高压高边电流和电压检测

特点

电流检测

- 电源电压范围：5V 至 100V
- 低失调电压：±500μV (最大值)
- 1μs 响应时间
- 通过 2 个电阻配置增益
- 低输入偏置电流：170nA (最大值)
- PSRR：118dB (最小值)
- 低电源电流：250μA

电压检测

- 电压检测范围：0V 至 100V
- 精密 1MΩ 电阻分压器
- 低总增益误差：±0.15% (最大值)
- 电源电压范围：2.7V 至 5.5V
- 低电源电流：57μA
- 工作温度范围：–40°C 至 125°C

应用

- 电流测量
- 电池监控
- 电源管理
- 汽车检测和控制
- 工业监控

说明

LTC®6115是高压高边电流检测放大器和电压检测放大器的多功能组合。出色的器件特性提供了设计灵活性：电流检测的最大失调电压为 ±500μV，电压检测的最大总增益误差为 ±0.15%。

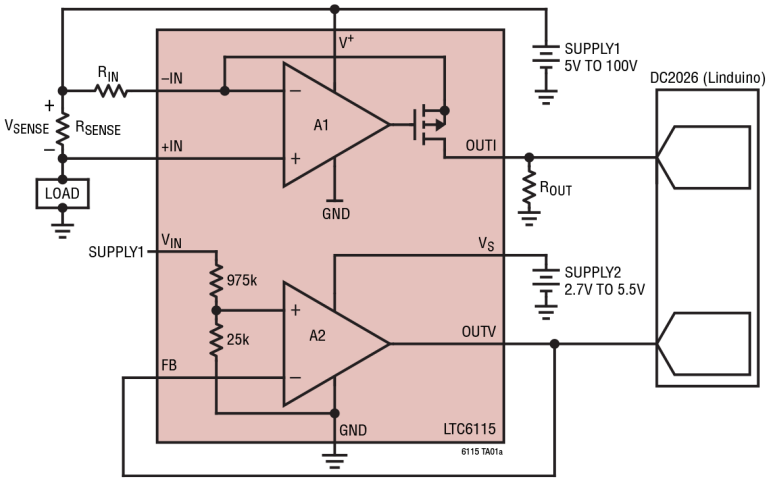
LTC6115 的电流检测部分通过检测外部检测电阻上的电压来监测电流。检测的电压转换为输出电流，然后可通过外部电阻 R_{OUT} 转换为电压。由于响应速度快，该器件是负载电流告警和关断保护控制的理想选择。

LTC6115 还有一个内部 1MΩ 电阻分压器和一个精密电压放大器，用于精确监测电压。40 倍的电阻衰减支持检测 V_{IN} 引脚上高达 100V 的电压，因此该器件适合电信、工业和汽车应用中的精密高压监测。满量程输出电压可由外部增益电阻配置，以最大限度地利用放大器的轨到轨输出。LTC6115 采用 12 引脚 MSOP 封装。

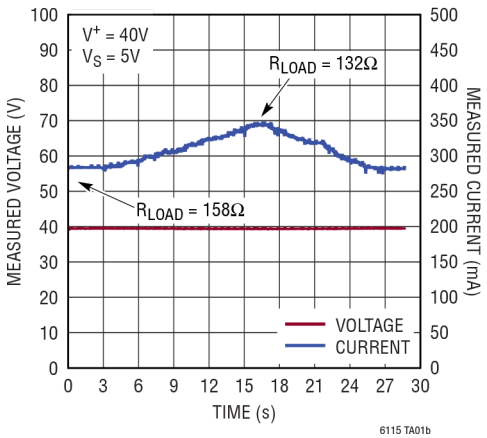
所有注册商标和商标均属各自所有人所有。

典型应用

电源电压和负载电流监控器



扫描 R_{LOAD} 上的电压和电流，由 Linduino™ 10 位 ADC 采样



绝对最大额定值

(注释 1)

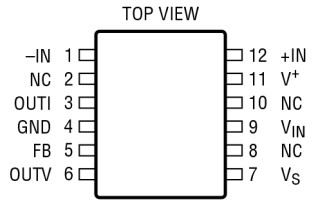
总电源电压
- V^+ 至 GND.....105V
- V_S 至 GND.....6V

输入电压（V_{IN} 引脚).....105V
–IN 引脚最小电压.....(V^+ – 4V)
FB 引脚电压.....GND – 0.3V 至 V_S + 0.3V
输入电流（+IN、–IN、FB 引脚).....±10mA
最大输出电压（OUTI 引脚).....9V
输出短路持续时间（对 GND).....未定
工作温度范围（注释 2）
- LTC6115I.....–40°C 至 85°C
- LTC6115H.....–40°C 至 125°C

额定温度范围（注释 3）
- LTC6115I.....–40°C 至 85°C
- LTC6115H.....–40°C 至 125°C

存储温度范围.....–65°C 至 150°C
引脚温度（焊接，10 秒).....300°C

引脚配置



MS PACKAGE
12-LEAD PLASTIC MSOP
θ_{JA} = 135°C/W, T_{JMAX} = 150°C

订购信息

管装	卷带和卷盘	器件标识	封装说明	温度范围
LTC6115IMS#PBF	LTC6115IMS#TRPBF	6115	12 引脚塑料 MSOP	–40°C 至 85°C
LTC6115HMS#PBF	LTC6115HMS#TRPBF	6115	12 引脚塑料 MSOP	–40°C 至 125°C

有关具有更宽额定工作温度范围的器件，请咨询 ADI 市场部门。

卷带和卷盘规格。某些封装以 500 单元卷盘形式通过指定销售渠道提供，其带有 #TRMPBF 后缀。

电气特性

• 表示规格适用于全部额定工作温度范围，其他规格的适用温度为 T_A = 25°C。除非另有说明，R_{IN} = 100Ω，R_{OUT} = 10kΩ，$V_{SENSE}^+ = V^+$ (注释 4)，5V ≤ V^+ ≤ 100V，V_{IN} = 20V。

符号	参数	条件		最小值	典型值	最大值	单位
电流检测							
	电源电压范围（V^+）		•	5		100	V
V_{OS}	输入失调电压（+IN、–IN）	V_{SENSE} = 5mV，增益 = 100			±85	±500	μV
			•			±800	μV
$\Delta V_{OS}/\Delta T$	输入失调电压漂移	V_{SENSE} = 5mV，增益 = 100	•		±3		μV/°C
I_B	输入偏置电流（+IN、–IN）	R_{IN} = 1MΩ，R_{OUT} = 1MΩ			85	170	nA
			•			245	nA
I_{OS}	输入失调电流	R_{IN} = 1MΩ	•		±2	±20	nA
$V_{SENSE(MAX)}$	输入检测电压满量程	误差 < 1%，R_{IN} = 1kΩ (注释 5)	•	500			mV

电气特性

● 表示规格适用于全部额定工作温度范围，其他规格的适用温度为 T_A = 25°C。除非另有说明，R_{IN} = 100Ω，R_{OUT} = 10kΩ，$V_{SENSE}^+ = V^+$ (注释 4)，5V ≤ V^+ ≤ 100V，V_{IN} = 20V。

符号	参数	条件		最小值	典型值	最大值	单位
PSRR	电源抑制比 (V^+)	V^+ = 6V 至 100V，V_{SENSE} = 5mV，增益 = 100		118	140		dB
		在 OUTI 测量	●	115			dB
		V^+ = 5V 至 100V，V_{SENSE} = 5mV，增益 = 100		110	133		dB
		在 OUTI 测量	●	105			dB
$V_{OUTI(MAX)}$	最大输出电压 (OUTI)	12V ≤ V^+ ≤100V，V_{SENSE} = 88mV	●	8			V
		V^+ = 5V，V_{SENSE} = 330mV，R_{IN} = 1kΩ，R_{OUT} = 10kΩ	●	3			V
$V_{OUTI(MIN)}$	最小输出电压 (OUTI)	V_{SENSE} = 0V，增益 = 100 (注释 6)			0	50	mV
			●			80	mV
I_{OUTI}	最大输出电流 (OUTI)	5V ≤ V^+ ≤ 100V，R_{OUT} = 2kΩ，V_{SENSE} = 110mV，增益 = 20	●	1			mA
t_r	输入阶跃响应 (至 2.5V，5V 输出阶跃)	ΔV_{SENSE} = 100mV 瞬态，6V ≤ V^+ ≤ 100V，增益 = 50			1		μs
		V^+ = 5V。在 OUTI 测量			1.5		μs
BW	信号带宽 (OUTI)	I_{OUTI} = 200μA，R_{IN} = 100Ω，R_{OUT} = 5kΩ			140		kHz
		I_{OUTI} = 1mA，R_{IN} = 100Ω，R_{OUT} = 5kΩ			200		kHz
I_V^+	电源电流 (V^+)	V^+ = 5V，I_{IOUT} = 0，R_{IN} = 1MΩ			240	450	μA
			●			475	μA
		V^+ = 6V，I_{IOUT} = 0，R_{IN} = 1MΩ			250	475	μA
			●			525	μA
		V^+ = 12V，I_{IOUT} = 0，R_{IN} = 1MΩ			260	500	μA
			●			590	μA
		V^+ = 100V，I_{IOUT} = 0，R_{IN} = 1MΩ			400	640	μA
			●			720	μA
电压检测，V_S = 3V							
	电源电压范围 (V_S)	通过 PSRR 测试保证	●	2.7		5.5	V
	V_{IN} 电压范围	以 GND 为基准		0		60	V
ΔG	V_{IN} = 60V 时的总增益误差	空载	●		0.04	±0.15	%
ΔG	V_{IN} = 5V 时的总增益误差	空载			0.04	±0.20	%
			●			±0.24	%
	输入电阻值	在 V_{IN} 和 GND 之间测量	●	0.85	1	1.15	MΩ
e_{nP-P}	输入噪声电压 (V_{IN})	0.1Hz 至 10Hz，以 V_{IN} 为基准，V_{IN} = 15V，A_V = 1			60		μV_{P-P}
e_n	输入噪声电压密度 (V_{IN}) (注释 7)	f = 1kHz			1.26		$\mu V/\sqrt{Hz}$
		f = 10kHz			1.13		$\mu V/\sqrt{Hz}$
i_n	输入噪声电流密度 (注释 8)				1		$fA/\sqrt{Hz}$
PSRR	电源抑制比 (V_S)	V_S = 2.7V 至 5.5V，V_{IN} = 20V。在 OUTV 测量	●	95	115		dB
V_{OH}	输出高电压 (V_S – OUTV)	空载	●		1	2	mV
		I_{SOURCE} = 0.2mA	●			30	mV
		I_{SOURCE} = 2mA	●			300	mV
V_{OL}	输出低电压 (OUTV – GND)	空载	●		1	2	mV
		I_{SINK} = 0.2mA	●			25	mV
		I_{SINK} = 2mA	●			220	mV
I_{SC}	输出短路电流 (OUTV)	拉电流		9	12		mA
			●	6.5			mA
		灌电流		8	13		mA
			●	6			mA
GBW	增益带宽积 (OUTV) (f_{TEST} = 20kHz)	R_L = 100k		300	530		kHz
			●	270			
t_S	0.1% 建立时间	A_V = 1，1V 输出阶跃			25		μs

