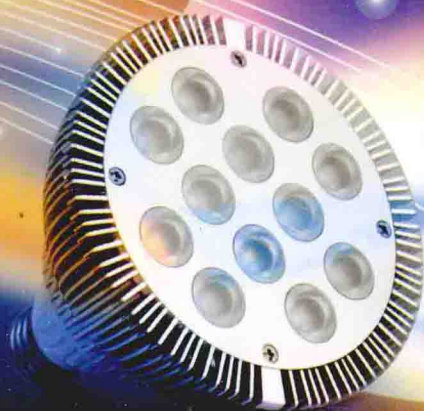


电子工程技术丛书

LED 驱动电路设计

● 黄智伟 编著



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

电子工程技术丛书

LED 驱动电路设计

黄智伟 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

LED 驱动电路是 LED 照明系统（灯）的重要组成部分。本书从工程设计要求出发，以 TI 和 PI 公司的 LED 驱动器设计工具和芯片为基础，图文并茂地介绍了 LED 照明系统（灯）的基本特性，LED 驱动电路的拓扑结构、解决方案和设计工具，AC-DC LED 驱动电路设计，DC-DC LED 驱动电路设计，智能 LED 照明技术等在设计 and 制作中的一些方法和技巧，以及应该注意的问题，具有很好的工程性和实用性。

本书是为从事电子系统设计的工程技术人员编写的一本学习 LED 驱动电路设计与制作基本知识、方法和技巧的参考书。本书也可以作为本科院校和高职高专电子信息工程、通信工程、自动化、电气工程等专业学习 LED 驱动电路设计和制作的教材，以及作为全国大学生电子设计竞赛的培训教材。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有，侵权必究。

图书在版编目（CIP）数据

LED 驱动电路设计 / 黄智伟编著. —北京：电子工业出版社，2014.6

（电子工程技术丛书）

ISBN 978-7-121-23176-6

I. ①L… II. ①黄… III. ①发光二极管—电路设计 IV. ①TN383.02

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2014）第 094879 号

责任编辑：刘海艳

印 刷：涿州市京南印刷厂

装 订：涿州市京南印刷厂

出版发行：电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编：100036

开 本：787×1 092 1/16 印张：13.25 字数：339.2 千字

印 次：2014 年 6 月第 1 次印刷

印 数：3 000 册 定价：38.00 元



凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系，联系及邮购电话：（010）88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线：（010）88258888。

LED 以其独特的特性获得广泛的应用，LED 驱动电路是 LED 照明系统（灯）的重要组成部分。

LED 驱动电路在设计制作中会受到各种条件的约束和制约（如输入电压、输出电压、输出电流、输出噪声、散热、外形尺寸、重量、成本等）。面对海量的技术资料，面对不同生产厂商可以提供的几十类、成百上千种型号的 LED 驱动电路芯片，面对数据表中的几十个技术参数，如何选择合适的 LED 驱动电路芯片，完成自己所需要的 LED 驱动电路设计，实际上并不是一件容易的事情。

LED 驱动电路设计是 LED 照明系统（灯）设计过程中需要重点考虑的一个问题。对 LED 驱动电路芯片的技术参数、特点、类型、应用要求的了解和不熟悉，是造成 LED 驱动电路设计制作困难的主要原因之一。

本书是为从事电子系统设计的工程技术人员编写的一本介绍 LED 驱动电路设计与制作基本知识、方法和技巧的参考书。本书没有大量的理论介绍、公式推导和仿真分析，而是从工程设计要求出发，以 TI 和 PI 公司的 LED 驱动电路设计工具和芯片为基础，通过对 LED 驱动电路设计工具，以及 LED 驱动电路芯片的基本结构、技术特性、应用电路的介绍，并提供大量的、可选择的 LED 驱动电路芯片和应用电路以及 PCB 设计实例，图文并茂地说明 LED 驱动电路设计和制作中的一些方法和技巧，以及应该注意的问题，具有很好的工程性和实用性。

本书也可以作为本科院校和高职高专电子信息工程、通信工程、自动化、电气工程等专业学习 LED 驱动电路设计和制作的教材，以及作为全国大学生电子设计竞赛的培训教材。

本书共 5 章。第 1 章 LED 照明系统设计，介绍了 LED 的基本特性，LED 驱动电路的基本要求和拓扑结构、LED 的调光操作，以及 LED 驱动电路设计应注意的一些问题

第 2 章 LED 驱动电路解决方案和设计工具，介绍了 TI 公司的 LED 驱动电路解决方案，TI 公司的 LED 设计工具，WEBENCH[®] Designer 的 LED 设计工具的使用，LED 参考设计选择工具的使用，PI 公司的 LED 驱动电路解决方案和设计工具。

