ANALOG DEVICES

データシート
ADR1001

# オーブン制御、埋め込みツェナー、高精度電圧リファレンス

## 特長

- LTZ1000 クラスの超安定な 6.6V 埋め込みツェナー・リファレンス
- 温度制御されたマッチング済みの抵抗分圧器を内蔵
- 5V 出力精度±0.25%（$R_{ISET}$ = 102Ω、$T_J$ = 70ºC）
- 5V 出力ノイズ（0.1Hz～10Hz）：0.13ppm p-p
- ツェナー、温度ループ・オペアンプ、バッファをオン・チップ化
- 入力電圧範囲：9V～36V
- ハーメチック表面実装パッケージ、20 端子 LCC
- オーブン機能により超低温度ドリフトを確保

## アプリケーション

- キャリブレーション機器
- ベンチトップ型デジタル・マルチメータ
- 自動試験装置（ATE）
- 高精度データ･アクイジション･システム（DAS）
- 低変動高精度計測機器

## 概要

ADR1001 は、超低ドリフト埋め込みツェナー高精度電圧リファレンスの 1 チップ完全統合型ソリューションです。LTZ1000 で要求されるシグナル・コンディショニング回路全体を 1 チップに統合することにより、ADR1001 では全体ソリューション面積が大幅に削減され、同時にディスクリート部品による回路ソリューションを作る上での多くの課題が解消されることにより、デザイン・プロセスを単純化できます。

オン・チップのヒータとアナログ・デバイセズの埋め込みツェナー技術の組み合わせにより、ADR1001 は ppm 以内の温度係数性能と、1 桁 ppm の長期ドリフト性能を実現しています。ADR1001 はあらゆる尺度でクラス最高レベルの精度を達成しているだけでなく、コストと設計の手間を軽減できる使いやすい機能を備えています。その機能の中には、ピン設定が可能な内蔵サーモスタット、抵抗で設定できるヒータ電流制限、オープン・コレクタのパワー・グッド・フラグ・ピン、ハーメチック表面実装パッケージ、マッチングの取れた追加抵抗ペアがあります。デフォルトでは、TSET ピンに外部抵抗を接続しないときの温度設定値は 70ºC で、HTR_ILIM を HTR_GND に短絡したときの内部ヒータ電流制限値は 100mA です。

内蔵の薄膜抵抗とオン・チップのバッファを使用すると、最新の高精度コンバータと互換性のある標準的な出力電圧リファレンス値を設定できます。ADR1001 の分圧器ネットワークと出力バッファの組み合わせは、初期精度が±0.25%以内になるように調整されています。更に、マッチングの取れた抵抗のペアもチップに内蔵されており、出力精度やドリフトへの影響を最小限に抑えながら、負電圧リファレンスや 2 倍のゲインを生成することができます。

ADR1001 はセラミック製ハーメチック 20 端子リードレス・チップ・キャリア（LCC）パッケージを採用しています。表面実装セラミック・パッケージにより、スルーホールへの部品のハンダ付け処理が不要になりますが、従来型のスルーホールのメタル・キャン・パッケージ同様のハーメチック・シールは維持されます。

## 機能ブロック図

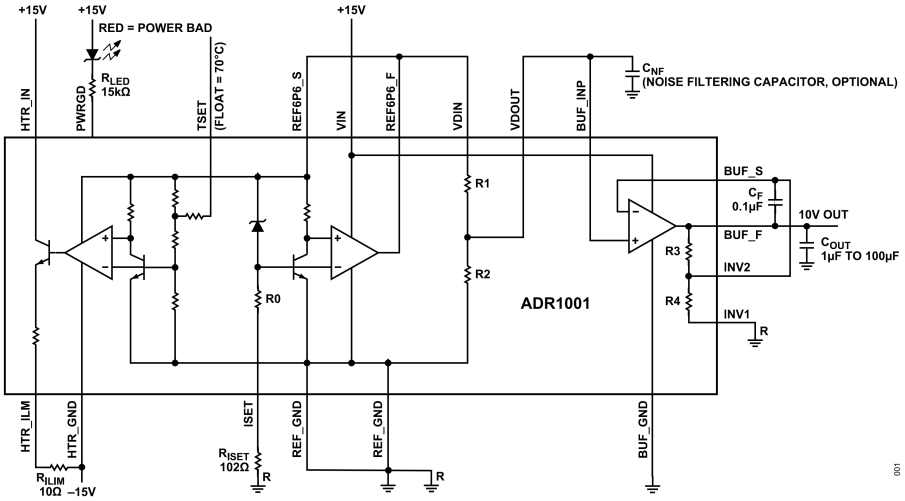


図 1. 機能ブロック図および両電源でのヒータ動作と 10V リファレンス出力を示す周辺回路図

 ※こちらのデータシートには正誤表が付属しています。当該資料の最終ページ以降をご参照ください。

アナログ・デバイセズ社は、提供する情報が正確で信頼できるものであることを期していますが、その情報の利用に関して、あるいは利用によって生じる第三者の特許やその他の権利の侵害に関して一切の責任を負いません。また、アナログ・デバイセズ社の特許または特許の権利の使用を明示的または暗示的に許諾するものでもありません。仕様は、予告なく変更される場合があります。本紙記載の商標および登録商標は、各社の所有に属します。※日本語版資料は REVISION が古い場合があります。最新の内容については、英語版をご参照ください。

## 目次

特長 ..... 1
アプリケーション ..... 1
概要 ..... 1
機能ブロック図 ..... 1
仕様 ..... 3
6.6V リファレンスの特性 ..... 3
ヒータ・アンプの電気的特性 ..... 4
5V 出力とバッファの電気的特性 ..... 4
分圧器の特性 ..... 6
絶対最大定格 ..... 7
熱抵抗 ..... 7
静電放電（ESD）定格 ..... 7
ESD に関する注意 ..... 7
ピン配置およびピン機能の説明 ..... 8
代表的な性能特性 ..... 9
動作原理 ..... 16
埋め込みツェナー・リファレンス・ループ ..... 16
温度レギュレータ ..... 16
ヒータ電流制限 ..... 17
ADR1001 の動作温度の設定 ..... 17
高精度分圧器と出力バッファ ..... 18
パワー・グッド ..... 18
外付け抵抗の精度への影響 ..... 18
コンデンサ ..... 18
ノイズ性能 ..... 18
電子機械安定性 ..... 18
ハンダ熱抵抗（SHR）シフト ..... 19
アプリケーション情報 ..... 20
基本的な接続方法 ..... 20
外形寸法 ..... 21
オーダー・ガイド ..... 21
評価用ボード ..... 21

## 改訂履歴

**1/2024—Revision 0: Initial Version**

# 仕様

## 6.6V リファレンスの特性

特に指定のない限り、$T_A$ = 25ºC、$T_{SET}$ = 70ºC、$R_{ISET}$ = 102Ω。全てのパラメータは起動後 15 秒以内に取得。

表 1. 6.6V リファレンスの特性

| Parameter | Symbol | Test Conditions/Comments | Min | Typ | Max | Unit |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 6.6 V OUTPUT VOLTAGE[1] | | | | | | |
| $T_{SET}$ = 70°C | $V_{6P6_70C_RISET=102}$ | $R_{ISET}$ = 102 Ω; TSET floating | 6.491 | 6.626 | 6.702 | V |
| | $V_{6P6_70C_RISET=470}$ | $R_{ISET}$ = 470 Ω; TSET floating | 6.467 | 6.603 | 6.679 | V |
| $T_{SET}$ = 40°C | $V_{6P6_40C_RISET=102}$ | $R_{ISET}$ = 102 Ω; TSET tied to REF6P6S | 6.501 | 6.631 | 6.704 | V |
| | $V_{6P6_40C_RISET=470}$ | $R_{ISET}$ = 470 Ω; TSET tied to REF6P6S | 6.478 | 6.580 | 6.681 | V |
| $T_{SET}$ = 125°C | $V_{6P6_125C_RISET=102}$ | $R_{ISET}$ = 102 Ω; TSET tied to REF_GND | 6.467 | 6.611 | 6.692 | V |
| | $V_{6P6_125C_RISET=470}$ | $R_{ISET}$ = 470 Ω; TSET tied to REF_GND | 6.439 | 6.555 | 6.672 | V |
| $V_{ISET}$ | | | | | | |
| $T_{SET}$ = 70°C | $V_{ISET_70C_RISET=102}$ | Voltage at ISET pin; $R_{ISET}$ = 102 Ω; TSET floating | 434 | 444 | 454 | mV |
| | $V_{ISET_70C_RISET=470}$ | Voltage at ISET pin; $R_{ISET}$ = 470 Ω; TSET floating | 462 | 472 | 482 | mV |
| $T_{SET}$ = 40°C | $V_{ISET_40C_RISET=102}$ | Voltage at ISET pin; $R_{ISET}$ = 102 Ω; TSET tied to REF6P6_S | 504 | 514 | 526 | mV |
| | $V_{ISET_40C_RISET=470}$ | Voltage at ISET pin; $R_{ISET}$ = 470 Ω; TSET tied to REF6P6_S | 532 | 542 | 552 | mV |
| $T_{SET}$ = 125°C | $V_{ISET_125C_RISET=102}$ | Voltage at ISET pin; $R_{ISET}$ = 102 Ω; TSET tied to REF_GND | 311 | 321 | 331 | mV |
| | $V_{ISET_125C_RISET=470}$ | Voltage at ISET pin; $R_{ISET}$ = 470 Ω; TSET tied to REF_GND | 332 | 342 | 352 | mV |
| TEMPERATURE COEFFICIENT | $TCV_{6P6}$ | See the Typical Performance Characteristics section | | | | |
| Unheated TC | | Heater off | | 36 | | ppm/°C |
| Heated TC | | $T_{SET}$ = 70°C | | 0.2 | | ppm/°C |
| LINE REJECTION | $\Delta V_{6P6}/\Delta V_{IN}$ | 9 V < $V_{IN}$ < 30 V | | 0.5 | 2 | ppm/V |
| HEATER LINE REJECTION | | | | | | |
| Positive Heater Line Rejection | $\Delta V_{6P6}/\Delta V_{HTR_IN}$ | 8 V < $V_{HTR_IN}$ < 30 V | −2 | −0.4 | +2 | ppm/V |
| Negative Heater Line Rejection | $\Delta V_{6P6}/\Delta V_{HTR_GND}$ | −22 V < $V_{HTR_GND}$ < 0 V | −2 | −0.7 | +2 | ppm/V |
| LOAD REJECTION (SOURCING ONLY) | $\Delta V_{6P6}/\Delta I_{L_6P6}$ | $\Delta I_{L_6P6}$ = 5.65 mA (in addition to 4.35 mA Zener current to 10 mA total current) | | 1.8 | 7 | ppm/mA |
| OUTPUT CURRENT CAPACITY (SOURCING ONLY) | $IL_{6P6}$ | Includes Zener bias current; guaranteed by load rejection | 10 | | | mA |
| QUIESCENT CURRENT | $I_Q$ | Current at $V_{IN}$, excluding Zener and heater loads | 2.27 | 2.4 | 2.5 | mA |
| 6.6 V OUTPUT SHORT-CIRCUIT CURRENT LIMIT | $I_{SC_6P6}$ | Amount of current available to source before PWRGD pulls low; includes Zener bias current | 13 | 14.4 | 16 | mA |
| OUTPUT-VOLTAGE NOISE | | | | | | |
| Low-Frequency Noise | $e_{Np-p_6P6}$ | 0.1 Hz to 10.0 Hz | | 0.6 | | µV p-p |
| Spot Noise Density | $e_{N_6P6}$ | f = 100 Hz | | 25 | | nV/√Hz |
| PWRGD OUTPUT LOW VOLTAGE | PWRGD $V_{OL}$ | PWRGD pulled up externally with 10 kΩ to 5 V | 150 | 200 | 210 | mV |
| LONG-TERM DRIFT | $\Delta V_{6P6_LTD}$ | See Figure 13 and Figure 14 | | | | |
| | | 200 hours | | −3 | | ppm |
| | | 1000 hours | | −5 | | ppm |
| | | 2000 hours | | −5 | | ppm |

