

ICS 31.040.99

L10/34

# 团体标准

T/CECA XXX—20XX

## 有可靠性指标的 金属氧化物压敏电阻器总规范

Generic Specification for Metal Oxide Varistors with Established Reliability

(报批稿)

(2019-01-30)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中国电子元件行业协会 发布



## 目 录

前言 .....	III
引言 .....	IV
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	2
3.1 热保护金属氧化物压敏电阻器.....	2
3.2 额定值与特性.....	2
4 工作及储存条件.....	3
4.1 工作及储存环境温度范围.....	3
4.2 海拔高度或大气压范围.....	4
4.3 相对湿度.....	4
5 技术要求和试验方法.....	4
5.1 试验和测量的大气条件.....	4
5.2 外观、标志和尺寸.....	4
5.3 等待工作状态的性能.....	4
5.4 浪涌抑制性能.....	6
5.5 浪涌电流耐受能力.....	6
5.6 TOV 耐受特性.....	7
5.7 工作寿命和可靠性.....	9
5.8 机械试验.....	11
5.9 焊接和耐溶剂.....	14
5.10 气候试验.....	15
5.11 封装的安全性.....	16
6 质量评定程序.....	17
6.1 鉴定批准.....	17
6.2 初始制造阶段.....	17
6.3 结构相似元件.....	17
6.4 鉴定批准程序.....	17
6.5 质量一致性检验.....	18
7 应用参考特性和参数.....	21
附录 A（规范性附录）MOV 脉冲寿命的评定程序和方法.....	22
附录 B（规范性附录）MOV 电压-温度寿命的评定程序和方法.....	30
附录 C（参考性附录）ZnO 非线性电阻器的电阻方程和电压方程及其测定方法.....	34
参考文献.....	36
图 1 30A/8kV ESD 放电脉冲波形图.....	3
图 2 TOV 试验装置电路图.....	8
图 3 电压-温度应力试验装置.....	10
图 4 SMV 引出端推力试验用基板和推力.....	13
图 5 SMV 引出端基板弯曲试验用基板和推力.....	13

图 A.1	脉冲寿命试验的 6 个电流应力.....	23
图 A.2	脉冲电流发生回路 (20 $\mu$ s、200 $\mu$ s 和 2k $\mu$ s) .....	24
图 A.3	MOV 在脉冲寿命试验中的失效模式.....	24
图 A.4	6 个样本的测试结果和 3 个基本寿命特性方程 .....	27
图 A.5	某企业 14D-470V-210V/mm MOV 的脉冲寿命曲线.....	29
表 1	引线型 MOV 的引出端拉力.....	12
表 2	螺柱和螺丝端子的扭矩.....	12
表 3	SMV 端头试验的作用力和基板尺寸 .....	12
表 4	基于固定样本大小试验的鉴定批准试验一览表 .....	19
表 5	逐批检验表.....	20
表 6	周期检验表.....	21
表 A.1	Weibull 分布函数计算实例.....	26
表 B.1	电压-温度应力(U-T)寿命鉴定批准试验抽样方案.....	30
表 B.2	失效率(FR) 等级维持试验的抽样方案 (置信度 10%) .....	32
表 B.3	用失效分布函数评定 U-T 寿命的一个例子.....	33
表 C.1	R-I 方程和 U-I 方程的常用类型 .....	34

# 前 言

本规范按照GB/T 1.1—2009的规则编写。

与本规范中规范性引用的国际文件有一致性对应关系的我国文件如下：

GB/T 2423.30-2013 环境试验 第2部分：试验方法 试验XA和导则：在清洗剂中浸渍（IEC60068-2-45:1980/Amd 1:1993, MOD）

本规范的附录A、附录B为规范性附录；

本规范的附录C为资料性附录。

本规范由中国电子元件行业协会敏感元器件与传感器分会提出。

本规范由中国电子元件行业协会敏感元器件与传感器分会归口。

本规范起草单位：广西新未来信息产业股份有限公司，广东鸿志电子科技有限公司，陕西华星电子集团有限公司，西安市西无二电子信息集团有限公司，常州市创捷防雷电子有限公司，爱普克斯电子元器件（珠海保税区）有限公司，兴勤（常州）电子有限公司，贵阳高新益舸电子有限公司，广东南方宏明电子科技股份有限公司，深圳顺络电子股份有限公司，厦门赛尔特电子有限公司，汕头保税区松田电子科技有限公司，隆科电子（惠阳）有限公司，辰硕电子（九江）有限公司，深圳市辰驹电子科技有限公司，广东省佛山科星电子有限公司，深圳市德欣电器有限公司，贵州凯里经济开发区中昊电子有限公司。

本规范主要起草人：张南法，蔡德惠，叶林龙，程鑫昌，石微静，岳澍华，束静，田晓嘉，侯德信，费自豪，赵俊斌，罗致成，贾广平，陈石，陈惠贞，林榕，赵明辉，曾清隆，高镇，曾欣雯，陈享廷，肖小驹，林焯荣，付关军，鲍峰。



## 引 言

本团体标准供各成员单位自愿采用。提请各使用单位注意，采用本团体标准时，应根据各自产品特点，确认本团体标准的适用性。

本规范的发布机构提请注意，声明本规范时，可能涉及到5.7.3与附录B有关内容的专利的使用。

本规范的发布机构对于该专利的真实性、有效性和范围无任何立场。

专利权利人已按要求向中国电子元件行业协会提交承诺书。对使用本规范时涉及上述专利的任何机构和个人，专利权利人许可如下：

专利权人或专利申请人同意在公平、合理、无歧视基础上，免费许可任何组织或者个人在实施该团体标准时实施专利。

专利及专利权人有关信息如下：

申请号或专利号：201420761489X

专利名称：高可靠热保护型压敏电阻器

专利权人：常州泰捷防雷科技有限公司

联系人：张琪

邮箱：1382009@qq.com

请注意除上述已经识别出的专利外，本规范的某些内容有可能涉及专利。本规范的发布机构不承担识别这些专利的责任。

中电元协团体标准报批公示稿





# 有可靠性指标的金属氧化物压敏电阻器总规范

## 1 范围

本规范规定了有可靠性指标的金属氧化物压敏电阻器(Metal Oxide Varistor, MOV)的性能要求,试验方法和质量评定程序。这些MOV安装在交流1000V(50/60Hz、有效值)以下或直流1500V以下的电源、通信及信号系统中,用来保护设备和人员免受高瞬态电压危害,提高被保护设备的抗扰度。

本规范适用于金属氧化物压敏电阻器,包括带有内置过热脱离器的热保护金属氧化物压敏电阻器(Thermal Disconnecter-protected Metal Oxide Varistor, TDMOV)。不适用于金属氧化物压敏电阻器与其他过电压保护元件构成的组件。

## 2 规范性引用文件

下列文件对于本规范的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅所注日期的版本适用于本规范。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本规范。

GB/T 2421.1-2008 电工电子产品环境试验 概述和指南(IEC 60068-1:1988, IDT)

GB/T 2423.1-2008 电工电子产品环境试验 第2部分:试验方法 试验A:低温(IEC 60068-2-1:2007, IDT)

GB/T 2423.2-2008 电工电子产品环境试验 第2部分:试验方法 试验B:高温(IEC 60068-2-2:2007, IDT)

GB/T 2423.3-2016 环境试验 第2部分:试验方法 试验Cab:恒定湿热试验(IEC 60068-2-78:2012, IDT)

GB/T 2423.4-2008 电工电子产品环境试验 第2部分:试验方法 试验Db 交变湿热(12h+12h循环)(IEC 60068-2-30:2005, IDT)

GB/T 2423.5-1995 电工电子产品环境试验 第二部分:试验方法 试验Ea和导则:冲击(IEC 60068-2-27:1987, IDT)

GB/T 2423.10-2008 电工电子产品环境试验 第2部分:试验方法 试验Fc:振动(正弦)(IEC 60068-2-6:1995, IDT)

GB/T 2423.21-2008 电工电子产品环境试验 第2部分:试验方法 试验M:低气压(IEC 60068-2-13:1983, IDT)

GB/T 2423.22-2012 环境试验 第2部分:试验方法 试验N:温度变化(IEC 60068-2-14:2009, IDT)

GB/T 2423.28-2005 电工电子产品环境试验 第2部分:试验方法 试验T:锡焊(IEC 60068-2-20:1979, IDT)

GB/T 2423.32-2008 电工电子产品环境试验 第2部分:试验方法 试验Ta:润湿称量法可焊性(IEC 60068-2-54:2006, IDT)

GB/T 2423.60-2008 电工电子产品环境试验 第2部分:试验方法 试验U:引出端及整体安装件强度(IEC 60068-2-21:2006, IDT)

GB/T 2828.1-2012 计数抽样检验程序 第1部分:按接收质量限(AQL)检索的逐批检验抽样计划(ISO 2589-1:1999, IDT)

GB/T 5169.5-2008 电工电子产品着火危险试验 第5部分：试验火焰 针焰试验方法 装置、确认试验方法和导则（IEC 60695-11-5:2004, IDT）

GB/T 10193-1997 电子设备用压敏电阻器 第1部分：总规范（IEC 1051-1:1991, IDT）

GB/T 17626.2-2018 电磁兼容 试验和测量技术 静电放电抗扰度试验（IEC 61000-4-2:2008, IDT）

GB/T 18802.331-2007 低压电涌保护器元件 第331部分：金属氧化物压敏电阻（MOV）规范（IEC 61643-331:2003, IDT）

IEC 60068-2-45:1980 基本环境试验程序. 第2-45部分：试验：试验XA和指南：在清洗剂中浸渍（Basic environmental testing procedures - Part 2-45: Tests - Test XA and guidance: Immersion in cleaning solvents）

IEC 60068-2-58:2017 环境试验 第2-58部分：试验 试验Td-表面安装元器件用可焊性、耐金属化溶解和耐焊接热试验方法（Environmental testing. Part 2-58:Tests. Test Td: Test methods for solderability, resistance to dissolution of metallization and to soldering heat of surface mounting devices (SMD)）

IEC 61051-1:2018 电子设备用压敏电阻器 第1部分：总规范（Varistors for use in electronic equipment, Part 1: Generic specification）

IEC 61643-331:2017 低压电涌保护器元件 第331部分：金属氧化物压敏电阻器（MOV）性能要求和试验方法（Components for low-voltage surge protective devices - Part 331: Performance requirements and test methods for metal oxide varistors (MOV)）

### 3 术语和定义

GB/T 10193-1997与GB/T 18802.331-2007界定的以及下列术语和定义适用于本规范。

#### 3.1

**热保护金属氧化物压敏电阻器** thermally disconnecter-protected metal oxide varistor (TDMOV)

包含热脱离器的压敏电阻，热脱离器的功能是在MOV因功耗增大而过热时断开其电连接。

[改写IEC 61643-331:2017, 3.2.7]

#### 3.2 额定值与特性

##### 3.2.1

**失效前平均寿命时间** mean time to failure

**MTTF**

表征不可维修产品可靠性的基本指标，它等于在规定条件下，在一个规定观测期内，母体每百万元件小时数内出现的失效产品数。

[IEC 61643-331:2017 定义3.1.10]

### 3.2.2

暂时过电压 (TOV) 耐受时间 temporary overvoltage (TOV) withstanding duration

$t_{BR(I)}$

MOV承受暂时过电压时，热失控前的最小耐受时间。

[改写IEC 61051-1:2018, 定义3.25]

