

### 产品特性

#### 超小尺寸解决方案

- 2 mm × 1.7 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，降低电池的高输入电流
- 手电筒模式下，限制电池功耗

#### I<sup>2</sup>C可编程

- 闪光灯模式下，一个LED的电流最高达750 mA，电流大于100 mA的情况下精度为±7%

#### 手电筒模式

- 可编程直流电池限流
- 可编程闪光定时器，最长1600 ms
- 低电池模式可自动降低LED电流

#### 器件控制

- I<sup>2</sup>C兼容控制寄存器
- 外部选通和手电筒输入引脚
- 射极屏蔽(TxMASK)输入

#### 安全特性

- 热过载保护
- 电感故障检测
- LED短路/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

ADP1660是一款用于高分辨率照相手机的超小尺寸、高效率双路白光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3.0 MHz同步电感升压转换器、一个I<sup>2</sup>C兼容接口和两个750 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功率小电感，并联电流源允许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，并使闪光消耗的电池电流降至最低。

Rev. 0

[Document Feedback](#)

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提供的最新英文版数据手册。

### 功能框图

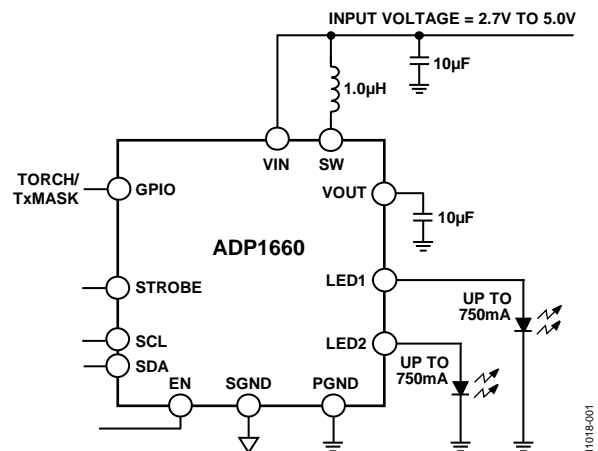


图1.

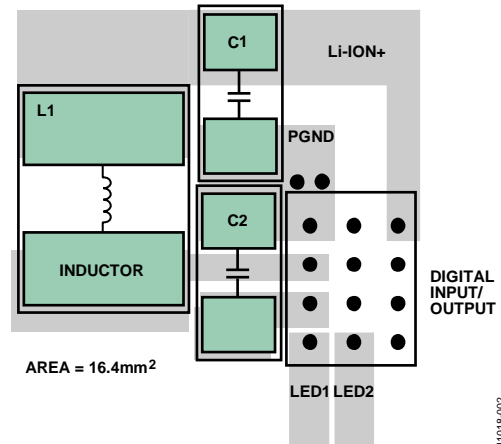


图2. PCB布局

可编程直流电池限流功能可安全地使所有LED正向电压和电池电压条件下的LED电流达到最大。

TxMASK输入可以在功率放大器电流上升时，快速降低闪光灯的LED电流和电池电流。I<sup>2</sup>C兼容接口可用于对定时器和电流进行编程并回读状态位，以实现工作监控和安全控制。

ADP1660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

|                                |    |                         |    |
|--------------------------------|----|-------------------------|----|
| 特性.....                        | 1  | 固定5 V输出模式.....          | 13 |
| 应用.....                        | 1  | 折频.....                 | 13 |
| 功能框图.....                      | 1  | 低电量LED电流折返.....         | 13 |
| 概述.....                        | 1  | 电池输入的直流限流.....          | 14 |
| 修订历史.....                      | 2  | 手电筒固定5 V输出模式.....       | 15 |
| 技术规格.....                      | 3  | 安全特性.....               | 16 |
| 推荐规格：输入输出电容和电感.....            | 4  | 短路故障.....               | 16 |
| I <sup>2</sup> C兼容型接口时序规格..... | 5  | 过压故障.....               | 16 |
| 绝对最大额定值.....                   | 6  | 动态过压保护模式.....           | 16 |
| 热数据.....                       | 6  | 超时故障.....               | 16 |
| 热阻.....                        | 6  | 过温故障.....               | 16 |
| ESD警告.....                     | 6  | 电流限制.....               | 16 |
| 引脚配置和功能描述.....                 | 7  | 输入欠压.....               | 16 |
| 典型性能参数.....                    | 8  | 软启动.....                | 16 |
| 工作原理.....                      | 10 | 利用使能(EN)引脚复位.....       | 16 |
| 白光LED驱动器.....                  | 10 | 清除故障.....               | 16 |
| 工作模式.....                      | 10 | I <sup>2</sup> C接口..... | 17 |
| 辅助照明模式.....                    | 11 | 寄存器映射.....              | 18 |
| 闪光模式.....                      | 11 | 寄存器详述.....              | 18 |
| 辅助闪光模式.....                    | 12 | 应用信息.....               | 24 |
| 手电筒模式.....                     | 12 | 外部元件选择.....             | 24 |
| 手电筒闪光模式.....                   | 12 | PCB布局.....              | 25 |
| TxMASK操作.....                  | 12 | 外形尺寸.....               | 26 |
| 独立触发模式.....                    | 13 | 订购指南.....               | 26 |

## 修订历史

2012年10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 <sup>2</sup>           | 测试条件/注释   | 最小值   | 典型值      | 最大值   | 单位            |
|---------------------------|---|-------|----------|-------|---------------|
| <b>电源</b>                 |   |       |          |       |               |
| 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             |
| 欠压闭锁迟滞                    |   | 50    | 100      | 150   | mV            |
| 关断电流， $EN = 0\text{ V}$   | $T_J = -40^\circ\text{C}$ 至 $+85^\circ\text{C}$ ，电流流入VIN引脚， $V_{IN} = 2.7\text{ V}$ 至 $4.5\text{ V}$                            |       | 0.2      | 1     | $\mu\text{A}$ |
| 待机电流， $EN = 1.8\text{ V}$ | $T_J = -40^\circ\text{C}$ 至 $+85^\circ\text{C}$ ，电流流入VIN引脚， $V_{IN} = 2.7\text{ V}$ 至 $4.5\text{ V}$                            |       | 3        | 10    | $\mu\text{A}$ |
| 工作静态电流                    | 手电筒模式， $I_{LED} = 100\text{ mA}$  |       | 5.3      |       | mA            |
| SW开关漏电流                   | $T_J = -40^\circ\text{C}$ 至 $+85^\circ\text{C}$ ， $V_{SW}^3 = 5\text{ V}$<br>$T_J = 25^\circ\text{C}$ ， $V_{SW}^3 = 5\text{ V}$ |       |          | 2     | $\mu\text{A}$ |
|                           |   |       |          | 0.5   | $\mu\text{A}$ |
| <b>LED驱动器</b>             |   |       |          |       |               |
| <b>LED电流</b>              |   |       |          |       |               |
| 辅助照明，手电筒模式电流              | 辅助照明值设置 = 0(二进制0 0000)  |       | 0        |       | mA            |
|                           | 辅助照明值设置 = 16(二进制1 0000)   |       | 200      |       | mA            |
| 闪光模式电流                    | 闪光值设置 = 0(二进制00 0000)   |       | 0        |       | mA            |
|                           | 闪光值设置 = 60(二进制11 1100)  |       | 750      |       | mA            |
| 每通道的LED电流误差               | $I_{LED} = 200\text{ mA}$ 至 $750\text{ mA}$   | -5    | $\pm 1$  | +5    | %             |
|                           | $I_{LED} = 100\text{ mA}$ 至 $187.5\text{ mA}$   | -7    | $\pm 1$  | +7    | %             |
|                           | $I_{LED} = 50\text{ mA}$ 至 $87.5\text{ mA}$   |       | $\pm 3$  |       | %             |
|                           | $I_{LED} = 25\text{ mA}$ 至 $37.5\text{ mA}$   |       | $\pm 6$  |       | %             |
|                           | $I_{LED} = 12.5\text{ mA}$  |       | $\pm 10$ |       | %             |
| LED通道失配                   | $I_{LED} = 275\text{ mA}$ 至 $750\text{ mA}$   |       | 0.5      | 3     | %             |
|                           | $I_{LED} = 137.5\text{ mA}$ 至 $262.5\text{ mA}$   |       | 1        | 4     | %             |
|                           | $I_{LED} = 25\text{ mA}$ 至 $125\text{ mA}$  |       | 2        |       | %             |
|                           | $I_{LED} = 12.5\text{ mA}$  |       | 4        |       | %             |
| LED电流源裕量                  | 闪光模式， $I_{LED} = 750\text{ mA}$   |       | 290      |       | mV            |
|                           | 手电筒模式， $I_{LED} = 200\text{ mA}$  |       | 190      |       | mV            |
| LED1/LED2斜升时间             |   |       |          | 0.6   | ms            |
| LED1/LED2斜降时间             |   |       |          | 0.1   | ms            |
| <b>开关稳压器</b>              |   |       |          |       |               |
| <b>开关频率</b>               |   |       |          |       |               |
| 开关频率                      | 开关频率 = 3 MHz  | 2.8   | 3.0      | 3.2   | MHz           |
|                           | 开关频率 = 1.5 MHz  | 1.4   | 1.5      | 1.6   | MHz           |
| <b>最小占空比</b>              |   |       |          |       |               |
| 最小占空比                     | 开关频率 = 3 MHz  |       | 14       |       | %             |
|                           | 开关频率 = 1.5 MHz  |       | 7        |       | %             |
| <b>N-FET电阻</b>            |   |       |          |       |               |
| <b>P-FET电阻</b>            |   |       |          |       |               |
| <b>电压输出模式</b>             |   |       |          |       |               |
| VOUT电压                    |   | 4.575 | 5        | 5.425 | V             |
| 输出电流                      |   |       |          | 500   | mA            |
| 电压调整率                     | VOUT引脚 = 300 mA时的 $I_{LOAD}$  |       | 0.3      |       | %/V           |
| 负载调整率                     |   |       | -0.7     |       | %/A           |
| <b>通过模式转换</b>             |   |       |          |       |               |
| <b>闪光模式</b>               |   |       |          |       |               |
| $V_{IN}$ 到LED1/LED2，进入    | $I_{LED1} = I_{LED2} = 750\text{ mA}$   |       | 580      |       | mV            |
| $V_{IN}$ 到LED1/LED2，退出    | $I_{LED1} = I_{LED2} = 750\text{ mA}$   |       | 435      |       | mV            |
| <b>手电筒模式</b>              |   |       |          |       |               |
| $V_{IN}$ 到LED1/LED2，进入    | $I_{LED} = 200\text{ mA}$   |       | 380      |       | mV            |
| $V_{IN}$ 到LED1/LED2，退出    | $I_{LED} = 200\text{ mA}$   |       | 285      |       | mV            |

