

1. 预充电电容的光伏直流断路器抑弧拓扑,其特征在于,整个拓扑包含触头 P_1 - P_4 、电压检测电路、驱动控制电路、缓冲执行电路;

电压检测电路、驱动控制电路、缓冲执行电路的具体组成和连接关系如下:

(1) 电压检测电路由限流电阻 R_1 、光电耦合器 T_1 、KM常闭触点以及电阻 R_6 、光电耦合器 T_2 组成,用来检测并判断开断过程中断路器 P_1 - P_2 和 P_3 - P_4 两对触头电压,控制抑弧电路工作;

P_1 触头连接 R_1 , R_1 通过 T_1 控制端连接KM常闭触点,KM常闭触点连接 P_2 触头; P_4 触头连接 R_6 , R_6 通过 T_2 控制端连接 P_3 触头;

(2) 驱动控制电路包括直流电源 V_{cc1} 和 V_{cc2} 、光电耦合器 T_1 和 T_2 、按钮SB、电磁继电器KM、限流电阻 R_2 、 R_3 、 R_5 和 R_7 以及驱动电容 C_1 和 C_2 ;

KM常开触点并联在 T_1 受控端两端, V_{cc1} 连接 T_1 受控端, T_1 受控端连接按钮SB一端,SB另一端连接两条支路,一条连接KM线圈并接地 GND_1 ,另一条支路通过电压检测电路中KM常闭触点连接 R_2 和 R_3 的公共端, R_2 和 R_3 各自的另一端与 C_1 连接, R_3 和 C_1 的公共端连接缓冲执行电路中IGBT管 T_4 的源极, R_2 和 C_1 的公共端连接 T_4 的门极,以上描述实现 P_1 - P_2 触头上驱动控制部分的连接;

V_{cc2} 连接 T_2 受控端, T_2 受控端连接 R_5 和 R_7 的公共端, R_5 和 R_7 各自的另一端与 C_2 连接, R_7 和 C_2 的公共端连接缓冲执行电路中IGBT管 T_5 的源极, R_5 和 C_2 的公共端连接 T_5 的门极, T_5 的漏极连接 T_2 中二极管阳极,以上描述实现 P_3 - P_4 触头上驱动控制部分的连接;

驱动控制电路通过光电耦合器 T_1 和 T_2 受控端支路钳制 P_1 - P_2 和 P_3 - P_4 触头电压为零,驱动电容 C_1 和 C_2 获得电压以驱动缓冲执行电路中 T_4 和 T_5 导通,为抑弧电路放电回路提供通道;

(3) 缓冲执行电路包括预充电电容 C_3 、充电限流电阻 R_4 、续流二极管 T_3 和带反并联二极管的IGBT管 T_4 和 T_5 ;

C_3 一端连接 T_4 漏极, C_3 另一端连接 R_4 的一端和 T_3 的阴极, R_4 另一端和 T_3 的阳极接成公共端并接地 GND_2 ;

缓冲执行电路通过电容电压的不可突变性使断路器分断到极限距离时保证断路器触头电压低于燃弧电压,实现断路器快速灭弧。

2. 根据权利要求1所述的预充电电容的光伏直流断路器抑弧拓扑,电压检测电路特征在于该电路有三个工作状态:

(1) 断路器闭合时,触头两端电压接近于零,与电阻 R_1 串联的光电耦合器 T_1 控制端和与电阻 R_6 串联的光电耦合器 T_2 控制端由于没有足够的电压不导通;

(2) 断路器断开,在断路器触头开始分离到进入金属相燃弧阶段,触头间电压高于完全通态电压但仍较低,光电耦合器 T_1 和 T_2 控制端仍不导通;

(3) 断路器继续断开,断路器分离距离达到对应金属相燃弧电压,光电耦合器 T_1 和 T_2 控制端电流达到其导通电流, T_1 和 T_2 受控端导通;控制回路电源 V_{cc1} 、 V_{cc2} 给电容 C_1 、 C_2 充电,继电器KM得电,并通过常开触点完成自锁,继电器动作时间为10-20ms。

3. 根据权利要求1所述的预充电电容的光伏直流断路器抑弧拓扑,驱动控制电路特征在于:

(1) 电容 C_1 、 C_2 充电至导通电压,与 C_1 、 C_2 相连接的IGBT管 T_4 、 T_5 开始导通,预充电电容 C_3 给负载 R_d 放电, P_2 、 P_3 端电压上升至电源电压 E , P_1 和 P_2 之间电压和 P_3 、 P_4 之间电压在此时均为零,之后机械断路器触头由零电压继续分断;光电耦合器 T_1 、 T_2 在此时关断,光电耦合器受控

端也随即关断,电容 C_1 和 C_2 分别对 R_3 和 R_7 放电,作为驱动电压维持 T_4 、 T_5 导通;

(2) 断路器分断完成,由于开距足够电弧不重燃,当经过继电器KM的动作时间后,继电器KM常开触点闭合,常闭触点断开,驱动电容 C_1 、 C_2 通过电阻 R_3 、 R_7 放电,当 C_1 、 C_2 放电至电压为0时,与 C_1 、 C_2 相连接的IGBT管 T_4 、 T_5 零电压关断;

(3) 当需要断路器恢复闭合状态时,按下按钮SB,使继电器KM自锁断开,为抑弧拓扑的下次工作做准备。

4. 根据权利要求1或2所述的预充电电容的光伏直流断路器抑弧拓扑,缓冲执行电路特征在于:

充电过程中,即断路器闭合时主回路电源E通过两个IGBT反并联二极管向串联的电容 C_3 充电至电源电压E;

放电过程中,预充电电容 C_3 经续流二极管 T_3 、IGBT管 T_4 和 T_5 向负载 R_d 放电。

基于预充电电容器的光伏直流断路器抑弧拓扑

技术领域：

[0001] 本发明涉及光伏直流断路器抑弧的技术领域，是一种电容缓冲式光伏直流断路器抑弧拓扑。

背景技术：

[0002] 光伏直流汇流箱中直流断路器的可靠性对光伏系统的安全性有重要影响。因直流电弧不存在过零点而较难熄灭，电弧烧蚀触头使断路器的使用寿命缩短，甚至引发火灾事故使系统可靠性降低。

[0003] 高压直流断路器主要分为机械式直流断路器、固态直流断路器和混合式直流断路器。混合式直流断路器综合了机械开关耐压高和电力电子器件断流能力强动作迅速的优点，CN111146760A公开了一种混合式直流断路器包括通流支路、电子开关支路和吸能支路，需要多器件串并联，存在均压均流问题和驱动控制电路复杂的缺陷，另外需配合缓冲吸收电路保护电力电子器件。此外，采用“人工过零点法”设计的方案大多从电弧能量转移角度考虑，将故障电流转移到其他支路，目前从电弧燃弧条件方面考虑设计断路器结构的策略较少。如文献[1]提出了电容换流型直流断路器，主支路采用直流电容与二极管阀组串联的结构，辅助支路由IGBT与晶闸管阀组串联组成，提高了开断能力，降低了成本，但仍是将燃弧能量转移到缓冲电容上。

[0004] [1]赵文婷,袁召,方帅,等.一种新型电容缓冲式混合高压直流断路器的设计与仿真[J].高压电器,2015,51(11):41-46.

发明内容：

[0005] 本发明所要解决的技术问题是：降低触头分断电压，有效抑制燃弧时间和燃弧能量。

[0006] 本发明采用的技术方案是：一种基于预充电电容的光伏直流断路器抑弧拓扑，并联在以两断点形式接入光伏直流汇流箱中光伏直流断路器触头两端，辅助断路器完成分断电路工作。该拓扑由上下两个两外接端子抑弧拓扑构成，通过P1-P4并联在光伏直流断路器触头两端，其中P1-P2端子并联于S1触头，P3-P4端子并联于S2触头；整个拓扑包含触头的电压检测电路、电容C3充放电的驱动控制电路，公共的缓冲执行电路，上下两个抑弧拓扑通过缓冲执行电路连接。电压检测电路和驱动控制电路通过光电耦合器相连接，驱动控制电路和缓冲执行电路通过IGBT管的栅极和源极相连接。

[0007] 以触头S1上抑弧拓扑为例简述各部分组成：

[0008] (1) 电压检测电路通过限流电阻R1串联光电耦合器T1的控制端，并联于触头S1两端，用来检测并判断开断过程中断路器触头两端电压，达到金属相燃弧电压(15-20V)后导通光电耦合器受控端，从而控制抑弧电路工作。

