

# 不宜单独用电流保险丝来应对压敏电阻的失效

陈石 许由生 章汉平 刘东乐

(厦门赛尔特电子有限公司 361101)

摘要：基于压敏电阻的工作与失效机理，阐述了单独采用过电流保护方式应对压敏电阻失效的弊端，并提出了压敏电阻失效的最佳保护方式为过温保护。

关键词：压敏电阻 失效机理 过电流保护 过温保护

## 1 . 引言

随着科技的不断发展，物质生活的不断丰富，各式各样的家用电器已经成为人们日常生活必不可少的组成部分。我们在享受各种功能繁多的家用电器给生活带来方便的同时，也存在着家用电器巨大的安全隐患，我们经常可以在媒体上看到关于各种家用电器的安全问题引发的事故，主要有：火灾事故、爆炸事故及废旧电池等对环境造成污染事故等。引起火灾事故的发生又多与压敏电阻失效后未能及时脱离电路，造成系统电源不同程度的短路有关，本文主要浅述单独采用过电流保护方式应对压敏电阻失效的弊端，并提出了压敏电阻失效的最佳保护方式为过温保护。

## 2 . 压敏电阻的工作原理及失效机理

氧化锌压敏电阻器 MOV 是一种以氧化锌为主体、添加多种金属氧化物，典型的电子陶瓷工艺制成的多晶半导体陶瓷元件。MOV 具有独特的晶界结构，在一定电场下，晶界导电由热电子发射传导瞬间转变为电子隧道传导，其电阻值随着电压的增大而急剧减小，具有优异的非线性伏安特性，那么，当家用电器所接的电源中存在过电压时，MOV 晶界电子隧道效应抑制过电压峰值增长，吸收部分过电压能量，从而起到防护作用，MOV 具有高通流容量，低残压，无续流且成本较低等优点，已被首选使用在家用电器的电源入口作为过电压保护元件。

MOV 具有很高的瞬时（纳秒级或微妙级）过电压抑制能力，但在暂时（毫秒级或秒级）过电压、过电流或频繁的浪涌电流冲击下，MOV 较容易出现老化现象。

MOV 的失效主要有两种模式，一种为开路模式，该模式主要发生在 MOV 流过远远超出自身能够承受的浪涌电流时，表征为 MOV 本体炸裂，但这种模式不会引起燃烧现象，且出现在家用电器中概率是很低的；另一种为短路模式，大体上可分为老化失效和暂态过电压破坏两种类型：

a、老化失效，这是指电阻体的低阻线性化逐步加剧，漏电流恶性增加且集中流入薄弱点，薄弱点材料融化，形成  $1k\Omega$  左右的短路孔后，电源继续推动一个较大的电流灌入短路点，形成高热而起火。研究表明，若压敏电阻存在着制造缺陷，易发生早期失效，强度不大的电冲击的多次作用，也会加速老化过程，使老化失效提早出现；

b、暂态过电压破坏，这是指较强的暂态过电压使电阻体穿孔，导致更大的电流而高热起火，整个过程在较短时间内发生。

短路失效是引起压敏电阻起火燃烧的主要原因，从而导致家用电器发生火灾事故，以下是 MOV

在不同过电流试验后失效图片(参照 UL1449 3rd 39.4 条款测试):