# ADP1660

| 参数 <sup>2</sup>        | 测试条件/注释             | 最小值  | 典型值  | 最大值  | 单位 |
|------------------------|---------------------|------|------|------|----|
| 数字输入/GPIO引脚            |                     |      |      |      |    |
| 输入逻辑低电平电压              |                     |      |      | 0.54 | V  |
| 输入逻辑高电平电压              |                     | 1.26 |      |      | V  |
| GPIO、STROBE下拉电阻        |                     |      | 390  |      | kΩ |
| 手电筒毛刺滤波延迟 <sup>4</sup> | 从GPIO(手电筒)上升沿到器件启动  | 7.4  | 8.0  | 8.6  | ms |
| 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 <sup>5</sup>      | 直流电流值设置 = 0(二进制000) | 0.9  | 1.0  | 1.1  | A  |
|                        | 直流电流值设置 = 1(二进制001) | 1.1  | 1.25 | 1.4  | A  |
|                        | 直流电流值设置 = 2(二进制010) | 1.35 | 1.5  | 1.65 | A  |
|                        | 直流电流值设置 = 3(二进制011) | 1.55 | 1.75 | 1.95 | A  |
|                        | 直流电流值设置 = 4(二进制100) | 1.8  | 2.0  | 2.2  | A  |
|                        | 直流电流值设置 = 5(二进制101) | 2.0  | 2.25 | 2.5  | A  |
|                        | 直流电流值设置 = 6(二进制110) | 2.25 | 2.5  | 2.75 | A  |
|                        | 直流电流值设置 = 7(二进制111) | 2.45 | 2.75 | 3.1  | A  |
| 低电池模式转换电压              |                     |      |      | 3.2  | %  |
| 误差                     |                     |      |      |      | %  |
| 迟滞                     |                     |      | 50   |      | mV |
| 线圈峰值限流 <sup>6</sup>    | 峰值电流值设置 = 0(二进制00)  | 2.02 | 2.25 | 2.5  | A  |
|                        | 峰值电流值设置 = 1(二进制01)  | 2.47 | 2.75 | 3.0  | A  |
|                        | 峰值电流值设置 = 2(二进制10)  | 2.9  | 3.25 | 3.5  | A  |
|                        | 峰值电流值设置 = 3(二进制11)  | 3.15 | 3.5  | 3.85 | A  |
| 过压检测阈值                 |                     | 5.15 | 5.5  | 5.9  | V  |
| LED1/LED2短路检测比较器基准电压   |                     |      | 1.0  | 1.3  | V  |
| 热关断阈值                  |                     |      |      |      |    |
| T <sub>J</sub> 上升      |                     |      | 150  |      | °C |
| T <sub>J</sub> 下降      |                     |      | 140  |      | °C |

<sup>1</sup> V<sub>IN</sub>为电路的输入电压。

<sup>2</sup> 所有极端温度下的限值采用标准统计质量控制(SQC)通过相关性予以保证。

<sup>3</sup> V<sub>SW</sub>为SW开关引脚上的电压。

<sup>4</sup> 通过设计保证。手电筒毛刺滤波直接取决于内部振荡器容差。

<sup>5</sup> 除1.25 A设置经生产测试外，所有直流均通过设计保证其限流值。

<sup>6</sup> 除2.25 A设置经生产测试外，所有线圈峰值均通过设计保证其限流值。

## 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      |                  |                               |     |     |     |    |
| 输入      | C <sub>MIN</sub> | T <sub>A</sub> = -40°C至+125°C | 4.0 | 10  |     | μF |
| 输出      |                  |                               | 3.0 | 10  | 20  | μF |
| 最小和最大电感 | L                | T <sub>A</sub> = -40°C至+125°C | 0.6 | 1.0 | 1.5 | μH |

## I<sup>2</sup>C兼容接口时序规格

表3.

| 参数 <sup>1</sup>             | 最小值                                  | 最大值  | 单位  | 描述               |
|-----------------------------|--------------------------------------|------|-----|------------------|
| f <sub>SCL</sub>            |                                      | 1000 | kHz | SCL时钟频率          |
| t <sub>HIGH</sub>           | 0.26                                 |      | μs  | SCL高电平时间         |
| t <sub>LOW</sub>            | 0.5                                  |      | μs  | SCL低电平时间         |
| t <sub>SU, DAT</sub>        | 50                                   |      | ns  | 数据建立时间           |
| t <sub>HD, DAT</sub>        | 0                                    | 0.9  | μs  | 数据保持时间           |
| t <sub>SU, STA</sub>        | 0.26                                 |      | μs  | 重复起始建立时间         |
| t <sub>HD, STA</sub>        | 0.26                                 |      | μs  | 起始/重复起始保持时间      |
| t <sub>BUF</sub>            | 0.5                                  |      | μs  | 停止与起始条件之间的总线空闲时间 |
| t <sub>SU, STO</sub>        | 0.26                                 |      | μs  | 停止条件的建立时间        |
| t <sub>R</sub>              | 20 + 0.1 C <sub>B</sub> <sup>2</sup> | 120  | ns  | SCL和SDA的上升时间     |
| t <sub>F</sub>              | 20 + 0.1 C <sub>B</sub> <sup>2</sup> | 120  | ns  | SCL和SDA的下降时间     |
| t <sub>SP</sub>             | 0                                    | 50   | ns  | 抑制尖峰的脉冲宽度        |
| C <sub>B</sub> <sup>2</sup> |                                      | 400  | pF  | 各条总线的容性负载        |

<sup>1</sup> 通过设计保证。

<sup>2</sup> C<sub>B</sub>是一条总线的总电容(单位: pF)。

### 时序图

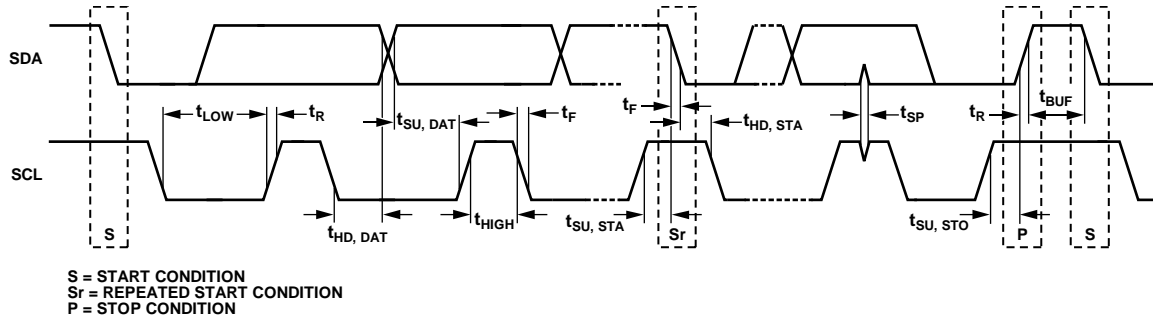


图3. I<sup>2</sup>C兼容接口时序图

11018-003

## 绝对最大额定值

表4.

| 参数   | 额定值             |
|--|-----------------|
| VIN, SDA, SCL, EN, GPIO, STROBE, LED1, LED2, SW, VOUT至 PGND至SGND | -0.3 V至+6 V     |
| 环境温度范围( $T_A$ )  | -0.3 V至+0.3 V   |
| 结温范围( $T_J$ )  | -40°C至+85°C     |
| 存储温度   | -40°C至+125°C    |
| ESD  | JEDEC J-STD-020 |
| 人体模型   | ±1000 V         |
| 充电器件模型   | ±500 V          |
| 机器放电模型   | ±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。这只是额定最值，并不能以这些条件或者在任何其它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

结温( $T_J$ )高于限值时，会损坏ADP1660。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、PCB热阻差的应用中，可能需要降低最大 $T_A$ 。在功耗中等且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。

器件的结温( $T_J$ )取决于环境温度( $T_A$ )、器件功耗( $P_D$ )以及封装的结至环境热阻( $\theta_{JA}$ )。最大 $T_J$ 由 $T_A$ 和 $P_D$ 计算得出，公式如下：

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

### 热阻

封装的结至环境热阻( $\theta_{JA}$ )基于使用4层板的建模和计算方法。 $\theta_{JA}$ 的值主要取决于应用和电路板布局。在最大功耗较高的应用中，需要特别注意热板设计。

$\theta_{JA}$ 的值可能随PCB材料、布局和环境条件不同而异。 $\theta_{JA}$ 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：“晶圆级芯片规模封装”。

表5中， $\theta_{JA}$ 适用于JEDEC 2S2P的PCB上安装的器件。

表5. 热阻

| 封装类型        | $\theta_{JA}$ | 单位   |
|-------------|---------------|------|
| 12引脚WLCSP封装 | 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

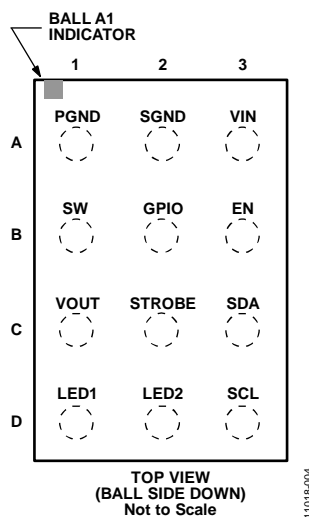


图4. 引脚配置

表6. 引脚功能描述

| 引脚编号 | 名称     | 描述  |
|------|--------|---|
| A1   | PGND   | 电源地。  |
| A2   | SGND   | 信号地。  |
| A3   | VIN    | 器件的输入电压。在非常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   | GPIO   | 该引脚可设置器件进入手电筒模式或作为TxMASK输入，具体取决于寄存器0x02位[5:4]的数值设置(见表14)。当该引脚配置为TxMASK输入时，闪光电流降低为寄存器0x07(对于LED1而言)和寄存器0x0A(对于LED2而言)中经过编程后的TxMASK电流值。 |
| B3   | EN     | 使能。EN设为低电平时，静态电流( $I_Q$ )小于1 $\mu$ A。EN从低电平变为高电平时，寄存器设为默认值。   |
| 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。该引脚是5V/外部电压模式的输出。  |
| C2   | STROBE | 选通信号输入。该引脚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   | SDA    | I <sup>2</sup> C数据信号。   |
| D1   | LED1   | LED1的电流源。将该引脚连接至闪光LED1的阳极。  |
| D2   | LED2   | LED2的电流源。将该引脚连接至闪光LED2的阳极。  |
| D3   | SCL    | I <sup>2</sup> C时钟信号。   |

