

学校编码: 10384  
学号: X2007225004

分类号\_\_\_\_密级\_\_\_\_  
UDC\_\_\_\_\_

厦 门 大 学

工 程 硕 士 学 位 论 文

带温度补偿的宽电压高亮度 LED 驱动器设计研究

Wide Input Voltage High Brightness LED Driver With  
Temperature Compensation Design Research

周 燕

指导教师姓名: 周剑扬 副教授

专 业 名 称: 集成电路工程

论文提交日期: 2013 年 月

论文答辩时间: 2013 年 月

学位授予日期: 2013 年 月

答辩委员会主席: \_\_\_\_\_

评 阅 人: \_\_\_\_\_

2013 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

## 摘要

高亮度LED具有体积小、发热量低、发光寿命长、极具耐震与耐冲击性、可在较恶劣的情况下使用等特性，并且发光效率高、省电、无热辐射、不含水银等重金属、无污染及废弃物处理问题等众多优点，将在未来逐步取代目前照明市场的主流白炽灯和节能灯，成为绿色照明光源的明日之星。

高亮度LED发光的效果在很大程度上取决于LED驱动器的性能，根据不同的应用环境会选择不同的拓扑结构。在输出控制上，有恒压和恒流之分，本文针对应用范围最广泛的市电接入日光灯及球泡灯，设计了一种宽电压输入的通用型高亮度LED驱动器。它以Buck作为基本拓扑结构，以恒流方式控制输出，以简单的外围元器件，实现了整个系统的高效率及高精度。

本设计以UMC 0.6um CMOS工艺为基础，开展了以下工作：

1. 从LED灯的特性出发，比较当前各类LED驱动器优缺点，对影响LED驱动器的效率、性能等因素进行综合分析，对各种不同结构进行详细筛选后设计构思出整体方案。
2. 对系统工作原理进行分析，并详细介绍Buck的工作原理，利用恒流原理对电流公式进行详细的推导和论述。
3. 为了有效降低LED热量，研究了温度补偿技术的理论及实现的方法，最终实现LED功率与热量的平衡。
4. 参与对各个电路模块进行反复设计和大量仿真，力求做到结构简单，节省器件面积，从而大大降低生产成本。
5. 在芯片总体设计完毕后参与版图的布线，采用数字和模拟隔离布线等手段，解决了数模信号之间的干扰以及信号之间的串扰问题。
6. 本设计实际使用的应用说明，包括根据实际输入电压，负载情况进行外围元器件的参数选择和匹配。
7. 对芯片进行详细的测试：基本功能及参数测试；高低温测试；芯片老化及可靠性测试；晶圆级测试及终测。量产测试结果表明该芯片满足最初的设计要求，具有较高的成品率。

本设计流片成功，测试评估结果表现出很好的通用性，具有良好的市场前景。

**关键词：**恒流输出；LED驱动器；温度补偿

## ABSTRACT

High brightness LED has the advantage of small size, low thermal consumption, long life and it can be used in many conditions because of its anti-shake feature. It can save energy and has high efficiency which will take the place of CFL .

The high brightness LED driver will influence LED lighting effect, different case uses different driver topology which has two kinds of constant voltage output and constant current output. This dissertation designs a wide voltage input high brightness LED driver which meets the application of both bulb and tube light. It uses the Buck as the basic topology with constant current output control and simple external components. The whole system realizes high efficiency and high accuracy.

This design adopts Hynix 0.5um CMOS process and launches the following research:

- 1, Compare different LED drivers based on LED characteristic. Analyze the factor that influence the LED driver efficiency and function and design the best scheme.
- 2, Analyze the system principle and discuss the Buck topology; and then discuss the output current formula based on constant current principle.
- 3, To reduce the thermal consumption effectively, the temperature compensation technology is discussed and realized, the perfect balance between temperature and power is met in final.
- 4, Design and run simulation many times of each sub-block to improve the architecture to be more simple and save the layout size to reduce the cost.
5. After completing design, begin to layout carefully. Separation digital part from analog part solves the interference of digital signal to analog signal and noise problem.
- 6, The application notes is also present including the voltage input, the loading condition to make the external components' parameter matched.
7. The chip's base function is tested carefully including the high/low temperature test, IC life and reliability test, wafer test and final test. The test result demonstrates that this chip fulfill the initial objective and high yield.

This design is successful and adapts different application case and has good market.

