

高效多功能 LED 恒流驱动控制器 UCT4407

概述

UCT4407 是一颗高效率、低启动电压的 LED 恒流驱动控制器，其内部集成了基准源、误差放大器、斜率发生器、比较器和动态驱动电路等。配合相应的功率开关管（低饱和压降的晶体管、MOSFET），加上少数元器件，就可完成升压恒流驱动或降压恒流驱动的多种功能，负载可以是背光应用的串联多颗小电流 LED 或是手电筒应用的单颗大功率 LED。

UCT4407 极低的取样电压（典型值 28mV）使得电流取样电阻上的功率损耗大大减少，有利于提高电路的整体工作效率，而良好的负载及线路调整率可以保证驱动电路的恒流精度。由于工作频率较高，驱动电路可以使用小标称值的功率电感和陶瓷滤波电容器，配合其 SOT23-6 的小型封装和极少的外围元件，整个电路的体积可以做的非常紧凑，加上极低的静态功耗，因此 UCT4407 特别适合于各种电池供电的便携式设备应用。

UCT4407 的使能端 STDN 可用来作为 PWM 调光的控制或是控制芯片在必要时处于休眠状态，以节省电源消耗。

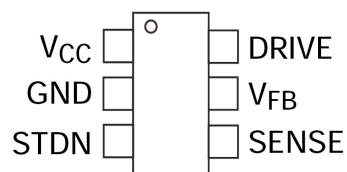
应用领域

- MP3, MP4 及 PMP 播放器
- 学习机
- 数码相机，数码摄像机
- 手机和智能电话
- 电池供电的便携式设备
- 手电筒
- 头灯
- 工作灯

主要性能特点

- ✓ 输入电压 0.9 V ~ 7V
- ✓ 工作效率可达 98%
- ✓ 可工作于升压或降压恒流模式
- ✓ 良好的负载和电路调整率
- ✓ 最高工作频率 200KHz
- ✓ 待机电流 $\leq 8\mu\text{A}$
- ✓ SOT23-6 小型封装

引脚配置及定义



序号	名称	定义
1	V _{CC}	IC 电源输入端
2	GND	地
3	STDN	使能及 PWM 调光控制输入端
4	Sense	电感电流反馈输入端，内部箝值为 28mV
5	V _{FB}	LED 电流反馈输入端，内部箝值为 300mV
6	Drive	外部功率开关管的驱动输出端

极限参数

名 称	指 标
V _{CC}	-0.3 ~ +8V
V _{drive}	-0.3 ~ V _{CC} + 0.3V
V _{FB}	-0.3 ~ V _{CC} + 0.3V
V _{STDN}	-0.3 ~ (+5.0V) 或 (V _{CC} + 0.3V) 较低者
V _{sense}	-0.3 ~ (+5.0V) 或 (V _{CC} + 0.3V) 较低者
工作温度	-40℃ ~ +85℃
存储温度	-55℃ ~ +125℃
耗散功率	450mW

提示：以上给出的仅仅是极限范围，在这样的极限条件下工作，器件的技术指标将得不到保证，长期在这种条件下工作会影响器件的可靠性。超出以上所列的极限参数应用可能造成器件的永久损坏。

电气指标

测试条件: $V_{CC} = 3V$, $T = -40^{\circ}C$ to $85^{\circ}C$ 除非另行说明

符号	参 数	测试条件	Limits			Units
			Min	Typ	Max	
Supply parameters						
V _{IN}	V _{CC} Range		0.9		7	V
I _q ¹	Quiescent Current	V _{CC} =8V			220	μA
I _{STDN}	Shutdown Current			4.5		μA
Eff ¹	Efficiency	30mA >I _{LED} >10mA		80		%
Acc _{REF}	Reference tolerance	1.8V <V _{CC} <8V	-3.0		3.0	%
TCO _{REF}	Reference Temp Co			0.005		%/°C
T _{DRIVE}	Discharge pulse width	1.8V <V _{CC} <8V		1.7		μs
F _{OSC}	Operating Frequency				200	kHz
Input parameters						
V _{SENSE}	Sense voltage		22	28	34	mV
I _{SENSE}	Sense input current	V _{FB} =0V, V _{SENSE} =0V	-1	-7	-15	μA
V _{FB}	Feedback voltage		291	300	309	mV
I _{FB} ²	Feedback input current	V _{FB} =0V, V _{SENSE} =0V	-1.2		-4.5	μA
V _{IH}	Shutdown high voltage		1.5		V _{cc}	V
V _{IL}	Shutdown low voltage		0		0.55	V
dV _{LN}	Line voltage regulation			0.5		%/V
Output parameters						
I _{OUT} ³	Output current	Vin >2V, Vout = 10.5V	50			mA
I _{DRIVE}	Transistor drive current	Vdrive =0.7V	2	3.5	5	mA
V _{DRIVE}	Transistor voltage drive	1.8V <V _{CC} <8V	0		V _{cc} -0.4	V
C _{DRIVE}	Mosfet gate drive cpbty			300		pF
dILD ⁴	Load current regulation				0.1	mA/V

