分别为节点J1与节点J2;节点S1、S2分别与节点J1、J2相连;T1的集电极、发射极分别与D1的阴极、阳极相连;R1的一端与T1的发射极相连,另一端与节点S2相连;T2的集电极、发射极分别与D2的阴极、阳极相连;R2的一端与T2的集电极相连,另一端与T1的集电极相连;D3的阴极、阳极分别与T1的集电极、T2的发射极相连;C1的一端与T1的集电极相连,另一端与节点S2相连;其中T1、D1、R1构成的支路称作并联可控放电支路,T2、D2、R2构成的支路称作串联可控放电支路;

混合式高压直流断路器合闸时:

- 1) T1一直处于开断状态,并联可控放电支路呈大阻值;
- 2) 在超快速机械开关触头闭合后,C1通过二极管D3充电;
- 3) 负载换流开关导通,T2导通,串联可控放电支路呈小阻值,C1通过串联可控放电支路和负载换流开关放电;

混合式高压直流断路器分闸时:

- 1) 在负载换流开关开断前,T1处于开断状态,T2处于导通状态,并联可控放电支路呈大阻值,串联可控放电支路呈小阻值;
- 2) 在负载换流开关开断,并联可控放电支路仍呈大阻值,T2开断,串联可控放电支路呈大阻值,C1通过二极管D3充电;
- 3) 超快速机械开关触头开始分离时,T1导通,并联可控放电支路呈小阻值,C1通过并联可控放电支路放电,同时串联可控放电支路仍呈大阻值,阻断C1经超快速机械开关的放电;
- 4) 固态主开关开断,T1开断,并联可控放电支路呈大阻值。

2. 一种如权利要求1所述的适用于混合式高压直流断路器双向串联负载换流开关的缓冲电路,其特征在于,当负载换流开关通过的电流为正时,负载换流开关两端配置的缓冲电路如权利要求1所述;当负载换流开关通过的电流为负时,只需将权利要求1所述缓冲电路中节点J1、J2与节点S1、S2连接交换,即节点J1、J2分别与节点S2、S1相连;当负载换流开关通过电流可能为正或为负时需同时并联两个如权利要求1所述的缓冲电路,这两个缓冲电路与节点J1、J2的连接方式分别如负载换流开关通过电流为正及负载换流开关通过电流为负时所述,以使采用该种缓冲电路的混合直流断路器适用于电流双向变化的直流网络。

3. 一种如权利要求1所述的适用于混合式高压直流断路器双向串联负载换流开关的缓冲电路,其特征在于,

混合式高压直流断路器合闸时,

开关S1、S2分别代表负载换流开关与超快速机械开关,电感Ls代表混合式高压直流断路器的限流电抗器,Udc和R1分别代表直流电源和直流负荷,假设缓冲电容C1无初始电压,在 $t_0=0s$ 时刻,开关S2闭合,直流断路器合闸动作开始,则 $t_0\sim t_1$ 时段,可得电路方程为:

$$\begin{cases} U_{dc} = L_s \frac{di_0}{dt} + v_{C0} + R_1 i_0 \\ i_0 = C_1 \frac{dv_{C0}}{dt} \\ v_{C0}(t_0^+) = v_{C0}(t_0^-) = 0 \end{cases}$$

式中： $v_{C0}$ 为 $t_0 \sim t_1$ 时段电容 $C_1$ 电压； $i_0$ 为 $t_0 \sim t_1$ 时段流经电感 $L_s$ 的电流；

在 $t_1$ 时刻，开关 $S_1$ 、 $T_1$ 闭合，直流断路器完成合闸动作，则 $t_1$ 时刻以后，针对缓冲电路，可得电路方程为：

$$\begin{cases} C_1 \frac{dv_{C1}}{dt} = \frac{v_{C1}}{R_2} \\ v_{C1}(t_1^+) = v_{C1}(t_1^-) = v_{C0}(t_1) \end{cases}$$

式中： $v_{C1}$ 为 $t_1$ 时刻后电容 $C_1$ 电压；

混合式高压直流断路器分闸时，其中 $S_1$ 、 $S_2$ 、 $L_s$ 、 $U_{dc}$ 、 $R_1$ 与合闸时相同，开关 $S_3$ 代表固态主开关，电感 $L_m$ 代表超快速机械开关和固态主开关的杂散电感， $R_m$ 代表固态主开关的电阻，开关 $S$ 和电阻 $R_f$ 代表接地故障；