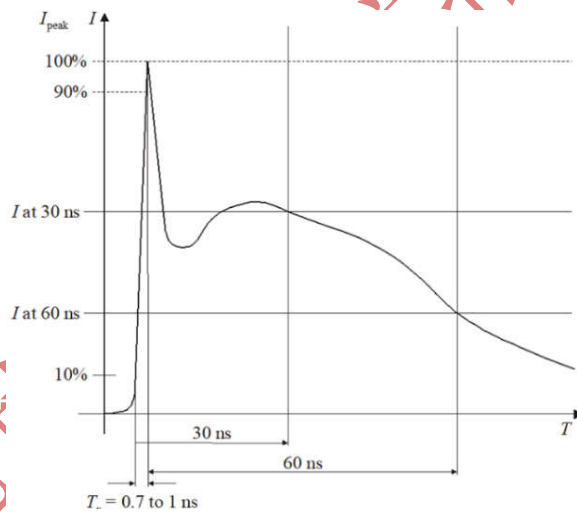
### 3.2.3

静电放电 (ESD) 限制电压 electrostatic discharge (ESD) limiting voltage

$V_{C(ESD)}$

<仅适用于防静电保护用表面贴装型压敏电阻器 (Surface Mount Varistor, SMV)>按照GB/T 17626.2-2018的规定，当30A/8kV ESD放电脉冲 (图1) 施加在MOV上时，它的两个端子上，在放电开始后30ns时刻的电压峰值。

[改写IEC 61051-1:2018, 定义3.15]



注：试验水平=4；指示电压=8kV； $I_{peak}=30A \pm 10\%$ ； $I_{(30ns)}=16A \pm 30\%$ ； $I_{(60ns)}=8A \pm 30\%$ 。

图1 30A/8kV ESD 放电脉冲波形图

## 4 工作及储存条件

### 4.1 工作及储存环境温度范围

工作环境温度范围：

- 正常：  $-5^{\circ}\text{C} \sim +55^{\circ}\text{C}$
- 扩展：  $-40^{\circ}\text{C} \sim +85^{\circ}\text{C}$

储存环境温度范围：

- 正常：-40℃~+85℃
- 扩展：-40℃~+125℃

TDMOV的储存环境温度范围：

- 正常：-40℃~+85℃
- 扩展：-40℃~+85℃

## 4.2 大气压范围

大气压范围为86kPa~106kPa。

## 4.3 相对湿度

正常：25℃下，5%~95%。

## 5 技术要求和试验方法

### 5.1 试验和测量的大气条件

若无另外规定，按照GB/T 2421.1-2008的规定执行：

- 温度：15℃~35℃；
- 湿度：25%~75%；
- 气压：86kPa~106kPa。

每项试验开始前和试验后的恢复应在标准大气条件下放置1h~2h。

### 5.2 外观、标志和尺寸

#### 5.2.1 外观

目视检验产品外观，确认产品的材料、设计、结构和加工质量，应符合技术规范和图纸的要求。

#### 5.2.2 标志

目视检验标志应清晰，符合图纸和技术规范的要求。

#### 5.2.3 尺寸

用精度不低于0.1mm的量具，检验外形尺寸和安装尺寸，应符合图纸和技术规范的要求。

### 5.3 等待工作状态的性能

#### 5.3.1 压敏电压 $V_N$

测试电源：直流恒流源，输出电流1mA，允许偏差±10%，电压纹波不大于1%。

试品上的测试电压应从低值上升到 $V_N$ 值，而不是从恒流源的最高值下降到 $V_N$ 。在施加测试电流20ms~100ms后读数，电压测量精度±0.5%，应分别测量正向和反向的数值。

测得的压敏电压值应在规定范围内。

#### 5.3.2 最大持续电压 $V_M$

MOV最大持续电压的符合性，通过漏电流测试（5.3.3），电压/温度耐久性试验（5.7.3）和电压-温度寿命试验（附录B）进行验证，三项试验都合格方可判定合格。

### 5.3.3 漏电流 $I_L$

用电压纹波不大于1%的直流电压源测量电流 $I_L$ 。

施加到试样上的测试电压 $V_{mt}$ 应符合式（1）的要求， $V_{mt}$ 的精度为千分之五。

$$V_{mt} = \frac{V_{M(DC)}}{0.9V_{N(0)}} \times V_{N(DUT)} \quad (1)$$

式中：

$V_{M(DC)}$  —— 被试品的最大持续直流电压；

$V_{N(0)}$  —— 被试品的标称压敏电压；

$V_{N(DUT)}$  —— 被试品的压敏电压实际值。

施加测量电压100ms后读取电流值，应分别测量正向和反向的数值。

电流读数值不应大于规定值，并且在施加测量电压的时间内，读数值不应有增大漂移现象。

### 5.3.4 电容量 $C_V$

试品准备：测试前48h内，试品不应有加电史。否则，试品应在85℃的温度中放置4h，再在室温中恢复2h，然后测量电容量。

测试信号：正弦电压1000Hz，信号电平不大于0.5V r.m.s.（SMV）或不大于1.0V r.m.s.（引线式）。

电容量的测量值不应大于规定值。

### 5.3.5 绝缘电阻 $R_{ins}$

本试验仅适用于绝缘型MOV。

采用金属球法测量绝缘电阻。所用金属球直径1.6mm，允许偏差±0.2mm，将电阻体埋入金属球中，仅将引出线（片）露出球外。金属球中插入一个电极，试品的所有引出线（片）连在一起作为另一个电极，测量电压加在这两个电极之间。

测试电压和时间：

— 若被测产品的绝缘耐压 $V_{ins} < 500V$ ，测量电压为直流100V，允许偏差±15V；

— 若 $V_{ins} \geq 500V$ ，测量电压为直流500V，允许偏差±50V。

施加测试电压60s后读取绝缘电阻值。

绝缘电阻的测量值的规定：

— 正常气候条件和1000h耐久性试验后不小于1000MΩ；

— 气候顺序试验和恒定湿热试验后不小于100MΩ。

### 5.3.6 绝缘耐电压 $V_{ins}$

本试验仅适用于绝缘型MOV。

按5.3.5的规定，用金属球法进行绝缘耐电压试验。

用工频电压源进行试验，电源容量不小于100W，电流大于2mA时自动切断试验电压，响应时间不大于20ms。

将工频试验电压加到两个电极上，以大约100V/s的速度上升到有效值2500V，在2500V保持60s，允许偏差±5s，之后下降到零。

试验中不应有击穿和闪络现象。

## 5.4 浪涌抑制性能

### 5.4.1 最高限制电压 $V_{CM}$

抽样要求：选取的试品的压敏电压接近公差范围的上限值，并记录实测值 $V_{Ni}$ 。

脉冲源的要求：脉冲源应输出8/20电流，波前时间 $8\mu s$ ，允许偏差±10%，不规定半峰值时间的允许偏差，电流峰值应调整到试品标称放电电流允许偏差±5%以内。

测量：分别测试每只试品的限制电压 $V_{Ci}$ ，测试中不应有击穿和闪络现象。

计算：根据式（2）分别计算试品的限压比：

$$R_{Ci} = V_{Ci}/V_{Ni} \quad (2)$$

式中：

$R_{Ci}$ ——第*i*只试品的限压比；

$V_{Ci}$ ——测得的第*i*只试品的限制电压；

$V_{Ni}$ ——第*i*只试品的压敏电压实测值

取其中的最大值 $R_{CMAX}$ ，应使： $R_{CMAX} \times 1.1V_N < V_{CM}$ 。

### 5.4.2 ESD 限制电压 $V_{C(ESD)}$

本试验仅适用于抑制静电脉冲用无引线的SMV。

除以下两点外，本项目的测试程序和方法按5.4.1的规定执行：

- 脉冲源输出的测试脉冲的波形和幅值应符合图1的要求。将该测试脉冲施加在SMV的两个端子上，用示波器测量距离脉冲起点30ns处的端子间电压值 $V_{Ci}$ 。
- 计算得到的母体最高ESD脉冲限制电压 $V_{C(ESD)MAX}$ ，不应大于规定的 $V_{C(ESD)}$ 值。

### 5.4.3 最高脉冲电压 $V_{PM}$

除下面两点外，本项目的测试程序和方法按5.4.1的规定执行：

- 测量脉冲为最大单次8/20脉冲电流 $I_{TM}$ ，允许偏差±5%。
- 计算得出的母体最高脉冲电压不应大于规定值 $V_{PM}$ 。

## 5.5 浪涌电流耐受能力

### 5.5.1 额定重复脉冲电流 $I_R$

初始测量：压敏电压。

脉冲源：采用工作在临界阻尼状态(回路衰减常数 $\alpha \approx 1$ )的C-L-R放电回路，调整回路匹配电阻和充电电压，使得流入试品的脉冲电流的电荷量 $Q$ （单位： $\mu C$ ）如式（3）所示，允许偏差±3%：

$$Q = I_R \times \tau \quad (3)$$

式中：

$\tau$ ——等效方波宽度。



试验：以技术规范规定的间隔时间和同一电流方向，对试品进行脉冲电流试验，试验中不应有击穿和闪络现象。10次冲击后，试品在室温中恢复10min。测量两个方向的压敏电压，不应低于初始测量值的90%。

注：对于10次冲击后没有失效的试品，接着继续试验到失效为止，确定失效前的寿命次数 $n_{ind}$ ，用于寿命分布计算，详见附录A。

### 5.5.2 额定脉冲平均功率 $P_M$

抽样要求：试品间压敏电压的偏差在1%以内。

初始测量：压敏电压。

试验装置：试验电源应输出工频正弦电压，谐波失真不大于5%，额定电流不小于0.2A，试验期间的电压稳定度0.5%。每只试品串联一只电流测量电阻 $R_Y$ ，其电阻值应使得在1mA电流时的电压，不大于试验电压的0.5%。 $R_Y$ 的准确度为 $\pm 2\%$ 。试验过程中测量 $R_Y$ 上的电压。

测量和试验：调整试验电源的输出电压，使得试品加电后0.5h的功率值为规定值 $P_M$ ，允许偏差 $\pm 5\%$ ，在以后的试验中保持该电压，波动不大于0.5%。

总试验时间为1000h，在0.5, 4, 24, 96, 200, 500, 750, 1000h时测量和记录每只试品的电流信号（ $R_Y$ 上的电压），不应超过产品的规定值。

试验过程中允许偶然断电，但断电总时间不应超过24h，断电时间不应计入1000h中。最后一次测量前的连续加电时间，不应少于100h。

1000h试验后，试品在室温下恢复1h~2h，测量两个方向的压敏电压，不应低于初始测量值的90%。

注：现行的MOV技术标准中规定了两种试验 $P_M$ 的方法，一种是进行规定次数和规定峰值的8/20脉冲电流试验，其平均功率为规定值 $P_M$ ，另一种是施加工频电压，其平均功率为规定值 $P_M$ ，试验1000h。本规范进行工频电压试验。

### 5.5.3 单次脉冲最大能量 $W_{TM}$

抽样要求：试品间压敏电压的偏差在1%以内。

初始测量：压敏电压。

预试验：目的是确定2ms脉冲源的充电电压，方法是将1只预备试品接入2ms脉冲源，以进行2ms脉冲寿命特性试验的电流峰值放电一次，用示波器记录电流电压波形，通过积分计算出实际能量值，比较它对于额定能量 $W_{TM}$ 的偏差，修正发生器的充电电压，达到 $W_{TM}$ 偏差不超过5%的要求。