[1] ハンダ・シフトを含みません。

# 仕様

## ヒータ・アンプの電気的特性

特に指定のない限り、$T_A$ = 25ºC。全てのパラメータは起動後 15 秒以内に取得。

表 2.

| Parameter | Symbol | Test Conditions/Comments | Min | Typ | Max | Unit |
|---|---|---|---|---|---|---|
| HEATER SET TEMPERATURE | $TJ_{TSET_70C}$ | TSET floating[1] | 67 | 70 | 73 | °C |
| HEATER SET TEMPERATURE LOW | $TJ_{TSET_40C}$ | TSET tied to REF6P6_F[1] | | 40 | | °C |
| HEATER SET TEMPERATURE HIGH | $TJ_{TSET_125C}$ | TSET tied to REF_GND[1] | | 128 | | °C |
| HEATER CURRENT LIMIT | | | | | | |
| | $IH_{ILIM}$ | No external limiter | 99 | 104 | 110 | mA |
| | $IH_{ILIM_10\Omega}$ | 10 Ω external R between HTR_ILIM and HTR_GND, $R_{ISET}$ = 470 Ω | 56 | 58 | 60 | mA |
| THERMAL RESISTANCE | $\theta_{JA}$ | See the Thermal Resistance section | | 130 | | °C/W |

[1] 詳細については、ADR1001 の動作温度の設定のセクションと表 10 を参照してください。

## 5V 出力とバッファの電気的特性

$T_A$ = 25ºC、$T_{SET}$ = 70ºC、BUF_INP を VDOUT に接続、VDIN を REF6P6_F と REF6P6_S に接続。全てのパラメータは起動後 15 秒以内に取得。

表 3.

| Parameter | Symbol | Test Conditions/Comments | Min | Typ | Max | Unit |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 V OUTPUT VOLTAGE[1] | | Noninverting input connected to VDOUT | | | | |
| $T_{SET}$ = 70°C | $V_{5_70C_RISET=102\Omega}$ | $R_{ISET}$ = 102 Ω; TSET floating | 4.9875 | 5.0 | 5.0125 | V |
| | $V_{5_70C_RISET=470\Omega}$ | $R_{ISET}$ = 470 Ω; TSET floating | 4.970 | 4.986 | 4.996 | V |
| $T_{SET}$ = 40°C | $V_{5_40C_RISET=102\Omega}$ | $R_{ISET}$ = 102 Ω; TSET tied to REF6P6_S | 4.995 | 5.005 | 5.017 | V |
| | $V_{5_40C_RISET=470\Omega}$ | $R_{ISET}$ = 470 Ω; TSET tied to REF6P6_S | 4.977 | 4.987 | 4.999 | V |
| $T_{SET}$ = 125°C | $V_{5_125C_RISET=102\Omega}$ | $R_{ISET}$ = 102 Ω; TSET tied to REF_GND | 4.970 | 4.988 | 5.006 | V |
| | $V_{5_125C_RISET=470\Omega}$ | $R_{ISET}$ = 470 Ω; TSET tied to REF_GND | 4.949 | 4.970 | 4.990 | V |
| 5 V OUTPUT-VOLTAGE ERROR | $V_{5_ERR}$ | $R_{ISET}$ = 102 Ω; TSET floating | | | ±0.25 | % |
| SOLDER HEAT RESISTANCE SHIFT | SHR | | | 80 | | ppm |
| OUTPUT-VOLTAGE TEMPERATURE COEFFICIENT | $TCV_{OUT}$ | Includes heated tempco of 6.6 V reference, voltage divider, and output buffer | | 0.2 | | ppm/°C |
| LINE REJECTION | $\Delta V_5/\Delta V_{IN}$ | 9 V < $V_{IN}$ < 30 V | −3 | +0.5 | +3 | ppm/V |
| HEATER LINE REJECTION | | | | | | |
| Positive Heater Line Rejection | $\Delta V_5/\Delta V_{HTR_IN}$ | 8 V < $V_{HTR_IN}$ < 30 V | −3 | −0.4 | +3 | ppm/V |
| Negative Heater Line Rejection | $\Delta V_5/\Delta V_{HTR_GND}$ | −22 V < $V_{HTR_GND}$ < 0 V | −2 | −0.7 | +2 | ppm/V |
| LOAD REJECTION | $\Delta V_5/\Delta I_L$ | | | | | |
| Sourcing | | 0 mA < $I_{OUT}$ < 8 mA | −14 | +1 | +19 | µV/mA |
| Sinking | | −8 mA < $I_{OUT}$ < 0 mA | −14 | +4 | +18 | µV/mA |
| SHORT-CIRCUIT CURRENT LIMIT | $I_{SC_5}$ | | | | | |
| Sourcing to GND | | | 13 | 14.7 | 16 | mA |
| Sinking to $V_{IN}$ = 15 V | | | 11 | 12 | 13 | mA |
| OFFSET VOLTAGE | $V_{OS}$ | $V_{CM}$ = 5 V | −1 | | +1 | mV |
| INPUT BIAS CURRENT | $I_B$ | $V_{CM}$ = 5 V | | 2 | 6 | nA |
| OUTPUT-VOLTAGE NOISE[2] | | | | | | |
| Low-Frequency Noise | $e_{Np-p_5V}$ | 0.1 Hz to 10.0 Hz | | 0.7 | | µV p-p |
| Spot Noise Density | $e_{N_5V}$ | f = 100 Hz | | 25 | | nV/√Hz |

## 仕様

表 3.（続き）

| Parameter | Symbol | Test Conditions/Comments | Min | Typ | Max | Unit |
|---|---|---|---|---|---|---|
| LONG-TERM DRIFT | $\Delta V_{5_LTD}$ | Includes LTD of 6.6 V reference, voltage divider, and output buffer; see Figure 11 and Figure 12 | | | | |
| | | 200 hours (early life drift) | | −2 | | ppm |
| | | 1000 hours | | −4 | | ppm |
| | | 2000 hours | | −5 | | ppm |
| 5 V OUTPUT STARTUP STABILIZATION TIME | | | | | | |
| ±0.25% | | | | 0.2 | | sec |
| ±3 ppm | | | | 45 | | sec |

[1] ハンダ・シフトを含みません。
[2] ツェナー・ノイズが支配的です。

# 仕様

## 分圧器の特性

特に指定のない限り、$T_A$ = 25ºC。特に指定のない限り、$T_{SET}$ = 70ºC。全てのパラメータは起動後 15 秒以内に取得。

表 4.

