

电能变换与应用丛书

DIANNENG BIANHUAN YU YINGYONG CONGSHU

LED驱动电路 设计与应用

周志敏 周纪海 纪爱华 编著

- 第1章 概述
- 第2章 LED基础知识
- 第3章 LED驱动电路
- 第4章 白光LED
- 第5章 白光LED驱动电路
- 第6章 LED集成驱动电路
- 第7章 LED的应用技术
- 附录1 LTC系列变换器驱动LED电路图
- 附录2 LT系列变换器驱动LED电路图



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

电能变换与应用丛书

LED 驱动电路设计与应用

周志敏 周纪海 纪爱华 编著

人民邮电出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

LED 驱动电路设计与应用 / 周志敏, 周纪海, 纪爱华编著. —北京: 人民邮电出版社, 2006.12
(电能变换与应用丛书)

ISBN 7-115-15277-2

I. L... II. ①周...②周...③纪... III. 发光二极管—电路设计 IV. TN383.02

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 109344 号

内 容 提 要

本书结合国内外 LED 技术的发展和应用情况, 以 LED 驱动电路的设计和应用为核心内容, 全面系统地阐述了 LED 的最新应用技术。全书共 7 章, 分别介绍 LED 的发展情况、LED 基本理论知识、LED 驱动技术、白光 LED 及其驱动电路、LED 集成驱动电路、LED 的典型应用等。书后附录中收集了 100 多幅 LED 典型应用电路图, 读者可直接采用或结合实际情况特点在此基础上进行改进, 设计出自己所需的电路。

本书题材新颖、内容丰富、通俗易懂、深入浅出, 具有较高的参考价值, 可供电信、信息、航天、汽车及家电等领域从事 LED 开发、设计和应用的工程技术人员和高等学院有关专业师生阅读。

电能变换与应用丛书

LED 驱动电路设计与应用

-
- ◆ 编 著 周志敏 周纪海 纪爱华
责任编辑 刘 朋
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京鸿佳印刷厂印刷
新华书店总店北京发行所经销
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 21.75
字数: 530 千字
印数: 1—5 000 册
 - 2006 年 12 月第 1 版
2006 年 12 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-115-15277-2/TN · 2856

定价: 35.00 元

读者服务热线: (010) 67129264 印装质量热线: (010) 67129223

丛 书 前 言

电能变换技术是一种应用功率半导体器件,综合电力变换技术、现代电子技术、自动控制技术的多学科的边缘交叉技术。随着科学技术的发展,电能变换技术又与现代控制理论、材料科学、电机工程、微电子技术等许多领域密切相关,目前已逐步发展成为一门多学科互相渗透的综合性技术学科。

电能变换技术是实现电能变换和功率传递的关键技术,能够对电能变换过程的参数实现精确的控制和高效率的处理,特别是能够实现大功率电能的频率变换,从而为现代通信、电子仪器、计算机、工业自动化、电力工程及某些高新技术提供高质量、高效率、高可靠性的电源支持。因此,电能变换技术不但本身是一项高新技术,而且还是其他许多高新技术发展的基础。电能变换技术及其产业的进一步发展必将为大幅度节约电能、降低材料消耗以及提高生产效率提供重要的技术手段,并对现代生产和生活产生深远的影响。

当前,电能变换技术作为节能降耗、自动化、智能化、机电一体化的基础,正朝着应用技术高频化、硬件结构模块化、产品性能绿色化的方向发展。同时,各行各业的迅猛发展对电能变换产业提出了更多更高的要求,如节能节电、防止污染、改善环境、安全可靠等。这又无形地带动了相关技术的高速发展,也对电能变换技术提出了新的挑战。相信在不久的将来,电能变换技术将更加成熟、经济、实用,实现高效率和高品质用电相结合。

进入 21 世纪以后,电能变换技术已经成为应用最广泛和最受关注的技术之一。发达国家对电能变换技术的创新十分重视,并且投入了大量的人力、物力和财力,形成了具有一定规模的产业,而我国与发达国家相比尚有较大差距。我国政府和社会各界对此十分重视,并把解决能源约束和提高能源利用效率问题提升到了战略的高度。为此,我们结合目前产业发展状况,特组织有关专家、学者和技术人员编写了这套“电能变换与应用丛书”,目的在于介绍目前国内外电能变换技术领域的新器件、新产品、新工艺、新技术和新方法,推广和普及电能变换技术的应用。本丛书在编写时力求突出实用性和先进性,希望本套丛书的出版能够解决电能变换技术应用中的一些实际问题,促进电力电子技术的广泛应用。

本套“电能变换与应用丛书”主要包括《LED 驱动电路设计与应用》、《太阳能发电原理与应用》、《高频交流电子镇流技术与典型应用电路》、《便携式电子设备电源设计与应用》、《单片开关电源集成电路应用设计实例》等,将陆续出版,恳请广大读者批评指正。

本套丛书题材新颖,内容丰富,文字通俗,深入浅出,具有很高的实用价值,可供电力、工控、电信、信息、航天、军事及家电等领域从事电源开发、设计和应用的工程技术人员阅读,也可供高等院校相关专业的师生参考。

前 言

近年来随着城市建设和电子信息产业的高速发展，人们对光源的需求与日俱增，LED 产品的开发、研制和生产已成为发展前景十分诱人的朝阳产业，显示出了巨大的发展潜力。LED 不仅可用于大型广告显示屏、交通信号指示灯、城市重点建筑夜景照明等领域，而且正在迅速成为汽车的标准配置，尤其是白光 LED 已经成为便携式电子产品显示屏的主要光源。LED 技术的发展引起了国内外光源界的普遍关注，现已成为极具有发展前景和影响力的一项高新技术产品。

