(19)国家知识产权局

(12)实用新型专利

(10)授权公告号 CN 218445802 U
(45)授权公告日 2023.02.03

(21)申请号 202222041724.3

(22)申请日 2022.08.03

(73)专利权人 青岛海宜丰电力电子有限公司
地址 266001 山东省青岛市四方区南昌支路1号

(72)发明人 于波 于丽丽

(74)专利代理机构 北京维正专利代理有限公司 11508
专利代理师 张桂钦

(51)Int.Cl.
G01R 31/26(2014.01)

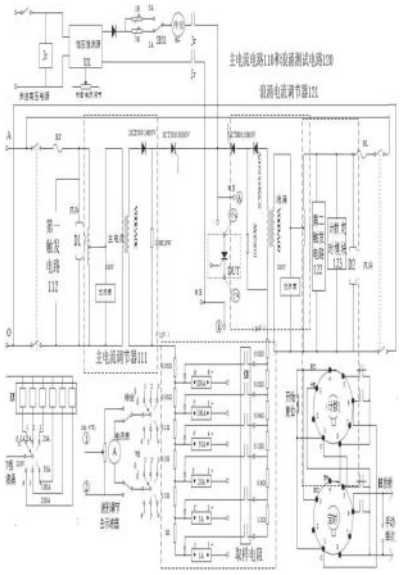
权利要求书2页 说明书5页 附图7页

(54)实用新型名称

用于功率半导体器件的浪涌测试电路及测试系统

(57)摘要

本实用新型涉及一种用于功率半导体器件的浪涌测试电路及测试系统，浪涌测试电路，用于浪涌整流输入，对被测器件在半波导通阶段进行浪涌测试；浪涌测试电路包括浪涌电流调节器、脉冲计数定时模块及第二风冷模块D2；浪涌电流调节器，用于调节浪涌电流的大小；本实用新型设计合理、结构紧凑且使用方便。



CN 218445802 U

1.一种用于功率半导体器件的浪涌测试电路,其特征在于:用于功率半导体器件的测试系统中对被测器件在半波导通阶段进行浪涌测试;

浪涌测试电路(120)包括浪涌电流调节器(121)、脉冲计数定时模块(123)及第二风冷模块D2;浪涌电流调节器(121),用于调节浪涌电流的大小。

2.根据权利要求1所述的用于功率半导体器件的浪涌测试电路,其特征在于:脉冲计数定时模块(123)包括定时模块和/或计数模块,用于定时和/或浪涌次数计数;在脉冲计数定时模块(123)中,计数模块,用于设定浪涌测试的次数,定时模块,用于设定浪涌脉冲的间隔时间。

3.根据权利要求2所述的用于功率半导体器件的浪涌测试电路,其特征在于:浪涌电流调节器(121)包括浪涌变压器TC12及调节浪涌大小的浪涌调节器T20,在浪涌变压器TC12输入端接浪涌调压器T20;

在浪涌测试电路(120)中还包含分别与浪涌变压器TC12电连接的第二触发电路(122)、脉冲计数定时模块(123)及第二风冷模块D2;

浪涌变压器TC12的次级线圈输出端通过串联的整流二极管D12及由第二触发电路(122)控制启闭的浪涌可控硅Q12后,接入输出节点A;浪涌可控硅Q12接收与浪涌相位相同且作为的浪涌的开关信号的浪涌触发脉冲,浪涌触发脉冲是由单片机产生,浪涌触发脉冲触发浪涌可控硅Q12导通产生浪涌;浪涌的大小由浪涌电流调节器(121)来控制。

4.根据权利要求3所述的用于功率半导体器件的浪涌测试电路,其特征在于:市电通过电源开关保险丝到浪涌电流调节器(121),经过降压的浪涌变压器TC12隔离后次级输出浪涌电流;浪涌电流经浪涌二极管D12和单向的浪涌可控硅Q12,将浪涌电流进行半波整流,经被测器件及负载电阻产生浪涌电流;负载电阻包括电连接的第一电阻R21、第二电阻R22、第三电阻R23、第四电阻R24、第五电阻R25和/或第六电阻R26;

浪涌电流通过由波段开关转换控制的负载电阻对应的继电器,将浪涌电流分成1A、5A、20A、50A、100A、200A,6个电流档位,以适应不同额定电流器件的测试。

5.根据权利要求4所述的用于功率半导体器件的浪涌测试电路,其特征在于:第一电阻R21、第二电阻R22、第三电阻R23、第四电阻R24、第五电阻R25和/或第六电阻R26包括作为电阻的盘管(20),在盘管(20)中循环有去离子水,对其散热;在盘管(20)两端设置有接头(21),用于外接水路。

6.根据权利要求5所述的用于功率半导体器件的浪涌测试电路,其特征在于:盘管(20)配套有第一电连接端(29)及可调的第二电连接端(28),用于外接电路,通过调节第二电连接端(28)在盘管(20)上位置,调节负载电阻的阻值,使通过被测器件的电流波形的导通角大于170度。

7.根据权利要求4所述的用于功率半导体器件的浪涌测试电路,其特征在于:第一电阻R21一端接浪涌变压器TC12的次级线圈回路端,另一端分两路,一路通过浪涌开关的浪涌继电器KM控制的常开执行开关接200A主电流换挡开关,以便进行200A的浪涌同步测试,一路接第二电阻R22的一端;第二电阻R22、第三电阻R23、第四电阻R24、第五电阻R25、第六电阻R26逐级连接,分别通过浪涌继电器KM控制对应的常开执行开关接100A、50A、20A、5A、1A的主电流换挡开关,主电流换挡开关通过K端,接入被测器件,从而实现浪涌测试。

8.根据权利要求7所述的用于功率半导体器件的浪涌测试电路,其特征在于:浪涌开关

包括6档的浪涌开关旋钮，分别对应通路档位200A、100A、50A、20A、5A、1A。

9.根据权利要求8所述的用于功率半导体器件的浪涌测试电路，其特征在于：浪涌测试电路配套有功能转换与波形显示模块，浪涌信号从浪涌开关的各档分流器两端取得，经波段转换开关到电位器，由电位器调节后，送到功能转换及电子开关，经电子开关转换到示波器显示浪涌波形。

10.一种功率半导体器件的测试系统，其特征在于：借助于权利要求1所述的浪涌测试电路。

用于功率半导体器件的浪涌测试电路及测试系统

技术领域

[0001] 本实用新型涉及功率器件测试技术领域，尤其是涉及功率半导体器件的测试系统和测试方法，特别是用于功率半导体器件的浪涌测试电路及测试系统。

背景技术

[0002] 由于在电力系统中，电力电子器件需要承受峰值更高、持续时间更长的浪涌电流，因此需要对其进行浪涌电流检测。现有测试设备负载电阻无法实现低电阻、高电流、低热量性能。测试电压范围窄，不能进行有效的浪涌测试且效率低，测试结果不能直观观察、各测试模块之间无法达到独立运行的效果等问题。

