

文章编号: 2095-2163(2020)12-0226-04

中图分类号: TN86

文献标志码: A

LED 驱动电源综述

谭钰霖¹, 马奎^{1,2}

(1 贵州大学 大数据与信息工程学院, 贵阳 550025; 2 半导体功率器件可靠性教育部工程研究中心, 贵阳 550025)

摘要: 在全球关注气候变化和可持续资源利用的推动下, 研究人员正致力于通过使用 LED 来优化照明系统的能源消耗, LED 的能效大约是传统光源的 3 倍。现代固态和有机发光二极管提供了均匀、可控和高功率照明的途径, 可用于如显示器、指示器和背光等。最先进的基于 LED 的设计, 提供便携性、寿命、节能、遥控和自动控制功能, 对家庭、办公室和公共照明应用非常有吸引力。LED 在照明领域正扮演着越来越重要的角色, 而其中 LED 驱动电源的品质会直接影响着 LED 产品的性能。本文结合国内外文献, 总结 LED 驱动特性的分类, 分析目前 LED 驱动电源的现状, 并对未来 LED 驱动电源的发展进行展望。

关键词: LED; OLED; 驱动电源; 智能照明

Overview of LED Driver Power Sources

TAN Yulin¹, MA Kui^{1,2}

(1. School of Big Data and Information Engineering, Guizhou University, Guiyang 550025, China;

2. Engineering Research Center of Semiconductor Power Device Reliability, Ministry of Education, Guizhou 550025, China)

[Abstract] Spurred by global concerns about climate change and sustainable resource use, researchers are working to optimize lighting systems by using led, which are about three times more energy efficient than traditional light sources. Modern solid-state and organic light-emitting diodes are designed to provide uniform, controllable and high-power lighting pathways. Can be used for display, indicator and backlight. The state-of-the-art LED-based design offers portability, longevity, energy efficiency, remote control and automatic control, making it attractive for home, office and public lighting applications. LED is playing an increasingly important role in the lighting field, among which the quality of LED drive power will directly affect the performance of LED products. In this paper, based on the literature at home and abroad, the characteristics of LED drives are summarized, the current situation of LED drive power is analyzed, and the development of LED drive power in the future is prospected.

[Key words] LED; OLED; Driving power supply; Intelligent lighting

0 引言

节约能源是目前全球经济发展的一个重要目标, 而照明消耗的电能大概是世界能源消耗的 20%。因此提升应用于各种环境的照明效率, 开发并使用更加环保、污染更少的照明技术, 可以有效地实现节能减排。LED 作为第四代环保光源, 具有结构简单重量轻的特点, 广泛应用于室内外各种特殊场合的照明。驱动电源主要作用是将高压交流电转换成可以供 LED 工作的直流电压, 并且对电子电路传来的信号按照其控制目标的要求, 控制开关的开通或者关断。

1 LED 驱动器存在问题及解决方案

目前市场上主要的商用 LED 有白色 LED、红色/绿色/蓝色 (RGB) LED 和有机 LED。RGB LED 是基于磷光体的白色 LED, 经过改进的 LED 在颜色控制上更加灵活。然而, 红色、绿色和蓝色发光二极管的正向电压降却大不相同。为了满足现有的市场

需求, 各类 LED 层出不穷, 其输出电压和功率水平各不相同, 但是缺乏统一的国际标准产生多个问题。传统灯与 LED 灯对比见表 1。

表 1 传统灯与 LED 灯对比

Tab. 1 Comparison between traditional lights and LED lights

	白炽灯	荧光灯	LED	
效率	很低	高	超高	
特点	可调光性	全范围特殊调光	CFI 专用调光 LED	
温度	热	热到冷	从热到冷	
光输出流明	400-500	40w	9-11w	5w
	800-1000	60w	13-16w	10w
	1100-1300	75w	18-20w	15w
	1300-1600	100w	23-27w	20w
每盏灯的寿命	寿命	1000 小时	8000 小时	25000 小时
成本	年能源成本	\$ 5.75	\$ 1.5	\$ 1.25

第一个重要的设计问题是 LED 驱动器的效率。目前的趋势是使用碳化硅 (SiC) 或氮化镓 (GaN) 开

作者简介: 谭钰霖 (1995-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向: 模拟集成电路设计; 马奎 (1985-), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向: 半导体集成技术、三维集成技术、半导体功率器件和功率集成技术。