## 典型性能参数

$I_{LED}$  = LED电流,  $V_{LED}$  = LED输出电压,  $I_{BAT}$  = 电池电流。

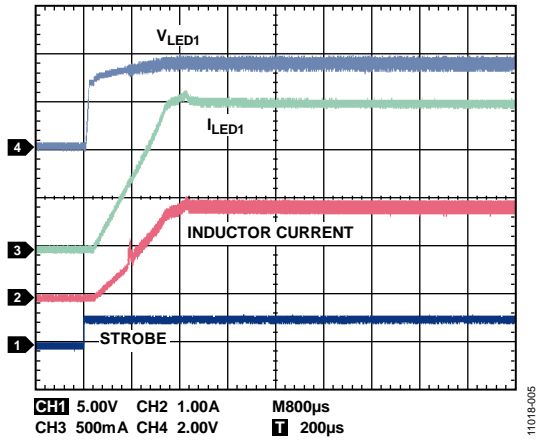


图5. 启动, 闪光模式,  $V_{IN} = 3.6V$ ,  $I_{LED1} = I_{LED2} = 750mA$

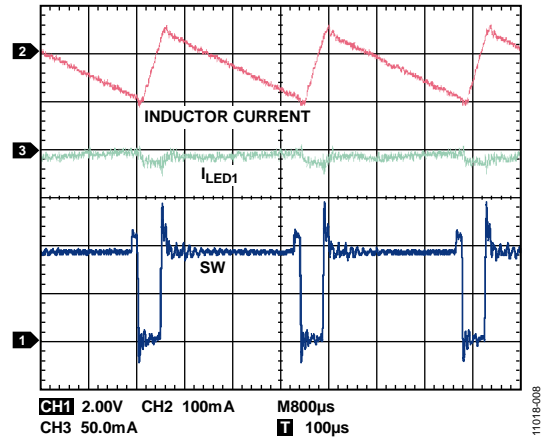


图8. 开关波形, 闪光模式,  $I_{LED1} = I_{LED2} = 750mA$

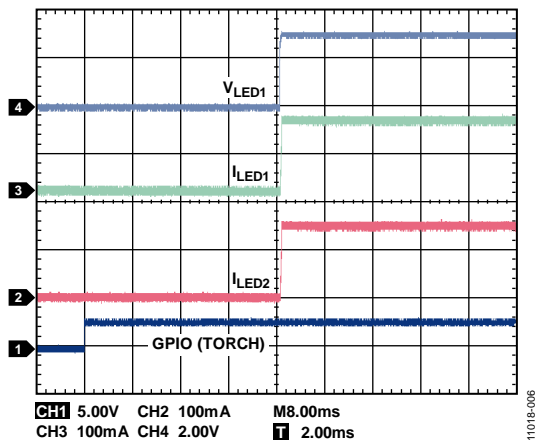


图6. 启动, 手电筒模式,  $V_{IN} = 3.6V$ ,  $I_{LED1} = I_{LED2} = 150mA$

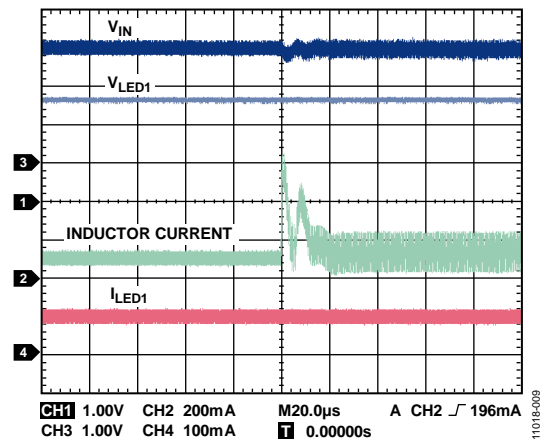


图9. 通过模式至升压模式转换, 单LED,  $I_{LED1} = 50mA$

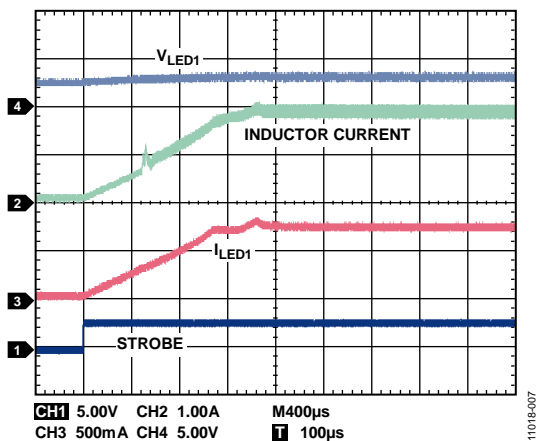


图7. 手电筒电流至750mA闪光电流转换,  $I_{LED1} = I_{LED2} = 50mA$

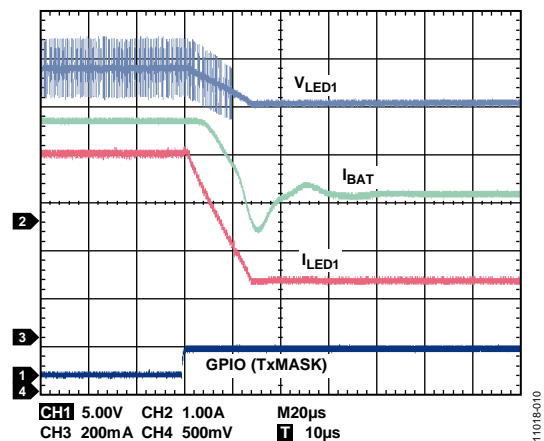


图10. 进入TxMASK模式,  $I_{LED1} = I_{LED2} = 750mA$ 至250mA



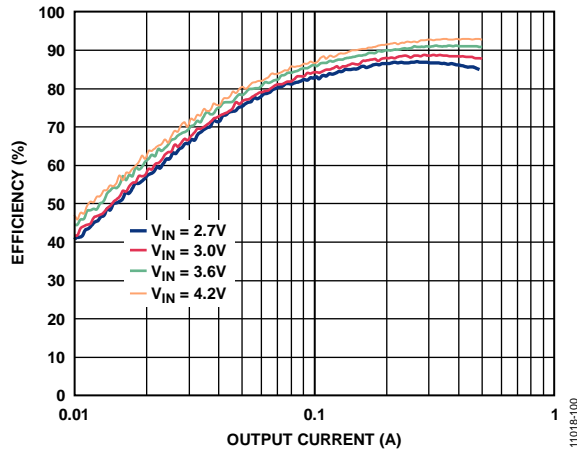


图11. 效率与输出电流的关系, 固定5 V输出模式

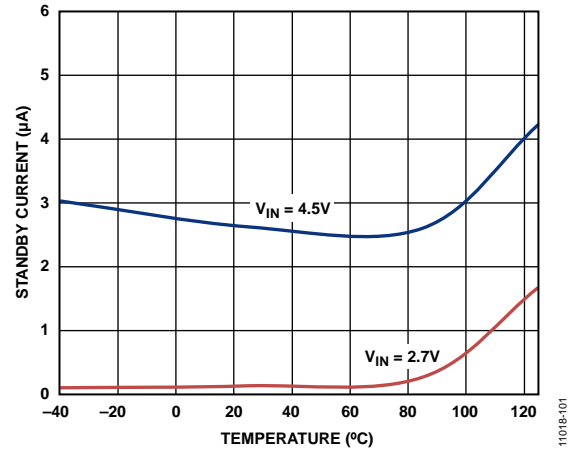


图14. 待机电流与温度的关系

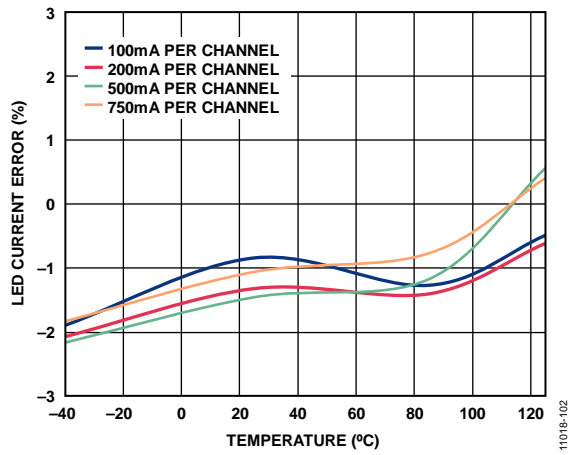


图12. LED电流误差与温度的关系

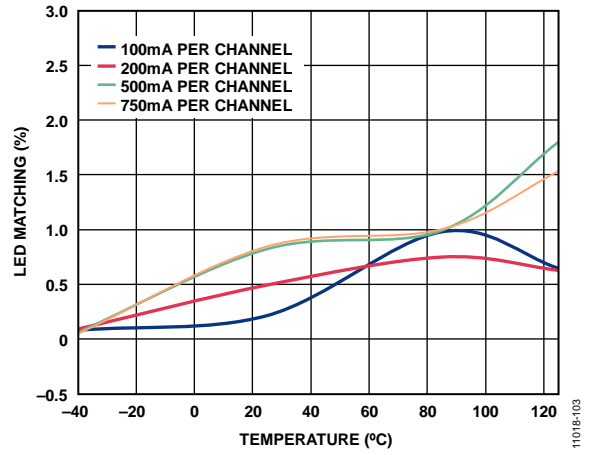


图15. LED匹配与温度的关系

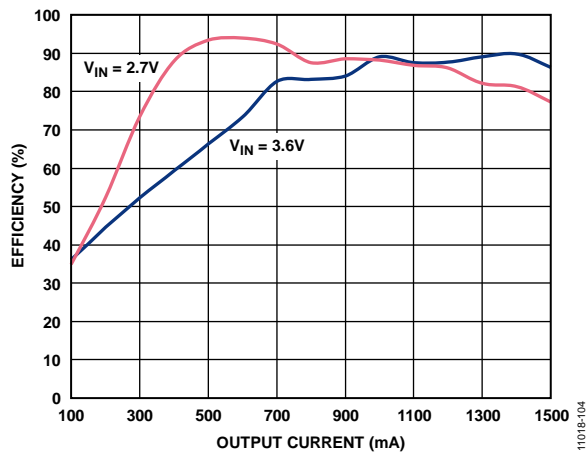


图13. 效率( $P_{LED}/P_{IN}$ )与LED输出电流的关系

# ADP1660

## 工作原理

ADP1660是一款高功率、I<sup>2</sup>C可编程双路白光LED驱动器，非常适合驱动白光LED以用作相机闪光灯。ADP1660包括一个升压转换器和两个电流调节器，适合为两个高功率白光LED供电。

### 白色LED驱动器

ADP1660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正向电压与电流源的电压裕量之和高于电池电压，升压转换器就会开启。
- 如果电池电压高于LED正向电压与两倍的电流源电压裕量之和，升压转换器就会禁用，器件工作在LDO模式。

ADP1660利用集成P-FET高端电流调节器实现精确的亮度控制。

ADP1660支持每个LED的不同电流设置，但不建议进行这样的配置。两个LED之间的任何正向电压失配都会直接导致效率下降，并导致较低电压LED的电流精度降低。建议两个LED上的工作电压差距保持在1 V以内。若有需要，用户可以禁用一个LED，仅使用另一个。

## 工作模式

当使能引脚处于高电平，I<sup>2</sup>C兼容接口可用于将ADP1660设置为7种工作模式中的一种。这些模式可通过寄存器0x01中的LED\_MOD位(位[2:0])进行配置(见表7)。

表7. 通过LED\_MOD位设置工作模式

| LED_MOD位 | 工作模式  |
|----------|---|
| 000      | 待机模式，功耗为3 μA(典型值，默认)                        |
| 001      | 固定5 V输出模式                                   |
| 010      | 辅助照明模式，持续LED电流                              |
| 011      | 闪光模式，LED电流高达750 mA，最多可持续1.6秒                |
| 100      | 独立触发模式，超时使能(若LED开启时间长于FL_TIM位设置的定时器值，则输出禁用) |
| 101      | 独立触发模式，超时禁用(FL_TIM值忽略)                      |
| 110      | 固定5 V输出模式，手电筒模式(总输出电流必须低于500 mA)            |
| 111      | 保留  |