**Key words:** Constant current output; LED driver; Temperature compensation

## 目 录

第一章 绪论 .....	1
§ 1.1 LED 照明产业发展现状 .....	1
§ 1.2 高亮度 LED 驱动器发展概况 .....	1
§ 1.3 本课题的主要工作 .....	3
第二章 工艺模型、封装的确定 .....	5
§ 2.1 工艺模型的确定 .....	5
§ 2.2 封装型号的确定 .....	5
第三章 LED 特性及驱动电路 .....	6
§ 3.1 LED 特性与驱动 .....	6
§ 3.2 高亮度 LED 驱动电路 .....	6
§ 3.2.1 概述 .....	6
§ 3.2.2 串联驱动与并联驱动 .....	7
§ 3.2.3 非隔离升压、降压串联驱动 .....	9
§ 3.2.4 隔离与非隔离降压串联驱动 .....	10
第四章 非隔离降压 (BUCK) 开关电源的原理 .....	12
§ 4.1 基本工作原理 .....	12
§ 4.2 BUCK 调整器的主要电流波形 .....	14
§ 4.3 BUCK 调整器的效率 (忽略交流开关损耗) .....	14
§ 4.4 BUCK 调整器的效率 (考虑交流开关损耗) .....	15
§ 4.5 降压拓扑 LED 驱动器 .....	17
第五章 温度补偿技术的原理与电路实现 .....	21
§ 5.1 温度补偿技术的原理 .....	21
§ 5.2 温度补偿技术的电路实现 .....	22
第六章 带温度补偿宽电压高亮度 LED 驱动器的主要模块 .....	25
§ 6.1 带隙基准电路的设计及仿真 .....	25
§ 6.1.1 带隙基准电路的设计要求/工作原理 .....	25
§ 6.1.2 带隙基准电路的实际组成及分析 .....	26

§ 6.1.3 带隙基准电路的仿真结果.....	27
§ 6.2 运算放大器 OP 的设计与仿真.....	31
§ 6.3 电压调制电路的设计与仿真.....	35
§ 6.4 快速比较器的设计及仿真.....	37
§ 6.5 上电复位电路的设计及仿真.....	41
§ 6.6 功率管驱动电路实际组成及分析.....	43
§ 6.7 总体仿真 .....	44
§ 6.8 大功率 LED 驱动器的总体版图设计.....	46
<b>第七章 器件的应用与测试 .....</b>	<b>48</b>
§ 7.1 宽电压 LED 驱动器应用实例设计与测试.....	48
§ 7.1.1 参数设计考虑.....	48
§ 7.1.2 元器件清单以及 PCB 布板.....	48
§ 7.1.3 线性调整率、效率和电磁干扰 (EMI) 测试结果 .....	49
<b>第八章 器件的封装及测试 .....</b>	<b>51</b>
§ 8.1 器件的封装.....	51
§ 8.1.1 封装的作用.....	51
§ 8.1.2 封装流程.....	51
§ 8.1.3 封装结构图.....	52
§ 8.2 器件的测试.....	53
§ 8.2.1 基本功能及参数测试.....	53
§ 8.2.2 高低温测试.....	54
§ 8.2.3 可靠性测试.....	56
§ 8.2.4 晶圆中测 (Wafer Test) .....	59
§ 8.2.5 量产测试 (Final Test) .....	62
<b>第九章 课题总结与展望 .....</b>	<b>66</b>
<b>附录 I 符号索引.....</b>	<b>67</b>
<b>【参考文献】 .....</b>	<b>68</b>
<b>攻读硕士学位期间获得专利 .....</b>	<b>70</b>
<b>致 谢.....</b>	<b>71</b>