电气特性

● 表示规格适用于全部额定工作温度范围，其他规格的适用温度为 T_A = 25°C。除非另有说明，R_{IN} = 100Ω，R_{OUT} = 10kΩ，$V_{SENSE}^+ = V^+$ (注释 4)，5V ≤ V^+ ≤ 100V，V_{IN} = 20V。

符号	参数	条件		最小值	典型值	最大值	单位
I_S	放大器电源电流 (V_S)	空载，V_{IN} = 20V			55	76	μA
			●			85	μA
电压检测，V_S = 5V							
	电源电压范围 (V_S)	通过 PSRR 测试保证	●	2.7		5.5	V
	V_{IN} 电压范围	以 GND 为基准		0		100	V
ΔG	V_{IN} = 100V 时的总增益误差	空载	●		0.03	±0.15	%
ΔG	V_{IN} = 5V 时的总增益误差	空载			0.03	±0.20	%
			●			±0.24	%
	输入电阻值	在 V_{IN} 和 GND 之间测量	●	0.85	1	1.15	MΩ
I_B (FB 引脚)	输入偏置电流	V_{IN} = 100V			3	100	pA
		–40°C 至 85°C	●			300	pA
		–40°C 至 125°C	●			2000	pA
e_{nP-P}	输入噪声电压	0.1Hz 至 10Hz，以 V_{IN} 为基准，V_{IN} = 15V，A_V = 1			60		$μV_{P-P}$
e_n	输入噪声电压密度 (V_{IN}) (注释 7)	f = 1kHz			1.26		μV/√Hz
		f = 10kHz			1.13		μV/√Hz
i_n	输入噪声电流密度 (注释 8)				1		fA/√Hz
PSRR	电源抑制比 (V_S)	V_S = 2.7V 至 5.5V，V_{IN} = 20V，在 OUTV 测量	●	95	115		dB
V_{OH}	输出高电压 (V_S – OUTV)	空载	●		1	2	mV
		I_{SOURCE} = 0.5mA	●			45	mV
		I_{SOURCE} = 5mA	●			450	mV
V_{OL}	输出低电压 (OUTV – GND)	空载	●		1	2	mV
		I_{SINK} = 0.5mA	●			35	mV
		I_{SINK} = 5mA	●			350	mV
I_{SC}	输出短路电流 (OUTV)	拉电流		18	27		mA
			●	17			mA
		灌电流		16	27		mA
			●	14			mA
SR	压摆率	A_V = 1	●	0.035	0.06		V/μs
GBW	增益带宽积 (OUTV) (f_{TEST} = 20kHz)	R_L = 100kΩ		300	530		kHz
			●	270			
t_S	0.1% 建立时间	A_V = 1，1V 输出阶跃			25		μs
I_S	放大器电源电流 (V_S)	空载，V_{IN} = 20V			57	76	μA
			●			85	μA

注释 1：应力超出上述绝对最大额定值可能会导致器件永久性损坏。在任何绝对最大额定值条件下长期工作会影响器件的可靠性和使用寿命。

注释 2：LTC6115I 的保证工作温度范围为 –40°C 至 85°C。LTC6115H 的保证工作温度范围为 –40°C 至 125°C。

注释 3：LTC6115I 在 –40°C 至 85°C 的温度范围内保证达到额定性能。LTC6115H 在 –40°C 至 125°C 的温度范围内保证达到额定性能。

注释 4：V_{SENSE} 是外部检测电阻 R_{SENSE} 上产生的电压。V_{SENSE}^+ 是 R_{SENSE} 高端的电压。参见封面的“典型应用”图纸。

注释 5：对于 7V ≤ V_S ≤ 100V，R_{OUT} = 10kΩ；对于 V_S = 5V、6V，R_{OUT} = 2kΩ。

注释 6：电流检测最小输出电压利用 0V 分流电压测量，受最大正失调电压限制。

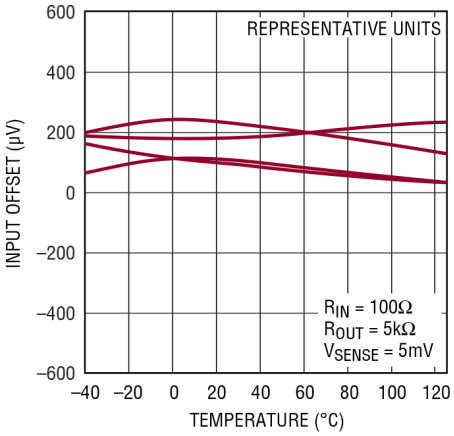
注释 7：这包括电阻分压器和放大器 A2 的噪声，折合到 V_{IN} 引脚。参见“应用信息：电压检测”下面关于“噪声源”的部分以了解更多信息。