LED 魅力四射，优点众多，除了寿命长、耗能低之外，还具有以下显著特点：一是应用非常灵活，可以做成点、线、面各种形状的轻、薄、短、小产品；二是环保效益突出，由于其光谱中没有紫外线和红外线，既没有热量也没有辐射，属于典型的绿色照明光源，而且废弃物可回收，没有污染；三是控制极为方便，只需通过调整电流就可以随意调光，不同光色的组合变化多端，利用时序控制电路更能达到丰富多彩的动态变化效果。

本书结合国内外 LED 技术的发展方向，系统地介绍了 LED 的发展情况、基本理论知识及其典型应用技术特性，重点介绍了 LED 驱动电路的设计与应用方法。本书突出针对性和实用性，力求做到通俗易懂和结合实际，使得从事 LED 驱动电路开发、设计和应用的技术人员从中获益。读者可以借助本书系统全面地了解和掌握 LED 的设计和应用技术。

本书在写作过程中得到了国内专业学者和同行的大力支持，在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中难免有疏漏和不当之处，敬请广大读者批评指正。

编 者

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 LED 的发展历程及应用领域	1
1.1.1 LED 的发展历程	1
1.1.2 单色光 LED	3
1.1.3 LED 的应用领域	5
1.2 LED 技术的进展及应用前景	11
第 2 章 LED 基础知识	15
2.1 LED 的结构及特性	15
2.1.1 LED 的结构、发光原理及发光效率	15
2.1.2 LED 的主要参数与特性	19
2.1.3 LED 的分类和电源性能	30
2.2 LED 的封装结构	32
2.2.1 LED 封装结构的特殊性	32
2.2.2 大功率照明级 LED 的封装技术	36
2.3 高亮度 LED 的结构与特性	41
2.3.1 高亮度 LED 的结构特点和应用	41
2.3.2 高亮度 LED 技术的发展	53
2.3.3 高亮度 LED 的散热设计	60
2.4 LED 可靠性技术	64
2.4.1 静电释放	64
2.4.2 LED 产品的技术参数及其测试	66
第 3 章 LED 驱动电路	73
3.1 LED 驱动技术	73
3.1.1 LED 驱动的技术方案	73
3.1.2 LED 驱动器的特性	74
3.1.3 LED 与驱动器的匹配	77
3.2 LED 驱动器	82
3.2.1 电容降压式 LED 驱动器	82
3.2.2 DC/DC 变换器	85
3.2.3 三种 DC/DC 变换器性能比较	105
3.3 LED 典型驱动电路	109
3.3.1 驱动 LED 的降压开关电源	109

3.3.2	驱动 LED 的双门反向振荡器电路	112
3.3.3	单端口管脚驱动双 LED	114
3.3.4	基于升降压转换器的 LED 驱动电路	115
第 4 章	白光 LED	120
4.1	白光 LED 的技术概况	120
4.1.1	白光 LED 的发展	120
4.1.2	可见光光谱和白光 LED 的关系	120
4.1.3	白光 LED 的特色	123
4.2	白光 LED 的实现方法	124
4.3	白光 LED 的结构	125
4.3.1	利用蓝光 LED 激发 YAG 荧光体的白光 LED	125
4.3.2	利用 UV-LED 激发 RGB 荧光体的白光 LED	126
4.4	白光 LED 的特性和工艺技术	130
4.4.1	白光 LED 的特性	130
4.4.2	白光 LED 的发光效率和演色评鉴指数	131
4.4.3	白光 LED 的工艺技术	132
4.5	高效率白光 LED 的技术动向	133
4.5.1	白光 LED 的开发动向	134
4.5.2	照明用白光 LED	136
4.6	白光 LED 封装技术	139
4.7	白光 LED 的寿命	141
第 5 章	白光 LED 驱动电路	148
5.1	白光 LED 驱动技术	148
5.1.1	白光 LED 驱动器	148
5.1.2	白光 LED 驱动电路的设计	154
5.1.3	白光 LED 的并联和串联驱动	163
5.1.4	白光 LED 的驱动电路	171
5.1.5	各种白光 LED 驱动电路特性比较	181
5.2	白光 LED 的典型驱动电路	184
5.2.1	基于 MAX16802 的白光 LED 驱动电路	184
5.2.2	基于 LTC3490 的白光 LED 驱动电路	187
5.2.3	基于 LC41059 的白光 LED 驱动电路	188
5.3	高亮度高效白光 LED 驱动电路	193
5.3.1	白光 HI-LED 驱动电路	193
5.3.2	高效白光 LED 驱动电路	201
第 6 章	LED 集成驱动电路	208

6.1	电荷泵驱动 LED 的典型电路	208
6.1.1	LTC3202 电荷泵驱动白光 LED 的电路	208
6.1.2	MAX1910/MAX1912 电荷泵驱动白光 LED 的电路	208
6.1.3	LM3354/LM2792 电荷泵驱动白光 LED 的电路	209
6.1.4	CAT3200/CAT3200-5 电荷泵驱动白光 LED 的电路	211
6.1.5	CAT3604 电荷泵驱动白光 LED 的电路	212
6.1.6	MAX1573 电荷泵驱动白光 LED 的电路	213
6.1.7	MAX1570 电荷泵驱动白光 LED 的电路	214
6.1.8	MAX1576 电荷泵驱动白光 LED 的电路	215
6.1.9	MAX1577Y/MAX1577Z 电荷泵驱动白光 LED 的电路	217
6.1.10	MAX1595 电荷泵驱动白光 LED 的电路	218
6.1.11	MAX8630Y/MAX8630Z 电荷泵驱动白光 LED 的电路	219
6.1.12	MAX8631X 电荷泵驱动白光 LED 的电路	220
6.1.13	MAX684 电荷泵驱动白光 LED 的电路	221
6.1.14	AAT3110 电荷泵驱动白光 LED 的电路	222
6.2	开关式 DC/DC 变换器驱动 LED 的典型电路	224
6.2.1	LT1932 驱动白光 LED 的电路	224
6.2.2	NCP5009 驱动白光 LED 的电路	225
6.2.3	SR03 $\times$ 驱动白光 LED 的电路	227
6.2.4	LT3474 驱动白光 LED 的电路	228
6.2.5	LT3466 驱动白光 LED 的电路	228
6.2.6	R1211 驱动白光 LED 的电路	231
6.2.7	CAT37 驱动白光 LED 的电路	232
6.2.8	CAT32 驱动白光 LED 的电路	233
6.2.9	MAX1578/MAX1579 驱动白光 LED 的电路	234
6.2.10	MAX1916 驱动白光 LED 的电路	235
6.2.11	MAX6964 驱动白光 LED 的电路	236
6.2.12	CP2126 驱动白光 LED 的电路	237
6.2.13	CP2128 驱动白光 LED 的电路	238
6.3	TPS6106 $\times$ 驱动白光 LED 的电路	239
6.3.1	TPS6106 $\times$ 的技术特性	239
6.3.2	TPS61042 的技术特性及管脚功能	241
6.3.3	TPS61042 的工作原理	242
6.3.4	TPS61042 的应用电路	243
6.4	MAX6958/MAX6959 LED 驱动器的亮度控制电路	244
6.5	新型限流开关 TPS2014/TPS2015	247
第 7 章	LED 的应用技术	250
7.1	LCD 背光照明技术	250

