

特征

- 极低噪声：129nVpp, 3.5nV/√Hz
- 低输入偏置电流：最大值为 7.5nA
- 低失调电压：最大值为 65.2μV
- 低供电电流：典型值为 3.5mA（每个放大器）
- 双电源供电：±5V~±15V
- 宽带宽：7.2MHz
- 高开环增益：> 120dB
- 单位增益稳定
- 无反相
- SOP8 4.9mm × 3.9mm、MSOP8 3mm × 3mm 封装 (CM4402)
- SOP14 8.7mm × 3.9mm、TSSOP14 5mm × 4.4mm 封装 (CM4404)

应用

- PLL 滤波器
- 精密滤波器
- 医疗与分析仪器
- 精密电源控制
- 自动测试设备
- 精密控制系统
- 专业级音频设备

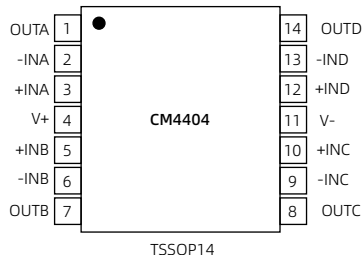
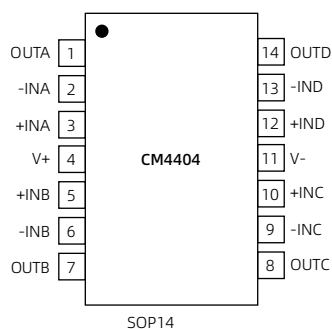
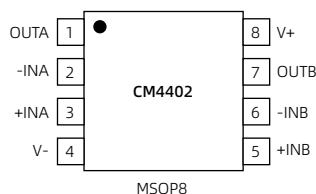
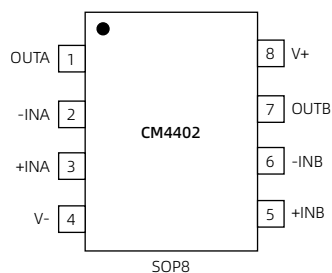
概述

CM4402/CM4404 是双通道/四通道高精度运算放大器，具有极低失调电压、极低温漂、低输入偏置电流、高速、极低噪声等特性。

CM4402/CM4404 驱动 1000pF 以下容性负载时可保持稳定。当电源电压为 30V 时，每个放大器的电源电流低于 3.5mA。

CM4402 采用 SOP8 和 MSOP8 型封装，CM4404 采用 SOP14 和 TSSOP14 型封装，其额定工作温度范围为 -40°C~125°C。

管脚配置



目录

封页.....	1	输出反相.....	16
特征.....	1	总谐波失真和噪声.....	16
应用.....	1	单位增益缓冲器.....	16
概述.....	1	功耗计算.....	17
管脚配置.....	1	驱动容性负载.....	17
文档历史.....	3	封装及订购信息.....	18
绝对最大额定值.....	4	封装形式.....	18
电气规格.....	5	产品外形图.....	18
典型特征.....	9	CM4402.....	18
工作原理.....	16	CM4404.....	21
总噪声-含源电阻.....	16	订购信息.....	23

文档历史

下表列举了本文档自产品发布后的所有更新。

文档版本	修订日期	内容描述
V0.1	2025-04-14	预发布。
V0.5	2025-08-28	<ul style="list-style-type: none">根据实验室数据更新电气规格。新增典型特征图。

绝对最大额定值

参数	等级
温度	
工作温度	-40°C~125°C
存储温度	-65°C~150°C
结温	-65°C~150°C
耐压	
电源电压	36V
共模输入电压	$V_S \sim V_{S+}$
差分输入电压	$\pm 0.7V$

电气规格

默认测试条件： $V_S = \pm 5V$ 、 $V_{CM} = 0V$ 、 $T_A = 25^\circ C$ 。

参数	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
输入特征					
失调电压		-18	65		μV
	$T_A = -40^\circ C \sim 125^\circ C$	-20	65.2		μV
失调电压温漂		0.2			$\mu V/^\circ C$
输入偏置电流		0.25			nA
	$T_A = -40^\circ C \sim 125^\circ C$	3.5	7.5		nA
输入失调电流		0.5			nA
	$T_A = -40^\circ C \sim 125^\circ C$	-4.5	3.5		nA
输入电压范围		-2.5	2.5		V
CMRR	$V_{CM} = -2.5V \sim 2.5V$	116			dB
	$V_{CM} = -2.5V \sim 2.5V$, $T_A = -40^\circ C \sim 125^\circ C$	115			dB
大信号电压增益	$R_L = 2k\Omega$, $V_O = -3V \sim 3V$	134			V/mV
	$R_L = 2k\Omega$, $V_O = -3V \sim 3V$, $T_A = -40^\circ C \sim 125^\circ C$	135		153	V/mV
输入电容	共模	2			pF
	差模	3.5			pF
输入阻抗	共模	220			G Ω
	差模	0.06			M Ω
输出特征					
V_{OH}	$R_L = 600\Omega$	4.95			V
	$R_L = 2k\Omega$, $T_A = -40^\circ C \sim 125^\circ C$	4.85			V
V_{OL}	$R_L = 600\Omega$	-4.95			V
	$R_L = 2k\Omega$, $T_A = -40^\circ C \sim 125^\circ C$	-4.88			V
短电路电流		± 40			mA
电源					
PSRR	CM4402, $V_S = \pm 4V \sim \pm 18V$	122			dB
	CM4404, $V_S = \pm 4V \sim \pm 18V$	115			dB
电源电流（每个放大器）	$V_O = 0V$	3.5			mA
	$T_A = -40^\circ C \sim 125^\circ C$	4.8			mA
动态性能					
压摆率	$R_L = 2k\Omega$	5			V/ μs
建立时间	建立到 0.1%, 4V 阶跃, $G = 1$	1.1			μs
	建立到 0.01%, 4V 阶跃, $G = 1$	1.2			μs

参数	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
增益带宽积			7.2		MHz
噪声性能					
峰峰电压噪声	0.1Hz~10Hz		129		nVpp
电压噪声密度	1kHz		3.5		nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$
电流噪声密度	1kHz		0.4		pA/ $\sqrt{\text{Hz}}$
通道隔离度	1kHz		-140		dB
	10kHz		-123		dB

默认测试条件： $V_S = \pm 15V$ 、 $V_{CM} = 0V$ 、 $T_A = 25^\circ C$ 。

参数	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
输入特征					
失调电压		-35	52		μV
	$T_A = -40^\circ C \sim 125^\circ C$	-36	52.2		μV
失调电压温漂	$T_A = -40^\circ C \sim 125^\circ C$	0.2			$\mu V/^\circ C$
输入偏置电流		0.1			nA
	$T_A = -40^\circ C \sim 125^\circ C$	4	7		
输入失调电流		0.3			nA
	$T_A = -40^\circ C \sim 125^\circ C$	-4.5		3	nA
输入电压范围		-12		12	V
CMRR	$V_{CM} = -12V \sim 12V$		116		dB
	$V_{CM} = -12V \sim 12V$, $T_A = -40^\circ C \sim 125^\circ C$		115		
大信号电压增益	$R_L = 2k\Omega$, $V_O = -10V \sim 10V$		135		V/mV
	$R_L = 2k\Omega$, $V_O = -10V \sim 10V$, $T_A = -40^\circ C \sim 125^\circ C$	137		150	
输入电容	共模		1.9		pF
	差模		3.5		pF
输入阻抗	共模		80		G Ω
	差模		0.06		M Ω
输出特征					
V_{OH}	$R_L = 2k\Omega$, $T_A = -40^\circ C \sim 125^\circ C$		14.8		V
	$R_L = 600\Omega$		14.5		V
V_{OL}	$R_L = 2k\Omega$, $T_A = -40^\circ C \sim 125^\circ C$		-14.9		V
	$R_L = 600\Omega$		-14.6		V
短电路电流			± 40		mA
电源					
PSRR	CM4402, $V_S = \pm 4V \sim \pm 18V$		122		dB
	CM4404, $V_S = \pm 4V \sim \pm 18V$	117		128	dB
电源电流（每个放大器）	$V_O = 0V$		4		mA
	$T_A = -40^\circ C \sim 125^\circ C$			5	mA
动态性能					
压摆率	$R_L = 2k\Omega$		6		V/ μs
建立时间	建立到 0.1%, 4V 阶跃, $G = 1$		0.83		μs
	建立到 0.01%, 4V 阶跃, $G = 1$		1		μs
增益带宽积			7.3		MHz
噪声性能					

参数	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
峰峰噪声	0.1Hz~10Hz		103		nVpp
电压噪声密度	1kHz		3.5		nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$
电流噪声密度	1kHz		0.38		pA/ $\sqrt{\text{Hz}}$
通道隔离度	1kHz		-130		dB
	10kHz		-121		dB

典型特征

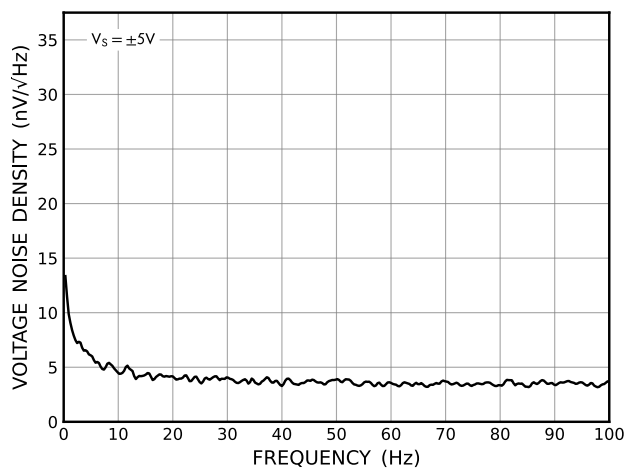


图 1 电压噪声密度(100Hz)

