

产品特性

超小尺寸解决方案

2 mm × 1.5 mm、12引脚小型WLCSP封装

最小尺寸、1 mm高、1 μH功率电感

LED电流源支持本地LED接地

进出LED的布线更简单

LED散热性能更佳

同步3 MHz PWM升压转换器，无需外部二极管

高效率：90%峰值

闪光期间，降低输入电池的高电流水平

手电筒模式下，限制电池功耗

I²C可编程

闪光模式下，1个LED的电流最高达1000 mA，所有条件下的精度为±7%

手电筒模式下，电流最高达200 mA

可编程直流电池电流限制(4种设置)

可编程闪光定时器，最长1600 ms

低VBAT模式可自动降低LED电流

4位ADC用于LED V_F、芯片/LED温度回读

控制

I²C兼容控制寄存器

外部选通和手电筒输入引脚

2个射极屏蔽(TxMASK)输入

安全性

热过载保护

电感故障检测

LED短路和开路保护

应用

支持相机功能的手机和智能电话

数码相机、便携式摄像机和PDA

概述

ADP1649是一款用于高分辨率照相手机的超小尺寸、高效率单路白色LED闪光灯驱动器，可在低光照环境下提高图像和视频质量。这款器件集成了一个可编程1.5 MHz或3 MHz同步电感升压转换器、一个I²C兼容接口和一个1000 mA电流源。由于这款驱动器具有高开关频率，因而可以采用1 mm高、低成本、1 μH功率电感，电流源允许LED阴极接地，以改善散热性能，实现低EMI和紧凑布局。

这款LED驱动器在整个电池电压范围内都具有极高的效率，可以最大限度地提高输入电源到LED电源的转换效果，

Rev. 0

Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Analog Devices for its use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties that may result from its use. Specifications subject to change without notice. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Analog Devices. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.

ADI中文版数据手册是英文版数据手册的译文，敬请谅解翻译中可能存在的语言组织或翻译错误，ADI不对翻译中存在的差异或由此产生的错误负责。如需确认任何词语的准确性，请参考ADI提供

功能框图

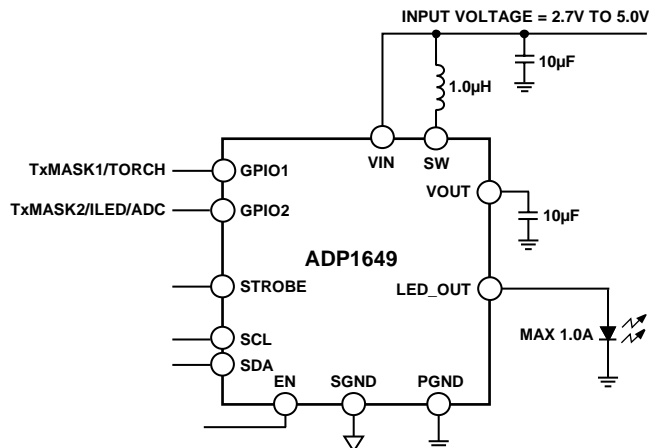


图1.

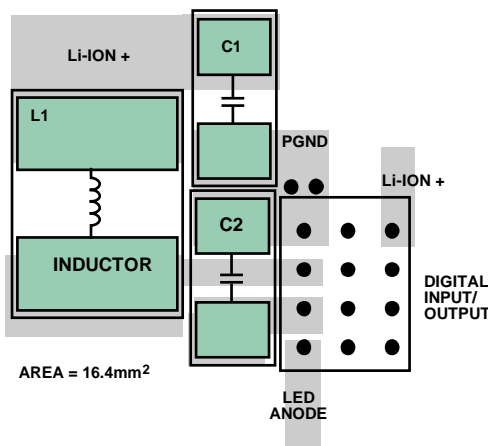


图2. PCB布局(WLCSP)

并使闪光消耗的电池电流降至最低。可编程直流电池限流功能可安全地使所有LED V_F和电池电压条件下的LED电流达到最大。

两路独立的TxMASK输入可以在功率放大器电流上升时，迅速降低闪光灯LED电流和电池电流。I²C兼容接口支持定时器、电流和状态位回读的可编程特性，以实现工作状态监控和安全控制。

ADP1649采用紧凑型12引脚、0.5 mm间距WLCSP封装，额定工作温度范围为-40°C至+125°C的结温范围。

目录

产品特性	1	低电量LED电流折返	13
应用	1	可编程电池直流限流	14
功能框图	1	模数转换器操作	15
概述	1	5 V输出操作	15
修订历史	2	安全特性	17
技术规格	3	短路故障	17
推荐规格：输入输出电容和电感	5	过压故障	17
I ² C兼容接口时序规格	5	动态过压模式(DOVP)	17
绝对最大额定值	6	超时故障	17
热数据	6	过温故障	17
热阻	6	指示灯LED故障	17
ESD警告	6	限流	17
引脚配置和功能描述	7	输入欠压	17
典型性能参数	8	软启动	17
工作原理	11	利用使能(EN)引脚复位	17
白色LED驱动器	11	清除故障	17
工作模式	11	I ² C接口	18
辅助照明	12	I ² C寄存器映射	19
闪光模式	12	应用信息	25
辅助闪光操作	12	外部元件选择	25
手电筒模式	12	PCB布局布线	27
手电筒转闪光模式	13	封装和订购信息	28
TxMASK操作	13	外形尺寸	28
折频	13	订购指南	28
指示灯LED驱动器	13		

修订历史

2012年7月—修订版0：初始版

技术规格

除非另有说明，对于最小/最大规格， $V_{IN}^1 = 3.6\text{ V}$ ， $T_J = -40^\circ\text{C}$ 至 $+125^\circ\text{C}$ ；对于典型规格， $T_A = 25^\circ\text{C}$ 。

表1.

参数 ²	测试条件/注释	最小值	典型值	最大值	单位
电源					
输入电压范围		2.7		5.0	V
欠压闭锁					
阈值	V_{IN} 下降	2.3	2.4	2.5	V
迟滞		50	100	150	mV
关断电流(I_Q), $EN = 0\text{ V}$	$T_J = -40^\circ\text{C}$ 至 $+85^\circ\text{C}$, 电流流入VIN引脚, $V_{IN} = 2.7\text{ V}$ 至 4.5 V		0.2	1	μA
待机电流(I_{STBY}), $EN = 1.8\text{ V}$	$T_J = -40^\circ\text{C}$ 至 $+85^\circ\text{C}$, 电流流入VIN引脚, $V_{IN} = 2.7\text{ V}$ 至 4.5 V		3	10	μA
工作静态电流	手电筒模式, LED电流 = 100 mA		5.3		mA
开关漏电流, SW	$T_J = -40^\circ\text{C}$ 至 $+85^\circ\text{C}$, $V_{SW}^3 = 4.5\text{ V}$			2	μA
	$T_J = 25^\circ\text{C}$, $V_{SW}^3 = 4.5\text{ V}$			0.5	μA
LED驱动器					
LED电流					
辅助照明, 手电筒	辅助照明值设置 = 0 (二进制000)		25		mA
	辅助照明值设置 = 7 (二进制111)		200		mA
Flash	闪光值设置 = 0 (二进制00000)		300		mA
	闪光值设置 = 14 (二进制01110)		1000		mA
LED电流误差	$I_{LED} = 700\text{ mA}$ 至 1000 mA	-6		+6	%
	$I_{LED} = 300\text{ mA}$ 至 650 mA	-7		+7	%
	$I_{LED} = 75\text{ mA}$ 至 200 mA	-10		+10	%
	$I_{LED} = 25\text{ mA}$ 至 50 mA	-15		+15	%
LED电流源裕量	闪光, 1000 mA LED电流		265		mV
	手电筒, 200 mA LED电流		190		mV
LED_OUT上斜坡时间				0.6	ms
LED_OUT下斜坡时间				0.1	ms
开关稳压器					
开关频率	开关频率 = 3 MHz	2.8	3	3.2	MHz
	开关频率 = 1.5 MHz	1.4	1.5	1.6	MHz
最小占空比	开关频率 = 3 MHz		14		%
	开关频率 = 1.5 MHz		7		%
NFET电阻			60		m Ω
PFET电阻			50		m Ω
电压输出模式					
VOUT电压		4.575	5.000	5.425	V
输出电流				500	mA
电压调整率	VOUT = 300 mA时的 I_{LOAD}		0.3		%/V
负载调整率			-0.7		%/A
通过模式转换, 闪光					
VIN至LED_OUT					
进入	1000 mA LED电流		530		mV
退出	1000 mA LED电流		400		mV
通过模式转换, 手电筒					
VIN至LED_OUT					
进入	200 mA LED电流		380		mV
退出	200 mA LED电流		285		mV

ADP1649

参数 ²	测试条件/注释	最小值	典型值	最大值	单位
数字输入/GPIOx					
输入逻辑					
低电压				0.54	V
高电压		1.26			V
GPIO1、PIO2、STROBE下拉			390		kΩ
手电筒毛刺滤波延迟	从手电筒上升沿到器件启动	5.5	7	7.5	ms
指示灯LED					
LED电流精度		-22		+22	%
短路检测阈值				1.2	V
开路检测阈值		2.45			V
模数转换器					
分辨率		4			位
误差	外部电压模式		0	±1	LSB
	V _F 模式, T _J = 25°C			±1	LSB
	V _F 模式, T _J = -40°C至+125°C			±1.5	LSB
输入电压范围, GPIO2	外部电压模式	0		0.5	V
安全特性					
闪光最大超时			1600		ms
定时器精度		-7.0		+7.0	%
直流限流	直流电流值设置 = 0 (二进制00)	1.35	1.5	1.65	A
	直流电流值设置 = 1 (二进制01)	1.55	1.75	1.95	A
	直流电流值设置 = 2 (二进制10)	1.8	2.0	2.2	A
低VBAT模式转换电压				3.2	%
误差					
迟滞			50		mV
线圈峰值限流	峰值电流值设置 = 0 (二进制00)	1.55	1.75	1.95	A
	峰值电流值设置 = 1 (二进制01)	2.02	2.25	2.5	A
	峰值电流值设置 = 2 (二进制10)	2.47	2.75	3.0	A
过压检测阈值		5.15	5.5	5.9	V
LED_OUT短路检测比较器基准电压			1.2	1.3	V
热关断阈值					
T _J 上升			150		°C
T _J 下降			140		°C

¹ V_{IN}为电路的输入电压。

² 所有极端温度下的限值根据标准统计质量控制(SQC)通过相关性测试予以保证。

³ V_{SW}为SW开关引脚上的电压。

推荐规格：输入输出电容和电感

表2.