7.1.1	背光光源技术	250
7.1.2	LED 背光光源技术	254
7.1.3	移动电话相机低压闪光灯驱动电路	261
7.1.4	电荷泵驱动 Flash-LED 的典型电路	266
7.1.5	多显示屏白光 LED 背光光源驱动器	269
7.1.6	电荷泵实现低功耗移动电话 LCD 背光驱动	273
7.2	OLED 显示技术	279
7.2.1	高光束 RGB LED 背光模块及 OLED 显示器	279
7.2.2	OLED 的电源解决方案	284
7.3	LED 在照明领域的应用	288
7.3.1	半导体照明技术	288
7.3.2	LED 光源照明技术及其在灯光环境中的应用	291
7.3.3	LED 照明的电源解决方案	300
7.3.4	超高亮度 LED 在照明应用中的控制技术	301
7.4	LED 信号指示器	302
附录 1	LTC 系列变换器驱动 LED 电路图	308
附录 2	LT 系列变换器驱动 LED 电路图	322
参考文献		337

第1章 概述

1.1 LED 的发展历程及应用领域

1.1.1 LED 的发展历程

LED 是 Light Emitting Diode 的缩写, 中文译为发光二极管。顾名思义, 这是一种会发光的半导体组件, 且具有二极管的电子特性。LED 属于半导体光电组件, 除了具有发光的特性之外, 它完全具备半导体整流二极管的特性, 如果取它的整流特性, 则它不但可以完全符合整流需求, 而且在外加正偏压的情况下会发出某种波长的光。LED 虽然具有整流二极管的功能, 但通常利用的是 LED 的发光特性而非整流特性。这种发光特性发生在二极管电子曲线的正偏压部分。

1907 年, Henry Joseph Round 第一次在一块碳化硅里观察到电致发光现象。由于碳化硅发出的黄光太暗, 不适合实际应用, 而且碳化硅与电致发光不能很好地适应, 因此该研究被摒弃了。20 世纪 20 年代晚期, Bernhard Gudden 和 Robert Wichard 在德国使用从锌硫化物与铜中提炼的黄磷发光, 但再一次因发光暗淡而停止研究。

1936 年, George Destiau 出版了一份关于硫化锌粉末发射光的报告。随着电子器件的研发和业界认识的逐步深入, 最终出现了“电致发光”这个术语。20 世纪 50 年代, 英国科学家在电致发光的实验中使用半导体砷化镓发明了第一个具有现代意义的 LED。在早期的试验中, LED 需要放置在液化氦里, 因此, 需要进一步研究以使其能在室温下高效工作。第一个商用 LED 虽然仅能发出不可见的红外光, 但它被迅速地应用于感应与光电领域。

20 世纪 60 年代末, 人们在砷化镓基体上使用磷化物发明了第一个可见红光的 LED。磷化镓的改变使得 LED 更高效, 发出的红光更亮, 甚至能产生橙色光。全球第一款商用 LED 是在 1965 年用锗材料做成的, 随后不久 Monsanto 公司和 HP 公司也推出了用 GaAsP 材料制作的商用 LED。Monsanto 公司将其作为指示灯, Hewlett-Packard 公司则首次将其用于电子显示设备。早期产品为 GaAsP LED, 其性能相当差, 工作电流为 20mA, 光能量只有千分之几流明, 相应的发光效率仅为 0.1lm/W, 而且只能发出 650nm 的红色光。这些早期的红光 LED 每瓦大约能提供 0.1lm 的光通量, 仅是一般 60~100W 白炽灯 (15lm/W) 的 1/150。1968 年, LED 的研发取得了突破性进展, 利用氮掺杂工艺使 GaAsP 器件的效率达到了 1lm/W, 并且能够发出红色光、橙色光和黄色光。

20 世纪 70 年代, 由于 LED 器件在家庭与办公设备中的大量应用, LED 产品的类型得到了拓展, 此后 LED 开始应用于文字点阵显示器、背景图案用的灯栅和条线图阵列。数字显示屏的尺寸和复杂度在不断增长, 从 2 位数字发展到 3 位甚至 4 位, 从 7 段数字显示发展到能

够显示复杂的文字与图案组合的 14 或 16 段阵列。20 世纪 70 年代上半期 LED 技术进步很快, LED 的发光效率达到 1lm/W, 发光颜色也扩展到红色、绿色和黄色。20 世纪 80 年代, GaAlAs LED 的红光效率提高到 10lm/W。

20 世纪 70 年代中期, 磷化镓开始被用作发光光源, 随后可发出灰白绿光 (LED 采用双层磷化镓芯片, 其中一个为红色, 另一个为绿色, 所以能够发出黄色光)。就在此时, 前苏联科学家利用金刚砂制造出了可发出黄色光的 LED。几乎与此同时, HP 公司与 TI 公司也推出了带 7 段红光 LED 显示屏的计算器。

