

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

H02H 3/087 (2006.01)

H03K 17/73 (2006.01)



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200910026473.8

[43] 公开日 2009年9月23日

[11] 公开号 CN 101540493A

[22] 申请日 2009.4.22

[21] 申请号 200910026473.8

[71] 申请人 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 胡 杰

[74] 专利代理机构 南京经纬专利商标代理有限公司
代理人 许 方

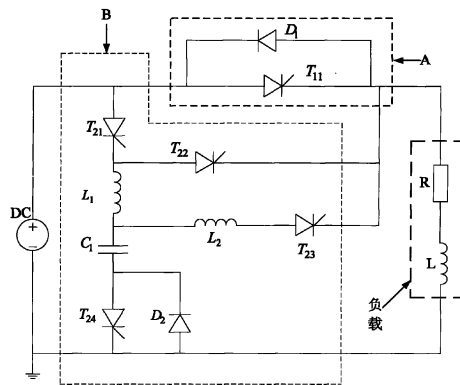
权利要求书 1 页 说明书 9 页 附图 5 页

[54] 发明名称

谐振型直流固态断路器

[57] 摘要

本发明公布了一种谐振型直流固态断路器，属于固态断路器。本发明所述断路器包括直流电源、主开关单元 A、辅助开关单元 B 和负载，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、第一电感、第二电感、储能脉冲电容和辅助开关功率二极管。本发明提高了装置的容量，降低了成本，而且实现了固态开关的软开通(关断)，提高了装置的可靠性。



1、一种谐振型直流固态断路器，包括直流电源和负载，其特征在于该固态断路器还包括主开关单元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（ T_{11} ）和主开关功率二极管（ D_1 ），辅助开关单元B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} ）、第一电感（ L_1 ）、第二电感（ L_2 ）、储能脉冲电容（ C_1 ）和辅助开关功率二极管（ D_2 ）；直流电源的正输出端分别接第一晶闸管（ T_{21} ）的阳极、主开关晶闸管（ T_{11} ）的阳极和主开关功率二极管（ D_1 ）的阴极，直流电源的负输出端分别与辅助开关功率二极管（ D_2 ）的阳极、第四晶闸管（ T_{24} ）的阴极和负载的负输入端连接接地，主开关功率二极管（ D_1 ）的阳极分别接主开关晶闸管（ T_{11} ）的阴极、负载的正输入端、第二晶闸管（ T_{22} ）的阴极和第三晶闸管（ T_{23} ）的阴极，第一晶闸管（ T_{21} ）的阴极分别接第二晶闸管（ T_{22} ）的阳极和第一电感（ L_1 ）的输入端，第一电感（ L_1 ）的输出端分别接第二电感（ L_2 ）的输入端和储能脉冲电容（ C_1 ）的输入端，第二电感（ L_2 ）的输出端接第三晶闸管（ T_{23} ）的阳极，储能脉冲电容（ C_1 ）的输出端分别接第四晶闸管（ T_{24} ）的阳极和辅助开关功率二极管（ D_2 ）的阴极。

谐振型直流固态断路器

技术领域

发明涉及一种固态断路器，尤其涉及一种谐振型直流固态断路器。

背景技术

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。目前使用的比较多的是交流固态断路器, 其结构如图 1 所示, 其主要由两部分组成: RC 缓冲吸收电路和两个反并连接的固态开关, 其中, 该固态开关可以为可关断晶闸管 GTO (Gate Turn-Off Thyristor, 简称 GTO) 或绝缘栅双极型功率管 IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor, 简称 IGBT)。因现有的常用功率器件的过载能力较低, 所以固态断路器常与限流器组合使用来实现短路情况下的故障开断, 其结构如图 2 所示, 它主要由主开关单元 A (GTO 组成)、限流单元和氧化锌避雷器单元构成。正常工作时, GTO 处于导通状态; 当发生故障时, GTO 迅速断开, 故障电流流过限流电抗器, 氧化锌避雷器将限制限流单元两端的电压上升速度, 并且电压加在限流单元两端, 从而限制了故障电流。但是这种由全控器件构成的固态开关装置大多应用于交流配电网, 而应用于直流电网时则存在以下问题:

(1) 直流线路中无自然过零点, 流过的电流为一恒定值, 不存在在过零点附件进行控制的可能性。当固态开关 (如 GTO、IGBT) 动作时承受的电

流、电压应力非常大，现有的器件一般很难满足。这就要求针对直流的这一特点，减缓装置动作时固态开关承受的电流（压）应力，避免损坏装置。

(2) 现有的功率器件的过载能力较低、分断容量偏小，装置能承受的过载倍数较小。当流过的电流较大时，需对器件进行几倍的降额使用，造成器件使用的浪费同时需提供可靠的驱动及同步控制技术。