假设缓冲电容 $C_1$ 无初始电压，在 $t_0=0s$ 时刻以前，开关 $S_1$ 、 $S_2$ 已长时间闭合，在 $t_0=0s$ 时刻，系统突然发生接地故障，即开关 $S$ 在 $t_0$ 时刻闭合，可得电路方程为：

$$\begin{cases} U_{dc} = L_s \frac{di_0}{dt} + R_f i_0 \\ i_0(t_0^-) = i_0(t_0^+) = \frac{U_{dc}}{R_f} \end{cases}$$

式中： $i_0$ 为 $t_0 \sim t_1$ 时段流经电感 $L_s$ 的电流；

在 $t_1$ 时刻，保护动作，直流断路器开始分闸动作，开关 $S_1$ 、 $T_1$ 断开，则 $t_1 \sim t_2$ 时段，可得电路方程为：

$$\begin{cases} U_{dc} = L_s \frac{di_1}{dt} + v_{C1} + R_f i_1 \\ i_1 = C_1 \frac{dv_{C1}}{dt} \\ v_{C1}(t_1^+) = v_{C1}(t_1^-) = 0 \\ i_1(t_1^+) = i_1(t_1^-) = C_1 \frac{dv_{C1}}{dt}(t_1^-) = i_0(t_1) \end{cases}$$

式中： $i_1$ 为 $t_1 \sim t_2$ 时段流经电感 $L_s$ 的电流； $v_{C1}$ 为 $t_1 \sim t_2$ 时段电容 $C_1$ 电压；

在 $t_2$ 时刻，开关 $S_3$ 闭合，故障电流由载流支路向固态主开关支路转移；则 $t_2 \sim t_3$ 时段，可得电路方程为：

$$\begin{cases} U_{dc} = L_s \frac{di_2}{dt} + v_{C2} + R_f i_2 \\ i_2 = C_1 \frac{dv_{C2}}{dt} + i_{21} \\ v_{C2} = L_m \frac{di_{21}}{dt} + R_m i_{21} \\ v_{C2}(t_2^+) = v_{C2}(t_2^-) = v_{C1}(t_2 - t_1) \\ i_{21}(t_2^+) = i_{21}(t_2^-) = 0 \\ i_2(t_2^+) = i_2(t_2^-) = C_1 \frac{dv_{C2}}{dt}(t_2^-) + i_{21}(t_2^-) = i_1(t_2 - t_1) \end{cases}$$

式中： $i_2$ 为 $t_2 \sim t_3$ 时段流经电感 $L_s$ 的电流； $i_{21}$ 为 $t_2 \sim t_3$ 时段流经电感 $L_s$ 的电流； $v_{C2}$ 为 $t_2 \sim t_3$ 时段电容 $C_1$ 电压；

在 $t_3$ 时刻,载流支路电流减小为零,开关S2开始断开、T2闭合,则 $t_3$ 时刻后,针对缓冲电路,可得电路方程为:

$$\left\{ \begin{array}{l} C_1 \frac{dv_{C2}}{dt} + \frac{v_{C3}}{R_1} = 0 \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} v_{C3}(t_3^+) = v_{C3}(t_3^-) = v_{C2}(t_3 - t_2) \end{array} \right.$$

式中: $v_{C2}$ 为 $t_3$ 时刻后电容 $C_s$ 电压。

## 一种适用于混合式高压直流断路器双向串联负载换流开关的 缓冲电路

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种适用于混合式高压直流断路器双向串联负载换流开关 (load commutation switch, LCS) 的缓冲电路, 属于高压直流输电领域。

### 背景技术

[0002] 基于电力电子技术的柔性直流输电 (voltage source converter based high voltage direct current, VSC-HVDC) 以其功率控制灵活、无换相失败等优点在大电网互联、点对点功率传输方面已取得蓬勃发展, 同时柔性直流输电也为随机性较强的太阳能、风能等发展迅猛的新能源并网和消纳提供了解决方案。高压直流断路器作为直流输电的关键技术之一, 同时也是直流电网运行、控制、保护的基础。混合式高压直流断路器因其具有可靠性高、动作迅速、损耗低等特点, 在高压直流系统中最具实用性。

