

学校编码: 10384  
学号: 23120091152683

分类号 \_\_\_\_\_ 密级 \_\_\_\_\_  
UDC \_\_\_\_\_

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

大功率 LED 恒流驱动芯片的研究和设计

Analysis and design of constant-current control chip  
for driving high-power LED

张啸诚

指导教师姓名: 邢建力 高级工程师

专 业 名 称: 集成电路工程

论文提交日期: 2012 年 月

论文答辩日期: 2012 年 月

学位授予日期: 2012 年 月

答辩委员会主席: \_\_\_\_\_

评 阅 人: \_\_\_\_\_

2012 年 5 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

厦门大学博硕士学位论文摘要库

## 摘要

随着全球能源短缺，节能减排要求不断提高的时代背景之下，各国都在大力发展绿色照明产业。LED 照明作为一种新型节能、环保技术，迅速成为政府和企业聚光的焦点。由于 LED 发光效率高，从生产过程到使用过程几乎全无污染，使用寿命却延长数十倍，成为近年来全球最具发展前景的高新技术之一，半导体照明技术正在改变照明技术百年的历史。

虽然 LED 的优势非常明显，但是也有其缺点存在：均一性差。这就给 LED 驱动提出了较高的要求，为了解决 LED 的这一缺点，恒流驱动是最理想的选择。由于 LED 光源的应用场合非常广泛，所以，针对不同的要求设计出不同性能的驱动控制器成为业内市场的发展趋势。

本文在介绍了 LED 的各项特性，行业发展的趋势和面临的问题之后，针对 LED 的特点对驱动电路的发展现状做了简单的介绍。之后针对大功率 LED 驱动器的特点，详细介绍了 Buck 电路的基本原理、调制模式和控制模式。设计的 LED 驱动器结构是一个降压型 DC-DC 转换器，内部具有基准电流源和采样电路，用来监视输出电流，非常适合于驱动大功率的 LED。接着阐述了各个主要子电路模块的电路结构和原理，之后利用仿真工具对整体芯片进行的仿真，仿真结果验证了设计的正确性。

关键字：LED，恒流驱动，PWM，开关电源

厦门大学博硕士学位论文摘要库

## **Abstract**

Due to the shortage and urgent requirement of energy conservation, each country is promoting the green lighting application. LED, as a new energy-saving and environment-protecting technology, performs a role so irreplaceable that government and corporations all focus on it. And LED has high light-emitting efficiency, almost pollution-free from the manufacture to use up and tens of times than usual light source. In recent years, LED has become the world's most promising high-tech, and the innovation of semiconductor lighting technology is changing the history of tradition of lighting.

Every coin has its two sides. LED is not perfect for its non-uniformity for light, which raises designers more challenge of the LED driver. Fortunately, permanent flow driver is mostly ideal choice. Since LED is applied to wide fields, respectively function-oriented driver development per special application requirements has become the new industry market orientation.

This paper analyzes the kinds of characteristics of LED, industry development trend and issues facing, then makes a general description of the current status of LED driver, and focuses on the schematic of high-power LED driver Buck, modulation mode and controlling resolution. The driver is a step-down DC-DC converter, An internal current reference and a sample circuit monitor the output current allowing accurate current regulation, ideal for driving high current LED. And then, explain the performance requirements and the design consideration about each sub-circuit, finally, simulate the whole structure to verify the functions and performance of the system.

**Key words:** LED, Constant current driver, PWM, Switching Power

厦门大学博硕士学位论文摘要库

# 目 录

<b>第一章 绪论 .....</b>	<b>1</b>
1.1 引言.....	1
1.2 LED照明技术的发展.....	2
1.3 LED发光原理及其技术优势.....	3
1.4 LED驱动芯片的研究现状.....	4
1.5 论文的结构和主要内容.....	5
<b>第二章 LED特性及其驱动和连接方式 .....</b>	<b>6</b>
2.1 LED的半导体性能特性.....	6
2.2 LED的连接方式.....	8
2.3 LED的驱动方式.....	10
2.3.1 电阻限流法.....	10
2.3.2 线性控制法.....	11
2.3.3 电荷泵升压控制.....	12
2.3.4 开关电源电路.....	13
<b>第三章 开关电源原理及其控制方式 .....</b>	<b>15</b>
3.1 Buck变换器基本工作原理.....	15
3.2 开关电源调制方式.....	19
3.2.1 脉冲宽度调制方式(PWM).....	19
3.2.2 脉冲频率调制方式(PFM).....	20
3.3 开关电源控制方式.....	20
3.3.1 电压控制模式.....	20
3.3.2 电流控制模式.....	22
3.3.3 调制和控制模式的选择.....	24
<b>第四章 系统整体结构和原理 .....</b>	<b>25</b>
4.1 系统结构.....	25