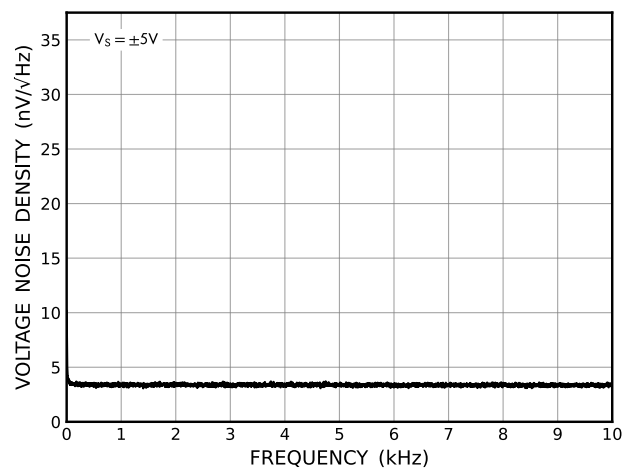


图 2 电压噪声密度(10kHz)

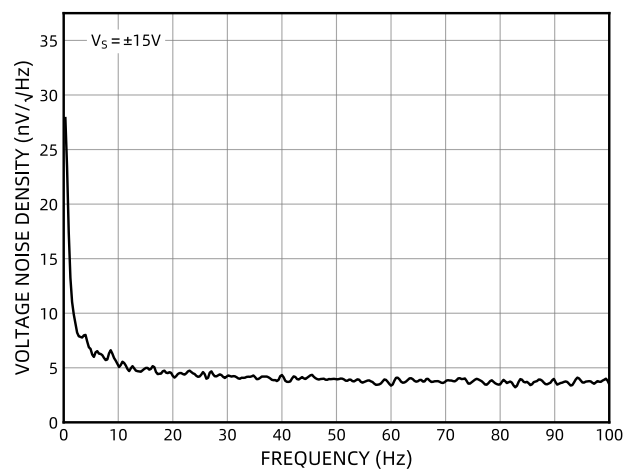


图 3 电压噪声密度(100Hz)

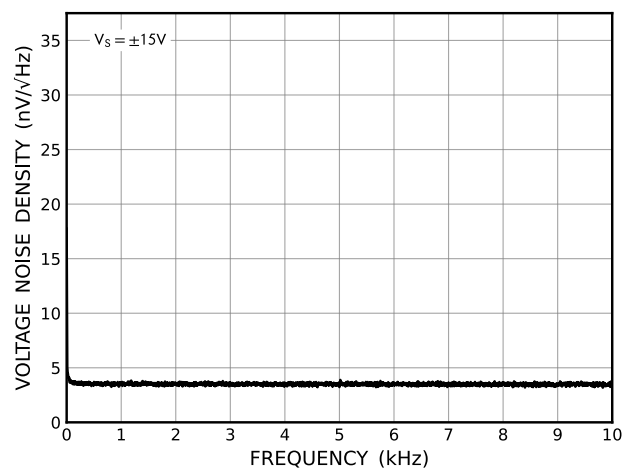


图 4 电压噪声密度(10kHz)

