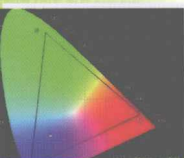


周志敏 纪爱华 编著

漫步 LED世界

(驱动电路设计实例篇)



国防工业出版社
National Defense Industry Press

内 容 简 介

本书作为《漫步 LED 世界》丛书的驱动电路设计实例篇,以 LED 驱动电路设计实例为本书的核心内容,全面系统地阐述了 LED 驱动电路设计的最新应用技术。全书共 4 章,详细地阐述了基于电荷泵(电容式开关电源)驱动 LED 电路设计实例、基于电感式开关电源驱动 LED 电路设计实例、LTC 系列变换器驱动 LED 电路设计实例、LT 系列变换器驱动 LED 电路实例。本书题材新颖实用,突出实用性,内容丰富,深入浅出,语言通俗,具有很高的实用价值,是从事 LED 照明设计和应用的工程技术人员的必备读物。

本书可供电信、信息、汽车、航天、国防以及家电等领域从事 LED 驱动电路开发、设计和应用的工程技术人员和高等院校及职业技术学院的师生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

漫步 LED 世界. 驱动电路设计实例篇/周志敏,纪爱
华编著. —北京:国防工业出版社,2013. 1
ISBN 978-7-118-08503-7

I. ①漫… II. ①周… ②纪… III. ①发光二极管—
电路设计 IV. ①TN383

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 310444 号

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

天利华印刷装订有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 12 $\frac{3}{4}$ 字数 342 千字
2013 年 1 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2500 册 定价 39.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777
发行传真:(010)88540755

发行邮购:(010)88540776
发行业务:(010)88540717

前 言

近年来随着 LED 技术的不断创新和发展,人们对 LED 驱动器的需求与日俱增,基于开关电源设计的 LED 驱动电路在工程应用中显示出了强大的竞争力,其具有高集成度、高性能比、最简的外围电路、最佳的性能指标等特点。开关电源式 LED 驱动器现已成为非常具有发展前景和影响力的一项高新技术产品。目前,随着 LED 技术的广泛应用,开关电源式 LED 驱动器显示出了强大的发展潜力。开关电源式 LED 驱动器产品的开发、研制、生产已成为发展前景十分诱人的朝阳产业。

本书结合国内外开关电源技术、LED 驱动技术的发展动向,重点阐述了基于开关电源驱动 LED 电路的设计实例,书中解析了 130 例基于开关电源设计的驱动 LED 电路实例,读者可将书中讲述的 LED 驱动电路设计实例直接采用,也可结合实际应用设计的特点,在此基本电路的基础上进行改进,应用于工程设计实践中。本书在写作上尽量做到针对性和实用性,力求做到理论和应用相结合,使得从事开关电源式 LED 驱动器开发、设计、应用的技术人员从中获益,读者可以以此书为“桥梁”,系统地、全面地了解 and 掌握开关电源式 LED 驱动器的最新设计和应用技术。

由于 LED 芯片参数没有统一的国际标准、不同国家和地区的生产厂家生产的 LED 芯片在名称、符号等方面均不相同,本书为方便广大读者学习、使用,对芯片名称、符号等均采用原出厂设置,与国家标准略有不同,希望谅解。

参加本书编写工作的有周志敏、纪爱华、周纪海、纪达奇、刘建秀、顾发娥、纪达安、纪和平、刘淑芬等,本书在写作过程中无论从资料的收集还是技术信息交流上都得到了国内的专业学者、同行及开关电源集成芯片、LED 芯片制造商的大力支持,在此表示衷心的感谢。

由于成书时间仓促,水平有限,难免有错误之处,敬请读者批评指正。

编 者
2012 年 10 月

目 录

第 1 章 电荷泵(电容式开关电源)驱动 LED 电路设计实例	1
实例 1 基于 MAX684 驱动 LED 电路	1
实例 2 基于 MAX1570 驱动 LED 电路	2
实例 3 基于 MAX1576 驱动 LED 电路	3
实例 4 基于 MAX1707 驱动 LED 电路	5
实例 5 基于 MAX8647 驱动 LED 电路	6
实例 6 基于 CP2128 驱动 LED 电路	8
实例 7 基于 CP2130 驱动 LED 电路	8
实例 8 基于 CP2131 驱动 LED 电路	9
实例 9 基于 CP2133 驱动 LED 电路	10
实例 10 基于 CP2137/CP2163A 驱动 LED 电路	11
实例 11 基于 CP2167/CP2168 驱动 LED 电路	11
实例 12 基于 CP2166 驱动 LED 电路	12
实例 13 基于 CAT3200/3200-5 驱动 LED 电路	13
实例 14 基于 CAT3604 驱动 LED 电路	14
实例 15 基于 CAT3606 驱动 LED 电路	16
实例 16 基于 CAT3616 驱动 LED 电路	17
实例 17 基于 CAT3636 驱动 LED 电路	18
实例 18 基于 LC40159 驱动 LED 电路	18
实例 19 基于 AIC1848 驱动 LED 电路	20
实例 20 基于 AP3605 驱动 LED 电路	20
实例 21 基于 LM27952 驱动 LED 电路	22
实例 22 基于 LM27956 驱动 LED 电路	25
实例 23 基于 LM2792 驱动 LED 电路	26
实例 24 基于 LM3354 驱动 LED 电路	26
实例 25 基于 LM2794 驱动 LED 电路	27
实例 26 基于 AAT3110 驱动 LED 电路	27
实例 27 基于 AAT3170 驱动 LED 电路	30
实例 28 基于 AAT3113/AAT3114 驱动 LED 电路	31
实例 29 基于 LN9364/LN9366 驱动 LED 电路	31
实例 30 基于 SP 系列驱动 LED 电路	34
实例 31 基于 NCP560x 驱动 LED 电路	39

