

# 基于TVS和电容的浪涌保护电路

刘宜欣\*, 周 蕾, 徐梦明, 金肖依, 路 晓

华东光电集成器件研究所, 江苏 苏州

收稿日期: 2024年8月12日; 录用日期: 2024年9月16日; 发布日期: 2024年9月27日

## 摘 要

在电源供电系统中, 浪涌的产生会对电子元器件造成不可逆的损害。电源开断瞬息产生的强力尖峰脉冲会对集成电路进行浪涌冲击。本文就浪涌电压冲击对电路造成的损害, 通过理论和实验分析了TVS实际选型问题, 并对比分析了TVS电路和电容电路对浪涌冲击带来的失效问题的抑制能力, 在此基础上提出了基于TVS和电容的浪涌保护电路方案。

## 关键词

尖峰脉冲, TVS电路, 电容电路, 浪涌保护

# Surge Protection Circuit Based on TVS and Capacitor

Yixin Liu\*, Lei Zhou, Mengming Xu, Xiaoyi Jin, Xiao Lu

East China Institute of Optoelectronic Integrated Devices, Suzhou Jiangsu

Received: Aug. 12<sup>th</sup>, 2024; accepted: Sep. 16<sup>th</sup>, 2024; published: Sep. 27<sup>th</sup>, 2024

## Abstract

In the power supply system, the generation of surge will cause irreversible damage to electronic components. The strong spike pulse produced by the instant of power supply disconnection will cause surge impact to the integrated circuit. In this paper, based on the damage caused by surge voltage shock to the circuit, the actual TVS selection problem is analyzed through theory and experiment, and the suppression ability of TVS and capacitor circuit to the failure problem caused by surge shock is compared and analyzed. On this basis, the surge protection circuit scheme based on TVS and capacitor is proposed.

\*通讯作者。

## Keywords

### Spike Pulse, TVS Circuit, Capacitor Circuit, Surge Protection

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

在电子设计中,浪涌通常是指在电源接通关断时,电路中突然出现的超出正常范围的尖脉冲干扰,它可能使电路在浪涌的瞬间烧坏,如电容击穿等[1]-[3]。如今,科技迅速发展,集成电路集成化趋势不断加强,耐压性不断被弱化,被瞬变电压损坏的问题常常出现[4]。由于直流电源在使用过程中随时会受到外界干扰,在电源端更应做好浪涌保护[5][6],传统的浪涌保护电路是在电源端串入功率电阻或有稳压限流电路,但无法有效抑制浪涌电压,因此浪涌保护电路越来越多地应用在各种电路中。当电气回路中因为外界的干扰突然产生尖峰电流或者电压时,浪涌保护电路能在极短的时间内导通分流,从而避免浪涌对回路中其他设备的损害[7][8]。

本文从具体应用实例入手,针对测试电路过程中钽电容的损坏问题,对测试台进行失效分析,得出结论为电源开关过程中浪涌电压过高,超过钽电容耐压值造成钽电容烧毁。在前述分析的基础上,提出了“TVS 瞬间泄放大电流”和“电容通过电荷存储功能抑制瞬态电压”两种抑制电路中尖脉冲干扰的方法,并进行实验验证,对 TVS 管的选型与应用进行了实际测试,最终,设计了一种基于 TVS 管和电容的浪涌保护电路,通过设计实例解决测试过程中浪涌问题对电路造成的损害。

## 2. TVS 管选型

### 2.1. TVS 管的选型方法

TVS 是一种高效的电路保护器件,与被保护线路并联。电路正常时,TVS 处于截止状态,TVS 两端呈高阻态,由于并联,不影响电路正常工作;当电路中瞬时电压超过正常电压,即 TVS 管的导通电压后,能在极短的时间内把 TVS 两端间的阻抗由高阻抗变为低阻抗,能快速泄流,同时将异常电压钳制在安全电压范围内,从而避免被保护线路受到大电流冲击而损毁。

在实际选用和应用中,主要考虑了以下参数:反向截止电压、击穿电压、最大箝位电压、漏电流、峰值脉冲电流、极性。具体参数意义如下:

1) 反向截止电压  $V_{rwm}$ : TVS 管在电路正常工作状态不导通时所能承受的最大电压,此电压应不小于工作电路的正常工作电压。

2) 漏电流  $I_r$ : 在正常工作电压下,流过 TVS 管的最大电流。

3) 击穿电压  $V_{br}$ : 当 TVS 管中流过 1 mA 电流  $I_R$  时,TVS 管两端的电压为最小击穿电压。击穿电压为 TVS 管开始工作时的电压,正常情况下  $V_{rwm} = (0.8\sim 0.9) V_{br}$ 。

4) 峰值脉冲电流  $I_{pp}$ : TVS 在反向工作时特定波形条件下允许通过的最大脉冲峰值电流。

5) 箝位电压  $V_c$ : 峰值脉冲电流  $I_{pp}$  流过 TVS 管并持续 20 ms 时,TVS 两端测得的峰值电压。在选型时要保证  $V_c$  小于被保护电路最大安全工作电压。正常情况下  $V_c = (1.2\sim 1.4) V_{br}$ 。

6) 最大峰值脉冲功耗  $P_m$ : 最大峰值脉冲电流  $I_{pp}$  与箝位电压  $V_c$  的乘积,是 TVS 能承受的最大功

率,  $P_m$  越大, 承受浪涌能力越强。

7) 极性: TVS 分为单极性和双极性, 一般情况下, 型号中以 A 结尾的代表单极性, 以 CA 结尾的代表双极性。单极型 TVS 管适用于直流电路, 利用反向特性可以防护单向传来的冲击电流, 如图 1 所示。双极型 TVS 管适用于交流电路和差分信号, 可以防护从相反方向的冲击电流, 如图 2 所示。在直流电源设备接口处可使用双向 TVS, 避免反接造成的 TVS 过流失效。

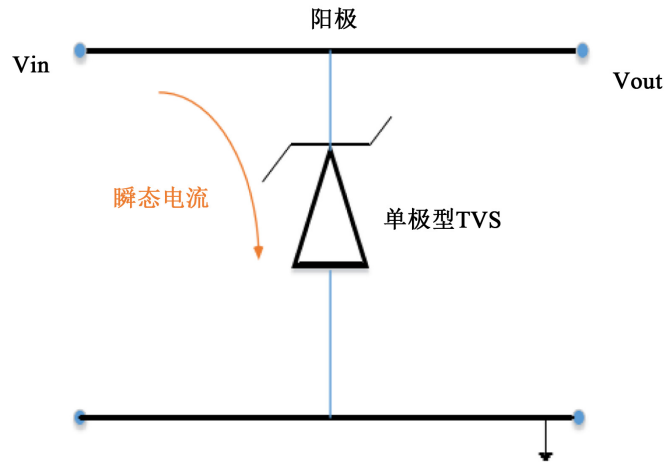


Figure 1. Unipolar TVS diodes  
图 1. 单极型 TVS 管

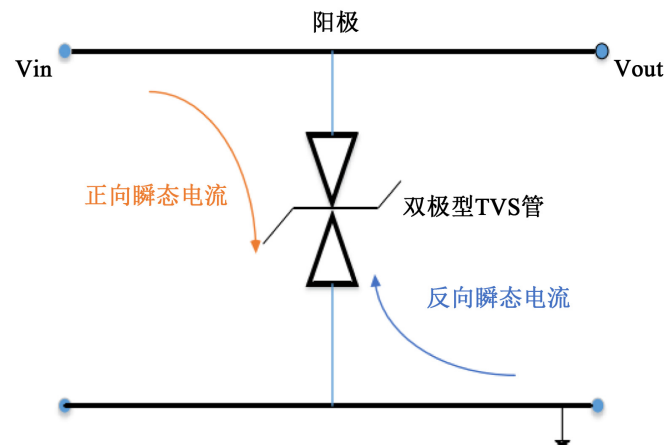


Figure 2. Bipolar TVS diodes  
图 2. 双极型 TVS 管

## 2.2. TVS 管的选型结果

测试台工作电压为 20 V, 被保护负载最大安全电压为 25 V。TVS 管导通后为低阻抗, 电路中浪涌电压、浪涌电流可从 TVS 管流向地, 对后续电路起保护作用。此时, 反向截止电压应大于 20 V, TVS 管两端电压为箝位电压, 电流为峰值脉冲电流  $I_{pp}$ , 箝位电压应小于最大安全电压 25 V。TVS 管两端箝位电压受电流大小影响, 一般不会达到最大箝位电压, 所以选型时箝位电压的选择要大于最大安全电压 25 V。