注:

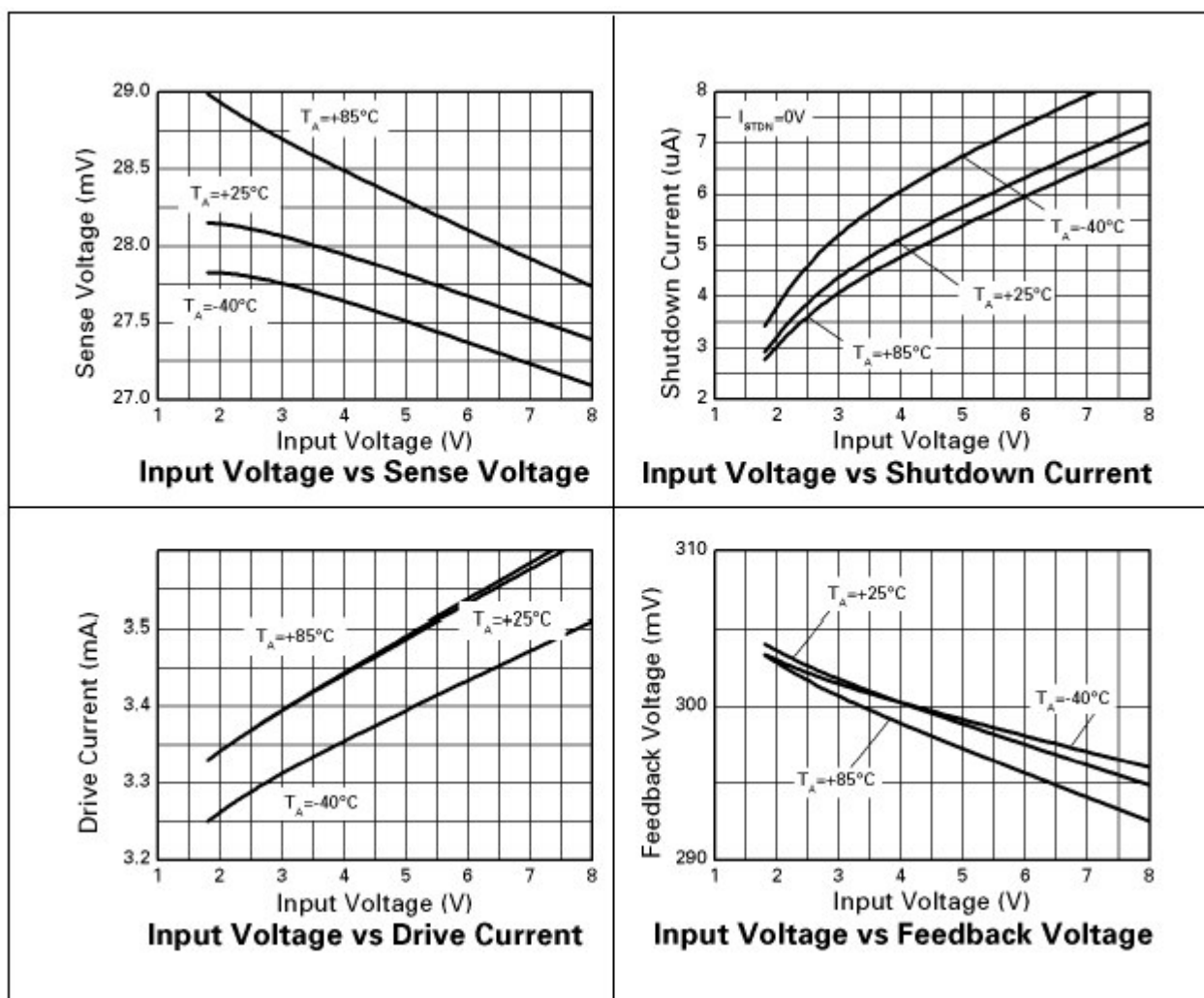
¹ Excluding gate/base drive current.