20 世纪 80 年代早期的重大技术突破是开发出了 AlGaAs LED, 它能以每瓦 10lm 的发光效率发出红光。这一技术进步使 LED 能够应用于室外各种信息发布以及汽车信号灯。砷化镓、磷化铝的使用促使了第一代高亮度 LED 的诞生, 首先出现的是红光高亮度 LED, 接着就是黄光高亮度 LED, 最后为绿光高亮度 LED。

20 世纪 90 年代早期, 采用铟铝磷化镓 (AlInGaP) 生产出了橘红、橙光、黄光和绿光 LED。第一只具有历史意义的蓝光 LED 也出现在 20 世纪 90 年代早期, 依当今的技术标准去衡量, 它与前苏联以前开发的黄光 LED 一样光线暗淡。20 世纪 90 年代中期出现了超亮度的氮化镓 LED, 随即又出现了能产生高强度绿光和蓝光的铟氮镓 LED。超亮度蓝光芯片是白光 LED 的核心, 在这个发光芯片上抹上荧光磷, 然后荧光磷吸收来自芯片的蓝色光并将其转化为白光。利用这种技术可制造出能发出任何颜色可见光的 LED。在 1991 年至 2001 年期间, 材料技术、裸片尺寸和外形方面的进一步发展使商用 LED 的光通量提高了将近 20 倍。

20 世纪 90 年代初期, HP 公司光电部、Lumileds 公司和松下公司就已经掌握了如何用金属有机化学气相沉积法在 GaAs 衬底上外延生长 AlInGaP 的工艺, AlInGaP 材料在可见光谱区产生红色光和橙色光。而合金有序化、受主原子的氢钝化、PN 结排列, 以及把氧掺入含铝器件层都是相当复杂的, 这些问题历经近 10 年时间才得以解决, 最终实现了内量子效率接近 100% 的 AlInGaP LED。几乎每个注入到器件中的电子一空穴对都产生一个光子, 因此如何在 PN 结内形成的光子到达 LED 外就成了一种挑战, 首先是如何防止光被窄带隙 (0.87nm) GaAs 衬底吸收。人们在研究中曾经尝试过采用在布喇格反射镜的外延结构中掺杂并在 GaP 衬底上直接生长的技术, 但是最成功的还是通过蚀刻法强力除去 GaAs 衬底, 采用芯片接合法取代 GaP 技术。采用该技术研制的发光器件的发光效率为 25lm/W, 几乎是带红色滤光灯泡发光效率的 10 倍。每只 LED 的光通量为几流明, 由它们组成的 LED 阵列首先被制成了汽车上的停车灯、红色交通信号灯以及单色室外信号标志灯。

继 AlInGaP 技术之后, 日本的 Nichia 化学公司 (日本德岛) 和名古屋大学 (日本名古屋市) 的研究人员掌握了使用金属有机化学气相沉积技术在蓝宝石衬底上外延生长 AlInGaP 的复杂工艺。AlInGaP 材料的带隙比 AlInGaP 的宽, 可以覆盖高能量的蓝光和绿光波段。AlInGaP 材料系并不像 AlInGaP 材料系那样为人们所熟悉。AlInGaP 绿光组件在标准的工作电流下内量子效率停留在 40%~50%, 而蓝光器件的内量子效率为 60%~80%。通过利用透明的蓝宝石衬底以及人眼对绿光比对蓝光或红光更敏感的特点, 人们已经制造出光通量为几流明的绿光 LED。这种 LED 和红光 AlInGaP LED、近流明级的蓝光 LED 组合起来, 就可完全用固体光源制作大型全色信号标志。蓝光 AlInGaP LED 产生的光子和荧光粉的发光将一部分蓝光转变为其互补色 (黄色)。人眼看到这种蓝光和黄光的混合是一种不鲜明的白色。

Lumileds 公司在 Philips Lighting (美国新泽西州 Somerset) 公司的技术指导下生产了一

系列大功率 LED。在 12W 输入功率下, Lumileds 公司生产的 Luxeon 型器件比传统的 $\phi 5\text{mm}$ LED 高 20 倍, 发光效率高出 50%, 寿命可达几万小时。目前市场上出售的器件不仅有红光和橙光 AlInGaP LED, 而且还有绿光、蓝光和白光 AlInGaN LED。LED 的封装热敏电阻由 $300\Omega/\text{W}$ 下降到 $15\Omega/\text{W}$ 以下。LED 封装的热敏电阻的降低使其能应用于 20 倍泵浦能量激光器中, 并获得 55lm 红光、30lm 绿光、10lm 蓝光与荧光粉转换为 25lm 的白光输出。单管 5W 封装的 110lm 白光 LED 的光输出和 15W 白炽灯的光输出相当, 而封装体积仅相当于白炽灯的 1%, 功耗仅为其 1/3。用 12 只 110lm 的器件足以制成一只汽车前灯。这种前灯并非传统的 6V 汽车前灯, 而是高强度等效放电的超亮度冷光蓝色前灯。每只单色绿光 5W LED 的光通量超过 130lm, 两只这样的光源即可以替代传统的 8~12 英寸 150W 交通信号灯, 可节约 90% 的能量。这些由红光、绿光、蓝光组合的光源的发光效率可与液晶显示屏电视机和监视器背光照明的冷阴极荧光灯相比, 而且具有体积小和窄谱带光色的特点。

通过对高强度蓝光 LED 的不断研发产生了好几代亮度越来越高的器件, 在 1990 年左右推出的基于碳化硅裸片材料的 LED 的效率大约是 $0.04\text{lm}/\text{W}$, 发出的光强度很少有超过 15mcd 的。20 世纪 90 年代中期出现了第一个基于 GaN 的实用 LED。现在还有许多公司在用不同的基底(如蓝宝石和碳化硅)生产 GaN LED, 这些 LED 能够发出绿色、蓝色或紫罗兰等颜色的光。高亮度蓝色 LED 的发明使真彩广告显示屏的实现成为可能, 这样的显示屏能够显示真彩、全运动的视频图像。

