

# 可用于多种车载照明的超亮度LED

邓隐北, 邓楚柏, 覃华, 查举

广西国昶生物能实业集团有限公司

## 1 前言

一块细小的电路板 (22×12mm), 却是一个能输出 1A 或 2.2A 恒定电流的高效率 LED 驱动器。通过一白色的 LED 矩阵能形成非常光亮的车灯照明, 或做成强光的手电筒或其他光源, 其驱动电源可采用锂离子电池组或锂针 (LiPo) 电池组。还具有亮度可控功能和闪光功能, 这是一个结构先进、配置紧凑的现代化设计。

市场上有很多的轻型车载照明和 LED 手电筒, 但其本身装配均不具备一定的优越性。接下来是选择蓄电池的问题, 可利用大容量可充电的锂离子或 LiPo 电池, 因这可延长很多的利用时数, 无需担心价高花钱多, 如果处理得当甚至可连续使用很多年的时间。此外, 还可选择 LED, 如果真正有效利用, 则可达到蓄电池的最长寿命和照明的最大亮度。还可改装发光元件以适用需求。为提高对目标物的可见度, 可采用紧密而明亮的光束或较宽的射线束, 而不是直接照射道路前方。

这块驱动电路板除用于自行车、电动车照明以外, 对大货车、卡车 (caravan) 的灯光, 对公交车辆底盘的照明、车库中大型拖车载货区的照明、或无论哪里需要光亮的照明而又未配备电源的地方, 均可以利用这块电路板解决问题。

该驱动电路板很细小, 便于隐蔽安装在任何位置, 加上电池和 LED, 还可进行遥控照明。它具有闪光模式和 2 级亮度降低的功能, 可确保电池更长的使用期限。也可构建大功率的电路方案, 以适应更大功率的 LED。

总的来说, 这是一个很有效的功率器件, 对于开关模式电源和 LED 驱动器, 也是一个极佳的熟悉途径。当设计为驱动 LED 时, 并不局限于这一作用, 只需稍加改进, 这块电路板就能成为恒定的电流源, 呈现出应用的广泛性、多样性。

## 2 工作原理

这一 LED 驱动器是电流可调节的逐步降压式 (buck step-down) DC/DC 变换器, 能按照 LED 阵列的要求, 有效地将 15~21V 的电池供电电压降低到 12V 左

右。LED 电压不直接调节, 更确切地说, 该电路力求通过 LED 阵列的电流保持在 1A, 无论要求什么电压, 实际上都不会超过输入电压的最大值。

图 1 所示为逐步降压式调节器的基本结构。开关  $S_1$  是电子式触发、快速的接通和断开, 以便控制流通电感线圈  $L_1$  的电流。当  $S_1$  接通时, 流过  $S_1$  的电流增加, 其增长率取决于  $L_1$  的电感值及其电感两端的电压。

这一电流中有一些可经负载流过; 而剩余的将对电容器  $C_1$  充电; 随着电流的流动,  $L_1$  的磁场也在充电。

当  $S_1$  断开时, 磁场开始熄灭, 且这一瞬断的电抗电流  $I_L$  持续流入负载和  $C_1$ , 尽管是以减低的速率进行。

因为电流不再绕过  $S_1$  流通, 故必然由电路接地和通过二极管  $D_1$ , 经过  $D_1$ 、 $L_1$  和  $C_1$ / 负载, 有效的形成回路, 然后再返回到接地。

这是贮存于磁场中的能量, 它使得这一有效的电路, 没有因  $L_1$  两端电压的下降而消耗变成热量; 当  $S_1$  接通时, 这个能量的大多数都贮存着, 当开关  $S_1$  断开时它即又能回收。通过对  $S_1$  工作比 (duty cycle) 的控制, 我们就能控制经过  $L_1$  的电流, 因而能控制  $C_1$  两端的平均电压。

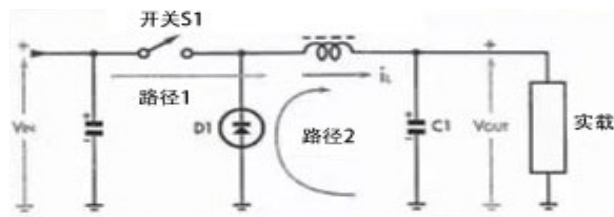


图 1: 逐步降压式调节器的基本结构

## 3 电路的描述

图 2 表示 LED 的驱动电路, 包含了 LM3409My 控制器的内部细节。在这种情况下, 图 1 所示的开关 ( $S_1$ ) 实际是 MOSFET ( $Q_1$ )。

