

25 μ V、0.3 μ V/°C、 低噪声仪表放大器

特点

- 单个增益设置电阻: $G = 1$ 至 >1000
- 出色的直流精度
 - 输入失调电压: 25 μ V (最大值)
 - 输入失调电压漂移: 0.3 μ V/°C (最大值)
 - 低增益误差: 0.01% (最大值, $G = 1$)
 - 低增益漂移: 30ppm/°C (最大值, $G > 1$)
 - 高直流 CMRR: 94dB (最小值, $G = 1$)
- 输入偏置电流: 400pA (最大值)
- -3dB 带宽: 3.1MHz ($G = 1$)
- 低噪声:
 - 0.1Hz 至 10Hz 噪声: 0.2 μ V_{P-P}
 - 1kHz 电压噪声: 7nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$
- 集成输入 RFI 滤波器
- 宽电源电压范围 4.75V 至 35V
- 额定温度范围: -40°C 至 85°C, -40°C 至 125°C
- MS8、S8E 和 10 引脚 3mm $\times$ 3mm DFN 封装

应用

- 桥式放大器
- 数据采集
- 多路复用信号
- 热电偶放大器
- 应变计放大器
- 医疗仪器
- 传感器接口
- 差分至单端转换

说明

LT[®]6370 是一款增益可编程、高精度仪表放大器, 具有业界先进的直流精度特性。这种高精度支持检测较小的信号, 并简化了校准要求, 尤其是全温度范围内的校准。

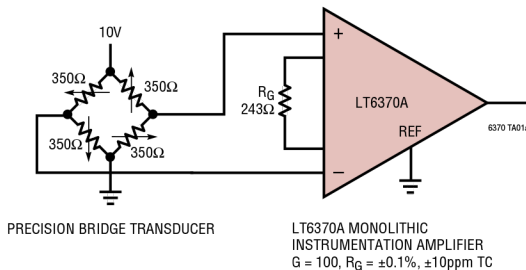
LT6370 采用专有高性能双极性工艺, 得以实现业界先进的精度和出色的长期稳定性。LT6370 进行了激光调整, 提供非常低的输入失调电压 (25 μ V) 和很高的 CMRR (94dB, $G = 1$)。专有片内测试功能使得在 S8E 封装上进行自动测试即可保证输入失调电压漂移 (0.3 μ V/°C) 和增益漂移 (30ppm/°C) 性能。

除了出色的直流特性外, 宽带宽 (3.1MHz, $G = 1$) 和快速建立时间使得 LT6370 在多路复用应用中能够很好地工作。EMI 滤波集成在 LT6370 的输入端, 以便在有严重 RF 干扰的情况下保持精度。

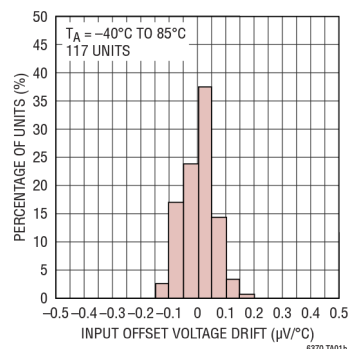
LT6370 采用紧凑型 8 引脚 MSOP 或 S8E 封装 (使用常规仪表放大器引脚布局), 以及 10 引脚 3mm $\times$ 3mm DFN 封装。具有优异直流特性的 A 级器件也采用 S8E 封装。LT6370 的额定温度范围为 -40°C 至 85°C 和 -40°C 至 125°C。

所有注册商标和商标均属各自所有人所有。

典型应用



输入失调电压漂移分布,
MS8 封装

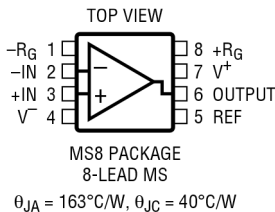
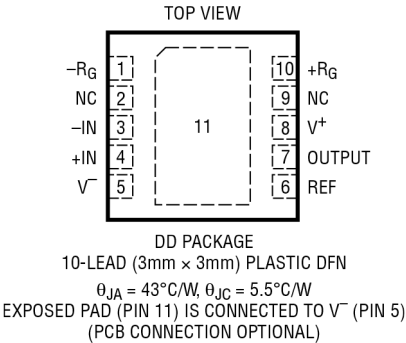
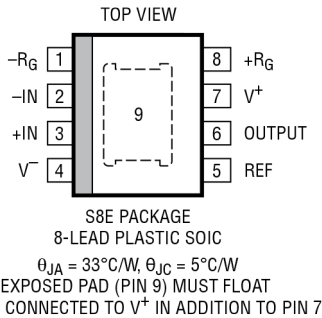


绝对最大额定值

(注释 1)

总电源电压(V ⁺ 至 V ⁻).....	36V	输出电流	80mA
输入电压 (+IN、-IN、 +R _G 、-R _G 、REF) (V ⁻ - 0.3V) 至 (V ⁺ + 0.3V)		工作和额定温度范围	
差分输入电压 (+IN 至 -IN).....	±36V	I 级.....	-40°C 至 85°C
输入电流 (+R _G 、-R _G)	±2mA	H 级.....	-40°C 至 125°C
输入电流 (+IN、-IN).....	±10mA	最高结温	150°C
输入电流 (REF).....	-10mA	存储温度范围.....	-65°C 至 150°C
输出短路持续时间	受散热限制	引脚温度 (焊接, 10 秒).....	300°C

引脚配置

		
--	---	--

订购信息

管装	卷带和卷盘	器件标识*	封装说明	温度范围
LT6370IS8E#PBF	LT6370IS8E#TRPBF	6370	8 引脚塑料 SO	-40°C 至 85°C
LT6370HS8E#PBF	LT6370HS8E#TRPBF	6370	8 引脚塑料 SO	-40°C 至 125°C
LT6370IMS8#PBF	LT6370IMS8#TRPBF	LTGZP	8 引脚塑料 MSOP	-40°C 至 85°C
LT6370HMS8#PBF	LT6370HMS8#TRPBF	LTGZP	8 引脚塑料 MSOP	-40°C 至 125°C
LT6370IDD#PBF	LT6370IDD#TRPBF	LGZN	10 引脚 (3mm x 3mm) 塑料 DFN	-40°C 至 85°C
LT6370HDD#PBF	LT6370HDD#TRPBF	LGZN	10 引脚 (3mm x 3mm) 塑料 DFN	-40°C 至 125°C
LT6370AIS8E#PBF	LT6370AIS8E#TRPBF	6370	8 引脚塑料 SO	-40°C 至 85°C
LT6370AHS8E#PBF	LT6370AHS8E#TRPBF	6370	8 引脚塑料 SO	-40°C 至 125°C

关于具有更宽额定工作温度范围的器件，请联系工厂。*温度等级通过运输容器上的标签识别。

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 • 表示规格适用于整个额定温度范围，其他规格的适用温度是 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 。 $V_S = \pm 15\text{V}$ ， $V_{CM} = V_{REF} = 0\text{V}$ ，
 $R_L = 2\text{k}\Omega$ 。

符号	参数	条件	LT6370A			LT6370			单位		
			最小值	典型值	最大值	最小值	典型值	最大值			
G	增益范围	G = (1 + 24.2k/RG) (注释 2)		1		1000		1		1000	V/V
	增益误差 (注释 3、4)	G = 1	●		-0.004	0.01			-0.004	0.015	%
		G = 1	●			0.02				0.025	%
		G = 10	●		-0.02	0.08			-0.02	0.1	%
		G = 10, TA = -40°C 至 85°C	●			0.4				0.42	%
		G = 10, TA = -40°C 至 125°C	●			0.58				0.6	%
		G = 100	●		-0.02	0.08			-0.02	0.1	%
		G = 100, TA = -40°C 至 85°C	●			0.4				0.42	%
		G = 100, TA = -40°C 至 125°C	●			0.58				0.6	%
		G = 1000	●		-0.05	0.15			-0.05	0.2	%
		G = 1000, TA = -40°C 至 85°C	●			0.47				0.52	%
		G = 1000, TA = -40°C 至 125°C	●			0.65				0.7	%
	增益与温度的关系 (注释 3、4)	G = 1 (注释 5)	●		0.2	0.5			0.2	0.5	ppm/°C
		G > 1 (注释 6)	●		20	30			20	50	ppm/°C
	增益非线性 (注释 3、7)	VOUT = ±10V, G = 1	●		1	3			1	5	ppm
		VOUT = ±10V, G = 1	●			6				8	ppm
		VOUT = ±10V, G = 10	●		3	20			3	30	ppm
		VOUT = ±10V, G = 10	●			65				75	ppm
		VOUT = ±10V, G = 100	●		20	30			20	55	ppm
		VOUT = ±10V, G = 100	●			105				130	ppm
		VOUT = ±10V, G = 1000	●		50	200			50	300	ppm
		VOUT = ±10V, G = 1000	●			270				370	ppm
		VOUT = ±10V, G = 1, RL = 600Ω			4				4		ppm
		VOUT = ±10V, G = 10, RL = 600Ω			6				6		ppm
	VOUT = ±10V, G = 100, RL = 600Ω			30				30		ppm	
	VOUT = ±10V, G = 1000, RL = 600Ω			250				250		ppm	
VOST, 总折合到输入端失调电压, VOST = VOSI + VOSO/G											
VOSI	输入失调电压 (注释 8)	S8E 封装			±9	±25			±15	±55	μV
		MS8 封装							±8	±35	μV
		DD10 封装							±15	±60	μV
		S8E 封装, TA = -40°C 至 85°C	●			±100				±130	μV
		S8E 封装, TA = -40°C 至 125°C	●			±125				±155	μV
		MS8 封装, TA = -40°C 至 85°C	●							±125	μV
		MS8 封装, TA = -40°C 至 125°C	●							±150	μV
		DD10 封装, TA = -40°C 至 85°C	●							±155	μV
		DD10 封装, TA = -40°C 至 125°C	●							±180	μV
VOSO	输出失调电压 (注释 8)	S8E 封装			±60	±165			±70	±265	μV
		MS8 封装							±30	±150	μV
		DD10 封装							±45	±250	μV
		S8E 封装, TA = -40°C 至 85°C	●			±390				±490	μV
		S8E 封装, TA = -40°C 至 125°C	●			±515				±615	μV
		MS8 封装, TA = -40°C 至 85°C	●							±325	μV
		MS8 封装, TA = -40°C 至 125°C	●							±400	μV
		DD10 封装, TA = -40°C 至 85°C	●							±510	μV
		DD10 封装, TA = -40°C 至 125°C	●							±650	μV
VOSI/T	输入失调电压漂移 (注释 5、8)	S8E 封装, TA = -40°C 至 85°C	●			±0.3				±0.4	μV/°C
		S8E 封装, TA = -40°C 至 125°C	●			±0.4				±0.5	μV/°C
		MS8 封装, TA = -40°C 至 85°C	●							±0.3	μV/°C
		MS8 封装, TA = -40°C 至 125°C	●							±0.4	μV/°C
		DD10 封装, TA = -40°C 至 85°C	●							±0.4	μV/°C
		DD10 封装, TA = -40°C 至 125°C	●							±0.5	μV/°C
	输入失调电压迟滞 (注释 9)	TA = -40°C 至 85°C	●		±1.5				±1.5		μV
		TA = -40°C 至 125°C	●		±3				±3		μV

电气特性 • 表示规格适用于整个额定温度范围，其他规格的适用温度是 $T_A = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。 $V_S = \pm 15\text{V}$ ， $V_{CM} = V_{REF} = 0\text{V}$ ， $R_L = 2\text{k}\Omega$ 。

符号	参数	条件	LT6370A			LT6370			单位
			最小值	典型值	最大值	最小值	典型值	最大值	
V _{OSO} /T	输出失调电压漂移 (注释 5、8)	S8E 封装, T _A = -40°C 至 85°C	●		±1.5		±2.5	μV/°C	
		S8E 封装, T _A = -40°C 至 125°C	●		±1.5		±3.5	μV/°C	
		MS8 封装, T _A = -40°C 至 85°C	●				±2	μV/°C	
		MS8 封装, T _A = -40°C 至 125°C	●				±2.5	μV/°C	
		DD10 封装, T _A = -40°C 至 85°C	●				±3	μV/°C	
		DD10 封装, T _A = -40°C 至 125°C	●				±4	μV/°C	
	输出失调电压迟滞 (注释 9)	T _A = -40°C至85°C	●		±10		±10	μV	
		T _A = -40°C至125°C	●		±20		±20	μV	
I _B	输入偏置电流	MS8 和 S8E 封装		±0.1	±0.4	±0.1	±0.6	nA	
		DD10 封装				±0.1	±0.8	nA	
		T _A = -40°C 至 85°C, MS8 和 S8E 封装	●		±1.3		±1.5	nA	
		T _A = -40°C 至 85°C, DD10 封装	●				±1.7	nA	
		T _A = -40°C 至 125°C, MS8 和 S8E 封装	●		±2.8		±3	nA	
		T _A = -40°C 至 125°C, DD10 封装	●				±3.2	nA	
I _{OS}	输入失调电流	MS8 和 S8E 封装		±0.2	±0.7	±0.2	±1	nA	
		DD10 封装				±0.2	±1.4	nA	
		MS8 和 S8E 封装	●		±1.7		±2	nA	
		DD10 封装	●				±2.4	nA	
	输入电压噪声 (注释 10)	0.1Hz 至 10Hz, G = 1		2		2	μV _{P-P}		
		0.1Hz 至 10Hz, G = 1000		0.2		0.2	μV _{P-P}		
总 RTI 噪声 = √e _{ni} ² + (e _{no} /G) ² (注释 10)									
e _{ni}	输入电压噪声密度	f = 1kHz			7		7	nV/√Hz	
e _{no}	输出电压噪声密度	f = 1kHz			65		65	nV/√Hz	
	输入噪声电流	0.1Hz 至 10Hz			10		10	pA _{P-P}	
i _n	输入电流噪声密度	f = 1kHz			200		200	fA/√Hz	
R _{IN}	输入电阻	V _{IN} = -12.6V 至 13V			225		225	GΩ	
C _{IN}	差分	f = 100kHz			0.9		0.9	pF	
	共模	f = 100kHz			15.9		15.9	pF	
V _{CM}	输入电压范围	通过 CMRR 保证	●	V ⁻ + 2.4	V ⁺ - 2	V ⁻ + 1.8/ V ⁺ - 1.4	V ⁻ + 1.8/ V ⁺ - 1.4	V	
CMRR	共模抑制比	DC 至 60Hz, 1k 源不平衡, V _{CM} = -12.6V 至 13V							
		G = 1	●	94	112	88	112	dB	
		G = 1	●	87		83		dB	
		G = 10	●	112	132	110	132	dB	
		G = 10	●	106		104		dB	
		G = 100	●	126	144	120	144	dB	
		G = 100	●	120		114		dB	
		G = 1000	●	134	148	130	148	dB	
		G = 1000	●	122		120		dB	
		交流共模抑制比	f = 20kHz, DD10 封装						
	G = 1					77		dB	
	G = 10					98		dB	
	G = 100					135		dB	
	G = 1000					128		dB	
	f = 20kHz, MS8 封装								
	f = 20kHz, S8E 封装								
	G = 1			71		71		dB	
	G = 10			91		91		dB	
	G = 100			101		101		dB	
	G = 1000		103		103		dB		