参数	符号	测试条件/注释	最小值	典型值	最大值	单位
电容	C_{MIN}	$T_A = -40^{\circ}\text{C}$ 至 $+125^{\circ}\text{C}$	4.0	10		μF
输入						
输出						
最小和最大电感	L	$T_A = -40^{\circ}\text{C}$ 至 $+125^{\circ}\text{C}$	0.6	1.0	1.5	μH

I²C兼容接口时序规格

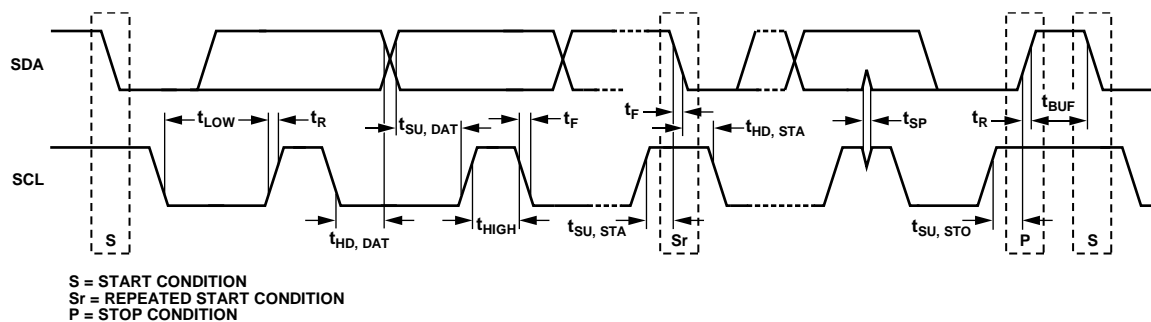
表3.

参数 ¹	最小值	最大值	单位	说明
f_{SCL}		400	kHz	SCL时钟频率
t_{HIGH}	0.6		μs	SCL高电平时间
t_{LOW}	1.3		μs	SCL低电平时间
$t_{SU, DAT}$	100		ns	数据建立时间
$t_{HD, DAT}$	0	0.9	μs	数据保持时间
$t_{SU, STA}$	0.6		μs	重复起始建立时间
$t_{HD, STA}$	0.6		μs	起始/重复起始保持时间
t_{BUF}	1.3		μs	停止与起始条件之间的总线空闲时间
$t_{SU, STO}$	0.6		μs	停止条件的建立时间
t_R	$20 + 0.1 C_B^2$	300	ns	SCL和SDA的上升时间
t_F	$20 + 0.1 C_B^2$	300	ns	SCL和SDA的下降时间
t_{SP}	0	50	ns	抑制尖峰的脉冲宽度
C_B^2		400	pF	各条总线的容性负载

¹ 通过设计保证。

² C_B 是一条总线的总电容(单位: pF)。

时序图

图3. I²C兼容接口时序图

10779-003

ADP1649

绝对最大额定值

表4.

参数	额定值
VIN、SDA、SCL、EN、GPIO1、GPIO2、STROBE、LED_OUT、SW、VOUT至电源地	-0.3 V至+6 V
PGND至SGND	-0.3 V至+0.3 V
环境温度范围(T _A)	-40°C至+85°C
结温范围(T _J)	-40°C至+125°C
存储温度	JEDEC J-STD-020
ESD模型	
人体	±2000 V
充电器件	±500 V
机器	±150 V

注意，超出上述绝对最大额定值可能会导致器件永久性损坏。这只是额定最大值，并不能以这些条件或者在任何其他超出本技术规范操作章节中所示规格的条件下，推断器件能否正常工作。长期在绝对最大额定值条件下工作会影响器件的可靠性。

热数据

超过结温限制可能会损害ADP1649。监控环境温度T_A并不能保证T_J不会超出额定温度限值。在功耗高、热阻差的应用中，可能需要降低最大T_A。在功耗中等且印刷电路板(PCB)热阻较低的应用中，只要T_J在额定限值以内，则最高T_A可以超过最大限值。器件的T_J取决于T_A、器件的功耗(PD)和封装的结至环境热阻(θ_{JA})。最大T_J由T_A和PD计算得出，公式如下：

$$T_J = T_A + (PD \times \theta_{JA})$$

热阻

封装的θ_{JA}利用4层板建模计算得出。θ_{JA}主要取决于应用和板布局。在最大功耗较高的应用中，需要特别注意热板设计。θ_{JA}的值可能随PCB材料、布局和环境条件不同而异。θ_{JA}的额定值基于4层、4×3英寸、2½盎司铜电路板，符合JEDEC标准。更多信息请参阅应用笔记AN-617：“MicroCSP™晶圆级芯片规模封装”。

θ_{JA}针对JEDEC 2S2P PCB上安装的器件而言。

表5. 热阻

封装类型	θ	单位
12引脚 WLCSP	75	°C/W

ESD警告



ESD(静电放电)敏感器件。

带电器件和电路板可能会在没有察觉的情况下放电。尽管本产品具有专利或专有保护电路，但在遇到高能量ESD时，器件可能会损坏。因此，应当采取适当的ESD防范措施，以避免器件性能下降或功能丧失。

引脚配置和功能描述

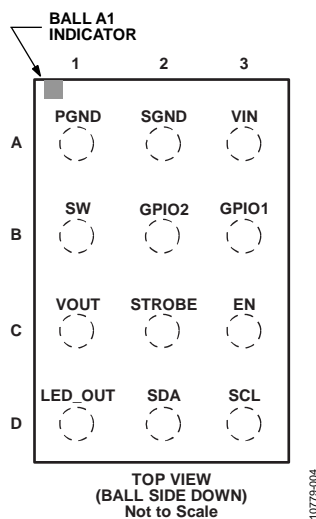


图4. 引脚配置

表6. 引脚功能描述

引脚编号	引脚名称	说明
A1	PGND	电源地。
A2	SGND	信号地。
A3	VIN	器件的输入电压。在靠近此引脚的地方连接一个输入旁路电容。
B1	SW	升压开关。功率电感连接在SW与输入电容之间。
B2	GPIO2	ILED/TxMASK2/ADC模式的通用输入/输出。这些模式可通过寄存器选择。这是一个多功能引脚，用于红色指示灯LED电流源、TxMASK2或ADC输入。 ILED模式。针对ILED模式，应将此引脚连接到红色LED阳极。LED阴极连接到电源地。 TxMASK2模式。此引脚的TxMASK2功能可将电流降至可编程的TxMASK2电流。 ADC模式。此引脚的ADC功能用作ADC的输入引脚。
B3	GPIO1	手电筒/TxMASK1模式的通用输入/输出。这些模式可通过寄存器选择。这是一个多功能引脚，用于外部手电筒模式或TxMASK1输入。 手电筒模式。使能该集成电路(IC)的直接手电筒模式。 TxMASK1模式。将闪光电流降至可编程TxMASK1电流。
C1	VOUT	升压输出。在非常靠近此引脚的地方连接一个输出旁路电容。VOUT是5 V外部电压模式的输出。
C2	STROBE	选通信号输入。STROBE将闪光脉冲与图像捕捉同步。多数情况下，此信号直接来自图像传感器。
C3	EN	使能。EN设为低电平时，静态电流(I_Q)小于1 μ A。EN从低电平变为高电平时，寄存器设为默认值。
D1	LED_OUT	LED电流源。LED_OUT引脚连接到闪光LED的阳极。
D2	SDA	I ² C模式下的I ² C数据信号。
D3	SCL	I ² C模式下的I ² C时钟信号。