[0003] 混合式高压直流断路器的结构多种多样, 但其载流支路通常由LCS和超快速机械开关 (ultrafast disconnecter, UFD) 串联组成。LCS作为混合式高压直流断路器正常载流和故障换流的关键元件, 其结构可分为双向串联和双向并联等两种类型。双向串联的LCS结构相比于双向并联的LCS结构, 可靠性更高。故本发明基于混合式高压直流断路器双向串联的LCS结构展开进一步讨论。

[0004] 在实际工程中, 混合式高压直流断路器合闸, 应先闭合UFD机械触头, 使LCS导通前有一定的正向压降, 以保证LCS能正常触发导通; 混合式高压直流断路器分闸, 应先触发LCS开断, 以保证固态主开关 (main breaker, MB) 能正常触发导通。这都会导致LCS中的IGBT承受很大的电压变化率, 因此LCS两端必须配置降低电压变化率的缓冲电路, 以保证LCS正常工作。

[0005] 目前LCS的缓冲电路主要有RCD (电阻、电容、二极管) 缓冲电路和基于RCD的改进缓冲电路。RCD电路结构简单, 但在混合式高压直流断路器分闸过程中, 载流支路向固态主开关支路换流时, 缓冲电容会经UFD放电, 导致UFD分断电流增加, UFD触头分离时间变长, 降低了混合式高压直流断路器的速动性; 基于RCD的改进缓冲电路, 去掉了缓冲电容经UFD的放电支路, 但却导致混合式高压直流断路器分闸结束后, 缓冲电容上剩余电压较高, 降低了混合式高压直流断路器短时间内进行多次分合闸动作的可靠性。因此, 针对双向串联LCS, 需要研究性能更优的缓冲电路。

### 发明内容

[0006] 针对上述问题, 本发明提出一种适用于混合式高压直流断路器双向串联LCS的缓冲电路, 其通过绝缘栅双极型晶体管T2的控制, 阻断了缓冲电容C1经UFD放电, 提高了断路器的速动性; 通过绝缘栅双极型晶体管T1与小电阻R1相连, 为缓冲电容C1形成了阻值可控变化的并联放电支路, 降低了混合式高压直流断路器分闸动作结束后缓冲电容上剩余电压, 提高了断路器短时间多次动作的可靠性。

[0007] 本发明采用的技术方案为：一种适用于混合式高压直流断路器双向串联LCS的缓冲电路，包括缓冲电容C1，绝缘栅双极型晶体管T1、T2，二极管D1、D2、D3，电阻R1、R2。T1的集电极、发射极分别与D1的阴极、阳极相连；R1的一端与T1的发射极相连，另一端与节点S2相连；T2的集电极、发射极分别与D2的阴极、阳极相连；R2的一端与T2的集电极相连，另一端与T1的集电极相连；D3的阴极、阳极分别与T1的集电极、T2的发射极相连；C1的一端与T1的集电极相连，另一端与节点S2相连。若混合式高压直流断路器需分合正反向电流，则LCS还需另一个完全相同的缓冲电路结构反向并联在LCS两端。

[0008] 所述缓冲电路的控制策略包括在混合式高压直流断路器分、合闸时，对T1、T2的控制。在混合式高压直流断路器合闸时，T1一直处于开断状态，T2的初始状态为开断，T2导通、开断信号与LCS相同；在混合式高压直流断路器分闸时，T1的初始状态为开断，T1的导通信号与UFD的触头分离信号同步，T1的开断信号与MB的开断信号同步，T2的初始状态为导通，T2导通、开断信号与LCS相同。

[0009] 本发明的特点及优势在于：

[0010] 绝缘栅双极型晶体管T2的有效控制，阻断了缓冲电容C1经UFD放电，提高了断路器的速动性；绝缘栅双极型晶体管T1与小电阻R1相连，为缓冲电容C1形成了阻值可控变化的并联放电支路，降低了混合式高压直流断路器分闸动作结束后缓冲电容上剩余电压，提高了断路器短时间多次动作的可靠性；绝缘栅双极型晶体管T1、T2的控制与混合式高压直流断路器中LCS、UFD、MB的控制相结合，缓冲电路控制策略简单易实现。