[0009] (2) 驱动控制电路中直流电源Vcc1串联电磁继电器KM后分两条支路，电容C1，一条为限流电阻R2与驱动电容C1的串联支路，另一条支路为限流电阻R3，电源负极连接至P2；该

电路通过光电耦合器T1受控端支路钳制触头S1两端电压为零,驱动电容C1获得电压以驱动缓冲执行电路中IGBT管T4开通,为抑弧电路放电回路提供通道。

[0010] (3)缓冲执行电路由电容C3,充电限流电阻R4,续流二极管T3(T3并联在R4上)和IGBT管T4组成,各元件串联连接,其中预充电电容C3、限流电阻R4和二极管T3为S1和S2触头抑弧拓扑公用元件。该电路是通过电容电压的不可突变性使断路器在分断到极限距离时,断路器两端电压低于燃弧电压,实现断路器快速灭弧。

[0011] 该抑弧拓扑的工作原理为:

[0012] 当主回路正常工作即断路器闭合时,触头两端电压接近于零,光电耦合器T1和T2由于没有足够的电压不导通,VCC1、VCC2电源被光电耦合器受控端阻断,故而驱动电容C1和C2两端无电压,IGBT管不导通。主回路电源通过两个IGBT反并联二极管向电容C3充电至电源电压。

[0013] 当主回路需要断开时,断路器电动操作机构开始动作,断路器触头开始分离。

[0014] 分离过程可分为三个阶段:

[0015] 第一阶段:开始分离到进入金属相燃弧阶段。

[0016] 触头间电压虽然高于完全通态电压但仍较低,光电耦合器T1和T2仍不导通。

[0017] 第二阶段:开始燃弧到IGBT导通阶段。

[0018] 断路器断开,断路器分离距离达到对应金属相燃弧电压,光电耦合器导通条件是断路器开断过程中触头间电压达到15-20V,光电耦合器控制端电流达到光电耦合器的导通电流,光电耦合器导通。此时,控制回路电源VCC1、VCC2给电容C1、C2充电,继电器KM得电,并通过常开触点完成自锁。由于继电器的动作时间大约为10-20ms左右,因此在前10ms的时间里继电器触点没有完成动作,不必分析继电器的存在给电路带来的影响。

[0019] 第三阶段:IGBT导通到断路器完全断开电弧不重燃阶段。

[0020] 电容C1、C2充电至IGBT导通电压,预充电电容C3通过二极管T3,IGBT管T4和T5向负载Rd放电,使P2、P3端电压上升至电源电压。由KVL定律可得,P1和P2之间电压和P3、P4之间电压在此时降至零,之后机械断路器触头由零电压继续分断。此时光电耦合器及受控端回路虽关断,但是由于电容C1和C2分别对R3和R7放电,作为驱动电压维持IGBT导通,保证了电容C3向负载供电,维持触头间电压低于燃弧电压。

[0021] 断路器断口电压从零开始上升,电压大小完全取决于电容C3对负载放电的快慢。在短时间内,机械触头依然在进行分断动作,当断路器分断到正常断开时的分断距离时,电路完成分断操作。由于触头开距足够大,电弧不会发生重燃。

[0022] 当经过继电器KM的动作时间(约10-20ms)后,继电器KM常开触点闭合,常闭触点断开,驱动电容C1、C2通过电阻R3、R7放电,当放电至电压为0时,IGBT管零电压关断。当需要断路器恢复闭合状态时,按下按钮SB,使继电器KM自锁断开,为抑弧拓扑的下次工作做准备。

[0023] 有益效果:

[0024] 本发明的有益效果是:本方案与现有的抑弧方案相比有以下进步性:

[0025] 从破坏燃弧条件方面考虑设计,本方案基于不起弧原理,降低电弧两端电压,使电弧电压为零或者低于燃弧电压。限制电弧继续从主回路中获得能量,使电弧自行熄灭。

[0026] 与机械式直流断路器抑弧方案相比,其优点为燃弧时间短,采用主回路电源为电容预充电,体积小,结构简单。

[0027] 与全固态式断路器抑弧方案相比,其优点为:通态时由于是由机械式断路器承担电路电流,所以通态损耗比全固态直流断路器小;