典型性能参数

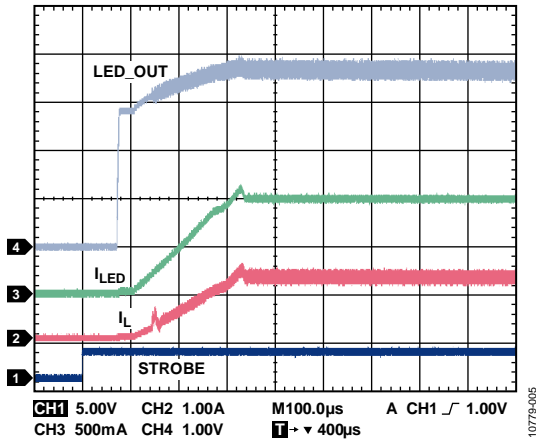


图5. 启动闪光模式, $V_{IN} = 3.6V$, $I_{LED} = 1000mA$

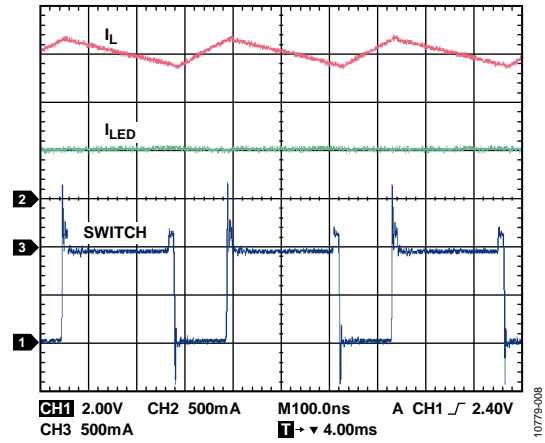


图8. 开关波形, 闪光模式, $I_{LED} = 1000mA$

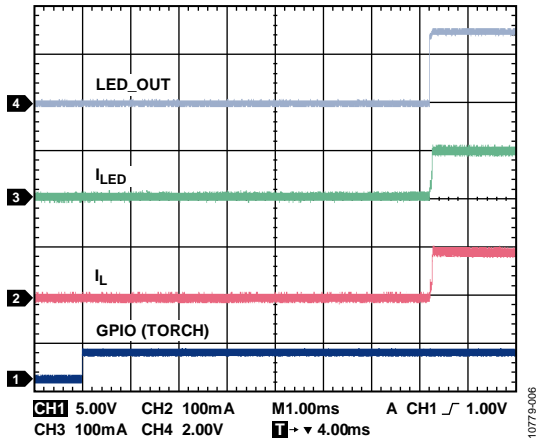


图6. 启动手电筒模式, $V_{IN} = 3.6V$, $I_{LED} = 100mA$

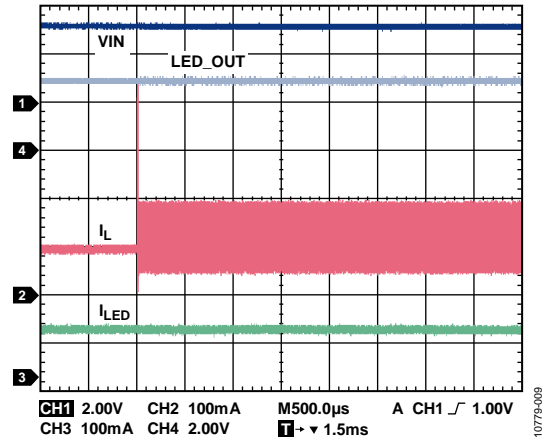


图9. 通过模式至升压模式转换, $I_{LED} = 100mA$

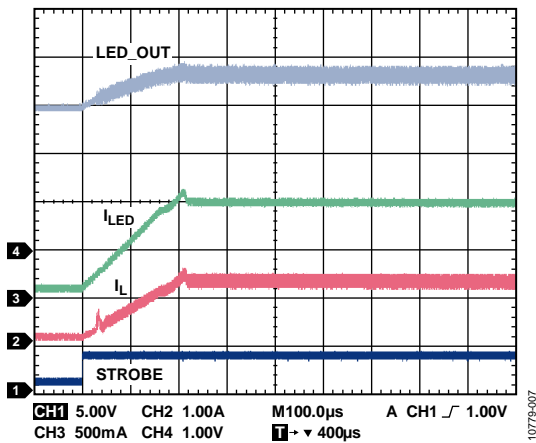


图7. 100mA手电筒模式至1000mA闪光模式转换

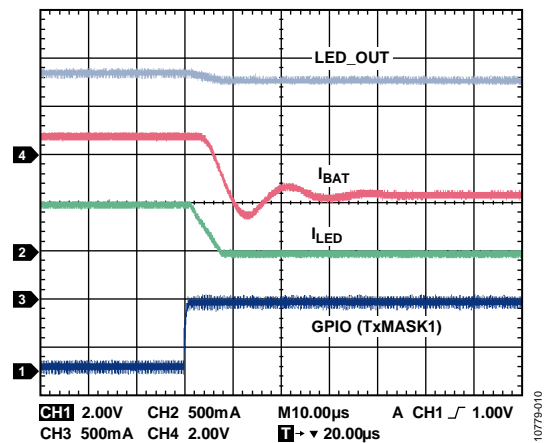


图10. 进入TxMASK1模式

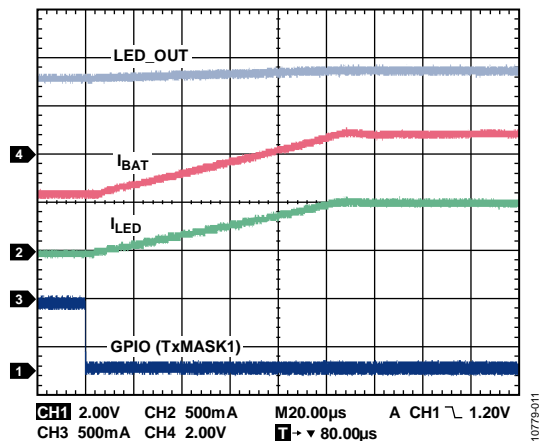


图11. 退出TxMASK1模式

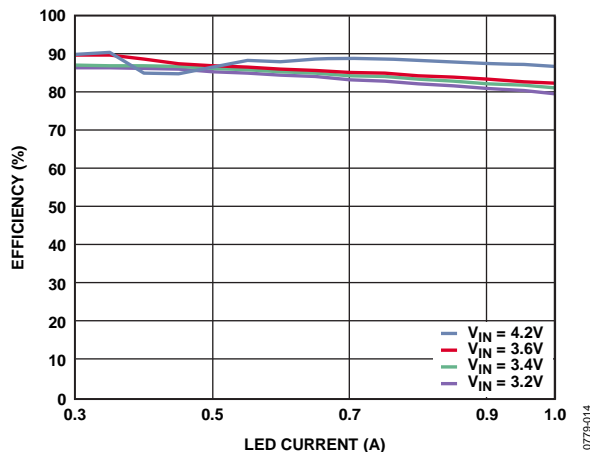


图14. 闪光模式效率与LED电流的关系

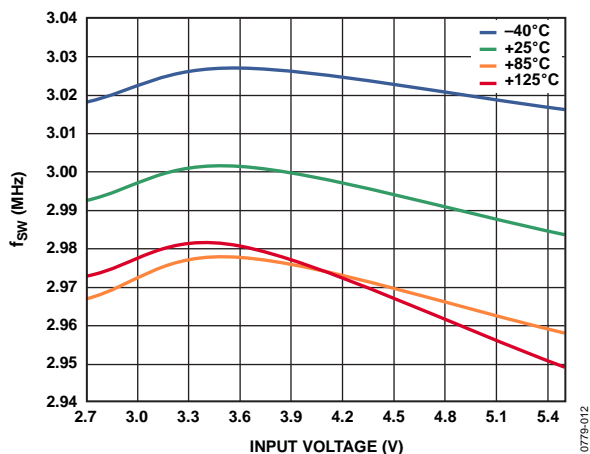


图12. 开关频率与电源电压的关系(3 MHz模式)