| Parameter | Symbol | Test Conditions/Comments | Min | Typ | Max | Unit |
|---|---|---|---|---|---|---|
| VDOUT VOLTAGE | $V_{DOUT}$ | VDIN connected to REF6P6_F, REF6P6_S, VDOUT floating | | | | |
| $T_{SET}$ = 70°C | $V_{DOUT_70C_102\Omega}$ | $R_{ISET}$ = 102 Ω; TSET floating | 4.9875 | 5.0005 | 5.0125 | V |
| | $V_{DOUT_70C_470\Omega}$ | $R_{ISET}$ = 470 Ω; TSET floating | 4.970 | 4.984 | 4.996 | V |
| $T_{SET}$ = 40°C | $V_{DOUT_40C_102\Omega}$ | $R_{ISET}$ = 102 Ω; TSET tied to REF6P6_S | 4.995 | 5.005 | 5.016 | V |
| | $V_{DOUT_40C_470\Omega}$ | $R_{ISET}$ = 470 Ω; TSET tied to REF6P6_S | 4.977 | 4.988 | 4.999 | V |
| $T_{SET}$ = 125°C | $V_{DOUT_125C_102\Omega}$ | $R_{ISET}$ = 102 Ω; TSET tied to REF_GND | 4.970 | 4.988 | 5.005 | V |
| | $V_{DOUT_125C_470\Omega}$ | $R_{ISET}$ = 470 Ω; TSET tied to REF_GND | 4.949 | 4.969 | 4.990 | V |
| VDOUT VOLTAGE ERROR | $V_{DOUT_ERR}$ | $R_{ISET}$ = 102 Ω; TSET floating | | | 0.25 | % |
| AUXILLIARY VOLTAGE DIVIDER | | | | | | |
| End-to-End Resistance | R3 + R4 | | 17.784 | 18.7 | 19.632 | kΩ |
| Matching | ΔR/R | | −0.3 | +0.05 | +0.3 | % |
| Matching Tempco | (ΔR/R)/ΔT | | | <1 | | ppm/°C |
| 10 V OUTPUT VOLTAGE[1] | $V_{10}$ | See Figure 46 | | | | |
| $T_{SET}$ = 70°C | $V_{10_70C_102\Omega}$ | $R_{ISET}$ = 102 Ω; TSET floating | 9.975 | 10.00 | 10.025 | V |
| | $V_{10_70C_470\Omega}$ | $R_{ISET}$ = 470 Ω; TSET floating | 9.940 | 9.966 | 9.994 | V |
| $T_{SET}$ = 40°C | $V_{10_40C_102\Omega}$ | $R_{ISET}$ = 102 Ω; TSET tied to REF6P6_S | 9.989 | 10.008 | 10.034 | V |
| | $V_{10_40C_470\Omega}$ | $R_{ISET}$ = 470 Ω; TSET tied to REF6P6_S | 9.954 | 9.973 | 9.998 | V |
| $T_{SET}$ = 125°C | $V_{10_125C_102\Omega}$ | $R_{ISET}$ = 102 Ω; TSET tied to REF_GND | 9.942 | 9.979 | 10.012 | V |
| | $V_{10_125C_470\Omega}$ | $R_{ISET}$ = 470 Ω; TSET tied to REF_GND | 9.899 | 9.944 | 9.982 | V |
| 10 V OUTPUT-VOLTAGE ERROR | $V_{10_ERR}$ | $R_{ISET}$ = 102 Ω; TSET floating | | | 0.25 | % |
| 10 V OUTPUT LINE REJECTION | $\Delta V_{10}/\Delta V_{IN}$ | 12 V < $V_{IN}$ < 30 V | −2 | | +2 | ppm/V |
| 2.5 V OUTPUT VOLTAGE | $V_{2P5}$ | See Figure 48 | | | | |
| $T_{SET}$ = 70°C | $V_{2P5_70C_102\Omega}$ | $R_{ISET}$ = 102 Ω; TSET floating | 2.49375 | 2.5 | 2.50625 | V |
| | $V_{2P5_70C_470\Omega}$ | $R_{ISET}$ = 470 Ω; TSET floating | 2.483 | 2.491 | 2.497 | V |
| $T_{SET}$ = 40°C | $V_{2P5_40C_102\Omega}$ | $R_{ISET}$ = 102 Ω; TSET tied to REF6P6_S | 2.496 | 2.502 | 2.508 | V |
| | $V_{2P5_40C_470\Omega}$ | $R_{ISET}$ = 470 Ω; TSET tied to REF6P6_S | 2.487 | 2.493 | 2.499 | V |
| $T_{SET}$ = 125°C | $V_{2P5_125C_102\Omega}$ | $R_{ISET}$ = 102 Ω; TSET tied to REF_GND | 2.484 | 2.494 | 2.502 | V |
| | $V_{2P5_125C_470\Omega}$ | $R_{ISET}$ = 470 Ω; TSET tied to REF_GND | 2.473 | 2.485 | 2.494 | V |
| 2.5 V OUTPUT-VOLTAGE ERROR | $V_{2P5_ERR}$ | $R_{ISET}$ = 102 Ω; TSET floating | | | 0.25 | % |

[1] ハンダ・シフトを含みません。

## 絶対最大定格

表 5. 絶対最大定格

| Parameter | Rating |
|---|---|
| SUPPLY VOLTAGES | |
| HTR_IN to HTR_GND (Substrate)[1] | 8 V to 36 V |
| VIN to HTR_GND (Substrate)[1] | 36 V |
| VIN to REF_GND | 36 V |
| REF_GND to BUF_GND | −0.3 V to +0.3 V |
| PRECISION RESISTOR-DIVIDERS | |
| VDIN to REF_GND | 12 V |
| VDOUT to REF_GND | 8 V |
| VDOUT to VDIN | 4 V |
| TSET | (REF_GND − 0.3 V) to (REF6P6_F + 0.3 V) |
| INV2 to INV1 | −0.3 V to +8 V |
| OUTPUT BUFFER[2] | |
| BUF_INP to BUF_S Maximum Differential | 15 V |
| BUF_INP and BUF_S Maximum Input Current | 5 mA |
| BUF_F to INV2 | −0.3 V to +8 V |
| PWRGD to REF_GND | 36 V |
| TEMPERATURE | |
| Storage Range | −65°C to +150°C |
| Operating Range | −40°C to +130°C |
| Junction Range | −40°C to +130°C |
| Lead, Soldering (10 sec) | 300°C |
| LATCHUP | 100 mA |

[1] 基板接合部の順方向バイアスを防止するため、HTR_GND がチップ内で最低の電位である必要があります。
[2] BUF_F を REF_GND より低く（反転機能）することはできません。負のリファレンスが必要な場合は、図 47 を参照してください。

上記の絶対最大定格を超えるストレスを加えると、デバイスに恒久的な損傷を与えることがあります。この規定はストレス定格のみを指定するものであり、この仕様の動作のセクションに記載する規定値以上でのデバイス動作を定めたものではありません。デバイスを長時間にわたり絶対最大定格状態に置くと、デバイスの信頼性に影響を与えることがあります。

## 熱抵抗

熱性能は、プリント回路基板（PCB）の設計と動作環境に直接関連しています。PCB の熱設計には、細心の注意を払う必要があります。

表 6. 熱抵抗

| Package Type | $\theta_{JA}$ | $\theta_{JC}$ | Unit |
|---|---|---|---|
| E-20-1 | | | |
| 2-Layer JEDEC Board | 120 | N/A | °C/W |
| Evaluation Board | 140 | N/A | °C/W |

## 静電放電（ESD）定格

以下の ESD 情報は、ESD に敏感なデバイスを取り扱うために示したものですが、対象は ESD 保護区域内だけに限られます。

ANSI/ESDA/JEDEC JS-001 準拠の人体モデル（HBM）。

ANSI/ESDA/JEDEC JS-002 準拠の電界誘起帯電デバイス・モデル（FICDM）。

### ADR1001 の ESD 定格

表 7. ADR1001、20 端子 LCC

| ESD Model | Withstand Threshold (V) | Class |
|---|---|---|
| HBM | ±2000 | 2 |
| FICDM | ±1000 | C3 |

## ESD に関する注意

ESD（静電放電）の影響を受けやすいデバイスです。

電荷を帯びたデバイスや回路ボードは、検知されないまま放電することがあります。本製品は当社独自の特許技術である ESD 保護回路を内蔵してはいますが、デバイスが高エネルギーの静電放電を被った場合、損傷を生じる可能性があります。したがって、性能劣化や機能低下を防止するため、ESD に対する適切な予防措置を講じることをお勧めします。

## ピン配置およびピン機能の説明

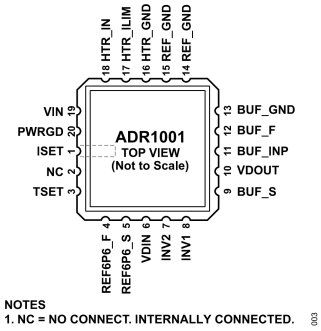


図 2. ピン配置

表 8. ピン機能の説明

| ピン番号 | 記号 | 説明 |
|---|---|---|
| 1 | ISET | ツェナーのバイアス電流設定。 |
| 2 | NC | 接続不要、内部で接続。NC は REF_GND に短絡することができます。 |
| 3 | TSET | チップの温度設定。 |
| 4 | REF6P6_F | 6.6V フォース。 |
| 5 | REF6P6_S | 6.6V センス。 |
| 6 | VDIN | 高精度分圧器入力。 |
| 7 | INV2 | インバータ分圧器抵抗。 |
| 8 | INV1 | インバータ分圧器抵抗。 |
| 9 | BUF_S | バッファ反転入力。 |
| 10 | VDOUT | 高精度分圧器 5V 出力。 |
| 11 | BUF_INP | バッファ非反転入力。 |
| 12 | BUF_F | バッファ・フォース。 |
| 13 | BUF_GND | バッファ・グラウンド・フォース。 |
| 14, 15 | REF_GND | リファレンス・グラウンド・センス。 |
| 16 | HTR_GND | レベル・シフト・ヒータ・グラウンド。 |
| 17 | HTR_ILIM | ヒータ電流制限。 |
| 18 | HTR_IN | ヒータ電源。 |
| 19 | VIN | リファレンス電源。 |
| 20 | PWRGD | パワー・グッド・ステータス・フラグ。 |

