



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104635151 A

(43) 申请公布日 2015. 05. 20

(21) 申请号 201410849554. 9

(22) 申请日 2014. 12. 29

(71) 申请人 国家电网公司

地址 100031 北京市西城区西长安街 86 号

申请人 国网智能电网研究院

中电普瑞电力工程有限公司

华北电网有限公司

(72) 发明人 查鲲鹏 杨兵建 高阳 客金坤

汤广福

(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

(51) Int. Cl.

G01R 31/327(2006. 01)

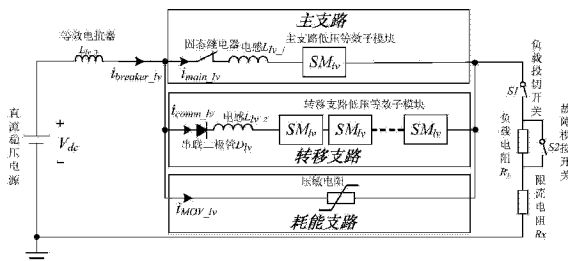
权利要求书2页 说明书6页 附图1页

(54) 发明名称

一种级联全桥直流断路器低压等效试验电路及其检测方法

(57) 摘要

本发明公开了一种级联全桥直流断路器低压等效试验电路及其检测方法, 本发明提出的等效试验电路及其检测方法根据电流转移和关断过程时间等效原则, 通过阻抗等效, 使用低压器件和线路对级联全桥高压直流断路器的动作过程进行模拟, 可以实现对级联全桥高压直流断路器两次换流时间的等效, 从而准确地验证对控制保护设备时序的要求, 通过简化等效条件, 在电压比, 电流比, 阻抗比满足比例关系的条件下, 转移子模块数可以不相同, 也能实现两次换流时间的等效, 本发明提出的等效实验电路利用较低成本, 实现对级联全桥高压直流断路器工作原理和二次控制保护设备的验证, 能够很好的表现高压直流断路器的工作过程。



1. 一种级联全桥直流断路器低压等效试验电路,其特征在于,所述等效试验电路由依次连接的直流电源  $V_{dc}$ 、等效电抗器  $L_{1v\_3}$ 、固态继电器、电感  $L_{1v\_1}$ 、主支路低压等效子模块  $SM_{1v}$ 、负载投切开关  $S1$ 、负载电阻  $R_L$ 和限流电阻  $R_x$ 组成主回路,所述固态继电器、所述电感  $L_{1v}$ 和所述主支路低压等效子模块  $SM_{1v}$ 构成主支路,并联在所述主支路两端的分别有转移支路和耗能支路,所述转移支路由串联连接的二极管  $D_{1v}$ 、电感  $L_{1v\_2}$ 和转移支路低压等效子模块构成,所述耗能支路上连接有压敏电阻,所述负载电阻  $R_L$ 的两端并联有故障模拟开关  $S2$ 。

2. 根据权利要求 1 所述的级联全桥直流断路器低压等效试验电路,其特征在于,所述试验电路的电压等级为  $100 \sim 200V$ ,电流等级为  $5 \sim 10A$ 。

3. 根据权利要求 1 所述的级联全桥直流断路器低压等效试验电路,其特征在于,所述压敏电阻的动作电压高于所述直流电压源  $V_{dc}$  的电压,残压不能超过所述转移支路子模块额定电压之和。

4. 一种级联全桥直流断路器低压等效试验电路的检测方法,所述等效电路为权利要求 1-3 任意一项所述的等效试验电路,其特征在于,所述检测方法包括以下步骤:

开通所述级联全桥直流断路器低压等效试验电路中的主支路低压等效子模块,并将所述转移支路低压等效子模块闭锁,开通所述固态继电器;

断开所述故障模拟开关  $S1$ ,闭合所述负载投切开关  $S2$ ;

给所述直流稳压电源通电,调整电压至  $100 \sim 200V$ ,回路电流  $i_{breaker\_1v}$ 流经主回路,回到所述直流稳压电源;

闭合所述故障模拟开关  $S2$ ;