图 1: MOV14D471 在 600V\*320mA 电流试验后图



图 2: MOV14D471 在 600V\*500mA 电流试验后图片



图 3: MOV14D471 在 600V\*1A 电流试验后图片



图 4: MOV14D471 在 600V\*2A 电流试验后图片

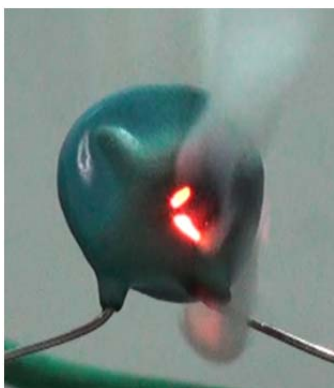


图 5: MOV14D471 在 600V\*5A 电流试验后图片



图 6: MOV14D471 在 600V\*10A 电流试验后图片

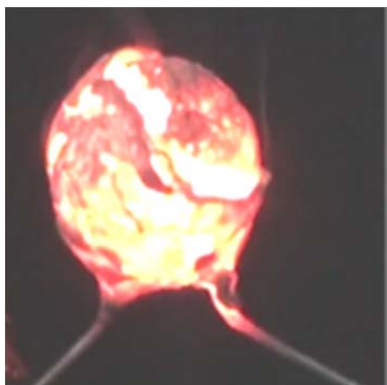


图 7: MOV14D471 在 600V\*15A 电流试验后图片



图 8: MOV14D471 在 600V\*20A 电流试验后图片

### 3 单独采用过流保护方式应对压敏电阻失效的现状分析

压敏电阻的浪涌承受能力			≈	电流保险丝的浪涌承受能力	
MOV 尺寸 mm	标称放电电流 A(8/20μs)	最大放电电流 A(8/20μs)		慢断型电流保险丝的额定电流 A	最大放电电流 A (8/20μs)
				1	1000
				1.25	1100
				1.6	1200
				2	1500
Φ 7	900	1750		3.15	2000
				5	2500
				6.3	3000
Φ 10	1750	3500		8	3800
				10	5000
Φ 14	3000	6000		12	6000
				15	75000
Φ 20	5000	10000		20	10000
Φ 25	10000	20000			
Φ 34	20000	40000			