(3) GTO、IGBT 等可采用的全控器件通态损耗大。目前能通过 2kA 的大功率 GTO 的通态压降约 2V，正常运行时损耗约为 4kW，在高压、大电流场合需采用多个器件进行串、并连，损耗相当可观，也增大了装置的散热要求和运营成本。

目前这几个问题都没有得到很好的解决，因此限制了固态断路器在直流领域的应用。

发明内容

本发明目的是针对现有技术存在的缺陷提供一种谐振型直流固态断路器，改变已有的电路结构，以避免使用昂贵的全控器件及其在开关动作瞬间承受的电流（压）应力过大和过载能力低对固态断路器应用的限制，实现固态断路器的软开通和软关断。

本发明为实现上述目的，采用如下技术方案：

本发明谐振型直流固态断路器，包括直流电源和负载，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 and 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、第一电感、第二电感、储能脉冲电容和辅助开关功率二极管；直流电源的正输出端分别接第一晶闸管的阳极、主开关晶闸管的阳

极和主开关功率二极管的阴极，直流电源的负输出端分别与辅助开关功率二极管的阳极、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，第一晶闸管的阴极分别接第二晶闸管的阳极和第一电感的输入端，第一电感的输出端分别接第二电感的输入端和储能脉冲电容的输入端，第二电感的输出端接第三晶闸管的阳极，储能脉冲电容的输出端分别接第四晶闸管的阳极和辅助开关功率二极管的阴极。

本发明的有益效果如下：

1、从开关动作瞬间功率器件的损耗来说，采用谐振软开关的思想避免了硬开通（关断）对功率器件造成的损坏及关断时装置过载倍数设定值低的缺点，制造了直流领域的过零点，实现了功率器件的软开通（关断），提高了装置的可靠性。

2、从采用的功率器件来说，省去了采用昂贵的全控功率器件（如GTO、IGBT）的费用，增大了装置的容量，降低了装置的通态损耗、散热要求、制造费用及运营成本，因为本发明采用的普通晶闸管SCR(Silicon Controlled Rectifier)是目前市场化使用的功率器件中单管容量最大和通态压降最低的器件。

3、从能量的角度来说，装置提供了电能回馈电网的通道，提高了电能的利用率，同时对于电能只能单项流动的直流领域，可在负载端并联一氧化锌避雷器来限制故障关断时负载两端的过压。

4、从对驱动电源的要求来说，SCR导通时只需提供一定宽度的脉冲即可，导通后无需驱动电源再提供能量。若采用全控器件，需对功率器件的控制电

路持续提供能量，在高压场合时对高电位驱动电源的取能要求就严格了。

5、从电路结构的扩展性来说，目前采用的是 SCR 这种半控器件，根据应用场合的不同，某些场合可以用全控器件来替代，随着功率器件和半导体市场的发展，这种替代的可能性是存在的，替代后装置的快速性将会有很大的提高。

综上所述，本发明提出的直流固态断路器，不仅采用 SCR 这种目前容量最大、通态压降最低的市场化器件，提高了装置的容量，降低了成本，而且实现了固态开关的软开通（关断），提高了装置的可靠性。

附图说明

图 1: 交流固态断路器电路图；

图 2: 固态断路器与限流器组合使用的工程实例电路图；

图 3: 本发明设计的直流固态断路器的主电路结构图；

图 4: 本发明设计的直流固态断路器的能量泻放的另一种使用形式；

图 5: 正常开通和关断操作时序图；

图 6: 短路关断操作时序图；

图 7: SSCB 开通过程波形图；

图 8: SSCB 正常关断过程波形图；

图 9: SSCB 短路关断过程波形图。

具体实施方式

下面结合附图对发明的技术方案进行详细说明：

如图 1 所示，为交流固态断路器电路图，图 2 为固态断路器与限流器组

合使用的工程实例电路图。

本发明的电路如图 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 主要由第一晶闸管 T_{21} 、第二晶闸管 T_{22} 、第三晶闸管 T_{23} 、第四晶闸管 T_{24} ，电感第一电感 L_1 、第二电感 L_2 ，储能脉冲电容 C_1 和辅助开关功率二极管 D_2 组成。

