

描述

EKLY42511_01_V1.0是为LY42511产品制作的演示板，用于输入电压6~25V条件下，输出350mA，700mA，1A三种规格的恒定电流。可以驱动最大6颗串连的LED灯，最高效率可以达到95%。

LY42511是降压型、PWM控制、功率开关内置的LED驱动芯片。在宽广的输入电压范围内，输出电流能达到1A。内置温度保护电路，限流电路，PWM调光电路。

LY42511效率高，可达90%以上，在输入/输出电压变化时，全电压范围输出电流变化控制在正负1%之内。由于输入电压可达25V，芯片可以驱动串接6个LED灯。

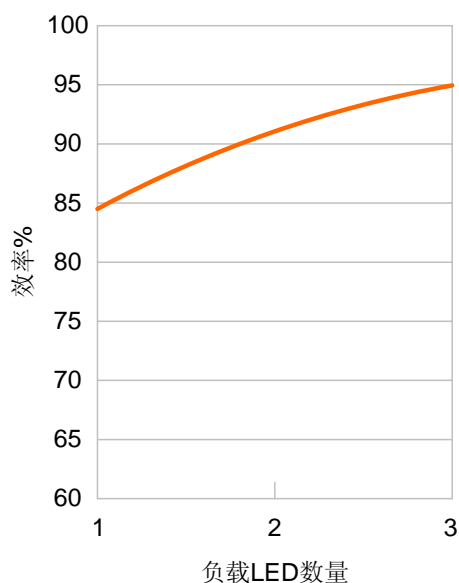
实样图


尺寸：31×27×1.5 (mm³)

评估板名称	主芯片型号
EKLY42511_01_V1.0	LY42511

主要特点

- * 最大 1A 的输出电流
- * 0.25Ω的内置功率 MOSFET
- * PWM 调光功能
- * 280kHz 的固定开关频率
- * 输入/输出电压变化时，负载电流变化范围在正负 1%之内。
- * 串接多个 LED 时，效率可以达到 90%以上。
- * 过温保护
- * 每周期的过流保护
- * 6-25V 的输入电压范围

效率曲线


12V 输入电源下串接 1~3 颗 LED 灯

电气参数

性能指标	符号	参数范围	单位
输入电压范围	V _{IN}	6~25	V
输出电流范围	I _{OUT}	0.35~1	A
转换效率	E _v	95(Max.)	%

电路拓扑分析

EKLY42511_01_V1.0 采用降压型转换器(Buck converter)电路架构驱动 Power LED，降压型转换器是最基本的电源转换器，由一个功率管、二极管、LC 滤波器与负载所组成，平均输出电压小于直流输入电压($V_{OUT} < V_{CC}$)，可提供单极性的输出电压与单相的输出电流。降压型转换器可以应用在输入与输出端不需隔离且输入电压恒比输出电压高的场合，在一般电路中较不常见，主要还是以衍生型的电路架构如返驰式、顺向式、推挽式、半桥式或全桥式转换器的应用最为普及。

应用 Buck converter 架构驱动 Power LED 之电路如图 1 所示，功率管 M1、肖特基二极管 D1、电感 L1 与负载 LED 组成 Buck 电路模型，功率管 M1 的切换则由 IC 来控制，通过 Rsense 检测电流的大小，提供控制 IC 开关功率管 M1 的依据。

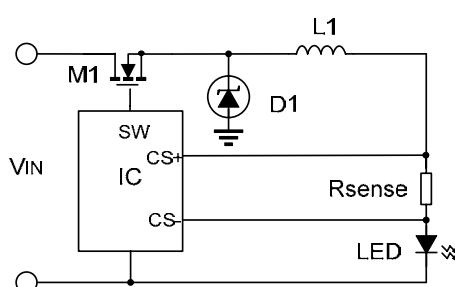


图 1 应用降压型转换器驱动 Power LED 结构

BUCK 电路的操作可分为三种模式，分别为连续导通模式、连续与不连续导通模式的边界、以及不连续导通模式。当 BUCK 电路操作在连续导通模式时，电感上的电压、电流波形如图 2 所示，在充电放电之际，电感上的电流流通方向维持不变，电流大小的变化则局限在 I_{max} 与 I_{min} 之间，电流是连续的，不会减少到零电流，另一方面，BUCK 电路操作在不连续导通模式时，电感在充电放电之后会有一段时间电流为零，才再度开始下一个充电放电周期，电流呈现不连续状态。