## 附图说明

[0011] 图1为本发明一种适用于混合式高压直流断路器双向串联LCS的缓冲电路结构图。

[0012] 图2为本发明在混合式高压直流断路器合闸时的控制策略流程图。

[0013] 图3为本发明在混合式高压直流断路器分闸时的控制策略流程图。

[0014] 图4为采用本发明的混合式高压直流断路器在合闸时的等效电路。

[0015] 图5为采用本发明的混合式高压直流断路器在分闸时的等效电路

[0016] 图6为采用本发明的混合式高压直流断路器的某一工程实例

[0017] 图7为采用本发明的混合式高压直流断路器在单次分闸时UFD电流曲线。

[0018] 图8为采用本发明的混合式高压直流断路器在短时间多次动作时缓冲电容与LCS的电压曲线。

## 具体实施方式

[0019] 下面结合附图和实施例对本发明的技术方案进行进一步说明。有必要指出的是本实施例只用于对本发明进行进一步说明，不能理解为对本发明保护范围的限制，该领域的技术熟练人员可以根据上述发明的内容做出一些非本质的改进和调整。

[0020] 本发明提出的一种适用于混合式高压直流断路器双向串联LCS缓冲电路的结构，如图1所示，包括缓冲电容C1，绝缘栅双极型晶体管T1、T2，二极管D1、D2、D3，电阻R1、R2。T1的集电极、发射极分别与D1的阴极、阳极相连；R1的一端与T1的发射极相连，另一端与节点S2相连；T2的集电极、发射极分别与D2的阴极、阳极相连；R2的一端与T2的集电极相连，另一端与T1的集电极相连；D3的阴极、阳极分别与T1的集电极、T2的发射极相连；C1的一端与T1

的集电极相连,另一端与节点S2相连。若混合式高压直流断路器需分合正反向电流,则LCS还需另一个完全相同的缓冲电路结构反向并联在LCS两端。

[0021] 本发明提出一种适用于混合式高压直流断路器双向串联LCS缓冲电路的控制策略,包括在混合式高压直流断路器分、合闸时,对T1、T2的控制。在混合式高压直流断路器合闸时,保持T1一直处于开断状态,T2的初始状态为开断,T2的导通、开断信号与LCS相同,其控制策略流程如图2所示。在混合式高压直流断路器分闸时,T1的初始状态为开断,T1的导通信号与UFD的触头分离信号同步,T1的开断信号与MB的开断信号同步,T2的初始状态为开断,T2的导通、开断信号与LCS相同,控制策略流程图如图3所示。应说明,从合闸开始到合闸结束,混合式高压直流断路器即完成一次合闸动作;从分闸开始到分闸结束,混合式高压直流断路器即完成一次分闸动作。图中所有的判断逻辑皆为混合式高压直流断路器已有控制电路所必需,故T1、T2的控制只需对混合式高压直流断路器已有控制电路稍作改进即可。

[0022] 因混合式高压直流断路器分合正、反向电流时,缓冲电路的工作原理相同。故仅以断路器分合单方向电流时的缓冲电路为例,对其工作原理进行分析。

[0023] 混合式高压直流断路器合闸时,等效电路如图4所示。其中开关S1、S2分别代表LCS与UFD,电感L<sub>s</sub>代表混合式高压直流断路器的限流电抗器,U<sub>dc</sub>和R<sub>1</sub>分别代表直流电源和直流负荷。

[0024] 假设缓冲电容C1无初始电压。在t<sub>0</sub>=0s时刻,开关S2闭合,直流断路器合闸动作开始,则t<sub>0</sub>~t<sub>1</sub>时段,可得电路方程为:

$$[0025] \begin{cases} U_{dc} = L_s \frac{di_0}{dt} + v_{C0} + R_1 i_0 \\ i_0 = C_1 \frac{dv_{C0}}{dt} \\ v_{C0}(t_0^+) = v_{C0}(t_0^-) = 0 \end{cases} \quad (1)$$

[0026] 式中:v<sub>C0</sub>为t<sub>0</sub>~t<sub>1</sub>时段电容C1电压;i<sub>0</sub>为t<sub>0</sub>~t<sub>1</sub>时段流经电感L<sub>s</sub>的电流。

[0027] 在t<sub>1</sub>时刻,开关S1、T1闭合,直流断路器完成合闸动作,则t<sub>1</sub>时刻以后,针对缓冲电路,可得电路方程为:

$$[0028] \begin{cases} C_1 \frac{dv_{C1}}{dt} = \frac{v_{C1}}{R_2} \\ v_{C1}(t_1^+) = v_{C1}(t_1^-) = v_{C0}(t_1) \end{cases} \quad (2)$$

