

LED照明与显示技术丛书 ①



# LED照明 驱动电源优化设计

沙占友 等 著



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

LED照明与显示技术丛书 ①

# LED照明 驱动电源优化设计

沙占友 王 力 马洪涛 王晓君 王彦朋 著  
睢丙东 孟志永 安国臣 王旭华



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

## 内 容 简 介

本书是一部全面、深入、系统介绍 LED 照明用驱动电源（简称 LED 驱动电源）设计的专著，全书共十二章。第一章为 LED 照明及驱动电源概述。第二～五章分别介绍 LED 驱动电源芯片的选择、LED 驱动电源的拓扑结构及其应用、功率因数校正电路的设计及单片 LED 驱动电源的原理与应用。第六～十一章重点阐述 AC/DC 式 LED 驱动电源外围电路设计、智能化 LED 驱动电源的原理与应用、LED 照明灯调光电路的设计、大功率 LED 驱动电源设计要点、应用技巧及散热器设计。第十二章专门介绍利用在线工具软件实现 LED 驱动电源优化设计，并给出了应用实例。

本书对广大读者自行研发新型 LED 驱动电源具有重要参考价值。本书为“LED 照明与显示技术丛书”第一分册，该丛书还包括《LED 数显仪表设计与应用实例》和《大屏幕 LED 显示屏设计与工程实例》。

本书内容丰富，深入浅出，图文并茂，具有很高的实用价值，可供各类电子技术人员、高校师生和电子爱好者阅读。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

LED 照明驱动电源优化设计/沙占友等著. —北京：中国电力出版社，2010. 12

(LED 照明与显示技术丛书)

ISBN 978-7-5123-1217-3

I. ①L… II. ①沙… III. ①发光二极管-电源电路-电路设计 IV. ①TN383.02

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 249740 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

\*

2011 年 2 月第一版 2011 年 6 月北京第二次印刷

710 毫米×980 毫米 16 开本 28.25 印张 586 千字

印数 3001—5000 册 定价 55.00 元

## 敬 告 读 者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失  
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

LED (Light Emitting Diode) 是发光二极管的简称, 它是以半导体管芯作为发光材料的一种电致发光器件。近年来, 随着 LED 制造工艺的不断进步和新材料的开发应用, 各种大功率的白光 LED (White LED, 简称 WLED)、高亮度 LED (High Brightness-LED, 简称 HB-LED)、超高亮度 LED (Ultra High Brightness LED, 简称 UHB-LED)、有机 LED (Organic LED, 简称 OLED) 和全彩色 LED (RGB-LED) 均取得突破性发展, 成为人类历史上继爱迪生发明白炽灯之后的又一项重大发明。LED 照明亦称半导体照明或“固态照明” (Solid State Lighting, 简称 SSL), 被誉为 21 世纪的节能环保型“绿色照明”。LED 照明具有低功耗、高亮度、耐震动、寿命长、外形尺寸小、响应速度快、对环境无污染等显著优点, 可广泛用于室内及室外照明、装饰照明、汽车照明、道路照明等领域。据统计, 2010 年上海世博园区共使用 10.3 亿只 LED, 在场馆室内照明中约有 80% 采用 LED 绿色光源, 比普通白炽灯可节省 90% 的电能。LED 照明制造业不愧是 21 世纪的朝阳产业。

目前, 我国已成为世界第一大照明电器生产国和主要出口国。根据国家发改委 2009 年制定的《半导体照明节能产业发展意见》, 预计到 2015 年, 半导体照明节能产业产值年均增长率在 30% 左右, 照明产品的市场占有率将达到 20% 左右, 液晶背光源高达 50% 以上, 景观装饰等产品市场占有率则达到 70% 以上。我国半导体照明产业正面临自主创新、实现跨越式发展的重大历史机遇。

鉴于目前国内已出版专门介绍 LED 照明驱动电源 (以下简称 LED 驱动电源) 设计的书籍还很少, 而广大读者迫切需要能更全面系统地掌握 LED 驱动电源的新技术、优化设计方法、设计实例及设计要点。为此, 我们在系统总结从事 LED 驱动电源研究工作所积累的经验及部分科研成果的基础上, 参考国内外厂家提供的最新资料后撰成此书, 以飨广大读者。本书为“LED 照明与显示技术丛书”第一分册, 该丛书还包括《LED 数显仪表设计与应用实例》和《大屏幕 LED 显示屏设计与工程实例》。沙占友教授担任丛书主编。

本书融科学性、先进性、系统性、实用性于一体, 主要有以下特点:

第一, 全面、深入、系统地阐述了 LED 驱动电源的优化设计, 内容包括 LED 驱动电源的拓扑结构及其应用、LED 驱动电源芯片的选择、功率因数校正 (PFC) 电路

的设计、单片 LED 驱动电源的原理与应用、AC/DC 式恒流输出 LED 驱动电源外围电路的设计、智能化 LED 驱动电源的原理与应用、LED 照明灯调光电路的设计、大功率 LED 驱动电源设计要点、应用技巧、散热器设计、利用在线工具软件实现 LED 驱动电源优化设计等技术。