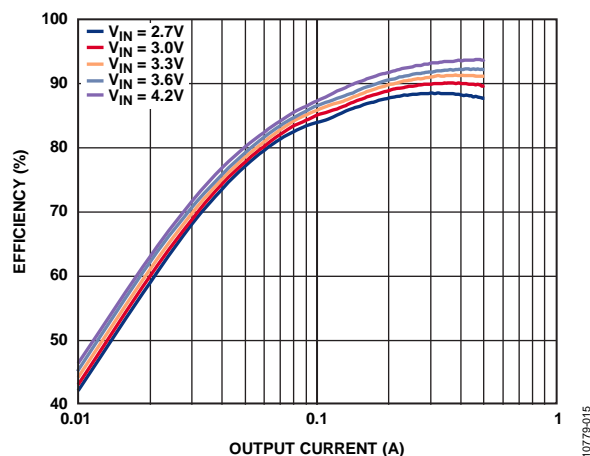


图15. 电压调节模式效率与负载电流的关系

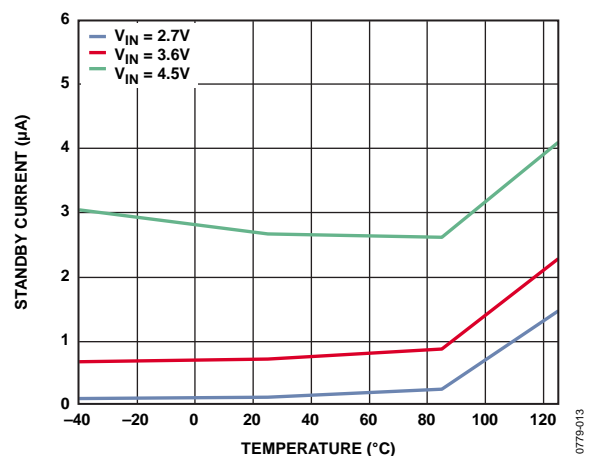


图13. 待机电流与温度

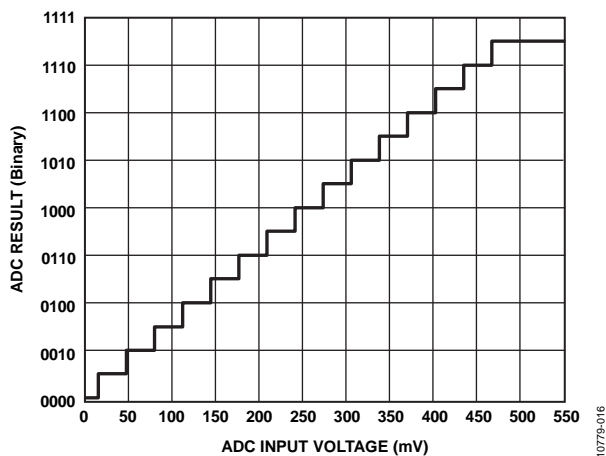


图16. ADC外部电压模式传递特性

ADP1649

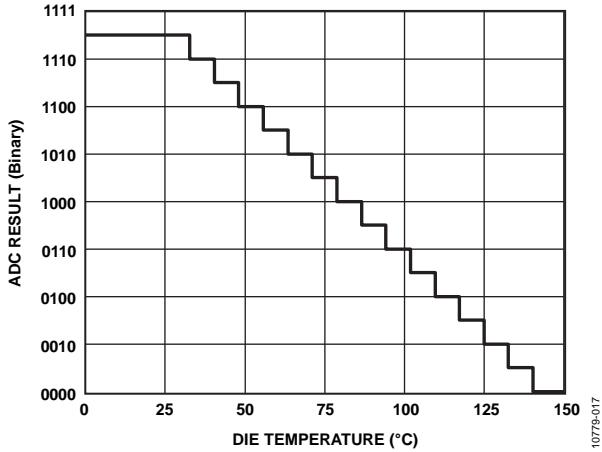


图17. ADC芯片温度模式传递特性

10779-017

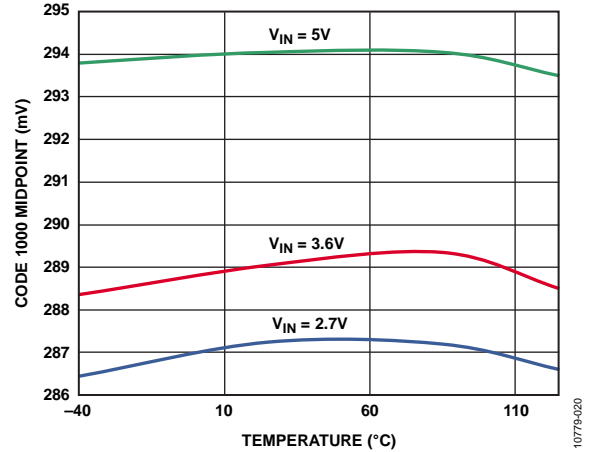


图20. ADC外部电压模式，编码1000，中点与温度的关系

10779-020

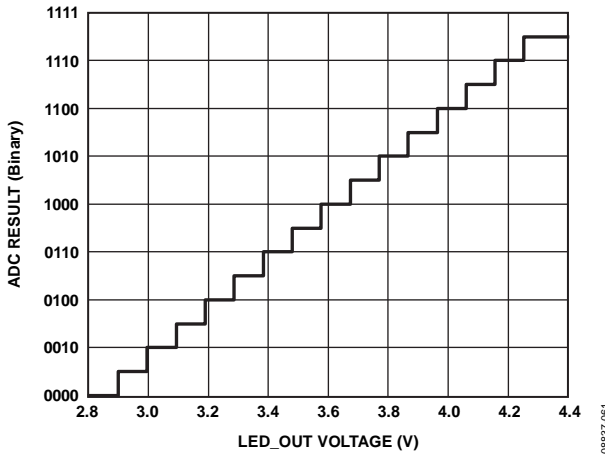


图18. ADC LED V_F 模式传递特性

08837-061

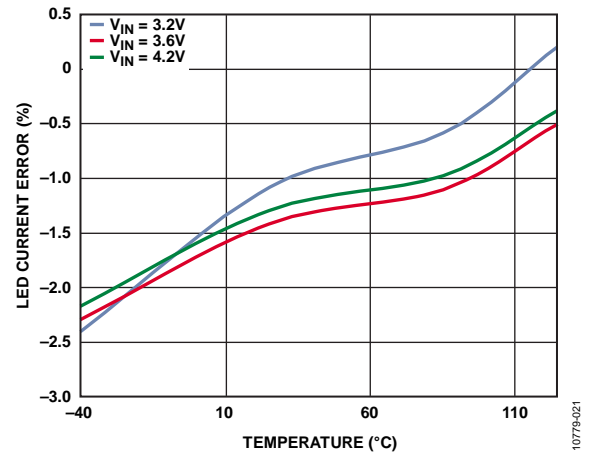


图21. LED电流误差与温度的关系, $I_{LED} = 800 \text{ mA}$

10779-021

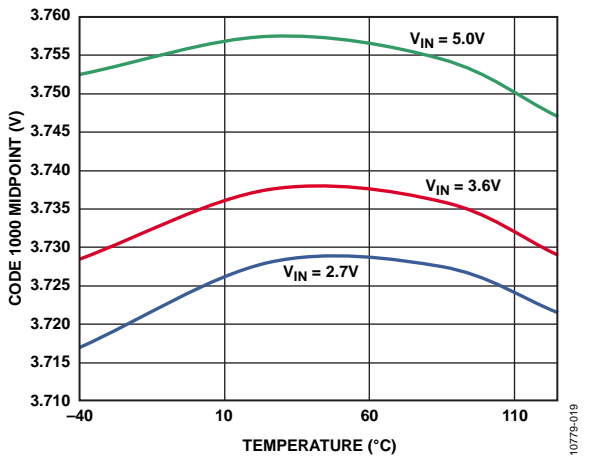


图19. ADC LED V_F 模式，编码1000，中点与温度的关系

10779-019

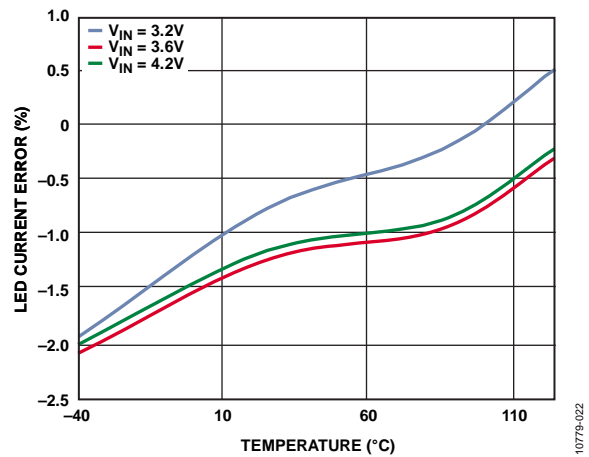


图22. LED电流误差与温度的关系, $I_{LED} = 1000 \text{ mA}$

10779-022

工作原理

ADP1649是一款高功率、I²C可编程白色LED驱动器，非常适合驱动白色LED以用作相机闪光灯。ADP1649包括一个升压转换器和一个电流调节器，适合为单个高功率白色LED供电。

白色LED驱动器

ADP1649驱动一个同步3 MHz升压转换器，从而为高功率LED供电。如果LED正向电压与电流调节器电压之和大于电池电压，升压转换器就会开启。如果电池电压大于LED V_F 与电流调节器电压之和，升压转换器就会禁用，器件工作在通过模式。ADP1649利用集成PFET高端电流调节器实现精确的亮度控制。

工作模式

使能引脚变为高电平后，可以通过I²C兼容接口，利用寄存器0x04的LED_MOD位，将器件设置为四种工作中的一种。

表7. LED_MOD位设置，I²C兼容接口

LED_MOD 设置	说明
00	设置器件为待机模式，功耗典型值为3 μ A。
01	设置器件为固定VOUT = 5 V输出模式。
10	设置器件为辅助照明模式，提供连续LED电流。
11	设置器件为闪光模式，提供最高1 A电流并持续1.6秒。

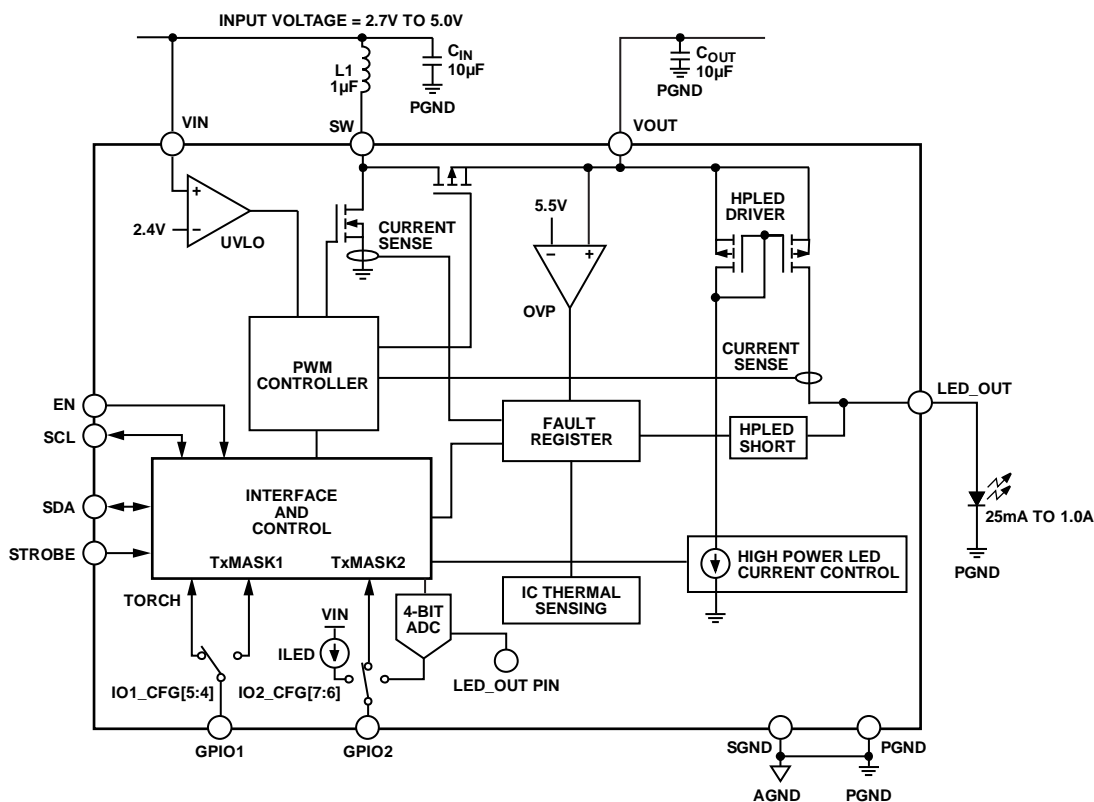


图23. 详细框图

10779-023

ADP1649

辅助照明

辅助照明模式提供25 mA至200 mA可编程的连续电流。辅助照明电流通过I_TOR位(寄存器0x03)设置。

要启用辅助照明，应将LED_MOD设为辅助照明模式，并设置OUTPUT_EN = 1(寄存器0x04)。设置LED_MOD为待机模式或OUTPUT_EN = 0可禁用辅助照明模式。

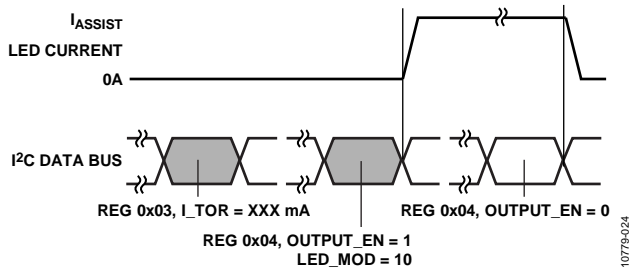


图24. 使能和禁用辅助照明模式

闪光模式

闪光模式提供300 mA到1 A电流，持续时间可编程，最长1.6秒。闪光电流通过I_FL位(寄存器0x03)设置，最长闪光持续时间通过FL_TIM位(寄存器0x02)设置。要启用闪光模式，应将LED_MOD设为闪光模式，并设置OUTPUT_EN = 1。要在无STROBE引脚的情况下启用闪光，应将STR_MODE(寄存器0x04)设为0(软件选通)。

当STR_MODE为硬件选通模式时，将STROBE引脚设为高电平可启用闪光，并将其与图像传感器同步。硬件选通模式有两种超时模式：电平敏感(STR_LV = 1, 寄存器0x04)和边沿敏感(STR_LV = 0, 寄存器0x04)。

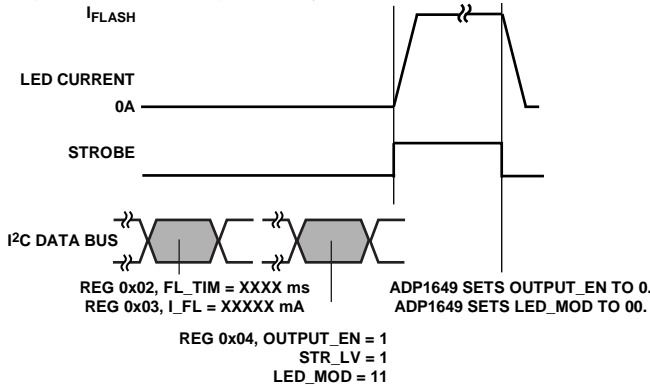


图25. 闪光操作：电平敏感模式

在电平敏感模式下，STROBE引脚保持高电平的持续时间决定闪光持续时间，最长为FL_TIM超时位指定的时间。如果STROBE保持高电平的时间比FL_TIM设置的持续时间还长，超时故障会禁用闪光。

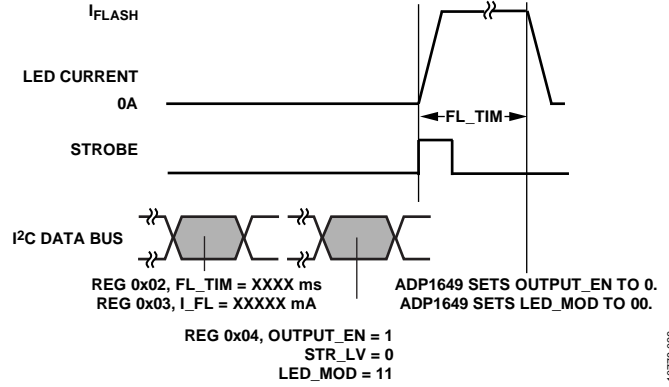


图26. 闪光操作：边沿敏感模式

在边沿敏感模式下，STROBE引脚的正沿使能闪光，FL_TIM位设置闪光持续时间。

辅助闪光操作

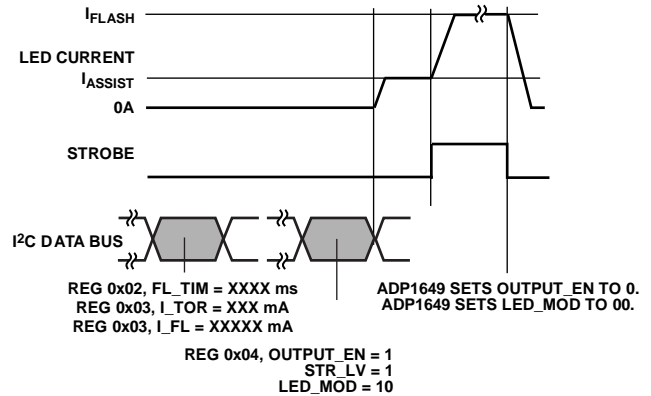


图27. 使能辅助闪光(电平敏感)模式

寄存器0x07的STR_POL位用于将STROBE引脚的默认使能模式从低电平变为高电平或从高电平变为低电平。器件还包括图像传感器特定的其它辅助/闪光使能模式，如需相关信息，请通过ADI公司销售团队申请。