实例 32 基于 TPS60230/60231 驱动 LED 电路 41

实例 33 基于 APS4070 驱动 LED 电路 42

实例 34 基于 AW9655 驱动 LED 电路 43

实例 35 基于 MAX8821 驱动 LED 电路 47

实例 36 基于 MAX8678 驱动 LED 电路 48

实例 37 基于 MAX1573 驱动 LED 电路 49

实例 38 基于 MAX1577Y/1577Z 驱动 LED 电路 50

实例 39 基于 MAX1759 驱动 LED 电路 50

实例 40 基于 MAX8879 驱动 LED 电路 51

实例 41 基于 MAX1595 驱动 LED 电路 52

实例 42 基于 MAX1910/1912 驱动 LED 电路 52

实例 43 基于 MAX1913 驱动 LED 电路 53

实例 44 基于 MAX8630Y/8630Z 驱动 LED 电路 54

实例 45 基于 MAX8630X 驱动 LED 电路 55

实例 46 基于 MAX8631X 驱动 LED 电路 55

实例 47 基于 MAX8645X/MAX8645Y 驱动 LED 电路 56

实例 48 基于 MAX1574 驱动 LED 电路 57

实例 49 基于 MAX8647 驱动 LED 电路 57

实例 50 基于 MAX8822 驱动 LED 电路 59

实例 51 基于 CP2164 驱动 LED 电路 59

实例 52 基于 MAX8645X/Y 驱动 LED 电路 60

实例 53 基于 CAT3643 驱动 LED 电路 60

实例 54 基于 CAT3644V 驱动 LED 电路 61

实例 55 基于 CAT3614 驱动 LED 电路 62

实例 56 基于 CAT3647 驱动 LED 电路 62

实例 57 基于 LN2113/LN2114 驱动 LED 电路 64

实例 58 基于 AP3324 驱动 LED 电路 67

实例 59 基于 ADP8870 驱动 LED 电路 68

实例 60 基于 FAN5701/5702 驱动 LED 电路 69

实例 61 基于 AS1119 驱动 LED 电路 69

第 2 章 电感式开关电源驱动 LED 电路实例 71

实例 1 基于 LM3406 驱动 LED 电路 71

实例 2 基于 PT4201 驱动 LED 电路 71

实例 3 基于 ZXLD1350 驱动 LED 电路 74

实例 4 基于 LM3445 驱动 LED 电路 75

实例 5 基于 PT4107 驱动 LED 电路 78

实例 6 基于 SLM2842S 驱动 LED 电路 82

实例 7 基于 HV991X 驱动 LED 电路 84

实例 8	基于 IRS2541 驱动 LED 电路	86
实例 9	基于 MAX1582 驱动 LED 电路	89
实例 10	基于 PT4115 驱动 LED 电路	92
案例 11	基于 NCP1216 驱动 LED 电路	95
案例 12	基于 NCP3065/3066 驱动 LED 电路	97
案例 13	基于 SG1524 驱动 LED 电路	98
案例 14	基于 PAM2842 驱动 LED 电路	100
实例 15	基于 TNY279PN 驱动 LED 电路	101
实例 16	基于 LNK306DN 驱动 LED 电路	103
实例 17	基于 LNK302PN 驱动 LED 电路	104
实例 18	基于 TOP247YN 驱动 LED 电路	105
实例 19	基于 LNK306PN 驱动 LED 电路 1	108
实例 20	基于 LNK306PN 驱动 LED 电路 2	110
实例 21	TNY270GN 驱动 LED 电路	111
实例 22	基于 TOP246F 驱动 LED 电路	112
实例 23	基于 LNK304PN 驱动 LED 电路	114
实例 24	基于 TOP250YN 驱动 LED 电路	115
实例 25	基于 LNK605DG 驱动 LED 电路	116
实例 26	基于 LNK606PG 驱动 LED 电路	119
实例 27	基于 LNK605DG 驱动 LED 电路	120
实例 28	基于 AP3706 驱动 LED 电路	121
实例 29	基于 MAX16802 驱动 LED 电路	122
实例 30	基于 CAT37 驱动 LED 电路	124
实例 31	基于 LM3402/3402HV 驱动 LED 电路	126
实例 32	基于 EL7516 驱动 LED 电路	127
实例 33	基于 LM3423 驱动 LED 电路	129
实例 34	基于 TPS61150/1 驱动 LED 电路	129
案例 35	基于 LM2733/LM27313LED 驱动电路	130
实例 36	基于 LM3431 驱动 LED 电路	132
实例 37	基于 NCP5009 驱动 LED 电路	134
实例 38	TPS6106x 驱动 LED 电路	136

第 3 章 LTC 系列变换器驱动 LED 电路设计实例

实例 1	基于 LTC3220/3220-1 驱动 LED 电路	140
实例 2	基于 LTC3202 驱动 LED 电路	141
实例 3	基于 LTC3206 驱动 LED 电路	142
实例 4	基于 LTC3208 驱动 LED 电路	143
实例 5	基于 LTC3215 驱动 LED 电路	145
实例 6	基于 LTC3219 驱动 LED 电路	146

实例 7	基于 LTC3216 驱动 LED 电路	149
实例 8	基于 LTC3217 驱动 LED 电路	150
实例 9	基于 LTC3214 驱动 LED 电路	150
实例 10	基于 LTC3209-1/-2 驱动 LED 电路	151
实例 11	基于 LTC3210 驱动 LED 电路	152
实例 12	基于 LTC3210-1 驱动 LED 电路	153
实例 13	基于 LTC3453 驱动 LED 电路	153
实例 14	基于 LTC3454 驱动 LED 电路	154
实例 15	基于 LTC3783 驱动 LED 电路	155
实例 16	基于 LTC3452 驱动 LED 电路	157
第 4 章	LT 系列变换器驱动 LED 电路实例	159
实例 1	基于 LT3756、LT3756-1 和 LT3756-2 驱动 LED 电路	159
实例 2	基于 LT3476 驱动 LED 电路	160
实例 3	基于 LT3475/LT3475-1 驱动 LED 电路	162
实例 4	基于 LT3486 驱动 LED 电路	163
实例 5	基于 LT3755/LT3755-1/LT3755-2 驱动 LED 电路	165
实例 6	基于 LT3477 驱动 LED 电路	166
实例 7	基于 LT3466/LT3466-1 驱动 LED 电路	167
实例 8	基于 LT3599 驱动 LED 电路	169
实例 9	基于 LT3474/LT3474-1 驱动 LED 电路	170
实例 10	基于 LT3799/LT3799-1 驱动 LED 电路	171
实例 11	基于 LT3791 驱动 LED 电路	172
实例 12	基于 LT3756、LT3756-1 和 LT3756-2 驱动 LED 电路	174
实例 13	基于 LT3743 驱动 LED 电路	174
实例 14	基于 LT3598 驱动 LED 电路	176
实例 15	基于 LT3597 驱动 LED 电路	177
附录	LTC/LT 系列变换器驱动 LED 电路图	179
参考文献		194

第 1 章 电荷泵(电容式开关电源) 驱动 LED 电路设计实例

实例 1 基于 MAX684 驱动 LED 电路

对于正向电压为 3.5 V ~ 4.2 V (在 20 mA 条件下) 的白光 LED 通常需要升压转换器, 基于 MAX684 电荷泵驱动白光 LED 电路如图 1-1 所示。MAX684 电荷泵工作在 2.7 V ~ 4.2 V 输入电压范围内, 输出电流能够达到 50 mA。利用 MAX684 的关断控制管脚可以关闭 LED。而且只需外加 1 只电阻与 3 只电容, 完全不需电感器, 如果需要驱动超过 3 只白光 LED, 可以采用 MAX683 与 MAX682, 可分别提供了 100 mA 与 250 mA 的输出电流, 其中 MAX682 可以驱动高达 16 只并联的白光 LED, 设计中若要控制白光 LED 的亮度, 可以在 $\overline{\text{SHDN}}$ 管脚加上一个频率范围为 200 Hz ~ 300 Hz 的 PWM 信号, 选择 MAX684 的切换频率可计算出外加电阻 R_{EXT} 的值为