注释 8：电流噪声由下式计算：

$i_n = \sqrt{2qI_B}$，其中 $q = 1.6 \cdot 10^{-19}$ 库仑。

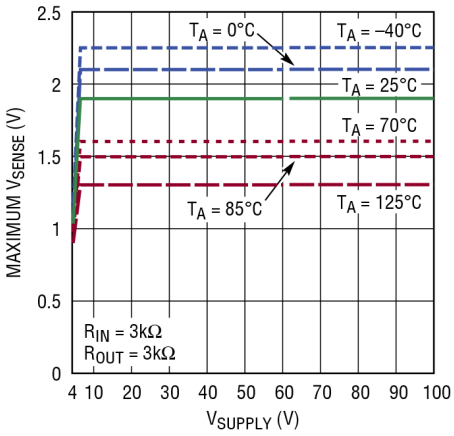
电流检测典型性能参数

V_{OS} 与温度的关系（+IN、–IN）



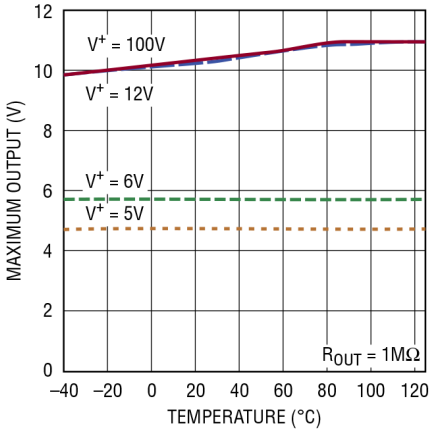
6115 G01

输入检测范围



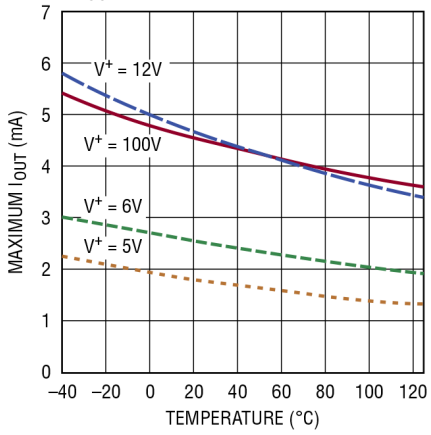
6115 G02

最大 V_{OUTI} 与温度的关系



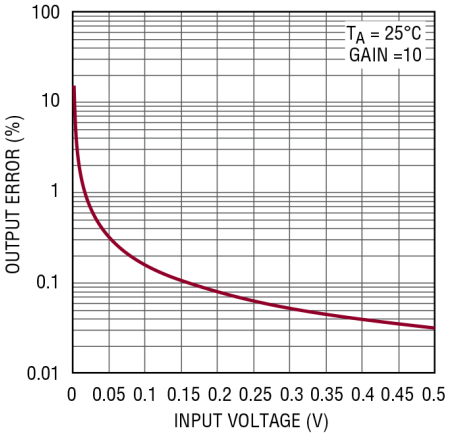
6115 G03

最大输出电流与温度的关系（I_{OUTI}）



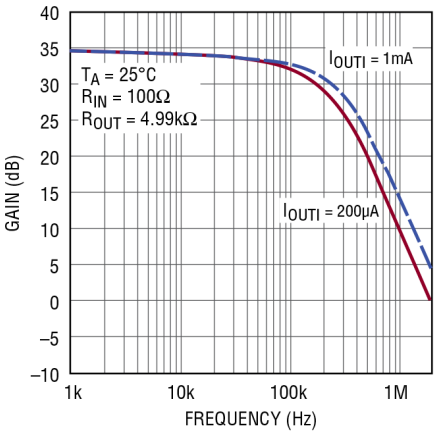
6115 G04

输入失调引起的输出误差与输入电压的关系



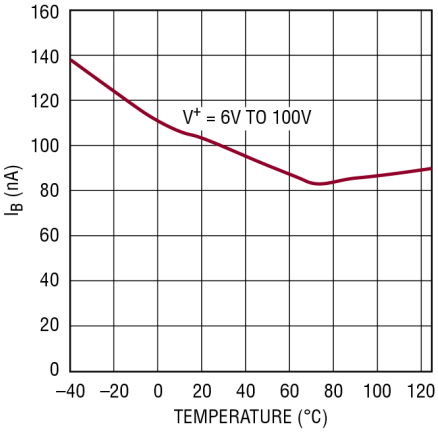
6115 G05

增益与频率的关系（V_{OUTI}）



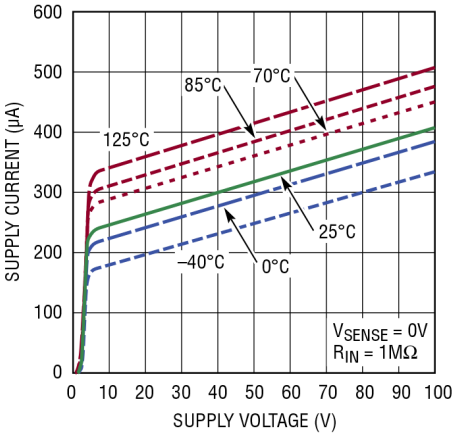
6115 G06

输入偏置电流与温度的关系（+IN、–IN）



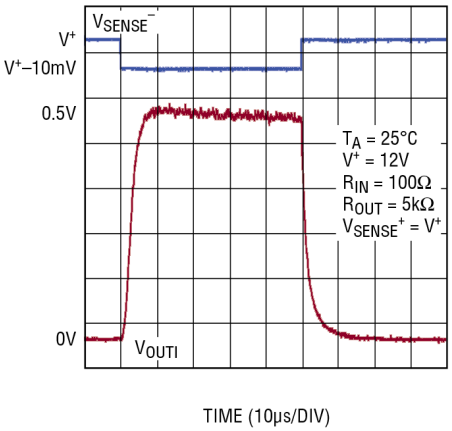
6115 G07

电源电流与电源电压的关系（V^+）



6115 G08

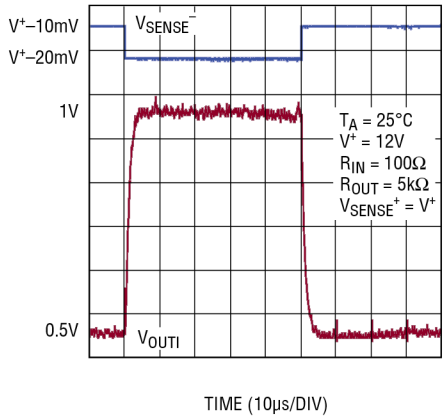
阶跃响应 0mV 至 10mV（V_{OUTI}）



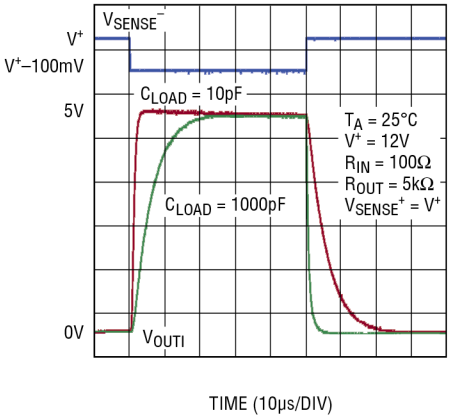
6115 G09

电流检测典型性能参数

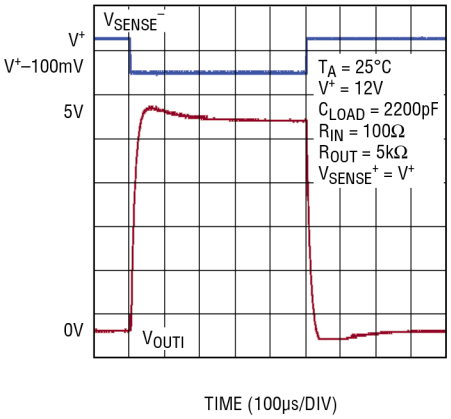
阶跃响应 10mV 至 20mV (V_{OUTI})



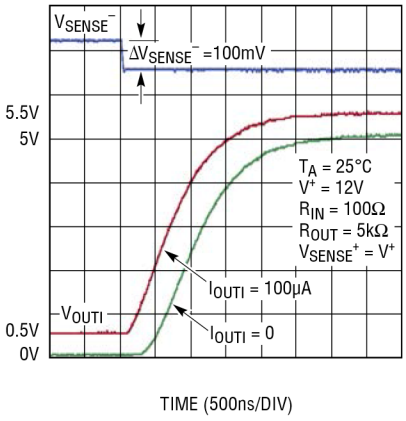
阶跃响应 100mV (V_{OUTI})



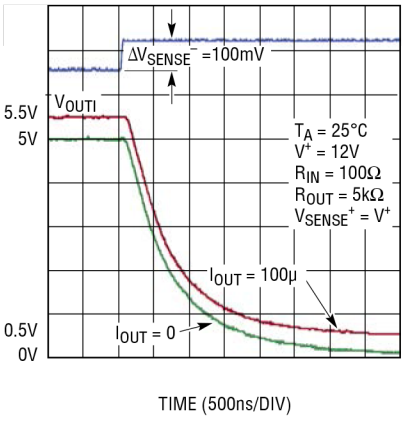
阶跃响应 100mV (V_{OUTI})



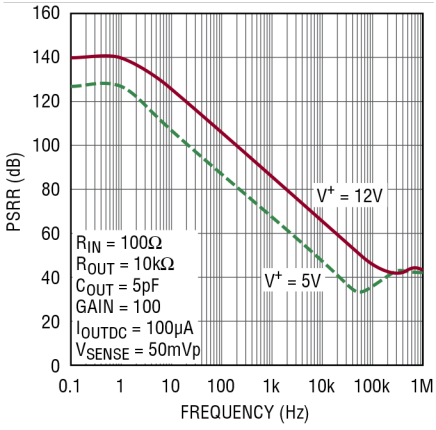
阶跃响应上升沿 (V_{OUTI})



阶跃响应下降沿 (V_{OUTI})

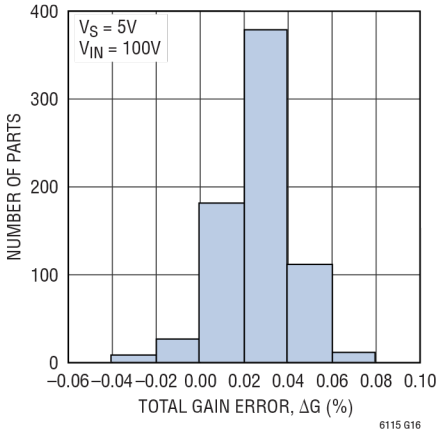


PSRR 与频率的关系 (V_{OUTI})