[0003] 因此，需要一种功率半导体器件的浪涌测试系统，能够更合理对器件同时进行浪涌测试，提高功率半导体器件测试的准确性和效率。

发明内容

[0004] 现有测试台只能进行单项测试，无法综合反映器件工作状态，从而无法得到被测器件的实际工作参数，无法更为科学的判断器件是否合格；本实用新型巧妙地实现了接入电网后，通过二极管单向半波整流，实现了正常通电情况下的测试，可以实现器件真实工况的再现。

[0005] 为了提高测试的精准度，减少阻抗干扰，通过循环水将产生的热量快速带走，增加散热效果，省略风扇，降噪，提高使用寿命，通过管卡固定电阻，实现负载阻值可调，本实用新型对负载电阻进行了创新，以满足上述测试要求。

[0006] 本实用新型系统一种用于功率半导体器件的浪涌测试电路，对被测器件在半波导通阶段进行浪涌测试；浪涌测试电路包括浪涌电流调节器、脉冲计数定时模块及第二风冷模块D2；浪涌电流调节器，用于调节浪涌电流的大小。

[0007] 作为上述技术方案的进一步改进：

[0008] 可选地，脉冲计数定时模块包括定时模块和/或计数模块，用于定时和 /或浪涌次数计数；在脉冲计数定时模块中，计数模块，用于设定浪涌测试的次数，定时模块，用于设定浪涌脉冲的间隔时间。

[0009] 可选地，当对被测器件进行浪涌测试时，控制模块可以控制电路对被测器件分别或同时施加主电流、浪涌电流和高压，以便基于预先设置的浪涌脉冲次数和浪涌脉冲时间间隔对被测器件进行浪涌测试；

[0010] 可选地，浪涌测试电路包括浪涌电流调节器、计数模块和定时模块，浪涌电流调节器适于将浪涌电流调节为主电流的预定倍数，计数模块适于设置浪涌测试过程中浪涌脉冲触发的次数，定时模块适于设置浪涌脉冲之间的时间间隔。

[0011] 可选地，浪涌测试电路中包括第二风冷模块，第一风冷模块或第二风冷模块适于对大功率整流二极管D11、D12及可控硅Q11、Q12进行通风散热。

[0012] 在本实用新型方法中，首先，将被测器件的阳极和阴极分别连接在主电流电路的

正接线端和负接线端，调节主电流的大小使被测器件导通，测量得到被测器件的正向峰值电压或平均压降；在接通浪涌测试电路，通过浪涌电流调节器将浪涌电流的大小调整为主电流的预定倍数，接通高压电源，将极性切换模块的极性切换为标准要求的极性，基于预先设置的浪涌脉冲数量和浪涌脉冲时间间隔对被测器件进行浪涌测试。

[0013] 本实用新型能够利用被测器件半波导通阶段对被测器件进行浪涌测试，提高了器件测试的效率；可根据被测器件的额定参数值调节各测试电路输出电压或电流大小，能够适应半导体器件各个特性，能够提高器件测试的准确性。

[0014] a、全动态浪涌，同时加上主电流和反(正)向电压，利用定时器和计数器来确定浪涌间隔时间和浪涌次数，达到规定的次数时自动停止。虽然浪涌瞬间消失，但在示波器上可以观察主电流上的浪涌波形，浪涌和主电流的的比例关系一目了然。模拟器件在实际工作电路中的正常工作状态；

[0015] b、水冷电阻，本设备功率大，浪涌电流可以达到3000A，主电流200A。回路的电阻，连接接触电阻，变压器内阻等难以计算，同时大电流通过负载电阻时发热量大，本实用新型利用不锈钢管做负载电阻有如下五个特点：一是通过接线卡使其电阻大小可调，二是利用去离子循环水将其热量带走，三是循环水用冷却机组循环冷却，四是比采用风冷方式，所用散热器面积要小很多而且减少了热风对测试设备影响以及电阻发热对设备影响，五是省略风机，实现降噪；

[0016] c，浪涌波形，现有技术是利用LC储能式来模拟产生浪涌波形，这种波形不是标准的正弦半波，大部分都不加主电流，只加反向电压，只能称半动态浪涌，存在衰减，本实用新型是全动态浪涌，完全模拟在电路中的实际工作状态，其浪涌波形、主电流波形和供电电网的正弦半波波形完全一致，真正模拟器件在电网中的工作模式。

附图说明

[0017] 图1为优选的功率半导体器件的测试系统100的示意图。

[0018] 图2为优选的控制模块150的电路示意图。

[0019] 图3为图2电路优化后的部分示意图。

[0020] 图4为图2电路优化后的部分示意图。

[0021] 图5为优选的主电流电路110的部分示意图。

[0022] 图6为主电流调节器的电路示意图。

[0023] 图7为第二触发电路示意图。

[0024] 图8为优选的浪涌电流波形示意图。

[0025] 图9为优选的液冷电阻实物简化结构示意图。

具体实施方式

[0026] 如图1-9，各种电力电子器件均具有导通和阻断两种工作状态，包括功率半导体器件。功率半导体器件工作时，会因功率损耗而发热、升温，器件温度过高会缩短其使用寿命。作为专利布局，本实用新型主要介绍了浪涌部分，并顺带介绍了其他优选部分。

[0027] 图1所示实施例，该系统100包括主电流电路110、浪涌测试电路120、高压电路130、热敏测试电路140和控制模块150，能够在被测器件半波导通阶段同时进行全动态浪涌测

试、全动态测试。

[0028] 总体上说，主电流电路110可以为被测器件提供半波导通电流，控制模块150包括若干电子开关电路。保证电子开关电路在正半波时，对应的控制浪涌测试电路120输出浪涌电流；负半波时，高压电路130输出高压，以便使浪涌测试电路120输出的浪涌脉冲在被测器件的正弦半波同步阶段触发。控制模块150，可以是可控硅、继电器和/或其组合等，可以根据被测器件的额定值调整各电路的输出电压或电流。

[0029] 控制模块150还电连接有PLC、MCU等处理器，以便进行数据处理。

[0030] 在主电流测试时，市电通过电源开关险丝BZ到大功率的主电流调压器 T10，再经过大功率降压的主电流变压器TC11隔离，主电流变压器TC11的次级输出低电压大电流电源，再经大功率的主电流二极管D11及大功率单向主电流可控硅Q11，将大功率降压变压器输出进行半波整流，经被测器件及限流电阻R11-R16产生主电流。