$$R_{\text{EXT}} = 45000(V_{\text{IN}} - 0.69)/f_{\text{OSC}} \quad (1-1)$$

式中: R_{EXT} 为外部电阻; f_{OSC} 为开关频率, 其表达式为

$$f_{\text{OSC}} = 45000(V_{\text{IN}} - 0.69)/R_{\text{EXT}} \quad (1-2)$$

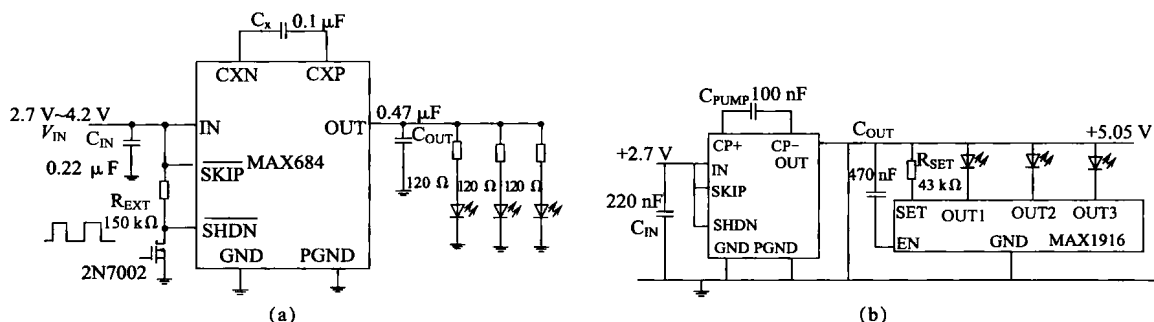


图 1-1 MAX684 电荷泵驱动的白光 LED 电路

如果采用的 R_{EXT} 为 150 kΩ, 在 V_{IN} 为 4.2 V 时, 切换频率为 1.053 MHz; $V_{\text{IN}} = 3.6$ V 时, 切换频率为 873 kHz。电荷泵解决方案最为经济, 原因是它不需要电感器。但是使用电荷泵会降低工作效率, 如果采用 5 V 电压驱动 3 只并联的白光 LED, 白光 LED 的工作电流为 0.015 A, 那么需要提供的功率输出为

$$P_{\text{OUT}} = 5 \times 0.015 \times 3 = 0.225 \text{ W}$$

2 倍压稳压电荷泵的变换效率接近于线性稳压器, 其电源转换效率 η 为

$$\eta = P_{\text{OUT}}/P_{\text{IN}} = V_{\text{OUT}} \times I_{\text{OUT}} / (2 \times V_{\text{IN}} \times I_{\text{OUT}} + I_Q \times V_{\text{IN}}) \approx V_{\text{OUT}} / (2V_{\text{IN}}) \quad (1-3)$$

式中: I_Q 为组件静态耗电流。

例 当 $V_{\text{IN}} = 3.6$ V、 $V_{\text{OUT}} = 5.0$ V 时, 其变换效率会低于 69.4%; 当 $V_{\text{IN}} = 4.2$ V、 $V_{\text{OUT}} = 5.0$ V 时, 其变换效率就会低于 59.5%。如果要驱动 3 只白光 LED, 需要提供的输出功率如下。

当 $V_{\text{IN}} = 3.6$ V 时, $P_{\text{IN}} = P_{\text{OUT}}/\eta = 5 \times 15 \times 3 / 0.694 = 324 \text{ mW}$

当 $V_{IN} = 4.2\text{ V}$ 时, $P_{IN} = P_{OUT}/\eta = 5 \times 15 \times 3/0.595 = 378\text{ mW}$

当输入电压越来越高时, 其变换效率就会越来越低, 同时也就需要更高的输入功率。

对于正向电压为 $8.5\text{ V} \sim 4.2\text{ V}$ (在 20 mA 条件下) 的白光 LED 可用电荷泵 (如 MAX682 ~ MAX684) 与 MAX1916 共同构成的白光 LED 的驱动电路, 如图 2-1(b) 所示。MAX682 ~ MAX684 能够将 2.7 V 的输入电压转换为 5.05 V 输出电压, 输出电流能够分别达到 250 mA 、 100 mA 、 50 mA 。利用 MAX684 的关断控制管脚或 MAX1916 的使能控制管脚可以关闭白光 LED。在图 2-1(b) 电路中, MAX684 在关断模式下, 电源电流降至 $22\text{ }\mu\text{A}$; $R_{SET} = 43\text{ k}\Omega$ 时, 白光 LED 电流为 22 mA 。

实例 2 基于 MAX1570 驱动 LED 电路

MAX1570 为 1 倍压模式、1.5 倍压模式的变换高效率电荷泵, 能够以恒定电流驱动 5 只白光 LED, 并获得均匀的亮度。MAX1570 的固定工作频率为 1 MHz , 可选用小的外部组件。经过优化的电流调节结构保证低 EMI 和低输入纹波。利用一个外部电阻可以设置满量程白光 LED 电流, 并可采用脉宽调制 (PWM) 信号来调节白光 LED 的亮度。MAX1570 电荷泵的主要技术特性有以下几点。

- (1) 优异的 0.3% 白光 LED 间电流匹配精度。
- (2) 30 mA 的驱动能力。
- (3) 专有的 1 倍压模式、1.5 倍压模式实现高变换效率。
- (4) 低输入纹波和低 EMI。
- (5) 无需限流电阻。
- (6) 数字输入或 PWM 信号来调节 LED 亮度。
- (7) $0.1\text{ }\mu\text{A}$ 关断电流。
- (8) $2.7\text{ V} \sim 5.5\text{ V}$ 输入电压范围。
- (9) 具有软启动限制浪涌电流、过热关断保护功能。
- (10) 无需外部电感、肖特基二极管或齐纳二极管。

MAX1570 采用微小的 16 管脚 ($4\text{ mm} \times 4\text{ mm}$) TQFN 封装, 结合了高变换效率的 1 倍压模式、1.5 倍压模式电荷泵和 200 mV 的低压差稳流器, 无须电感或限流电阻。该变换器能自动在 1 倍压模式和 1.5 倍压模式之间切换, 以尽可能延长电池使用寿命, 在多达 93% 的电池使用容量范围内, 其 1 倍压模式将白光 LED 的驱动工作效率提高了 50% 。白光 LED 电流可以采用数字或 PWM 信号进行控制。MAX1570 具有电流匹配特性, 还具有限制浪涌电流的软启动以及关断模式下输入和输出完全断开, 消除了电池漏电等特性。

MAX1570 电荷泵的内部拓扑结构由高速开关、控制器、误差放大器、基准源、取样反馈电路组成。MAX1570 电荷泵通过开关阵列和振荡器、逻辑电路、比较控制器实现电压提升, 采用电容器来储存能量。电荷泵是无须电感的, 但需要外部电容器。工作于较高的频率, 因此可使用小型陶瓷电容 ($1\text{ }\mu\text{F}$), 使空间占用最小, 使用成本降低。电荷泵仅用外部电容即可提供 ± 2 倍的输出电压。其损耗主要来自电容器的 ESR (等效串联电阻) 和内部开关晶体管的导通电阻 $R_{DS(on)}$ 。由于电荷泵转换器不使用电感, 因此其辐射 EMI 可以忽略。输入端噪声可用一只小型电容滤除。电荷泵的输出电压是在工厂生产时精密予置的, 调整能力是通过后端片上线性调整器实现的, 因此电荷泵在设计时可按需要增加电荷泵的开关级数, 从而为后端调整器提供足够的调整空间。电荷泵十分适用于便携式应用的产品设计, 从电荷泵内部结构来看, 它际上是一个片上系统。

线性稳压器和传统的开关稳压器的最佳折中是电荷泵, 电荷泵的外部存储元件是电容器, 而非感应器。不采用感应器, 就可以避免任何可能的电磁干扰; 而电磁干扰将影响较为灵敏的射频接收机或者蓝牙芯片组的正常工作。但是, 电荷泵潜在的缺点是有限的输入/输出电压比率和有限

