

## Hi5001 高精度无频闪调光降压、升压、升降压 LED 恒流驱动器

### 1. 特性

- 支持降压、升压、升降压拓扑
- 支持 100: 1 的 PWM 转模拟调光比
- 支持 10000: 1 双路混合调光
- 支持 10: 1 模拟调光
- 工作电压范围 6.5-75V
- 固定工作频率 130KHz
- 支持软启动
- 支持欠压保护
- 支持输出过压保护
- 转换效率>95%
- 负载调整率 $\leq\pm 0.5\%$
- 低待机功耗
- 真正无频闪调光
- 支持最大输出电流设置
- 支持调光频率超过 32K
- 支持 PWM 转模拟/模拟调光/PWM 调光
- 内置 80V LDO 供电
- 恒流精度 $\leq\pm 3\%$
- 支持过温降电流
- 内驱 200m $\Omega$ /100V 的 MOS
- 封装: QFN16\_4X4/HTSSOP16

### 2. 应用领域

- 0~10V 调光
- Dali 调光
- 智能照明
- 医疗照明

### 3. 说明

Hi5001 是一款外围电路简洁的宽调光比无频闪调光 LED 恒流驱动器, 支持降压、升压以及升降压拓扑的应用, 适用于 6.5-75V 输入电压范围的 LED 恒流照明领域, 调光深度深, 低辉负载调整率和一致性好。

Hi5001 采用我司专利算法, 可以实现高精度的恒流效果, 输出电流恒流精度 $\leq\pm 3\%$ , 负载调整率 $<\pm 0.5\%$ , 可以轻松满足宽输入输出电压的应用需求, 全程调光无频闪。

芯片支持 PWM 转模拟调光, 支持 PWM 调光, 当需要更深调光比, PWM 转模拟调光和 PWM 调光配合使用, 可以达到 10000: 1 调光比; 此外芯片 LD 脚支持 0.2V 到 2.5V 的模拟调光, LD 端口接电容到地, 可以设置软启动时间。

DIM、PWM、LD、UVLO 管脚内置上拉, VFB 管脚内置下拉, 不使用时可以悬空。

芯片的输出电流通过 ISENSEN 对 ISENSEP 端口的检流电阻来设定, 支持降压共阳接法。

支持过温降电流、过流保护、输入欠压保护和输出过压保护。

## 4. 芯片选型及订购

型号	输出电流	驱动方式	封装形式	最高耐压	包装	数量(颗/盘)	订购号
Hi5001Q	≤1.5A	内置 MOS	QFN16_4X4	100V	编带	4000	Hi5001QQNG4AEXX
Hi5001H	≤1.5A	内置 MOS	HTSSOP16	100V	编带	4000	Hi5001HHP16AEXX

## 5. 管脚配置

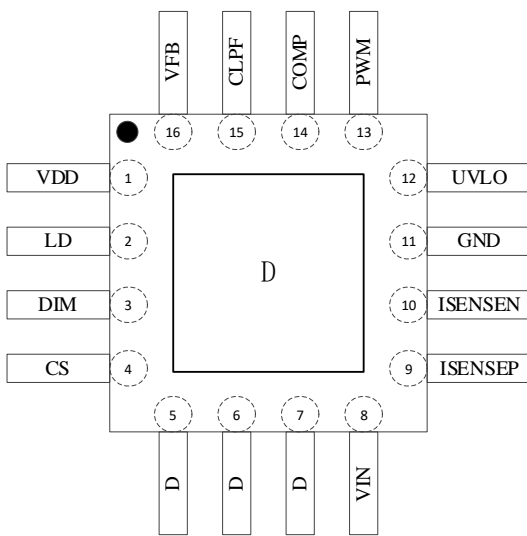


图 5.1 Hi5001Q (QFN16\_4X4) 管脚

编号	管脚名称	功能描述
1	VDD	内部电源
2	LD	模拟调光
3	DIM	PWM 转模拟调光
4	CS	逐周期限流
5,6,7,EP	D	功率 MOS 的 DRAIN 端输出
8	VIN	芯片高压供电输入
9	ISENSEP	电流检测正极
10	ISENSEN	电流检测负极
11	GND	芯片地
12	UVLO	欠压保护设置
13	PWM	PWM 调光
14	COMP	环路补偿
15	CLPF	基准滤波电容
16	VFB	过压保护设置