[0028] 与混合式断路器抑弧方案相比:本方案开通时只利用驱动电阻在其门极和发射极之间施加导通电压使其导通。在关断时利用IGBT的零电压压关断特性使其在驱动电容放电结束时可以自行关断。其优点是:(1)省去了混合式断路器抑弧方案复杂的控制策略和驱动控制电路,加强了电路的可靠性。(2)基于抑制电弧从电路中获取能量的角度来设计抑弧电路,不需要额外并联缓冲吸能支路对电力电子器件进行保护。

[0029] 本方案降低了光伏断路器的分断燃弧时间,有利于提高光伏断路器寿命,具有较好经济技术特性。

附图说明

[0030] 图1是预充电电容直流断路器抑弧方案设计拓扑

[0031] 图2是电路动作时序和电压波形

[0032] 图3是光电耦合器导通阶段电流示意图

[0033] 图4是预充电电容放电阶段电流示意图

[0034] 图5是试验电路图

[0035] 图6是实施例试验结果图

具体实施方式:

[0036] 将预充电电容直流断路器抑弧装置并联在断路器两端,提供控制回路电源VCC1、VCC2,根据实际需要设计各元件参数值。

[0037] 本发明的实施例如下:

[0038] 直流电源采用300V Chroma可调光伏模拟直流电源;采用三个2000W/100 Ω 梯形铝壳电阻并联成33.3 Ω 作为主回路负载Rd;所研究的光伏直流断路器为带有按钮控制的电动操作机构;示波器型号为泰克Dpo5000;抑弧方案电路板的控制回路采用24V开关电源供电。抑弧方案电路板共有4个外接端子,其中P1和P2,P3和P4端子分别并联在直流断路器两端。示波器四路探头分别采集断路器断口1两端电压波形、断口2两端电压波形、电弧电流波形、驱动电容C1两端电压波形。电弧电流波形采用1 Ω 采样电阻进行采集。选择主要硬件参数如表1所示:

[0039] 表1抑弧电路器件选型参数

名称	型号	封装
T1	Pc817C	DIP-4
T2	IKW40T120	TO-247
T3	MUR1540G	TO-220
[0040] R2R5	100 Ω 金属膜电阻	圆柱直插
R3R7	10k Ω 金属膜电阻	圆柱直插
R4	1k Ω 金属膜电阻	圆柱直插
C1C2	220nF 直插电解电容	圆柱直插
C3	100uF 直插电解电容	圆柱直插

[0041] 图6是实施例的试验结果图。图6电路正常导通时，断路器断口两端电压为零，光电耦合器不导通，驱动电压也为零。断路器机械触头约在时间为0.3755s之后分断，分断后电弧电压迅速上升到金属相电弧燃弧平台。之后负载端电压随着电弧分压开始下降，同时驱动电压由于光电耦合器的导通也开始上升，电容C1和C2开始充电，约45 μ s之后，驱动电阻两端电压上升到导通电压约7V，迅速导通，主电容C3开始对主回路负载放电，断路器断口两端电压迅速下降至很低的值附近，约4V，电弧电流也迅速下降。之后主电容一直对主回路负载电阻放电，直至继电器触点动作后，驱动电容C1和C2放电至0时，IGBT管零压关断。在此期间，断路器的触头达到最大开距后完成电路的分断。

[0042] 电弧电压波形在导通之后并没有下降到零而是下降到一定值附近，原因是和二极管T3都有一定的导通压降。电流波形中在下降过程中出现了负电流，是由于电路中存在不可避免的杂散电感。从电弧功率P等于电弧电压U和电弧电流I的乘积来看，当电弧电流降为0的时刻，燃弧功率为0，已经实现灭弧。实验结果表明该抑弧拓扑在电弧电压第二平台之前就能灭弧，燃弧时间从5~8ms左右缩短为100 μ s。

