



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102222874 B

(45) 授权公告日 2014. 04. 09

(21) 申请号 201110154838. 2

审查员 王迅

(22) 申请日 2011. 06. 10

(73) 专利权人 南京航空航天大学

地址 210016 江苏省南京市白下区御道街
29 号

(72) 发明人 王莉 欧世峰

(74) 专利代理机构 南京经纬专利商标代理有限
公司 32200

代理人 许方

(51) Int. Cl.

H02H 3/08 (2006. 01)

H03K 17/72 (2006. 01)

(56) 对比文件

CN 101540493 A, 2009. 09. 23,

US 5561579 A, 1996. 10. 01,

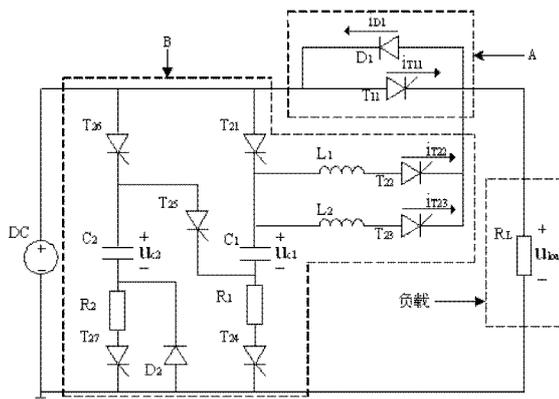
权利要求书1页 说明书4页 附图5页

(54) 发明名称

一种直流固态断路器

(57) 摘要

本发明公开一种直流固态断路器,包括直流供电电源和负载,还包括主开关单元 A 和辅助开关单元 B,其中主开关单元 A 包括:主开关晶闸管和主开关功率二极管,辅助开关单元 B 包括第一晶闸管、第二晶闸管、第三晶闸管、第四晶闸管、第五晶闸管、第六晶闸管、第七晶闸管、第一电感、第二电感、第一储能脉冲电容、第二储能脉冲电容、第一限流功率电阻、第二限流功率电阻和续流二极管。此种结构可有效避免因器件固有的漏电流而造成的储能脉冲电容电压降低而关断不可靠及故障关断时供电电源有很大的谐振电流流经的问题。



1. 一种直流固态断路器,连接于直流供电电源和负载之间;其特征在于:还包括主开关单元 A 和辅助开关单元 B,其中主开关单元 A 包括:主开关晶闸管和主开关功率二极管,辅助开关单元 B 包括第一晶闸管、第二晶闸管、第三晶闸管、第四晶闸管、第五晶闸管、第六晶闸管、第七晶闸管、第一电感、第二电感、第一储能脉冲电容、第二储能脉冲电容、第一限流功率电阻、第二限流功率电阻和续流二极管;直流供电电源的正输出端分别接第六晶闸管的阳极、第一晶闸管的阳极、主开关晶闸管的阳极和主开关功率二极管的阴极,直流供电电源的负输出端分别与第七晶闸管的阴极、续流二极管的阳极、第四晶闸管的阴极和负载的负输入端连接接地,主开关功率二极管的阳极分别接主开关晶闸管的阴极、负载的正输入端、第二晶闸管的阴极和第三晶闸管的阴极,第一储能脉冲电容的输入端分别接第一晶闸管的阴极、第一电感的输入端和第二电感的输入端,第一储能脉冲电容的输出端分别接第五晶闸管的阴极和第一限流功率电阻的输入端,第一限流功率电阻的输出端接第四晶闸管的阳极,第二储能脉冲电容的输入端分别接第六晶闸管的阴极和第五晶闸管的阳极,第二储能脉冲电容的输出端分别接第二限流功率电阻的输入端和续流二极管的阴极,第二限流功率电阻的输出端接第七晶闸管的阳极,第一电感的输出端接第二晶闸管的阳极,第二电感的输出端连接第三晶闸管的阳极。

一种直流固态断路器

技术领域

[0001] 本发明属于电力电子与电工技术领域,特别涉及一种直流固态断路器电路结构。

背景技术

[0002] 固态断路器 (Solid State Circuit Breaker, 简称 SSCB) 是用来快速切断故障的一种新型电力自动化设备,因其具有开关时间短、无声响、无电弧、无关断死区、寿命长及工作可靠性高等优点,具有极大的应用前景。目前使用较多的是交流固态断路器。在直流领域也有研究基于晶闸管的直流固态断路器,例如中国发明专利(专利号:200910026473.8)提供的一种揩振型直流固态断路器,参见图1。其正常关断的关键是储能脉冲电容 C_{10} 与电感 L_{10} 发生 LC 谐振且谐振电流大于负载的工作电流,在此结构中储能脉冲电容 C_{10} 与电感 L_{10} 能发生 LC 谐振的必要条件是储能脉冲电容 C_{10} 的电压高于供电电源电压,而由于晶闸管漏电阻和电容漏电阻的存在,势必会造成储能脉冲电容 C_{10} 的能量通过晶闸管 T_{220} 和 T_{230} 向负载泄漏,当储能脉冲电容 C_{10} 的电压因能量泄漏而降到供电电源电压时,储能脉冲电容 C_{10} 与电感 L_{10} 达不到谐振的必要条件最终造成 SSCB 的关断失效;针对此缺陷提出改进拓扑如图2,此拓扑利用供电电源电压来降低 LC 谐振时对储能脉冲电容 C_{10} 电压的要求,虽有效解决了因器件固有的漏电流造成的关断不可靠问题,但在短路故障关断时,因谐振回路包含了供电电源,供电电源会流过数值很大的谐振电流,对供电电源造成很大的冲击。