蓝光 LED 的出现使人们还能利用倒行转换的磷光材料将较高能量的蓝光部分地转换成其他颜色。将蓝光与转换磷的黄光整合在一起就能得到白光, 而整合适当数量的蓝光与红橙磷(Reddish Orange Phosphor)发出的光, 则可以产生略带桃色或紫色的光。现在仅用 LED 光源就能完全覆盖 CIE 色度曲线中的所有饱和颜色, 并且各种颜色 LED 与磷的有机整合几乎能够毫无限制地产生任何颜色。

在可靠性方面, LED 的半衰期(即光输出量减少到最初值一半的时间)大概是 1 万~10 万小时。相反, 小型指示型白炽灯的半衰期(此处的半衰期指的是有一半数量的灯失效的时间)典型值是 10 万到数千小时不等, 具体时间取决于灯的额定工作电流。

LED 的发展不单纯是它的颜色的拓展, 还有其亮度的提高。像计算机技术一样, LED 的发展遵守摩尔定律, 每隔 18 个月它的亮度就会提高一倍。早期的 LED 只能应用于指示灯、计算器显示屏和数码手表, 而现在开始出现在超亮度领域。LED 的产生基于两种需求: 其一是 LED 的制造工艺流程较简单, 制造成本较低, 经常作为镭射的代用光源, 其二是绝大部分的光通信是在红外光谱下进行的。既然发光组件可以产生光源, 那么就可设计成可见光的形式, 应用于信号判别、数字显示甚至于影像处理或显示屏。由于这两种不同的需求, LED 渐渐地独立而自成一个体系, 其最大的应用领域在于显示器及相关工业, 其波长包含了可见光的大部分范围, 主要为红、黄、绿以及最近发展出来的蓝色光谱。

1.1.2 单色光 LED

最早利用半导体 PN 结发光原理制成的 LED 光源问世于 20 世纪 60 年代初。当时所用的材料是 GaAsP , 发红光($\lambda_p=650\text{nm}$), 在驱动电流为 20mA 时, 光通量只有千分之几流明, 相应的发光效率约为 $0.1\text{lm}/\text{W}$ 。20 世纪 70 年代中期, 引入元素 In 和 N, 使 LED 可产生绿光($\lambda_p=555\text{nm}$)、黄光($\lambda_p=590\text{nm}$)和橙光($\lambda_p=610\text{nm}$), 发光效率也提高到 $1\text{lm}/\text{W}$ 。

到了 20 世纪 80 年代初, 出现了 GaAlAs LED 光源, 使得红光 LED 的发光效率达到 10lm/W。20 世纪 90 年代初, 发红光、黄光的 GaAlInP 和发绿、蓝光的 GaInN 两种新材料的开发成功, 使 LED 的发光效率得到大幅度的提高。2000 年, 发红光、黄光的 GaAlInP LED 在红色、橙色区域 ($\lambda_p=615\text{nm}$) 的发光效率达到 100lm/W, 而发绿光、蓝光的 GaInN LED 在绿色区域 ($\lambda_p=530\text{nm}$) 的发光效率可以达到 50lm/W。

最初 LED 用作仪器仪表的指示光源, 后来各种光色的 LED 在交通信号灯和大面积显示屏中得到了广泛应用, 产生了很好的经济效益和社会效益。以 30cm (12 英寸) 的红色交通信号灯为例, 若采用长寿命、低发光效率的 140W 白炽灯作为光源, 那么它可产生 2 000lm 的白光, 经红色滤光片后光损失 90%, 只剩下 200lm 的红光。而在新设计的交通信号灯中, Lumileds Lighting 公司采用了 18 个红光 LED 光源, 包括电路损失在内, 共耗电 14W, 可达到同样的发光效率。

汽车信号灯也是 LED 光源应用的重要领域。1987 年, 我国开始在汽车上安装高位刹车灯。由于 LED 的响应速度快 (纳秒级), 可以及早让尾随车辆的司机知道行驶状况, 可减少汽车追尾事故的发生。另外, LED 在室外红、绿、蓝全彩显示屏以及微型手电筒等领域都得到了应用。

由于 LED 的颜色、尺寸、形状、发光强度及透明情况等不同, 所以使用 LED 时应根据实际需要进行恰当选择。LED 具有最大正向电流 I_{Fm} 、最大反向电压 V_{Rm} 的限制, 使用时应保证不超过此值。为安全起见, 实际电流 I_F 应在 $0.6I_{Fm}$ 以下, 应让可能出现的反向电压 $V_R < 0.6V_{Rm}$ 。

LED 被广泛用于各种电子仪器和电子设备中, 可作为电源指示灯、电平指示灯或微光源使用。红外 LED 常被用于电视机、录像机等遥控器中。利用高亮度或超高亮度 LED 制作微型手电筒的电路如图 1-1 所示。在图 1-1 中, R 为限流电阻, 其阻值应保证电源电压最高时应使 LED 的电流小于最大允许电流 I_{Fm} 。

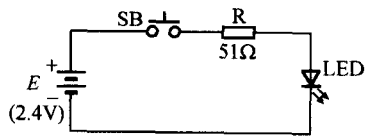


图 1-1 微型手电筒电路

LED 在指示电路中的应用如图 1-2 所示, 其中图 1-2 (a) 所示为直流电源指示电路, 图 1-2 (b) 所示为整流电源指示电路, 图 1-2 (c) 所示为交流电源指示电路。在图 1-2 (a) 中, $R \approx (E - V_F) / I_F$; 在图 1-2 (b) 中, $R \approx (1.4V_i - V_F) / I_F$; 在图 1-2 (c) 中, $R \approx V_i / I_F$ 。式中 V_i 为交流电压有效值。