[0043] 总体来看，试验结果与理论分析基本一致，在一定场合中该方案可以实现降低分断燃弧时间，有利于提高光伏断路器寿命，具有较好经济技术特性。

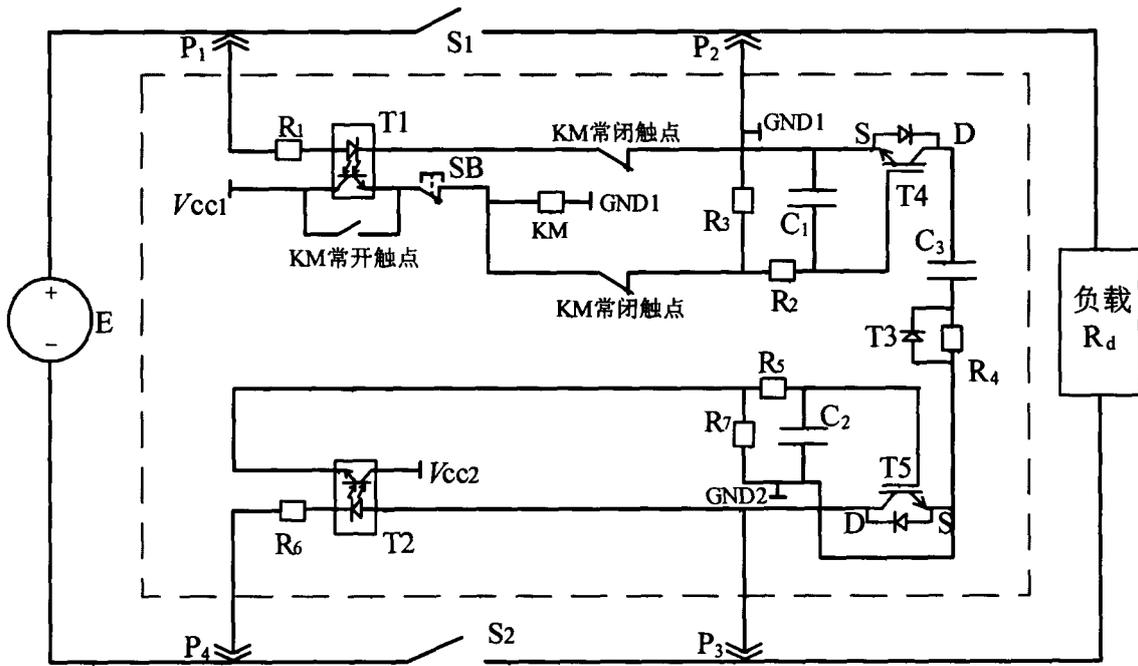


图1

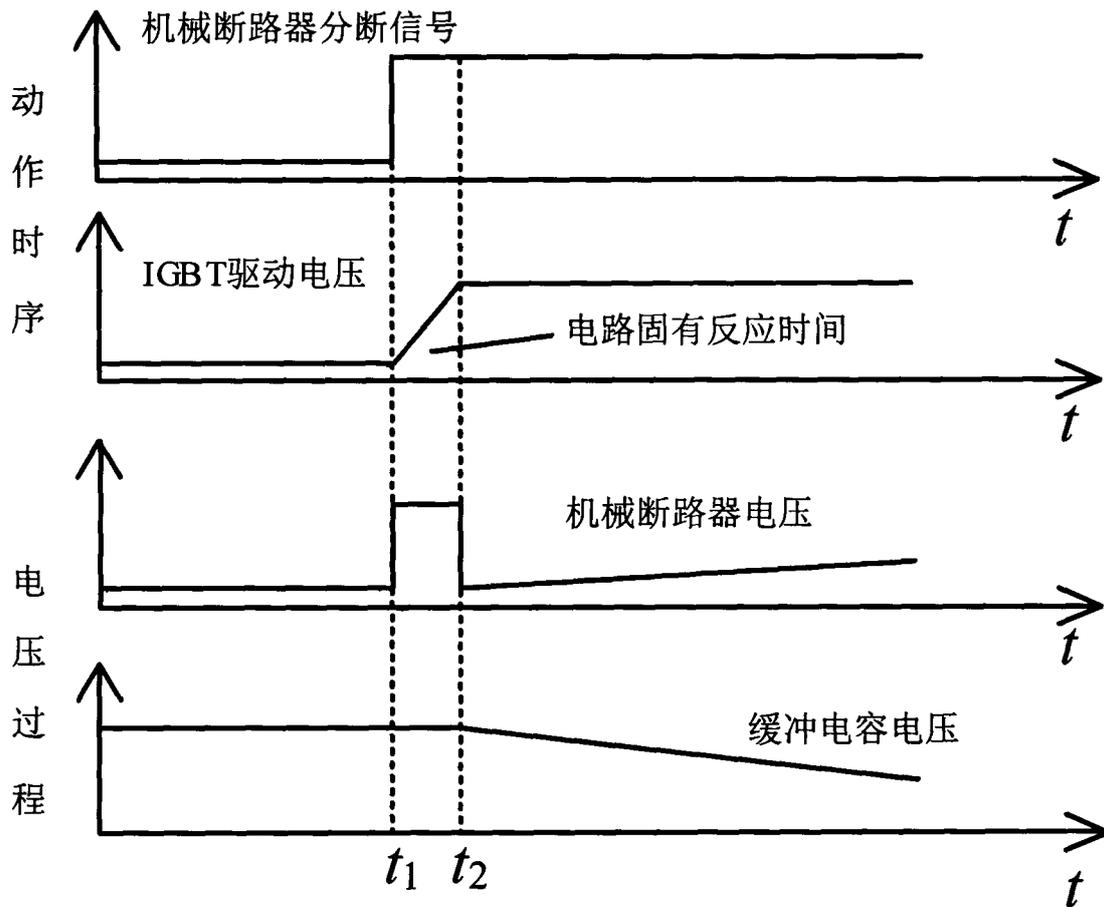


图2

