

智能调光调色温 LED 照明

学校编码: 10384 分类号__密级__

学号: X2011181006 UDC__

厦 门 大 学

学 位 论 文

智能调光调色温 LED 照明

Smart LED Lighting with brightness control and adjustable
color temperature

陈巧敏

指导教师姓名: 高玉琳副教授

专 业 名 称: 电子与通信工程

论文提交日期: 2015 年 月

论文答辩时间: 2015 年 月

学位授予日期: 2015 年 月

辩委员会主席: __

评阅人: __

年 月

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为()课题(组)的研究成果,获得()课题(组)经费或实验室的资助,在()实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，
于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

摘 要

光带给人类以光明与希望。LED 光源更是在照明领域崭露头角，与传统的照明方式相比，LED 照明不仅能简单地进行亮度调节，还能进行各种色彩与色温调节。本论文根据市场对节能、健康、舒适和智能照明的需求，设计并实现了一款调光调色温球泡灯智能控制系统。设计开发了一款10W 的2.4G 射频智能调光调色温 LED 照明驱动系统，可实现30米距离的遥控控制。该驱动系统所涉及功率范围功率因数大于0.8。在此基础上提出一种基于 PWM 的算法对两路白光 LED 进行独立的调光调色温，完成了控制电路和遥控器的整套系统集成，系统光电测试数据均达到了设计要求，具有较高的性价比，适合多种照明场合的应用需求。LED 智能调光调色温照明还可与先进的无线控制技术、侦测感应技术、网络传输技术等相结合，构成各种智能灯具满足人们不同环境不同情况的不同需求，用于改善人类生活质量。

关键词：调光调色温；智能控制；LED 灯具

Abstract

In comparison with traditional light sources, not only the brightness of light-emitting diodes (LEDs) can be adjusted, but also the CCT can be done. According to demands of energy-saving, healthy, comfortable, and smart lighting, a smart lighting system with adjustable lightness and CCT has been designed and realized. In the lighting system, the remote-controlled distance based on 2.4G RF technology is above 30m, and the power factor of device is above 0.8. Based on this, the PWM algorithm has been proposed to adjust the CCT and brightness for two white LEDs. This system integrates technologies of the controlling system and the remote control, and meets design requirements of photoelectric parameters. Moreover, it is cost-effective and suitable for a variety of lighting situation. Smart LED lighting can also combines with wireless and detection technology for improving the quality of the human life. Smart LED lighting can combines with wireless and detection technology. The smart LED lighting also can be applied in more fields, for improving the quality of human life.

Key Words: Adjustable brightness and color temperature; Smart control; LED lighting.

目 录

摘要.....	1
第 1 章 序言	1
1.1 LED 照明概述	1
1.2 LED 照明的优点	3
1.3 本文研究内容及结构	3
第 2 章 LED 亮度和色温调节	5
2.1 LED 照明的特征	5
2.1.1 LED 的驱动控制技术	5
2.1.2 LED 照明调光的必要性	7
2.2 LED 调光方式	8
2.2.1 模拟调光	8
2.2.2 Triac 调光	8
2.2.3 PWM 调光	9
2.2.4 智能调光的产生	11
2.3 LED 色温	12
2.3.1 色温的概况	12
2.3.2 LED 色温对人类的影响	14
2.3.3 LED 色温调节的必要性	15
2.4 LED 色温调节方式	16
2.4.1 三基色 (RGB) 调节法	16
2.4.2 冷暖白光调节法	17
2.4.3 智能色温调节	18
第 3 章智能调光调色温 LED 照明原理	19
3.1 智能调光调色温 LED 照明架构	19
3.2 调光调色温 LED 照明驱动	20
3.3 调光调色温 LED 照明控制调光电路	21

3.4 调光调色温 LED 照明光源及散热器	23
第 4 章 高性价比智能调光调色温球泡灯方案设计	26
4.1 方案设计指标	26
4.2 智能球泡灯驱动设计	27
4.3 智能球泡灯控制电路设计	31
4.4 智能球泡灯调光调色温算法	32
4.5 智能球泡灯遥控器设计	34
4.6 智能球泡灯测试数据	36
第 5 章 总结与展望	42
致 谢	43
参考文献	44