[0003] 基于前述分析,本发明人针对现有的直流固态断路器结构进行研究改进,本案由此产生。

发明内容

[0004] 本发明所要解决的技术问题,是针对前述背景技术中的缺陷和不足,提供一种直流固态断路器,其可有效避免因器件固有的漏电流而造成的储能脉冲电容电压降低而关断不可靠及故障关断时供电电源有很大的谐振电流流经的问题。

[0005] 本发明为解决以上技术问题,所采用的技术方案是:

[0006] 一种直流固态断路器,包括直流供电电源和负载,还包括主开关单元 A 和辅助开关单元 B,其中主开关单元 A 包括:主开关晶闸管和主开关功率二极管,辅助开关单元 B 包括第一晶闸管、第二晶闸管、第三晶闸管、第四晶闸管、第五晶闸管、第六晶闸管、第七晶闸管、第一电感、第二电感、第一储能脉冲电容、第二储能脉冲电容、第一限流功率电阻、第二限流功率电阻和续流二极管;直流供电电源的正输出端分别接第六晶闸管的阳极、第一晶闸管的阳极、主开关晶闸管的阳极和主开关功率二极管的阴极,直流供电电源的负输出端分别与第七晶闸管的阴极、续流二极管的阳极、第四晶闸管的阴极和负载的负输入端连接接地,主开关功率二极管的阳极分别接主开关晶闸管的阴极、负载的正输入端、第二晶闸管的阴极和第三晶闸管的阴极,第一储能脉冲电容的输入端分别接第一晶闸管的阴极、第一电感的输入端和第二电感的输入端,第一储能脉冲电容的输出端分别接第五晶闸管的阴极和第一限流功率电阻的输入端,第一限流功率电阻的输出端接第四晶闸管的阳极,第二储

能脉冲电容的输入端分别接第六晶闸管的阴极和第五晶闸管的阳极,第二储能脉冲电容的输出端分别接第二限流功率电阻的输入端和续流二极管的阴极,第二限流功率电阻的输出端接第七晶闸管的阳极,第一电感的输出端接第二晶闸管的阳极,第二电感的输出端连接第三晶闸管的阳极。

[0007] 采用上述方案后,本发明的有益效果如下:

[0008] 1、从电路结构可靠性来说,有效避免了因元器件固有的漏电流而造成的储能脉冲电容电压降低而关断不可靠的问题;

[0009] 2、从短路保护来说,拓扑结构有效解决了故障关断时供电电源有很大谐振电流流经的问题;

[0010] 3、从可关断容量来说,在器件允许的范围内断路器可关断容量与电压的平方成正比。

附图说明

[0011] 图 1 是一种现有谐振型直流固态断路器的主电路结构图;

[0012] 图 2 是针对图 1 所示电路存在的缺点提出的改进电路结构图;

[0013] 图 3 是本发明设计的直流固态断路器的主电路结构图;

[0014] 图 4 是正常开通和关断操作时序图;

[0015] 图 5 是短路关断操作时序图;

[0016] 图 6 是 SSCB 开通过程波形图;

[0017] 图 7 是 SSCB 正常关断过程波形图;

[0018] 图 8 是 SSCB 短路关断过程波形图。

具体实施方式

[0019] 以下将结合附图,对本发明的技术方案进行详细说明。

[0020] 本发明提供一种直流固态断路器,其电路如图 3 所示,其中 A 是主开关单元, B 是辅助开关单元。其中,主开关单元 A 包括:主开关晶闸管 T_{11} 和主开关功率二极管 D_1 ;辅助开关单元 B 主要包括第一晶闸管 T_{21} 、第二晶闸管 T_{22} 、第三晶闸管 T_{23} 、第四晶闸管 T_{24} 、第五晶闸管 T_{25} 、第六晶闸管 T_{26} 、第七晶闸管 T_{27} ,第一电感 L_1 、第二电感 L_2 ,第一储能脉冲电容 C_1 、第二储能脉冲电容 C_2 ,第一限流功率电阻 R_1 、第二限流功率电阻 R_2 和续流二极管 D_2 。

[0021] 其中辅助开关 B 按功能和组合又可分为:

[0022] (1) 第一辅助充电电路:第一晶闸管 T_{21} 、第一储能脉冲电容 C_1 、第一限流功率电阻 R_1 、第四晶闸管 T_{24} 构成;

[0023] (2) 第二辅助充电电路:第六晶闸管 T_{26} 、第二储能脉冲电容 C_2 、第二限流功率电阻 R_2 、第七晶闸管 T_{27} 构成;

[0024] (3) 辅助开通电路:续流二极管 D_2 、第二储能脉冲电容 C_2 、第五晶闸管 T_{25} 、第一储能脉冲电容 C_1 、第一电感 L_1 、第二晶闸管 T_{22} 构成;

[0025] (4) 正常关断电路:续流二极管 D_2 、第二储能脉冲电容 C_2 、第五晶闸管 T_{25} 、第一储能脉冲电容 C_1 、第一电感 L_1 、第二晶闸管 T_{22} 构成;

[0026] (5) 故障判断电路:续流二极管 D_2 、第二储能脉冲电容 C_2 、第五晶闸管 T_{25} 、第一储

能脉冲电容 C_1 、第二电感 L_2 、第三晶闸管 T_{23} 构成；

[0027] 以下介绍本发明所提供的直流固态断路器的工作原理：

[0028] 先开通第一晶闸管 T_{21} 、第四晶闸管 T_{24} 、第六晶闸管 T_{26} 和第七晶闸管 T_{27} 分别向第一储能脉冲电容 C_1 、第二储能脉冲电容 C_2 充电至供电电源电压，然后开通第五晶闸管 T_{25} 和第二晶闸管 T_{22} ，使第一储能脉冲电容 C_1 、第二储能脉冲电容 C_2 与第一电感 L_1 发生 LC 谐振，当谐振电流增大至负载工作电流后，主开关功率二极管 D_1 开始续流；当主开关功率二极管 D_1 中的续流电流降低至零时开通主开关晶闸管 T_{11} ；主开关晶闸管 T_{11} 的电流随着谐振电流的减小而增大；当谐振电流减小为零时，主开关晶闸管 T_{11} 的电流达到稳定值，开通过程结束。

[0029] 固态断路器 SSCB 需要正常断开时，开通第五晶闸管 T_{25} 、第二晶闸管 T_{22} ，第一储能脉冲电容 C_1 、第二储能脉冲电容 C_2 通过第一电感 L_1 发生 LC 谐振；随着谐振电流的增大，主开关晶闸管 T_{11} 电流减小，谐振电流大于负载电流时，主开关晶闸管 T_{11} 电流降到零从而实现自然关断，谐振电流多余部分从主开关功率二极管 D_1 续流，当谐振电流回降至零时，关断过程结束。

[0030] 固态断路器 SSCB 需要故障断开时，开通第五晶闸管 T_{25} 和第三晶闸管 T_{23} ，第一储能脉冲电容 C_1 、第二储能脉冲电容 C_2 通过第二电感 L_2 发生 LC 谐振，第二电感 L_2 取值较第一电感 L_1 小得多，谐振电流上升速度比故障电流上升速度要快，当主开关功率二极管 D_1 有电流返回时，通过主开关晶闸管 T_{11} 的电流降为零，从而自然关断。

[0031] 正常工作时电路工作状态分析：

[0032] 在图 4 中， t_0 时刻控制系统发出第一储能脉冲电容 C_1 、第二储能脉冲电容 C_2 充电指令，供电电源通过 RC 电路向第一储能脉冲电容 C_1 、第二储能脉冲电容 C_2 充电，第一储能脉冲电容 C_1 、第二储能脉冲电容 C_2 充电至供电电源电压后的 t_1 时刻触发第五晶闸管 T_{25} 、第二晶闸管 T_{22} ，第一储能脉冲电容 C_1 、第二储能脉冲电容 C_2 、第一电感 L_1 与负载发生 RLC 谐振，谐振电流从零开始逐渐增大。

[0033] t_2 时刻，谐振电流增大至负载工作电流，当谐振电流继续增大，剩余部分从主开关功率二极管 D_1 续流，此时流过负载的电流 I_N 、主开关功率二极管 D_1 的电流 i_{D1} 与谐振电流流过第二晶闸管 T_{22} 的电流 i_{T22} 的关系为 $i_{T22} = I_N + i_{D1}$ ；流过主开关功率二极管 D_1 的电流随着谐振的继续而增大，达到峰值后开始回落， t_3 时刻回落至负载电流，此时向主开关晶闸管 T_{11} 发出开通信号，在 t_3 至 t_4 时间段，流过主开关晶闸管 T_{11} 的电流 i_{T11} 与负载工作电流 I_N 和流过第二晶闸管 T_{22} 的电流 i_{T22} 的关系为 $i_{T11} = I_N + i_{T22}$ ，负载工作电流 I_N 维持恒定，流过主开关晶闸管 T_{11} 的电流 i_{T11} 随着谐振电流的减小而增大，当谐振电流降到零时，流过主开关晶闸管 T_{11} 的电流增大至负载工作电流 I_N ，从而实现零电流（压）开通；开通后的 t_5 时刻再次发出第一储能脉冲电容 C_1 、第二储能脉冲电容 C_2 充电指令，为固态断路器关断作准备。