### 3.2 家用电器电路设计现状及矛盾

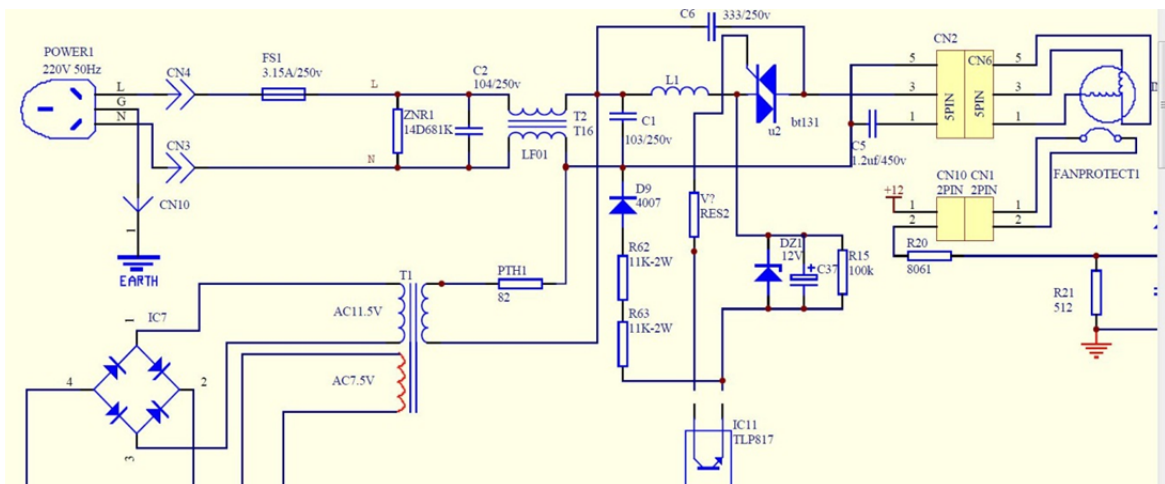


图 9：空气调节器典型电路设计(截图)之一

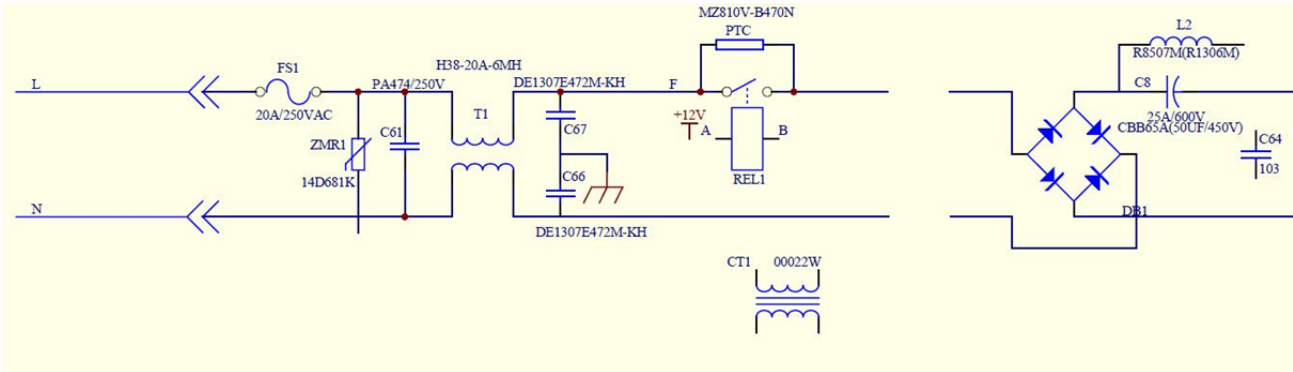


图 10：空气调节器典型电路设计（截图）之二

从图 9、图 10 反映了目前家用电器电路设计的习惯思路，在 MOV 前端置放了电流保险丝 fuse，浪涌电流从电源端输入后先经过 FUSE，再由流经 MOV。如此有两个矛盾存在：

a、MOV 与 FUSE 的最大浪涌承受能力的矛盾，如表 1 中所示；

电路设计时，如果为了满足 MOV 的浪涌电流承受能力时，就必须提高 FUSE 的额定电流值，这样过大的电流额定值将严重降低对后置电路的过流保护效果，火灾隐患倍增；反之，为了保证 FUSE 对后置电路的过流保护效果，就得按需要选择较小的额定电流值，同时也大幅减低了整个电路的浪涌承受能力，在客户使用过程中将出现 FUSE 很容易断开。

b、引起 MOV 燃烧的击穿电流与 FUSE 的断开电流的矛盾。

如图 1～图 8 所示，不管 MOV 的浪涌承受能力的大小，MOV 在不同的过电流下就会引起高温、冒烟甚至燃烧；FUSE 只在 MOV 因暂时过电压作用下、击穿电流快速增大到 2 倍的 FUSE 额定电流时才能迅速断开电流；如果是 MOV 老化引起的压敏电压逐渐下降，MOV 的漏电流缓慢增加而引发的 MOV 燃烧，此时的 FUSE 将无法断开电路。

## 4 推荐应对压敏电阻失效的合适方案

### 4.1 压敏电阻失效表征特点为本体温度快速上升，采用温度管理是最有效方式

压敏电阻实际上是一种具有非线性伏安特性的敏感元件，在正常电压条件下，这相当于一只小电容器，而当电路出现过电压时，它的内阻急剧下降并迅速导通，其工作电流增加几个数量级，从而有效地保护了电路中的其它元器件不致过压而损坏，它的伏安特性是对称的，如图(11)a 所示。这种元件是利用陶瓷工艺制成的，它的内部微观结构如图(11)b 所示。微观结构中包括氧化锌晶粒以及晶粒周围的晶界层。其中氧化锌晶粒中掺有施主杂质而呈 N 型半导体，晶界物质中含有大量金属氧化物形成大量界面态，这样每一微观单元是一个背靠背肖特基势垒，整个陶瓷就是

由许多背靠背肖特基势垒串并联的组合物。

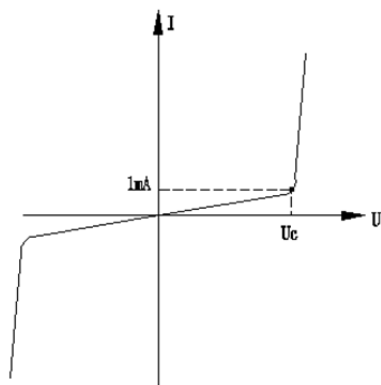


图 (11) a 伏安特性曲线

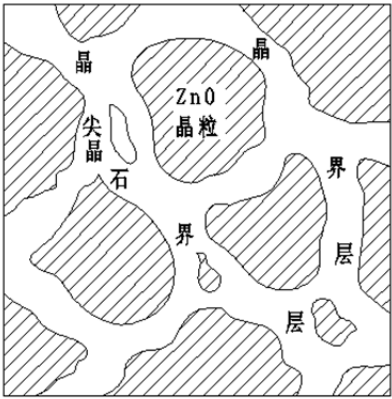


图 (11) b 内部微观结构

图 12 是压敏电阻器的等效电路。氧化锌晶粒的电阻率很低，而晶界层的电阻率却很高，相接触的两个晶粒之间形成了一个相当于齐纳二极管的势垒，这就是一压敏电阻单元，每个单元击穿电压大约为 3~3.5V，如果将许多的这种单元加以串联和并联就构成了压敏电阻的基体。串联的单元越多，其击穿电压就超高，基片的横截面积越大，其通流容量也越大。压敏电阻在工作时，每个压敏电阻单元都在承受浪涌电能。