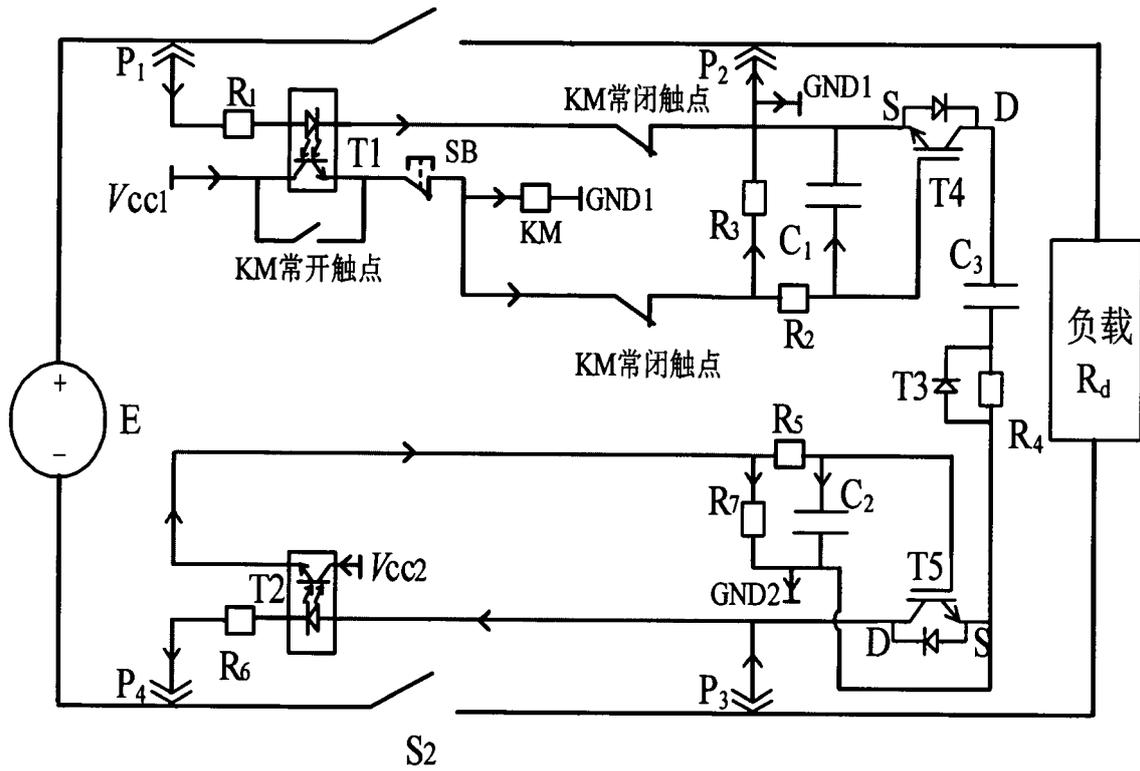


图3

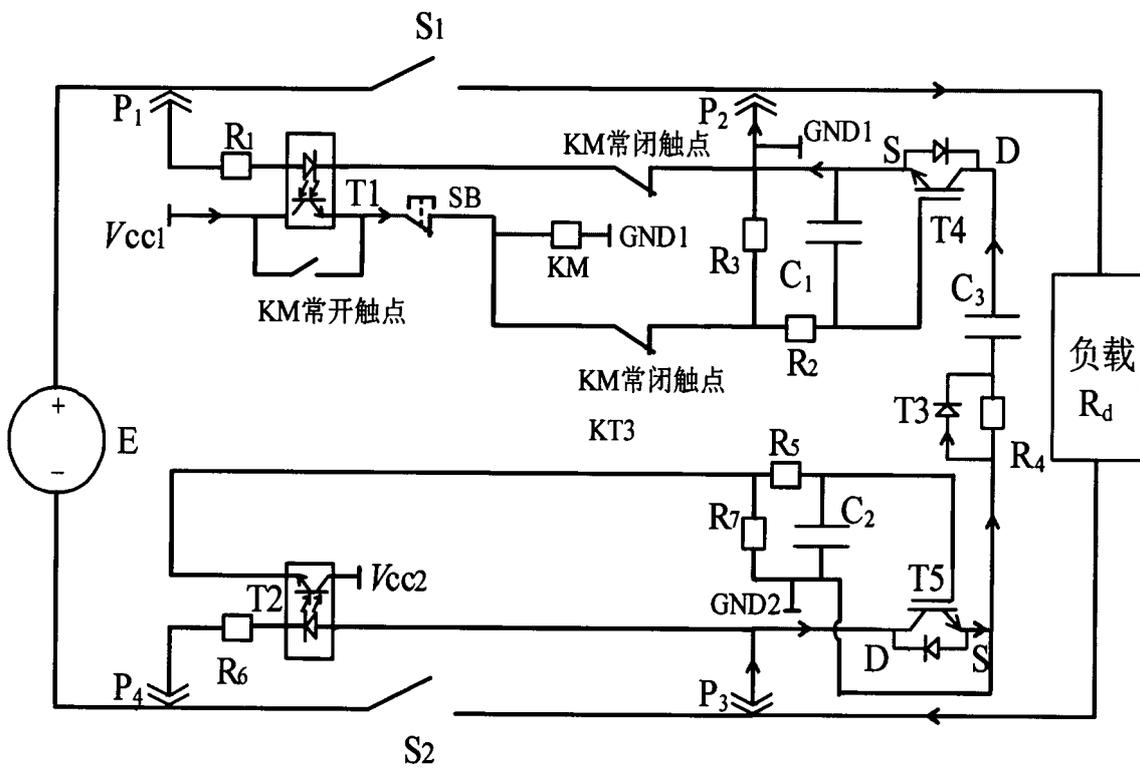


图4