## Contents

<b>Chapter1 Introduction.....</b>	<b>1</b>
§ 1.1 The status quo of LED industry development.....	1
§ 1.2 The direction of LED driver development.....	1
§ 1.3 Main work of this subject.....	3
<b>Chapter 2 Choose of Model and Packaging .....</b>	<b>5</b>
§ 2.1 Model.....	5
§ 2.2 Packaging.....	5
<b>Chapter 3 LED Characteristic and Driver.....</b>	<b>6</b>
§ 3.1 Characteristic and driver of LED.....	6
§ 3.2 The Driver Circuit of High Brightness LED driver.....	6
§ 3.2.1 Summary .....	6
§ 3.2.2 Drive in Series and drive in Parallel .....	7
§ 3.2.3 Non-isolated Boost and Buck Driver in Series .....	9
§ 3.2.4 Non-isolated and Isolated Buck Driver in Series.....	10
<b>Chapter 4 Non-isolated Buck Principle .....</b>	<b>12</b>
§ 4.1 Principle .....	12
§ 4.2 Main waveform of buck.....	14
§ 4.3 Efficiency of buck (Regardless of AC loss ) .....	14
§ 4.4 Efficiency of buck (Regards of AC loss ).....	15
§ 4.5 LED driver of buck topology .....	17
<b>Chapter 5 Temperature Compensation Technology.....</b>	<b>21</b>
§ 5.1 The Principle of Temperature Compensation .....	21
§ 5.2 The Realization of Temperature Compensation .....	22
<b>Chapter 6 The Mian Block of Driver .....</b>	<b>25</b>
§ 6.1 Design and Simulation of Bandgap .....	25
§ 6.1.1 Principle of bandgap .....	25
§ 6.1.2 Design and analysis of bandgap.....	26
§ 6.1.3 Simulation result of bandgap .....	27

§ 6.2 Design and Simulation of OP Amplifier .....	31
§ 6.3 Design and Simulation of Voltage Regulator .....	35
§ 6.4 Design and Simulation of Fast Comparator .....	37
§ 6.5 Design and Simulation of POR .....	41
§ 6.6 Design and Simulation of MOS Driver .....	43
§ 6.7 Total Simulation .....	44
§ 6.8 Total Layout of Driver .....	46
<b>Chapter 7 The Application and Function Check .....</b>	<b>48</b>
§ 7.1 Design of Components and Testing .....	48
§ 7.1.1 Consideration of components setting.....	48
§ 7.1.2 BOM and PCB layout .....	48
§ 7.1.3 Line Regulation, Efficiency and EMI Test .....	49
<b>Chapter 8 Package and Testing .....</b>	<b>51</b>
§ 8.1 Package .....	51
§ 8.1.1 Package Usage .....	51
§ 8.1.2 Package Process .....	51
§ 8.1.3 Package Architecture .....	52
§ 8.2 IC Test .....	53
§ 8.2.1 Function Test.....	53
§ 8.2.2 High/Low Temperature Test .....	54
§ 8.2.3 Reliability Test .....	56
§ 8.2.4 Wafer Test .....	59
§ 8.2.5 Final Test.....	62
<b>Chapter 9 Conclusion .....</b>	<b>66</b>
<b>Appendix.....</b>	<b>67</b>
<b>Reference .....</b>	<b>68</b>
<b>Published Patent.....</b>	<b>70</b>
<b>Thanks.....</b>	<b>71</b>

## 第一章 绪论

### § 1.1 LED 照明产业发展现状

照明产业发展历史已久，与人类的生活息息相关，且在能源耗用中占有一定的比例。节能减排蔚然成风，寻找高效率光源成为世界各国努力的目标。LED 光源的出现，有机会取代过去发光效率较低的传统光源，并以一种新的姿态出现在你我的生活之中。LED 这几年发展较快，在照明市场使用 LED 已经越来越普遍，虽说还不是特别成熟，但已经是公众关心的话题之一，照明未来被 LED 光源取代将无可置疑。受世界经济影响，都在寻找未来的新的经济增长点，投资 LED 方面的资金会越来越多，加速 LED 进程是必然的。

LED 照明产业可分为 LED 组件、LED 模块与 LED 照明应用。从组件端来看，可区分为标准型、高功率、高电流以及多晶粒封装。模块端则包括散热管理、光学模块以及驱动模块三部分。LED 照明灯具由光源、控制系统、外部结构体所构成，以达到配置光线与保护光源体之目的，并提供光源体之电源供应。除此之外，灯具还具有防止眩光、并做为装饰与光源指向等功能。

追求组件成本与制造成本下降，一直以来都是 LED 厂商努力的目标。除了发光效率提升带动每千流明价格持续下滑外，制造流程中每一个环节，包含磊晶、封装与模块端，皆需要透过制程或材料改良以提升良率并降低整体制造成本。

