

白色 LED 光源电路设计研究

王建军

(青海省新能源研究所,青海 西宁 810008)

摘要:通过对新型半导体光源——白色 LED 的基本电性能的初步研究,提出白色 LED 光源电路设计原则及注意事项,并阐述了用于太阳能的白色 LED 光源电路设计方案。

关键词:半导体;光源;白色 LED;太阳能

中图分类号:TM615 **文献标识码:**A **文章编号:**1006-8996(2006)02-0026-04

Study of white LED light source circuit design

WANG Jian-jun

(Qinghai New Energy Research Institute, Xining 810008, China)

Abstract: Based on the preliminary study of a new semiconductor light source - basic electricity performance of white LED, the design principle of white LED light source actuation circuit is proposed and points for attention are given. The design plan of white LED light source actuation circuit used in the solar energy is also elaborated in detail.

Key words: semiconductor; light source; white LED; solar energy

发光二极管 LED(light emitting diode)是一种能发光的半导体固态器件,其发光机理:在半导体 PN 结上施加正向电压时,半导体材料中的电子和空穴在 PN 结处相复合,发出与电子和空穴之间的能量差对应的光子而发光。用多原子晶体可产生红光、黄光、蓝光和白光。白色 LED 技术从 1998 年开发成功以来,基于白色 LED 的照明在国内外迅速兴起。由于白色 LED 光源具有发光效率高、使用寿命长、可低电压驱动、无汞和紫外线污染等特点,所以成为极具发展潜力的新型光源。

白色 LED 光源所特有的半导体器件特性,使其驱动电路结构与其他光源有较大区别,一款设计完美的白色 LED 光源驱动电路依赖于对白色 LED 基本电性能的研究。

1 白色 LED 主要电性能

在白色 LED 电性能研究试验中,采用国内某公司生产的白色 LED,样品数量为 1 000 只。

1.1 厂家提供的白色 LED 电性能参数(见表 1、表 2)

表 1 白色 LED 极限参数

	正向电流 (mA)	正向脉冲 电流(mA)	反向电压 (V)	工作温度 ()	贮存温度 ()	功耗 (mW)
最小值				- 25	- 40	
最大值	30	100	5	+ 85	+ 100	150

注:脉冲宽度 0.1 ms,占空比 1/10。

表 2 白色 LED 光电参数

	正向电压(V)	反向电流(μA)	光强(mcd)	视角(°)
典型值	3.5		8 500	15
最大值	4.5	50		

注:正向电流 20 mA,环境温度 25 。

收稿日期:2005-10-11

作者简介:王建军(1973—),男,河南禹州人,助理研究员。

1.2 白色 LED 的伏安特性

1.2.1 LED 理论伏安特性 如图 1 所示,LED 的正向电压 V 与正向电流 I 相互关系如下式:

$$I = I_0[\exp(eV/kT - 1)] \tag{1}$$

其中, V 为 PN 结外加电压, I_0 为定值, e 为电子电荷, k 为波尔兹曼常数, 常数 近似取 2, 当外加电压较高, 电流 I 以扩散电流为主时, 近似等于 1, T 为温度。

1.2.2 实测白色 LED 的伏安特性(见图 2)

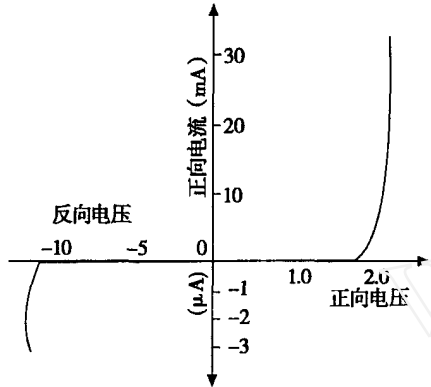


图 1 LED 理论伏安特性曲线

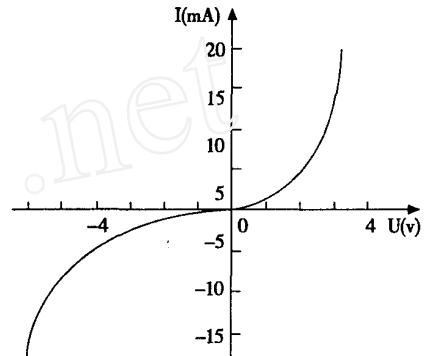


图 2 白色 LED 伏安特性曲线

从公式(1), 图 1 和图 2 的曲线分布来看, 它与半导体二极管伏安特性基本相同。可近似认为正向电流 I 与正向电压 V 的 n 次方成正比。在正向电压较小时, 正向电流主要为漏电流, 数值很小, 此时 n 等于 4, 随着外加正向电压增大达到 PN 结内部电位差时, 正向电流急剧增大, 即白色 LED 工作电压的较小波动就会导致工作电流的急剧变化, 可能导致 PN 烧坏。所以在设计驱动电路时必须考虑 LED 这一特性, 采用限流电阻或者恒流驱动。