第二，鉴于目前 LED 驱动电源正朝着单片集成化、智能化、模块化、短小轻薄的方向发展，在阐述大功率 LED 驱动电源的设计要点时，不仅详细介绍了精密恒流控制环等关键电路的设计，还深入阐述 LED 驱动电源的布局原则、印制板设计，并介绍了提高 LED 驱动电源效率和降低 LED 驱动电源待机功耗的方法。

第三，内容新颖。本书深入阐述了大功率 LED 的温度补偿技术、LED 灯的保护电路、功率因数校正（PFC）电路、国际上最新推出的单级 PFC 及 LLC 式大功率 LED 驱动电源、单片 PFC 及 TRIAC 调光隔离式 LED 恒流驱动电源、智能化 LED 驱动电源等多项新技术及应用实例。

第四，内容深入浅出，实用性强，具有很高的实用价值。集成电路强大的生命力在于应用，本书介绍了几百种 LED 驱动器及驱动电源集成电路，并给出大量的应用电路。在介绍多种 LED 驱动电源设计实例的同时，还详细阐述了关键外围元器件的选择、保护电路的设计、单片 LED 驱动电源的散热器设计、LED 驱动电源测试技术及 4 种光学测试仪的制作方法。此外在第十二章还专门介绍了使用在线工具软件进行电路仿真和热仿真的方法及应用实例。

第五，信息量大，知识面宽，便于读者触类旁通，举一反三，灵活运用。

沙占友教授撰写了第一章、第六～十章，并完成了全书的审阅和统稿工作。王力高级工程师（浙江西盈科技有限公司）、马洪涛副教授、王晓君教授、王彦朋教授、睢丙东教授、孟志永、安国臣老师和王旭华工程师合撰了第二～五章，第十一、十二章。

李学芝、沙江、韩振廷、魏跃平、沙莎、张文清、宋怀文、陈庆华、王志刚、刘立新、张启明、刘东明、赵伟刚、宋廉波、刘建民、李志清、郑国辉、王金和、赵仁明、李新华同志也参加了本书撰写工作。

由于作者水平有限，书中难免存在缺点和不足之处，欢迎广大读者指正。

作者

前言

|                              |    |
|------------------------------|----|
| 第一章 LED 照明及驱动电源概述 .....      | 1  |
| 第一节 LED 照明的名词术语 .....        | 1  |
| 第二节 LED 照明器件发展概况 .....       | 6  |
| 一、LED 照明器件发展简史 .....         | 6  |
| 二、LED 照明市场现状与发展前景 .....      | 7  |
| 第三节 LED 照明的主要特点及应用领域 .....   | 8  |
| 一、LED 照明的主要特点 .....          | 8  |
| 二、LED 照明的应用领域 .....          | 9  |
| 第四节 LED 的基本原理 .....          | 11 |
| 第五节 LED 的产品分类 .....          | 14 |
| 一、LED 产品的分类 .....            | 14 |
| 二、LED 照明灯、照明灯具的外形及主要参数 ..... | 16 |
| 第六节 OLED 的原理与应用 .....        | 17 |
| 一、OLED 的工作原理 .....           | 18 |
| 二、OLED 的应用 .....             | 19 |
| 第七节 RGB-LED 的原理与应用 .....     | 20 |
| 一、RGB-LED 的主要特点及应用领域 .....   | 20 |
| 二、RGB-LED 的工作原理 .....        | 21 |
| 第八节 LED 的驱动方式 .....          | 23 |
| 一、按驱动电源分类 .....              | 23 |
| 二、按 LED 负载连接方式分类 .....       | 24 |
| 第九节 LED 驱动电源的发展趋势 .....      | 25 |
| 一、新一代 LED 驱动芯片的推广应用 .....    | 25 |
| 二、智能化 LED 驱动电源的发展 .....      | 26 |
| 三、利用软件实现 LED 驱动电源的优化设计 ..... | 27 |
| 第十节 LED 照明需要解决的关键技术 .....    | 27 |
| 一、LED 的光衰问题 .....            | 27 |
| 二、LED 的寿命问题 .....            | 28 |
| 三、驱动电源对 LED 灯具寿命的影响 .....    | 30 |
| 四、LED 照明有待解决的其他技术问题 .....    | 34 |