[0034] 在图 4 中， t_4 至 t_6 时间段内，电路处于正常运行状态，设 t_6 时刻是正常关断的起始时刻。

[0035] 在 t_6 时刻控制系统发出正常关断命令，第五晶闸管 T_{25} 和第二晶闸管 T_{22} 导通，第一储能脉冲电容 C_1 、第二储能脉冲电容 C_2 与第一电感 L_1 发生 LC 谐振；在 t_6 至 t_7 时间段，谐振电流未增大到负载工作电流，通过主开关晶闸管 T_{11} 的电流 i_{T11} 、通过第二晶闸管 T_{22} 的电流 i_{T22} 和负载工作电流 I_N 的关系为 $I_N = i_{T11} + i_{T22}$ ，负载工作电流 I_N 维持恒定，主开关晶闸

管 $i_{T_{11}}$ 的电流随着谐振电流的增大而减小,并在 t_7 时刻随着谐振电流增至负载工作电流而减小至零从而自然关断;此后谐振电流开始大于负载工作电流,大于负载的那部分电流从主开关功率二极管 D_1 流走;主开关功率二极管 D_1 续流期间,储能脉冲电容 C_1 、 C_2 存储的能量一部分被负载消耗,一部分从主开关功率二极管 D_1 反馈回供电电源;当主开关功率二极管 D_1 中的续流电流随着谐振电流达到峰值后回落并降到零时,储能脉冲电容 C_1 、 C_2 与第一电感 L_1 、负载 R_L 发生 RLC 谐振,当该谐振电流降到零时整个判断过程结束。

[0036] 短路关断时电路工作状态分析:

[0037] 为保持开关操作流程的完整性,用 t'_5 时刻表示短路关断的起时刻,如图 5 所示。

[0038] t'_5 时刻流过主开关晶闸管 T_{11} 的电流 $i_{T_{11}}(t'_5) = I_N$, t'_5 时刻后负载开始出现过流,流过主开关晶闸管 T_{11} 的电流迅速增大。

[0039] t'_6 时刻,流过主开关晶闸管 T_{11} 的电流达到设定的短路电流保护倍数,此时触发第五晶闸管 T_{25} 和第三晶闸管 T_{23} 开通,第一储能脉冲电容 C_1 、第二储能脉冲电容 C_2 通过第二电感 L_2 谐振放电,流过第三晶闸管 T_{23} 的电流 $i_{T_{23}}(t'_6) = 0$,由于放电电流的速率上升很快,流过主开关晶闸管 T_{11} 的电流开始下降。

[0040] t'_7 时刻,谐振支路的放电电流大于短路电流,流过主开关晶闸管 T_{11} 的电流减小为零,主开关晶闸管 T_{11} 自然关断,与主开关晶闸管 T_{11} 反并联的主开关功率二极管 D_1 开始续流剩余的电流。

[0041] t'_8 时刻,主开关功率二极管 D_1 中的电流减小为零,其续流过程结束; t'_9 时刻,流过第三晶闸管 T_{23} 的电流 $i_{T_{23}}$ 降到零,故障关断过程结束。

[0042] 本发明的一个实例中设计的参数:

[0043] 线路电压 $V_{DC} = 1000V$,线路额定电流 $I_N = 100A$,负载电阻 $R_L = 10\Omega$;

[0044] 储能脉冲电容 $C_1 = 200\mu F$,第一电感 $L_1 = 4mH$,第二电感 $L_2 = 80\mu H$;

[0045] 图 6、图 7、图 8 是本发明所设计的电路采用设计的参数时正常开通、正常关断和故障关断三种情况下所对应的波形图。

[0046] 本实施例中的主开关晶闸管 T_{11} 、主开关功率二极管 D_1 、第一晶闸管 T_{21} 、第二晶闸管 T_{22} 、第三晶闸管 T_{23} 、第四晶闸管 T_{24} 、第五晶闸管 T_{25} 、第六晶闸管 T_{26} 、第七晶闸管 T_{27} 、续流二极管 D_2 均采用成熟常规产品。

[0047] 综上所述,尽管本发明的基本结构、原理、方法通过上述实施例予以具体阐述,在不脱离本发明要旨的前提下,根据以上所述的启发,本领域普通技术人员可以不需要付出创造性劳动即可实施变换/替代形式或组合均落入本发明保护范围内。

