

LED 电源及其基本驱动电路设计

LED 供电的原始电源目前主要有三种：即低压电池、太阳能电池和交流市电电源。无论是采用哪一种原始电源，都必须经过电源变换来满足 LED 的工作条件。这种电源变换电路，一般来说就是指的 LED 驱动电路。在 LED 太阳能供电系统中，还需要蓄电池或超级电容器，用以储存太阳能。在夜晚需要照明时，蓄电池或超级电容器再通过控制电路放电，为 LED 驱动电路供电。

太阳能和风能与 LED 的结合，是 LED 应用的一大亮点，它将为第三世界的贫困和边远地区带来光明，让绿色照明的光辉照亮世界的每一个角落。

一、低压直流供电的 LED 驱动电路

1. 当输入电压高于 LED 电压时

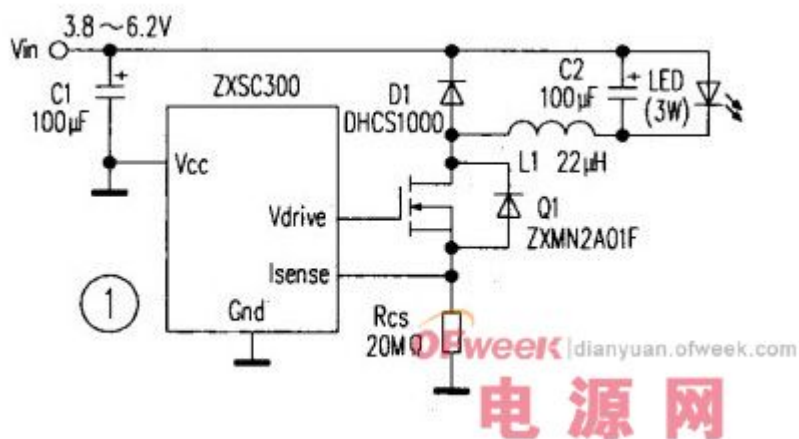
当输入电压高于 LED 或 LED 串的电电压降时，通常采用线性稳压器或开关型降压稳压器。

(1) 线性稳压器

线性稳压器是一种 DC-DC 降压式变换器。LED 驱动电路所采用的线性稳压器大都为低压差稳压器(LDO)，其优点是不需要电感元件，所需元件数量少，不产生 EMI，自身电压降比较低。但是与开关型稳压器相比，LDO 的功率损耗还是较大，效率较低。LDO 在驱动 350mA 以上的大功率 LED 串时，往往需要加散热器。

(2) 开关型降压(buck)稳压器

基于单片专用 IC 的开关型降压稳压器需要一个电感元件。许多降压稳压器开关频率达 1MHz 以上，致使外部元件非常小，占据非常小的空间，效率达 90% 以上。但这种变换器会产生开关噪声，存在 EMI 问题。图 1 所示是基于 Zetex 公司 ZXSC300 的 3WLED 降压型驱动电路。其中的 RCS 为电流传感电阻，D1 为 1A 的肖特基二极管。在 6V 的输入电压下，通过 LED 的电流达 1.11A。ZXSC300 采用 5 引脚 SOT23 封装。



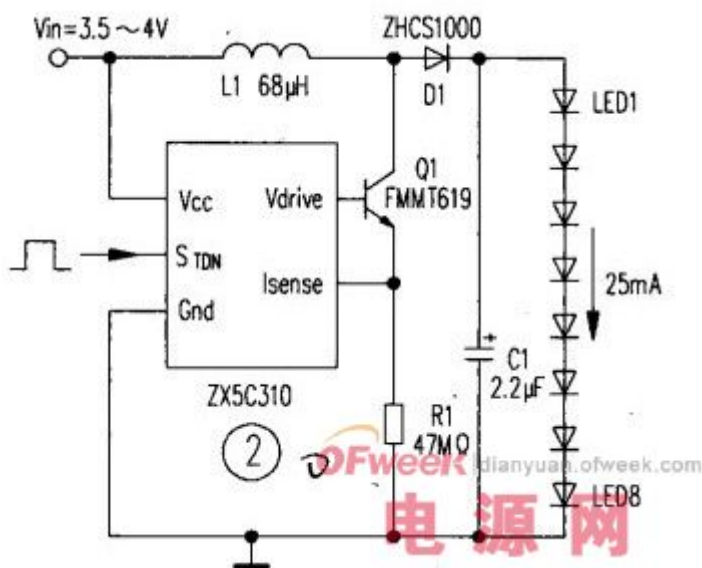
目前有很多降压变换器单片 IC 将开关 MOSFET (Q1) 和降压二极管 (D1) 也集成在同一芯片上, 使外部元件数量进一步减少。