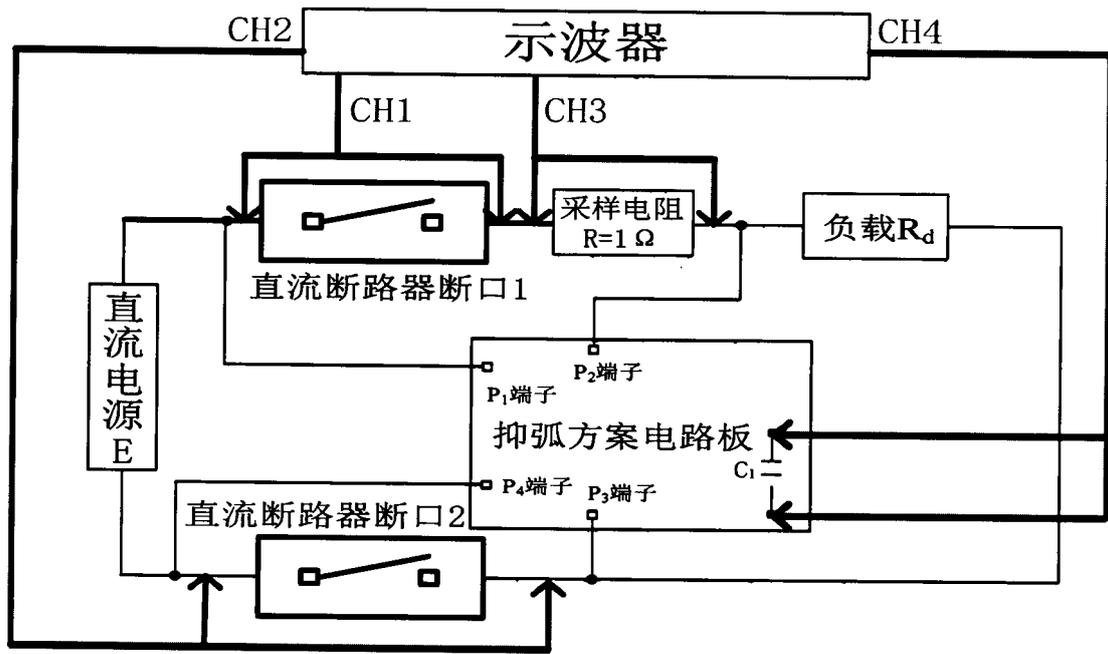


图5

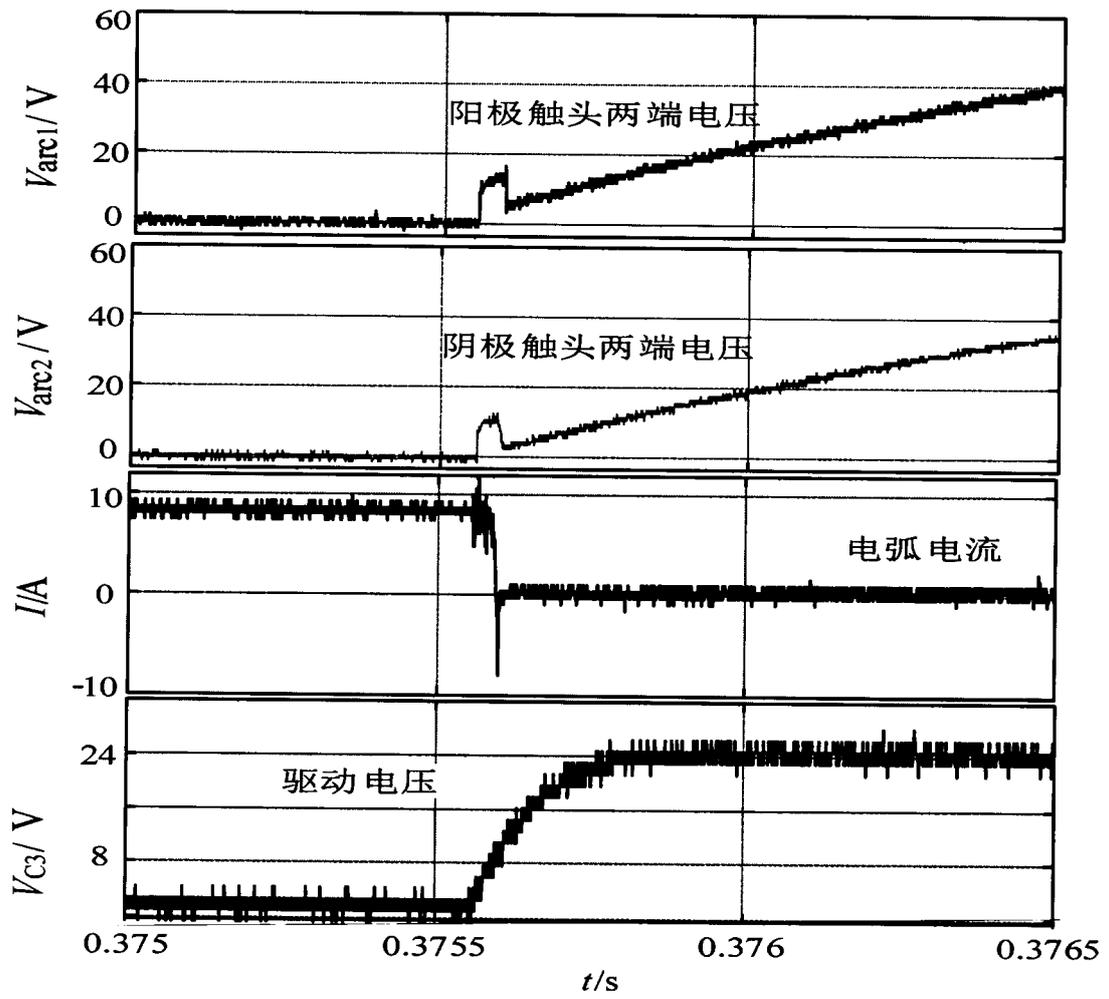


图6