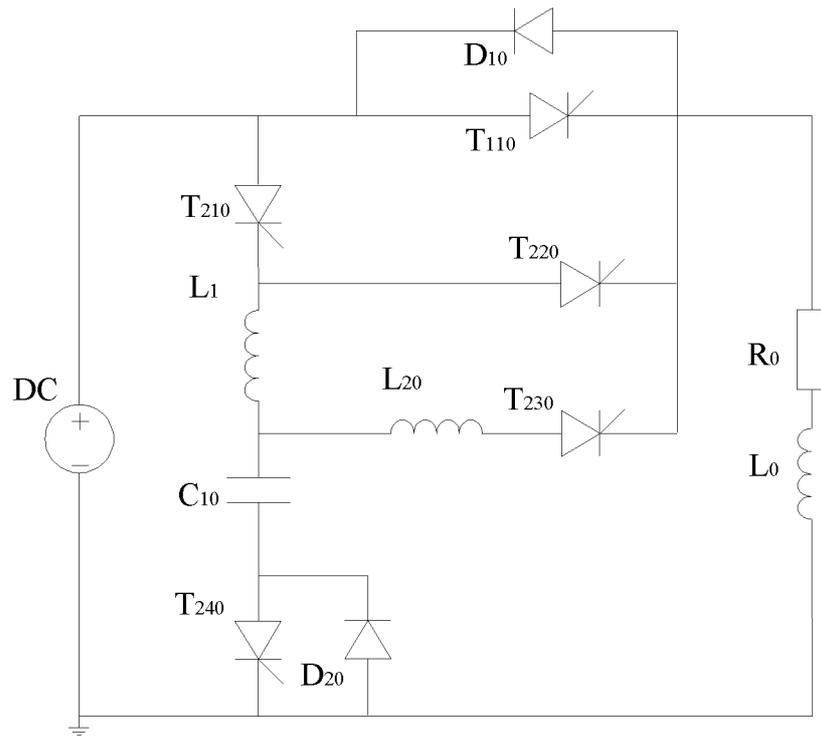


图 1

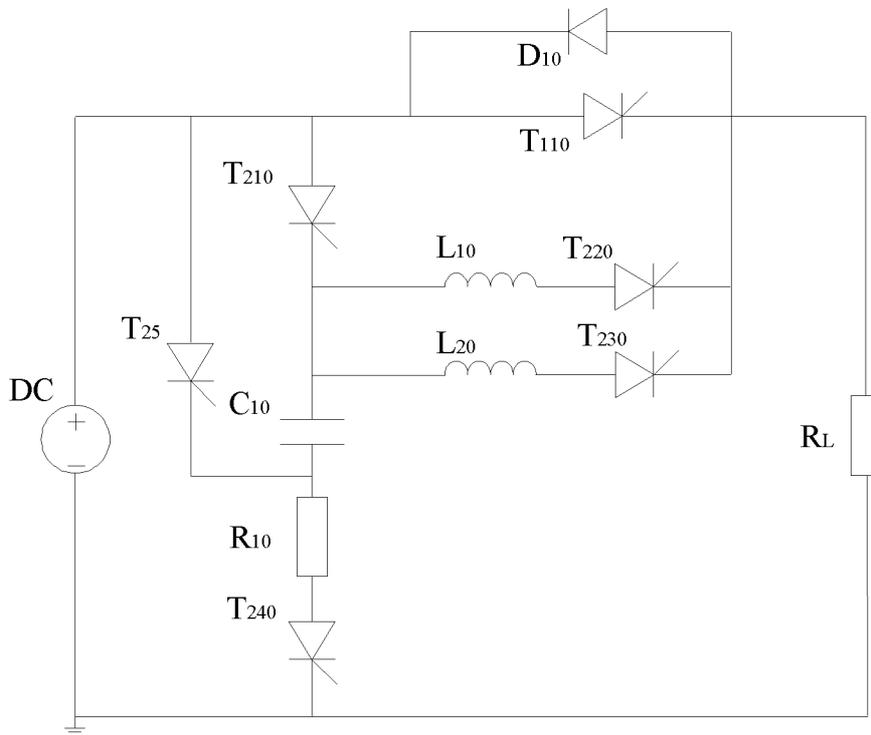


图 2