可以看到, 来自图 1 的所有其他元件。此电路中, 在供电旁路电容器和  $Q_1$  电源 (S) 之间, 增加了一个  $0.22\Omega$

的电流传感电阻器。

$Q_1$  是 P-通道的 MOSFET, 这就意味着控制器集成电路 (IC), 通过压低 FET 的栅压至 0V, 勿需提升栅-源电压就可硬性接通。这说明, 如果蓄电池几乎全部放电, 仍然能保持 LED 可能达到的最高亮度, 而电路中由于电流传感电阻的作用其压降却是最小 (基本上约 0.25V 左右)。

$IC_1$  由引线 10 ( $V_{in}$ ) 驱动, 且有一内部的调节器 ( $V_{ccREG}$ ), 在引线 9 产生的电压标示为  $V_{cc}$ 。这是一“负的”调节器, 产生相对于  $V_{in}$  的主干电压, 低至 6V 左右。3 $\mu$ F 的外接电容器用于这一主干电压的滤波。

在内部,  $V_{cc}$  馈电至 MOSFET 的栅驱动, 且这提供的电压使 MOSFET 的栅压 (经引线 6) 降低至其接通。这给予 MOSFET-6V 的栅-源电压, 较之  $Q_1$  完全导通是绰绰有余的。为断开  $Q_1$ , 将引线 6 提升到  $V_{in}$ , 这样, 栅-源电压将降低至 0V。

这一线路图的优点是它能使  $V_{in}$  比按其他方式可得到更高的电压值。典型的 MOSFET 具有最大  $\pm 20V$  的栅-源电压额定值。如果 MOSFET 的栅压降低到 0V 并使其接通, 这将意味着  $V_{in}$  不会超过 20V。我们推荐的 5s 锂离子则具有满充电的 21V 电压, 且由于这一内部调节器。该电路至少能运行操作达到 30V。

当  $S_1$  接通时, 电流经其流通, 而电感线圈  $L_1$ , 借助 0.22 $\Omega$  电阻器两端的电压而被传感。该电阻器的两端均连接到  $IC_1$  内部的差分放大器上。调节的电流取决于电流传感电阻的阻值, 从  $I_{ADJ}$  (引线 2) 到接地的阻值。

在这一应用中, 未装设上述这一电阻器。如果电阻器装设在那一位置, 将改变 1.24V 的参照电压, 并控制着分压器 (voltage divider), 这是由标识为 ‘R’ (引线 8) 和 ‘5R’ 内部电阻器构成的。

不用外部电阻器的情况下, 在 ‘5R’ 电阻的两端呈现 1.24V 的电压, 平均的 0.248V ( $1.24V \div 5$ ) 出现在上面 ‘R’ 电阻的两端。因此, 为改变电流放大器输出的极性, 在外部传感电阻的两端必须发出同样的电压。这一设定, 峰值电流达到 1.13A ( $0.248V \div 0.22\Omega$ ), 结果导致 LED 的平均电流接近 1A。

$IC_1$  利用了调节时可控制断开时间 (off-time) 的线路图。应用标准的 PWM (脉宽调制), 施加于  $Q_1$  栅极的脉冲, 是在固定频率下有可改变的工作周期 (工作比)。通过可控制断开时间的线路图, 在每一脉冲之后  $Q_1$  以相同的时间断开; 改变接通时间 (on-time) 则可控制工作比。这一结果导

致了可变的开关频率。

这一线路图的优点是, 为防止亚谐波震荡 (sub-harmonic oscillation) 能较容易的稳定反馈回路, 因而勿需增设外部的回路补偿元件。从输出到引线 4 的 15.8K $\Omega$  电阻和从引线 4 到接地的 560pF 电容器, 将二者组合, 调整固定的断开时间至非常接近 1 $\mu$ s (微秒)。这样, 达到 50% 的工作比, 开关频率将为 500KHz 左右。

