

一种利用 RS 触发器实现瞬间放电保护的电路

王延烁

山东省实验中学 山东 济南 265500

摘要：针对瞬间放电电流在电路中可能造成电流过大超出元件承受范围的问题，本论文提出了利用 RS 触发器的锁存功能实现一种瞬间放电保护，通过搭建 RS 触发器电路，模拟分析了其工作原理，并将其应用于瞬间放电保护电路，仿真验证其可有效实现放电电流通路及时关断。通过本论文的研究，成功利用 RS 触发器实现瞬间放电保护，电路结构简单易于实现，该电路在瞬间放电保护中具有较大的应用潜力。

关键词：瞬间放电；保护电路；RS 触发器

引言

高压测试是一种常见的对电气设备电气性能进行测试的方法，根据试验结果来对各种性能，如电阻，电容，电导率，介质损耗，介电常数等，进行分析判断，消除潜伏性缺陷，及时发现并处理设备老化和劣化问题，从而确定设备运行的可靠性。当进行高压状态下电路测试时，由于材质或工艺存在瑕疵，在电气设备内部留下潜伏性的缺陷。因为一些潜在的缺陷，设备中存在电路瞬间放电，电流或电压有时会远超出额定值，在特殊情况下会造成线路损坏和危险事故。瞬态电压和电流超出元件承受范围导致的器件永久性损坏。放电产生的电压波动和电磁干扰会造成数据丢失、系统锁定甚至系统爆炸隐患。同时，频繁放电会造成的元件加速老化。

因此，在电路中加入一个装置，使整个线路在电流过大时进入锁定保护状态变得极为重要。现有的解决方案主要包括 TVS 瞬态抑制二极管、压敏电阻（MOV）和 RC 电路等元件。但是，在已经应用的各类元件和方法中，实际的保护效果会受到多种因素的影响，如温度，电磁干扰和超出元件额定上限等。其中 TVS 和 MOV 凭借纳秒级的反应速度和低成本的优点被广泛应用^[2]，但是 TVS 在高能量重复冲击下会发生性能退化，MOV 则会因漏电流导致其静态功耗增加。RC 电路虽凭借简单的结构得以广泛应用，但其持续功

耗限制了 RC 电路在低功耗场景的运用^[3]。并且，传统方式对于多脉冲叠加性放电的防护能力不足，可能造成保护盲区。

本论文经过对多种保护元件的放电试验后选定 RS 触发器进行电路设计。RS 触发器由两个与非门交叉连接构成，通过搭建模拟电路组成 RS 触发器并进行多次试验并绘制真值表，分析 RS 触发器工作原理。利用输出的高低电平的开启与关断，实现瞬间放电保护电路的开启和关断，利用 RS 触发器的锁存机制来控制瞬间放电保护电路通路的开启或关断，其结构简单且易于应用，实际操作过程便捷，可以有效实现瞬间放电保护。

1 实验方案

1.1 瞬间放电保护电路设计

瞬间放电保护电路输入电流为电路内瞬间放电产生的电流，经过电流电压转换电路后通过电压放大及比较电路，经过上述流程后 RS 触发器启动电路接收来自前段电路的信号进行判断，输出信号来控制断电保护电路的开启或关断。进而达成保护整体电路的目的，如图 1 所示为瞬间放电保护电路结构图。

在图 2 中，RL1 为 220V 交流电源，R3 为负载电阻，TR2 为穿芯式电流互感器。穿芯式电流互感器是一种常见的电气测量设备，它能够将高电流通过互感器的一侧线圈转换为低电流输出，从而实现对电流的准确测量。穿芯式电流互感器由铁芯和线圈组成，铁芯起