² I_{FB} is typically half these values at 300mV.

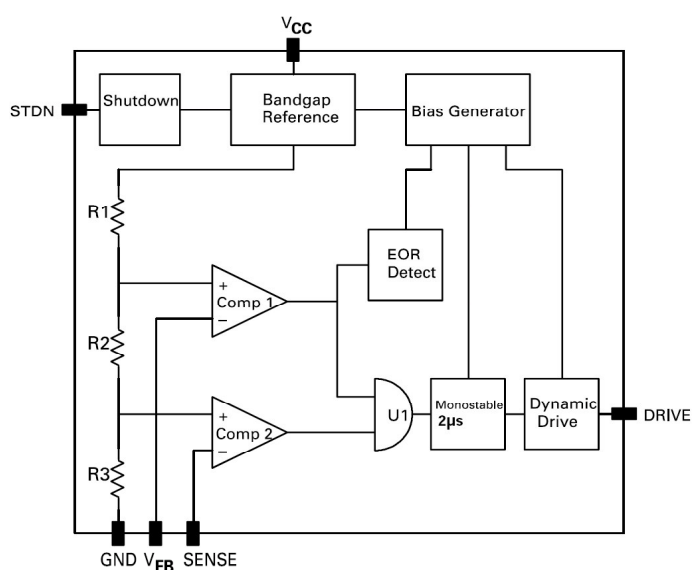
³ System not device spec, including recommended transistors. 10.5V represents 3 white LEDs.

⁴ Change in LED current with changing supply voltage (LED VF x number of series LEDs).

典型特性



内部结构图



工作原理（参见内部结构图）

参考源：带温度补偿的 1.22V 内部参考电压源为片内各个箝位电压及参考电流提供基准。

动态驱动输出：依据内部逻辑的控制，Drive 引脚输出“高”或“低”电平。高电平时其能够输出 2.5mA 的电流以驱动外部开关晶体管的基极或 MOSFET 的栅极（最大驱动电平为 $V_{CC}-0.4V$ ）使其导通。为了保证效率，外部开关晶体管或 MOSFET 除了要深度导通外，还必须能够快速开通和关断，因此在 Drive 引脚输出高、低电平变换的瞬间，芯片内部加入了一个瞬变的提升电流以改善驱动电平的前后沿。

控制回路原理：整个控制回路由两个比较器（Comp1 及 Comp2）、一个与门（U1）、一个可再触发单稳态触发器和驱动输出极组成。以升压模式为例，初始时单稳态触发器被复位，Drive 引脚输出为高，外部开关管导通；流过开关管、功率电感、电流取样电阻 R_{sense} 的电流呈指数上升，当 R_{sense} 上的电压达到 28mV 时，比较器 Comp2 输出低电平，通过与门 U1 触发单稳态触发器，导致驱动输出极输出低电平，外部开关管关断；此时功率电感通过肖特基二极管向负载（LED）释放能量，电流流过负载及其电流取样电阻 R_{fb} 并呈指数下降。如果 V_{Rfb} 大于 300mV，则比较器 Comp1 会输出低电平。单稳态触发器维持关断时间为 2 μ S，当单稳态触发器维持时间过后，如果 V_{Rfb} 仍然大于 300mV，则因为比较器 Comp1 一直输出低电平，这将强制单稳态触发器继续维持触发态，输出低电平；直到负载电流下降导致 V_{Rfb} 小于 300mV，比较器 Comp1 才会输出高电平，单稳态触发器得以复位，Drive 引脚再次输出为高，外部开关管导通，重新开始一个新的周期。

应用信息

1. 功率开关管的选择：

功率开关管是影响本电路工作效率的主要因素，原则上 NPN 型晶体管和 N 沟道 MOSFET 都可以使用。由于 UCT4407 的驱动能力有限，为保证开关管充分导通，选用晶体管时除要求低饱和压降 $V_{ce(sat)}$ 外，放大倍数（ β ）也最好在 200 以上。可推荐的型号有 2SD1628、FMPT617 等。

MOSFET 由于导通电阻低、驱动功率小的特点，近年来成为开关器件的首选。此处在选择时应该注意选 V_{gs} 阈值电压低于 4.5V 且 C_{iss} 小于 500PF 的型号。可推荐的如 A03414、Si2306 等。