当所述回路电流  $i_{breaker\_1v}$ 超过过流限值  $I_{lim\_1v}$ 时,导通所述转移支路低压等效子模块,闭锁所述主支路低压等效子模块,使回路电流  $i_{breaker\_1v}$ 由所述主支路转移至转移支路;

当主支路电流  $i_{main\_1v}$ 降为 0 后,断开固态继电器;

延时 2ms 后,闭锁所述转移支路低压等效子模块,转移支路低压等效子模块电容  $C_{1v}$ 充电,转移支路和耗能支路电压开始上升;

当耗能支路电压上升至压敏电阻的动作电压后,压敏电阻逐渐导通,随着耗能支路电压进一步上升,耗能支路流过压敏电阻的电流  $i_{MOV\_1v}$ 上升,转移支路电流  $i_{comm\_1v}$ 逐渐下降到 0;

所述耗能支路流过压敏电阻的电流  $i_{MOV\_1v}$ 在达到峰值后开始下降,最终到 0,结束检测。

5. 根据权利要求 4 所述的级联全桥直流断路器低压等效电路的检测方法,其特征在于,所述检测方法包括两次换流时间等效:

第一次换流的时间等效,断路器检测到线路过流后,启动第一次换流,闭锁所述主支路,开通所述转移支路,电流由所述主支路转移至所述转移支路,低压等效模型的第一次换流时间与实际高压直流断路器的换流时间相等;

第二次换流的时间等效,转移支路闭锁后,转移支路子模块电压上升,上升至避雷器的动作电压后,避雷器开始泄放电流,低压等效模型的第二次换流时间与实际高压直流断路器的换流时间相等。

6. 根据权利要求 5 所述的级联全桥直流断路器低压等效电路的检测方法,其特征在

于,所述检测方法在进行第一次换流的时间等效时,满足以下公式:

$$(L_1+L_2)C = (L_{1_{1v}}+L_{2_{1v}})C_{1v} \quad (1)$$

式(1)中C为实际断路器中子模块电容值,L1,L2分别为实际断路器中主支路寄生电感和转移支路寄生电感,C<sub>1v</sub>为低压等效模型中子模块电容,L<sub>1v\_1</sub>,L<sub>1v\_2</sub>分别为低压等效模型中主支路寄生电感和转移支路寄生电感。

7.根据权利要求6所述的级联全桥直流断路器低压等效电路的检测方法,其特征在于,所述检测方法在进行第二次换流的时间等效时,满足以下公式:

$$CV_{\text{MOV}}I_{\text{break}_{1v}} = C_{1v}V_{\text{MOV}_{1v}}I_{\text{break}} \quad (2)$$

式(2)中V<sub>MOV</sub>为避雷器动作电压,I<sub>break</sub>为断路器最大分段电流,C为实际直流断路器中子模块电容值,V<sub>MOV<sub>1v</sub></sub>为低压等效模型中压敏电阻动作电压,I<sub>break<sub>1v</sub></sub>为断路器最大分段电流,C<sub>1v</sub>为低压等效模型中子模块电容值。

## 一种级联全桥直流断路器低压等效试验电路及其检测方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种电力电子器件,具体涉及一种级联全桥直流断路器低压等效试验电路及其检测方法。

### 背景技术

[0002] 随着高压大电流半导体器件和电力电子技术的发展,高压直流输电技术,柔性直流输电技术,直流电网技术等得到了越来越多的关注和应用。由于柔性直流输电线路在发生直流侧双极短路时,直流电流快速上升,电流上升率高达 3kA/ms,并且不能通过柔性直流换流阀自身有效阻止短路电流的上升,如果不采取有效措施,会导致换流阀设备的损坏。针对柔性直流输电设备的高压直流断路器能够在短时间内切断故障电流,隔离故障,保护换流阀。

