

REFバッファ付き、超低オフセット/ドリフト、  
高精度計測アンプ

## 概要

超低オフセットおよびドリフト計測アンプMAX4208/MAX4209は、非常に高精度仕様で、低消費電力、レイルトゥレイル出力、優れた利得帯域幅積、およびバッファ付きREFIN/MODE入力を、非常に小型の $\mu$ MAX<sup>®</sup>パッケージで提供します。これらのデバイスは、常に入力オフセットの測定と補正を行って時間および温度ドリフトと1/fノイズの影響を除去する、特許取得<sup>†</sup>のスペクトラム拡散、オートゼロ技術を使用しています。この技術は、オフセット電圧20 $\mu$ V以下の達成、グランド検出機能の実現、CMOS超低入力バイアス電流および高いコモンモード除去性能を提供します。

MAX4208/MAX4209は、小信号差動電圧( $\pm 100$ mV)に最適なハイインピーダンス入力を提供します。すべてのデバイスが750kHzの利得帯域幅積を提供します。

MAX4208は、2個の外付け抵抗による可変利得、またはFBをOUTに接続した状態でユニティゲインを提供します。MAX4209は固定利得であり、10V/V、100V/V、または1000V/V (サフィックスがT、H、およびK)、精度 $\pm 0.03\%$  (typ)のものが用意されています。どちらのデバイスも、出力をレベルシフトするためのリファレンス入力(REF)を備えており、単一電源アプリケーションにおけるバイポーラ信号に対応しています。どちらのデバイスも、REFIN/MODEが高精度ユニティゲインバッファへの入力になっており、REF電圧を設定して出力をレベルシフトすることができます。REFバッファの内蔵によって、単純な抵抗分圧器またはADCリファレンスによる負荷誤差のないリファレンスの設定が可能になっています。

MAX4208/MAX4209は2.85V~5.5Vの単一電源電圧で動作し、静止電流はわずか750 $\mu$ A (内部バッファがオフの場合)であり、シャットダウンモードでは1.4 $\mu$ Aしか消費しません。これらのアンプは、REFをグランドに、REFIN/MODEをV<sub>SS</sub>に接続することで、 $\pm 2.5$ Vの二電源でも動作します。MAX4208/MAX4209は省スペースな8ピン $\mu$ MAXパッケージで提供され、自動車用動作温度範囲(-40°C~+125°C)での動作が保証されています。

<sup>†</sup>特許出願中。

## アプリケーション

- 車載トランスデューサアプリケーション
- 歪みゲージアンプ
- 産業用プロセス制御
- バッテリー駆動医療機器
- 高精度ローサイド電流検出
- ノートブックコンピュータ
- 差動電圧アンプ

$\mu$ MAXはMaxim Integrated Products, Inc.の登録商標です。

## 特長

- ◆ 超低入力オフセット電圧  
+25°Cで $\pm 20$  $\mu$ V (max)
- ◆ 利得誤差： $\pm 0.25\%$  (max)
- ◆ 低オフセット電圧ドリフト：0.2 $\mu$ V/°C
- ◆ CMOS入力バイアス電流：1pA
- ◆ 真のグランド検出とレイルトゥレイル出力
- ◆ バッファ付きREF入力による高精度およびバイポーラ動作
- ◆ 単一電源動作：2.85V~5.5V (または $\pm 1.425$ V~ $\pm 2.75$ Vの二電源)
- ◆ 電源電流：750 $\mu$ A
- ◆ シャットダウンモード：1.4 $\mu$ A
- ◆ 利得帯域幅積：750kHz
- ◆ -40°C~+125°Cの自動車用温度範囲で動作
- ◆ 小型8ピン $\mu$ MAXパッケージ

## 型番

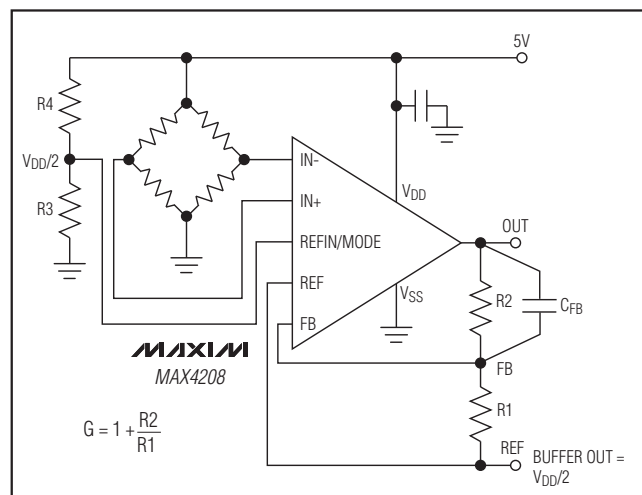
PART	TEMP RANGE	PIN-PACKAGE	GAIN (V/V)
MAX4208AUA+T	-40°C to +125°C	8 $\mu$ MAX-8	ADJ
MAX4209TAUA+T*	-40°C to +125°C	8 $\mu$ MAX-8	10
MAX4209HAUA+T	-40°C to +125°C	8 $\mu$ MAX-8	100
MAX4209KAUA+T*	-40°C to +125°C	8 $\mu$ MAX-8	1000

注：すべての8ピン $\mu$ MAXパッケージにパッケージコードU8-1があります。

+は鉛フリーパッケージを示します。

\*開発中の製品。入手性についてはお問合せください。

## 標準動作回路



# REFバッファ付き、超低オフセット/ドリフト、高精度計測アンプ

MAX4208/MAX4209

## ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

V<sub>DD</sub> to V<sub>SS</sub> .....-0.3V to +6V  
 All Other Pins .....(V<sub>SS</sub> - 0.3V) to (V<sub>DD</sub> + 0.3V)  
 OUT Short-Circuit Duration .....Continuous  
 Current Into OUT, V<sub>DD</sub>, and V<sub>SS</sub>.....±25mA  
 Current Into Any Other Pin.....±20mA  
 Continuous Power Dissipation (T<sub>A</sub> = +70°C)  
     8-Pin μMAX (derate 4.5mW/°C above +70°C) .....362mW

Operating Temperature Range .....-40°C to +125°C  
 Junction Temperature .....+150°C  
 Storage Temperature Range .....-65°C to +150°C  
 Lead Temperature (soldering, 10s) .....+300°C

*Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.*

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS

(V<sub>DD</sub> = 5V, V<sub>SS</sub> = 0V, V<sub>CM</sub> = V<sub>REF</sub> = V<sub>DD</sub>/2, V<sub>REFIN/MODE</sub> = V<sub>SS</sub>, R<sub>L</sub> = 100kΩ to V<sub>DD</sub>/2, V<sub>DIFF</sub> = (V<sub>IN+</sub> - V<sub>IN-</sub>) = 0V, MAX4208 set for G = 100V/V (R<sub>1</sub> = 1kΩ, R<sub>2</sub> = 99kΩ), T<sub>A</sub> = +25°C, unless otherwise noted.) (Note 1)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
<b>INPUT DC CHARACTERISTICS</b>						
Input Offset Voltage	V <sub>OS</sub>	MAX4208, G = 100V/V		±3	±20	μV
		MAX4209T, G = 10V/V		±3	±20	
		MAX4209H, G = 100V/V		±3	±20	
		MAX4209K, G = 1000V/V		±3	±20	
Input Bias Current	I <sub>B</sub>	-100mV ≤ V <sub>DIFF</sub> ≤ +100mV (Note 3)		1		pA
Input Offset Current	I <sub>OS</sub>	-100mV ≤ V <sub>DIFF</sub> ≤ +100mV (Note 3)		1		pA
Input Resistance	R <sub>IN</sub>	V <sub>CM</sub> = V <sub>DD</sub> /2	Differential mode		2	GΩ
			Common mode		2	
Gain Error		-20mV ≤ V <sub>DIFF</sub> ≤ +20mV MAX4208, G = 100V/V		0.05	±0.25	%
		-100mV ≤ V <sub>DIFF</sub> ≤ +100mV MAX4209T, G = 10V/V		0.05		
		-20mV ≤ V <sub>DIFF</sub> ≤ +20mV MAX4209H, G = 100V/V		0.05	±0.25	
		-2mV ≤ V <sub>DIFF</sub> ≤ +2mV MAX4209K, G = 1000V/V		0.10		
Gain Nonlinearity (Note 2)		MAX4208, G = 100V/V		25	150	ppm
		MAX4209T, G = 10V/V		25		
		MAX4209H, G = 100V/V		25	150	
		MAX4209K, G = 1000V/V		50		
Input Common-Mode Range	V <sub>CM</sub>	Guaranteed by CMRR test	V <sub>SS</sub> - 0.1		V <sub>DD</sub> - 1.30	V
Input Common-Mode Rejection Ratio	CMRR	V <sub>CM</sub> = (V <sub>SS</sub> - 0.1V) to (V <sub>DD</sub> - 1.30V)	106	135		dB