电气特性 • 表示规格适用于整个额定温度范围，其他规格的适用温度是 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 。 $V_S = \pm 15\text{V}$ ， $V_{\text{CM}} = V_{\text{REF}} = 0\text{V}$ ，
 $R_L = 2\text{k}\Omega$ 。

符号	参数	条件		LT6370A			LT6370			单位
				最小值	典型值	最大值	最小值	典型值	最大值	
PSRR	电源抑制比	$V_S = \pm 2.375\text{V}$ 至 $\pm 17.5\text{V}$								
		$G = 1$	•	116	130		110	130		dB
		$G = 1$	•	114			106			dB
		$G = 10$		134	140		130	140		dB
		$G = 10$	•	124			120			dB
		$G = 100$		136	142		130	142		dB
		$G = 100$	•	125			120			dB
		$G = 1000$		136	146		130	146		dB
		$G = 1000$	•	125			120			dB
V_S	电源电压	通过 PSRR 保证	•	4.75		35	4.75		35	V
I_S	电源电流	$V_S = \pm 15\text{V}$			2.65	2.75		2.65	2.75	mA
		$T_A = -40^\circ\text{C}$ 至 85°C	•			2.9			2.9	mA
		$T_A = -40^\circ\text{C}$ 至 125°C	•			3			3	mA
		$V_S = \pm 2.375\text{V}$			2.55	2.6		2.55	2.6	mA
		$T_A = -40^\circ\text{C}$ 至 85°C	•			2.75			2.75	mA
		$T_A = -40^\circ\text{C}$ 至 125°C	•			2.85			2.85	mA
V_{OUT}	输出电压摆幅	$V_S = \pm 15\text{V}$, $R_L = 10\text{k}\Omega$		-14.5	-14.9/14	13.7	-14.5	-14.9/14	13.7	V
			•	-14.3		13.6	-14.3		13.6	V
		$V_S = \pm 2.375\text{V}$, $R_L = 10\text{k}\Omega$		-2	-2.3/1.6	1.5	-2	-2.3/1.6	1.5	V
			•	-1.8		1.3	-1.8		1.3	V
I_{OUT}	输出短路电流			35	55		35	55		mA
			•	30			30			mA
BW	-3dB 带宽	$G = 1$			3100			3100		kHz
		$G = 10$			1150			1150		kHz
		$G = 100$			184			184		kHz
		$G = 1000$			19			19		kHz
SR	压摆率	$G = 1$, $V_{\text{OUT}} = \pm 10\text{V}$		8	11		8	11		V/ μs
			•	6			6			V/ μs
t_s	建立时间	20V 输出阶跃至 0.0015%								
		$G = 1$			5.8			5.8		μs
		$G = 10$			9.8			9.8		μs
		$G = 100$			16			16		μs
		$G = 1000$			100			100		μs
R_{REFIN}	REF 输入电阻				20			20		k Ω
I_{REFIN}	REF 输入电流	$V_{+\text{IN}} = V_{-\text{IN}} = V_{\text{REF}} = 0\text{V}$		-40	-27	-14	-40	-27	-14	μA
			•	-60		6	-60		6	μA
V_{REF}	REF 电压范围		•	V^-		V^+	V^-		V^+	V
A_{VREF}	到输出的 REF 增益	$V_{\text{REF}} = \pm 10\text{V}$			1			1		V/V
	REF 增益误差	$V_{\text{REF}} = \pm 10\text{V}$		-80	-20	40	-100	-20	60	ppm
			•	-95		55	-115		75	ppm

电气特性

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：高于 1000 的增益是可以获得的，但相应的低 R_G 值会使 PCB 和封装引线电阻成为重大误差源。

注释 3：增益测试是在 $-IN$ 接中间电源而 $+IN$ 被驱动的情况下进行的。

注释 4：当增益大于 1 时，增益误差和增益漂移规格不包括外部增益设置电阻 R_G 的影响。

注释 5：此规格通过设计保证。

注释 6：此规格是在 LT6370A 上进行高速自动化测试来保证的。此规格通过 LT6370 的设计和表征来保证。

注释 7：此参数是在高速自动测试仪中测量的，该测试仪不测

量较长时间常数的热效应。这些热效应的幅度取决于所使用的封装、PCB 布局、散热和气流状况。

注释 8：有关失调与放大器的关系的更多信息，请参见“应用”部分中的“输入和输出失调电压”部分。

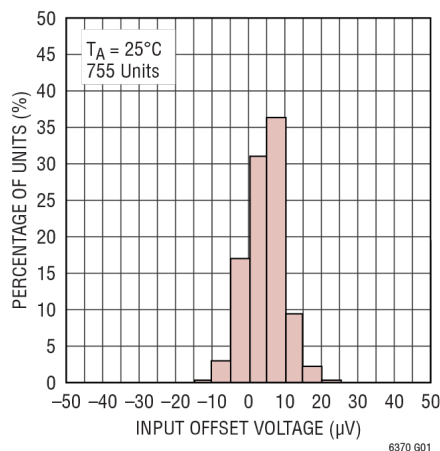
注释 9：输出电压迟滞是由机械应力产生的，该应力取决于 IC 先前是处于更高还是更低的温度。输出电压总是在 25°C 下进行测量，但是在连续测量前，IC 在高温或低温极限值间循环。迟滞大致与温度变化的平方成正比。对于存储在受控良好的温度（工作温度的 20 或 30 度范围内）条件下的仪器来说，迟滞通常不是主要的误差源。典型迟滞是从 25°C 到低温再到 25°C 或从 25°C 到高温再到 25°C（预先设定的一个热循环）下的最差情况。

注释 10：折合到输入端。

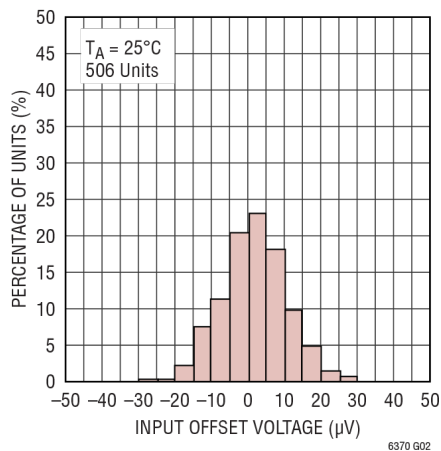
典型性能参数

除非另有说明, $V_S = \pm 15V$, $V_{CM} = V_{REF} = 0V$, $T_A = 25^\circ C$, $R_L = 2k$ 。

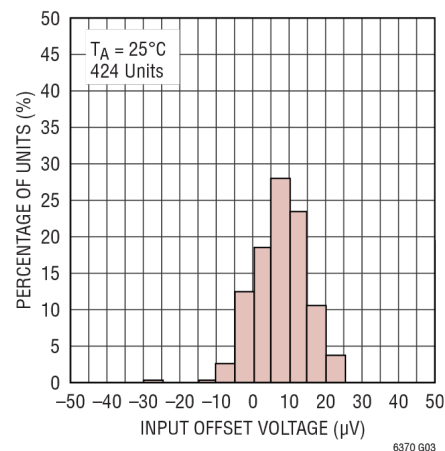
输入失调电压分布, MS8 封装



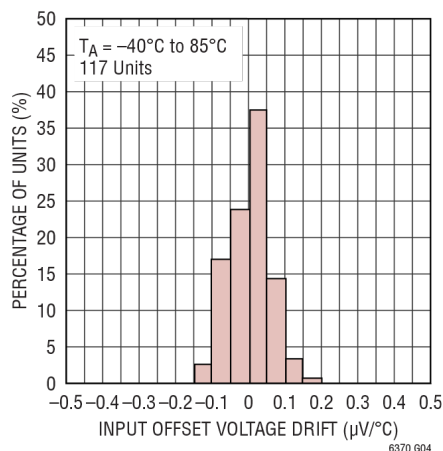
输入失调电压分布, S8E 封装



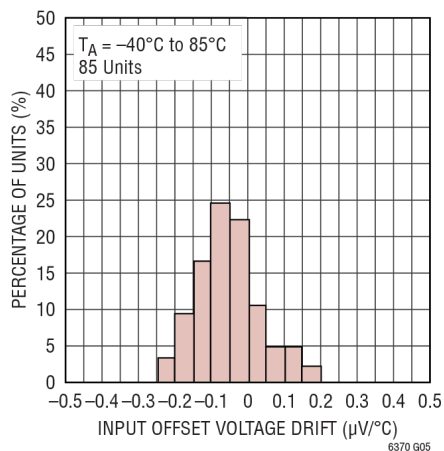
输入失调电压分布, DD10 封装



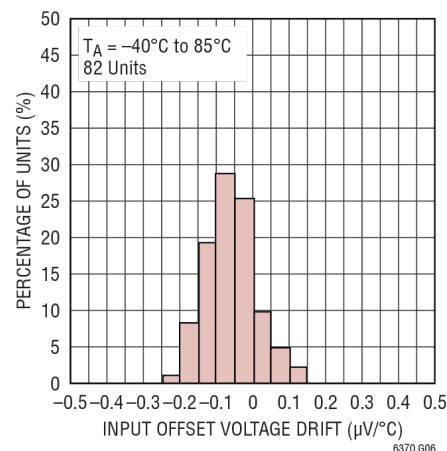
输入失调电压漂移分布, MS8 封装



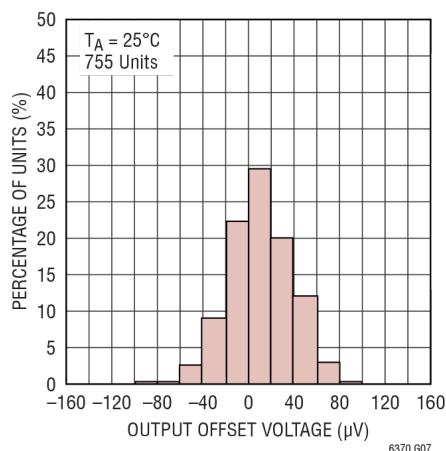
输入失调电压漂移分布, S8E 封装



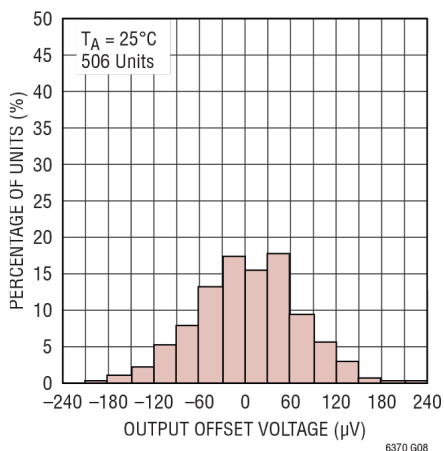
输入失调电压漂移分布, DD10 封装



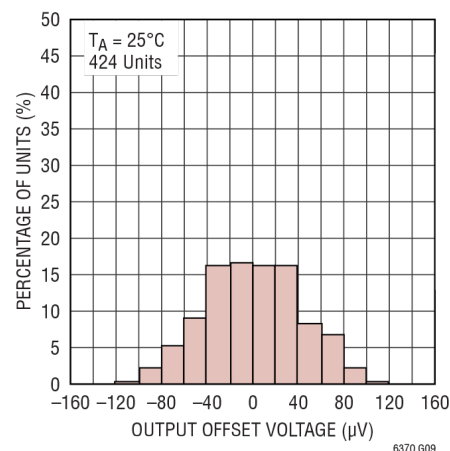
输出失调电压分布, MS8 封装



输出失调电压分布, S8E 封装



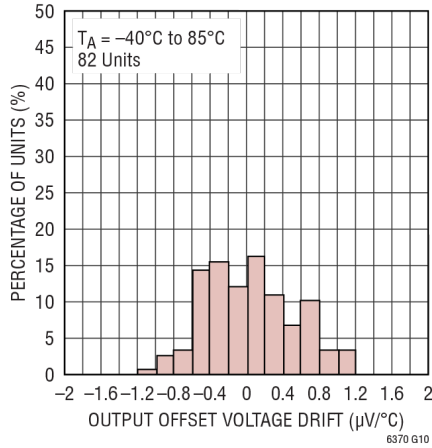
输出失调电压分布, DD10 封装



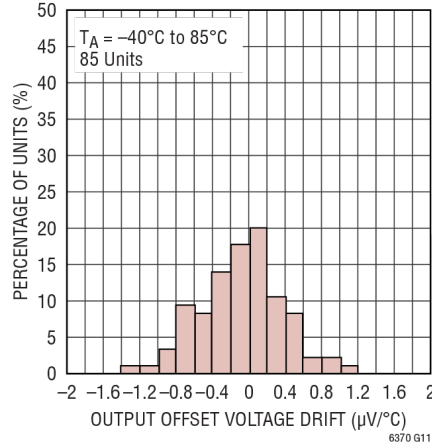
典型性能参数

除非另有说明, $V_S = \pm 15V$, $V_{CM} = V_{REF} = 0V$, $T_A = 25^\circ C$, $R_L = 2k$ 。