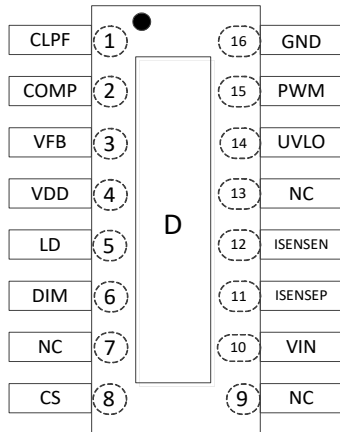


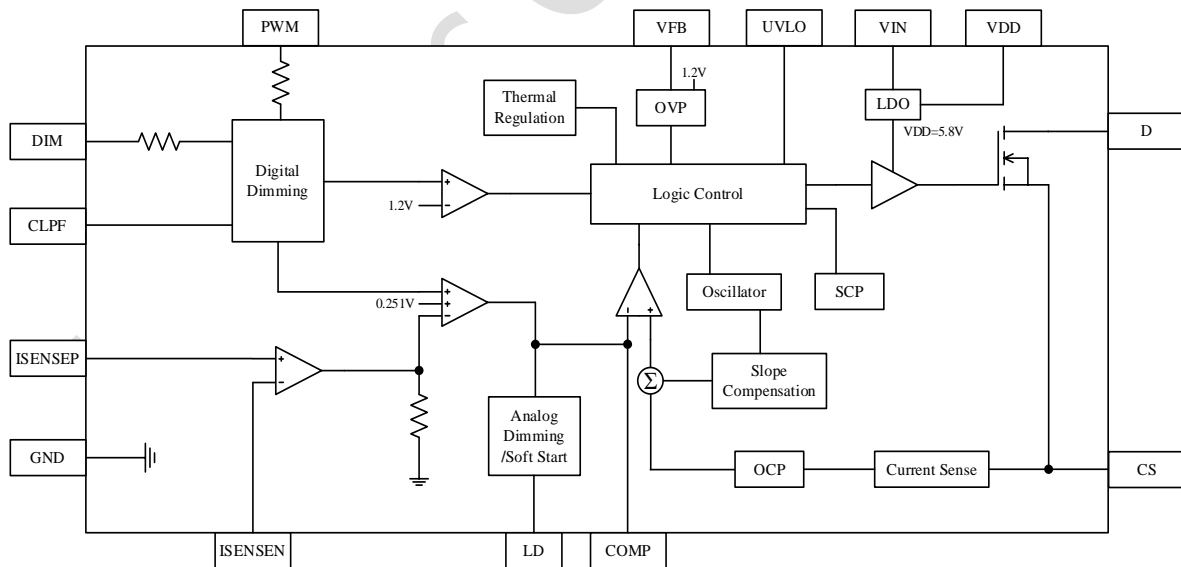
图 5.2 Hi5001H (HTSSOP16) 管脚图

编号	管脚名称	功能描述
1	CPLF	基准滤波电容
2	COMP	环路补偿
3	VFB	过压保护设置
4	VDD	内部电源
5	LD	模拟调光
6	DIM	PWM 转模拟调光
7,9,13	NC	悬空
8	CS	逐周期限流
10	VIN	芯片高压供电输入
11	ISENSEP	电流检测正极
12	ISENSEN	电流检测负极
14	UVLO	欠压保护设置
15	PWM	PWM 调光
16	GND	内芯片地
EP	D	功率 MOS 的 DRAIN 端输出

## 6. 极限工作参数

符号	说明	范围	单位
VIN	外部供电输入	-0.3~80	V
ISENSEP	输出电流检测正极	-0.3~80	V
ISENSEN	输出电流检测负极	-0.3~80	V
CS	CS 管脚耐压	-0.3~60	V
D	功率 MOS 的 DRAIN 端输出	100	V
其余管脚	VDD、UVLO、VFB、LD、COMP、CLPF、DIM、PWM	-0.3~6	V
TSTG	存储温度	-40~150	°C
TA	工作温度	-40~130	°C
ESD	HBM 人体放电模式	>2	KV