|                                       |           |
|---------------------------------------|-----------|
| 第十一节    国内外最新颁布的 LED 照明标准 .....       | 35        |
| <b>第二章    LED 驱动电源芯片的选择 .....</b>     | <b>38</b> |
| 第一节    LED 驱动电源芯片的分类 .....            | 38        |
| 第二节    线性恒流调节器 (CCR) 的选择 .....        | 41        |
| 第三节    可调光式 LED 驱动芯片的选择 .....         | 42        |
| 第四节    智能化 LED 驱动器的主要特点及典型产品 .....    | 44        |
| 第五节    国产 LED 驱动芯片典型产品性能一览表 .....     | 45        |
| <b>第三章    LED 驱动电源的拓扑结构及其应用 .....</b> | <b>48</b> |
| 第一节    DC/DC 变换器的拓扑结构 .....           | 48        |
| 一、DC/DC 变换器的拓扑结构 .....                | 48        |
| 二、LED 驱动电源最常用的 5 种拓扑结构比较 .....        | 55        |
| 第二节    降压式变换器的拓扑结构及典型应用 .....         | 56        |
| 一、降压式变换器的基本原理 .....                   | 56        |
| 二、降压式变换器的简化电路 .....                   | 57        |
| 三、降压式 LED 驱动器的典型应用 .....              | 58        |
| 第三节    升压式变换器的拓扑结构及典型应用 .....         | 59        |
| 一、升压式变换器的基本原理 .....                   | 60        |
| 二、升压式变换器的简化电路 .....                   | 60        |
| 三、升压式 LED 驱动器的典型应用 .....              | 61        |
| 第四节    降压/升压式变换器的拓扑结构及典型应用 .....      | 62        |
| 一、降压/升压式变换器的基本原理 .....                | 62        |
| 二、降压/升压式 LED 驱动器的典型应用 .....           | 63        |
| 第五节    SEPIC 变换器的拓扑结构及典型应用 .....      | 65        |
| 一、SEPIC 变换器的基本原理 .....                | 65        |
| 二、基于 SEPIC 的 LED 驱动器典型应用 .....        | 66        |
| 第六节    电荷泵式变换器的拓扑结构及典型应用 .....        | 69        |
| 一、电荷泵式变换器的基本原理 .....                  | 69        |
| 二、电荷泵式 LED 驱动器的典型应用 .....             | 70        |
| 第七节    多拓扑结构 LED 驱动器及其典型应用 .....      | 71        |
| 一、多拓扑结构 LED 驱动器的工作原理 .....            | 72        |
| 二、多拓扑结构 LED 驱动器的典型应用 .....            | 73        |
| 第八节    反激式变换器的拓扑结构及典型应用 .....         | 75        |
| 一、反激式变换器的基本原理 .....                   | 75        |
| 二、反激式 LED 驱动电源的应用实例 .....             | 78        |
| 第九节    正激式变换器的拓扑结构及典型应用 .....         | 80        |
| 一、正激式变换器的基本原理 .....                   | 80        |
| 二、正激式 LED 驱动电源的应用实例 .....             | 80        |

|                                      |            |
|--------------------------------------|------------|
| 第十节 推挽式、半桥/全桥式变换器的拓扑结构 .....         | 82         |
| 一、推挽式变换器的基本原理 .....                  | 82         |
| 二、半桥式变换器的基本原理 .....                  | 84         |
| 三、全桥式变换器的基本原理 .....                  | 84         |
| 第十一节 半桥 LLC 谐振式变换器的拓扑结构及典型应用 .....   | 85         |
| 一、半桥 LLC 谐振式变换器的基本原理 .....           | 85         |
| 二、半桥 LLC 谐振式变换器的典型应用 .....           | 88         |
| 第十二节 恒压式 LED 驱动电源的基本原理及工作模式 .....    | 91         |
| 一、恒压式 LED 驱动电源的基本原理 .....            | 91         |
| 二、恒压式 LED 驱动电源的工作模式 .....            | 95         |
| 第十三节 恒流式 LED 驱动器的基本原理及典型应用 .....     | 96         |
| 一、可调式精密集成恒流源的基本原理与典型应用 .....         | 97         |
| 二、恒流式 LED 驱动器的基本原理与典型应用 .....        | 99         |
| 第十四节 恒压/恒流式 LED 驱动电源的基本原理及典型应用 ..... | 104        |
| 一、恒压/恒流式 LED 驱动电源的基本原理 .....         | 104        |
| 二、恒压/恒流式 LED 驱动电源的应用实例 .....         | 105        |
| <b>第四章 LED 驱动电源功率因数校正电路的设计 .....</b> | <b>108</b> |
| 第一节 功率因数校正 (PFC) 简介 .....            | 108        |
| 一、功率因数与总谐波失真 .....                   | 108        |
| 二、功率因数校正 (PFC) .....                 | 110        |
| 第二节 无源 PFC 电路的基本原理 .....             | 111        |
| 一、无源 PFC 的基本电路 .....                 | 111        |
| 二、基于无源填谷电路的 PFC 工作原理 .....           | 112        |
| 第三节 无源 PFC 电路的设计实例 .....             | 115        |
| 第四节 有源 PFC 电路的基本原理 .....             | 117        |
| 一、有源 PFC 升压式变换器的基本原理 .....           | 117        |
| 二、有源 PFC 的基本原理 .....                 | 119        |
| 第五节 有源 PFC 电路的设计实例 .....             | 120        |
| 一、60W 带 PFC 的 LED 驱动电源 .....         | 120        |
| 二、17.6W 带 PFC 的 LED 驱动电源 .....       | 121        |
| 三、20W 带 PFC 的 LED 镇流器 .....          | 122        |
| 四、PFC 控制器的典型应用 .....                 | 124        |
| 第六节 大功率 PFC 的原理与应用 .....             | 126        |
| 一、NCP1650 的工作原理 .....                | 126        |
| 二、NCP1650 的典型应用 .....                | 128        |
| 三、NCP1650 的电路设计 .....                | 129        |
| 第七节 抑制 PFC 电磁干扰的措施 .....             | 131        |
| 一、利用 EMI 滤波器抑制 PFC 的电磁干扰 .....       | 131        |