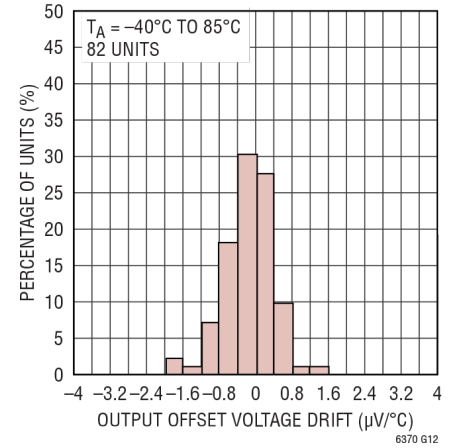
输出失调电压漂移分布,
MS8 封装



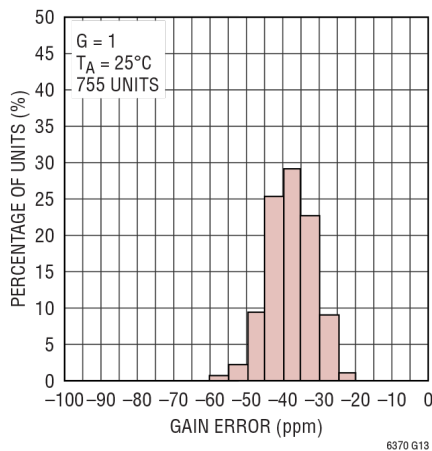
输出失调电压漂移分布,
S8E 封装



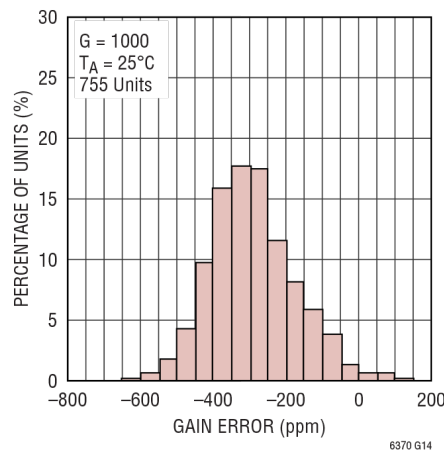
输出失调电压漂移分布,
DD10 封装



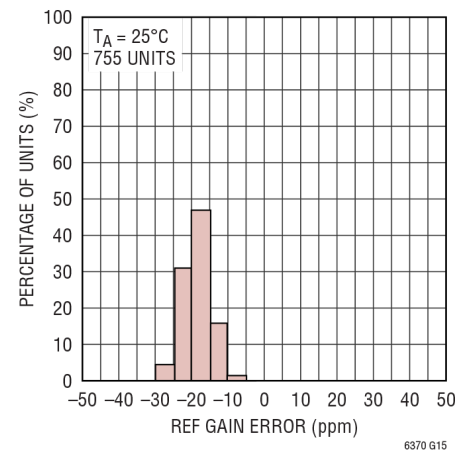
增益误差分布



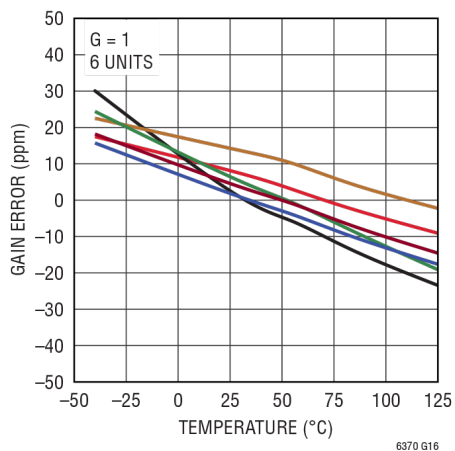
增益误差分布



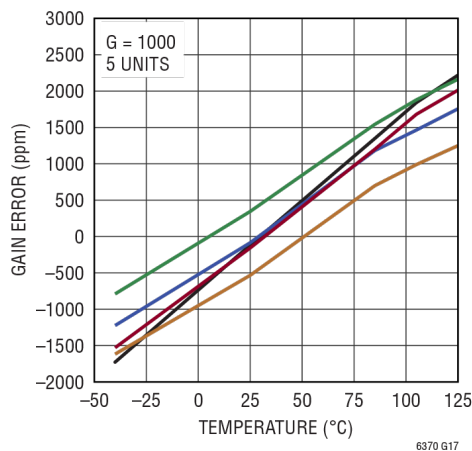
REF 增益误差分布



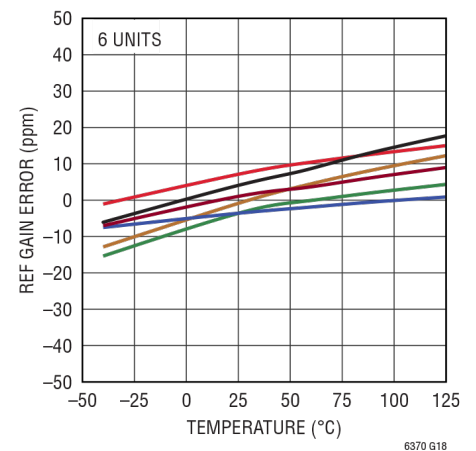
增益漂移 (G = 1)



增益漂移 (G = 1000)



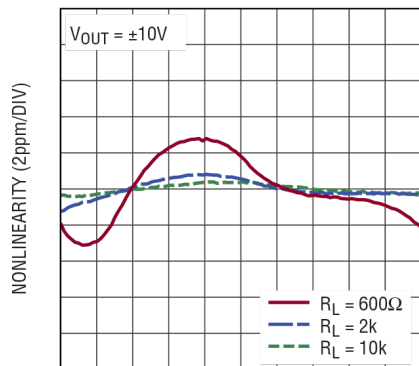
REF 增益漂移



典型性能参数

除非另有说明, $V_S = \pm 15V$, $V_{CM} = V_{REF} = 0V$, $T_A = 25^\circ C$, $R_L = 2k$ 。

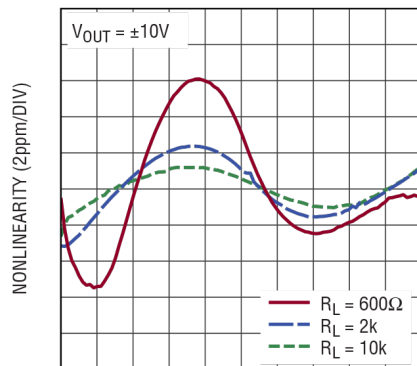
增益非线性 ($G = 1$)



OUTPUT VOLTAGE (2V/DIV)

6370 G19

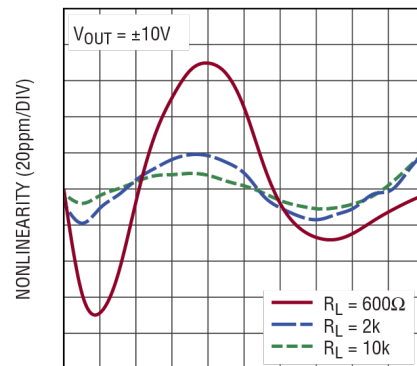
增益非线性 ($G = 10$)



OUTPUT VOLTAGE (2V/DIV)

6370 G20

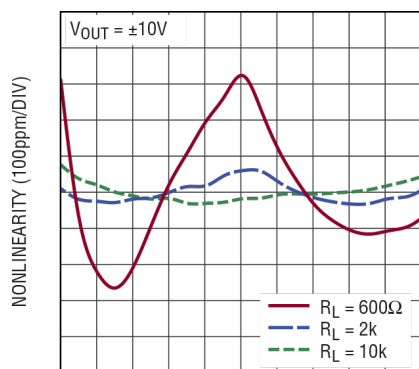
增益非线性 ($G = 100$)



OUTPUT VOLTAGE (2V/DIV)

6370 G21

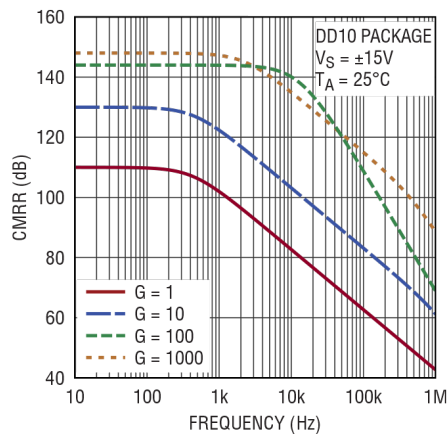
增益非线性 ($G = 1000$)



OUTPUT VOLTAGE (2V/DIV)

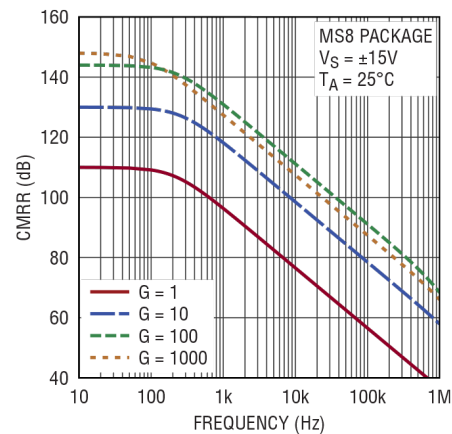
6370 G22

CMRR 与频率的关系,
RTI DD10 封装



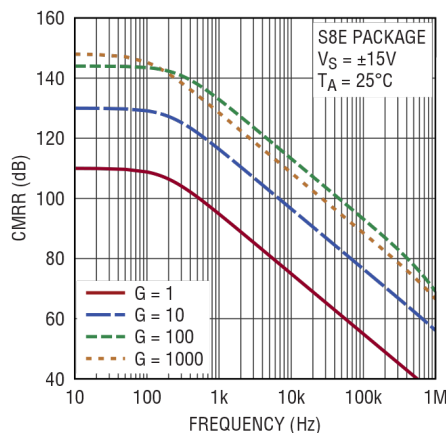
6370 G23

CMRR 与频率的关系,
RTI MS8 封装



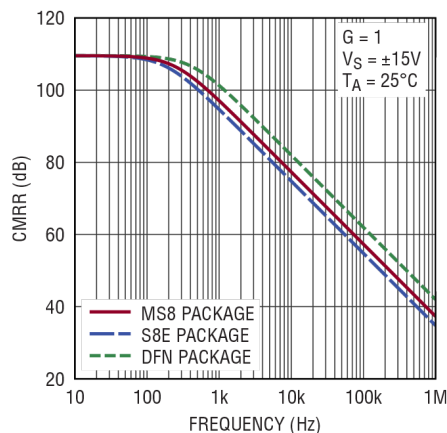
6370 G24

CMRR 与频率的关系,
RTI S8E 封装



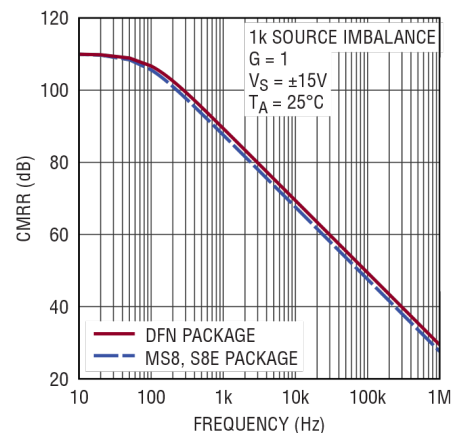
6370 G25

CMRR 与频率的关系, RTI



6370 G26

CMRR 与频率的关系, RTI

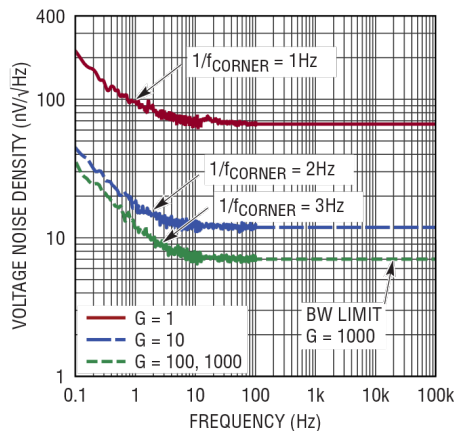


6370 G27

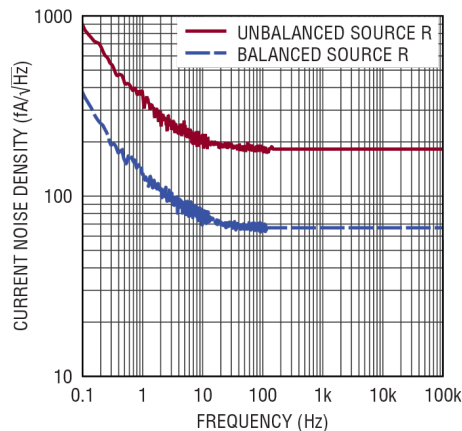
典型性能参数

除非另有说明, $V_S = \pm 15V$, $V_{CM} = V_{REF} = 0V$, $T_A = 25^\circ C$, $R_L = 2k$ 。