白炽灯泡为全球照明最普遍使用的光源，市场占有率高达 70%，但发光效率却仅有  $8\sim 20\text{lm/W}$ ，且整体照明系统效率仅约在  $50\text{lm/W}^{[1]}$ 。自 2007 年起，各国皆提出规划汰换白炽灯泡的政策，希望寻求发光效率较佳的光源。照明与人类生活息息相关，在各国白炽灯禁产、禁售与禁用政策推动下，替代光源的选择显得更为迫切，也促使 LED 型灯泡逐渐有导入照明市场的机会。当 LM 值普遍达到  $150\text{LM/W}$  时，便是 LED 照明大呼节能辉煌时代！

### § 1.2 高亮度 LED 驱动器发展概况

高亮度 LED 具有发光强度大、发光效率高、寿命长等特点，除用做 LCD 背光

照明外,近年来逐步用做照明灯(如已开发的手电筒、应急灯、节能灯)、闪光灯及频闪设备。高亮度 LED 也从小功率(电流几十毫安)发展到中功率(电流上百毫安)及大功率(电流达数十安)<sup>[2]</sup>。与之匹配的驱动器也随之更新换代,层出不穷。

## 1, 高亮度 LED 驱动器的要求

驱动器可以看作是向 LED 供电的特殊电源,可以驱动正向压降 3.0~4.3V 的高亮度 LED,并需要根据需要驱动串联、并联或串并联的多个高亮度 LED,并满足驱动电流的要求<sup>[3]</sup>。

驱动器的主要要求如下:

- (1) 如果是为满足便携式产品的低电压供电,驱动器有升压功能,以满足 1~3 节充电电池或 1 节锂离子电池供电的要求,并要求工作到电池终止放电电压为止;
- (2) 驱动器有高的功率转换效率,以提高电池的寿命或两次充电之间的时间间隔;目前高的可达 95%,一般可达到 60%~80%;
- (3) 在多个 LED 并联使用时,要求各 LED 的电流相匹配,使亮度均匀;
- (4) 低功耗,静态电流小,并且有关闭控制,有些驱动器在关闭状态时耗电可以低于 1  $\mu$ A;
- (5) LED 的电流  $I_{LED}$  可设定,使用过程中可调节(亮度调节);
- (6) 有完善的保护电路,如低压锁存、过压保护、过热保护、输出开路或短路保护<sup>[4]</sup>;
- (7) 直接接入市电的驱动器需要高功率因素,符合 EMI 等安规要求;
- (8) 小尺寸封装,并要求外围元件少而小,使占印制板体积小;
- (9) 对其他电路干扰影响小;
- (10) 使用方便,价位低。

## 2, 高亮度 LED 驱动器的分类

从供电电压的高低可以将驱动器分成三类:由电池供电,电压一般低于 5V,主要用于便携式电子产品,驱动小功率及中功率高亮度 LED,它主要采用升压式 DC/DC 转换器或升压式(或升降压式)电荷泵转换器,少数采用 LDO 电路的驱动器;大于 5V 供电,如 6V、9V、12V、24V(或更高),由稳压电源或电瓶供电,它主要

用降压式或升降式 DC/DC 转换器, 主要驱动 LED 灯; 直接由市电供电 (110Vac 或 220Vac) 或相应的高压直流电, 如 40~400V, 主要用于驱动大功率高亮度 LED 灯, 采用降压式 DC/DC 转换器驱动电路或是隔离驱动电路, 本文便是采用降压式 DC/DC 结构。

采用 LDO 式的驱动器是极少的, 但它无须外围元件及价位低是它的优点, 其缺点是转换效率略低, 并且电池往往不能用到终止放电电压就要充电。这种驱动器主要用于 1 节锂离子电池的场合, 并需用 VF 低的高亮度 LED。

### 3, 高亮度 LED 驱动器的应用前景

汽车领域的要求极为苛刻, 高于民用次于军用, LED 在汽车领域的使用标志着 LED 应用的新台阶。由于 LED 机械强度大, 抗振能力强、寿命长、耗电省, 可组成节电的免维修的汽车灯 (因为它的寿命比汽车本身的寿命还长)。

汽车的电瓶电压目前是 12V, 由于汽车的用电量越来越大, 将来的标准电压是 42V, 则开发 42V 供电的汽车用驱动器将是一种发展的新产品。汽车照明灯是高亮度 LED 的一个大用户, 大功率驱动器有很大的发展空间。

民用领域, 逐步推广节能荧光灯有较好的节电效果<sup>[8]</sup>。采用市电 (110Vac 或 220Vac) 供电的高亮度 LED 灯 (螺扣灯泡) 已上市。比如有些 LED 的功率为 2.2W, 而亮度却相当于 25~30W 的白炽灯, 驱动器电路做在灯头里, 使用十分方便, 省电效果比节能的荧光灯更好, 并且寿命长达 10 000~50 000 小时。