2. 当输入电压低于 LED 电压时

当输入电压低于 LED 或 LED 串的总正向压降时, LED 需要升压型驱动电路。升压型变换器主要有以下两种类型。

(1) 电感升压变换器

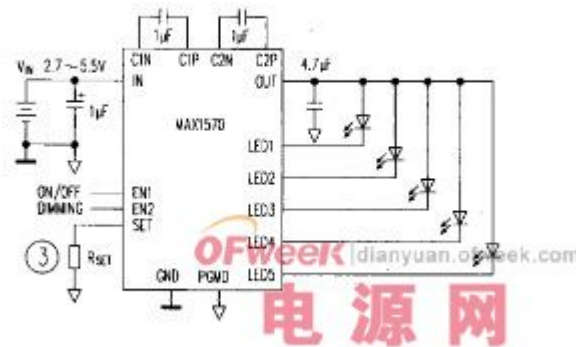
在手机背光照明中, 常使用电感升压型 LED 驱动电路。开关型电感升压变换器被用作驱动一个或多个 LED 组成的 LED 串, 通过每个 LED 的电流相等。如果 LED 串中有一个 LED 开路, 其他 LED 将会熄灭。图 2 所示为电感升压型 LED 驱动电路, LED 串由 8 只日亚化工公司的 NSPW500BS 型白光 LED 组成, 在 4V 的输入电压下, 通过每个 LED 的电流约为 25mA。



目前绝大多数升压稳压器 IC, 都将开关管集成在芯片中, 有的还集成了肖特基二极管。

(2) 开关电容(电荷泵)升压变换器

开关电容升压转换器亦即电荷泵。电荷泵专用 IC 内置切换开关, 外接 1 个或两个 $1\mu\text{F}$ 的充放电电容。电荷泵工作模式有 $1\times$ 、 $1.5\times$ 和 $2\times$, 近几年又出现了 $1.33\times$ ($4/3$ 倍) 和 $4\times$ 模式。在输出电压接近输入电压时, 电荷泵不需要升压, 即在 $1\times$ 模式工作。当需要升压时, 则切换到 $1.5\times$ 或其他工作模式。电荷泵电路可以驱动 LED 阵列, 也可只驱动 1 个 LED. 图 3 所示为基于 MAX1570 的电荷泵驱动 5 个白光 LED 的电路。MAX1570 采用 $4\text{mm}\times 4\text{mm}$ 的 16 引脚 QFN 封装, 最大厚度为 0.8mm 。MAX1570 输入电压范围为 $2.7\text{V}\sim 5.5\text{V}$, 在 1MHz 的固定频率和在 $1\times$ 及 $1.5\times$ 模式高效工作, 为 LED 提供 30mA 的恒流, LED 电流匹配精度达 0.3% , 并且 LED 电流可由单个电阻 R_{SET} 设置。可通过数字输入或 PWM 来控制 LED 亮度, 在关闭状态仅消耗 $0.1\mu\text{A}$ 的电流。