1.3 白色 LED 光学性能与电流的关系

1.3.1 LED 发光亮度与电流的关系 $L = L_0 \exp(eV/mkT - 1)$ (2)

其中 m, L_0 为常数, m 最初为 1, 随着电压升高为 2, 之后变为 1, 这时 L 与 I 成比例(在达到发光饱和前成正比)。

1.3.2 白色 LED 光通量、光效与工作电流的关系 在室温下, 实测得到白色 LED 电流和光通量的关系曲线见图 3, 电流和光效的关系曲线见图 4。由公式(2)和实测曲线得出, 白色 LED 亮度和光通量基本上随着电流的增大而增大, 但光效却随着电流的增大而减小。

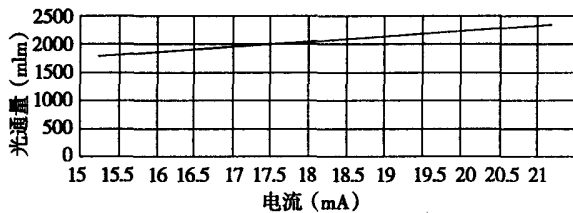


图 3 白色 LED 工作电流与光通量关系曲线

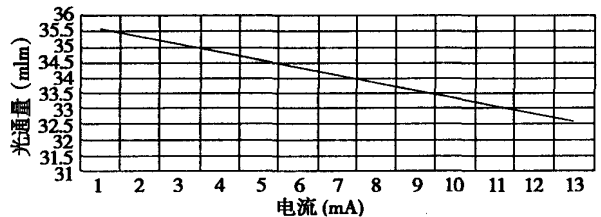


图 4 白色 LED 工作电流与光效关系曲线

1.4 白色 LED 工作电流受温度变化的影响

从白色 LED 的伏安特性公式(1)可以得出正向电流与温度有关, 正向电流的变化将导致工作点的漂移。图 5 是实测的白色 LED 工作电流随温度变化的曲线, 图中白色 LED 的工作电流基本上随温度的升高而升高, 表现为正温度特性, 近似变化率约为 0.06 mA/°C。

2 白色 LED 光源的电路设计

上述对白色 LED 电性能的研究分析发现,影响白色 LED 光效和光通量的主要因素为工作电流、电压和温度,各因素间相互关联。所以对白色 LED 光源电路的设计,应充分考虑各关联因素之间的均衡,这直接关系到白色 LED 光源的可靠性和实用性。

2.1 基本设计原则

白色 LED 电路设计应充分考虑白色 LED 的电性能参数和主要光电特性,同时要考虑电路的转换效率和复杂程度。

2.2 白色 LED 的最佳工作点的确定

由于目前白色 LED 的单只成本相对较高,要设计性价比较高的白色 LED 光源,最佳工作点的确定是重点。以上研究表明,主要依据厂家提供的光电性能参数,实测伏安特性,工作电流与光通量、光效的关系以及工作温度的影响来综合确定,既要满足实际照明需要,又要兼顾能最大限度的发挥白色 LED 性能。

以试验用白色 LED 为例,厂家提供的典型正向电压为 3.5 V,由图 2 可以得出,该电压对应的工作电流约为 25 mA。此时白色 LED 的光通量处于较高水平而发光效率却降到 30% 以下,如果该光源工作在温度较高的环境下,白色 LED 的发光效率将更低。即此时的白色 LED 并非处于最佳节能工作状态,光源亮度的提高以增加能耗为代价,该设计显然不符合白色 LED 节能的特点,应该适当降低白色 LED 工作点电流来提高光效,如图 2,可降低至 20 mA。而过多降低工作点电流又将导致该光源的发光亮度急剧下降,尤其是该光源工作在温度较低的工作环境时。所以应根据具体的使用条件最终确定白色 LED 工作点参数。

2.3 电路设计的可靠性

目前市场上用于照明的白色 LED 光源电路普遍采用简单的电阻限流方式,而电源的供电电压一般变化范围较大。上述研究表明,白色 LED 的特性接近稳压二极管,工作电压变化 0.1 V,工作电流可能变化 20 mA 左右,容易造成白色 LED 的损坏,降低产品的可靠性。所以电路设计时最好采用具备自动恒流特性的驱动电路,另外降低电路设计的复杂程度也是提高白色 LED 光源可靠性的有效途径之一。

2.4 电路的转换效率

节能为白色 LED 的主要特点之一,完美的光源电路设计,既考虑白色 LED 的单管效率,也考虑电路的整体转换效率。如简单的串联稳压,恒流的电路效率约为 60%,而采用电荷泵或者开关稳压,则可达 90% 以上,相同使用条件下,后者的能源利用率是前者的 1.5 倍。另外,白色 LED 如果工作在脉冲驱动状态,其脉冲驱动平均电流与直流相等时,亮度比直流更高,即脉冲驱动比直流驱动效率更高。

