

基于芯片接口 PWM 调光的三相交流 LED 隧道照明系统的设计与应用

徐超¹ 杨枫² 戴焱帆¹

1.杭州易会通科技有限公司 浙江 杭州 311100

2.广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司 广东 广州 510507

【摘要】：本文采用基于驱动芯片与调光信号直接相连的三相交流 LED 隧道灯一体化的设计理念，以隧道灯作为基本单元，通过芯片调光接口与数字脉冲宽度调制信号（PWM）直接相连，在三相交流 380V 的供电条件下直接工作，实现了三相交流 LED 隧道照明系统灯的数字化调光和单灯控制管理，具有驱动芯片化、光源模组一体化、调光接口数字化、管控智慧化等优点，大幅提升了隧道照明的使用效率和节能水平。

【关键词】：PWM 调光；三相交流 LED 隧道灯；隧道照明系统

Design and Application of Three-phase AC LED Tunnel Lighting System Based on Chip Interface PWM Dimming

Chao Xu¹, Feng Yang², Yifan Dai¹

1.Hangzhou Yihuitong Technology Co. Ltd. Zhejiang Hangzhou 311100

2.Guangdong Transportation Planning and Design Institute Group Co. Ltd. Guangdong Guangzhou 510507

Abstract: This paper adopts the design concept of integration of three-phase AC LED tunnel lamp based on the direct connection between the driver chip and the dimming signal, takes the tunnel lamp as the basic unit, directly connects with the digital pulse width modulation signal (PWM) through the chip dimming interface, works directly under the power supply condition of three-phase AC 380V, realizes the digital dimming and single lamp control management of the three-phase AC LED tunnel lighting system lamp, and has the advantages of driving chip, light source module integration, dimming interface digitization, intelligent control and so on. The efficiency and energy saving level of tunnel lighting have been greatly improved.

Keywords: PWM dimming; Three-phase AC LED tunnel light; Tunnel lighting system

引言

近年来，随着我国国民经济的快速发展，高速公路交通事业所发挥的作用日益显著，其中隧道作为高速公路中的一个重要组成部分，对于交通运输安全的重要性不言而喻，其中隧道照明系统是现代隧道工程中最重要设施之一，进入二十一世纪以来，LED 照明技术发展日趋强劲，具有发光效率高、显色系数高、寿命长、高效节能、超低功耗的特点，LED 隧道灯逐渐占据了隧道照明的大部分市场，高可靠高光效 LED 隧道灯照明系统对于公路隧道长度超过 1.8 万公里的我国来说经济效益和社会效益都是非常大的^[1-2]。现有的传统 LED 隧道灯照明系统驱动基本采用单相交流电供电，并且采用传统的 0-10V 模拟电压调光方式^[3-4]，本文则提出了三相交流 380V 直接供电的 LED 隧道照明系统，提高了光电转换效率，同时使用数字化调光设计，这一点在未来数字智能化 LED 隧道照明应用中显得尤为重要，即使在进行单灯调光控制时也不影响电力系统平衡，客观上解决了调光时三相不平衡的技术难题。

1 系统框图

三相交流 LED 隧道照明系统主要包括三相交流 LED 隧道灯和数字 PWM 调光系统组成，三相交流 LED 隧道灯由三相全波整流器和直流高压分布式芯片驱动的一体化 LED 模组组成，如图 1 所示，该三相 LED 隧道灯由多个 LED 模组作为负载，并由专用驱动芯片 M3103 根据流过 LED 负载的瞬态电流大小对 LED 负载进行分级控制，以保证在任何时刻流过 LED 负载的瞬态电流基本恒定^[5]，

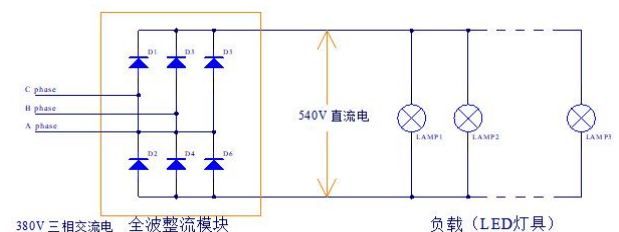


图 1 三相交流 LED 隧道照明系统

从而实现全固态三相交流驱动照明。同时该驱动芯片带有 PWM 调光接口，根据外部输入 PWM 调光信号占空比的变化

改变隧道灯的输出功率大小。基于隧道特殊照明要求，该系统采用了一种负逻辑调光方式，即对于调光输入信号，当调光控制器输出 PWM 占空比 0% 时，LED 灯输出功率最大，满功率输出；当调光控制器输出 PWM 占空比 100% 时，LED 灯输出功率最小，零功率输出；这样即使外部调光控制器出现开路、短路或跑飞现象，LED 隧道灯不能接收到正常控制信号，但整灯仍然处于输出功率最大的状态，不影响整灯使用，在故障排除后，能自动恢复正常的调光控制。

2 原理分析

基于芯片接口带有 PWM 调光的三相交流 LED 隧道灯的具具体电路原理图如图 2 所示，具体工作原理如下，外部 PWM 调光信号首先经过光耦隔离，经过二极管整流和阻抗匹配后，然后输入到芯片管脚，由芯片内部完成信号解析，最后通过芯片输出管脚控制外部电路的 MOS 功率管，从而完成 PWM 信号的调光功能。该电路简单可靠，调光接口方便，具有驱动效率高、功率因数高、可靠性高、抗光频闪特性好、成本低、三相天然平衡等特点；由于不使用电解电容，寿命和可靠性得到大幅提高，抗开关冲击能力强。该电路中没有电解电容、变压器等元器件，因此称为全固态元解决方案，另外由于是高压小电流驱动方式，流经电线电缆的电流小、线缆成本大大降低。