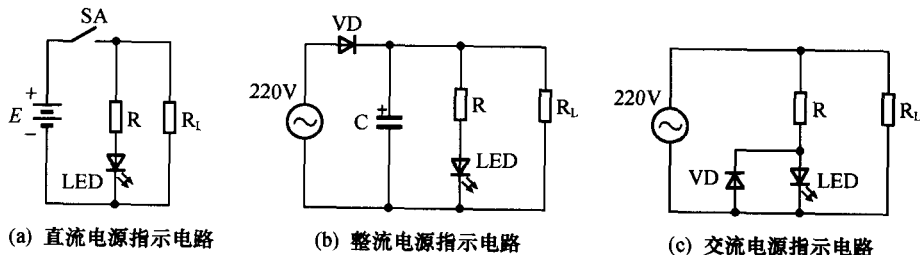


图 1-2 LED 指示电路

在放大器、振荡器或脉冲数字电路的输出端, 可用 LED 表示输出信号是否正常, 如图 1-3 所示。在图 1-3 中, R 为限流电阻, 只有当输出电压大于 LED 的阈值电压时, LED 才可能发光。

由于 LED 正向导通后, 电流随电压变化得非常快, 因此它具有普通稳压管的稳压特性。LED 的稳定电压为 $1.4\sim 3\text{V}$, 应根据需要选择 V_F 。LED 应用于低压稳压电路的实例如图 1-4 所示。

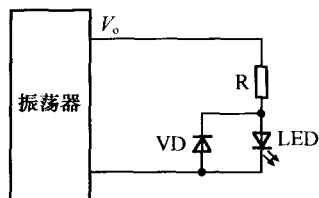


图 1-3 LED 电平指示电路

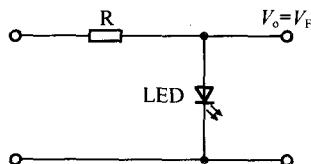


图 1-4 低压稳压电路

1.1.3 LED 的应用领域

1. LED 照明技术

自从 1968 年第一批 LED 开始进入市场以来, 至今已有 30 多年。随着新材料的开发和工艺的改进, LED 趋于高亮度化和全色化。氮化镓基底的蓝色 LED 的出现, 更是扩展了 LED 的应用领域。目前 LED 的主要应用领域包括大屏幕彩色显示、照明灯具、激光器、多媒体显像、LCD 背景光源、探测器、交通信号灯、仪器仪表、光纤通信、卫星通信、海洋光通信以及图形识别等, 但目前还主要是用于照明和显示。

LED 是由超导发光晶体产生超高强度的灯光, 它发出的热量很少, 不像白炽灯那样浪费太多热量, 不像荧光灯那样因消耗高能量而产生有毒气体, 也不像霓虹灯那样要求高电压而容易损坏。LED 已被全球公认为新一代的环保型高科技光源。

LED 具有高光效能, 比传统霓虹灯节省电能 80% 以上, 工作安全可靠。LED 改变了白炽灯钨丝发光与节能灯三基色粉发光的原理, 而采用电场发光。LED 光源具有寿命长、光效高、无辐射与低功耗等特点。LED 的光谱几乎全部集中于可见光频段, 其发光效率可达 $80\%\sim 90\%$ 。将 LED 与普通白炽灯、螺旋节能灯及 T5 三基色荧光灯进行比较, 其结果显示: 普通白炽灯的光效为 12lm/W , 寿命小于 $2\,000\text{h}$; 螺旋节能灯的光效为 60lm/W , 寿命小于 $8\,000\text{h}$; T5 三基色荧光灯的光效则为 96lm/W , 寿命大约为 $10\,000\text{h}$; 而直径为 5mm 的白光 LED 的光效为 $20\sim 28\text{lm/W}$, 寿命可大于 $100\,000\text{h}$ 。

(1) LED 照明产品

在爱迪生 1879 年发明碳丝白炽灯之后, 照明技术便进入一个崭新的时代。回顾 20 世纪的照明史, 荧光灯、汞灯、高/低压钠灯、金属卤化物灯、紧凑型荧光灯、高频无极荧光灯以及微波硫灯等新光源层出不穷。白炽灯从其问世的那一天起就带有先天性缺陷, 钨丝加热耗电大, 灯泡易碎, 而且容易使人触电。荧光灯虽说比白炽灯节电节能, 但对人的视力不利, 灯管内的汞也有害于人体和环境。真正引发照明技术发生质变的还是 LED。与传统照明技术相比, LED 的最大区别是结构和材料的不同, 它是一种能够将电能转化为可见光的半导体, 上下两层装有电极, 中间有导电材料, 可以发光的材料在两电极的夹层中, 光的颜色根据材料性质的不同而有所变化。

LED 属于全固体冷光源, 体积更小, 重量更轻, 结构更坚固, 而且工作电压低, 使用寿命长。按照通常的光效定义, LED 的发光效率并不高, 但由于 LED 的光谱几乎全部集中于

可见光频段,效率可达 80%~90%,而同等光效的白炽灯的可见光效率仅为 10%~20%。单体 LED 的功率一般为 0.05~1W,通过集群方式可以满足不同需要。

LED 照明产品就是利用 LED 作为光源制造出来的照明器具,在照明领域 LED 发光产品的应用正吸引着世人的目光。LED 作为一种新型的绿色光源产品,必然是未来发展的趋势,21 世纪将进入以 LED 为代表的新型照明光源时代。

(2) LED 光源的优点

LED 光源具有以下优点:

① 新型绿色环保光源:LED 运用冷光源,眩光小,无辐射,使用中不产生有害物质。LED 的工作电压低,采用直流驱动方式,超低功耗(单管 0.03~0.06W),电光功率转换接近 100%,在相同照明效果下比传统光源节能 80%以上。LED 的环保效益更佳,光谱中没有紫外线和红外线,而且废弃物可回收,没有污染,不含汞元素,可以安全触摸,属于典型的绿色照明光源。