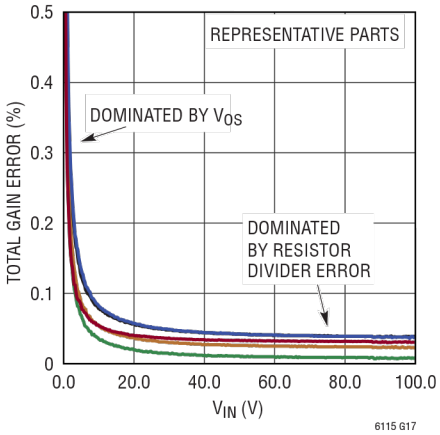


电压检测典型性能参数

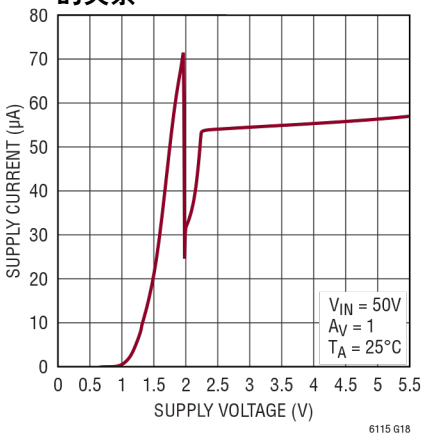
总增益误差分布



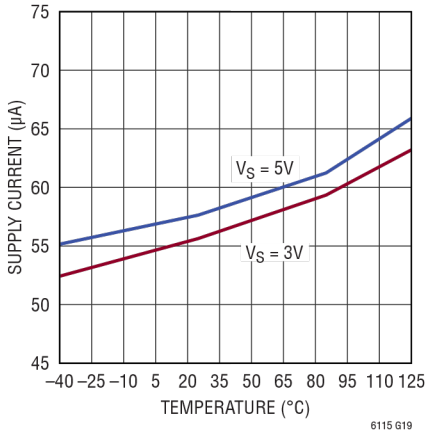
总增益误差与 V_{IN} 的关系



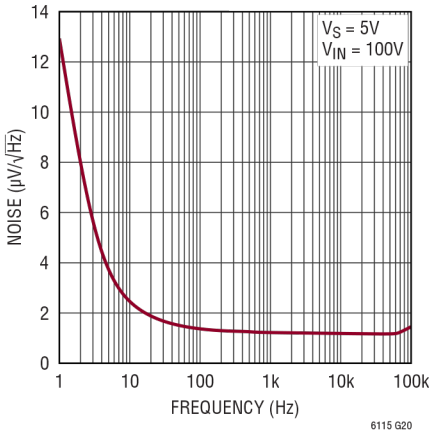
电源电流（I_S）与电源电压（V_S）的关系



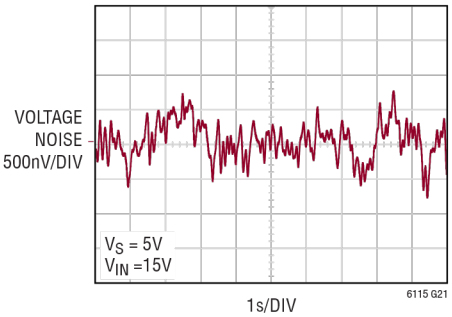
电源电流（I_S）与温度的关系



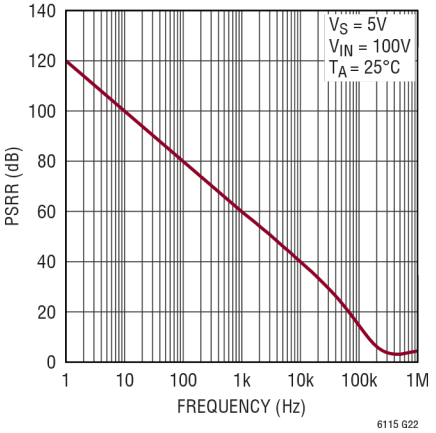
折合到 V_{IN} 的电压噪声谱



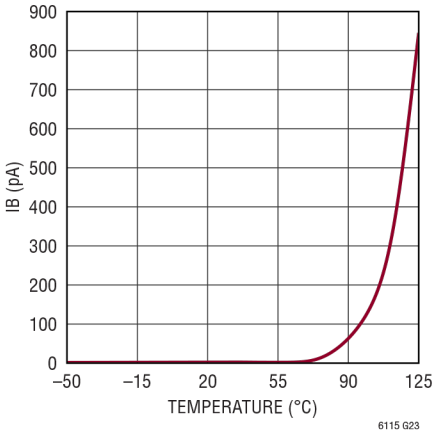
0.1Hz 至 10Hz 输出电压噪声 (OUTV)



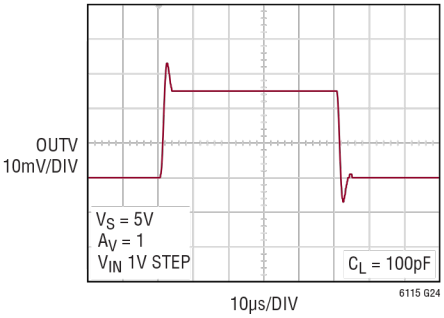
PSRR 与频率的关系（OUTV）



FB 引脚输入偏置电流与温度的关系

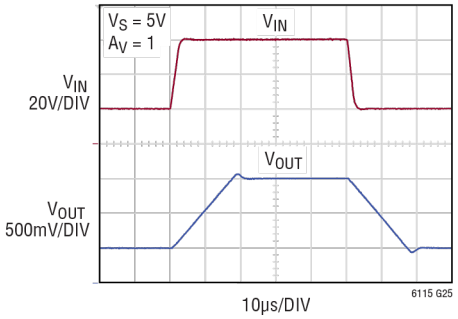


小信号阶跃响应（OUTV）

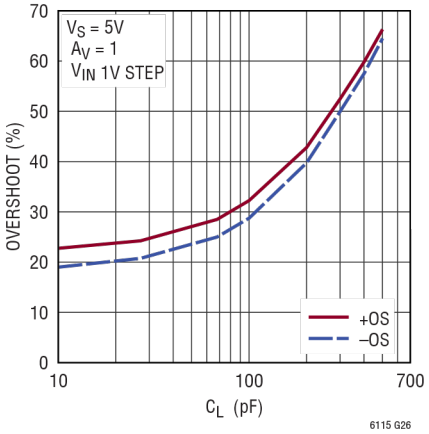


电压检测典型性能参数

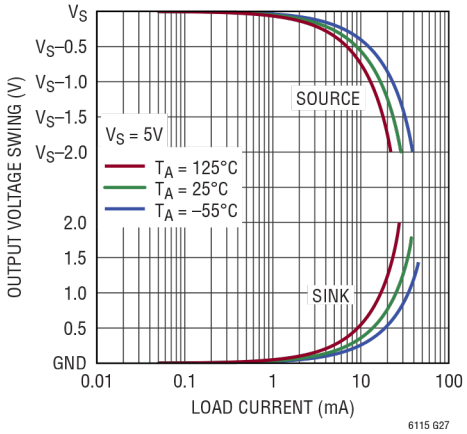
阶跃响应 20V 至 40V (OUTV)



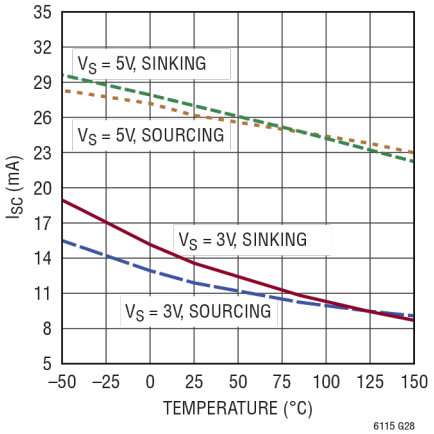
小信号过冲（OUTV）与负载电容的关系



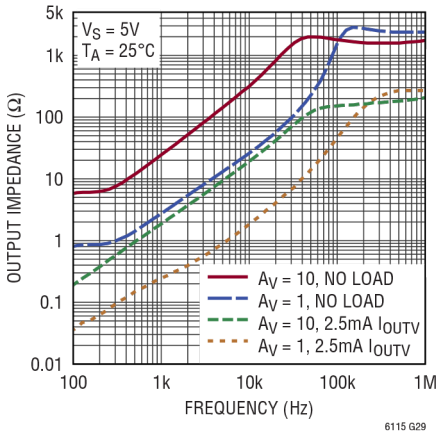
输出电压摆幅与负载电流（OUTV）的关系



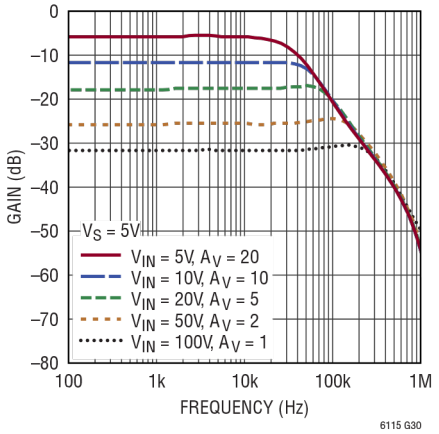
短路电流（OUTV）与温度的关系



输出阻抗与频率的关系（OUTV）



直通增益（OUTV/V_{IN}）与频率的关系



引脚功能

–IN (引脚 1)：电流检测放大器的反相输入。内部电流检测放大器将 –IN 驱动至与 +IN 相同的电位。

OUTI (引脚3)：电流检测放大器的电流输出。OUTI 向外部电阻提供一个与检测电压成比例的电流。

GND (引脚 4)：地。

FB (引脚 5)：电压检测放大器的反相输入。

OUTV (引脚 6)：电压检测放大器的输出电压。

+IN (引脚 12)：电流检测放大器的同相输入。必须直接或通过电阻连接到检测电阻的系统负载端。

V^+ (引脚 11)：电流检测电路的正电源引脚。电流检测电路的电源电流通过该引脚获取。

V_{IN} (引脚 9)：电压检测放大器的输入电压。

V_S (引脚 7)：电压检测放大器的正电源。

NC (引脚 2、8、10)：内部未连接。

框图

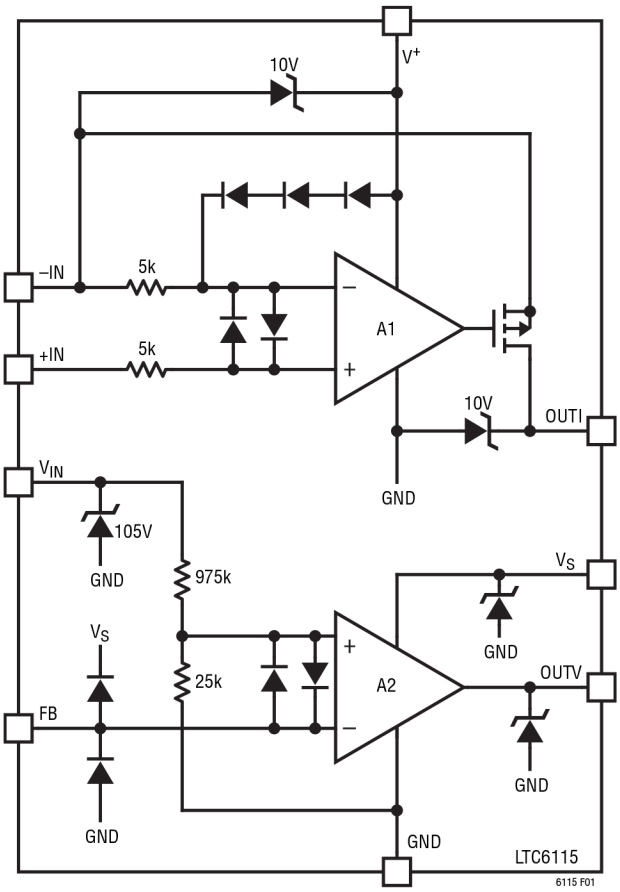


图 1. LTC6115 框图

应用信息：电流检测

LTC6115 高边电流检测放大器（图 1 放大器 A1）通过一个用户选择的外部检测电阻精确监测电流。检测电压由用户选择的增益放大，其电平从正电源转换为以地为基准的输出电流。输出信号是模拟信号，可以原样使用或使用输出滤波器进行处理。

工作原理

内部检测放大器环路迫使 –IN 具有与 +IN 相同的电位。在 –IN 和 V^+ 之间连接一个外部电阻 R_{IN}，会迫使 R_{IN} 上的电位与 R_{SENSE} 上的检测电压相同。相应的电流 V_{SENSE}/R_{IN} 将流过 R_{IN}。检测放大器的高阻抗输入不会传导该输入电流，因此它将通过内部 MOSFET 流入输出引脚。

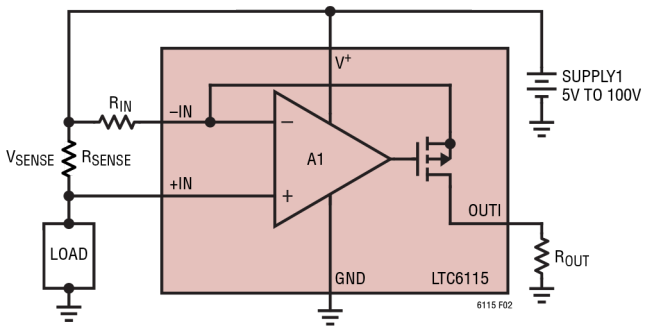


图 2.