其中辅助开关电路按功能和组合又可分为：

(1) 辅助开通电路：第一晶闸管 T_{21} 、第一电感 L_1 、第二电感 L_2 、第三晶闸管 T_{23} 构成；

(2) 辅助充电电路：第一晶闸管 T_{21} 、第一电感 L_1 、储能脉冲电容 C_1 、第四晶闸管 T_{24} 构成；

(3) 正常关断电路：储能脉冲电容 C_1 、第一电感 L_1 、第二晶闸管 T_{22} 、辅助开关功率二极管 D_2 构成；

(4) 过载关断电路：储能脉冲电容 C_1 、第二电感 L_2 、第三晶闸管 T_{23} 、辅助开关功率二极管 D_2 构成。

以下介绍本发明的直流固态断路器的工作原理：

先开通第一晶闸管 T_{21} 和第三晶闸管 T_{23} ，实现辅助开关管的零电流开通；当流经第一电感 L_1 、第二电感 L_2 的电流达到或接近额定电流时，开通主开关晶闸管 T_{11} 和第四晶闸管 T_{24} ，换流过程发生，主开关晶闸管 T_{11} 的电流开始逐渐增大，储能脉冲电容 C_1 开始充电；当第二电感 L_2 的电流减小为零时，换流过程结束，主开关晶闸管 T_{11} 的电流达到稳定值。

固态断路器 SSCB 需要正常断开时，第二晶闸管 T_{22} 导通，储能脉冲电容 C_1 通过第一电感 L_1 放电，当谐振放电电流大于负载电流时，主开关晶闸管 T_{11} 电

流降为零，主开关晶闸管 T_{11} 由于承受反向电压而自然关断，多余电流从 D_1 中返回电网。当需要故障关断时，第三晶闸管 T_{23} 导通，储能脉冲电容 C_1 通过第二电感 L_2 来放电，第二电感 L_2 的值较第一电感 L_1 要小，故障关断时的放电速度比正常关断时要快，当 D_1 中有电流流过时主开关晶闸管 T_{11} 自然关断。当主开关晶闸管 T_{11} 管、自然关断后，电容与电感组成的谐振电路继续进行充、放电，为下次的投入运行做准备。

图 4 为本发明设计的直流固态断路器的能量泻放的另一种使用形式。

正常工作时电路工作状态分析：

在图 5 中， t_0 时刻控制系统发出 SSCB 正常开通命令，同时触发第一晶闸管 T_{21} 和第三晶闸管 T_{23} 导通，由于电感 L_1 和 L_2 的存在， T_{21} 和 T_{23} 实现了零电流开通。此后，流过电感 L_1 和 L_2 中的电流逐渐增大，直到 t_1 时刻达到稳定。假设电源电压用 V_{dc} 表示，负载电阻用 R_{Load} 表示，不考虑开关 T_{21} 和 T_{23} 的通态压降和线路的损耗，线路的电流为：

$$i_{L1}(t) = i_{L2}(t) = I_N \left[1 - e^{-\frac{R_{Load}(t-t_0)}{L_1+L_2}} \right]$$

t_1 时刻流过电感 L_1 、 L_2 的电流最终达到 $I_{L1}(t_1) = I_{L2}(t_1) = I_N$ ，此时可同时触发主开关晶闸管 T_{11} 和第四晶闸管 T_{24} 导通。主开关管 T_{11} 的电流从零开始增大， T_{11} 实现零电流开通。 T_{11} 管电流增大的同时，第一电感 L_1 与电容 C_1 谐振，对电容 C_1 进行充电，电容 C_1 两端的电压从 $U_{C1}(t_1) = 0$ 逐渐，直至变为稳定。第三晶闸管 T_{23} 由于承受反向电压，电流逐渐减小，此过程流过晶闸管 T_{23} 的电流可表示为：

$$i_{T23}(t) = i_{L2}(t) = I_N - \frac{V_{dc}}{L_2 \omega_r} \sin[\omega_r(t-t_1)]$$

其中 $\omega_r = \sqrt{(L_1+L_2)/L_1L_2C_1}$ 。

t_2 时刻, 流过晶闸管 T_{23} 的电流 $I_{T_{23}}(t_2)=0$, 晶闸管 T_{23} 自然关断, 主开关管 T_{11} 中电流恒定不变等于负载电流即 $I_{T_{11}}(t_2)=I_N$ 。要保证晶闸管 T_{23} 可靠关断, 需满足:

$$0 < \cos[\omega_r(t_2 - t_1)] < 1$$

t_3 时刻, 电容 C_1 的充电电流 $I_{C_1}(t_3)=I_{L_1}(t_3)=0$, 第一晶闸管 T_{21} 和第四晶闸管 T_{24} 自然关断, 至此电容 C_1 的充电完成, 开通过程结束, 开关进入正常运行状态。