[0031] 主电流电路110包括主电流调节器111、第一触发电路112、第一风冷模块D1，主电流调节器111能够根据被测器件的额定值，调节主电路输出主电流的大小，调节范围在1A-200A。第一风冷模块D1用于对大功率二极管和可控硅散热器进行散热。

[0032] 主电流调节器111后接有主电流隔离变压器TC11，输出为30V/300A，在主电流变压器TC11次级线圈上接有交流电压表Y11，以显示输入电参数，便于操作，判断主电流调压器T10的位置。

[0033] 主电流电路110还包括接在主电流回路上的波段开关，波段开关包括多个可调的负载电阻R111，通过串接阻值依次增大的负载电阻，实现电流的逐级对应减少输出，优选六个，主电流限流电阻R111包括第一电阻R11、第二电阻R12、第三电阻R13、第四电阻R14、第五电阻R15、第六电阻 R16；对应接200A、100A、50A、20A、5A、1A的主电流换挡开关，主电流通过A、K端，接入被测器件；

[0034] 波段开关配有6个电流档位，分别对应各不同电流档位的分流器，通过主电流表来显示主电流的大小。其中，电阻R11-14可以是液冷电阻，液冷电阻包括盘管20，在盘管20中循环有绝缘冷却介质；在盘管20两端设置有接头，用于外接水路，盘管20配套有第一电连接端29及可调的第二电连接端28，用于外接电路，通过调节第二电连接端28在盘管20上位置，调节液冷电阻的阻值，被测器件的电流波形的导通角大于170度。

[0035] 盘管可以是螺旋、蛇道或其他迂回结构，材质可以为铝、铜等材料，优选为304不锈钢。绝缘冷却介质可以是油液、气流、乙醇等，但是优先为纯水或去离子水，盘管的水路外接有制冷机与水泵，从而实现水流的循环以及与温控，采用纯水或去离子水为媒介，避免结垢与耐腐蚀。螺旋管可以产生电磁效应，实现对水的磁化，减少结垢。

[0036] 作为本实用新型布局的发明点，本实用新型保护的主要是浪涌测试原理。

[0037] 浪涌可靠性是器件可靠性指标的一种，是指器件可承受浪涌电流的能力，浪涌电流是指电源接通瞬间或在电路出现异常情况下产生的远大于稳态电流的峰值电流或过载电流(尖脉冲干扰)。器件可能在浪涌的一瞬间烧坏，发生PN结击穿，因此浪涌测试的目的就是测试功率半导体能承受的最大浪涌电流，以及在浪涌电流下显现出的特性变化。

[0038] 在浪涌电流测试时，市电通过电源开关险丝BL到大功率的浪涌调压器 T20，再经过大功率降压的浪涌变压器TC12隔离，浪涌变压器TC12的次级输出低电压大电流电源，再经大功率的浪涌二极管D12及大功率单向的浪涌可控硅Q12，将大功率降压变压器输出进行

半波整流，经被测器件及负载电阻R21-R26产生浪涌电流。

[0039] 浪涌电流电路120包括浪涌调节器121、第二触发电路122、第二风冷模块D2，浪涌调节器121能够根据被测器件的额定值，调节主电路输出浪涌电流的大小。第二风冷模块D2用于对大功率二极管和可控硅散热器进行散热。

[0040] 浪涌电流调节器121后接有浪涌电流隔离变压器TC12，输出为 60V/600A，在浪涌电流变压器TC12次级线圈上接有交流电压表Y12，以显示输入电压参数，便于操作，判断浪涌调压器T20的位置。浪涌变压器TC12 的次级线圈输出端通过串联的浪涌二极管D12，2CZ800/1600V及由第二触发电路122控制启闭且作为浪涌的电子开关的浪涌可控硅Q12，3CT800/3000V后接入输出节点A。

[0041] 控制模块150利用降压变压器降压，通过比较器与比较电压比较，产生与电网正弦波同步的电子开关信号，将被测器件的主电流波形，浪涌波形，浪涌比较的波形通过电子开关和波段开关切换，将测量波形呈现在示波器上。

[0042] 电源经变压器TC51降压后，整流滤波由稳压器U541稳压得到一个5V 的稳压电源，5V电源给运算放大器U52、比较器U51和第一电子开关U54 供电。通过电阻R59、可调电位器R58分压得到一个偏置电压，又通过电阻R511和可调电位器R510分压取得Vf(热)、VTM的比较电压，这个比较电压的大小可以经可调电位器R510调节，变压器TC51次级抽头的电压由电阻R51、R52分压加到比较器U51的2脚，电阻R58及R59分压得到的偏置电压加到比较器U51的3脚，这样在比较器U51的1脚输出一个与变压器TC51次级交流同相位的矩形脉冲，其脉冲宽度可以通过电阻R58调节，这个脉冲经运算放大器U52跟随驱动加到第一电子开关U54的6脚，控制第一电子开关U54内部电子开关动作。

[0043] 当第一电子开关U54内部电子开关动作时，输出端脚1与脚8导通；其信号从脚1输出；第一电子开关U54的脚1接跟随器U56输入端，跟随器U56输出端通过波段开关SB52、SB53接示波器；节点a、K分别通过对应的继电器Jg4将被测器件两端的电压信号经跟随器U53跟随加到第一电子开关U54的2脚，1脚为第一电子开关U54的开关信号输出公共端；第一电子开关U54便将8脚和2脚的信号经第一电子开关转换，由1脚输出经第一电子开关U54跟随经波段开关SB52送到示波器，以显示被测两端的电压波形。

[0044] 浪涌电流电路120还包括接在浪涌电流回路上的波段开关，对应接 200A、100A、50A、20A、5A、1A的浪涌电流换挡开关。浪涌回路包括可调的负载电阻R122，通过串接阻值依次增大的负载电阻，实现电流的逐级对应减少输出，优选六个，用于限流的浪涌负载电阻R122包括第一电阻R21、第二电阻R22、第三电阻R23、第四电阻R24、第五电阻R25、第六电阻R26，浪涌电流通过A、K端，接入被测器件；

[0045] 5V电源经电阻R67、电位器R64分压，电位器R64调节可以取得一个浪涌的比较电压，这个比较电压主要是用来设定浪涌电流和主电流之间的倍数，使浪涌波形的高度与设定的比较电压持平。这个比较电压经U63 隔离跟随加到U59的8脚。