第 3 章 AC-DC LED 驱动电路设计，介绍了 AC-DC PFC 离线式初级侧感应的 LED 驱动电路设计，AC-DC 降压 PFC 非隔离相位可调光 LED 驱动电路设计，采用多串变压器 LLC 控制技术的离线式 LED 驱动电路设计，AC 230V 输入 330mA 输出非调光 8W LED 驱动电路，AC 230V 输入 PFC 反激式 16W LED 驱动电路设计，AC 输入 0.5W 非隔离恒流 LED 驱动电路，AC 输入 1.25W 非隔离恒流 LED 驱动电路，用于 MR16 和 AR111 的 LED 驱动电路，用于 T8/T10 荧光灯替代方案的 19W 单级 AC-DC LED 驱动电路，24W T10 灯管非隔离 PFC LED 驱动电路，23W 超薄 T8 灯管隔离式的 LED 驱动电路，3W GU10 LED 灯驱动电路，5.8W 可调光 GU10 LED 灯驱动电路，14.5W A19 LED 驱动电路，7.5W PAR20 可调光 LED 驱动电路，20W PAR38 可调光 LED 驱动电路，12W BR40/8W BR30 可控硅调

光 LED 驱动电路, 4.5W E17 LED 灯驱动电路, 1.1W 蜡烛灯 LED 驱动电路, 两通道 150W 路灯 LED 驱动电路的电路原理图、PCB 设计图、设计要求以及技术支持等内容。

第 4 章 DC-DC LED 驱动电路设计, 介绍了 WLED (白光 LED) 驱动电路、采用 LDO 驱动 WLED 方法和电路、I²C 接口一次性可编程双输出 LED 驱动电路、HB (高亮度) LED 驱动电路、汽车用 LED 驱动电路、AMOLED 显示器电源驱动电路、平板电脑背光照明 LED 驱动电路、移动电话的闪光灯 LED 驱动电路、适用于 LED 手电筒低电池电压驱动电路、单电池供电的 LED 照明系统、MCU 控制的 LED 手电筒解决方案、无线 LED 照明系统的电路原理图、PCB 设计图、设计要求以及技术支持等内容。

第 5 章 智能 LED 照明技术, 介绍了智能灯光控制系统和智能照明控制系统, 将智能引入 LED 照明应用方法和途径, AC 电源供电的智能 LED 照明系统, AC LED 照明和通信开发工具套件的 PLC, DMX512 通信接口, 数字可寻址照明接口 (DALI), 以及相关的配套开发工具。

本书在编写过程中, 参考了大量的国内外著作和文献资料, 引用了一些国内外著作和文献资料中的经典结论, 参考并引用了 Texas Instruments、Power Integrations、Microchip Technology、Maxim、Linear Technology 等公司提供的技术资料和应用笔记, 得到了 TI 公司黄争、钟舒阳、胡国栋等许多专家和学者的大力支持, 听取了多方面的意见和建议。李富英高级工程师对本书进行了审阅。参与本书编写的还有南华大学王彦教授、李圣副教授、刘光达、刘鹏程、葛厚洋、胡景文、张翼、李军、戴焕昌、欧科军、税梦玲、张强、王兵、李富英, 在此一并表示衷心的感谢。同时感谢“国家级大学生创新创业训练计划项目”(201210555009) 课题组, 湖南省普通高等院校教学改革研究项目(20120216) 和(20120316) 课题组, 湖南省大学生研究性学习与创新性实验计划项目(201209) 课题组, 对本书编写所做的大量工作和支持。

由于我们水平有限, 不足之处在所难免, 敬请各位读者批评斧正。

黄智伟 于南华大学
2014 年 1 月

第 1 章 LED 照明系统设计	1
1.1 LED 的基本特性	1
1.2 LED 驱动电路的拓扑结构	3
1.2.1 LED 驱动电路的基本要求	3
1.2.2 BUCK DC-DC 开关稳压器拓扑结构	4
1.2.3 BOOST DC-DC 开关稳压器拓扑结构	7
1.2.4 BUCK-BOOST (降压-升压型) DC-DC 开关稳压器拓扑结构	10
1.2.5 SEPIC (单端初级电感转换器) DC-DC 开关稳压器拓扑结构	12
1.2.6 FLYBACK (反激式) DC-DC 开关稳压器拓扑结构	15
1.2.7 LLC 半桥谐振变换器拓扑结构	18
1.2.8 LED 的调光操作	22
1.2.9 LED 驱动电路设计应注意的一些问题	23
1.3 照明用 LED 驱动电路的电气要求	24
1.4 LED 照明系统设计的基本步骤	25
1.4.1 确定照明需求	26
1.4.2 确定设计目标	27
1.4.3 估计光学系统的效率	27
1.4.4 估计热系统的效率	28
1.4.5 估计电气系统的效率	29
1.4.6 计算需要的 LED 数量	30
1.4.7 对设计进行优化处理	31
1.4.8 构建和评估原型灯具	34
1.5 LED 灯和 LED 灯具认证	34
1.5.1 LED 灯和 LED 灯具认证常见问题	34
1.5.2 LED 灯具/电源 (驱动电路) UL 认证	35
1.5.3 LED 产品的 TÜV 认证	36
第 2 章 LED 驱动电路解决方案和设计工具	38
2.1 TI 公司的 LED 驱动电路解决方案	38
2.1.1 TI 公司的 LED 驱动器和 LED 照明设计	38
2.1.2 可选择的 TI 公司的 LED 驱动器	39
2.2 TI 公司的 LED 设计工具	39