## 代表的な性能特性

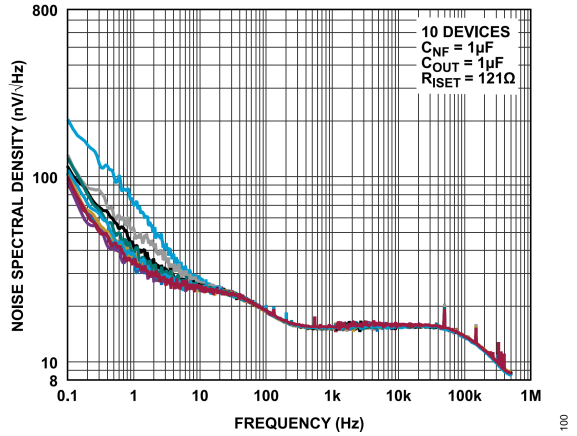


図 3. ノイズ・スペクトル密度と周波数の関係、5V 出力

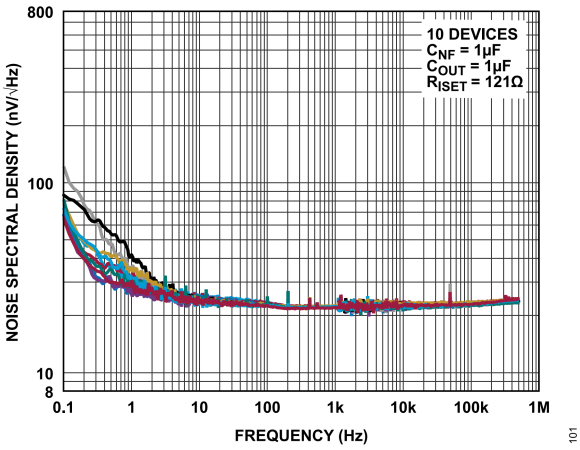


図 4. ノイズ・スペクトル密度と周波数の関係、6.6V 出力

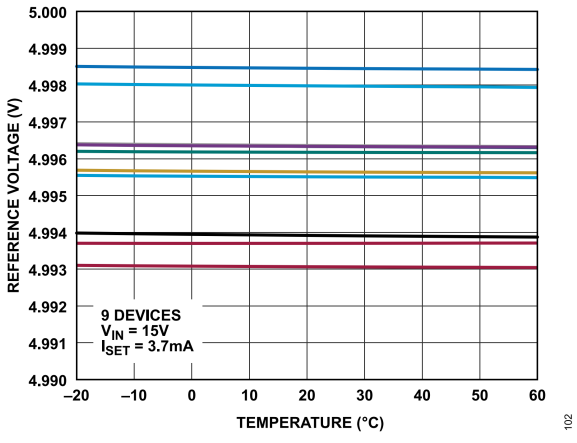


図 5. リファレンス電圧と温度の関係、5V 出力

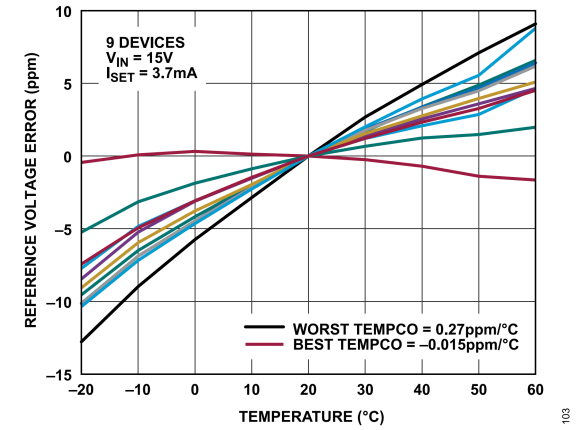


図 6. リファレンス電圧誤差と温度の関係、5V 出力、+20ºC 基準

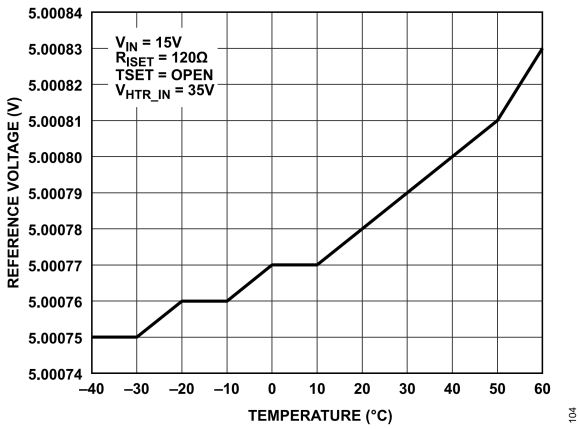


図 7. リファレンス電圧と温度の関係、5V 出力

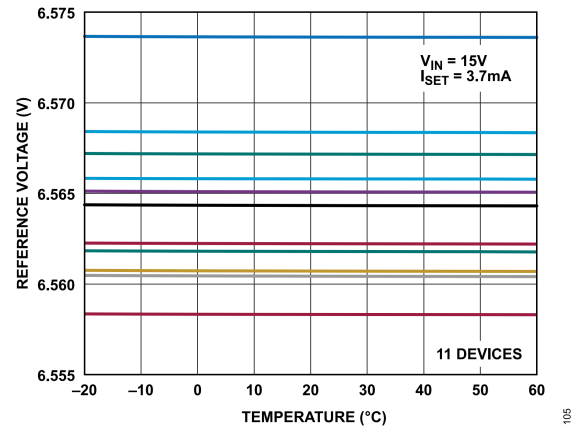


図 8. リファレンス電圧と温度の関係、6.6V 出力

## 代表的な性能特性

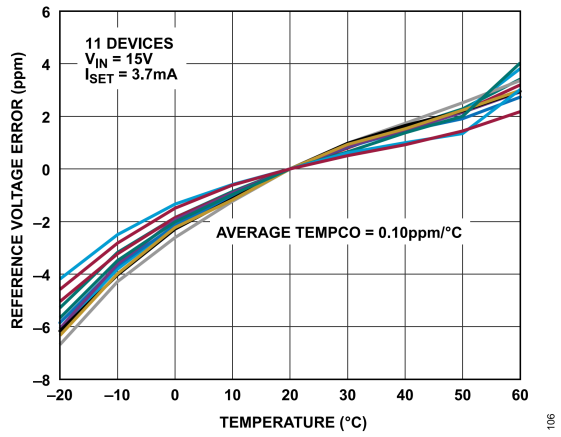


図 9. リファレンス電圧誤差と温度の関係、
6.6V 出力、+20ºC 基準

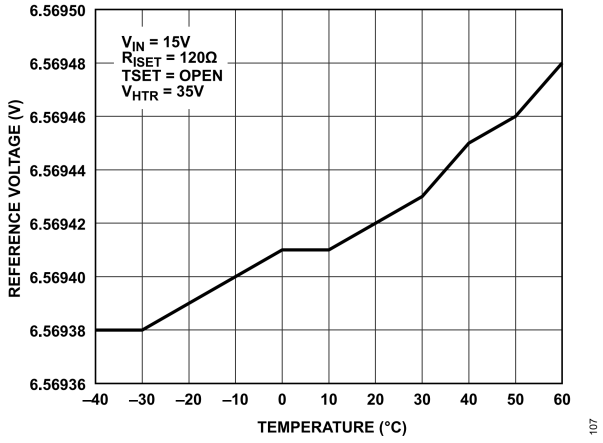


図 10. リファレンス電圧と温度の関係、6.6V 出力

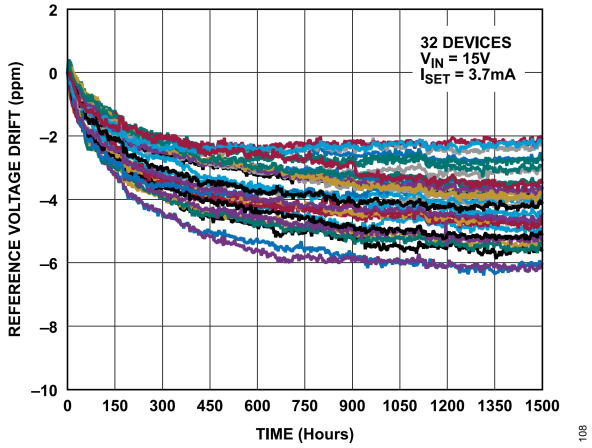


図 11. 長期ドリフト、5V 出力

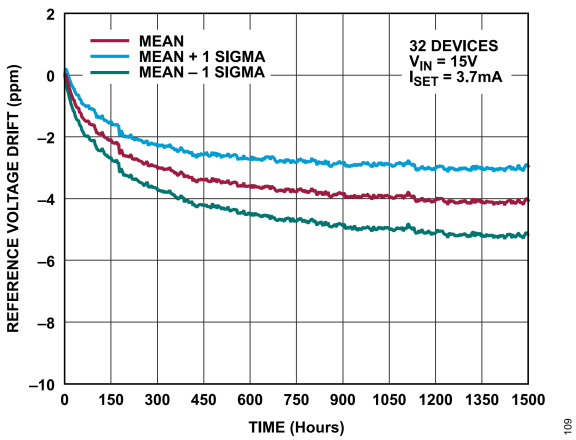


図 12. 長期ドリフト、5V 出力、平均と±1 シグマ時

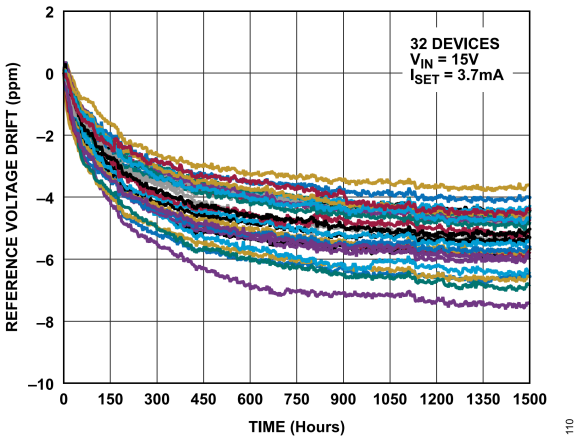


図 13. 長期ドリフト、6.6V 出力

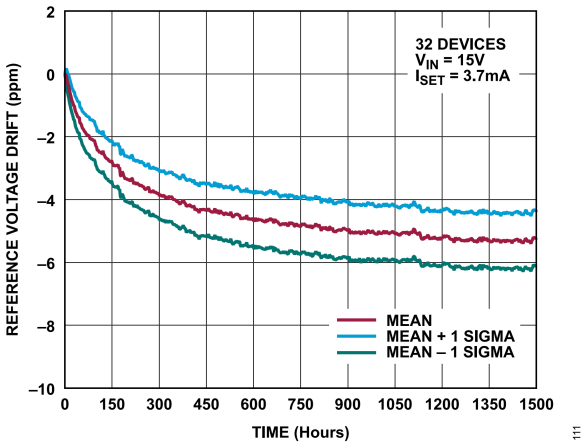


図 14. 長期ドリフト、6.6V 出力、平均と±1 シグマ時

## 代表的な性能特性

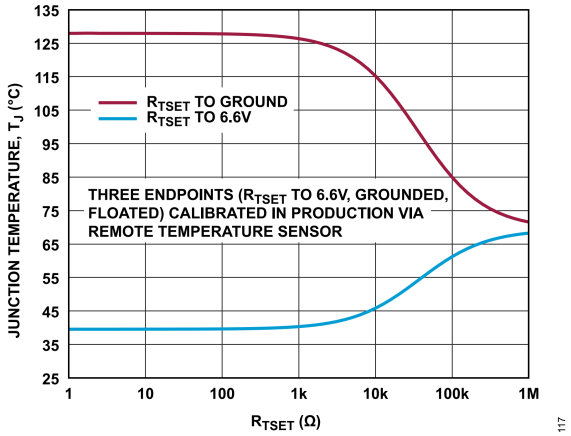


図 15. ジャンクション温度と $R_{TSET}$ の関係：6.6V に接続、グラウンドに接続、フローティング

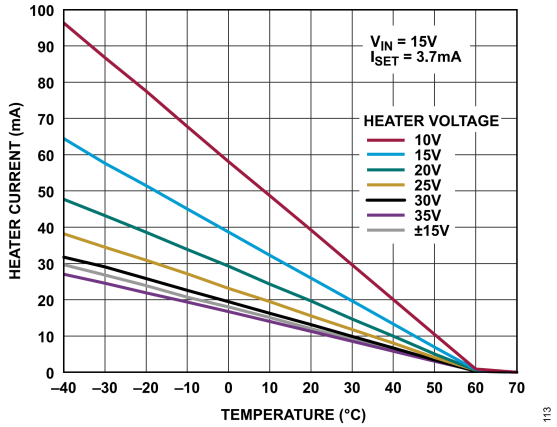


図 16. 最終ヒータ電流と温度の関係

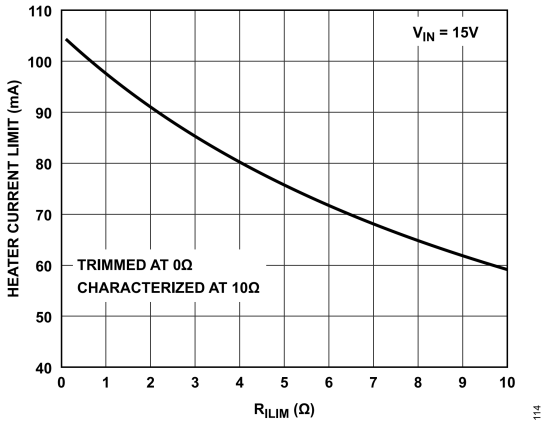


図 17. ヒータ電流制限と $R_{ILIM}$ の関係

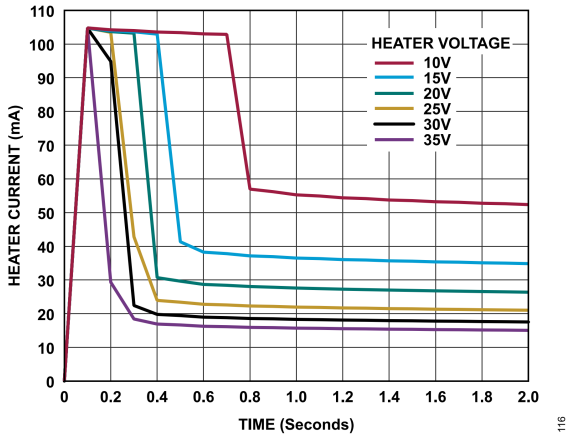


図 18. ヒータ電流と時間の関係、$R_{ILIM}$ = 0Ω、最初の 2 秒間

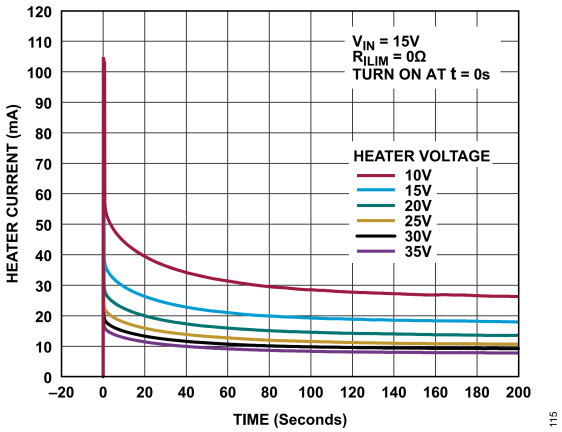


図 19. ヒータ電流と時間の関係、$R_{ILIM}$ = 0Ω

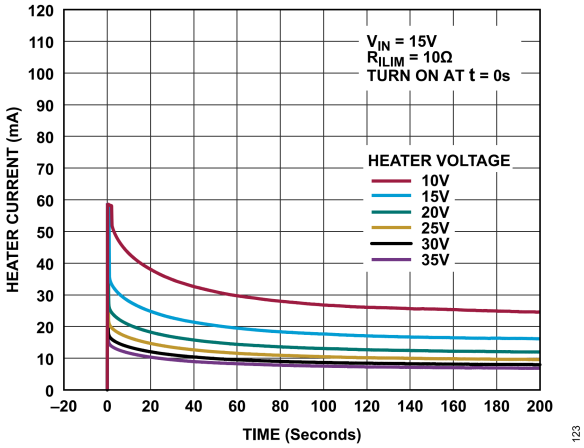