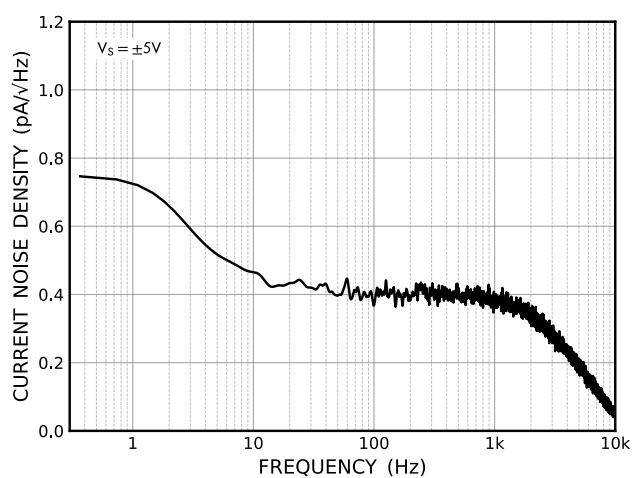


图 5 电流噪声密度

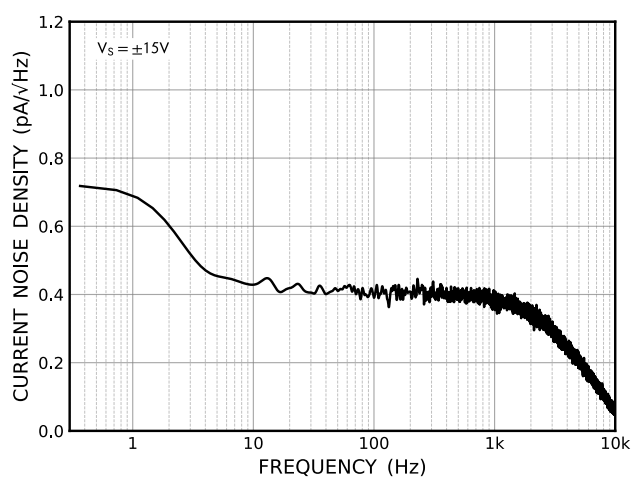


图 6 电流噪声密度

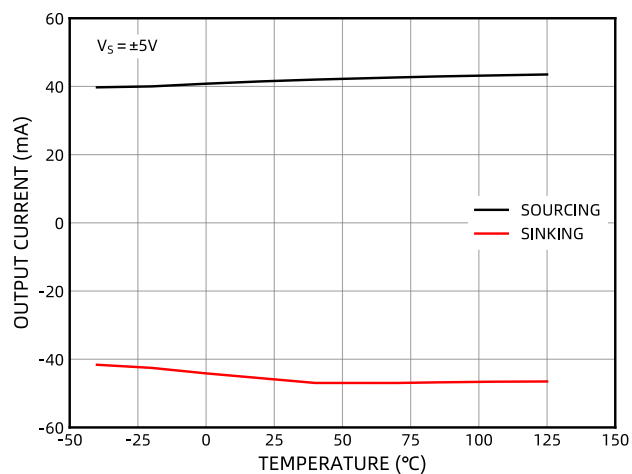


图 7 短电路电流的温度特性

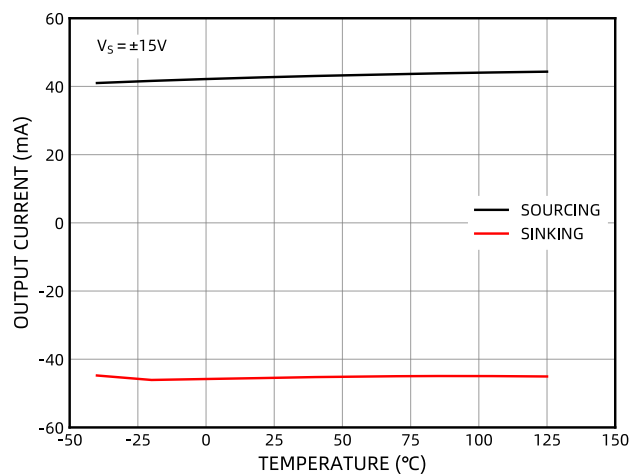


图 8 短电路电流的温度特性

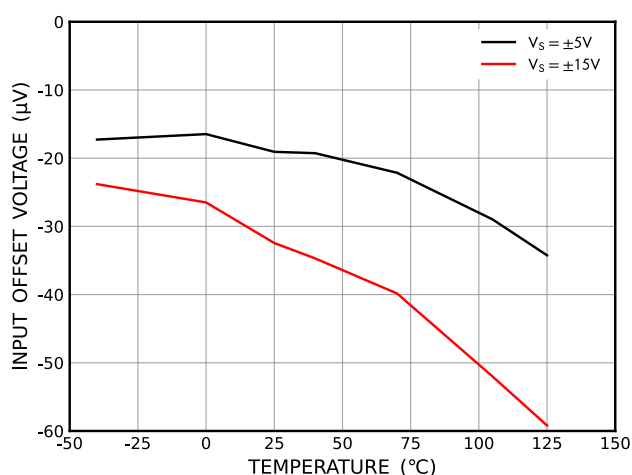


图 9 输入失调电压的温度特性

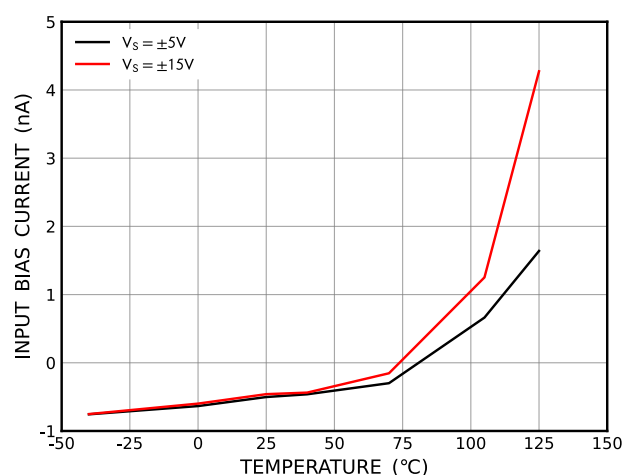


图 10 输入偏置电流的温度特性

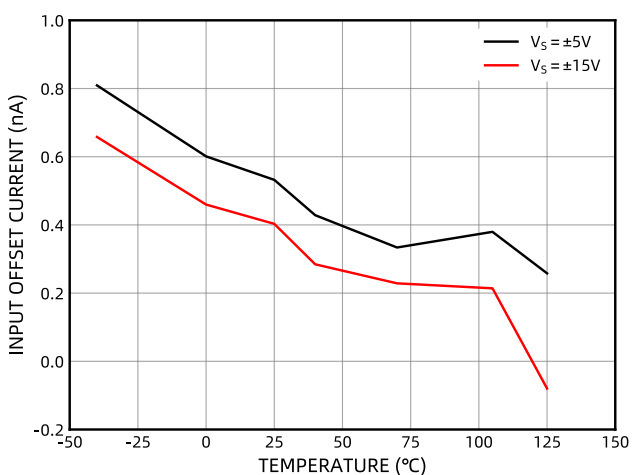


图 11 输入失调电流的温度特性

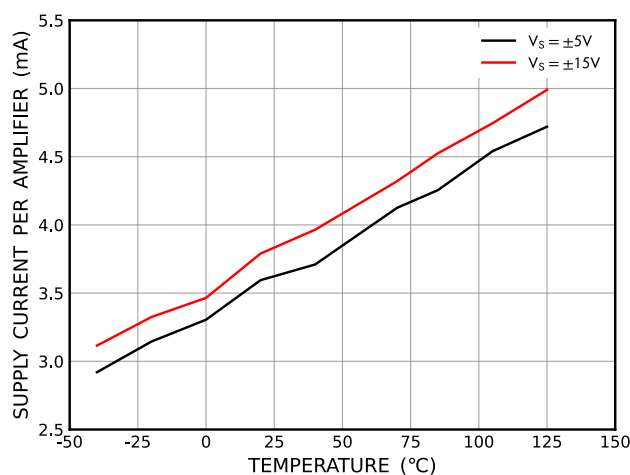


图 12 电源电流的温度特性

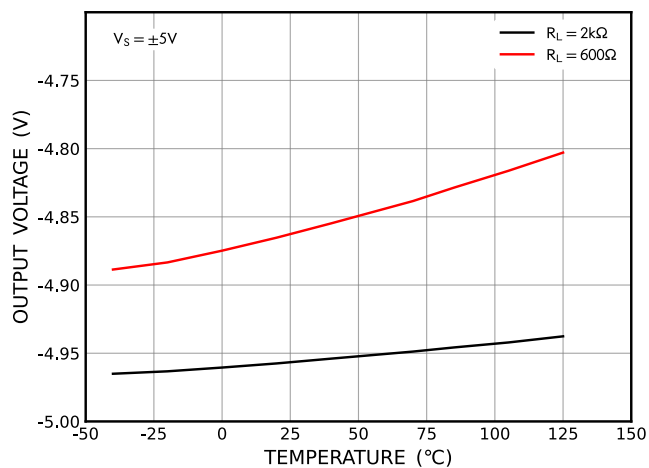


图 13 输出电压的温度特性

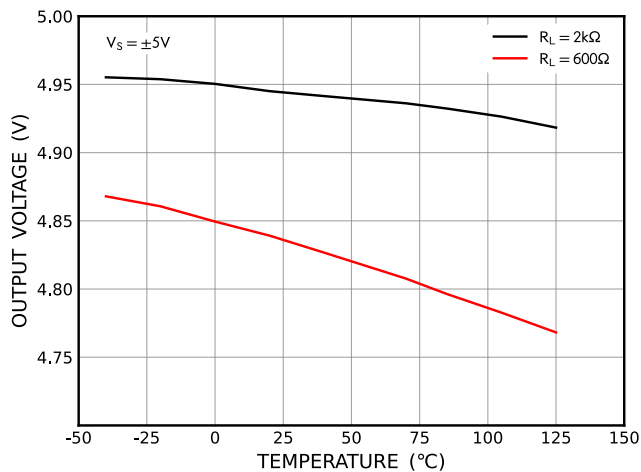


图 14 输出电压的温度特性

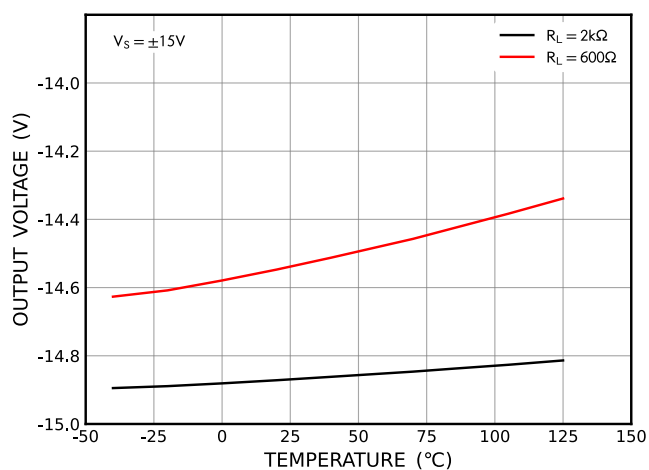


图 15 输出电压的温度特性

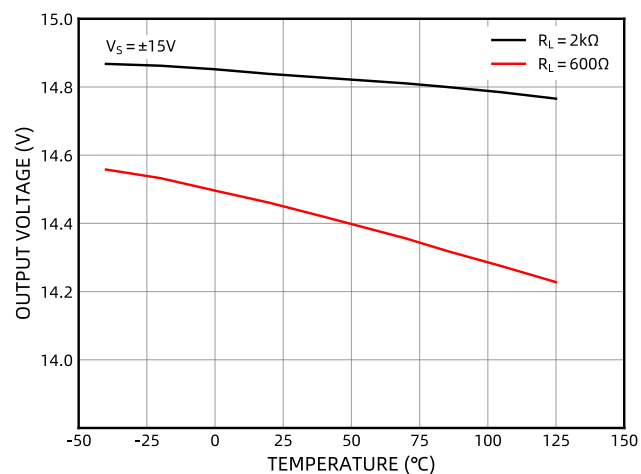


图 16 输出电压的温度特性

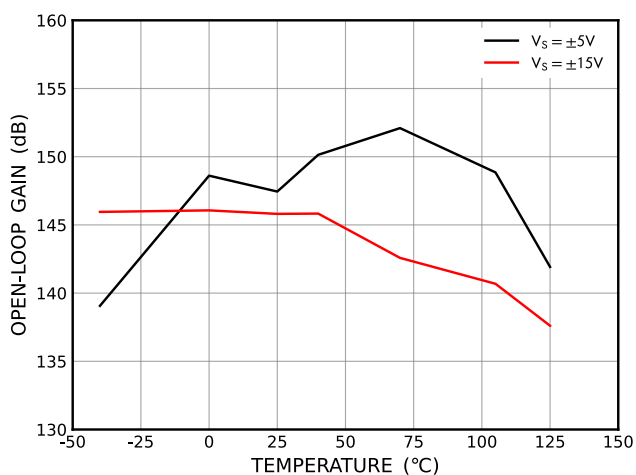


图 17 开环增益的温度特性

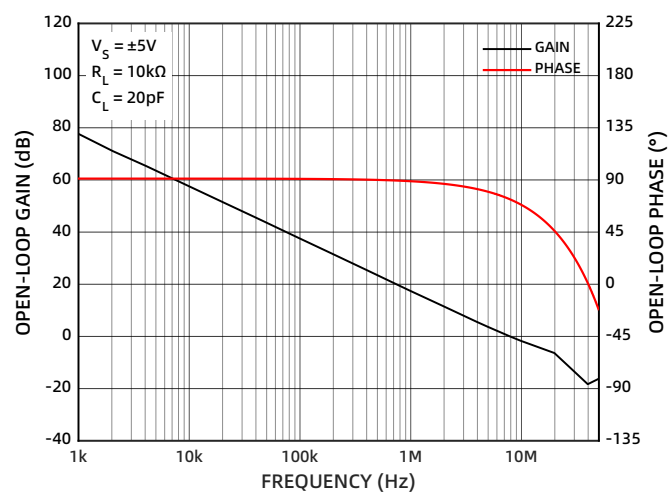


图 18 开环增益

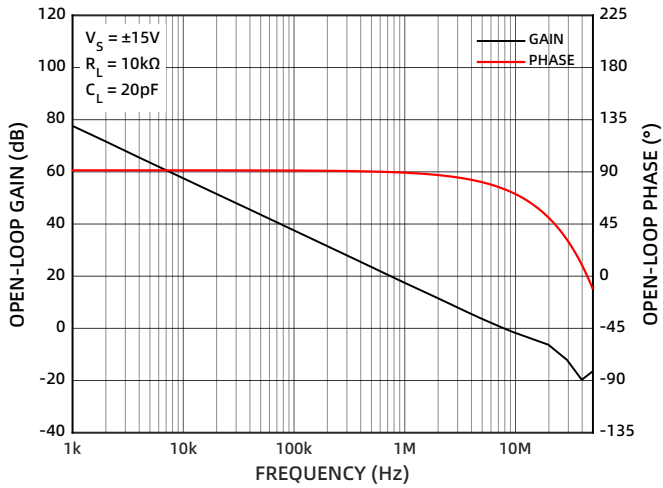


图 19 开环增益

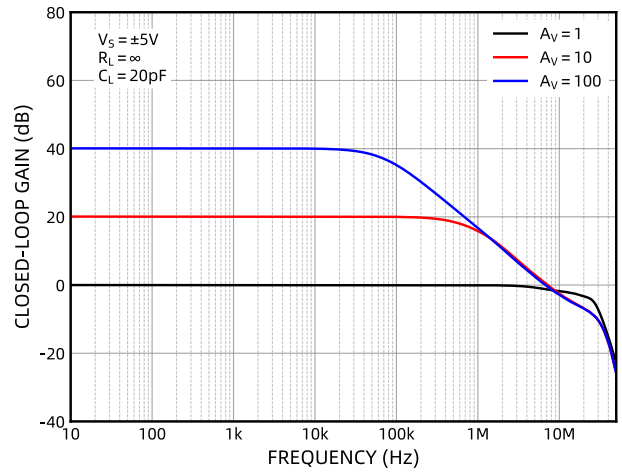