2.2.1	WEBENCH [®] 设计中心的 LED 设计工具	39
2.2.2	WEBENCH [®] LED Architect 设计工具	40
2.2.3	WEBENCH [®] LED Designer 设计工具	40
2.3	WEBENCH [®] Designer 的 LED 设计工具的使用	41
2.3.1	选择 WEBENCH [®] Designer 的 LED 设计工具	41
2.3.2	进入 WEBENCH [®] Designer 的 LED 驱动电路设计页面	41
2.3.3	优化设计	42
2.3.4	LED 和散热器选择	43
2.3.5	驱动器选择	44
2.3.6	设计项目总结	45
2.3.7	订购评估板、样品和 IC	49
2.4	LED 参考设计选择工具的使用	51
2.4.1	进入 LED 参考设计选择工具	51
2.4.2	选择所需要的 LED 照明规格 (参数)	52
2.4.3	选择推荐的设计	52
2.4.4	推荐的设计实例简介	53
2.5	PI 公司的 LED 驱动电路解决方案	54
2.5.1	PI 公司的 LED 驱动器 IC	54
2.5.2	PI Expert [™] 设计软件	55
2.5.3	LED 设计选择器	55
2.5.4	LED 电源驱动方案选择	56
2.5.5	LED 电源驱动方案设计文档	59
第 3 章	AC-DC LED 驱动电路设计	60
3.1	AC-DC PFC 离线式初级侧感应的 LED 驱动电路设计	60
3.1.1	具有 PFC 的离线式初级侧感应 LED 驱动器 TPS92310	60
3.1.2	恒定导通时间控制	60
3.1.3	初级检测的恒定电流控制	62
3.1.4	ZCD 检测、延迟设置与输出过压	63
3.1.5	输出短路保护	64
3.1.6	主要元器件参数计算	64
3.2	AC-DC 降压 PFC 非隔离相位可调光 LED 驱动电路设计	65
3.2.1	AC-DC 降压 PFC 非隔离相位可调光 LED 驱动器 TPS92075	65
3.2.2	17W、交流 120V 输入非隔离可调光 LED 驱动器电路	65
3.2.3	TPS92075 设计计算器	68
3.3	采用多串变压器 LLC 控制技术的离线式 LED 驱动电路设计	69
3.3.1	传统的高功率离线型 LED 照明驱动电路拓扑结构	69

3.3.2	新型的高功率离线型 LED 照明驱动电路拓扑结构	70
3.3.3	新型多串变压器 LLC 谐振控制器 UCC25710	71
3.3.4	LLC 多串变压器设计	72
3.3.5	100W 离线型 LED 照明驱动电路设计实例	75
3.3.6	输出电流匹配	76
3.3.7	调光效率	76
3.4	交流 230V 输入、330mA 输出、非调光 8W LED 驱动电路设计	77
3.5	交流 230V 输入 PFC 反激式 16W LED 驱动电路设计	79
3.5.1	用于 LED 相位调光的 PFC 反激转换控制器 LM3447	79
3.5.2	初级侧功率调节反激式 LED 驱动电路设计步骤	80
3.5.3	设计实例	82
3.6	交流输入 0.5W 非隔离恒流 LED 驱动电路	85
3.6.1	12.9V、40mA 非隔离 Buck-Boost 电路结构	85
3.6.2	设计要点	86
3.7	交流输入 1.25W 非隔离恒流 LED 驱动电路	87
3.7.1	12.5V、100mA 非隔离 Buck-Boost 电路结构	87
3.7.2	设计要点	88
3.8	用于 MR16 和 AR111 的 LED 驱动电路	88
3.8.1	低电压 AC-DC 或 DC-DC LED 驱动器 TPS92560	88
3.8.2	TPS92560 设计计算器	89
3.9	用于 T8/T10 荧光灯替代方案的 19W 单级 AC-DC LED 驱动电路	90
3.9.1	19W 单级 AC-DC LED 驱动电路 (PMP4301)	90
3.9.2	单端反激 PFC 变换器	92
3.9.3	UCC28810 控制器的工作原理	93
3.9.4	次级侧电流反馈	95
3.9.5	PCB 布局	95
3.10	24W T10 灯管非隔离 PFC LED 驱动电路	96
3.10.1	非隔离 PFC LED 驱动电路结构	96
3.10.2	设计要点	98
3.11	23W 超薄 T8 灯管隔离式的 LED 驱动电路	99
3.11.1	超薄 T8 灯管隔离式高功率因数 LED 驱动电路结构	99
3.11.2	设计要点	101
3.12	3W GU10 LED 灯驱动电路	102
3.12.1	3W GU10 LED 灯驱动电路结构	102
3.12.2	设计要点	103
3.13	5.8W 可调光 GU10 LED 灯驱动电路	104