4.2 前沿尖峰消除.....	27
4.3 斜坡补偿.....	28
4.4 频率自动调整.....	32
<b>第五章 系统子模块的设计和分析 .....</b>	<b>34</b>
5.1 基准电压源.....	34
5.2 振荡器.....	41
5.3 放大器.....	43
5.4 比较器.....	48
5.5 保护电路.....	52
<b>第六章 芯片整体仿真和总结 .....</b>	<b>56</b>
6.1 芯片性能仿真.....	56
6.2 LED驱动芯片调光电路.....	58
6.3 芯片性能与效率分析.....	59
6.4 总结与展望.....	60
<b>参考文献 .....</b>	<b>61</b>
<b>致谢 .....</b>	<b>63</b>

# CONTENTS

<b>1</b>	<b>Introduction .....</b>	<b>1</b>
1.1	Introduction.....	1
1.2	The development of LED lighting technology .....	2
1.3	Principles of LED lighting .....	3
1.4	Research of the LED driver chip .....	4
1.5	The structure and main contents of the paper .....	5
<b>2</b>	<b>LED characteristics and connection .....</b>	<b>6</b>
2.1	Performance characteristics of the LED semiconductor.....	6
2.2	LED connection .....	8
2.3	LED drive.....	10
2.3.1	Resistance limiting method.....	10
2.3.2	Linear control method.....	11
2.3.3	Charge pump boost control.....	12
2.3.4	Switching power supply circuit.....	13
<b>3</b>	<b>Principles of switching power supply and its control method. ....</b>	<b>15</b>
3.1	The basic working principle of the Buck Converter .....	15
3.2	The modulation method of switching power supply.....	19
3.2.1	Pulse width modulation mode (PWM).....	19
3.2.2	Pulse frequency modulation mode (PFM).....	20
3.3	The control method of switching power supply.....	20
3.3.1	Voltage control mode.....	20
3.3.2	Current control mode.....	22
3.3.3	Choice of modulation and control mode.....	24
<b>4</b>	<b>System structure and principles .....</b>	<b>25</b>

4.1 system structure .....	25
4.2 Elimination of cutting-edge peak.....	27
4.3 Slope compensation .....	28
4.4 Automatically adjust the frequency .....	32
<b>5 Design and analysis of the system sub-module.....</b>	<b>34</b>
5.1 Reference voltage source .....	34
5.2 Oscillator.....	41
5.3 Amplifier .....	43
5.4 Comparator .....	48
5.5 Protection circuit.....	52
<b>6 Whole chip simulation and summarize.....</b>	<b>56</b>
6.1 Chip performance simulation.....	56
6.2 The dimming circuit.....	58
6.3 Performance and efficiency analysis.....	59
6.4 Summary and Outlook.....	60
<b>References.....</b>	<b>61</b>
<b>Acknowledgements.....</b>	<b>63</b>

## 第一章 绪论

### 1.1 引言

人类文明进入二十一世纪以来，高效的 IT 技术、大规模集成电路和国际互联网进入了我们社会的每一个层面。人类已经以惊人的速度开启了信息化时代的大幕。但是面对日益紧张的能源供应和全球性的环境加速恶化，节约能源和保护环境已成为人类社会发展的关键因素，开发和应用节能环保的工业产品已在各国各个行业展开。

目前，照明用电约占世界总能耗的 20%，而我国照明用电量每年在 3000 亿千瓦时以上，占总用电量的 12% 左右。照明用电量的猛增以及发电能源消耗的加剧，将使我国的供电形势和环境与生态的状况日益严峻。如果不断增设火力发电站，又将更进一步恶化现已存在的能源危机。所以，近 20 年来，人们一直在寻找绿色照明光源，即高效、低耗、对环境无污染的绿色光源。随着第三代半导体材料氮化镓技术的突破和蓝、绿、白光发光二极管 LED (Light Emitting Diode) 的问世，LED 可望发展成为第四代光源。