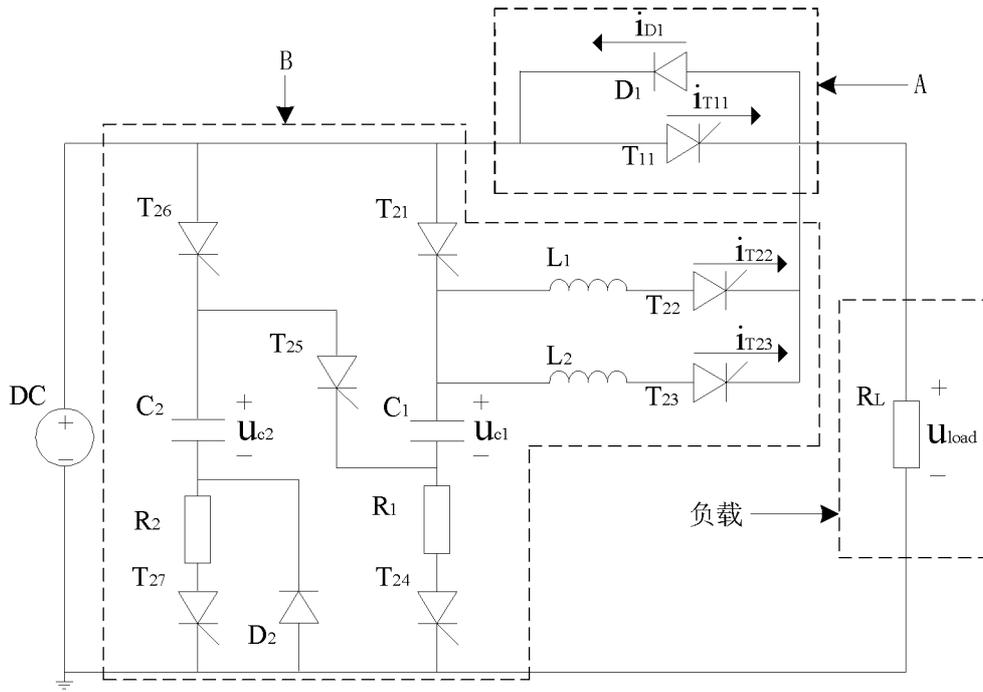


图 3

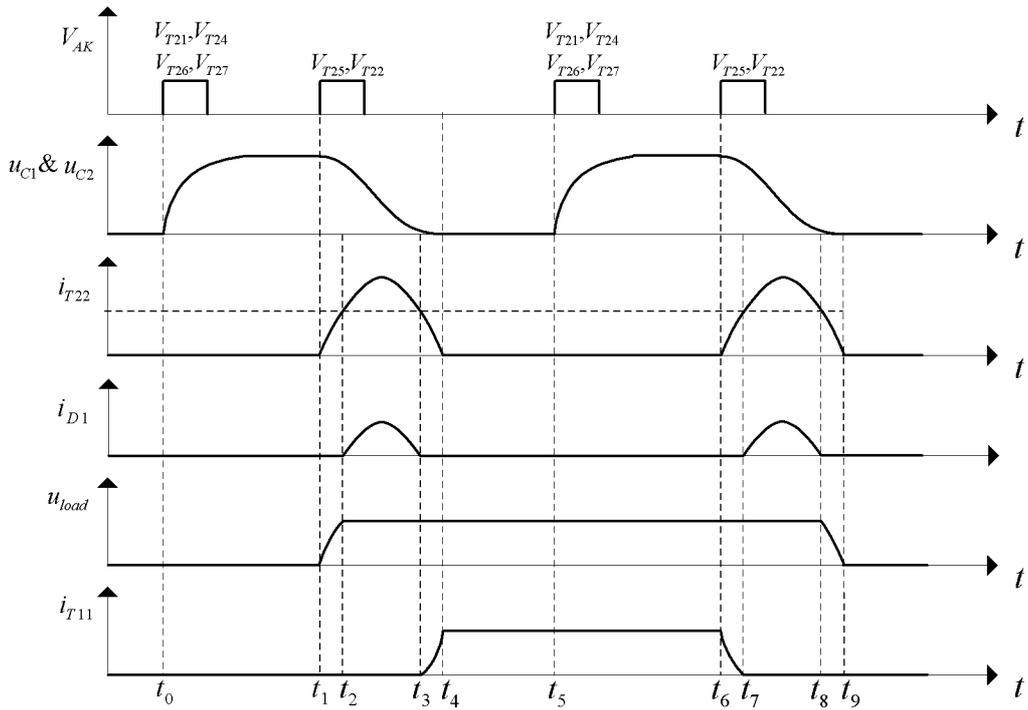


图 4