|                                              |            |
|----------------------------------------------|------------|
| 二、降低 PFC 电磁干扰的其他措施 .....                     | 132        |
| 第八节 PFC 的配置方案 .....                          | 134        |
| 一、PFC 类型、级数及工作模式的选择 .....                    | 134        |
| 二、PFC 电源的 4 种配置方案 .....                      | 135        |
| <b>第五章 单片 LED 驱动电源的原理与应用 .....</b>           | <b>137</b> |
| 第一节 单片 LED 驱动电源的选择 .....                     | 137        |
| 一、小功率恒压/恒流式单片 LED 驱动电源 .....                 | 137        |
| 二、中功率恒流式带 PFC 和调光功能的单片 LED 驱动电源 .....        | 139        |
| 三、大功率带 PFC 和 LLC 的单片 LED 驱动电源 .....          | 141        |
| 第二节 隔离式单片 LED 驱动电源的典型应用 .....                | 141        |
| 一、4.2W 恒流式 LED 驱动电源 .....                    | 141        |
| 二、5.3W 恒压/恒流式 LED 驱动电源 .....                 | 144        |
| 第三节 非隔离式单片 LED 驱动电源的典型应用 .....               | 145        |
| 一、0.5W 恒流式 LED 驱动电源 .....                    | 145        |
| 二、1.25W 恒流式 LED 驱动电源 .....                   | 146        |
| 三、3W 恒流式 LED 驱动电源 .....                      | 149        |
| 四、9W 恒流式 LED 高压驱动电源 .....                    | 150        |
| 第四节 由单片开关电源 IC 构成的恒压/恒流 LED 驱动电源 .....       | 152        |
| 一、1.8W 恒压/恒流输出式微型开关电源 .....                  | 152        |
| 二、14W 高效率 LED 驱动电源 .....                     | 153        |
| 三、18W 带 PFC 的 LED 驱动电源 .....                 | 153        |
| 四、75W 带 PFC 的 LED 驱动电源 .....                 | 154        |
| 第五节 交/直流高压输入式 LED 驱动控制器的典型应用 .....           | 157        |
| 一、FT6610 型交/直流高压输入式可编程 LED 驱动控制器的典型应用 .....  | 157        |
| 二、BP2808 型交/直流高压输入式 LED 驱动控制器的典型应用 .....     | 163        |
| 三、MT7910 型交/直流高压输入式 LED 驱动控制器的典型应用 .....     | 165        |
| 第六节 半桥式 PFC 及 LLC 控制器的工作原理 .....             | 166        |
| 一、PLC810PG 的性能特点及引脚功能 .....                  | 166        |
| 二、PLC810PG 的工作原理 .....                       | 167        |
| 第七节 单级 PFC 及 LLC 式 150W 大功率 LED 路灯驱动电源 ..... | 169        |
| 一、输入电路及 PFC 电路 .....                         | 169        |
| 二、LLC 及光耦反馈电路 .....                          | 172        |
| <b>第六章 AC/DC 式 LED 驱动电源外围电路设计 .....</b>      | <b>176</b> |
| 第一节 交流输入保护电路的设计 .....                        | 176        |
| 一、交流输入保护电路的基本构成 .....                        | 176        |
| 二、熔断管 .....                                  | 177        |
| 三、熔断电阻器 .....                                | 179        |

|                                    |            |
|------------------------------------|------------|
| 四、负温度系数功率热敏电阻器 .....               | 180        |
| 五、压敏电阻器 .....                      | 182        |
| 第二节 电磁干扰滤波器设计 .....                | 183        |
| 一、电源噪声及其抑制方法 .....                 | 183        |
| 二、简易电磁干扰滤波器的设计 .....               | 184        |
| 三、复杂电磁干扰滤波器的设计 .....               | 186        |
| 第三节 输入整流滤波电路的设计 .....              | 187        |
| 一、输入整流管的选择 .....                   | 187        |
| 二、输入整流桥的选择 .....                   | 188        |
| 三、输入滤波电容器的选择 .....                 | 191        |
| 四、倍压整流及交流输入电压转换电路的设计 .....         | 192        |
| 第四节 漏极钳位保护电路的基本类型 .....            | 194        |
| 一、MOSFET 漏极上各电压参数的电位分布 .....       | 194        |
| 二、漏极钳位保护电路的基本类型 .....              | 195        |
| 第五节 漏极钳位保护电路的设计方法及设计实例 .....       | 196        |
| 一、漏极钳位保护电路的设计方法 .....              | 196        |
| 二、漏极钳位保护电路设计实例 .....               | 198        |
| 第六节 输出整流管的选择 .....                 | 199        |
| 一、快恢复及超快恢复二极管的选择 .....             | 199        |
| 二、肖特基二极管的选择 .....                  | 202        |
| 三、几种整流管的性能比较 .....                 | 203        |
| 第七节 输出滤波电容器的选择 .....               | 204        |
| 一、输出滤波电容器的容量计算 .....               | 204        |
| 二、选用输出滤波电容器的注意事项 .....             | 207        |
| 三、固态电容器的选择 .....                   | 209        |
| 四、超级电容器的选择 .....                   | 210        |
| 第八节 光耦反馈电路的设计 .....                | 212        |
| 一、光耦合器的工作原理 .....                  | 212        |
| 二、线性光耦合器的选择 .....                  | 213        |
| 三、多路输出反馈电路的设计 .....                | 214        |
| <b>第七章 智能化 LED 驱动器的原理与应用 .....</b> | <b>217</b> |
| 第一节 数字电位器在 LED 照明系统中的应用 .....      | 217        |
| 一、数字电位器的基本原理 .....                 | 217        |
| 二、数字电位器在 LED 照明系统中的应用 .....        | 221        |
| 第二节 由单片机控制的精密数控恒流电源 .....          | 224        |
| 一、系统设计方案 .....                     | 225        |
| 二、单元电路工作原理 .....                   | 226        |
| 三、系统软件的设计 .....                    | 229        |