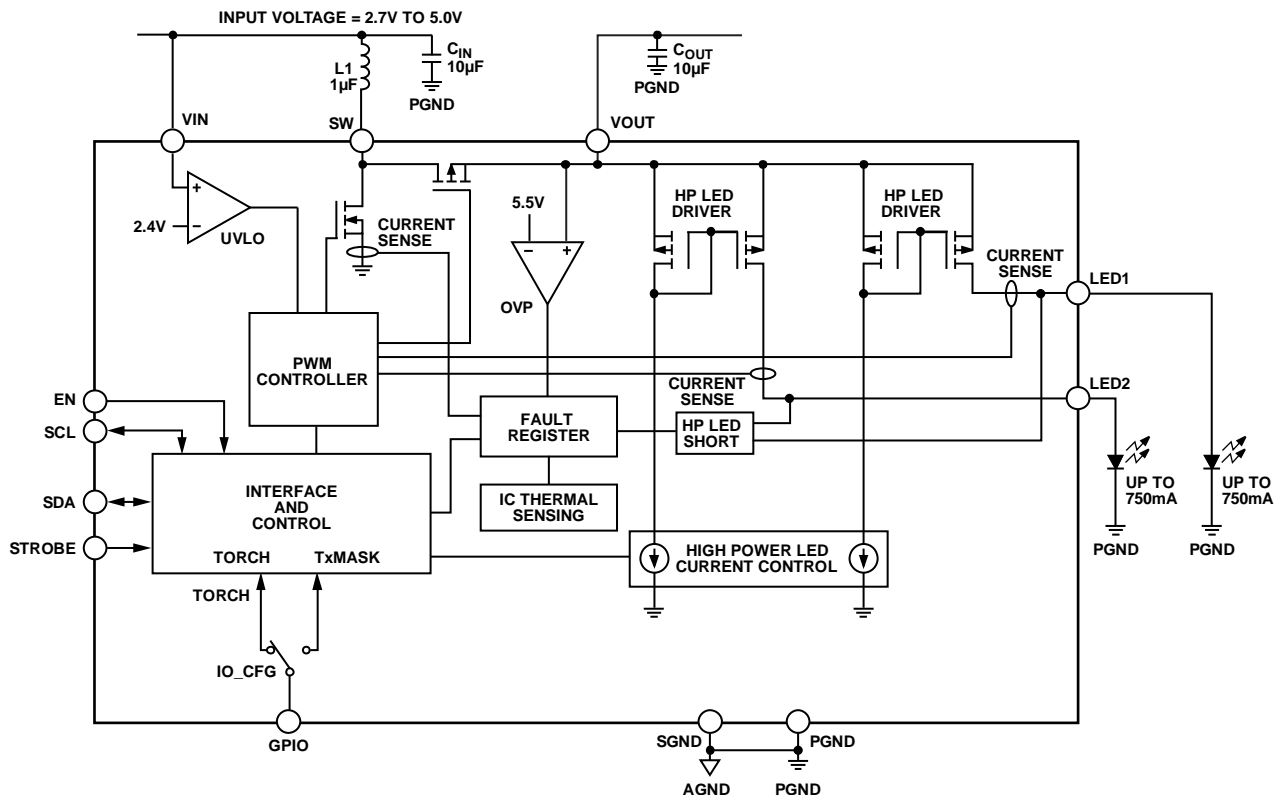


图16. 详细框图

11016-011

## 辅助照明模式

辅助照明模式提供0 mA至200 mA可编程的连续LED电流。通过寄存器0x08(对于LED1而言)中的I\_TOR1位和寄存器0x0B(对于LED2而言)中的I\_TOR2位设置辅助照明电流。

若需使能辅助照明模式，将寄存器0x01中的LED\_MOD位设置为010，并将寄存器0x0F中的LED1\_EN和/或LED2\_EN位设置为1。若需禁用辅助照明模式，则将LED\_MOD位设置为000(待机模式)，或将LED1\_EN和LED2\_EN位设置为0。

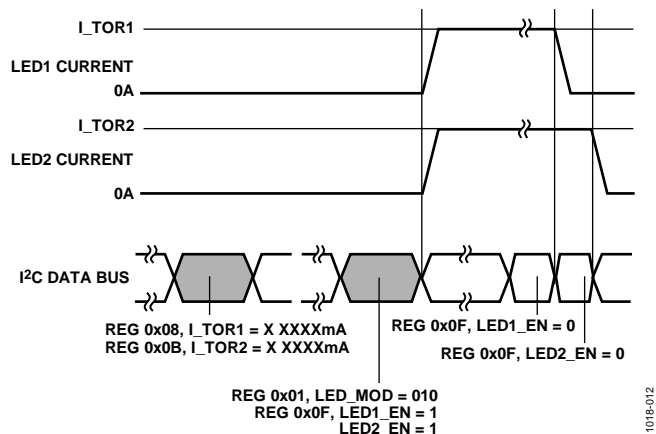


图17. 使能辅助照明模式

## 闪光模式

闪光模式为每个LED提供最高750 mA的电流，持续时间可编程，最长为1.6秒。通过寄存器0x06(对于LED1而言)中的I\_FL1位和寄存器0x09(对于LED2而言)中的I\_FL2位设置闪光电流。通过寄存器0x02中的FL\_TIM位(位[3:0])设置最长闪光持续时间。

若需使能闪光模式，将寄存器0x01中的LED\_MOD位设置为011，并将寄存器0x0F中的LED1\_EN和/或LED2\_EN位设置为1。若LED1\_EN或LED2\_EN位设置为0，则无论闪光电流电平如何设置，相应的LED均不会在闪光期间输出电流。

若需不通过STROBE引脚使能闪光模式，则将寄存器0x01中的STR\_MOD位设置为0(软件选通模式)。若将STR\_MOD位设置为1(硬件选通模式)，则设置STROBE引脚为高电平可使能闪光，并将其与图像传感器同步。硬件选通模式有两种超时模式：电平触发和边沿触发。

## 电平触发选通模式

在电平触发模式下，STROBE高电平的持续时间决定闪光持续时间，最长为寄存器0x02中FL\_TIM超时位设定的时间(见图18)。如果STROBE保持高电平的时间比FL\_TIM位设置的持续时间还长，则将发生超时故障，从而禁用闪光。故障信息寄存器(寄存器0x0C)中会设置超时故障标志(位4)

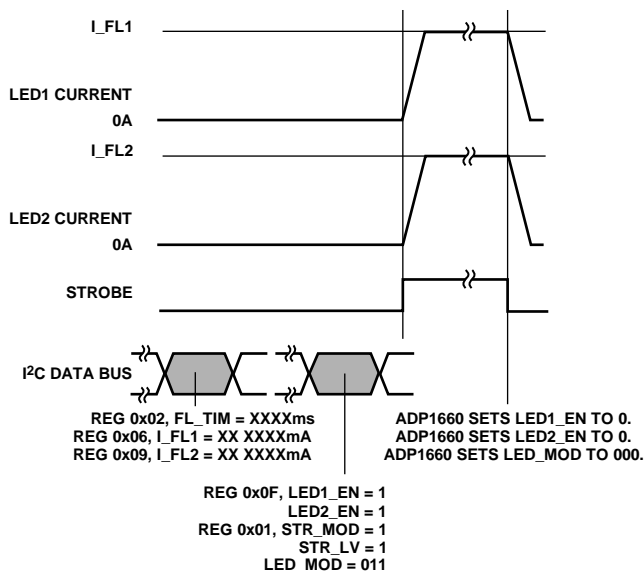


图18. 闪光操作：电平触发模式

## 边沿触发选通模式

在边沿触发模式下，STROBE引脚的上升沿使能闪光，FL\_TIM位设置闪光持续时间(见图19)。

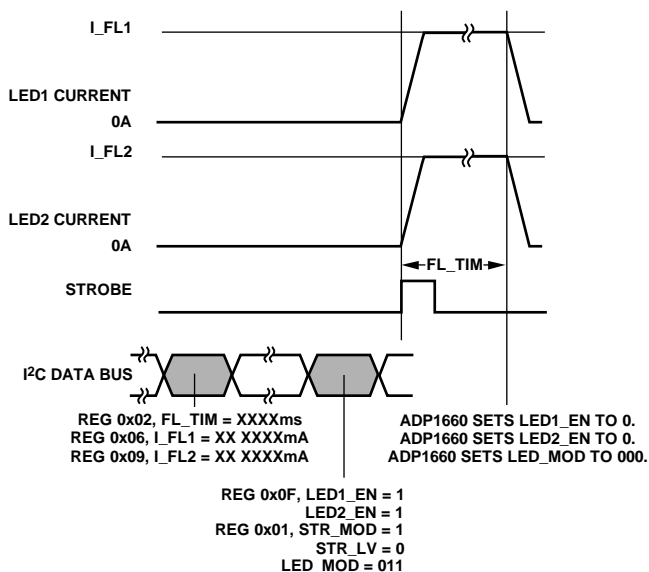


图19. 闪光操作：边沿触发模式

## 辅助闪光模式

寄存器0x01中的STR\_POL位可用于改变STROBE引脚的默认极性，将其从高电平有效变为低电平有效。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，请联系ADI公司销售团队索取。

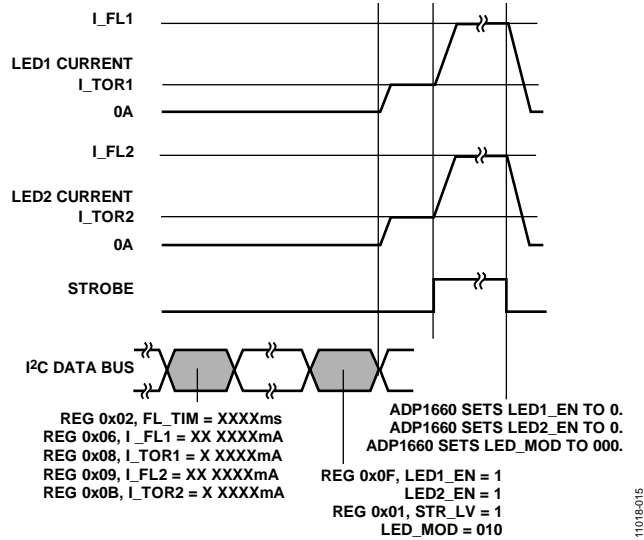


图20. 使能辅助闪光(电平触发)模式

## 手电筒模式

辅助/手电筒照明电流通过I\_TORx位设置。若需使能手电筒模式，将LED\_MOD位设置为000(待机模式)，并将寄存器0x0F中的LED1\_EN和LED2\_EN位设置为1，然后拉高GPIO。通过拉低GPIO或将LED1\_EN和LED2\_EN位设置为0即可禁用LED电流。在手电筒模式中，通过拉低GPIO可自动将LED1\_EN和LED2\_EN设置为0。通过将LED1\_EN和LED2\_EN设置为1并再次拉高GPIO，可重新使能手电筒模式。

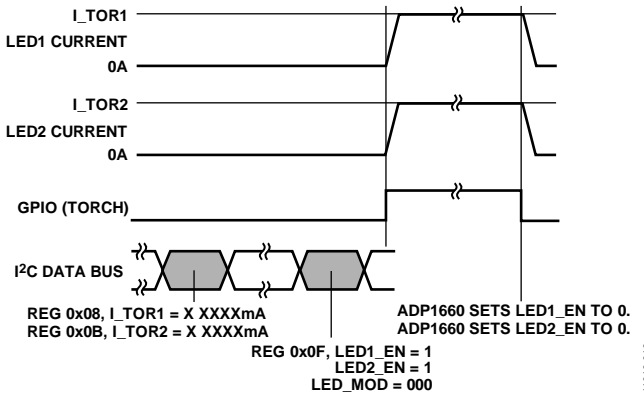


图21. 利用GPIO引脚使能外部手电筒模式

## 手电筒转闪光模式

驱动器可从外部手电筒模式(通过GPIO引脚)直接切换到闪光模式，方法是先拉高STROBE引脚，再拉低GPIO。先拉低GPIO(手电筒)引脚，再拉高STROBE可以防止闪光。