[0003] 由于柔性直流输电线路发生双极短路时电流上升速度快,要求高压直流断路器能够快速动作。因此,故障电流的分断时间是直流断路器重要指标。

[0004] 机械开关和电力电子器件混合方式的直流断路器,正常运行由机械开关通流,故障时将主支路的电流转移至并联连接的电力电子器件支路中,然后由电力电子器件分断电流。该类型的断路器正常运行时,通态损耗小,分断时间短。CN103280763A 号战披露的级联全桥直流断路器是该类型直流断路器的一个实例,其电路拓扑如图 1,2 所示。图 1 为现有技术中级联全桥直流断路器电路拓扑图;图 2 为图 1 中的子模块(SM)的内部电路图;级联全桥直流断路器采用串联的 IGBT 全桥子模块分断故障电流,避免了分断过程中器件电压不均的问题。IGBT 在关断时端电压为零,减小了开关损耗。

[0005] 级联全桥直流断路器分断过程中,需要按照控制流程和时序,协调控制主支路子模块,转移支路子模块,快速隔离开关,并针对不同阶段出现的故障,执行不同的故障处理程序。而所有的检测、处理、动作需要在 2~3ms 内完成,级联全桥直流断路器对控制系统的控制时序要求很严格。因此,在进行高压试验之前,很有必要在低电压小电流条件下,在时间上对高压直流断路器进行等效代替,对断路器工作原理和二次控制保护设备进行验证。

[0006] 因此,需要提出一种级联全桥直流断路器低压等效方法来实现对实际断路器进行高压大电流试验前在低电压、小电流下实现对级联全桥直流断路器原理时序、控制方法和故障处理措施进行检测。

### 发明内容

[0007] 针对现有技术的不足,本发明提供一种级联全桥直流断路器低压等效试验电路,所述等效试验电路由依次连接的直流电源  $V_{dc}$ 、等效电抗器  $L_{1v\_3}$ 、固态继电器、电感  $L_{1v\_1}$ 、主支路低压等效子模块  $SM_{1v}$ 、负载投切开关 S1、负载电阻  $R_L$  和限流电阻  $R_x$  组成主回路,所述固态继电器、所述电感  $L_{1v}$  和所述主支路低压等效子模块  $SM_{1v}$  构成主支路,并联在所述主支路两端的分别有转移支路和耗能支路,所述转移支路由串联连接的二极管  $D_{1v}$ 、电感  $L_{1v\_2}$  和转移支路低压等效子模块构成,所述耗能支路上连接有压敏电阻,所述负载电阻  $R_L$  的两端并

联有故障模拟开关 S2。

[0008] 优选地,所述试验电路的电压等级为 100 ~ 200V,电流等级为 5 ~ 10A。

[0009] 优选地,所述压敏电阻的动作电压高于所述直流电压源  $V_{dc}$  的电压,残压不能超过所述转移支路子模块额定电压之和。

[0010] 一种级联全桥直流断路器低压等效试验电路的检测方法,所述检测方法包括以下步骤:

[0011] 开通所述级联全桥直流断路器低压等效试验电路中的主支路低压等效子模块,并将所述转移支路低压等效子模块闭锁,开通所述固态继电器;

[0012] 断开所述故障模拟开关 S1,闭合所述负载投切开关 S2;

[0013] 给所述直流稳压电源通电,调整电压至 100 ~ 200V,回路电流  $i_{breaker\_lv}$  流经主回路,回到所述直流稳压电源;

[0014] 闭合所述故障模拟开关 S2;

[0015] 当所述回路电流  $i_{breaker\_lv}$  超过过流限值  $I_{lim\_lv}$  时,导通所述转移支路低压等效子模块,闭锁所述主支路低压等效子模块,使回路电流  $i_{breaker\_lv}$  由所述主支路转移至转移支路;

[0016] 当主支路电流  $i_{main\_lv}$  降为 0 后,断开固态继电器;

[0017] 延时 2ms 后,闭锁所述转移支路低压等效子模块,转移支路低压等效子模块电容  $C_{lv}$  充电,转移支路和耗能支路电压开始上升;

[0018] 当耗能支路电压上升至压敏电阻的动作电压后,压敏电阻逐渐导通,随着耗能支路电压进一步上升,耗能支路流过压敏电阻的电流  $i_{MOV\_lv}$  上升,转移支路电流  $i_{comm\_lv}$  逐渐下降到 0;

[0019] 所述耗能支路流过压敏电阻的电流  $i_{MOV\_lv}$  在达到峰值后开始下降,最终到 0,结束检测;