手电筒模式

辅助/手电筒照明电流模式通过I_TOR位设置。要利用逻辑信号使能手电筒模式，应将LED_MOD设为待机模式，设置OUTPUT_EN = 1，并拉高GPIO1。设置GPIO1为低电平或OUTPUT_EN = 0，可禁用外部手电筒模式。在手电筒模式下拉低GPIO1会自动设置OUTPUT_EN = 0。要重新使能手电筒模式，应设置OUTPUT_EN = 1并再次拉高GPIO1。

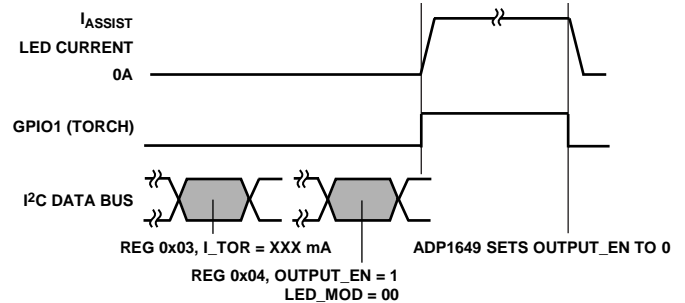


图28. 利用GPIO1使能外部手电筒模式

手电筒转闪光模式

驱动器可以从外部手电筒模式(使用GPIO1)直接转换到闪光模式,方法是先拉高STROBE引脚,再拉低GPIO1引脚(设置用于手电筒模式)。在STROBE引脚变为高电平之前禁用手电筒,可以防止闪光在STROBE引脚变为高电平时激发。

成功闪光后,ADP1649返回待机模式,并设置OUTPUT_EN = 0。

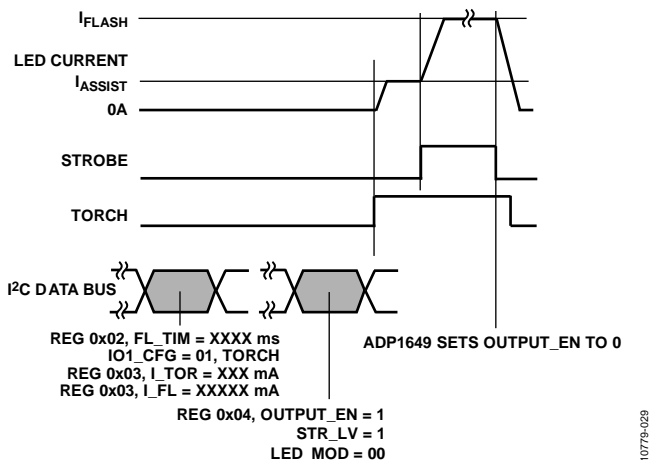


图29. 从外部手电筒模式使能闪光模式

TxMASK操作

当ADP1649处于闪光模式时, TxMASK1和TxMASK2功能会响应系统使能功率放大器而降低电池负载。器件仍然处于闪光模式,但LED驱动器输出电流在不到21 μs的时间内降至编程设置的TxMASK光照水平。

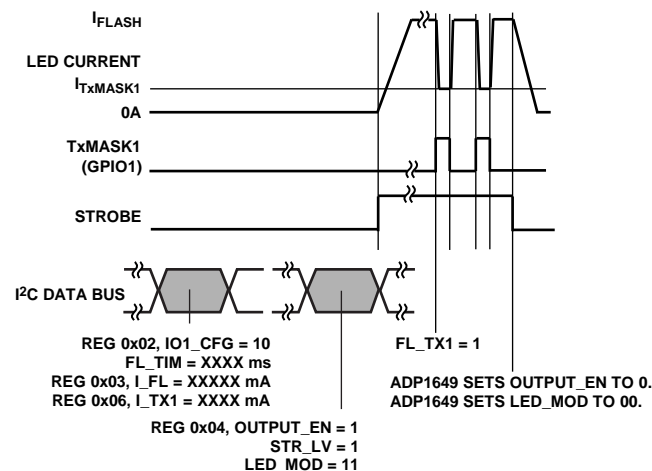


图30. 闪光(电平敏感)模式期间的TxMASK1操作

根据所用的TxMASK1或TxMASK2输入,器件选择TxMASK1或TxMASK2电流电平。闪光事件期间,只要TxMASK1或TxMASK2变为高电平,故障信息寄存器就会设置一个标志。为避免电池电流过冲,当TxMASK信号再

次变为低电平时,LED电流以受控方式返回全闪光电平。如果两个TxMASK输入同时设为高电平,则使用TxMASK1电流电平。

折频

折频是一个可选模式,当VIN略高于VOUT时,它可将开关频率降至1.5 MHz,从而优化效率。折频通过设置寄存器0x04的FREQ_FB = 1而使能。

指示灯LED驱动器

GPIO2上的指示灯LED驱动器提供2.75 mA到11 mA可编程的电流源,用于驱动内部红色LED;寄存器0x07的I_ILED位设置电流电平。该电路包括一个可编程电流源和一个监控电路,监控电路利用比较器来确定指示灯LED是短路还是开路。短路检测阈值为1.2 V(最大值),开路检测阈值为2.45 V(最小值)。指示灯LED不得同时用作闪光或辅助/手电筒事件。

低电量LED电流折返

随着电池放电,较低的电池电压通过电池ESR产生较高的峰值电流,这可能会导致手机过早关机。ADP1649具有可选的低电量检测功能,当电池电压降至一个可编程电平以下时,它可以降低闪光电流(至可编程电平)。设置V_VB_LO = 000将禁用低电量电流折返(详情见表8)。

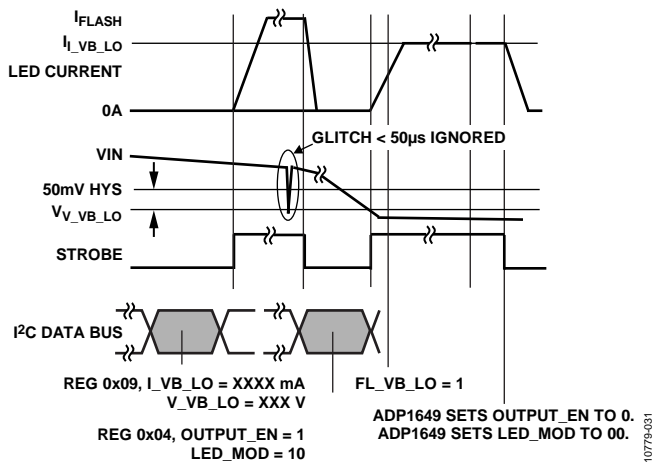


图31. 寄存器0x09设置电池电压阈值水平和降低后的LED电流电平

ADP1649

表8. 使能低 V_{BAT} 功能的 V_{DD} 电平

位名称	V_{DD} 电平
V_VB_LO	000 = 禁用(默认)
	001 = 3.3 V
	010 = 3.35 V
	011 = 3.4 V
	100 = 3.45 V
	101 = 3.5 V
	110 = 3.55 V
	111 = 3.6 V

可编程电池直流限流

ADP1649有4个可编程输入直流限流选项，可限制所有条件下的最大输入电池电流。这样，在LED正向电压(V_F)和电池电源电压变化较大的系统中，就可以使用较高LED电流，而不会有超过分配给闪光电流的风险。

表9. 设置LED电流的输入直流电流限值

位名称	限流
IL_DC	00 = 1.5 A
	01 = 1.75 A
	10 = 2.0 A (默认)
	11 = 保留

闪光启动时，如果电池电流未达到直流电流限值，LED将被设置为I_FL位代表的电流值。如果启动时电池电流达到编程设置的直流电流限值，LED电流不会进一步提高。故障信息寄存器中设置直流限流标志。寄存器0x03的I_FL位设置为自动降低后的限流LED电流，并且可供回读。

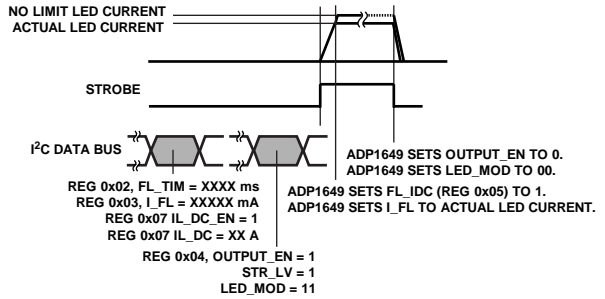


图32. 低电量、高LED V_F 情况下的直流限流操作

针对低电量和高 V_F LED情况，图33所示的相机系统可以根据已知的降低后LED电流调整图像传感器设置。

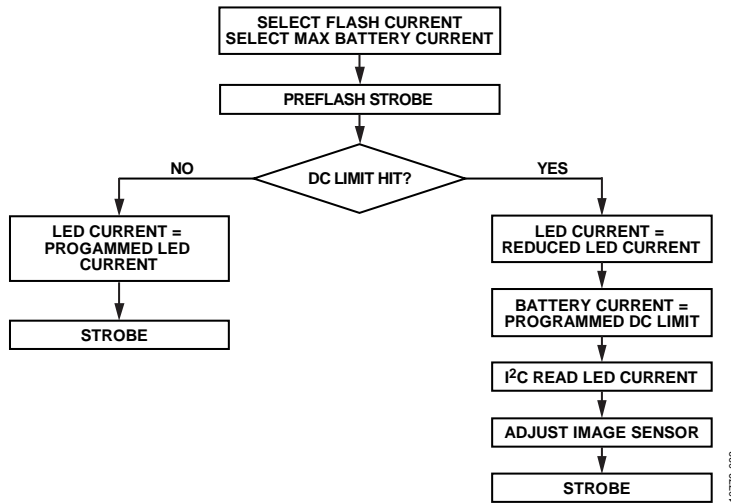


图33. 使用直流限流优化相机系统

模数转换器操作

内部4位模数转换器(ADC)可用于测量LED V_F 、集成电路(IC)芯片温度,或利用GPIO2引脚测量外部电压。4位分辨率输出代码通过I²C接口从寄存器0x08读取。