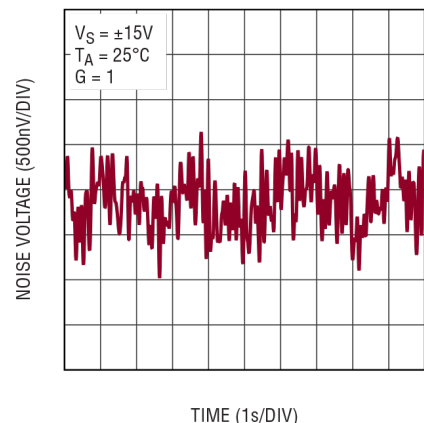
折合到输入端电压噪声密度与频率的关系



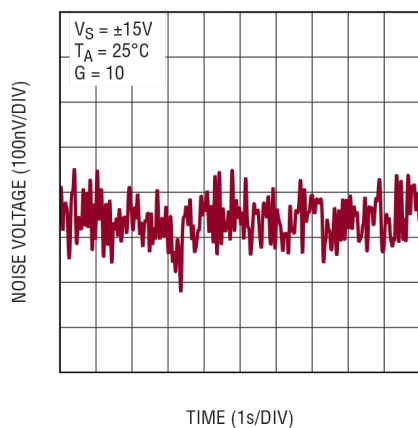
电流噪声密度与频率的关系



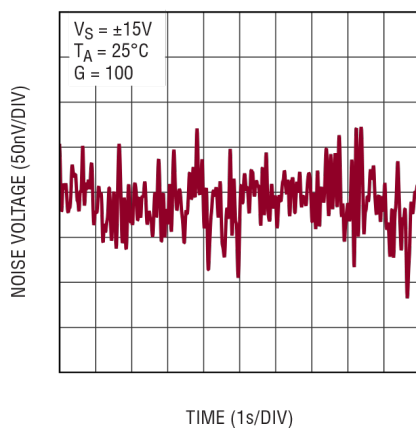
0.1Hz 至 10Hz 电压噪声,
G = 1, RTI



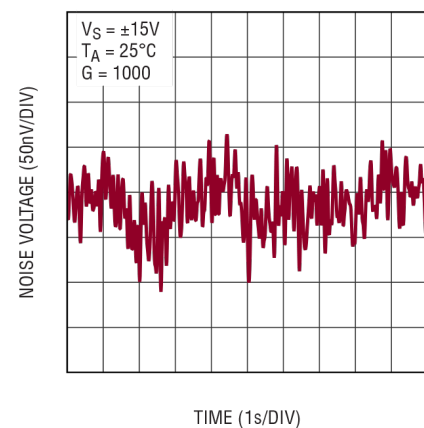
0.1Hz 至 10Hz 电压噪声,
G = 10, RTI



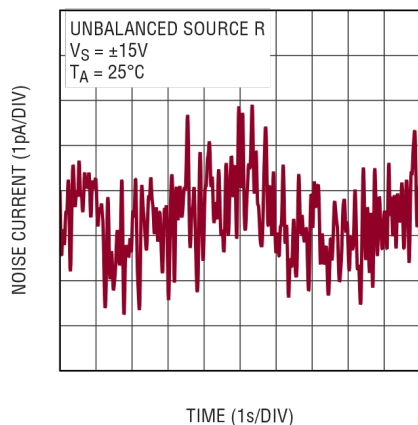
0.1Hz 至 10Hz 电压噪声,
G = 100, RTI



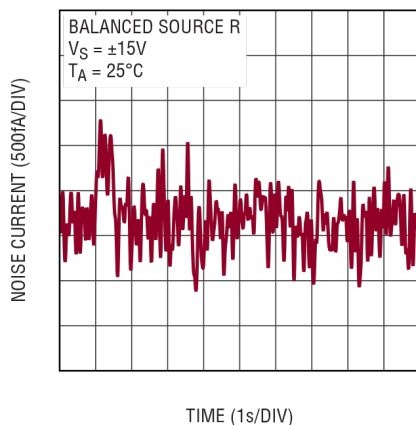
0.1Hz 至 10Hz 电压噪声,
G = 1000, RTI



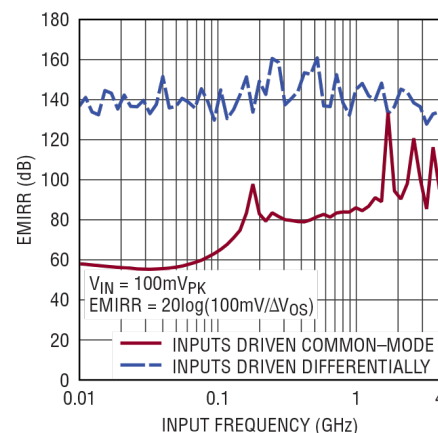
0.1Hz 至 10Hz 噪声电流,
不平衡源 R



0.1Hz 至 10Hz 噪声电流,
平衡源 R



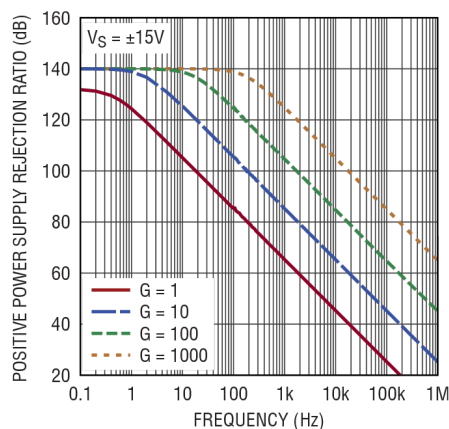
EMIRR 与频率的关系, RTI



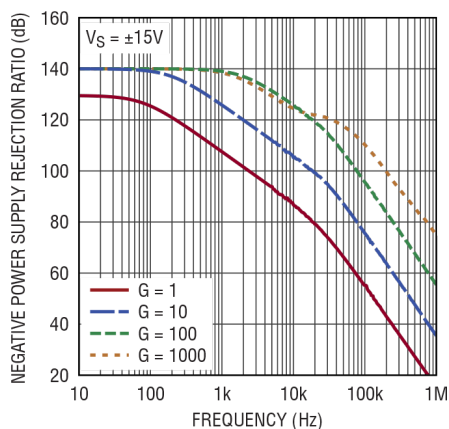
典型性能参数

除非另有说明, $V_S = \pm 15V$, $V_{CM} = V_{REF} = 0V$, $T_A = 25^\circ C$, $R_L = 2k\Omega$ 。

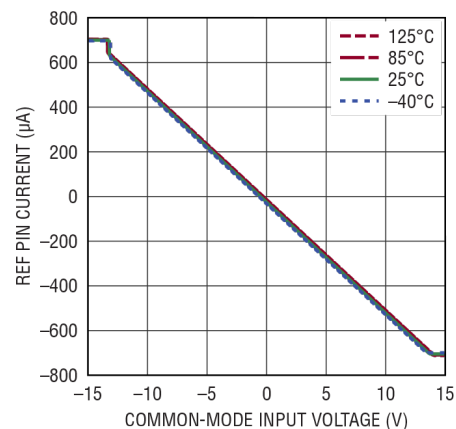
正电源抑制比与频率的关系



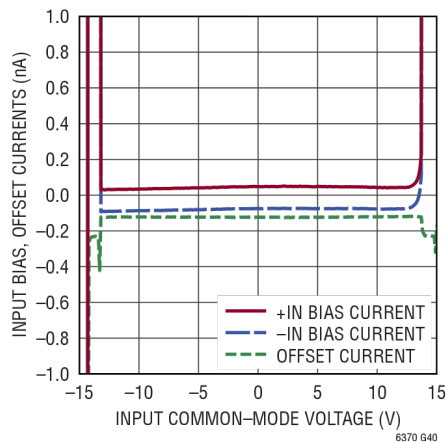
负电源抑制比与频率的关系



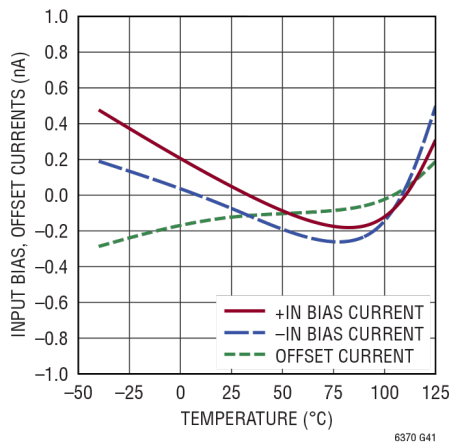
REF 引脚电流与输入共模电压的关系



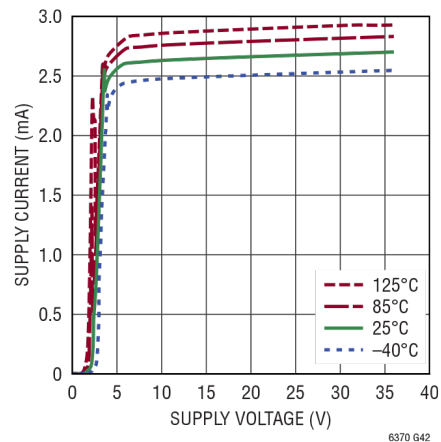
输入偏置电流与共模电压的关系



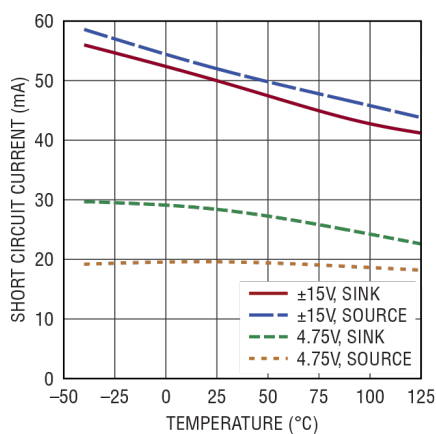
输入偏置和失调电流与温度的关系



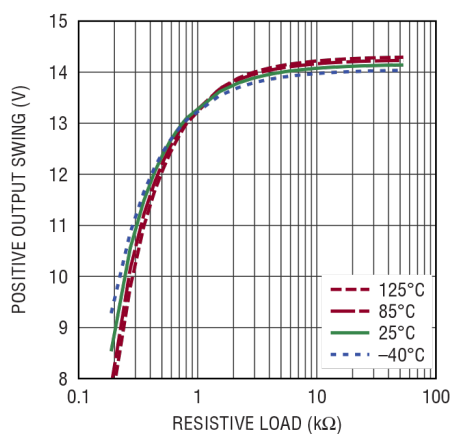
电源电流与电源电压的关系



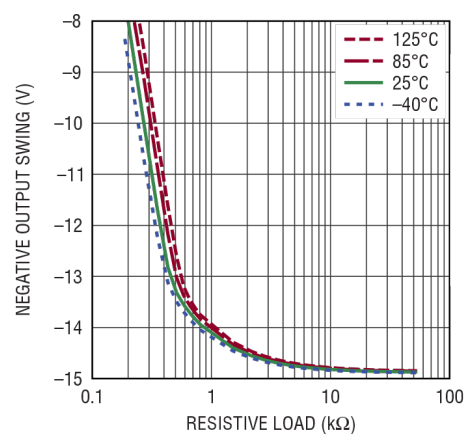
输出短路电流与温度的关系



输出电压摆幅与负载电阻的关系



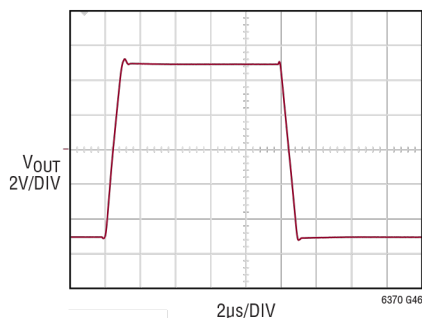
输出电压摆幅与负载电阻的关系



典型性能参数

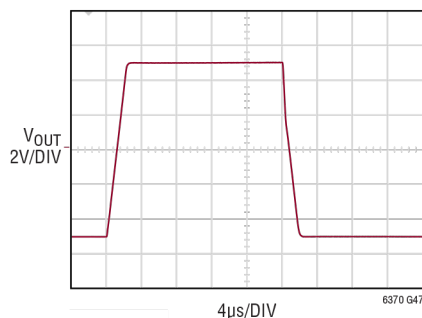
除非另有说明, $V_S = \pm 15V$, $V_{CM} = V_{REF} = 0V$, $T_A = 25^\circ C$, $R_L = 2k\Omega$ 。

大信号瞬态响应



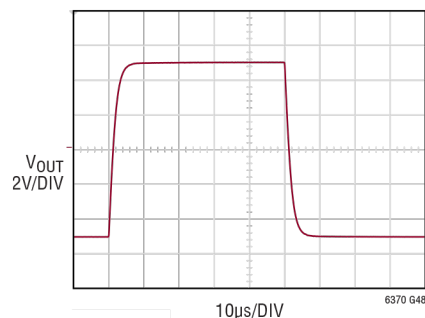
$G = 1$
 $V_S = \pm 15V$
 $T_A = 25^\circ C$
 $C_L = 100pF$

大信号瞬态响应



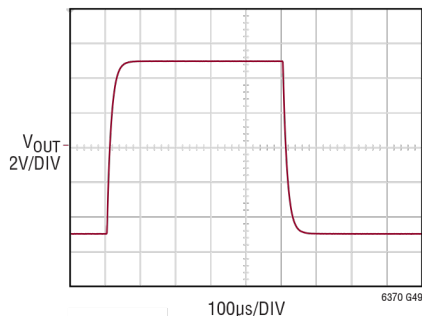
$G = 10$
 $V_S = \pm 15V$
 $T_A = 25^\circ C$
 $C_L = 100pF$

大信号瞬态响应



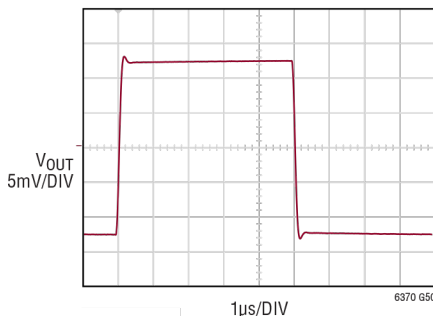
$G = 100$
 $V_S = \pm 15V$
 $T_A = 25^\circ C$
 $C_L = 100pF$

大信号瞬态响应



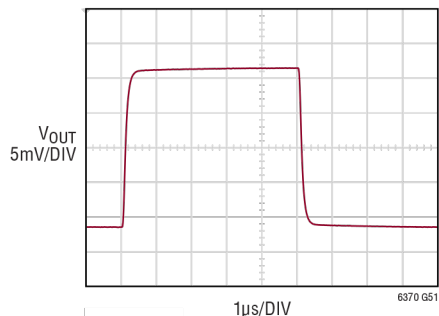
$G = 1000$
 $V_S = \pm 15V$
 $T_A = 25^\circ C$
 $C_L = 100pF$

小信号瞬态响应



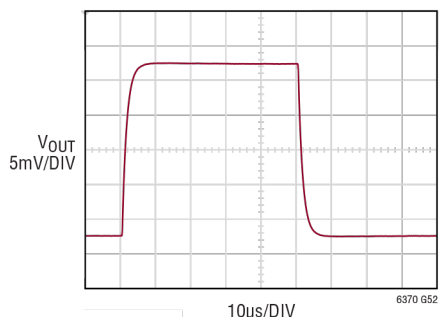
$G = 1$
 $V_S = \pm 15V$
 $T_A = 25^\circ C$
 $C_L = 100pF$