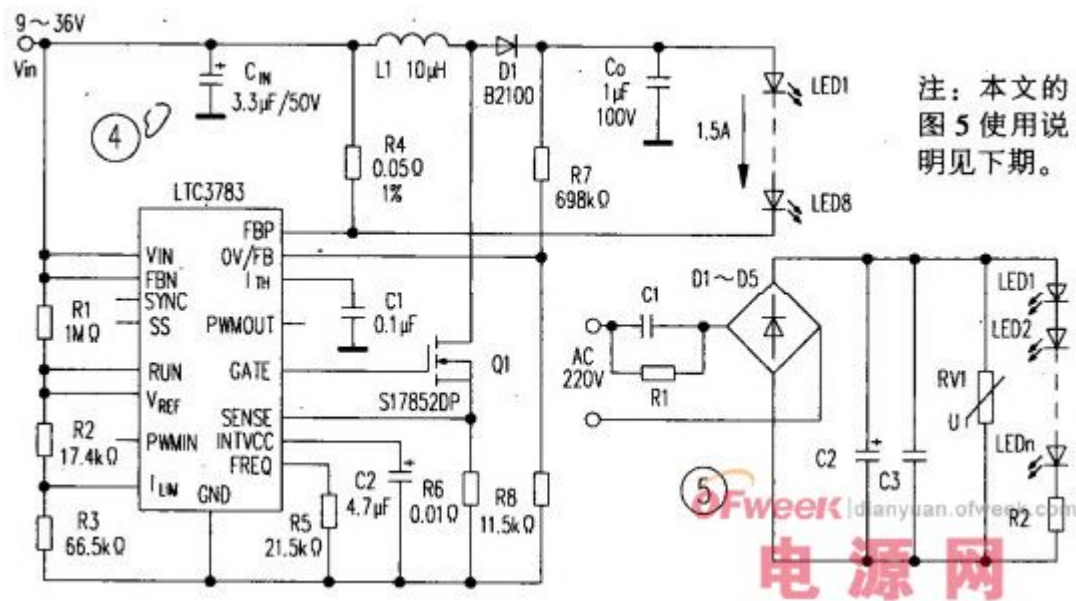
3. 当输入电压既可能高于也可能低于 LED 电压时

在输入电压既可能高于, 也可能低于 LED 或 LED 串的总电压降时, 就必须使用降压/升压变换器。基于 LTC3783 的降压/升压型变换器驱动 8 只 1.5A 串联 LED 的电路如图 4 所示。该 LED 串驱动电路的输入电压范围为 $9\sim 36\text{V}$, LED 串的总电压降范围为 $18\sim 37\text{V}$. 在 $V_{\text{IN}}=14.4\text{V}$, $V_{\text{O}}=36\text{V}$ 和 $I_{\text{O}}=1.5\text{A}$ 条件下, 输出功率为 54W , 效率达 93% . 电路的开关频率由 IC 脚 FREQ 上的

电阻 R_5 设置(频率范围为 $20\text{kHz}\sim 1\text{MHz}$), R_7 与 R_8 组成的分压器设置输出过电压保护电平, 连接在 IC 脚 FBP 与高侧线路之间的 R_4 , 用作感测 LED 电流。LTC3783 支持多拓扑结构。用其还可以构筑升压转换器和降压转换器等电路。

回扫变换器、单端初级电感变换器(SEPIC)和 CUK 稳压器等, 都可以升高或降低输入电压,

输出与输入电压在极性上可以相同或相反。每种拓扑都有独特的优势, 但效率都比降压一升压稳压器低。



二、交流市电供电的 LED 驱动电路

1. 电容降压型 LED 驱动电路

图 5 所示为电容降压型 LED 驱动电路(注：图 5 电路绘于上期本版)。图中，C1 为降压电容，R1 为泄放电阻，D1~D5 为桥式整流器，C2、C3 为滤波电容，RV1 用作瞬态过电压保护，R2 为限流电阻。在 220V50Hz 的输入电源下，通过电容 C1 的电流为 $I=69C1$ (C1 单位为 μF , I 单位为 mA)。若选择 C1 为 $0.471\mu F$, 电流约为 32mA。在此情况下，R1 值可选择 $1M\Omega$ 。

电容降压型 LED 驱动电路仅适合于小功率应用，不能提供较大的驱动电流，而且效率很低。其优点是成本低，电路简单。

2. 变压器降压 LED 驱动电路

一种采用电源变压器降压的 LED 驱动电路如图 6 所示。变压器次边输出为 12Vac, 白光 LED 的正向压降 $V_F=3.5V$, 正向电流 $I_F=350mA$ 。桥式整流滤波电压为 $12V \times 2$, 限流电阻 R1 值为

$$R1 = (12V \times 2 - 3 \times V_F) / I_F = (12V \times 2 - 3 \times 3.5V) / 350mA = 18.3\Omega$$