# REFバッファ付き、超低オフセット/ドリフト、高精度計測アンプ

MAX4208/MAX4209

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

( $V_{DD} = 5V$ ,  $V_{SS} = 0V$ ,  $V_{CM} = V_{REF} = V_{DD}/2$ ,  $V_{REF/MODE} = V_{SS}$ ,  $R_L = 100k\Omega$  to  $V_{DD}/2$ ,  $V_{DIFF} = (V_{IN+} - V_{IN-}) = 0V$ , MAX4208 set for  $G = 100V/V$  ( $R_1 = 1k\Omega$ ,  $R_2 = 99k\Omega$ ),  $T_A = +25^\circ C$ , unless otherwise noted.) (Note 1)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Power-Supply Rejection Ratio	PSRR	$V_{DD} = 2.85V$ to $5.5V$ , $V_{REF} = V_{CM} = (V_{SS} + 0.5V)$	100	125		dB
<b>REFIN/MODE AND REF DC CHARACTERISTICS</b>						
REFIN/MODE Buffer Input Offset Voltage		(Note 2)		$\pm 10$	$\pm 40$	$\mu V$
REFIN/MODE Input-Voltage Low	$V_{IL}$	Reference buffer is OFF		$V_{SS}$	$V_{SS} + 0.05$	V
REFIN/MODE Input-Voltage High	$V_{IH}$	Shutdown mode	$V_{DD} - 0.2$	$V_{DD}$		V
REFIN/MODE Buffered Reference Input Range	$V_{REF/MODE}$	Reference buffer is ON, guaranteed by REFIN/MODE CMRR test	$V_{SS} + 0.2$		$V_{DD} - 1.3$	V
REFIN/MODE Buffer Common-Mode Rejection Ratio		$(V_{SS} + 0.2V) \leq V_{REF/MODE} \leq (V_{DD} - 1.3V)$ (Note 2)	106	135		dB
REFIN/MODE Buffer Power-Supply Rejection Ratio		$V_{DD} = 2.85V$ to $5.5V$ , $V_{REF/MODE} = V_{CM} = (V_{SS} + 0.5V)$	100	125		dB
REFIN/MODE Bias Current	$I_{REFIN}$	$V_{SS} < V_{REF/MODE} < V_{DD}$ (Note 3)		1		pA
REF Common-Mode Range		Guaranteed by reference CMRR test (Note 4)	$V_{SS}$		$V_{DD} - 1.30$	V
REF Common-Mode Rejection Ratio		$V_{SS} \leq V_{REF} \leq (V_{DD} - 1.30V)$ (Note 4)	106	135		dB
REF, FB Bias Current		MAX4208 (Note 3)		1		pA
REF Input Current (MAX4209)	$I_{REF}$	$V_{DIFF} = 0V$ (Note 5)		$\pm 10$		nA
		$V_{DIFF} = \pm 100mV$ (Note 5)		$\pm 100$		$\mu A$
<b>OUTPUT DC CHARACTERISTICS</b>						
Output-Voltage Swing (Notes 6 and 7)	$V_{OH}$	$V_{DD} - V_{OUT}$	$R_L = 100k\Omega$	30	45	mV
			$R_L = 10k\Omega$	50	70	
			$R_L = 1k\Omega$	250	325	
	$V_{OL}$	$V_{OUT} - V_{SS}$	$R_L = 100k\Omega$	30	40	
			$R_L = 10k\Omega$	50	65	
			$R_L = 1k\Omega$	250	285	
Short-Circuit Current	$I_{SC}$	Source		+20		mA
		Sink		-25		
Short-Circuit Recovery Time				0.50		ms
<b>AC CHARACTERISTICS</b>						
Gain-Bandwidth Product	GBW	MAX4208, $G = 1V/V$		750		kHz
Small-Signal Bandwidth	BW	MAX4209T, $G = 10V/V$		75		kHz
		MAX4209H, $G = 100V/V$		7.5		
		MAX4209K, $G = 1000V/V$		0.75		
Slew Rate (Note 8)	SR	MAX4208, $G = 1V/V$ , $V_{OUT} = 100mV$ step		80		V/ms
		MAX4209T, $G = 10V/V$ , $V_{OUT} = 1V$ step		55		

# REFバッファ付き、超低オフセット/ドリフト、高精度計測アンプ

MAX4208/MAX4209

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

( $V_{DD} = 5V$ ,  $V_{SS} = 0V$ ,  $V_{CM} = V_{REF} = V_{DD}/2$ ,  $V_{REFIN/MODE} = V_{SS}$ ,  $R_L = 100k\Omega$  to  $V_{DD}/2$ ,  $V_{DIFF} = (V_{IN+} - V_{IN-}) = 0V$ , MAX4208 set for  $G = 100V/V$  ( $R_1 = 1k\Omega$ ,  $R_2 = 99k\Omega$ ),  $T_A = +25^\circ C$ , unless otherwise noted.) (Note 1)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNITS
Settling Time	$t_s$	To within 0.1% of final value	MAX4208, $G = 1V/V$		10		$\mu s$
			MAX4209T		15		
			MAX4209H		120		
			MAX4209K		1100		
Maximum Capacitive Load	$C_L$	No sustained oscillations			200		$\mu F$
Input-Voltage Noise	$e_n$	$f = 0.1Hz$ to $10Hz$			2.5		$\mu V_{p-p}$
		$f = 1kHz$			140		$nV/\sqrt{Hz}$
Power-Up Time		To within 0.1% of final value			20		ms
Shutdown Enable/Disable Time	$t_{EN}$ , $t_{DIS}$				20		ms
<b>POWER SUPPLY</b>							
Supply Voltage	$V_{DD}$	Guaranteed by PSRR test		2.85		5.50	V
Supply Current	$I_{DD}$	$V_{REFIN/MODE} = V_{SS}$ , buffer OFF	$V_{DD} = 5V$		0.75	1.30	mA
		$(V_{SS} + 0.2V) \leq V_{REFIN/MODE} \leq (V_{DD} - 1.3V)$ , buffer ON	$V_{DD} = 5V$		1.40	2.30	
		$V_{REFIN/MODE} = V_{DD}$ , shutdown mode				1.4	5.0

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS

( $V_{DD} = 5V$ ,  $V_{SS} = 0V$ ,  $V_{CM} = V_{REF} = V_{DD}/2$ ,  $V_{REFIN/MODE} = V_{SS}$ ,  $R_L = 100k\Omega$  to  $V_{DD}/2$ ,  $V_{DIFF} = (V_{IN+} - V_{IN-}) = 0V$ , MAX4208 set for  $G = 100V/V$  ( $R_1 = 1k\Omega$ ,  $R_2 = 99k\Omega$ ),  $T_A = -40^\circ C$  to  $+125^\circ C$ , unless otherwise noted.) (Note 1)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNITS	
<b>INPUT DC CHARACTERISTICS</b>								
Input Offset Voltage	$V_{OS}$	MAX4208, $G = 100V/V$	$T_A = +25^\circ C$ to $+85^\circ C$			$\pm 45$	$\mu V$	
			$T_A = -40^\circ C$ to $+125^\circ C$			$\pm 60$		
		MAX4209H, $G = 100V/V$	$T_A = +25^\circ C$ to $+85^\circ C$			$\pm 30$		
			$T_A = -40^\circ C$ to $+125^\circ C$			$\pm 40$		
Input Offset Voltage Temperature Drift (Note 2)	$TCV_{OS}$	MAX4208, $G = 100V/V$	$T_A = +25^\circ C$ to $+85^\circ C$		0.1	$\pm 0.45$	$\mu V/^\circ C$	
			$T_A = -40^\circ C$ to $+125^\circ C$			0.1		$\pm 0.45$
		MAX4209H, $G = 100V/V$	$T_A = +25^\circ C$ to $+85^\circ C$			0.01		$\pm 0.17$
			$T_A = -40^\circ C$ to $+125^\circ C$			0.01		$\pm 0.17$
Input Bias Current		(Note 3) $-100mV \leq V_{DIFF} < +100mV$	$T_A = +85^\circ C$		10		$\mu A$	
			$T_A = +125^\circ C$		20			
Gain Error		MAX4208, $G = 100V/V$ , $-20mV \leq V_{DIFF} \leq +20mV$	$T_A = +25^\circ C$ to $+85^\circ C$			0.30	%	
			$T_A = -40^\circ C$ to $+125^\circ C$			0.35		
		MAX4209H, $G = 100V/V$ , $-20mV \leq V_{DIFF} \leq +20mV$	$T_A = +25^\circ C$ to $+85^\circ C$			0.30		
			$T_A = -40^\circ C$ to $+125^\circ C$			0.35		

