

精密、CMOS、单电源、轨到轨输入/输出、宽带运算放大器

概述

HT8601、HT8602 和 HT8604 分别是单通道、双通道和四通道、轨到轨输入和输出、单电源放大器，具有极低的失调电压和宽信号带宽。这些放大器采用新型专利微调技术，无需激光微调便可达到出色的性能。所有器件均可采用 3 V 至 5 V 单电源供电。低失调、极低的输入偏置电流和高速度特性相结合，使这些放大器适合各种应用。滤波器、积分器、二极管放大器、分流传感器和高阻抗传感器等器件均可受益于这些特性组合。宽带宽和低失真特性则有益于音频和其它交流应用。对于大部分成本敏感型应用，D 级可在较低的价格下提供一样的交流性能，但直流精度较低。这些放大器的具体应用包括：便携式设备的音频放大、便携式电话耳机、条形码扫描器、便携式仪器仪表、蜂窝 PA 控制以及多极滤波器。它还具有轨到轨输入与输出摆幅能力，因而设计人员可以在单电源系统中缓冲 CMOS ADC、DAC、ASIC 及其它宽输出摆幅器件。

产品特性

低失调电压：**500uV**(最大值) 单电源供电：**2.7 V 至 5.5 V**

低电源电流：每个放大器 **750uA** 带宽：**8 MHz**

压摆率：**5 V/s**

低失真

无相位反转

低输入电流

单位增益稳定

通过汽车应用认证

应用

电流检测

条形码扫描器

PA 控制

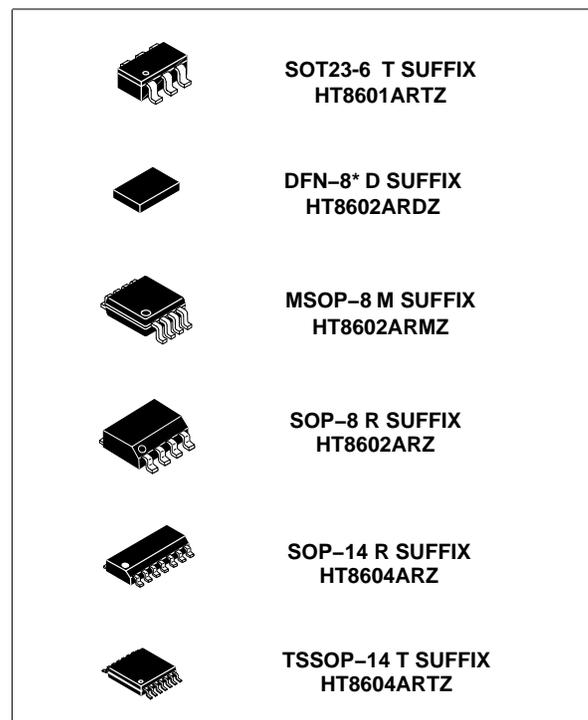
电池供电仪器仪表

多极滤波器

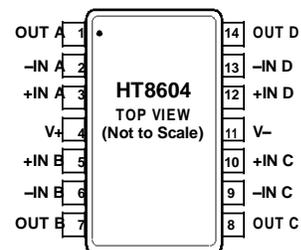
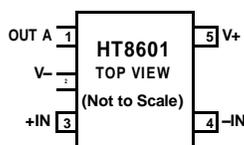
传感器

ASIC 输入或输出放大器

音频



引脚配置



技术规格

电气特性

除非另有说明, $V_S = 3\text{ V}$, $V_{CM} = V_S/2$, $T_A = 25\text{ }^\circ\text{C}$ 。

表 1.

参数	符号	条件	A 级			D 级			单位
			最小值	典型值	最大值	最小值	典型值	最大值	
输入特性									
失调电压(HT8601/HT8602)	V_{OS}	$0\text{ V} \leq V_{CM} \leq 1.3\text{ V}$ $-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq +85^\circ\text{C}$ $-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq +125^\circ\text{C}$	80	500		1100	6000	μV	
							7000	μV	
							7000	μV	
		$0\text{ V} \leq V_{CM} \leq 3\text{ V}^1$ $-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq +85^\circ\text{C}$ $-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq +125^\circ\text{C}$	350	750		1300	6000	μV	
							7000	μV	
							7000	μV	
失调电压(HT8604)	V_{OS}	$V_{CM} = 0\text{ V}$ 至 1.3 V $-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq +85^\circ\text{C}$ $-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq +125^\circ\text{C}$	80	600		1100	6000	μV	
							7000	μV	
							7000	μV	
		$V_{CM} = 0\text{ V}$ 至 3.0 V^1 $-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq +85^\circ\text{C}$ $-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq +125^\circ\text{C}$	350	800		1300	6000	μV	
							7000	μV	
							7000	μV	
输入偏置电流	I_B	$-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq +85^\circ\text{C}$ $-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq +125^\circ\text{C}$	0.2	60		0.2	200	pA	
			25	100		25	200	pA	
输入失调电流	I_{OS}	$-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq +125^\circ\text{C}$	150	1000		150	1000	pA	
		$-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq +85^\circ\text{C}$					100	pA	
		$-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq +125^\circ\text{C}$					500	pA	
输入电压范围			0	3		0	3	V	
共模抑制比	CMRR	$V_{CM} = 0\text{ V}$ 至 3 V	68	83		52	65	dB	
大信号电压增益	A_{VO}	$V_O = 0.5\text{ V}$ 至 2.5 V , $R_L = 2\text{ k}\Omega$, $V_{CM} = 0\text{ V}$	30	100		20	60	V/mV	
失调电压漂移	$\Delta V_{OS}/\Delta T$		2			2		$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$	
输出特性									
高输出电压	V_{OH}	$I_L = 1.0\text{ mA}$ $-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq +125^\circ\text{C}$	2.92	2.95		2.92	2.95	V	
			2.88			2.88		V	
低输出电压	V_{OL}	$I_L = 1.0\text{ mA}$ $-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq +125^\circ\text{C}$	20	35		20	35	mV	
				50			50	mV	
输出电流	I_{OUT}		± 30			± 30		mA	
闭环输出阻抗	Z_{OUT}	$f = 1\text{ MHz}$, $A_V = 1$	12			12		Ω	
电源									
电源抑制比	PSRR	$V_S = 2.7\text{ V}$ 至 5.5 V	67	80		56	72	dB	
每放大器电源电流	I_{SY}	$V_O = 0\text{ V}$ $-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq +125^\circ\text{C}$		680	1000		680	1000	μA
					1300		1300	μA	
动态性能									
压摆率	SR	$R_L = 2\text{ k}\Omega$		5.2			5.2	$\text{V}/\mu\text{s}$	
建立时间	t_s	至 0.01%		<0.5			<0.5	μs	
增益带宽积	GBP			8.2			8.2	MHz	
相位裕量	Φ_o			50			50	度	
噪声性能									
电压噪声密度	e_n	$f = 1\text{ kHz}$ $f = 10\text{ kHz}$		33			33	$\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$	
				18			18	$\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$	
电流噪声密度	i_n			0.05			0.05	$\text{pA}/\sqrt{\text{Hz}}$	

¹ 若 V 在 1.3 V 到 1.8 V 之间, V 可超过额定值。

CM

OS

除非另有说明, $V_S = 5.0\text{ V}$, $V_{CM} = V_S/2$, $T_A = 25\text{ }^\circ\text{C}$ 。

表 2.