在 OUTI 与 GND 之间增加一个电阻，可以将输出电流转换为电压。输出电压即为：$V_{OUTI} = I_{OUTI} \bullet R_{OUTI}$。

表 1. 可用增益配置

增益	R_{IN} (Ω)	R_{OUT} (Ω)	V_{OUT} = 5V 时的 V_{SENSE}	V_{OUT} = 5V 时的 I_{OUT}
20	499	10k	250mV	500μA
50	200	10k	100mV	500μA
100	100	10k	50mV	500μA

选择外部电流检测电阻

外部检测电阻 R_{SENSE} 对电流检测系统的功能有很大影响，必须谨慎选择。

首先，应考虑电阻的功耗。系统负载电流将导致 R_{SENSE} 发热和电压下降。因此，检测电阻应尽可能小，同时仍能提供测量所需的输入动态范围。请注意，输入动态范围是最大输入信号与最小精确再现信号之差，主要受内部电流检测放大器的输入直流失调限制。此外，R_{SENSE} 必须足够小，使得即便在峰值负载条件下，V_{SENSE} 也不会超过 LTC6115 电流检测放大器规定的最大 V_{SENSE} 输入电压。例如，某个应用可能要求最大检测电压为 100mV。如果该应用在峰值负载下预期会消耗 2A 电流，则 R_{SENSE} 不应超过 50mΩ。

一旦确定最大 R_{SENSE} 值，最小检测电阻值将由所需的分辨率或动态范围设置。此检测放大器能够精确表示的最小信号受输入失调限制。例如，LTC6115 电流检测放大器的典型输入失调为 85μV。如果最小电流为 20mA，5mΩ 的检测电阻会将 V_{SENSE} 设置为100μV。这仅略高于输入失调。对于给定负载电流，较大检测电阻可增加检测电压，从而减小因失调引起的误差。

选择 50mΩ R_{SENSE} 将使动态范围最大化，系统在峰值负载（2A）时，检测电阻两端的电压为 100mV，而 85μV 的输入失调引起的误差仅相当于 1.7mA 的负载电流。检测电阻的峰值功耗为 200mW。如果采用 5mΩ 检测电阻，则有效电流误差为 17mA，而峰值检测电压在 2A 时降至 10mV，仅消耗 20mW。

在这方面，低失调和相应的大动态范围使 LTC6115 比其他解决方案更灵活。对于一个以 85mV 为限值的检测电压，85μV 的典型失调可提供 60dB 的动态范围；如果额定输入最大值为 500mV，则动态范围可超过 75dB。

应用信息：电流检测

检测电阻连接

除最低功耗应用之外的所有应用都应在–IN 和 +IN 输入与检测电阻之间使用开尔文连接。载流较大的焊接连接和 PC 板互连，由于其电阻相对较大，可能引起相当大的测量误差。一盎司铜的 10mm × 10mm 方形走线电阻约为 0.5mΩ。低至 2A 的电流流过这种小互连，便可能引起 1mV 的误差。这将在 100mV 信号中造成 1% 的误差。若有 10A 负载电流流过该互连，将对相同的 100mV 信号造成 5% 的误差。让检测走线与大电流路径隔离开来，可以将此误差减小几个数量级。集成开尔文检测端子的检测电阻能提供最佳结果。图 3 显示了建议方法。

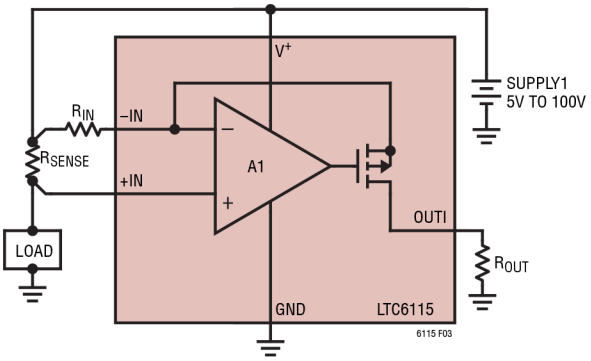


图 3. 即使负载电流很大，开尔文输入连接也能保持精度

选择外部输入电阻 R_{IN}

外部输入电阻 R_{IN} 控制电流检测电路的跨导。$I_{OUTI} = V_{SENSE}/R_{IN}$，故跨导 $g_m = 1/R_{IN}$。例如，若 $R_{IN} = 100$，则 $I_{OUTI} = V_{SENSE}/100$，$V_{SENSE} = 100mV$ 时 $I_{OUTI} = 1mA$。

R_{IN} 的选择应支持所需的分辨率，同时限制输出电流。I_{OUTI} 可能高达 1mA。设置 R_{IN} 使得最大预期检测电压提供 $I_{OUTI} = 1mA$，这样即可获得最大输出动态范围。输出动态范围受最大允许输出电流、最大允许输出电压以及最小实际输出信号的限制。如果需要较小的动态范围，可以相应地增加 R_{IN}，从而减小最大输出电流和功耗。

在动态范围非常宽的系统中，如果要准确解析低检测电流，并且最大电流受到其他限制，例如 R_{SENSE} 两端有一个肖特基二极管，则可以使用较大的 R_{SENSE}（图 4）。这将会限制结果，降低高电流测量精度，但能提高低电流测量分辨率。

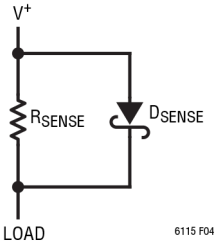


图 4. 分流二极管限制最大输入电压，实现更好的低输入分辨率而不会超出范围

在可以忽略偶尔出现的大突发电流的情况下，这种方法可能有所帮助。

设计 R_{IN} 的电路板布局时，尤其是对于较小 R_{IN} 值，要特别小心。所有走线和互连阻抗都会增加有效 R_{IN} 值，引起增益误差。此外，内部器件电阻会使 R_{IN} 增加大约 0.2Ω。

选择外部输出电阻 R_{OUT}

输出电阻 R_{OUT} 决定输出电流如何转换为电压。$V_{(OUTI)}$ 等于 $I_{(OUTI)} \cdot R_{OUT}$。

当选择输出电阻时，必须首先考虑最大输出电压。如果输出驱动的电路不限制输出电压，则所选的 R_{OUT} 必须使得最大输出电压不超过 LTC6115 I_{OUT} 的最大输出电压额定值。如果后面的电路是输入范围受限的缓冲器或 ADC，则所选的 R_{OUT} 必须使得 $I_{OUTI(MAX)} \cdot R_{OUT}$ 小于该电路允许的最大输入范围。

应用信息：电流检测

另外，输出阻抗由 R_{OUT} 确定。如果要驱动的电路具有足够高的输入阻抗，那么几乎任何有用的输出阻抗都是可以接受的。但是，如果被驱动电路的输入阻抗相对较低，或吸收电流尖峰（例如 ADC 可能会这样做），那么可能需要较低的 R_{OUT} 值以保持输出精度。例如，若被驱动电路的输入阻抗为 R_{OUT} 的 100 倍，则 V_{OUT} 的精度将降低 1%，因为：

$$V_{OUTI} = I_{OUTI} \bullet \frac{R_{OUT} \bullet R_{IN(DRIVEN)}}{R_{OUT} + R_{IN(DRIVEN)}}$$

$$= I_{OUTI} \bullet R_{OUT} \bullet \frac{100}{101}$$

$$= 0.99 \bullet I_{OUTI} \bullet R_{OUT}$$

误差源

电流检测电路使用放大器和电阻来应用增益并对结果进行电平转换。输出取决于放大器的特性，例如增益、输入失调以及电阻匹配。

理想情况下，电路输出为：

$$V_{OUTI} = V_{SENSE} \bullet \frac{R_{OUT}}{R_{IN}}$$

$$V_{SENSE} = R_{SENSE} \bullet I_{SENSE}$$

在这种情况下，唯一的误差是电阻不匹配引起的误差，这仅会导致增益误差。但是，放大器的失调电压、偏置电流和有限增益会引起额外的误差。

放大器直流失调电压 V_{OS} 引起的输出误差 $E_{OUTI(VOS)}$

$$E_{OUTI(VOS)} = V_{OS} \bullet (R_{OUT}/R_{IN})$$

放大器的直流失调电压直接加到检测电压 V_{SENSE} 的值上。这是系统的主要误差，它会限制可用动态范围。详细信息参见“选择外部电流检测电阻”部分。

偏置电流 I_B^+ 和 I_B^- 引起的输出误差 $E_{OUTI(IBIAS)}$

偏置电流 I_B+ 流入内部运算放大器的正输入。I_B- 流入负输入。

$$E_{OUTI(IBIAS)} = R_{OUT}((I_B+ \bullet (R_{SENSE}/R_{IN})) - I_B-)$$

$I_B+ \approx I_B- = I_{BIAS}$，如果 $R_{SENSE} << R_{IN}$，则

$$E_{OUTI(IBIAS)} \approx -R_{OUT} \bullet I_{BIAS}$$

例如，若 I_{BIAS} 为 100nA，且 R_{OUT} 为 1kΩ，则输出误差为 0.1mV。

请注意，在 $R_{SENSE} \approx R_{IN}$ 的应用中，I_B+ 会在 R_{SENSE} 中引起电压失调，从而抵消 I_B- 引起的误差，$E_{OUTI(IBIAS)} \approx 0$。在 $R_{SENSE} < R_{IN}$ 的应用中，如果外部电阻 $R_{IN}+ = (R_{IN}- - R_{SENSE})$ 按照图 5 所示连接，则偏置电流误差可以类似方式减小。

