



**ANALOG
DEVICES**

小尺寸、高效率、大功率、闪光灯/ 手电筒模式LED驱动器，双模式接口

ADP1653

产品特性

6.4 mm × 7.2 mm小尺寸解决方案

2.2 μH功率电感

峰值效率：92%

Tx屏蔽在50 μs以内

2.1 A、12 V功率开关

引脚可选接口：2位逻辑或I²C

可编程闪光灯和手电筒电流

手电筒模式下，电流最高达200 mA

闪光灯模式下，电流最高达500 mA

可编程指示灯LED电流最高可达20 mA

可编程定时器寄存器：最长达820 ms的闪光灯超时时间

输入电压范围：2.75 V至5.5 V

低噪声，1.2 MHz PWM工作

安全特性

中断输出引脚

故障状况寄存器

短路保护

输入过压保护

热过载保护

集成限流和软启动功能

3 mm × 3 mm、16引脚LFCSP小尺寸封装

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

典型工作电路

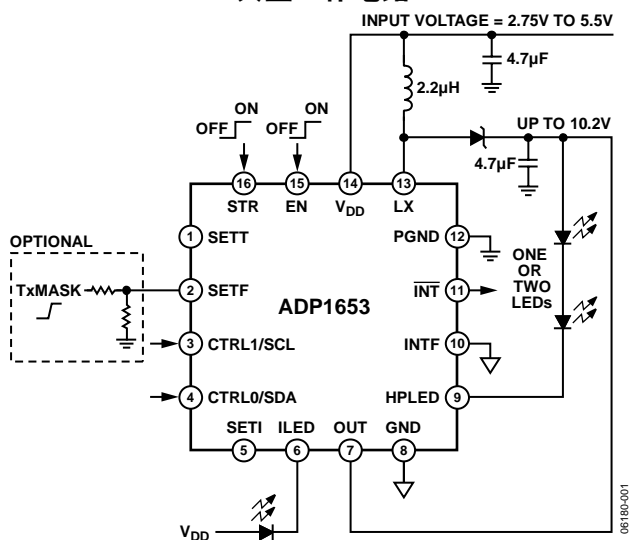


图1.

PCB布局布线

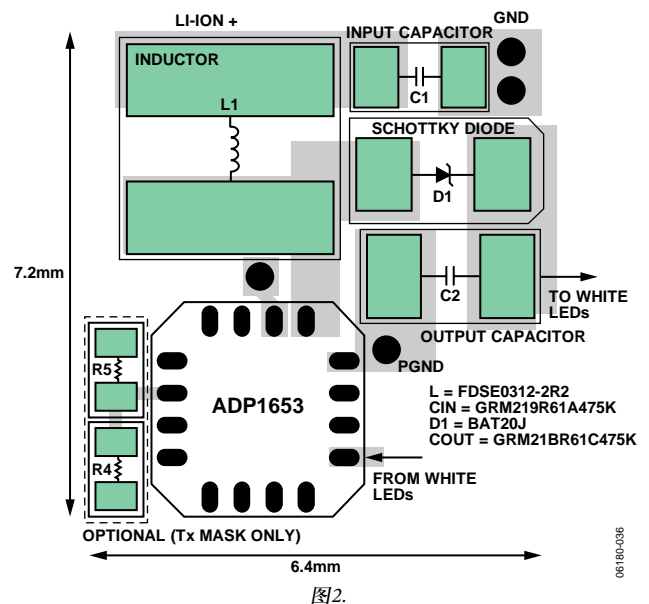


图2.

Rev. B

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.

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.
Tel: 781.329.4700 www.analog.com
Fax: 781.461.3113 ©2007 Analog Devices, Inc. All rights reserved.

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。

目录

产品特性	1	典型性能参数	9
应用	1	工作原理	13
概述	1	白色LED驱动器	13
典型工作电路	1	2-位逻辑接口模式(INTF = 1).....	14
PCB布局布线	1	I ² C接口模式(INTF = 0).....	14
修订历史	2	开启闪光灯和看门狗定时器	15
技术规格	3	安全特性	16
I ² C时序规格	5	应用信息	17
绝对最大额定值	6	发送脉冲期间的闪光灯电流折返	17
热阻	6	外部元件选择	18
边界条件	6	PCB布局布线	20
ESD警告	6	外形尺寸	22
引脚配置和功能描述	7	订购指南	22

修订历史

2007年9月—修订版A至修订版B

更改表1	3
更改表5	7
更改“I ² C接口模式(INTF = 0)”部分	14
更改“安全特性”部分	16
插入表9和表10	18
插入表11和表12	19

2007年1月—修订版A：初始版

技术规格

除非另有说明, $V_{DD} = 3.0\text{ V}$ 至 5.5 V , $T_J = -40^\circ\text{C}$ 至 $+125^\circ\text{C}$ 。¹

表1.

参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
电源					
输入电压范围 ²		3.0		5.5	V
欠压闭锁阈值	V_{DD} 上升	2.80	2.9	2.95	V
	V_{DD} 下降	2.58	2.7	2.75	V
关断电流	$EN = GND$, $T_J = -40^\circ\text{C}$ 至 $+85^\circ\text{C}$		0.1	1	μA
软关断电流	$INTF = 0$, $EN = V_{DD}$, ILED寄存器 = 0, HPLED寄存器 = 0, $T_J = -40^\circ\text{C}$ 至 $+85^\circ\text{C}$		19	45	μA
	$INTF = 1$, $EN = V_{DD}$, (CTRL1, CTRL0) = (0, 0), $T_J = -40^\circ\text{C}$ 至 $+85^\circ\text{C}$		19	45	μA
工作电流 ³	$INTF = 0$, $EN = V_{DD}$, ILED寄存器 = 001, HPLED寄存器 = 0		500	700	μA
	$INTF = 1$, (CTRL1, CTRL0) = (0, 1), $R_{SET1} = 200\text{ k}\Omega$		500	700	μA
	$INTF = 0$, $EN = V_{DD}$, HPLED寄存器 = 00001		1.6	3	mA
	$INTF = 1$, (CTRL1, CTRL0) = (1, x)		1.6	3	mA
LX漏电流	$T_J = -40^\circ\text{C}$ 至 $+85^\circ\text{C}$		0.05	0.5	μA
HPLED漏电流	$T_J = -40^\circ\text{C}$ 至 $+85^\circ\text{C}$		0.03	0.5	μA
热关断					
热关断阈值	T_J 上升		155		$^\circ\text{C}$
输入					
EN, STR, CTRL1/SCL, CTRL0/SDA					
输入逻辑低电平电压	$T_J = -40^\circ\text{C}$ 至 $+85^\circ\text{C}$			0.54	V
	$T_J = -40^\circ\text{C}$ 至 $+125^\circ\text{C}$			0.48	V
输入逻辑高电平电压	$T_J = -40^\circ\text{C}$ 至 $+85^\circ\text{C}$	1.26			V
	$T_J = -40^\circ\text{C}$ 至 $+125^\circ\text{C}$	1.27			V
SET1, SETT, SETF					
输入逻辑高电平电压		1.4			V
INTF					
输入逻辑低电平电压 ⁴				$V_{DD}/2 - 0.6$	V
输入逻辑高电平电压 ⁴		$V_{DD}/2 + 0.6$			V
INT输出					
逻辑低电平输出电压	$I_{SINK} = -3\text{ mA}$			0.4	V
逻辑高电平漏电流			0.05	0.5	μA
SET1、SETT、SETF基准电压		1.19	1.22	1.24	V
指示灯LED					
吸电流裕量	$V_{HEADROOM} = V_{DD} - V_F$ (ILED)	1			V
IINTF = 1, SET1电流源	$R_{SET1} = 25\text{ k}\Omega$	14.5	17.5	21.5	mA
	$R_{SET1} = 200\text{ k}\Omega$	2.0	2.5	3.0	mA
INTF = 0	ILED寄存器 = 1 (二进制001), SET1 = V_{DD}	2.0	2.5	3.0	mA
	ILED寄存器 = 7 (二进制111), SET1 = V_{DD}	14.5	17.5	21.5	mA
白色LED驱动器					
LX					
开关频率		1.1	1.2	1.3	MHz
限流		1.8	2.1	2.45	A
导通电阻			250	420	$\text{m}\Omega$
OUT					
软启动斜坡			18		V/ms
过压阈值	V_{DD} 上升	9.8	10.15	10.5	V
偏置电流 ⁵	$V_{OUT} = 10\text{ V}$			12	μA

ADP1653

参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
HPLED 调节电压 ⁶	升压器有效，两个大功率LED (HPLED)串联	0.23	0.32	0.42	V
调节电流 INTF = 1, 手电筒模式	RSETT = 50 kΩ或SETT = V _{DD} RSETT = 125 kΩ	110 35	125 50	145 60	mA mA
闪光灯模式	RSETF = 50 kΩ RSETF = 500 kΩ	460 35	500 50	550 60	mA mA
INTF = 0, 闪光灯模式	HPLED寄存器= 11111 (二进制), SETF = V _{DD} HPLED寄存器= 11000 (二进制), SETF = V _{DD}	460 365	500 395	550 435	mA mA
手电筒模式	HPLED寄存器= 00110 (二进制), SETF = V _{DD} HPLED寄存器= 00001 (二进制), SETF = V _{DD}	110 38	125 50	145 60	mA mA
HPLED LSB变化步长 闪光灯最长超时	SETF = V _{DD} INTF = 0或1, 983,040 × 振荡器周期		15 820		mA ms
SETF响应(发送屏蔽功能) ⁷	HPLED电流 = 335 mA至140 mA HPLED电流 = 140 mA至335 mA		22 24		μs μs

¹ 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。典型值条件: T_A = 25°C, V_{DD} = 3.6 V。

² 这是其余规格有效的V_{DD}输入范围。只要V_{DD}不低于UVLO阈值, 器件就能像预期的那样工作。

³ 这是流入V_{DD}引脚的电流。根据所选的模式, 额外的电流可以流入指示灯LED或HPLED。

⁴ 对于I²C接口, INTF应连接到GND (INTF = 0); 对于硬连接接口, INTF应连接到V_{DD} (INTF = 1)。所有其它数字输入为1.8 V兼容。