|                                                 |            |
|-------------------------------------------------|------------|
| 四、系统调试及性能测试 .....                               | 230        |
| 第三节 可编程 HB-LED 驱动器 .....                        | 232        |
| 一、MAX16816 的主要特点 .....                          | 232        |
| 二、MAX16816 的典型应用 .....                          | 233        |
| 第四节 带单线 EZDim 接口的 LED 驱动器 .....                 | 234        |
| 一、带单线 EZDim 接口的 LED 驱动器工作原理 .....               | 234        |
| 二、带单线接口 (EZDim) 的 LED 驱动器典型应用 .....             | 235        |
| 第五节 带 I <sup>2</sup> C 接口的 LED 驱动器 .....        | 236        |
| 一、I <sup>2</sup> C 总线的信号定义及数据传输过程 .....         | 237        |
| 二、带 I <sup>2</sup> C 接口的 LED 驱动器典型应用 .....      | 238        |
| 第六节 带 SMBus 接口的 LED 驱动器 .....                   | 243        |
| 一、SMBus 接口的主要特点 .....                           | 243        |
| 二、带 SMBus 接口的 LED 驱动器典型应用 .....                 | 244        |
| 第七节 带 SPI 接口的 LED 驱动器 .....                     | 247        |
| 一、SPI 接口的主要特点 .....                             | 247        |
| 二、带 SPI 接口的 LED 驱动器典型应用 .....                   | 248        |
| <b>第八章 LED 照明灯调光电路的设计 .....</b>                 | <b>252</b> |
| 第一节 LED 照明灯的几种调光方式 .....                        | 252        |
| 一、模拟调光的主要特点及实现方案 .....                          | 252        |
| 二、PWM 调光的主要特点及实现方案 .....                        | 255        |
| 三、TRIAC 调光的主要特点与基本原理 .....                      | 256        |
| 第二节 可调光式 LED 驱动器的典型应用 .....                     | 257        |
| 一、MT7201 型可调光 LED 驱动器的典型应用 .....                | 257        |
| 二、SD42524 型可调光 LED 驱动器的典型应用 .....               | 259        |
| 第三节 TRIAC 调光器的工作原理及典型应用 .....                   | 261        |
| 一、TRIAC 的结构原理 .....                             | 261        |
| 二、DIAC 的结构原理 .....                              | 262        |
| 三、TRIAC 调光器的电路原理及典型用法 .....                     | 263        |
| 第四节 LM3445 型 TRIAC 调光 LED 驱动控制器的原理与应用 .....     | 264        |
| 一、LM3445 型 TRIAC 调光 LED 驱动控制器的工作原理 .....        | 265        |
| 二、10W 非隔离式 TRIAC 调光 LED 驱动电源 .....              | 266        |
| 三、7W 隔离式 TRIAC 调光 LED 驱动电源 .....                | 269        |
| 四、TRIAC 调光 LED 驱动电源的设计 .....                    | 270        |
| 第五节 BP3108 型 TRIAC 调光 LED 驱动控制器的原理与应用 .....     | 272        |
| 一、BP3108 型 TRIAC 调光 LED 驱动控制器的工作原理 .....        | 273        |
| 二、5W 隔离式 TRIAC 调光 LED 驱动电源 .....                | 274        |
| 三、隔离式 TRIAC 调光 LED 驱动电源的设计要点 .....              | 277        |
| 第六节 隔离式带单级 PFC 及 TRIAC 调光 LED 恒流驱动电源的工作原理 ..... | 279        |