図 20. ヒータ電流と時間の関係、$R_{ILIM}$ = 10Ω

## 代表的な性能特性

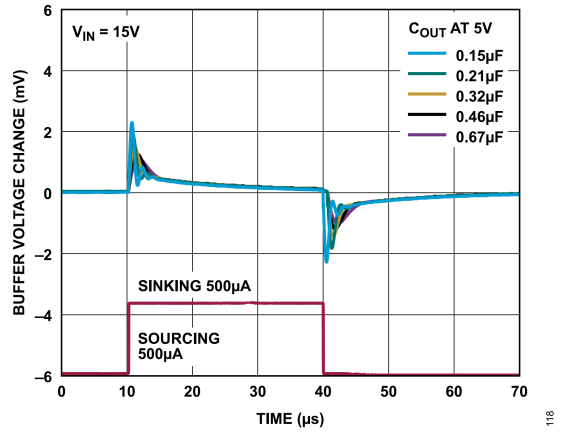


図 21. 1mA 負荷ステップに対する
バッファ出力の時間領域の応答、様々な小さい $C_{OUT}$

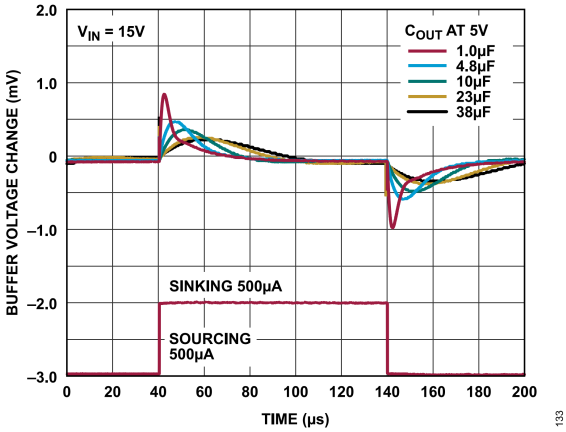


図 22. 1mA 負荷ステップに対する
バッファ出力の時間領域の応答、様々な大きい $C_{OUT}$

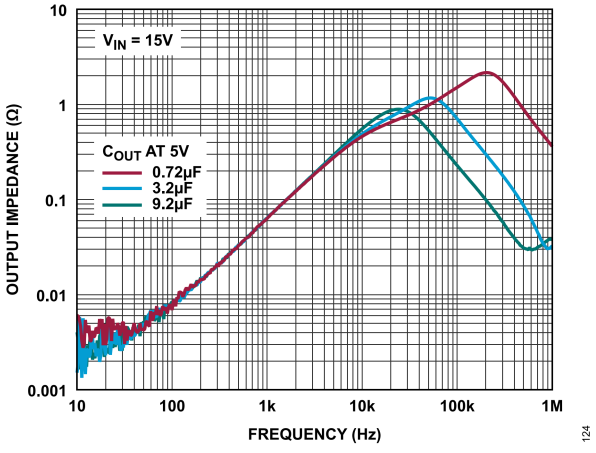


図 23. 出力インピーダンスと周波数の関係、様々な $C_{OUT}$

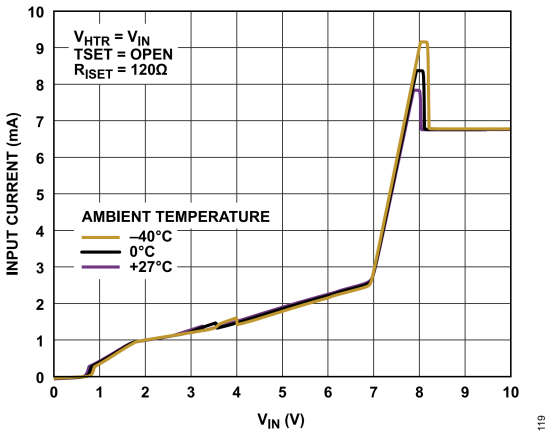


図 24 パワーアップ特性、$V_{IN}$ の上昇に伴う入力電流

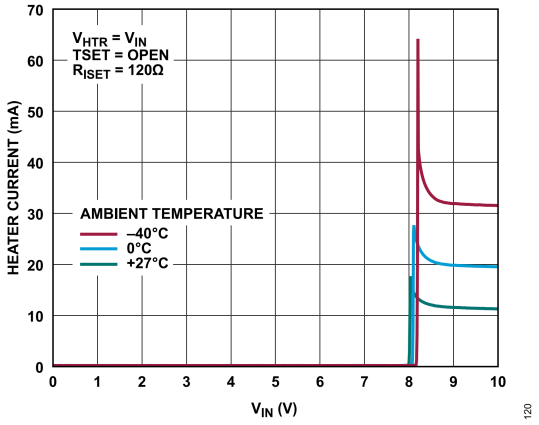


図 25. パワーアップ特性、$V_{IN}$ の上昇に伴うヒータ電流

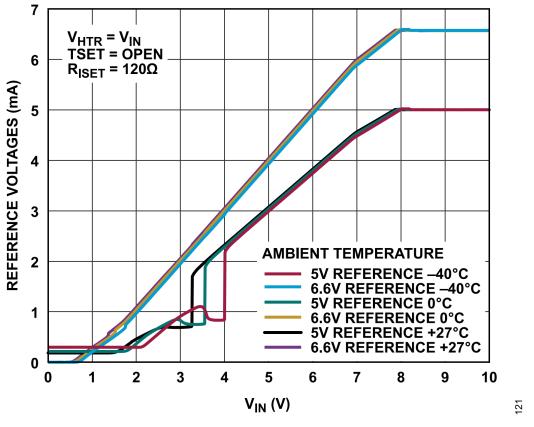


図 26. パワーアップ特性、$V_{IN}$ の上昇に伴うリファレンス電圧

## 代表的な性能特性

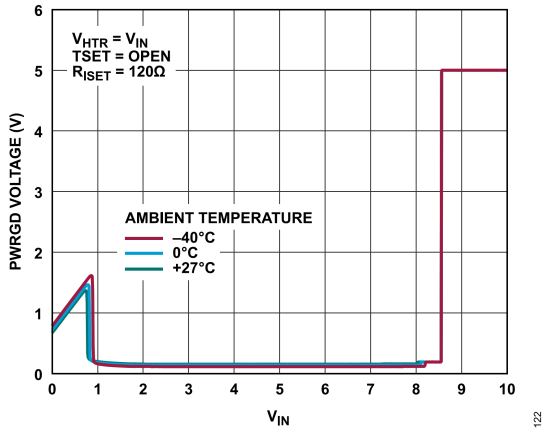


図 27. パワーアップ特性、$V_{IN}$ の上昇に伴う PWRGD ピン電圧

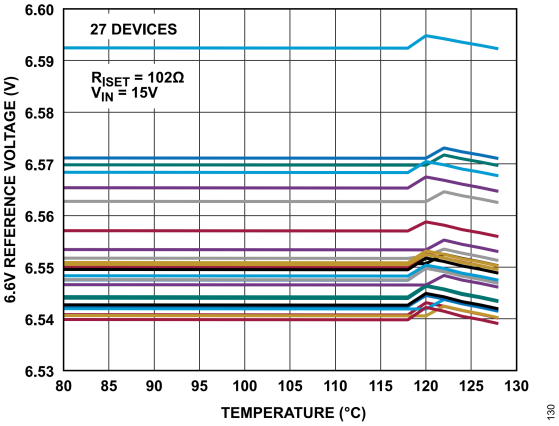


図 30. 6.6V 出力の温度レギュレーション不足、TSET ピンを REF6P6 に短絡、27 デバイス

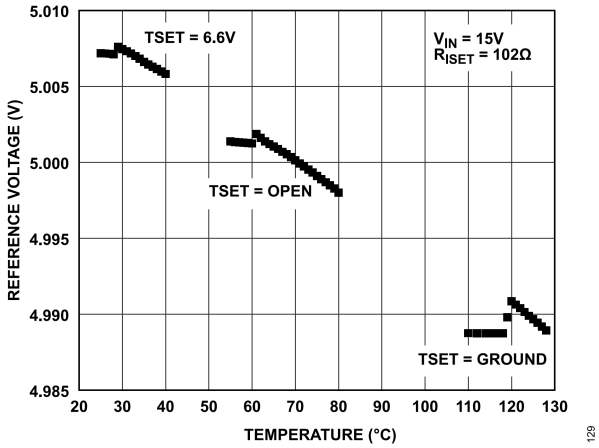


図 28. 3 つの $V_{TSET}$ 点における温度レギュレーション不足、5V 出力

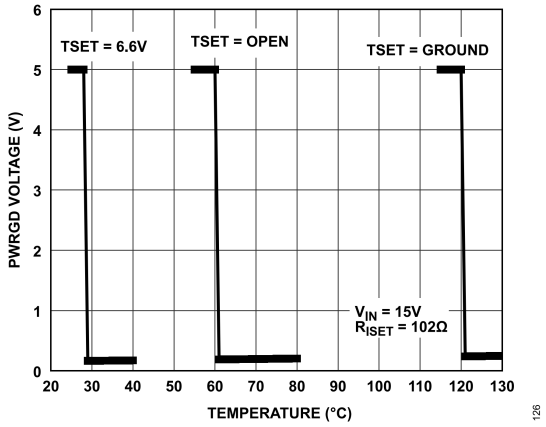


図 31. 温度レギュレーション不足時の PWRGD ピン電圧、3 つの TSET 電圧

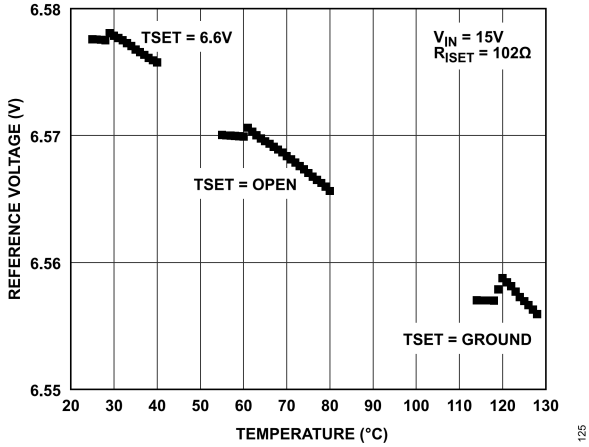


図 29. 3 つの $V_{TSET}$ 点における温度レギュレーション不足、6.6V 出力

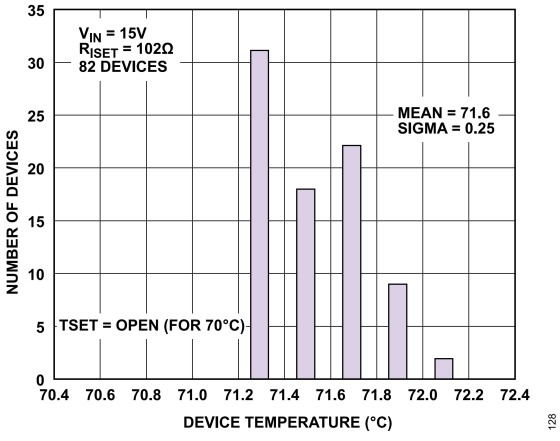


図 32. 温度設定の精度、TSET ピン未接続

## 代表的な性能特性

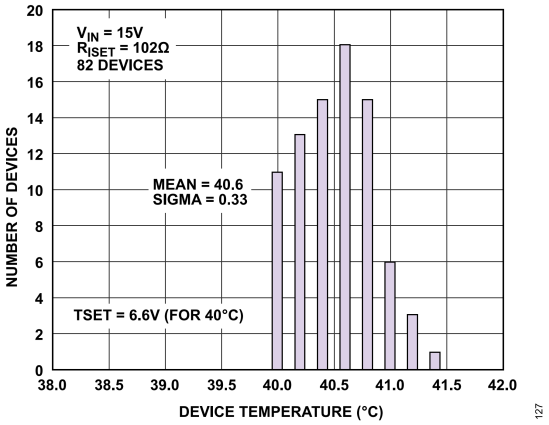


図 33. 温度設定の精度、TSET ピンを 6.6V に接続

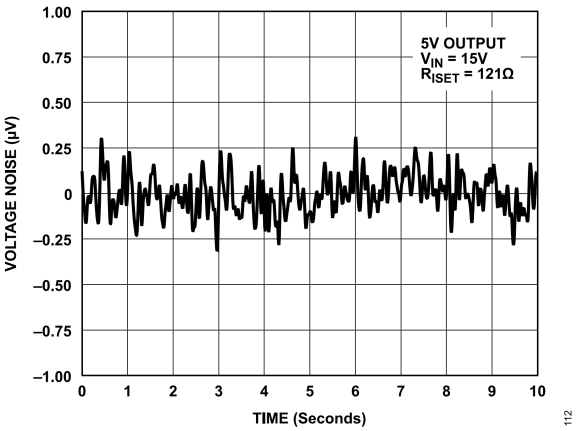


図 36. 5V 出力、0.1Hz～10Hz でのピーク to ピーク・ノイズ

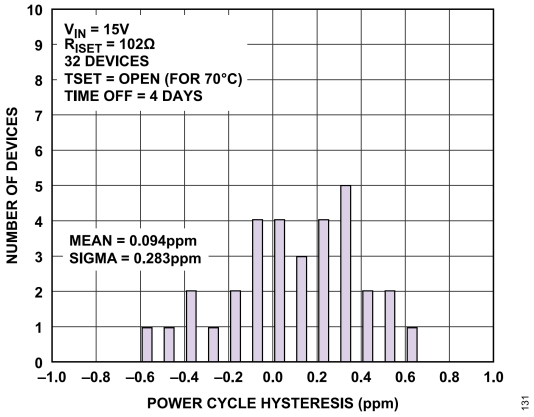


図 34. パワー・サイクルのヒステリシス、5V 出力

