LED 路灯的防浪涌干扰和绝缘耐压设计

Anti-Surge Interference for Road Lighting LED and Isolation Puncture Design

薛蕙 供稿

摘　要：文章简要介绍了 LED 路灯常用的防浪涌与防瞬变的电路组成及工作原理，指出了具有防止浪涌干扰功能的 LED 路灯控制电路普遍存在的绝缘耐压问题及其解决方案，使人们认识到满足安全性要求是 LED 路灯 EMC 设计的基本理念和要求。

关键词：LED 路灯，浪涌干扰，绝缘耐压，设计

中图分类号：TN7　　文献标识码：B　　文章编号：1606-7517(2013)07-4-135

1 引言

LED 作为绿色环保的清洁光源已得到照明领域的广泛认可，由于 LED 光源具有使用寿命长、节能省电、使用简单方便、维护成本低等优点，所以在近几年及未来在通用照明中的应用将得到几何级数的增长。随着城市建设区域的不断扩展和新农村建设的大范围兴起，路灯将在 LED 的照明应用中首当其冲，应用规模将十分可观。所以，LED 路灯的 EMC、安全性等设计就特别为人们关注。

LED 路灯防浪涌或防瞬变干扰常用的器件有金属氧化物压敏电阻、气体放电管、硅瞬变电压吸收二极管、固体放电管等等以及它们的组合。LED 路灯防雷电干扰电路及其设备一般与 LED 路灯控制装置集成为一体，其常见的是气体放电管和压敏电阻的组合，简述如下。

2 气体放电管和压敏电阻组合构成的浪涌或瞬变抑制电路

因为压敏电阻（VDR）存在较大的寄生电容，故用在交流电源系统会产生较大的泄漏电流，性能较差的压敏电阻工作一个时间段后，由于泄漏电流进一步变大而可能发热自爆。为了解决这个问题，可以在压敏电阻之间串联气体放电管，如图 1 所示。由于气体放电管的寄生电容很少，故图 1 的串联支路的总寄生电容值可减小至几个 PF。在这个串联支路中，气体放电管还承担一个开关的作用：在没有暂态电压时，它能将压敏电阻与系统隔离开，使压敏电阻几乎不产生泄漏电流。但与此同时，也带来了一个缺点，那就是反应时间成为各器件反应时间的总和。例如，压敏电阻的反应时间是 25ns，气体放电管的反应时间为 100ns，则图 2 中的 R_2、G、R_3 的总反应时间为 150ns。为了改善反应时间，在电路中加入压敏电阻 R_1，则即可使反应时间变为 25ns。金属氧化物压敏电阻（MOVDR）的电压——电流特性见图 3 所示，MOVDR 的特性参数见表 1 所示。气体放电管

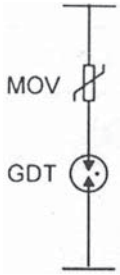

图1　气体放电管支路中串联压敏电阻原理图

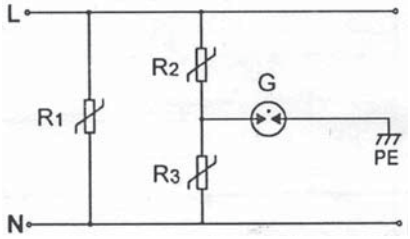

图2　气体放电管和压敏电阻组合构成的抑制电路

表1 金属氯化物压敏电阻(MOV)特性参数（以TKS产品举例）

型号	标称压敏电压	最大持续电压		最大限制电压 (8/20μs)		最大浪涌电流 (8/20μs)	最大能量	额定功率	电容量
	V_N (V)	$V_{N(AC)}$ (V)	$V_{N(DC)}$ (V)	V_C (V)	I_P (A)	I_{max} (A)	W_{max} (J)	P (W)	C (pF)
TVR 14471	470	300	385	775	50	4500	125	0.6	320
TVR 20511	510	320	410	845	100	6500	220	1	530
TVR 14561	560	350	450	930	50	4500	125	0.6	260
TVR 14621	620	395	510	1020	50	4500	125	0.6	240
TVR 14681	680	420	560	1120	50	4500	130	0.6	230
TVR 14751	750	460	615	1235	50	4500	143	0.6	220
TVR 14821	820	510	670	1355	50	4500	157	0.6	180
TVR 14911	910	550	745	1500	50	4500	175	0.6	170
TVR 14102	1000	625	825	1650	50	4500	190	0.6	150
TVR 14142	1400	820	1140	2300	50	4500	250	0.6	110
TVR 14162	1600	910	1300	2630	50	4500	315	0.6	95
TVR 14182	1800	1000	1465	2950	50	4500	354	0.6	85