的输出电流驱动能力。

基于 MAX1570 电荷泵驱动白光 LED 电路如图 1-2 所示，在电荷泵构成的驱动白光 LED 电路中，输入电容 C_{IN} 滤去来自电源的噪音，输出电容 C_{OUT} 降低输出纹波和噪声，同时它能在电容器充电时提供所有的输出电流，因此输出电容器的容量要求足够大。输出电容器的等效串联电阻（ESR）会影响其稳定性，陶瓷电容器具有较低的 ESR，为几毫欧量级，受到负载瞬变冲击几乎没有 ESR “阶跃”电压，而钽电容器的 ESR 在 100 毫欧量级；陶瓷电容器无极性、体积小；另外，许多钽电容器的 ESR 随温度变化很大，会对电荷泵性能产生不利影响。

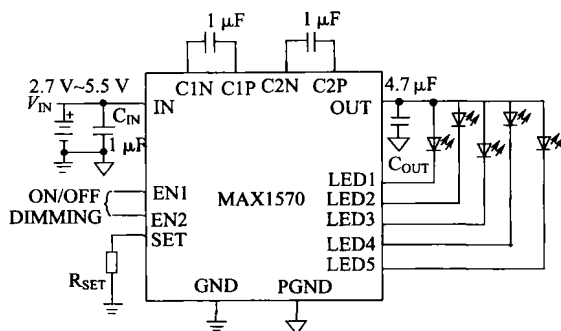


图 1-2 MAX1570 电荷泵驱动的白光 LED 电路

实例 3 基于 MAX1576 驱动 LED 电路

MAX1576 为可提供 480 mA 电流的 1 倍压模式、1.5 倍压模式、2 倍压模式的电荷泵，MAX1576 电荷泵可驱动 8 只白光 LED，具有恒定电流调节以实现统一的发光亮度。能够以 30 mA 的电流驱动每组 4 只（LED1 ~ LED4）白光 LED 用于背光照明。闪光灯组白光 LED（LED5 ~ LED8）是单独控制的，并能够以 100 mA 驱动每只白光 LED（或总共 400 mA）。通过使用自适应 1 倍压模式、1.5 倍压模式、2 倍压模式电荷泵和超低压差的电流调节器，MAX1576 能够在 1 节锂离子电池的整个工作电压范围内实现高的工作效率。1 MHz 的固定开关频率仅需使用非常小的外部组件，并具有低 EMI 和低输入纹波。

MAX1576 使用两个外部电阻设置主 LED 和闪光灯 LED 的最大（100%）电流，使用 4 个控制管脚通过串行控制或每组 2 位元逻辑控制用于 LED 亮度控制。ENM1 和 ENM2 可将主 LED 的电流设置为最大电流的 10%、30% 或 100%。ENF1 和 ENF2 可将闪光灯 LED 的电流设置为最大电流的 20%、40% 或 100%。另外，将每一对控制管脚连接到一起可实现单线、串行脉冲亮度控制。

1. MAX1576 的技术特性

MAX1576 的主要技术特性有以下几点。

- (1) 驱动多达 8 只白光 LED；30 mA 驱动用于背光照明；400 mA 驱动用于闪光灯。
- (2) 灵活的亮度控制，0.7% 的白光 LED 电流匹配精度。
- (3) 单线，串行脉冲接口（5% ~ 100%）。
- (4) 自适应的 1 倍压模式、1.5 倍压模式、2 倍压模式切换，整个锂离子电池放电过程可实现 85% 的平均工作效率（ P_{LED}/P_{BAT} ，式中： P_{LED} 为 LED 功率； P_{BAT} 电源输入功率）。
- (5) 2 位（3 电平）对数逻辑。
- (6) 2.7 V ~ 5.5 V 的输入电压范围，低输入纹波和低 EMI。
- (7) 0.1 μ A 低关断电流。
- (8) 具有软启动限制浪涌电流、输出过压保护，热关断保护功能。
- (9) MAX1576 采用薄型 24 管脚（4 mm × 4 mm × 0.8 mm）QFN 封装。

2. 典型应用电路

基于 MAX1576 电荷泵的驱动白光 LED 电路如图 1-3 所示，与传统光源相比，大功率白光 LED 具有多种优点，因此应用越来越广泛。白光 LED 的优点包括高发光效率、长寿命和高可靠性。但是，大功率白光 LED 产生的热量也比传统白光 LED 更高。如果工作在极限工作温度范围以外，任何 IC 的寿命都会缩短。当芯片的结温超过特定值后，就会彻底损坏。大功率白光 LED 模组由于

是在热增强型基底上制造的，因而发热会少一些。这种基底材料改善了热性能，允许持续工作在大电流下，从而满足高亮度照明的要求。可是对于照相机闪光灯这样的应用，为避免持续工作时功耗损坏器件，则需要提供额外的热保护功能。

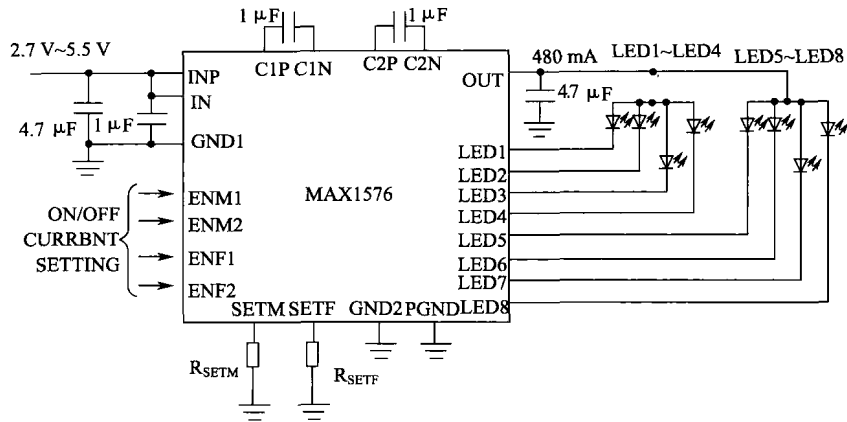


图 1-3 MAX1576 电荷泵驱动的白光 LED 电路

基于 MAX1576 的驱动大功率白光 LED 电路如图 1-4 所示，在图 1-4 中包括一款适合于照相机闪光灯应用的电荷泵调节器（IC1），该器件可以为最多 8 只白光 LED 提供电流调节。将 LED1 ~ LED8 并联可以为单功率为 1 W、型号为 LVXEONStar 的大功率白光 LED 模组提供高达 480 mA 的电流。当开漏输入 EN 被拉到低电平时，IC1 进入关断模式。