二极管  $D_1$  为 1.5A 的肖特基 (schottky) 二极管, 在 1.5A 时具有特别低的 0.43V 正向电压 (forward voltage) 其时, 效率最高。

调整在引线 1 的电阻分配器, 供输入供电的 UVLO (欠电压锁定) 的阈值 (threshold) 达到  $5V \{= 1.24V * [1 + (49.9K\Omega \div 16.5K\Omega)]\}$ 。内部切换的 22 $\mu$ A 电流源加上滞后的 363mV ( $16.5K\Omega * 22\mu A$ ), 才能使断开阈值为 5.363V。

在外部控制电路系统 (circuitry) 不再具备足够的电压来操控之前, 已选择关停该电路; 并允许利用较低电压的蓄电池和 LED。

值得期待的是蓄电池应有内置的过放电保护, 这样, 在其损耗之前将会停止馈送电流。

否则, 为保护蓄电池, 就必须改变这些分配器的值。例如, 5s 锂离子电池或锂钒蓄电池正常情况下, 每个单电池放电不应该低于 3V 或总的不能低于 15V。这样, 就能将 49.9K $\Omega$  电阻器改变成 183K $\Omega$  或 180K $\Omega \{16.5K\Omega \times [(15V \div 1.24V) - 1]\}$ 。当蓄电池压降低于 15V 时, LED 驱动将自动关闭。

#### 4 特点和技术规格

- (1) 由 5s (18.5V) 锂离子 / 锂钒蓄电池可驱动 12V 的 LED 阵列;
- (2) 操作电压为 5~25V (最低 LED 的操作电压为 +2V);
- (3) 供电电流为 1A (对 12VLED 功率 12W) 或 2.2A (对 12VLED 功率为 26W);
- (4) 可广泛多样性利用高亮度的 LED, 包括 6V 和 12V 的标准型式;
- (5) 通过按钮的通 / 断和模式的控制, 可实现 3 个亮度整定值加闪光模式;
- (6) 断开时电流小 (约 1mA 左右) 且噪音低;
- (7) 欠电压锁定 (UVLO);

- (8) 过热保护;
- (9) 高效率: 作为典型, 效率在 90% 以上。

### 5 控制电路系统 (整机电路)

IC<sub>1</sub> 的引线 3 (EN, 可启动), 是由 6 针微控制器 IC<sub>2</sub> 的 GP<sub>1</sub> 数字输出 (引线 3) 所驱动。在高位驱动下这一引线可点亮 LED, 低位驱动下则是关掉它。可通过调制 (如利用 PWM) 实现光度调整 (dimming, 调光)。

微控制器 IC<sub>2</sub> 能提供 7 种不同的运行模式: 照明的关断; 低、中、高、亮度的连续照明以及低、中、高亮度的闪光。

利用脉宽调制 (PWM) 或切换 GP<sub>1</sub> 的输出状态, 则能全部实现上述的操作模式。

板上的温度传感器 (TS<sub>1</sub>) 在引线 5 (Tovar) 有一数字输出, 反馈至 IC<sub>2</sub> 上的数字输入 GP<sub>2</sub> (引线 4)。如果板上太热 (超过 95°C) 该引线 5 则为高位驱动, IC<sub>2</sub> 引起反应即将逐级降低 LED 的亮度。

TS<sub>1</sub> 引线 3 的滞后输入 (HYST), 连接到 V<sub>CC</sub>, 以便提供 10°C 的滞后, 这样一来当传感器温度下降到 85°C, 引线 5 再次回到低位, 而 LED 亮度缓慢的斜线回升。这可防止整个装置在炎热天气运行于高亮度周期长的情况下受损。

如果传感器为 95°C, LED 阵列在超过 100°C 时很可能仍正常, 因它们 (LED 与传感器) 之间有一些距离而不是直接的导热路径。

利用外部瞬时操作的按键 S1, 可选择各种不同的模式。

S1 接到 IC<sub>2</sub> 接地 (GND) 和 GP<sub>0</sub> 数字输入 (引线 1) 之间。当按键未下压时, IC<sub>2</sub> 具有内部提升电流的功能, 以保持这一引线处于高位; 当压下按键时, 然后引线拉向低位。