## 7. 结构框图



## 8. 应用电路

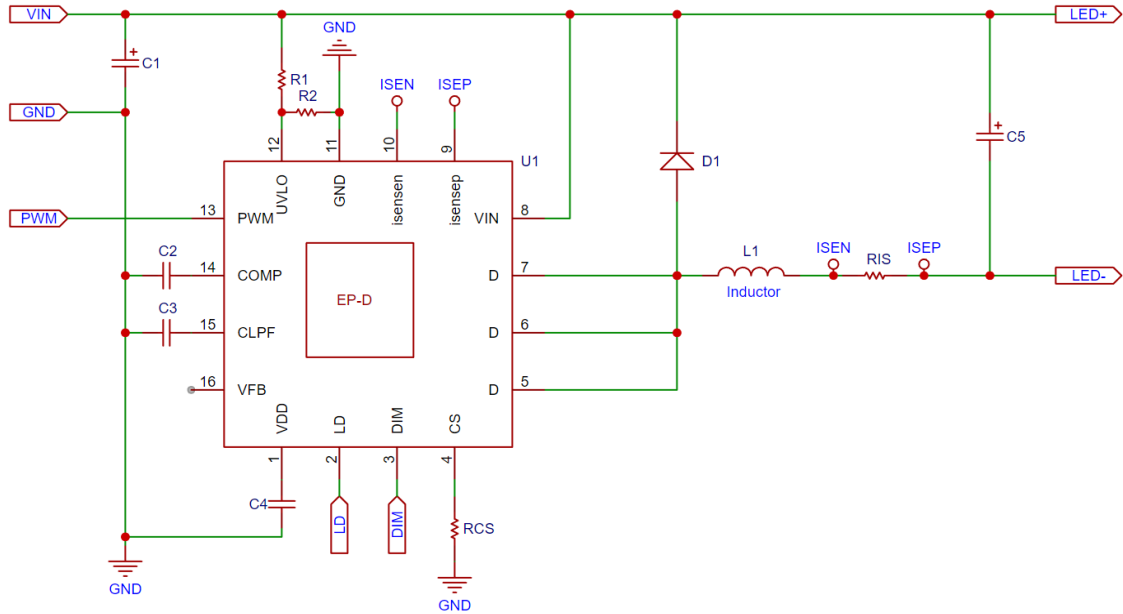


图 8.1 典型应用电路——降压共阳接法

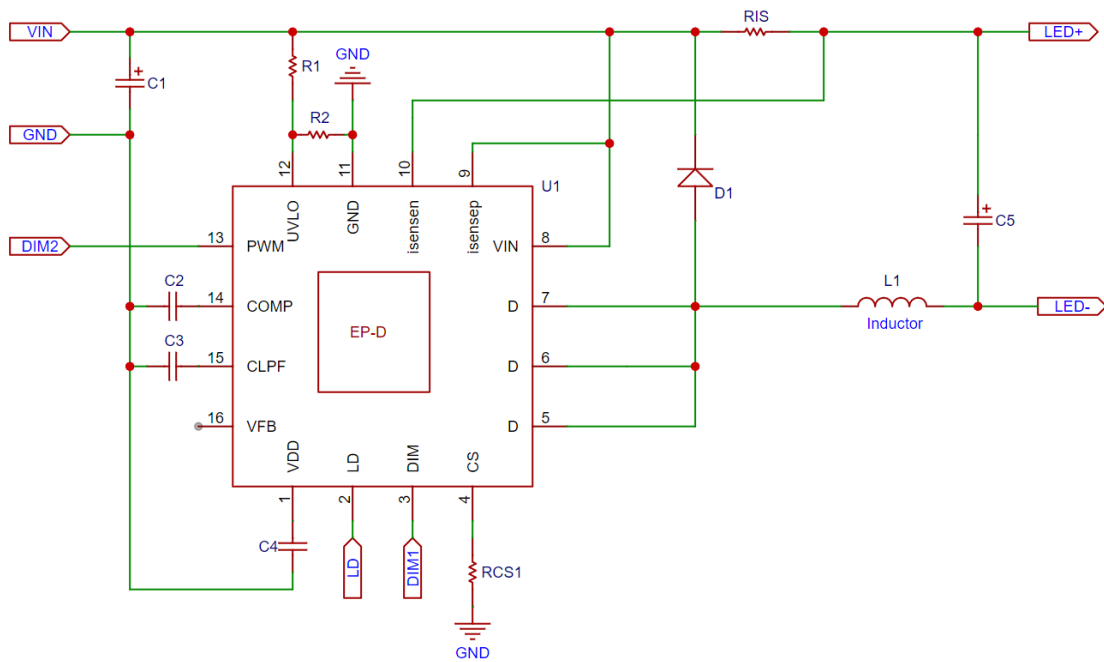


图 8.2 典型应用电路——降压不共阳接法

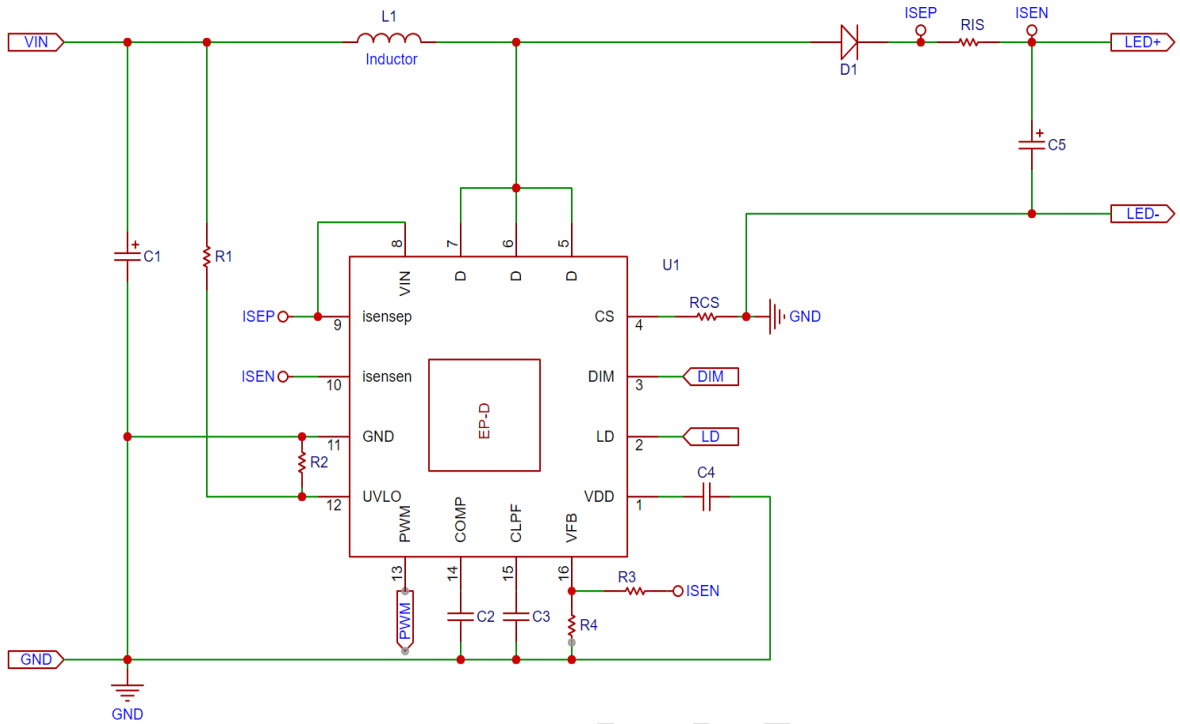


图 8.3 典型应用电路——升压接法

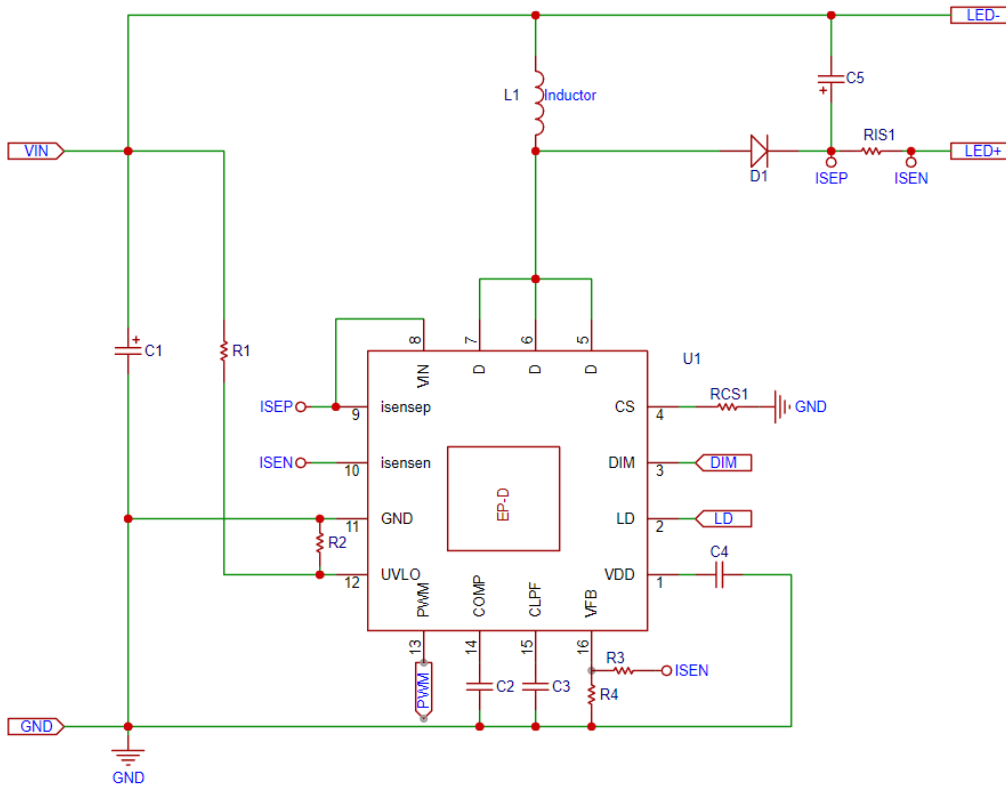


图 8.4 典型应用电路——升降压接法

## 9. 电气特性

(除非特殊说明, 下列条件均为  $T_A=25^{\circ}\text{C}$ )

符号	说明	测试条件	范围			单位
			最小	典型	最大	
VIN 工作部分						
$I_{DD}$	工作电流	$V_{IN}=6.5\text{V}$	-	1	-	mA
$I_{STANDBY}$	休眠待机电流		-	-	80	uA
$V_{IN}$	$V_{IN}$ 电压范围		6.5	-	75	V
$V_{DD}$	$V_{DD}$ 电压		-	5.8V	-	V
$U_{VLO}$	欠压保护范围		3	-	6	V
恒流工作部分						
$V_{CS}$	逐周期限流电压	$V_{IN}=6.5\text{V}$	-	-	340	mV
$V_{IN}-V_{SENSE}$	电流检测基准电压		-	251	-	mV
震荡器						
$D_{MAX}$	最大占空比		-	90	-	%
$F_{OSC}$			-	130	-	KHz
调光端口						
$V_{DIM\_H}$	PWM 转模拟调光阈值上限	PWM rising	1.2	-	-	V
$V_{DIM\_L}$	PWM 转模拟调光阈值下限	PWM falling	-	-	0.8	V
$V_{PWM\_H}$	PWM 调光检测阈值上限	PWM rising	1.2	-	-	V
$V_{PWM\_L}$	PWM 调光检测阈值下限	PWM falling	-	-	0.8	V
$V_{LD}$	模拟调光低到高调光电压范围		0.22	-	2.5	V
	模拟调光高到低调光电压范围		2.5	-	0.1	V
GATE 驱动						
$I_H$	驱动上拉电流		-	400	-	mA
$I_L$	驱动下拉电流		-	600	-	mA
可靠性						
$T_{OVT}$	过温保护	过温降电流的方式	-	135	-	$^{\circ}\text{C}$
$V_{OVP}$	输出过压保护		1.1		1.2	V
$V_{UVLO}$	输入欠压保护		1.1		1.2	V