成功闪光后，ADP1660返回待机模式，并将寄存器0x0F的LED1\_EN和LED2\_EN位设置为0。

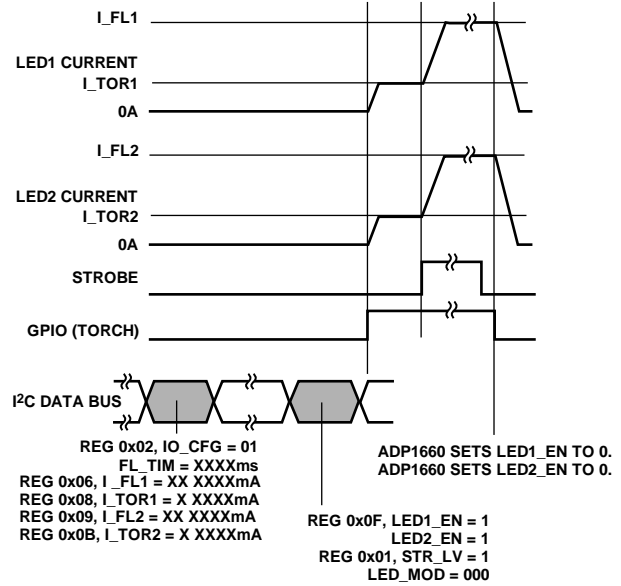


图22. 从外部手电筒模式使能闪光模式

## TxMASK操作

当ADP1660处于闪光模式时，TxMASK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电流水平。可通过寄存器0x07(对于LED1而言)和寄存器0x0A(对于LED2而言)对TxMASK电流水平进行编程。

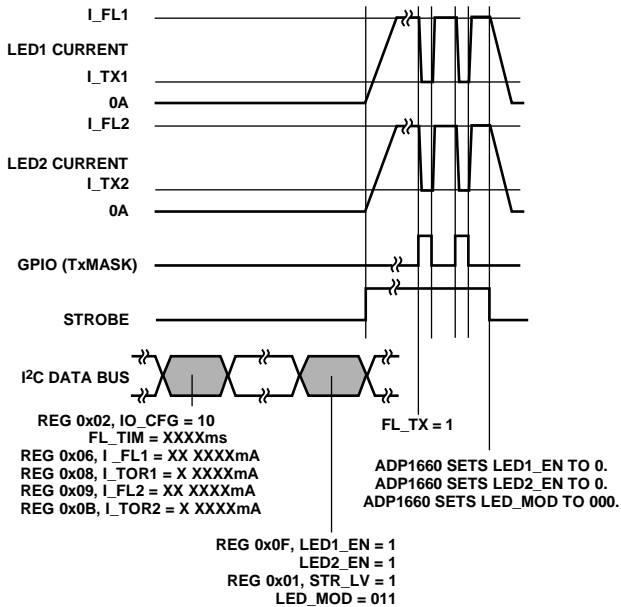


图23. 闪光(电平触发)模式期间的TxMASK操作

每次发生TxMASK事件后，就在故障信息寄存器(寄存器0x0C，位3)中设置标记。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。

## 独立触发模式

当LED\_MOD位设置为100或101时，ADP1660允许每个LED以所设置的闪光电流值和TxMASK电流值之间的电流水平进行独立触发。在独立触发模式下，STROBE引脚控制LED1，GPIO引脚控制LED2(见图24)。

- 当拉高STROBE或GPIO引脚时，LED1或LED2引脚上产生的电流分别处于I\_FL1位(寄存器0x06)和I\_FL2位(寄存器0x09)设定的水平。
- 当拉低STROBE或GPIO引脚时，LED1或LED2引脚上产生的电流分别处于I\_TX1位(寄存器0x07)和I\_TX2位(寄存器0x0A)设定的水平。

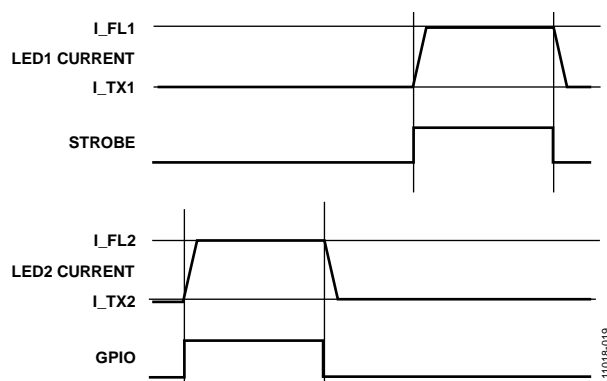


图24. 独立触发模式

如果LED\_MOD位设置为100，则使用闪光定时器。如果两个LED均开启，且开启总时长等于FL\_TIM位的设定值(两个输出均经过“或”运算)，则ADP1660将两个LED\_ENx位均设置为0，并将LED\_MOD设置为000。

独立触发模式(LED\_MOD位设置为100或101)存在潜在的过温风险；必须对其实施方案进行仔细评估。使能独立触发模式前，请咨询当地的ADI现场应用工程师，以获取帮助。

## 固定5 V输出模式

若将LED\_MOD位设置为001，则ADP1660允许VOUT调整为5V。在固定5V输出模式下，总输出电流必须保持在500mA以下。使能一个或两个LED，便可允许低电流流过LED。

在这种模式下，当ADP1660未使能时，VOUT引脚连接至SW节点。勿将VOUT直接连到外部正电压源，这样做会导致电流从VOUT流向电池。切换到待机模式(LED\_MOD = 000)会终结电压调节功能；此时VOUT的返回值大致等于VIN。

## 折频

可选的频率折返特性能够优化效率：当 $V_{IN}$ 略低于 $V_{OUT}$ 时，它可将开关频率降至1.5 MHz。将寄存器0x03中的FREQ\_FB位设置为1可使能频率折返。

## 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，这可能会导致使用电池的其它器件过早关机。ADP1660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，它可以使闪光电流从0 mA降低至750 mA。低电量电流水平可通过寄存器0x05的I\_VB\_LO位(位[5:0])设为0 mA至750 mA。

对寄存器0x04中的V\_VB\_LO(位[2:0])进行设置，便可使能低电量检测并指定激活该检测的电压值(见表8)。

表8. 低电量检测的 $V_{DD}$ 电平值

| V_VB_LO位数值 | 低电量检测的 $V_{DD}$ 电平值(V) |
|------------|------------------------|
| 000        | 低电量检测禁用(默认值)           |
| 001        | 3.3                    |
| 010        | 3.35                   |
| 011        | 3.4                    |
| 100        | 3.45                   |
| 101        | 3.5                    |
| 110        | 3.55                   |
| 111        | 3.6                    |

如果在某个编程检测窗口内检测到低电量故障，则更低的电流会在闪光的剩余时间内被锁存。窗口尺寸由寄存器0x04中的V\_BATT\_WINDOW位(位[4:3])指定(见表9)。

表9. 低电量检测窗口尺寸

| V_BATT_WINDOW位数值 | 窗口尺寸(ms)           |
|------------------|--------------------|
| 00               | 窗口禁用；整个闪光期间使能低电量检测 |
| 01               | 1                  |
| 10               | 2                  |
| 11               | 5(默认值)             |

若图像传感器采用滚动扫描，则用户通过将窗口尺寸缩小到仅在开始闪光的时候起作用，便可降低图像部分曝光的几率。若采用全局扫描，则建议禁用低电量检测窗口，以便在整个闪光期间提供低压保护。

# ADP1660

## 电池输入的直流限流

ADP1660有一个可编程输入直流限流选项，可限制所有条件下的最大电池电流。在LED正向电压( $V_F$ )和电池电源电压变化较大的系统中，该特性允许使用较高LED电流，而不会有超过闪光分配电流的风险。对寄存器0x03中的IL\_DC\_EN位(位0)进行设置便可使能输入直流限流。通过寄存器0x03中的IL\_DC位(位[3:1])，可设置输入直流限流(见表10)。

表10. 输入直流限流

| IL_DC位值 | 直流限流(A)  |
|---------|----------|
| 000     | 1.0      |
| 001     | 1.25     |
| 010     | 1.5      |
| 011     | 1.75     |
| 100     | 2.0(默认值) |
| 101     | 2.25     |
| 110     | 2.5      |
| 111     | 2.75     |

闪光启动时，若电池电流未超过直流电流限值，则LED1和LED2电流将分别设置为寄存器0x06和寄存器0x09中的I\_FL1和I\_FL2位的数值。

如果启动时电池电流超过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0x0C中的位0)。寄存器0x0D中的FL\_I\_FL1位以及寄存器0x0E中的FL\_I\_FL2位被设置为实际LED电流值，并且可供回读。

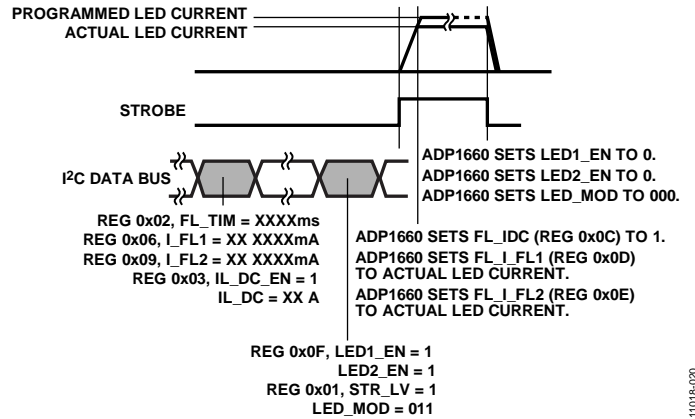


图25. 低电量、高LED  $V_F$ 情况下的直流限流操作

针对低电量和高 $V_F$  LED情况，图26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。

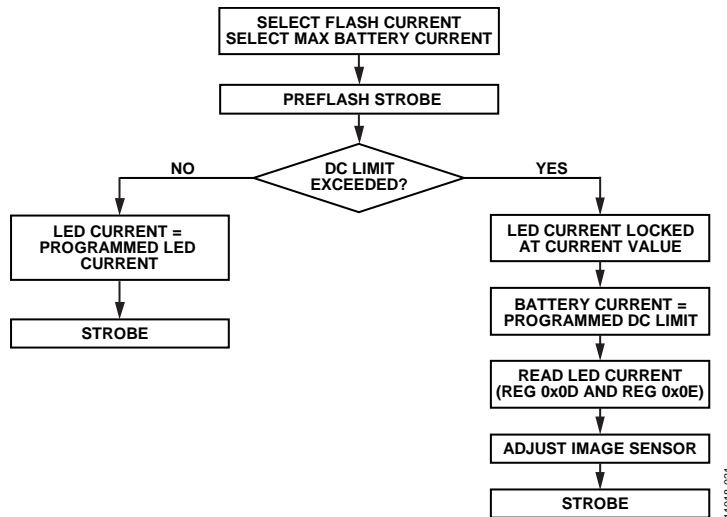


图26. 使用直流限流优化相机系统

## 手电筒固定5 V输出模式

ADP1660可以用作一个5 V升压转换器，为键盘LED驱动器提供电压，或为音频提供电压轨(见图27和图28)。该模式下，器件可提供最高500 mA的电源电流，其LED输出可提供手电筒电流。