试品试验：将脉冲源充电到预试验所确定的充电电压，分别对3只试品各放电一次。不应有击穿和闪络现象。放电结束后试品在室温中恢复1h。

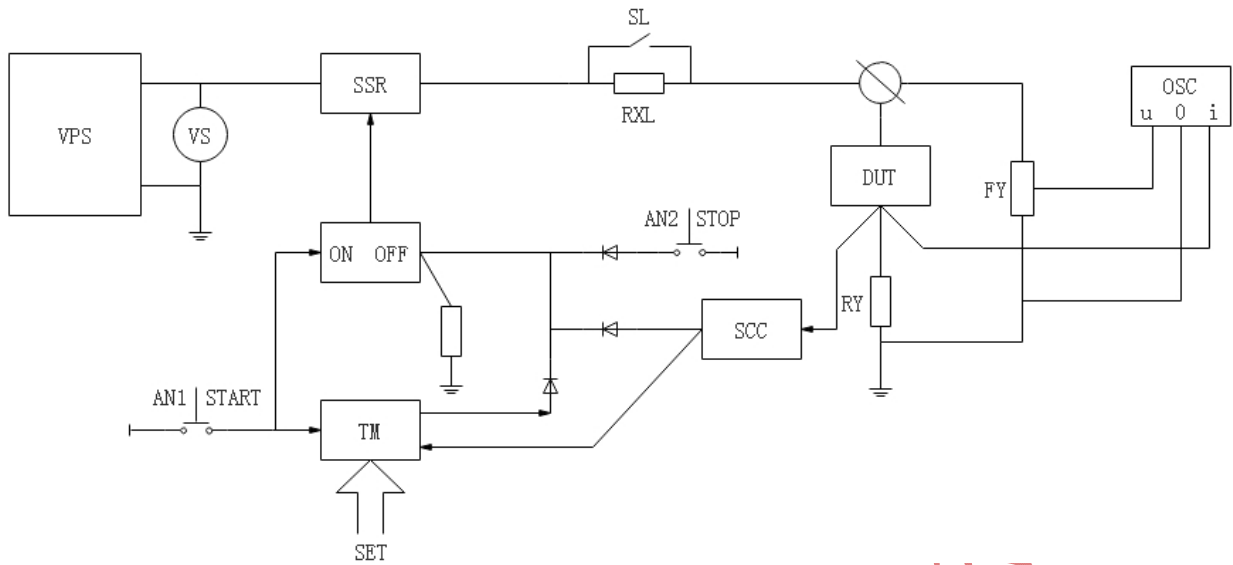
试验后测量压敏电压不应低于初始测量值的90%。

注：现行的MOV技术标准中，规定采用10/1000指数波脉冲电流，或等效方波宽度 $\tau = 2000 \mu s$ 的脉冲电流。本规范采用后者，与脉冲寿命特性测定相一致。

## 5.6 TOV 耐受特性

### 5.6.1 TOV 试验装置

该项试验适用于电源保护类MOV。图2的试验装置，用于5.6.2，5.6.3，5.6.4 三项试验。



图例：

- VPS —— 可调电压源（直流、交流）
- AN1 —— “开始” 按键
- AN2 —— “停止” 按键
- VS —— 电压表
- RY —— 电流测量电阻
- SCC —— 短路控制器
- ON/OFF —— 通/断控制电路
- SL —— 短路条
- TM —— 定时器
- FY —— 分压器
- RXL —— 限流电阻
- OSC —— 示波器
- SSR —— 固态继电器
- DUT —— 被测试件

注：VPS的输出电压应满足DUT的要求，额定输出电流不小于5A, 输出电压稳定度不低于1%。

图2 TOV 试验装置电路图

### 5.6.2 TOV 耐受时间 $t_{BR(I)}$

试验步骤：

- 试品接入试验装置“DUT”，短路条SL将限流电阻RXL短接。
- 调整试验电压：将电压源VPS输出电压调整到大约为“1.2倍试品标称压敏电压”，定时器TM设定为30ms~50ms，按一次“开始”按键，观测示波器的电流值对于要求值 $I_{TOV}$ 的偏差，然后，微调电压源的输出电压，再按一次“开始”按键。通过几次调整，使流过试样的电流对于要求值 $I_{TOV}$ 的偏差不大于±5%。
- 击穿前耐受时间试验：定时器TM设定为最大值（远大于试品的耐受时间），按一次“开始”按键，试验电流流入DUT，当它热击穿时，控制器SCC关断加到DUT试验电压。记录TM的时间值。试验后，每只试品的耐受时间都应不小于规定值。



注：在一个检验周期内所抽取的试品，应以大体相同的数量，分别进行 $t_{BR(0.2)}$ 、 $t_{BR(0.5)}$ 、 $t_{BR(1)}$ 、 $t_{BR(2)}$ 、 $t_{BR(5)}$ 的试验，即分别在 $I_{TOV} = (0.2、0.5、1.0、2.0、5.0)$  A 测试击穿前耐受时间。

### 5.6.3 TOV 耐受特性

收集在同一时间周期内，按5.6.2所进行的同一类MOV的  $t_{BR(0.2)}$ 、 $t_{BR(0.5)}$ 、 $t_{BR(1)}$ 、 $t_{BR(2)}$ 、 $t_{BR(5)}$ 试验值，每一 $I_{TOV}$ 电流的耐受时间数列。

计算数列的中位时间。

建立耐受时间中位值对于 $I_{TOV}$ 的拟合方程 $t_{BR} = f(I_{TOV})$ 。

注：若无特别规定，耐受次数为中位值 $n_{0.5}$ ，使用方有要求时为最小值 $n_{min}$ ，持续时间 $\tau$ 的范围为20ms~20s。

### 5.6.4 TDMOV 的最大 TOV 安全脱离时间 $t_{dis(I)}$

按5.6.2规定的试验装置和试验方法测试脱离时间，要求是最大脱离时间不大于规定值。

### 5.6.5 TDMOV 的脱离特性

按5.6.3规定的试验方法测试TDMOV的脱离特性，但应建立脱离时间中位值对于 $I_{TOV}$ 的拟合方程 $t_{dis} = f(I_{TOV})$ 。

## 5.7 工作寿命和可靠性

### 5.7.1 脉冲寿命特性

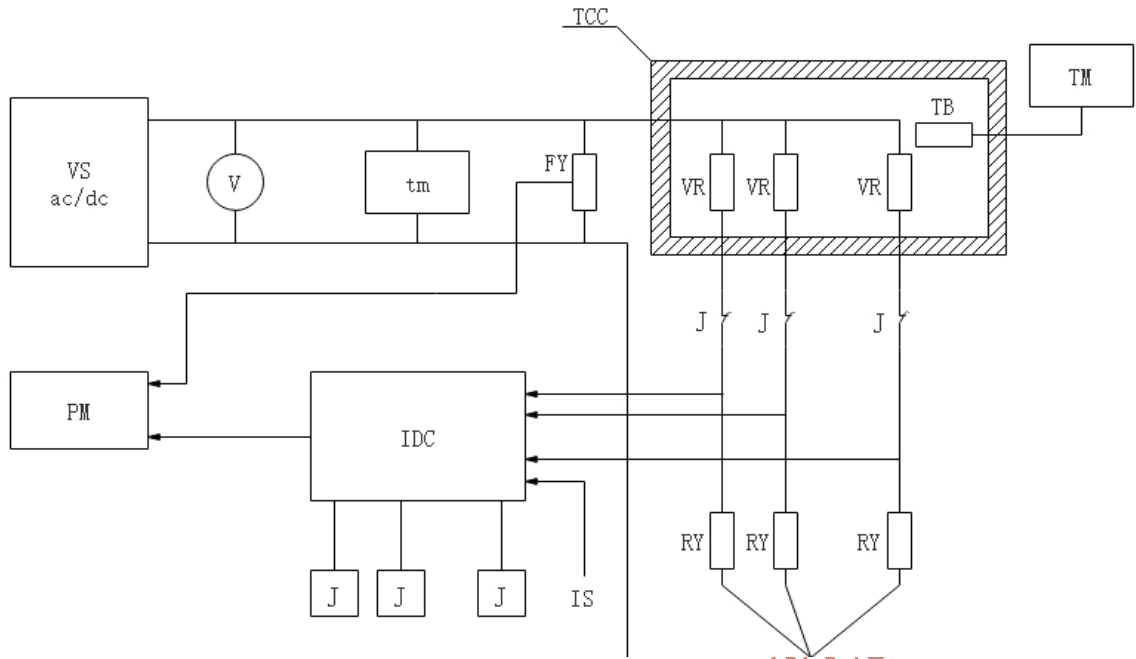
按附录A测定和计算MOV脉冲寿命特性 $n = f(I_p, \tau)$ 。

### 5.7.2 电压/温度寿命

按附录B测定和计算电压/温度应力寿命。

### 5.7.3 电压/温度耐久性

试验装置：见图3。



图例：

- VS ——可调电压源 (ac/dc)
- V ——电压表
- tm ——试验时间累加器
- FY ——试验电压分压器
- TCC ——恒温试验箱
- TB ——温度传感器
- TM ——温度表
- VR ——被测压敏电阻
- RY ——电流测量电阻
- IDC ——电流测量/超流控制器
- PM ——试品功率表
- IS ——电流上限设定
- J ——继电器 (试品电流超过设定值时，断开加在VR上的试验电压)

图3 电压-温度应力试验装置

初始测量：测量压敏电压。

抽样要求：试品间 $V_N$ 的差别不大于1%，平均值记为 $V_{N(av)}$ 。

调整试验电压 $V_t$ ，应符合式(4)的要求：

$$V_t = \frac{V_{N(av)}}{0.9V_{N(0)}} \times V_M \quad (4)$$

式中：

$V_{N(0)}$  ——试品的标称压敏电压；

$V_M$  ——试品的最大持续电压 ( $V_{M(DC)}$ 或 $V_{M(AC)}$ )。

调整试验箱温度和设定最大允许试品电流，箱温调整到试品的最高工作温度，允许偏差±2K，设定最大允许试品电流（图3“IS”）到规定值（例如，初始值的1.5倍）。

试验的中间测量：

试品试验1000h，在0.5，4，24，96，200，500，750，1000h时测量和记录每只试品的功率值或电流值。试验中若出现超流继电器切断试验电压，则判定该试品失效。

试验过程中允许偶然断电，但断电总时间不应超过24h，断电时间不应计入1000h中。最后一次测量前的连续加电时间，不应少于100h。

试验后恢复：

1000h试验后试品在室温下恢复1h~2h。

恢复后测量：

两个方向的压敏电压，应大于初始测量值的0.9倍，否则，判定试品失效。

合格判定：

试验过程中和试验后的总失效数不应超过规定值。

注：1000h以后，若有必要，可以继续试验，为评定电压/温度应力寿命累积数据。

#### 5.7.4 ESD 脉冲耐受能力

本试验仅适用于SMV。

SMV型MOV应能耐受10次8kV/30A-ESD脉冲放电。

试验方法：

— 初始测量：测量压敏电压。

— ESD脉冲放电试验：以8kV/30A-ESD放电脉冲，对每只试品重复冲击10次，单方向，间隔时间1s。试验中不应有击穿和闪络现象。

恢复和试验后检查：试验后的试品在室温下恢复0.5h，外观检查无损伤，测量压敏电压，不应低于初始测量值的90%。

#### 5.8 机械试验

##### 5.8.1 引出端强度

###### 5.8.1.1 引线式引出端

试验前测量压敏电压。试验后外观检查不应有损坏现象，测量压敏电压相对于初始测量值的变化不应超过规定值。

按GB/T 2423.60-2008的规定，进行拉力试验（Ua1），弯曲试验（Ub）和扭转试验（Uc）。

— 拉力试验（Ua1）

拉力按表1的规定，作用时间1min。

— 弯曲试验（Ub）

试验方法：方法2，在同一方向上连续进行两次弯曲。（弯曲倾斜角度大约90°）

本试验不适合于产品技术规范定义的刚性引出端。

— 扭转试验（Uc）

试验方法：方法1，严酷度2，扭转180°，扭转两次（正反交替进行）。

本试验不适合于产品技术规范定义的刚性引出端，和安装到印制电路板的单方向引出端。

表1 引线型引出端拉力

引线截面积的名义值 (mm <sup>2</sup> )	圆截面引线的直径 (mm)	拉力 (N)
0.07 < S ≤ 0.2	0.3 < d ≤ 0.5	5
0.2 < S ≤ 0.5	0.5 < d ≤ 0.8	10
0.5 < S ≤ 1.2	0.8 < d ≤ 1.25	20