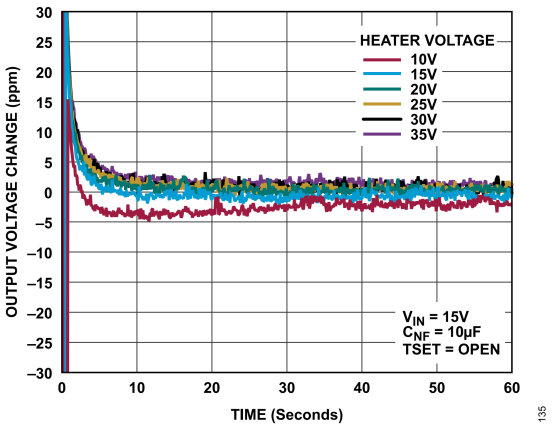


図 37. 安定化時間、様々なヒータ電圧、5V 出力

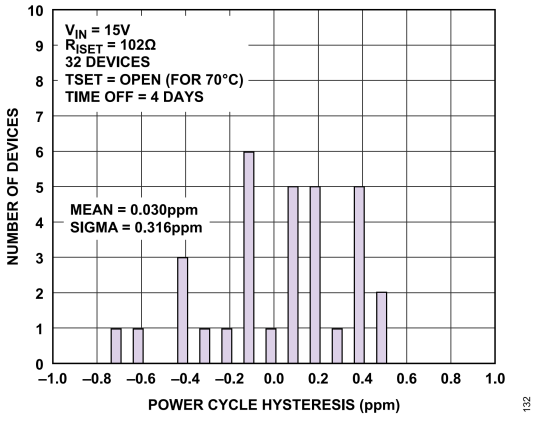


図 35. パワー・サイクルのヒステリシス、6.6V 出力

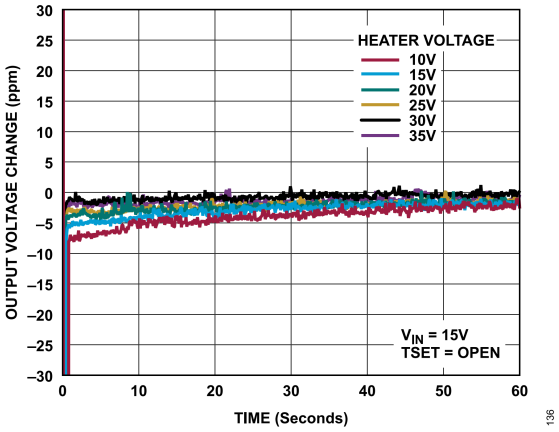


図 38. 安定化時間、様々なヒータ電圧、6.6V 出力

## 代表的な性能特性

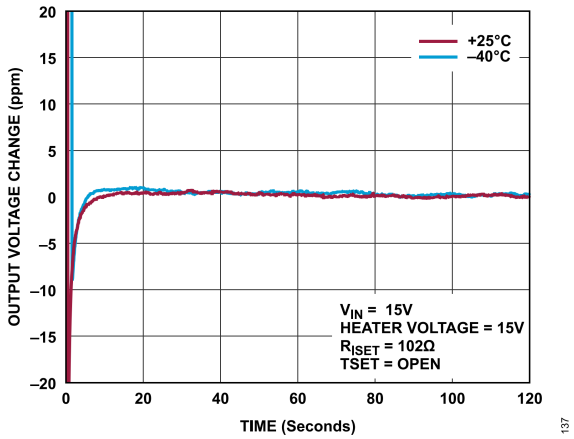


図 39. 安定化時間、室温時と低温時、5V 出力

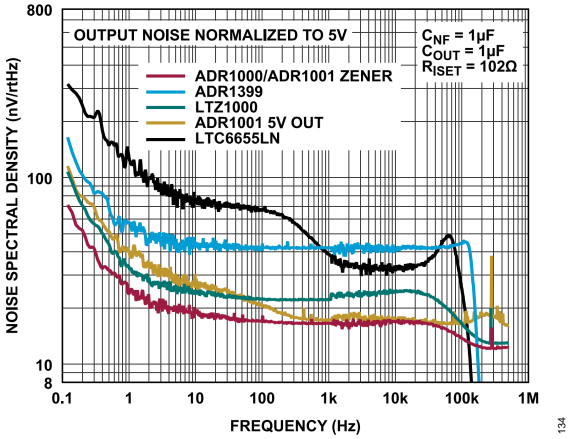


図 40. ノイズ・スペクトル密度と周波数の関係、
複数の製品の比較、5V 出力に正規化

## 動作原理

ADR1001 は、LTZ1000（または ADR1000）に高精度分圧器と出力バッファを追加した、実装が容易な完全統合型バージョンです。この追加によって ADR1001 は、シグナル・チェーンのキャリブレーション（全体システム・リファレンス）、スタンドアロン 20 ビット DAC、ADC の電圧リファレンスなど、様々な機能に応用できます。図 1 に示すように ADR1001 は、埋め込みツェナー・リファレンス・ループ、サーモスタット制御付きヒータ、分圧器および高精度出力バッファの 3 つの機能に分割できます。

### 埋め込みツェナー・リファレンス・ループ

アナログ・デバイセズ独自の低ノイズ埋め込みツェナーとトランジスタのベース・エミッタ間電圧（$V_{BE}$）を加えることにより、安定的ながら低精度の 6.6V の電圧リファレンスができ、一次温度補償が実現されます。埋め込みツェナーが ADR1001 のノイズ源として支配的であるため、ツェナーの熱ノイズがツェナー電流（$I_Z$）の平方根に反比例することから、ISET ピンによって埋め込みツェナーの電流を調整することにより、高い電力とのトレードオフで低ノイズを得ることが可能です。例えば、$I_Z$ が 1mA のときに 100Hz におけるスポット・ノイズの密度が 50nV/√Hz であったとすると、ツェナー電流を 4mA に調整するとリファレンスのノイズは約 25nV/√Hz に低減します。

内蔵のオペアンプと、ISET と GND の間に接続した外付け抵抗の組み合わせを使用して、ツェナー動作電流を次式のように設定できます。

$$R_{ISET} = (0.605\ V - 0.0023\ V/°C \times T)/I_Z - 7\ \Omega \quad (1)$$

ここで、

$T$ は加熱されたチップ温度
$I_Z$ はツェナー電流の目標値
0.605V は 0ºC における Q1 の $V_{BE}$
−0.0023V/ºC は Q1 の $V_{BE}$ の温度ドリフト
7Ω はツェナーのアノードのバルク抵抗

温度 T = +70ºC、$I_Z$ = 4mA とすると、