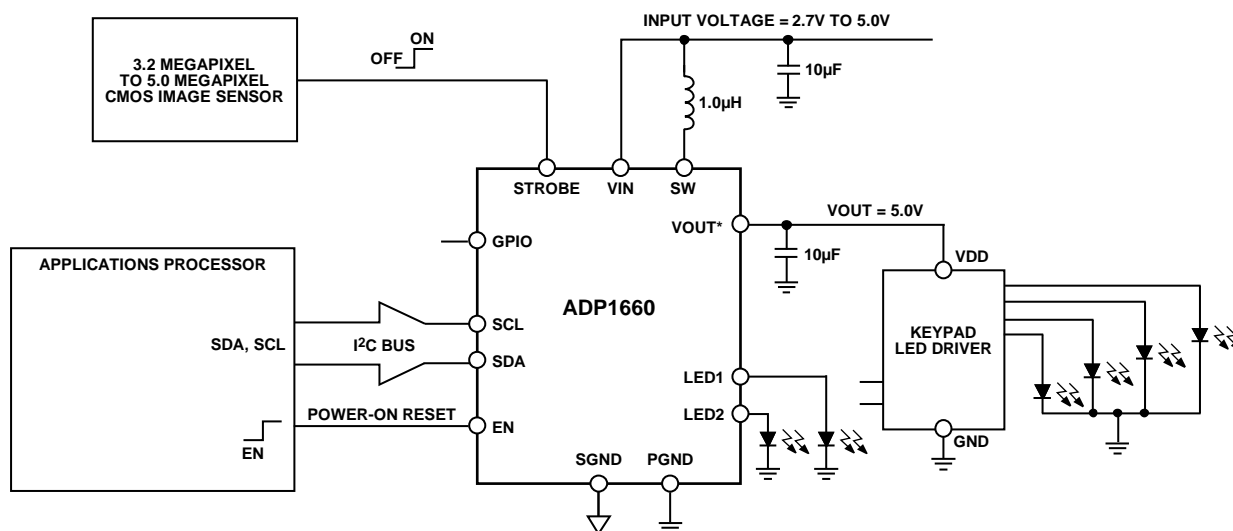
通过如下步骤使能带手电筒电流的5 V输出电压模式：

1. 将寄存器0x0F中的LED1\_EN和LED2\_EN位设置为0。
2. 通过将LED\_MOD(寄存器0x01中的位[2:0])位设置为110，使能5 V输出。
3. 通过将LED1\_EN和LED2\_EN位设置为1，使能LED输出。

4. 若需要，则通过寄存器0x08(对于LED1而言)和寄存器0x0B(对于LED2而言)设置LED的手电筒/辅助电流。

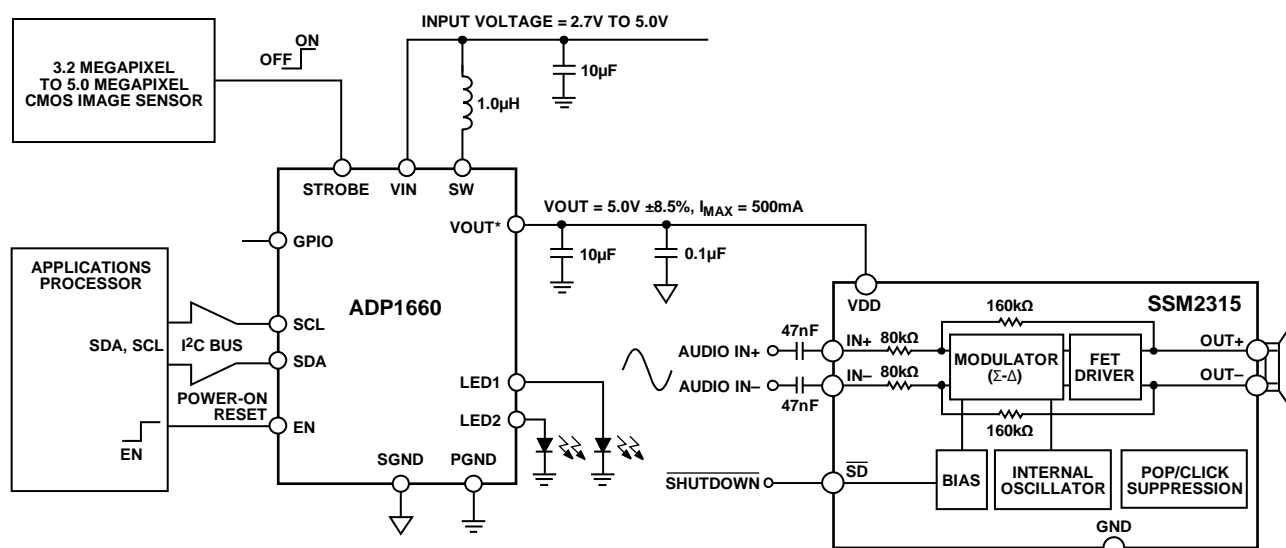
可通过GPIO(手电筒)引脚切换这些电流。若LED使能并且GPIO(手电筒)引脚为低电平，则LED输出低电平电流。

当ADP1660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，这样做会导致电流从VOUT流向电池。



\*THE VOUT PIN IS CONNECTED TO THE SW NODE WHEN THE ADP1660 IS NOT ENABLED. VOUT SHOULD NOT BE CONNECTED DIRECTLY TO A POSITIVE EXTERNAL VOLTAGE SOURCE BECAUSE THIS WILL CAUSE CURRENT TO FLOW FROM VOUT TO THE BATTERY.

图27. ADP1660电压调节模式：键盘LED驱动器应用



\*THE VOUT PIN IS CONNECTED TO THE SW NODE WHEN THE ADP1660 IS NOT ENABLED. VOUT SHOULD NOT BE CONNECTED DIRECTLY TO A POSITIVE EXTERNAL VOLTAGE SOURCE BECAUSE THIS WILL CAUSE CURRENT TO FLOW FROM VOUT TO THE BATTERY.

图28. ADP1660电压调节模式：D类音频应用

## 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，ADP1660内置保护特性。如果发生关键故障，寄存器0x0F中的LED1\_EN和LED2\_EN位就会置0，驱动器关断。故障信息寄存器(寄存器0x0C)中会设置相应的故障位。处理器可以通过I<sup>2</sup>C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，故障位清0。

如果发生非关键性事件，则LED驱动器会继续工作。非关键性故障包括TxMASK事件、达到直流或软电感电流限值。故障信息寄存器(寄存器0x0C)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之间的直流路径，保护系统免受LED短路影响。LED1和LED2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LED1和LED2引脚电压一直低于短路检测阈值，即说明发生短路，故障信息寄存器0x0C中的位6被设置为高电平。ADP1660保持禁用，直到处理器清除故障寄存器。

### 过压故障

ADP1660的VOUT引脚处有一个比较器，用于监控VOUT与PGND之间的电压。如果该电压超过5.5 V(典型值)，ADP1660就会关断。故障信息寄存器0x0C的位7回读为高电平。ADP1660保持禁用，直到故障被清除，从而确保不受开路影响。开路会导致过压情况的发生。

### 动态过压保护模式

动态过压保护(OVP)模式是一个可编程特性，用于避免VOUT电压超过OVP电平，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，动态OVP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，ADP1660将退出动态OVP模式，并以编程设置的电流电平调节LED。将寄存器0x03的位6位设置为高电平可使能动态OVP模式。

### 超时故障

当使能硬件选通模式并将选通设为电平触发模式(寄存器0x01, 位[5:4] = 11)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0x0C的位4)就会回读为高电平。

ADP1660保持禁用，直到处理器清除故障寄存器。通过寄存器0x02中的FL\_TIM位(位[3:0])设置超时值。

### 过温故障

当ADP1660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0x0C的位5设为高电平。ADP1660保持禁用，直到处理器清除故障寄存器。

### 限流

内部开关会限制电池电流，通过寄存器0x01的位[7:6]确保峰值电感电流不超过编程限值。默认情况下，软电感峰值限流模式禁用(寄存器0x03, 位7 = 1)。

当软电感限流禁用并且峰值电感电流超过限值时，故障信息寄存器0x0C的位1设置为高电平。ADP1660关断并保持禁用，直到处理器清除故障寄存器。

当软电感峰值限流使能(寄存器0x03, 位7 = 0)并且峰值电感电流达到限值时，故障信息寄存器0x0C的位1设置为高电平。电感和LED电流无法进一步升高，但ADP1660可继续工作。

### 输入欠压

ADP1660内置一个电池欠压闭锁电路。固定5 V输出或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，ADP1660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值。

### 软启动

ADP1660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<sub>Q</sub>降至0.2 μA(典型值)。

### 清除故障

当处理器读取故障寄存器时(假定故障消失)，故障信息寄存器0x0C内的位将自动清零。



## I<sup>2</sup>C接口

ADP1660具有一个I<sup>2</sup>C兼容串行接口，用于控制LED电流和回读系统状态寄存器。I<sup>2</sup>C芯片地址是0x30(写模式下为0x60，读模式下为0x61)。其它I<sup>2</sup>C地址可应要求提供。

图29显示单个寄存器的I<sup>2</sup>C写序列。子地址字节选择要写入的寄存器。写入8位数据字节后，ADP1660向主机发送应答。图30显示单个寄存器的I<sup>2</sup>C读序列。

有关寄存器和所有寄存器位的信息，请参见“寄存器映射”部分。

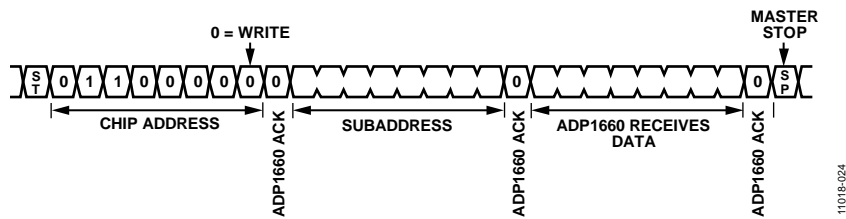


图29. 单个寄存器的I<sup>2</sup>C写序列

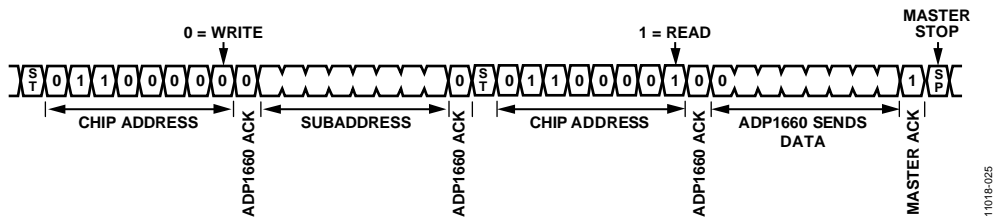


图30. 单个寄存器的I<sup>2</sup>C读序列

## 寄存器映射

编号最大位(7)表示最高有效位；编号最小位(0)表示最低有效位。

表11. 寄存器存储区分配

| 地址   | 寄存器名称         | 位7        | 位6      | 位5       | 位4            | 位3      | 位2       | 位1      | 位0       |  |
|------|---------------|-----------|---------|----------|---------------|---------|----------|---------|----------|--|
| 0x00 | 设计信息          | DEVICE_ID |         |          |               |         | REV_ID   |         |          |  |
| 0x01 | 输出模式          | IL_PEAK   |         | STR_LV   | STR_MOD       | STR_POL | LED_MOD  |         |          |  |
| 0x02 | GPIO和定时器      | LED_SD    | TEST_SR | IO_CFG   |               | FL_TIM  |          |         |          |  |
| 0x03 | 其他特性          | CL_SOFT   | DYN_OVP | SW_LO    | FREQ_FB       | IL_DC   |          |         | IL_DC_EN |  |
| 0x04 | 低电量模式使能       | 保留        |         |          | V_BATT_WINDOW |         | V_VB_LO  |         |          |  |
| 0x05 | 低电量模式电流       | 保留        |         | I_VB_LO  |               |         |          |         |          |  |
| 0x06 | LED1闪光电流      | 保留        |         | I_FL1    |               |         |          |         |          |  |
| 0x07 | LED1 TxMASK电流 | 保留        |         | I_TX1    |               |         |          |         |          |  |
| 0x08 | LED1手电筒/辅助电流  | 保留        |         |          | I_TOR1        |         |          |         |          |  |
| 0x09 | LED2闪光电流      | 保留        |         | I_FL2    |               |         |          |         |          |  |
| 0x0A | LED2 TxMASK电流 | 保留        |         | I_TX2    |               |         |          |         |          |  |
| 0x0B | LED2手电筒/辅助电流  | 保留        |         |          | I_TOR2        |         |          |         |          |  |
| 0x0C | 故障信息          | FL_OVP    | FL_SC   | FL_OT    | FL_TO         | FL_TX   | FL_VB_LO | FL_IL   | FL_IDC   |  |
| 0x0D | LED1闪光电流故障回读  | 保留        |         | FL_I_FL1 |               |         |          |         |          |  |
| 0x0E | LED2闪光电流故障回读  | 保留        |         | FL_I_FL2 |               |         |          |         |          |  |
| 0x0F | LED使能模式       | 保留        |         |          |               |         |          | LED2_EN | LED1_EN  |  |