进入 2011 年，LED 产品已经可以在生活中随处可见，如广告牌、家用电器上的各色指示灯以及手机键盘和屏幕上的背光照明等都是采用了 LED 作为光源。2008 年，中国奥运会开幕式上，LED 光源大限身手，一幅展现中国五千年历史的画卷在幽美的古琴声中慢慢打开，在观众惊叹目光的背后，是中国 LED 企业和技术的发展。

每年一度的春晚盛宴，除了带给我们视觉感受的冲击，还展现出了视频显示技术的不断进步，2010 年，春晚背景显示与演员融合为一体的精彩过程，让所有观众耳目一新。成就如此绚丽效果的演播厅，就是通过采用 LED 显示屏幕、LED 视频条和 LED 彩幕而实现的。

目前 LED 被普遍用作背光器件，如 LED 背光液晶电视凭借纤薄的外形和良好的画质而逐渐受到青睐，据相关资料统计，2010 年 LED 背光电视实现了 4 倍速增长，并且消费者对于 LED 背光电视的关注度已高达 76%，中国市场准备购买 LED 背光电视的消费者比例更是高达 38%。LED 背光不仅用在电视和电脑的大尺寸液晶显示器中，也广泛应用在各种小型设备中，如笔记本电脑、手机、便

携导航设备、数码相框和数码相机等。笔记本电脑通常会使用 60 个 LED，液晶显示器大约使用 120 个 LED，而液晶电视则需要 350 到 600 个 LED。由此可见，LED 有着巨大的市场发展潜力，经济和应用前景都非常广阔。

## 1.2 LED照明技术的发展

在 LED 照明技术刚刚出现的时候，当时使用的主要发光材料是“GaAsP”，其驱动电流在 20mA，只能发出红色的光，发光的颜色比较单一，并且发光效率比较低，仅有 0.1LM/W，因此只能应用于一些仪表、电器上的指示灯上，并没有得到广泛的使用。

但在随后的几十年里，一些新的发光材料被逐步应用到 LED 照明技术当中，LED 照明逐渐开始显露出强劲的发展优势。在 20 世纪 70 年代末，通过引入 In 和 N，使得 LED 可以发出波长为 555 纳米的绿光、波长为 590 纳米的黄光以及波长为 610 纳米的橙光，并且 LED 的发光效率也提高了一倍，达到了 1LM/W。而后到了 80 年代初，又出现了使用 GaAlAs 的 LED 光源，将红色 LED 的发光效率提高到 10LM/W。进入 90 年代之后，相继开发出发红光和黄光的 GaAlInP 以及发绿光和蓝光的 GaInN 两种新材料，并是 LED 的发光效率大幅度提高。进入 21 世纪之后，红光和橙光 LED 的发光效率已经可以达到 100LM/W，绿光 LED 的发光效率也可以达到 50LM/W，这不仅超过了传统的白炽灯，也已经与发光效率较高的荧光灯不相上下。按照材料科学的发展速度，发光效率达到 200LM/W 的 LED 技术也将在不久之后问世<sup>[1]</sup>。

经过数十年的发展，LED 照明技术已经发展的相对成熟，市场上不仅有能发出各种颜色光的 LED 产品，同时也出现了大量可以直接用于照明的 LED。并且 LED 照明优势明显，已经越来越受到人们的青睐。在显示领域，LED 光源也经历了从单色到彩色，从低分辨率的文字到高分辨率图像的发展过程。近几年来，模块化 LED 显示屏在全球范围内都得到了非常广泛的应用，其超高的显示亮度、灵活的搭配方式得到了多数厂家和消费者的认可，已经成为户外显示设备的主流产品。