## 10. 应用说明

Hi5001 是一款外围电路简洁的宽调光比无频闪调光 LED 恒流驱动芯片，支持降压、升压以及升降压拓扑的应用，适用于 6.5-75V 输入电压范围的 LED 恒流照明领域。芯片采用本司专利的恒流控制算法，输出电流恒流精度 $\leq \pm 3\%$ ，负载调整率 $< \pm 0.5\%$ ，可以做到 100: 1 的无频闪调光，支持 10000: 1 双路混合调光，支持 10: 1 模拟调光；调光深度深，低辉负载调整率和一致性好。

### 10.1. 输出电流

输出电流通过 ISENSEN 对 ISENSEP 端口的检流电阻来设定，支持降压共阳接法。通过对检流电阻采样并且和内部的 0.251V 进行比较，从而实现系统的恒流控制，输出电流公式如下：

$$I_{out} = \frac{0.251V}{R_{is}} (A)$$

其中  $I_{out}$  为输出电流， $R_{is}$  为系统的检流电阻。

### 10.2. 芯片启动

系统上电后通过 VIN 管脚对芯片供电，对连接于电源引脚的 VDD 电容充电，当电源电压高于 6.5V 后，芯片电路开始工作，直到 VDD 端口电压稳定达到钳位电压 5.8V 左右。

### 10.3. 调光设置

DIM 端口支持 PWM 转模拟调光和低功耗待机使能，当芯片检测到 DIM 端口低电平时间超过 80ms，芯片进入低待机模式，此时芯片工作电流 $< 80\mu A$ ，当 DIM 端口电平为高，芯片被唤醒，退出低待机模式，继续工作，PWM 转模拟调光，调光全程无频闪。

PWM 端口支持超小占空比的 PWM 调光，可以响应 $< 60ns$  的 PWM 脉宽波形，当 PWM 信号为低电平，输出关闭，当 PWM 信号为高电平，输出开启；悬空的时候默认该端口为高电平输入。

当需要更深调光比的时候，芯片还支持 PWM 转模拟调光和 PWM 调光双路混合使用，可以达到 10000: 1 调光比。

LD 端口支持模拟调光，调光范围 0.2~2.5V，支持 10: 1 模拟调光，可应用于最大电流设置。当 LD 高于 200mV 芯片开始工作，2.5V 达到最大输出，下降到 100mV 以下，芯片关闭。当 LD 脚输入模拟调光信号时输出电流按线性变化。

LD 端口接电容到地，可以设置软启动时间。

DIM、PWM、LD 管脚内置上拉，不使用时可以悬空。

#### 10.4. 输入欠压保护设置

通过电阻 R1 和 R2 可以设置输入的欠压保护电压，输入保护电压要比正常工作电压低 20%。UVLO 端口为欠压保护检测端口，当 UVLO 电压低于 1.1V 时芯片的 GATE 开关输出关闭，当 UVLO 的电压高于 1.2V 时芯片的 GATE 开关输出重新开始，以确保输入电压不会低于设定电压，迟滞为 100mV。