[0020] 优选地,所述检测方法包括两次换流时间等效:

[0021] 第一次换流的时间等效,断路器检测到线路过流后,启动第一次换流,闭锁所述主支路,开通所述转移支路,电流由所述主支路转移至所述转移支路,低压等效模型的第一次换流时间与实际高压直流断路器的换流时间相等;

[0022] 第二次换流的时间等效,转移支路闭锁后,转移支路子模块电压上升,上升至避雷器的动作电压后,避雷器开始泄放电流,低压等效模型的第二次换流时间与实际高压直流断路器的换流时间相等。

[0023] 优选地,所述检测方法在进行第一次换流的时间等效时,满足以下公式:

$$[0024] (L_1+L_2)C = (L_{1\_lv}+L_{2\_lv})C_{lv} \quad (1)$$

[0025] 式 (1) 中 C 为实际断路器中子模块电容值,  $L_1, L_2$  分别为实际断路器中主支路寄生电感和转移支路寄生电感,  $C_{lv}$  为低压等效模型中子模块电容,  $L_{1\_lv}, L_{2\_lv}$  分别为低压等效模型中主支路寄生电感和转移支路寄生电感。

[0026] 优选地,所述检测方法在进行第二次换流的时间等效时,满足以下公式:

$$[0027] C V_{MOV} I_{break\_lv} = C_{lv} V_{MOV\_lv} I_{break} \quad (2)$$

[0028] 式 (2) 中  $V_{MOV}$  为避雷器动作电压,  $I_{break}$  为断路器最大分段电流, C 为实际直流断路器中子模块电容值,  $V_{MOV\_lv}$  为低压等效模型中压敏电阻动作电压,  $I_{break\_lv}$  为断路器最大分段电流,  $C_{lv}$  为低压等效模型中子模块电容值。

[0029] 和最接近的现有技术比,本发明的有益效果为:

[0030] 1 用低压器件和线路代替级联全桥高压直流断路器及其所连接的高压线路,能够在低电压下,利用较低成本,实现对级联全桥高压直流断路器工作原理和二次控制保护设备的验证;

[0031] 2、对高压直流断路器的电气参数降低一定的比例进行等效,对高压直流断路器中的器件按照比例关系选择具有相似电气特性的低压器件进行等效,能够很好的表现高压直流断路器的工作过程;

[0032] 3、低压等效代替方法可以实现对级联全桥高压直流断路器两次换流时间的等效,从而准确地验证对控制保护设备时序的要求;

[0033] 4、通过简化等效条件,在电压比,电流比,阻抗比满足比例关系的条件下,转移子模块数可以不相同,也能实现两次换流时间的等效。

## 附图说明

[0034] 下面结合附图和具体实施方式对本发明作进一步详细说明。

[0035] 图 1 为现有技术中级联全桥直流断路器电路拓扑图;

[0036] 图 2 为图 1 中的子模块的内部电路图;

[0037] 图 3 为本发明级联全桥直流断路器低压等效试验电路图;

[0038] 图 4 为图 3 中的等效子模块的内部电路图。

## 具体实施方式

[0039] 下面结合附图对本发明的具体实施方式作进一步的详细说明。

[0040] 为了彻底了解本发明实施例,将在下列的描述中提出详细结构。显然,本发明实施例的施行并不限于本领域的技术人员所熟习的特殊细节。本发明的较佳实施例详细描述如下,然而除了这些详细描述外,本发明还可以具有其他实施方式。

[0041] 参照图 3 和图 4,图 3 为本发明级联全桥直流断路器低压等效试验电路图;图 4 为图 3 中的等效子模块的内部电路图。图 3 中直流断路器低压等效试验电路分为主支路、转移支路和耗能支路,主回路由依次电气连接的直流电源  $V_{dc}$ 、等效电抗器  $L_{1v,3}$ 、固态继电器、电感  $L_{1v,1}$ 、主支路低压等效子模块  $SM_{1v}$ 、负载投切开关  $S1$ 、负载电阻  $R_L$  和限流电阻  $R_x$  组成,主支路由所述固态继电器、所述电感  $L_{1v}$  和所述主支路低压等效子模块  $SM_{1v}$  串联构成,转移支路和耗能支路并联在所述主支路两端的分别有,所述转移支路由串联连接的二极管  $D_{1v}$ 、电感  $L_{1v,2}$  和转移支路低压等效子模块  $SM_{1v}$  构成,所述耗能支路由压敏电阻构成,所述负载电阻  $R_L$  的两端并联有故障模拟开关  $S2$ 。