[0029] 式中:v<sub>C1</sub>为t<sub>1</sub>时刻后电容C1电压。

[0030] 混合式高压直流断路器分闸时,等效电路如图5所示。其中S1、S2、L<sub>s</sub>、U<sub>dc</sub>、R<sub>1</sub>与合闸时相同,开关S3代表MB,电感L<sub>m</sub>代表UFD和MB的杂散电感,R<sub>m</sub>代表MB的电阻,开关S和电阻R<sub>f</sub>代表接地故障。

[0031] 假设缓冲电容C1无初始电压,在t<sub>0</sub>=0s时刻以前,开关S1、S2已长时间闭合。在t<sub>0</sub>=0s时刻,系统突然发生接地故障(即开关S在t<sub>0</sub>时刻闭合),可得电路方程为:

$$[0032] \begin{cases} U_{dc} = L_s \frac{di_0}{dt} + R_f i_0 \\ i_0(t_0^-) = i_0(t_0^+) = \frac{U_{dc}}{R_f} \end{cases} \quad (5)$$

[0033] 式中： $i_0$ 为 $t_0 \sim t_1$ 时段流经电感 $L_s$ 的电流。

[0034] 在 $t_1$ 时刻，保护动作，直流断路器开始分闸动作，开关 $S_1$ 、 $T_1$ 断开。则 $t_1 \sim t_2$ 时段，可得电路方程为：

$$[0035] \begin{cases} U_{dc} = L_s \frac{di_1}{dt} + v_{C1} + R_f i_1 \\ i_1 = C_1 \frac{dv_{C1}}{dt} \\ v_{C1}(t_1^+) = v_{C1}(t_1^-) = 0 \\ i_1(t_1^+) = i_1(t_1^-) = C_1 \frac{dv_{C1}}{dt}(t_1^-) = i_0(t_1) \end{cases} \quad (6)$$

[0036] 式中： $i_1$ 为 $t_1 \sim t_2$ 时段流经电感 $L_s$ 的电流； $v_{C1}$ 为 $t_1 \sim t_2$ 时段电容 $C_1$ 电压。

[0037] 在 $t_2$ 时刻，开关 $S_3$ 闭合，故障电流由载流支路向MB支路转移。则 $t_2 \sim t_3$ 时段，可得电路方程为：

$$[0038] \begin{cases} U_{dc} = L_s \frac{di_2}{dt} + v_{C2} + R_f i_2 \\ i_2 = C_1 \frac{dv_{C2}}{dt} + i_{21} \\ v_{C2} = L_m \frac{di_{21}}{dt} + R_m i_{21} \\ v_{C2}(t_2^+) = v_{C2}(t_2^-) = v_{C1}(t_2 - t_1) \\ i_{21}(t_2^+) = i_{21}(t_2^-) = 0 \\ i_2(t_2^+) = i_2(t_2^-) = C_1 \frac{dv_{C2}}{dt}(t_2^-) + i_{21}(t_2^-) = i_1(t_2 - t_1) \end{cases} \quad (7)$$

[0039] 式中： $i_2$ 为 $t_2 \sim t_3$ 时段流经电感 $L_s$ 的电流； $i_{21}$ 为 $t_2 \sim t_3$ 时段流经电感 $L_s$ 的电流； $v_{C2}$ 为 $t_2 \sim t_3$ 时段电容 $C_1$ 电压。

[0040] 在 $t_3$ 时刻，载流支路电流减小为零，开关 $S_2$ 开始断开、 $T_2$ 闭合，则 $t_3$ 时刻后，针对缓冲电路，可得电路方程为：

$$[0041] \begin{cases} C_1 \frac{dv_{C2}}{dt} + \frac{v_{C3}}{R_1} = 0 \\ v_{C3}(t_3^+) = v_{C3}(t_3^-) = v_{C2}(t_3 - t_2) \end{cases} \quad (8)$$

[0042] 式中： $v_{C2}$ 为 $t_3$ 时刻后电容 $C_s$ 电压。

[0043] 实施例：

[0044] 下面以采用本发明的混合式高压直流断路器应用于简单直流系统为例，说明本发明的具体实施例。一个简单的320kV/2kA的直流系统如图6所示，为说明本发明与双向串联LCS的具体连接关系，图中仅详细画出了双向串联LCS的具体结构，对混合式高压直流断路器中其余元件进行了简化。假设混合式高压直流断路器在0.02s时刻进行合闸，合闸后系统正常运行；0.1s时刻系统发生永久性直流故障，混合式高压直流断路器检测到直流故障后进行分闸，故障切除0.06s后，混合式高压断路器再次合闸，合闸成功后再次检测到直流故障，混合式高压直流断路器还需进行第二次分闸。