# REFバッファ付き、超低オフセット/ドリフト、高精度計測アンプ

MAX4208/MAX4209

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

( $V_{DD} = 5V$ ,  $V_{SS} = 0V$ ,  $V_{CM} = V_{REF} = V_{DD}/2$ ,  $V_{REFIN/MODE} = V_{SS}$ ,  $R_L = 100k\Omega$  to  $V_{DD}/2$ ,  $V_{DIFF} = (V_{IN+} - V_{IN-}) = 0V$ , MAX4208 set for  $G = 100V/V$  ( $R_1 = 1k\Omega$ ,  $R_2 = 99k\Omega$ ),  $T_A = -40^\circ C$  to  $+125^\circ C$ , unless otherwise noted.) (Note 1)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNITS
Gain Error Temperature Drift (Note 2)		$-20mV \leq V_{DIFF} \leq +20mV$ (MAX4208), $G = 100V/V$	$T_A = -40^\circ C$ to $+125^\circ C$		50	180	ppm/ $^\circ C$
		$-100mV \leq V_{DIFF} \leq +100mV$ (MAX4209T), $G = 10V/V$	$T_A = -40^\circ C$ to $+125^\circ C$		50		
		$-20mV \leq V_{DIFF} \leq +20mV$ (MAX4209H), $G = 100V/V$	$T_A = -40^\circ C$ to $+125^\circ C$		50	180	
		$-2mV \leq V_{DIFF} \leq +2mV$ (MAX4209K), $G = 1000V/V$	$T_A = -40^\circ C$ to $+125^\circ C$		100		
Gain Nonlinearity (Note 2)	G <sub>NL</sub>	MAX4208, $G = 100V/V$	$T_A = +25^\circ C$ to $+85^\circ C$			210	ppm
			$T_A = -40^\circ C$ to $+125^\circ C$			700	
		MAX4209H, $G = 100V/V$	$T_A = +25^\circ C$ to $+85^\circ C$			210	
			$T_A = -40^\circ C$ to $+125^\circ C$			700	
Input Common-Mode Range	V <sub>CM</sub>	Guaranteed by CMRR test, $T_A = -40^\circ C$ to $+125^\circ C$		$V_{SS} - 0.1$		$V_{DD} - 1.6$	V
Input Common-Mode Rejection Ratio	CMRR	$(V_{SS} - 0.1V) \leq V_{CM} \leq (V_{DD} - 1.6V)$	$T_A = +25^\circ C$ to $+85^\circ C$	96			dB
			$T_A = -40^\circ C$ to $+125^\circ C$	90			
Power-Supply Rejection Ratio	PSRR	$V_{DD} = 2.85V$ to $5.5V$ , $V_{REF} = V_{CM} = V_{SS} + 0.5V$	$T_A = +25^\circ C$ to $+85^\circ C$	96			dB
			$T_A = -40^\circ C$ to $+125^\circ C$	90			
<b>REFIN/MODE AND REF DC CHARACTERISTICS</b>							
REFIN/MODE Buffer Input Offset Voltage		$T_A = +25^\circ C$ to $+85^\circ C$				100	$\mu V$
		$T_A = -40^\circ C$ to $+125^\circ C$				100	
REFIN/MODE Buffered Reference Input Range	V <sub>REFIN/MODE</sub>	Reference buffer is ON, guaranteed by REFIN/MODE CMRR test		$V_{SS} + 0.2$		$V_{DD} - 1.6$	V
REFIN/MODE Input-Voltage Low	V <sub>IL</sub>	Reference buffer is OFF				$V_{SS} + 0.05$	V

# REFバッファ付き、超低オフセット/ドリフト、高精度計測アンプ

MAX4208/MAX4209

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

( $V_{DD} = 5V$ ,  $V_{SS} = 0V$ ,  $V_{CM} = V_{REF} = V_{DD}/2$ ,  $V_{REFIN/MODE} = V_{SS}$ ,  $R_L = 100k\Omega$  to  $V_{DD}/2$ ,  $V_{DIFF} = (V_{IN+} - V_{IN-}) = 0V$ , MAX4208 set for  $G = 100V/V$  ( $R_1 = 1k\Omega$ ,  $R_2 = 99k\Omega$ ),  $T_A = -40^\circ C$  to  $+125^\circ C$ , unless otherwise noted.) (Note 1)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNITS
REFIN/MODE Input-Voltage High	$V_{IH}$	MAX4208/MAX4209 in shutdown		$V_{DD} - 0.2$			V
REFIN/MODE Buffer Common-Mode Rejection Ratio		$(V_{SS} + 0.2V) \leq V_{REF} \leq (V_{DD} - 1.6V)$	$T_A = +25^\circ C$ to $+85^\circ C$	96			dB
			$T_A = -40^\circ C$ to $+125^\circ C$	90			
REF Common-Mode Range (Note 4)		Guaranteed by REF CMRR test		$V_{SS}$		$V_{DD} - 1.6$	V
REF Common-Mode Rejection Ratio		$V_{SS} \leq V_{REF} \leq (V_{DD} - 1.6V)$	$T_A = +25^\circ C$ to $+85^\circ C$	96			dB
			$T_A = -40^\circ C$ to $+125^\circ C$	90			
REFIN/MODE Buffer Power-Supply Rejection Ratio		$V_{DD} = 2.85V$ to $5.5V$ , $V_{REFIN/MODE} = V_{CM} = (V_{SS} + 0.5V)$	$T_A = +25^\circ C$ to $+85^\circ C$	96			dB
			$T_A = -40^\circ C$ to $+125^\circ C$	90			
<b>OUTPUT DC CHARACTERISTICS</b>							
Output-Voltage Swing (Note 6)	$V_{OH}$	$V_{DD} - V_{OUT}$	$R_L = 100k\Omega$			60	mV
			$R_L = 10k\Omega$			90	
			$R_L = 1k\Omega$			375	
	$V_{OL}$	$V_{OUT} - V_{SS}$	$R_L = 100k\Omega$			50	
			$R_L = 10k\Omega$			75	
			$R_L = 1k\Omega$			325	
<b>POWER SUPPLY</b>							
Supply Voltage	$V_{DD}$	Guaranteed by PSRR test		2.85		5.50	V
Supply Current		$V_{REFIN/MODE} = V_{SS}$ , buffer OFF	$V_{DD} = 5V$			1.70	mA
			$(V_{SS} + 0.2V) \leq V_{REFIN/MODE} \leq (V_{DD} - 1.6V)$ , buffer ON	$V_{DD} = 5V$		3.0	
			$REFIN/MODE = V_{DD}$ , shutdown mode			10	$\mu A$

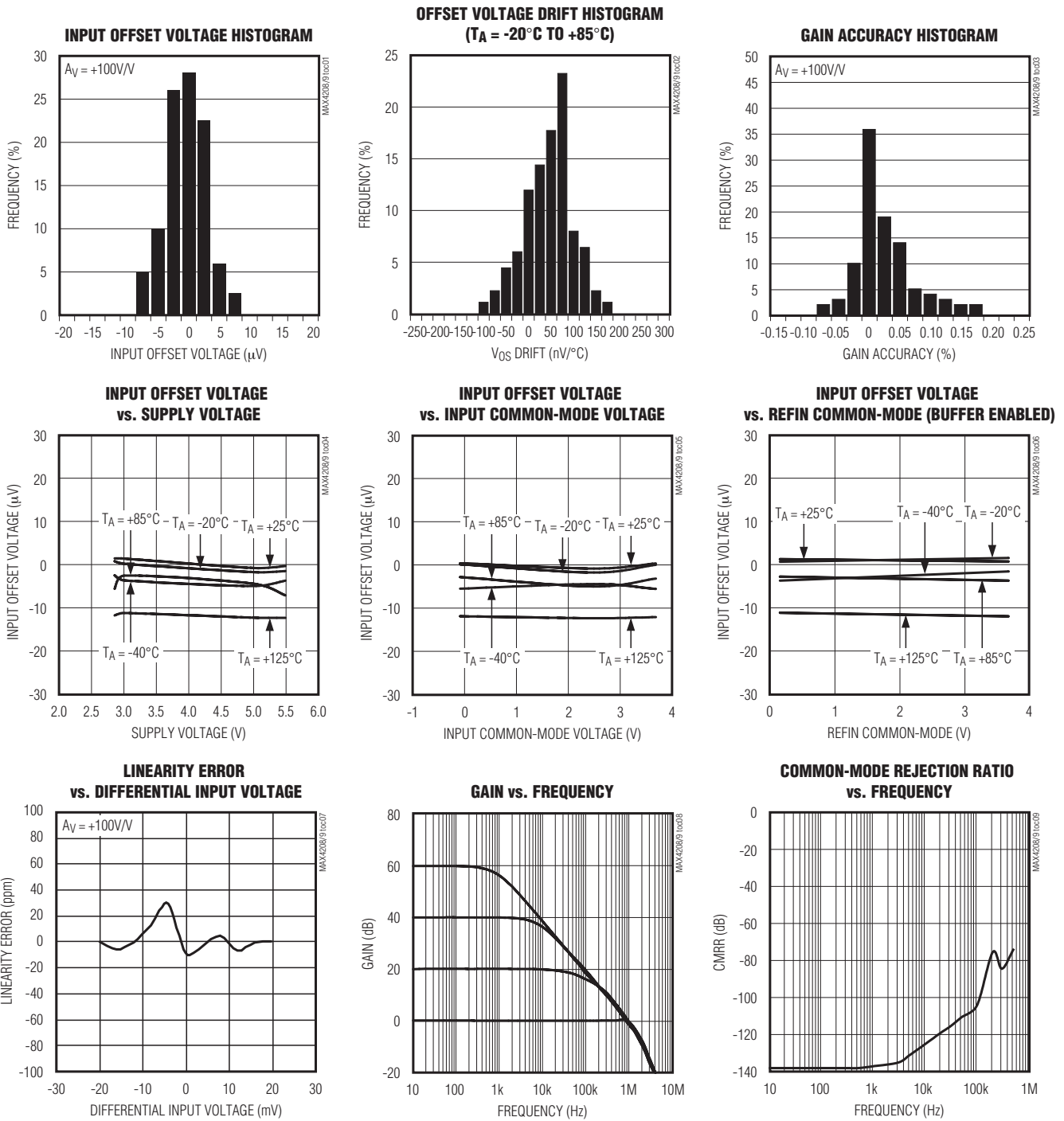
- Note 1:** Specifications are 100% production tested at  $+25^\circ C$ , unless otherwise noted. Limits over temperature are guaranteed by design.
- Note 2:** Guaranteed by design. Thermocouple and leakage effects preclude measurement of this parameter during production testing. Devices are screened during production testing to eliminate defective units.
- Note 3:**  $IN+$  and  $IN-$  are gates to CMOS transistors with typical input bias current of  $1pA$ . CMOS leakage is so small that it is impractical to test and guarantee in production. Max  $V_{DIFF}$  is  $\pm 100mV$ . Devices are screened during production testing to eliminate defective units. For the MAX4208, when there are no external resistors, the input bias current at FB and REF is  $1pA$  (typ).
- Note 4:** Setting REF to ground ( $V_{SS}$ ) is allowed if the REF buffer is off. The unity-gain buffer is on when  $V_{REFIN/MODE}$  is between  $0.15V$  and  $(V_{DD} - 1.3V)$ . In this range,  $V_{REF} = V_{REFIN/MODE} \pm 40\mu V$  (maximum buffer input offset voltage over temperature). Setting  $REFIN/MODE$  to  $V_{DD}$  puts the part in shutdown ( $I_{DD} = 1.4\mu A$ ).
- Note 5:** This is the REF current needed to directly drive the end terminal of the gain-setting resistors when  $REFIN/MODE$  is connected to  $V_{SS}$  to put the buffer in high-impedance mode. The REF input current is tested at the gain of 100. At gain 10 and 1000,  $I_{REF} = \pm 100\mu A$  and  $3.4\mu A$ , respectively at  $+25^\circ C$ . See the *Detailed Description*.
- Note 6:** Output swing high ( $V_{OH}$ ) and output swing low ( $V_{OL}$ ) are measured only on  $G = 100$  and  $G = 1000$  devices. Devices with  $G = 1$  and  $G = 10$  have output swing high limited by the range of  $V_{REF}$ ,  $V_{CM}$ , and  $V_{DIFF}$  (see the *Output Swing* section).
- Note 7:** Maximum range for  $V_{DIFF}$  is from  $-100mV$  to  $+100mV$ .
- Note 8:** At  $G = 100V/V$  and  $G = 1000V/V$ , these instrumentation amplifiers are bandwidth limited and not capable of slew-rate-limited  $dV/dt$ .

