

一种高功率因数交流 LED 驱动电路的设计

刘生建¹, 马桂芳¹, 邱晓芬²

(1. 龙岩学院 机电工程学院, 福建 龙岩 364012; 2. 福建龙净环保股份有限公司, 福建 龙岩 364000)

摘要:传统的 LED 驱动电路由于采用 AC-DC 变换器, 需要大的电感和电解电容, 导致 LED 驱动电路存在体积大、成本高、寿命短等问题, 提出一种新型交流电压直接驱动的 LED 驱动电路。该驱动电路仅需要 MOSFETs 和运放等有源器件, 输入电流能跟随输入电压呈正弦波形变换, 以获得高功率因数和低 THD。仿真和实验验证该驱动电路的电气特性。

关键词: AC LED; 功率因数; 有源器件; 驱动电路

中图分类号: TM491 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-5322(2016)01-0023-05

高亮度发光二极管具有发光能效高、光学性能好、寿命长及环境友好等优点, 是极具发展前景的新一代绿色照明光源^[1]。然而发光二极管 (Light Emitting Diode, LED) 是低电压 (1.8 ~ 3.6 V)、大电流 (20 ~ 150 mA)、直流 (DC) 驱动的半导体器件 (常被称作直流 (DC) LED), 在实际应用时需采用 AC-DC 开关变换器驱动 LED^[2], DC LED 用于路灯、景观照明等需要使用工频市电的场合时, 这些 AC-DC 开关变换器需要用大的无源器件 (如电感器、电解电容等) 才能实现直流驱动, 这势必造成 LED 照明系统体积增大的同时降低了整机寿命^[3]。正是在这一背景下, 交流电压直接驱动 LED 光源 (AC LED) 的电路拓扑被提出。

最简单的 AC LED 驱动电路拓扑结构如图 1 所示, 由电源部分、LED 串及限流电阻 R 组成。它可以通过两种方式表示, 分别如图 1 中的 a 和 b。图 1a 电路将 LED 均分为 5 串, 其中 4 串组成一个整流桥, 整流桥两端接交流电源, 另两端连接一串 LED, 4 个桥臂上的 LED 串分 2 组轮流发光, 另一串 LED 因共用而一直发光; 图 1b 电路是无整流桥结构, 但需要两组 LED 串反向并联。这两种 AC LED 电路拓扑虽然简单, 但具有很高的电流谐波失真和高的峰值电流, 且功率因数较低^[3-4]。

基于以上分析, 本文提出一种新的 AC LED 驱动电路拓扑结构。该电路拓扑无需电感器和电解电容, 仅采用有源器件如 MOSFET、运算放大器和比较器等。下文并分析该电路拓扑的工作原理, 仿真并实验验证其电气特性。

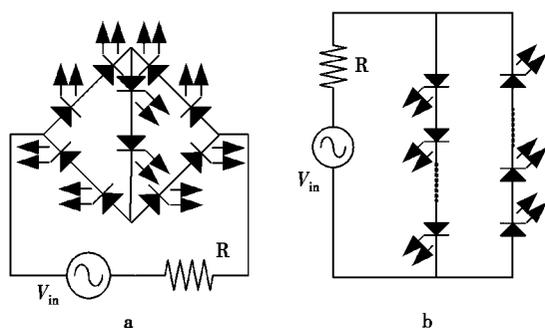


图 1 简单 AC LED 电路拓扑结构

Fig. 1 Conventional AC LED driver

1 电路结构和工作原理

1.1 主电路拓扑

图 1a 所示的电路拓扑是常用的 AC LED 驱动电路拓扑。LED 负载的非线性特性, 使其在输入电压峰值附近输入电流很大, 而在输入电压很低时由于 LED 的关断则几乎没有电流, 也即

电路拓扑中的每个运算放大器用于控制相应模块 MOSFET 栅极。电路拓扑为使输入电流跟随输入电压波形变化,必须克服因 LED 数量增减而导致输入电流的非线性变化。当输入电压不断下降(或上升),相应模块开始导通(或关断),从而旁路(或接入)相应 LED 串,以确保输入电流呈正弦变化。

需要注意的是,虽然所有模块的运放都具有相同的输入,但由于每一个运放只能产生一个等于 V_+ 的门限值,且该值小于相应模块 LED 串正向电压值,保证输出电压渐近式增减,确保输出电压波形近似正弦变化。此外,当电流流过 LED 串 L_2 时,即使模块 1 运算放大器的输出是高电位的,但 MOSFET S_1 栅源极电压仍然无法高到足以使 MOSFET S_1 导通的程度。因此, MOSFET S_1 导通是在 MOSFET S_2 导通且 S_2 漏源两端的电压很低时才出现的;相应的, MOSFET S_2 关断是在 MOSFET S_1 关断后才发生。