## 寄存器详解

表12. 设计信息寄存器(地址0x00)

| 位     | 位的名称      | 访问类型 | 描述                   |
|-------|-----------|------|----------------------|
| [7:3] | DEVICE_ID | R    | ADP1660器件ID (00011)。 |
| [2:0] | REV_ID    | R    | 版本ID。                |

表13. 输出模式寄存器(寄存器0x01)

| 位     | 位的名称    | 访问类型 | 描述   |
|-------|---------|------|--|
| [7:6] | IL_PEAK | R/W  | 这些位设置电感峰值电流限值。<br>00 = 2.25 A.<br>01 = 2.75 A.<br>10 = 3.25 A(默认值)<br>11 = 3.5 A.  |
| 5     | STR_LV  | R/W  | 此位设置STROBE引脚的触发模式。<br>0 = 边沿触发<br>1 = 电平触发(默认值)  |
| 4     | STR_MOD | R/W  | 此位设置选通模式。<br>0 = 软件选通模式；在闪光模式下使能输出时，软件使能闪光。<br>1 = 硬件选通模式；STROBE引脚必须变为高电平才能闪光(默认)。   |
| 3     | STR_POL | R/W  | 此位设置STROBE引脚的极性。<br>0 = 低电平有效<br>1 = 高电平有效(默认值)  |
| [2:0] | LED_MOD | R/W  | 这些位设置LED输出模式。<br>000 = 待机模式(默认值)<br>001 = 固定5 V输出模式<br>010 = 辅助照明模式<br>011 = 闪光模式<br>100 = 独立触发模式，超时使能<br>101 = 独立触发模式，超时禁用<br>110 = 固定5 V输出模式，手电筒模式(总输出电流必须低于500 mA)<br>111 = 保留。 |

表14. GPIO和定时器寄存器(寄存器0x02)

| 位     | 位的名称    | 访问类型 | 描述   |
|-------|---------|------|--|
| 7     | LED_SD  | R/W  | 此位配置LED1和LED2的关断功能。<br>0 = LED1、LED2闪光或手电筒模式结束后进入关断模式(默认值)<br>1 = LED1、LED2闪光或手电筒模式结束后不进入关断模式  |
| 6     | TEST_SR | R/W  | 仅限测试模式。此位必须设为默认值1。不可将其设为0。   |
| [5:4] | IO_CFG  | R/W  | 这些位配置GPIO引脚。<br>00 = 高阻抗(默认值)<br>01 = 手电筒模式<br>10 = TxMASK操作模式<br>11 = 手电筒模式, 无8 ms去毛刺滤波器  |
| [3:0] | FL_TIM  | R/W  | 这些位设置闪光定时器值。<br>0000 = 100 ms.<br>0001 = 200 ms.<br>...<br>0100 = 500 ms.<br>...<br>0110 = 700 ms.<br>...<br>1001 = 1000 ms.<br>...<br>1100 = 1300 ms.<br>...<br>1111 = 1600 ms(默认值) |

表15. 其它特性寄存器(寄存器0x03)

| 位     | 位的名称     | 访问类型 | 描述  |
|-------|----------|------|---|
| 7     | CL_SOFT  | R/W  | 该位使能或禁用软电感峰值电流限值。<br>0 = 使能软电感峰值限流<br>1 = 禁用软电感峰值限流(默认值)当达到电感峰值电流限值时, ADP1660禁用。  |
| 6     | DYN_OVP  | R/W  | 此位使能或禁用动态OVP。<br>0 = 禁用动态OVP(默认值)<br>1 = 使能动态OVP  |
| 5     | SW_LO    | R/W  | 此位设置开关频率。<br>0 = 3 MHz(默认值)<br>1 = 1.5 MHz.   |
| 4     | FREQ_FB  | R/W  | 此位使能或禁用频率折返至1.5 MHz。<br>0 = 禁用频率折返(默认值)<br>1 = 使能频率折返   |
| [3:1] | IL_DC    | R/W  | 这些位设置输入直流电流限值。(位0必须设置为1)<br>000 = 1.0 A.<br>001 = 1.25 A.<br>010 = 1.5 A.<br>011 = 1.75 A.<br>100 = 2.0 A(默认值).<br>101 = 2.25 A.<br>110 = 2.5 A.<br>111 = 2.75 A. |
| 0     | IL_DC_EN | R/W  | 该位使能或禁用输入直流限流功能。<br>0 = 禁用输入直流限流(默认值)<br>1 = 使能输入直流限流   |

# ADP1660

**表16. 低电量模式使能寄存器(寄存器0x04)**

| 位     | 位的名称          | 访问类型 | 描述   |
|-------|---------------|------|--|
| [7:5] | 保留            | R/W  | 保留。  |
| [4:3] | V_BATT_WINDOW | R/W  | 这些位设置低电量检测模式的窗口尺寸。<br>00 = 窗口禁用；整个闪光期间使能低电量检测<br>01 = 窗口使能1 ms<br>10 = 窗口使能2 ms<br>11 = 窗口使能5 ms(默认值)  |
| [2:0] | V_VB_LO       | R/W  | 这些位使能或禁用低电压检测并将电池电压设置为低电量检测功能使能时的电平。<br>000 = 低电压检测禁用(默认值)<br>001 = 3.3 V时使能低电压检测<br>010 = 3.35 V时使能低电压检测<br>011 = 3.4 V时使能低电压检测<br>100 = 3.45 V时使能低电压检测<br>101 = 3.5 V时使能低电压检测<br>110 = 3.55 V时使能低电压检测<br>111 = 3.6 V时使能低电压检测 |

**表17. 低电量模式电流寄存器(寄存器0x05)**

| 位     | 位的名称    | 访问类型 | 描述  |
|-------|---------|------|---|
| [7:6] | 保留      | R/W  | 保留。   |
| [5:0] | I_VB_LO | R/W  | 这些位设置低电池电压的闪光电流值。电流设置等于这六位的价值乘以12.5 mA( $I_{VB\_LO} \times 12.5$ )。最大电流值为750 mA。<br>00 0000 = 0 mA.<br>00 0001 = 12.5 mA.<br>...<br>00 1000 = 100 mA.<br>...<br>01 0100 = 250 mA.<br>...<br>10 1000 = 500 mA(默认值)<br>...<br>11 1100 = 750 mA.<br>...<br>11 1111 = 750 mA. |

**表18. LED1闪光电流寄存器(寄存器0x06)**

| 位     | 位的名称  | 访问类型 | 描述  |
|-------|-------|------|---|
| [7:6] | 保留    | R/W  | 保留。   |
| [5:0] | I_FL1 | R/W  | 这些位设置LED1的闪光电流值。电流设置等于这六位的价值乘以12.5 mA( $I_{FL1} \times 12.5$ )。最大电流值为750 mA。<br>00 0000 = 0 mA.<br>00 0001 = 12.5 mA.<br>...<br>00 1000 = 100 mA.<br>...<br>01 0100 = 250 mA.<br>...<br>10 1000 = 500 mA(默认值)<br>...<br>11 1100 = 750 mA.<br>...<br>11 1111 = 750 mA. |

表19. LED1 TxMASK电流寄存器(寄存器0x07)

| 位     | 位的名称  | 访问类型 | 描述  |
|-------|-------|------|---|
| [7:6] | 保留    | R/W  | 保留。   |
| [5:0] | I_TX1 | R/W  | 这些位设置LED1 TxMASK的电流值。电流设置等于这六位的价值乘以12.5 mA ( $I_{TX1} \times 12.5$ )。最大TxMASK电流值为750 mA。<br>00 0000 = 0 mA.<br>00 0001 = 12.5 mA.<br>...<br>00 1000 = 100 mA.<br>...<br>01 0100 = 250 mA(默认值)<br>...<br>10 1000 = 500 mA.<br>...<br>11 1100 = 750 mA.<br>...<br>11 1111 = 750 mA. |

表20. LED1手电筒/辅助电流寄存器(寄存器0x08)

| 位     | 位的名称   | 访问类型 | 描述   |
|-------|--------|------|--|
| [7:5] | 保留     | R/W  | 保留。  |
| [4:0] | I_TOR1 | R/W  | 这些位设置LED1的手电筒/辅助电流值。电流设置等于这五位的价值乘以12.5 mA ( $I_{TOR1} \times 12.5$ )。最大电流值为200 mA。<br>0 0000 = 0 mA.<br>...<br>0 0100 = 50 mA(默认值)<br>...<br>0 1000 = 100 mA.<br>...<br>0 1100 = 150 mA.<br>...<br>1 0000 = 200 mA.<br>...<br>1 1111 = 200 mA. |

表21. LED2闪光电流寄存器(寄存器0x09)

| 位     | 位的名称  | 访问类型 | 描述   |
|-------|-------|------|--|
| [7:6] | 保留    | R/W  | 保留。  |
| [5:0] | I_FL2 | R/W  | 这些位设置LED2的闪光电流值。电流设置等于这六位的价值乘以12.5 mA ( $I_{FL2} \times 12.5$ )。最大电流值为750 mA。<br>00 0000 = 0 mA.<br>00 0001 = 12.5 mA.<br>...<br>00 1000 = 100 mA.<br>...<br>01 0100 = 250 mA.<br>...<br>10 1000 = 500 mA(默认值)<br>...<br>11 1100 = 750 mA.<br>...<br>11 1111 = 750 mA. |

# ADP1660

**表22. LED2 TxMASK电流寄存器(寄存器0x0A)**

| 位     | 位的名称  | 访问类型 | 描述  |
|-------|-------|------|---|
| [7:6] | 保留    | R/W  | 保留。   |
| [5:0] | I_TX2 | R/W  | 这些位设置LED2 TxMASK的电流值。电流设置等于这六位的价值乘以12.5 mA ( $I_{TX2} \times 12.5$ )。最大TxMASK电流值为750 mA。<br>00 0000 = 0 mA。<br>00 0001 = 12.5 mA。<br>...<br>00 1000 = 100 mA。<br>...<br>01 0100 = 250 mA(默认值)<br>...<br>10 1000 = 500 mA。<br>...<br>11 1100 = 750 mA。<br>...<br>11 1111 = 750 mA。 |