[0045] 在该实例中，缓冲电路的参数如下表。



名称	参数
绝缘栅双极型晶体管 T1、T2	$V_{CES}=4500\text{ V}$ , $I_{CRM}=2400\text{ A}$ , $dv/dt<2400\text{ V}/\mu\text{s}$
[0046] 二极管 D1、D2、D3	$V_{RRM}=4500\text{ V}$ , $I_F=1200\text{ A}$
缓冲电容 C1	$10\mu\text{F}$
电阻 R1、R2	$20\Omega$

[0047] 混合式高压直流断路器单次分闸时,UFD的电流如图6所示。由图可知,采用本发明的混合式高压直流断路器因绝缘栅双极型晶体管T2的有效控制,阻断了缓冲电容经UFD的放电支路,在换流过程中,UFD电流减小为零后就几乎一致保持在零,保证了UFD的零电流分断,提高了混合式高压直流断路器的速动性。

[0048] 混合式高压直流断路器短时间多次动作时,缓冲电容与LCS的电压曲线如图7所示。应先说明,在断路器两次分闸时,两种缓冲电路中缓冲电容的初始电压都为零,因此LCS两端的电压都是从零开始变化,只要合理地选择缓冲电容的大小,就能对LCS中的IGBT起到较好缓冲保护作用。在断路器重合闸时,本发明通过对T1的控制以及并联电阻R1的合理选择,在断路器首次分断完成前缓冲电容就已经完全放电,因此在重合闸时,LCS上的电压也从零开始变化,保证了断路器多次动作的可靠性。