3.13.1	5.8W 可调光 GU10 LED 灯驱动电路结构	104
3.13.2	设计要点	106
3.14	14.5W A19 LED 驱动电路	107
3.14.1	14.5W A19 LED 驱动电路结构	107
3.14.2	设计要点	109
3.15	7.5W PAR20 可调光 LED 驱动电路	110
3.15.1	7.5W PAR20 可调光 LED 驱动电路结构	110
3.15.2	设计要点	113
3.16	20W PAR38 可调光 LED 驱动电路	114
3.16.1	20W PAR38 可调光 LED 驱动电路结构	114
3.16.2	设计要点	117
3.17	12W BR40/8W BR30 可控硅调光 LED 驱动电路	118
3.17.1	12W BR40/8W BR30 可控硅调光 LED 驱动电路结构	118
3.17.2	设计要点	121
3.18	4.5W E17 LED 灯驱动电路	122
3.18.1	4.5W E17 LED 灯驱动电路结构	122
3.18.2	设计要点	123
3.19	1.1W 蜡烛灯 LED 驱动电路	125
3.19.1	1.1W 蜡烛灯 LED 驱动电路结构	125
3.19.2	设计要点	126
3.20	两通道 150W 路灯 LED 驱动电路	127
3.20.1	两通道 150W 路灯 LED 驱动电路结构	127
3.20.2	设计要点	130
第 4 章	DC-DC LED 驱动电路设计	131
4.1	WLED (白光 LED) 驱动电路	131
4.2	采用 LDO 驱动 WLED	132
4.2.1	LED 正向电压和正向电流	132
4.2.2	温度对 LED 正向电压和正向电流的影响	133
4.2.3	适合低电流 WLED 应用的 TPS75105 LED 驱动器	134
4.3	I ² C 接口一次性可编程双输出 LED 驱动电路	135
4.3.1	I ² C 接口双输出 LED 驱动器 TPS92660	135
4.3.2	I ² C 接口双输出 LED 驱动电路实例	136
4.4	HB (高亮度) LED 驱动电路	138
4.4.1	集成高侧 MOSFET 的 60V、1.5A 降压转换器 TPS92510	138
4.4.2	HB (高亮度) LED 驱动电路实例	138
4.5	汽车用 LED 驱动电路	140

4.5.1	汽车用 LED 驱动器 LM3492HCQ	140
4.5.2	汽车用 LED 驱动电路实例	140
4.6	AMOLED 显示器电源驱动电路	143
4.7	平板电脑背光照明 LED 驱动电路	145
4.7.1	平板电脑背光要求	145
4.7.2	最佳 LED 配置	147
4.7.3	平板电脑背光照明 LED 驱动电路设计实例	149
4.8	移动电话的闪光灯 LED 驱动电路	150
4.8.1	LED 电流检测	150
4.8.2	低电池电压检测	151
4.8.3	LED 故障检测	151
4.8.4	过温检测	152
4.8.5	1.5A 多个 LED 摄像机闪光灯驱动电路实例	152
4.9	适用于 LED 手电筒低电池电压驱动电路	155
4.10	单电池供电的 LED 照明系统	156
4.10.1	单电池供电的 LED 照明系统要求	156
4.10.2	系统结构和总体设计方案	157
4.10.3	LED 驱动电路设计实例	157
4.10.4	按键及电池电压检测	159
4.10.5	系统控制流程及软件设计	160
4.11	MCU 控制的 LED 手电筒解决方案	160
4.12	无线 LED 照明系统	162
4.12.1	无线 LED 照明系统的主要功能	162
4.12.2	无线 LED 照明系统的结构	162
4.12.3	RF+微控制器片上系统 CC430F613x	163
第 5 章	智能 LED 照明技术	164
5.1	智能照明技术简介	164
5.1.1	灯光及照明控制方式	164
5.1.2	灯光及照明控制系统	165
5.1.3	智能灯光控制系统和智能照明控制系统	165
5.2	将智能引入 LED 照明应用	171
5.2.1	通过数字控制进行系统集成	173
5.2.2	智能的优势：质量、效率和成本	174
5.2.3	通过远程连接提高效率	175
5.2.4	利用电力线通信（PLC）技术	176
5.2.5	C2000™ Piccolo 微控制器简介	176

5.2.6	软件、可编程性和支持	177
5.2.7	DC-DC LED 开发者套件	178
5.2.8	Multi-DC/DC 彩色 LED 套件	179
5.2.9	C2000 Piccolo MCU ACLED 照明和通信套件	179
5.3	交流电源供电的智能 LED 照明系统	182
5.4	交流 LED 照明和通信开发工具套件的 PLC	182
5.4.1	电力线通信 (PLC) 技术简介	182
5.4.2	TI 公司的电力线通信解决方案	184
5.5	DMX512 通信接口	186
5.5.1	DMX512 物理层和协议	187
5.5.2	硬件接口	188
5.5.3	DMX512 软件驱动程序	188
5.6	数字可寻址照明接口 (DALI)	190
5.6.1	DALI 系统的结构	190
5.6.2	DALI 系统的电气特性	192
5.6.3	DALI 系统的编码格式	192
5.6.4	DALI 系统的指令格式	193
5.6.5	交流 LED 照明和通信开发工具套件上的 DALI 通信	193
参考文献		196