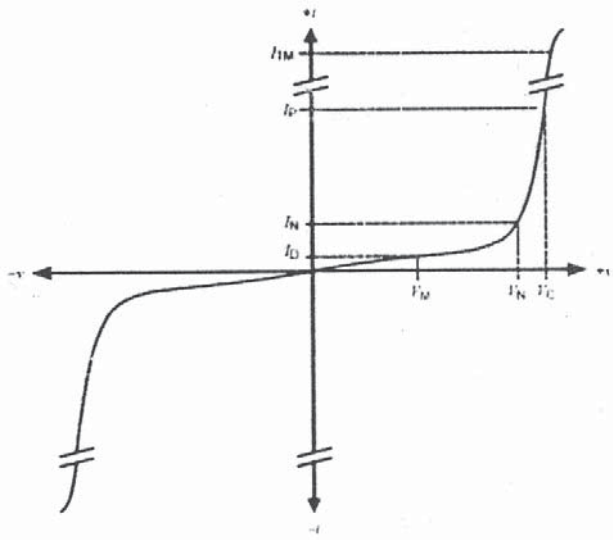

图3 金属氧化物压敏电阻(MOV)的电压-电流特性

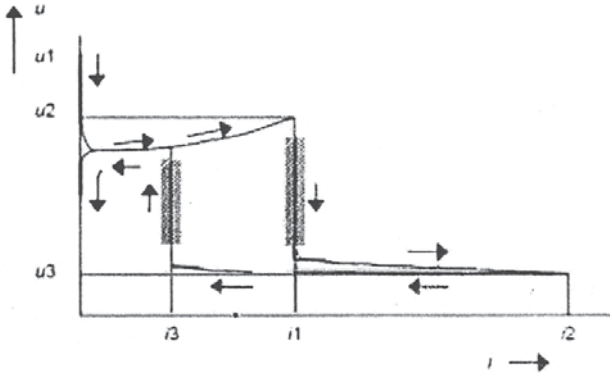

图4 典型气体放电管(GDT)的电压-电流特性

(GDT) 的电压——电流特性见图 4 所示，其特性参数列于表 2。如果存在浪涌干扰，加在气体放电管两端的电压一旦超过火花放电电压（图 4 中所示为 U_1）时，则放电管内部的气体将被电离，放电管即开始放电。这时，放电管端的电压迅速下降到辉光放电电压（图 4 中所示为 U_2，而 U_2 在表 2 中的数值为 140V 或 180V，这与放电管本身的特性相关联），同时管内电流开始升高。随着管内放电电流的进一步增大，放电管便进入弧光放电状态。此时，管子两端的电压（即弧光电压）下降得很低（图 4 中所示为 U_3，U_3 在表 2 中的量值为 15V 或 20V，其与管子本身的性能有关），而且弧光电压在相当宽的电流变动范围（从图 4 中的 i_1 到 i_2 的过程中）内保持稳定。因此，外界的大浪涌电压干扰，由于受气体放电管的放电作用，被化解成了低电压和大电流的受保护状态（即 U_3 和 i_2），而且这个电流（图 4 中的 $i_2 \rightarrow i_3$）通过气体放电管本身回流到干扰源内，这就免除了浪涌干扰对照明灯具可能造成的危害。随着浪涌过电压的消退，流过气体放电管的电流下降到维持弧光放电状态所需要的最小值以下（均为 10mA~100mA，同样与管子的特性有关），这样，弧光放电即停止，并再次通过辉光放电状态后，即结束整个放电状态（熄弧）。

表2 气体放电管(GDT)特性参数（以EPCOS产品举例）

型号	直流火花放电电压（V）	直流火花放电电压误差（%）	冲击火花放电电压1kV/μs波（V）	耐冲击电流8/20μs波寿命	耐冲击电流8/20μs波寿命	耐冲击电流10/1000μs波寿命	100Vdc下绝缘电阻（GΩ）	电容量（pF）	弧光电压（V）	辉光至弧光转变电流（A）	辉光电压（V）
EM2500XS	2500	±20	<3200	2kA/3次	5kA/1次	100A/300次	>1	<1	~15	~1	~140
EM3000XS	3000	±20	<3500	2kA/10次	5kA/1次	100A/300次	>1	<1	~15	~1	~140
EM4000XS	4000	±20	<4400	2kA/3次	2.5kA/1次	100A/300次	>1	<1	~15	~1	~140
EM3600XS	3600	±15	<4300	2kA/10次	N/A	100A/1000次	>1	<1	~15	~1	~140
A71-H25X	2500	±20	<3900	2.5kA/标称冲击放电电流	2.5kA/单个冲击放电电流	N/A	>10	<1	~20	~1	~180
A71-H35X	3500	±20	<4900	2.5kA/标称冲击放电电流	2.5kA/单个冲击放电电流	N/A	>10	<1	~20	~1	~180
A71-H45X	4500	±20	<5800	2.5kA/标称冲击放电电流	2.5kA/单个冲击放电电流	N/A	>10	<1	~20	~1	~180
A71-H55X	5500	±15	<6500	5kA/标称冲击放电电流	5kA/单个冲击放电电流	N/A	>10	<1	~20	~1	~180
注：上述气体放电管均为二极放电管。											