在这两种情况下：

$$E_{OUTI(IBIAS)} = \pm R_{OUT} \bullet I_{OS}$$

$$I_{OS} = I_B+ - I_B-$$

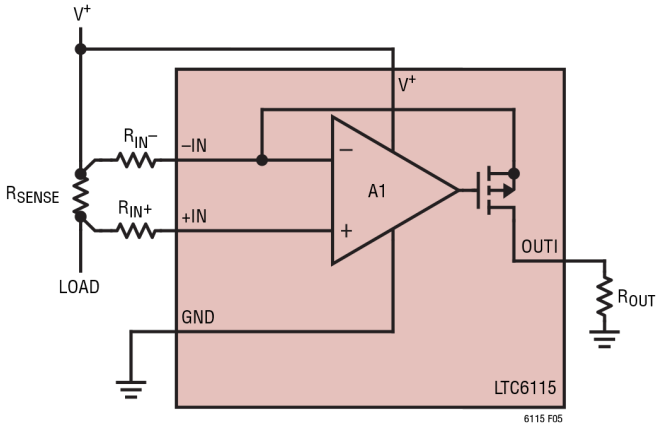


图 5. 第二输入 R 使输入偏置电流引起的误差最小化

如果 LTC6115 电流检测放大器的失调电流 I_{OS} 为 2nA，则 100mV 误差将减小至 2mV。按照所述添加 $R_{IN}+$ 将使电路的动态范围最大化。对于敏感度较低的设计，不需要 $R_{IN}+$。

应用信息：电流检测

示例

如果电路的预期 I_{SENSE} 范围为 1A 至 1mA，$(V_{OUTI}/I_{SENSE}) = 3V/1A$，那么根据 LTC6115 电流检测放大器的电气特性，$R_{SENSE} \approx V_{SENSE(MAX)}/I_{SENSE(MAX)} = 500mV/1A = 500m\Omega$。增益 $= R_{OUT}/R_{IN} = V_{OUTI(MAX)}/V_{SENSE(MAX)} = 3V/500mV = 6$。

如果最大输出电流 I_{OUTI} 限值为 1mA，则 R_{OUT} 等于 $3V/1mA \approx 3.01k\Omega$ (1% 值)，$R_{IN} = 3k\Omega/6 \approx 499\Omega$ (1% 值)。

直流失调引起的输出误差为 ±510µV（典型值 85µV • 增益6)，失调电流引起的误差 I_{OS} 为 $3k\Omega \bullet \pm 2nA = \pm 6\mu V$ (典型值)，假设 $R_{IN}+ = R_{IN}-$。

因此，最大输出误差可以达到 ±516µV，或输出满量程的 0.017% (–75dB)。考虑到系统输入的 60dB 动态范围 (I_{SENSE} = 1mA 至 1A)，LTC6115 电流检测放大器的 70dB 性能使该应用完全可行。

LTC6115 电流检测放大器的有限直流开环增益 A_{OL} 引起的输出误差 E_{OUT}

此误差无关紧要，因为放大器的 A_{OL} 非常大。

功耗引起的输出电流限制

电流检测放大器可向输出引脚提供最高 1mA 的连续电流。此电流流过 R_{IN}，并通过 –IN 引脚进入电流检测放大器。输出信号引起的电流检测电路功耗为：

$$P_{OUTI} = (V_{-IN} - V_{OUTI}) \bullet I_{OUTI}$$

因为 $V_{-IN} \approx V^+$, $P_{OUTI} \approx (V^+ - V_{OUTI}) \bullet I_{OUTI}$

还有静态电源电流引起的功耗：

$$P_Q = I_{V+} \bullet V^+$$

总功耗为输出功耗加上静态功耗：

$$P_{TOTAL} = P_{OUTI} + P_Q$$

在最大电源和最大输出电流下，总功耗可能超过 100mW。这将导致芯片大量发热。为了防止损坏电路，应计算每种应用中的最大预期功耗。将此数值乘以“引脚配置”部分中列出的 θ_{JA} 值，可以获得最高预期芯片温度。此温度不得超过 150°C，否则性能可能会下降。

例如，假设仅运行电流检测，V^+ 上电源电压为 100V，125°C 时输出电流为 1mA：

$$\begin{aligned}
P_{Q(MAX)} &= I_{V^+(MAX)} \bullet V^+_{(MAX)} \\
&= 720\mu A \bullet 100V \\
&= 72mW \\
P_{OUT(MAX)} &= I_{OUTI} \bullet V^+_{(MAX)} \\
&= 1mA \bullet 100V \\
&= 100mW \\
T_{RISE} &= \theta_{JA} \bullet P_{TOTAL(MAX)} \\
&= 135°C/W \bullet 172mW \\
&= 23.2°C \\
T_{MAX} &= T_{AMBIENT} + T_{RISE} \\
&= 125°C + 23.2°C \\
&= 148.2°C
\end{aligned}$$

因此，结温将非常接近 150°C，高于额定温度范围。在这种情况下，应减小最大输出电流，这可以通过更改 R_{IN} 来实现。

务必注意，电流检测放大器可在需要时向输出提供至少 1mA 的电流，根据情况它能提供更多电流。必须妥善选择检测电阻来限制最大输出电流；如果存在输入故障，应使用外部箝位器。

应用信息：电流检测

输出滤波

OUTI 引脚上的输出电压为 $I_{OUTI} \bullet Z_{OUTI}$。这使得滤波很简单。可以使用任何能产生所需 Z_{OUTI} 以获得所需滤波器响应的电路。例如，一个电容与 R_{OUT} 并联会产生低通响应。这将减少来自输出的干扰噪声，并且还能用作电荷储存器，以在驱动诸如多路复用器或 ADC 之类的开关电路时保持输出稳定。该输出电容与输出电阻并联的话，会在输出响应中产生一个极点：

$$f_{-3dB} = \frac{1}{2 \bullet \pi \bullet R_{OUT} \bullet C_{OUT}}$$

有用公式

输入电压：$V_{SENSE} = I_{SENSE} \bullet R_{SENSE}$

电压增益：$\frac{V_{OUTI}}{V_{SENSE}} = \frac{R_{OUT}}{R_{IN}}$

电流增益：$\frac{I_{OUTI}}{I_{SENSE}} = \frac{R_{SENSE}}{R_{IN}}$

跨导：$\frac{I_{OUT}}{V_{SENSE}} = \frac{1}{R_{IN}}$

互阻：$\frac{V_{OUT}}{I_{SENSE}} = R_{SENSE} \bullet \frac{R_{OUT}}{R_{IN}}$

输入共模范围

电流检测放大器的输入可在 V^+ 以下 1.5V 至其上 0.5V 的范围内工作。它不仅支持宽 V_{SENSE} 范围，还允许输入基准与正电源分开（图 6）。

如果最大 V_{SENSE} 小于 $V_{SENSE(MAX)}$（电气特性表中显示为 500mV），则电流检测放大器可以监测自身的电源电流以及负载的电源电流（图 7）。

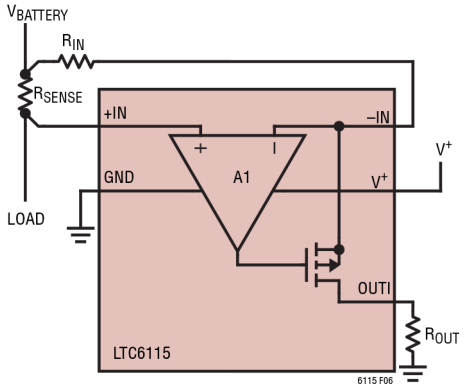


图 6. V^+ 由负载电源（$V_{BATTERY}$）单独供电

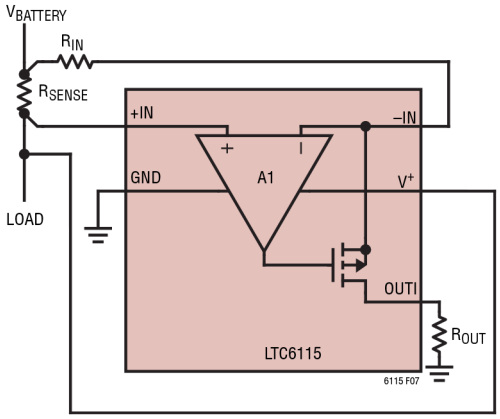


图 7. 利用负载监测的电流检测放大器电源电流

响应时间

为了电路保护或信号传输目的，电流检测放大器对输入的响应非常快。但是，响应时间也会受到外部电路的影响。

如果输出电流非常低，并且发生输入瞬变，则在输出电压开始改变之前的延迟时间可能会增加。通过增大 R_{SENSE} 或减小 R_{IN} 来提高最小输出电流，可以改善这种状况。本数据手册的“电流检测典型性能参数”部分中的阶跃响应曲线说明了输出电流提高的影响。注意，这些曲线是相对于初始输出电流进行标记的。

应用信息：电流检测

如果输入变化非常快，内部放大器会使压摆内部输出 FET（图 1）的栅极，以便维持内部环路。这导致电流流过 R_{IN} 和内部 FET。此电流压摆率将由放大器和 FET 特性以及输入电阻 R_{IN} 确定。使用较小 R_{IN} 时，输出电流可以更快地增加，从而缩短输出响应时间。这还会有提高最大输出电流的作用。使用较大 R_{OUT} 会缩短响应时间，因为 $V_{OUTI} = I_{OUTI} \bullet R_{OUT}$。减小 R_{IN} 和增大 R_{OUT} 会有提高电路电压增益的作用。