参数	符号	条件	A 级			D 级			单位	
			最小值	典型值	最大值	最小值	典型值	最大值		
输入特性										
失调电压(HT8601/HT8602)	V_{OS}	$0\text{ V} \leq V_{CM} \leq 5\text{ V}$ $-40\text{ }^\circ\text{C} \leq T_A \leq +125\text{ }^\circ\text{C}$	80	500		1300	6000	μV		
失调电压(HT8604)	V_{OS}	$V_{CM} = 0\text{ V}$ 至 5 V $-40\text{ }^\circ\text{C} \leq T_A \leq +125\text{ }^\circ\text{C}$	80	600		1300	6000	μV		
输入偏置电流	I_B	$-40\text{ }^\circ\text{C} \leq T_A \leq +85\text{ }^\circ\text{C}$ $-40\text{ }^\circ\text{C} \leq T_A \leq +125\text{ }^\circ\text{C}$		60		0.2	200	pA		
				100			200	pA		
输入失调电流	I_{OS}	$-40\text{ }^\circ\text{C} \leq T_A \leq +85\text{ }^\circ\text{C}$ $-40\text{ }^\circ\text{C} \leq T_A \leq +125\text{ }^\circ\text{C}$		30		0.1	100	pA		
				6	50		6	100	pA	
				25	500		25	500	pA	
输入电压范围			0	5		0	5	V		
共模抑制比	CMRR	$V_{CM} = 0\text{ V}$ 至 5 V	74	89		56	67	dB		
大信号电压增益	A_{VO}	$V_O = 0.5\text{ V}$ 至 4.5 V , $R_L = 2\text{ k}\Omega$, $V_{CM} = 0\text{ V}$	30	80		20	60	V/mV		
失调电压漂移	$\Delta V_{OS}/\Delta T$					2		$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$		
输出特性										
高输出电压	V_{OH}	$I_L = 1.0\text{ mA}$ $I_L = 10\text{ mA}$ $-40\text{ }^\circ\text{C} \leq T_A \leq +125\text{ }^\circ\text{C}$	4.925	4.975		4.925	4.975	V		
			4.7	4.77		4.7	4.77	V		
			4.6			4.6		V		
低输出电压	V_{OL}	$I_L = 1.0\text{ mA}$ $I_L = 10\text{ mA}$ $-40\text{ }^\circ\text{C} \leq T_A \leq +125\text{ }^\circ\text{C}$		15	30		15	30	mV	
				125	175		125	175	mV	
					250			250	mV	
输出电流	I_{OUT}		± 50		± 50		mA			
闭环输出阻抗	Z_{OUT}	$f = 1\text{ MHz}$, $A_V = 1$		10			10	Ω		
电源										
电源抑制比	PSRR	$V_S = 2.7\text{ V}$ 至 5.5 V	67	80		56	72	dB		
每放大器电源电流	I_{SY}	$V_O = 0\text{ V}$ $-40\text{ }^\circ\text{C} \leq T_A \leq +125\text{ }^\circ\text{C}$		750	1200		750	1200	μA	
					1500			1500	μA	
动态性能										
压摆率	SR	$R_L = 2\text{ k}\Omega$		6			6	$\text{V}/\mu\text{s}$		
建立时间	t_s	至 0.01%		<1.0			<1.0	μs		
全功率带宽	BWp	<1%失真		360			360	kHz		
增益带宽积	GBP			8.4			8.4	MHz		
相位裕量	Φ_o			55			55	度		
噪声性能										
电压噪声密度	e_n	$f = 1\text{ kHz}$		33			33	$\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$		
		$f = 10\text{ kHz}$		18			18	$\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$		
电流噪声密度	i_n	$f = 1\text{ kHz}$		0.05			0.05	$\text{pA}/\sqrt{\text{Hz}}$		

绝对最大额定值

表 3.

参数	额定值
电源电压	6 V
输入电压	GND 至 V_s
差分输入电压	± 6 V
存储温度范围	-65°C 至 $+150^{\circ}\text{C}$
工作温度范围	-40°C 至 $+125^{\circ}\text{C}$
结温范围	-65°C 至 $+150^{\circ}\text{C}$
引脚温度范围(焊接, 60 秒)	300°C
ESD	2 kV HBM

注意，超出上述绝对最大额定值可能会导致器件永久性损坏。这只是额定最值，不表示在这些条件下或者在任何其它超出本技术规范操作章节中所示规格的条件下，器件能够正常工作。长期在绝对最大额定值条件下工作会影响器件的可靠性。