⁵ 此偏置电流仅在大功率LED和/或指示灯LED功能使能时有效。

⁶ 在升压转换器以最短开启时间工作期间(一个LED情况), 当HPLED引脚发生过大压降时, 此规格无效。

⁷ 此规格未经生产测试, 而是基于基准评估。它基于典型的双LED应用电路, SETF与GND之间使用100 kΩ电阻, 并使用一个160 kΩ电阻连接到1.8 V Tx屏蔽信号, 上升/下降时间小于1 μs。HPLED寄存器= 11001 (二进制)。电感电流建立至最终值的±5%范围内。

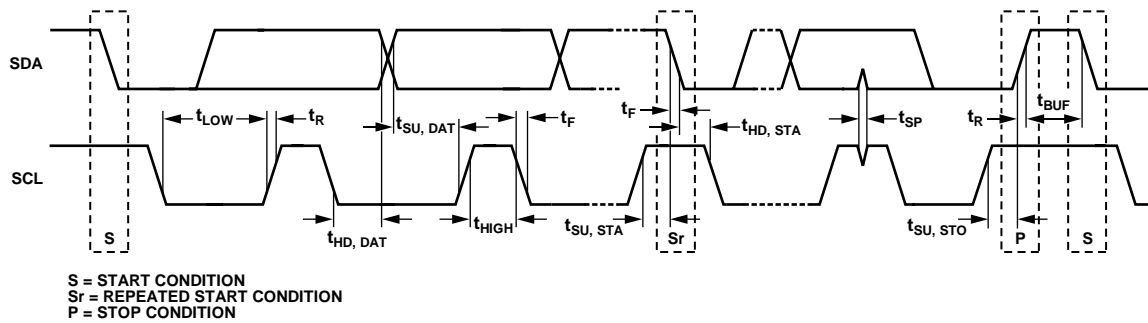
I²C时序规格

表2.

参数	最小值	最大值	单位	说明
f_{SCL}		400	kHz	SCL时钟频率
t_{HIGH}	0.6		μ s	SCL高电平时间
t_{LOW}	1.3		μ s	SCL低电平时间
$t_{SU,DAT}$	100		ns	数据建立时间
$t_{HD,DAT}^1$	0	0.9	μ s	数据保持时间
$t_{SU,STA}$	0.6		μ s	重复起始建立时间
$t_{HD,STA}$	0.6		μ s	起始/重复起始保持时间
t_{BUF}	1.3		μ s	停止与起始条件之间的总线空闲时间
$t_{SU,STO}$	0.6		μ s	停止条件的建立时间
t_R	$20 + 0.1 C_B$	300	ns	SCL和SDA的上升时间
t_F	$20 + 0.1 C_B$	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 主器件必须为SDA信号(参考SCL信号的 V_{IH} 最小值)提供至少300 ns的保持时间, 以便桥接SCL下降沿的未定义区域。

² C_B 是一条总线的总电容(单位: pF)。

图3. I²C接口时序图

200-08180

绝对最大额定值

表3.

参数	额定值
V _{DD} 、CTRL0/SDA、CTRL1/SCL、INTF、EN、SET1、SETT、SETF、STR、HPLED至GND	-0.3 V至+6 V
INT、ILED至GND	-0.3 V至(V _{DD} + 0.3 V)
LX、OUT至GND	-0.3 V至+12 V
PGND至GND	-0.3 V至+0.3 V
工作环境温度范围	-40°C至+125°C ¹
工作结温	125°C
存储温度范围	-65°C至+150°C
焊接条件	JEDEC J-STD-020

¹ 对于功耗高、热阻差的应用，最大环境温度需要降低。最大环境温度(T_{A(MAX)})取决于器件的最大工作结温(T_{J(MAXOP)} = 125°C)、最大功耗(P_{D(MAX)})以及应用中器件/封装的结至环境热阻(θ_{JA})，计算公式如下：T_{A(MAX)} = T_{J(MAXOP)} - (θ_{JA} × P_{D(MAX)})。

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，任何其他超出本技术规范操作章节中所示规格的条件不适用。长期在绝对最大额定值条件下工作会影响器件的可靠性。

绝对最大额定值仅独立适用，但无法组合适用。除非另有规定，所有其它电压均以GND为参考。

热阻

封装的结至环境热阻(θ_{JA})基于使用4层板的建模和计算方法，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。欲了解更多信息，请查阅应用笔记AN-772“引脚架构芯片级封装(LFCSP)设计与制造指南”。

表4. 热阻

参数	值	单位
θ _{JA}	44	°C/W
最大功耗	1	W

边界条件

自然对流，4层板，裸露焊盘焊接到PCB。

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

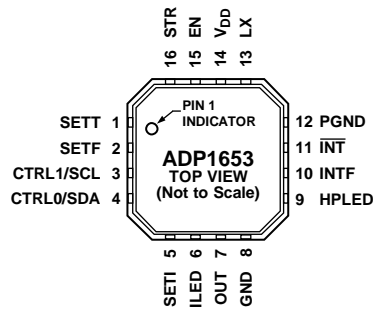


图4. 引脚配置

表5. 引脚功能描述

引脚编号	引脚名称	说明
1	SETT	设置手电筒输入(仅限2位逻辑接口)。SETT设置手电筒模式下的大功率LED电流。SETT与地之间连接的外部电阻设置手电筒电流。当SETT接高电平时, 电流由内部设置为125 mA。在I ² C模式下, 此引脚视为无连接。
2	SETF	设置闪光灯输入。SETF设置闪光灯模式下的大功率LED (HPLED)电流, 支持LED的发送消隐。在2位逻辑接口模式下, SETF与地之间连接的外部电阻设置闪光灯电流。当SETF接高电平时, 电流由内部设置为500 mA。在I ² C模式下, 闪光灯电流与外部电阻和输出选择寄存器中的内部HPLED位都成比例。如果SETF设为高电平, 则内部50 kΩ电阻和HPLED位共同设置HPLED电流。
3	CTRL1/SCL	串行接口时钟输入。在2位逻辑接口模式下, CTRL1是数字接口的第二输入位。在I ² C模式下, SCL是I ² C兼容串行接口的时钟输入。
4	CTRL0/SDA	串行接口数据输入。在2位逻辑接口模式下, CTRL0是数字接口的第一输入位。在I ² C模式下, SDA是I ² C兼容串行接口的数据输入/输出。
5	SETI	设置指示灯输入(仅限2位逻辑接口)。SETI设置指示灯LED电流。SETI与地之间连接的外部电阻设置指示灯LED (ILED)电流。如果SETI接高电平, 则电流由内部设置为10 mA。在I ² C模式下, 此引脚视为无连接。
6	ILED	指示灯LED输入。将指示灯LED的阴极连接到ILED引脚。将阳极连接到电池或大于LED正向电压的电压轨。
7	OUT	白色LED输出电压。OUT检测白色LED升压转换器的输出电压。启动时, ADP1653限制OUT电压的增加率(软启动), 防止出现过输入涌流。OUT引脚具有一个比较器, 用以检测LED串开路时的过压状况。将白色LED的阳极连接到OUT。OUT与PGND之间接3.3 μF或更大的电容。
8	GND	模拟地和数字地。GND连接到LFCSP焊盘的PGND。
9	HPLED	大功率LED电流调节器。HPLED调节大功率LED的电流。将白色LED串的阴极连接到HPLED。
10	INTF	接口输入。INTF选择2引脚接口模式。INTF为高电平时, 使能2位逻辑接口模式的CTRL1和CTRL0。INTF为低电平时, 使能I ² C接口模式的SDA和SCL。
11	$\overline{\text{INT}}$	低电平有效中断输出。 $\overline{\text{INT}}$ 是开漏输出, 从高电平变为低电平时表示发生故障。 $\overline{\text{INT}}$ 应通过上拉电阻(例如10 kΩ至100 kΩ)连接到I/O供电轨, 并直接与系统处理器相连。检测到中断时, 系统处理器可读取FAULT寄存器, 使用I ² C接口获得有关故障状况的详细信息。
12	PGND	内部开关FET的电源地。
13	LX	白色LED开关节点。LX驱动白色LED升压转换器的电感。电感和二极管与LX相连, 以便为白色LED供电。
14	V _{DD}	电源输入。电池连接在V _{DD} 和PGND之间。通过一个4.7 μF或者更大的电容将V _{DD} 旁路至PGND。
15	EN	使能输入。CMOS输入。EN为高电平时, ADP1653开启。EN为低电平时, ADP1653禁用, 输入电流降至1 μA以下。EN为高电平时, 禁用LED会将器件置于休眠模式, 输入电流降至45 μA以下。
16	STR	选通控制输入(仅限I ² C接口)。CMOS输入。STR为高电平时, 使能白色LED的闪光灯功能。STR还能使能看门狗定时器, 以防止白色LED功耗过高。

ADP1653

表6. 模式选择

引脚名称	值	INTF = 0 (I ² C接口)	INTF = 1 (2位逻辑接口)
CTRL0/SDA		SDA	CTRL1, CTRL0 = 0, 0 (ADP1653禁用)
CTRL1/SCL		SCL	CTRL1, CTRL0 = 0, 1 (ADP1653指示灯LED) CTRL1, CTRL0 = 1, 0 (ADP1653手电筒模式) CTRL1, CTRL0 = 1, 1 (ADP1653闪光灯模式)
EN	低	ADP1653禁用	ADP1653禁用
	高	ADP1653使能	ADP1653使能
STR	低	闪光灯禁用	忽略
	高	闪光灯使能	忽略
$\overline{\text{INT}}$	低	故障状况	故障状况
	高	正常工作	正常工作
SETI	电阻	忽略 ¹	SETI电阻设置指示灯LED电流 ²
	高	I ² C设置ILED电流	ILED电流 = 10 mA
SETT	电阻	忽略 ¹	SETT电阻设置手电筒电流 ²
	高	I ² C设置手电筒电流	手电筒电流 = 125 mA
SETF	电阻	SETF电阻和I ² C设置闪光灯电流和手电筒电流 ³	SETF电阻设置闪光灯电流 ²
	高	I ² C设置闪光灯电流	闪光灯电流 = 500 mA