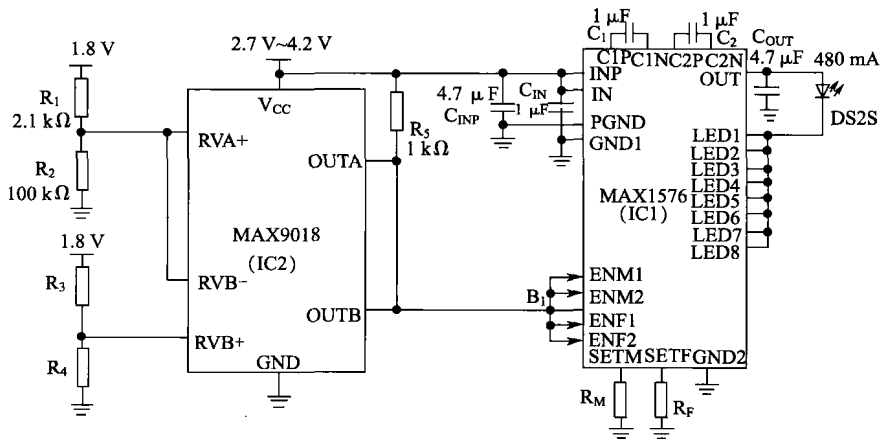


图 1-4 MAX1576 驱动大功率白光 LED 电路

可以利用一只热敏电阻和一个带内部基准的双路开漏极比较器（IC2）来构成空间紧凑和低成本的热关断电路，热敏电阻检测电压 V_{THERM} 跌落至 1.2 V 内部基准电压以下时，IC2 内部比较器 A 将 EN 拉到低电平时。当热敏电阻 R_2 温度很高时，就会执行该操作。IC2 内部比较器 B 用于提供开路失效保护功能，即当热敏电阻的接点断开时，EN 将被拉到低电平。热敏电阻发生开路故障时， V_{THERM} 被 R_1 拉高，从而使比较器 B 拉低 EN。电阻分压器 R_3 、 R_4 设定开路故障的门限电压，电阻 R_1 和热敏电阻 R_2 设置热关断门限。当温度过高以及热敏电阻发生开路或短路故障时，将关闭白光 LED。

普通驱动白光 LED 电荷泵 IC 的印制电路板（PCB）布局非常简单，但对于大电流电荷泵或管

脚数较多的电荷泵（如 MAX1576），在设计 PCB 时需要遵循以下规则。

- (1) 所有的 GND 和 PGND 管脚直接连接到 IC 下方的裸露焊盘（EP）上。
- (2) 输入、输出和泵电容最好使用电解质为 X5R 或性能更好的陶瓷电容。低 ESR 对于大电流输出、低输入、输出纹波和稳定性非常关键。
- (3) 为避免 IC 偏置电路的开关噪声，要在尽可能靠近输入和地管脚的位置放置输入电容（ C_{IN} 和 C_{INP} ），电容和 IC 之间最好没有过孔。
- (4) 如果有独立的 GND_1 、 GND_2 与 PGND 或 IN 与 INP 管脚，则 IC 包含有独立的电源和偏置输入。如果这些管脚不是紧靠在一起，则需要两个输入电容：从 PIN 到 PGND 的电容 C_{INP} 和 IN 到 GND 的电容 C_{IN} ，每个电容都要尽可能靠近 IC 放置。在这种情况下，PIN 和 PGND 应该分别接到系统电源和地层，而 IN 和 GND 则就近连接。PCB 电源线首先进入 C_{INP} 和 INP，然后通过一些过孔连接到 C_{IN} 和 IN，在 IN 端提供一定的输入噪声滤波。PGND 和 GND 通过裸露焊盘连接在一起。
- (5) 为了确保电荷泵稳定工作，需尽可能靠近 OUT 管脚放置输出电容 C_{OUT} 。 C_{OUT} 的地端接到最近的 PGND 或 GND 管脚，再是裸露焊盘（EP）。
- (6) 为保证电荷泵的低输出阻抗，泵电容（ C_1 和 C_2 ）要尽可能靠近 IC 安装。如果无法避免使用过孔，最好使其与 C_1 或 C_2 串联，而不要与 C_{IN} 或 C_{INP} 串联，因为泵电容对器件的稳定性没有影响。
- (7) 任何基准旁路电容的接地端（MAX1576 没有该管脚）或设置电阻的接地端（MAX1576 的 R_M 和 R_F ）应接 GND 管脚（与 PGND 相对），这有助于降低 IC 模拟电路的耦合噪声。
- (8) 裸露焊盘（EP）可以选择使用大过孔，有利于检查焊接点，也便于用烙铁从 PCB 上拆除 IC。
- (9) 逻辑输入可根据需要布线，与白光 LED 连接。这些引线上的过孔不会引起任何问题，因为这些输出端的电流是稳定的。但应注意，如果这些引线靠近敏感的射频电路，引线上的纹波可能会对 RF 电路产生影响。

实例 4 基于 MAX1707 驱动 LED 电路

MAX1707 为高效的 1 倍压模式、1.5 倍压模式、2 倍压模式电荷泵，MAX1707 可同时为多个显示屏、指示灯和闪光灯提供所需电源，对于需要同时为多个显示屏提供背光照明以及驱动多种指示灯的移动电话、智能电话、LED 显示器、PDA、数码相机、便携式摄像机等应用来说是一种理想选择。MAX1707 闪光灯驱动器可提供 400 mA 的驱动电流，可灵活地实现 3 路 RGB 驱动器，MAX1707 采用微小 24 管脚（4 mm × 4 mm）TQFN 封装。

MAX1707 能提供高达 610 mA 的恒定电流，为主屏背光、副屏背光（或 RGB 指示灯）和白光 LED 相机闪光灯提供完整的照明管理解决方案。通过自适应 1 倍压模式、1.5 倍压模式、2 倍压模式电荷泵和超低压差电流调节器，该器件能够在 1 节锂电池的整个输入电压范围内保持高的工作效率。1 MHz 固定开关频率允许使用非常小的外部元件，同时优化了调节方案，可确保低 EMI 和低输入纹波。内置降额功能可避免白光 LED 在高环境温度下出现过热。MAX1707 集成了一个内部可调基准，用于设置最大白光 LED 电流。MAX1707 主要技术特性如下。

- (1) 能够驱动 4 路白光 LED，每路 30 mA，用于主屏；能够驱动 3 路 LED，每路 30 mA，用于子屏或 RGB；400 mA 的总驱动电流，用于白光 LED 闪光灯。
- (2) 2 线 I²C 串行接口（简称接口）。
- (3) 5 位（32 级）线性亮度调节。
- (4) 平均变换效率（ P_{LED}/P_{BATT} ）：83%；峰值变换效率：92%。
- (5) 自适应 1 倍压模式、1.5 倍压模式、2 倍压模式切换。

- (6) 白光 LED 电流精度和匹配度典型值为 0.3%。
- (7) 低输入纹波和低 EMI。
- (8) 0.1 μA 低关断电流。
- (9) 具有输出过压保护、高温降额保护功能。
- (10) 采用薄型 24 管脚 (4 mm $\times$ 4 mm) QFN 封装。

MAX1707 器件具有的 1 MHz 固定开关频率允许使用非常小的外部元件, 同时优化了调节方案, 可确保低 EMI 和低输入纹波。内置降额功能可避免白光 LED 在高环境温度下出现过热。

MAX1707 还带有一个软启动电路, 以防止开启和模式转换时产生过大的浪涌电流, 启动时间可以是 512 μs 、1024 μs 或 1536 μs , 这取决于启动结束后所需要的工作模式 (1 倍压、1.5 倍压、2 倍压), 基于 MAX1707 驱动白光 LED 电路如图 1-5 所示。

主、副屏背光及闪光灯电流调节器的输出电流通过 I^2C 接口进行设置, 4 个主白光 LED 的电流总是相等的, 并采用同一个命令设置, 3 个副 LED 的电流则分别进行设置。当输入电压 $V_{\text{IN}} \geq 3.2 \text{ V}$, 且 $V_{\text{OUT}} = 3.9 \text{ V}$ 时, MAX1707 最大输出电流可以达到 610 mA, 其中 4 个 30 mA 电流用于主显示屏, 3 个 30 mA 电流用于副屏驱动, 另外 400 mA 电流用于驱动闪光灯。用于背光的白光 LED 需要高且稳定的输出电流, 闪光灯白光 LED 需要高压及大输出电流, 因此 610 mA 最大输出电流可以很好地满足背光及闪光灯白光 LED 对大输出电流的需求。