连续导通模式

图中 t_{ON} 为功率管 M1 导通期间， t_{OFF} 为功率管 M1 截止期间，电路工作方式如下所述。

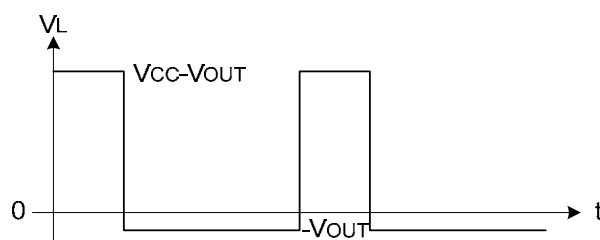


图 2 (A) BUCK 电路操作在连续导通模式时电感的电压波形

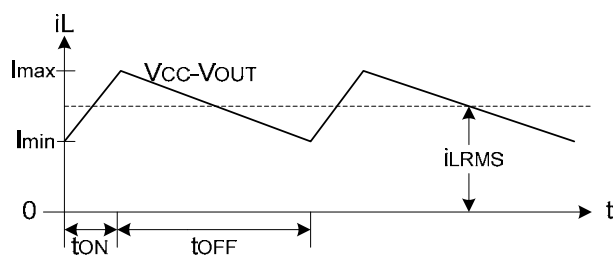


图 2 (B) BUCK 电路操作在连续导通模式时电感的电流波形

(1) 功率管 M1 导通期间(tON)

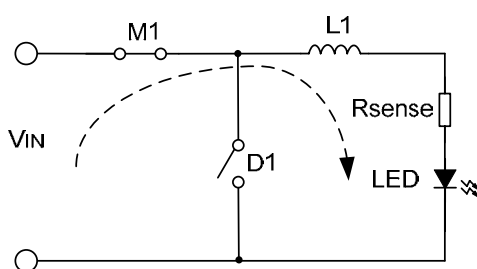


图 3 功率管 M1 导通时，VIN 通过环路点亮 LED

当功率管导通时，二极管 D1 不导通，电流回路从电源 VCC 开始，经过功率管 M1、电感 L1 以及采样电阻 Rsense 至输出负载 LED，电源 VCC 在点亮 LED 的同时，也对电感储能。

$$V_L = L \cdot \frac{di_L}{dt} \Rightarrow \Delta I_L = \frac{V_L}{L} \cdot \Delta T$$

$$\Delta I_L (+) = \frac{V_{IN} - V_{DS} - I_L \cdot (R_L + R_{sense}) - V_{OUT}}{L} \cdot t_{ON}, \text{ 其中:}$$

$\Delta I_L (+)$ 为 M1 导通期间电流增加的大小；

V_{DS} 为 M1 导通时的导通电压；

R_L 为电感的内阻；

t_{ON} 为导通时间。

(2) 功率管 M1 截止期间(tOFF)

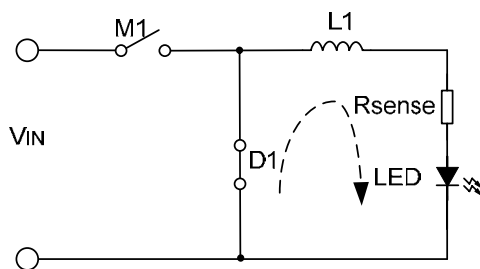


图 4 功率管 M1 截止时，由电感释放能量点亮 LED

当功率管 M1 截止时，因电感电流不能瞬间改变极性，二极管 D1 导通，通过电感 L1、Rsense 以及输出负载 LED 形成电流回路，此时电源 VCC 无法直接对输出负载提供能量，改由电感上的储能经此封闭回路释放能量，点亮 LED。此时，电感电流减小的值为：

$$\Delta I_L(-) = \frac{V_{D1} + I_L * (R_L + R_{sense}) + V_{OUT}}{L} * t_{OFF}$$

其中 V_{D1} 为 D1 的导通压降。

根据电感能量守恒定理，充电周期储存入电感的能量必须与放电周期输出至负载的能量大小相同，才能维持充放电电流波形周而复始进行下去。换句话说，在一个完整的充电放电周期结束之后，输入电感的净电流值 I_{total} 必须等于 0。即

$$\Delta I_L(+) = \Delta I_L(-)，所以可得：V_{OUT} = (V_{IN} - V_{DS}) * \frac{t_{ON}}{t_{ON} + t_{OFF}} - V_{D1} * \frac{t_{OFF}}{t_{ON} + t_{OFF}} - I_L * (R_L + R_{sense})$$

由于 $D = \frac{t_{ON}}{t_{ON} + t_{OFF}}$ ， $1 - D = \frac{t_{OFF}}{t_{ON} + t_{OFF}}$ ，可得：

$$V_{OUT} = (V_{IN} - V_{DS}) * D - V_{D1} * (1 - D) - I_L * (R_L + R_{sense})$$

由于 V_{DS} ， V_{D1} ，以及电感内阻引起的压降和采样电压较小，可以忽略，将 V_{DS} ， V_{D1} 以及 R_L 和 R_{sense} 和 R_L 忽略，可得： $V_{OUT} = V_{IN} * D$ 。此为连续模式下输入电压和输出电压的关系。