图 1 瞬间放电保护电路的结构图

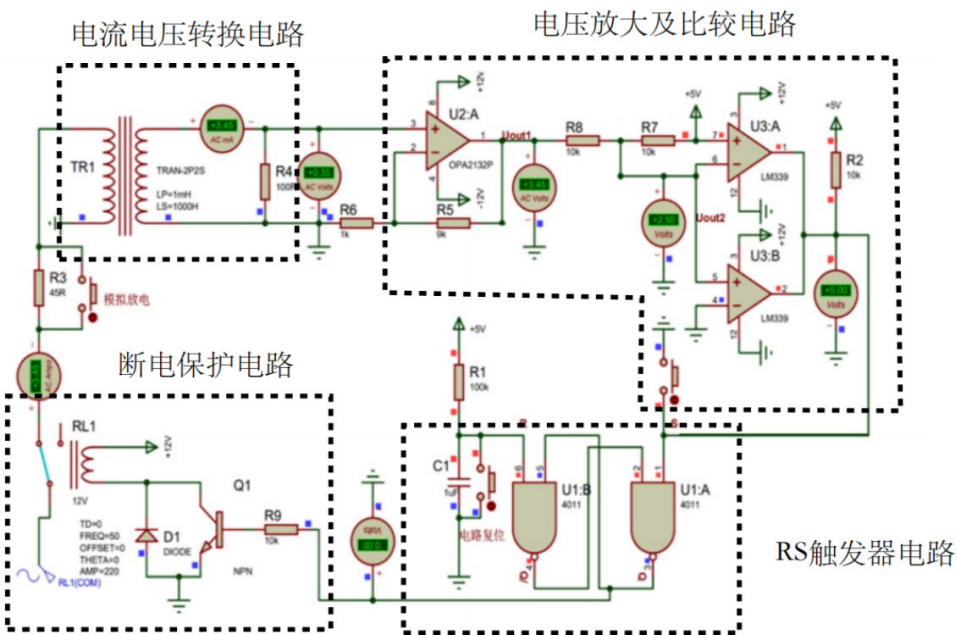


图 2 瞬间放电保护电路原理图

到增强磁场，引导电流的作用，而线圈则用于将引入的高电流转换为低电流输出。当高电流通过互感器一侧线圈时，铁芯会将其产生的磁场传递到另一侧线圈，从而在另一侧感应出相应的低电流输出。这样就实现了电流的转化和测量。经过 TR1 穿心交流互感器的小电流在电阻 R4 两端形成交流电压。穿芯式电流互感器运用了磁通量平衡的原理。铁芯的传导和线圈的感应是磁通量在线圈两边达到平衡，从而实现高电流到低电流的转化。这种原理使得互感器兼具稳定性和追确性，可以在不同环境下准确测量电流值。

运算放大器 U2 和电阻 R5、R6 共同组成放大电路，实现对电压的放大。运算放大器的核心逻辑是对差分信号的放大与输出，即检测同相输入端和反向输入端的电压差，并将这个差值按固定倍数放大后输出。并且根据理想运放的特性，在模拟中可以简化电路分析过程。运算放大器最重要的特点在于通过改变元件类型和参数可以实现对几乎所有模拟信号的处理。

R7、R8 电阻配合可将正弦波中正负电压转化为正电压。U3A 与 U3B 为两个开漏输出电压比较器，可以将电压与参考电压进行比较，当低于参考电压时输出高电平，当高于参考电压时输出低电平。

输出信号作为 RS 触发器的启动标识。U1A 与 U1B 组成 RS 触发器，RS 触发器根据输入电平的高低进行状态转换，进而控制继电器的开关。

1.2 RS 触发器设计

通过图 3 可以看出 RS 触发器主体由两个与非门组成，其 S 端和 R 端为输入端，Q 端为输出端。输入

端和交叉端交叉对应。利用与非门的功能来控制电路是否联通。通过进行仿真实验，收集在输入值不同时输出端的显示情况，本实验可以通过模拟在瞬时放电异常情况下的 RS 触发器输出状态测试其防护性能。