通过上述原理分析,容易得出这样的结论:如果将 LED 等分成更多的模块添加到电路系统中,虽然增加了电路的复杂性和成本,但输出电流波

形可更接近于正弦周期性变化;尽管每增加一个模块意味着增加一个 MOSFET 管和一个运放,但由于这些有源器件都是工作于线性区,且 MOSFET 管导通与关断是运行在一个非常低的频率,使得整个电路系统有源器件功率损耗较小。

2 电路拓扑仿真和实验分析

为验证所提出的高功率因数 AC LED 驱动电路拓扑硬件实现的可行性,依照图 2 设计 1 台 1.5 W 小功率实验样机进行验证。实验参数如下:额定输出功率 1.5 W;交流输入电压峰值 60 V;输入电压频率为 50 Hz;当 LED 串电流为 50 mA 时电压为 50 V;功率因数 $PF > 0.95$,总谐波失真 $THD \leq 10\%$ 。

2.1 仿真分析

整流桥式 AC LED 驱动电路(图 1a)仿真结果如图 4 所示。图 4a 为输入电压与输入电流波形,图 4b 为总谐波失真 THD。由图 4a 不难看出,输入电流并没有跟随输入电压呈正弦变化,而是产生了畸变。测得此电路拓扑功率因数 PF 为 0.83,图 4b 所示 THD 在 67% 左右。

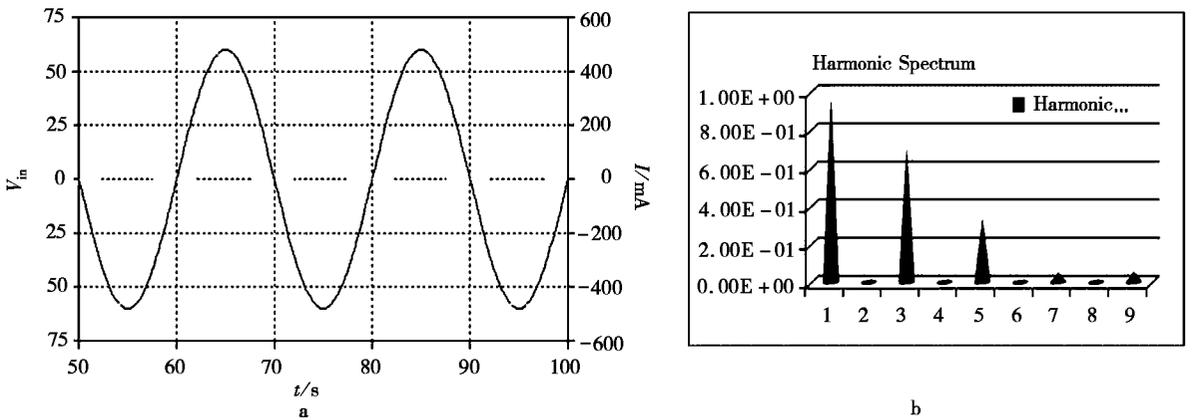


图 4 整流桥式 AC LED 电路仿真分析图

Fig. 4 The simulation waveforms of rectifier - based AC LED

对提出的高功率因数 AC LED 电路进行仿真,部分波形如图 5 所示。参考电压及 LED 串电流波形如图 5a 所示,参考电压由电源整流后经 R_1 和 R_f 分压而得(如图 2 所示)。由图 5a 可知,LED 串电流波形基本跟随参考电压波形呈规律变化,只有当参考电压很低时,输入电压不足以克服 ST0 串 LED 的正向压降,导致 LED 串没有电流流过。总谐波失真 THD 如图 5b 所示,THD 为 10%,功率因数为 0.97。

仿真验证了理论分析的可行性。

2.2 实验分析

图 6 为样机输入电流、参考电压及直流电压 V_+ 波形图,图 7 为 LED 串电流、MOSFET S_a 漏极电压及参考电压波形图。由图 6 可以看出,输入电流跟随参考电压呈正弦规律变化, V_+ 稳定在 10 V,作为运放的电源;图 7 中的 LED 串电流与参考电压波形变化与图 5a 仿真波形基本一致,证明该电路拓扑工作正常。由图 7 中 MOSFET S_a