选择 $R1=20\Omega$ 。R1 在 350mA 下的功耗为 $0.352 \times 20 = 2.45W$, 可选择 3W 的电阻。在 $R1=20\Omega$ 下，通过 LED 的电流为：

$$I_{LED} = (12V \times 2 - 3 \times 3.5V) / 20\Omega = 323mA$$

若桥式整流器输入电压波动 $\pm 10\%$, 在 10.8Vac 下的 LED 电流为 238mA, 在 13.2Vac 下的 LED 电流则为 429mA, 导致 LED 电流变化率超过 $\pm 25\%$ 。由此可见，虽

然图 6 所示的电路比较简单，但电流调整能力很差，并且电源变压器大而笨重，不易于实现电路的小型化和轻量化。

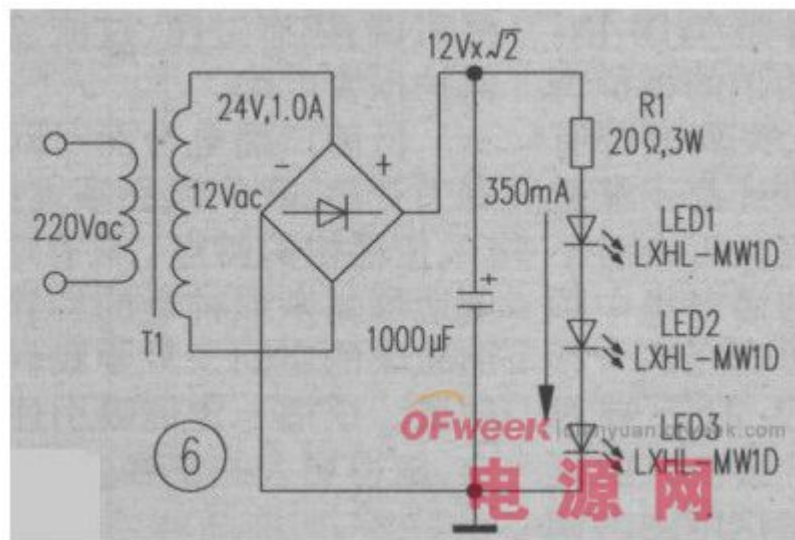
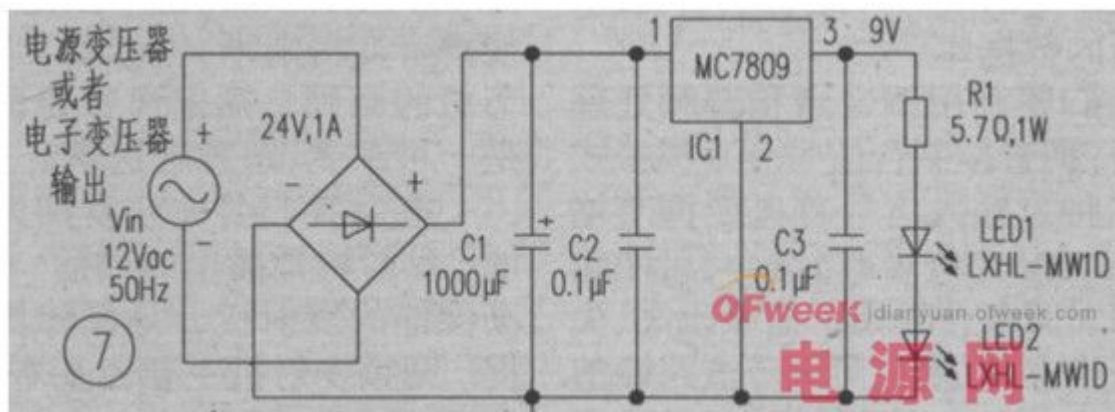