TVS 管测试原理如图 3 所示, 用 20 W/20  $\Omega$  功率电阻与 TVS 管串联, 电流源测电路中电流, 电压源测 TVS 管两端电压。

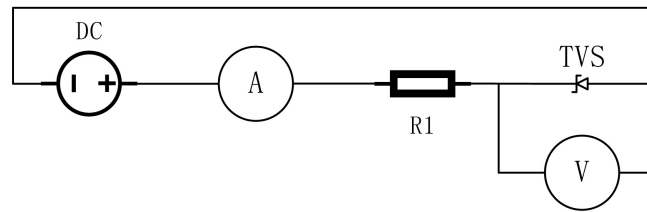


Figure 3. Test schematic diagram of TVS diodes  
图 3. TVS 管测试原理图

从产品手册选型发现，P4SMA20A 和 SMBJ20CA 两种型号的 TVS 管全都符合选型要求，对其进行实测，结果如表 1 所示。

Table 1. Actual test results of different models of TVS diodes parameters  
表 1. 不同型号 TVS 管参数实际测试结果

型号	反向截止电压 $V_{rwm}$	漏电流 $I_r$	击穿电压 $V_{br}$	电流 $I_r$	箝位电压 $V_c$	峰值脉冲电流 $I_{pp}$	备注
P4SMA20A	20 V	1.7 $\mu$ A	20.1 V	4.475 mA	20.59 V~24.71 V	0.257 A	29 V 时 TVS 管过热，两端焊锡烫化
SMBJ20CA	20 V	2 $\mu$ A	23.5 V	2.92 mA	23.7 V~25.09 V	0.21 A	30 V 时正常工作

实验测得电路尖峰脉冲电压为 30 V，因此，TVS 管选用 SMBJ20CA 型 TVS 管。

### 3. 浪涌保护电路实验验证

#### 3.1. 浪涌保护电路方案设计

无浪涌保护电路时，不加负载状态下测得尖峰脉冲电压 30 V，加负载状态测得静态电流 6 A。设计了四种浪涌保护电路方案进行对比测试和验证。原理图如图 4 所示，方案设计如表 2 所示。