$$R_{ISET} = (0.605\ V - 0.0023\ V/°C \times 70°C)/4\ mA - 7\ \Omega = 104\ \Omega \quad (2)$$

7Ω のバルク抵抗（図 1 の R0）が回路図で Q1 のベースの下に存在するため、これを $I_Z$ の計算に算入する必要があります。

この 6.6V リファレンス出力には $T_{SET}$ = 70ºC において約 10mA の短絡電流制限がありますが、この出力の使用目的は、埋め込みツェナーをクラス A バイアスし、サーモスタット制御に役立てることのみであることに注意が必要です（ADR1001 の動作温度の設定のセクションを参照）。このため、6.6V 出力はコンバータやスイッチド・キャパシタ回路などで負荷を与えられるようには設計されておらず、容量性負荷の最大駆動能力は 1nF に過ぎません。

### 温度レギュレータ

ADR1399 や LTZ1000 と同様、ADR1001 はオン・チップのヒータを使用して、周囲温度にかかわらずチップ温度を固定的に 70ºC に維持します。この手法により、ADR1001 の温度係数は 0.1ppm/ºC 以内で、温度制御範囲全域で直線性があります。図 41 はヒータ電流の公称値と周囲温度の関係を示すグラフです。ヒータの消費電力はチップ温度（$T_{CHIP}$）と $T_A$ の差に比例しています。

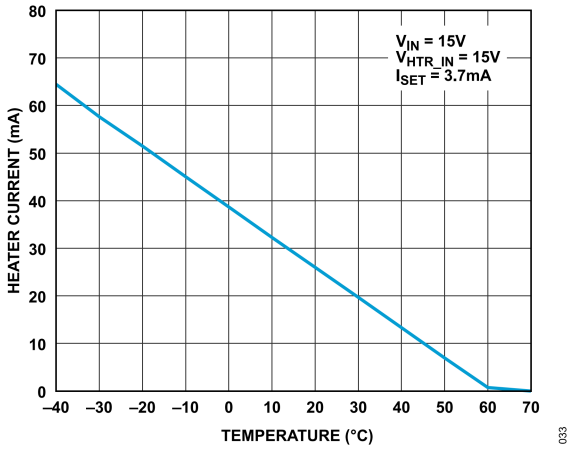


図 41. ADR1001 のヒータ電流と周辺温度の関係、
HTR_IN = 15V、HTR_GND = 0V

任意の設定温度に対する最大消費電力の計算には、次式を使用します。

$$Power(W) = T_{RISE}/\theta_{JA} \quad (3)$$

ここで、

$T_{RISE} = T_{SET} - T_A$
$\theta_{JA}$（公称値） = 120ºC/W

$T_A$ = −40ºC、$T_{SET}$ = +70ºC（TSET ピンをフローティング）、
$\theta_{JA}$ = +120ºC/W であれば、

$$Power = (+70°C - (-40°C))/+120°C/W = 0.92\ W \quad (4)$$

消費電力はヒータのトランジスタにかかる電圧（V(HTR_IN) − V(HTR_GND)）と温度フィードバック・ループを介して流れる電流（$I_{HEATER}$）の積です。ヒータのトランジスタには 100mA の電流制限が組み込まれています。従って、ヒータにかけられる電圧と電流の範囲で最大 $T_{RISE}$ が得られるように、注意が必要です。

電力バジェットの分析の結果、最大 $T_{RISE}$ をカバーするためにより大きい電力が必要であるという場合には、ADR1001 のヒータのグラウンドをレベル・シフトして負電圧にし、ヒータ両端にかけられる電圧を拡大することで、所定の $T_{RISE}$ を得るために必要なヒータ電流を削減できます（図 42 を参照）。