¹ 在I²C模式下，如果SETI或SETT上存在电阻，该电阻会被忽略。在I²C模式下工作时，这两个引脚均应接高电平。

² 如果存在电阻，则电流由此电阻设置。如果不存在电阻，此引脚必须接高电平，电流由内部设置为默认值。

³ 在I²C模式下，如果SETF上存在电阻，则输出电流与I²C设置和外部基准电流都成比例。SETF电阻会调整闪光灯和手电筒两种模式下的电流。

典型性能参数

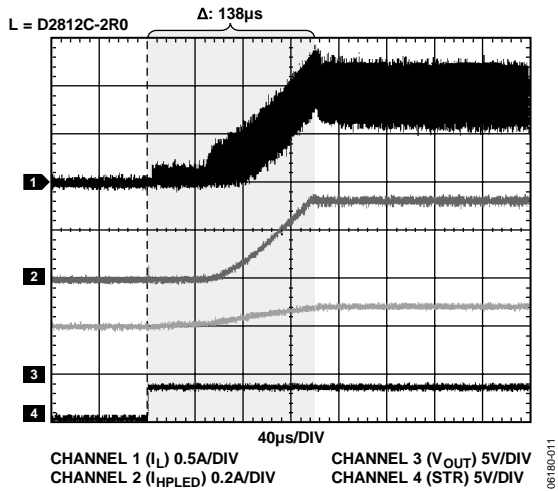


图5. 启动, 双LED闪光灯模式, LED电流 = 335 mA, $V_{DD} = 3.2\text{ V}$

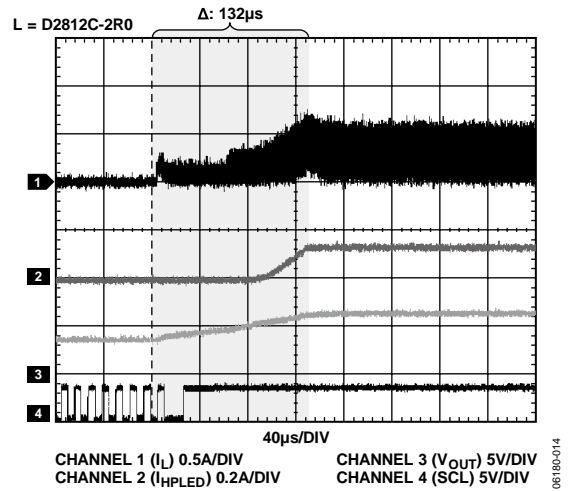


图8. 启动, 双LED手电筒模式, LED电流 = 130 mA, $V_{DD} = 3.6\text{ V}$

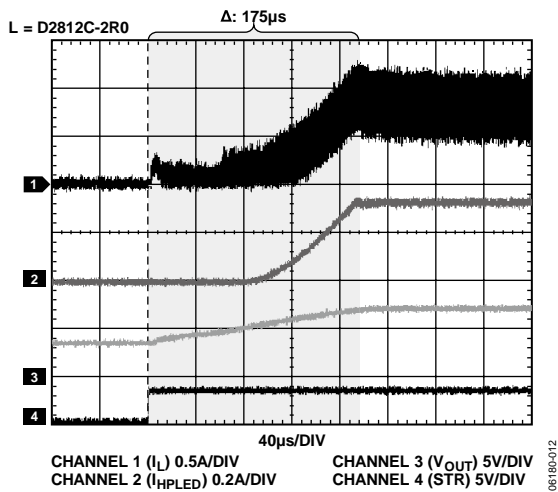


图6. 启动, 双LED闪光灯模式, LED电流 = 335 mA, $V_{DD} = 3.6\text{ V}$

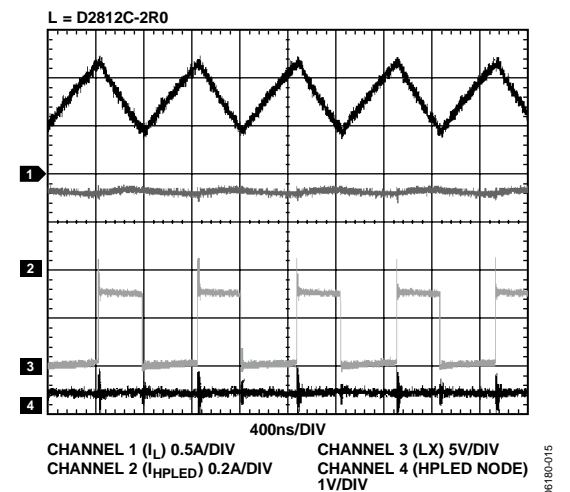


图9. 电感电流, 双LED闪光灯模式, LED电流 = 335 mA, $V_{DD} = 3.6\text{ V}$

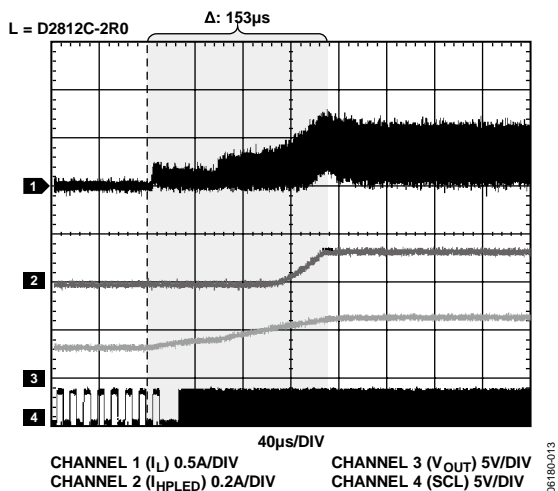


图7. 启动, 双LED手电筒模式, LED电流 = 130 mA, $V_{DD} = 3.2\text{ V}$

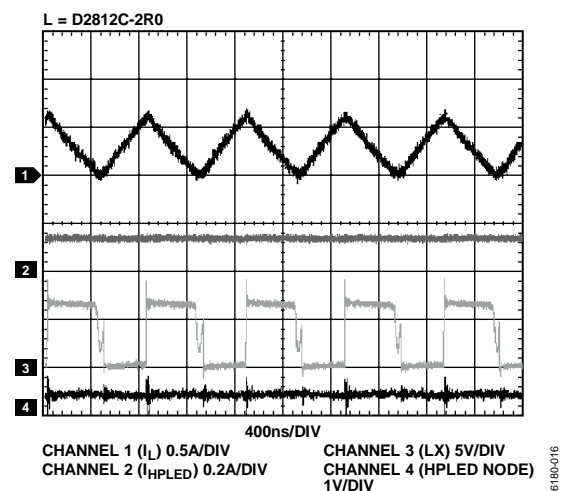


图10. 电感电流, 双LED手电筒模式, LED电流 = 130 mA, $V_{DD} = 3.6\text{ V}$

ADP1653

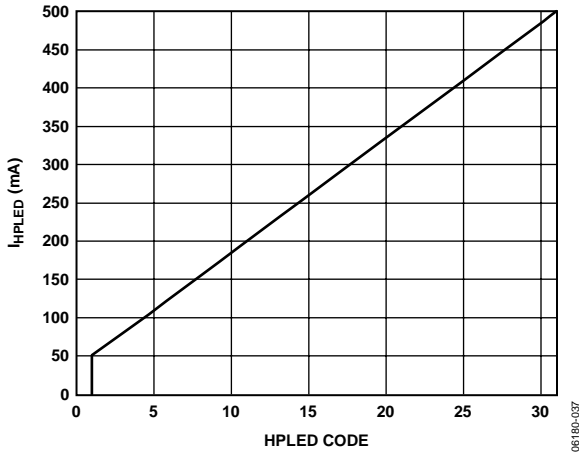


图11. HPLED电流与HPLED码的关系, I^2C 模式, $SETF = V_{DD}$

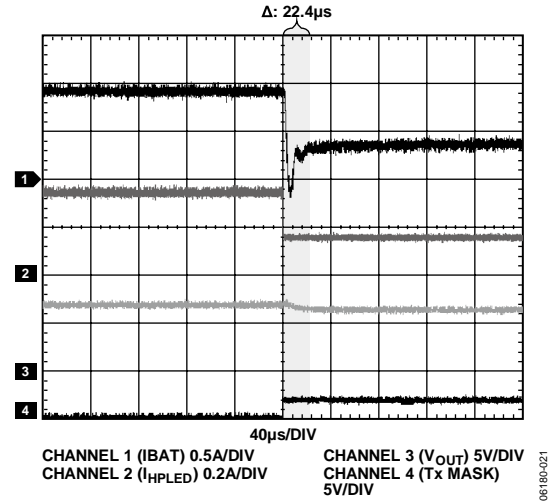


图14. Tx屏蔽响应, Tx屏蔽0 V至1.8 V, $I_{HPLED} = 335 \text{ mA}$ 至140 mA, $V_{DD} = 3.2 \text{ V}$

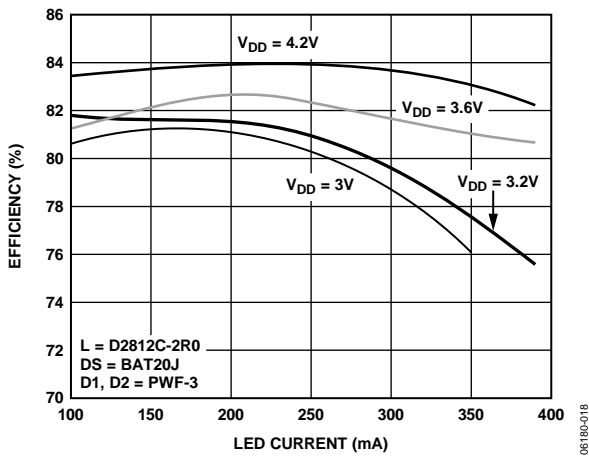


图12. 效率 P_{LED}/P_{IN} , 两个大功率白色LED串联

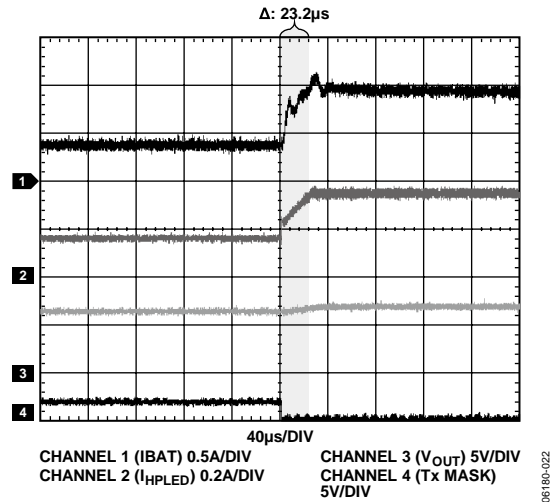


图15. Tx屏蔽响应, Tx屏蔽0 V至1.8 V, $I_{HPLED} = 140 \text{ mA}$ 至335 mA, $V_{DD} = 3.2 \text{ V}$