[0042] 为了使得等效实验电路在低压环境中运行,将所述级联全桥直流断路器低压等效模型的电压等级在 100 ~ 200V 左右,电流等级在 5 ~ 10A 左右。

[0043] 级联全桥直流断路器低压等效子模块  $SM_{1v}$  电路使用低压 MOSFET 代替实际子模块  $SM$ (见图 2) 中的 IGBT,使用低压电容  $C_{1v}$  代替实际装置中的高压电容  $C$ ,使用低压电阻  $R_{1v}$  代替实际装置中的高压放电电阻  $R$ 。由于 MOSFET 的导通压降相对 IGBT 小很多,甚至转移支路中多个串联子模块的导通压降有可能小于通流支路中固态继电器的导通压降。为了让低压等效模型的换流过程与实际装置相同,根据需要在转移支路中串联二极管  $D_{1v}$ ,增大导通压

降,使得低压等效模型中两个支路的导通电阻关系与实际装置相同。

[0044] 在高压直流断路器中,快速机械开关能够在 2ms 内分断。低压等效模型中用分断时间较短的固态继电器代替,取得相同的效果。

[0045] 在低压等效模型中的直流线路需要对直流电压和短路后的对应的电流上升率进行模拟。采用直流电压源代替直流换流站,为直流线路提供直流电压,在直流线路中串入电抗器,限制短路时的故障电流上升率。

[0046] 对避雷器的替换。在高压直流断路器中,避雷器用于消耗线路短路后在电抗中产生的能量。低压等效模型中用压敏电阻代替避雷器。选用的压敏电阻动作电压高于直流电压源  $V_{dc}$  的电压,残压应不能超过转移支路子模块额定电压之和。

[0047] 对直流负载的替换。在高压直流断路器中,直流负载提供正常运行电流。低压等效模型中用滑动变阻器代替直流负载。

[0048] 对故障电流的模拟。在实际线路中发生双极时,直流电流会按照一定的斜率上升。在低压等效模型中用,为模拟线路双极短路,用直流空气开关将代替直流负载的滑动变阻器旁路。为试验安全,限制直流电流幅值,在线路中需要再固定串入一个限流电阻。

[0049] 一种级联全桥直流断路器低压等效电路的检测方法,所述等效电路为上述等效电路,所述检测方法包括以下步骤:

[0050] 1) 将级联全桥直流断路器低压等效试验电路中的主支路低压等效子模块开通,转移支路低压等效子模块闭锁,固态继电器开通,使断路器处于导通状态;

[0051] 2) 断开故障模拟开关 S1,闭合负载投切开关 S2,使负载电阻  $R_L$ ,限流电阻  $R_x$  都串入试验回路中;

[0052] 3) 直流稳压电源上电,调整电压至试验电压 100 ~ 200V 之间,回路电流  $i_{breaker\_lv}$  流过等效电抗器  $L_{lv\_3}$ ,电感  $L_{lv\_1}$ ,主支路低压等效子模块,负载投切开关 S1,负载电阻  $R_L$ ,限流电阻  $R_x$ ,回到直流稳压电源;

[0053] 4) 闭合故障模拟开关 S2,将负载电阻  $R_L$  旁路,回路电流  $i_{breaker\_lv}$  开始迅速上升;

[0054] 5) 当回路电流  $i_{breaker\_lv}$  超过过流限值  $I_{lim\_lv}$  时,导通转移支路低压等效子模块,闭锁主支路低压等效子模块,使回路电流由主支路转移至转移支路;

[0055] 6) 当主支路电流  $i_{main\_lv}$  降为 0 后,断开固态继电器;