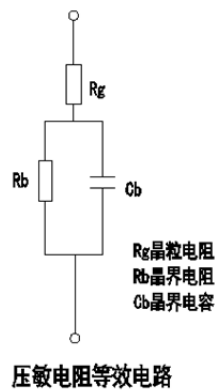


图 12 压敏电阻等效电路

压敏电阻的缺点是易老化, 大多数情况下 P—N 结过载时会造成短路且不可回转至正常状态, 在电冲击的反复多次作用下压敏电阻内的二极管元件被击穿, 电阻体的低阻线性化逐步加剧, 压敏电压越来越低, 漏电流越来越大, 随着 MOV 本体温度的升高, 漏电流更大, 形成恶性循环, 以至 MOV 的温度升高达到外包封材料的燃点, 这种情况称之为高阻抗短路 (1kΩ 左右), 焦耳热使得 MOV 发热增加且集中流入薄弱点, 薄弱点材料融化, 形成 1kΩ 左右的短路孔后, 电源继续推动一个较大的电流灌入短路点, 形成高热而起火。研究表明, 若压敏电阻存在着制造缺陷, 易发生早期失效, 强度不大的电冲击的反复多次作用, 也会加速老化过程, 使老化失效提早出现。这是通过试验能够证明的。

因此可见, 压敏电阻的失效前兆是其温度的快速提升, 温度的提升速度快于漏电流的提升速度, 故采用温度管理方式来及时判断压敏电阻的性能是最为合适了。采用温度管理保护压敏电阻的方式有机械脱扣方式、温度保险丝切断电路方式等, 其保护效果的关键在于热的采集、传递速

度，最佳的热保护方式能够让因失效而处于过度发热的压敏电阻及时地脱离电路，从而避免连环式火灾的产生。

#### 4.2 热保护型压敏电阻的优点

具有合金型温度保险丝（thermal cutoff）的压敏电阻器（MOV），称之为热保护型压敏电阻器（thermally protected metal oxide varistor 以下简称为 TMOV），是将合金型温度保险丝与压敏电阻以最近距离的串联方式集成于一体，能够确保温度保险丝即时吸取压敏电阻所发的热量，以在压敏电阻着火前快速切断电路。此时流经压敏电阻的漏电流还不够大，不足以切断电流保险丝。