另外，采用驱动芯片与 PWM 调光信号直接连接的调光控制方式，将调光功能集成于驱动芯片内部，可以根据实际需求，对隧道灯进行数字化精细化百分比调光，从而实现隧道按需照明，避免能源浪费，满足不同照明需求。

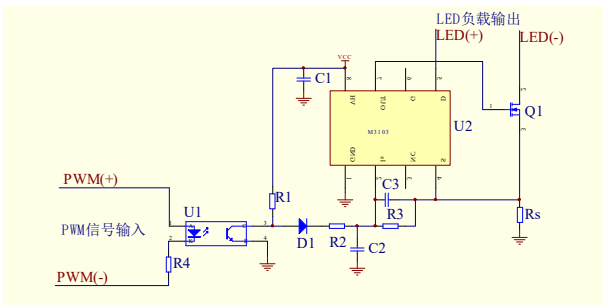


图 2 三相交流 LED 隧道照明灯电路原理图

3 实际应用

以 75W 的芯片接口 PWM 调光的三相交流 LED 隧道灯为例，应用积分球和分布光度计测试其光效和分布曲线，如图 3 所示，测量数据表明三相交流 LED 隧道灯的光效可达到 170lm/W 以上，其调光曲线如图 4 所示，在 PWM 信号 0% 时输出 75W，50% 时输出 37W，100% 时输出 0.08W，调光线性度优于 1%。上述的芯片接口 PWM 调光的三相交流 LED 隧道灯在广东省大丰华隧道中得到了实际的应用，灯具实物如图 5 所示，隧道照明效果如图 6 所示。根据实际测量结果显示，该三相交流 LED 隧道照明系统的节能效率比传统 LED 照明提高

了 15%，达到了预期节能效果^[6]。

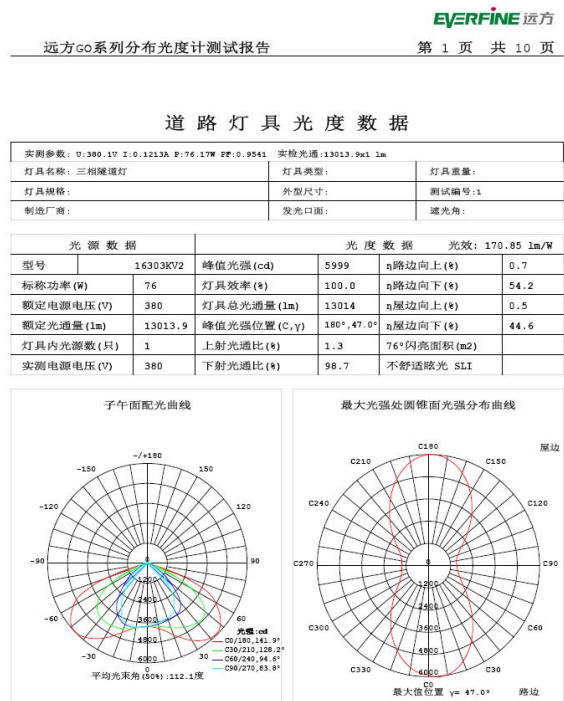


图 3 75W 三相交流隧道灯的光效及分布曲线

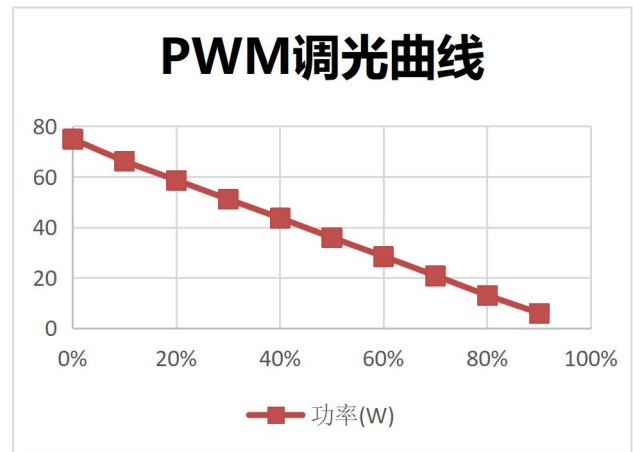


图 4 75W 三相交流隧道灯的调光曲线



图 5 75W 三相交流隧道灯的实物图



图6 大丰华隧道实际照明效果图

4 总结

本文提出了基于驱动芯片接口 PWM 信号调光的三相交流 LED 隧道照明系统,采用高光效一体化设计的全固态三相交流 LED 隧道灯,光效达到 170lm/W 以上,比传统 LED 照明节能效果提高 15%以上,在广东省大丰华等隧道中得到实际的应用和验证,取得良好的效果。

参考文献:

- [1] 蔺全定,高速公路隧道照明系统优化设计,光源与照明[J],2022 第 2 期 P42-44.
- [2] 肖少宁,王毅,陈磊,唐春,浅析 LED 灯具在隧道照明系统中的应用,公路交通科技[J],2018 第 3 期,P243-245.
- [3] 王希良,李晓寒,韩美玲,等.高速公路隧道按需照明的节能控制[J].照明工程学报,2020,31(1):6.
- [4] 张军朝,薛帅,侯瑞,张欣宇,基于 LED 光色动态可调的隧道照明控制系统研究,电子器件[J],2021 第 1 期,P242-249.
- [5] 杨志勇,尹仕健,李丹雄,基于芯片驱动的数字 LED 隧道照明系统,中国交通信息化[J],2021 第 255 卷第 4 期,P139-140.
- [6] 杨超,李敏,杨晓霞,李灵飞,高速公路隧道照明系统节能技术的发展,华东交通大学学报 2018 第 35 卷第 2 期,P73-79.