典型性能参数

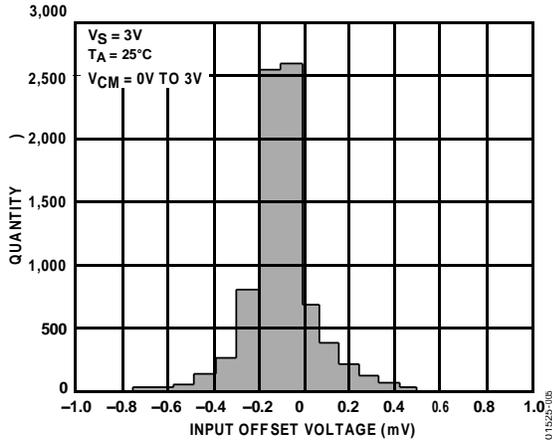


图5. 输入失调电压分布图

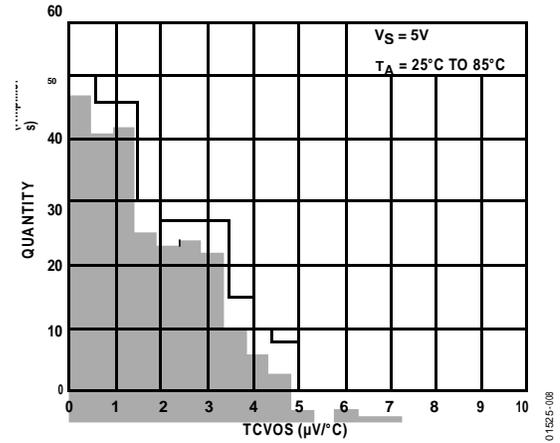


图8. 输入失调电压漂移分布图

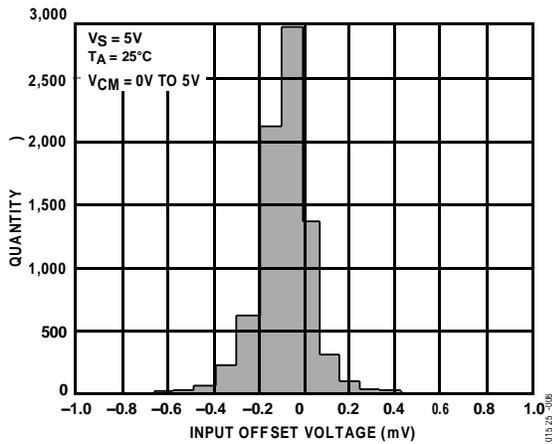


图6. 输入失调电压分布图

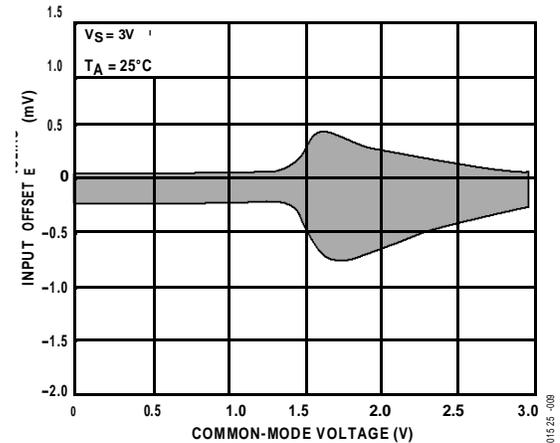


图9. 输入失调电压与共模电压的关系

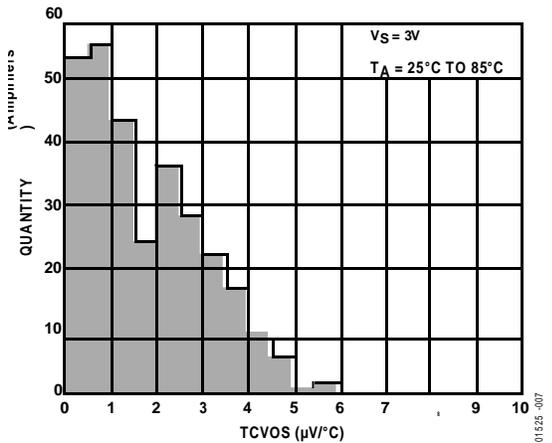


图7. 输入失调电压漂移分布图

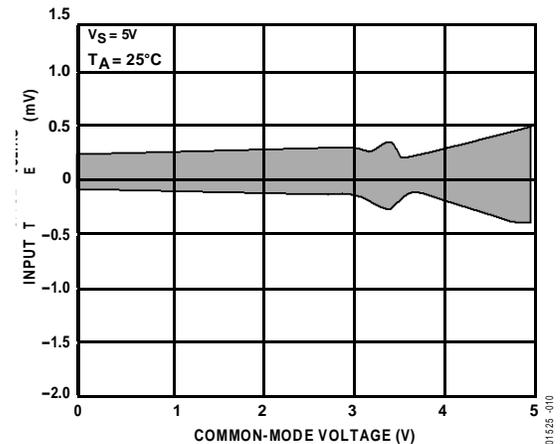


图10. 输入失调电压与共模电压的关系

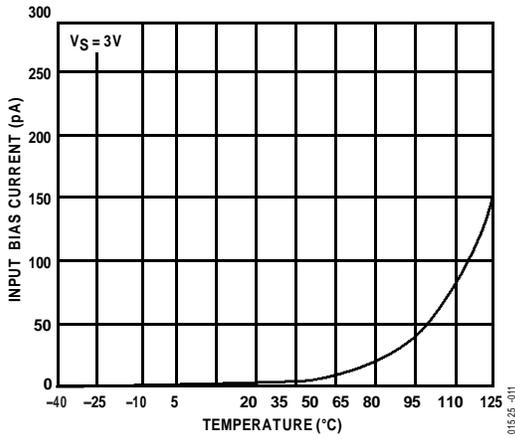


图 11. 输入偏置电流与温度的关系

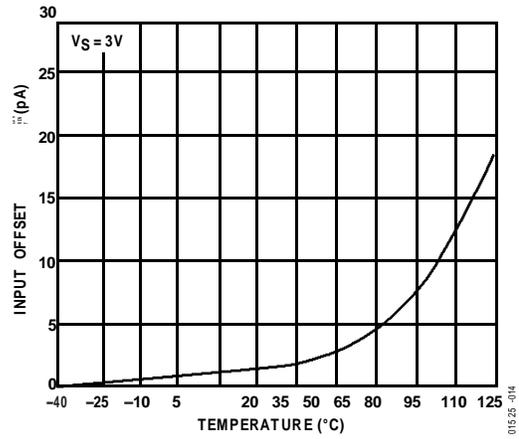


图 14. 输入失调电流与温度的关系

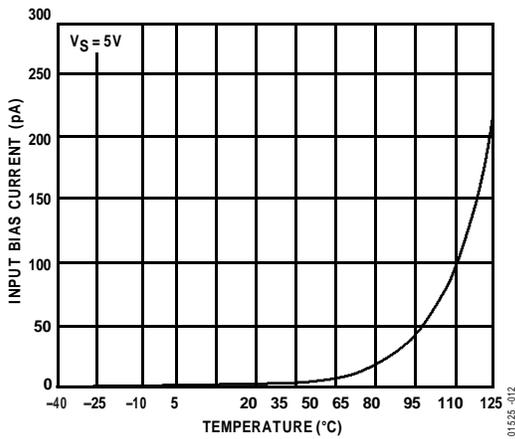


图 12. 输入偏置电流与温度的关系

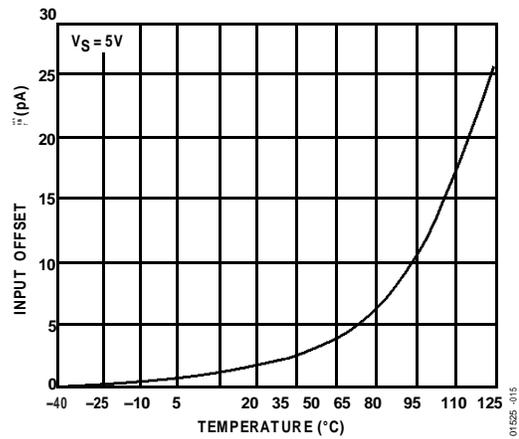


图 15. 输入失调电流与温度的关系

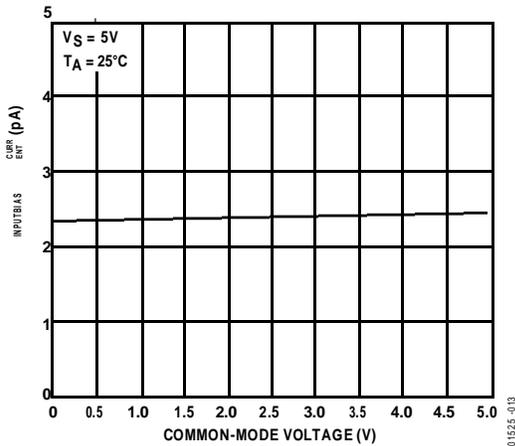


图 13. 输入偏置电流与共模电压的关系

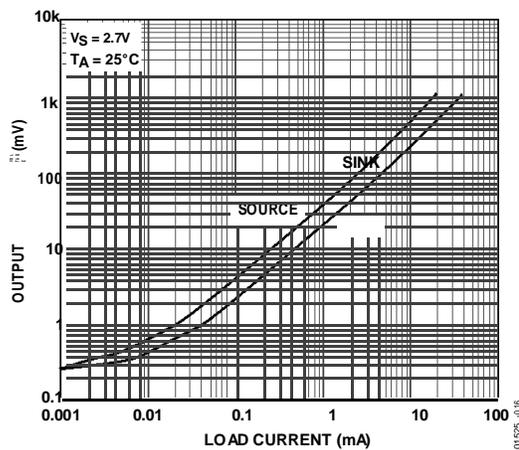


图 16. 输出电压至供电轨与负载电流的关系

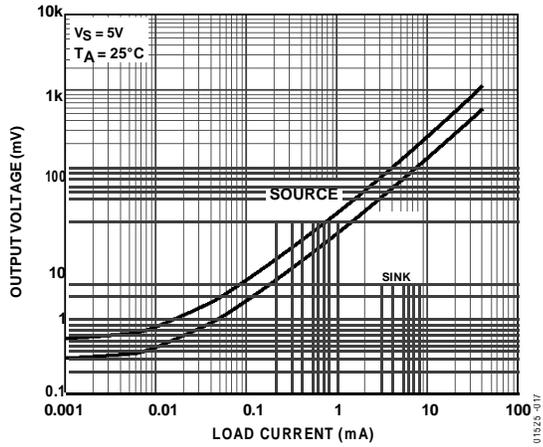


图 17. 输出电压至供电轨与负载电流的关系

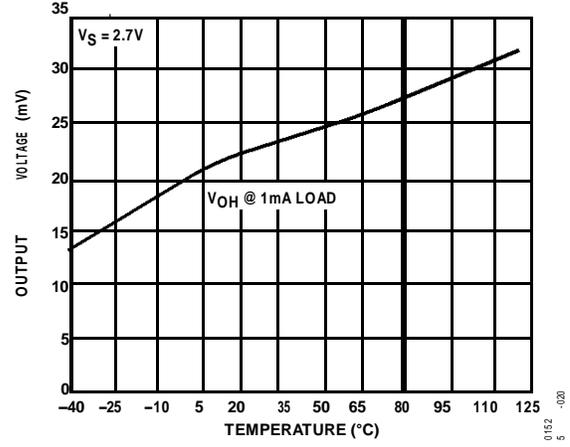


图 20. 输出电压摆幅与温度的关系

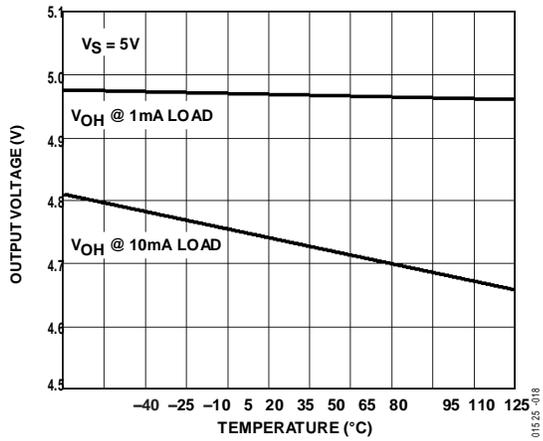


