

# 高性能 LED 路灯驱动电路的设计方案

沈忠德 美国国家半导体

**摘要：** 本文针对 LED 路灯的要求，提出了高性能的串行 LED 灯的实际驱动电路设计方案，通过模块设计的方法进行灵活组合、宽广的电压输入范围使其满足不同的设计要求。于此同时，文章还给出了具体参数计算及设计要点。

**关键词：** LED 路灯，驱动电路，模块设计，效率

## 1 概述

由于 LED 照明优点诸多，使其应用也更加广泛。比如 LED 路灯的应用可使其拥有长达 10 万小时的使用寿命，同时具备省电、环保无汞、体积小、响应速度快、防震、宽温等突出特点，这些都必将成为未来的路灯照明的趋势。但是，由于路灯的特殊设计，也对 LED 灯的驱动电路提出更高的要求。

## 2 设计要求

我们知道 LED 灯的亮度与电流的大小有关。不稳定的电流不仅使其亮度产生变化，也会影响 LED 的寿命。同时，为达到路灯的亮度要求，通常采用 LED 组来搭建满足要求的路灯。如：采用 1W 的 LED 灯，需要用一百颗以上的 LED 灯组成一个标准的路灯。通常采用串并联的组合来完成设计。另一方面，因为我国路灯的输入是 220 伏交流电，因此通常的做法也是采用 AC/DC 的模块，将 220AC 转换成 12/24/36/48V 的直流电压，然后通过 LED 驱动电路来点亮 LED 灯，如图 1 所示。

对于驱动电路的设计及 LED 串的配置来说，母线电压的选择至关重要。电压选择低（如 12 伏），固然对驱动电路芯片的选择会更多，但串接的 LED 个数也会少，这对同样 LED 数量的路灯设计来说，则势必会增加 LED 驱动模块，因此很不经济。另一方面，驱动电路的效率也至关重要，效率越高意味着驱动模块功耗越低，这不仅是为了省电，同时也可以减少驱动模块产生的热量。第三点就是这种配置可以方便的通过增加或减少驱动模块的数量

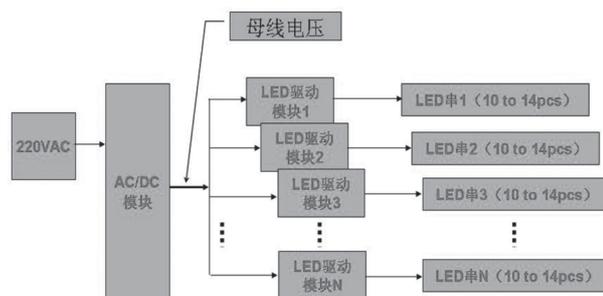


图 1

来调整 LED 灯的数量，满足不同的设计要求。本文就针对如下要求给出相应的 LED 驱动模块的设计方案。

- 48V 输入电压；
- 97% 以上的工作效率；
- 14 颗串行 LED 灯。

## 3 设计原理及分析计算

现在各厂家均有很多 LED 驱动的方案可供选择。但对于输入大于 48V 的宽范围的驱动方案来说，就显得寥寥无几了。美国国家半导体公司提供了很好的宽输入电压范围驱动 LED 方案的产品可供选择。

### 3.1 驱动芯片的选择

实际上在美国国家半导体公司的公司网站上就有 LED 的在线设计工具 (<http://www.national.com/appinfo/webench/led/pled.html>)，通过它可以很容易的找出合适的产品，并进行仿真设计。通过选择 350mA 的 LED 灯，输入电压范

围选 48V 到 60V，14 颗串行 LED 灯，可以很方便的得到 LM3402HV 芯片的推荐。实际上 LM3402HV 是一款输入电压范围为 6V 到 75V，输出电流为 500mA 的高性能 DC/DC 转换器。如需更大的输出电流，美国国家半导体还有输出电流为 1A 的产品：LM3404HV。