第 1 章

LED 照明系统设计

1.1 LED 的基本特性

LED 具有 50 000h 的高可靠性。例如，照明级 LED 在逐渐退化到其最初光输出通量（也称作流明维持）的 70% 之前，具有至少 50 000h 的使用寿命，也就是说可以连续点亮 5.7 年。不过，在大多数照明环境下，灯会有规律地熄灭。这一熄灭期足足可以将 LED 的使用寿命延长到 30 年以上。

LED 具有大于 80~120 lm/W（流明/瓦）较高的发光效率。15 世纪，蜡烛发光效率为 1 lm/W；19 世纪，白炽灯发光效率为 10~15 lm/W；20 世纪 20 年代，荧光灯发光效率为 70~100 lm/W；20 世纪 50 年代，HID 发光效率为 80~120 lm/W。

LED 具有 ns 级的响应能力，与白炽灯泡 200ms 的响应时间相比，LED 会在短短 5ns 响应时间内发光。

LED 的这些特性使其成为极具吸引力的光源。随着 LED 的生产成本下降，LED 的应用范围从手持终端设备（例如，LCD 显示器背光）到车载（例如，汽车仪表盘、车内环境照明、刹车灯），再到从建筑照明（例如，旧型号灯泡替换、筒灯/低顶灯、路灯、区域灯、中顶灯、高顶灯等）获得普遍应用。

如图 1.1.1 所示，LED 具有类似于二极管的正向电压-电流 (V - I) 特性^[1,2]。在低于 LED 开启阈值时（白光 LED 的开启电压阈值大约为 3.25V），通过该 LED 的电流非常小。在高于该阈值时，电流会以正向电压形式成指数倍递增。如图 4.1.1 (b) 所示，正向电压为 2.9V 时，正向电流为 350mA；正向电压为 3.05V 时，正向电流为 700mA；正向电压为 3.15V 时，正向电流为 1000mA；正向电压为 3.25V 时，正向电流为 1500mA。

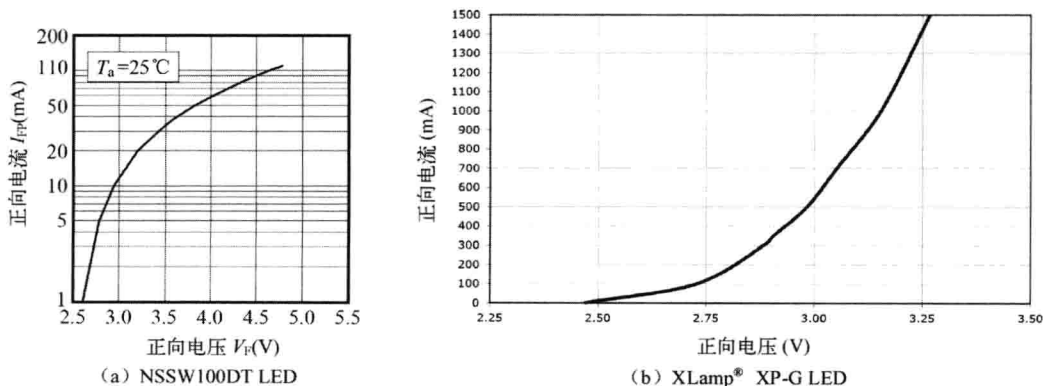


图 1.1.1 LED 具有类似于二极管的正向电压-电流特性

LED 可以等效为带有一个串联电阻的电压源（模型仅在单一的直流电流下才有效）。如果 LED 中的直流电流发生改变，那么该模型的电阻也应随即改变，以反映新的工作电流。在大的正向电流下，LED 中的功耗会使器件发热，这将改变正向压降和动态阻抗。在确定 LED 阻抗时，充分考虑散热环境是非常重要的。

如图 1.1.2 和图 1.1.3 所示，正向电流的大小与相对亮度（或者正向电流与相对光通量）有关^[1,2]。当要求相对亮度（或者相对光通量）恒定时，就要求流过 LED 的电流是恒定的。

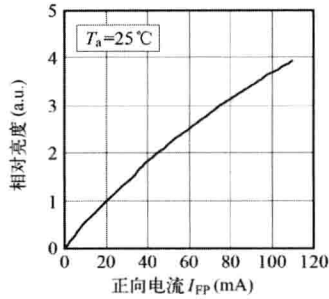


图 1.1.2 正向电流与相对亮度 (N5SW100DT LED)