与压敏电阻相串联的合金型温度保险丝，具有与压敏电阻的最大浪涌承受能力  $I_{max}$  相当的通流量。

以下是 TMOV 在不同过电流试验后失效图片(参照 UL1449 3rd 39.4 条款测试)：

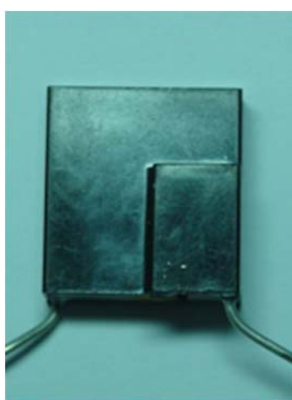


图 13: TMOV10S471 在 600V\*0.5A 电流试验后图片

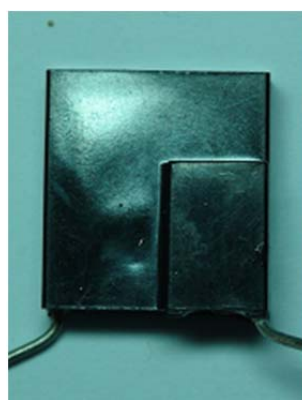


图 14: TMOV10S471 在 600V\*2.5A 电流试验后图片

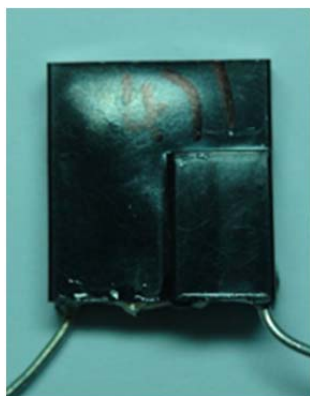


图 15: TMOV10S471 在 600V\*5A 电流试验后图片



图 16: TMOV10S471 在 600V\*10A 电流试验后图片

说明：图 13~16 为 TMOV 中 TCO 断开后的照片，断开时间曲线请见图 17：



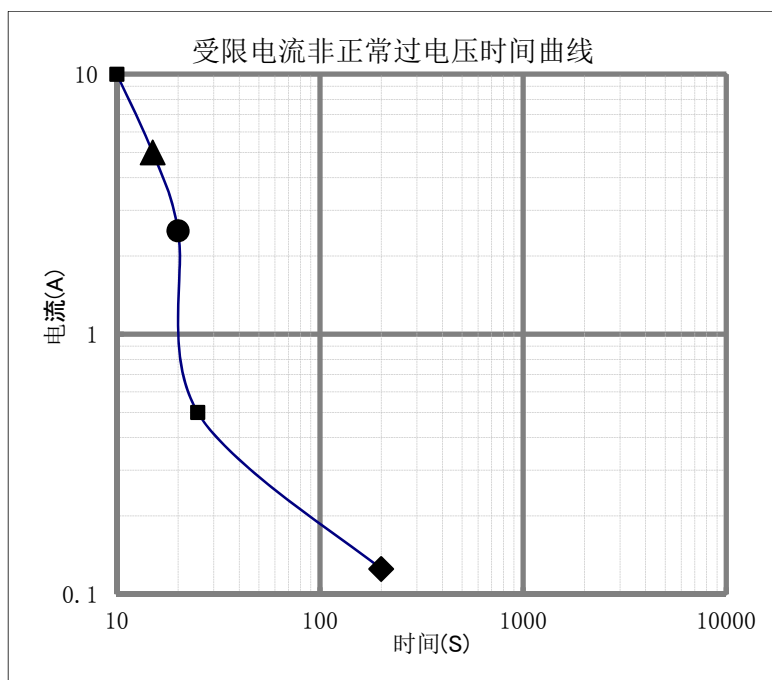


图 17: TMOV 受限电流测试曲线

#### 4.3 全模保护的必要性

家用电器都是以单相供电的，现状中大都只在相线与中性线之间接一只压敏电阻器作为过电压保护元件，这种保护模式称之为横向保护、也称为差模保护模式。仅有差模保护是不够的。

电源浪涌并不仅源于雷击，当电力系统出现短路故障、投切大负荷时都会产生电源浪涌，电网绵延千里，不论是雷击还是线路浪涌发生的几率都很高。当远方发生了雷击时，雷击浪涌通过电网光速传输，经过变电站等衰减，到各家庭时可能仍然有上千伏以上的高压，虽然时间很短，也足以损坏家用电器以及 IT 电源等设备中的半导体器件。这种通过相线、中线传输而来的电压对地线形成了纵向过电压，必须把这个纵向过电压抑制下去，以防止电子电路的绝缘受到破坏，这种保护称为纵向保护、也称为共模保护。

雷击主要引起纵向过电压，当在下列情况时雷击可引起横向过电压：

a、各线对地的阻抗不一致，通常情况下中性线与地线为低阻抗（这与低压配电系统的接地制式有关），因此，相线与中性线之间可能有较高的横向过电压；

b、当纵向过电压保护器的动作不一致时，各线间会引起较高的横向过电压。

电网本身因素主要是操作过电压，即电源开关（特别是较大感性负载的电源开关）动作时引起的横向过电压。此电压的高低主要由开关后的负载大小来决定。空调等都可引起较高的、对设备有害的过电压。