正常关断时电路工作状态分析:

在图5中, t_3 至 t_4 时间段内, $I_{T_{11}}(t)=I_N$, $u_{C_1}(t)=U_{C_1}(t_3)$, 电路处于正常运行状态。设 t_4 时刻是正常关断过程的起始时刻。

t_4 时刻控制系统发出正常关断命令, 第二晶闸管 T_{22} 导通, 电容 C_1 开始放电, 流过第一电感 L_1 的电流从零开始反向增大, $I_{T_{22}}(t_4)=I_{C_1}(t_4)=I_{L_1}(t_4)=0$, 晶闸管 T_{22} 零电流开通。 $t_4 \sim t_5$ 时间段是谐振放电电流和流过主开关管 T_{11} 的电流共同向负载提供电流, 随着谐振放电电流的增大, 电容 C_1 两端的电压开始下降, 流过主开关管 T_{11} 的电流也逐渐减小。 t_5 时刻, 谐振放电电流等于额定负载电流, $|I_{L_1}(t)|=I_N$, 而流过主开关管 T_{11} 的电流 $I_{T_{11}}(t_5)=0$, 主开关管 T_{11} 自然关断, 同时第一二极管 D_1 的电流从 $I_{D_1}(t_5)=0$ 开始增加。此后, 谐振电流开始大于额定负载电流, 多余电流从二极管 D_1 中流走。 t_6 时刻, 电容 C_1 的放电电流又等于额定负载电流即 $I_{L_1}(t_6)=I_N$, 流过二极管 D_1 的电流变为0即 $I_{D_1}(t_6)=0$ 。此后, 电感 L_1 和电容 C_1 构成的谐振支路继续放电, 电容 C_1 中储存的能量分为两部分: 一部分为负载所消耗, 一部分被存储到电感 L_1 中。 $t_6 \sim t_7$ 时间段电路处于LC谐振过程, t_7 时刻谐振过程结束, 正常开断动作结束。

短路关断时电路工作状态分析:

为保持开关操作流程的完整性,用 t_4' 时刻表示短路关断的起始时刻,如图6所示。

t_4' 时刻流过主开关管 T_{11} 的电流 $I_{T_{11}}(t_4')=I_N$, t_4' 后负载开始出现过流,流过主开关管 T_{11} 的电流逐渐增大。

t_5' 时刻,流过主开关管 T_{11} 的电流达到设定的短路电流保护倍数,触发第三晶闸管 T_{23} 开通,电容 C_1 开始放电,流过第三晶闸管 T_{23} 的电流 $I_{T_{23}}(t_5')=I_{C_1}(t_5')=0$,由于放电电流的速率上升很快,流过主开关管 T_{11} 的电流开始下降。

t_6' 时刻,谐振支路的放电电流大于负载电流,流过主开关管 T_{11} 的电流减小为0,主开关管 T_{11} 自然关断,反并联的第一二极管 D_1 开始流过电流 $I_{D_1}(t_6')=I_{D_1}(t_7')=0$,一部分能量通过二极管 D_1 开始反馈回电网;

t_7' 时刻, D_1 管中电流减小为0,其续流过程结束; t_8' 时刻,流过二极管 D_2 的电流 $I_{D_2}(t_8')=0$,谐振过程结束。 $t_7' \sim t_8'$ 时间段可看作电容 C_1 、电感 L_2 、晶闸管 T_{23} 、二极管 D_2 构成的谐振回路的于充、放电过程。

本发明的一个实例中设计的参数:

线路电压 $V_{dc}=1kV$,线路额定电流 $I_N=100A$;负载电阻 $R_{Load}=10\Omega$;

脉冲储能电容 $C_1=200\mu F$,电感 $L_1=4mH$, $L_2=150\mu H$ 。

图7、图8、图9是本发明所设计的电路采用设计的参数时开通、正常关断和短路三种情况下所对应的波形图。

本实施例中的功率二极管 D_1 、辅助开关功率二极管 D_2 ,主开关晶闸管 T_{11} 、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} 均采用