UVLO 脚位需外接一个下拉电阻 R2，应用中对 UVLO 端口和 VIN 直接接入一个电阻 R1 即可实现过压保护：

$$V_L = \frac{1.2 \times (R1 + R2)}{R2} (V)$$

#### 10.5. 输出过压保护设置

通过电阻 R3 和 R4 可以设置输出的过压保护电压，输出保护电压要比正常工作电压高 20%。VFB 端口为过压保护检测端口，当 VFB 电压高于 1.2V 时芯片的 GATE 开关输出关闭，当 VFB 的电压低于 1.1V 时芯片的 GATE 开关输出重新开始，以确保输出电压不会超过设定电压，迟滞为 100mV。

VFB 脚位需外接一个下拉电阻 R4，应用中对 VFB 端口和 LED+ 直接接入一个电阻 R3 即可实现过压保护：

$$V_P = 1.2 \times \left( 1 + \frac{R3}{R4} \right) (V)$$

#### 10.6. 过流保护设置

芯片通过 CS 电阻在 MOSFET 打开时检测峰值电流。峰值电流检测电阻 Rcs 工作在 NMOS 管与 GND 之间，当 NMOS 管打开，电感电流流经电阻 Rcs 产生电压 Vcs，CS 管脚检测 Vcs 电压。

当触发过电流保护，芯片 GATE 驱动管脚的占空比会缩小，限制电感电流，避免 NMOS 管 Q1 损伤。

通过下面公式可计算不同条件下 Rcs 阻值：

$$I_{PK} = \frac{0.34V}{R_{CS}} (A)$$

其中  $I_{PK}$  为峰值电流， $R_{CS}$  为系统的峰值电流检测电阻。

## 10.7. 电感选择

电感的选择影响功率效率、稳态运行、瞬态行为和回路的稳定性。

电感值决定了电感的纹波电流，电感越大电流纹波越小；电流纹波太大会导致电感温度升高以及饱和还会导致效率降低。选用电感需要注意其额定饱和电流以及是否适合高频调光。

建议电流纹波率选取 0.3~0.5 之间，选取电感饱和电流超过正常工作时电感电流峰值 30% 的电感，为了更好过 EMI，电感类型建议选取铁硅铝材质的封闭式磁环电感。

### 10.7.1. 降压型应用

电感的选择可通过计算公式算出：

$$L = \frac{(V_{IN} - V_{OUT}) \times V_{OUT} \times 10^6}{r \times I_{OUT} \times f \times V_{IN}} (\mu H)$$

$V_{IN}$ : 输入电压,  $V_{OUT}$ : 输出电压,  $I_{OUT}$ : 输出电流,  $r$ : 电流纹波率,  $f$ : 工作频率

举例:  $V_{IN}=48V$ 、 $V_{OUT}=36V$ 、 $I_{OUT}=1A$ 、 $f=130kHz$ 、 $r=0.35$ , 对于 buck 拓扑, 应该在最大输入电压  $V_{INMAN}$  (即在  $D_{MIN}$  时) 处设计电感, 代入公式计算得电感  $L \approx 197.8\mu H$ , 选用  $200\mu H$ 。

电感平均电流计算公式:

$$I_L = I_{OUT} (A)$$

电感峰峰值电流计算公式:

$$I_{PP} = \Delta I_L = I_L \times r (A)$$

电感峰值电流计算公式:

$$I_{PK} = I_L \times \left(1 + \frac{r}{2}\right) (A)$$

### 10.7.2. 升压型应用

电感的选择可通过计算公式算出：

$$L = \frac{V_{IN}^2 \times (V_{OUT} - V_{IN}) \times 10^6}{V_{OUT}^2 \times r \times f \times I_{OUT}} (\mu H)$$

$V_{IN}$ : 输入电压,  $V_{OUT}$ : 输出电压,  $I_{OUT}$ : 输出电流,  $r$ : 电流纹波率,  $f$ : 工作频率

举例:  $V_{IN}=12V$ 、 $V_{OUT}=36V$ 、 $I_{OUT}=1A$ 、 $f=130kHz$ 、 $r=0.35$ , 对于 boost 拓扑, 应该在最小输入电压  $V_{INMIN}$  (即在  $D_{MAX}$  时) 处设计电感, 代入公式计算得电感  $L \approx 58.6\mu H$ , 选用  $68\mu H$ 。

电感平均电流 (输入电流) 计算公式:

$$I_L = \frac{I_{OUT}}{1-D} \times \eta = \frac{V_{OUT} \times I_{OUT}}{V_{IN} \times \eta} (A)$$

电感峰峰值（电流纹波）电流计算公式：

$$I_{PP} = \Delta I_L = I_L \times r(A)$$

电感峰值电流计算公式：

$$I_{PK} = I_L \times \left(1 + \frac{r}{2}\right)(A)$$

$V_{IN}$ ：输入电压， $V_{OUT}$ ：输出电压， $I_{OUT}$ ：输出电流， $r$ ：电流纹波率， $f$ ：工作频率， $\eta$ ：转换效率

### 10.7.3. 升降压型应用

电感的选择可通过计算公式算出：

$$L = \frac{V_{IN}^2 \times V_{OUT} \times 10^6}{(V_{IN} + V_{OUT})^2 \times I_{OUT} \times f \times r} (uH)$$

$V_{IN}$ ：输入电压， $V_{OUT}$ ：输出电压， $I_{OUT}$ ：输出电流， $r$ ：电流纹波率， $f$ ：工作频率

举例： $V_{IN}=12\sim36V$ 、 $V_{OUT}=24V$ 、 $I_{OUT}=1A$ 、 $f=130kHz$ 、 $r=0.35$ ，对于 buck-boost 拓扑，应该在最小输入电压  $V_{INMIN}$ （即在  $D_{MAX}$  时）处设计电感，代入公式计算得电感  $L \approx 58.6uH$ ，选用 68uH。

电感平均电流计算公式：

$$I_L = \frac{I_{OUT}}{1-D} \times \eta = \frac{(V_{IN} + V_{OUT}) \times I_{OUT}}{V_{IN} \times \eta} (A)$$