图 18. 输出电压摆幅与温度的关系

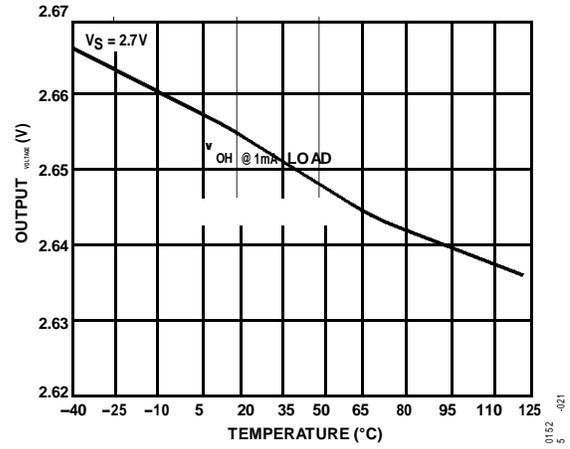


图 21. 输出电压摆幅与温度的关系

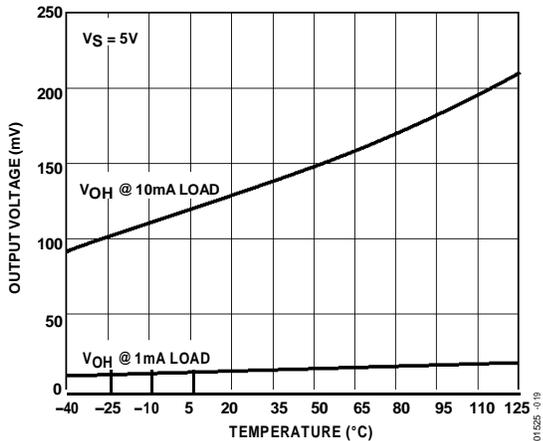


图 19. 输出电压摆幅与温度的关系

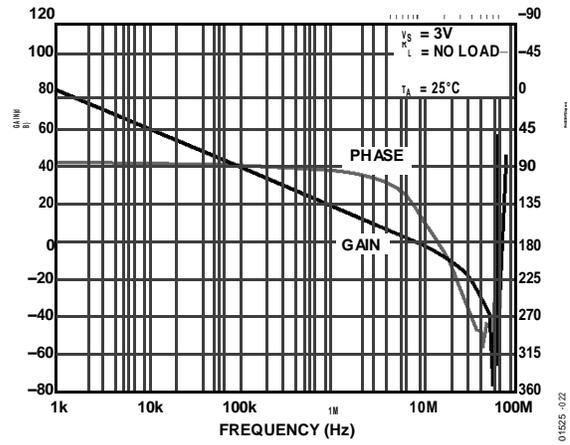


图 22. 开环增益和相位与频率的关系

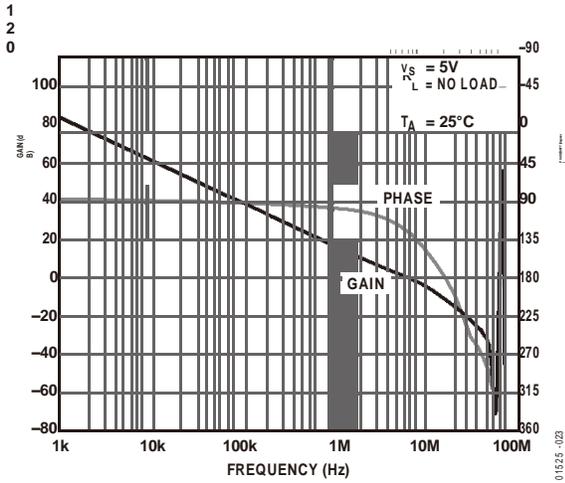


图 23. 开环增益和相位与频率的关系

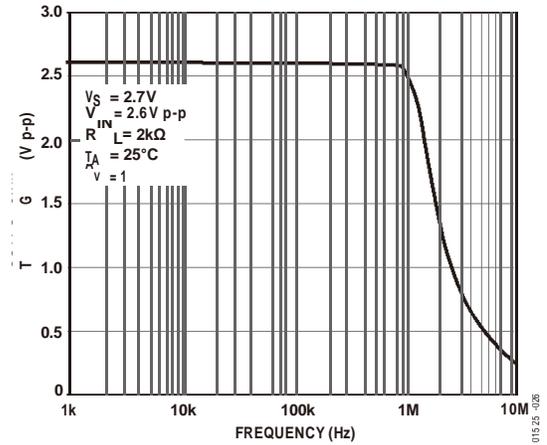


图 26. 闭环输出电压摆幅与频率的关系

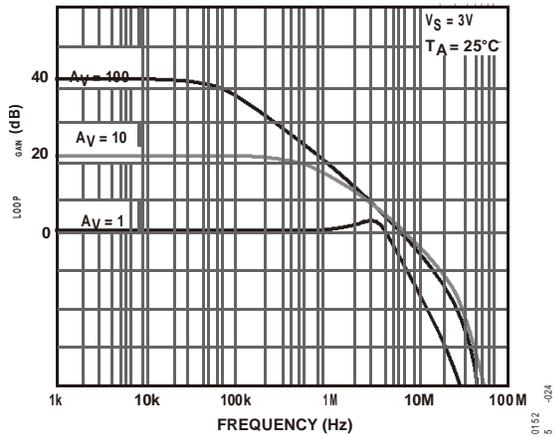


图 24. 闭环增益与频率的关系

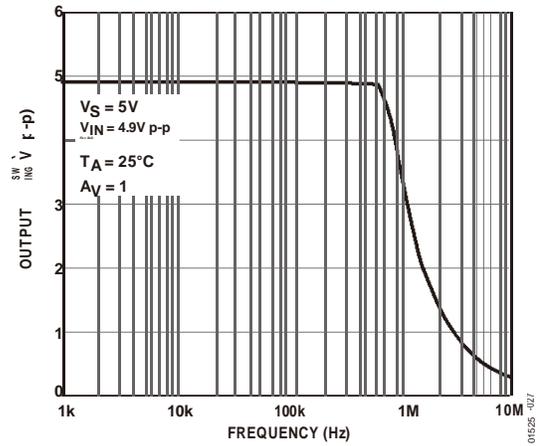


图 27. 闭环输出电压摆幅与频率的关系

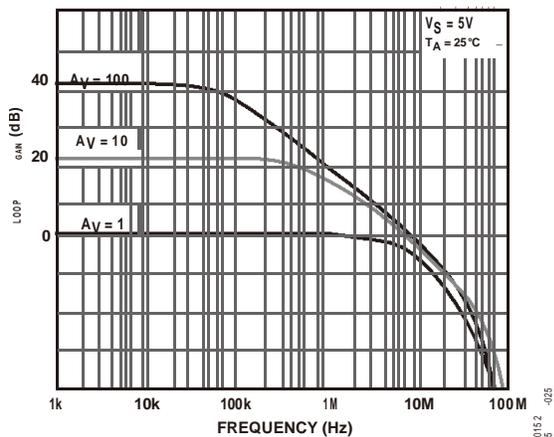


图 25. 闭环增益与频率的关系

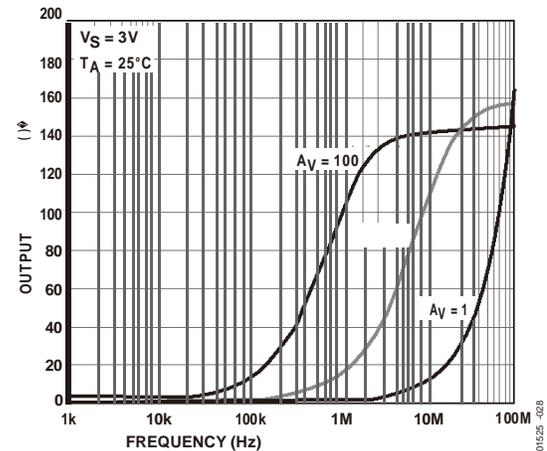


图 28. 输出阻抗与频率的关系

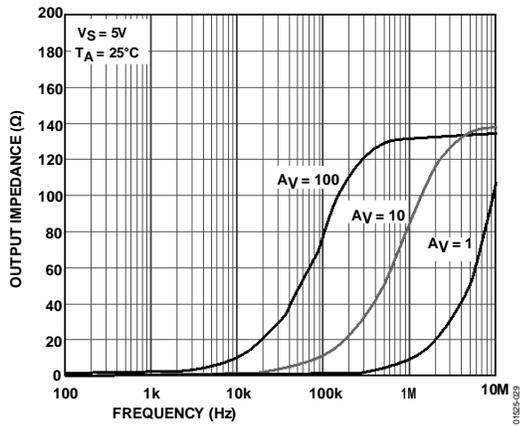


图 29. 输出阻抗与频率的关系

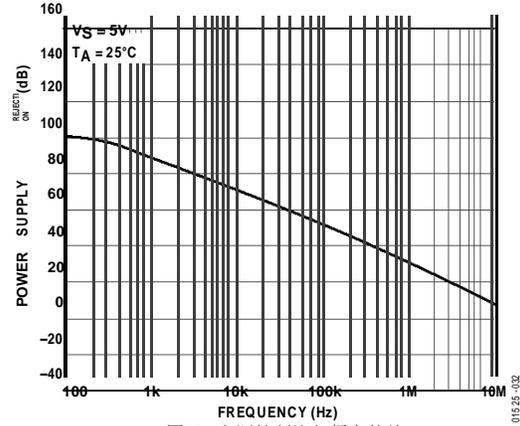


图 32. 电源抑制比与频率的关系

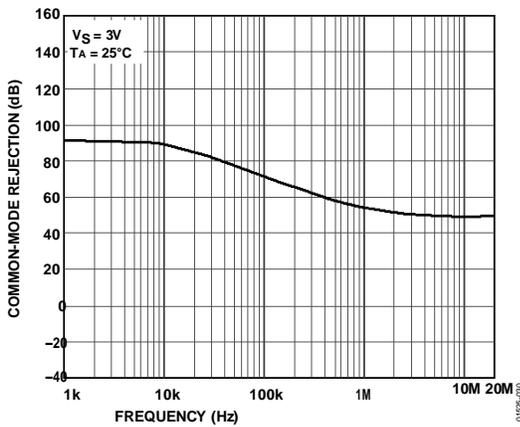


图 30. 共模抑制比与频率的关系

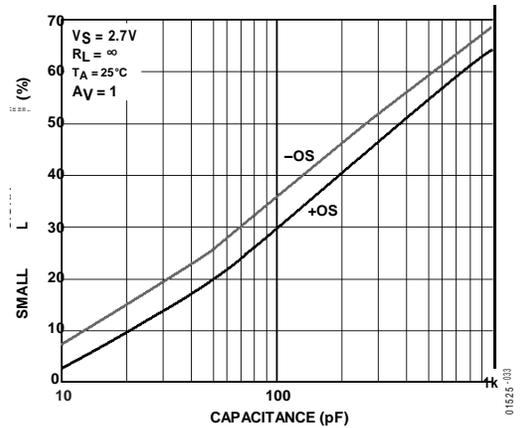


图 33. 小信号过冲与负载电容的关系

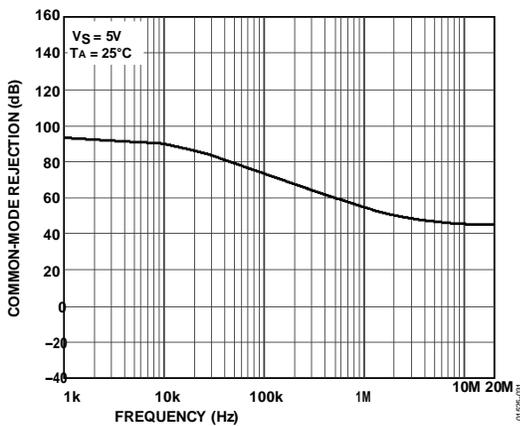


图 31. 共模抑制比与频率的关系