|                                                  |            |
|--------------------------------------------------|------------|
| 一、LinkSwitch-PH 的主要特点 .....                      | 279        |
| 二、LinkSwitch-PH 的工作原理 .....                      | 280        |
| 第七节 隔离式带单级 PFC 及 TRIAC 调光 LED 恒流驱动电源的典型应用 .....  | 282        |
| 一、14W 隔离式单级 PFC 及 TRIAC 调光 LED 驱动电源 .....        | 282        |
| 二、隔离式单级 PFC 及 TRIAC 调光 LED 驱动电源的设计要点 .....       | 286        |
| 三、7W 隔离式单级 PFC 非调光 LED 驱动电源 .....                | 289        |
| 第八节 非隔离式带单级 PFC 及 TRIAC 调光 LED 恒流驱动电源的工作原理 ..... | 291        |
| 一、LinkSwitch-PL 的主要特点 .....                      | 291        |
| 二、LinkSwitch-PL 的工作原理 .....                      | 291        |
| 第九节 非隔离式带单级 PFC 及 TRIAC 调光 LED 恒流驱动电源的典型应用 ..... | 294        |
| 一、5.25W 非隔离式单级 PFC 及 TRIAC 调光 LED 驱动电源 .....     | 294        |
| 二、非隔离式单级 PFC 及 TRIAC 调光 LED 驱动电源的设计要点 .....      | 297        |
| <b>第九章 大功率 LED 驱动电源的设计要点 .....</b>               | <b>299</b> |
| 第一节 设计隔离式大功率 LED 驱动电源应重点考虑的问题 .....              | 299        |
| 第二节 恒压/恒流式 (CV/CC) LED 驱动电源的电路设计 .....           | 303        |
| 一、恒压/恒流式 LED 驱动电源的工作原理 .....                     | 304        |
| 二、恒压/恒流式 LED 驱动电源的电路设计 .....                     | 305        |
| 三、精密恒压/恒流式 LED 驱动电源的工作原理 .....                   | 307        |
| 四、精密恒压/恒流式 LED 驱动电源的电路设计 .....                   | 309        |
| 第三节 恒压/截流式 LED 驱动电源的电路设计 .....                   | 310        |
| 一、恒压/截流式 LED 驱动电源的工作原理与电路设计 .....                | 311        |
| 二、恒压/恒流/截流式 LED 驱动电源的工作原理与电路设计 .....             | 312        |
| 第四节 高频变压器的设计 .....                               | 313        |
| 一、高频变压器磁心的选择 .....                               | 313        |
| 二、反激式开关电源的高频变压器设计 .....                          | 321        |
| 三、PWM 控制器的高频变压器设计实例 .....                        | 324        |
| 四、单片开关电源的高频变压器设计实例 .....                         | 328        |
| 第五节 LED 驱动器的保护电路 .....                           | 331        |
| 一、LED 驱动器的过电压保护 (OVP) 电路 .....                   | 331        |
| 二、LED 驱动器的过电流保护 (OCP) 电路 .....                   | 333        |
| 三、LED 驱动器的过热保护 (OTP) 电路 .....                    | 334        |
| 第六节 LED 照明灯的保护电路 .....                           | 335        |
| 一、LED 照明灯的开路保护电路 .....                           | 335        |
| 二、LED 照明灯的静电放电 (ESD) 保护电路 .....                  | 337        |
| <b>第十章 大功率 LED 驱动电源的应用技巧 .....</b>               | <b>341</b> |
| 第一节 提高 LED 驱动电源效率的方法 .....                       | 341        |
| 一、设计高效率 LED 驱动电源的原则 .....                        | 341        |

|                                          |            |
|------------------------------------------|------------|
| 二、提高 LED 驱动电源效率的方法·····                  | 342        |
| 第二节 降低 LED 驱动电源空载及待机功耗的方法·····           | 345        |
| 一、开机后消除泄放电阻功率损耗的方法·····                  | 345        |
| 二、开机后消除热敏电阻功率损耗的方法·····                  | 348        |
| 三、消除待机模式下检测电阻功率损耗的方法·····                | 349        |
| 第三节 大功率 LED 的温度补偿技术·····                 | 353        |
| 一、大功率 LED 温度补偿的基本原理·····                 | 353        |
| 二、带温度补偿可调光式大功率 LED 驱动器的原理与应用·····        | 355        |
| 三、NTC 热敏电阻器的特性及改善非线性方法·····              | 358        |
| 四、SN3352 的温度补偿电路设计实例·····                | 362        |
| 五、交/直流两用带温度补偿可调光式 HB-LED 驱动控制器原理与应用····· | 363        |
| 第四节 LED 驱动电源的布局与布线·····                  | 367        |
| 一、LED 驱动电源布局与布线的一般原则·····                | 367        |
| 二、LED 驱动电源的布局与布线注意事项·····                | 368        |
| 第五节 LED 驱动电源印制板设计实例·····                 | 371        |
| 一、LED 驱动电源印制板设计实例·····                   | 371        |
| 二、印制板设计注意事项·····                         | 375        |
| 第六节 LED 驱动电源的测试技术·····                   | 376        |
| 一、LED 驱动电源主要参数的测试方法·····                 | 376        |
| 二、高频变压器的电气性能测试方法·····                    | 378        |
| 三、LED 驱动电源测量技巧·····                      | 379        |
| 四、功率因数和总谐波失真的测量方法·····                   | 383        |
| 五、利用示波器检测高频变压器磁饱和的方法·····                | 383        |
| 六、PWM 控制器关键波形的测试方法·····                  | 386        |
| 第七节 环境亮度计的设计·····                        | 387        |
| 一、由 LX1970 构成的环境亮度计·····                 | 388        |
| 二、由 HSDL-9000 构成的环境亮度计·····              | 393        |
| 三、由 NOA1302 构成的智能环境亮度计·····              | 394        |
| 第八节 数字照度计的设计·····                        | 396        |
| 一、3½ 位数字照度计的性能特点及环境照度标准·····             | 396        |
| 二、3½ 位数字照度计的整机电路原理与应用·····               | 398        |
| 第九节 外部电流检测电阻的设计与制作方法·····                | 399        |
| 一、利用漆包线制作电流检测电阻·····                     | 399        |
| 二、利用 PCB 上的铜导线制作电流检测电阻·····              | 400        |
| 三、电流检测电阻的设计与制作方法·····                    | 401        |
| <b>第十一章 LED 驱动电源及大功率 LED 的散热器设计·····</b> | <b>403</b> |
| 第一节 散热器的基本原理·····                        | 403        |
| 一、散热器的基本知识·····                          | 403        |