不连续导通模式

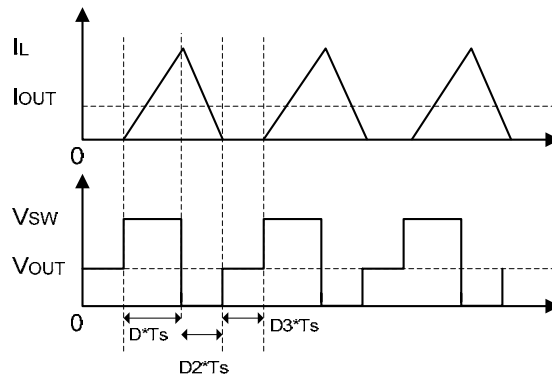


图 5 不连续状态下的电感电流和开关电压波形

电流上升的大小为： $\Delta I_L(+) = \frac{V_{IN} - V_{OUT}}{L} * t_{ON}$

电流下降的大小为： $\Delta I_L(-) = \frac{V_{OUT}}{L} * t_{OFF}$

由于两者相等，可以得到： $V_{OUT} = V_{IN} * \frac{t_{ON}}{t_{ON} + t_{OFF}} = V_{IN} * (\frac{D}{D + D2})$

输出电流大小为： $I_{OUT} = \frac{V_{OUT}}{R} = \frac{I_{pk} * D * Ts + D2 * Ts}{2 * Ts} = \frac{(V_{IN} - V_{OUT}) * D * Ts * (D + D2)}{2 * L}$

这样可以得到： $V_{OUT} = \frac{(V_{IN} - V_{OUT}) * D * Ts * (D + D2)}{2 * L} * R$

这样可以解出： $V_{OUT} = V_{IN} * \frac{2}{1 + \sqrt{1 + \frac{4 * K}{D^2}}}$ ，其中 $K = \frac{2 * L}{R * T_s}$ 这样，就可以得到输入和输出电压

的关系。

连续模式和不连续模式的判据

当 $\Delta I_L = I_o$ 时，为连续模式和不连续模式的边界。即 $\frac{V_{OUT}}{2 * L} * t_{OFF} = I_{OUT}$ ，由此时可得：

$$L_{min} = \frac{V_{OUT} * (1 - \frac{V_{OUT}}{V_{INmax}}) * T_s}{2 * I_{OUT}}$$

V_{INmax} 为输入最大电压

当电感大于此值时，系统处于连续工作模式，当电感小于此值时，系统处于不连续工作模式。

简言之，在 BUCK 电路架构之下，输入端仅在功率管导通时直接为输出端提供能量，其余时间则由电感提供。对于电感来说，是在功率管导通期间储能，截止期间将储能释放，电感的充电放电会产生锯齿状电流波形，或称作电流纹波，如图 2(B)所示的电流波形，电流波形斜率为正时是电感充电储能阶段，斜率为负时则为电感放电阶段，其纹波大小($I_{max} - I_{min}$)则受电感感值影响：

$$V_L = L \frac{di_L}{dt} \longrightarrow \frac{di_L}{dt} = \frac{V_L}{L}$$

其中， V_L 为电感两端压降， L 为电感感值， I_L 则为流经电感的电流。由上式可以知道，电感感值越大，充电放电电流斜率越小，电流纹波($I_{max} - I_{min}$)也就越小，驱动 LED 的输出电流也就越稳定。