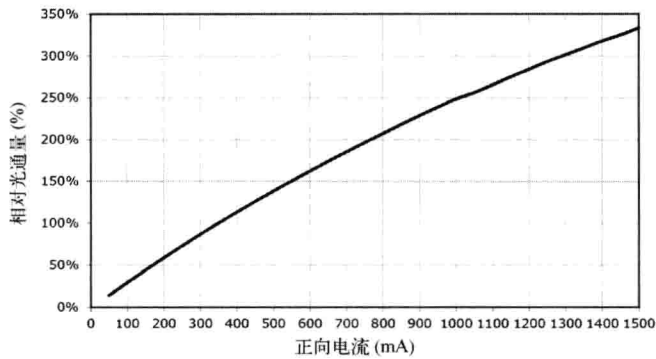


图 1.1.3 正向电流与相对光通量 (XLamp® XP-G LED)

LED 需要恒流电源驱动，而不是恒压电源。并且无论输入电源电压如何变化都必须要保持输出电流（LED 驱动电流）的恒定。这与仅仅将白炽灯泡连接到电源来为其供电相比更具有挑战性。

对于闪烁型和低功率型 LED，可以使用串联电阻。而对于功率高于 1W 的 LED，使用串联电阻是不可行的。对于这些较高功率的 LED，可以使用标准开关电源（SMPS）拓扑和控制器进行驱动，并使用 LED 电流而不是电压作为控制器的反馈。拓扑的选择取决于系统输入电压、LED 正向电压和串联的 LED 数量。

应注意交流纹波电流的影响。例如，当使用降压稳压器驱动 LED 时，降压稳压器的输出包含交流纹波电流和直流电流。这不仅会提高 LED 中电流的 RMS 幅度，而且还会增大 LED 的功耗。LED 的功耗由 LED 电阻乘以 RMS 电流的平方再加上平均电流乘以正向压降来确定。功耗增加会使 LED 的结温上升，结温上升会对 LED 的使用寿命产生重要影响。例如，一个 LED 工作在 63°C 结温下，使用寿命为 40 000h；当结温上升到 74°C 时，LED 的寿命就会下降

到 15 000h。一条非常有用的经验法则是：结温每降低 10℃，半导体寿命就会提高两倍。实际上，由于电感器的抑制作用，因此大多数设计趋向于更低的纹波电流。此外，LED 中的峰值电流不应超过厂商所规定的最大安全工作电流额定值。

1.2 LED 驱动电路的拓扑结构

1.2.1 LED 驱动电路的基本要求

散热、驱动电路、光源是 LED 照明产品的几个关键部分。其中，散热显得尤为重要，散热效果直接影响到照明产品的寿命，另外，驱动电路本身的寿命及输出电流、电压的稳定性对产品的整体质量和寿命也有很大影响，而光源是整个产品的核心部分。

LED 驱动电路是把供电电源（交流或者直流）转换为特定的电压/电流形式以驱动 LED 发光的电压/电流转换器。LED 驱动电路的输入包括高压工频交流（即市电）、低压直流、高压直流、低压高频交流（如电子变压器的输出）等。而 LED 驱动电路的输出则大多数为可随 LED 正向压降值变化而改变电压的恒定电流源。LED 驱动电路核心元件包括开关控制器、电感器、开关元器件（MOSFET）、反馈电阻、输入/输出滤波器件等。根据不同场合要求，还有输入过压保护、输入欠压保护、LED 开路保护、过流保护等电路。

LED 驱动电路的基本要求如下。

（1）高可靠性。高可靠性是 LED 产品的基本要求，特别像 LED 路灯的驱动电路，装在空中，维修不方便，维修的花费也大。

（2）高效率。LED 是节能产品，驱动电路的效率要高。因为要安装在灯具内，所以驱动电路的散热非常重要。驱动电路的效率越高，它的耗损功率就小，在灯具内发热量也小，也就降低了灯具的温升。这对延缓 LED 的光衰是有利的。

（3）高功率因数。功率因数是电网对负载的要求。一般 70W 以下的用电电器，没有强制性指标。虽然功率不大的单个用电器功率因数低一点对电网的影响不大，但晚上照明量大，同类负载太集中，会对电网产生较严重的污染。对于 30~40W 的 LED 驱动电路，对功率因数方面有一定的指标要求。

（4）驱动方式。现在通行的驱动方式有两种。一种是一个恒压源供多个恒流源，每个恒流源单独给每路 LED 供电。这种方式，组合灵活，一路 LED 故障，不影响其他 LED 的工作，但成本会略高一点。另一种是直接恒流供电的驱动方式，LED 串联或并联运行。它的优点是成本低一点，但灵活性差，还要解决某个 LED 故障，不影响其他 LED 运行的问题。这两种形式会在一段时间内并存。多路恒流输出供电方式，在成本和性能方面会较好，也许是以后的主流方向。

恒流驱动电路输出的电流是恒定的，而输出的直流电压却随着负载阻值的大小不同在一定范围内变化，负载阻值小，输出电压就低，负载阻值越大，输出电压也就越高。恒流电路不怕负载短路，但严禁负载完全开路。恒流驱动电路驱动 LED 是较为理想的，但相对而言价格较高。应注意所使用驱动电路的最大承受电流及电压值，它限制了 LED 的使用数量。与整体恒流相较，逐路恒流虽然缺点比较多，成本也比较高。但是它能真正起到保护 LED 和延长 LED 寿命的作用。