收稿日期: 2020-07-19

关器件代替传统的硅开关器件。然而,这是一个更昂贵的过程,只会导致成本不断提高^[1]。另一种方法涉及使用田口法确定最佳设计参数。这种方法使得采用再生缓冲的前向反激式 LED 驱动器的效率提高了 8.3%。一些研究人员尝试对每个功率元件进行精确建模,以提高集成 buck-flyback LED 驱动器的效率^[2]。这种方法使 LED 驱动器的效率提高了 9.0%。虽然体积小,但是增加了谐波失真和高功率因数。在 LED 照明系统中最脆弱的环节是采用电解电容的 LED 驱动器。研究人员提出了一种改进的准反激驱动器零件应力分析方法^[3]。使试验结果更加准确,接近加速寿命试验方法。并且在评估电解电容器的应力水平和寿命模型的可靠性时,考虑了参数的变化^[4]。仿真结果对电容器的选择和其它电子器件的寿命预测有一定的参考价值。

另一个主要问题是由于 led 中低频电流纹波的传播而引起的灯的闪烁。对于大于 200Hz 的调光频率,人眼感知到的是光强度损失而不是闪烁。一些学者提到调光频率为 125Hz,以尽量减少可见闪烁^[5]。IEEE 标准 PAR1789A 小组提出了关于 LED 照明技术闪烁效应的报告,总结了隐形和可见闪烁对人类健康的影响。这些指南在设计 LED 照明系统时非常有用。另一方面,调光技术对于控制 LED 发出的光的数量非常重要。脉冲宽度调制(PWM)调光是一种非常有效的节能方法。通过高频 PWM 电流控制更容易使 led 变暗^[6]。另外,LED 驱动器可能产生不必要的电磁干扰(EMI)。然而,利用分布的脉宽调制电流频谱可以避免电磁干扰。另一种方法是基于振幅调光,其中获得的 LED 电流在本质上是连续的。LED 的亮度是通过调节连续电流的大小来控制的。其还会影响发射光的温度。这种策略不利于在灯闪烁时改变亮度,因此可以在很大程度上避免与闪烁相关的健康风险。

模拟调光实现了很高的发光效率,但会导致颜色偏移,这是无法通过 PWM 调光改变的^[7]。为了结合脉冲调制(PWM)和幅度调制(AM)的优点,采用混合 AM/PWM 调光策略。混合型 PWM/AM 的平均正向电流控制是通过改变峰值电流和占空比来实现的。但是,随着复杂度的增加,消除了颜色的变化^[8]。

另一方面,因为调光范围有限以及电源质量问题,会产生基于 TRIAC 的调光与 LED 灯的兼容的问题^[9],LED 电流可能低于 TRIAC 保持电流。为此,提出了相位角检测和无源泄放器利用等方法解决此问题。

2 先进实用的 LED 驱动器拓扑

基于应用的新型 LED 驱动器拓扑的描述,如有机 LED、多串 LED、可调光 LED 照明、混合输入、极高开关频率、无电感和可调直流阻抗。

2.1 用于有机 LED 应用的开关电容器

基于 OLED 的解决方案在通用照明领域有着光明的前景,三星、LG、三菱、松下等世界领先企业都在积极开发基于 OLED 的大面积扩散照明元件。这些 OLED“灯泡”非常薄、重量轻、无眩光面板释放明亮的光,并且热量或紫外线辐射低。寿命长、产生均匀的暖白光、亮度可调、目前发光效率约为 60lm/W,但在实验室已达到 100lm/W。OLED 照明面板已经从 Phillips、Lumiotec 和 OSRAM 获得,耐用、灵活、高效,成本约为 500 美元。有不同的形状和大小,可嵌入大多数材料和表面,如墙壁、窗户和家具。许多创新的想法可以通过 OLED 照明实现,其中 OLED 灯面板被视为室内和室外建筑的“建筑材料”。这些可以包括作为发光窗玻璃的 OLED,以期望的颜色发光,可以开发自然的室内照明,并使用大面积 OLED 天花板模拟人造天空。室内 OLED 照明灯展示如图 1 所示。