**表23. LED2手电筒/辅助电流寄存器(寄存器0x0B)**

| 位     | 位的名称   | 访问类型 | 描述   |
|-------|--------|------|--|
| [7:5] | 保留     | R/W  | 保留。  |
| [4:0] | I_TOR2 | R/W  | 这些位设置LED2的手电筒/辅助电流值。电流设置等于这五位的价值乘以12.5 mA ( $I_{TOR2} \times 12.5$ )。最大电流值为200 mA。<br>0 0000 = 0 mA。<br>...<br>0 0100 = 50 mA(默认值)<br>...<br>0 1000 = 100 mA。<br>...<br>0 1100 = 150 mA。<br>...<br>1 0000 = 200 mA。<br>...<br>1 1111 = 200 mA。 |

**表24. 故障信息寄存器(寄存器0x0C)**

| 位 | 位的名称     | 访问类型 | 描述   |
|---|----------|------|--|
| 7 | FL_OVP   | R    | 0 = 无过压故障(默认值)<br>1 = 过压故障   |
| 6 | FL_SC    | R    | 0 = 无短路故障(默认值)<br>1 = 短路故障   |
| 5 | FL_OT    | R    | 0 = 无过温故障(默认值)<br>1 = 过温故障   |
| 4 | FL_TO    | R    | 0 = 无超时故障(默认值)<br>1 = 超时故障   |
| 3 | FL_TX    | R    | 0 = 上次闪光期间无TxMASK工作模式(默认值)<br>1 = 上次闪光期间出现TxMASK工作模式                                     |
| 2 | FL_VB_LO | R    | 低电压检测阈值状态；必须在寄存器0x04中使能低电压检测。<br>0 = $V_{DD}$ 大于设置的低电压阈值(默认值)<br>1 = $V_{DD}$ 小于设置的低电压阈值 |
| 1 | FL_IL    | R    | 0 = 无指示灯峰值限流故障(默认值)<br>1 = 指示灯峰值限流故障   |
| 0 | FL_IDC   | R    | 直流限流阈值状态；必须在寄存器0x03中使能直流限流。<br>0 = 未达到直流电流限值(默认值)<br>1 = 达到直流电流限值                        |

表25. LED1闪光电流故障回读寄存器(寄存器0x0D)

| 位     | 位的名称     | 访问类型 | 描述  |
|-------|----------|------|---|
| [7:6] | 保留       | R    | 保留。   |
| [5:0] | FL_I_FL1 | R    | 发生直流限值故障时，这些位包含LED1的闪光电流值。电流设置等于这六位的价值乘以12.5 mA (FL_I_FL1 × 12.5)。<br>00 0000 = 0 mA。<br>00 0001 = 12.5 mA。<br>...<br>00 1000 = 100 mA。<br>...<br>01 0100 = 250 mA。<br>...<br>10 1000 = 500 mA。<br>...<br>11 1100 = 750 mA。 |

表26. LED2闪光电流故障回读寄存器(寄存器0x0E)

| 位     | 位的名称     | 访问类型 | 描述  |
|-------|----------|------|---|
| [7:6] | 保留       | R    | 保留。   |
| [5:0] | FL_I_FL2 | R    | 发生直流限值故障时，这些位包含LED2的闪光电流值。电流设置等于这六位的价值乘以12.5 mA (FL_I_FL2 × 12.5)。<br>00 0000 = 0 mA。<br>00 0001 = 12.5 mA。<br>...<br>00 1000 = 100 mA。<br>...<br>01 0100 = 250 mA。<br>...<br>10 1000 = 500 mA。<br>...<br>11 1100 = 750 mA。 |

表27. LED使能模式寄存器(寄存器0x0F)

| 位     | 位的名称    | 访问类型 | 描述   |
|-------|---------|------|--|
| [7:2] | 保留      | R/W  | 保留。  |
| 1     | LED2_EN | R/W  | 此位使能或禁用LED2输出。<br>0 = 禁用LED2输出(默认值)<br>1 = 使能LED2输出<br>将LED2_EN和LED1_EN设置为0，然后通过同样的I <sup>2</sup> C写命令将两个位设置为1，便可一次性使能两个通道。若LED1已被使能，并且用户试图将LED2_EN位设置为1，则该写命令被忽略。 |
| 0     | LED1_EN | R/W  | 此位使能或禁用LED1输出。<br>0 = 禁用LED1输出(默认值)<br>1 = 使能LED1输出<br>将LED1_EN和LED2_EN设置为0，然后通过同样的I <sup>2</sup> C写命令将两个位设置为1，便可一次性使能两个通道。若LED2已被使能，并且用户试图将LED1_EN位设置为1，则该写命令被忽略。 |

## 应用信息

### 外部元件选择

#### 选择电感

ADP1660升压转换器可提高电池电压以便驱动两个LED，此时LED的正向电压高于电池电压减去2倍的电流源裕量电压。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28提供了一个推荐电感列表。

表28. 建议电感

| 供应商       | 值(μH) | 产品型号      | DCR (mΩ) | Isat (A) | 尺寸: 长×宽×高(mm) |
|-----------|-------|-----------|----------|----------|---------------|
| Toko      | 1.0   | FDSD0312  | 43       | 4.5      | 3.0×3.0×1.2   |
| Toko      | 1.0   | DFE2520   | 50       | 3.4      | 2.5×2.0×1.0   |
| Coilcraft | 1.0   | XFL3010   | 43       | 2.4      | 3.0×3.0×1.0   |
| Murata    | 1.0   | LQM32P_G0 | 48       | 3        | 3.2×2.5×1.0   |
| FDK       | 1.0   | MIP3226D  | 40       | 3        | 3.2×2.6×1.0   |

#### 选择输入电容

ADP1660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，建议使用10.0 μF、6.3 V、X5R/X7R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ADP1660的VIN引脚。必须使用低ESR电容。表29提供了一个建议输入和输出电容列表。

表29. 建议输入和输出电容

| 供应商    | 值            | 产品型号              | 尺寸: 长×宽×高(mm) |
|--------|--------------|-------------------|---------------|
| Murata | 10 μF, 6.3 V | GRM188R60J106ME47 | 1.6×0.8×0.8   |
| TDK    | 10 μF, 6.3 V | C1608JB0J106K     | 1.6×0.8×0.8   |
| Taiyo  | 10 μF, 6.3 V | JMK107BJ106MA     | 1.6×0.8×0.8   |
| Yuden  |              |                   |               |

#### 选择输出电容

在N-FET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。它还能保持环路稳定。建议电容为10.0 μF、6.3 V、X5R/X7R陶瓷电容(见表29)。

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或10 V电容是多数设计的最佳选择。

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。选择输出电容值时，必须考虑由输出电压直流偏置所引起的电容损耗。

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。不推荐在任何DC-DC转换器使用Y5V和Z5U电介质电容，因为这类电介质的温度和直流偏置性能较差。

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容量。

TEMPCO为最差的电容温度系数。

TOL为最差的元件容差。

例如，10 μF X5R电容具有如下特性：

-40°C至+85°C范围内的TEMPCO为15%。

TOL为10%。

$V_{OUT(MAX)} = 5 V$ 时的 $C_{OUT}$ 为3 μF(如图31所示)。

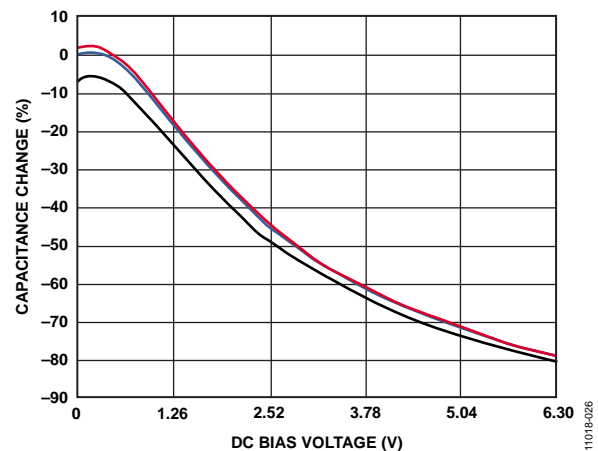


图31. 10 μF、6.3 V陶瓷电容的直流偏置特性

将这些值代入公式得出

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

考虑到温度和直流偏置的影响，稳定性能所需的有效容量为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32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。
- 在电感和SW引脚之间使用尽量宽的走线。该走线最简单的路径是通过输出电容的中心。
- LED1/LED2路径的布线远离电感和SW节点，以使噪声和电磁干扰最小。
- 尽可能放大电路板元件侧接地金属的尺寸，帮助散热。
- 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。

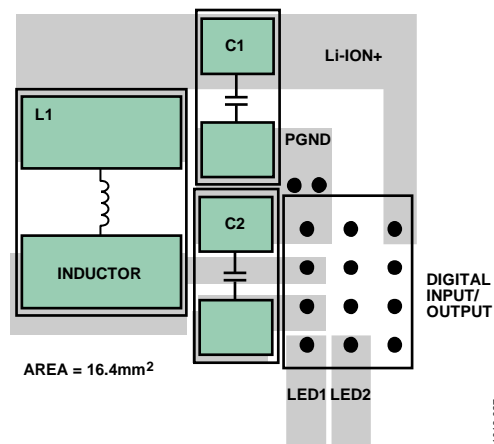


图32. ADP1660驱动高功率白光LED的布局

11018-027

# ADP1660

## 外形尺寸

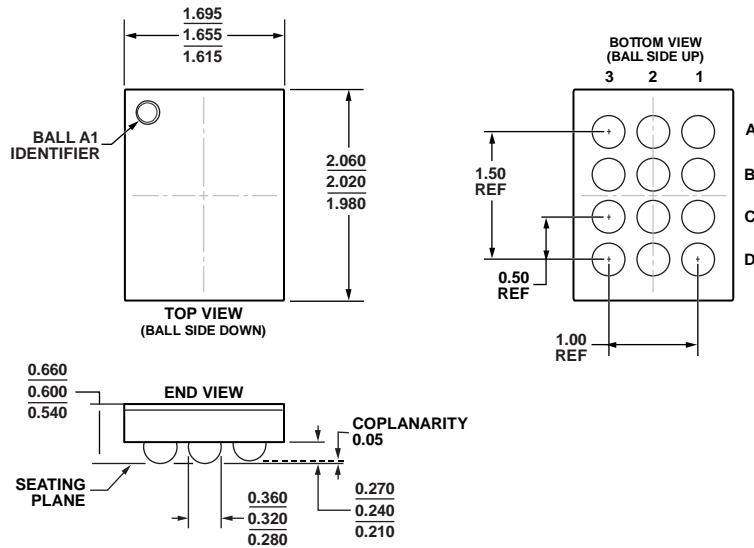


图33. 12引脚晶圆级芯片规模封装[WLCSP]  
(CB-12-7)  
尺寸单位: mm

09-07-2012-A

### 订购指南

| 型号 <sup>1</sup> | 温度范围         | 封装描述                 | 封装选项 <sup>2</sup> | 标识  |
|-----------------|--------------|----------------------|-------------------|-----|
| ADP1660ACBZ-R7  | -40°C至+125°C | 12引脚晶圆级芯片规模封装[WLCSP] | CB-12-7           | LM7 |
| ADP1660CB-EVALZ |              | 评估板                  |                   |     |

<sup>1</sup> Z = 符合RoHS标准的器件。

<sup>2</sup> 此封装选项不含卤素。

注释

**注释**

I<sup>2</sup>C指最初由Philips Semiconductors(现为NXP Semiconductors)开发的一种通信协议。