② 寿命长:LED 为固体冷光源,环氧树脂封装,抗震动,灯体内也没有松动的部分,不存在灯丝发光易烧、热沉积、光衰等缺点,使用寿命可达 6 万~10 万小时,是传统光源使用寿命的 10 倍以上。LED 性能稳定,可在-30~+50℃环境下正常工作。

③ 多变幻:LED 光源可利用红、绿、蓝三基色原理,在计算机技术控制下使 3 种颜色具有 256 级灰度并任意混合,即可产生 $256 \times 256 \times 256$ (即 16 777 216) 种颜色,形成不同光色的组合。LED 组合的光色变化多端,可实现丰富多彩的动态变化效果及各种图像。

④ 高新技术:与传统光源的发光效果相比,LED 光源是低压微电子产品,成功地融合了计算机技术、网络通信技术、图像处理技术和嵌入式控制技术等。传统 LED 灯中使用的芯片尺寸为 $0.25\text{mm} \times 0.25\text{mm}$,而照明用 LED 的尺寸一般都要在 $1.0\text{mm} \times 1.0\text{mm}$ 以上。LED 裸片成型的工作台式结构、倒金字塔结构和倒装芯片设计能够改善其发光效率,从而发出更多的光。LED 封装设计方面的革新包括高传导率金属块基底、倒装芯片设计和裸盘浇铸式引线框等,采用这些方法都能设计出高功率、低热阻的器件,而且这些器件的照度比传统 LED 产品的照度更大。

目前一个典型的高光通量 LED 器件能够产生几流明到数十流明的光通量,更新的设计可以在一个器件中集成更多的 LED,或者在单个组装件中安装多个器件,从而使输出的流明数相当于小型白炽灯。例如,一个高功率的 12 芯片单色 LED 器件能够输出 200lm 的光能量,所消耗的功率在 10~15W 之间。

LED 光源的应用非常灵活,可以做成点、线、面各种形式的轻薄短小产品;LED 的控制极为方便,只要调整电流,就可以随意调光;不同光色的组合变化多端,利用时序控制电路,更能达到丰富多彩的动态变化效果。LED 已经被广泛应用于各种照明设备中,如电池供电的闪光灯、微型声控灯、安全照明灯、室外道路和室内楼梯照明灯以及建筑物与标记连续照明灯。

白光 LED 的出现,是 LED 从标识功能向照明功能跨出的实质性一步。白光 LED 最接近日光,更能较好地反映照射物体的真实颜色,所以从技术角度看,白光 LED 无疑是 LED 最尖端的技术。目前,白光 LED 已开始进入一些应用领域,应急灯、手电筒、闪光灯等产品相继问世,但是由于价格十分昂贵,故而难以普及。白光 LED 普及的前提是价格下降,而价格下降必须在白色 LED 形成一定市场规模后才有可能。毫无疑问,两者的融合最终有赖于技术进步。

2. 超高亮度 LED 的应用

LED 已有近 30 年的发展历程。20 世纪 70 年代, 最早的 GaP、GaAsP 同质结红色、黄色、绿色低发光效率的 LED 已开始应用于指示灯以及数字和文字显示, 从此 LED 开始进入多种应用领域, 包括航空航天、汽车、通信等。尽管多年以来 LED 一直受到颜色和发光效率的限制, 但由于 GaP 和 GaAsP LED 具有寿命长、可靠性高、工作电流小以及可与 TTL、CMOS 数字电路兼容等许多优点而得到广泛应用。

最近十年, 高亮度化、全色化一直是 LED 材料和器件工艺技术研究的前沿课题。超高亮度 (UHB) LED 是指发光强度达到或超过 100mcd 的 LED, 又称坎德拉 (cd) 级 LED。高亮度 AlGaInP 和 InGaN LED 的研制进展十分迅速, 现已达到常规材料 GaAlAs、GaAsP、GaP 不可能达到的性能水平。1991 年日本东芝公司和美国 HP 公司成功研制出了 InGaAlP 620nm 橙色超高亮度 LED, 1992 年 InGaAlP 590nm 黄色超高亮度 LED 实用化。同年, 东芝公司研制出了 InGaAlP 573nm 黄绿色超高亮度 LED, 法向光强达 2cd。1994 年日本日亚公司研制成 InGaN 450nm 蓝 (绿) 色超高亮度 LED。至此, 彩色显示所需的红、绿、蓝三基色以及橙色、黄色多种颜色的 LED 都达到了坎德拉级的发光强度, 实现了超高亮度化和全色化, 使发光管的户外全色显示成为现实。

(1) 超高亮度 LED 的结构及性能

超高亮度 InGaAlP LED 与 GaAsP LED 和 GaP LED 相比, 具有更高的发光效率。超高亮度 InGaAlP LED 提供的颜色与 GaAsP LED 和 GaP LED 相同, 包括黄绿色 (560nm)、浅黄绿色 (570nm)、黄色 (585nm)、浅黄色 (590nm)、橙色 (605nm)、浅红色 (625nm) 和深红色 (640nm)。InGaAlP LED 吸收衬底 (AS) 的流明效率为 10lm/W, 透明衬底 (TS) 为 20lm/W, 在 590~626nm 的波长范围内比 GaAsP LED 和 GaP LED 的流明效率要高 10~20 倍; 在 560~570nm 的波长范围内则比 GaAsP LED 和 GaP LED 高 2~4 倍。