图 20 闭环增益

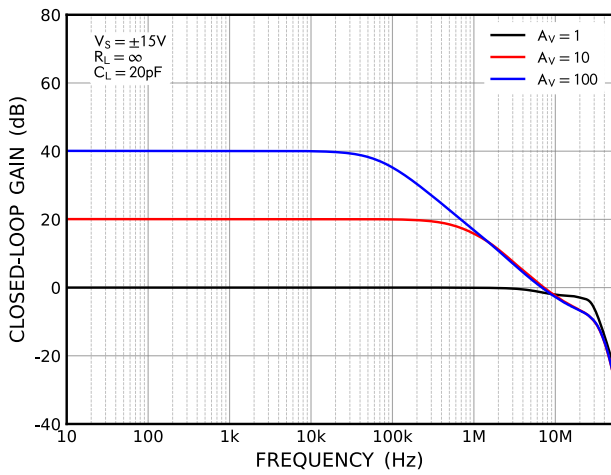


图 21 闭环增益

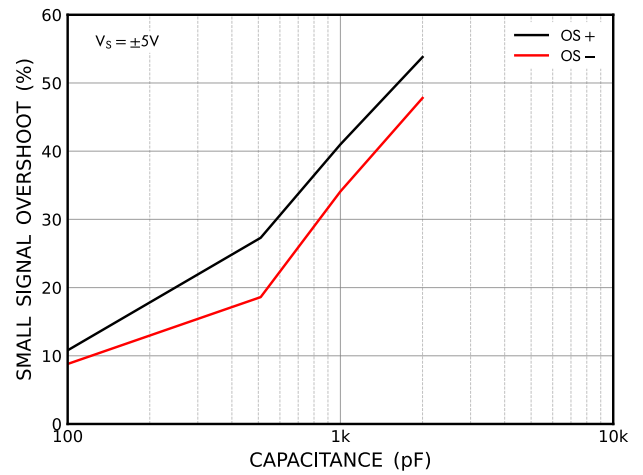


图 22 小信号过冲随负载电容的变化

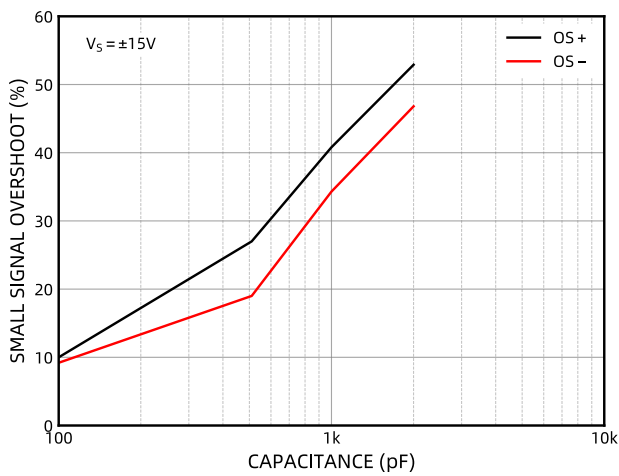


图 23 小信号过冲随负载电容的变化

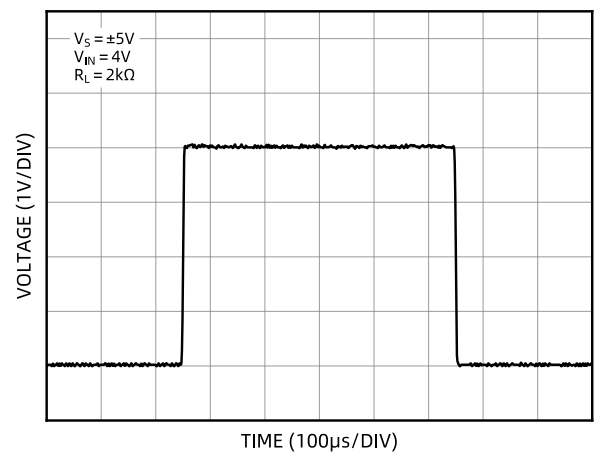


图 24 大信号瞬态响应

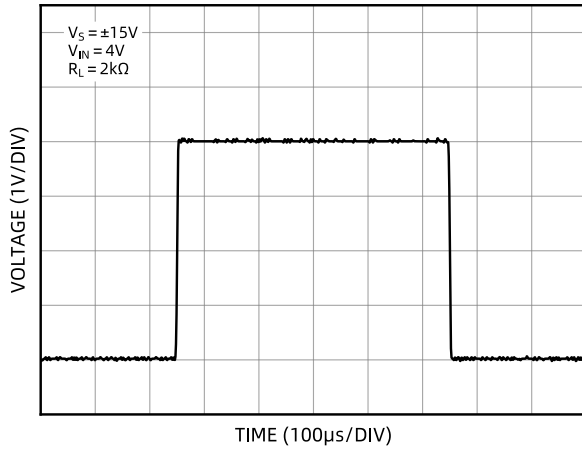


图 25 大信号瞬态响应

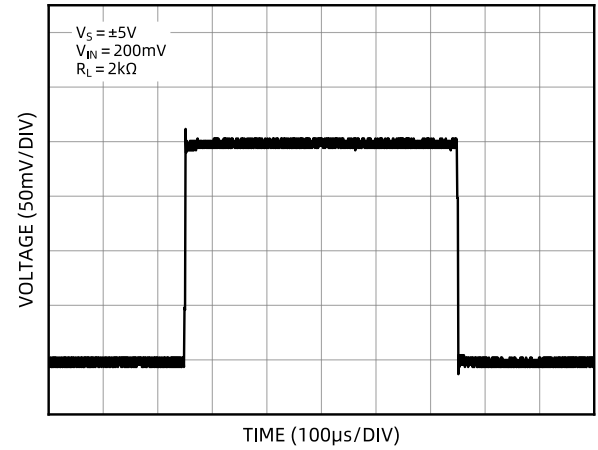


图 26 小信号瞬态响应

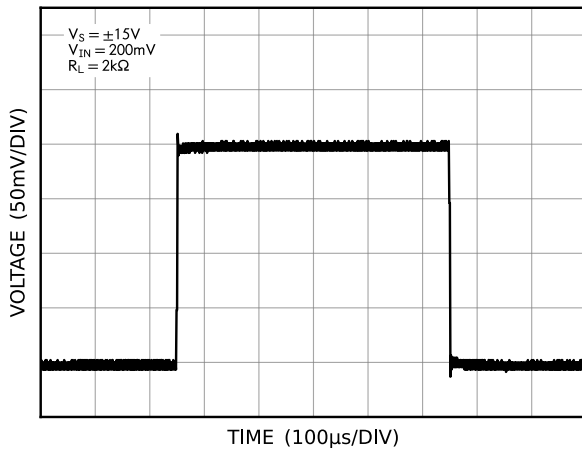


图 27 小信号瞬态响应

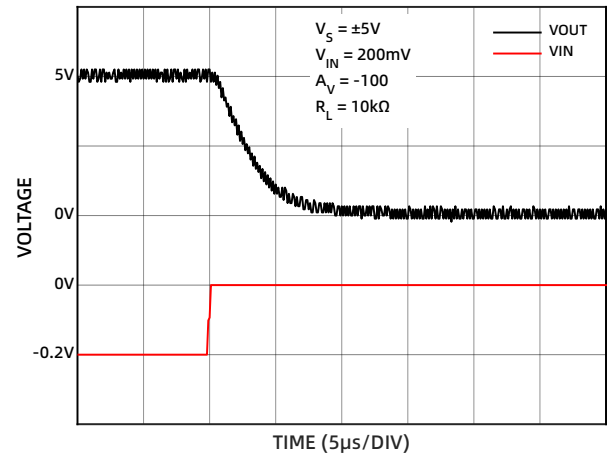


图 28 正向过驱动恢复

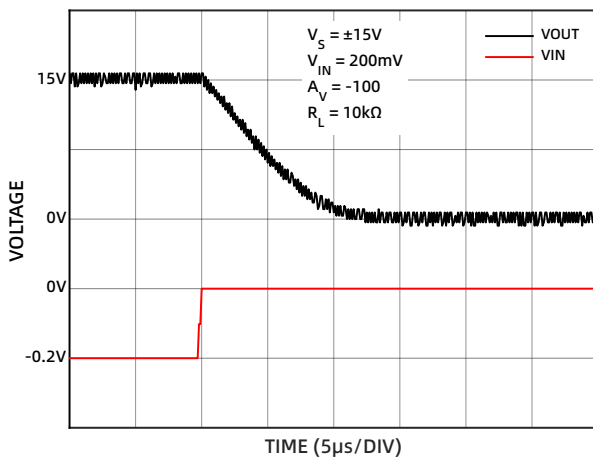


图 29 正向过驱动恢复

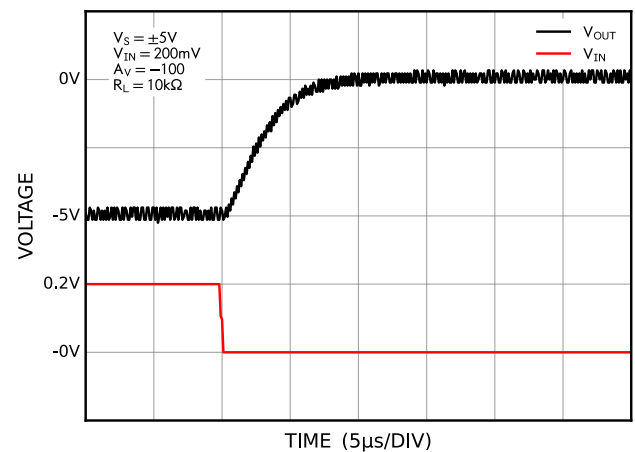


图 30 负向过驱动恢复

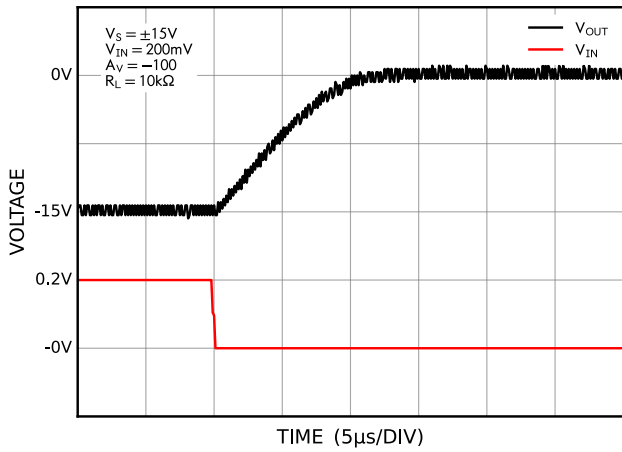


图 31 负向过驱动恢复

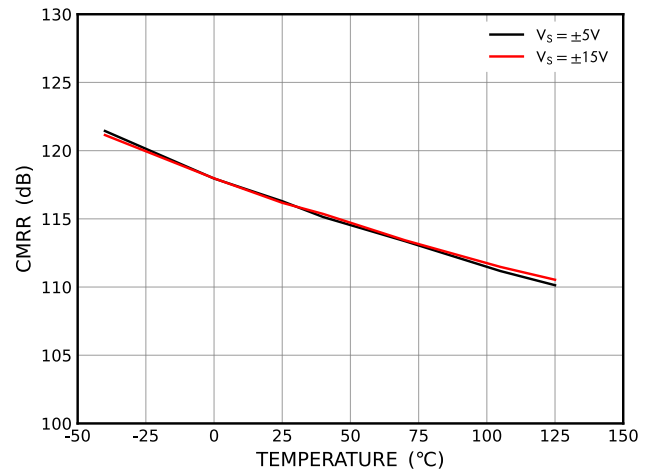


图 32 CMRR

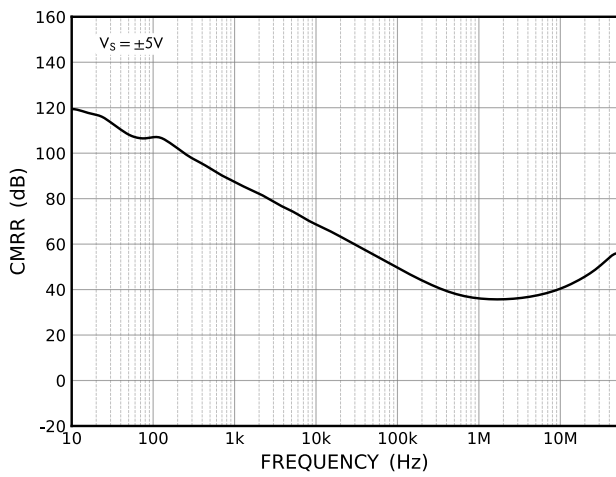


图 33 CMRR

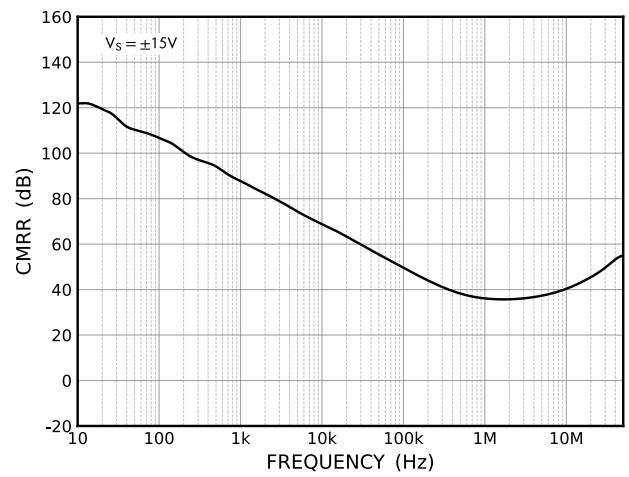


图 34 CMRR

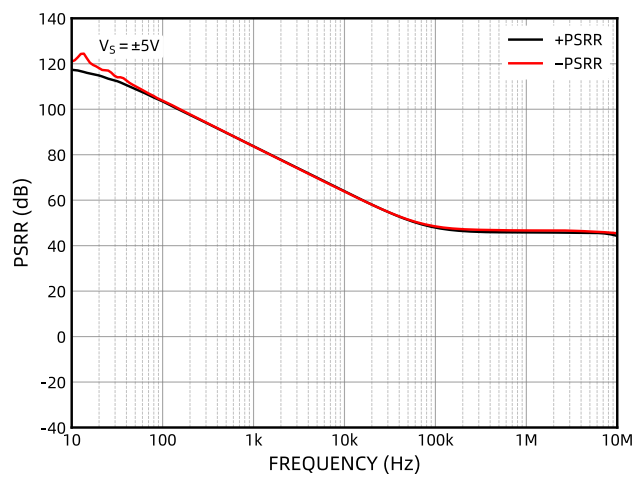


图 35 PSRR

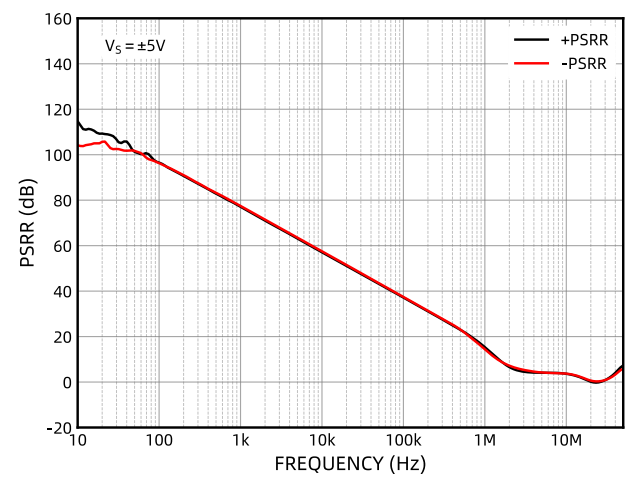