[0046] ①、②两个接点并在分流器两端，两端是1-200A各档的分流器上的主电流和浪涌电流信号，这个信号经跟随器U61隔离跟随加到电子开关U59 的2脚，1脚为公共开关信号输出端，这样电子开关便将8脚的比较电压信号和2脚的分流器上的电压信号经U62跟随缓冲经波段开关SB52、SB54 送到示波器，这样分流器上的主电流、浪涌电流信号和浪涌比较信号便显示在示波器上。

[0047] 浪涌的开关信号采用外接的单片机PLC，单片机PLC获取与电流相位相同的触发脉冲，触发可控硅导通产生浪涌。浪涌信号从各档分流器两端取得，经波段转换开关到电位器。由电位器调节，并送到功能转换及电子开关，经电子开关转换到示波器显示浪涌波形。

[0048] 脉冲计数定时模块123包括定时模块与计数模块，用于控制浪涌的次数和浪涌的时间间隔，其浪涌的次数由计数器根据需求设定，浪涌时间间隔由循环定时器根据需求设定，当实验达到设定的浪涌次数时，设备自动停止工作在示波器上可以观察浪涌波形。浪涌的电流相位和主电流相位为同相位，浪涌通过浪涌可控硅Q12、脉冲计数定时模块123进行控制。

[0049] 波段开关配有6个电流档位，分别对应各不同电流档位的分流器。其中，电阻R21-24可以是液冷电阻，液冷电阻包括盘管20，在盘管20中循环有绝缘冷却介质；盘管20配套有第一电连接端29及可调的外电连接端 30，以外接电路；使通过被测器件的电流波形的导通角大于170度。

[0050] 盘管可以是螺旋、蛇道或其他迂回结构，材质可以为铝、铜等材料，优选为304不锈钢。绝缘冷却介质可以是油液、气流、乙醇等，但是优先为纯水或去离子水，盘管的水路外接有制冷机与水泵，从而实现水流的循环以及与温控，采用纯水或去离子水为媒介，避免结垢与耐腐蚀。螺旋管可以产生电磁效应，实现对水的磁化，减少结垢。

[0051] 在浪涌测试时，一方面可单独进行浪涌冲击，而不加主电流和反向电压；第二可以加主电流和浪涌，而不加反向电压；第三可以将主电流，浪涌，反向电压全加，进行全动态波涌测试。本实用新型可以单独进行浪涌测试，对被测器件进行单独浪涌冲击测试；半动态浪涌测试，在被测器件施加主电流时加浪涌测试；全动态浪涌测试，对被测器件同时施加主电流、(正)反高电压时，加浪涌测试，(正)反高电压的相位与浪涌主电流相反)。

[0052] 在被测器件半波导通阶段接通浪涌测试电路，通过浪涌电流调节器将浪涌电流的大小调整为主电流的预定倍数，接通高压电源，将极性切换模块的极性切换为反向，基于预先设置的浪涌脉冲数量和浪涌脉冲时间间隔对被测器件进行浪涌测试。

[0053] 需要说明的是，上述步骤可以根据实际需要调整测试顺序，可通过示波器观察主电流波形、峰值电压波形和浪涌波形，以确保在测试前主电路回路和浪涌测试回路正常导通。

[0054] 本实用新型充分描述是为了更加清楚的公开，而对于现有技术就不再一一列举。

[0055] 最后应说明的是：以上实施例仅用以说明本实用新型的技术方案，而非对其限制；尽管参照前述实施例对本实用新型进行了详细的说明，本领域的普通技术人员应当理解：其依然可以对前述实施例所记载的技术方案进行修改，或者对其中部分技术特征进行等同替换；作为本领域技术人员对本实用新型的多个技术方案进行组合是显而易见的。而这些修改或者替换，并不使相应技术方案的本质脱离本实用新型实施例技术方案的精神和范围。本实用新型未详尽描述的技术内容均为公知技术。