超高亮度 InGaN LED 提供了蓝色光和绿色光, 其流明效率为 3~15lm/W 波长范围为: 蓝色为 450~480nm, 蓝绿色为 500nm, 绿色为 520nm。目前超高亮度 LED 的流明效率已超过了带滤光片的白炽灯, 可以取代功率在 1W 以内的白炽灯, 而且用 LED 阵列可以取代功率在 150W 以内的白炽灯。对于许多应用, 白炽灯都是采用滤光片来得到红色、橙色、绿色和蓝色, 而超高亮度 LED 不需滤光片即可得到相同的颜色。采用 AlGaInP 和 InGaN 材料制造的超高亮度 LED 将多个 (红、蓝、绿) 超高亮度 LED 芯片组合在一起, 不用滤光片也能得到各种颜色 (包括红色、橙色、黄色、绿色、蓝色); 目前其发光效率均已超过白炽灯, 正向荧光灯接近; 发光亮度已高于 1 000mcd, 可满足室外全天候、全色显示的需要; 用 LED 彩色大屏幕可以表现天空和海洋, 实现三维动画。

由于高亮度 LED 制造工艺、器件设计和组装技术三方面的进展, LED 发光器的性能一直在提高, 其成本一直在降低。PN 结设计、再辐射磷光体和透镜结构都有助于提高效率, 因此也有助于提高光输出。

(2) 超高亮度 LED 的应用

超高亮度 LED 已普遍取代白炽灯而用于交通信号灯、警示灯、标志灯, 市场广阔, 需求量增长很快。各个国家的主管部门都对交通信号灯制定了相应的规范, 规定信号的颜色、最低的照明强度、光束空间分布的图样以及对安装环境的要求等。尽管这些要求是按白炽灯编写的, 但对采用超高亮度 LED 的交通信号灯来说基本上是适用的。

LED 交通信号灯与白炽灯相比,工作寿命较长,一般可达到 10 年,如果考虑到户外恶劣环境的影响,预计寿命也可达到 5~6 年。目前红、橙、黄色超高亮度 AlGaInP LED 已实现产业化,若用红色超高亮度 LED 组成的模块取代传统的红色白炽交通信号灯,则可将因红色白炽灯突然失效而给安全造成的影响降到最低程度。一般 LED 交通信号模块由若干组串联的 LED 单灯组成,以 30cm (12 英寸)的红色 LED 交通信号模块为例,有 3~9 组串联的 LED 单灯,每组串联的 LED 单灯数为 70~75 个(LED 单灯总个数为 210~675),当有一个 LED 单灯失效时,只会影响一组信号,其余各组信号减小到原来的 2/3 (67%) 或 8/9 (89%),并不会像白炽灯那样使整个信号灯头失效。

LED 交通信号模块的主要问题是造价仍然显得偏高,以 30cm (12 英寸)的 TS-AlGaAs 红色 LED 交通信号模块为例,最早应用于 1994 年,其造价为 350 美元,而到 1996 年性能更好的 30cm (12 英寸)的 AlGaInP LED 交通信号模块的造价则为 200 美元。预计今后不会很久,InGaN 蓝绿色 LED 交通信号模块的价格将可与 AlGaInP LED 相近。白炽交通信号灯头的造价虽低,但耗电量大,一个直径为 30cm (12 英寸)的白炽交通信号灯的耗电量为 150W,横过马路人行道的交通警示灯的耗电量为 67W。据计算,每个十字路口的白炽信号灯每年的耗电量平均为 18 133kWh。然而,LED 交通信号模块则非常省电,每个 20~30cm (8~12 英寸)的红色 LED 交通信号模块的耗电量为 15~20W,十字路口拐弯处的 LED 标志可用箭头开关显示,耗电量仅为 9W。据计算,每个十字路口每年可省电 9 916kWh。按每个 LED 交通信号模块的平均造价为 200 美元计算,红色 LED 交通信号模块仅用其节省的电费,3 年后即可收回最初的成本造价,并开始不断得到经济回报。因此,目前使用 AlGaInP LED 交通信号模块,尽管造价显得高,但因其使用费用低,其经济效益和社会效益是相当可观的。

基于 LED 的交通信号灯能耗成本低,寿命长,即使不考虑因每盏灯使用大量 LED 而使可靠性提高这一因素,LED 灯的更换成本大大低于白炽灯。自从 5 年前推出 LED 交通信号灯以来,技术进步已经使每只 LED 的光输出增加了约 20 倍。只要再将 LED 的光输出增大 1/3,就可以在交通灯设计中只使用一只 LED 和一个漫散器的组合,使光线似乎不是从一个针尖大小的光源发出,而是从一个较大的光源发出。

超高亮度 LED 的问世和产业化不仅拓展了 LED 原有的应用领域,而且将拥有一个潜力巨大的市场。今后几年 InGaN LED 随着规模生产技术的完善和产品成本的降低,价格将与 AlGaInP LED 相近,超高亮度 LED 在我国将会有一个大发展。

高亮度 LED 的出现具有划时代意义,全色超高亮度 LED 的实用化和商品化使照明技术面临一场新的革命。由多个超高亮度红、蓝、绿三色 LED 制成的固体照明灯不仅可以发出波长连续可调的各种色光,而且还可以发出亮度可达几十到一百烛光的白光。最近,日本日亚公司利用 InGaN 蓝光 LED 和荧光技术,又推出了白光固体发光器件产品,其色温为 6 500K,效率达 7.5lm/W。对于相同发光亮度的白炽灯和 LED 固体照明灯来说,LED 固体照明灯的功耗仅为白炽灯的 10%~20%,白炽灯的寿命一般不超过 2 000h,而 LED 灯的寿命长达数万小时。这种体积小、重量轻、方向性好、节能、寿命长、耐各种恶劣条件的固体光源必将对传统的光源市场造成冲击。尽管这种新型固体照明光源的成本依然偏高,但从长远看,如果超高亮度 LED 的生产规模进一步扩大,成本进一步降低,其在节能和长寿命方面的优势将足以弥补其价格偏高的劣势,超高亮度 LED 将有可能成为一种很有竞争力的新型电光源。

大多数白光 LED 是采用激发白磷光体来扩展宽输出光谱的蓝光 LED,其他发白光的 LED