小信号瞬态响应



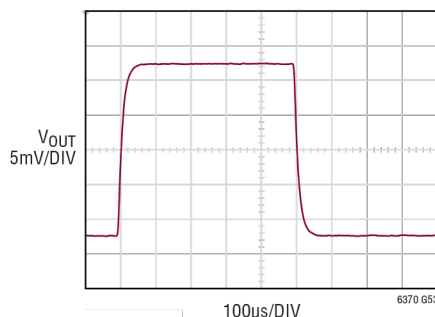
$G = 10$
 $V_S = \pm 15V$
 $T_A = 25^\circ C$
 $C_L = 100pF$

小信号瞬态响应



$G = 100$
 $V_S = \pm 15V$
 $T_A = 25^\circ C$
 $C_L = 100pF$

小信号瞬态响应

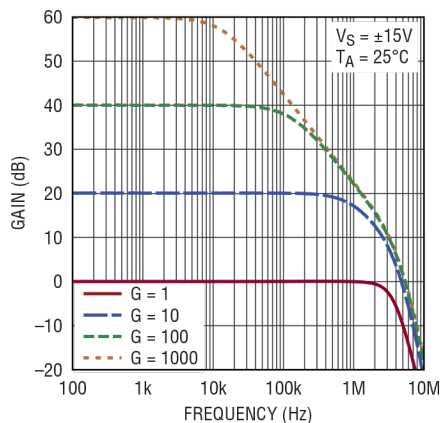


$G = 1000$
 $V_S = \pm 15V$
 $T_A = 25^\circ C$
 $C_L = 100pF$

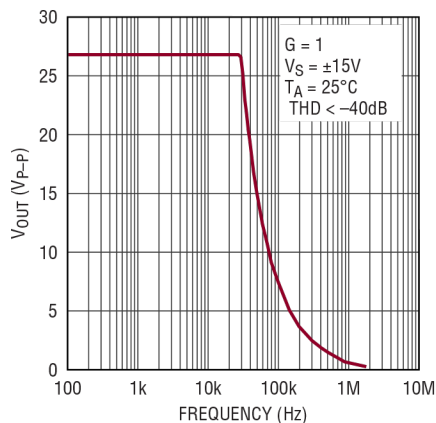
典型性能参数

除非另有说明, $V_S = \pm 15V$, $V_{CM} = V_{REF} = 0V$, $T_A = 25^\circ C$, $R_L = 2k$ 。

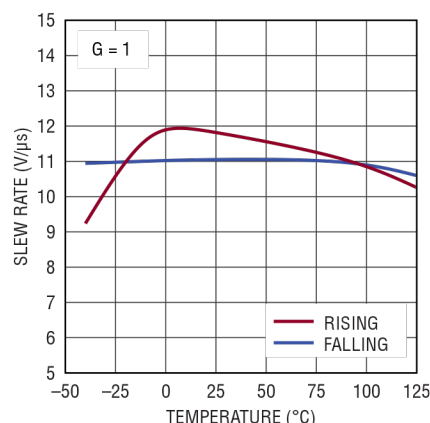
增益与频率的关系



无失真输出摆幅与频率的关系



压摆率与温度的关系



引脚功能 (MS/DFN/SOIC)

-R_G (引脚 1/引脚 1/引脚 1): 与外部增益设置电阻一起使用。

-IN (引脚 2/引脚 3/引脚 2): 负输入端子。此输入为高阻抗。

+IN (引脚 3/引脚 4/引脚 3): 正输入端子。此输入为高阻抗。

V⁻ (引脚 4/引脚 5/引脚 4): 负电源。电源引脚和地之间应使用旁路电容。

REF (引脚 5/引脚 6/引脚 5): 输出电压的基准。

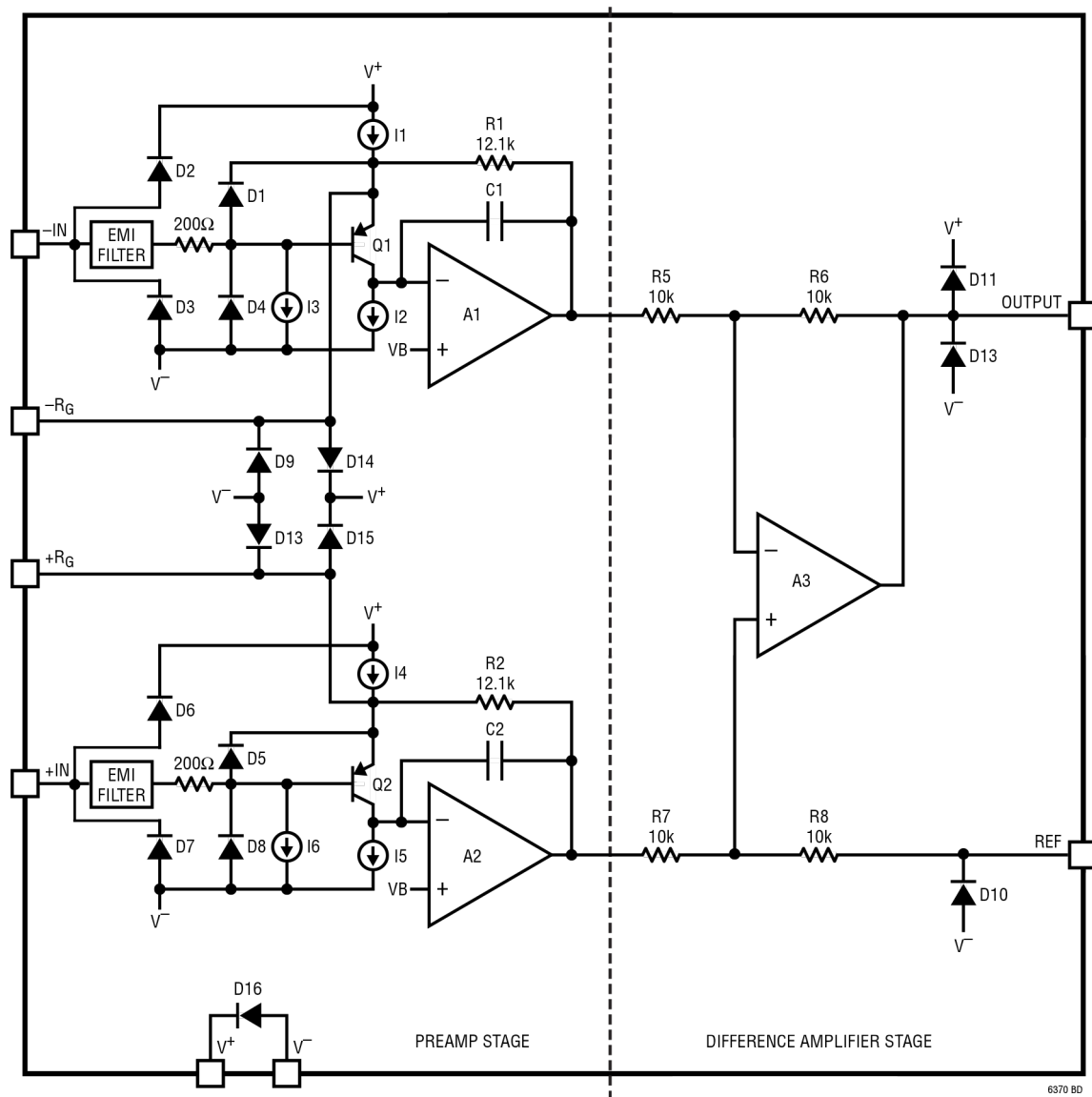
OUTPUT (引脚 6/引脚 7/引脚 6): 以 REF 引脚为基准的输出电压。

V⁺ (引脚 7/引脚 8/引脚 7): 正电源。电源引脚和地之间应使用旁路电容。

+R_G (引脚 8/引脚 10/引脚 8): 与外部增益设置电阻一起使用。

NC (DFN 引脚 2、9): 无内部连接。

简化框图



工作原理

LT6370 是经典三运放仪表放大器拓扑的改进版本。激光调整和专有单片结构使器件得以实现紧密匹配, 并且电路参数在额定温度范围内的漂移极低。请参考简化框图以帮助理解下面的电路说明。Q1 和 Q2 中的集电极电流以及 I1 和 I4 经过调整, 以使输入失调电压漂移最小, 从而确保器件具有很高的性能。R1 和 R2 的绝对值调整到 12.1k, 以确保仅使用一个外部电阻 R_G 便可准确设置增益 ($G = 100$ 时为 0.08%)。 R_G 的值决定了前级放大器的跨导。当减小 R_G 以提高增益时, 输入前级放大器的跨导也会增加到与输入晶体管 Q1 和 Q2 的跨导相一致。当编程的增益提高时, 开环增益随之增加, 从而降低了与输入有关的误差和噪声。高增益时的输入电压噪声仅由 Q1 和 Q2 决定。增益较低时, 差动放大器和前置放大器增益设置电阻的噪声可能会增加噪声。增益带宽乘积由 C1、C2 和前置放大器跨导决定, 随编程的增益提高而提高。因此, 带宽是自调节的, 不是与增益成正比地下降。

输入晶体管 Q1 和 Q2 提供出色的匹配、漂移和噪声性能 (因为使用了专有高性能工艺), 以及低输入偏置电流 (因为这些输入器件具有高 β)。通过调整 I3 和 I6 可进一步降低输入偏置电流。由于通过 Q1-A1-R1 环路和 Q2-A2-R2 环路的反馈, Q1 和 Q2 中的集电极电流保持恒定。放大器环路的作用是将差分输入电压施加于外部增益设置电阻 R_G 上。流经 R_G 的电流也流经 R1 和 R2, 因此这些比率提供一个放大的差分电压

$$G = 1 + \frac{R1 + R2}{R_G}$$

给差动放大器 A3。差动放大器移除共模电压, 提供一个以 REF 引脚电压为基准的单端输出电压。差动放大器的失调电压经过调整, 以使输出失调电压漂移最小, 从而确保在低增益下也能有高水平的性能。调整电阻 R5 至 R8 以使 CMRR 最大, 并使增益误差最小。相应的增益公式为:

$$G = 1 + \frac{24.2k}{R_G}$$

求解增益设置电阻得到:

$$R_G = \frac{24.2k}{G - 1}$$

表 1 列出了不同增益对应的适当 1% 电阻值。

表 1. LT6370 增益和 R_G 查找表

不同 1% 标准电阻值对应的增益	
增益	标准 1% 电阻值 (Ω)
1	—
1.996	24.3k
5.007	6.04k
10.06	2.67k
20.06	1.27k
50.69	487
100.6	243
201	121
497.9	48.7
996.9	24.3
使用不同标准 1% 电阻值得到的方便整数增益	
整数增益	标准 1% 电阻值 (Ω)
1	—
3	12.1k
21	1.21k
23	1.1k
122	200
201	121
221	110
243	100
1211 (注释 2)	20