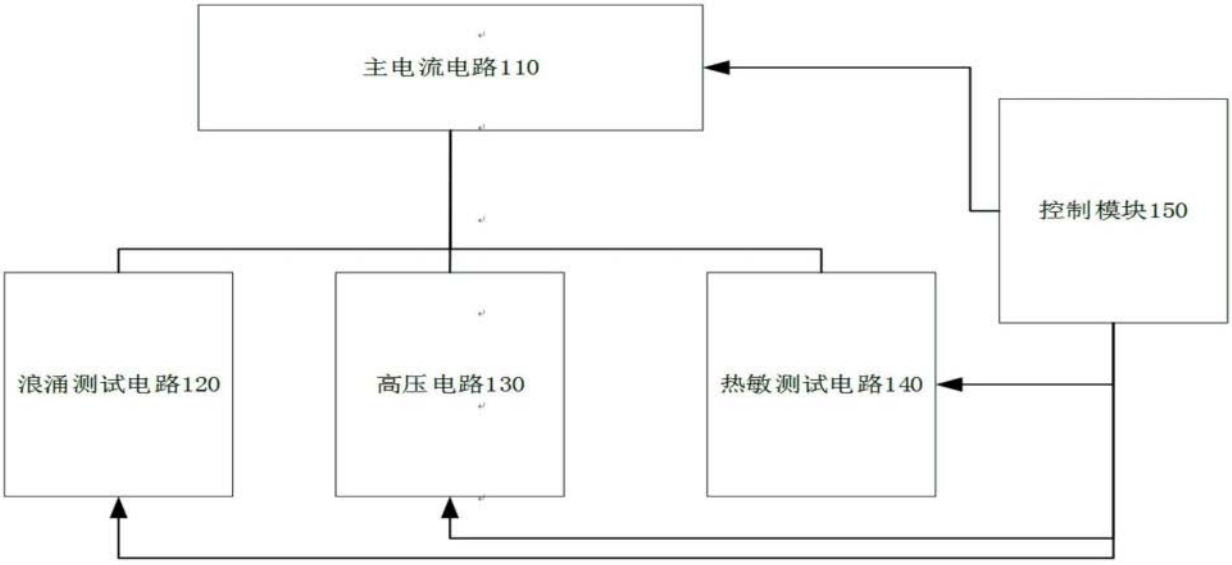

主电流电路110
控制模块150
浪涌测试电路120
高压电路130
热敏测试电路140

图1

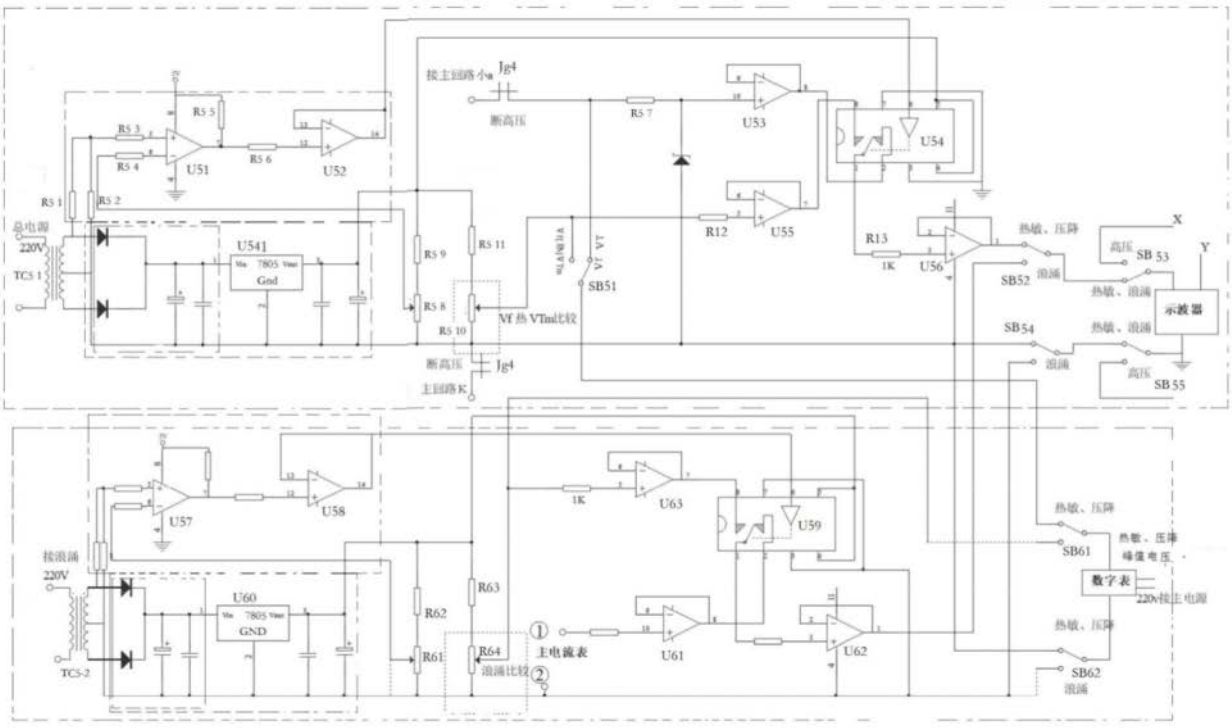

U51
U52
U53
U54
U55
U56
U57
U58
U59
U60
U61
U62
U63
U541
R5 1
R5 2
R5 3
R5 4
R5 5
R5 6
R5 7
R5 8
R5 9
R5 10
R5 11
R12
R13
R61
R62
R63
R64
1K
SB51
SB52
SB53
SB54
SB55
SB61
SB62
Jg4
断高压
总电源
220V
TC5-1
TC5-2
Gnd
GND
Vf 热 VTm比较
主回路K
主电流表
浪涌比较
热敏、压降
浪涌
高压
示波器
数字表
220v接主电源
X
Y

图2

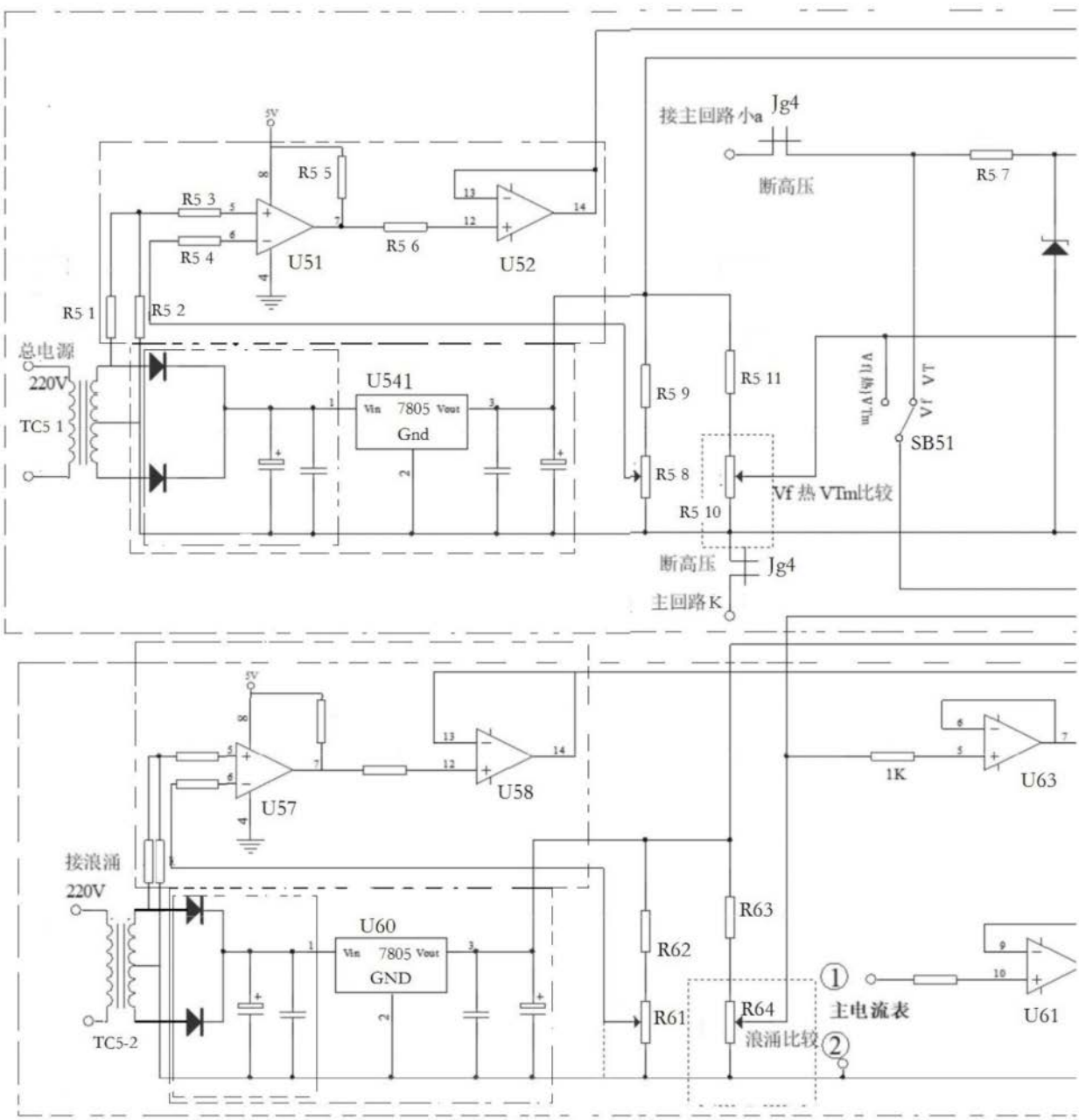

5V
R5 5
R5 3
R5 4
U51
R5 6
U52
接主回路小a
Jg4
断高压
R5 7
R5 1
R5 2
总电源
220V
TC5 1
U541
7805
Gnd
R5 9
R5 11
R5 8
R5 10
Vf 热 VTml比较
SB51
断高压
Jg4
主回路K
U57
U58
U63
1K
接浪涌
220V
U60
GND
R63
R62
R61
R64
浪涌比较
主电流表
U61
TC5-2