IC 工作原理

内部框图

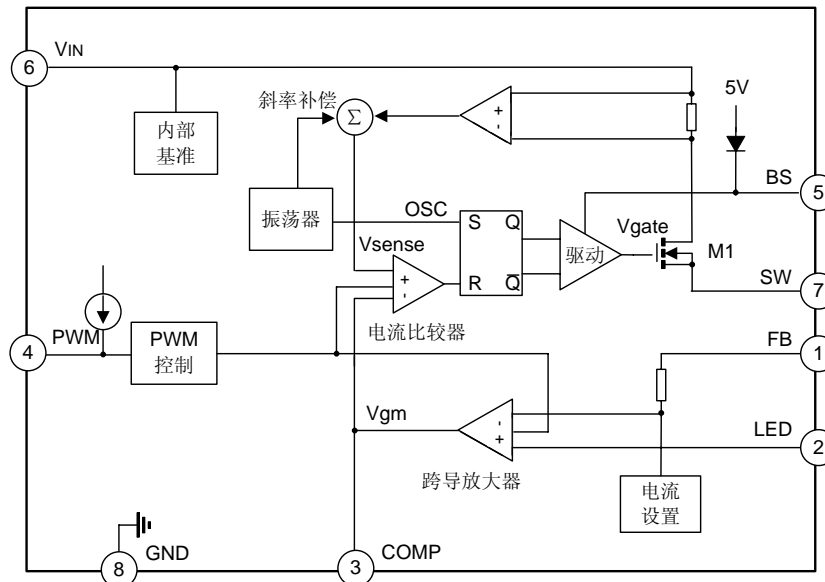


图 6 LY42511 内部框架

如图 6 所示，在一个工作周期的开始时，开关管 M1 截止，COMP 管脚电压高于电流采样放大器的输出，此时电流比较器的输出为“低”。280KHz 时钟的上升沿对 RS 触发器置位，触发器的输出将 M1 导通，连接 SW 管脚及外部电感到输入电源。电感中的电流经过电流采样放大器的采样、放大，输出叠加斜率补偿信号后与跨导放大器的输出电压由电流比较器进行比较。当前者大于后者时，RS 触发器复位，芯片回到了 M1 截止的状态。如果前者一直没有大于后者，时钟的下降沿将对 RS 触发器复位。

跨导放大器将输出电流与电流阈值相比较（电流阈值由内部设定）。当输出电流高于阈值电流时，COMP 管脚的电压变低，COMP 管脚的电压正比于电感电流的峰值，所以输出电流减小；当输出电流低于阈值电压时，COMP 管脚电压升高，输出电流增大。这样，通过环路的调节作用，输出电流稳定在设定的电流值。控制系统的波形如图 7 所示：

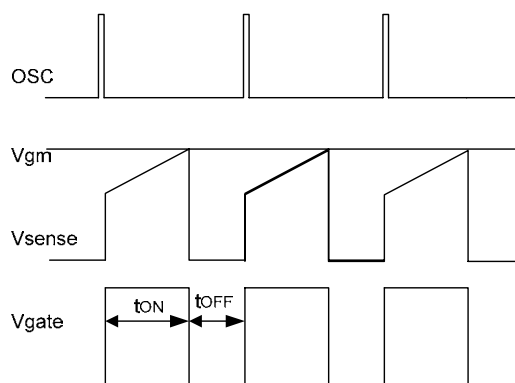


图 7 输出波形图

PWM 调光

PWM 调光是 LED 驱动芯片的一个重要功能，主要是通过外接 PWM 信号，控制驱动芯片正常工作和关断的时间，从而调节 LED 的平均电流大小。模拟调光是改变 LED 的峰值电流大小，使其平均电流改变。相对于模拟调光，PWM 调光不会产生色偏现象，而且调光比要大于模拟调光，因此目前的 LED 驱动芯片大多会采用 PWM 调光。PWM 调光主要有两种方式，一种是输出电流与外部 PWM 信号同步，外部 PWM 信号的开关可以控制 LED 上电流的通断，即输出电流的峰值大小不会改变，而 LED 上的电流在外部 PWM 控制开通时，LED 上的电流正常输出，在外部 PWM 控制关断时，LED 上不输出电流。这样通过控制 PWM 信号的占空比，可以调光。另外一种是将 PWM 信号经过滤波后变为直流信号，改变 LED 峰值电流大小，这种调光效果与模拟调光相同，在严格意义上不能称为 PWM 调光。

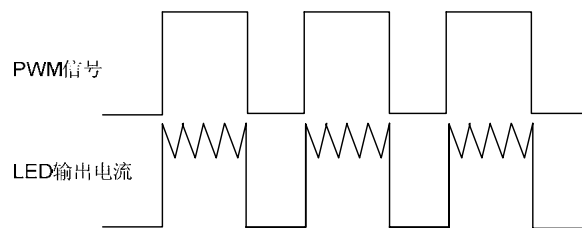


图 8 PWM 调光波形

LY42511 PWM 调光时芯片内部最小的建立时间小于 $20\mu\text{s}$ ，PWM 最高调光比可以达到 500: 1。当需要高的调光比时，调光频率推荐 500Hz 以下，调光比要求不高时，调光频率可以达到 2kHz。当 PWM 脚为低电平时，输出关断。正常情况下 LED 管脚电平保持在 2V 以上，如果 LED 漏电或者其他元器件漏电使得 LED 脚电平较低，引起 PWM 调光发生变化时，建议将输出电容增大，使得关断时 LED 脚电平不至于很低，保持 PWM 调光正常工作。

输出电流设定

输出电流大小由采样电阻和设定的电压值决定。LY42511 芯片的采样电压值 $V_{\text{FB}}-V_{\text{LED}}$ 分为两档，一档为 86mV，另一档为 81mV。通过调节采样电阻 R_s （见典型应用电路图）的大小调节输出电流。
$$I_{\text{OUT}} = \frac{V_{\text{FB}} - V_{\text{LED}}}{R_s}$$

由于采样电压小，保证了芯片工作效率的提高。

DEMO 设计指导

EKLY42511_01_V1.0 是用以驱动 Power LED 的应用，其电路架构如图所示，在低电压(6-25V)的应用时，开关功率管已包含在 IC 内部.电路主要是应用 BUCK 降压电路架构，6-25V 的输入电压可驱动一颗以上以串联方式连接的 Power LED.选用外接元件时，因不同的应用场合以及输出端特性，电阻阻值、电感感值、以及电容容值都可能不同，其选择点分述如下：