3 防浪涌干扰LED路灯设计的绝缘耐压解决方案

3.1 LED灯具耐压问题简析

在采用上述由气体放电管和压敏电阻组合而成的抑制电路防止浪涌干扰的LED路灯系统，普遍存在的绝缘耐压问题是在灯具的带电部件与金属部件之间不能承受2U+100V的基本绝缘电压，而常常在600V左右发生击穿现象。造成绝缘耐压达不到要求的根本原因是气体放电管的耐压参数选择不合理。所以，与其说是LED路灯存在绝缘耐压问题，还不如说是LED路灯的控制装置存在着绝缘耐压问题。因为路灯的防浪涌干扰电路通常是置于LED控制装置中的。存在防浪涌干扰功能的LED路灯控制装置应符合GB19510.14—2009《灯的控制装置第14部分：LED模块用直流或交流电子控制装置的特殊要求》和GB19510.1—2000《灯的控制装置第1部分：一般要求和安全要求》。

3.2 有关LED灯耐压绝缘问题释疑

LED路灯的制造厂商往往对绝缘耐压试验的问题提出质疑：他们认为气体放电管和压敏电阻的串联电路在绝缘耐压试验时应该断开。他们提出这个质疑主要来源于以下两个理由。

a. 第一个质疑的根据是GB7000.1—2007《灯具第1部分：一般要求与试验》之“10.2绝缘电阻和电气强度”之中的规定：“进行这些试验时，下述部件应断开，使试验电压加到部件的绝缘上，而不是加到这些部件的电容或电感功能元件上：①旁路连接的电容器；②带电部件和灯具壳体之间的电容器；③连接在带电部件之间的扼流圈和变压器”。

那么，图2中示出的L-R_2-G-PE或N-R_3-G-PE是否应该断开呢？现对以上质疑作如下说明：

关于上述GB7000.1—2007标准中的10.2款的“试验时要断开的部件”是指灯具点灯电路中附加的电容器或组件，并不包括LED控制装置（或部件）中的元器件。LED路灯控制装置的电气强度试验是依据GB19510.14—2009和GB19510.1—2000标准的要求进行的。所以，灯具在进行电气强度试验时，控制装置中的电容器或组件不能断开。

关于GB7000.1—2007标准中10.2款的①和②的电容器在灯具作耐压试验时断开，不是其没有耐压要求，实际上在灯具结构中就有明确要求，如GB7000.1—2007中的4.10.1款关于双重绝缘和加强绝缘中就规定：“抑制干扰电容器应符合GB/T14472标准的规定，并且连接方式应符合IEC14472标准的规定，并且连接方式应符合IEC60065：2001标准中8.6款的要求”。GB/T14472—1998标准《电子设备用固定电容器第14部分：分规范抑制电源电磁干扰用固定电容器》之表1B规定：Y1电容器应用于跨接在双重绝缘或加强绝缘之间、额定电压≤250V、峰值脉冲电压8.0kV；Y2电容器应用于跨接在基本绝缘或补充绝缘之间，额定电压：150V≤U≤250V；峰值脉冲电压5.0kV；Y3电容器应用于跨接在基本绝缘或补充绝缘之间，额定电压：150V≤U≤250V；Y4电容器应用于跨接在基本绝缘或补

充绝缘之间、额定电压<150V、峰值脉冲电压2.5kV。根据跨接绝缘的类型等确定相应分类等级的电容器，实际上，在灯具结构中就提出了相应绝缘对应的电容器耐压等级的要求。

图2中的电源之带电部件R_2—G—接地回路或电源之另一带电部件R_3—G—接地回路，它们显然不是在绝缘耐压试验或电气强度试验时应该断开的对象。

b. 第二个质疑的理由是：IEC60950-1：2005《信息技术设备的安全之第一部分：一般要求》之“5.2抗电强度”中“5.2.2试验程序”条中注4规定：“与被试验绝缘并联提供直流通路的元件（例如滤波电容器的放电电阻器、限压装置或浪涌吸收器）应断开”。由此质疑，图2中的L-R_2-G-PE或者N-R_3-G-PE是否应在试验中断开？