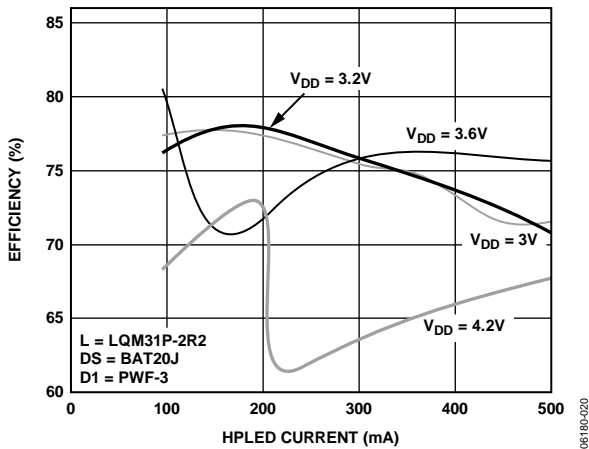


图13. 效率 P_{LED}/P_{IN} , 一个大功率白色LED

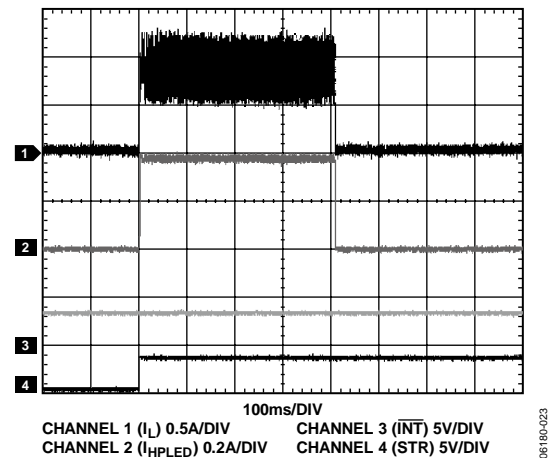


图16. 闪光灯定时模式, 两个LED, 定时器 = 820 ms, $I_{HPLED} = 380 \text{ mA}$, $V_{DD} = 3.6 \text{ V}$

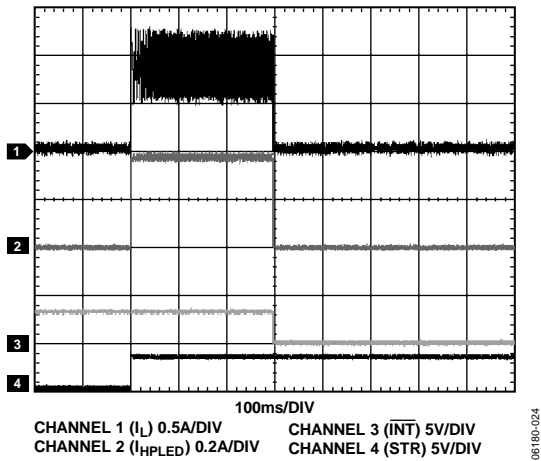


图17. 闪光灯无定时模式，两个LED，定时器 = 300 ms，
 $I_{HPLED} = 380 \text{ mA}$ ， $V_{DD} = 3.6 \text{ V}$

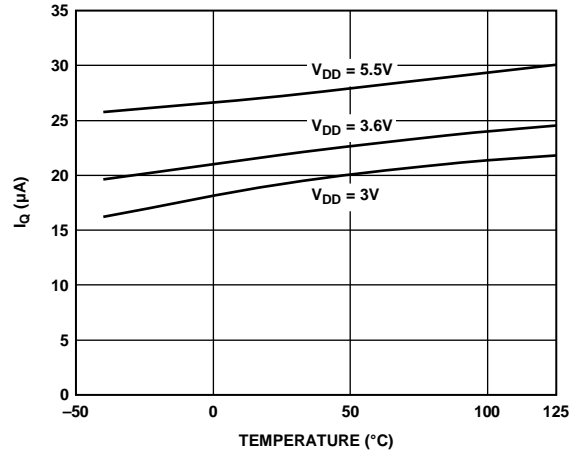


图20. 静态电流与温度的关系， $EN = V_{DD}$ ，LED功能禁用

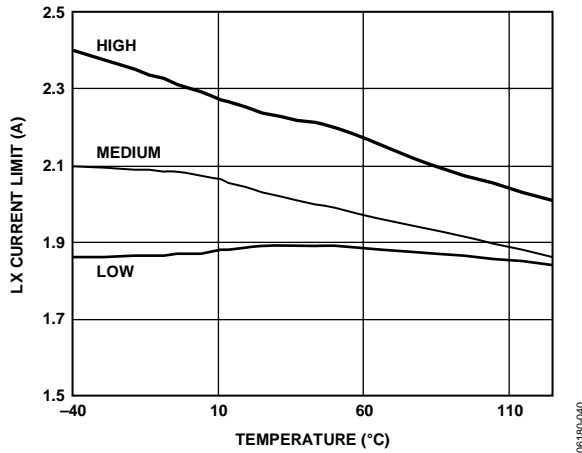


图18. 典型电流限值与温度的关系：低、中、高限流器件

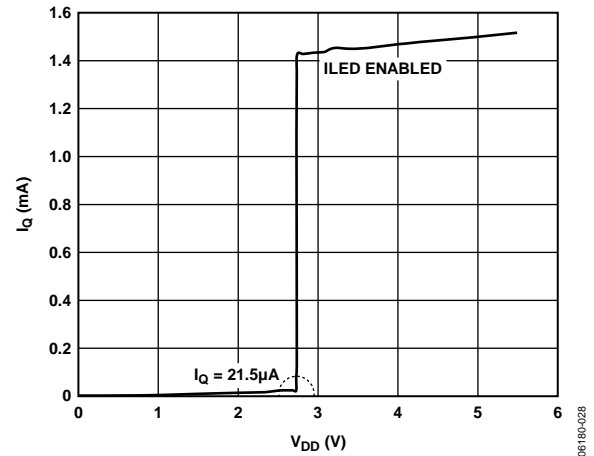


图21. 静态电流与 V_{DD} 的关系， V_{DD} 从5.5 V扫描至0 V，
 ILED在2.5 mA时有效，直到UVLO阈值

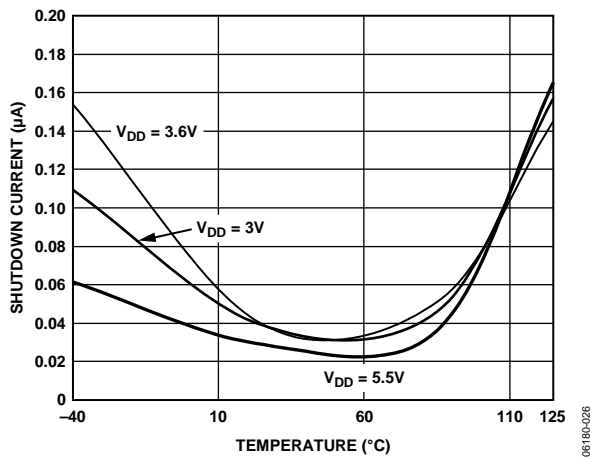


图19. 关断电流与温度的关系， $EN = 0 \text{ V}$

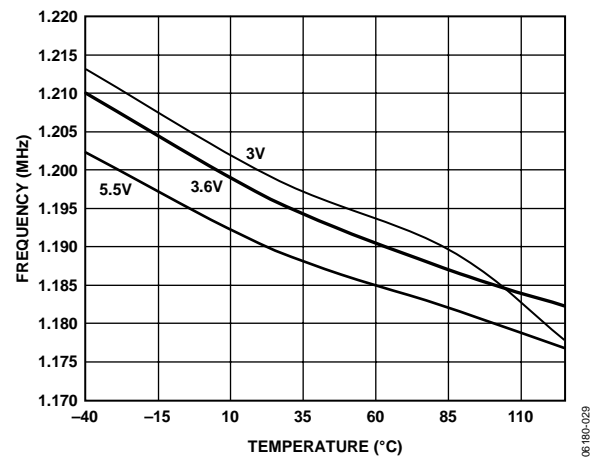


图22. 振荡器频率、温度与 V_{DD} 的关系

ADP1653

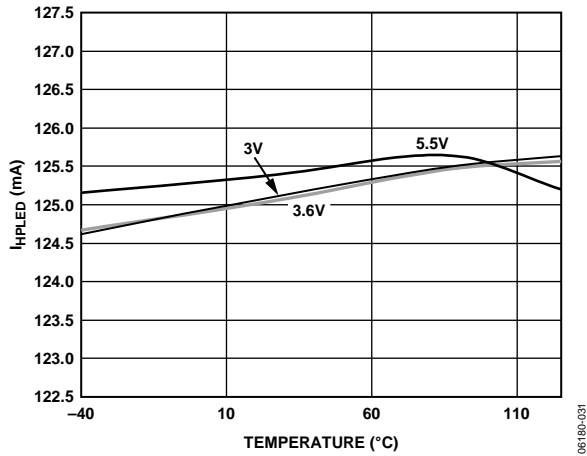


图23. HPLED调节, 设置电流125 mA, HPLED寄存器 = 00110 (二进制), SETF = V_{DD}

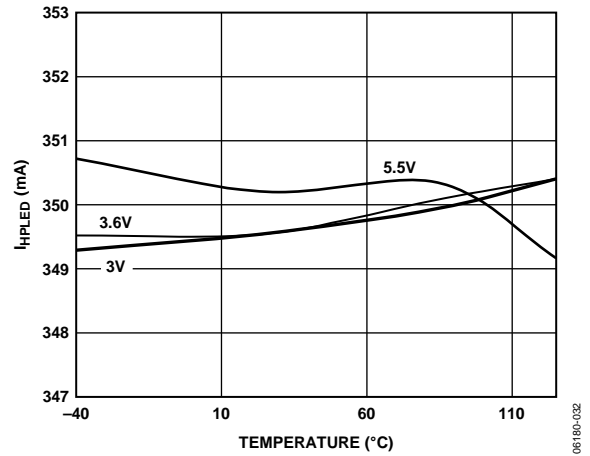


图24. HPLED调节, 设置电流350 mA, HPLED寄存器 = 10101 (二进制), SETF = V_{DD}

工作原理

ADP1653是一款大功率白色LED驱动器，非常适合驱动白色LED以用作相机闪光灯。ADP1653包括一个升压转换器和一个电流调节器，适合为单个或最多三个大功率白色LED供电。第二档电流允许2.5 mA至17.5 mA的灌电流驱动指示灯LED。