|                                           |            |
|-------------------------------------------|------------|
| 二、散热器的工作原理 .....                          | 405        |
| 第二节 单片 LED 驱动电源的散热器设计方法 .....             | 406        |
| 第三节 单片 LED 驱动电源散热器设计实例 .....              | 408        |
| 一、单片 LED 驱动电源 PCB 散热器设计实例 .....           | 408        |
| 二、单片 LED 驱动电源平板散热器设计实例 .....              | 410        |
| 第四节 功率开关管（MOSFET）散热器的设计方法 .....           | 411        |
| 第五节 大功率 LED 散热器设计方法 .....                 | 413        |
| 一、大功率 LED 的安全工作区与降额曲线 .....               | 413        |
| 二、大功率 LED 照明灯散热器设计方法及实例 .....             | 414        |
| 三、测量 LED 结温的方法 .....                      | 416        |
| 第六节 单片 LED 驱动电源主要发热元器件常见故障分析 .....        | 417        |
| <b>第十二章 利用在线工具软件实现 LED 驱动电源优化设计 .....</b> | <b>420</b> |
| 第一节 WEBENCH LED 在线工具软件的主要特点 .....         | 420        |
| 第二节 WEBENCH LED 工具软件使用方法及设计实例 .....       | 422        |
| 第三节 LED 驱动电源的电路仿真及热仿真应用实例 .....           | 429        |
| 一、电路仿真应用实例 .....                          | 429        |
| 二、热仿真应用实例 .....                           | 435        |
| <b>参考文献 .....</b>                         | <b>437</b> |

## 第一章

# LED 照明及驱动电源概述

LED 照明是发展低碳经济而使用的节能环保型绿色光源,也是取代传统白炽灯和荧光灯的最佳选择。本章对 LED 照明和驱动电源分别做了简介,详细介绍了 LED 照明器件、LED 照明驱动电源(简称 LED 驱动电源)的发展概况及趋势,各种类型大功率 LED 灯的基本原理与应用领域,重点阐述 LED 照明需要解决的关键技术及国内外最新颁布的 LED 照明标准。

### 第一节 LED 照明的名词术语

#### 1. 发光二极管 (Light Emitting Diode, 简称 LED)

当被电流激发时,通过传导电子和空穴的再复合产生自发辐射而发出非相干光的一种半导体二极管。LED 亦称半导体发光二极管。

#### 2. 高亮度发光二极管 (High Brightness LED, 简称 HB-LED)

它选择高效半导体发光材料制成芯片(即管芯,下同),同时又采用特殊的反射腔以减少光线的吸收损失,因此其亮度为普通 LED 的几十倍。小功率普通亮度的 LED 发光强度  $I_V < 10\text{mcd}$ ;小功率高亮度 LED 的  $I_V > 200\text{mcd}$ ,甚至可达  $3200\text{mcd}$ 。对照明用大功率高亮度 LED 而言,其发光效率应大于  $8\text{lm/W}$ 。

#### 3. 超高亮度发光二极管 (Ultra High Brightness LED, 简称 UHB-LED)

比 HB-LED 亮度更高的发光二极管,一般应高出一个数量级。例如,国外最新研制的大功率高亮度 LED,发光效率最高可达  $300\text{lm/W}$ 。

#### 4. 有机发光二极管 (Organic LED, 简称 OLED)

是指有机半导体材料和发光材料在电流驱动下而发光或实现显示的一种半导体二极管。OLED 具有超轻、超薄(厚度可小于  $1\text{mm}$ )、高清晰度、高亮度、大视角(可达  $170^\circ$ )、低功耗、响应速度快(约为液晶显示器 LCD 的 1000 倍)、抗震性能强、制造成本低、可以任意弯曲等显著优点。OLED 可用作手机和数字电视显示屏的背光源,被公认为最具发展前景的下一代显示器件。