Contents

Abstract	V
1 Introduction	1
1.1 LED lighting	1
1.2 The advantage of LED lighting	3
1.3 The content of the paper	3
2 LED brightness and color temperature adjusting	5
2.1 The features of LED lighting	5
2.1.1 LED driver technology	5
2.1.2 The need of LED brightness adjustment.....	7
2.2 Adjustments of brightness for LED	7
2.2.1 Analog mode	7
2.2.2 Triac mode	8
2.2.3 PWM mode	9
2.2.4 Smart mode	11
2.3 LED color temperature introduction	12
2.3.1 The introduction of color temperature	12
2.3.2 The influence of color temperature on human body rhythm	14
2.3.3 The need of color temperature adjustment.....	15
2.4 Adjustments of LED color temperature	16
2.4.1 Adjusting color temperature with RGB	16
2.4.2 Adjusting color temperature with warm and cold white.....	17
2.4.3 Smart control for color temperature.....	18
3 The theory of smart LED lighting syetem	19
3.1 The smart LED lighting system	19
3.2 The driver of the smart lighting	20
3.3 The control of brightness for smart LED lighting system	21

3.4 The lighting source and heat of the smart lighting	23
4 The design of smart LED bulb.....	26
4.1 The target of the design	26
4.2 The design of the AC-DC driver	27
4.3 The design of the control circuit	31
4.4 The algorithm of brightness and color temperature adjusting.....	32
4.5 The design of the remote control	34
4.6 The measured data of the Smart bulb.....	36
5 Conclusion	42
Acknowledge.....	43
Reference.....	44

第 1 章 序言

光带给人类以光明、温暖。关于什么是光，光的本质是什么？很难用一句简单的语句来表述。人眼的视觉灵敏度并不是均匀的，而是随波长而变化，另外，人眼的光谱灵敏度随亮度的改变而变化。照明技术大多与环境亮度有关，所以我们应该了解人眼对光线的敏感度并加以充分利用，可以在照明灯具设计时获得更多的灵感。发光光源的多色化显然可以使照明效果更加丰富多彩以及可实现的信息量大大增加。在照明工程设计中，充分利用太阳光、天空光是创造舒适环境和节约能源的重要措施。智能侦测环境亮度自动调色灯具输出也成了智能灯具节能的重要举措，能智能自动调节亮度 LED 照明灯具充分结合现代先进无线传感技术，构成智能家居安防系统，以实用为核心，力求家居设备的实用化、智能化和人性化，这就决定了家居智能控制系统的发展方向：无线化、网络化。智能调光调色温灯具也朝着无线化、网络化方向发展。

1.1 LED 照明概述

照明与人类的文明和社会进步息息相关。从原始社会钻木取火到开始使用火，工业社会开始发明使用发电机电，到爱迪生白炽灯的发明及广泛使用，继而荧光灯广泛应用于照明领域，人类的文明出现了质的进步，开始了全天候生产、社会活动的可能性，人类的文明进程得到极大的突破。但是，目前以荧光灯为代表的照明光源依然有一些无法改善的缺陷，如效率较低、使用寿命不长、消耗能量多、产生含有汞等有毒废弃物，尚不能满足当今社会对高效、节能和环保理念的需求。因此，人类致力于寻找一种全新的照明光源以解决上述问题。

发光二极管 LED(light emitting diode)自从 50 多年前问世以来，在高效节能和使用寿命方面表现了巨大的优势，人们期待 LED 能成为新一代的照明能源。在 LED 问世初期，很长时间无法得到高效的蓝光发射，因而无法实现白光 LED 照明。直到 1996 年白光 LED 开发成功。这种由 GaN 芯片和钇铝石榴石(YAG)封装在一起做成的白光 LED 具有相当好的前景。由于 GaN 芯片可发蓝光，高温

烧结制成的含 Ce^{3+} 的 YAG 荧光粉受到蓝光激发后发出峰值约为 550nm 的黄色光发射。将发射蓝光的 LED 基片安装在反射腔中，再盖上厚度约 200-500nm 的树脂薄层。由于树脂层含有 YAG，因而 LED 基片发出的部分蓝光与荧光粉发出的黄光混合，可以得到白光^[1]。现在，利用 InGaN/YAG 白色 LED，通过改变 YAG 荧光粉的粉层厚度和化学成分，可以获得各色温的基础白光。