应用信息：电压检测

电压检测放大器可精确监测高达 100V 的电压。输入电压由 1MΩ 精密电阻分压器在内部进行 1/40 分压，放大器的低失调电压支持对衰减电压进行精确缓冲。当在 V_{IN} 引脚上监测较低电压时，也可以在反馈路径中将放大器置于适当的增益，以便充分利用运算放大器的轨到轨输出。

高阻抗输入电阻分压器可减少与电路板上大阻值电阻相关的漏电流问题以及相关的测量误差。

输入电压范围

V_{IN} 引脚上可以精确监测的最大电压受电源电压 V_S 的限制，因为它会影响内部运算放大器 A2 的输入共模电压。4V 或更大的电源电压支持 100V 全范围的 V_{IN}。使用 3V 电源时，建议将 V_{IN} 保持在 60V 以下，以便最大程度地提高精度。超过每个电源电压支持的这些建议 V_{IN} 电压时，精度会降低。

在较低 V_{IN} 电压下，可以使用外部电阻来增加增益并最大限度地利用放大器 A2 的轨到轨输出（见图 8）。

保持测量精度

为使精度最大化并利用电压检测电路的 0.04% 典型精度，应用电路和 PC 板布局所增加的误差应最小化。

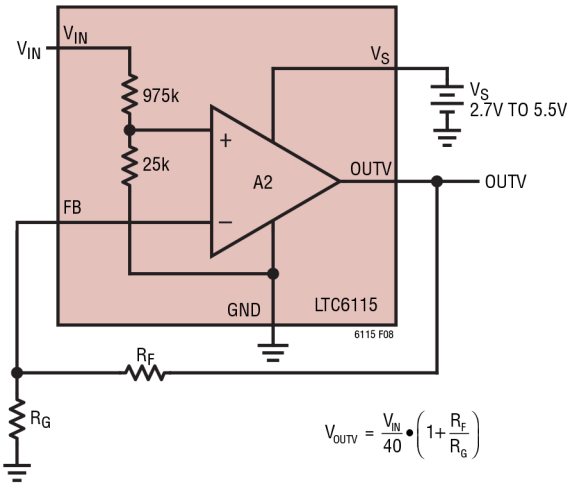


图 8. 使用外部电阻增加增益

输入连接上的温差可能产生数十微伏的热电偶电压，因此输入引线的连接应尽量短、相互靠近并远离散热元件。电路板上的气流也可能产生温差。

LTC6115 电压检测放大器 FB 引脚的输入偏置电流极低，使用高阻抗反馈电阻时也能维持精度。

输入箝位

电压检测放大器 A2 的输入之间具有反并联二极管（图 1）。不得将 FB 引脚电压驱动到偏离预期电压（V_{IN}/40）一个二极管电压以上的程度，否则会使二极管正偏，造成大量电流流过该引脚。

应用信息：电压检测

容性负载

在单位增益下，该电压检测放大器可以驱动高达 100pF 的容性负载。当放大器用在更高增益配置中时，容性负载驱动能力会提高。若在输出端和负载之间放置一个小电阻，则会进一步增加放大器可驱动的电容量。

PC 板布局

PC 板上的机械应力和焊接引起的应力可能引起失调偏移。减小应力相关偏移的一种简单方法是将 IC 安装在 PC 板的短边附近或角落。电路板充当应力边界或挠性最小的区域。封装应正确安装，务必使引脚吸收应力，而不是让封装承受应力。封装一般与平行于 PC 板长边的引脚对齐。

噪声源

图 9 显示了典型电压检测配置中的所有噪声源，以及可选的增益设置电阻 R_F 和 R_G。

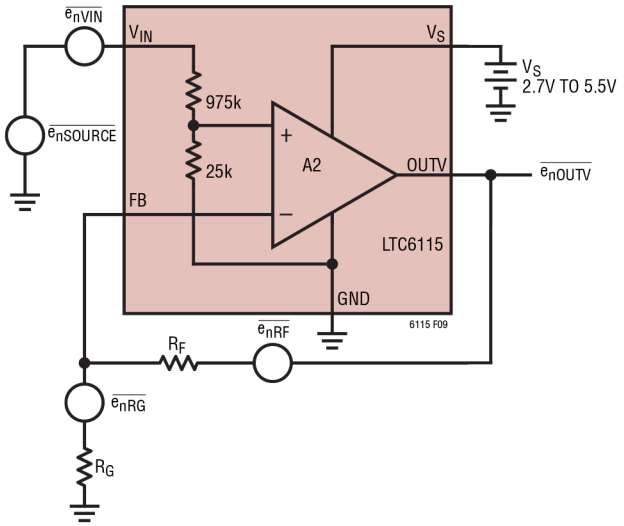


图 9. LTC6115 中电压检测放大器的噪声源

输出的总噪声可通过下式计算：

$$\overline{e_{n,OUTV}} = \sqrt{\frac{\overline{e_{n,VIN}}^2 + \overline{e_{n,SOURCE}}^2}{40^2}\left(1+\frac{R_F}{R_G}\right)^2 + \overline{e_{n,RG}}^2\frac{R_F^2}{R_G^2} + \overline{e_{n,RF}}^2}$$

如图 9 所示，此式中的各个噪声源为：

$\overline{e_{n,VIN}}$ A2 和 975k 到 25k 电阻分压器的折合到输入端噪声

$\overline{e_{n,SOURCE}}$ 信号源增加的噪声

$\overline{e_{n,RF}} = \sqrt{4kTR_F}$ R_F 的热噪声

$\overline{e_{n,RG}} = \sqrt{4kTR_G}$ R_G 的热噪声

$\overline{e_{n,VIN}}$ 反映了 A2 中的所有内部噪声源（包括 975k 至 25k 电阻分压器和放大器），折合回 V_{IN} 输入引脚。该折合到 V_{IN} 的电压噪声密度显示在典型曲线“折合到 V_{IN} 的电压噪声谱”中。

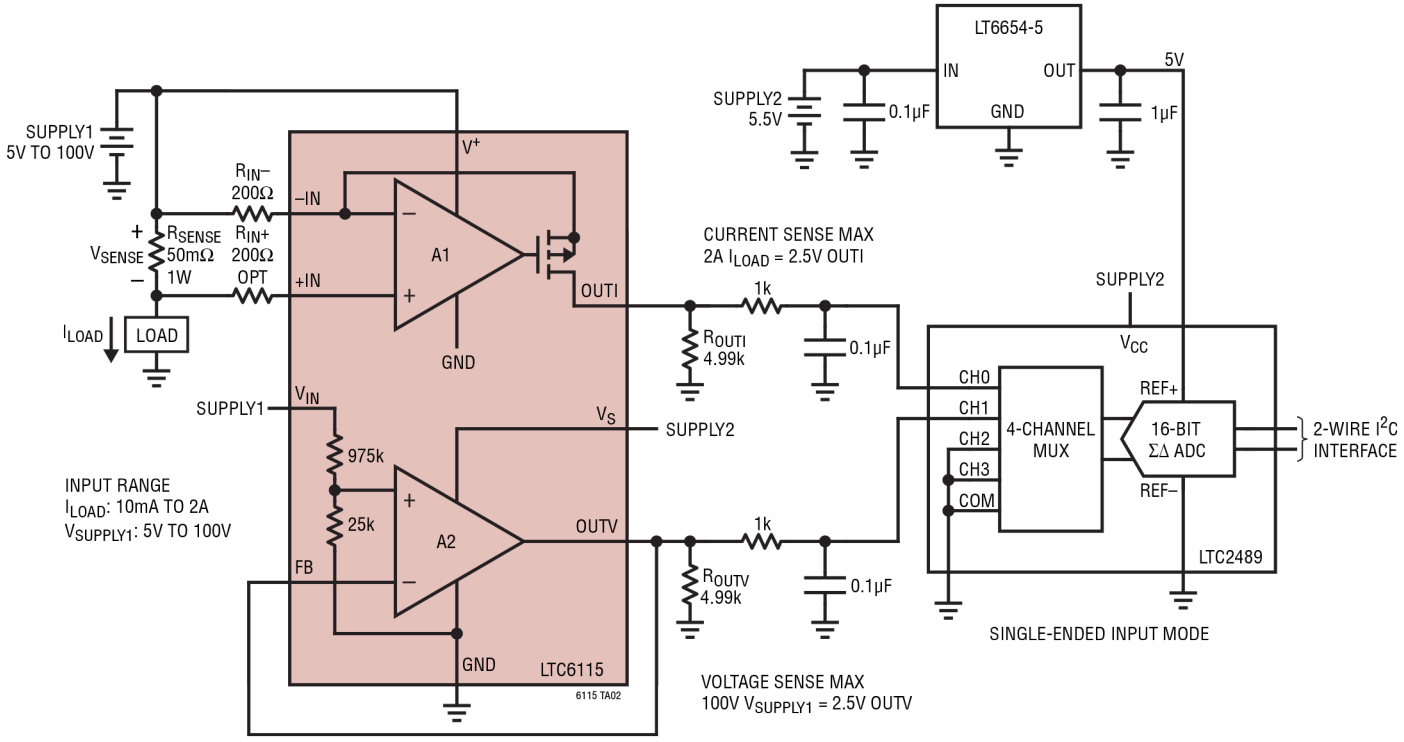
当计算总输出噪声时，V_{IN} 处施加的所有电压噪声（显示为图 9 中的 $\overline{e_{n,SOURCE}}$ 和 $\overline{e_{n,VIN}}$）被 975k 至 25k 电阻分压器降低为 1/40。随后，该噪声被放大器的同相增益放大。相反，$\overline{e_{n,OUTV}}$ 反映了 V_{OUT} 处的所有电压噪声，其首先被 R_F 和 R_G 设置的外部增益分压，然后乘以 40 即得出 V_{IN} 噪声。“0.1Hz 至 10Hz 输出电压噪声 (OUTV)”曲线描绘了输出端的峰峰值电压噪声，其未折合到输入端。