图 36 PSRR

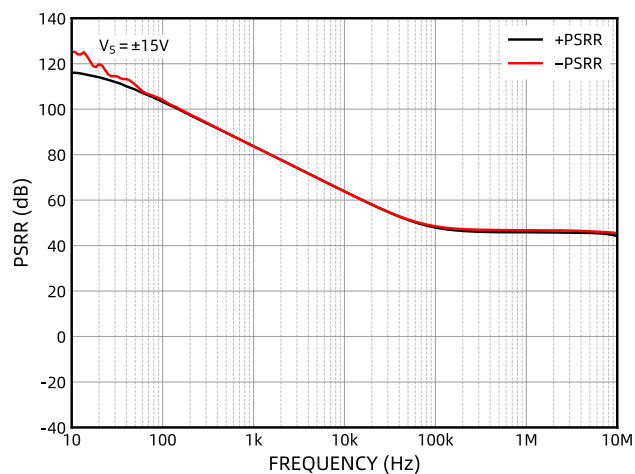


图 37 PSRR

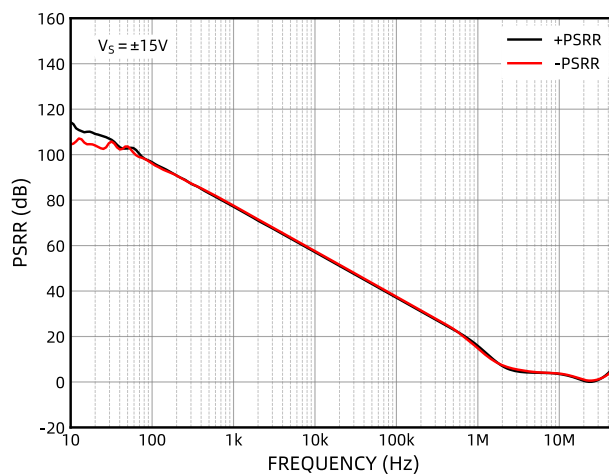


图 38 PSRR

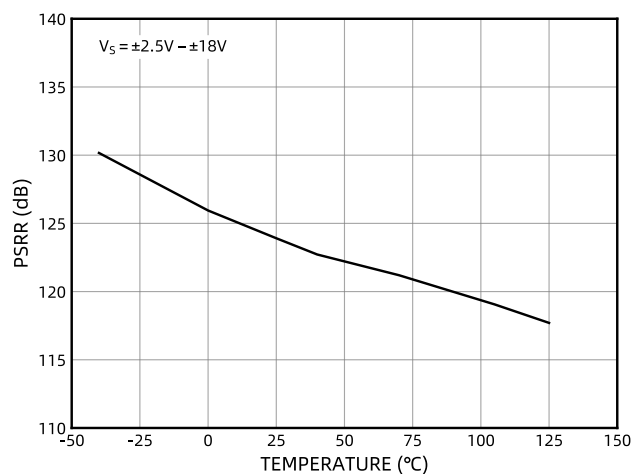


图 39 PSRR

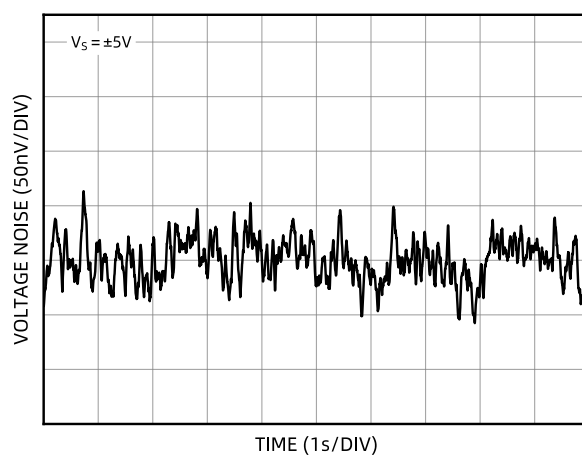


图 40 输入电压噪声

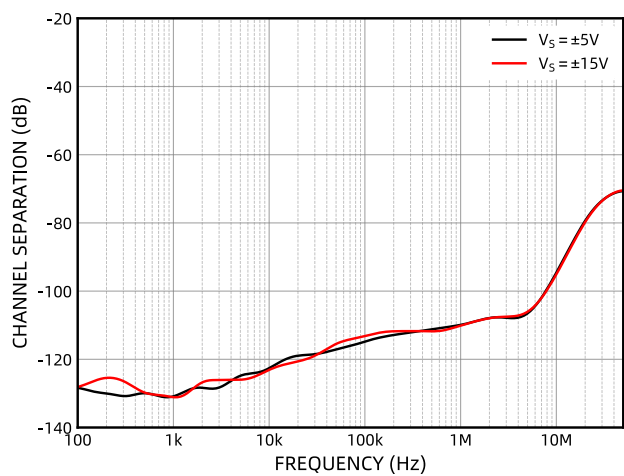


图 41 通道隔离度

工作原理

总噪声-含源电阻

CM4402/CM4404 的低输入噪声特性使其成为源内阻较低应用中的优良选择；同时，其低输入电流噪声特性使其也可应用于高源内阻的电路中。

实际应用中 CM4402/CM4404 的总输出噪声特性会随着闭环增益、源电阻等参数而改变，以单位增益缓冲器为例，CM4402/CM4404 的总噪声密度为：

$$e_{n,TOTAL} = \sqrt{e_n^2 + (i_n R_S)^2 + 4kTR_S}$$

其中：

- e_n 表示输入电压噪声密度。
- i_n 表示输入电流噪声密度。
- R_S 表示同相端的源电阻。
- k 表示玻尔兹曼常数 ($1.38 \times 10^{-23} \text{J/K}$)。
- T 为开尔文温度 ($T = 273 + \text{摄氏度温度}$)。

当 $R_S < 475\Omega$ 时， e_n 起支配作用：

$$e_{n,TOTAL} \approx e_n$$

当 $475\Omega < R_S < 412\text{k}\Omega$ 时，放大器的电压噪声、通过源电阻转换的放大器电流噪声以及源电阻产生的热噪声均对总噪声有重要贡献。

当 $R_S > 412\text{k}\Omega$ 时，电流噪声起支配作用：

$$e_{n,TOTAL} \approx i_n R_S$$

特定带宽上的等效总均方根噪声表示为：