# REFバッファ付き、超低オフセット/ドリフト、高精度計測アンプ

MAX4208/MAX4209

## 標準動作特性

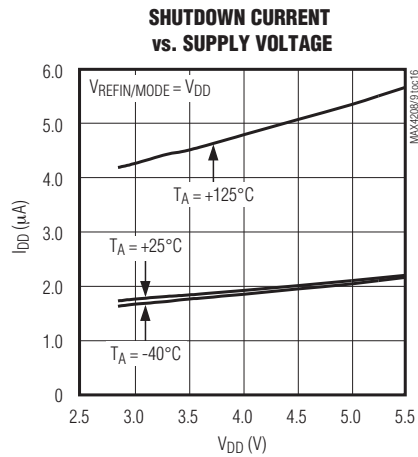
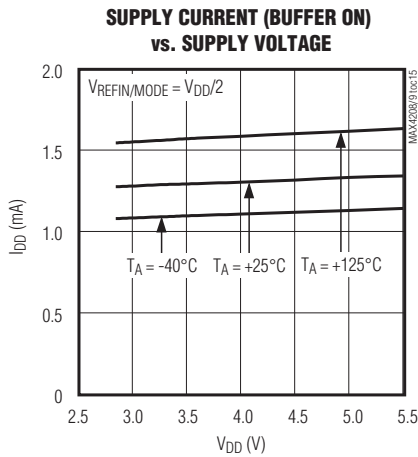
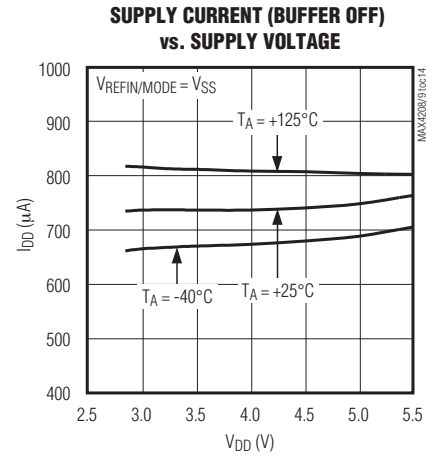
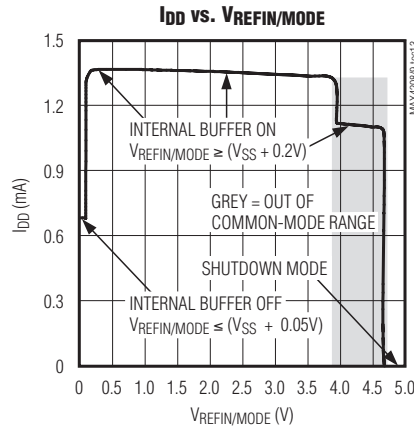
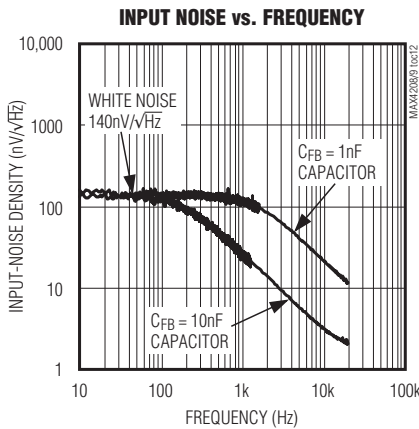
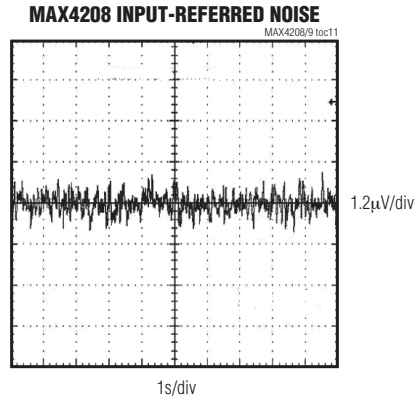
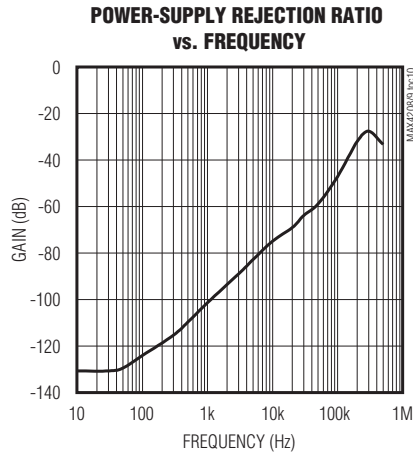
( $V_{DD} = 5V$ ,  $V_{SS} = 0V$ ,  $V_{CM} = V_{REF} = V_{DD}/2$ ,  $V_{REFIN/MODE} = V_{SS}$ ,  $R_L = 100k\Omega$  to  $V_{DD}/2$ ,  $V_{DIFF} = (V_{IN+} - V_{IN-}) = 0V$ , MAX4208 set for  $G = 100V/V$  ( $R_1 = 1k\Omega$ ,  $R_2 = 99k\Omega$ ),  $T_A = +25^\circ C$ , unless otherwise noted.)



# REFバッファ付き、超低オフセット/ドリフト、高精度計測アンプ

## 標準動作特性(続き)

( $V_{DD} = 5V$ ,  $V_{SS} = 0V$ ,  $V_{CM} = V_{REF} = V_{DD}/2$ ,  $V_{REFIN/MODE} = V_{SS}$ ,  $R_L = 100k\Omega$  to  $V_{DD}/2$ ,  $V_{DIFF} = (V_{IN+} - V_{IN-}) = 0V$ , MAX4208 set for  $G = 100V/V$  ( $R_1 = 1k\Omega$ ,  $R_2 = 99k\Omega$ ),  $T_A = +25^\circ C$ , unless otherwise noted.)

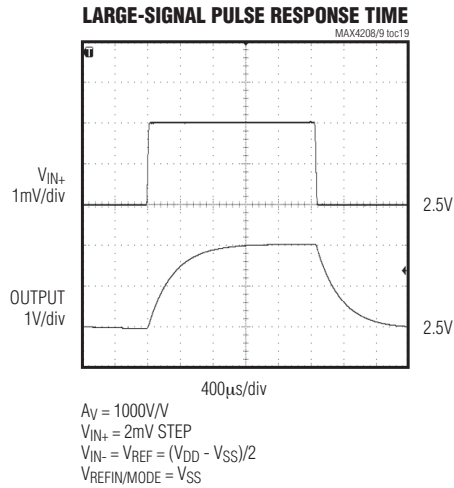
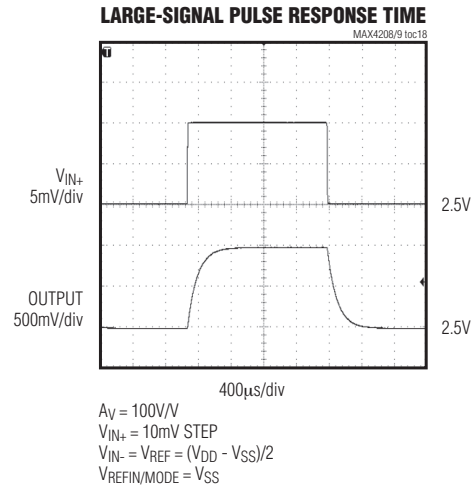
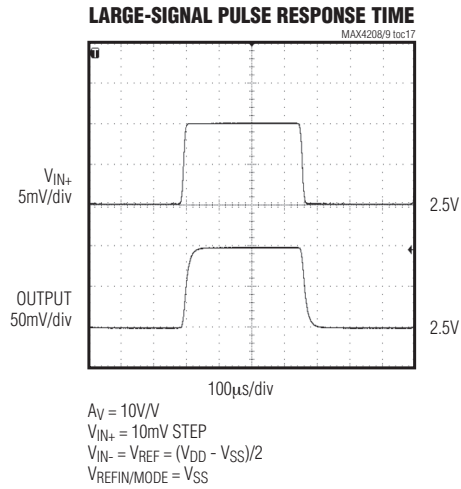


# REFバッファ付き、超低オフセット/ドリフト、高精度計測アンプ

MAX4208/MAX4209

## 標準動作特性(続き)

( $V_{DD} = 5V$ ,  $V_{SS} = 0V$ ,  $V_{CM} = V_{REF} = V_{DD}/2$ ,  $V_{REFIN/MODE} = V_{SS}$ ,  $R_L = 100k\Omega$  to  $V_{DD}/2$ ,  $V_{DIFF} = (V_{IN+} - V_{IN-}) = 0V$ , MAX4208 set for  $G = 100V/V$  ( $R_1 = 1k\Omega$ ,  $R_2 = 99k\Omega$ ),  $T_A = +25^\circ C$ , unless otherwise noted.)