应用信息

有效输入和输出范围

仪表放大器传统上会指定有效输入共模范围和输出摆幅范围。然而，这常常不能确定与内部摆动极限相关的限制。参考简化框图，前置放大器

A1 和 A2 的输出摆幅以及差动放大器 A3 的共模输入范围对有效工作范围施加了限制。下图显示了产生有效输出的工作区域。

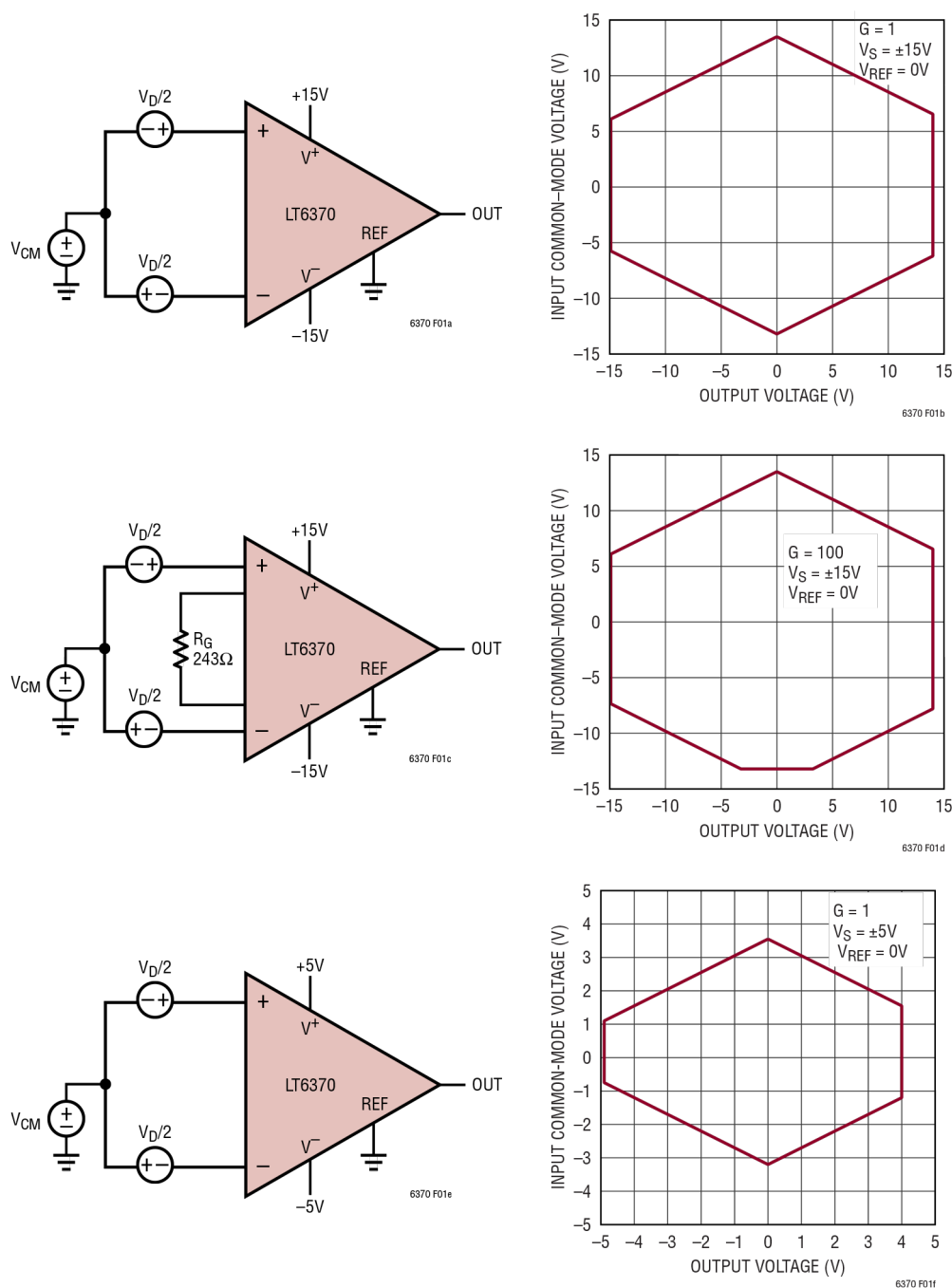


图 1. 输入共模范围与输出电压的关系

应用信息

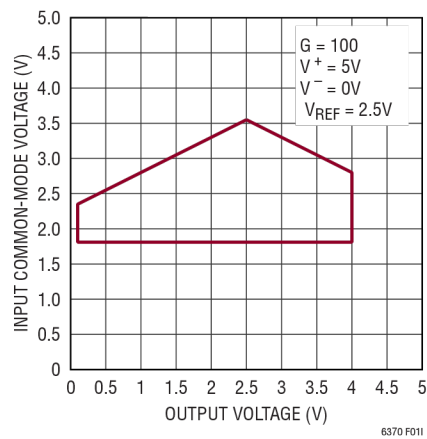
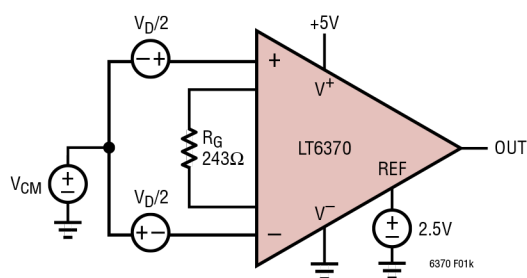
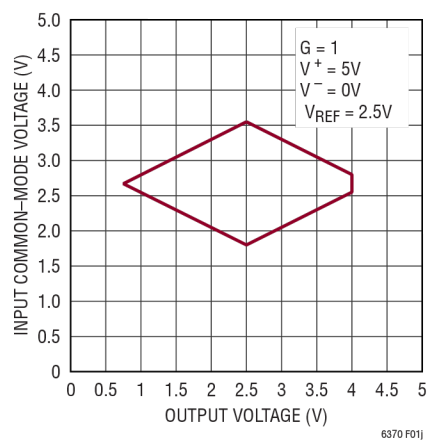
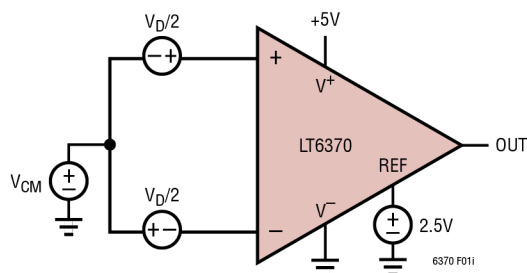
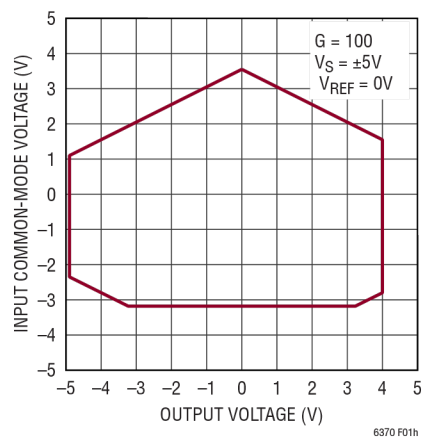
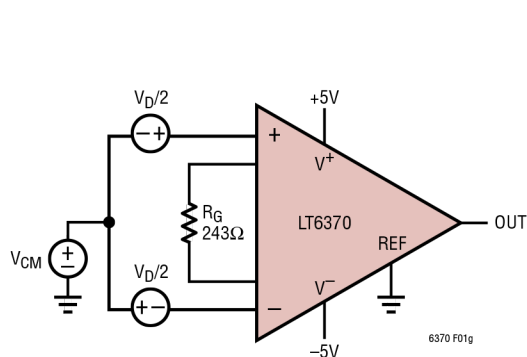


图1 (续): 输入共模范围与输出电压的关系

应用信息

REF 引脚

REF 引脚到输出的标称增益为 1。与 REF 引脚串联的电阻必须最小化,以保持高共模抑制性能。例如,从 REF 引脚到地的 2Ω 串联电阻不仅会使增益误差增加 0.02%,而且会使 CMRR 降至 80dB。如果此引脚由放大器驱动,如图 2 所示,则该放大器在所需频率的闭环输出阻抗也必须很低,以避免降低典型曲线部分所示的交流 CMRR。

同样须注意的是,用于驱动 REF 引脚的电路中的漂移会产生额外的输出漂移项。因此,考虑用于驱动 REF 引脚的电路的温度精度可能很重要。

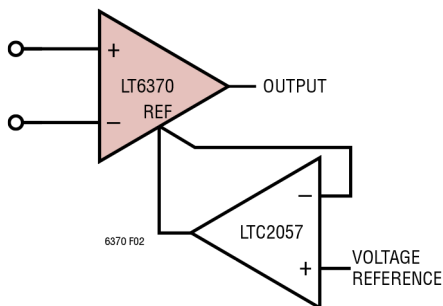


图 2. 缓冲 REF 引脚

输入和输出失调电压

LT6370 的失调电压主要有两部分: 输入放大器导致的输入失调电压和输出放大器导致的输出失调电压。将输出失调除以编程的增益,并将结果加到输入失调电压上,便可获得折合到输入端 (RTI) 的总失调电压。在高增益时,输入失调电压占主导,而在低增益时,输出失调电压占主导。总失调电压为:

$$\text{总输入失调电压 (RTI)} = V_{OSI} + V_{OSO}/G$$

$$\text{总输出失调电压 (RTO)} = V_{OSI} \cdot G + V_{OSO}$$

上述公式也可用来以类似方式计算失调漂移。

输出失调调整

LT6370 经过激光调整以实现低失调电压,因此在大多数应用中不需要外部失调调整。如果需要调整失调电压,图 3 中的电路是可选失调调整电路的示例。运算放大器缓冲器向 REF 引脚提供低阻抗信号,以实现最佳 CMRR 和最低增益误差。

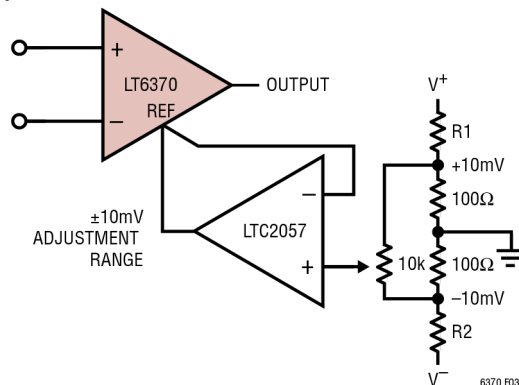


图 3. 可选输出失调电压调整

热电偶效应

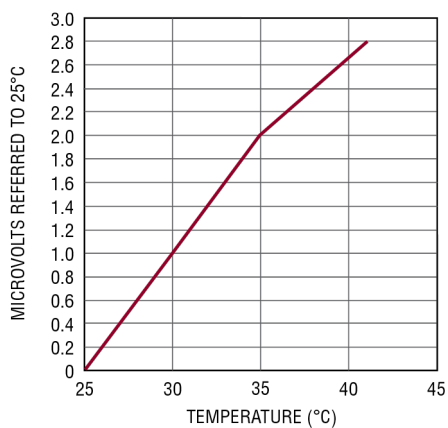
为了在微伏级上实现高精度,必须考虑热电偶效应。任何不同金属的连接都会形成热电结,产生一个很小的温度相关电压。这种现象也称为塞贝克效应,热电动势可能是低漂移电路中的主要误差源。

连接器、开关、继电器触点、插座、电阻和焊料都可能产生相当大的热电动势。不同厂商的铜线结点处甚至都能产生 $200\text{nV}/^\circ\text{C}$ 的热电动势,这与 LT6370 的最大输入失调电压漂移规格相当。图 4 和图 5 显示了这些电压的可能幅度及其对温度的敏感度。

为使热电偶引起的误差最小,必须注意电路板布局 and 元件选择。务必尽量减少放大器输入和 R_G 信号路径中的结点数量,并尽可能避免使用连接器、插座、开关和继电器。如果需要此类元件,应选择具有低热电动势特性的元件。此外,就电路板上的热梯度而言,两路输入的结点的数量、类型和布局应该匹配。这样做可能需要故意引入虚拟结点以抵消无法避免的结点的影响。

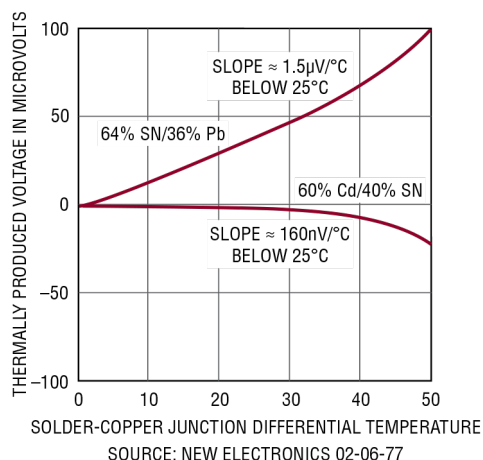
应用信息

气流也会造成热梯度,并在测量系统中产生很大的噪声。防止气流经过敏感电路非常重要。这样做常常能大大降低热电偶噪声。将两个输入信号的 PCB 走线靠近放置,并放在 PCB 内层上,有助于最大限度地减小因气流与输入走线热表面相互作用而引起的温差。



6370 F04

图 4. 不同厂家生产的两条铜线产生的热电动势



SOLDER-COPPER JUNCTION DIFFERENTIAL TEMPERATURE
SOURCE: NEW ELECTRONICS 02-06-77

6370 F05

图 5. 焊料-铜热电动势

减少与电路板相关的泄漏影响

漏电流会严重影响系统精度,特别是在高温和高压应用中。应使用优质绝缘材料,并清洁绝缘表面以去除助焊剂和其他残留物。在潮湿环境中,可能需要表面涂层来提供防潮层。

流入 R_G 引脚的漏电流会通过片内反馈电阻传导,从而在前置放大器的输出端产生误差。此误差与增益无关,在低增益时对精度的影响最大。用一个工作电位非常接近 R_G 引脚电位的保护环围住 R_G 连接,可以最大限度地减少该漏电流。DFN 封装的每个 R_G 引脚附近都有 NC 引脚,可用来简化该保护环的实现。这些 NC 引脚不提供任何偏置,也没有内部连接。在某些情况下,保护环可以连接到一个输入电压,其偏置到比 R_G 低一个二极管压降。

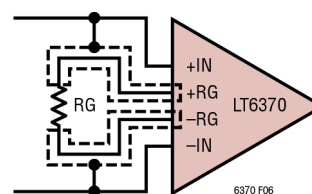


图 6. 保护环可用于最大限度地减少流入 R_G 引脚的漏电流

流入输入引脚的漏电流会与源电阻相互作用,直接在输入端产生误差。用一个工作电位非常接近输入引脚电位的保护环围住输入连接,可以最大限度地减少此漏电流。在某些情况下,保护环可以连接到 R_G ,其偏置到比输入高一个二极管压降。

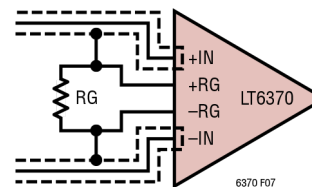


图 7. 保护环可用于最大限度地减少流入输入引脚的漏电流

应用信息

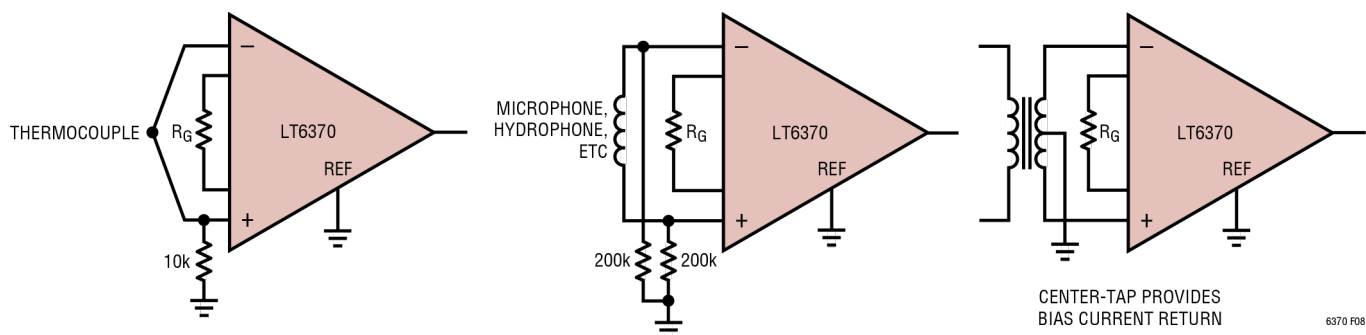


图 8. 提供输入共模电流路径

为使漏电流最小, 可以使用放大器来驱动保护环。这些缓冲器必须具有非常低的输入偏置电流, 因为现在它们会产生漏电流。

输入偏置电流返回路径

LT6370 的低输入偏置电流 (最大 400pA) 和高输入阻抗 (225GΩ) 支持使用高阻抗信号源而不会引起额外的失调电压误差, 即使需要整个共模范围也是如此。但是, 当放大纯差分信号时, 必须为两个输入提供输入偏置电流路径。如果没有此路径, 输入将浮动至任一电源轨并超过 LT6370 的输入共模范围, 导致输入放大器饱和。图 8 显示了输入偏置电流路径的三个例子。第一个例子是一个纯差分信号源, 有一条 10kΩ 接地输入电流路径。由于信号源的阻抗较低, 因此仅需要一个电阻。信号源阻抗较高时, 需要两个匹配电阻, 如第二个例子所示。平衡输入阻抗可改善交流和直流共模抑制以及直流失调。如果存在中心抽头, 如第三个例子所示, 则无需输入电阻。