因此，我们认为，对于家用电器而言，最好的模式是采用全模保护，即共模保护加差模保护。不过应当指出，在建筑物的内部一定要有地线。

值得庆幸的是，现在的新的建筑物内都设计有地线了。

#### 4.4 推荐采用热保护型压敏电阻的两种典型电路

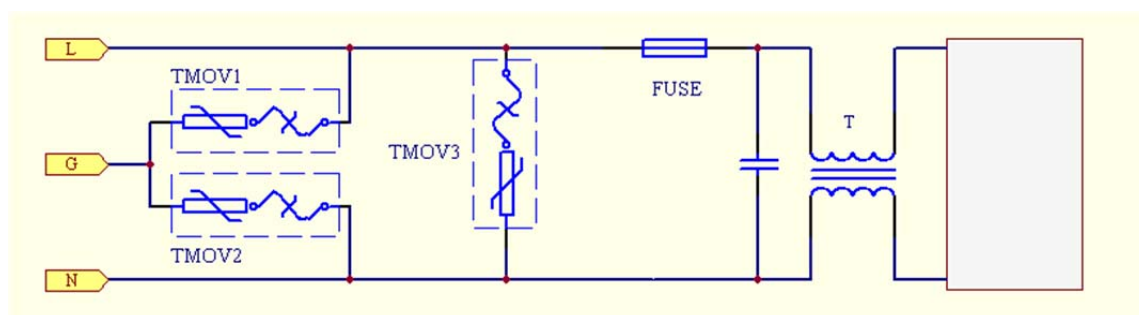


图 17 采用 TMOV 的全模保护电路

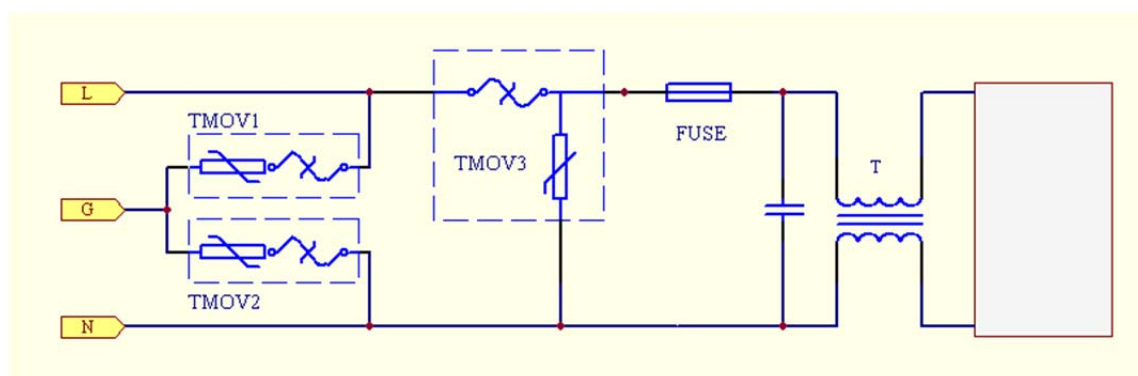


图 18

说明：

- a、TMOV1~3 中温度保险丝 TCO 能承受的最大放电电流与相串联的压敏电阻 MOV 的最大放电电流相当；
- b、如果仅需采用横向保护（差模保护）的话，图中的 TMOV1、TMOV2 可去除；
- c、不用考虑图中后置的电流保险丝 fuse 的浪涌通流量，其电流额定值的选定仅需考虑后续电路中的过流保护。

#### 5 结束语

本文分析证明了单独采用过流保护应对压敏电阻失效是片面的，不能有效避免火险隐患的产生，应该采用热保护模式才能将失效了的压敏电阻从电路中及时有效脱离开，且让电流保险丝的作用专注于电路中精准的过流保护，以确保用户的安全。

#### 6 参考文献

- [1] 张树高，季幼章．氧化锌压敏电阻的老化机理。
- [2] 孙海元，电源线路的横向保护不容忽视，第三届中国防雷论坛论文摘编 2004
- [3] 王茂华、胡克鳌、张南法，氧化锌压敏电阻器的失效模式[J],电子材料与元件，2005,9(9):62~64



[4] UL 1449 3rd edition: Surge Protective Devices, ISBN0-7629-1197-2

[5] 美的空调的电路图

第一作者简介: 陈石 1978 年生, 男, 现任厦门赛尔特电子有限公司 TMOV 产品副经理, 电力机车专业, 2000 年师从谢友声先生 (享受国务院特殊津贴, 1974 年开始研究开发压敏电阻), 从事热保护型压敏电阻应用方向的研究。