成熟常规产品。

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。

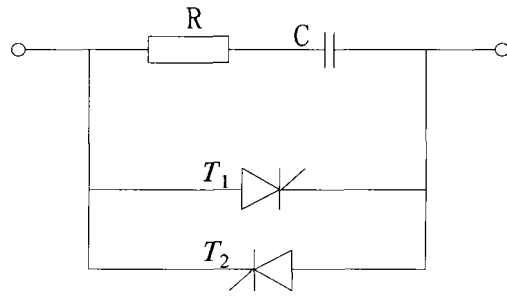


图 1

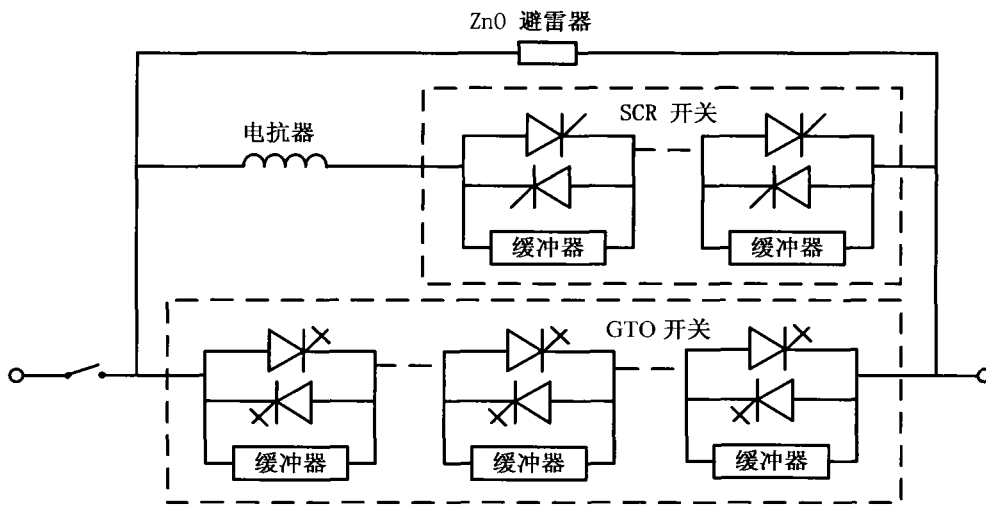


图 2

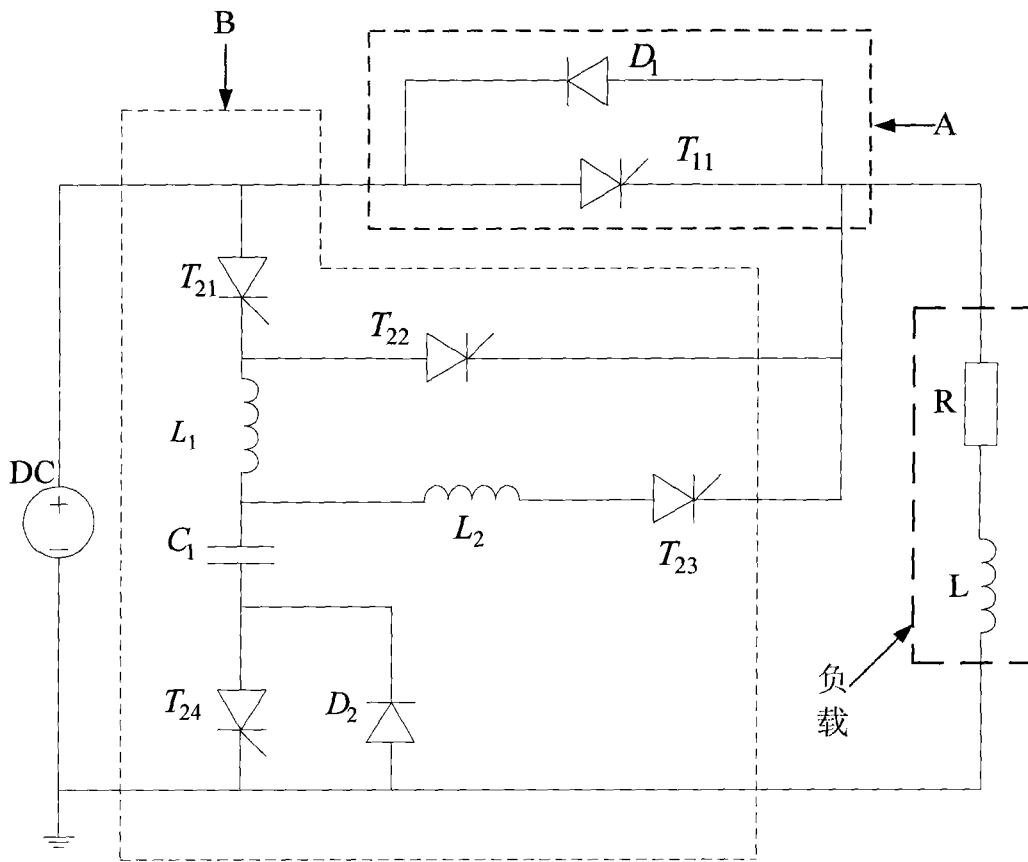


图 3

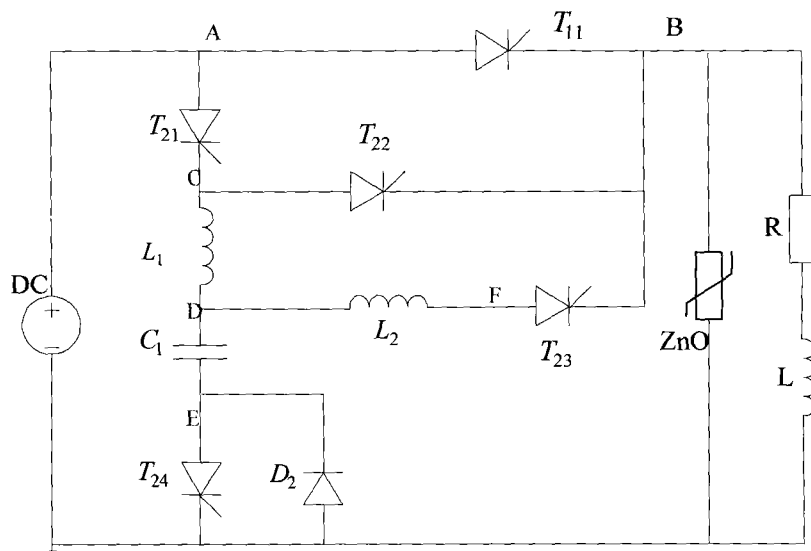