[0056] 7) 延时 2ms 后,闭锁转移支路低压等效子模块,转移支路低压等效子模块电容  $C_{lv}$  充电,转移支路和耗能支路电压开始上升;

[0057] 8) 当耗能支路电压上升至压敏电阻的动作电压,压敏电阻逐渐导通,随着耗能支路电压进一步上升,耗能支路流过压敏电阻的电流  $i_{MOV\_lv}$  上升,转移支路电流  $i_{comm\_lv}$  逐渐下降到 0;

[0058] 9) 耗能支路流过压敏电阻的电流  $i_{MOV\_lv}$  在达到峰值后开始下降,最终到 0,试验结束;

[0059] 其中,在上述的实验方法中包括两次换流时间等效:

[0060] 第一次换流的时间等效。断路器检测到线路过流后,启动第一次换流,闭锁主支路,开通转移支路,电流由主支路转移至转移支路。低压等效模型需要在换流时间上和实际断路器相近。

[0061] 为实现第一换流时间的等效,需要使低压等效模型的第一次换流时间与实际高压

直流断路器相等,应满足:

$$[0062] \quad (L_1+L_2)C = (L_{1_{1v}}+L_{2_{1v}})C_{1v} \quad (1)$$

[0063] 式(1)中C为实际断路器中子模块电容值, $L_1, L_2$ 分别为实际断路器中主支路寄生电感和转移支路寄生电感, $C_{1v}$ 为低压等效模型中子模块电容, $L_{1_{1v}}, L_{2_{1v}}$ 分别为低压等效模型中主支路寄生电感和转移支路寄生电感。

[0064] 第二次换流的时间等效。转移支路闭锁后,转移支路子模块电压上升,上升至避雷器的动作电压后,避雷器开始泄放电流。该过程为转移直流子模块电容充电过程,为实现第二次换流时间的等效,需要使低压等效模型的第二次换流时间与实际高压直流断路器相等,应满足:

$$[0065] \quad CV_{\text{MOV}}I_{\text{break}_{1v}} = C_{1v}V_{\text{MOV}_{1v}}I_{\text{break}} \quad (2)$$

[0066] 式(2)中 $V_{\text{MOV}}$ 为避雷器动作电压, $I_{\text{break}}$ 为断路器最大分段电流,C为实际直流断路器中子模块电容值, $V_{\text{MOV}_{1v}}$ 为低压等效模型中压敏电阻动作电压, $I_{\text{break}_{1v}}$ 为断路器最大分段电流, $C_{1v}$ 为低压等效模型中子模块电容值。

[0067] 定义实际断路器和低压等效模型的电压比例,电流比例,阻抗比例分别为:

$$[0068] \quad N_v = \frac{V_{\text{MOV}}}{V_{\text{MOV}_{1v}}} \quad (3)$$

$$[0069] \quad N_i = \frac{I_{\text{break}}}{I_{\text{break}_{1v}}} \quad (4)$$

$$[0070] \quad N_z = \frac{L_1 + L_2}{L_{1_{1v}} + L_{2_{1v}}} = \frac{C_{1v}}{C} \quad (5)$$

[0071] 则当满足:

$$[0072] \quad N_z = \frac{N_v}{N_i} \quad (6)$$

[0073] 时,式(1)和(2)也满足,因此, $N_z = \frac{N_v}{N_i}$ 是两次换流时间等效的充分条件。因此,

可按照 $N_z = \frac{N_v}{N_i}$ 的比例关系,对子模块电容,回路电感,子模块电压和断路器分断电流等参数进行选择。

[0074] 式(6)中不含转移支路子模块数,因此,低压等效模型中的转移支路子模块数可以和实际高压直流断路器不相同,也能在时间上对换流过程进行等效。

[0075] 本发明提出的等效实验电路利用较低成本,实现对级联全桥高压直流断路器工作原理和二次控制保护设备的验证,能够很好的表现高压直流断路器的工作过程,本发明提出的等效检测方法根据电流转移和关断过程时间等效原则,通过阻抗等效,使用低压器件和线路对级联全桥高压直流断路器的动作过程进行模拟,可以实现对级联全桥高压直流断路器两次换流时间的等效,从而准确地验证对控制保护设备时序的要求,通过简化等效条件,在电压比,电流比,阻抗比满足比例关系的条件下,转移子模块数可以不相同,也能实现两次换流时间的等效。