### 3.2 LED 驱动电路的设计及其间参数的计算

驱动电路可采用数据手册中的典型电路，见图 2。

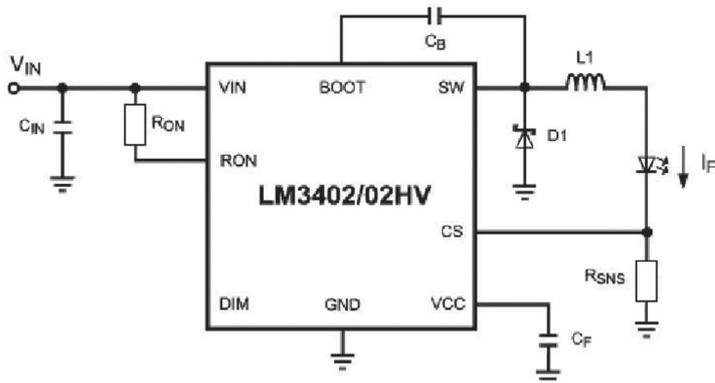


图2

LM3402HV 是一款降压 COT (Constant On-Time) 转换器。COT 控制是基于 V-S 平衡工作原理，所谓 V-S 平衡理论是指在以稳定的脉宽调制的电源电路中，电感器上在一周期内的电压平均值为零。我们知道降压转换器的结构  $D=V_o/V_{in}$  及  $D=T_{on}/T$ 。如果给定  $T_{on}$  为一常数，基于 V-S 平衡的理论， $T_{off}$  也应为一常数 ( $V_{in}$  和  $V_o$  为固定)，即  $(V_{in}-V_o) * T_{on}=V_o * T_{off}$ 。COT 转换器的优点如下：

在电感电流连续模式下，输入电压变化时，开关频率接近固定；

较 PWM 具有更快的瞬态响应；

不需要环路补偿；

外围器件非常少；

应用非常简单。

元器件的计算。假定， $V_{in}=55V$ ， $V_{out}$  为 14 颗 1W/350mA 的 LED(3.5V) 供电，电压约为 49V，则占空比  $D=49/55=0.89$ ，考虑尽可能采用最高频率使外接元器件的体积最小化。因为恒导通控制有一个最小的关断时间 300ns (见数据手册)，我们选择 30% 的余量， $300 * 1.3=390ns$ ，那么  $T=390/(1-0.89)=3545ns$ ， $F=282kHz$ ， $T_{on}=3545 * 0.89=3155ns=3 \mu s$ 。电感上的电压为  $V_L=V_{in}-V_{out}=55-49=6(V)$ ，恒导通 LED 控制的谷底电压为 0.2V，我们选择纹波电流为输出电流的 20%，则纹波电流为  $350 * 0.2=70 (mA)$ ，那

么 0.2V 对应的电流为  $350-70/2=315(mA)$ ，所以我们选择检测电阻  $R_{sns}$  为  $0.2/0.315=0.635(欧)$ ，实际可取这个值附近的电阻。另外根据  $T_{on}=3 \mu s$ ， $I_{ripple}=0.07A$ ，则  $L=6 * 3/0.07=257(\mu H)$ 。 $R_{on}=T_{on} * V_{in}/1.34E-10=3 * 55/1.34E-10=1.2(M)$ 。电压为  $V_{in} * (1+30\%)=71.5(V)$ ，电流为  $350+70/2=385(mA)$ ，可以选择 1A 以上、耐压 72V 以上的肖特基二极管即可。 $C_b$  和  $C_f$  是针对芯片内部补偿，可以直接按参数表里的典型值选取， $C_b=10nF$ ， $C_f=100nF$ 。

### 3.3 综合设计的注意要点

设计电路并不复杂，但在实际应用中还需要注意以下要点：

电流 / 温度约束驱动 LED

图 3 是典型的 LED 灯的相对亮度输出与结温的关系图，图 4 为 LED 灯的前向电流与环境温度的关系图。

温度大于 50 时如果不加限流，多数 LED 的寿命将会减少，需应用温度传感器和运放来控制 LED 正向导通电流。具体解决方案，可采用美国国家半导体公司的半导体温度传感器，如 LM94021。通过 LM3402HV 的 DIM 引脚，用 PWM 控制该引脚来达到减少 LED 灯的电流。表 1 为我国主要城市的全年的平均气温。

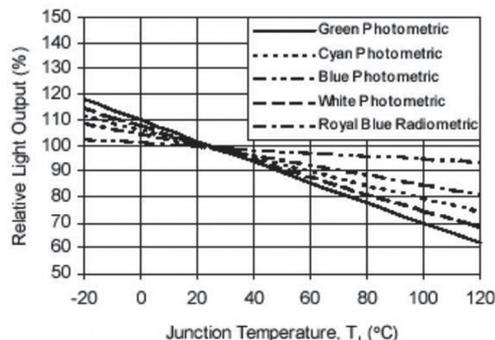


图3

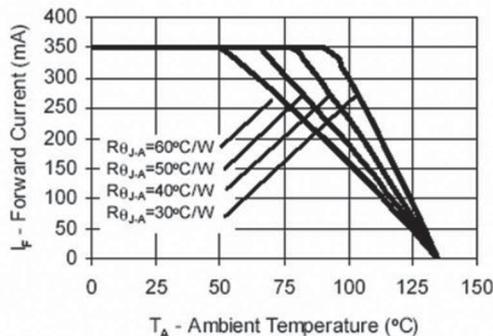


图4

表 1 中国主要大城市各月平均气温 (度)