图 4

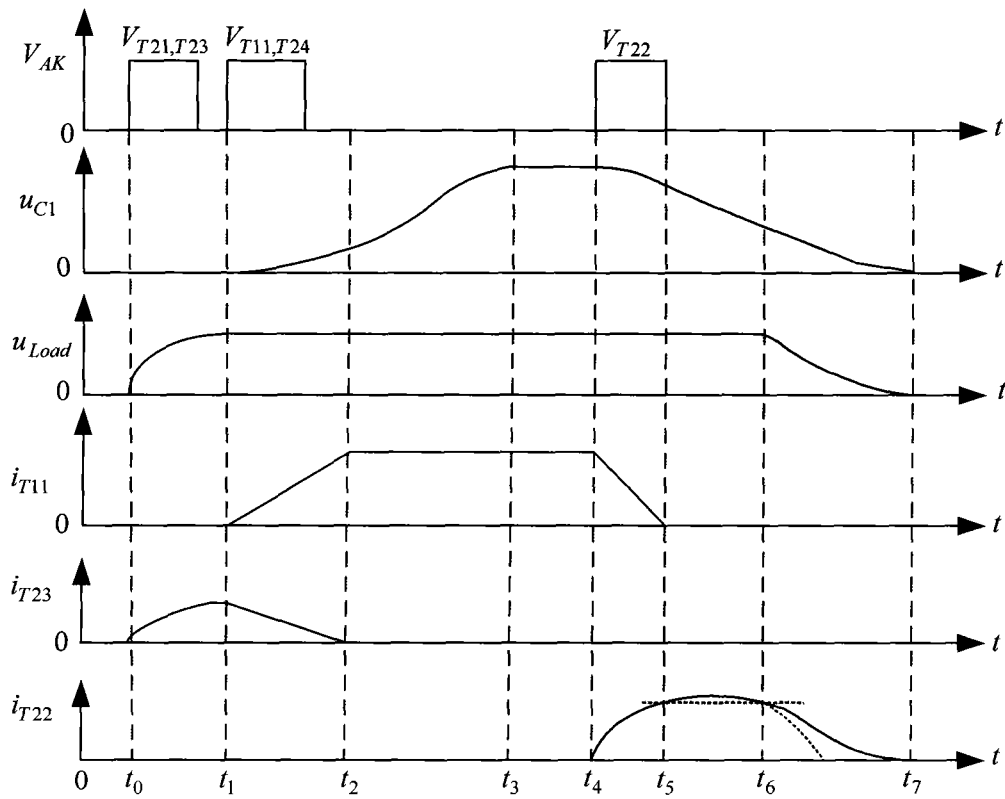


图 5

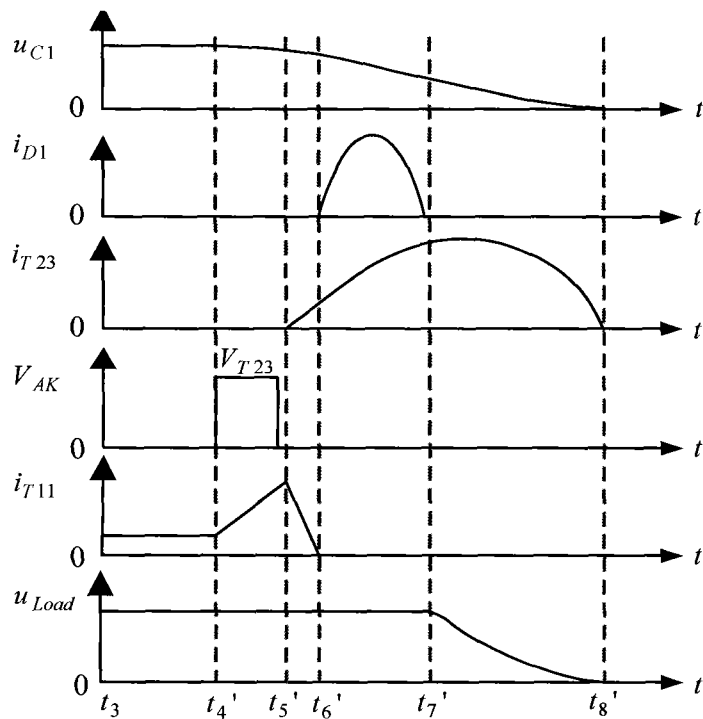


图 6