MAX1707 通过 I^2C 接口实现开/关控制, 并以 32 级线性方式设置白光 LED 电流。当采用 RGB 指示灯时, I^2C 接口可提供 32k 种颜色和可编程设置的上升/下降斜率。可以通过 I^2C 接口或独立的数字逻辑输入打开/关闭照相机的闪光灯, 确保 610 mA 连续驱动能力。

当输入电压高于驱动白光 LED 所需的输出电压时, MAX1707 将 V_{OUT} 拉高至与输入电压相等 (1 倍压模式), 电流调节器继续对白光 LED 电流进行调节; 当输入电压下降, 白光 LED 阴极电压低于 100 mV 转换阈值时, MAX1707 则开始转换至 1.5 倍压模式; 当输入电压 V_{IN} 上升, 并高于输出电压 V_{OUT} 时, 则由 1.5 倍压模式转换至 1 倍压模式。当 MAX1707 运行于 1.5 倍压模式并且输入电压下降, 使白光 LED 阴极电压低于 100 mV 转换阈值时, MAX1707 则转换至 2 倍压模式。然后, 随着输入电压的上升, 一旦输入电压 V_{IN} 高于输出电压 V_{OUT} 的 1.5 倍时, MAX1707 又会转向 1.5 倍压模式。

实例 5 基于 MAX8647 驱动 LED 电路

MAX8647 负电荷泵可为 LCD 显示器背光供电提供高的工作效率, 该创新型负电荷泵结构消除了从电池至 LED 之间的线路阻抗。电池放电时, 该电路延迟 1 倍压至 1.5 倍压之间的模式切换。专有的自适应模式切换技术分别对 6 路白光或 RGB LED 进行独立控制。因此, 即使 LED 正向压降 V_f 存在较大的不匹配, MAX8647 仍然能够使工作效率大幅提高 12%。这一出色的电源管理方案可用于需要较长电池使用寿命和整体照明管理的复杂手持电子设备。典型的应用包括移动电话、智能手机以及便携式媒体播放器。

设计中希望在不损失任何变换效率的前提下采用全部电池电压直接驱动 (1 倍压模式下没有压降) 白光和 RGB LED, 为实现这一目标, 采用介于电池和 LED 之间的“正”电荷泵是不可能

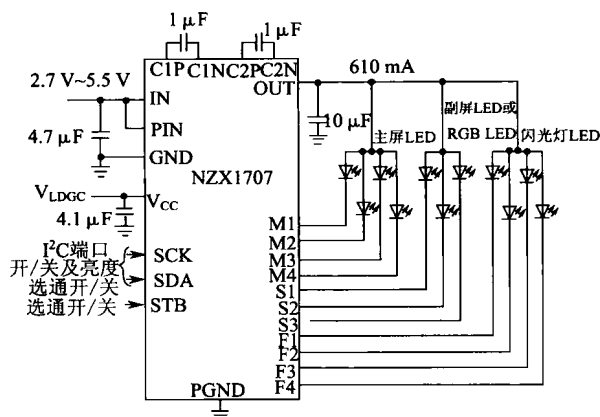


图 1-5 MAX1707 驱动白光 LED 电路

的。这一配置结构在电源回路中产生了一个额外的压降，降低了 LED 上的驱动电压。当驱动电压不足时，电荷泵打开。因此，正电荷泵开始工作的电池电压较高，降低了变换效率。

采用 1 倍压模式将延长电池的使用寿命，但要实现零压降，典型的竞争方案需要去掉正电荷泵。本案例监控所有 LED 输出，当任意一只 LED 电流低于预设值时，正电荷泵打开。当系统 LED 正向电压存在较大的不匹配时，最高 V_f 的 LED 将触发电荷泵对电池电压进行升压。这样，那些具有较低 V_f 的 LED 所对应的电流调节器将消耗额外的电压和功率。因此， V_f 越不匹配以及 LED 数目越多，功耗越大。可视电话、智能手机和多媒体播放器通常采用 5 路或更多的 LED，不匹配问题将进一步加剧功耗问题。

1. 负电荷泵和独立的 LED 切换

MAX8647 负电荷泵结构消除了电池至 LED 之间的线路阻抗，因此，当电池放电时，该器件延迟了 1 倍压至 1.5 倍压模式之间的切换。自适应切换技术分别对各只 LED 供电、调光和稳流，这一新技术的最终结果是将 LED 发光效率提高了 12%。

MAX8647 负电荷泵内置自适应模式切换，提供变换效率 12%，延长了电池使用寿命。变换效率的提高对于移动电话这类应用来说显得尤为重要，因为背光是其功率耗散的主要部分。更高的变换效率具有更长的通话时间。相应的，采用更小的电池就能实现相同的通话时间，从而降低了厂商的成本。

2. 优化的照明管理

MAX8647 的应用范围不仅包括手持电子设备，还扩展到所有的显示器背光以及通用照明管理。I²C 接口可以对各个 LED 进行控制，实现灵活的多区照明管理，支持 32 级亮度调节，或采用 RGBLED 支持 32, 768 色。70 μ A 的静态电流以及 100 μ A（最小值）的调光电流有助于实现最低功耗的“常开”TFT 显示器。MAX8647 具有高达 $\pm 1\%$ 精度的电流输出，在保证实现每只 LED 所需亮度的前提下，消耗的电池电流降到最低。MAX8647 还具有温度降额功能以及过压保护功能，可延长 LED 的使用寿命。

MAX8647 的系列产品 MAX8648 负电荷泵同样具有每路 LED 的自适应模式切换，不同的是，MAX8648 采用串行脉冲调光，将 LED 的控制分为 3 组。MAX8647/8648 采用微型 16 管脚（3 mm $\times$ 3 mm $\times$ 0.8 mm）TQFN 封装，可工作在 $-40^{\circ}\text{C} \sim 85^{\circ}\text{C}$ 的扩展级温度范围内。

MAX8647 能以恒定电流驱动 6 只白光 LED 或两组 RGB LED，适合于显示屏背光或娱乐照明等应用。通过负电荷泵和自适应超低压差电流调节器，可在 1 节锂电池的整个输入电压范围内、甚至在 LED 正向电压存在较大失配时仍然保持极高的工作效率，基于 MAX8647 驱动 LED 的典型应用电路如图 1-6 所示。

传统正电荷泵型 LED 驱动器的电荷泵位于输入电源（通常是电池）与全部 LED 之间，当输入电源下降到一定的值，导致任意一只 LED 正向压降不足时，正电荷泵打开，此时 V_f 较低的那些 LED 将消耗更多的功率。以图 1-6 中的 LED5 和 LED6 为例，假设 LED5 的正向压降 $V_{f5} > V_{f6}$ 。当 V_{IN} 下降到低于 $V_{f5} + 0.15 \text{ V}$ （电流调节器正常稳流的正向压降），整个电荷泵将切换到 1.5 倍压模式，使 V_{OUT} 提高到 V_{IN} 的 1.5 倍，保证 LED5 的完全导通，但由于传统的正电荷泵结构的电荷泵串联于 V_{IN} 和 LED 之间，无法动态切换各路 LED 的输出，那些 V_f 较低的 LED 所对应的调节器回路将消耗额外的功耗（如 LED6，其他路同理），从而降低了整个驱动器的工作效率。