#### 5. 全彩色发光二极管 (Red Green Blue LED, 简称 RGB-LED)



红、绿、蓝 LED 的输出加以组合,能获得逼真彩色效果的一种发光二极管。

#### 6. 半导体照明 (Semiconductor Lighting)

采用 LED 作为光源的照明方式。

#### 7. 绿色照明 (Green Lighting)

通过科学的设计,采用效率高、寿命长、安全稳定的照明灯具,达到高效、舒适、经济,有益于环境保护和改善人们身心健康并体现现代文明的照明系统。

#### 8. 固态照明 (Solid State Lighting, 简称 SSL)

是一种全新的照明技术,它采用固体发光材料(如 LED、OLED、场致发光器件 EL 等)为光源的照明方式,具有发光效率高、节能环保、寿命长、免维护、易控制等特点。

#### 9. 节能灯 (Energy Saving Lamp)

指消耗较少的电能而达到较高光照效果的照明灯具。

#### 10. 单色光 LED (Monochromatic Light LED)

只能发出单一颜色光的 LED,例如红色、橙色、绿色、黄色、蓝色等。

#### 11. 白光 LED (White LED, 简称 WLED)

用单色芯片加荧光粉(或由多色芯片组合而成)的白色光 LED。

#### 12. 小功率 LED (Low Power LED)

单只管子工作电流小于 100mA 的 LED。普通指示灯用的 LED,工作电流仅为 5~30mA,典型值为 10mA。

#### 13. 大功率 LED (Big Power LED)

单只管子工作电流大于 100mA 的 LED,此类管子适用于照明。目前生产的大功率 LED 的工作电流有 350mA、700mA、1A 等规格。

#### 14. LED 数码管 (LED Nixietube)

采用 LED 来显示数字或字符的器件,亦称半导体数码管。

#### 15. LED 组件 (LED Discreteness)

由 LED(或 LED 模块)与电子元器件组合在一起,具有特定功能并可维修、拆卸的组合单元。

#### 16. LED 显示器 (LED Display)

利用 LED 显示数字、符号或图形的器件或模块。

#### 17. LED 背光源 (LED Backlight)

采用 LED 作光源,为被动式显示器提供光源的 LED 器件或模块。

#### 18. 可见光 (Visible Light)

能直接引起视觉的光学辐射。其波长范围是 380~780nm。

#### 19. 眩光 (glare)

是指在视野某一区域出现亮度过高或亮度变化过大而引起视觉不舒适感,或使分辨力降低的现象。

20. 光通量 (Luminous Flux, 用  $\Phi$  表示)

人眼所能感觉到的辐射功率, 它等于单位时间内某一波段的辐射能量与该波段的相对视见率的乘积, 单位是 lm。其中, 视见率表示不同波长的光对人眼的视觉灵敏度; 相对视见率则表示某波长光的视见率与波长为 555nm 的绿光视见率的比值。

21. 发光效率 (Luminous Efficacy, 用  $\eta_v$  表示)

光源发射的光通量  $\Phi$  与其消耗的电功率  $P_D$  之比, 单位是 lm/W。

22. 发光强度 (Luminous Intensity, 用  $I$  表示)

光源在一定的立体角内发射的光通量与该立体角的比值, 单位是 cd。

23. 照度 (illuminance, 用  $E_v$  表示)

在包含该点的面积上所接收的光通量与该面积之比, 单位是 lx。

24. 亮度 (luminance, 用  $L_v$  表示)

给定点的光束元沿给定方向的发光强度与光束元垂直于指定方向上的面积之比, 单位是  $\text{cd}/\text{m}^2$ 。

## 25. 光谱 (spectrum)

光线按照波长大小的顺序来分布, 称为光谱。每种光源均可按其波长的组成, 在光谱图上显示出其光谱能量分布图。太阳光和白炽灯的光谱能量分布为连续曲线, 一般放电灯为非连续曲线。

## 26. 色谱 (chromatogram)

人眼可见的所有波长, 单位是 nm。

27. 峰值发射波长 (Peak Emission Wavelength, 用  $\lambda_p$  表示)

当辐射功率为最大值时所对应的波长, 单位是 nm。

## 28. 显色性 (Color Rendering Properties)

光源显现被照物体真实颜色的能力。物体的真实颜色是指在参照照明体 (通常为完全辐射体) 下所呈现的颜色。

29. 色温 (Color Temperature, 用  $T_C$  表示)

当光源所发出的颜色与“黑体”在某一温度下辐射的颜色相同时, “黑体”的温度就称为该光源的色温, 单位是 K (开尔文)。“黑体”的温度越高, 光谱中蓝色成分越多, 而红色成分越少。白炽灯的光色为暖色, 其色温表示为 2700K; 荧光灯的光色偏蓝, 色温为 6000K。常见色温值速查表见表 1-1-1。

表 1-1-1 常见色温值速查表

| 环境条件    | 色温值 (K)   | 环境条件   | 色温值 (K)   |
|---------|-----------|--------|-----------|
| 北方蔚蓝的天空 | 8000~8500 | 冷色荧光灯光 | 4000~5000 |
| 阴天      | 6500~7500 | 暖色荧光灯光 | 2500~3000 |
| 夏日正午阳光  | 5500      | 白炽灯光   | 2700      |
| 下午日光    | 4000      | 蜡烛光    | 2000      |