$$e_n = (e_{n,TOTAL})\sqrt{BW}$$

其中 BW 为带宽（单位：Hz）。

以上分析在频率大于 50Hz 时有效。如果频率低于该值，则必须考虑闪烁噪声（也被称为 $1/f$ 噪声）。

输出反相

反相是指当输入电压超过电源电压时，放大器传递函数的极性发生变化。而对于 CM4402/CM4404，即使输入电压超过电源电压 1V，也不会发生反相现象。

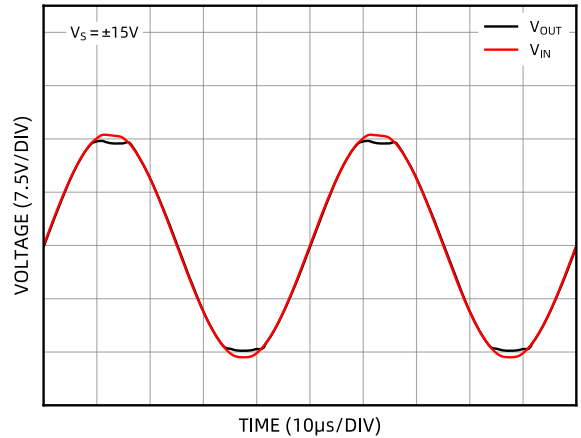


图 42 输出反相

总谐波失真和噪声

CM4402/CM4404 在整个音频频率范围内均可以表现出低总谐波失真，使其适用于高闭环增益应用场景，例如音频处理领域。图 43 显示在单位增益时，CM4402/CM4404 的失真约为 0.0006%。

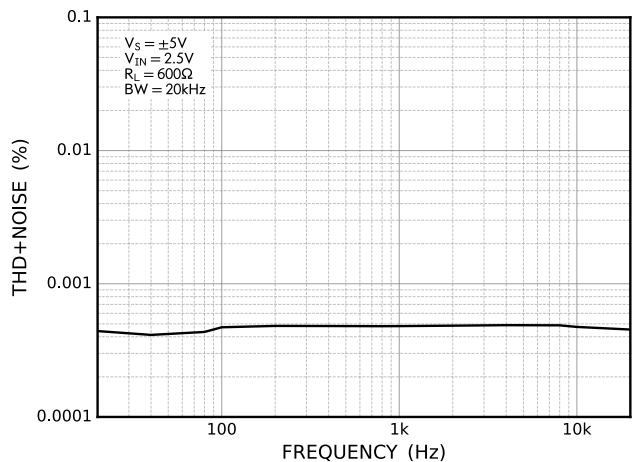


图 43 总谐波失真和噪声

单位增益缓冲器

当在放大器的正输入端施加大信号脉冲 ($> 1\text{V}$) 时，因为输入级采用了背靠背二极管作为保护器件，所以建议在反馈回路中使用至少 500Ω 的反馈电阻，以避免放大器对信号源产生负载效应。如果选用的反馈电阻较大，推荐在其两端并联一个小电容，以补偿由输入电容与反馈电阻共同引入的极点（频率响应极点）。图 44 展示了反馈电路中接入 $10\text{k}\Omega$ 电阻时的未补偿输出响应，以及通过 $C_f = 15\text{pF}$ 电容补偿后的响应曲线。

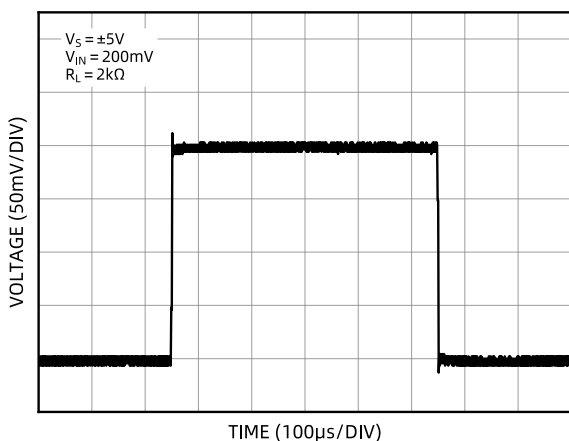


图 44 瞬态输出响应

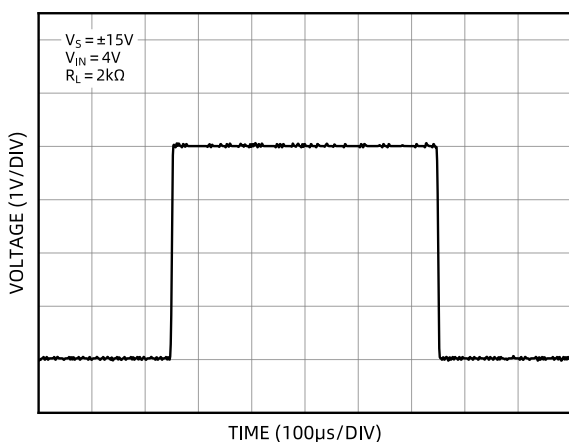


图 45 瞬态输出响应

功耗计算

为了在双极性运算放大器中实现低电压噪声，必须增大电流。发射极-基极的理论电压噪声约为：

$$e_n = 10^9 kT \sqrt{\frac{2}{qI_C}} \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$$