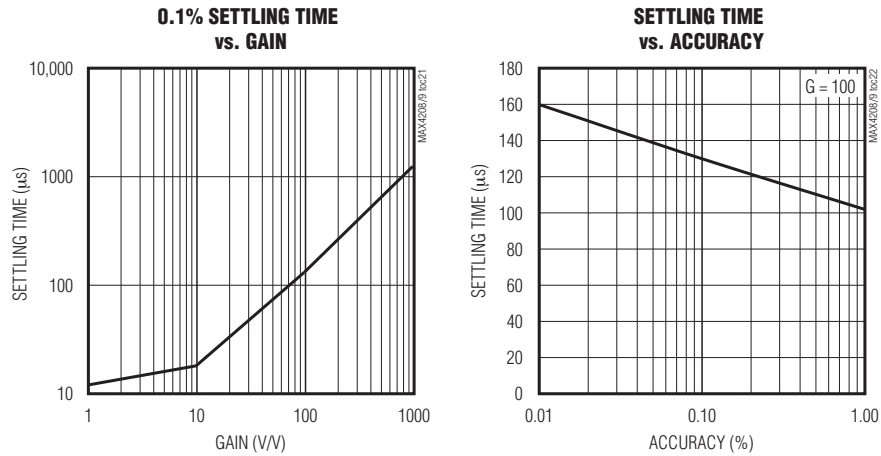


# REFバッファ付き、超低オフセット/ドリフト、高精度計測アンプ

MAX4208/MAX4209

## 標準動作特性(続き)

( $V_{DD} = 5V$ ,  $V_{SS} = 0V$ ,  $V_{CM} = V_{REF} = V_{DD}/2$ ,  $V_{REFIN/MODE} = V_{SS}$ ,  $R_L = 100k\Omega$  to  $V_{DD}/2$ ,  $V_{DIFF} = (V_{IN+} - V_{IN-}) = 0V$ , MAX4208 set for  $G = 100V/V$  ( $R_1 = 1k\Omega$ ,  $R_2 = 99k\Omega$ ),  $T_A = +25^\circ C$ , unless otherwise noted.)



## 端子説明

端子	名称	機能
1	REFIN/MODE	リファレンス/シャットダウンモード入力。3モードの機能は次の通りです。 $V_{DD}$ に接続するとデバイスがシャットダウンモードに移行します。 外部リファレンス( $V_{SS} + 0.2V \sim V_{DD} - 1.3V$ の範囲)に接続すると、REFIN/MODEの電圧がバッファリングされます。REFバッファの使用によって、単純な抵抗分圧器またはハイインピーダンスの外部リファレンスを使用してOUTのレベルを最小の誤差で0mV INに設定することが可能になっています。 $V_{SS}$ に接続すると、内部バッファの出力をハイインピーダンス状態に強制することができ、REFの外部直接駆動が可能になります。
2	IN-	負の差動入力
3	IN+	正の差動入力
4	$V_{SS}$	負の電源入力。0.1 $\mu F$ のコンデンサで $V_{SS}$ をグラウンドにバイパスするか、単一電源動作の場合はグラウンドに接続してください。
5	REF	出力リファレンスレベル。ゼロ差動入力の場合、REFによってOUTの電圧が設定されます。REFIN/MODEの電圧が $V_{SS} + 0.2V \sim V_{DD} - 1.3V$ の範囲である場合、内部バッファによってREFの電圧が設定されます。
6	FB	フィードバック入力。MAX4208の場合、OUTとREF間の外付け抵抗分圧器のセンタータップにFBを接続して、利得の設定を行います。MAX4209の場合、FBは内部で利得設定用の抵抗に接続されています。必要に応じてコンデンサ $C_{FB}$ をOUTとFBの間に接続することによって、オートゼロのノイズを低減することができます。
7	OUT	アンプ出力
8	$V_{DD}$	正の電源入力。0.1 $\mu F$ のコンデンサで $V_{DD}$ をグラウンドにバイパスしてください。

# REFバッファ付き、超低オフセット/ドリフト、高精度計測アンプ

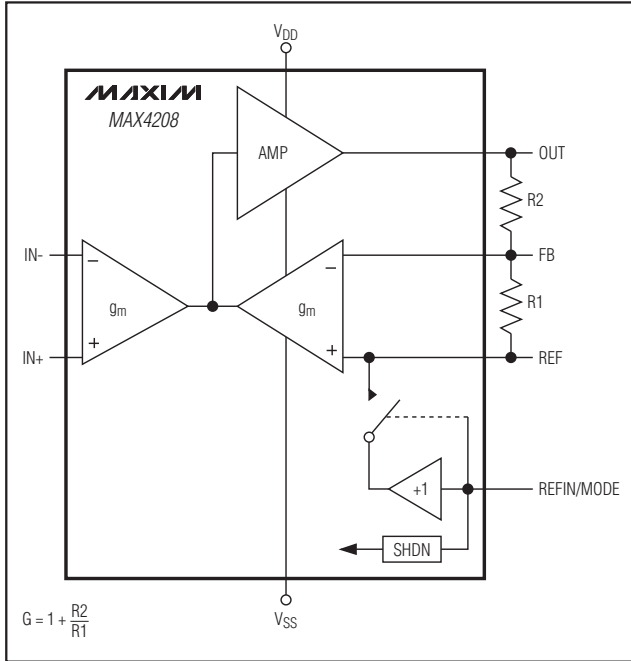


図1. MAX4208の機能ブロック図

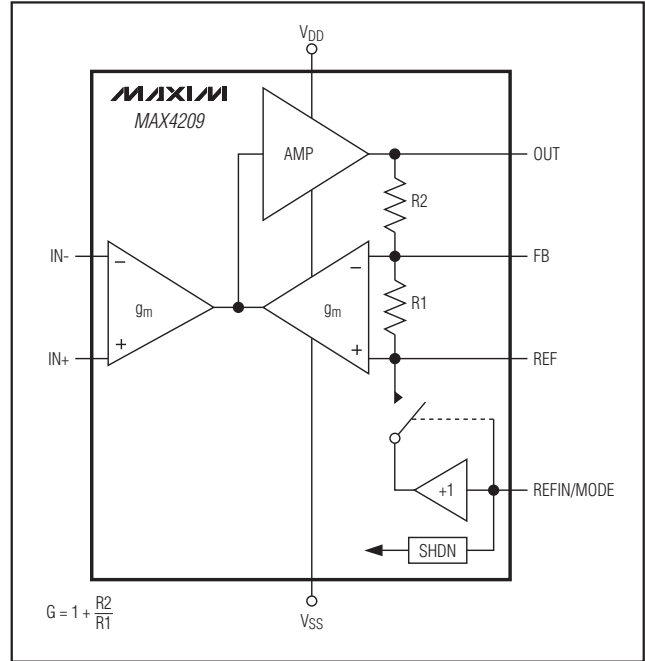


図2. MAX4209の機能ブロック図

## 詳細

計測アンプファミリMAX4208/MAX4209は、入力オフセット誤差、時間および温度ドリフト、および1/fノイズの影響を最小化する、特許取得のスペクトラム拡散、オートゼロ技術を実装しています。従来の3オペアンプ構成の計測アンプとは異なり、この技術によって真のグラウンド検出能力と、低入力バイアス電流および高コモンモード除去との組み合わせが実現します。

差動入力信号が、入力トランスコンダクタンス段によって電流に変換されます。出力トランスコンダクタンス段が、出力電圧の一部(出力電圧を利得で割ったものに等しい量)を、もう1つの高精度電流に変換します。この2つの電流の減算結果が、十分な利得を備えたループアンプに供給され、誤差が最小化されます(図1および2)。MAX4209は、利得10V/V、100V/V、および1000V/Vに工場で調節されています。MAX4208は可変利得であり、OUT、FB、およびREF間の2個の外付け抵抗で設定します(図1)。MAX4208/MAX4209は、デバイスをバイポーラ動作させる場合に外付けリファレンスを接続するための出力リファレンス入力(REF)を備えています。単一電源動作の場合、 $V_{REF}$ の範囲は0V~( $V_{DD} - 1.3V$ )です。完全な出力振幅能力と最大対称ダイナミックレンジは $REF = V_{DD}/2$ で得られますが、最適な $V_{REF}$ の設定は電源電圧とアプリケーションに必要な出力電圧振幅によって決まります。最大推奨差動入力電圧は $\pm 100mV$ です。そのレベルから上では、直線性と精度が低下します。MAX4208/MAX4209は、2.85V~5.5V

の単一電源電圧または $\pm 1.425V \sim \pm 2.75V$ の二電源で動作します。

MAX4208/MAX4209は、REFIN/MODEが $V_{DD}$ に接続されているときに電源電流を1.4 $\mu A$  (typ)に減少させるシャットダウン機能を備えています。