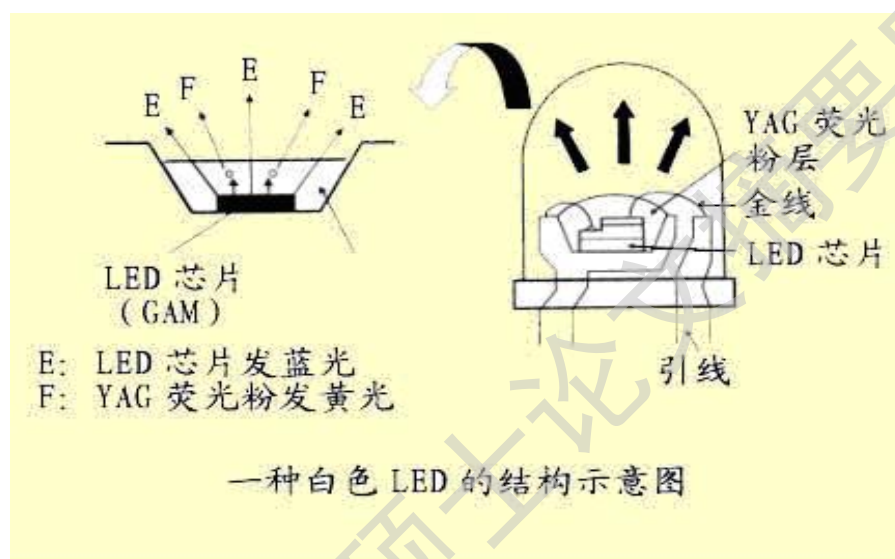


图 1-1 种常见白色 LED 结构示意图^[2]

1996 年, Nishia 首次研制出氮化镓(GaN) LED 成品, 形成了三基色 LED 完整的发光体系, 这是实现白光 LED 的研究基础。1998 年, 实用型白光 LED 开始面市^[2]。白光 LED 具有使用寿命长、无污染附属品产生、发光效率高、节能环保、耐震(振)动、方便组装运输、不易损坏、瞬时响应等优点, 因此白光 LED 是 LED 成为了产业中最有潜力的新兴产品。有望成为 21 世纪的新一代绿色照明光源, 并替代传统白炽灯、荧光灯和高压灯等光源。因而在照明领域开始获得广泛应用。

当然, 目前国内的室内 LED 照明还主要集中在商业照明、家用照明, 比如娱乐场所的装饰照明和公共照明如大型地下停车场、商场、高级宾馆走廊、房间等。当前众多 LED 室内照明产品中, LED 球泡灯、LED 日光灯管及 LED 筒灯是重要形式。而室外照明主要有 LED 路灯、隧道灯及庭院灯等形式。

1.2 LED 照明的优点

如前面所提到，LED 光电转化效率高、使用寿命长、绿色节能环保、防震防水、体积小、发光控制方便，同时还具备发光色彩丰富饱满、色域宽、光束集中、发光响应控制速度快、发光可以通过智能控制和网络控制等一系列优点，这是以往任何光源(例如白炽灯、荧光灯、各种型号的 HID 灯等)无法比拟的。由于 LED 独有的节能、使用寿命长、易数字化控制、环保等特点，已成为各国照明产品的积极发展方向。LED 照明的优点主要体现在以下几个方面：

- 环保：生产过程中无需添加有毒物质汞；
- 响应快：LED 响应速度极快，时间为微秒级；
- 指向性强：LED 出光光束高度集中；
- LED 的发光亮度衰减在工作温度合适的情况下极小,比传统光源要小很多；
- LED 的封装体积越做越小，便于各种设备的使用和设计；
- LED 只要低压直流电就可以驱动，对使用条件要求低；
- 使用寿命长，一般在几万小时，即便频繁开关，也不影响寿命；

LED 在封装结构上不需要玻璃外壳，也不需要像传统光源那样在灯管内抽成真空或冲入特定的气体，因此 LED 抗震性能好、抗冲击性能高，给 LED 的生产、运输、使用各个环节带来了便利。LED 的调光可控制性也是一大优点，在庞大的照明系统中，集中控制及节能控制显得尤为重要。也由此衍生控制系统，智能化的控制中心平台等。智能控制驱动器的产生，使得 LED 照明灯具不仅能取代传统的荧光灯、节能灯照明，而且还能实现新的控制功能，而这些功能在传统的照明不进行线路改造是很难实现的。