[0076] 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，尽管参照上述实施例对本发明进行了详细的说明，所属领域的普通技术人员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，均在申请待批的权利要求保护范围之内。

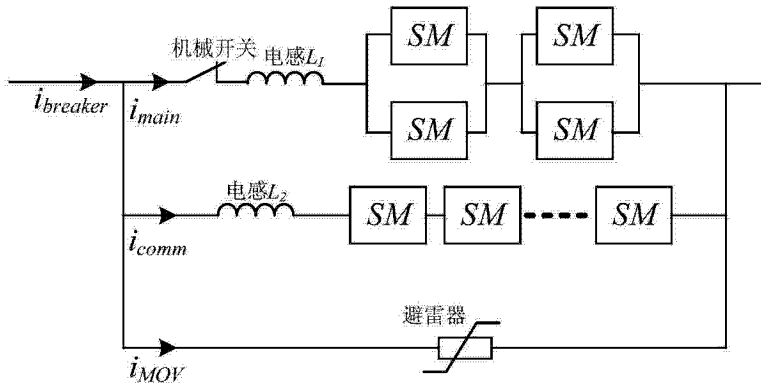


图 1

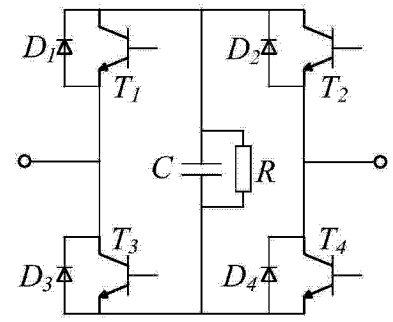


图 2

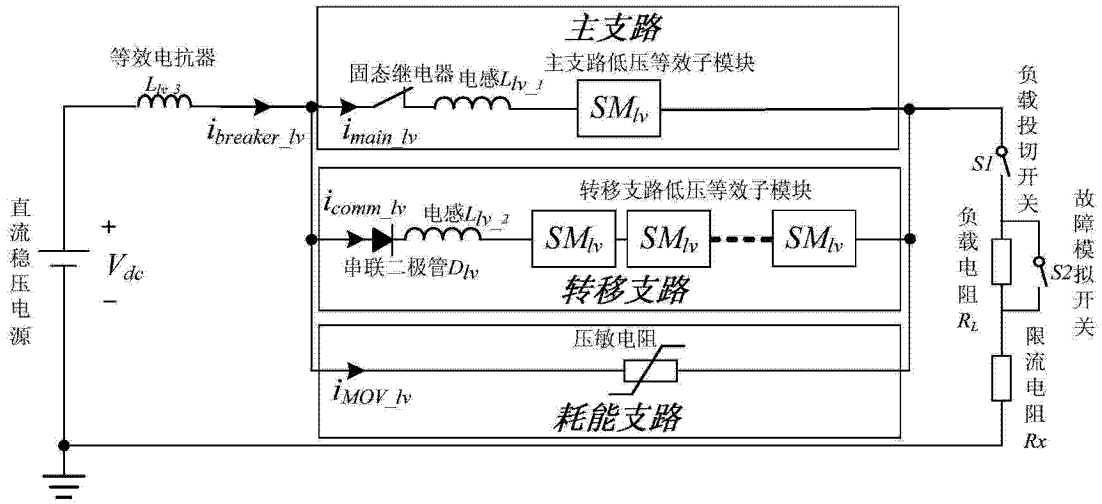


图 3

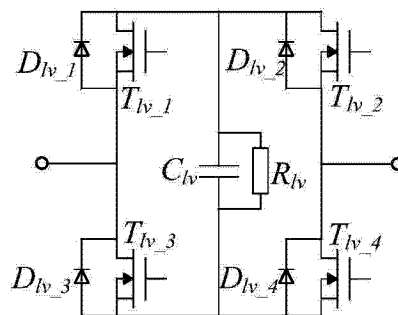


图 4