图3

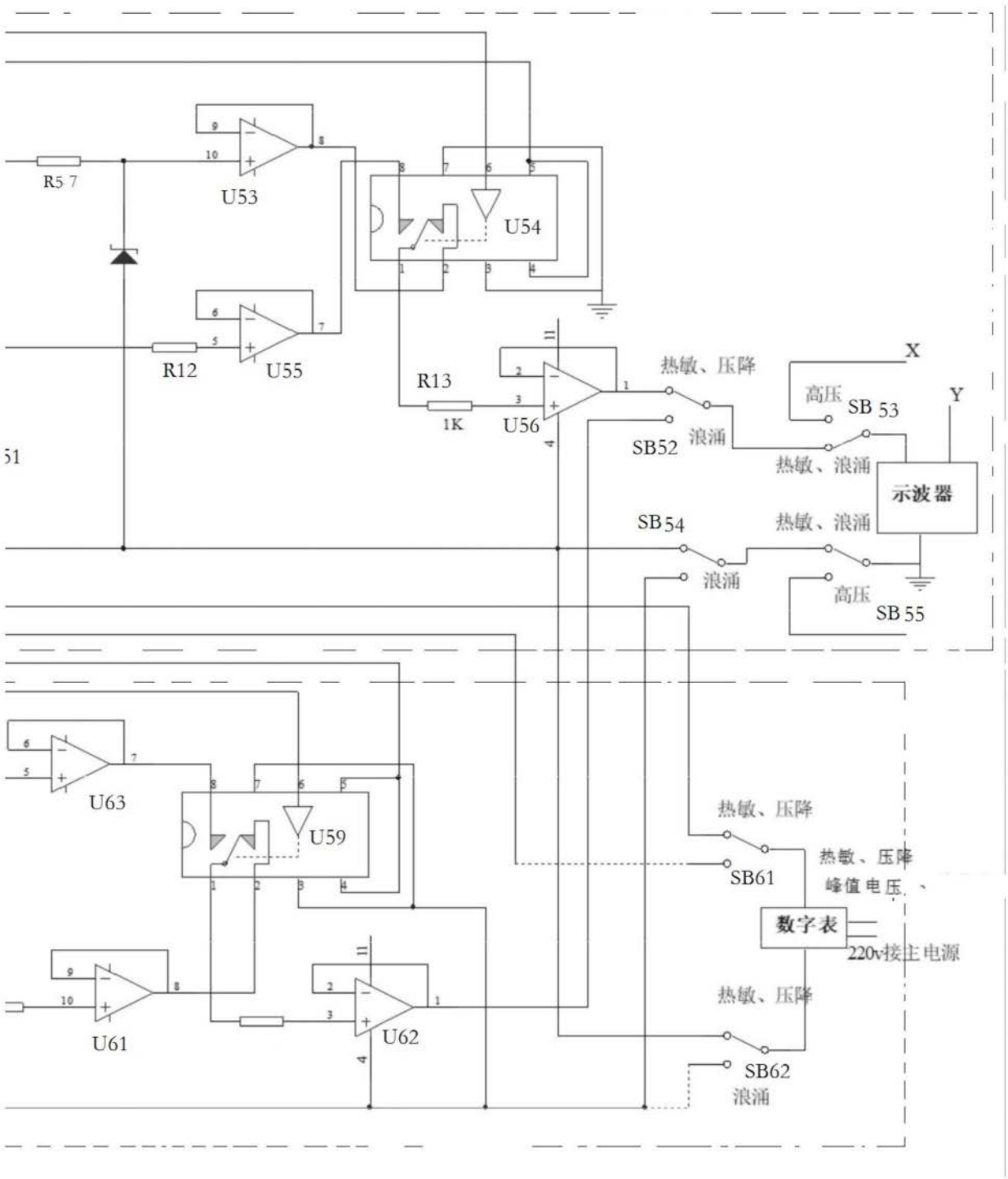

R57
U53
U54
R12
U55
R13
1K
U56
热敏、压降
浪涌
SB52
X
高压
SB53
Y
热敏、浪涌
示波器
SB54
热敏、浪涌
浪涌
高压
SB55
U63
U59
热敏、压降
SB61
热敏、压降
峰值电压、
数字表
220v接主电源
U61
U62
热敏、压降
SB62
浪涌