ADP1653采用2引脚控制接口，可工作在两种不同的引脚选择模式下。INTF引脚接高电平可启用2位逻辑硬件接口，INTF引脚接低电平可启用I²C接口。

白色LED驱动器

通常情况下，ADP1653驱动一个升压转换器来为一个或两个串联大功率LED供电。白色LED驱动器调节大功率LED电流以实现精确的亮度控制。ADP1653使用集成式NFET电流调节器，当功率LED正向电压小于电池电压时，调节器电压会下降。

当所需LED电压大于电池电压时，HPLED引脚上的NFET电流调节器电压约为320 mV，升压转换器将适当的电压施加于OUT，使得LED能够传导调节电流。

当白色LED开启时，升压转换器输出电压的压摆率限定为18 V/ms以防止电池过流，同时为输出电容充电。OUT检测升压转换器的输出电压。如果输出电压超过10.15 V (典型值) 限值，白色LED转换器将关闭，并通过INT输出和系统寄存器指示故障情况。当白色LED因为开路状况而发生故障时，此特性可防止过压造成损坏。

LED调节电流的设置取决于所用的2引脚控制接口，详见以下部分所述。

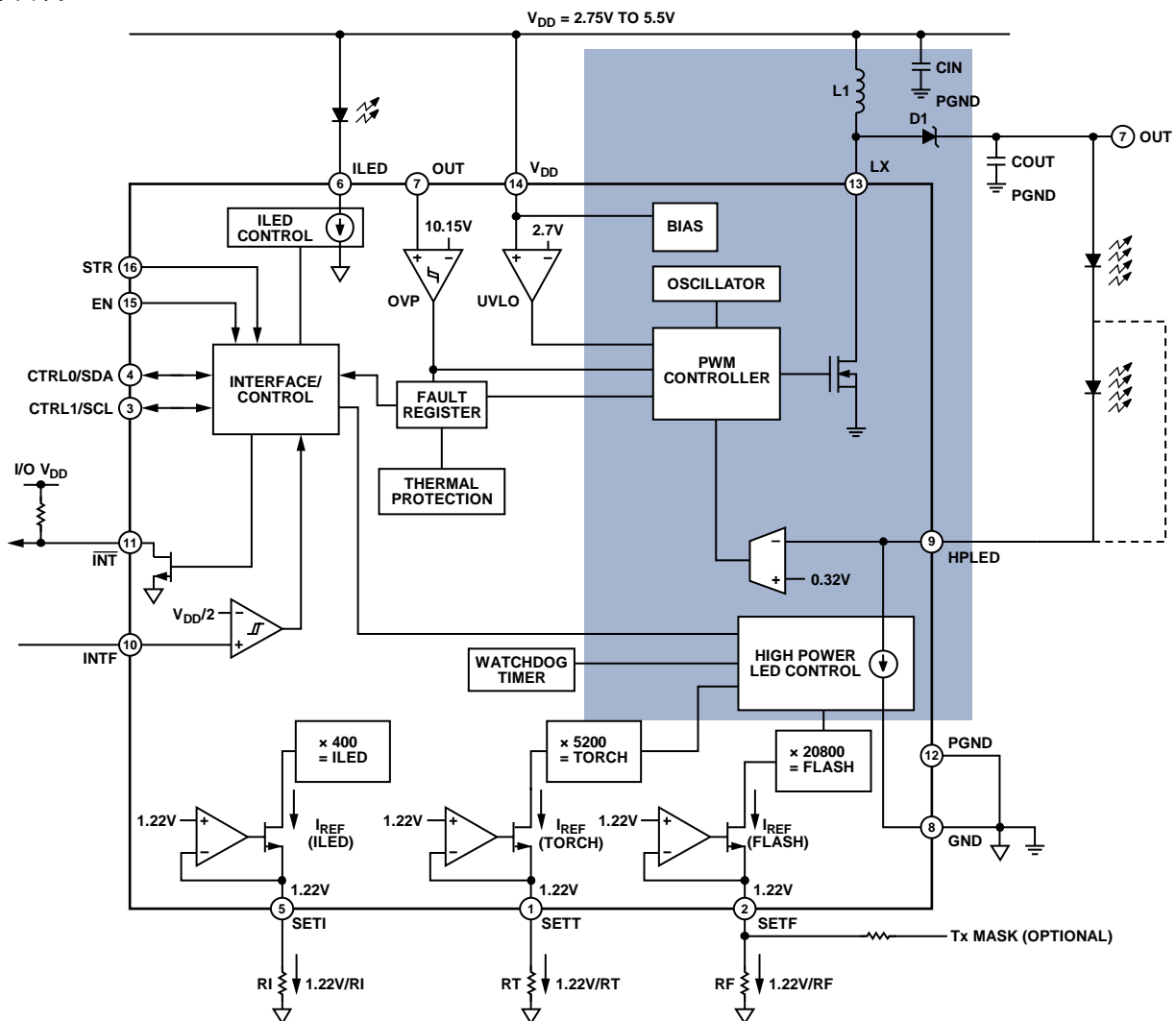


图25. 详细框图

ADP1653

2位逻辑接口模式(INTF = 1)

在2位逻辑接口模式下，两个控制引脚CTRL1和CTRL0选择器件在指示灯LED模式、手电筒模式、闪光灯模式下是禁用还是工作，如表7所示。

表7. 2位逻辑接口模式选择

INTF = 1	CTRL1	CTRL0	LED电流设置引脚	默认电流 (SETx = H)
禁用	0	0	—	—
I _{LED}	0	1	SETI	I _{LED} = 10 mA
手电筒	1	0	SETT	H _{PLED} = 125 mA
闪光灯	1	1	SETF	H _{PLED} = 500 mA

指示灯LED、手电筒和闪光灯工作模式的LED电流分别由连接在地与SETI、SETT、SETF引脚之间的不同外部电阻设置。流入各SETx引脚的基准电流等于1.22 V/R_{SETx}。基准电流乘以一个固定系数设定为相关的LED电流。

表8. 基准电流与LED电流的比例

INTF = 1	CTRL1	CTRL0	LED电流
禁用	0	0	—
I _{LED}	0	1	I _{REF} (SETI) × 400
手电筒	1	0	I _{REF} (SETT) × 5200
闪光灯	1	1	I _{REF} (SETF) × 20,800

或者可将SETx引脚接高电平，以使用默认内部电流设置。各种工作模式的默认电流约等于SETx引脚与地之间连接50 kΩ电阻时获得的电流。

因此，由外部电阻R_{SETx}设置的LED电流可通过以下公式得出：

$$I_{LED} = I_{DEFAULT} \times \frac{50 \text{ k}\Omega}{R_{SETx}} \quad (1)$$

其中，I_{DEFAULT}是将SETx引脚接高电平时获得的LED电流。

表7给出了指示灯LED (SETI)、手电筒 (SETT) 和闪光灯 (SETF) 工作模式的I_{DEFAULT}值。为了精确设置LED电流，SETx电阻值至少应为25 kΩ (SETI、SETT) 或50 kΩ (SETF)。

闪光灯电流可利用一个外部逻辑信号(通常是1.8 V逻辑)迅速降低，方法是在SETF引脚与该逻辑信号之间增加一个第二外部电阻。此数字输入从低电平变为高电平时，通过SETF引脚提供给ADP1653的基准电流就会降低，导致闪光灯从正常工作模式变为低电流模式(参见“应用信息”部分)。

I²C接口模式(INTF = 0)

ADP1653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芯片地址为0x60 (写入模式下为二进制0110 0000)。所有四个寄存器的默认值为0x00。当使能信号变为低电平时，或者VDD电源降至欠压(UVLO)电平以下时，寄存器值复位到默认值。

图26显示了I²C写序列。子地址部分选择要写入ADP1653四个寄存器中的哪一个。图27显示I²C读序列。ADP1653从子地址表示的寄存器发送数据。在此情况下，读取默认寄存器(REG3)。