输入保护

在每个输入端串联一个外部电阻, 可以实现额外的输入保护。如果需要低值电阻, 正电源和每个输入之间的箝位二极管将有助于提高稳健性。2N4394 的漏极/源极至栅极会形成一个很好的低泄漏二极管, 可以像图 9 所示那样使用。应选择稳健的输入电阻, 例如碳复合材料或体金属箔。金属膜和碳膜性能较差, 不应使用。

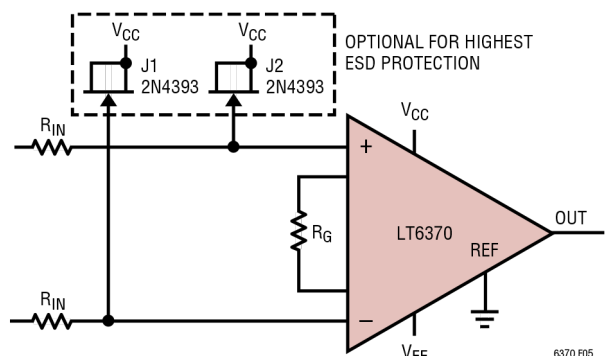


图 9. 输入保护

维持交流 CMRR

为了获得最佳交流 CMRR, 必须平衡 R_G 增益设置引脚上的电容。此外, 如果两个输入端的源电阻不相等, 则给一个输入端增加电阻以改善输入源电阻匹配, 由此能改善交流 CMRR。

应用信息

降低 RFI/内部 RFI 滤波器

在许多工业和数据采集应用中, 存在大共模电压或高噪声, LT6370 将被用来精确放大小信号。通常, 这些非常小的信号 (微伏或毫伏量级) 的来源是传感器, 其与信号调理电路可能相距甚远。虽然可以使用屏蔽或非屏蔽双绞线将这些传感器连接到信号调理电路, 但线缆可能充当天线, 将非常高频率的干扰直接传送到 LT6370 的输入级。

干扰的幅度和频率可能对仪表放大器的输入级产生不利影响, 致使放大器的输入失调电压发生不必要的直流偏移。这种众所周知的效应称为 RFI 整流, 产生于带外干扰 (通过电感、电容或辐射) 耦合并由仪表放大器的输入晶体管整流时。这些晶体管充当高频信号检测器, 就像在早期无线电设计中将二极管用作 RF 包络检测器一样。无论什么类型的干扰, 无论通过何种方法将其耦合到电路中, 带外误差信号都会出现在仪表放大器的输入端。

为了帮助最大限度地减小这种影响, LT6370 具有 50MHz 片内 RFI 滤波器, 有助于衰减高频干扰, 防止其与输入晶体管发生相互作用。这些片内滤波器采用单片结构, 因而匹配良好, 有助于最大限度地减少交流 CMRR 性能的下降。为了进一步降低这些带外信号对 LT6370 输入失调电压的影响, 可以在输入端增加一个外部低通滤波器。滤波器的位置应非常靠近电路的输入引脚。图 10 给出了一种有效的滤波器配置, 其中在 LT6370 的输入端增加了三个电容。

滤波器根据以下关系限制输入信号:

$$\text{FilterFreq}_{\text{DIFF}} = \frac{1}{2\pi R(2C_D + C_C)}$$

$$\text{FilterFreq}_{\text{CM}} = \frac{1}{2\pi RC_C}$$

其中 $C_D \geq 10C_C$ 。

C_D 影响差模信号。 C_C 影响共模信号。 $R \times C_C$ 的任何不匹配都会降低 LT6370 CMRR 性能。为避免无意中降低 CMRR 带宽性能, 请确保 C_C 至少比 C_D 小一个数量级。 C_D 与 C_C 比值越大, 则 C_C 不匹配的影响越小。

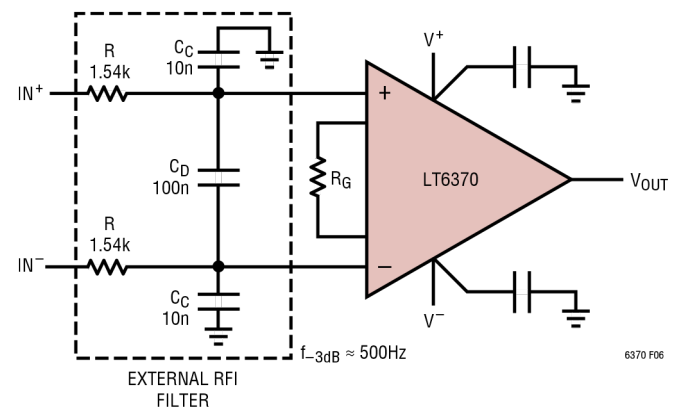


图 10. 在仪表放大器的输入端添加一个简单的外部 RC 滤波器, 可以有效地进一步减少高频带外信号的整流效应。

为消除共模信号转换为差模信号的可能性, 每个输入端的共模低通滤波器的匹配精度应达到 1% 或更好。以下是帮助确定滤波器适当值的步骤:

1. 选择 R 和 C_D , 使低通极点至少比目标最高信号高 10 倍 (例如 500Hz 相对于 50Hz 信号), 使用下式:

$$\begin{aligned} \text{FilterFreq}_{\text{DIFF}} &= \frac{1}{2\pi R(2C_D + C_C)} \\ &= \frac{1}{2\pi R(2C_D + 0.1C_D)} \\ &= \frac{1}{4.2\pi RC_D} \end{aligned}$$

2. 选择 $C_C = C_D/10$ 。

应用信息

如果采用这种方式实现, 则共模极点频率将比差模极点频率高出约 20 倍。这是图 10 所示值对应的差模和共模低通极点频率:

$\text{FilterFreq}_{\text{DIFF}} = 500\text{Hz}$

$\text{FilterFreq}_{\text{CM}} = 10\text{kHz}$

误差预算分析

LT6370 的性能优于竞品单片仪表放大器。图 11 显示了一个典型的放大和缓冲桥式传感器差分输出的应用。该放大器的增益设置为 100, 在工业温度范围内放大 20mV 的差分满量程传感器输出电压。LT6370 与其他单片仪表放大器进行了比较。可以看出, LT6370 的性能优于其他仪表放大器。表 2 中的误差预算比较显示了如何

计算各种误差, 以及每个误差如何影响总误差预算。下表显示了该器件在低失调电压、低失调电压漂移和低增益漂移方面的明显优势。

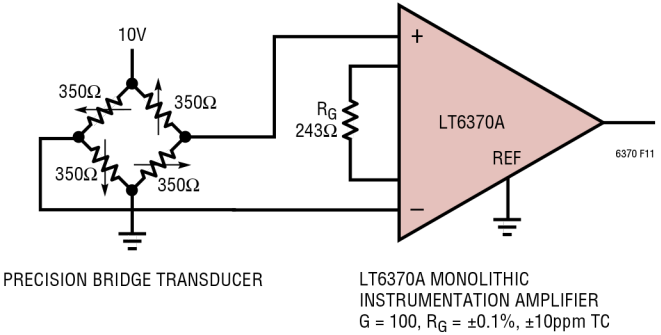


图 11. 精密桥式放大器

表 2. 误差预算比较

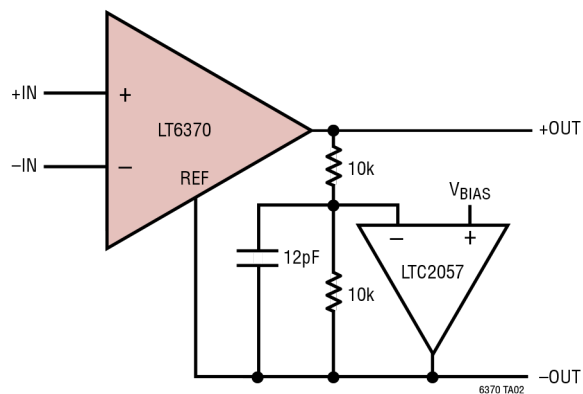
误差源		计算	误差, 满量程的 ppm						
			LT6370A	IA1	IA2	IA3	IA4	IA5	IA6
T _A = 25 °C 时的绝对精度									
增益误差, %	增益误差 (%) • 10k + 1000	1800	2500	2500	2000	6000	2500	1800	
输入失调电压, μV	V _{OSI} /20mV	1250	6250	1250	3500	2500	7500	3000	
输出失调电压, μV	[V _{OSO} /100]/20mV	83	500	100	300	250	350	150	
输入失调电流, nA	[(I _{OS})(350)/2]/20mV	6.1	18	3.5	17.5	43.75	43.75	4	
CMRR, dB	[(CMRR, 以 ppm 为单位)(5V)/20mV	125	791	79	158	250	250	790	
总精度误差			3264.1	10059	3932.5	5975.5	9043.75	10643.75	5744
到 85°C 的漂移									
增益漂移, ppm/°C	(增益漂移 + 10ppm)(60°C)	2400	3600	3600	5400	6600	2700	3600	
输入失调电压漂移, μV/°C	[(V _{OSI} 漂移)(60°C)]/20mV	900	3000	900	2700	1500	6000	1200	
输出失调电压漂移, μV/°C	[(V _{OSO} 漂移)(60°C)]/100/20mV	45	450	150	270	600	300	180	
总漂移误差			3345	7050	4650	8370	8700	9000	4980
分辨率									
增益非线性, 满量程的 ppm		30	40	15	10	20	5	15	
0.1Hz 至 10Hz 典型电压噪声, μV _{P-P}	(0.1Hz 至 10Hz 噪声)/20mV	10	14	12.5	3.5	10	26	14	
总分辨率误差			40	54	27.5	13.5	30	31	29
总误差			6649.1	17163	8610	14359	17773.8	19674.8	10753

G = 100

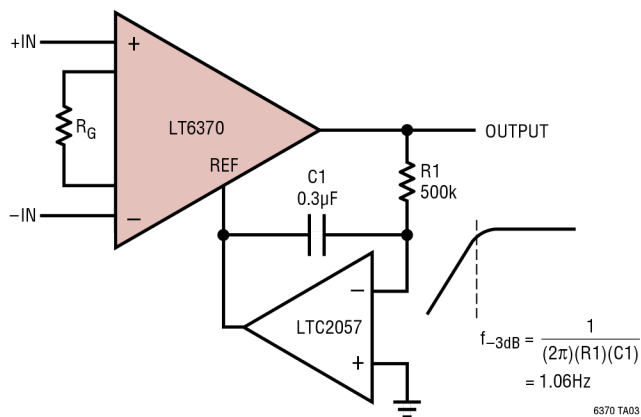
所有误差均为最小值/最大值, 并折合到输入端。

典型应用

差分输出仪表放大器

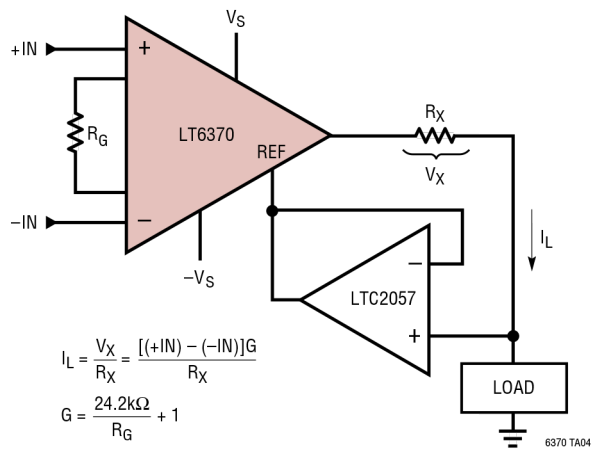


交流耦合仪表放大器

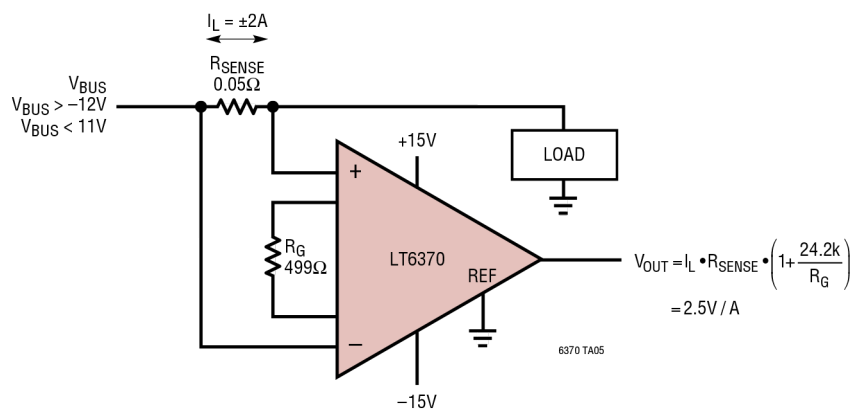


典型应用

精密电压电流转换器



高端双向电流检测

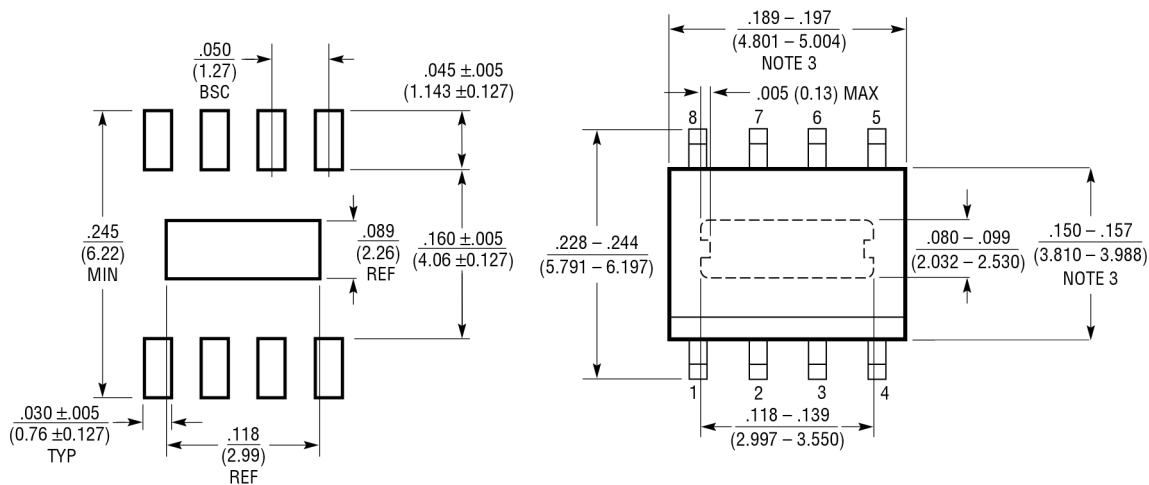


封装说明

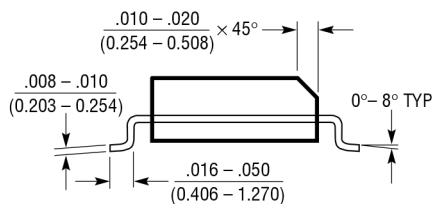
S8E 封装

8 引脚塑料 SOIC (窄体, 150 英寸) 裸露焊盘

(参考 LTC DWG # 05-08-1857 Rev C)