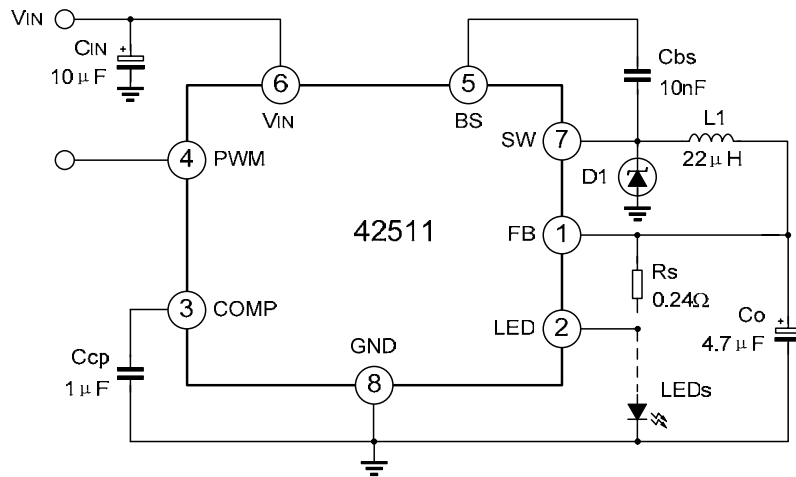


图 9 典型应用电路图

Power LED

LED 的发光亮度与驱动电流大小成正比，驱动电流越大，LED 的发光亮度也就越大，以 LumiLED 系列为例，其发光亮度与驱动电流的关系如图 10 所示：

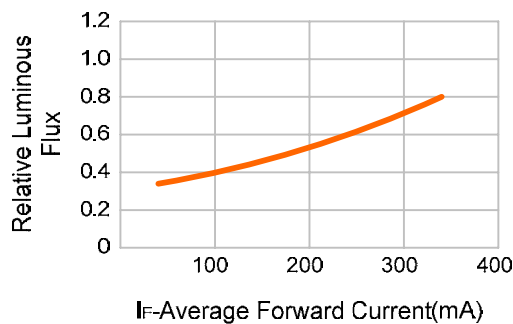


图 10 Power LED 发光亮度与驱动电流大小的关系

另一方面，LED 顺向导通时，其顺向电压大小 V_F 会随着顺向驱动电流的增加而提高，如图 11 所示：

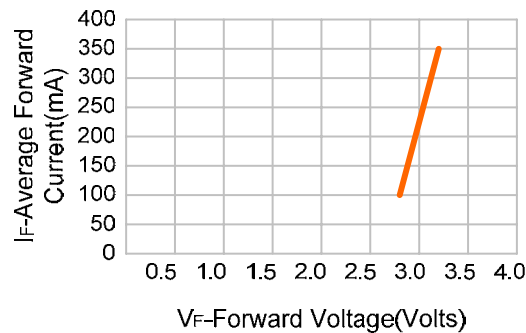


图 11 LED 正向电压与其驱动电流的关系图

除了驱动电流大小以外，LED 的正向电压大小 V_F 也会随着结面温度提高而下降，以 LumiLED-DS47 系列为例，在驱动电流为 350mA 的条件下，结面温度每提高 1°C ，正向电压 V_F 就会降低 2mA。

以 Quantum 的 LED 为例，在驱动电流 350mA 的条件下，测量驱动一颗以上串联连接的 LED 所需的输入电压，LY42511 可以提供以下数据作为参考：

白光 LED 串联个数	V _{IN} (V) @ I=350mA	V _{IN} (V) @ I=700mA
1	4.5	4.5
2	7.6	8
3	11.5	12
4	15	16
5	18.5	20
6	22.5	24

条件：1. $R_{\text{sense}}=0.24\Omega$ (350mA)； $R_{\text{sense}}=0.24\Omega$ (700mA) $L=22\mu\text{H}$ ；

2. LED 正向压降 $V_F=3.3\text{V}$ (350mA)； $V_F=3.4\text{V}$ (700mA)；

3. 由于芯片的最大工作电压在 25V，所以最大串接 LED 的颗数为 6 颗。

4 另外，由于不同厂家的 LED 的 V_F 会有不同，一般 3W 的 LED 的 V_F 值比 1W 大，如果 LED 的 V_F 过大时，根据 buck 原理，LY42511 有可能在 24V 下驱动不了 6 颗串接的 3W LED。

输入电容选择

输入电容在功率管导通的时候提供脉冲电流，功率管截止的时候电源对电容充电，由此来保持输入电压的稳定性。输入电容建议使用大于 $10\mu\text{F}$ 的电容，这样可以更好的减小从输入源抽出的峰值电流并且减小输入开关噪声。布板时输入电容尽可能离输入脚近一些。