1.3 本文研究内容及结构安排

本文针对LED照明的特性进行分析，阐述了调光调色温LED照明控制系统的主要工作原理，并基于此基础上设计一款高性价比调光调色温球泡灯，主要工作是系统的总体架构规划和驱动电路、控制电路设计。本论文的结构安排如下：

第1章：序言。主要论述了本论文的选题背景、研究意义。阐述了LED的

发展历史、趋势及智能照明控制系统的研究现状及其发展趋势。

第2章：本章主要介绍了LED照明驱动控制技术及调光必要性。研究了LED色温对人类活动的影响，比较各种调节LED亮度、色温的实现方法，提出智能调光调色温LED 照明系统的雏形。

第3章：详细介绍智能调光调色温LED照明的实现架构，从LED驱动、LED光源及其控制到调光电路。介绍了整体实现智能调光调色温设计原理。

第4章：本章具体阐述一款智能调光调色温球泡灯的驱动电路、控制电路的工作原理及实现方法，相关测试结果也展示了调光调色温控制的便利性。

第5章：总结全文，对本次设计智能调光调色温灯具进行归纳和整理，同时对智能家居照明系统的发展趋势做出展望。

第 2 章 LED 亮度和色温调节

2.1 LED 照明的特性

2.1.1 LED 的驱动控制技术

LED 是一种新型的固体光源,它的发光原理是利用半导体 P-N 结电致发光制成。由于激发出的光的波长与所用半导体材料的带隙能量有关,因此,不同的半导体材料,激发光的波长也不一样。研究 LED 芯片发光原理及其应用的目的,就是在半导体 PN 结处流过正向电流时,能以较高的能量转换效率来辐射出 200-750nm 波长范围的可见光谱,从而做成实用的发光器件。应用不同的封装结构和半导体材料,LED 所发出的颜色也是不同的。根据色度学原理,白光可以通过不同的颜色混合方案实现,例如,蓝光和黄光混合,蓝、绿、红三基色光混合、以及多基色光混合等。

不改变材质的前提下,在 LED 的极限范围内,要获得更高的亮度,只能提高通过的正向电流,而随着流过的电流升高,LED 的发热量会急剧增加。随着功率的增加,LED 的散热问题显得越来越突出,相应的光效明显降低。大量实际应用表明,LED 不能增大输入功率的根本原因,是由于 LED 在工作过程中会释放出大量的热,使得 LED 芯结温迅速上升,热阻变大。输入功率越高,发热效应越大。造成恶性循环,甚至最终烧坏整个电路系统。而且温度的升高将导致发光器件性能变衰减,主要包含辐射含量减少,非辐射含量增加,器件的漏电流变大,器件本身消耗功率变大,半导体材料缺陷增长,金属电极电迁移,封装用环氧树脂黄化脆化等等,严重影响 LED 的发光效率等光电参数,甚至使功率 LED 失效^[3]。因此,对于 LED 器件,降低热阻与结温、对发光二极管的热特性进行研究极为重要。为实现 LED 的长寿命,重要的是让 LED 的结温保持在 80~90 摄氏度的合理范围内。LED 光强会随温度的升高而减小,因此,高功率 LED 的额定电流可超过 1A,该设计重点仍是提供 250~400mA 范围的恒定电流。这样可以减少 LED 的内部发热,良好的散热措施是 LED 能够

保持恒定亮度的保证。

驱动电源是大功率 LED 灯具工作的必须部件。目前 LED 驱动方式主要有直流 LED 驱动(DC LED)，还有部分是交流 LED 驱动(AC LED 驱动)。由于直流 LED 驱动应用较早，所以目前市面上直流 LED 驱动较交流驱动 LED(AC LED)应用更为广泛，由于交流 LED 驱动较直流 LED 驱动简单和使用方便，尽管其工作效率较低，交流 LED 驱动的应用会有很好的发展前景。

大多数 LED 需要采用直流驱动，因此在应用时，需要在市电与 LED 之间加一个 LED 驱动电源适配器。LED 驱动电源适配器的功能是把交流市电转换成适合 LED 驱动的直流电。现在常用的 LED 驱动电源有两种：一是恒电流驱动电路，二是恒电压驱动电路。下面分别加以介绍。