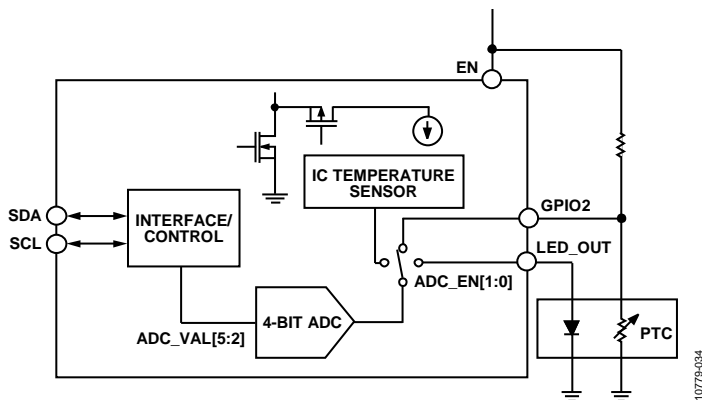


图34. 可用ADC模式

ADC可以在接到I²C命令后立即执行转换,也可以延迟转换,直到下次ADP1649退出活动模式。延迟转换很有用,例如测量定时闪光结束时的IC温度。

要设置延迟转换,应将ADC_EN设为所需的模式,同时设置OUTPUT_EN = 0。然后将ADP1649设为所需的输出模式(手电筒、闪光辅助照明或5 V输出),并设置OUTPUT_EN = 1。当ADP1649退出所选模式时,ADC执行转换。

要执行立即转换,应在ADP1649工作(OUTPUT_EN = 1)期间将ADC_EN设为所需的模式。注意,当ADP1649空闲时,ADC转换无法执行,这会被解释为试图设置延迟转换。

LED V_F 模式

在闪光和辅助/手电筒模式下,ADC均可测量LED V_F 。在手电筒模式下,设置ADC_EN = 01即开始转换。转换开始1 ms后,就可以从ADC_VAL[5:2]读出结果。在手机生产测试中,验证LED V_F 的最佳模式是辅助/手电筒,而不是闪光。

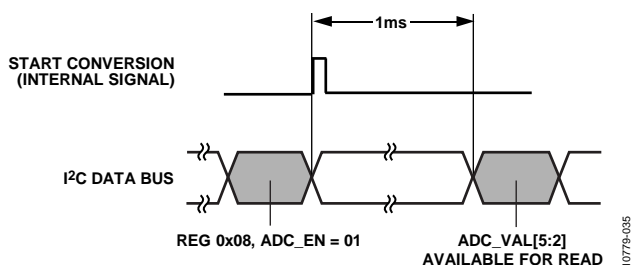


图35. 除闪光模式下的 V_F 测量以外的所有模式的ADC时序

在闪光模式下,设置ADC_EN = 01。转换发生在就要超时之前,因此,FL_TIM位设置ADC何时采样。这样,在LED结温稳定下来的同时, V_F 可以从初始峰值趋于稳定。在手机PCB设计阶段,通过将FL_TIM位从最低设置逐渐变为最高设置,并采集每次闪光的 V_F 样本,可以生成LED温度与闪光时间的关系曲线图。

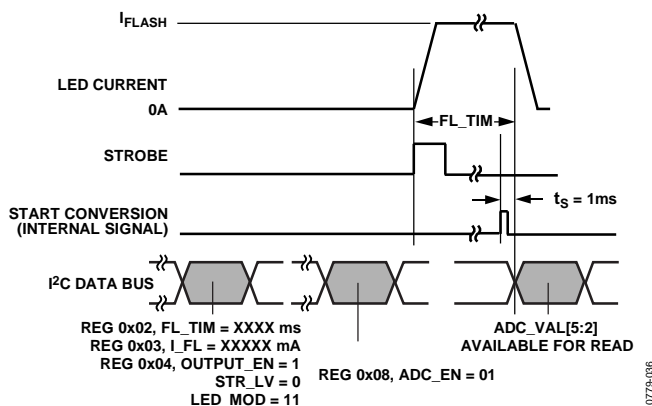


图36. 闪光模式下 V_F 测量的ADC时序

芯片温度模式

ADC测量IC芯片温度并通过I²C接口提供结果。在闪光系统的设计阶段,这可用于优化PCB布局,以实现最佳的散热设计。

设置ADC_EN = 10即开始芯片温度测量。转换开始1 ms后,就可以从ADC_VAL[5:2]读出结果。闪光脉冲结束时的芯片温度值最稳定且最精确。

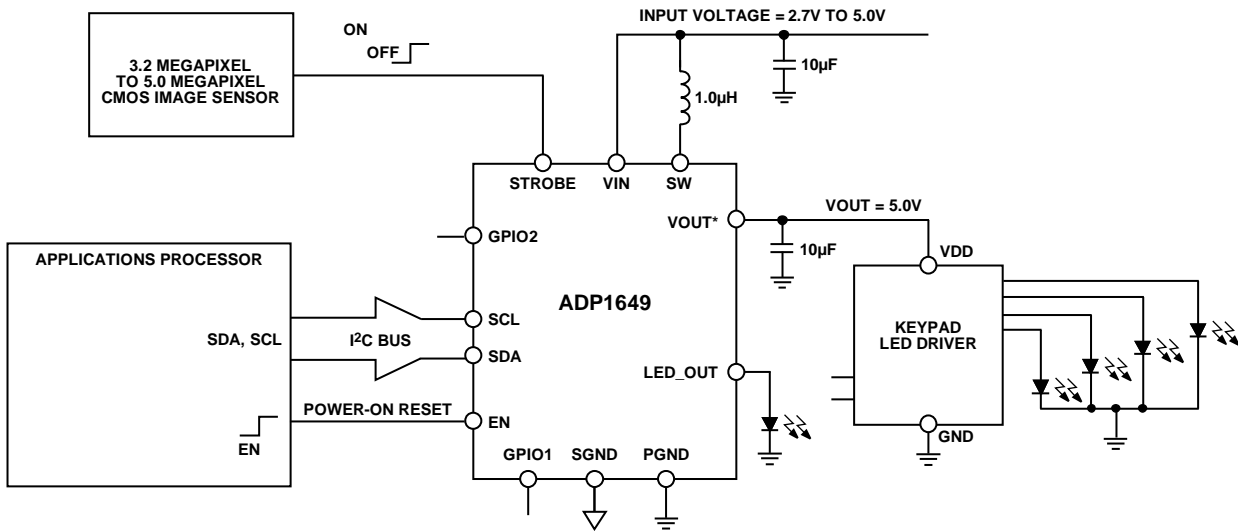
外部电压模式

设置IO2_CFG = 11以将GPIO2配置为ADC输入时,ADC可以测量GPIO2引脚上的电压。一个例子是使用一个温度相关的外部电阻,从而根据闪光LED的温度产生一个电压。EN线可用于偏置,以便降低闪光不用时的漏电流。

5 V输出操作

ADP1649可以用作一个5 V升压调节器,为音频电压轨提供高达500 mA电流,或提供键盘LED驱动器电压。要变为电压调节模式,必须将OUTPUT_EN位设为0。要使能5 V输出,应设置LED_MOD[1:0] = 01,并设置OUTPUT_EN = 1。ADP1649设置VOUT引脚为5 V,并将VOUT与LED_OUT断开。当ADP1649未使能时,VOUT引脚连接到SW节点。勿将VOUT直接连到外部正电压源,因为这会导致电流从VOUT流向电池。

ADP1649



*当ADP1649未使能时，VOUT引脚连接到SW节点。勿将VOUT直接连到外部正电压源，因为这会导致电流从VOUT流向电池。

图37. 电压调节模式：LED驱动器应用

10779-037

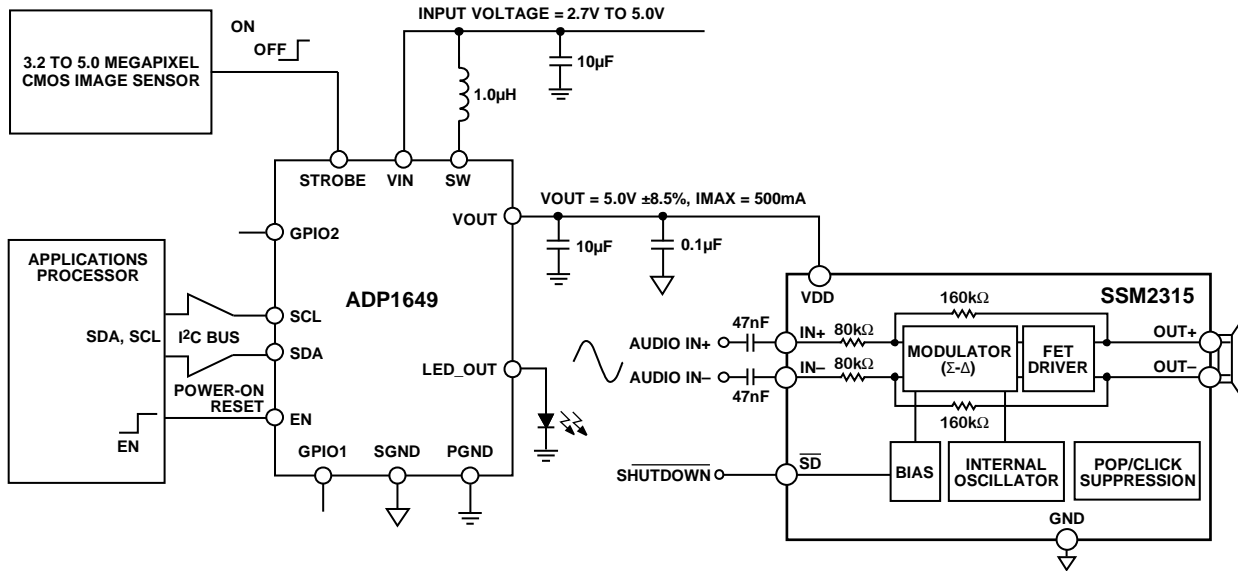


图38. 电压调节模式：D类音频应用

10779-038

安全特性

针对关键故障，如输出过压、闪光超时、LED输出短路和过温等状况，ADP1649内置保护特性。如果发生关键故障，OUTPUT_EN (寄存器0x04)就会置0，驱动器关断。故障信息寄存器(寄存器0x05)中会设置相应的故障位。处理器可以通过I²C接口读取故障信息寄存器，确定故障状况的性质。读取故障寄存器时，相应的故障位清0。

如果发生非关键性事件，如指示灯LED开路、短路、TxMASK1或TxMASK2事件等，或者达到直流、软电感电流限值时，LED驱动器会继续工作。故障信息寄存器中会设置相应的信息位，直到处理器读取寄存器。

短路故障

闪光驱动器禁用时，高端电流调节器断开电池与LED之间的直流通路，保护系统免受LED短路影响。LED_OUT引脚具有短路保护功能，当LED驱动器使能时，它监控LED电压。如果LED_OUT引脚一直低于短路检测阈值，即说明发生短路，故障信息寄存器的位6设为高电平。ADP1649保持禁用，直到处理器清除故障寄存器。