## MAX4208/MAX4209のREF、REFIN/MODE、および内部REFINバッファ

単一電源システムで計測アンプをバイポーラ動作させる場合、入力にゼロ差動電圧を印加した状態で出力電圧レベルを設定するための電圧リファレンス(REF)を印加する必要があります。このリファレンスレベルが出力振幅の中心になり、通常は振幅とダイナミックレンジを最大にするため電源電圧の半分に設定します。

多くの計測アンプでは、OUTとREFの間に利得設定用の抵抗と $R_L$ が接続されます。OUTは電流のシンクとソースが可能ですが、REFが電流をシンクおよびソースする必要性は見落とされることが多く、大きな誤差につながる可能性があります。そのためMAX4208/MAX4209は、REFINバッファ、すなわち高精度ユニティゲインバッファをチップに内蔵しており、REFIN/MODEに供給されるリファレンス電圧への負荷をとまわずにREFで必要とされる電流のシンクとソースを行います。

従来の計測アンプでは、リファレンス電圧を印加する簡単な方法として、抵抗分圧器を使用してREFのレベルを(多くの場合グラウンドと $V_{DD}$ の中間に)設定します。電流

# REFバッファ付き、超低オフセット/ドリフト、高精度計測アンプ

表1. REFIN/MODE端子の機能

REFIN/MODE VOLTAGE*	STATE OF MAX4208/MAX4209 and REFIN BUFFER
$V_{DD}$ (typically +5V)	The entire IC is in SHDN mode and draws 1.4 $\mu$ A of supply current.
Between $V_{SS} + 200$ mV and ( $V_{DD} - 1.3$ V)	The internal REF buffer is activated. REF MUST NOT be fed by any external source. The voltage at REFIN/MODE is transferred to REF within $\pm 40$ $\mu$ V, max ( $V_{OS}$ of the internal REF buffer).
$V_{SS}$ (typically ground)	The internal REF buffer is OFF with its output in a high-impedance state to allow direct drive of REF (or connection to ground). REF must be directly connected to an external voltage reference capable of sinking and sourcing the load current.

\*詳細な仕様については「Electrical Characteristics (電気的特性)」の表をご覧ください。

消費を最小化するため、抵抗分圧器はより高い抵抗値で構成すべきですが、負荷および利得設定用抵抗からの電流のシンクとソースによって、分圧器の midpoint で大きなコモンモード信号が発生します。MAX4208/MAX4209 の高精度REFINバッファは、REFにおける誤差電圧を本質的に除去します。

REFINバッファは、 $V_{OS}$ が40 $\mu$ V以下であることを保証された、CMOS入力バイアス電流がわずか1pAのユニティゲインオペアンプであり、単純な抵抗分圧器によって最小限の誤差でREFINを設定することが可能です。

REFIN/MODEは3つの機能を持つ入力です(表1参照)。内部REFINバッファを使用する場合は、REFIN/MODEを外部リファレンスまたは( $V_{SS} + 0.2$ V)~( $V_{DD} - 1.3$ V)の範囲の任意の電圧に設定した単純な抵抗分圧器に接続してください。これらの電圧は、REFINバッファの入力コモンモード範囲の最小と最大を表します(「Electrical Characteristics (電気的特性)」の表を参照)。REFでグラウンドを使用するか、または内部REFINバッファを通さずにREFでローインピーダンスの外部リファレンスをしかに使用する場合は、REFIN/MODEを $V_{SS}$ に接続してください。これによってREFINバッファがディセーブルされ、 $I_{DD}$ が750 $\mu$ Aに低下し、REFINバッファの出力が高インピーダンス状態になって、REFの外部直接駆動が可能になります。MAX4208/MAX4209をシャットダウンモードにして電源電流を5 $\mu$ A以下に低減させるには、REFIN/MODEを $V_{DD}$ に駆動してください。

注：REFを直接駆動する場合、REFIN/MODEを $V_{SS}$ にする必要があり、シャットダウンモードは利用できません。

## 入力差動信号の範囲

MAX4208/MAX4209は、最大 $\pm 100$ mVまでの小さな差動信号に最適化された独自の入力構造を備えています。MAX4208/MAX4209の出力は、バイポーラ入力信号に対応しています。出力電圧は、ゼロ差動入力に対するREFの電圧に等しくなります。これらのデバイスの利得精度は、レーザトリミングによって0.1% (typ)より高精度に調整されています。

## 出力振幅

MAX4208/MAX4209は、センサ、歪みゲージなどからの小さな入力信号( $\pm 100$ mV)に特化した設計になっています。これらの計測アンプは、レイルトゥレイルの出力電圧振幅が可能です。しかし、利得とREFレベルの選択によっては、レイルトゥレイルの出力振幅が必要でも望ましくもない場合があります。

たとえば、REFを電源電圧の半分の電圧( $V_{DD} / 2$ )に接続して、ユニティゲイン構成でMAX4208を単一電源動作させる場合を考えてください。この場合、出力電圧振幅はREFレベルを中心に $\pm 100$ mVとなり、どちらのレイルに達する必要もありません。

もう1つの例は、MAX4209T (利得は内部で10に設定)を同じように単一電源電圧で動作させ、REFを外部でグラウンド( $V_{SS}$ )に設定する場合です。REFIN/MODEもグラウンド( $V_{SS}$ )に接続する必要があります。この場合、差動0~100mVの入力電圧によって0~1Vの出力電圧振幅が駆動されるのが理想です。しかし、出力振幅はグラウンド( $V_{SS}$ )から40mVまでしか到達することができません(「Electrical Characteristics (電気的特性)」の表の $V_{OL}$ の仕様を参照)。最良の精度と直線性を得るために、通常はユニポーラ動作での最も低い差動入力電圧を非ゼロの値(1mV以上)にすることが推奨されます。

もう1つの対策は、REFIN/MODEとして250mVを使用する方法(「Electrical Characteristics (電気的特性)」中の「REFIN/MODE Buffered Reference Input Range」の表を参照)で、これによって0~100mVの入力に対してOUTが250mVから1.25Vまでの振幅になり、出力が最下部の非直線範囲に入るのを防ぐことができます。差動入力を持つADCをOUTとREFの間に接続すると、真の0~1Vの振幅を記録することができます。

より高い利得とバイポーラ出力振幅を持つデバイスをいずれかのレイルに接近するよう構成することで、ダイナミックレンジを最大化することが可能です。しかし、出力が電源電圧の $V_{OL}$ または $V_{OH}$ に接近するにつれて、特に大負荷の状況下で直線性と精度が低下します。

# REFバッファ付き、超低オフセット/ドリフト、高精度計測アンプ

## アプリケーション情報

### 利得の設定(MAX4208)

抵抗分圧器をOUTとREFの間に接続し、センタータップをFBに接続することによって、MAX4208の利得を設定します(「標準動作回路」を参照)。次式を使用して利得を計算してください。

$$\text{GAIN} = 1 + \left( \frac{R2}{R1} \right)$$

R1には1kΩ以下の値を選んでください。抵抗の精度比は、利得の精度にじかに影響します。負荷が出力の精度にわずかに影響する可能性があるため、抵抗和が10kΩ以下となる組み合わせは使用すべきではありません。

### 入力コモンモードと入力差動電圧範囲

従来の3オペアンプ構成の計測アンプでは、最大入力差動電圧と最大入力コモンモード電圧の間に、中間増幅段の飽和に起因する一定の関係が存在します。多くの場合この相関関係は、図3に示すような計測アンプの入力コモンモード電圧と出力電圧の対応を示す六角形のグラフとして表されます。このグラフには、次のようなアプリケーションの制約が隠されています。

- 入力コモンモード電圧範囲には負の電源レールが含まれず、したがって単一電源アプリケーションの場合グラウンド付近の入力に対する増幅は不可能です。
- 入力差動電圧を最大利得で増幅することができるのは、入力コモンモード電圧の限られた範囲だけです(すなわち、X軸の最大の範囲に対するY軸の範囲が限定されます)。
- 大きなコモンモード電圧の除去が必要である場合、可能な最大の利得で差動電圧を増幅することはできません(すなわち、Y軸の最大の範囲に対するX軸の範囲が限定されます)。そのため、フロントエンドの計測アンプの後に二次的な高利得アンプが必要になります。

計測アンプMAX4208/MAX4209の間接電流フィードバックアーキテクチャには、これらの欠点がまったく存在しません。間接電流フィードバックアーキテクチャの入力コモンモード電圧と出力電圧のグラフを図4に示します。

3オペアンプ構成の計測アンプと比較して、MAX4208/MAX4209には次のような特長があります。

- 入力コモンモード電圧の範囲に負の電源レールが含まれており、単一電源アプリケーションに最適です。
- 入力コモンモード電圧の全範囲にわたって入力差動電圧を最大利得で増幅可能です。
- 差動電圧を最大利得で増幅するのと同時に高いコモンモード電圧の除去が可能であり、したがってフロントエンドの計測アンプの後に二次的なアンプは必要ありません。

### 利得誤差の温度ドリフト

可変利得の計測アンプは、一般的に単一の外付け抵抗を使用して利得を設定します。しかし、内部の抵抗と外付け抵抗の温度ドリフト特性の違いが原因で、温度の変化にともなって利得の精度に大きなドリフトが生じます。MAX4208は、2個の外付け抵抗を使用して利得を設定する可変利得の計測アンプです。両方の抵抗がデバイスの外部にあるため、これらの部品のレイアウトおよび温度係数の整合によって、動作温度範囲にわたって大幅に安定した利得が得られます。