2. 肖特基二极管的选择：

作为高频整流，肖特基二极管具有正向压降低、反向恢复快的特点。选择时应该注意其耐压和最大工作电流均应该是输出电压和电流的两倍。常用的型号有 1N5817、SS14、1N5819、SS24 等。

3. 功率电感的选择：

功率电感的选择是在效率优先的情况下，兼顾体积和成本。

一般来说，较大量值的功率电感可以获得较低的输出纹波电流，同时也有利于提高电路的转换效率。

但是大的电感值往往也会导致功率电感本身体积的增大和绕线内阻（ESR）的增加。功率电感上的等效串联电阻（ESR）不可忽视，它是影响转换效率的主要因素。

其次是要注意功率电感的工作电流，为防止饱和，要求其工作电流应该大于输出电流的两倍以上。

对于 UCT4407 的大多数应用，10~22uH 的电感值已经可以满足基本需求。具体应用参数可参考下面的典型电路。

4. 输入、输出滤波电容的选择：

为保证电路稳定地工作和降低 EMC，输入、输出滤波电容必不可少，而且推荐使用低 ESR 小体积的陶瓷贴片电容。

一般输出电容是并联在 LED 两端的，应用于小电流情况下时，4.7uF 即可。如果是大电流输出，则最好在 10uF 以上。

大多数情况下，10uF 的输入滤波电容已可以满足要求。但是当输出电流在数百毫安以及更大时，上百 uF 的输入滤波电容是必须的。

5. LED 电流的设定

在升压模式下，LED 电流由其负端与地间串接的取样电阻 Rfb 设定。计算公式为：

$$I_{LED} = \frac{V_{fb}}{R_{fb}} = \frac{0.3 \text{ V}}{R_{fb}}$$

降压模式下，Vfb 引脚被接地，LED 的电流开关功率管发射极（源极）与地间串接的取样电阻 Rsense 设定。计算公式为：

$$I_{LED} = \frac{V_{sense}}{R_{sense}} = \frac{0.028 \text{ V}}{R_{sense}}$$

注意：升压模式下此公式为限制输入峰值电流的公式，即

$$I_{PK} = \frac{V_{sense}}{R_{sense}} = \frac{0.028 \text{ V}}{R_{sense}}$$

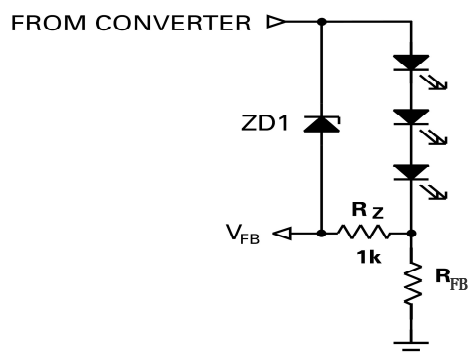
对于升压电路，输入峰值电流（即电感电流）是负载电流的数倍，其表达式为：

$$I_{PK} = I_{LED} \times \frac{V_{LED}}{V_{in} \times \eta} \quad (\eta \text{ 为保守预估的效率，一般可取 } 0.7 \sim 0.8)$$

为保证输出恒流的精度和产品指标的一致性，Rfb 及 Rsense 建议使用 1%精度的电阻，并要求充分考虑其功率耗散。

6. 输出开路保护

在升压模式下如果 LED 开路，则输出端产生的高压会危及 IC 及开关管，因此有必要加入输出开路保护电路。其典型电路示意如下：



图中稳压二极管的工作电压应该选择大于等于所有 LED 正向电压总和的 110%左右。

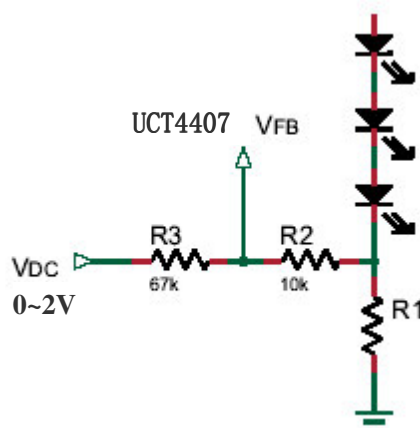
7. 使能控制

UCT4407 的 STDN 引脚是使能控制脚，当该引脚的电压大于 1.5V 或者开路时，UCT4407 被使能，电路正常工作。当该引脚的电压小于 0.55V 或者接地时，UCT4407 被关闭，电路停止工作。