低功率调节器 REG1 发出的 5V 干线电压, 驱动 IC<sub>2</sub> 和 TS<sub>1</sub>。这一调节器能承受高达 30V 的输入电压 (在此设计中, 这是一个限制因数) 能输出高达 100mA 的电流, 并具有寂静的约 1.9mA 电流。因为这不是微功率调节器, 故推荐另一个外部的功率开关, 以避免在不使用照明时蓄电池的放电。

### 6 电流输送量的增加

当这一设计的电流输出约 1A 时, 能给你提供很实用的鲜亮照明 (约 2100Lm (流明))。若经过些许改进, 则能输出比这多 2 倍以上的光通量。在正确的 LED 阵列下, 理论上的输出可达到 5000Lm 左右。

以相同尺寸的 0.1Ω、2/3W 的电阻取代 0.22Ω、0.75W 的电阻器; 平均电流将整定到 2.2A 左右。此外, 还需进行两项更替: 用同样尺寸封装的 3A 肖特基二极管更替 D<sub>1</sub>; 用 2.9A 额定电流和 4.1A 饱和电流的 DR74 电感器更替 L<sub>1</sub>。

### 7 结构

图 3 所示为实际尺寸的装配版的正反两面, 这块板很细小; 该双面板的编码为 16109191, 其尺寸正好是 22×12mm。

我们借助正规的焊烙铁 (利用标准的镊子), 制作了一

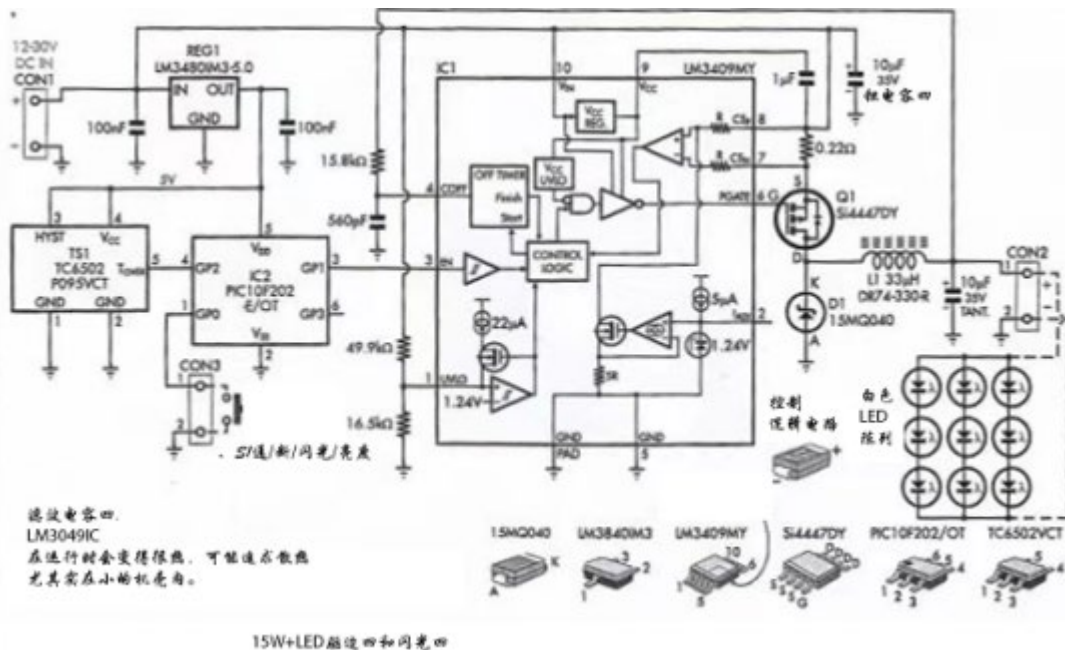


图 2: LM3409IC 的内部结构

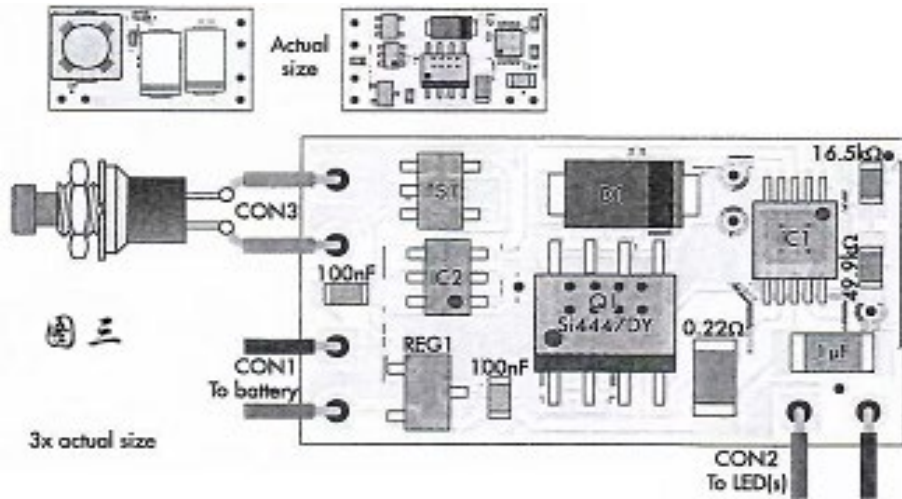


图 3 : 三倍实际尺寸的顶视图

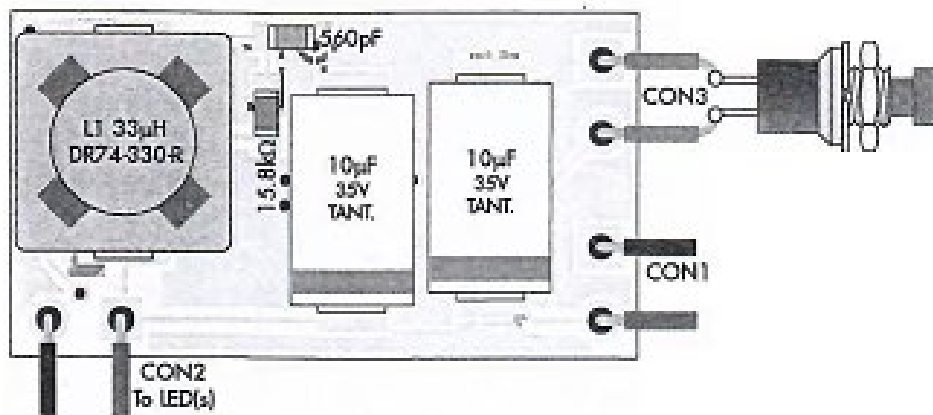


图 4 : 三倍实际尺寸的底视图