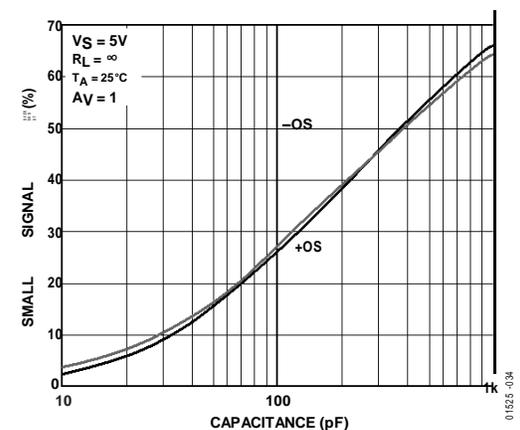


图 34. 小信号过冲与负载电容的关系

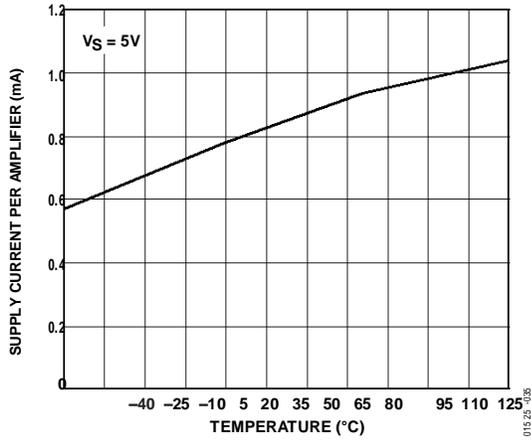


图 35. 每个放大器的电源电流与温度的关系

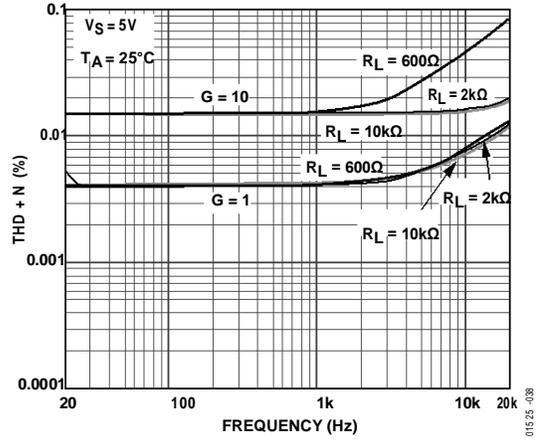


图 38. 总谐波失真加噪声与频率的关系

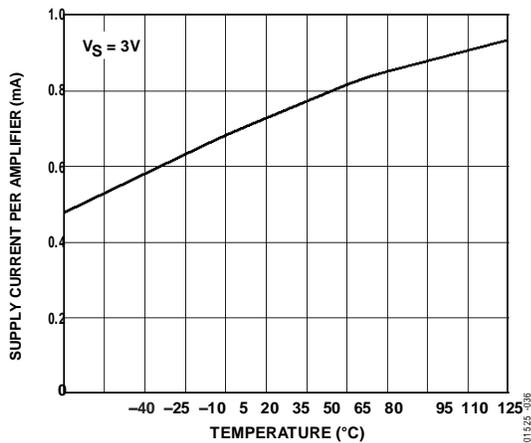


图 36. 每个放大器的电源电流与温度的关系

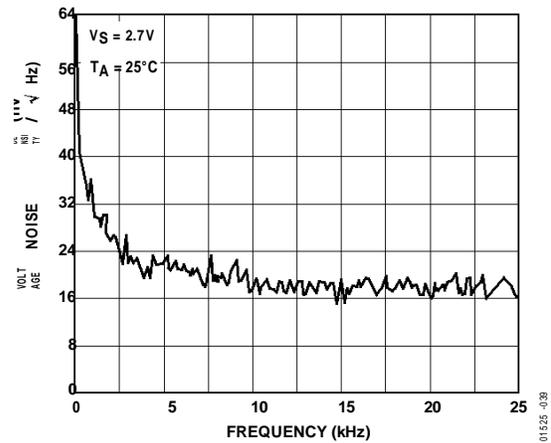


图 39. 电压噪声密度与频率的关系

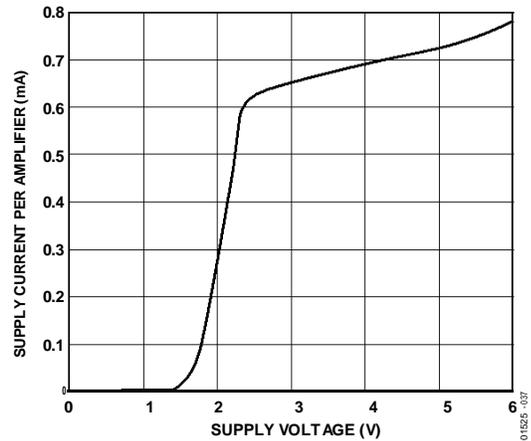


图 37. 每个放大器的电源电流与电源电压的关系

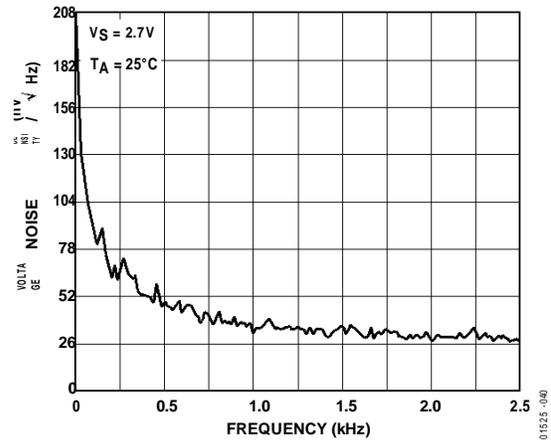


图 40. 电压噪声密度与频率的关系

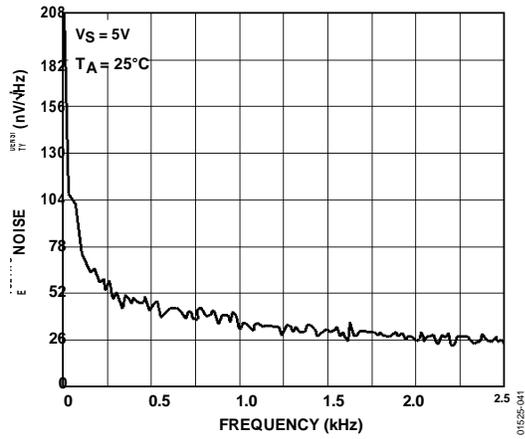


图41. 电压噪声密度与频率的关系

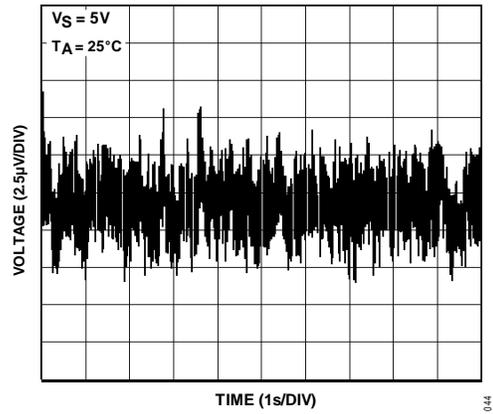


图44. 0.1 Hz 至 10 Hz 输入电压噪声

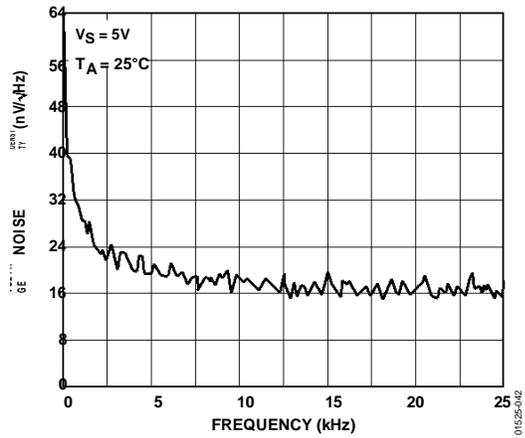


图42. 电压噪声密度与频率的关系

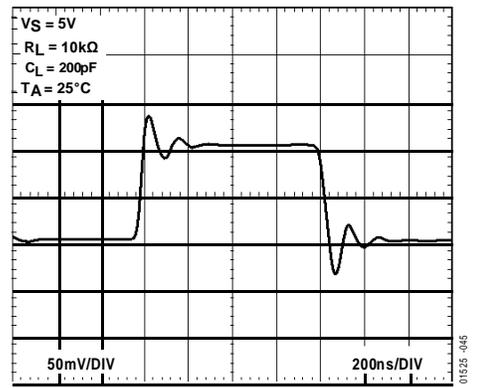


图45. 小信号瞬态响应

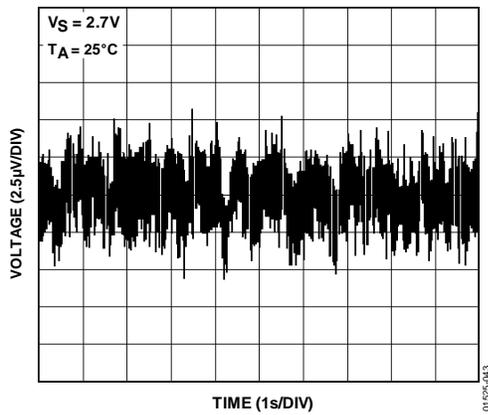


图43. 0.1 Hz 至 10 Hz 输入电压噪声

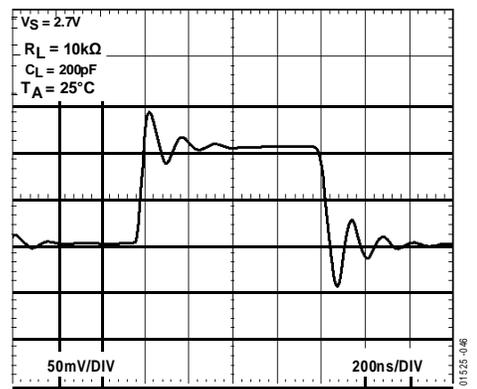


图46. 小信号瞬态响应

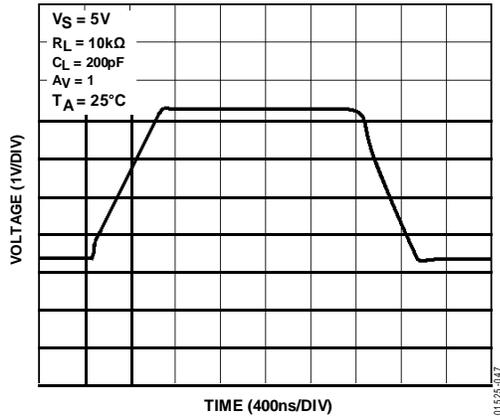


图47. 大信号瞬态响应

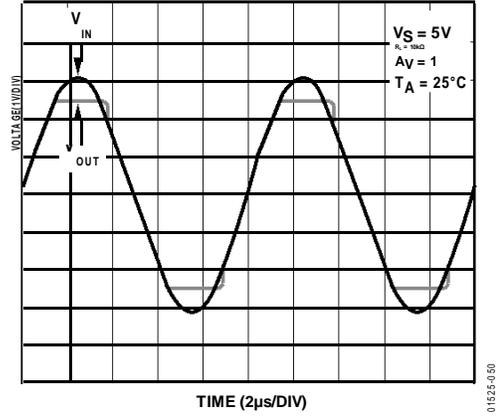