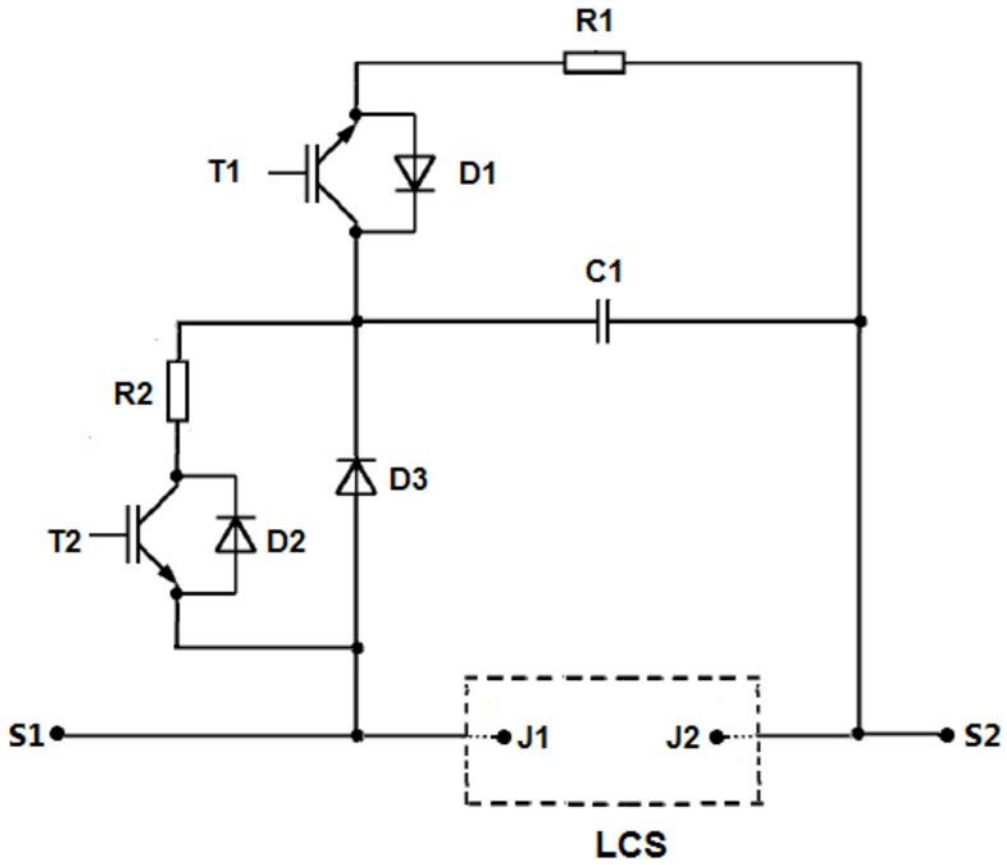


图1

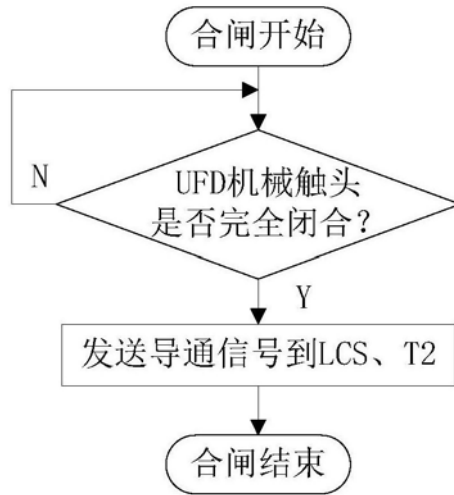


图2

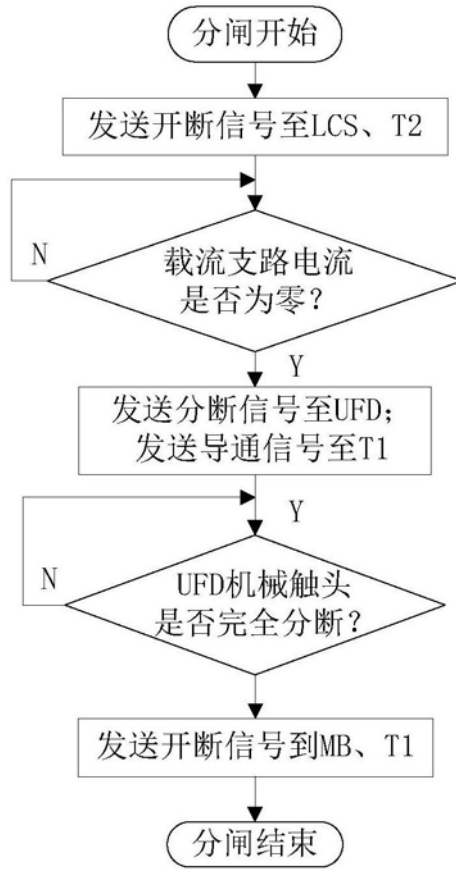


图3