MAX8647 这一新型负电荷泵消除了输入电源与 LED 之间的线路阻抗，器件所具有的自适应切

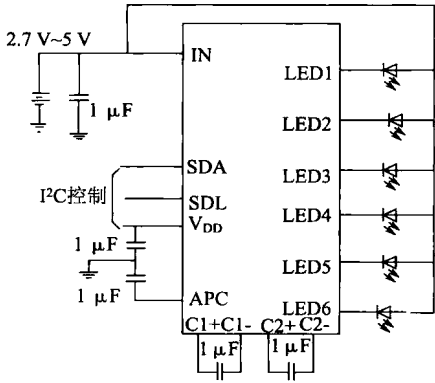


图 1-6 MAX8647 典型应用电路图

换技术可对每只 LED 进行动态切换, 对各路 LED 实现独立的供电、调光和稳流。假设图 1-6 中 LED5 的 $V_F > V_{F_c}$ 。当 V_{IN} 较高时, 负电荷泵关闭。随着能量的消耗, 当 V_{IN} 降低到 LED5 上的正向压降不足时, 器件启动负电荷泵, LED5 率先将 LED 的电流回路切换到内部负电荷泵的输出端 NEG 上, 而 LED6 仍然保持原来状态, 从而使整只 LED 驱动器的工作效率得到提高。这一独特的拓扑结构可显著提高电池寿命, 使变换效率提高大约 12%。MAX8647 与传统电荷泵型驱动 LED 的变换效率对比关系曲线如图 1-7 所示。

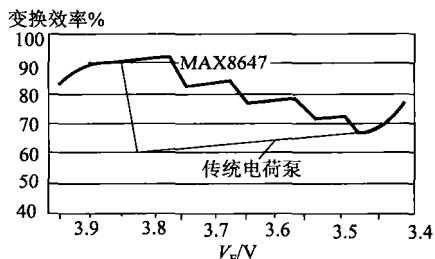


图 1-7 MAX8647 与采用传统电荷泵驱动 LED 的变换效率对比关系曲线

此外, MAX8647 还带有 I²C 接口, 可进行独立的主屏或子屏背光开启/关闭以及亮度控制; 电流可在 24 mA ~ 0.1 mA 范围内以伪对数 (Pseudo-Logarithmic) 形式分 32 级进行设置; 具有温度降额功能, 保证设定为 24 mA 满幅输出电流时的安全, 当环境温度高于 60℃ 时, 器件以 2.5%/℃ 降低电流, 以保护 LED。同时, 该器件还提供了热关断功能 (当 IC 温度超过 160℃ 时关断 IC) 以及开路 and 短路保护。

实例 6 基于 CP2128 驱动 LED 电路

CP2128 是一种低噪声、固定频率的升压型 DC/DC 变换器, 在输入电压范围为 2.7 V ~ 4.5 V 的情况下, 该器件可以产生 5 V 的输出电压, 最大输出电流达到 100 mA。CP2128 所需外部器件少, 非常适合于小型的、采用电池作为电源的应用, 可在满载至零负载时减小输出和输入波动, 并具有过热保护功能, 能够承受直接的 V_{OUT} 接地。另外, CP2128 开关频率高, 从而可以使用小巧的陶瓷电容。CP2128 的主要技术特性主要有以下几点。

- (1) 低噪声固定频率。
- (2) 自动软启动减小涌入电流。
- (3) 1.8 MHz 的开关频率。
- (4) 固定输出电压为 $5\text{ V} \pm 4\%$ 。
- (5) 无电感。
- (6) 关断状态下电流小于 $1\text{ }\mu\text{A}$ 。

CP2128 的应用领域有: 移动电话、数码相机、MP3 播放器、PDA、笔记本电脑、GPS 接收机。基于 CP2128 驱动 LED 的典型应用电路如图 1-8 所示,

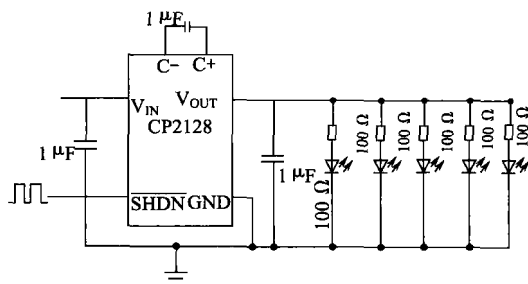


图 1-8 CP2128 的典型应用电路

从图 1-8 中可以看到, CP2128 外围元件只需要 3 个电容, 根据驱动 LED 的数目不同, 需要 1 个 ~ 5 个电阻, 与采用电感式 DC/DC 变换器构成的串联驱动电路相比, 虽然具有工作效率不高的缺点, 但是外围元件的成本和所占 PCB 面积都比较小, 是相当低成本的一种解决方案。

实例 7 基于 CP2130 驱动 LED 电路

1. CP2130 特点

CP2130 是一款并联型白光 LED 驱动芯片, 可根据电源电压和白光 LED 的导通压降, 自适应地选择 1 倍压或 1.5 倍压工作模式, 确保芯片在整个锂离子电池工作电压范围内的高工作效率。全新的 Auto-Mirror 技术, 使得各并联白光 LED 电流匹配度几乎不随白光 LED 导通压降的差别而变化。在典型情况下, 白光 LED 的电流匹配度可以高达 0.5%。CP2130 只需要 4 个陶瓷电容, 非常适合于便携式电子设备中电池电源的应用。CP2130 采用非关机模式的 PWM 调光方式, 对白光

LED 的亮度进行设置，调光频率可高达 50 kHz。同时在启动和调光模式下，CP2130 能够保证比较低的输入电流波动和低 EMI。CP2130 也具备关机模式，关机电流小于 0.1 μA 。

2. CP2130 主要技术特性

CP2130 主要技术特性有以下几点。

- (1) 驱动多达 5 只 LED，每只 LED 最大电流为 30 mA。
- (2) 电流匹配精度：0.5%（典型值）。
- (3) Auto-Mirror 技术确保在各并联白光 LED 导通压差较大的情况下的电流匹配度。
- (4) 高变换效率的 1 倍压、1.5 倍压模式，可根据输入电压和负载情况自适应切换，变换效率可高达 90%。
- (5) 支持 PWM（频率范围：0 ~ 50 kHz）亮度调节方式。
- (6) 低输入电流波动和低 EMI。
- (7) 无需外围电感。
- (8) 开关频率：1 MHz。
- (9) 具有过流保护和过热保护功能。
- (10) 工作电压范围为 2.7 V ~ 5.5 V。