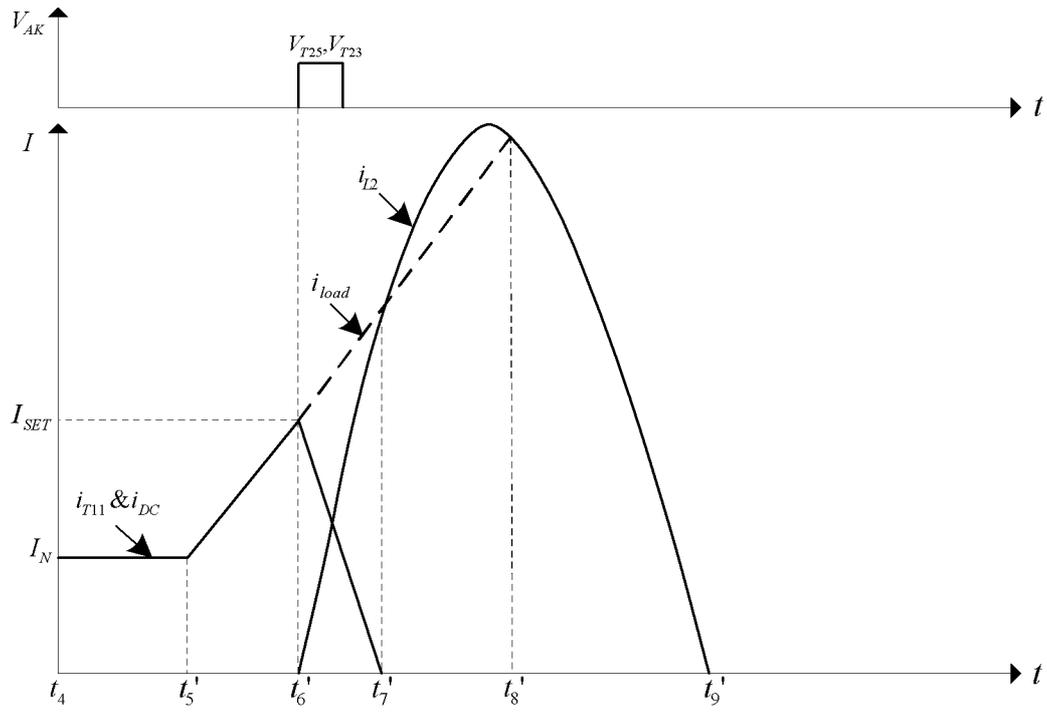


图 5

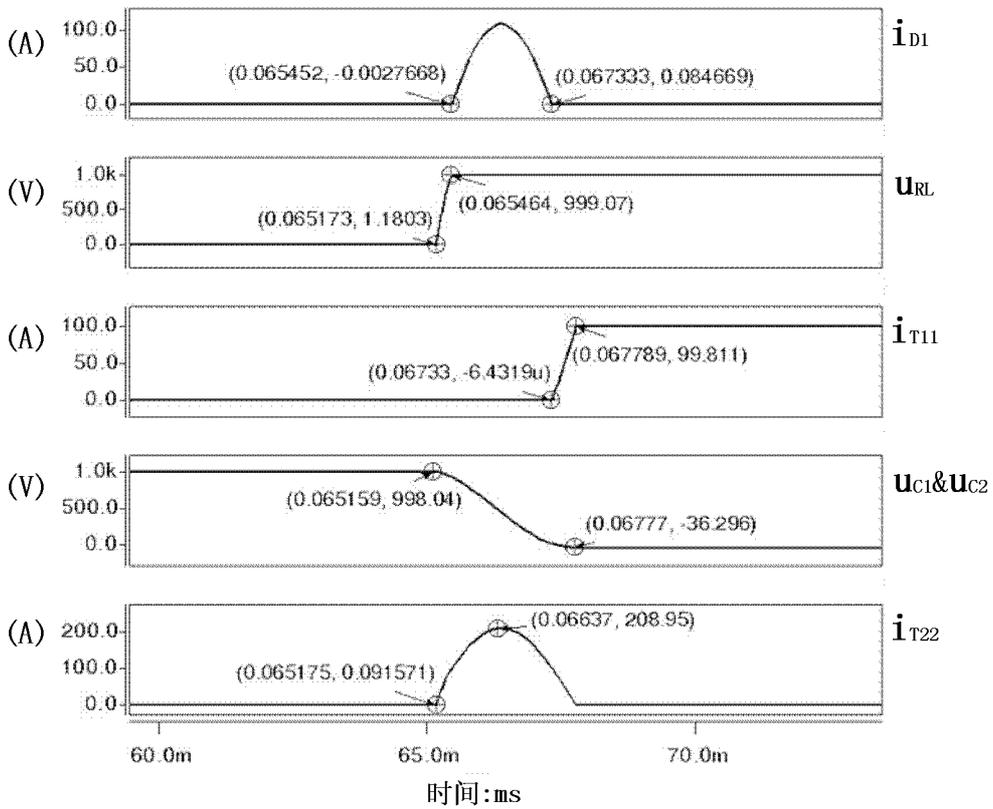


图 6