从发展来看, 用市电供电的驱动器是发展的大方向, 目前有分隔和非分隔两种拓扑结构, 两者有各自的优缺点, 也有各自的市场, 本课题主要采用非分隔的拓扑结构。

高亮度 LED 驱动器是一种特殊的电源。LED 照明灯的应用在汽车上及民用照明灯上有很大的发展, 非隔离低成本的直接用市电供电的驱动器有很大的发展前景。本课题就是为了适应新的市场需求而研究开发的<sup>[12]</sup>。

### § 1.3 本课题的主要工作

本课题是矽恩微电子 (厦门) 有限公司针对市电接入非隔离的大功率 LED 照明的发展需求而研究开发的一款基于 Buck 技术的 LED 驱动器。其主要工作模块如

图 1-1 所示，主要的模块包括带隙基准电路（BandGap）、运算放大器（OP）、电压调制电路（Voltage Regulator）、快速比较器 CMP（Fast Comparator）、上电复位（POR）、功率管驱动器（Driver）等模块。本芯片的研究开发包括各工作模块的结构设计、参数设计、模拟仿真、版图设计等，本课题主要工作包括：

- 1，工艺模型和封装型号的选择和确定；
- 2，带隙基准电路（Bandgap）的结构设计、参数设计、模拟仿真；
- 3，运算放大器（OP）的结构设计、参数设计、模拟仿真；
- 4，电压调制电路（Voltage Regulator）的结构设计、参数设计、模拟仿真；
- 5，快速比较器 CMP（Fast Comparator）的结构设计、参数设计、模拟仿真；
- 6，上电复位（POR）的结构设计、参数设计、模拟仿真；
- 7，功率管驱动器（Driver）的结构设计、参数设计、模拟仿真；
- 8，LED 大功率驱动器的总体组成和模拟仿真；
- 9，产品应用级别的外围器件设计及整体测试；
- 10，对产品量产测试运用 C 语言进行编程、高低温测试、芯片老化及可靠性测试、晶圆级测试及终测。