图50. 无相位反转

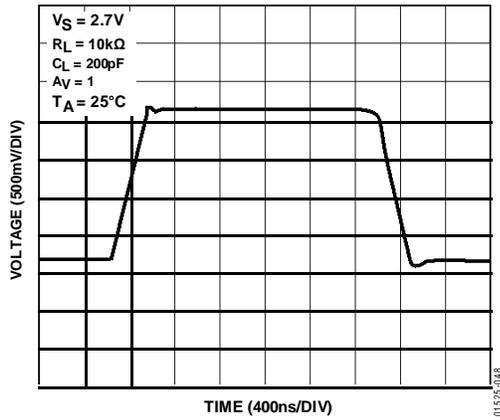


图48. 大信号瞬态响应

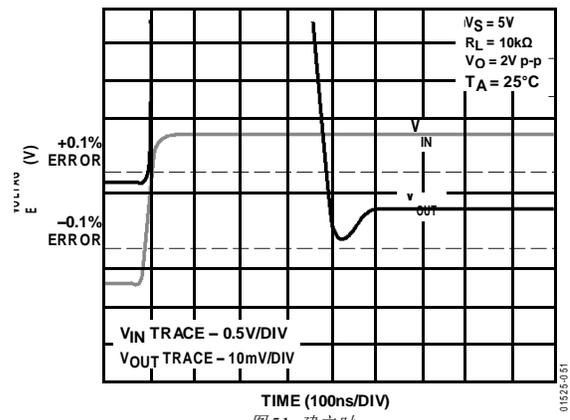


图51. 建立时间

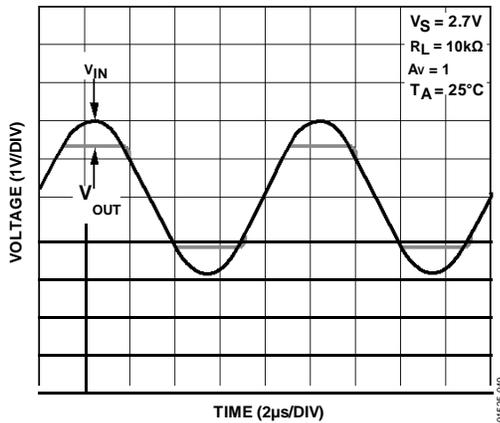


图49. 无相位反转

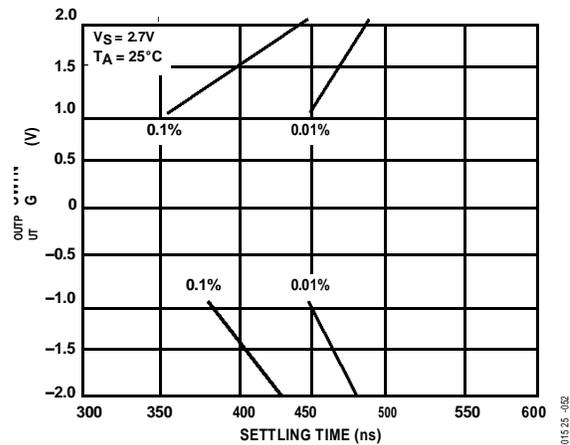


图52. 输出摆幅与建立时间的关系

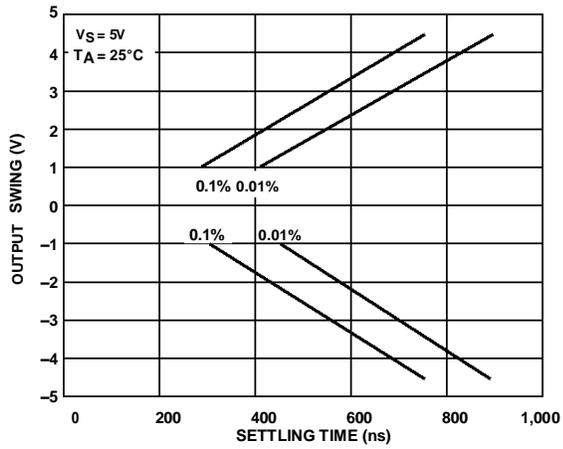


图 53. 输出摆幅与建立时间的关系

工作原理

HT8601/HT8602/HT8604 系列是轨到轨输入和输出、精密 CMOS 放大器，工作电压为 2.7 V 至 5.0 V。这些放大器采用

放大器更高的精度。DigiTrim 技术是一种在封装后调整放大器失调电压的方法。封装后调整的优势是它能校正装配时机械应力所引起的失调电压。这种技术可扩展，适用于所有封装选项，包括 5 引脚 SOT-23，可使失调电压低于此类小型封装以前所实现的水平。

DigiTrim 过程在工厂完成，不会给放大器增加其它引脚。所有 HT860x 放大器都提供标准运算放大器引脚排列，使得 DigiTrim 对用户是完全透明的。HT860x 可用于所有精密运算放大器应用。

放大器输入级是真正的轨到轨结构，允许运算放大器的输入共模电压范围同时扩展到正供电轨和负供电轨。输出级的电压摆幅也是轨到轨，利用连接成共源极配置的 NMOS 和 PMOS 晶体管对实现。最大输出电压摆幅与输出电流成反比，电流越小，则输出电压越接近供电轨，这是所有轨到轨输出放大器的特性。输出电流为 1 mA 时，输出电压可以达到距正轨 20 mV 和距负轨 15 mV 范围内。在 100 k 以上的轻负载下，输出摆幅可达到距电源电压约 1 mV 范围内。

HT860x 负载为 2 k 时，开环增益典型值为 80 dB。由于轨到轨输出配置，输出级的增益和放大器的开环增益取决于负载电阻。负载电阻越小，开环增益越低。这同样是所有轨到轨输出放大器的固有特性。