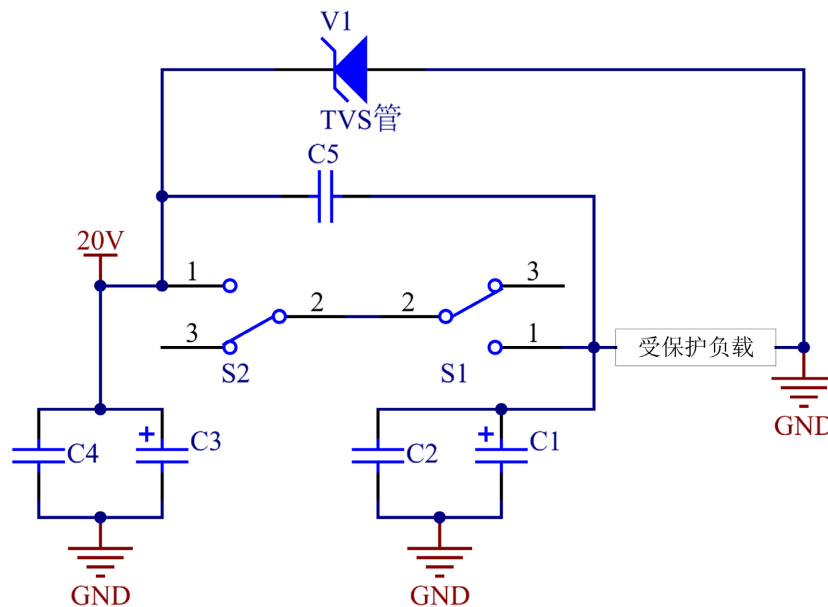


Figure 4. Schematic diagram of surge protection circuit  
图 4. 浪涌保护电路原理图

**Table 2.** TVS surge protection circuit scheme design  
**表 2.** TVS 浪涌保护电路方案设计

方案	TVS 管	电容
方案一	无	C1 为 10 $\mu\text{F}$ , C2 为 0.1 $\mu\text{F}$ , C3 为 10 $\mu\text{F}$ , C4 为 0.1 $\mu\text{F}$ , C5 为 0.1 $\mu\text{F}$
方案二	SMBJ20CA	无
方案三	SMBJ20CA	C1 为 10 $\mu\text{F}$ , C2 为 0.1 $\mu\text{F}$ , C3 为 10 $\mu\text{F}$ , C4 为 0.1 $\mu\text{F}$ , C5 为 0.1 $\mu\text{F}$
方案四	SMBJ20CA	C1 为 47 $\mu\text{F}$ , C2 为 0.1 $\mu\text{F}$ , C3 为 10 $\mu\text{F}$ , C4 为 0.1 $\mu\text{F}$ , C5 为 0.1 $\mu\text{F}$

### 3.2. 浪涌保护电路实验结果

对所有方案进行试验测试, 测试结果如表 3 所示。可以看出, TVS 电路和电容电路的方案不能很好地消除尖峰脉冲电压, 而 TVS 和电容的浪涌保护电路方案既能为电源端的瞬间电压提供泄流路径, 也能稳定电源和地之间的电压, 达到更好的尖峰脉冲电压抑制效果。

**Table 3.** Test situation  
**表 3.** 测试情况

方案	不加负载	加负载
方案一	尖峰脉冲电压达 26 V	尖峰脉冲电压未降到安全电压, 因此未测试
方案二	尖峰脉冲电压达 26 V	尖峰脉冲电压未降到安全电压, 因此未测试
方案三	尖峰脉冲电压达 22.8 V	静态电流 6.38 A, 加负载后电压 18.8 V
方案四	尖峰脉冲电压达 20.4 V	静态电流 6.38 A, 无电压降落

TVS 管快速泄放高压, 大电容防止浪涌, 滤除低频干扰, 小电容滤除高频干扰, 共同构成浪涌保护电路。对比分析方案三与方案四发现, 电容增大能够有效滤除电路中交流成分, 使输出的直流电压更加平滑和稳定。

## 4. 结语

开关电源的浪涌是由开关管反复开关动作造成的, 电源端容易受到外部浪涌电压冲击造成损伤。本文提出的 TVS 和电容的浪涌保护电路, 综合了 TVS 管的快速泄流能力和电容的稳定电压能力, TVS 迅速响应将电源端的瞬态高压及电流引入电源地上, 从而防止尖峰脉冲对负载造成损伤, 电容滤除电源噪声, 提高电路性能和稳定性, 与 TVS 共同构成浪涌保护电路可以有效保护负载, 提高电路耐受复杂环境电磁干扰的能力。

## 参考文献

- [1] 王志刚, 张崇. 载机电源适应性设计[J]. 舰船电子工程, 2016, 36(5): 131-135.
- [2] 袁文, 张文辉. 浪涌抑制器瞬态尖峰电压测试后失效原因分析[J]. 计算机与数字工程, 2019, 47(1): 52-56.
- [3] 吴建军. 直流电源引入端浪涌抑制技术研究[J]. 自动化与仪器仪表, 2017(4): 113-115.
- [4] 吴沛冬. TVS 瞬态电压抑制二极管及其应用[J]. 电子世界, 2018(15): 140-141.
- [5] 梁龙飞. 一种低电容 TVS 防护器件的优化设计[D]: [硕士学位论文]. 成都: 电子科技大学, 2021.
- [6] 王凤岩, 张肱霏, 张燕, 等. 机载设备的浪涌抑制[J]. 电子信息对抗技术, 2013, 28(5): 78-82.
- [7] 张伟, 张泰峰. 基于 MOSFET 适用于母线开关的浪涌抑制电路[J]. 电源技术, 2015, 39(10): 2222-2224.
- [8] 张本军, 徐加征. 浪涌防护电路方案的设计与验证[J]. 测试与测量, 2020(6): 27-28+38.