城市月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
北京	-4.6	-2.2	4.5	13.1	19.8	24	25.8	24.4	19.4	12.4	4.1	-2.7
天津	-4	-1.6	5	13.2	20	24.1	26.4	25.5	20.8	13.6	5.2	-1.6
石家庄	-2.9	-0.4	6.6	14.6	20.9	23.6	26.6	25	20.3	13.7	5.7	-0.9
太原	-6.6	-3.1	3.7	11.4	17.7	21.7	23.5	21.8	16.1	9.9	2.1	-4.9
呼和浩特	-13.1	-9	-0.3	7.9	15.3	20.1	21.9	20.1	13.8	6.5	-2.7	-11
沈阳	-12	-8.4	0.1	9.3	16.9	21.5	24.6	23.5	17.2	9.4	0	-8.5
长春	-16.4	-12.7	-3.5	6.7	15	20.1	23	21.3	15	6.8	-3.8	-12.8
哈尔滨	-19.4	-15.4	-4.8	6	14.3	20	22.8	21.1	14.4	5.6	-5.7	-15.6
上海	3.5	4.6	8.3	14	18.8	23.3	27.8	27.7	23.6	18	12.3	6.2
南京	2	3.8	8.4	14.8	19.9	24.5	28	27.8	22.7	16.9	10.5	4.4
杭州	3.8	5.1	9.3	15.4	20	24.3	28.6	28	23.3	17.7	12.1	6.3
合肥	2.1	4.2	9.2	15.5	20.6	25	28.3	28	22.9	17	10.6	4.5
福州	10.5	10.7	13.4	18.1	22.1	25.5	28.8	28.2	26	21.7	17.5	13.1
南昌	5	6.4	10.9	17.1	21.8	25.7	29.6	29.2	24.8	19.1	13.1	7.5
济南	-1.4	1.1	7.6	15.2	21.8	26.3	27.4	26.2	21.7	15.8	7.9	1.1
台北	14.8	15.4	17.5	21.5	24.5	26.6	28.6	28.3	26.8	23.6	20.3	17.1
郑州	-0.3	2.2	7.8	14.9	21	26.2	27.3	25.8	20.9	15.1	7.8	1.7
武汉	3	5	10	16.1	21.3	25.7	28.8	28.3	23.3	17.5	11.1	5.4
长沙	4.7	6.2	10.9	16.8	21.6	25.9	29.3	28.7	24.2	18.5	12.5	7.1
广州	13.3	14.4	17.9	21.9	25.6	27.2	28.4	28.1	26.9	23.7	19.4	15.2
南宁	12.8	14.1	17.6	22	26	27.4	28.3	27.8	26.6	23.3	18.6	14.7
海口	17.2	18.2	21.6	24.9	27.4	28.1	28.4	27.7	26.8	24.8	21.8	18.7
成都	5.5	7.5	12.1	17	20.9	23.7	25.6	25.1	21.2	16.8	11.9	7.3
重庆	7.2	8.9	13.2	18	21.8	24.3	27.8	28	22.8	18.2	13.3	8.6
贵阳	4.9	6.5	11.5	16.3	19.5	21.9	24	23.4	20.6	16.1	11.4	7.1
昆明	7.7	9.6	13	16.5	19.1	19.5	19.8	19.1	17.5	14.9	11.3	8.2
拉萨	-2.2	1	4.4	8.3	12.3	15.3	15.1	14.3	12.7	8.3	2.3	-1.7
西安	-1	2.1	8.1	14.1	19.1	25.2	26.6	25.5	19.4	13.7	6.6	0.7
兰州	-6.9	-2.3	5.2	11.8	16.6	20.3	22.2	21	15.8	9.4	1.7	-5.5
西宁	-8.4	-4.9	1.9	7.9	12	15.2	17.2	16.5	12.1	6.4	-0.8	-6.7
银川	-9	-4.8	2.8	10.6	16.9	21.4	23.4	21.6	16	9.1	0.9	-6.7

### 结构布局建议

对于路灯的 PCB 布线也要十分谨慎。由于 LED 路灯通常会用多组 LED 串灯来构成,这就需要多组 LED 驱动电路组成完整的驱动电路,任何设计上的缺陷都可能导致设计失败。

图 5 的 PCB 布局是很常见的,但这可能使路灯的设计失败。这里我们重申在电源设计中的 PCB 布局规则,信号地与电源地是分开的;信号地应连到最安静的底线上;应尽可能使大的纹波电流回路最短。图 6 是 LED 路灯设计应采用的布局,在该布局中每一个驱动电路都有一个自己的输入电容,并且每个驱动电路的地都连到单一的输出