寄存器定义如图28所示。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。

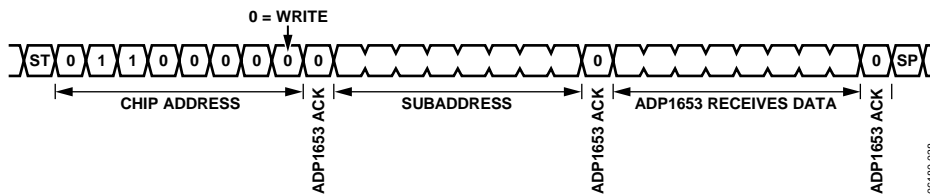


图26. I²C写序列

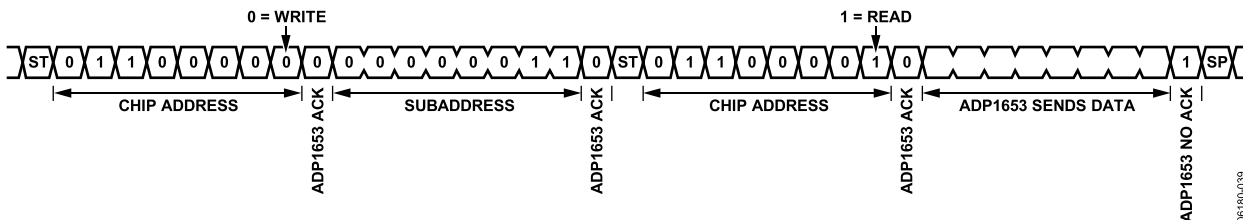
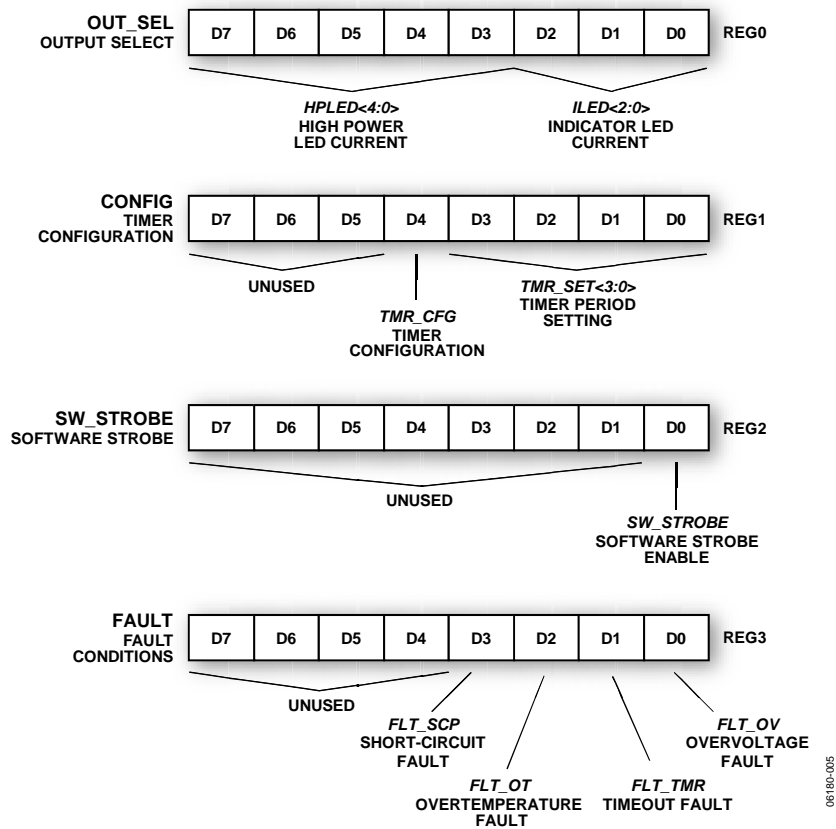


图27. I²C读序列

图28. I²C寄存器分配

LED调节电流通过写入ILED和HPLED寄存器来控制。如果ILED寄存器设置为0，则ILED调节器关闭，无电流流经指示灯LED。如果ILED寄存器设置为1（二进制001）到7（二进制111）的值，指示灯LED将持续亮起，电流调节至与寄存器设置关系如下：

$$I_{ILED} = 2.5 \text{ mA} \times Code \quad (2)$$

其中，Code为ILED寄存器设置。因此，使用全部码时，ILED电流可在2.5 mA到17.5 mA范围内设置。

如果HPLED寄存器设置为0，则HPLED调节器关闭，无电流流经大功率LED。如果HPLED寄存器设置为1（二进制00001）到11（二进制01011）的值，调节器将处于手电筒模式，HPLED持续亮起，与STR状态无关。如果HPLED寄存器设置为12（二进制01100）到31（二进制11111）的值，HPLED调节器将保持关闭，直到通过选通输入(STR)或软件选通命令使能。在SETF接高电平的情况下，要设置所需的HPLED电流，请使用以下公式：

$$I_{HPLED} = 35 \text{ mA} + Code \times 15 \text{ mA} \quad (3)$$

其中，Code为HPLED寄存器设置。

因此，HPLED手电筒电流的设置范围是50 mA到200 mA（码1到码11），HPLED闪光灯电流的设置范围是215 mA到500 mA（码12到码31）。

此外，HPLED电流还可以通过外部电阻调整。此特性主要用于限制手机功率放大器传输中的LED闪光灯电流，但也可用于更改HPLED电流设置。如果存在外部SETF电阻，则HPLED电流由下式给出：

$$I_{HPLED} = (35 \text{ mA} + Code \times 15 \text{ mA}) \times \frac{50 \text{ k}\Omega}{R_{SETF}} \quad (4)$$

开启闪光灯和看门狗定时器

在闪光灯模式下，看门狗定时器始终开启，以防止HPLED功耗过高。

在2位逻辑接口模式下，用户通过将CTRL1引脚和CTRL0引脚设置为高电平来选择闪光灯操作。这种模式下，看门狗定时器为固定值0.82秒。CTRLx引脚变为另一状态时，闪光灯熄灭。如果CTRLx引脚保持高电平的时间超过0.82秒，看门狗定时器会自动禁用闪光灯，并且中断引脚($\overline{\text{INT}}$)变为低电平以指示发生故障。

ADP1653

在I²C模式下，用户通过将HPLED寄存器设置为12（二进制01100）到31（二进制11111）的值来选择闪光灯操作。要开启闪光灯，需提供选通命令，即拉高STR引脚或将软件选通命令写入适当的I²C寄存器。

I²C模式下的看门狗定时器有其它设置。选通命令在两种看门狗定时器模式下工作：定时闪光灯或用户控制闪光灯，这通过CONFIG寄存器的超时配置(TMR_CFG)位状态来控制。如果TMR_CFG置1，则闪光灯以定时模式工作。在定时闪光灯模式下，STR上升沿开启闪光灯。然后，闪光灯保持亮起，直至内部超时发生；超时时间由CONFIG寄存器的TMR_SET位设置，计算公式如下：

$$t_{FLASH} = 820 \text{ ms} - Code \times 54.6 \text{ ms} \quad (5)$$

其中，Code范围是0（二进制0000）到15（二进制1111），因而闪光灯周期范围是54 ms到820 ms。

如果TMR_CFG置0，则闪光灯以用户控制定时器模式工作。在此模式下，只要STR保持高电平，闪光灯就会一直亮起。如果STR保持高电平的时间超过 T_{FLASH} （TMR_SET = 0时， $t_{FLASH} = 820 \text{ ms}$ ），闪光灯将关闭，FAULT寄存器的看门狗超时(FLT_TMR)位设置故障。

ADP1653还提供了软件选通选项，允许用户直接通过I²C接口开启闪光灯，而无需拉高STR引脚。SW_STROBE寄存器位设为1就会启动一个闪光周期。该选通可工作在前述的定时或用户控制模式下。

安全特性

中断

对于输出过压、看门狗超时、过温等关键系统状况，ADP1653会置位低电平有效中断输出 \overline{INT} 以指示发生中断事件。 \overline{INT} 为开漏输出，应通过电阻上拉到I/O电压轨。

在I²C接口模式下，检测到 \overline{INT} 变为低电平之后，系统基带处理器可通过I²C接口读取故障寄存器以确定故障的性质。用户可将0x00写入OUT_SEL寄存器以清除故障，这将拉高 \overline{INT} 并清除FAULT寄存器。

在2位逻辑接口模式下， \overline{INT} 也会在发生故障时变为低电平，但I²C寄存器回读不可用。要清除故障，应将CTRL1和CTRL0设为低电平。

过压故障

ADP1653的OUT引脚处有一个比较器，用于监控大功率LED与PGND之间的电压。如果该电压超过10.15 V（典型值），ADP1653就会关断($I_Q < 45 \mu\text{A}$)，并且 \overline{INT} 变为低电平。在I²C模式下，FAULT寄存器的位D0 (FLT_OV)回读为高电平。ADP1653被禁用， \overline{INT} 保持低电平，直到故障被清除。

超时故障

使用2位逻辑接口时，闪光灯使能(CTRL1/CTRL0=1)的最长持续时间预设为820 ms。如果CTRL1和CTRL0保持高电平的时间超过820 ms， \overline{INT} 就会变为低电平，并且ADP1653被禁用。

在I²C模式下，如果TMR_CFG置0，并且STR保持高电平的时间超过 t_{FLASH} （见公式5） \overline{INT} 将变为低电平，FAULT寄存器的FLT_TMR位回读为高电平。ADP1653被禁用， \overline{INT} 保持低电平，直到故障被清除。

过温故障

当ADP1653的结温升至155°C以上时，热保护电路就会关断LED驱动器并拉低 \overline{INT} 。在I²C模式下，FAULT寄存器的位D2 (FLT_OT)回读为高电平。ADP1653被禁用， \overline{INT} 保持低电平，直到故障被清除。

短路故障

HPLED引脚具有短路保护功能，如果它在LED的阴极检测到对地短路，就会禁用ADP1653。一旦使能手电筒模式，ADP1653就会监控HPLED电压。820 ms后，如果HPLED引脚仍然接地，即检测到短路。 \overline{INT} 变为低电平，FAULT寄存器的位D3 (FLT_SCP)回读为高电平。为了避免误触发短路故障，在短路检测电路测量HPLED引脚电压时，请勿更改手电筒电流。使能手电筒模式750 ms至900 ms之后，请勿将手电筒电流从一个非零值直接设置为另一个非零值。要在使能手电筒模式750 ms至900 ms之后将手电筒电流从一个非零值设置为另一个非零值，请执行以下步骤：

手电筒电流设置#1

手电筒电流设置= 0

手电筒电流设置#2

手电筒模式和闪光灯模式可以随时使能或禁用。

输入欠压

ADP1653内置一个输入欠压闭锁电路。如果电池电压降至UVLO阈值2.7 V（典型值）以下，ADP1653就会关断，输入电流降至45 μA 以下，以防止电池深度放电。这种情况下，系统寄存器信息会丢失；重新施加电源时，上电复位电路将寄存器复位为默认值。

限流

内部LX开关会限制电池电流，确保峰值电感电流不超过2.1 A（典型值）。如果SET1、SETT或SETF引脚意外接地，基准电流将被限制在最大值1 mA。

应用信息

发送脉冲期间的闪光灯电流折返

ADP1653允许闪光灯电流快速折返(支持1.8 V逻辑), 这通常是在RF发送脉冲之前不久使能。此特性可防止电池单元功耗过大, 从而延长电池寿命。它还能降低系统中可能出现的最大瞬时电流, 支持较低的电池工作电压限值, 从而延长手机寿命。

2位逻辑接口模式(INTF = 1)