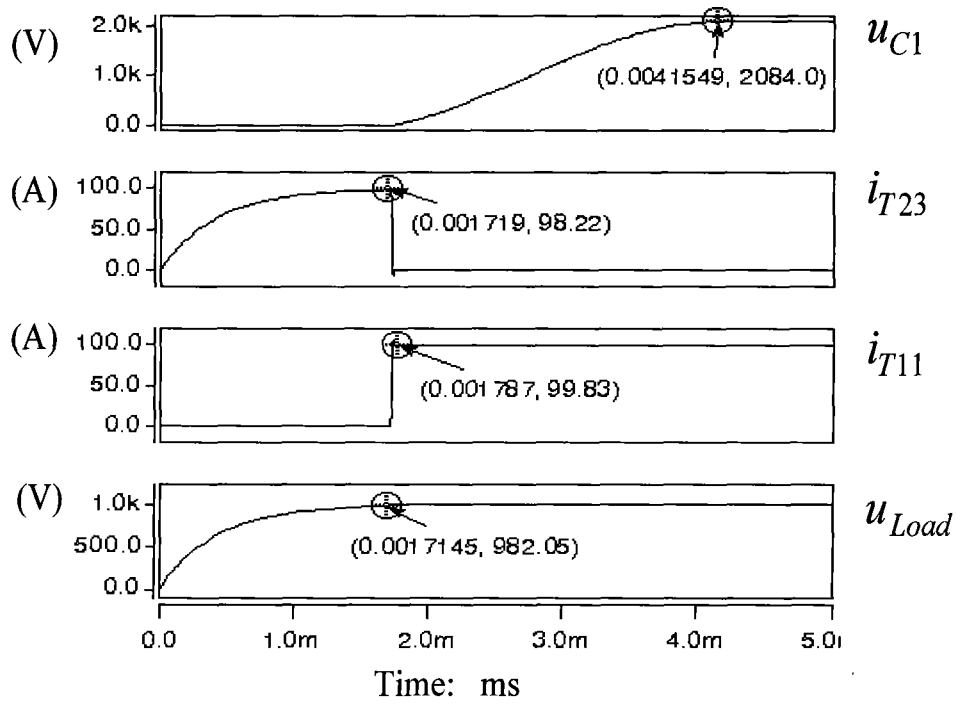


图 7

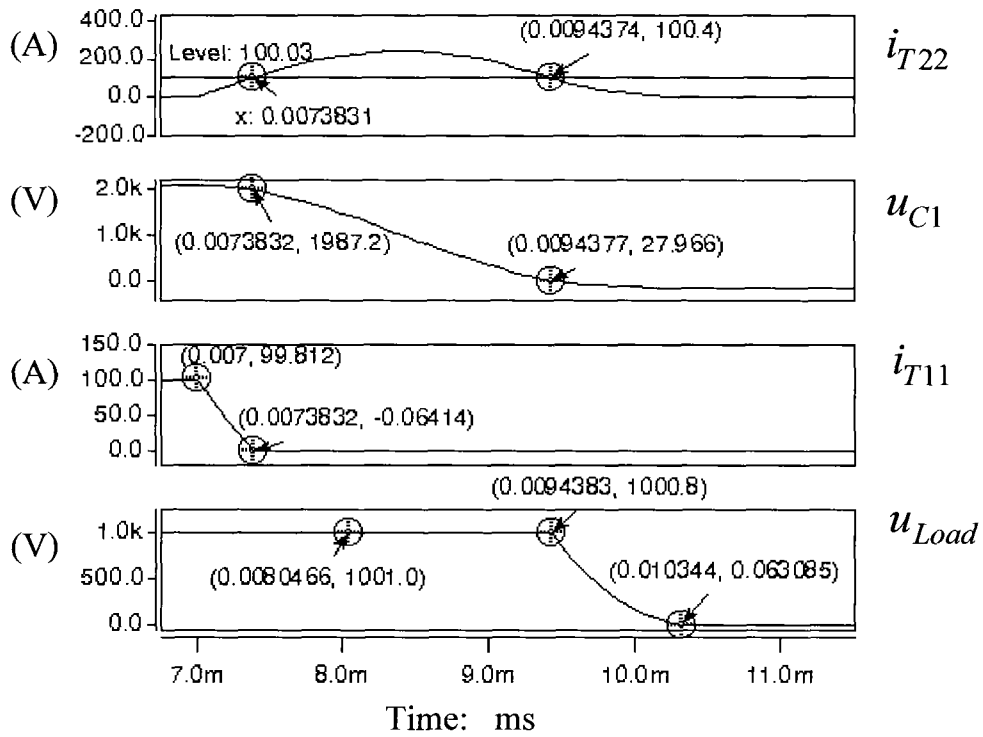


图 8

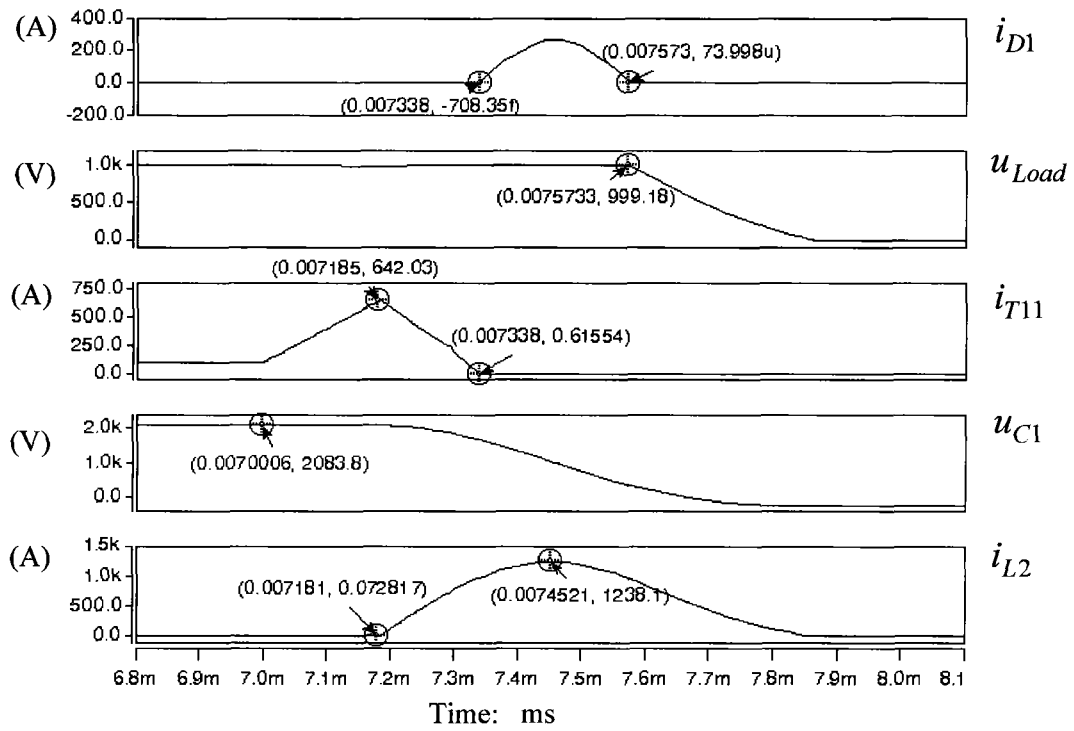


图 9