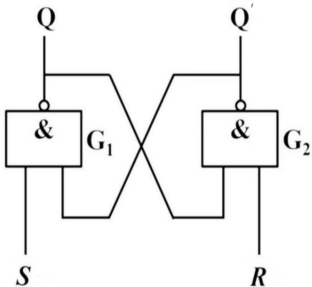


图 3 RS 触发器结构

通过对表 1 所示的真值表第一行和第二行的分析，发现 R=0 时为复位，S=0 时为置位，触发器通过置位和复位的转变来实现功能。通过对第三行的分析，当输出端置的状态一致时，输出端只会保持原有状态。由此体现出输入端的真值会直接影响到输出端，从而证明了 RS 触发器对于瞬间放电有明显的检测作用和及时的锁定保护状态转变。

表 1 仿真电路真值表

输入		输出		功能说明
R	S	Q	Q'	
0	1	0	1	触发器置 0
1	0	1	0	触发器置 1
1	1	Q	Q'	Q 和 Q' 保持原状态
0	0			禁止出现

2 瞬间放电保护电路仿真结果

(1) RL1(COM)点为220V(峰值)/50Hz交流电源。R3为45欧姆电阻为负载。TR1为1000:1穿心式电流互感器。当电路正常运行时候,流过R3与TR1的电流为交流电流为3.45 A。TR1的二次侧产生3.45 mA的电流。然后通过R4=100欧姆的电阻转换为0.345 V电压。

(2) 运放U2A与R6,R5组成同相放大电路,把0.345V的电压放大10倍,变为3.45V。其公式为:

$$V_o = \left(1 + \frac{R_f}{R_i}\right) \cdot V_i$$

(3) 3.45V的电压为交流信号,既有正电压,又有负电压。我们通过R7与R8把此信号转为仅有正电压。计算公式为 $U_{out2} = (5V + U_{3.45V})/2$ 。黄色波形为U3.45V蓝色波形为Uout2通过波形我们可以看到Uout2幅值缩小了一倍,但同时又上移了2.5V。到此时通过R3的负载电流已经变换为0~5的正弦波(Uout2)。

(4) U3A和U3B为两个开漏输出电压比较器,当电压在 $0V < U_{out2} < 5V$ 之间时,输出为高电平。当 $U_{out2} < 0V$ 或 $U_{out2} > 5V$ 时,输出为低电平。此信号连接到下面的RS触发器的S端。

(5) U1A与U1B组成RS触发器。触发器刚上电,R=0,S=1,此时Q=0,闭合继电器。当C1充电

完成后,R=1,S=1,输出保持原来的状态。Q=0,闭合继电器。发生放点U3A,U3B输出为0,此时R=1,S=0,RS触发器置位,Q=1,切断继电器以实现电流保护。按下“模拟放电”按钮或手动关闭按钮来实现放电。放电完毕是U3A,U3B输出1,R=1,S=1,输出保持原来的状态,Q=1,切断继电器。从而实现瞬间放电,启动保护电路并锁定保护状态功能。