图 1 室内 OLED 照明

Fig. 1 Indoor OLED lighting

2.2 用于多照明 LED 应用的 SEPIC 转换器

SEPIC 转换器具有高效率、高功率因数和降低器件应力等吸引人的特点,但是存在电流调节速度快的问题^[10]。需要额外的组件,如调光电阻和齐纳二极管调节电流。

2.3 用于 LED 照明应用的高频谐振 DC/DC 转换器

一个非常高频的 5W SEPIC 谐振转换器使用标准的 n 通道 MOSFET,在 51 MHz 的开关频率下可以实现 40—15 V 的转换^[11]。这个转换器便宜,允许更高的输入电压。转换器可以为一系列的 LED 提供 12—15 V 正向压降。该转换器的功率密度为 8.9 w/cm³。这些转换器的功率因数较低,效率也较低,范围为 80%—84%。

2.4 功率 LED 应用的高功率因数驱动器

集成双降压(IDBB)转换器类似于级联两个

buck-boost 转换器。输入电感在 DCM 中工作以获得接近单位功率因数 (PF)。此外,输出电感在 CCM 中工作以获得较低的输出电流纹波。CCM 导致较低的总线电容,并允许使用薄膜电容器代替电解电容器。该拓扑具有寿命长、LED 电流纹波小、功率因数高、效率高等特点。脉宽调制调光频率范围为 200-500 Hz。该变换器的效率测量范围为 84%~85%。主要损耗发生在 MOSFET 开关和两个电感中。

2.5 用于低占空比 LED 应用的高电压增益的二次升压转换器

一种新颖的 9-16 V 输入/115 V 输出,40 kHz 高阶跃集成二次升压转换器和电压倍增器^[12]。开关占空比稍有增加,即可获得高电压增益。随着匝数比的增加,电压倍增器进一步提高了电压增益。这种转换器只有一个开关,元件少、开关应力小。变压器的漏感实现了二级升压二极管的零电流开关 (ZCS) 和倍压器。测量效率为 92%。但是,与现有

的 boost 拓扑相比,需要相对更多的组件。多种常用传统 LED 拓扑结构对比见表 2。

3 LED 驱动器的研究热点

3.1 新型半导体材料

硅基功率半导体器件工作在较低的开关频率 (<10 kHz)。因此,电力电子变换器需要大的无源元件,从而增加了系统的体积和重量。此外,功率转换效率取决于功率开关的导通电阻。有鉴于此,采用宽禁带 (WBG) 半导体材料,如碳化硅 (SiC) 和氮化镓 (GaN) 代替硅,以实现低导通电阻、高开关速度、高电压、高功率密度、高可靠性和高效率^[13]。与硅基材料相比,这些材料可以承受高达 700 °C 的温度。临界电场越高,泄漏电流越小,电压越高。此外,更高的开关频率是基于高电子迁移率和电子饱和速度。提出了一种基于薄膜和陶瓷电容的叠层开关电容 (SSC) 能量缓冲器的 GaN 极高功率密度 LED 驱动器^[14]。在 500 KHz~1 MHz 的开关频率范围内,该 LED 驱动器的效率为 91.0%。

表 2 传统拓扑结构

Tab. 2 Traditional topologies

	类型特征
Buck	效率高 没有右半平面 (RHP) 零点 在故障条件下有效控制电压和电流 间断电源和连续负载电流
Boost	效率更高 存在右半平面 (RHP) 零点 存在连续输入和不连续输出电流 需要有一个负载连接到它的输出
Buck-Boost	不连续的电流 更高的开关速度 占空比大于 0.5 时存在稳定性问题
Flyback	基于不连续传导模式的反激适合于恒流输出应用 DCM 中的快速响应 不连续输入/输出电流 输出电压纹波大
Cuk	开关控制端子的接地连接 持续电流和减少电磁干扰 与具有相同输出的 buck-boost 相比,效率更高
Zeta	开关控制端子接地多为无源元件 不连续输入和连续输出电流
Half-bridge	更复杂的控制 滤波电容器体积大,成本高 输出电感和电容更小

3.2 智能 LED 照明驱动系统

智能照明驱动系统是指对照明光源进行个性化控制,以满足不同人群的多种需求。智能照明驱动系统不仅满足基本照明,而且可根据需求调节色温、亮度、设置情景照明模式、定时等,大幅提升了室内照明品质,同时也降低了电能和安装成本^[15]。LED 的易控性,为智能照明的发展提供了空间^[16]。

智能 LED 照明驱动系统可以提高视觉舒适性和能效。其消除了整个系统的手动模式操作。智能 LED 照明系统由节能 LED 驱动器、数字传感器和执行器、实时色彩再现高级控制算法以及通信接口组成^[17]。这些系统与微型光谱仪、RGB 颜色传感器、用于 VLC 系统的 PIN 二极管、PIR 占用检测器、用于 LED PCB 的数字温度传感器和光电池一起使用。此外,为了减少较低频率下的可见和非可见闪烁,LED 驱动器具有动态调光功能。