### 5.8.1.2 引片式引出端

试验前测量压敏电压。试验后外观检查不应出现损坏现象，测量压敏电压相对于初始测量值的变化不应超过规定值。

按GB/T 2423.60-2008的规定，进行拉力试验 (Ua1)。

— 拉力试验 (Ua1)：拉力40N，作用时间1min。

### 5.8.1.3 螺柱和螺丝端子

试验前测量压敏电压。试验后外观检查不应有损坏现象，测量压敏电压相对于初始测量值的变化不应超过规定值。

按GB/T 2423.60-2008的规定，进行转矩试验 (Ud)。

所加转矩按表2所示。

表2 螺柱和螺丝端子的转矩

螺纹直径 (mm)	2.5	3	3.5	4	5	6
扭矩 (Nm)	0.4	0.5	0.8	1.2	2.0	2.5

### 5.8.1.4 SMV 的引出端头

SMV的引出端头应进行下面规定的试验：

#### a) 推力试验：

试验前测量：压敏电压；

将SMV焊在基板上（图4），将表3规定的推力，平稳地加在试品上，保持5s±1s；

试验后外观检查不应有损坏现象，测量压敏电压，相对于初始测量值的变化不应大于±5%。

#### b) 基板弯曲试验：

试验前测量：压敏电压；

按GB/T 2423.60-2008的规定进行试验 (Ue1)，将SMV焊在基板上（图5），将基板弯曲2mm，共10次；

试验后外观检查不应有损坏现象，测量压敏电压，相对于初始测量值的变化不应大于±5%。

表3 SMV端头试验的作用力和基板尺寸

尺寸规格	1005 (0402)	1608 (0603)	2012 (0805)	3210 (1206)	3225 (1210)	4532 (1812)	5750 (2220)
推力 P (N)	5	5	10	10	10	15	15
尺寸 b (mm)	0.5	1.0	1.2	2.2	2.2	3.2	4.0
尺寸 b <sub>1</sub> (mm)	0.5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.5

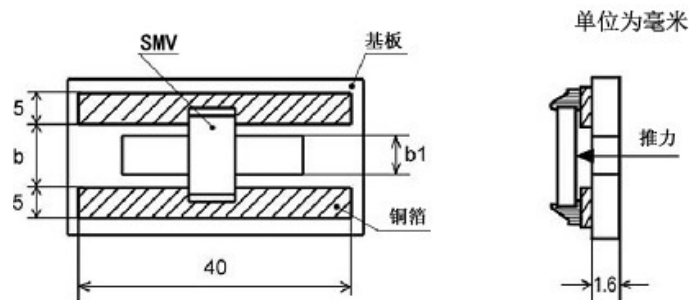


图4 SMV引出端推力试验用基板和推力

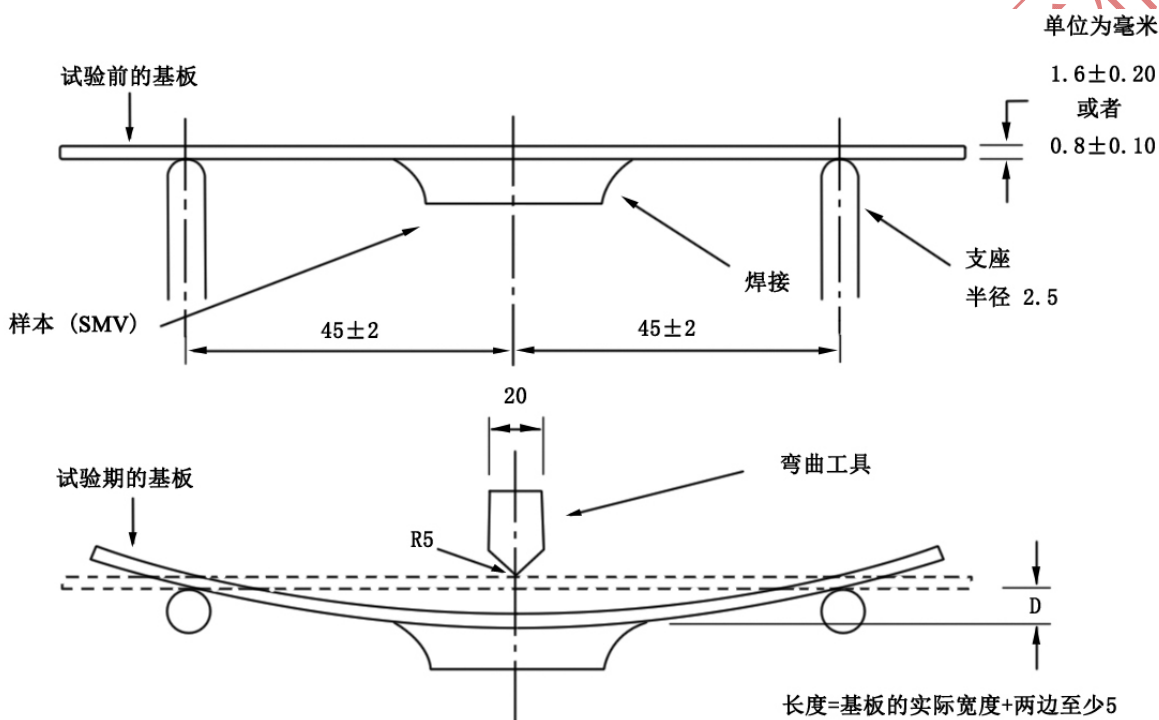


图5 SMV引出端基板弯曲试验用基板和推力

### 5.8.2 机械冲击

MOV按下述规定经受机械冲击试验，试验前测量压敏电压。机械试验后外观检查不应有损坏现象，测量压敏电压，相对于试验前测量值的变化，不应超过规定值。

按GB/T 2423.5-1995的规定，进行试验（Ea）：

- 按技术规范的规定，将MOV安装在试验夹具上；
- 冲击波形：6ms的半正弦脉冲波；
- 冲击加速度：400m/s<sup>2</sup>；
- 冲击次数：4000次。

### 5.8.3 振动

MOV按下述规定经受正弦振动试验，在扫频过程中没有谐振现象，试验前测量压敏电压。试验后外观检查不应有损坏现象，测量压敏电压相对于试验前测量值的变化，不应超过规定值。

按GB/T 2423.10-2008的规定，进行试验（Fc）正弦振动试验：

- 按技术规范的规定，将MOV安装在试验夹具上；
- 频率：10Hz~55Hz~10Hz；
- 加速度：98m/s<sup>2</sup>，或振幅0.75mm，取严酷度低者；
- 循环10次。

### 5.9 焊接和耐溶剂试验

#### 5.9.1 引出端可焊性

##### 5.9.1.1 引线（片）式引出端

按GB/T 2423.32-2008的规定，进行试验（Ta），方法1，焊槽法。应符合下面的要求：

- 试验前测量：压敏电压；
- 浸入深度（距离元件本体）：引出线——2mm，引出片——3.5mm；
- 试验引出线时应使用厚度1.5mm，允许偏差±0.5mm的隔热板；
- 浸入焊槽的时间：2s，允许偏差±0.5s；
- 焊料温度：Pb-Sn焊料235℃，允许偏差±5K；无铅焊料260℃，允许偏差±5K；
- 恢复时间：室温1h；
- 试验后测量：压敏电压相对于试验前测量值的变化不大于±5%；
- 目视检查：引出端表面至少95%的表面积覆盖有新的光滑的焊料，其余5%允许有针孔和粗糙斑点，但不应集中在一处。在有争议时，应实测针孔或粗糙斑点的面积与总面积的比来确定。

##### 5.9.1.2 SMV 的引出端

按IEC 60068-2-58:2017的规定，进行试验（Td），并符合下面的要求：

- 试验前测量：压敏电压；
- 焊接时间：4s，允许偏差±1s；
- 恢复时间：室温24h，允许偏差±2h；
- 试验后测量：压敏电压相对于试验前测量值的变化不大于±5%；
- 目视检查：焊料浸润引出端的面积不少于80%，检查时使用（4~10）倍的放大镜。

#### 5.9.2 耐焊接热

##### 5.9.2.1 引线（片）式 MOV 的耐焊接热

按GB/T 2423.28-2005的规定，进行试验（Tb），方法1，焊槽法，并符合下面的要求：

- 试验前测量：压敏电压；
- 浸入深度（距离电阻体）：引出线——2mm，引出片——3.5mm；
- 浸入焊槽的时间：5s，允许偏差±0.5s；

- 焊料温度：Pb-Sn 焊料260°C，允许偏差±5K；无铅焊料260°C，允许偏差±5K；
- 恢复时间：室温1h；
- 试验后测量：压敏电压相对于试验前测量值的变化不大于±10%。
- 目视检查无损伤，标志清晰。

#### 5.9.2.2 SMV 型 MOV 的耐焊接热

按IEC 60068-2-58:2017的规定，进行试验（Td2），方法1，焊槽法，并符合下面的要求：

- 试验前测量：压敏电压；
- 焊接时间：10s；
- 恢复时间：室温24h，允许偏差±2h；
- 试验后测量：压敏电压相对于试验前测量值的变化不大于±10%；
- 使用（4~10）倍的放大镜检查应无损伤。

#### 5.9.3 标志耐溶剂

按IEC 60068-2-45:1980的规定，进行试验（XA），并符合下面的要求：

- 溶剂：按IEC 60068-2-45:1980的3.1.1规定；
- 溶剂温度：23°C，允许偏差±5K；
- 预处理：方法1（擦拭），擦拭材料：棉布；
- 试验后外观检查，标志应保持清晰。

#### 5.9.4 元件耐溶剂

按IEC 60068-2-45:1980的规定，进行试验（XA），并符合下面的要求：

- 试验前测量：压敏电压；
- 溶剂：按IEC 60068-2-45:1980的3.1.1规定；
- 溶剂温度：23°C，允许偏差±5K；
- 预处理：方法2（不擦拭）；
- 恢复时间：4h；
- 试验后测量：压敏电压相对于试验前测量值的变化不大于±10%。

### 5.10 气候试验

#### 5.10.1 温度变化

按GB/T 2423.22-2012的规定，进行试验（Na），并符合下面的要求：

- 初始测量：压敏电压；
- 五次温度循环试验，每次循环包括：
  - 温度：-40 °C，允许偏差±3K；保持时间：30min，允许偏差±3min；
  - 转换时间小于10s；
  - 温度：+85 °C，允许偏差±2K；保持时间：30min，允许偏差±3min；
  - 转换时间小于10s。
- 恢复：室温下保持（1~2）h；
- 试验后检查：



- 测量压敏电压，相对于试验前测量值的变化不大于 $\pm 5\%$ 。
- 按5.2.1检查，外观无损伤，标志清晰。

### 5.10.2 气候顺序

试验前测量：压敏电压

气候顺序试验：

- 高温：GB/T 2423.2-2008的试验（Bb），在规定的最高工作温度保持16h；
- 交变湿热第1周期：GB/T 2423.4-2008试验（Db）第1周期：24h，温度 $55^{\circ}\text{C}$ （严酷度b），类型1；
- 低温：GB/T 2423.1-2008的试验（Ab），在规定的最低工作温度保持2h；
- 低气压：GB/T 2423.21-2008的试验（M），严酷度等级按规定，温度 $15^{\circ}\text{C}\sim 35^{\circ}\text{C}$ ，持续时间1h；
- 交变湿热的剩余5个周期，每个周期24h，温度 $55^{\circ}\text{C}$ （严酷度b），类型1。

注：任意两项之间最多间隔3天，但低温试验必须紧随Db试验的第1周期。

试验后的恢复：标准大气条件下，恢复1h~2h。

恢复后的测量和检查：

- 外观检查：无损伤，标志清晰；
- 试验后压敏电压相对于试验前测量值的变化不超过 $\pm 10\%$ ；
- 对于绝缘型MOV，试验后按5.3.5规定方法测得的绝缘电阻应不小于 $100\text{M}\Omega$ ；
- 对于绝缘型MOV，试验后应进行5.3.6的绝缘耐电压试验，不应有击穿和闪络现象。

### 5.10.3 恒定湿热

按GB/T 2423.3-2016的规定，进行试验（Cab）所规定的恒定湿热试验。

试验前测量：压敏电压；

恒定湿热试验：

- 试品的一半不加电压，另一半施加10%的最大连续直流电压；
- 试验箱的温度、湿度和试验持续时间应符合技术规范的规定。若没有规定，则温度为 $40^{\circ}\text{C}$ ，允许偏差 $\pm 2\text{K}$ ，湿度为93% R.H，允许偏差 $\pm 3\%$  R.H，持续时间500h。

恢复：在室温中恢复 1h~2h；

恢复后的测量和检验：

- 外观检查：无损伤，标志清晰；
- 绝缘电阻不应小于产品技术规范的规定，若无规定则不应小于 $100\text{M}\Omega$ ；
- 测量压敏电压，相对于初始测量值的变化不超过 $\pm 10\%$ 。