源的地上,这就大大改善了地线回路的噪声对电路的影响,同时也使驱动电路的纹波减少。

### 带电换接的问题

通常 LED 路灯的 AC/DC 电源模块是通过比较长的电缆连接到 LED 灯的驱动电路,如图 7 所示。长的电缆会产生大的漏电感,而这一漏电感会产生非常大的尖峰电压烧毁 LED 灯的驱动电路。实测该尖峰电压可达 100V 以上,并发生 LM3402HV 的烧毁。有效的解决方案就是串接小电阻及在输入端并入 TVS,同时在 LM3402HV 的 Boot 端串入阻尼电阻,很好地解决尖峰电压所带来的问题,如图 8 所示。

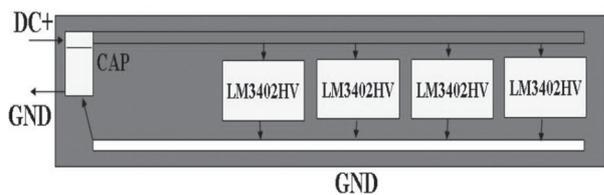


图5



图7

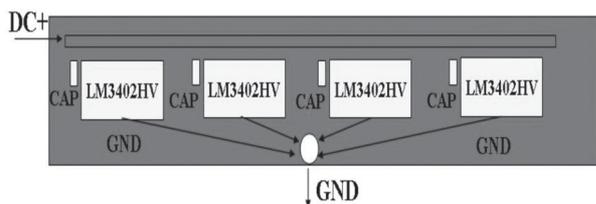


图6

#### 4 结论

采用如上所述的设计方案设计出的LED灯的驱动电路最终完全符合设计要求，完全达到环境温度从-40到45的测试要求。在48V输入14颗1W的LED灯时的驱动电路效率达到98%以上，采用LM3402HV设计的路灯产品可以完全达到路灯工业标准，如果仅采用其中一组进行设计，也可以用于室内照明。

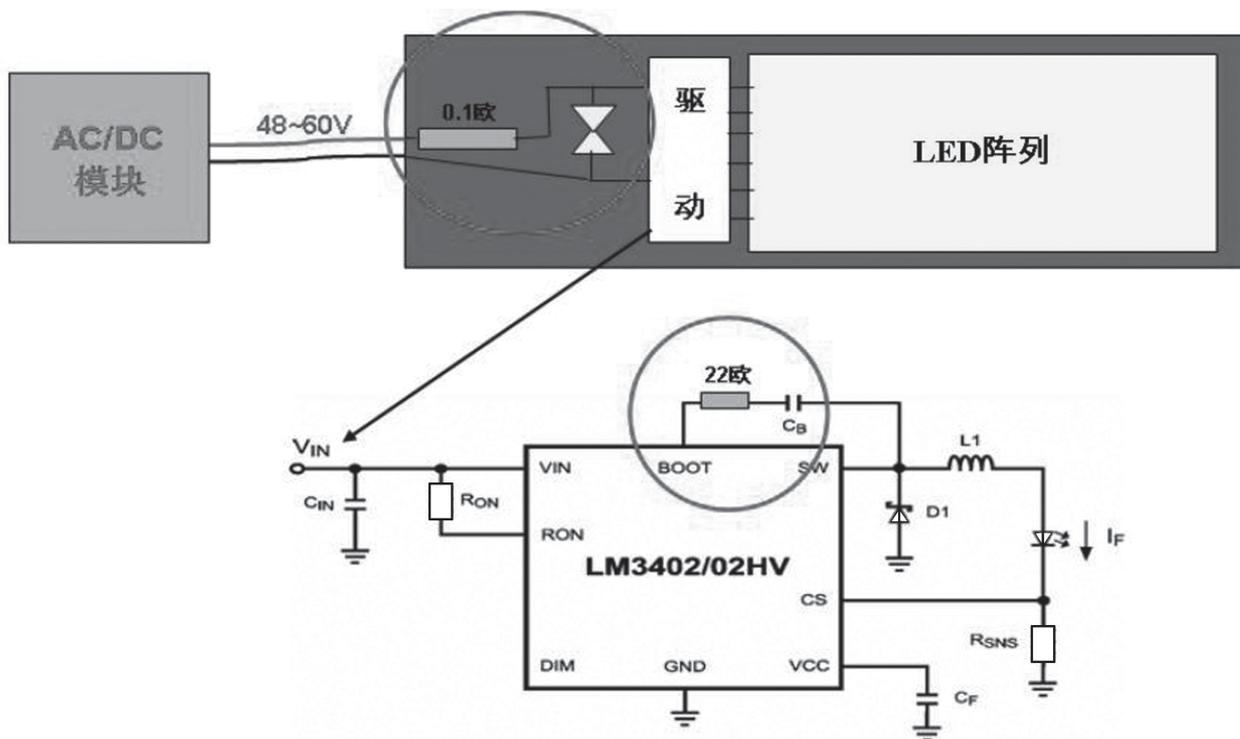


图8