应该注意的是，由于升压电路特定的拓扑结构，存在直通现象。即当 UCT4407 不工作时，仍可能（取决于输入输出电压差）会有电源电流通过功率电感—肖特基二极管—LED 构成回路，导致 LED 不熄灭。如要根除此问题，则需要另外采取措施，可参见以下 PWM 调光章节。

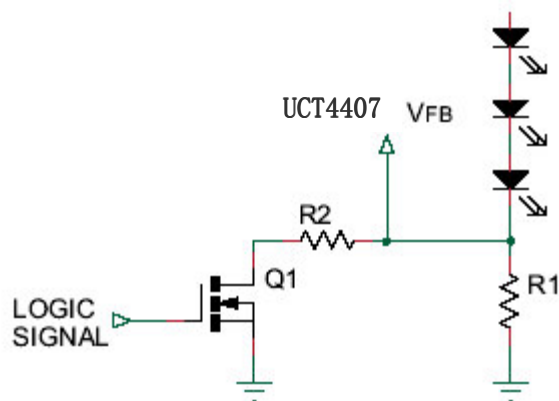
8. 调光

a. 模拟调光 典型电路如下图：



图中 V_{DC} 是调光电压，由于 V_{fb} 是定值，随着 V_{DC} 的增加， R_2 上的压降增加而 R_1 上的压降减少，从而导致 LED 电流下降。 R_2 、 R_3 的选择原则是流过它们的电流要绝对小于 LED 电流而大于 I_{fb} 。按图中的元件值可在 0~2V 的调光电压下，获得 0~100% 的亮度控制范围。

b. 逻辑信号调光 如果需要得到两种不同的亮度，可用下图电路：



图中 Q1 为开关管，逻辑电平为“高”时 Q1 导通，R2 与 R1 并联等效为 R_{fb} 决定 LED 电流，此时为高亮度；逻辑电平为“低”时 Q1 关断，仅 R1 等效为 R_{fb} ，此时为低亮度。

c. PWM 调光

将 PWM 信号直接加到 UCT4407 的 STDN 引脚就可以实现调光。此时的 LED 电流与 PWM 信号的占空比成正比，即 0~100% 的占空比信号可得到对应的 0~100% 的亮度变化。PWM 调光的优点是亮度变化时不会改变 LED 的色温。

应该注意的是 PWM 信号的电平和频率，要求其低电平不得高于 0.5V，而高电平应该大于 1.5V，频率要在 100Hz 以上，以免人眼感觉闪烁。

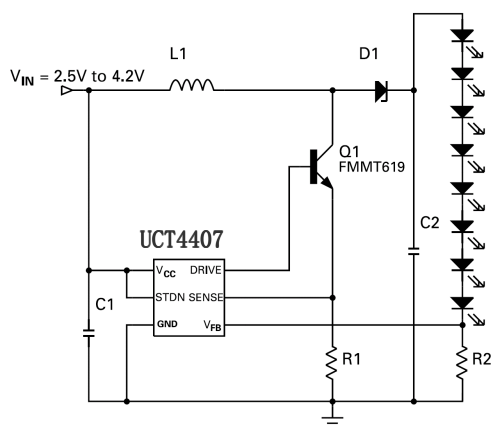
另外如上节所说，由于升压电路特定的拓扑结构，会存在直通现象。解决此问题的办法是在 LED 的负端与取样电阻间串入一个 NMOSFET 管，并使它与 UCT4407 的 STDN 端受同一个 PWM 信号控制。此时升压电路必须加上有效的输出开路保护电路。

9. PCB 布局

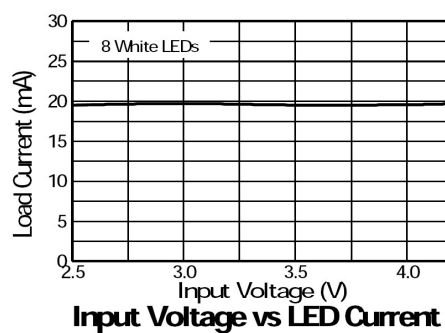
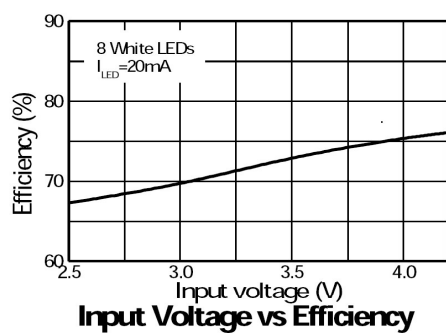
良好的 PCB 布局是保证电路稳定、高效而低噪音工作的重点。首先要考虑开关管和 LED 主电流回路的短捷和低阻抗，各个回路间采用星型一点接地的方式，不要有共同的路径；其次由于 V_{sense} 的值较低，容易受干扰，取样电阻与 Sense 引脚间连线要尽量短，以免分布电阻和电容的影响；此外就是芯片的电源滤波电容要尽量靠近 IC。