输出电容选择

在 LED 两端并联一个电容可以减小输出电压纹波，从而减小 LED 的纹波电流，当然这个电容并不会影响工作频率和效率，但是通过减小 LED 上电压上升的速率，会增加启动时间。输出电容越大，LED 上的电流纹波越小。这里建议使用 $4.7\mu\text{F}$ 的电容。

电感选择

电感用于维持输出电流的恒定，电感值越大，输出电流纹波越小，但是物理尺寸越大，串联电阻越大。选取的电感电流的有效电流（RMS current rating）需要大于最大输出电流，饱和电流要比最大输出电流高 30%，为了提高效率，电感的串联电阻（DCR）要小，应该小于 0.2Ω 。

$$\text{电感值与纹波的关系: } L = V_{\text{OUT}} * \frac{V_{\text{IN}} - V_{\text{OUT}}}{V_{\text{IN}} * f * \Delta I}$$

其中：L：电感大小

f：振荡频率

ΔI 为纹波电流

选取电感时，考虑几种因素的集合，选取合适的电感。

当输出电流小于 700mA 时，可以使用 22 μH 的电感，随着输出串接 LED 个数增大，建议将电感值增大，输出电流 1A 时，建议使用 47 μH 的电感。

二极管选择

LY42511 是非同步的降压型调节器，所以需要二极管在功率管截止的状态下提供续流。由于肖特基二极管正向导通压降小，反向续流时间短，所以一般用于续流。在功率管导通过程中，二极管要承受高压，所以选择的二极管反向耐压必须大于输入电压。

流过二极管的平均电流 I_D 为：

$$I_D = (1-D) * I_{\text{LED}}$$

I_{LED} 为 LED 上的电流

当输入电压较大时，占空比较小， I_D 变大，所以选取的续流二极管的最大电流要比输出电流要大。

采样电阻设定

输出电流大小由采样电阻和设定的电压值决定。芯片的采样电压值 $V_{\text{FB}} - V_{\text{LED}}$ 分为两档，一档为 86mV，另一档为 81mV。通过调节采样电阻 R_S （见典型应用电路图）的大小调节输出电流。

$$R_S = \frac{V_{\text{FB}} - V_{\text{LED}}}{I_{\text{OUT}}}$$

V_{FB} 为 FB 脚的电压； V_{LED} 为 LED 脚的电压， I_{OUT} 为 LED 上流过的电流。

评估板原理图

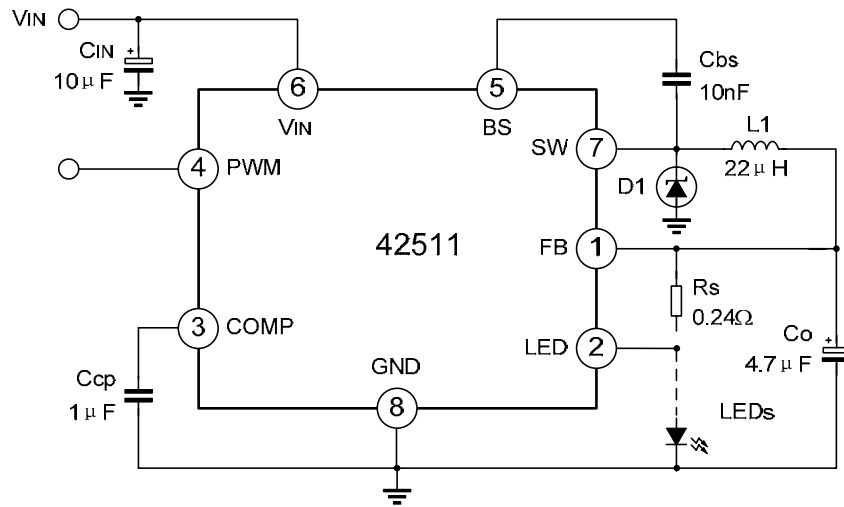
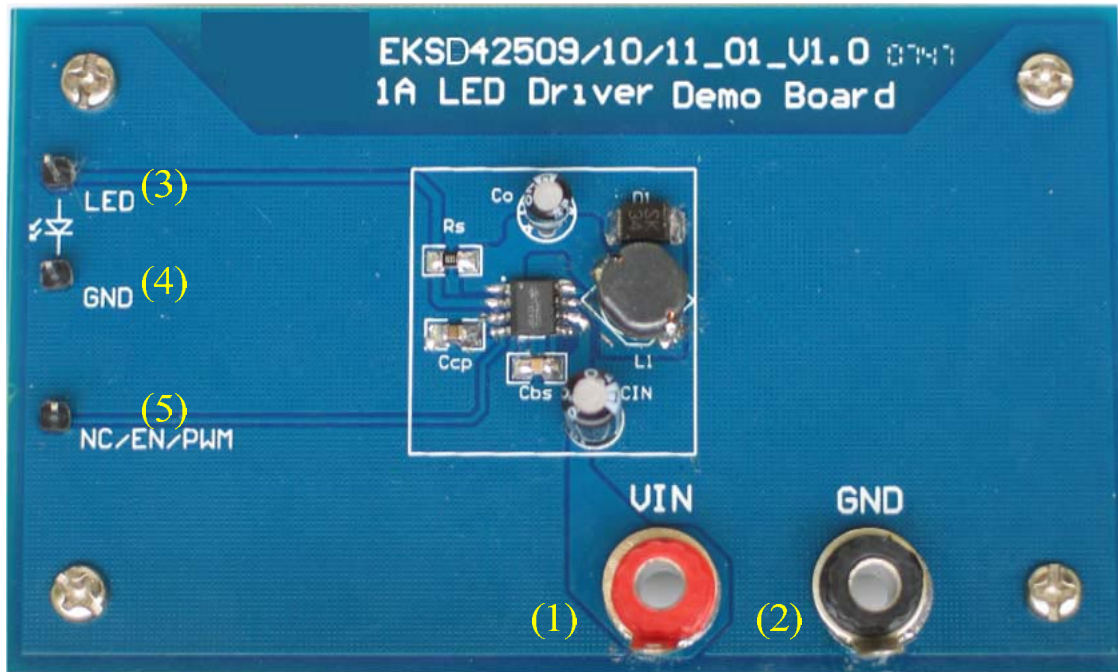