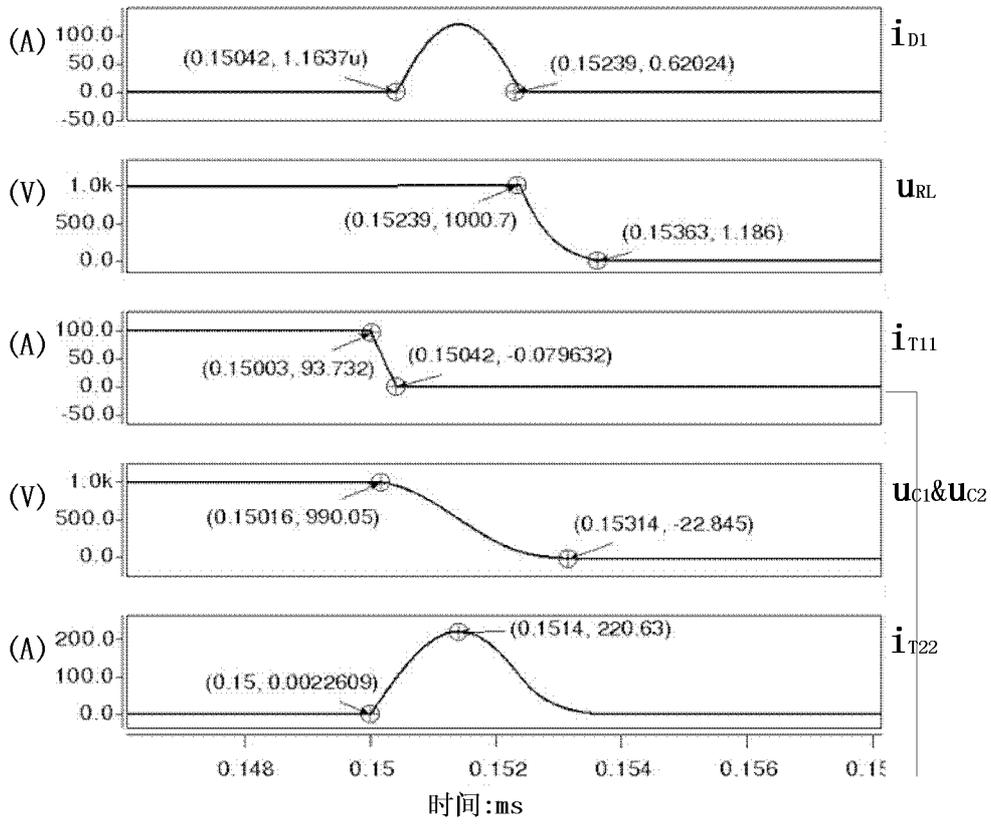


图 7

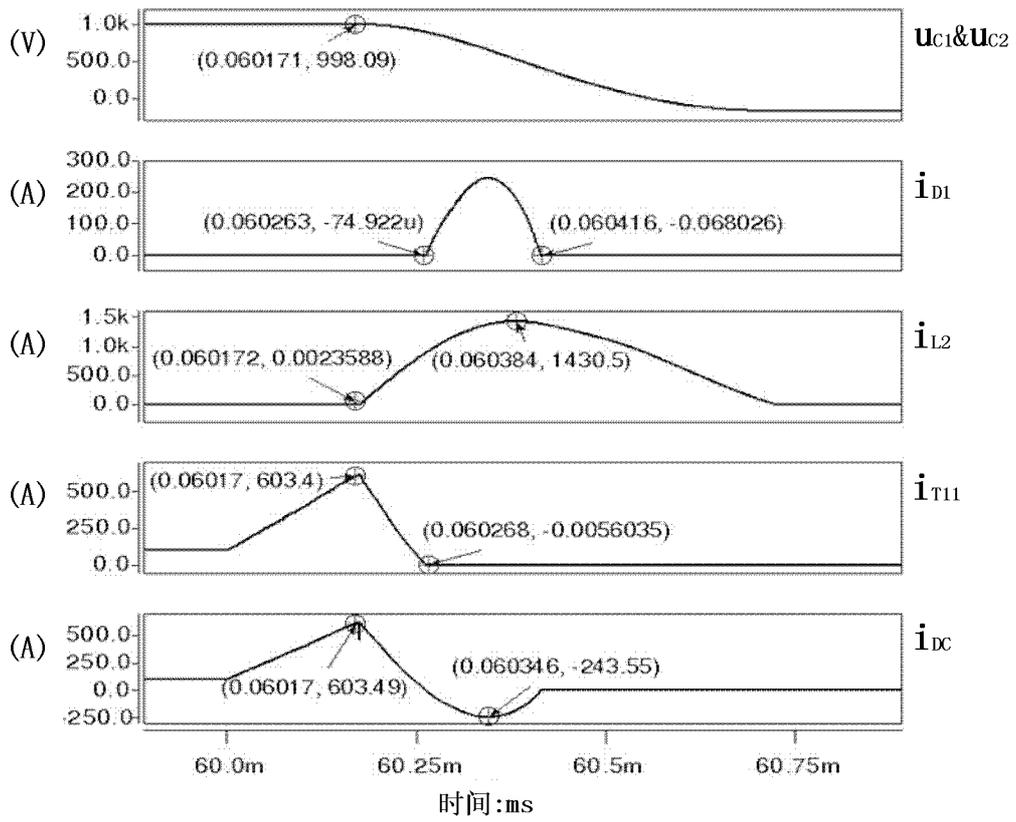


图 8