常用参考电路

1. 单节锂电或三节碱性电池驱动 8 颗 LED 的背光应用



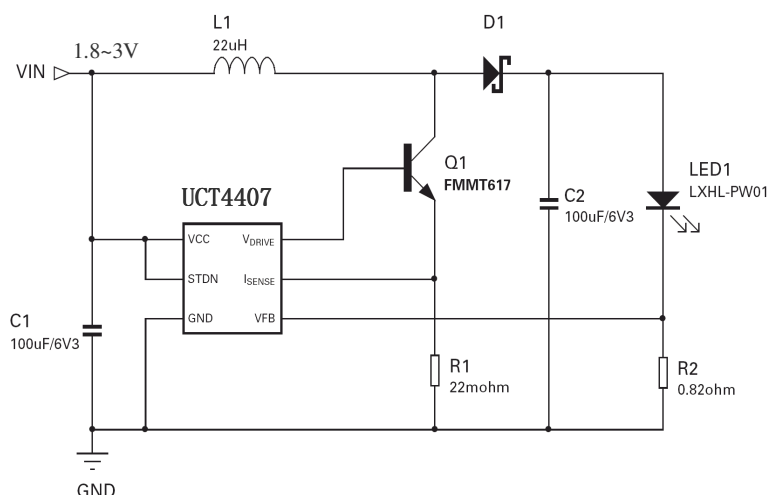
测试特性:



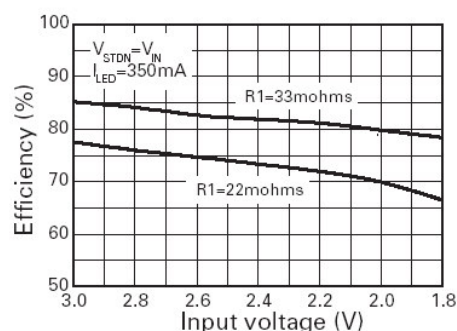
材料清单:

Ref	Value	Part Number	Manufacture	Comments
U1		UCT4407	UCT	LED driver IC
Q1		FMMT619	Zetex	40V NPN
D1		1N5819		1A Schottky diode
L1	22μH	CDRH4D28-220 D01608C-223	Sumida Coilcraft	0.7A, 0.235Ω 0.7A, 0.37Ω
R1	33mΩ	LR1206 / RL1220	IRC / Cyntec	1206 / 0805 size
R2	15Ω	Generic	Generic	0603 size
C1	2.2μF/6V3	GRM Series	Murata	0805 size
C2	2.2μF/35V	GRM Series	Murata	1206 size
LED		NSCW215	Nichia	White SMT LED

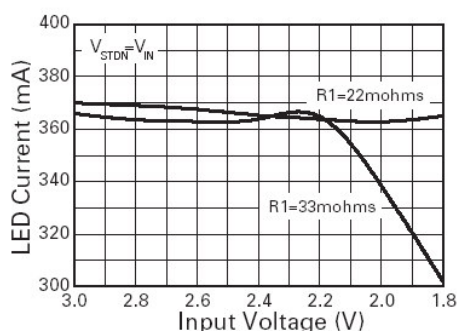
2. 两节碱性电池的 1W LED 手电筒应用



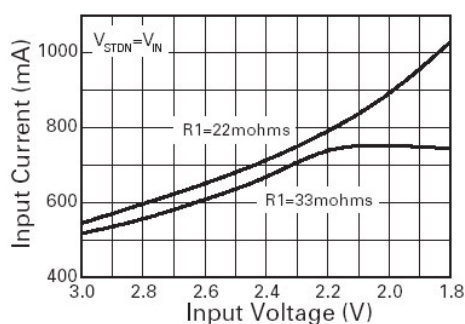
上图中的 R1 如果采用 $22\text{m}\Omega$ ，则在 $1.8\sim 3\text{V}$ 的范围内均可保持恒流工作。如果希望提高效率，可将 R1 改用 $33\text{m}\Omega$ ，但当输入电压低于 2V 时，恒流特性会有下降，具体参见下面曲线图。