过压故障

ADP1649的VOUT引脚处有一个比较器，用于监控VOUT与GND之间的电压。如果该电压超过5.5 V (典型值)，ADP1649就会关断。故障信息寄存器的位7回读为高电平。ADP1649保持禁用，直到故障被清除，从而确保不受开路影响。

动态过压模式(DOVP)

动态OVP模式是一个可编程特性，用于限制超过OVP电平的VOUT电压，同时让尽可能多的电流通过LED。当电压远高于预期的LED正向电压时，这种模式可以防止过压故障。如果LED正向电压因为LED温度升高而降低，ADP1649将退出DOVP模式，并以编程设置的电流电平调节LED。DOVP模式通过将寄存器0x07的位7设为1来使能。

超时故障

当使能外部选通模式(寄存器0x04的位2)并将选通使能位设为电平敏感模式(寄存器0x04的位5)时，如果STROBE引脚保持高电平的时间超过编程设置的超时周期，超时故障位(寄存器0x05的位4)就会回读为高电平。ADP1649保持禁用，直到处理器清除故障寄存器。

过温故障

当ADP1649的结温升至150°C以上时，热保护电路就会关断器件，故障信息寄存器的位5设为高电平。ADP1649保持禁用，直到处理器清除故障寄存器。

指示灯LED故障

在指示灯LED模式下，GPIO2引脚具有开路 and 短路保护特性。如果发生短路或开路，故障信息寄存器的位2就会设为高电平。指示灯LED稳压器确保故障期间IC不受损害。

限流

内部开关会限制电池电流，确保峰值电感电流不超过编程限值(寄存器0x04的位6和位7设置电流限值)。ADP1649的默认模式是软限流模式。如果达到峰值电感电流限值，故障信息寄存器的位1就会置1，电感和LED电流无法进一步提高，不过ADP1649仍可继续工作。如果ADP1649禁用软限流，当峰值电感电流超过限值时，器件就会关断，故障信息寄存器的位1设为高电平。这种情况下，ADP1649保持禁用，直到处理器清除故障寄存器。

输入欠压

ADP1649内置一个电池欠压闭锁电路。5 V或LED工作模式下，如果电池电压降至输入UVLO阈值2.4 V (典型值)以下，ADP1649就会关断。当电压升高至UVLO上升阈值以上时，上电复位电路将寄存器复位到默认设置。

软启动

ADP1649有一个软启动模式，它以数字方式控制输出电流斜坡，从而控制启动时电池电流的提升速率。最长软启动时间为0.6 ms。

利用使能(EN)引脚复位

EN引脚从低电平变为高电平时，所有寄存器复位为默认值。拉低EN可将I_Q降至0.2 μA (典型值)。

清除故障

当处理器读取故障寄存器时，寄存器0x05中的信息位和故障位自动清0。

ADP1649

I²C接口

ADP1649具有一个I²C兼容串行接口，用于控制LED电流和回读系统状态寄存器。I²C芯片地址是0x30(写模式下为0x60，读模式下为0x61)。其它I²C地址可应要求提供。

图39显示了对单个寄存器的I²C写序列。子地址部分选择要写入ADP1649九个寄存器中的哪一个。写入8位数据字节后，ADP1649向主机发送应答。图40显示了对单个寄存器的I²C读序列。寄存器定义参见I²C寄存器映射部分。

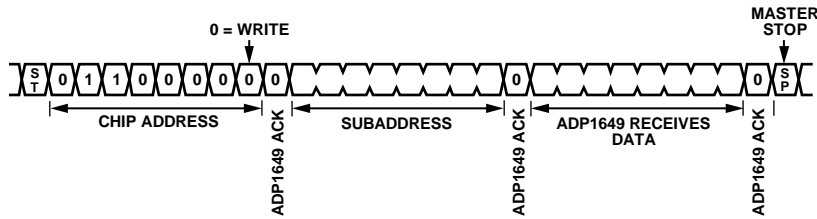


图39. 单个寄存器的I²C写序列

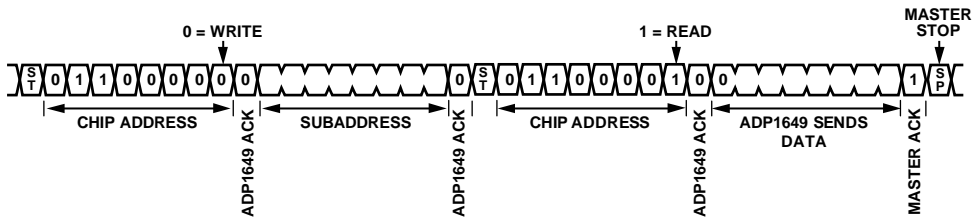


图40. 单个寄存器的I²C读序列

I²C寄存器映射

编号最小位(0)表示最低有效位，编号最大位(7)表示最高有效位，R/W表示相应位是只读(R)、只写(W)还是可读可写(R/W)。

表10. 设计信息寄存器(地址0x00)

位	位名称	R/W	复位状态
[7:0]	制造商信息	R	00100010

表11. VREF和定时器寄存器(寄存器0x02)

位	位名称	R/W	说明
[7:6]	IO2_CFG	R/W	GPIO2配置 00 = 高阻抗(默认) 01 = 指示灯LED 10 = TxMASK2工作模式 11 = 模拟输入(至ADC)
[5:4]	IO1_CFG	R/W	GPIO1配置 00 = 高阻抗(默认) 01 = 手电筒 10 = TxMASK1工作模式 11 = 保留
[3:0]	FL_TIM	R/W	闪光定时器值设置 0000 = 100 ms 0001 = 200 ms 0010 = 300 ms 0011 = 400 ms 0100 = 500 ms 0101 = 600 ms 0110 = 700 ms 0111 = 800 ms 1000 = 900 ms 1001 = 1000 ms 1010 = 1100 ms 1011 = 1200 ms 1100 = 1300 ms 1101 = 1400 ms 1110 = 1500 ms 1111 = 1600 ms(默认)

ADP1649

表12. 电流设置寄存器(寄存器0x03)

位	位名称	R/W	说明
[7:3]	I_FL	R/W	闪光电流值设置 00000 = 300 mA 00001 = 350 mA 00010 = 400 mA 00011 = 450 mA 00100 = 500 mA 00101 = 550 mA 00110 = 600 mA 00111 = 650 mA 01000 = 700 mA 01001 = 750 mA 01010 = 800 mA 01011 = 850 mA 01100 = 900 mA 01101 = 950 mA 01110 = 1000 mA (默认) 高于01110的编码为保留值。
[2:0]	I_TOR	R/W	手电筒和辅助照明电流值设置 000 = 25 mA 001 = 50 mA 010 = 75 mA 011 = 100 mA (默认) 100 = 125 mA 101 = 150 mA 110 = 175 mA 111 = 200 mA

表13. 输出模式寄存器(寄存器0x04)

位	位名称	R/W	说明
[7:6]	IL_PEAK	R/W	指示灯峰值限流设置 00 = 1.75 A 01 = 2.25 A 10 = 2.75 A (默认) 11 = 保留
5	STR_LV	R/W	0 = 边沿敏感 1 = 电平敏感(默认)
4	FREQ_FB	R/W	0 = 不允许频率折返到1.5 MHz (默认) 1 = 允许频率折返到1.5 MHz
3	OUTPUT_EN	R/W	0 = 输出关闭(默认) 1 = 输出开启
2	STR_MODE	R/W	0 = 软件选通模式(在闪光模式下使能输出时, 发生软件闪光) 1 = 硬件选通模式(STROBE引脚必须变为高电平才能闪光)(默认)
[1:0]	LED_MOD	R/W	配置LED输出模式 00 = 待机模式(默认) 01 = 电压输出模式, VOUT = 5 V 10 = 辅助照明模式 11 = 闪光模式

表14. 故障信息寄存器(地址0x05)

位	位名称	R/W	说明
7	FL_OVP	R	0 = 无故障(默认) 1 = 过压故障
6	FL_SC	R	0 = 无故障(默认) 1 = 短路故障
5	FL_OT	R	0 = 无故障(默认) 1 = 过温故障
4	FL_TO	R	0 = 无故障(默认) 1 = 超时故障
3	FL_TX1	R	0 = 上次闪光期间无TxMASK1工作模式(默认) 1 = 上次闪光期间出现TxMASK1工作模式
2	FL_IO2	R	如果GPIO2配置为TxMASK2 0 = 上次闪光期间无TxMASK2工作模式(默认) 1 = 上次闪光期间出现TxMASK2工作模式 如果GPIO2配置为ILED 0 = 无故障(默认) 1 = 指示灯LED故障
1	FL_IL	R	0 = 无故障(默认) 1 = 指示灯峰值限流故障
0	FL_IDC	R	0 = 未达到设置的直流电流限值(默认) 1 = 达到设置的直流电流限值

ADP1649

表15. 输入控制寄存器(地址0x06)

位	位名称	R/W	说明
[7:4]	L_TX2	R/W	TxMASK2工作模式折返电流 0000 = 100 mA 0001 = 150 mA 0010 = 200 mA 0011 = 250 mA 0100 = 300 mA 0101 = 350 mA 0110 = 400 mA (默认) 0111 = 450 mA 1000 = 500 mA 1001 = 550 mA 1010 = 600 mA 1011 = 650 mA 1100 = 700 mA 1101 = 750 mA 1110 = 800 mA 1111 = 850 mA
[3:0]	L_TX1	R/W	TxMASK1工作模式折返电流 0000 = 100 mA 0001 = 150 mA 0010 = 200 mA 0011 = 250 mA 0100 = 300 mA 0101 = 350 mA 0110 = 400 mA (默认) 0111 = 450 mA 1000 = 500 mA 1001 = 550 mA 1010 = 600 mA 1011 = 650 mA 1100 = 700 mA 1101 = 750 mA 1110 = 800 mA 1111 = 850 mA

表16. 其它模式寄存器, AD_MOD (寄存器0x07)

位	位名称	R/W	说明
7	DYN_OVP	R/W	动态过压保护(DOVP) 0 = DOVP关闭(默认) 1 = DOVP开启
6	SW_LO	R/W	强制使用1.5 MHz开关频率 0 = 禁用(默认) 1 = 使能
5	STR_POL	R/W	选通极性 0 = 低电平有效 1 = 高电平有效(默认)
[4:3]	I_ILED	R/W	指示灯LED电流 00 = 2.75 mA (默认) 01 = 5.5 mA 10 = 8.25 mA 11 = 11 mA
[2:1]	IL_DC	R/W	设置LED电流的输入直流电流限值 00 = 1.5 A 01 = 1.75 A 10 = 2.0 A (默认) 11 = 保留
0	IL_DC_EN	R/W	输入直流限流 0 = 禁用(默认) 1 = 使能

表17. 其它模式寄存器, ADC(寄存器0x08)