轨到轨输入级

HT860x 的输入共模电压范围扩展至正负电源电压，使得放大器的可用电压范围达到最大，这对于单电源和低压应用是一个很重要的特性。该轨到轨输入范围是利用两个并联输入差分对实现的，一个 NMOS 对和一个 PMOS 对。NMOS 对在共模电压范围的上部活跃，PMOS 对在该范围的下部活跃。

NMOS 和 PMOS 输入级利用 DigiTrim 技术分别调整，以使这

两个差分对的失调电压最小。当输入共模电压在正电源电压以下约 1.5 V 至 1 V 之间时，NMOS 和 PMOS 输入差分对在

500 mV 过渡区内均活跃。输入失调电压在该过渡区内略有偏移，如图 9 和图 10 所示。当输入共模电压在该过渡带时，共模抑制比也会略有降低。与 Burr-Brown OPA2340UR

轨到轨输入放大器(图 54)相比，HT860x(图 55)在包括过渡区的整个输入共模范围内的失调电压偏移较低。

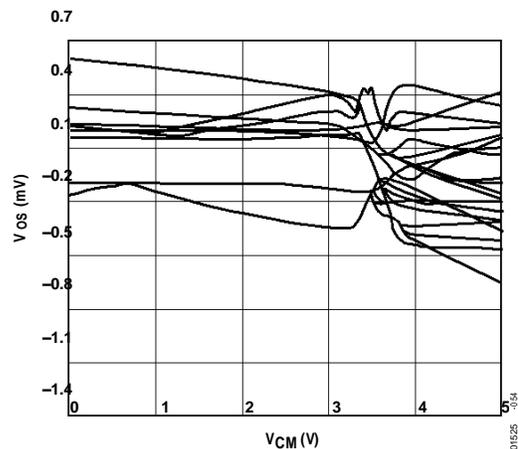


图 54. Burr-Brown OPA2340UR 输入失调电压与
共模电压的关系(24 个 SOIC 单元、
25 °C)

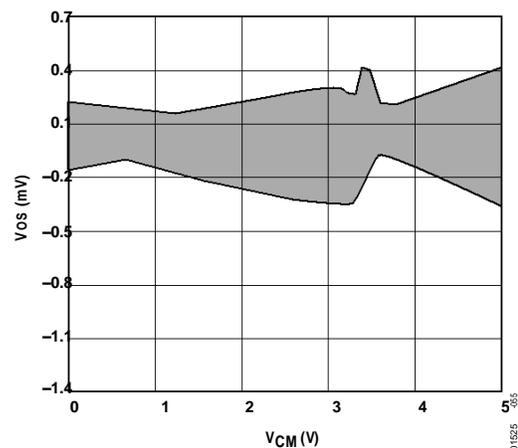


图 55. HT8602AR 输入失调电压与共模电压
的关系(300 个 SOIC 单元、25 °C)

输入过压保护

和任何半导体器件一样，如果存在使输入电压超过电源电压的情况，就必须考虑器件的输入过压特性。过大的输入电压会激活 HT860x 的内部 PN 结，使得电流从输入端流向电源。

输入电流只要不超过 5 mA，便不会损坏放大器。这可以通过在输入端串联一个电阻来实现。例如，如果输入电压可能比电源电压高出 5 V，则串联电阻至少应为 $(5 \text{ V}/5 \text{ mA}) = 1 \text{ k}$ 。当输入电压在供电轨以内时，输入端吸取的电流非常小，它在串联电阻上引起的压降可忽略不计。因此，添加串联电阻不会对电路性能产生有害影响。