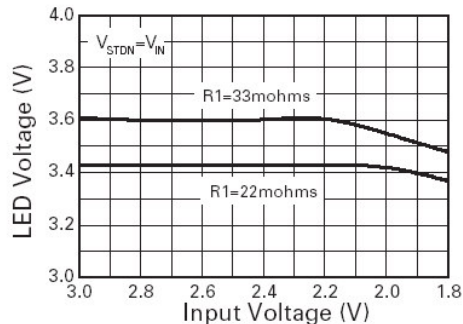
Efficiency vs Input Voltage



LED Current vs Input Voltage



Input Current vs Input Voltage



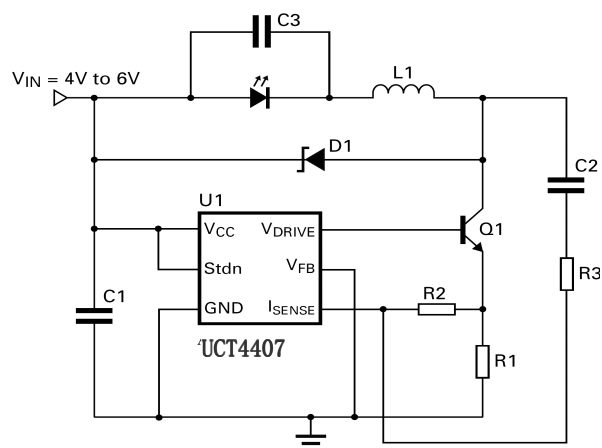
LED Voltage vs Input Voltage

材料清单:

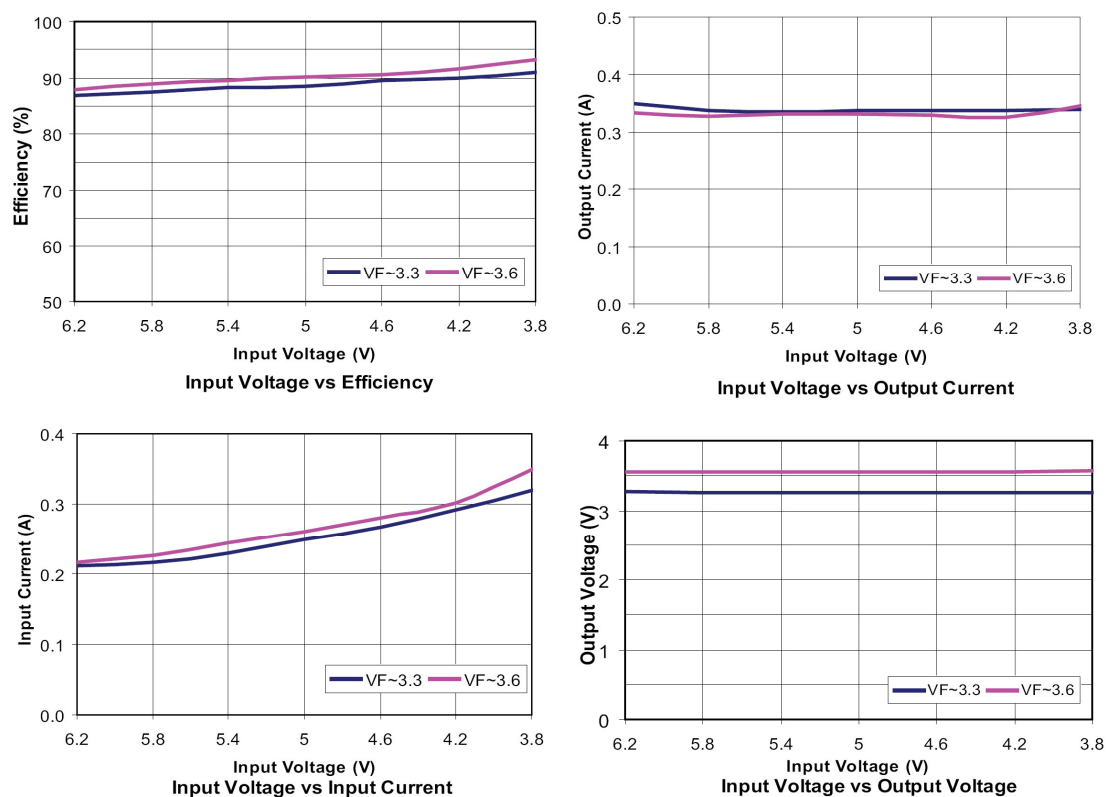
Ref.	Value	Package	Part number	Manufacturer	details Notes
U1	N/A	SOT23-6	UCT4407	UCT	Boost converter
Q1	N/A	SOT23	FMMT617	Zetex	Low sat NPN transistor
D1	40V/1A	SMA	1N5819		40V/1A Schottky diode
L1	22uH	N/A	CD54-220		22uH/0.5A SMT inductor
R1	$22\text{m}\Omega$	0805	R022	Generic	0805- 5%