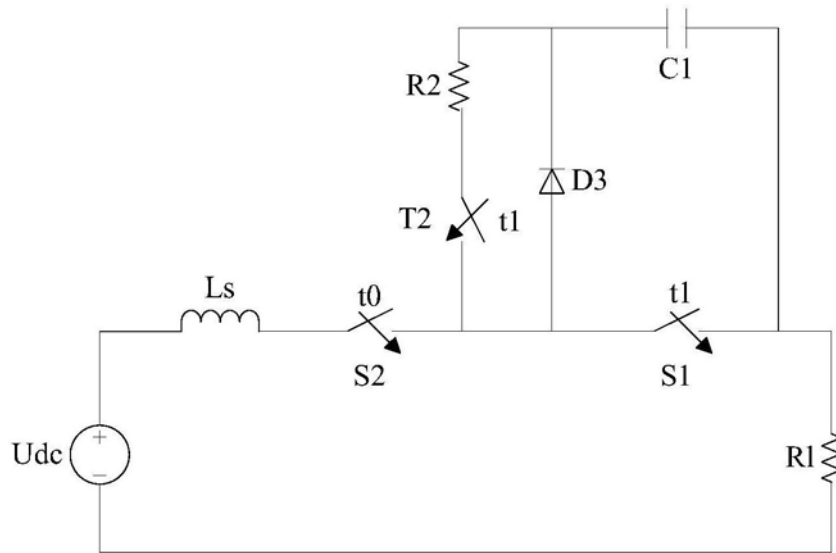


图4



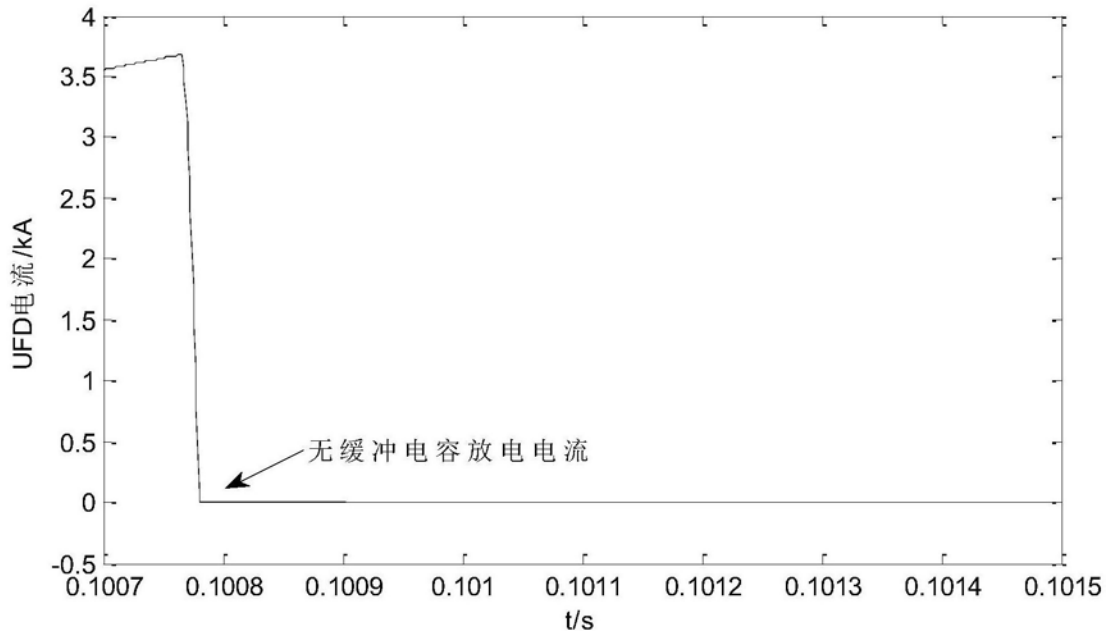


图7

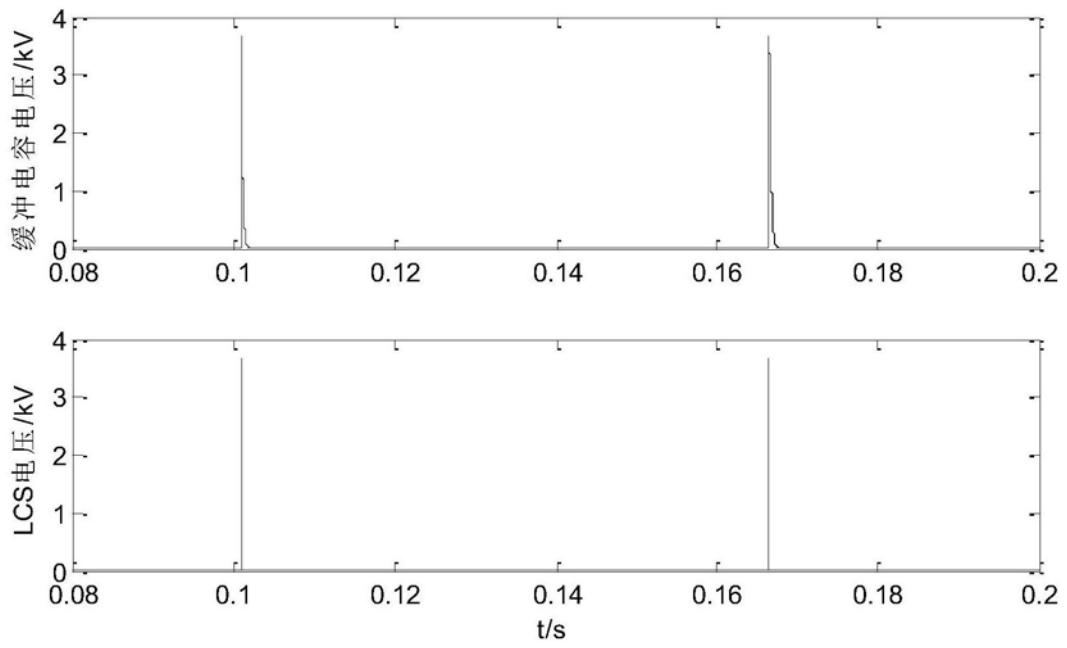


图8