图 12 DEMO 板应用电路图

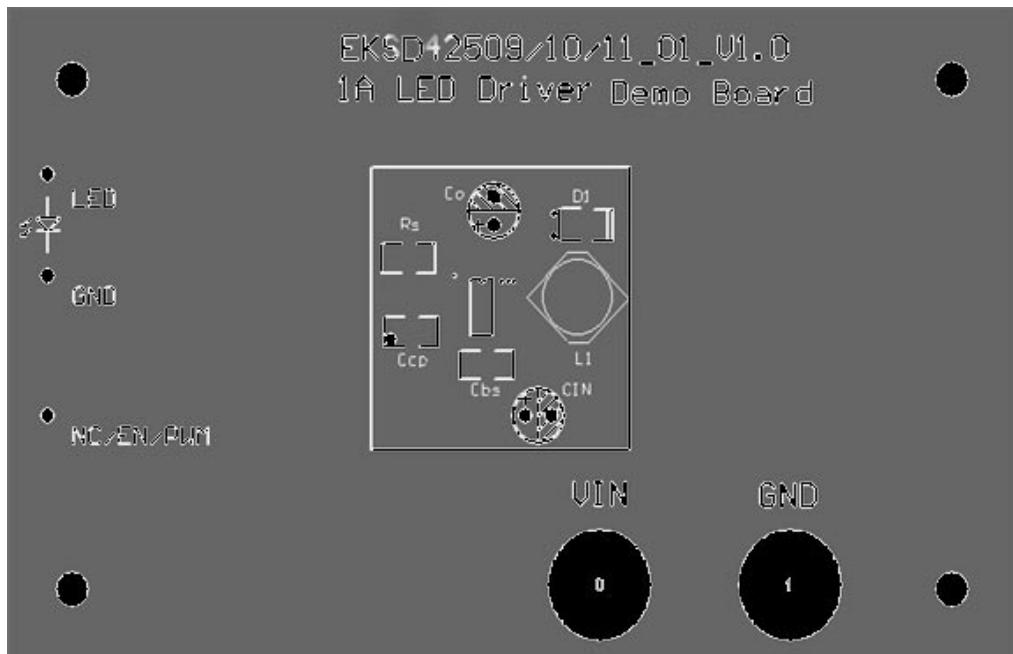
元器件清单

数量	名称	参数值	封装形式	描述
1	Rs	0.24	0805	-
1	Ccp	1µF	0805	10V 耐压
1	Co	4.7µF	0805	50V 耐压
1	CIN	10µF	0805	50V 耐压
1	Cbs	10nF	0805	50V 耐压
1	L1	22µH/47µH	SMD	110mΩ 内阻
1	D1	5819/5822	SMA	2A/3A
1	-	LY42511	SOP8	主控 IC