稳压式驱动电路，当稳压电路中的各项参数确定以后，输出的电压是固定的，而输出的电流却随着负载的增减而变化。稳压电路不怕负载开路，但严禁负载完全短路。以稳压驱动电路驱动 LED，每串需要加上合适的电阻才可使每串 LED 显示亮度平均。亮度会受整流而来的电压变化影响。

(5) 浪涌保护。LED 抗浪涌的能力是比较差的，特别是抗反向电压能力。加强这方面的保护也很重要。有些 LED 灯装在户外，如 LED 路灯。由于电网负载的接入和雷击的感应，从电网系统会侵入各种浪涌，有些浪涌会损坏 LED。LED 驱动电路（也常称为 LED 电源或 LED 驱动电源）要有抑制浪涌侵入、保护 LED 不被损坏的能力。

(6) 保护功能。驱动电路除了常规的保护功能外，最好在恒流输出中增加 LED 温度负反馈，防止 LED 温度过高，要符合安规和电磁兼容的要求。

一些可选择的 LED 驱动电路拓扑^[3]见表 1.2.1。利用表 1.2.1 中所显示的信息，有助于为 LED 驱动器选择最佳的开关拓扑。除这些拓扑之外，还可使用简易的限流电阻器或线性稳压器来驱动 LED，但是此类方法通常会浪费过多功率。所有相关的设计参数包括输入电压范围、驱动的 LED 数量、LED 电流、隔离、EMI 抑制以及效率等。大多数的 LED 驱动电路都属于下列拓扑类型：降压型（BUCK）、升压型（BOOST）、降压-升压型（BUCK-BOOST）、SEPIC 和反激式（FLYBACK）。反激式（FLYBACK）拓扑是低功率应用的最佳选择，而双电感加单电容谐振（LLC）构成的半桥 LLC 谐振变换器最适合极高效应用。

表 1.2.1 可选择的 LED 驱动电路拓扑

拓扑结构	输入电压 (V_{IN}) 总大于输出电压 (V_{OUT})	输入电压 (V_{IN}) 总小于输出电压 (V_{OUT})	输入电压 (V_{IN}) 小于输出电压 (V_{OUT}) 和输入电压 (V_{IN}) 大于输出电压 (V_{OUT})	隔离式
降压型拓扑	•			
升压型拓扑		•		
降压-升压型拓扑			•	
降压型或升压型拓扑			•	
SEPIC 拓扑		•	•	
反激式拓扑	•	•	•	•

注意：一般认为，使用线性驱动电路存在效率较低的问题。事实上，LDO（低输入/输出电压差）的效率完全根据输入/输出电压比而定。在驱动低电流 WLED 时，使用低输入/输出电压差线性 IC 也能够获得高的效率。

1.2.2 BUCK DC-DC 开关稳压器拓扑结构

1. BUCK DC-DC 开关稳压器的电路结构形式

BUCK DC-DC 开关稳压器的电路结构形式^[4]如图 1.2.1 所示。

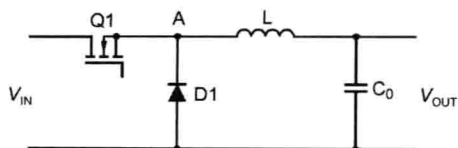


图 1.2.1 BUCK DC-DC 开关稳压器的电路结构形式

理想的电路传递函数为

$$\frac{V_{\text{OUT}}}{V_{\text{IN}}} = \left(\frac{t_{\text{ON}}}{T_{\text{P}}} \right) = D \quad (1.2.1)$$

式中, V_{OUT} 为输出直流电压; V_{IN} 为输入直流电压; t_{ON} 为 FET 开关管 Q1 的导通时间; T_{P} 为 PWM 周期; D 为占空比。