R2	0.82 Ω	0805	0R82	Generic	0805- 5%
C1	100 μ F/6V3	1812	18126D107KAT2A	AVX	100uF/6V3/X5R/1812
C1	100 μ F/6V3	1812	18126D107KAT2A	AVX	100uF/6V3/X5R/1812
LED1	1W	N/A	LXHL-PW01	Lumileds	1W white LEDemitter

3. 四节碱性或两节 CR123 电池的 1W/3W LED 手电筒应用（降压模式）



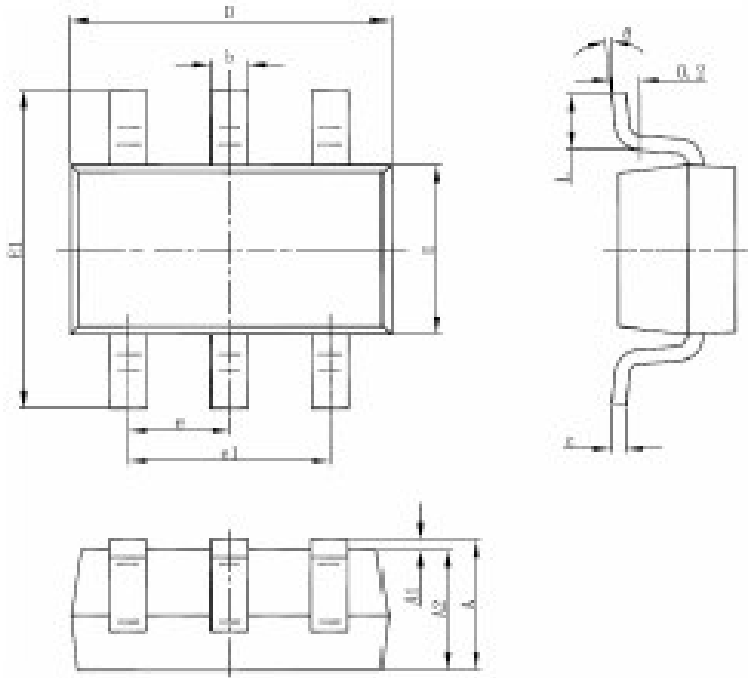
上图中 UCT4407 被配置成典型的降压（Buck）驱动电路，可驱动单颗 1W 或 3W 白光 LED 做手电筒应用。由于不同厂家 LED 的正向压降不同，下面相应给出了不同的测试数据。



材料清单:

Ref.	Value	Package	Part number	Manufacturer	details Notes
U1	N/A	SOT23-6	UCT4407	UCT	Boost converter
Q1	N/A	SOT23	ZXTN25012EFL	Zetex	Low sat NPN transistor
D1	20V/1A	SMA	1N5817		20V/1A Schottky diode
L1	47uH	N/A	CD75-470		I _{SAT} = 550mA
R1	62m Ω	0805		Generic	0805- 1%
R2	10 Ω	0805		Generic	0805- 5%
R3	47 Ω	0805		Generic	0805- 5%
C1	4.7 μ F/10V	1206		Generic	X7R/X5R
C2	100pF/10V	0805		Generic	COG/NPO
C3	1uF/10V	0805		Generic	X7R/X5R optional

封装信息 (SOT23-6)



Symbol	Dimensions In Millimeters		Dimensions In Inches	
	Min	Max	Min	Max
A	1.050	1.250	0.041	0.049
A1	0.000	0.100	0.000	0.004
A2	1.050	1.150	0.041	0.045
b	0.300	0.500	0.012	0.020
c	0.100	0.200	0.004	0.008
D	2.820	3.020	0.111	0.119
E	1.500	1.700	0.059	0.067
E1	2.650	2.950	0.104	0.116
e	0.950(BSC)		0.037(BSC)	
e1	1.800	2.000	0.071	0.079
L	0.300	0.600	0.012	0.024
θ	0°	8°	0°	8°