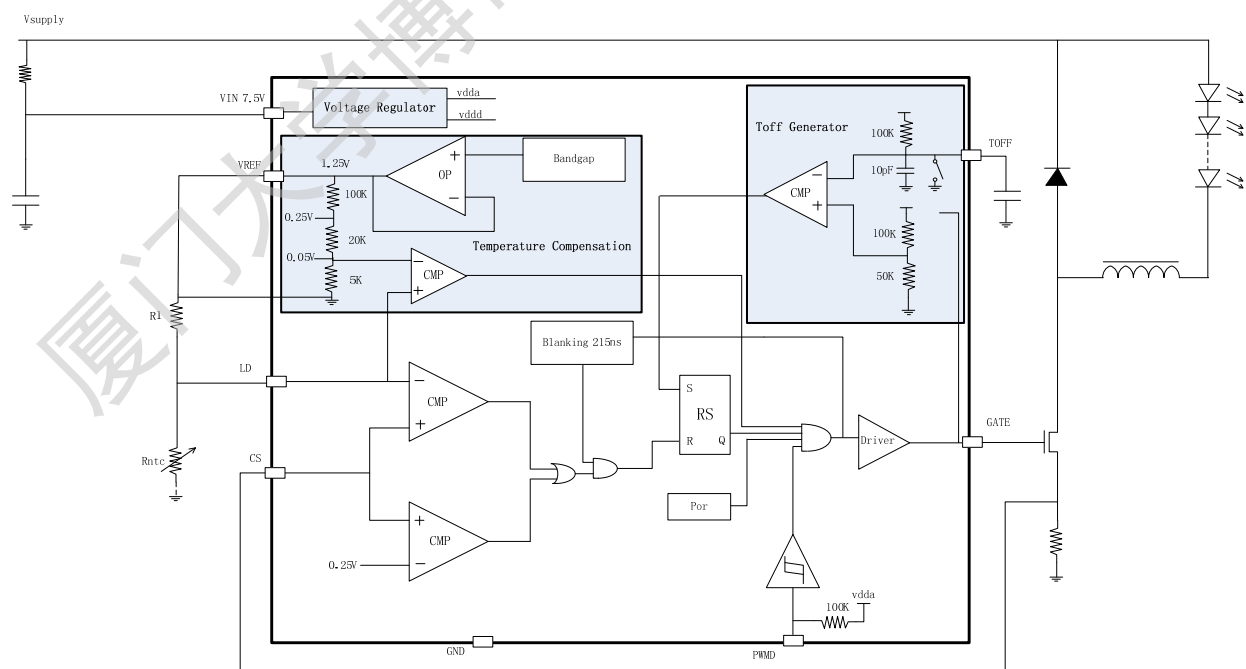


图 1-1 芯片的模块原理图

## 第二章 工艺模型、封装的确定

### § 2.1 工艺模型的确定

UMC 是全球著名的代工服务商，是晶圆专工解决方案的领导供应商，为今日多功能通讯与消费性电子产品提供先进系统单晶片设计的服务。我们选择的工艺模型就是联华电子公司的 0.6um 5V 工艺。

### § 2.2 封装型号的确定

江苏长电科技股份有限公司 (JCET) 是中国著名的半导体封装测试生产基地，能够为客户提供芯片测试、封装设计、封装测试等全套解决方案，是国家重点高新技术企业和中国电子百强企业，拥有国家级企业技术中心、博士后科研工作站和国内第一家高密度集成电路国家工程实验室。我们选择的封装型号就是江苏长电科技股份有限公司的 SOP8 封装。

SOP8 封装引脚示意图如图 2-1 所示：

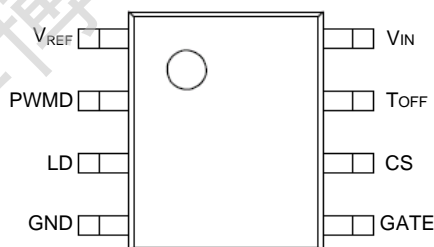


图 2-1 SOP8 封装的引脚示意图

## 第三章 LED 特性及驱动电路

### § 3.1 LED 特性与驱动

高亮度 LED 正向电压典型值为 3.3V~3.6V, 其离散分布区间在 3V~4V 之间。显然锂电池难于直接驱动高亮度 LED<sup>[19]</sup>。并且 LED 电压变化引起的电流变化量比普通 LED 要大得多<sup>[20]</sup>。大电流更容易引起结温升高, 随着结温升高, 给出同一电流的正向电压值减小! 如果采用电压源驱动的话! 势必会使正向电流进一步增加! 最终导致器件性能恶化甚至损坏! 图 3-1 是某高亮度 LED 器件的周围温度与容许电流特性之间的关系示意图, 它是选择器件正向电流的一个约束条件<sup>[21][22]</sup>。

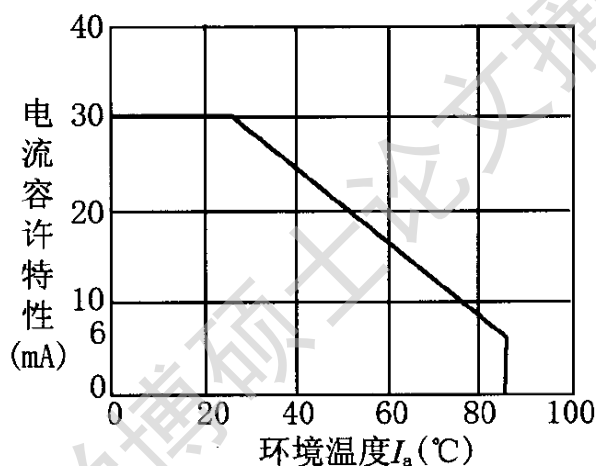


图 3-1 高亮度 LED 的周围温度与电流容许特性关系示意图

由此看出, 高亮度 LED 只有通过恒流驱动才能使得 LED 间的亮度与色彩匹配得到最佳控制, 只有恒流驱动才能控制 LED 正向电流工作在周围温度——容许电流特性曲线的安全范围内, 保证器件工作的可靠性<sup>[23]</sup>。

### § 3.2 高亮度 LED 驱动电路

#### § 3.2.1 概述

高亮度 LED 驱动电路集成化芯片很多, 按用途分有照明用和彩色液晶背光用驱动器; LED 的连接方式有并联、串联和串/并联三种, 并联驱动和串联驱动都有相应的专用芯片。驱动器电路一般都由 DC-DC 变换器和恒流源两部分组成,



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