在2位逻辑接口模式下, 闪光灯电流通过外部电阻设置。1.22 V基准电压经缓冲提供给SETF引脚, 在外部SETF电阻上产生基准电流。此基准电流乘以固定增益便得到HPLED的闪光灯电流设置。

1.8 V兼容逻辑信号通过调整基准电流来选择正常或降低的闪光灯电流, 如图29和图30所示。

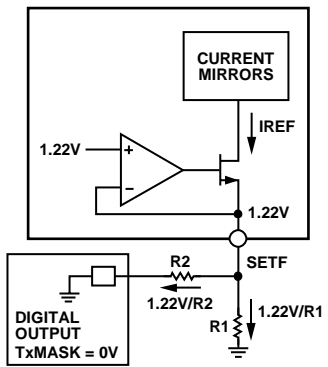


图29. 闪光灯模式电流折返
(正常工作, R2通过数字控制信号接地)

满电流闪光灯模式(Tx屏蔽 = 0 V)的闪光灯电流为:

$$I_{REF_0} = \frac{1.22 \text{ V}}{R1 \parallel R2} = \frac{1.22 \text{ V} \times (R1 + R2)}{R1 \times R2} \quad (6)$$

基准电流乘以固定增益便得到实际闪光灯电流(见表8)。

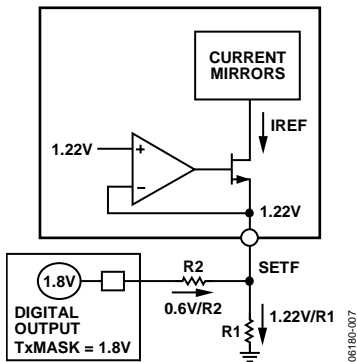


图30. 1.8 V信号施加于R2时的闪光灯模式电流折返

对R2施加逻辑高电平会改变R2中的电流方向。

$$I_{REF} = I_{R1} - I_{R2} \quad (7)$$

$$I_{REF} = \frac{1.22 \text{ V}}{R1} - \frac{V_{Tx\ mask} - 1.22 \text{ V}}{R2} \quad (8)$$

$$I_{HPLED} = I_{REF} \times 20,800 \quad (9)$$

对于1.8 V逻辑信号, 满闪光灯电流与低闪光灯电流之比约为:

$$\frac{Full\ Flash}{Reduced\ Flash} = \frac{R2 + R1}{R2 - \frac{R1}{2}} \quad (10)$$

如果R1 = R2 = 100 kΩ, 则最大闪光灯电流为500 mA, 低闪光灯电流为125 mA。

I²C模式(INTF = 0)

为在I²C模式下支持闪光灯电流折返, 用户应在SETF与地之间连接一个电阻, 并在SETF与逻辑输入之间连接另一个电阻, 如图29和图30所示。工作原理与2位逻辑接口模式相同, 不过闪光灯电流还会受到OUT_SEL寄存器的HPLED位的调整。

满电流闪光灯模式的基准电流为:

$$I_{HPLED} = (35 \text{ mA} + Code \times 15 \text{ mA}) \times \frac{50 \text{ k}\Omega}{R_{SETF}} \quad (11)$$

其中:

R_{SETF} 为R1和R2的并联组合。

Code为HPLED寄存器设置。

拉高Tx屏蔽电压可降低基准电流。因此, 低LED电流为 I_{HPLED} (见公式13)

$$I_{REF} = \frac{1.22 \text{ V}}{R1} - \frac{V_{Tx\ mask} - 1.22 \text{ V}}{R2} \quad (12)$$

$$I_{HPLED} = (35 \text{ mA} + Code \times 15 \text{ mA}) \times \frac{50 \text{ k}\Omega \times I_{REF}}{1.22 \text{ V}} \quad (13)$$

ADP1653

外部元件选择

选择电感

ADP1653升压转换器可提高电池电压以便驱动一个、两个或三个LED，其综合压降高于电池电压与0.32 V (典型值)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HPLED电流，LED正向电压变化幅度很宽。

用户所选的电感值应使得电感纹波电流约为最大直流输入负载电流的2/5。一般而言，物理尺寸相同时，低值电感的饱和电流较高，串联电阻较低。对于大多数应用，1.5 μH到3.3 μH范围内的电感效果良好。

为了确定电感纹波电流，用户首先应计算升压转换器的开关占空比，它由输入电压(V_{IN})、输出电压(V_{OUT})和肖特基正向电压(V_F)决定。 V_{OUT} 等于LED压降加上HPLED电流调节器的320 mV(典型值)裕量。

$$\frac{V_{IN}}{V_{OUT} + V_F} = 1 - D \quad (14)$$

求出D

$$D = 1 - \frac{V_{IN}}{V_{OUT} + V_F} = \frac{V_{OUT} + V_F - V_{IN}}{V_{OUT} + V_F}$$

HPLED (输出)电流最低可调节至50 mA (手电筒模式)，最高可调节至500 mA (闪光灯模式)。最大直流输入电流与最大直流输出电流相关，可利用下式计算：

$$I_{IN(MAX)} = I_{OUT(MAX)} \times \left(\frac{V_{OUT}}{V} \right) \times \frac{1}{\eta} \quad (15)$$

其中， η 是效率(对于双LED情况，假设 $\eta \approx 0.80$)。利用下式选择初始电感值：

$$L = \frac{V_{IN}}{\Delta I_L \times f_{SW}} \left(\frac{V_{OUT} + V_F - V_{IN}}{V_{OUT} + V_F} \right) \quad (16)$$

其中：

L 为电感值(降低 L 可缩小解决方案尺寸)。

f_{SW} 为开关频率。

ΔI_L 为电感纹波电流，通常为最大直流输入电流的2/5。

V_F 为肖特基二极管的正向电压。

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，但也会改善环路稳定性，减少所需的输出电容量。确保峰值电感电流(DC+电感纹波的1/2)小于LX最小电流限值(1.8 A)。

表9. 推荐电感

供应商	值(μH)	产品型号	DCR (mΩ)	ISAT (A)	尺寸: 长×宽×高(mm)
Toko	2.2	FDSE0312	145	3.1	3×3×1.2
Toko	2.0	DE2812C	67	1.8	2.8×2.8×1.2
Toko	3.3	FDSE0312	199	2.6	3×3×1.2
Coilcraft	2.2	LPS3010	220	1.4	3×3×1.0
Coilcraft	2.2	LPS3314	100	1.5	3×3×1.4

选择输入电容

ADP1653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。所用输入电容的纹波电流额定值应足以处理电感纹波。建议最小输入电容为4.7 μF、6.3 V额定值、X5R/X7R陶瓷电容。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 μF陶瓷电容。

选择二极管

表10. 推荐输入电容

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

ADP1653是一款非同步升压器，因此，当LX开关断开时，需要一个外部肖特基整流器来将电感电流传导至输出电容和HPLED。确保肖特基峰值电流额定值大于最大电感电流。应选择平均电流额定值显著大于最大LED电流的二极管。在高结温下，为防止热失控，肖特基整流器应减额运行以确保操作可靠。为实现最佳效率，应选择具有低VF的肖特基二极管。

表11. 推荐肖特基二极管

供应商	I _{PEAK} (A)	I _{AVER} (A)	V _R (V)	产品型号	尺寸: 长×宽×高(mm)
ST	2	1	23	BAT20J	1.65 × 1.25 × 1.0
Rohm	5	1	20	RB161VA-20	1.9 × 1.3 × 0.6
ON Semi	2	1	20	MBR120LSFT1	2.7 × 1.65 × 0.95
Philips	2	2	20	PMEG2020EJ	1.7 × 1.25 × 0.72

选择输出电容

当LX开关导通时，输出电容保持输出电压稳定并提供HPLED电流。它还能保持环路稳定。一般建议使用4.7 μF、16 V X5R/X7R陶瓷电容。确保双LED和单LED环路稳定性所需的最小电容分别如图31和图32所示。为了适应最差情况下的直流偏置电压和温度条件，所选电容的容值应大于图31和图32所示的最小值。

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。对于大多数双LED设计，建议使用16 V电容。高度限制为1 mm的设计也可以使用0603尺寸的16 V并联电容。

表12. 推荐输出电容

供应商	值	产品型号	尺寸: 长×宽×高(mm)
Murata	4.7 μF, 16 V	GRM21BR61C475KA88	2 × 1.25 × 1.25
TDK	4.7 μF, 16 V	C2012X5R1C475K	2 × 1.25 × 1.25
Murata	4.7 μF, 10 V	GRM219R61A475KE34	2 × 1.25 × 0.95
TDK	4.7 μF, 10 V	C1608X5R1A475K	1.6 × 0.8 × 0.8