固定利得のMAX4209T/H/Kは、両方の抵抗を内蔵することで優れた整合性と追従性を実現しています。

### 外付けコンデンサC<sub>FB</sub>の使用によるノイズ低減

ゼロドリフトのチョップアンプは、常に入力オフセット電圧の補償を行って高い精度と極めて低い温度ドリフト特性を実現する回路を内蔵しています。この自己補正回路が原因で、その動作周波数(MAX4208/MAX4209の場合45kHz周辺の疑似ランダムクロック)においてわずかに余分なノイズ寄与が発生します。高ビット分解能のADCの場合、外部フィルタによってこのノイズ増を大幅に軽減することが可能です。単にOUTとFBの間にフィードバックコンデンサ(C<sub>FB</sub>)を追加することで、高周波数の利得が低下し、優れた高精度DC特性は維持されます。C<sub>FB</sub>の推奨値は1nF~10nFの範囲です。出力にアンチエイリアスフィルタを追加すると、この自動補正ノイズをさらに低減することができます。

### 容量性負荷の安定性

MAX4208/MAX4209は、最大200pFまでの容量性負荷を駆動する能力を備えています。さらに大きな容量性駆動能力を必要とするアプリケーションの場合は、OUTと負荷の間に分離用の抵抗を使用することで、出力信号のリングングを減少させることができます。しかし、それによって分離用の抵抗両端での電圧降下に起因する利得精度の低下が生じます。

# REFバッファ付き、超低オフセット/ドリフト、高精度計測アンプ

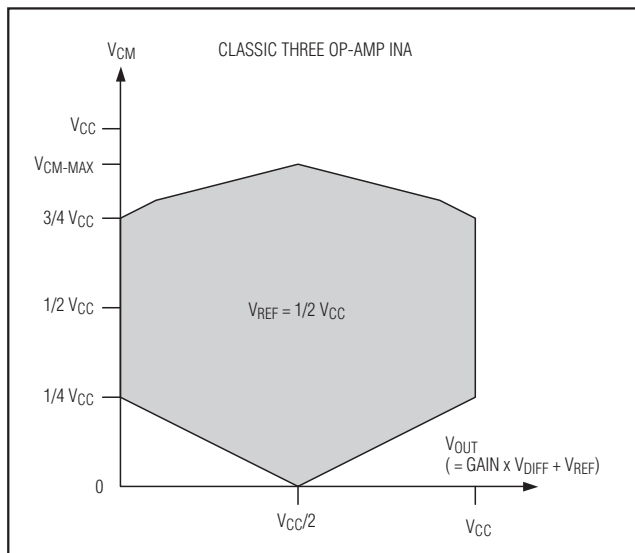


図3. 3オペアンプ構成の計測アンプの限られた共通モードと出力電圧

## 電源バイパスとレイアウト

優れたレイアウト技術によって、計測アンプの利得設定端子(OUT、FB、およびREF)の浮遊容量が減少し、それによって性能が最適化します。過剰な容量は、アンプの周波数応答にピークを生じさせます。浮遊容量を減少させるため、できる限り計測アンプの近くに外付け部品を配置してトレース長を最小化してください。計測アンプの入力に非シールドの長いトレースがあると、CMRRとピックアップノイズが悪化します。高利得の構成では、これによって不正確な出力が生成されます。計測アンプの入力の接続には、シールド線または同軸ケーブルを使用してください。MAX4208/MAX4209は極めて低い入力オフセット電圧を特長としているため、ハイインピーダンスの信号ソースとの組み合わせでは、ボードの漏れ電流と熱電対効果によって簡単に入力オフセット電圧の測定値に誤差が生じる可能性があります。ボードの漏れ電流と熱電対効果を最小化するため、ボードを徹底的に清掃し、整合の取れた部品を互いに非常に接近させて適切な向きで配置してください。最良の性能を得るため、各電源をそれぞれ独立した0.1 $\mu$ Fのコンデンサでグラウンドにバイパスしてください。

ノイズの多いデジタル環境では、独立したグラウンドおよび電源プレーンを持つ多層PCBの使用が推奨されます。デジタル信号を敏感なアナログ入力から遠ざけてください。

優れたレイアウトの例については、MAX4208またはMAX4209の評価キットのデータシートを参照してください。

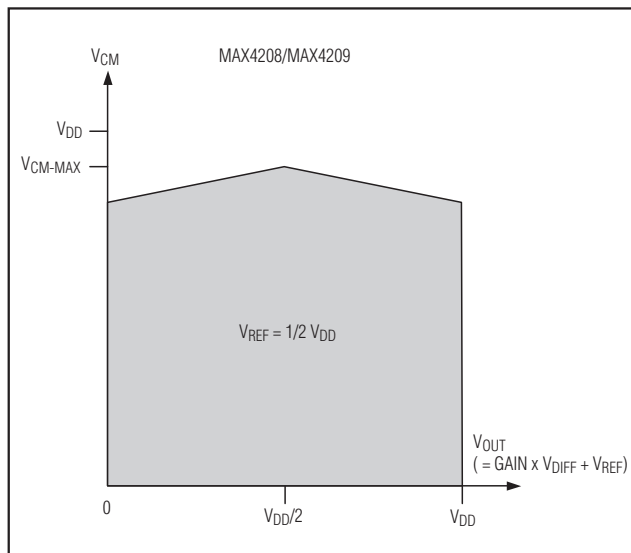


図4. 0V (GND)を含むMAX4208/MAX4209の入力共通モードと出力電圧

## ローサイド電流検出アンプ

間接電流フィードバックアーキテクチャを使用しているMAX4208/MAX4209は、ローサイド電流検出アプリケーション、すなわち小さな検出抵抗を使って回路グラウンドの電流を測定する必要がある場合に最適です。こうした状況では、入力共通モード電圧がグラウンドと同じかまたはそれよりわずかに下( $V_{SS} - 0.1V$ )になることが許容されます。

測定対象の電流が双方向である場合、各方向に完全なダイナミックレンジを得るため、REFIN/MODEを $V_{DD}/2$ に接続してください。測定する電流が単方向の場合は、REFIN/MODEとREFの両方をGNDに接続することができます。しかし、VOLの制約によって小電流の測定が制限される可能性があります。最小0Aまで電流を測定する必要がある場合は、REFIN/MODEを0.2V以上の電圧にバイアスすることによって、内部バッファを作動させ、アンプのVOLより高い電圧を維持して、OUTとREFの両方を差動入力ADCで測定してください。

## 低電圧、ハイサイド電流検出アンプ

ノートブックコンピュータのような高性能ポータブルデバイスにとって、電源管理は極めて重要な領域の1つです。最新のデジタルプロセッサやASICは、高速化、小型化、そして動作コア電圧の低電圧化(一般的には0.9V~1.25V)のために、ますます小さなサイズのトランジスタを使用するようになってきました。計測アンプMAX4208/MAX4209は、電圧降下ほぼゼロの電流検出アンプとして使用することが可能です(図5参照)。

# REFバッファ付き、超低オフセット/ドリフト、高精度計測アンプ

$V_{OS}$ が極めて低いMAX4208/MAX4209では、わずか10mV~20mVのフルスケール $V_{SENSE}$ が可能であり、mΩクラスの検出抵抗を使用した最小限の侵襲性の電流検出によって高い精度を得ることができます。従来の手法では、ステップダウンDC-DCコンバータのインダクタが持つ内部抵抗値を使用して電流を測定していましたが、精度は20%~30%に過ぎませんでした。20mVのフルスケール $V_{SENSE}$ を使用すると、最大20μVである

$V_{OS}$ の誤差項は0.1%以下、MAX4209Hの利得誤差は100倍時で最大0.25%になり、全体としての精度が大幅に向上します。0~2VのMAX4209Hの出力をADCに送って計算を行うことが可能です。MAX4208の可変利得を1kΩと249kΩの抵抗を使用して250倍に設定し、小さな10mVの $V_{SENSE}$ 電圧を大きな2.5Vの出力電圧に拡大して、必要に応じてダイナミックレンジを広げることができます。