CP2130 采用纤小的 16 管脚（3 mm × 3 mm）QFN 封装，基于 CP2130 驱动 LED 典型应用电路如图 1-9 所示。

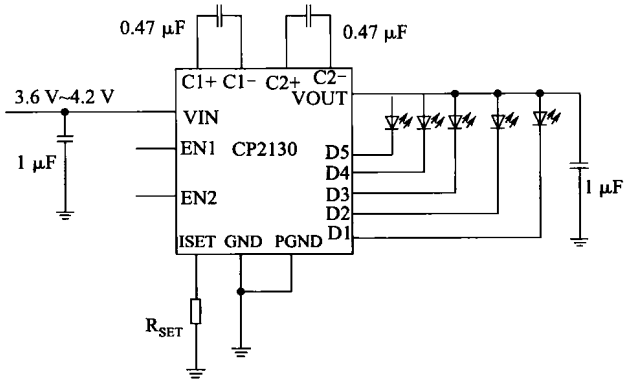


图 1-9 CP2130 驱动 LED 典型应用电路

实例 8 基于 CP2131 驱动 LED 电路

CP2131 的技术特性与 CP2130 相似，基于 CP2131 并联驱动 LED 电路要点解决两个问题是：变换效率和电流匹配。为了提高变换效率，非常有必要引入新的工作模式。在这种情况下，驱动电路所产生的输出电压不再是一个固定值，而是一个适当的并且可以驱动 LED 的电压值。一般来说，白光 LED 在工作电流为 20 mA 时，正向导通电压一般为 3.1 V ~ 3.5 V 左右。锂离子电池的额定电压为 3.6 V 或 3.7 V，充满电后的电压一般为 4.2 V ~ 4.3 V，锂离子电池允许深度放电到 2.7 V，但是在实际应用中，一般移动电话设置的强制关机电压为 3.6 V 左右（不同整机厂商设定的强制关机电压可能不同）。在电池充满电后，这个电压足以直接驱动 LED，在这种情况下，电荷泵电路不工作，电池的电压通过一个开关直接驱动 LED。而随着电池的放电，电池电压会逐步降低，当降低到一定的程度不足以直接驱动 LED 时，电荷泵电路开始工作。所以集成多种工作模式（1 倍压模式、1.5 倍压和 2 倍压模式）的电荷泵成为背光驱动的主流解决方案，并且在尽可能的情况下，让电路工作在 1 倍压的直通模式下。新推出的 CP2130/1/3 倍压工作模式电荷泵，很好的解决了这两个问题。其中 CP2130 可以最多驱动 5 只 LED，CP2131 可以最多驱动 3 只 LED，CP2133 可以最多驱动 4 只 LED。CP2131 典型应用电路如图 1-10 所示。

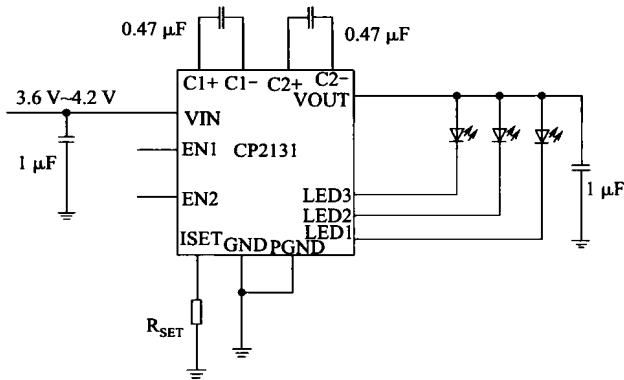


图 1-10 CP2131 典型应用电路

同样，对于电荷泵驱动电路设计而言，最关心的指标仍是工作效率和 LED 电流匹配度。提高工作效率的方法是，尽可能的使电荷泵工作在 1 倍压模式下，以在整个电池工作电压范围内提高电源转换效率。

对于关注的变换效率问题，CP2130/1/3 实现了两种工作模式自适应动态切换（即根据电池电压和 LED 实际导通压降判断），而不是固定电压点切换（只考虑电池电压），从而显著提高了变换效率。只要电池电压比 LED 的工作电压高 350 mV ~ 550 mV（根据 EN1 和 EN2 的管脚设定不同而不同）时，CP2130/1/3 就可以工作在相对变换效率较高的 1 倍压模式下。

CP2130/1/3 的工作效率曲线如图 1-11 所示，可以看到工作效率根据工作模式的不同，是一个两段的折线图，80% 的电池能量集中在 3.6 V ~ 4.1 V，在这个电压范围内可以获得平均 80% 以上的工作效率。

由于 LED 的发光亮度是和它的工作电流相关的，不一样的电流会导致显示屏的亮度不均匀。在实际应用中，对于并联驱动的 LED，由于批次的不同和个体差异，在工作电流相同的情况下，其正向导通压降不同，可能会有 50 mV ~ 200 mV 左右的电压差值，这要求在设计内部的电流控制电路时需要考虑这个差异。CP2130/1/3 采用了 Auto-Mirror 技术，可以使得各并联白光 LED 电流匹配度几乎不随白光 LED 导通压降的差别而变化。即使导通压降差为 50 mV ~ 200 mV，LED 的电流匹配度仍然可以达到 2% 以内。

实例 9 基于 CP2133 驱动 LED 电路

CP2133 与 CP2130 的技术特性相似，特别是 CP2130/1/3 采用符合 RoHS 标准的纤小 16 管脚（3 mm × 3 mm）QFN 封装，同时外围元件相当简单，只需要 4 个电容，由其构成的 LED 驱动电路占用 PCB 板面积很小，基于 CP2133 驱动 LED 的典型应用电路如图 1-12 所示。

目前，调光方式主要有两种，一种是通过改变 LED 的直流工作电流的方式来调整亮度，例如，有的芯片通过设置内部的寄存器来直接设置 LED 的直流工作电流，从而达到不同的亮度，这种方式的缺点是可能会产生色移。白光 LED 是利用蓝光 LED（管芯）所发出的短波长紫蓝光，激发涂布于输出光学透镜内壁的荧光材料，进而产生波谱较宽的白色复合光。在非额定电流工作的情况下，LED 所产生的光谱会有变化，导致最终的白光有色移。另一种方式是 PWM 调光，利用人眼的视觉暂停原理，以一定的频率和占空比来周期性的控制白光 LED 的导通电流在零电流与额定工作电流之间来回切换，从而调整亮度，这种调光方式不会产生色移。在应用时，为了确保人眼看不到 LED 周期亮灭的情况，PWM 调光的频率一般要大于 100Hz，CP2130/1/3 可以支持 0 ~ 50 kHz 的调光频率范围，这样大大方便了系统的设计。并且由于芯片优越的环路控制特性，保证了调光过程的平稳，消除了可能潜在的噪声干扰。同时对于第一种调光方法，CP2130/1/3 也设置了满量程、2/3 量程和 1/3 量

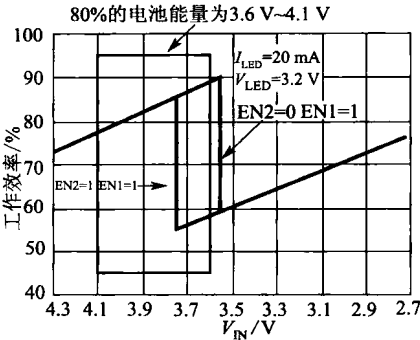


图 1-11 CP2130/1/3 的工作效率曲线

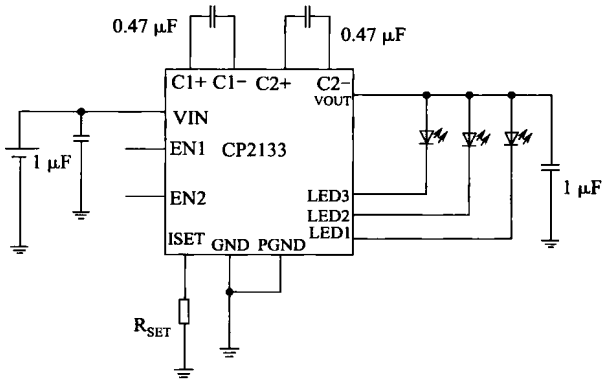


图 1-12 CP2133 典型应用电路