PCB 图纸

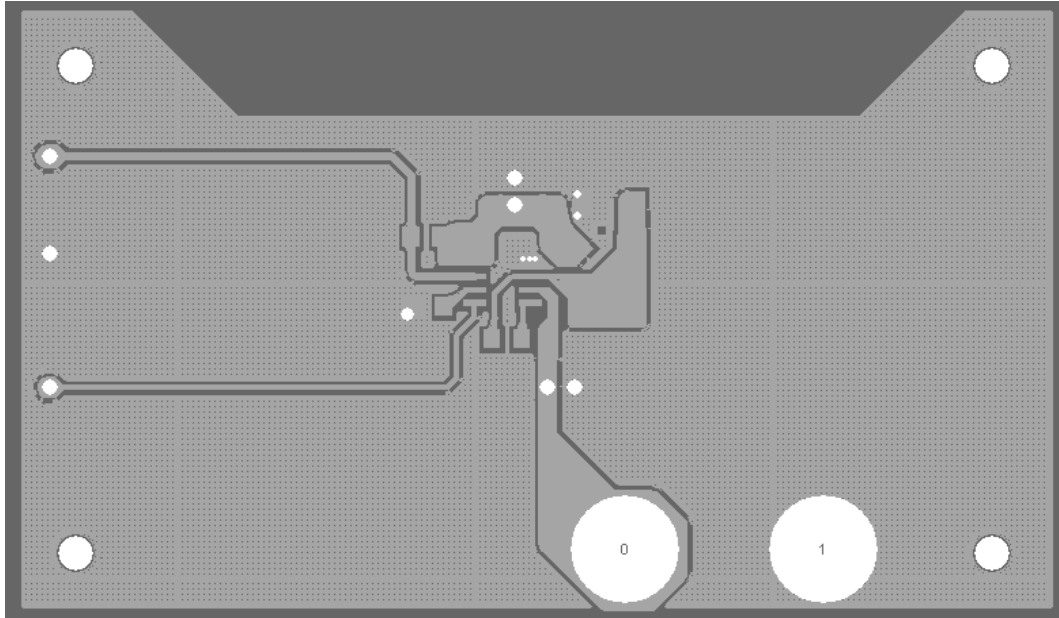


实体图

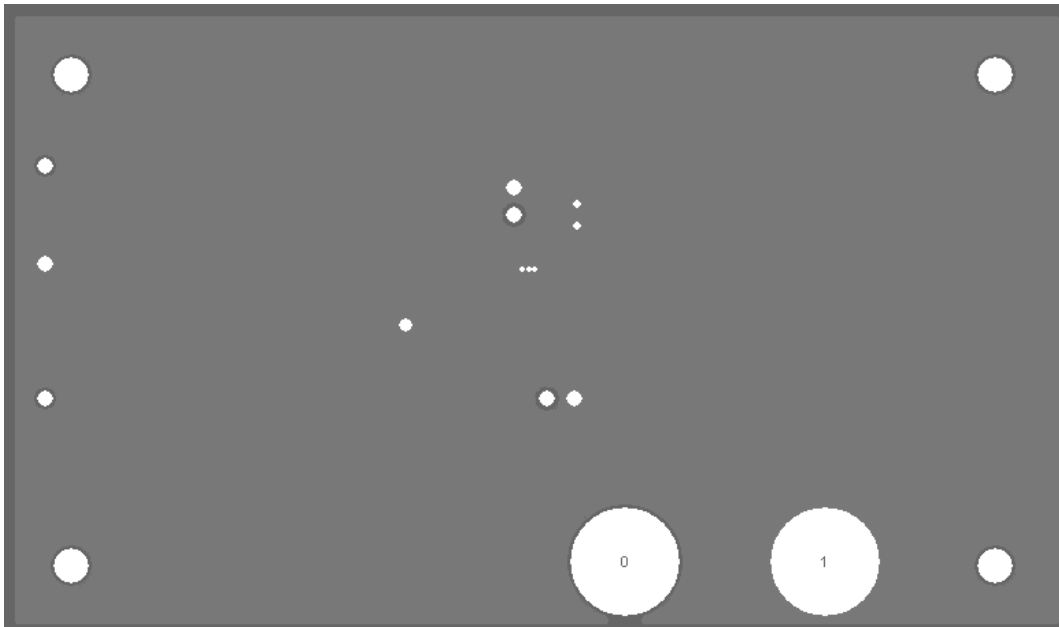


标识层

PCB 图纸 (续)



顶层



底层



使用说明

● 接口描述

1. VIN(1)/GND(2)接线柱分别接输入电源/输入地线。
2. LED(3)/GND(4)接线柱分别接负载 LED 正/负极。
3. PWM(5)为 PWM 调光输入端。

● 使用条件

1. VIN 最大为 25V，使用时请不要超过安全工作电压。
2. 负载串接 1~6 颗 LED 灯。

● 使用步骤

1. 根据所需要的电流选择合适的采样电阻。
2. 根据负载以及输出电流选择合适的外围元器件。
3. 连接负载 LED 灯，注意灯的正负极。
4. 确认无误后给 VIN 供电；
5. 可通过 PWM 脚调节输出端电流大小，PWM 调光频率请选择在 100Hz~2KHz 之间，PWM 高电平请限制在 5.5V 以下。

● 注意事项

1. 功率回路环路面积要尽量小，连线要短，尽可能粗。
2. 输入电容尽量靠近输入脚和地脚。
3. 地线最好做成地平面