白光 LED 的发光辉度由其正向驱动电流决定，当 LED 两端的电压发生波动，驱动电流就产生变化从而影响 LED 的发光辉度，造成发光质量下降，所以，LED 需要恒流驱动。在恒电流驱动工作方式下，又有两种驱动工作方式，一种是采用一个恒压源为多个恒电流源供电，每个恒电流源单独给每路 LED 灯串供电。这种供电方式，组合相对灵活，若是一路 LED 故障，不影响其他路 LED 灯串的工作，但成本会相对高一点。另一种是直接由恒电流源供电，LED 串联、并联或混联运行。它的优点是成本较低，但其相对灵活性差，还要解决某个 LED 发生故障，不影响其他 LED 运行的问题。这两种 LED 驱动电源形式，在一段时间内会并存。LED 的多路恒电流输出供电方式，在成本和性能方面会好些。

恒电压驱动电路在确定恒电压电路各项参数后，直流电流随 LED 负载的变化而变化；整流输出的电压微小变化就会影响 LED 的发光亮度；要使每串并联以恒电压电路驱动 LED 串发光亮度均匀，需加阻值合适的电阻。LED 恒压驱动方案一般来说主要有两种：线性驱动和开关型驱动。线性驱动应用是一种最为简单、最原始的驱动应用方式。在白光 LED 灯具应用中,虽然还存在着发光效率低、电压调节性差等问题,但是由于其总体应用电路简单、体积小,能满足一些特定的场合应用。开关型驱动可以获得较好的电流控制精度和较高的总体电路转换效率。

LED 照明灯具对驱动的主要要求为：恒流输出（或至少恒压）、转化效率

高、高可靠性信赖性、良好的电磁兼容 EMC 特性，良好的电气安全性。而如何延长 LED 驱动电源的使用寿命一直是 LED 照明制造业以及工程技术人员追求的目标。

2.1.2 LED 照明调光的必要性

在当今全球提倡节能减排的大背景之下，LED 作为绿色、环保节能新照明能源，越来越受市场青睐。而调光技术在 LED 照明中的应用，将使节能减排的效果得到进一步提高。预计在 2015 年，全国的用电总量将达甚至超过 3.5 万亿度，其中照明用电量将超过 10%。目前，公共照明用电量占整个照明用电量一半，高达 1500 亿度。以路灯照明来说，在午夜 11 点到凌晨 5 点，道路上行人和车辆就很稀少。而这一段时间内，在低交通流量的道路上仍保持较高的照度显然必要性不高。如果 LED 路灯采用调光技术具有调光功能，可使得其输出功率在午夜 11 点后随着交通流量的减少而降低。这样可以大幅降低不必要的浪费。大量应用证明，在降低一半功率的情况下仍能满足常规道路深夜照明需求。而节省的用电量则非常可观。调光 LED 灯具使得商场、办公照明可以根据环境光亮度，采光需求而调整照度。若以 LED 灯具替代目前低能效的公共照明灯具，并采用调光技术，按节约能源一半计算，将节约用电高达 750 亿度，节能效果尤为显著。调光技术的迅速发展，使得 LED 照明调光系统进入一个崭新的领域，从而得到大范围的普及与推广都成为可能。

LED 灯具采用调光技术，适时适度降低灯具输出功率，将明显改善 LED 灯具的工作环境，明显降低温度，从而延长灯具寿命，提高可靠性。温度是影响 LED 灯具可靠性的最为关键因素。无论是 LED 驱动电源还是 LED 芯片，应用环境温度越高，散发的热量无法及时排出，其寿命和可靠性都会急剧下降。当环境温度为 25℃ 时 LED 电源寿命高达 320,000 小时，而当温度上升至 60℃ 时，LED 电源的寿命将缩短至只有 35,000 小时，缩短为约 $1/10^{43}$ 。

同时，LED 灯具若采用调光技术，随着输出功率的降低，驱动电源自身损耗也将降低，器件温度降低，性能更加稳定。相应的灯具表温也将同时下降。以 200W LED 路灯为例，当环境温度为 25℃ 满载输出时，外壳温度为 50℃，而采用调光技术控制输出只有 50% 功率时，其外壳温度下降至 40℃，寿命也将翻倍，可靠性可提高 25%-40%。调光技术将是 LED 灯具延长寿命和提高性能

Degree papers are in the “[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)”.

Fulltexts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.