为实现 $2.6\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ 的超低电压噪声，其输入级电流相对于大部分同样增益带宽积的运算放大器更高。由于其电压噪声已低于较大阻值电阻的热噪声（例如， $1\text{k}\Omega$ 电阻在常温下的热噪声为 $4\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ ），因此，CM4402/CM4404 电路设计中需要尽量采用较低阻值电阻，其本身也应具有良好的驱动能力（例如驱动 600Ω 负载）。这意味着第二级和输出级也采用更高的偏置电流。最终，该单运算放大器的室温最大供电电流为 3.5mA 。

如果环境温度 $T_A = 50^\circ\text{C}$ ，供电电压 $= \pm 15\text{V}$ ，四个运放同时供电，总功耗计算公式为：

$$P_D = 30\text{V} \times 4.2\text{mA} \times 4 = 504\text{mW}$$

驱动容性负载

CM4402/CM4404 可驱动较大负载，且具有优异的稳定性。但当配置为单位增益时，若驱动较大负载，可能引发异常振铃或震荡现象。

若在低闭环增益或单位增益配置下使用更大负载，建议采用图 46 电路所示的外部补偿技术，以减少过冲并防止运算放大器自激振荡。该电路输出摆幅较低，优势在于输入信号和运算放大器噪声均被滤波，从而将整体输出噪声降至最低。

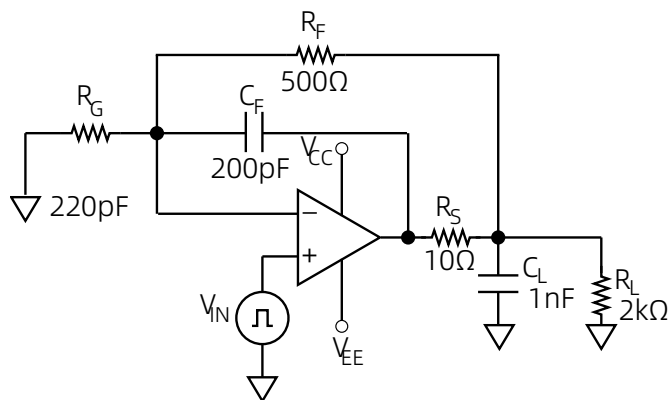


图 46 推荐容性负载电路

封装及订购信息

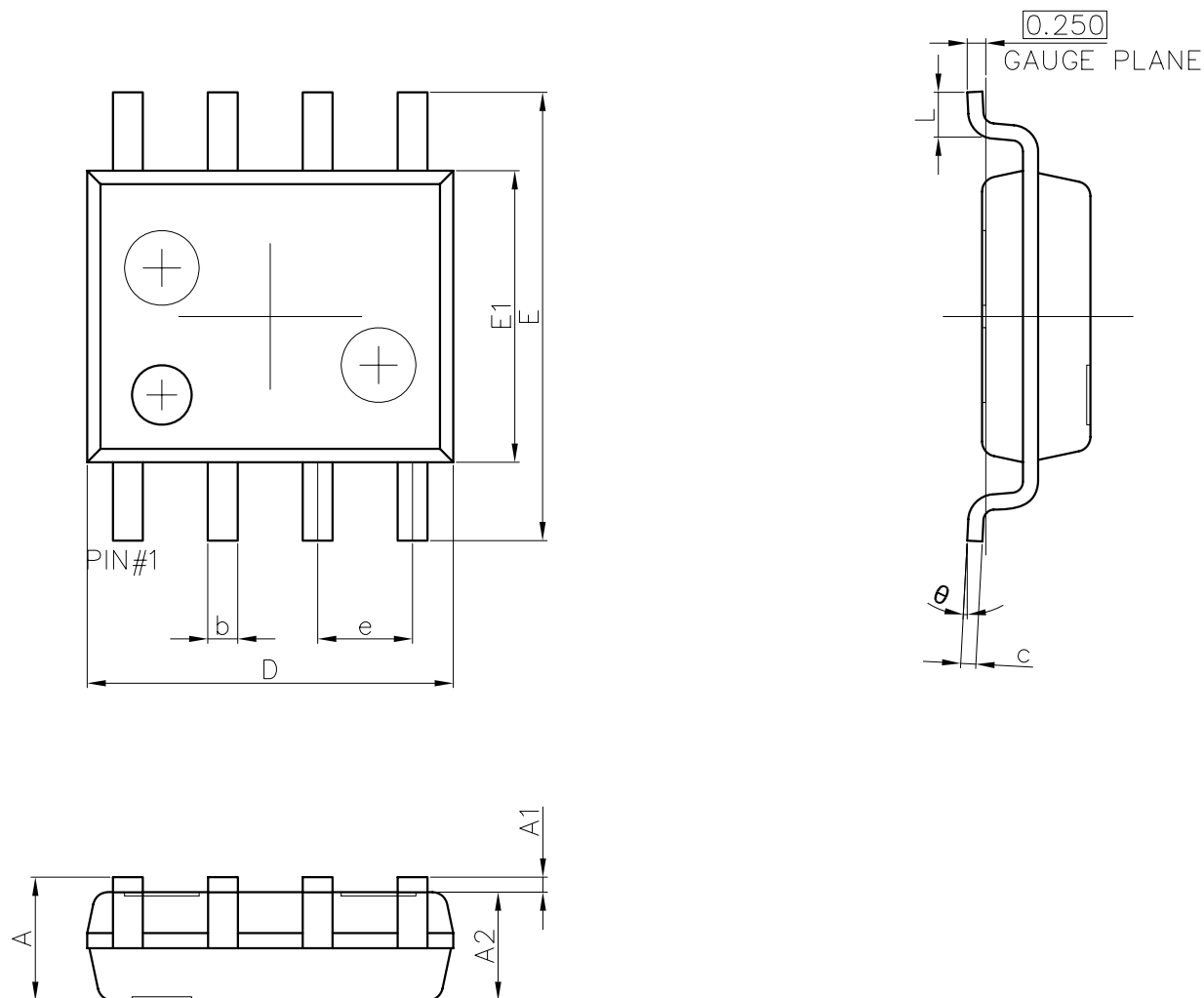
封装形式

CM4402 采用 SOP8 和 MSOP8 封装，而 CM4404 采用 SOP14 和 TSSOP14 封装。

产品外形图

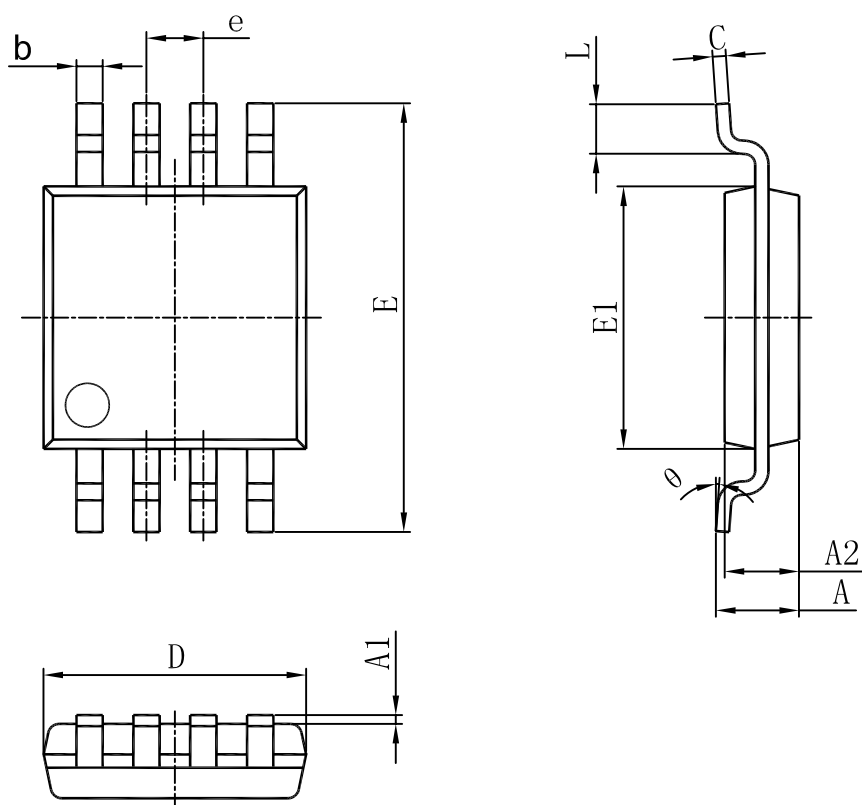
CM4402

SOP8



标识	尺寸 (毫米)		
	最小值	典型值	最大值
A	1.45	1.60	1.75
A1	0.10	0.18	0.25
A2	1.35	1.45	1.55
b	0.33	0.42	0.51
c	0.17	0.21	0.25
D	4.70	4.90	5.10
E	5.80	6.00	6.20
E1	3.80	3.90	4.00
e	1.27 (BSC)		
L	0.40	0.84	1.27
θ	0°	4°	8°