智能照明驱动系统对于提高生活品质,提高工作效率,提升管理水平有着重要作用。智能照明驱动系统的发展空间巨大,伴随着生活水平的提高,其应用将会愈加普遍,将会成为照明产品的新风口。

4 结束语

商业化 LED 照明驱动系统需要具有吸引力的驱动器拓扑结构,以实现长寿命、高效率、高密度和高可靠性,其宗旨是扩展 LED 应用领域。但是,LED 驱动器的性能必须符合国际法规和标准。有些驱动器拓扑被发现效率低,仅限于低功耗应用。不仅如此,开关频率也成了制约因素。因此,这些拓扑将与软交换技术或效率增强方法一起使用。

未来的发展趋势是利用宽禁带半导体材料开发低成本、高效率、高功率密度的 LED 驱动器。此外,在设计可编程 LED 驱动器时,还要考虑电路参数的变化,本文为设计人员选择合适的拓扑结构提供了指导。

参考文献

[1] KIZILYALLI I C, XU Y A, CARLSON E, et al. Current and future directions in power electronic devices and circuits based on wide band-gap semiconductors [C]// Workshop on Wide Bandgap Power Devices and Applications. 2017:417.
[2] ABDELMESSIH G Z, ALONSO J M. Loss analysis for efficiency improvement of the integrated buck-flyback converter for LED

driving applications [C]// 2017 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting. IEEE, 2017:1-8.
[3] HUI Z. Reliability and lifetime prediction of LED drivers [C]// China International Forum on Solid State Lighting; International Forum on Wide Bandgap Semiconductors China, 2017:24-27.
[4] NIU H, YE X, WANG S, et al. Reliability Assessment of LED Driver Considering Parameter Variations in Strength and Stress Model [C]// Annual Reliability and Maintainability Symposium, 2018:1-7.
[5] WILKINS A, VEITCH J, LEHMAN B. LED lighting flicker and potential health concerns: IEEE standard PAR1789 update [C]// IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), 2010:171-178.
[6] LIU P J, HSU Y C. Boost converter with adaptive reference tracking control for dimmable white LED drivers [J]. Microelectronics J 2015, 46:513-518.
[7] LIN Y L, CHIU H J, LO Y K, et al. LED backlight driver circuit with dual-mode dimming control and current-balancing design [J]. IEEE Trans. Ind. Electron 2014, 61(9):4632-4639.
[8] NG S K, LOO K H, LAI Y M, et al. Color control system for RGB LED with application to light sources suffering from prolonged aging [J]. IEEE Trans. Ind. Electron 2014, 61(4):1788-1798.
[9] EOM H, LEE C C, YANG T Y, et al. Design optimization of TRIAC-dimmable AC-DC converter in LED lighting [C]// IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition, 2012:831-835.
[10] TIBOLA G, BARBI I. Isolated three-phase high power factor rectifier based on the SEPIC converter operating in discontinuous conduction mode [J]. IEEE Trans. Power Electron 2013, 28(11):4962-4963.
[11] A Novel Valley-Fill SEPIC-Derived Power Supply Without Electrolytic Capacitor for LED Lighting Application [J]. IEEE Trans. Power Electron 2012, 27(6):3057-3071.
[12] WANG Y, QIU Y, BIAN Q, et al. A Single Switch Quadratic Boost High Step Up DC-DC Converter [J]. IEEE Trans. Ind. Electron 2019, 66(6):4387-4397.
[13] DEBOY G, HAEBERLEN O, TREU M. Perspective of loss mechanisms for silicon and wide band-gap power devices [J]. CPSS Transactions on Power Electronics and Applications 2017, 2(2):89-100.
[14] PERVAIZ S, KUMAR A, AFRIDI K K. GaN-based high-power-density electrolytic-free universal input LED driver [C]// IEEE Energy Conversion Congress and Exposition, 2017:3676-3683.
[15] 何伟. 基于手机 APP 控制的智能 LED 灯设计与实现 [D]. 杭州:杭州电子科技大学, 2017.
[16] 王敏, 武阳, 王宁, 等. 基于物联网构架的智能照明系统的设计和实现 [J]. 电工技术学报, 2015, 30(1):110-114.
[17] 李运荣. 基于智能照明系统的多彩色实现与管理 [D]. 南京:东南大学, 2016.