2.5 电路设计应注意的其他问题

(1) 白色 LED 的最大正向电流 30 mA,最大反向电压 5 V,尤其在升压电路峰值电压过高时,很可能超过这个极限而损坏 LED。

(2) 白色 LED 温度特性不好,电流变化率近似为 0.06 mA/℃,在温度变化较大的环境应用时应考虑温度的影响。

(3) 工作电压离散性大,同一型号,同一批次的 LED 工作电压都有一定差别,不宜直接并联使用。若并联使用,应该考虑均流设计,并在生产前进行分类筛选。

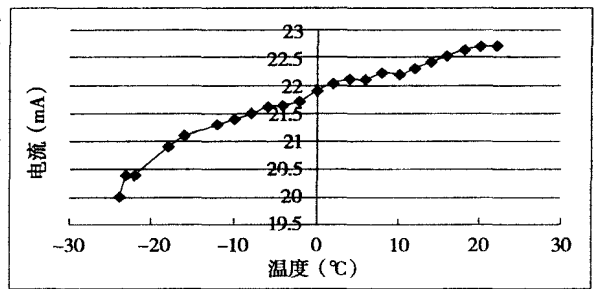


图 5 白色 LED 工作电流随温度变化的曲线

3 白色 LED 光源电路设计实例——太阳能草坪灯光源

3.1 电原理图(见图 6)

3.2 设计思路

太阳能草坪灯一般作为室外夜晚装饰照明,四季环境温度变化较大,温度影响因素明显,要求白色

LED 工作在恒定电流状态,而使用环境对光照强度要求不高。设计中可以优先考虑白色 LED 的效率和使用寿命,适度降低白色 LED 的工作点电流,有益于太阳能草坪灯整体性能的提高。考虑到太阳能发电成本相对较高,系统效率的提高相对重要。所以,白色 LED 电路采用专业电荷泵 IC 恒流驱动电路设计,恒流调整电路工作在高频开关状态,不但降低了电路损耗,还可以提高电路的转换效率,提高电路的可靠性。另外可以通过降低系统电压,达到降低太阳电池组件的生产难度,提高系统的性价比。

3.3 电路说明

图 6 中,SP6682 是一种标准的稳压充电泵电路。该 IC 包含一个内部 500 kHz 振荡器,用以正常驱动充电泵电容器,使输出电压增加一倍。振荡器的输出加到了引脚 7 上,驱动 Q_1 的导通和截止。 Q_1 、 L_1 、 D_1 和 C_1 组成一个升压稳压器,使 C_1 两端的电压升高。当该电压超过白色 LED 的正向压降之和时,电流开始流动。电路检测 R_1 两端的电压并将其与芯片内的 0.3 V 参考电压比较,达到恒流驱动的效果。经测试该电路具有高达 87% 的转换效率。

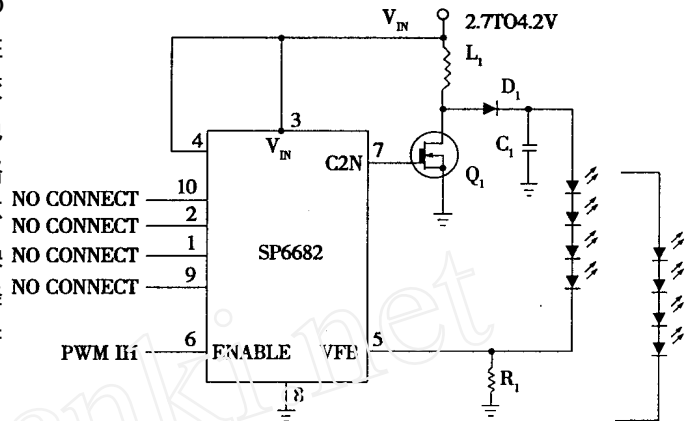


图 6 太阳能草坪灯用白色 LED 光源驱动电路原理示意

4 结论

(1) 在设计白色 LED 光源时,应充分考虑影响其光电性能的诸多因素,如工作电压、工作电流以及工作温度的变化对工作点的影响,同时应兼顾电路结构的复杂程度,实现性价比较佳的设计。

(2) 白色 LED 具有的寿命长、可低压驱动、安全稳定等优良特性奠定了作为新一代光源的基础。随着白色 LED 性能的进一步改进和照明系统的完善,白色 LED 将会在 21 世纪发展成为替代白炽灯、荧光灯的主要光源。

参考文献:

- [1] 赵富鑫,魏彦章. 太阳电池及其应用[M]. 北京:国防工业出版社,1985.
- [2] 毛兴武,祝大卫. 电子镇流器原理与制作[M]. 北京:人民邮电出版社,1999.
- [3] 张兴义. 电子显示技术[M]. 北京:北京理工大学出版社,1995.
- [4] 项红升,李明,王志华,等.LED 在绿色节能照明中的应用进展[J]. 可再生能源,2004,(5):52-54.

(责任编辑 王宝通)