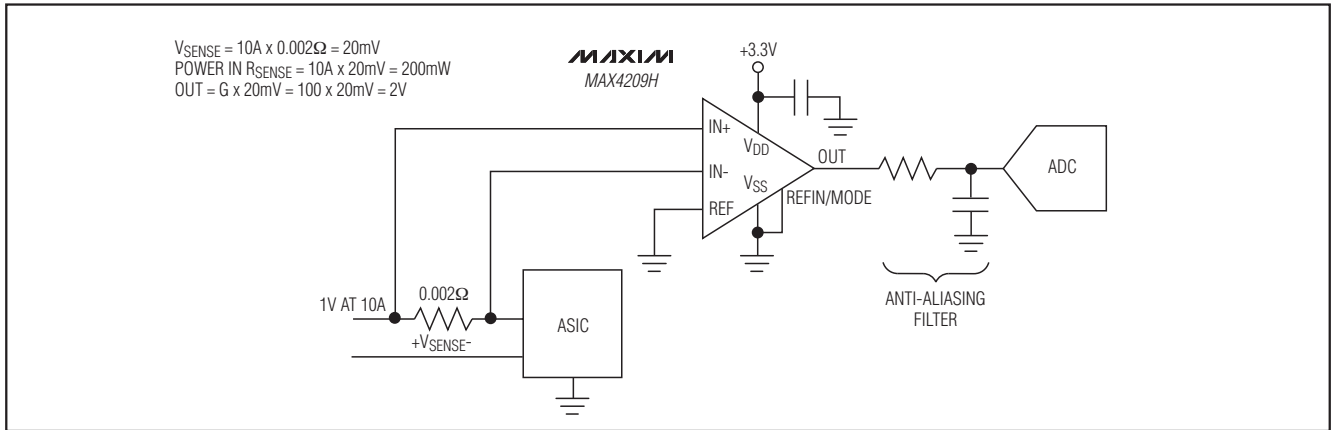
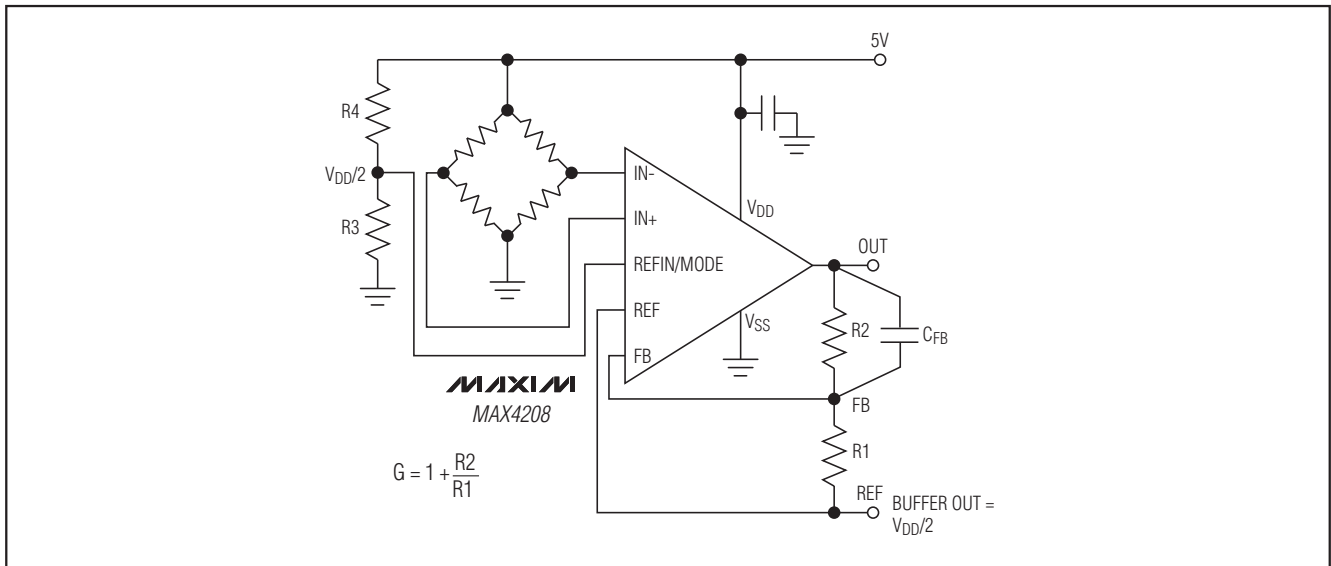


図5. MAX4208/MAX4209を $V_{SENSE}$ が20mVのノートブックコンピュータ向け高精度電流検出アンプとして使用する例

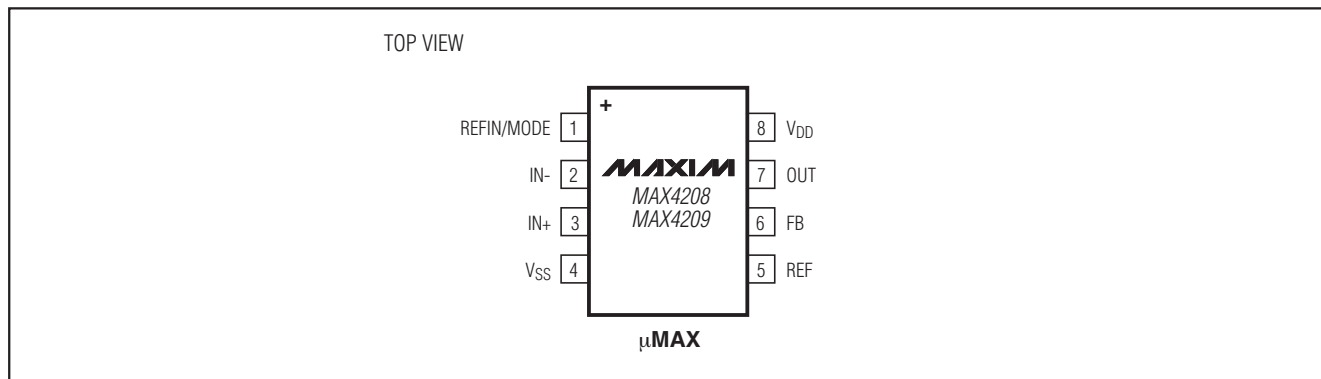
## 標準動作回路



# REFバッファ付き、超低オフセット/ドリフト、 高精度計測アンプ

MAX4208/MAX4209

## ピン配置



## チップ情報

TRANSISTOR COUNT: 2335

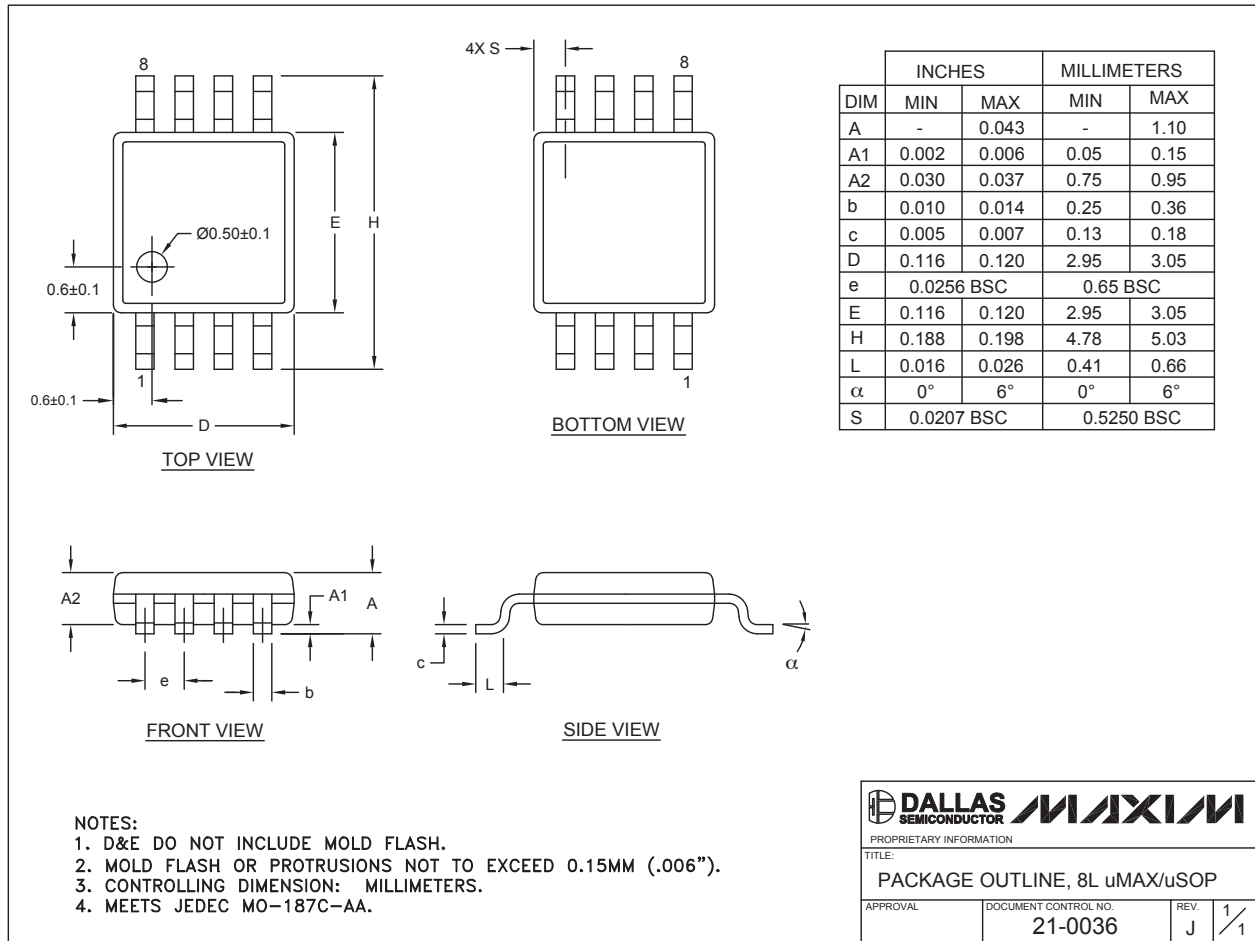
PROCESS: BiCMOS

# REFバッファ付き、超低オフセット/ドリフト、高精度計測アンプ

MAX4208/MAX4209

## パッケージ

(このデータシートに掲載されているパッケージ仕様は、最新版が反映されているとは限りません。最新のパッケージ情報は、[japan.maxim-ic.com/packages](http://japan.maxim-ic.com/packages)をご参照下さい。)



注：MAX4208AUA/MAX4209\_AUAはパッケージコードU8-1を使用しています。

## マキシム・ジャパン株式会社

〒169-0051東京都新宿区西早稲田3-30-16 (ホリゾン1ビル)  
 TEL. (03)3232-6141 FAX. (03)3232-6149

マキシムは完全にマキシム製品に組み込まれた回路以外の回路の使用について一切責任を負いかねます。回路特許ライセンスは明言されていません。マキシムは随時予告なく回路及び仕様を変更する権利を留保します。

Maxim Integrated Products, 120 San Gabriel Drive, Sunnyvale, CA 94086 408-737-7600 17