个实际尺寸的样品。这样，并不费劲，不致于要求一定的熟练技巧。IC<sub>1</sub> 离引线很近（相隔 0.5mm），而其它零件排列有序。但仍然很小，需要在放大镜下操作。

装配柜设计很小，还要尽可能多的留出剩余空间，以便将蓄电池装在照明的机壳内。

图 2 为 LM3409IC 的内部结构。这是驱动 P- 通道 MOSFET 的断开时间恒定的、开关模式电流调节器。内部的负调节 (V<sub>CC</sub>, REG) 取得引线 10 (V<sub>in</sub>) 和 5 (GND) 之间的供电源，并在引线 9 (V<sub>CC</sub>) 上产生低于 V<sub>in</sub> 约 6V 的第三干线电压。这决定了 MOSFET 栅极的低(通)电压；允许供电电压高于其栅-源电压定额。注意 V<sub>in</sub> 与 V<sub>CC</sub> 之间设有 1μF 滤波电容器，LM3409IC 在运行时会变得很热，

应要求散热，尤其是在小的机壳内。

因为 PCB（印刷电路板）如此细小（左边为同尺寸的视图），为了清晰起见，我们还展示了三倍实际尺寸的顶视图和底视图。

图 4 为 PCB 顶部和底部的 3×（倍）放大图。除确信所有焊接点均良好以外，主要任务是核对 IC<sub>1</sub>、IC<sub>2</sub> 和 Q<sub>1</sub> 的引线 1 各个圆点的定向正确，与两个 10μF 钽电容器上的线条是一致的。

原文出处: Daniel Dayle, Nicholas Vinen, Urtrabrite LED Pushbike light, 《Practical Electronics (实用电子)》2020.No9.P.16-20