图4

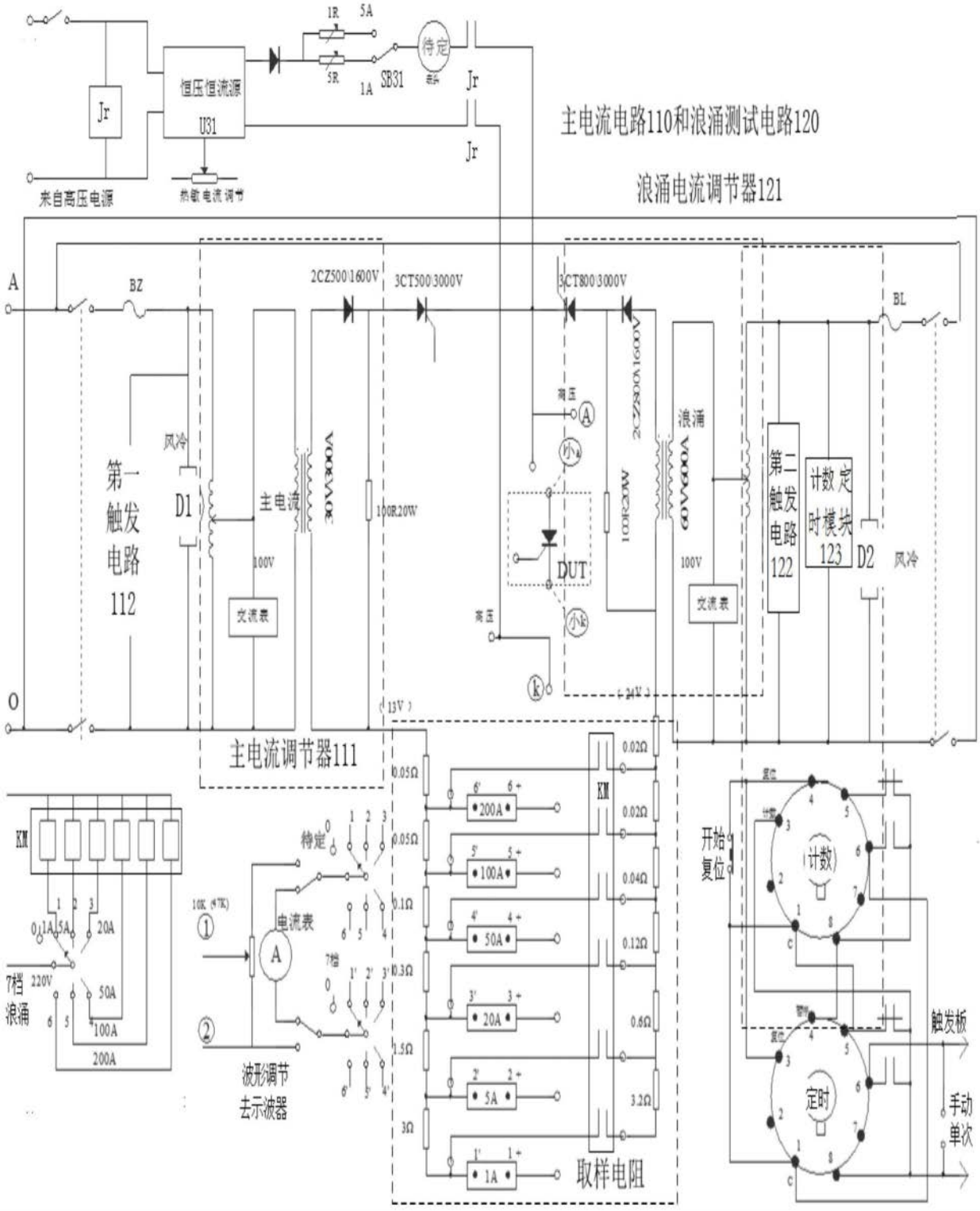

主电流电路110和浪涌测试电路120
浪涌电流调节器121
来自高压电源
恒压恒流源
U31
热敏电流调节
SB31
待定
Jr
A
O
BZ
BL
2CZ500\1600V
3CT500\3000V
3CT800\3000V
第一触发电路112
风冷
D1
主电流
100V
交流表
100R20W
DUT
高压
浪涌
第二触发电路122
计数定时模块123
D2
主电流调节器111
KM
7档浪涌
220V
电流表
波形调节去示波器
取样电阻
开始复位
计数
定时
触发板
手动单次

图5

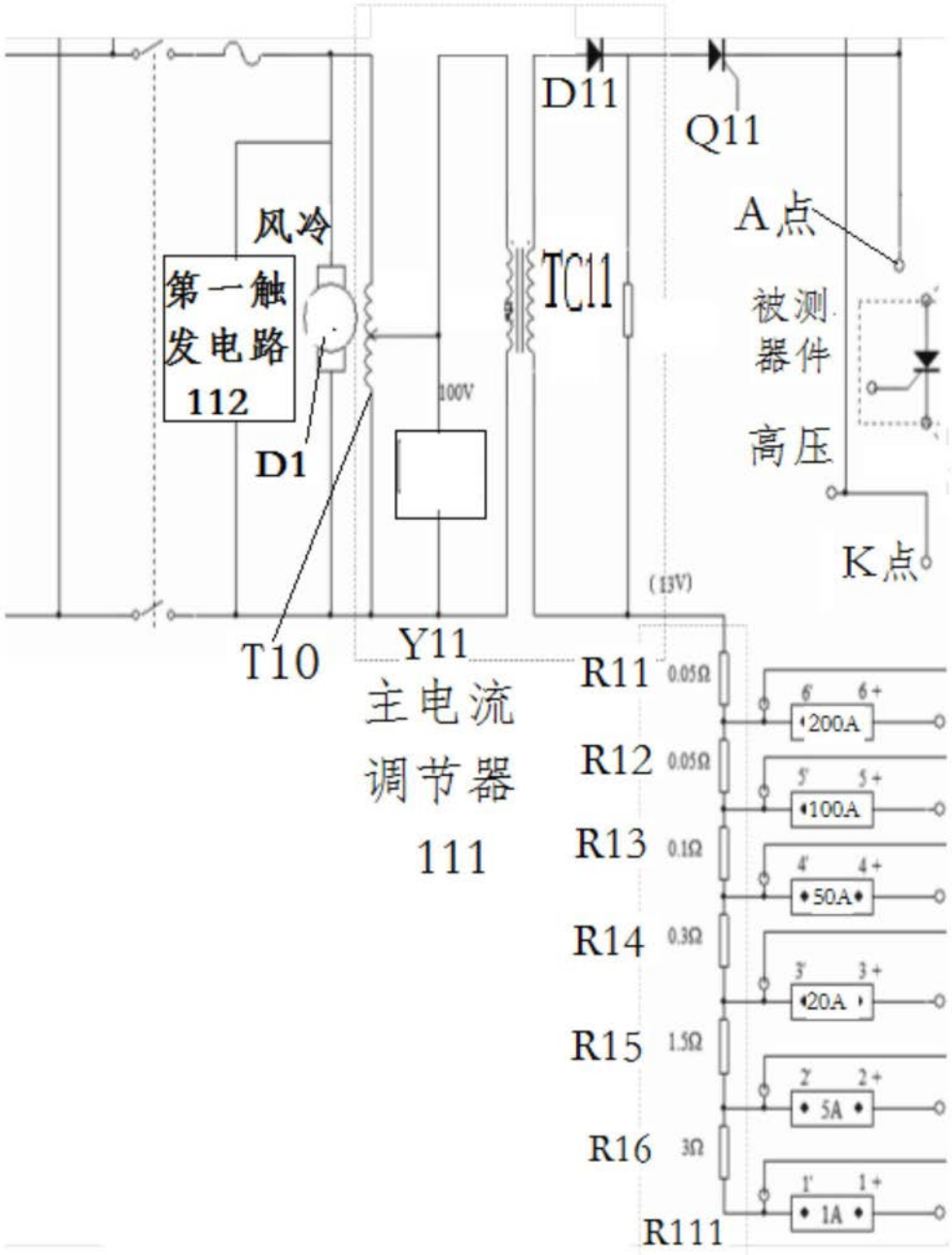

D11
Q11
A点
风冷
第一触发电路
112
TC11
被测器件
高压
D1
100V
K点
(13V)
T10
Y11
主电流调节器
111
R11 0.05Ω
R12 0.05Ω
R13 0.1Ω
R14 0.3Ω
R15 1.5Ω
R16 3Ω
R111
200A
100A
50A
20A
5A
1A