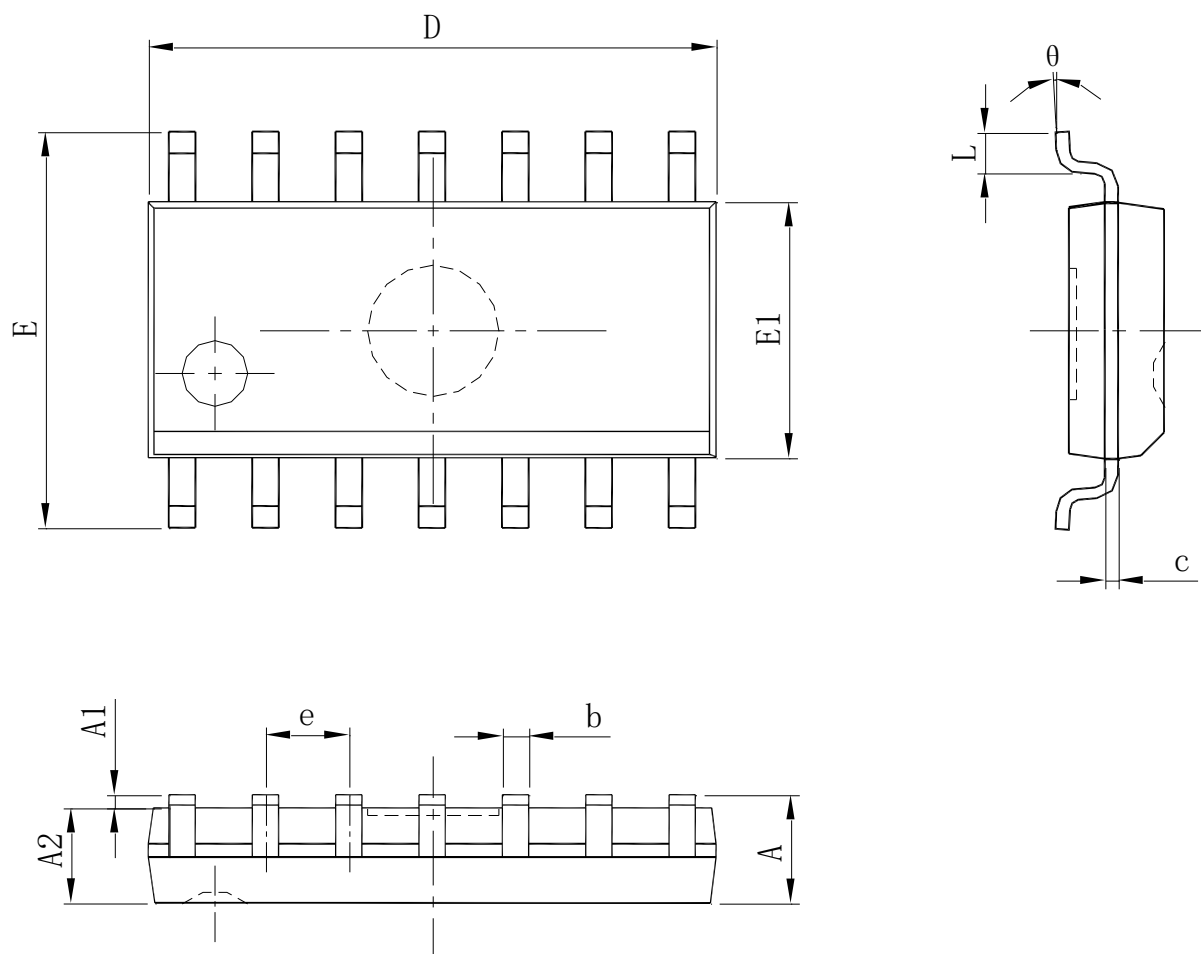
MSOP8



标识	尺寸 (毫米)		
	最小值	典型值	最大值
A	-	-	1.10
A1	0.02	0.09	0.15
A2	0.75	0.85	0.95
b	0.25	0.32	0.38
c	0.09	0.16	0.23
D	2.90	3.00	3.10
e	0.65 (BSC)		
E	4.75	4.90	5.05
E1	2.90	3.00	3.10
L	0.40	0.60	0.80
θ	0°	3°	6°

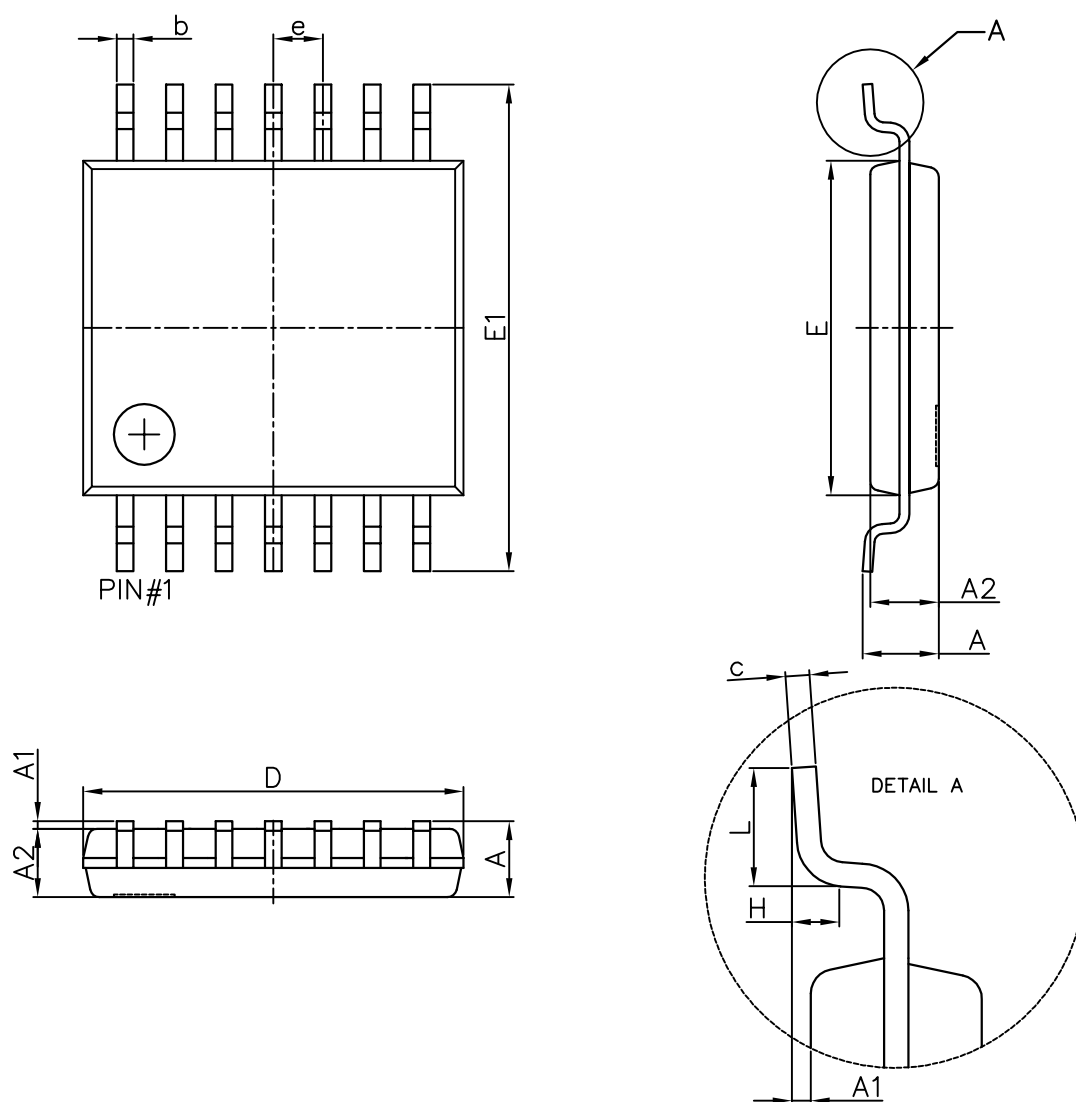
CM4404

SOP14



标识	尺寸 (毫米)		
	最小值	典型值	最大值
A	-	-	1.75
A1	0.10	0.18	0.25
A2	1.25	-	-
b	0.31	0.41	0.51
c	0.10	0.18	0.25
D	8.45	8.65	8.85
E	5.80	6.00	6.20
E1	3.80	3.90	4.00
e	1.27 (BSC)		
L	0.40	0.84	1.27
θ	0°	4°	8°

TSSOP14



标识	尺寸 (毫米)		
	最小值	典型值	最大值
A	-	1.20	-
A1	0.05	0.10	0.15
A2	0.80	0.90	1.00
b	0.19	0.25	0.30
c	0.09	0.15	0.20
D	4.90	5.00	5.10
E	4.30	4.40	4.50
E1	6.25	6.40	6.55
e	0.65 (BSC)		
L	0.50	0.60	0.70
θ	1°	4°	7°

订购信息

型号	温度范围	封装	包装	包装数量
CM4402-SOPTA	-40°C~125°C	SOP8	Reel	4000
CM4402-MSOTA	-40°C~125°C	MSOP8	Reel	5000
CM4404-SOPTA	-40°C~125°C	SOP14	Reel	4000
CM4404-TSSTA	-40°C~125°C	TSSOP14	Reel	4000