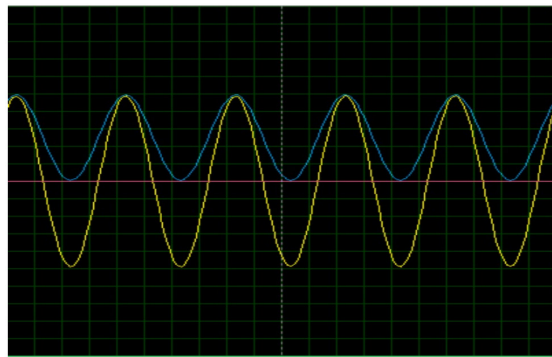


图5 Uout2和U3.45V的波形

(6) 通过按下模拟放电按钮或手动关闭按钮来实现放电状态,这两个按钮为自复位按钮,按下为闭合,松开为断开。

图6为保护电路正常工作时的状态。

图7为保护电路锁定状态。在这种情况下,必须断电重启或按下复位按钮才能够重新运行原有的线路。

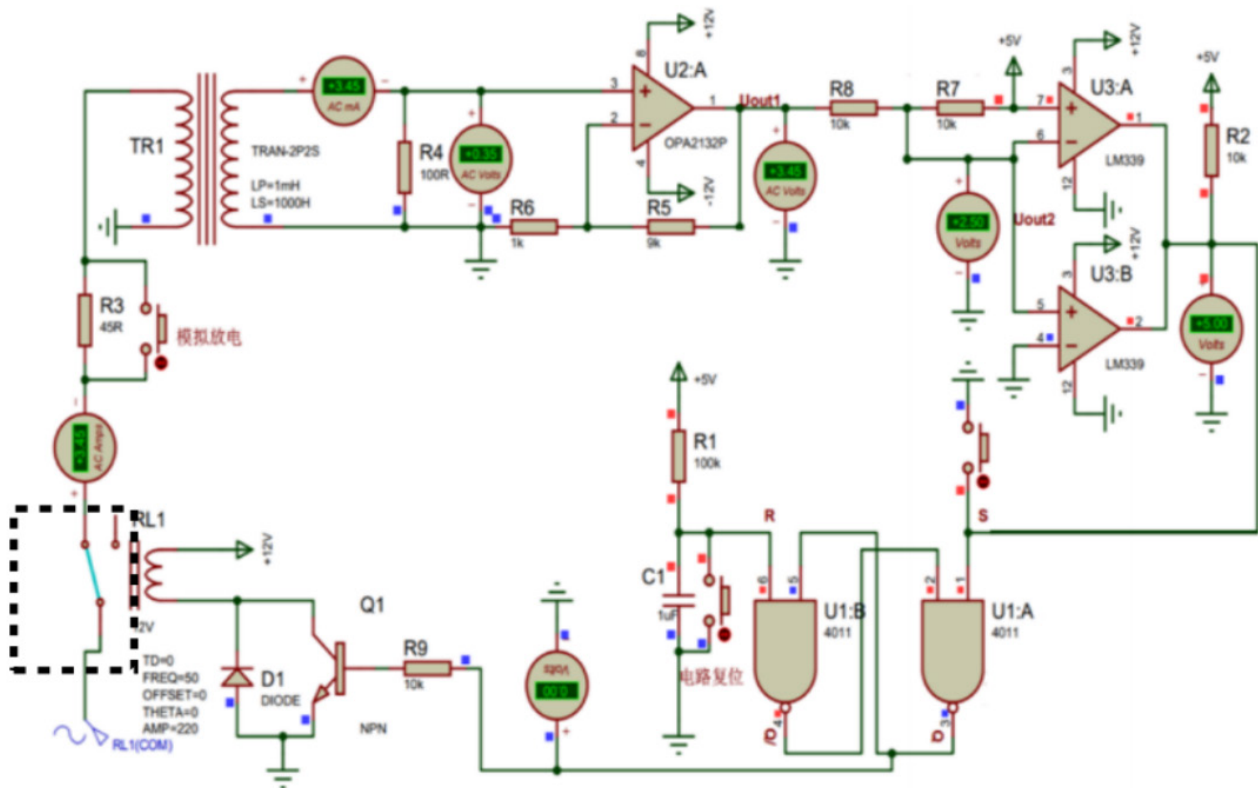


图6 正常工作时的电路

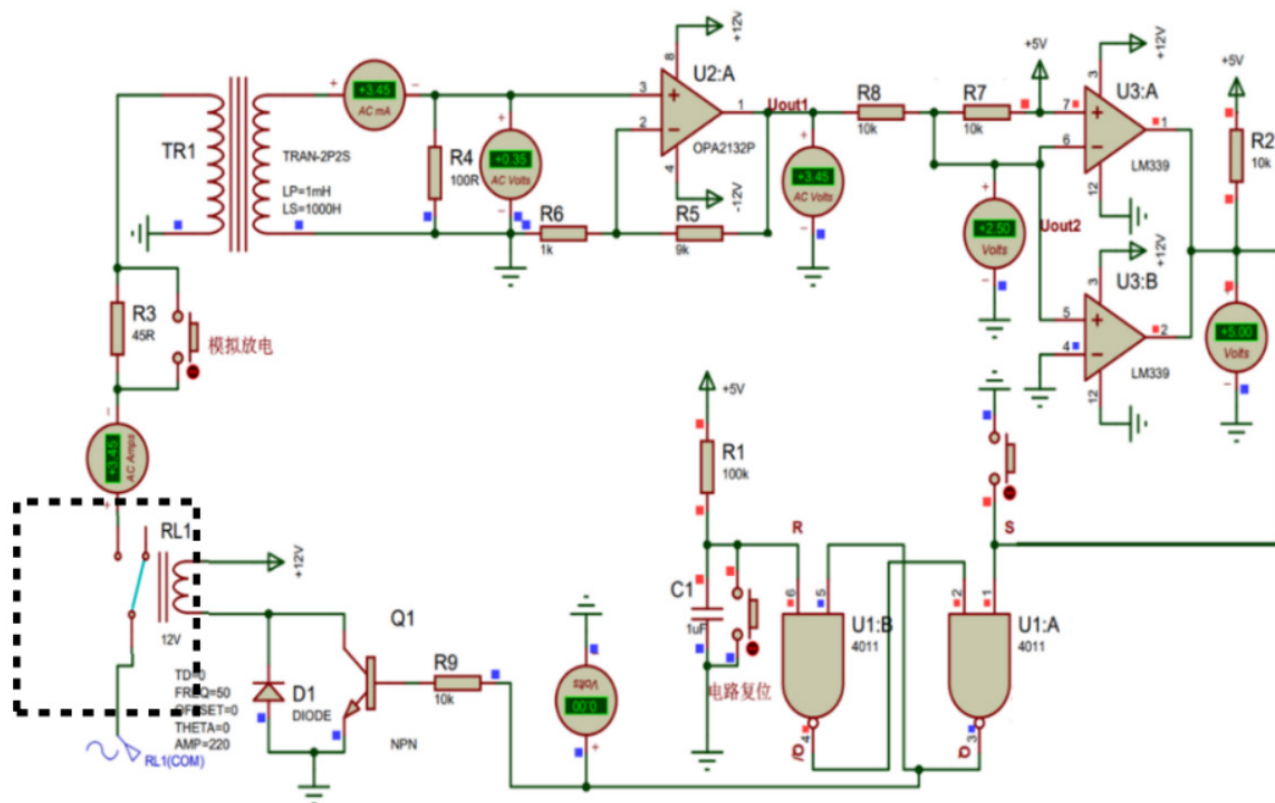


图 7 保护锁定时的电路

按下为闭合，松开为断开。

3 结语

采用 RS 触发器可以在最短的时间内断开电路，达到在瞬间放电电流异常的情况下保护电路的目的。通过在仿真软件搭建了一个瞬间保护电路，加入两个二输入与非门作为 RS 触发器，仿真结果符合预期，可以有效实现电路保护。

参考文献:

- ### 3 结语
- 采用 RS 触发器可以在最短的时间内断开电路, 达到在瞬间放电电流异常的情况下保护电路的目的。通过在仿真软件搭建了一个瞬间保护电路, 加入两个二输入与非门作为 RS 触发器, 仿真结果符合预期, 可以有效实现电路保护。
- ### 参考文献:
- [1] Mardiguian, M. Electrostatic Discharge: Understand, Simulate, and Fix ESD Problems [M]. Wiley, 2014.
 - [2] R. B. Standler, . Protection of Electronic Circuits from Overvoltages [M]. Dover Publications, 2002.
 - [3] K.Sheshyekani, et al., Characterization of MOV Surge Arresters for Fast Transient Analysis [J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 28(4), 1874–1883, 2013.
 - [4] Y. Li, et al., A Sub-ns Response ESD Protection Circuit Using RS Flip-Flop for I/O Pins [J]. IEEE Journal of Solid-State Circuits, 55(6), 1621–1632, 2020.
 - [5] 童诗白, 华成英. 模拟电子技术基础 (第 5 版) [M]. 北京: 高等教育出版社, 2015.
 - [6] 阎石. 数字电子技术基础 (第 6 版) [M]. 北京: 高等教育出版社, 2016.