FET 开关管 Q1 的漏极电流

$$I_{\text{Q1(max)}} = I_{\text{OUT}} \quad (1.2.2)$$

式中, I_{OUT} 为输出电流。

FET 开关管 Q1 的漏-源极电压

$$V_{\text{DS(Q1)}} = V_{\text{IN}} \quad (1.2.3)$$

二极管 D1 的平均电流

$$I_{\text{D1}} = I_{\text{OUT}} (1-D) \quad (1.2.4)$$

二极管 D1 的反向电压

$$V_{\text{D1}} = V_{\text{IN}} \quad (1.2.5)$$

BUCK 电路中的各点波形如图 1.2.2 所示, 图中 I_{L} 为电感电流 (流向负载的电流), V 为 A 点电压。

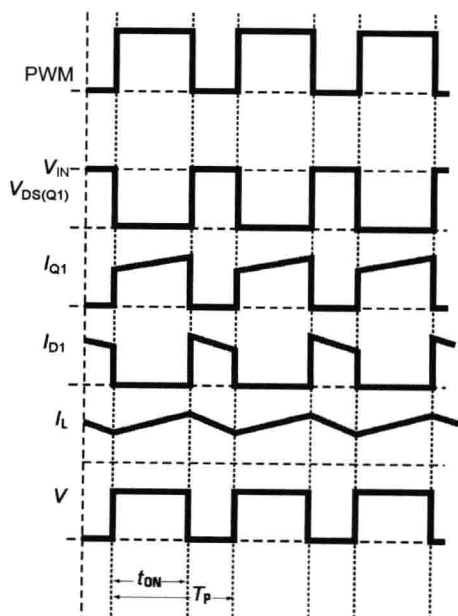


图 1.2.2 BUCK 电路中的各点波形

图 1.2.2 所示的 BUCK 稳压器电路结构形式适用于输出电压总小于输入电压的情形。可以将 LED 串联一个电阻作为降压型稳压器的负载，连接在降压型稳压器的输出端。降压型稳压器通过改变 MOSFET 开关管的开启时间来控制进入 LED 的电流。电流监测（检测）可通过测量电阻器两端的电压获得，其中该电阻器应与 LED 串联。对该方法来说，重要的设计难题是如何驱动 MOSFET。从性价比的角度来说，推荐使用需要浮动栅极驱动的 N 通道场效应晶体管（NMOSFET）。这需要一个驱动变压器或浮动驱动电路（其可用于维持内部电压高于输入电压）。

2. 电路实例：驱动 LED 的 70V、9.1W 恒流降压型转换器电路

一个驱动 LED 的 70V、9.1W 恒流降压型转换器电路^[5]如图 1.2.3 所示，这个非隔离降压型转换器采用 LinkSwitch-TN 产品系列的 LNK306PN（U1）设计而成。选择 LNK306PN 是因为其具有最小的电流限流点（450mA），能确保 330mA 的输出电流。

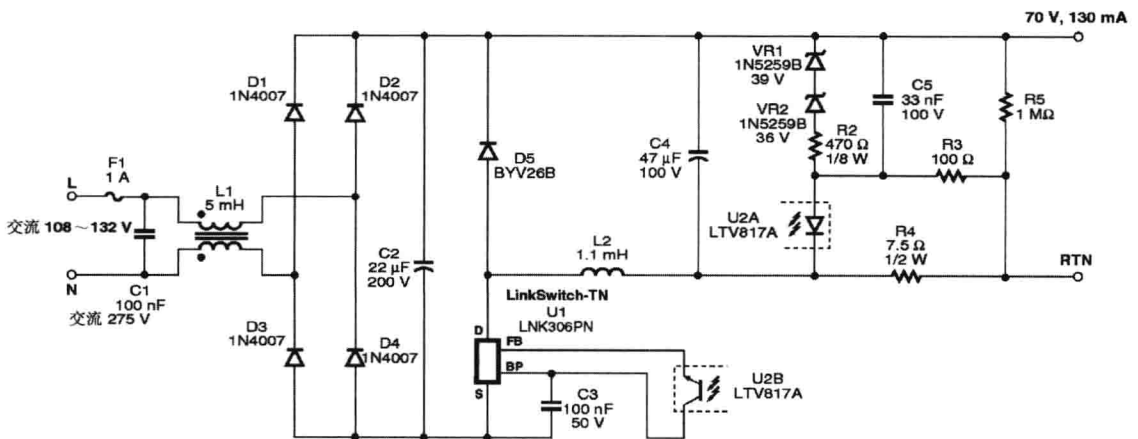


图 1.2.3 驱动 LED 的 70V、9.1W 恒流降压型转换器电路

二极管整流桥 D1~D4 对交流输入进行整流，电容 C1 和 C2 进行滤波。L1 和 F1（F1 可以是一个低阻值的可熔断电阻）衰减传导 EMI。万一发生故障，F1 将起到保险丝作用。

U1（LNK306PN）内部的 MOSFET、二极管 D5、电感 L2 和电容 C4 构成了降压型转换器。U1（LNK306PN）内部的控制器通过使能和关断 MOSFET 开关周期来稳定输出电流。

工作时，光电耦合器 U2A、VR1、VR2、R2 和 C5 检测输出电压。C5 两端的电压通过 R3 和 R5 分压，通过 R4 与光电耦合器 U2A 和 U2B 控制 U1 的 FB 引脚端电流。FB 引脚端的电压在 49 μ A 电流时被指定为 1.63V，因此可以作为一个参考（基准）使用。只要进入 FB 脚的电流超过 49 μ A，MOSFET 开关操作就被关断。控制器通过调整使能和关断周期的比例来使输出电流稳定在 330mA。

图 1.2.3 所示电路，其恒定电流输出非常适合驱动 LED，高输出电压支持一个 LED 灯串，这样无需考虑在 LED 灯之间分配电流，能够在负载断开、过载、短路和过热情况下提供保护，在整个工作电压范围内的效率都大于 90%，采用简单的单电感设计，无需变压器，能够满足