图 7 所示为采用线性稳压器 MC7809 的白光 LED 驱动电路，其 AC 输入电压 (12Vac) 为电源变压器 (或电子变压器输出)。MC7809 的 DC 输出电压为 9V, R1 值为： $R1 = (V_{out} - 2 \times V_F) / I_F = (9V - 2 \times 3.5V) / 350mA = 5.7 \Omega$ R1 消耗的功率为：

$$p = 12 \times R = (0.35A)^2 \times 5.7 \Omega = 0.698W$$

MC7809 的功耗为： $P = (12V \times \sqrt{2}) - 9V \times I_F = (17 - 9V) \times 0.35A = 2.8W$ 采用线性稳压器后，电流调整率达 $\pm 5\%$ ，但功率耗散较大，效率较低。

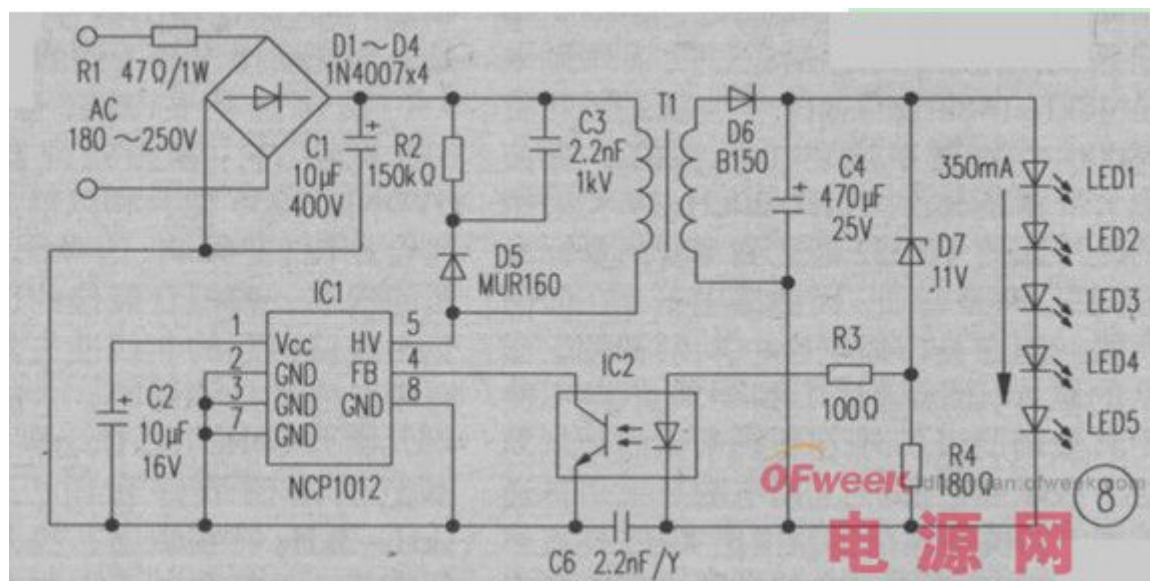


如果采用安森美公司生产的线性电流源 NUD4001 取代线性稳压器，电流调整率可低于 1%，NUD4001 的自身功耗在 350mA 下，仅为 0.875W。

3. 开关型稳压器

基于开关电源拓扑结构的离线 LED 驱动电路可以获得 80%左右的高效率，并且能提供恒流和恒压输出，但是电路比较复杂，成本较高，在有些情况下存在 EMI 问题。

图 8 所示是基于控制器 NCP1012 的回扫(反激)式变换器驱动 5 个白光 LED 的电路。该电路的输出 DC 电压为 17.5V, 输出功率为 6.125W, 效率接近 80%。NCP1012 的开关频率为 65kHz, 提供动态自供电(DSS)、过电压及短路保护和过温度保护，无需变压器提供偏置绕组。由于芯片上集成了功率 MOSFET, 使外部元件进一步减少。



为满足景观照明、工业照明和建筑照明的需要，近期出现了很多用于驱动 LED 的离线控制器芯片。由于目前手机等便携式设备已趋于饱和，LED 的应用将转向景观照明、汽车和大屏幕显示及普通照明领域。离线开关型 LED 驱动电路，将成为今后占主导地位的拓扑结构。LED 太阳能供电系统，将会有一个较大的发展。