电感峰峰值电流计算公式：

$$I_{PP} = \Delta I_L = I_L \times r(A)$$

电感峰值电流计算公式：

$$I_{PK} = I_L \times \left(1 + \frac{r}{2}\right)(A)$$

### 10.8. 续流二极管选择

注意续流二极管的额定平均电流应大于流过二极管的平均电流。二极管平均电流计算公式如下：

$$I_D = I_{OUT} \times \left(1 - \frac{V_{OUT}}{V_{IN}}\right) (A) \quad (\text{buck 拓扑})$$

$$I_D = I_{OUT} (A) \quad (\text{boost 和 buck-boost 拓扑})$$

注意，二极管应具有承受反向峰值电压的能力。为了提高效率，选择肖特基二极管。

对 buck 拓扑，建议选择反向额定电压大于  $V_{INMAX}$  电压 1.5 倍、额定平均电流  $\geq 3I_{LED}$  的肖特基二极管；

对 boost 拓扑，建议选择反向额定电压大于  $V_{OUT}$  电压 1.5 倍、额定平均电流  $\geq 3I_{LED}$  的肖特基二极管；

对 buck-boost 拓扑，建议选择反向额定电压大于 ( $V_{INMAX}+V_{OUT}$ ) 电压 1.5 倍、额定平均电流 $\geq 3I_{LE}$  的肖特基二极管。

### 10.9. 电容选择

贴片电容建议选用 X5R、X7R 材质。

输入与输出稳压电容 C1、C5 按实际要求的输出纹波电流选择。

VDD 管脚需要并联一个 1.0uF 以上的旁路电容，电容的大小选择和驱动 MOS 的大小有关系，MOS 越大，需要的旁路电容也越大。PCB 布板时，VDD 电容需要紧挨着端口布局。

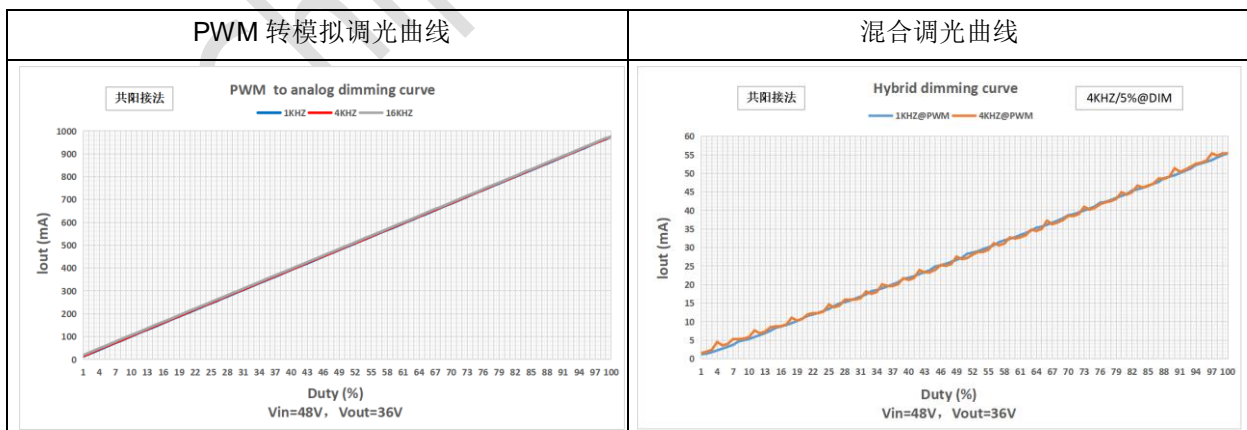
### 10.10. 过温处理

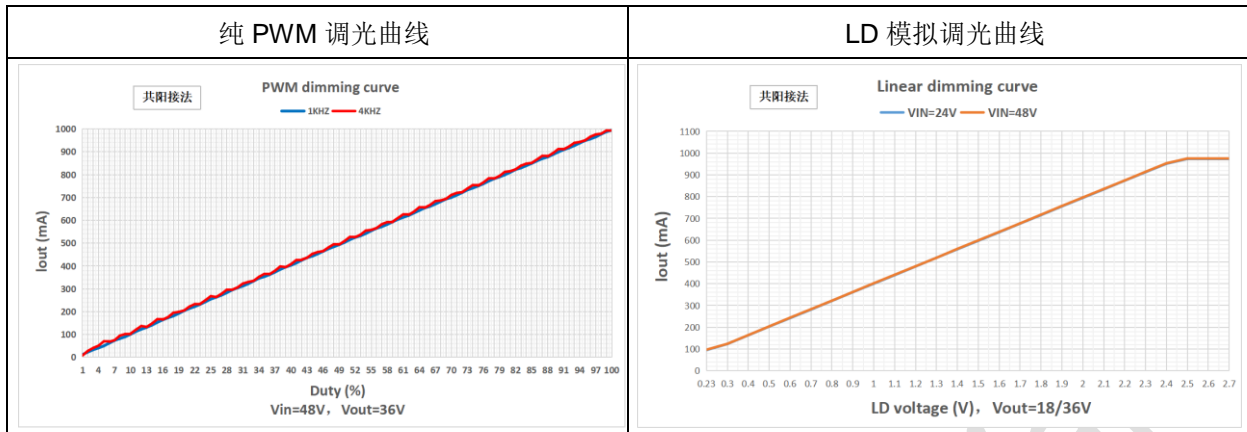
当芯片温度过高时，系统会限制输入电流峰值，典型情况下当芯片内部温度达到 135℃ 以上时，过温调节开始起作用；随温度升高，输入电流逐渐减小，从而限制输入功率，增强系统可靠性。