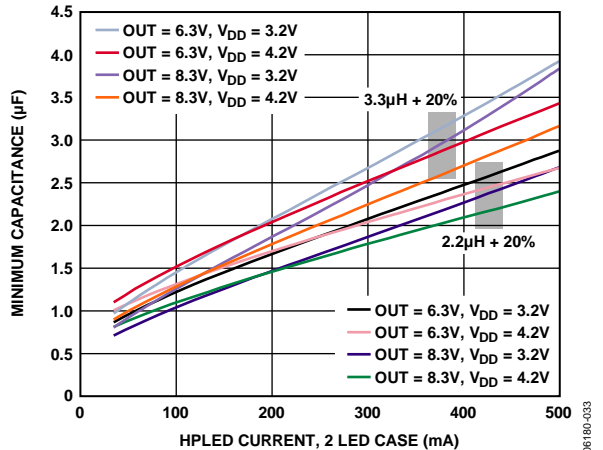


图31. 双LED设计、L = 3.3 μH + 20%和L = 2.2 μH + 20%两种情况下的最小输出电容

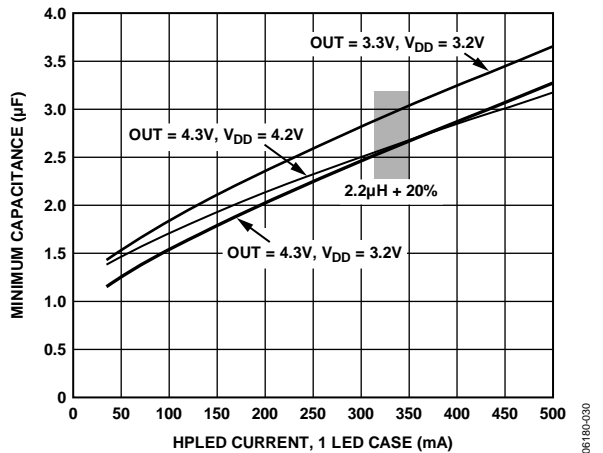


图32. 单LED设计、L = 2.2 μH + 20%情况下的最小输出电容

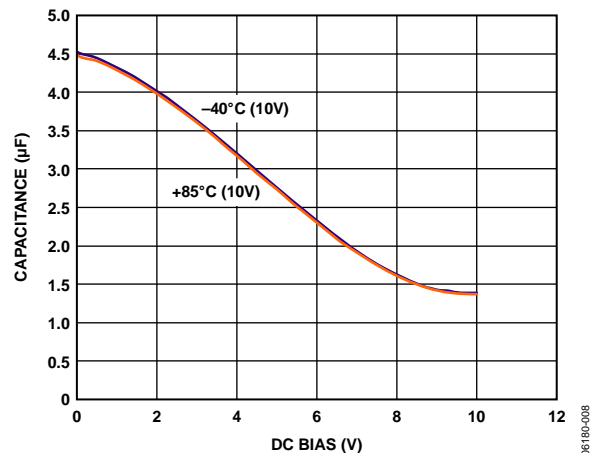


图33. 10 V、4.7 μF陶瓷电容的直流偏置特性

ADP1653

PCB布局布线

良好的PCB布局布线对提高效率 and 降低噪声与电磁干扰(EMI)很重要。PCB布局示例如图34所示。调整建议的布局时，应参考以下准则。

高电流通路如图35所示。首先放置位于高电流通路上的元器件。为了尽量减少大电流环路，输入电容、电感、肖特基二极管和输出电容应尽量相互靠近并且靠近ADP1653，同时应使用宽走线(尽可能使用覆铜)。

使用独立的模拟和电源接地层。模拟地层用于SETI、SETT、SETF电阻接地以及数字连接(即INTF=0=AGND)。

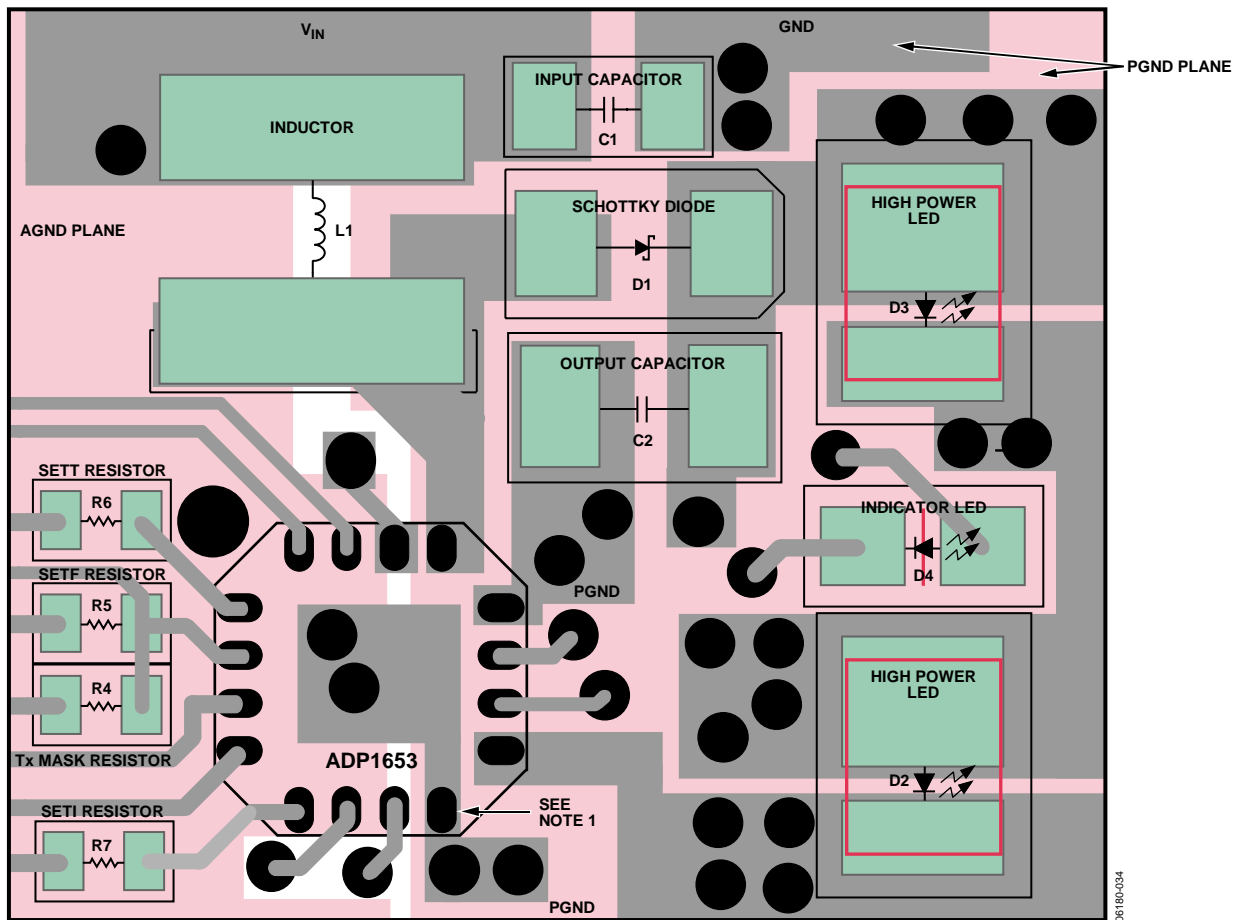
使用电源地层为电源器件接地。将输入电容、输出电容和PGND引脚(引脚12)连接到PGND层。如果无法让PGND层连续，应使用若干低电感过孔连接各层。在ADP1653焊盘

处或靠近焊盘处连接AGND和PGND层。

SETI、SETT和SETF电阻设置一个小基准电流来产生LED电流。为使噪声和电流误差最小，SETI、SETT和SETF电阻应尽可能靠近ADP1653。电阻的另一端应直接连到AGND层。

使用低电阻的宽走线将输出电容连接到大功率LED。通过宽走线从LED串底部连回HPLED引脚(引脚9)。GND引脚(引脚8)连接到电流调节器NFET的源极。利用靠近GND引脚的低阻抗过孔将GND引脚连接到PGND层，以确保大功率LED电流通过低阻抗路径返回电池。

OUT引脚用于软启动，含有一个比较器以提供过压保护。用直接走线将输出电容连回OUT引脚(引脚7)。该走线不必是宽走线。



NOTES

1. CONNECT THE AGND AND PGND PLANES CLOSE TO PADDLE. THIS IS THE GND RETURN PATH FOR HPLED CURRENT, SO A REASONABLY LARGE VIA SHOULD BE USED TO CONNECT THE AGND AND PGND PLANES.

图34. ADP1653驱动两个白色LED的布局示例；粉色 = GND层，灰色/绿色 = 顶层(单LED布局类似)

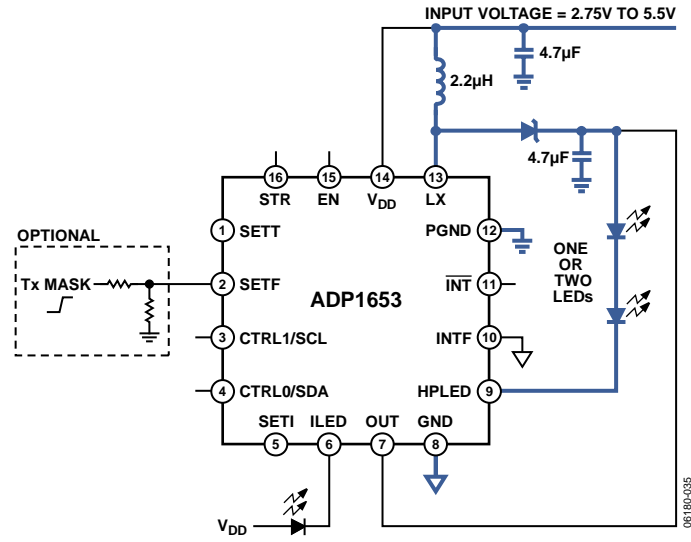
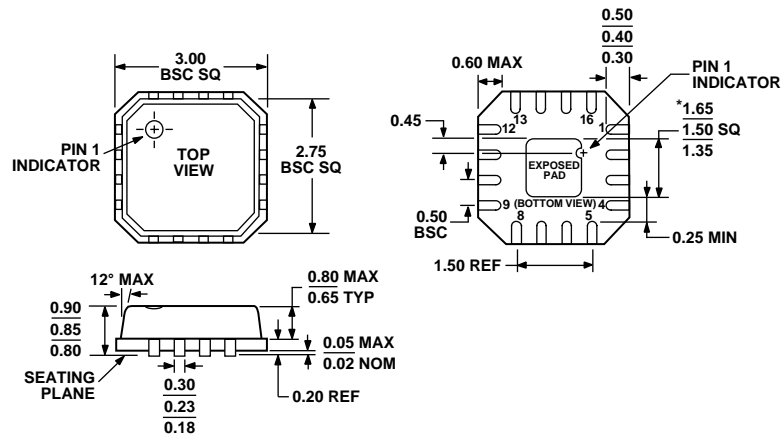


图35. 典型应用电路(高电流线路加粗显示)

ADP1653

外形尺寸



*符合JEDEC标准MO-220-VEED-2
裸露焊盘尺寸除外。

图36. 16引脚LFCSP_VQ[引脚架构芯片级]封装
3 mm x 3 mm超薄体(CP-16-3)
图示尺寸单位: mm

订购指南

型号	温度范围	封装描述	封装选项	标识
ADP1653ACPZ-R7 ¹	-40°C至+125°C	16引脚引脚架构芯片级封装[LFCSP_VQ]	CP-16-3	L3H
ADP1653-EVALZ ¹		评估板		

¹ Z = 符合RoHS标准的器件。

注释

注释