释疑：上述元件的断开限压装置或浪涌吸收器仅指压敏电阻器（例如图2中的R_1），未涉及气体放电管和压敏电阻的串联电路（图2中的电源一个带电部件-R_2-G-接地回路或电源另一个带电部件-R_3-G-接地回路）。理由是，IEC60950之中的1.5.9条“浪涌吸收器”中之1.5.9.1“一般要求”规定：“二次电路允许使用任何形式的浪涌吸收器，包括压敏电阻（VDR）。用于一次线路的浪涌吸收器应是一个压敏电阻，且VDR符合该标准之附录Q。VDR有时指Varistor（可变压敏电阻）或MOV（金属氧化物压敏电阻），而气体放电管、碳块和非线性的电压/电流特性的半导体器件等元器件，在该标准中均没有被认定为VDR（压敏电阻）。”

关于在什么绝缘状况下可以使用VDR，什么绝缘状况下不可以使用VDR，标准IEC60950-1：2005的1.5.9.3，1.5.9.4和1.5.9.5规定如下：

①允许用一个VDR跨接功能绝缘。

②允许用一个VDR，其一侧接地，跨接基本绝缘。

VDR跨接基本绝缘的装置应是下列之一种：

• B型可插式设备；或

• 永久性连接式设备；或

• 具有永久连接保护接地导体装置的设备且提供该导体的安装说明。

③不允许用一个VDR跨接附加绝缘、双重绝缘或加强绝缘。为了防止超过最大连续电压的暂态电压致使其在VDR内的泄漏电流过载产生过热，以及防止万一产生短路故障时VDR燃烧或爆炸，IEC60950-1：2005标准中的1.5.9.2规定应与VDR串联连接一个具有足够熔断能力的断路装置。浪涌吸收器是用作设备的差模保护，还是作为共模保护，对于安全性而言是不一样的。差模保护是指在电源的一极与另一极之间提供的抗干扰保护，其保护对象是设备，不涉及人身安全保护。共模保护是指在电源的任何一极与电源的接地之间提供的抗干扰保护，它除了保护设备的安全运行之外，更重要的是涉及到人在接触设备时的安全保护。从这个意义上说，保证安全应放在首位，然后再考虑满足EMC的要求。

3.3 LED路灯控制装置标准中的耐压试验有关方法

LED路灯控制装置应符合GB19510.14-2009《灯的控制装置第14部分：LED模块用直流或交流电子控制装置的特殊要求》标准的要求，而无论是GB19510.14-2009标准还是其引用标准GB19510.1-2000《灯的控制装置第1部分：一般要求和安全要求》的“介电强度”中没有断开部件的规定。

3.4 OSM/EE有关绝缘耐压的决议

EN60950《信息技术设备的安全》和EN60950-1《信息技术设备的安全第1部分：一般要求》中1.5.1有关的No.98/2的OSM/EE（欧洲电工标准化委员会电工设备操作员工会）就电源上压敏电阻的使用决议指出：“在电源与保护接地之间的避雷器或气体放电管串联的压敏电阻的组合应符合基本绝缘（如电气强度和对避雷器或气体放电管的外部爬电距离），且有防止短路的保护装置（决议认为压敏电阻不需要单认证）。1)A型可插式设备：所有国家都接受。2)B型可插式设备和永久性连接式设备：所有国家都接受。上述OSM/EE就电源上压敏电阻的使用决议清楚地证明了LED路灯在带电部件与金属部件之间进行绝缘耐压试验时，图2中的L-R_2-G-PE或N-R_3-G-PE不应该断开。”

3.5 绝缘耐压问题的解决方案

为了使LED路灯装置能够满足安全性要求，气体放电管的耐压选择至关重要，应该选用具有足够耐压强度的气体放电管与压敏电阻配套使用。压敏电阻和气体放电管串联电路（如图1所示）应该能够承受基本绝缘的耐压。几种气体放电管的直流火花放电电压和交流击穿电压的关系见表2所示。气体放电管的直流火花放电电压一般应选在不低于2500V。

4 小结

①LED路灯的EMC设计应建立在满足安全要求的基础上，不能以牺牲安全性为代价换取满足EMC的要求。

②LED路灯的设计必须满足以下要求：

a.LED路灯的安全性必须符合GB7000.5-2005《道路与街路照明灯具安全要求》和GB7000.1-2007《灯具第一部分：一般要求与试验》标准；

b.LED路灯的性能要依据标准GB/T24827-2009《道路与街路照明灯具性能要求》和GB/T9468-2008《灯具分布光度测量一般要求》设计；

c.LED路灯的EMI需要符合GB17743—2007《电气照明和类似设备的无线电骚扰特性的限值和测量方法》、GB17625.1-2003《电磁兼容限值谐波电流发射限值（设备每相输入电流≤16A）》和GB17625.2—2007《电磁兼容限值对每相额定电流≤16A，且无条件接入的设备在公用低压供电系统中产生的电压变化、电压波动和闪烁的限制》；

d.LED路灯的EMC需要符合GB/T18595—2001《一般照明设备电磁兼容抗扰度要求》。

参考资料（略）