图6

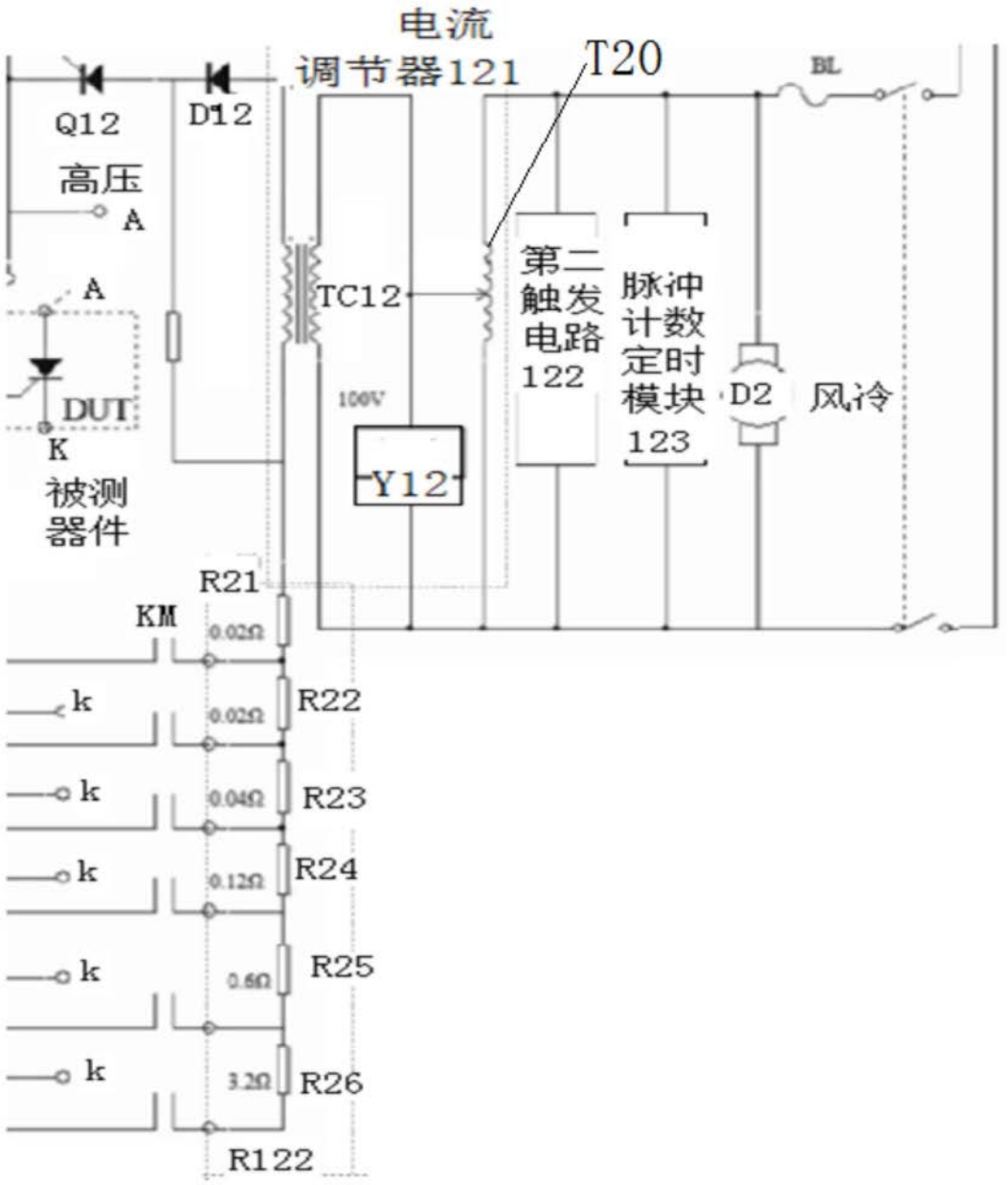

电流
调节器121
T20
BL
Q12
D12
高压
A
A
DUT
K
被测
器件
TC12
100V
Y12
第二
触发
电路
122
脉冲
计数
定时
模块
123
D2
风冷
R21
KM
0.02Ω
k
0.02Ω
R22
k
0.04Ω
R23
k
0.12Ω
R24
k
0.6Ω
R25
k
3.2Ω
R26
R122

图7

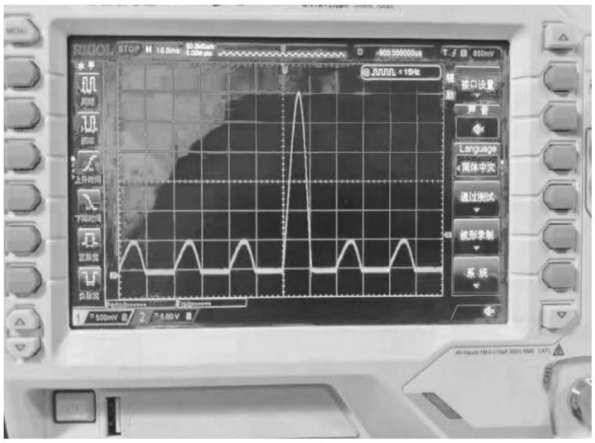


图8

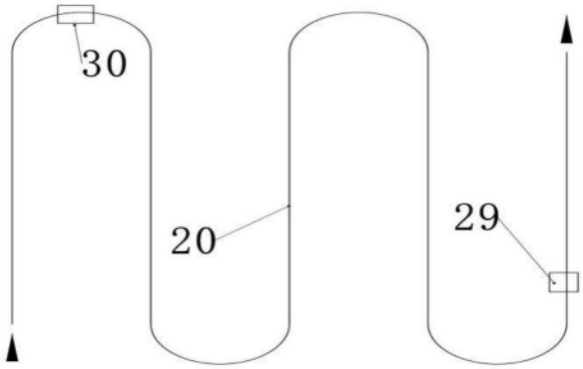


图9