过驱恢复

过驱恢复时间是指从过载信号恢复时，放大器的输出离开供电轨所需的时间。测试方法如下：将放大器置于 10 倍的闭环增益下，输入 2 V p-p 的方波，同时放大器采用 5 V 或 3 V 电源供电。

HT860x 的过载恢复时间很出色。在所有电源电压下，输出从正供电轨恢复的时间不超过 200 ns。在 5 V 电源下，从负供电轨恢复的时间不超过 500 ns；当电源电压降至 2.7 V 时，恢复时间降至 350 ns 以内。

上电时间

在便携式应用中，上电时间很重要。为了延长电池续航时间，可能会关闭放大器的电源电压。快速上电特性可确保放大器的输出迅速稳定在最终电压，从而提高整个系统的上电速度。当电源电压达到最小值 2.5 V 时，HT860x 可在 1 s 内提供稳定输出。该开启响应时间比其它很多精密放大器都要快，后者的输出响应时间可能需要数十到数百微秒。

在高源阻抗应用中使用

CMOS 轨到轨输入结构使 HT860x 的输入偏置电流非常低，其典型值为 0.2 pA。因此，HT860x 可用于任何具有高源阻抗或必须在放大器周围使用大值电阻的应用。例如，图 56 所示的光电二极管放大器电路需要低输入偏置电流运算放大器来降低输出电压误差。HT8601 的输入偏置电流和失调电压均很低，可将失调误差降至最低。

通过光电二极管的电流与照在其表面上的光功率成正比。4.7 M 电阻将该电流转换成电压，因此 HT8601 的输出以 4.7 V/A 的比例提高。反馈电容通过限制电路的带宽来降低高频时的过大噪声：

$$BW = \frac{1}{2\pi(4.7 \text{ M}\Omega)C_F} \quad (1)$$

使用 10 pF 反馈电容可将带宽限制在大约 3.3 kHz。

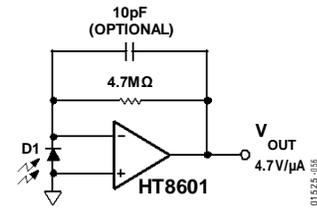


图 56. 放大器光电二极管电路

高端和低端精密电流监控

由于输入偏置电流和失调电压均很低，HT860x 可用于精密电流监控应用。真正的轨到轨输入特性使 HT860x 可以监控高端或低端上的电流。使用 HT8602 的两个放大器，便可轻松监控电流供给和返回路径有无负载或故障。图 57 和图 58 显示了这两个电路。

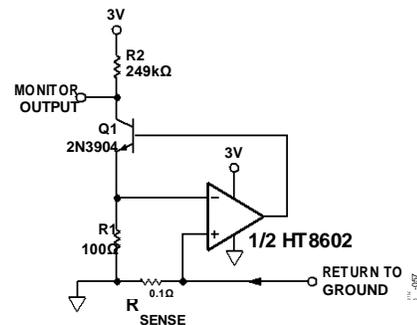


图 57. 低端电流监控

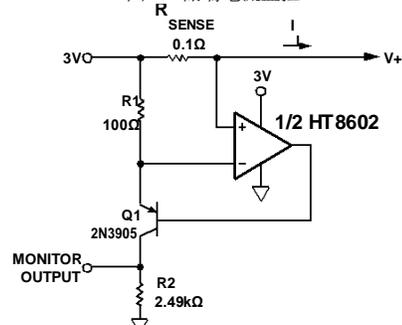


图 58. 高端电流监控

0.1 电阻上的压降与负载电流成正比。由于运算放大器的负反馈，此电压出现在放大器的反相输入端。这就在 R1 中产生一个电流，进而使电流通过 R2。对于低端监控，监控输出电压通过下式计算：

$$\text{监控输出} = 3V - \left[R2 \times \left(\frac{R_{\text{SENSE}}}{R1} \right) \times I_L \right] \quad (2)$$

对于高端监控，监控输出电压为：

$$\text{监控输出} = R2 \times \left(\frac{R_{\text{SENSE}}}{R1} \right) \times I \quad (3)$$

使用所示的元件，监控输出传递函数为 2.5 V/A。

在单电源混合信号应用中使用

需要 10 位或以上分辨率的单电源混合信号应用，为了提供最佳性能，要求失真最低且电压摆幅最大。为了确保 ADC 或 DAC 实现最佳性能，常常要使用放大器来缓冲或调理信号。HT8601 的失调电压最大值仅为 750 V，因此它可用于采用 3 V 单电源供电的 12 位应用，其轨到轨输入和输出可确保信号不会被削波。

图 59 显示 HT8601 用作 12 位 1 MSPS ADC HT7476 的输入缓冲放大器。同大多数 ADC 一样，总谐波失真(THD)随着源阻抗提高而提高。以缓冲器配置使用 HT8601 时，放大器的低输出阻抗可降低 THD，而其高输入阻抗和低偏置电流则可降低源阻抗引起的误差。HT8601 的增益带宽积为 8 MHz，可确保最高 500 kHz 的信号无衰减，500 kHz 是 HT7476 的最高奈奎斯特频率。

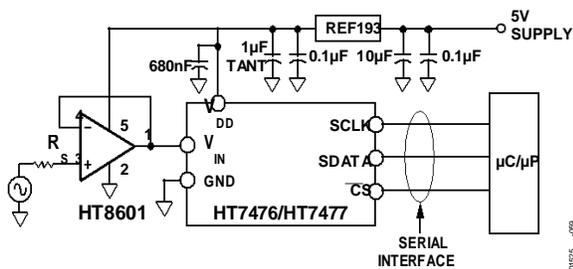


图 59. 完整的 3 V 12 位 1 MHz 模数转换系统

图 60 显示 HT8601 用作 DAC 的输出缓冲器以驱动重阻性负载。HT5320 是一款 12 位 DAC，支持最高 30 MHz 的时钟频率和最高 930 kHz 的信号频率。轨到轨输出使 HT8601 的摆幅可达到距正供电轨 100 mV 范围，同时流出 1 mA 的电流。电路消耗的总电流小于 1 mA，功耗小于 3 mW(采用 3 V 单电源时)。

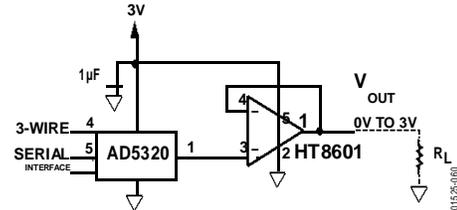


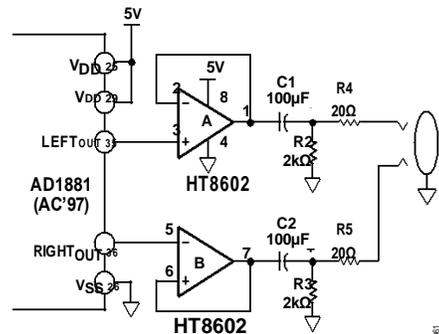
图 60. HT8601 用作 DAC 输出缓冲器以驱动重负载

HT8601、HT7476、HT5320 均提供节省空间的 SOT-23 封装。

兼容 PC100 计算机音频应用

由于具有低失真和轨到轨输入/输出特性，HT860x 是从麦克风放大到线路输出缓冲等各类低成本、单电源音频应用的出色选择。图 38 是 HT860x 的总谐波失真加噪声 (THD + N) 图。在单位增益下，放大器的典型 THD + N 为 0.004% 或 -86 dB，负载电阻可达 600。这符合 PC100 规范关于便携式和台式计算机音频的要求。

图 61 显示了 HT8602 如何与 AC'97 编解码器接口以驱动线路输出。此处，HT8602 用作 AC'97 编解码器左右声道输出的单位增益缓冲器。100 F 输出耦合电容用作隔直电容，20 串联电阻保护放大器免受插孔短路影响。



NOTES
1. ADDITIONAL PINS OMITTED FOR CLARITY.

图 61. 符合 PC100 要求的线路输出放大器