## 5.11 封装的安全性

### 5.11.1 涂覆封装的针状火焰试验

涂覆封装的MOV，按下述试验参数，经受GB/T 5169.5-2008的针状火焰试验，要求火焰撤除后30s内燃烧能自熄。

试验参数：

- 火焰施加部位：元件本体的侧面；
- 火焰施加时间：5s。



## 6 质量评定程序

### 6.1 鉴定批准

6.1.1 本规范作为完整的质量评定体系文件使用时，鉴定批准试验和质量一致性检验，应符合6.4和6.5的规定。

6.1.2 在设计检验或定型试验时，可以采用6.4.1或6.4.2的程序和要求，但各项试验及试验的各部分，应按试验一览表中给定的顺序进行。

### 6.2 初始制造阶段

压敏电阻器的初始制造阶段是配料组分的混合。

### 6.3 结构相似元件

在本规范规定的范围内的MOV，只要满足下列要求，就可以作为结构相似的元件而组合在一起，以形成检验批。

- a) 它们应当是由同一个制造厂在同一个地点使用基本相同的设计、材料、工艺和方法生产的产品。
- b) 对于电气试验，只要所有相关元件中决定其性能的基片是相似的，因而具有同样的电特性，就可以将它们组合在一起。
- c) 在环境试验中，只要元件的封装、基本内部结构和表面涂层工艺相同，就可以将它们组合在一起。
- d) 在外观检验中（标志除外），如果元件由同一生产线制造，且有相同的尺寸、封装和外涂层，就可以将它们组合在一起。

这种组合方法还可以用于引出端强度试验和焊接试验，在这些试验中，可以把内部结构不同的元件（见c项）组合在一起

e) 对于耐久性试验，如果元件是相同的工艺，在相同的场地，使用相同的设计生产的，而只是在电性能上有所不同的话，就可以将它们组合在一起。如果能够证明对这种组合中某一个型号元件所施加的应力比其他型号元件更严酷，就可以承认这个型号的试验结果能同时代表该元件的其他型号。

如果能够证明，在同一组合中，对于某一种型号的试验应力比其他型号严酷，那么对该型号的试验结果，可以代表其它型号。

### 6.4 鉴定批准程序

6.4.1 制造方应遵守6.2规定的初始制造阶段的要求。

6.4.2 除6.4.1的要求外，还应采用下述程序a)或程序b)。

- a) 制造方按固定样本大小试验一览表（见表4）进行试验，证明产品符合本规范的要求。样品从现行生产的产品中随机抽取。
- b) 制造方应在尽可能短的时间内，进行三个批次的逐批检验（见表5）以及一个批次的周期检验（见表6），证明产品符合本规范的要求。在抽取这些检验批期间，制造工艺应无重大变化。当样本大小适于允许失效数为0的规则接收时，应增加样品，以满足按允许失效数为1的规则接收所需的样本大小

6.4.3 鉴定批准作为质量评定体系的一部分，应通过定期的质量一致性检验并合格来维持。

## 6.5 基于固定样本大小试验的鉴定批准

### 6.5.1 抽样

基于固定样本大小试验的鉴定批准的样本，应能代表申请批准的产品的各种特性值的范围，这个范围可以是也可以不是技术规范所包括的整个范围，不同特性的样品的比例应由制造方总检查员提出。

鉴定批准试验一览表中增加试验组时，“0组”试验数应按增加的试验组所要求的样品数来增加。

### 6.5.2 试验

对于技术规范所包括的鉴定批准，表4中规定的全部试验是必要的。每项试验应按规定的顺序进行。

全部样品都应经过“0组”试验，然后再分到其他各组。0组试验中发现不合格的样品，不能用于其他各组。

一个样品不能满足某一试验组的全部或部分试验要求时，算作“一个不合格品”。

当不合格品数不超过每个组或每个分组的允许不合格品数，并且不超过总的允许不合格品数时，应给予鉴定批准。

## 6.6 质量一致性检验

### 6.6.1 总则

质量一致性检验按逐批检验（见表5）以及周期检验（见表6）进行，证明产品符合本规范的要求。

### 6.6.2 逐批检验

逐批检验按照表5执行。

表4 基于固定样本大小试验的鉴定批准试验一览表

检验分组	检验项目	D 或 ND (见注 2)	样本大小和合格判定数 (见注 2)			要求和试验方法
			n	C	t	
0 组	外观 标志 尺寸 电容量 压敏电压 直流漏电流	ND	89+4	1	1	5.2.1 5.2.2 5.2.3 5.3.4 5.3.1 5.3.3
1 组	额定脉冲电流 ( $I_{R(20)}$ ) ESD 脉冲耐受能力 (SMV) 引出端可焊性 (适用时) 标志耐溶剂性 (适用时)	D	8	1	2	5.5.1 5.7.4 5.9.1 5.9.3
2 组	最高限制电压 ESD 限制电压 (SMV) 元件抗溶剂性	D	8	1		5.4.1 5.4.2 5.9.4
3 组	机械冲击 正弦振动 额定脉冲电流 ( $I_{R(200)}$ )	D	8	1		5.8.2 5.8.3 5.5.1
4 组	引出端强度 (引线拉力、弯曲、扭转各 3 只) 额定脉冲电流 ( $I_{R(2k)}$ )	D	9	1		5.8.1 5.5.1
5 组	温度变化试验 耐焊接热 着火危险性	D	8	0	0	5.10.1 5.9.2 5.11.1
6 组	单次脉冲最大能量 最高脉冲电压	D	8	0	1	5.5.3 5.4.3
7 组	气候顺序	D	8	1		5.10.2
8 组	恒定湿热	D	8	1		5.10.3
9 组	额定脉冲平均功率	D	8	1	1	5.5.2
10 组	上限类别温度耐久性	D	8	1		5.7.3
11 组	TOV 耐受时间 TOV 脱离时间 (TDMOV) 脉冲寿命 电压温度寿命	D	8	0	0	5.6.2 5.6.4 按附录 A 按附录 B

注 1: 脉冲寿命和电压温度寿命“n”、“c”、“t”值, 未列入表中, 分别按本规范附录 A 和附录 B 进行。

注 2: D ——破坏性的;  
ND——非破坏性的;  
n ——样本大小 ;  
C ——组的合格判定数 (每组或每分组的允许不合格品数);  
t ——总的合格判定数 (一个组或若干个组总的允许不合格品数)。

表5 逐批检验一览表

试验分组	检验项目	D或ND (见注)	IL (见注)	AQL (见注)	要求和试验方法
A1	外观 标志	ND	II	1.0	5.2.1 5.2.2
A2	电容量 压敏电压 直流漏电流	ND	II	0.65	5.3.4 5.3.1 5.3.3
A3	尺寸	ND	S4	1.0	5.2.3
B1	额定脉冲电流 ESD脉冲耐受能力 (SMV) 可焊性 (适用时) 标志耐溶剂性 (适用时)	D	S3	2.5	5.5.1 5.7.4 5.9.1 5.9.3
B2	最高限制电压 ESD限制电压 (SMV)	D	S2	1.0	5.4.1 5.4.2
B3	TOV耐受时间 TOV脱离时间 (TDMOV)	D	S3	2.5	5.6.2 5.6.4
注: D ——破坏性的; ND ——非破坏性的; IL ——检验水平; AQL ——接收质量限。					

逐批检验出现不合格时应分析原因, 通过返工或筛选去除不合格品后, 重新提交进行相关项目的检验试验。二次试验仍然不合格时, 判定该批不合格, 相关产品应隔离, 不能按本规范交货, 但经使用方同意允许降额使用。

### 6.6.3 周期检验

周期检验按照表6执行。

如样品未能通过周期检验, 则制造方应将检验结果通知使用方, 并按所作的保证对材料或工艺或对两者采取纠正措施, 同时还应对能够被纠正的、用基本相同的材料和工艺, 在基本相同的条件制造的, 并认为属于相同失效机理的所有产品采取纠正措施。在采取使用方可接受的纠正措施之前, 应停止产品的验收和装运。在采取了纠正措施之后, 应用追加样品重新进行周期检验。逐批检验可以重新进行, 但是在周期复验表明纠正措施是成功的之前应拒绝最后的验收。

表6 周期检验表

检试验分组	检验项目	D 或 ND (见注 2)	周期 P(月)	样本大小 (n)	合格判定 数 (C)	要求和试验方 法
C1	绝缘电阻 (绝缘型)	D	6	13	1	5.3.5
	绝缘耐电压 (绝缘型)					5.3.6
	最高脉冲电压					5.4.3
	元件抗溶剂性					5.9.4
	耐焊接热					5.9.2
C2A	电压温度耐久性	D	12	13	1	5.7.3
C2B	额定脉冲平均功率	D	12	13		5.5.2
C3	机械冲击	D	12	13	1	5.8.2
	正弦振动					5.8.3
	单次脉冲最大能量					5.5.3
	着火危险性					5.11.1
C4	TOV 耐受特性	D	12	27	1	5.6.3
	TOV 脱离特性					5.6.5
	引出端强度					5.8.1
C5	温度变化	D	12	13	1	5.10.1
D1	气候顺序	D	24	13	1	5.10.2
D2	恒定湿热	D	24	13		5.10.3
	脉冲寿命	D	12			本规范附录 A
	电压温度寿命	D	12			本规范附录 B
<p>注 1: 脉冲寿命和电压温度寿命 “n” 和 “c” 值, 未列入表中, 分别按本规范附录 A 和附录 B 进行。</p> <p>注 2: D ——破坏性的;                      ND——非破坏性的;                      P——周期(月);                      n——样本大小;                      C——合格判定数。</p>						

## 7 应用参考特性和参数

制造方应向用户提供压敏电阻器应用中必要的, 但未列入检验程序的特性和参数, 例如伏安特性等。这些特性和参数可以表示为数学方程, 特性曲线, 数据表格等。它们的测试方法列入附录C。

附 录 A  
(规范性附录)  
MOV 脉冲寿命的评定程序和方法

### A.1 概述

本附录给出了MOV脉冲寿命试验的方法和依据寿命试验得出的数据,建立脉冲寿命基本特性方程的方法,以及运用基本特性方程确定任意给定脉冲应力条件下的寿命特征量的方法。

MOV的脉冲寿命特性  $n = f(I_p, \tau)$ , 表示了一群被评定产品, 承受规定的脉冲电流应力(电流峰值 $I_p$ 、等效方波时间 $\tau$ ), 按照规定的失效判据判定的寿命次数( $n$ ), 与应力( $I_p, \tau$ ) 之间的数量关系。在没有特别规定的情况下, 此寿命次数为中位寿命 $n_{0.5}$ , 数值范围为  $10^1 \sim 10^6$ ,  $\tau$ 的数值范围为 $20\mu\text{s} \sim 10\text{ms}$ 。

### A.2 脉冲寿命试验的方法

#### A.2.1 抽样和样本

用于脉冲寿命试验的试品, 应是经过可靠性筛选, 剔除了有早期失效隐患的产品。

一项寿命试验的所有试品, 应是由同一制造者, 在同一生产地, 应用同样的瓷料配方, 基本相同的原材料和加工工艺所生产的产品, 压敏电压梯度的差别不大于 $20\text{V}/\text{mm}$ 。一项寿命试验的试品, 可以依据技术规范的规定, 包括几种不同的尺寸和标称压敏电压值。