LED 照明技术作为 20 世纪最重要的发明之一，在经历了数十年的发展后，凭借其优越的节能特性，并随着 LED 成本的不断降低和国家对低碳产业的高度

重视，LED 照明产业定将会得到前所未有的发展。

### 1.3 LED 发光原理及其技术优势

LED 基本结构是一个发光二极管，由 III-IV 族化合物，如 GaAs（砷化镓）、GaP（磷化镓）、GaAsP（磷砷化镓）等半导体制成的，其核心是 PN 结，因此它具有 PN 结的 I-V 特性，即正向导通、反向截止和击穿特性。除此之外，在满足一定的条件下，还具有发光的物理特性。在正向电压下，电子由 N 区注入 P 区，空穴由 P 区注入 N 区。进入对方区域的少数载流子（称为“少子”）一部分与多数载流子（称为“多子”）复合而发光，相比与传统的白炽灯、荧光灯等传统光源，LED 具有非常显著的性能优势<sup>[2][3]</sup>。

(1) 发光效率高。传统光源如白炽灯、荧光灯的发光效率约为 20-60 流明/瓦，这些传统光源的发光效率较低，大部分电能都转化成热能散失，造成较大的浪费。而 LED 的发光效率可以达到 80-200 流明/瓦，而且光的单色性好，光谱比较窄，不需要过滤，直接发出照明需要的可见光。

(2) 耗电量少。LED 具有低电压，小电流，高亮度的特性。一个 5W 的 LED 光源所发出的光能与一个 20W 的白炽灯发出的光能相当，所以达到同样的照明效果，LED 光源比传统光源节能 70% 以上。

(3) 使用寿命长。白炽灯、荧光灯是采用电子光场辐射发光，灯丝发光容易出现烧断以及热沉积和光衰减效应。而 LED 灯体积小，重量轻，采用环氧树脂封装，可承受高强机械冲击和震动，不易破碎，平均寿命达到 10 万小时。

(4) 冷发光。红外线会有热效应，LED 照明却属于冷光源，不会因为使用过久而发烫。

(5) 防潮、抗震性能好。全固体全密封包装，不怕潮、不怕震

(6) 无污染。不含有汞等对环境有害的元素，不会产生二氧化硫及氮化物等有害气体，被誉为“绿色光源”

光源种类		小时	2000	4000	6000	10000	50000
		2000	4000	6000	10000	50000	
白炽灯	寿命	寿命结束					
5 $\Phi$ mm LED	光衰	30%	40%	50%	70%		
	流明维持度	70%	60%	50%	30%		
Luxeon 1W LED	光衰	可忽略	可忽略	可忽略	90%	70%	
	流明维持度						

图 1.1 各种光源寿命和光通量对比数据

#### 1.4 LED驱动芯片的研究现状

LED 早已应用在以手机为主的小尺寸液晶面板背光技术中，手机产量的持续增长带动了背光源市场的快速发展，2007 年时间手机产量接近 9 亿部，其中背光源使用的 LED 数量超过了 20 亿个，预计在 2015 年手机产量将达到 15 亿部，使用的 LED 数量超过 40 亿个，相应地就需要数量非常庞大的 LED 驱动芯片。此外，MP3、MP4、导航仪等便携式电子产品的普及率越来越高，人满对于液晶屏清晰度的要求越来越高，使得 LED 背光技术和相关产品发展迅速，这也大大促进了市场对 LED 驱动芯片的需求数量。因此 LED 驱动芯片的市场非常广阔。

面对如此巨大的市场空间，各芯片公司纷纷开发出各种 LED 驱动芯片，如 TI 公司推出的 TPS61080 白光 LED 驱动芯片，1.2MHz 的固定工作频率，3-6V 的输入电压，200mA 的输出电流，可以驱动 3 个串联的 LED，其转换效率达 87% 以上，用于大功率 LED 屏幕的背光；凌特公司推出的 LTC3452 白光 LED 驱动芯片，由单节锂电池供电，输入电压 2.6-4.2V，输出电流可达 500mA，工作在 1MHz 的固定频率，可驱动 5 个并联的 LED，转换效率达 90% 以上，可以用于小尺寸液晶背光面板。由此可以看出，各芯片公司已经开发出了满足不同输入电压和不同输出电流的 LED 驱动芯片。

中国国内一些公司也开发出了白光 LED 驱动芯片，如兰微电子推出的降压型 PWM 控制方式的驱动芯片 SB42520，工作频率 360kHz，并有 3 种规格，可以分别驱动 1W、3W 和 5W 的白光 LED。

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts 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](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库