## 11. 典型特性曲线

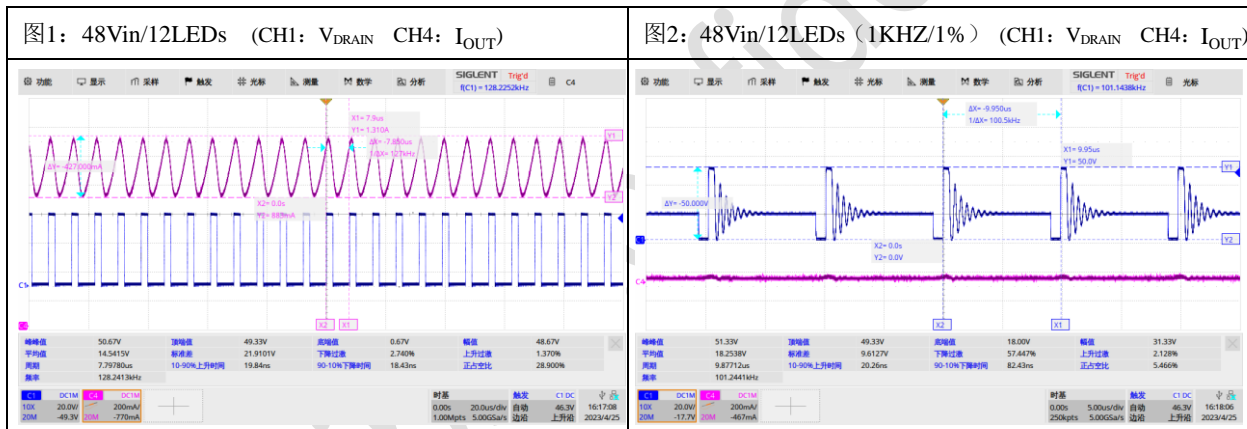
以下曲线是在降压共阳型应用条件下测试：

$V_{in}=48V$ ； $V_{out}=12$  串 4 并白灯； $I_{out}=974/1050mA$ ； $R_{is}=0.25/0.24R$ ； $R_{cs}=0.1R$ ； $C_{ld}$ 、 $C_{lpf}=100nF/50V$ ；输入输出高频噪声滤波电容：100nF/100V；补偿：20K+10nF 并 100pF；NMOS=KS1222DB； $f=128kHz$ ； $L=47uH$ （127）/68uH（铁硅铝）；输入、输出电解=47uF/100V；续流二极管=SS510；