若无特别规定, 一项寿命试验的试品总数为90只, 它们应随机地从试验所代表的不同尺寸、标称压敏电压和生产批次中选取。

全部试品分为6个试验组, 每组15只, 分别用于6个不同应力的试验。

试验前, 在每只试品上作试验电流流入方向的标记, 测量和记录初始压敏电压。

#### A.2.2 试验应力

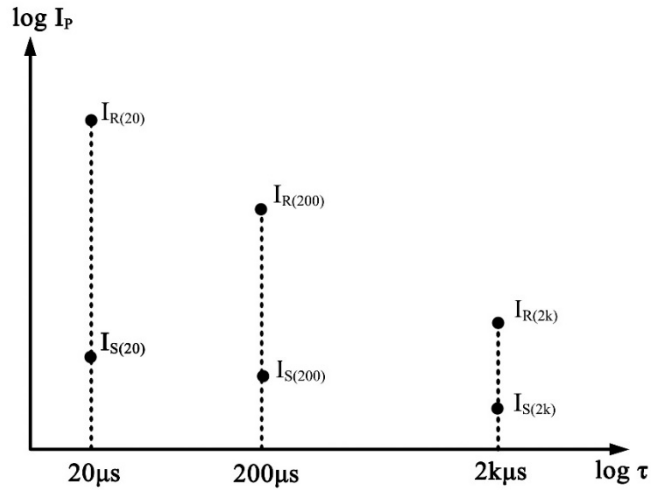
若无特别规定, 试验应力应符合以下规定, 见图A.1。

采用三种脉冲等效方波宽度 $\tau$ , 分别为 $20\mu\text{s}$ 、 $200\mu\text{s}$ 、 $2\text{ms}$ 。

每种脉冲采用2个不同的电流峰值 $I_R$  和 $I_S$ ,  $I_R$ 的数值应使中位寿命大体为10次,  $I_S$ 的数值应使中位寿命大体为1000次。

重复脉冲的间隔时间, 通过预先试验来确定, 要求保证试品最高表面温度, 低于规定的最高工作温度。

电流方向保持不变。



图A.1 脉冲寿命试验的6个电流应力

### A. 2. 3 试验的实施

#### A. 2. 3. 1 试验装置

脉冲的电荷量为:

$$Q_R = I_R \times \tau \quad (A.1)$$

$$Q_S = I_S \times \tau \quad (A.2)$$

试验装置应保证每次脉冲的电荷量偏差不得超过3%。为此，产生20μs、200μs 和2kμs 三种试验电流的脉冲形成回路，都采用工作在临界阻尼状态，即回路衰减常数(如式A.3所示)  $\alpha \approx 1$ 的C-L-R放电回路，见图A.2。

在试验操作中，通过调整匹配电阻 $r_s$ ，使回路阻抗与试品DUT的阻抗相匹配，即满足式(A.3)的要求，同时依据试品压敏电压( $V_N$ )，调整对于脉冲电容 $C_0$ 的充电电压 $U_{ch}$ ，使之满足式(A.4)的要求，以保证电荷量Q在要求值的±3%范围内。

$$\alpha = 0.5R\sqrt{C/L} \quad (A.3)$$

式中:

$R \approx R_V + r_s + r_0$ ;

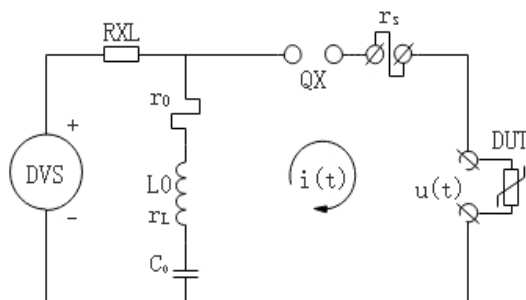
$r_0$  —— 接入回路的固定电阻;

$R_V$  —— 试样MOV的等效电阻。

按限制电压峰值对于脉冲电流峰值之比计算可得充电电压如式A.4所示:

$$U_{ch} = (Q/C) + 1.2V_N \quad (A.4)$$





图A.2 脉冲电流发生回路（20 $\mu$ s、200 $\mu$ s 和 2k $\mu$ s）

为了缩短试验时间，通常将试验装置设计为能轮流对多个试品进行试验的装置。

试验装置应有自动显示每次脉冲电荷量的功能，或测量示波器有电流波采样值，由操作人员计算出电荷量。

### A. 2. 3. 2 脉冲寿命试验失效判据

脉冲寿命试验中，试品发生以下三种故障的一种或几种时判定为失效：

- (1) 任何一个方向的压敏电压达到或低于该试品初始值的90%；
- (2) 试品陶瓷体击穿；
- (3) 试品陶瓷体开裂；
- (4) 陶瓷体侧面闪络。

注：脉冲寿命试验中封装层开裂，属于封装材料和封装工艺造成的缺陷，应采取针对性的改进措施，但不列入寿命分布数列。

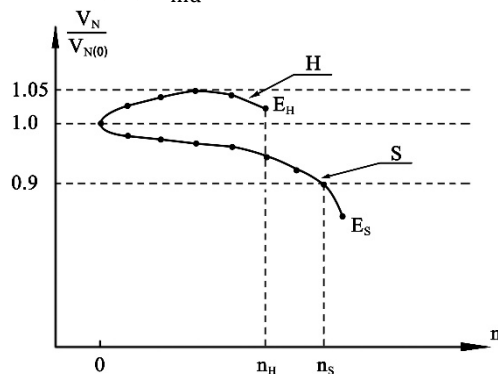
### A. 2. 3. 3 试验中测量和寿命次数判定

试验过程中应测量试品的压敏电压，刚开始试验时，测量的频度可以小一点，随着接近试品寿命终点，应加大测量频度。

试验一直进行到试品有一个方向的压敏电压下降超过10%，或发生击穿、闪络时终止。

MOV在脉冲寿命试验中的失效模式，有“软失效”（图A.3, 曲线“S”）和“硬失效”（图A.3, 曲线“H”）两种。图A.3表示了试品实测压敏电压 $V_N$ 对于初始值 $V_{N(0)}$ 的变化过程。软失效的特点是压敏电压逐步下降，越过90%倍初始值，试验终止点“ES”的压敏电压已低于90%初始值。在这种情况下，以 $(n_s - 1)$ 作为该试品的寿命次数 $n_{ind}$ 。

硬失效的特点是在压敏电压远高于90%初始值的试验点突然击穿或闪络。在这种情况下，以 $(n_H - 1)$ 作为该试品的寿命次数 $n_{ind}$ 。



图A.3 MOV在脉冲寿命试验中的失效模式

### A. 3 分析每个样本的失效分布，得出最小寿命 $n_{min}$ 和中位寿命 $n_{0.5}$



一个样本经脉冲寿命试验全部失效后，应接着分析计算寿命分布函数，得出最小寿命  $n_{\min}$  和中位寿命  $n_{0.5}$ 。

MOV的脉冲寿命分布符合Weibull函数，其累积失效概率  $F(n)$  符合式 (A.5) 数量关系的分布函数：

$$F(n) = 1 - \exp\left(-\frac{(n - n_{\min})^m}{n_0}\right) = \frac{S(n)}{S_T} \quad (\text{A. 5})$$

式中：

$n$  —— 脉冲次数；

$S_T$  —— 样本中试品的总数；

$S(n)$  —— 经  $n$  次脉冲作用后失效的试品总数；

$n_{\min}$  —— 母体中的最小寿命次数，也称为“保证寿命次数”；

$n_0$  —— Weibull分布函数的“尺度”参数；

$m$  —— Weibull分布函数的“形状”参数。

Weibull 分布函数可以变换成一个直线方程：

$$Y = m \cdot X - b \quad (\text{A. 6})$$

式中：

$$Y = \ln\left[\ln\left(\frac{1}{1 - F(n)}\right)\right];$$

$$X = \ln(n - n_{\min});$$

$$b = \ln n_0。$$

对于失效分布符合 Weibull 函数的样本，它的中位寿命的可靠度  $F(n) = 0.5$ ，相应地  $Y = -0.3665$ ，代入公式 (A.6)，可得母体中位寿命的计算公式 (A.7)、(A.8)：

$$X_{0.5} = \frac{b - 0.3665}{m} \quad (\text{A. 7})$$

$$n_{0.5} = 2.71828^{X_{0.5}} + n_{\min} \quad (\text{A. 8})$$

式中：

$X_{0.5}$  —— 可靠度  $F(n)$  为 0.5 时的  $X$  值。

下面列举一个实例 (表A.1)，说明通过计算Weibull分布函数，确定寿命特征量的方法。

表A.1 Weibull 分布函数计算实例

脉冲数 $n_i$	失效试品数	试品寿命 $n_{ind}$	累积失效数 $S_i$	$F(n) = (S_i - 0.5)/15$	$Y = \ln[\ln \frac{1}{1 - F(n)}]$	试算值		
						$\ln(n_i - 17)$	$\ln(n_i - 16)$	$\ln(n_i - 15)$
①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
17	1	16	1	0.033333	-3.38429		0	0.693147
20	1	19	2	0.1	-2.25037	1.098612	1.386294	1.609438
21	1	20	3	0.166667	-1.70198	1.386294	1.609438	1.791759
22	1	21	4	0.233333	-1.32538	1.609438	1.791759	1.94591
23	2	22	6	0.366667	-0.7836	1.791759	1.94591	2.079442
24	1	23	7	0.433333	-0.56566	1.94591	2.079442	2.197225
25	1	24	8	0.5	-0.36651	2.079442	2.197225	2.302585
26	2	25	10	0.633333	0.003297	2.197225	2.302585	2.397895
35	1	34	11	0.7	0.185627	2.890372	2.944439	2.995732
37	1	36	12	0.766667	0.375203	2.995732	3.044522	3.091042
45	1	44	13	0.833333	0.583198	3.332205	3.367296	3.401197
62	1	61	14	0.9	0.834032	3.806662	3.828641	3.850148
78	1	77	15	0.966667	1.224128	4.110874	4.127134	4.143135
试算直线方程参数				常数项 (b)		-2.8458	-3.2696	-3.8374
				斜率 (m)		1.0382	1.1537	1.13143
				斜率标准差		0.1013	0.08963	0.1211
				斜率误差 %		9.76	7.77	9.21
注 1: 试品规格: 14D-561, 210V/mm;								
注 2: 脉冲电流: $I_{R(200)}=451A$ ;								
注 3: 放电间隔时间: 100s;								
注 4: 试品表面温度 78℃~80℃								

说明:

(1) 表A.1的第①列~第⑥列的数据为:

- ① 出现失效的脉冲数,按升序排列,列入表A.1①列。
- ② 在脉冲次数 $n_i$ 时发生失效的试品数,列入表A.1②列。
- ③ 脉冲寿命数 $n_{ind} = (n_i - 1)$ 。
- ④ 累积失效数 $S_i$ ;在 $n_i$ 次脉冲以及以前,所有失效的试品总数。
- ⑤ 累积失效率 $F(n)$ 的计算,当试品总数 $ST < 20$ 时按计算规则, $F(n) = (S_i - 0.5)/ST$ 。

⑥  $Y = \ln[\ln \frac{1}{1 - f(n)}]$ 。

(2) 用试算法确定最小脉冲次数和最小脉冲寿命 $n_{min}$

表A.1中样本的最少脉冲次数是17次,这里假定母体的最少脉冲次数为17次,16次,15次,分别计算“ $\ln(n_i - 17)$ ”,“ $\ln(n_i - 16)$ ”,“ $\ln(n_i - 15)$ ”,将三个数列记入表A.1的⑦,⑧,⑨列,然后,分别以这3列数为“X”,以表A.1第⑥列数为“Y”,送入数据拟合软件进行直线拟合,得到的直线方程(A.6)的“常数项b”、“斜率m”、和斜率误

差记入表A.1的⑦, ⑧, ⑨列。可以看出最小脉冲次数16次的斜率误差最小。由此可以确定, 母体出现失效的最小脉冲次数是“16次”, 相应的最小脉冲寿命次数是(16-1)=15次。

(3) 计算中位脉冲次数 $n_{0.5}$ , 可得:

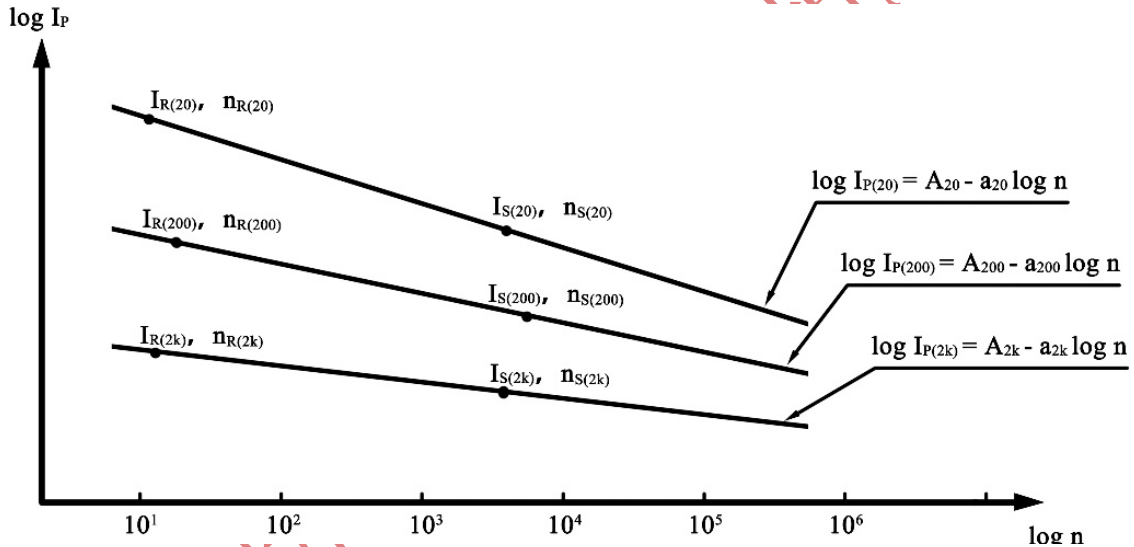
$$n_{0.5} = 2.71828^{X_{0.5}} + n_{\min}$$

其中: 
$$X_{0.5} = \frac{2.871 - 0.3665}{1.068} = 2.345$$

得: 
$$n_{0.5} = 2.71828^{2.345} + 16 = 10.4 + 16 = 26.4(\text{次})$$

#### A.4 用6个样本的寿命特征量确定三个基本寿命方程

从6个样本寿命试验的结果, 得到6个最小寿命数据和6个中位寿命数据, 用这些数据, 可以建立最小寿命的3个基本方程和中位寿命的3个基本方程, 见图A.4。



图A.4 6个样本的测试结果和3个基本寿命特性方程

三个基本方程的参数计算(寿命次数“n”是指最小寿命 $n_{\min}$ 或中位寿命 $n_{0.5}$ ):

20 $\mu$ s方程: 
$$\lg I_{P(20)} = A_{20} - a_{20} \cdot \lg n \quad (A.9)$$

式中中斜率为:

$$a_{20} = \frac{\lg(I_{R(20)}/I_{S(20)})}{\lg(n_{S(20)}/n_{R(20)})}$$

截距为: 
$$A_{20} = \lg(I_{R(20)}) + a_{20} \cdot \lg(n_{R(20)})$$

或: 
$$A_{20} = \lg(I_{S(20)}) + a_{20} \cdot \lg(n_{S(20)})$$

200 $\mu$ s方程: 
$$\lg I_{P(200)} = A_{200} - a_{200} \cdot \lg n \quad (\text{A. 10})$$

式中斜率为: 
$$a_{200} = \frac{\lg(I_{R(200)}/I_{S(200)})}{\lg(n_{S(200)}/n_{R(200)})}$$

截距为: 
$$A_{200} = \lg(I_{R(200)}) + a_{200} \cdot \lg(n_{R(200)})$$

或: 
$$A_{200} = \lg(I_{S(200)}) + a_{200} \cdot \lg(n_{S(200)})$$

2k $\mu$ s方程: 
$$\lg I_{P(2k)} = A_{2k} - a_{2k} \cdot \lg n \quad (\text{A. 11})$$

式中斜率为: 
$$a_{2k} = \frac{\lg(I_{R(2k)}/I_{S(2k)})}{\lg(n_{S(2k)}/n_{R(2k)})}$$

截距为: 
$$A_{2k} = \lg(I_{R(2k)}) + a_{2k} \cdot \lg(n_{R(2k)})$$

或: 
$$A_{2k} = \lg(I_{S(2k)}) + a_{2k} \cdot \lg(n_{S(2k)})$$

#### A. 5 用基本寿命方程计算任何应力下的寿命

在确立了脉冲寿命特性的三个基本方程后,就可以用插值法对 $n > 10$  的任何一点进行计算了,当给定了电流、等效时间宽度 $\tau$ 、寿命次数 $n$ 三个量值的任意两个量值,就可以计算出第3个量值。下面列举这类计算的实例。

##### 示例 1:

**问题:** 14D-210V/mm,  $V_N = 200\text{V} \sim 680\text{V}$  产品的 20 $\mu$ s 最小脉冲寿命特性方程为:  $\lg I_P = 3.876 - 0.23 \cdot \lg n_{min}$ , 在 6kV-3kA 组合波下的最小寿命有多少次?

**解答:** 组合波的电流波形是 8/20, 因此可以直接用 $\tau = 20\mu$ s 的基本寿命方程进行计算。它的电流幅值 $I_P$ 是随着压敏电压 $V_N$ 而变的,  $V_N$ 越高,  $I_P$ 越小。当 $V_N$ 在 200V $\sim$ 680V 范围内变化时, 实际测量得到的 $I_P$ 值, 从 2768A 下降到 2336A, 代入公式可得:

$$\lg(2768) = 3.876 - 0.23 \cdot \lg n_{min}, \text{ 解出 } n_{min} \approx 77(\text{次})$$

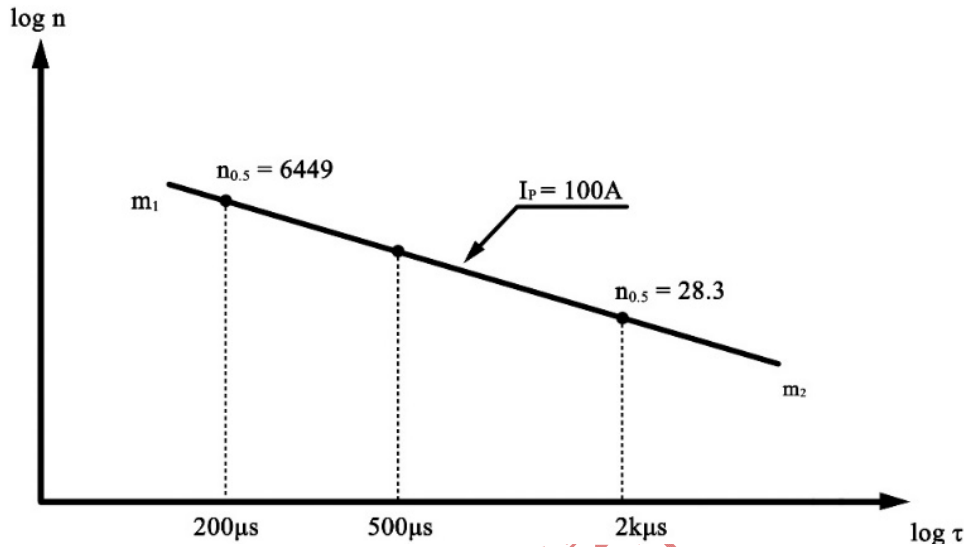
$$\lg(2336) = 3.876 - 0.23 \cdot \lg n_{min}, \text{ 解出 } n_{min} \approx 161(\text{次})$$

当 $V_N$ 从 200V 增大到 680V 时, 保证寿命 $n_{min}$  从 77 次增加到 161 次。

##### 示例 2:

**问题：** 14D-470V-210V/mm MOV, 承受10/350,  $I_p=100A$ 脉冲电流的中位寿命次数 $n_{0.5}$ 是多少？

**解答：** 用三个基本方程不能直接计算MOV在10/350-100A脉冲应力下的寿命，因此首先要从基本寿命方程,推导出在电流峰值100A不变的条件下,寿命次数( $n$ )与等效方波宽度( $\tau$ )的函数关系，然后将10/350的等效方波宽度 $\tau=500 \mu s$ ,代入该方程，得出寿命次数。



图A.5 某企业 14D-470V-210V/mm MOV 的脉冲寿命曲线

步骤如下：

① 10/350电流的等效方波宽度 $\tau=500 \mu s$ ，位于 $200 \mu s \sim 2k \mu s$ 之间，因此要使用 $200 \mu s$ 和 $2k \mu s$ 两个基本方程来计算，从企业数据库查到14D-470V-210V/mm的这两个基本方程为：

$$\lg I_{P(200)} = 3.12 - 0.294 \times \lg n$$

$$\lg I_{P(2k)} = 2.43 - 0.277 \times \lg n$$

② 将 $I_p = 100A$ 代入上面两个基本方程，分别得到 $\tau=200 \mu s$ 的寿命次数6449次， $\tau=2k \mu s$ 的寿命次数28.3次

③ 用两对数据 [ $\tau=200 \mu s$ ，  $n=6449$ 次] 和 [ $\tau=2k \mu s$ ，  $n=28.3$ 次]，建立直线方程

$\lg n = f(\lg \tau)$  ( $I_p = 100A$ ) :

直线方程的斜率：
$$a_{100} = \frac{\lg(6449/28.3)}{\lg(2000/200)} = 2.358$$

直线方程的截距：
$$A_{100} = \lg 6449 + 2.358 \times \lg 200 = 9.235$$

可得中位寿命方程：
$$\lg n_{0.5} = 9.235 - 2.358 \times \lg \tau \quad [I_p = 100A]$$
 (如图A.5所示)

④ 将10/350的 $\tau = 500 (\mu s)$ 代入方程，得到 $\lg n = 2.87$ ， $n_{0.5} \approx 741$

最终得到：MOV[14D-470V-210V/mm]承受10/350/100A脉冲电流的中位寿命次数 $n_{0.5}=741$  (次)。

## 附录 B

### (规范性附录)

#### MOV 电压-温度寿命的评定程序和方法

### B.1 概述

本附录确定了评定MOV电压-温度应力(U-T)寿命的失效率抽样试验方法,和失效分布函数计算方法。它们分别使用于两种不同场合。

(1) 如果MOV的U-T寿命时间很长,在样本一般试验周期内难以发生失效,则使用“失效率抽样方案”进行试验,评定MOV的失效前平均寿命时间(MTTF)。

(2) 如果样本在试验周期内能全部失效(或至少半数以上失效),则通过试验得出失效分布函数,并计算该函数,确定母体(总体)的最小寿命(或称保证寿命)( $t_{min}$ ),或中位寿命( $t_{0.5}$ ),或其他分位寿命。

### B.2 用失效率抽样程序和方法评定失效前MTTF

#### B.2.1 失效率等级的鉴定批准试验

##### B.2.1.1 鉴定批准试验抽样方案

表B.1提供了6个可供选择的抽样方案。表中给出了两个置信水平60%和90%,以及三个允许失效数C=0, C=1, C=2。

表 B.1 电压-温度应力(U-T)寿命鉴定批准试验抽样方案

寿命(年)			5	10	15	20	30
寿命(千元件小时/k·h)			44	88	132	176	264
MTTF(失效/ $10^6$ h)			22.7	11.4	7.57	5.7	3.8
失效率等级(%/1000)号			L2.27	L1.14	M0.76	M0.57	M0.38
置信度(%)	允许失效数C	M级累积元件-小时( $\times 10^6$ )	试验的累积元件-小时数[UH]( $\times 10^6$ )				
60	0	0.0916	0.0404	0.0804	0.1205	0.1607	0.2411
60	1	0.202	0.089	0.1772	0.2658	0.3544	0.5316
60	2	0.311	0.137	0.273	0.409	0.546	0.818
90	0	0.230	0.1013	0.2018	0.3026	0.4035	0.6053
90	1	0.389	0.1714	0.3412	0.5118	0.6825	1.0237
90	2	0.532	0.234	0.467	0.794	0.933	1.4

##### B.2.1.2 试验装置

试验装置见图3。

##### B.2.1.3 试验时间

采用寿命试验常规的时间:2000h。

#### B. 2. 1. 4 试品数 (N)

试品数可采用下面a), b) 两种方案中的一种。

a) 全部试品都在规定的额定电压和工作温度下进行试验, 这时 $N=[UH]/2000$ 。[UH]是依据要求的工作年限和选定的抽样方案(置信度, 允许失效数)从表B. 1得出的累积元件-小时数。

b) 部分试品( $N_1$ )在额定应力下进行试验, 其余试品( $N_2$ )在加速应力下进行试验。通常的做法是 $N_1=(1/3)N$ ,  $N_2=(2/3)N$ 。如果加速应力的加速系数为AF, 可以得式(B. 1):

$$N = N_1 + N_2 = \frac{1}{3} \times \frac{[UH]}{2000} + \frac{2}{3} \times \frac{[UH]}{2000 \times AF} \quad (B. 1)$$