为了优化以实现最低输出噪声，应使用不大于 55k 的值，以使 R_F 和 R_G 的热噪声与放大器本身产生的热噪声相当。使用较低 R_F 和 R_G 值的代价是反馈网络的功耗增加数十微安，这在功率受限的设计中可能不是小数目。

电压检测运算放大器 A2 的反馈引脚 FB 上的输入电流噪声密度约为 $1fA/\sqrt{Hz}$。对于大多数实际电阻值，输入电流噪声对总输出噪声的贡献可以忽略不计。

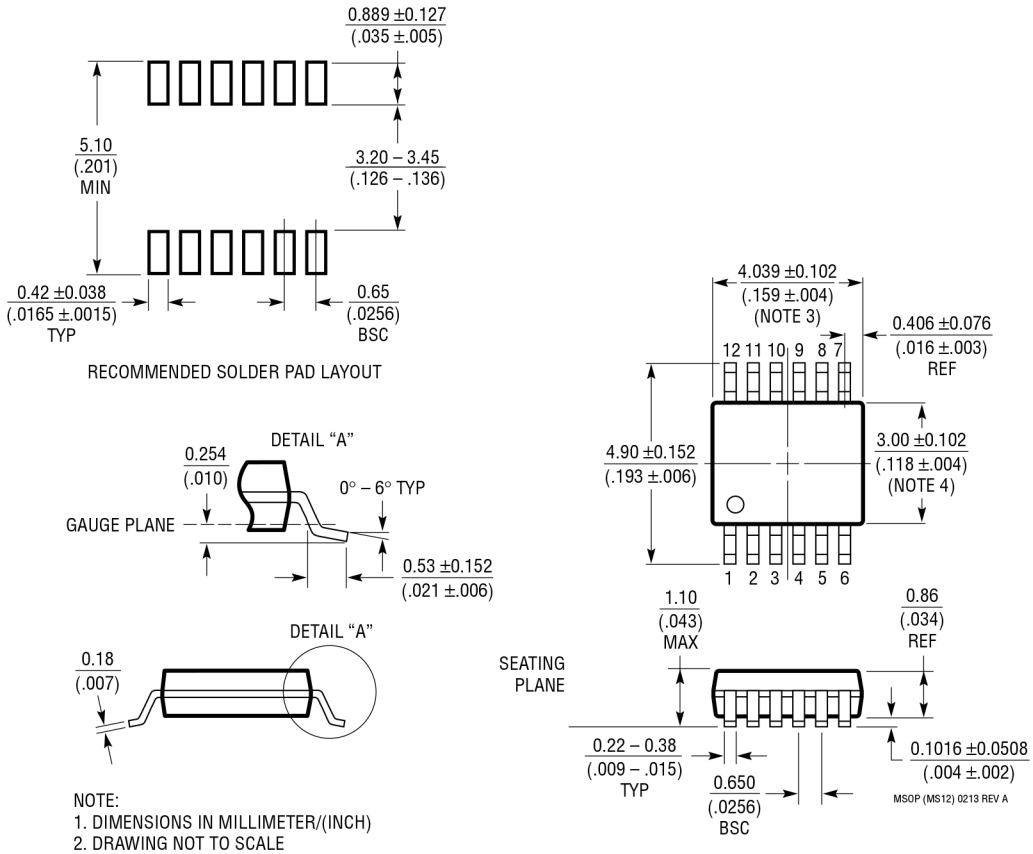
典型应用

利用 LTC6115 进行 16 位电流和电压检测



封装说明

MS 封装
12 引脚塑料 MSOP
(参考 LTC DWG # 05-08-1668 Rev A)



NOTE:
1. DIMENSIONS IN MILLIMETER/(INCH)
2. DRAWING NOT TO SCALE
3. DIMENSION DOES NOT INCLUDE MOLD FLASH, PROTRUSIONS OR GATE BURRS.
   MOLD FLASH, PROTRUSIONS OR GATE BURRS SHALL NOT EXCEED 0.152mm (.006") PER SIDE
4. DIMENSION DOES NOT INCLUDE INTERLEAD FLASH OR PROTRUSIONS.
   INTERLEAD FLASH OR PROTRUSIONS SHALL NOT EXCEED 0.152mm (.006") PER SIDE
5. LEAD COPLANARITY (BOTTOM OF LEADS AFTER FORMING) SHALL BE 0.102mm (.004") MAX

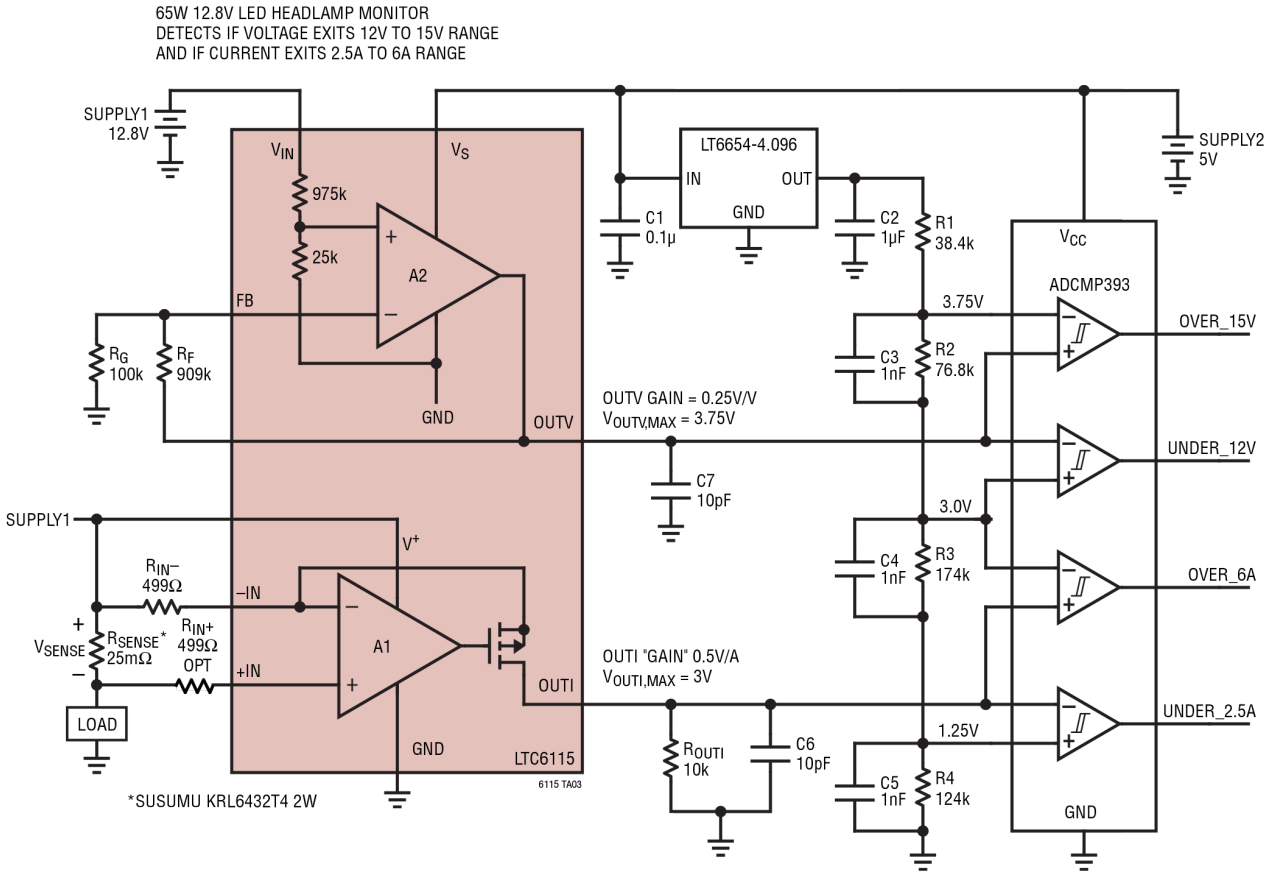
修订历史

修订版	日期	说明	页码
A	04/19	更改典型应用框图。	20

ADI 公司确信其所提供的信息是准确可靠的。但是，对于其使用以及任何可能因其使用而导致的对第三方专利或其他权利的侵犯，ADI 公司概不负责。规格如有变更，恕不另行通知。不得暗示或以其他方式授予 ADI 公司任何专利或专利权的使用许可。

典型应用

利用 LTC6115 监测 LED 前灯电源



相关器件

产品型号	说明	备注
LT®1787/LT1787HV	精密双向高端电流检测放大器	2.7V 至 60V 工作电压，75µV 失调，60µA 电流消耗
LTC4150	库仑计/电池气表	指示电荷量和极性
LT6100	增益可选的高端电流检测放大器	4.1V 至 48V 工作电压，引脚可选增益：10、12.5、20、25、40、50V/V
LTC6101/LTC6101HV	高压高端电流检测放大器	4V 至 60V/5V 至 100V 工作电压，外部电阻设置增益，SOT23
LTC6102/LTC6102HV	零漂移高端电流检测放大器	4V 至 60V，增益可配置，8 引脚 MSOP
LTC6103	双通道高端精密电流检测放大器	4V 至 60V，增益可配置，8 引脚 MSOP
LTC6104	双向高端精密电流检测放大器	4V 至 60V，增益可配置，8 引脚 MSOP
LT6106	低成本、高端精密电流检测放大器	2.7V 至 36V，增益可配置，SOT23
ADCMP393	上电状态已知的四通道比较器	2.3V 至 5.5V，26.8µA 电源，14 引脚 TSSOP/SOIC
LTC2489	易驱动的 2/4 通道 ΔΣ	16 位，2.7V 至 5.5V 电源，160µA 转换，1µA 休眠
LT6654	精密、宽电源电压、低噪声基准电压源	V_{OUT} + 0.5V 至 36V，350µA 电源，±10mA 拉电流和灌电流

©2018-2019 Analog Devices, Inc. All rights reserved. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.
D17087sc-0-04/19(A)