RECOMMENDED SOLDER PAD LAYOUT



NOTE:

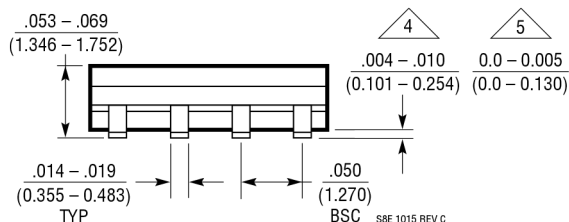
1. DIMENSIONS IN INCHES
(MILLIMETERS)

2. DRAWING NOT TO SCALE

3. THESE DIMENSIONS DO NOT INCLUDE MOLD FLASH OR PROTRUSIONS.
MOLD FLASH OR PROTRUSIONS SHALL NOT EXCEED $.010''$ (0.254mm)

4. STANDARD LEAD STANDOFF IS 4mils TO 10mils (DATE CODE BEFORE 542)

5. LOWER LEAD STANDOFF IS 0mils TO 5mils (DATE CODE AFTER 542)



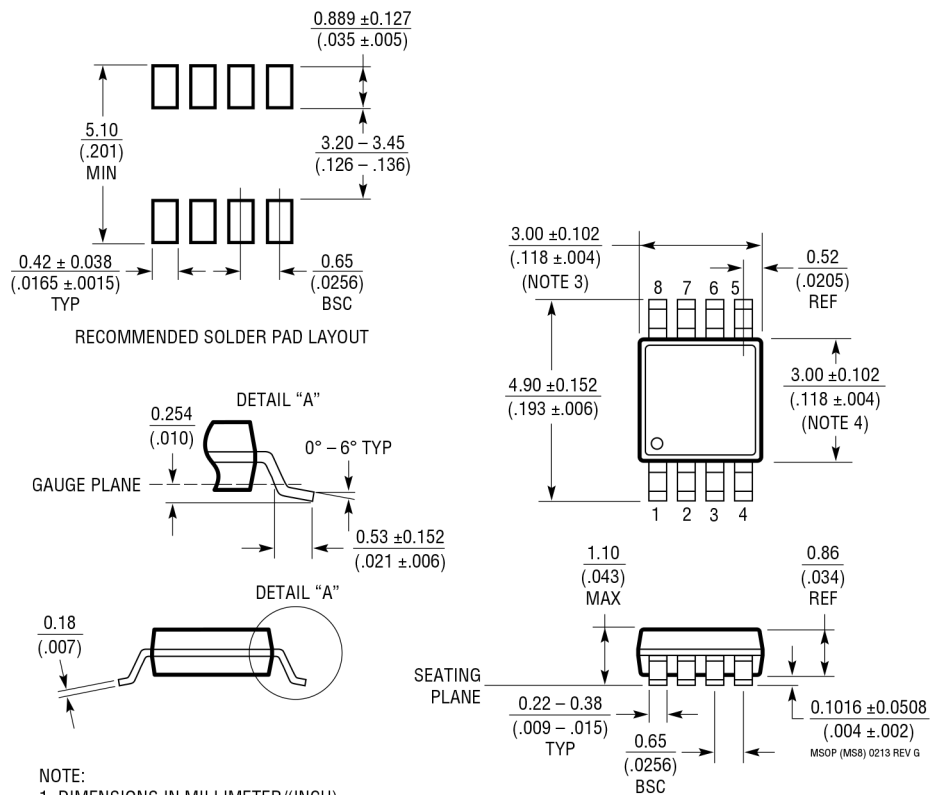
S8E 1015 REV C

封装说明

MS8 封装

8 引脚塑料 MSOP

(参考 LTC DWG # 05-08-1660 Rev G)



NOTE:

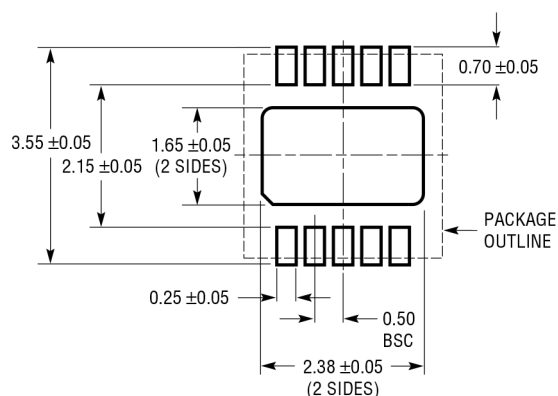
1. DIMENSIONS IN MILLIMETER/(INCH)
2. DRAWING NOT TO SCALE
3. DIMENSION DOES NOT INCLUDE MOLD FLASH, PROTRUSIONS OR GATE BURRS.
MOLD FLASH, PROTRUSIONS OR GATE BURRS SHALL NOT EXCEED 0.152mm (.006") PER SIDE
4. DIMENSION DOES NOT INCLUDE INTERLEAD FLASH OR PROTRUSIONS.
INTERLEAD FLASH OR PROTRUSIONS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

封装说明

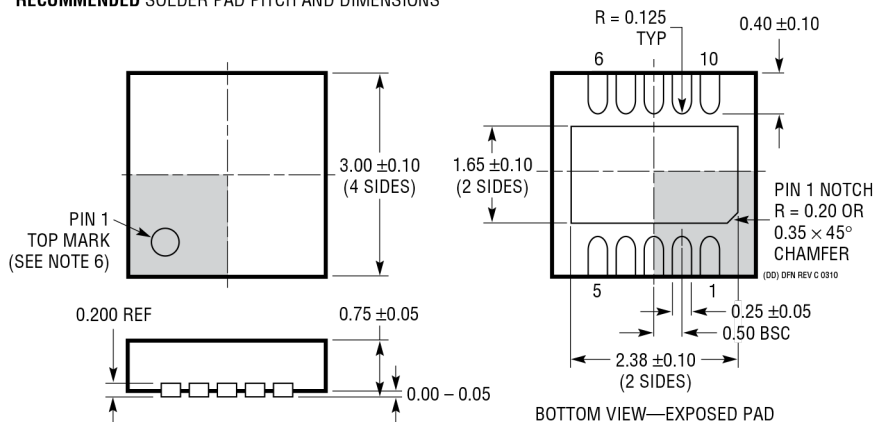
DD 封装

10 引脚塑料 DFN (3mm × 3mm)

(参考 LTC DWG # 05-08-1699 Rev C)



RECOMMENDED SOLDER PAD PITCH AND DIMENSIONS

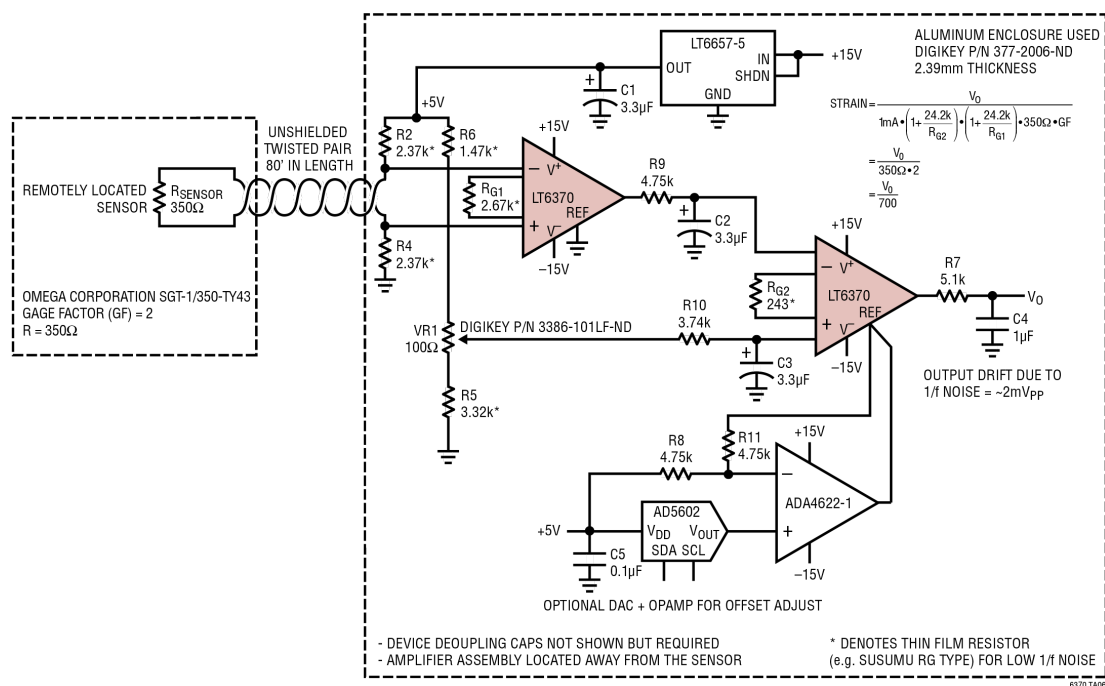


NOTE:

1. DRAWING TO BE MADE A JEDEC PACKAGE OUTLINE M0-229 VARIATION OF (WEED-2).
CHECK THE LTC WEBSITE DATA SHEET FOR CURRENT STATUS OF VARIATION ASSIGNMENT
2. DRAWING NOT TO SCALE
3. ALL DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
4. DIMENSIONS OF EXPOSED PAD ON BOTTOM OF PACKAGE DO NOT INCLUDE
MOLD FLASH. MOLD FLASH, IF PRESENT, SHALL NOT EXCEED 0.15mm ON ANY SIDE
5. EXPOSED PAD SHALL BE SOLDER PLATED
6. SHADED AREA IS ONLY A REFERENCE FOR PIN 1 LOCATION ON THE
TOP AND BOTTOM OF PACKAGE

典型应用

远程应变计放大器



相关器件

产品型号	说明	备注
仪表放大器		
AD8429	低噪声仪表放大器	$V_S = 36\text{V}$, $I_S = 6.7\text{mA}$, $V_{OS} = 50\mu\text{V}$, $BW = 15\text{MHz}$, $\text{eni} = 1\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$, $\text{eno} = 45\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$
LTC1100	零漂移仪表放大器	$V_S = 18\text{V}$, $I_S = 2.4\text{mA}$, $V_{OS} = 10\mu\text{V}$, $BW = 19\text{kHz}$, $1.9\mu\text{V}_{P-P}$ DC 至 10Hz
AD8421	低噪声仪表放大器	$V_S = 36\text{V}$, $I_S = 2\text{mA}$, $V_{OS} = 25\mu\text{V}$, $BW = 10\text{MHz}$, $\text{eni} = 3\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$, $\text{eno} = 60\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$
AD8221	低功耗仪表放大器	$V_S = 36\text{V}$, $I_S = 900\mu\text{A}$, $V_{OS} = 25\mu\text{V}$, $BW = 825\text{kHz}$, $\text{eni} = 8\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$, $\text{eno} = 75\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$
LT1167	仪表放大器	$V_S = 36\text{V}$, $I_S = 900\mu\text{A}$, $V_{OS} = 40\mu\text{V}$, $BW = 1\text{MHz}$, $\text{eni} = 7.5\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$, $\text{eno} = 67\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$
AD620	低功耗仪表放大器	$V_S = 36\text{V}$, $I_S = 900\mu\text{A}$, $V_{OS} = 50\mu\text{V}$, $BW = 1\text{MHz}$, $\text{eni} = 9\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$, $\text{eno} = 72\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$
LTC6800	RRIO 仪表放大器	$V_S = 5.5\text{V}$, $I_S = 800\mu\text{A}$, $V_{OS} = 100\mu\text{V}$, $BW = 200\text{kHz}$, $2.5\mu\text{V}_{P-P}$ DC 至 10Hz
LTC2053	零漂移仪表放大器	$V_S = 11\text{V}$, $I_S = 750\mu\text{A}$, $V_{OS} = 10\mu\text{V}$, $BW = 200\text{kHz}$, $2.5\mu\text{V}_{P-P}$ DC 至 10Hz
LT1168	低功耗仪表放大器	$V_S = 36\text{V}$, $I_S = 350\mu\text{A}$, $V_{OS} = 40\mu\text{V}$, $BW = 400\text{kHz}$, $\text{eni} = 10\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$, $\text{eno} = 165\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$
运算放大器		
LTC2057	40V 零漂移运算放大器	$V_{OS} = 4\mu\text{V}$, 漂移 = $15\text{nV}/^\circ\text{C}$, $I_B = 200\text{pA}$, $I_S = 900\mu\text{A}$
模数转换器		
LTC2389-18	18 位 SAR ADC	2.5Msps, 99.8dB SNR, 162.5mW
LTC2369-18	18 位 SAR ADC	1.6Msps, 96.5dB SNR, 18mW