#### B. 2. 1. 5 试验方法

从母体中随机抽样N只, 测量初始压敏电压 $V_{N(0)}$ , 试品间该数值的差别不大于1%, 平均值记作 $V_{N(av)}$ 。

试验电压 $U_t$ 调整为“规定的加压比(AVR)  $\times V_{N(av)}$ ”, 偏差不得超过 $\pm 0.5\%$ 。电源的额定电流不小于1A。交流电压的谐波失真不大于5%。

若无特别规定, AVR为0.87和0.92。

试品放入试验箱, 相邻两试品的间距不小于试品主尺寸的3倍。试品周围无强制气流, 只允许因试品发热产生的自然对流。箱温调整到规定试验温度, 允许偏差 $\pm 2K$ 。

用于电流测量电阻 $R_Y$ 的电阻值, 应确保1mA电流时 $R_Y$ 两端的电压不大于试验电压的0.5%。

试品允许电流上限IS设定到规定值(例如, 初始值的1.5倍)。

试验过程中的测量: 测量每只试品的电流或功耗, 例行测量时间为试验开始后的1, 4, 24, 96, 200, 500, 750, 1000, 1250, 1500, 1750, 2000h。若某只试品的测量值出现持续增大现象, 则应对它“跟踪测量”, 当测量值超过规定值时, 判定该试品失效, 退出试验。若无特别规定, 测量值超过“1h测量值”的1.5倍时判定失效。

试验过程中允许偶然断电, 但断电总时间不应超过50h, 断电时间不应计入2000h中。最后一次测量前的连续加电时间, 不应少于100h。

2000h试验后试品在室温下恢复1h~2h, 恢复后测量两个方向的压敏电压, 应大于初始测量值的90%, 否则, 判定试品失效。

合格判据: 试验过程中和2000h试验后检验所发生的总失效数, 不超过规定值。

### B. 2. 2 失效率(FR)等级的维持

#### B. 2. 2. 1 失效率(FR)等级维持试验的抽样方案

失效率(FR)等级维持试验抽样方案见表B. 2。



表B.2 失效率(FR) 等级维持试验的抽样方案 (置信度10%)

寿命 (年)	5	10	15	20	30
寿命 (千小时/kh)	44	88	132	176	264
MTTF (失效数 /10 <sup>6</sup> h)	22.7	11.4	7.57	5.7	3.8
失效率等级 (FR)代号	L2.27	L1.14	M0.76	M0.57	M0.38
允许失效数 C	试验的累积元件-小时数 [UH] (×10 <sup>6</sup> )				
C=1	0.0235	0.0467	0.07	0.0943	0.14
C=2	0.0485	0.0965	0.145	0.193	0.29

### B.2.2.2 要求

获得鉴定批准的MOV应按规定周期维护,维护周期为6个月、12个月、24个月或每一生产批,由技术规范规定。

每一维护周期开始时,制造方就应汇集维护周期内所要求的元件-小时数,并通知鉴定批准机构。

不管累积的元件-小时数为多少,都不应变更有效的维护周期。超过维护周期所要求的元件-小时数作为承制方风险处理(在原先的“C”值范围内),但这些元件-小时数可用于扩展失效率。

每一种初始鉴定批准(指“寿命年限-置信度-允许失效数”的组合)应分别维护。

### B.3 用失效分布函数评定U-T寿命的技术方法

#### B.3.1 说明

本规范附录A中关于Weibull分布函数确定寿命特征量的方法,同样适用于评定U-T寿命,只需将其中的寿命次数“n”改为时间“t”(h)。

#### B.3.2 示例

表B.3给出了一个示例,表示了一个15只试品的MOV样本,在120℃的恒温箱中,施加“0.95V<sub>N</sub>”的直流电压,试验到全部试品失效为止。记录发生失效的时刻“t”(h),和在该时刻失效的试品数“S<sub>i</sub>”,然后按分析Weibull分布函数的方法进行计算。先用试算法确定最小寿命t<sub>min</sub>,这里假定了3个最小寿命t<sub>min</sub>(70,60,50),当t<sub>min</sub>=50时,Weibull直线的斜率误差最小,因此它是答案。最后以t<sub>min</sub>=50计算中位寿命t<sub>0.5</sub>,可得:

$$X_{0.5} = \frac{b - 0.3665}{m}$$

$$t_{0.5} = 2.71828^{X_{0.5}} + t_{\min}$$

在本例中: b=15.21, m=2.675, t<sub>min</sub>=90(h), 由次得t<sub>0.5</sub>=347h。

这里需要说明的一点是,一般来说,“中位寿命”比“平均寿命”更能反映大多数产品的寿命状况,因为“平均值”受数列中个别特异值的影响较大,而中位值则不然。因此在计算寿命的“温度加速系数”和“加压比加速系数”时,采用中位寿命值。



表B.3 用失效分布函数评定U-T寿命的一个例子

时间	失效数	累积失效	$F(n) = (S_i - 0.5)/15$	$Y = \ln[\ln \frac{1}{1 - F(n)}]$	试算确定 $t_{min}$		
t (h)	$S_i$	$S_t$			$\ln(t - 110)$	$\ln(t - 90)$	$\ln(t - 70)$
170	1	1	0.033333	-3.38429	4.094345	4.382027	4.60517
222.4	1	2	0.1	-2.25037	4.722064	4.885828	5.026509
269.7	1	3	0.166667	-1.70198	5.073297	5.191289	5.296816
280.5	1	4	0.233333	-1.32538	5.138735	5.249652	5.349486
305	1	5	0.3	-1.03093	5.273	5.370638	5.459586
308.7	1	6	0.366667	-0.7836	5.291796	5.387701	5.475208
308.7	1	7	0.433333	-0.56566	5.291796	5.387701	5.475208
317.7	1	8	0.5	-0.36651	5.336095	5.428029	5.512218
362.4	1	9	0.566667	-0.17883	5.531015	5.607272	5.678123
365.8	1	10	0.633333	0.003297	5.544396	5.619676	5.689684
385.6	1	11	0.7	0.185627	5.618951	5.689007	5.754476
456.6	2	13	0.833333	0.583198	5.848171	5.904271	5.957391
503.2	1	14	0.9	0.834032	5.974318	6.023932	6.0712
582.1	1	15	0.966667	1.224128	6.157191	6.198682	6.23852
Weibull 直线 拟合方程计算			直线方程 b 值		-13.32	-15.21	-17.01
			直线方程斜率 m		2.372	2.675	2.956
			m 的标准差		0.1108	0.1194	0.134
			m 的相对误差		4.67	4.46	4.53

附 录 C  
(资料性附录)

ZnO 非线性电阻器的电阻方程和电压方程及其测定方法

C.1 概述

本附录给出了ZnO非线性电阻器的电阻-电流方程(R-I方程)和电压-电流方程(V-I方程)的形式,以及测定方程式参数的方法。这些方程式是测试得到的电压-电流数列的拟合方程。测试电流/电压可以是直流,正弦交流或脉冲。

C.2 R-I方程和V-I方程的形式

常用的R-I方程和V-I方程有二次多项式方程和幂函数方程两种形式:

— 二次多项式方程

$$\text{电阻方程: } R = 10^{[A_0 + A_1 \lg I + A_2 (\lg I)^2]} \quad (\text{C.1})$$

$$\text{电压方程: } V = 10^{A_0} \times I^{[(1+A_1) + A_2 \lg I]} \quad (\text{C.2})$$

式中:

$A_0$ 、 $A_1$ 、 $A_2$ 是2次多项式方程的三个常数

— 幂函数方程

$$\text{电阻方程: } R = V_0 / I + CI^{(\beta-1)} \quad (\text{C.3})$$

$$\text{电压方程: } V = V_0 + CI^\beta \quad (\text{C.4})$$

式中:

$V_0$ 、 $C$ 、 $\beta$ 是幂函数方程的三个常数。

C.3 R-I方程和V-I方程的常用类型

在工程计算中,R-I方程和V-I方程的常用类型列于表C.1。

表C.1 R-I方程和V-I方程的常用类型

特性类型	电流单位	电压单位	电阻单位	方程式表达的电流范围
直流等待状态特性	$\mu\text{A}$	V	$\text{M}\Omega$	$1\ \mu\text{A} \sim 10\text{mA}$
交流等待状态特性, 峰值	mA	V	$\text{K}\Omega$	$0.1\text{mA} \sim 10\text{mA}$
TOV 状态特性, 直流或交流峰值	A	V	$\Omega$	$0.01\text{A} \sim 20\text{A}$
电压限制特性, 脉冲峰值	A	V	$\Omega$	$(0.01 \sim 1.0)$ 最大 单次脉冲峰值 $I_M$

C.4 测定方程式参数的方法

按以下步骤测量和计算，得出方程式参数

(1) 依据要求的方程式类型和电流范围（若无特别规定，按表C.1），选定3~9个电流值（ $I_1$ 、 $\dots$ 、 $I_n$ ），这些电流值应大体上“几何等距”。

(2) 测试试品在选定电流（ $I_1$ 、 $\dots$ 、 $I_n$ ）下的电压值（ $V_1$ 、 $\dots$ 、 $V_n$ ）。

对于直流测试，在施加测试电流100ms左右读取电压值。

对于工频交流测试，读取施加测试电压后第3或第4个周期的电压、电流峰值，并取正半周和负半周的峰值的平均值。

对于脉冲测试，取电压波和电流波的峰值。

(3) 计算测试得到的“电流-电压”数列的拟合方程

对于二次多项式方程，首先计算电阻值 $R_i = V_i / I_i$ ，和 $R_i$ 以及 $I_i$ 的以10为底的对数值 $\lg R_i$ ， $\lg I_i$ ，然后用数据拟合软件计算 $\lg R_i = f(\lg I_i)$ 的2次多项式拟合方程，得到3个常数 $A_0$ ， $A_1$ ， $A_2$ 。

对于幂函数方程，用数据拟合软件，计算数列 $V_i$ 对于数列 $I_i$ 的幂函数（ $V = a + b \cdot I^c$ ）拟合方程，得到3个常数 $V_0$ ， $C$ ， $\beta$ 。

### C.5 R-I方程和V-I方程的其他使用形式

方程式（C.1）~（C.4）是R-I方程和V-I方程的基本形式，在某些应用中，需要将它们变换成其他形式，常用的有：

$\alpha$ -I 方程，此处“ $\alpha$ ”是在[1, 2I]电流范围内的电压非线性指数

$$\alpha = 1 / (1 + A_1 + 0.301A_2 + 2A_2 \cdot \lg I) \quad (C.5)$$

$k_V$ -I 方程，此处“ $k_V$ ”是电压“V”对于试品压敏电压 $V_N$ 的比值

$$k_V = \frac{10^{-A_0}}{V_N} \times I^B \quad (C.6)$$

$$B = 1 + A_1 + A_2 \times \lg I \quad (C.7)$$

## 参考文献

- [1] GJB 2649A-2011 军用电子元件失效率抽样方案和程序
  - [2] GB/T 34987-2017 威布尔分析(IEC 61649-2008, IDT)
  - [3] CIGRE TB 549, 工程应用中的雷电参数, CIGRE Technical Brochure, WG C4. 407, 2013.
  - [4] 罗雯 魏建中. 电子元器件可靠性试验工程[M]. 电子工业出版社, 2005.
  - [5] 张南法, 王茂华, 束静. 氧化锌非线性电阻的特性方程[J]. 电子元件与材料, 2012, 31(5):1-7.
  - [6] 松下电子部品株式会社セラミック事业部, “ZNR”を用いた サージ対策マニュアル (2版) [M]. 日本:松下电子部品株式会社セラミック事业部出版, 昭和 55 年. 39-45.
- 

中电元协团体标准报批公示稿