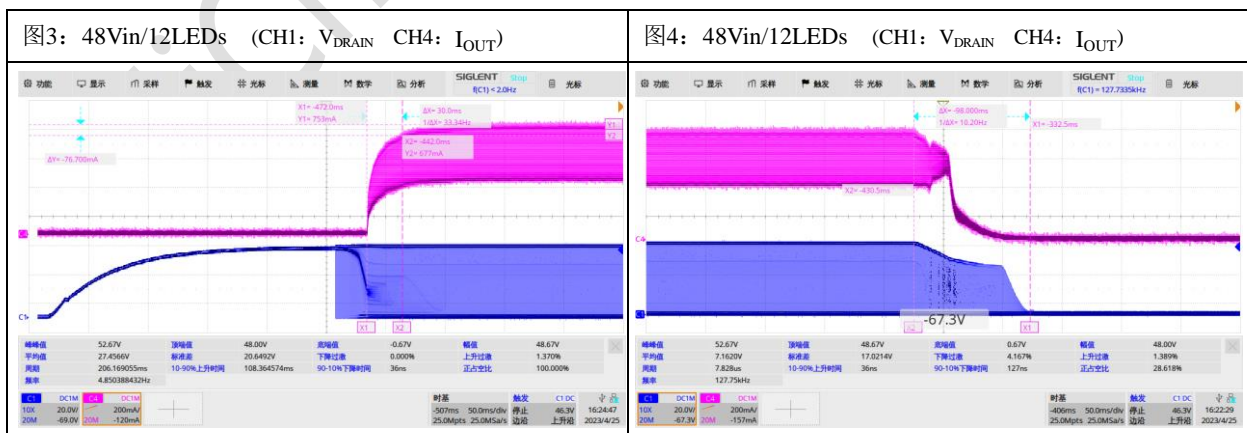




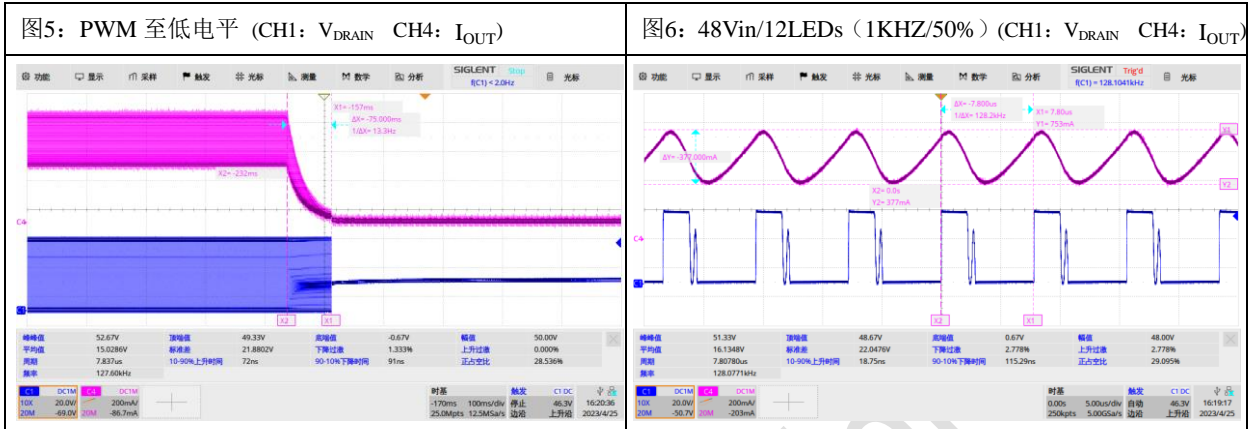
## 11.1. 稳态波形



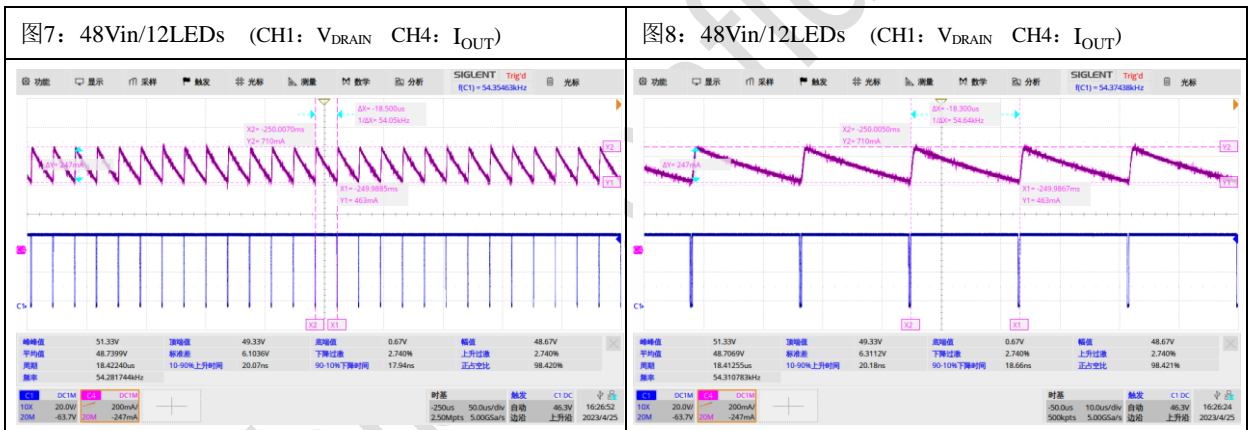
## 11.2. 开关机波形



### 11.3. PWM 调光波形



### 11.4. 输出短路波形



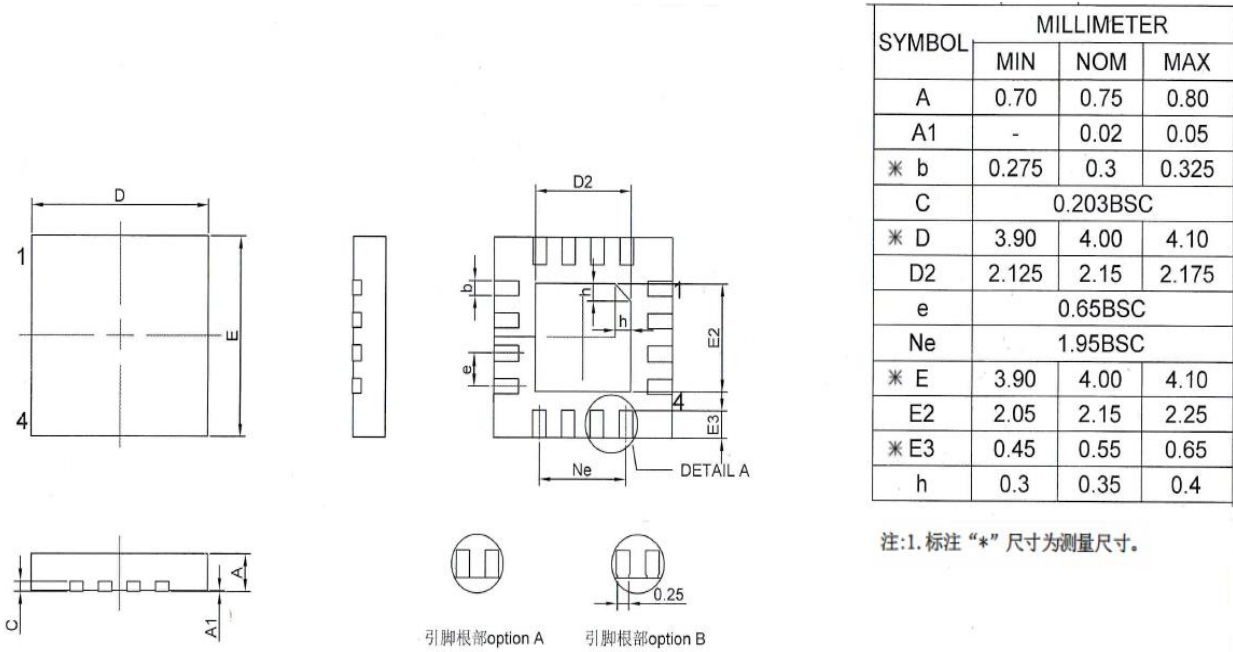
## 12. PCB 设计注意事项

一个好的 PCB 设计能够最大程度地提高系统的稳定性、终端产品的量产良率。为了提高系统 PCB 的设计水准，请尽可能遵循以下布局布线规则：

1. 芯片 D 端或 MOSFET Drain 端与续流二极管、功率电感的布线覆铜尽可能长度短、线宽大；
2. MOSFET S 端与 CS 峰值电流检测电阻的布线覆铜，CS 峰值电流检测电阻靠近 CS 与 GND 管脚；
3. 芯片 ISENSE 和 VIN 管脚为敏感节点，请远离功率电感、NMOS 管、续流二极管等开关切换节点，避免受到干扰；
4. 检流电阻  $R_{is}$  要靠近芯片 ISENSE 和 VIN 管脚布局，走线应尽可能长度短、线宽大；
5. 输入电容与 CS 峰值电流检测电阻的地布线覆铜，尽可能长度短、线宽大，上下层地多打过孔连接；
6. 芯片的 VDD 电容、LPF 电容靠近芯片管脚与 GND 管脚布局，且 VDD 和 LPF 电容的 GND 端、芯片 GND 端与 CS 峰值电流检测电阻 GND 端保持单点连接；
7. 系统的输入电容尽可能靠近芯片布局，保证输入电容达到最好的滤波效果；
8. UVLO 脚位外接的上拉电阻 R1，应接在输入电压处，而不是 VIN 管脚，以实现输入欠压保护。

13. 封装信息

Hi5001Q (QFN16\_4X4)



Hi5001H (HTSSOP16)