位	位名称	R/W	说明
7	保留	R/W	测试模式 0 = 禁用(默认) 1 = 使能
6	FL_VB_LO	R	设置的低 V_{BAT} 阈值状态; 必须在寄存器0x09中使能低电量模式 0 = V_{DD} 大于低 V_{BAT} 阈值(默认) 1 = V_{DD} 小于低 V_{BAT} 阈值
[5:2]	ADC_VAL	R/W	ADC回读值; 4位(见图16、图17和图18)
[1:0]	ADC_EN	R/W	ADC使能模式 00 = 禁用(默认) 01 = LED V_f 测量 10 = 芯片温度测量 11 = 外部电压模式

ADP1649

表18. 低电量模式寄存器(寄存器0x09)

位	位名称	R/W	说明
7	CL_SOFT	R/W	软峰值电感电流限流 0 = 禁用(达到峰值电感电流限值时, ADP1649禁用) 1 = 使能(默认)
[6:3]	I_VB_LO	R	低 V_{BAT} 模式的电流设置 0000 = 300 mA 0001 = 350 mA 0010 = 400 mA 0011 = 450 mA 0100 = 500 mA 0101 = 550 mA 0110 = 600 mA 0111 = 650 mA 1000 = 700 mA 1001 = 750 mA 1010 = 800 mA (默认) 1011 = 850 mA 1100 = 900 mA 1101 = 950 mA 1110 = 1000 mA 1111 = 保留
[2:0]	V_VB_LO	R/W	使能低 V_{BAT} 功能时的 V_{DD} 电平 000 = 禁用(默认) 001 = 3.3 V 010 = 3.35 V 011 = 3.4 V 100 = 3.45 V 101 = 3.5 V 110 = 3.55 V 111 = 3.6 V

应用信息

外部元件选择

选择电感

ADP1649升压转换器可提高电池电压以便驱动一个LED，其压降高于电池电压与电流源裕量电压之和。这样，转换器就能在整个电池电压范围内调节LED电流，LED正向电压变化幅度很宽。

电感饱和电流应大于直流输入电流与电感纹波电流的一半之和。饱和引起的有效电感降低会提高电感电流纹波。表19提供了一个推荐电感列表。

选择输入电容

ADP1649需要一个输入旁路电容来提供瞬态电流，同时保持输入和输出电压稳定。输入电容承载输入纹波电流，输入电源只需提供直流电流。提高输入电容可降低电池上开关频率纹波的幅度。由于陶瓷电容具有良好的直流偏置特性，最好使用0603、6.3 V、X5R/X7R、10 μ F陶瓷电容。数值较高的输入电容有助于降低输入电压纹波，并改善瞬态响应。

要最大程度减少电源噪声，可将输入电容尽可能靠近ADP1649的VIN引脚。必须使用低ESR电容。表20提供了一个建议输入电容列表。

表19. 建议电感

供应商	值(μ H)	产品型号	DCR (m Ω)	I _{SAT} (A)	尺寸: 长×宽×高(mm)
Coilcraft	1.0	XFL3010	43	2.4	3.0×3.0×1.0
Murata	1.0	LQM32P_G0	60	3	3.2×2.5×1.0
Würth	1.0	744028001	65	1.5	2.8×2.8×1.1
Taiyo Yuden	1.0	NR 3015T 1R0N	36	2.1	3.0×3.0×1.5
FDK	1.0	MIP3226D	40	3	2.5×2.0×1.2

表20. 建议输入电容

供应商	数值	产品型号	尺寸: 长×宽×高(mm)
Murata	10 μ F, 6.3 V	GRM188R60J106ME47	1.6×0.8×0.8
TDK	10 μ F, 6.3 V	C1608JB0J106K	1.6×0.8×0.8
Taiyo Yuden	10 μ F, 6.3 V	JMK107BJ106MA	1.6×0.8×0.8

表21. 建议输出电容

供应商	数值	产品型号	尺寸: 长×宽×高(mm)
Murata	10 μ F, 6.3 V	GRM188R60J106ME47	1.6×0.8×0.8
TDK	10 μ F, 6.3 V	C1608JB0J106K	1.6×0.8×0.8
Taiyo Yuden	10 μ F, 6.3 V	JMK107BJ106MA	1.6×0.8×0.8

选择输出电容

在NFET功率开关导通期间，输出电容保持输出电压稳定并提供LED电流。输出电容同时使环路保持稳定。建议输出电容为低ESR的10 μ F、6.3 V、X5R/X7R陶瓷电容。

注意，直流偏置特性数据可从电容制造商获得，选择输入输出电容时应予以考虑。6.3 V电容是多数设计的最佳选择。表21提供了一个推荐输出电容列表。

较高的输出电容值减少输出电压纹波并改善负载瞬态响应。选择此值时，考虑由输出电压直流偏置所引起的电容损耗也非常重要。

陶瓷电容可采用各种各样的电介质，温度和所施加的电压不同，其特性也不相同。电容的电介质必须确保在必要的温度范围和直流偏置条件下电容最小。建议使用电压额定值为6.3 V或10 V的X5R或X7R电介质，以实现最佳性能。建议不要将Y5V和Z5U电介质与任何DC/DC转换器一起使用，因为这类电介质的温度和直流偏置性能较差。

ADP1649

考虑电容随温度变化、元件容差和电压时，最差条件电容可通过以下公式计算：

$$C_{EFF} = C_{OUT} \times (1 - TEMPCO) \times (1 - TOL)$$

其中：

C_{EFF} 是工作电压下的有效电容量。

$TEMPCO$ 为最差的电容温度系数。

TOL 为最差的元件容差。

本例中，10 μF X5R 电容具有如下特性：

- -40°C 至 $+85^{\circ}\text{C}$ 范围内的 $TEMPCO$ 为 15%。
- TOL 为 10%。
- $V_{OUT}(\text{max}) = 5\text{ V}$ 时的 C_{OUT} 为 3 μF ，如图 41 所示。

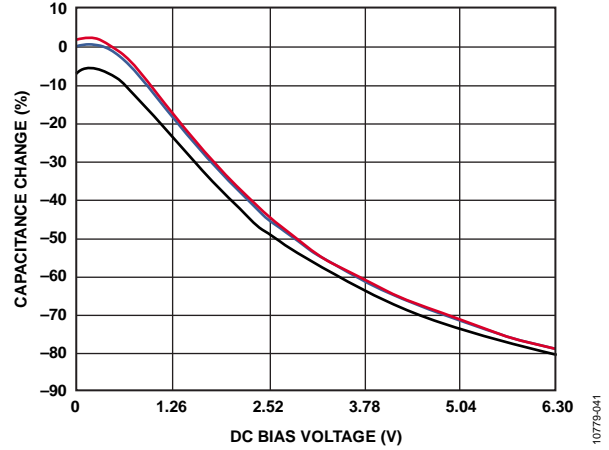


图 41. 6.3 V、10 μF 陶瓷电容的直流偏置特性

将这些值代入公式得出：

$$C_{EFF} = 3\ \mu\text{F} \times (1 - 0.15) \times (1 - 0.1) = 2.3\ \mu\text{F}$$

考虑到温度和直流偏置的影响，稳定性能所需的有效电容量为 3.0 μF 。

PCB布局布线

较差的布局会影响性能，从而造成电磁干扰(EMI)和电磁兼容性问题、接地反弹以及功率损耗。较差的布局还会影响调整率和稳定性。图42所示为采用以下原则实现的优化布局。

- 使用短走线将电感、输入电容和输出电容靠近IC放置。这些器件承载高开关频率和大电流。
- 使用走线连接电感和SW引脚，提供尽量宽的走线。最简单的路径是通过输出电容的中心。
- LED_OUT路径的布线远离电感和SW节点，以使噪声和电磁干扰最小。
- 最大限度增加元件侧的接地金属的尺寸，以加强散热。
- 使用两三个过孔接至输出电容附近元件侧接地的接地层，降低敏感电路节点上的噪声干扰。

根据系统设计约束条件，若要讨论其它布局，请通过ADI公司销售团队联系应用工程师。

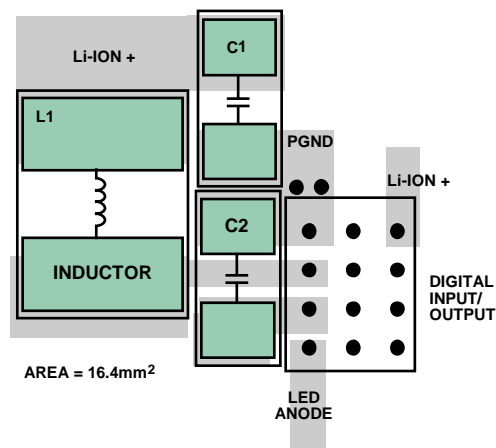


图42. ADP1649驱动高功率白色LED (WLCSP)的布局

ADP1649

封装和订购信息

外形尺寸

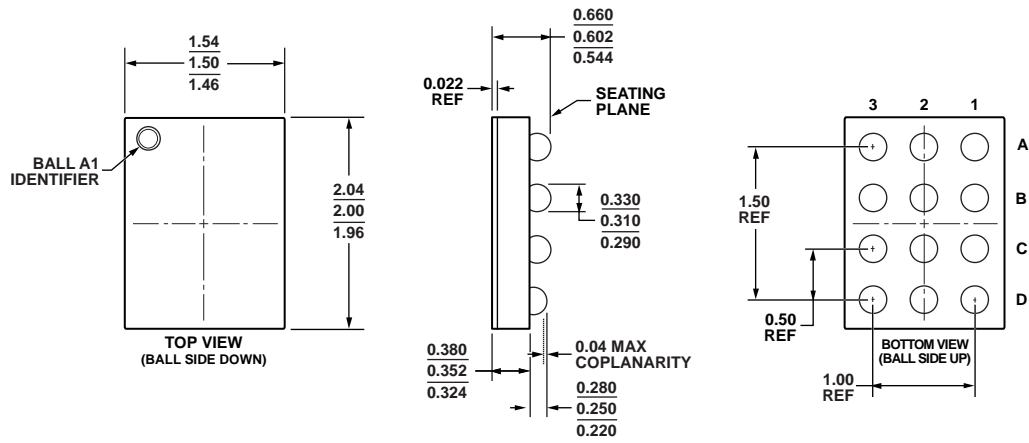


图43. 12引脚晶圆级芯片规模封装[WLCSP]
(CB-12-4)

图示尺寸单位: mm

订购指南

型号 ¹	温度范围	封装描述	封装选项 ²
ADP1649ACBZ-R7 ADP1649CB-EVALZ	-40°C至+125°C	12引脚晶圆级芯片规模封装[WLCSP] WLCSP封装评估板	CB-12-4

¹ Z = 符合RoHS标准的器件。

² 此封装选项不含卤素。

I²C指最初由Philips Semiconductors (现为NXP Semiconductors)开发的一种通信协议。