## 動作原理

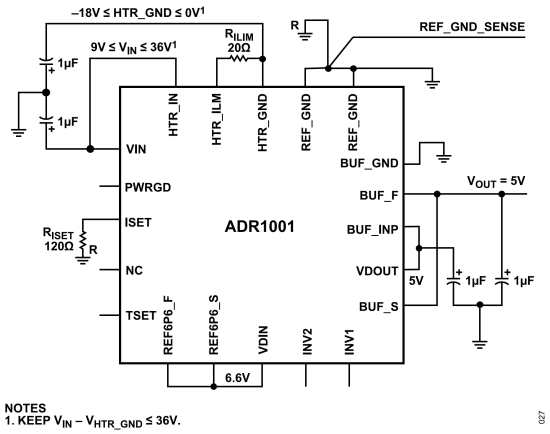


図 42. HTR_ILIM と HTR_GND の負電圧へのシフト

任意の設定温度に対して、ヒータ電流はヒータ電圧に反比例するので、ヒータ電圧を倍にすると実効的に必要な電流は半分になります。ヒータ・トランジスタの絶対最大電圧は 36V なので、HTR_GND を−18V にレベル・シフトすると HTR_IN の絶対最大値は+18V になります。

### ヒータ電流制限

前述の加熱電圧リファレンスでは、温度レギュレータに電流制限が組み込まれていません。周囲温度が低いときに電源が初期突入電流を供給できなければ、起動時にこれが問題になる可能性があります。HTR_ILIM と HTR_GND を短絡していれば、ADR1001 はヒータ電流を 100mA までに制限します。ピーク突入電流に対してヒータの起動時間の重要度が低ければ、HTR_ILIM と HTR_GND の間に抵抗（$R_{ILIM}$）を置いて短絡電流制限を更に下げることができます。図 19 と図 20 で、ヒータのピーク電流を 40%低減した場合の REF6P6 リファレンスの起動遅延を示しています。

### ADR1001 の動作温度の設定

ADR1001 の TSET ピンによってチップセットの温度を設定することができ、抵抗（$R_{TSET}$）を介して REF6P6_F（サーモスタットを下げる場合）または REF_GND（サーモスタットを上げる場合）にピン・ストラップします。

TSET がフローティング状態であれば、サーモスタットの設定温度はデフォルトの 70ºC に設定されます。ADR1001 の絶対精度の調整はデフォルトの設定温度である 70ºC で実施されていることに注意が必要です。6.6V リファレンスの加熱なしの温度係数は代表値で 36ppm/ºC なので、$T_{CHIP}$ を調整すると調整値の絶対精度が約 36ppm/ºC 下がるペナルティが生じます。

表 9 は、一般的な設定値とチップセット温度の一覧を示しています。これらの値は図 15 から抜き出しています。システムが耐えられる範囲で $T_{CHIP}$ をできるだけ低くすることを推奨します。この手法では電力を節約できる上、温度係数の温度制御精度の劣化につながるオン・チップの温度勾配を低減できます。

表 9. TSET ピンの設定による目標チップセット温度

| Desired Set Temperature | Pin Configuration |
|---|---|
| 40°C | Short to REF6P6_F |
| 60°C | Connect 79 kΩ to REF6P6_F |
| 70°C | Float TSET |
| 90°C | Connect 63 kΩ to REF_GND |
| 110°C | Connect 15.8 kΩ to REF_GND |
| 125°C | Short to REF_GND |

その他の寄生成分による電力消費も、ADR1001 が温度レギュレーションできなくなる温度に影響するため、考慮が必要です。例えば、表 10 に示すように、$R_{ISET}$ = 102Ω かつ $V_{IN}$ = 15V の場合、リファレンスの消費電力は約 15V × 6.74mA = 95mW となります。$\theta_{JA}$ = +120ºC/W であれば、リファレンスの自己発熱は約 11ºC になり、ADR1001 のサーモスタットが 70ºC に設定されていれば ADR1001 のヒータは約 59ºC で温度レギュレーションから外れます。この状況を図 28、図 29、図 31 に示します。

ADR1001 のサーモスタットは、リモートの温度センサによるダイ温度計測（図 32 と図 33 を参照）と、リファレンスが温度レギュレーション不足になる点の直接計測（図 29 参照）で特性評価されています。図 29 は 6.6V リファレンスの温度係数と周囲温度のスイープの関係を、TSET をフローティングにした場合、REF6P6 に短絡した場合、REF_GND に短絡した場合について示しています。これら 3 つの曲線の変曲点は、自己発熱を加味した上で温度レギュレーション不足が発生する温度を示しています。

周囲温度が $T_{CHIP}$ を超過すると、パワー・グッド・ステータス・フラグがローにプルダウンされて（図 31 参照）、リファレンスが温度レギュレーション状態にないことが示されます。ADR1001 を $T_{SET}$ = +125ºC で動作させることは推奨しません。ESD 保護ダイオードのダイオード・リークによってノイズと長期ドリフト性能が悪化するためです。高い $T_{SET}$ 温度はハンダ処理後の自己発熱に備えることを目的としていますが、アナログ・デバイセズではこのアプローチの効果について十分な確認を行っていません。

表 10. 温度レギュレーション不足のマージン

| Thermal Deregulation (°C) | $\theta_{JA}$ (°C/W) | $I_{VIN}$ (A) | $V_{IN}$ (V) | $T_{MARGIN}$ (°C) | Remote Temp Sensor Error (°C) | Actual Die Temperature (°C) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| +28 | +120 | $+7.30 \times 10^{-3}$ | +15 | +13.14 | −1.72 | +39.42 |
| +60 | +120 | $+6.74 \times 10^{-3}$ | +15 | +12.13 | −1.89 | +70.24 |
| +120 | +120 | $+5.70 \times 10^{-3}$ | +15 | +10.26 | −2.19 | +128.07 |

## 動作原理

### 高精度分圧器と出力バッファ

6.6V リファレンス出力は非常に安定した埋め込みツェナー電圧を発生しますが、初期精度はあまり高くありません。VDOUT ピンと VDIN ピンから、正確な絶対値の 5V 薄膜分圧器にアクセスできます。この分圧器とバッファのオフセットはセットでトリミングされ、±0.25%の精度で 5V を出力できます。このトリミングは、ツェナー電流設定抵抗が 102Ω、デフォルトのチップセット温度+70ºC の条件で行われます。

### パワー・グッド

ADR1001 にはオープン・コレクタのステータス・フラグ・ピンがあり、プルアップ抵抗で任意の電源に接続すると、何らかのフォルト条件が 1 つ以上存在するときにアラートを通知します。表 11 は各種の条件に対応する PWRGD ピンの状態を示しています。

表 11. PWRGD ピンの状態

| Condition | PWRGD | Heater Current | Notes |
|---|---|---|---|
| All Clear | High | 0 mA < $I_{HEATER}$ < 100 mA | Heater regulated |
| $T_{CHIP}$ Low | Low | 100 mA | Have not reached set temperature |
| $T_{CHIP}$ High | Low | 0 mA | $T_A > T_{CHIP}$ |
| $V_{IN}$ Low | Low | Disabled | $V_{IN}$ < 9 V |
| 6.6 V $V_{REF}$ Low | Low | Disabled | Overload on $V_{REF}$ |

フォルト条件が存在しない場合、PWRGD ピンの電圧はプルアップ抵抗が接続された電源の電圧になります。$T_{CHIP}$ がローの条件で PWRGD ピンのアサートが解除される理由は次の 2 つです。

- チップが完全に加熱されていない場合。室温では、ヒータに 15V がかかり $T_{CHIP}$ が+70ºC のとき（温度レギュレーションは約 1 秒で完了します）。
- 温度レギュレーションで、設定温度に到達するだけの十分な電力がなく、電流制限にかかる場合。

周囲温度がチップセット温度より高い場合には、ヒータの電流が 0mA まで下がり、PWRGD ピンのアサートが解除されます。リファレンスの機能は継続しますが、温度係数は大幅に悪くなり、例えば $I_Z$ = 4mA であれば 36ppm/ºC になります。

### 外付け抵抗の精度への影響

ADR1001 は ADR1000 のアプリケーション回路で必要な抵抗のほとんどを内蔵しています。それでもデバイスの長期安定性に影響を及ぼす可能性がある主要部品がいくつかあります。$R_{ISET}$ 抵抗の特性は 6.6V リファレンス出力に対して 267 分の 1 の倍率で減衰します。即ち、動作開始後 1000 時間で $R_{ISET}$ の値が 10ppm ドリフトすれば、6.6V リファレンスに 10ppm/267 = 0.003ppm のドリフトが加わることになります。

これよりも影響は小さいですが、TSET 抵抗を使用して ADR1001 のサーモスタットを調整すると、長期安定性への影響があります。例えば、外付けの TSET 抵抗が 20ppm 変化すると、$T_{CHIP}$ が約 0.0001ºC 変化します。ADR1001 の非加熱条件での代表的な温度係数は 36ppm/ºC なので、ADR1001 のリファレンス出力には(0.0001ºC × 36ppm/ºC) = 0.0036ppm の変化が出力電圧に発生します。別の言い方をすると、TSET 抵抗の特性変化は 5500 分の 1 の倍率で減衰してリファレンスに影響します。

### コンデンサ

ADR1001 の VIN と HTR_IN の電源ピンは 1µF 以上のコンデンサを使用して、ピンのできるだけ近くでバイパスする必要があります。負電圧レギュレータによってヒータがグラウンド以下にレベル・シフトされている場合には、HTR_GND ピンも同様にバイパスする必要があります。ADR1001 の出力バッファには、安定性確保のために最小 0.2µF の負荷容量を BUF_F の近くに配置することが必要です。負荷ステップに対する変動を小さくする必要がある場合には、この部品は最大 38µF の WIMA コンデンサでの試験も行っています（図 21 の 1mA 負荷ステップ時の応答を参照）。表面実装の多層セラミック・コンデンサはどれも、供給電圧に対応して実効容量の値が減少する電圧係数となっています。BUF_F 出力コンデンサの値を 0.2µF の近くに取った場合には、コンデンサの電圧係数が過大にならないよう、種類とサイズに注意が必要です。高い電圧係数により負荷ステップ中に出力の過度のリンギングが発生する可能性があります。コンデンサ・メーカーの仕様を確認し、電圧係数の影響を考慮してフォーム・ファクタを大きなものにする必要があるか判断してください。

### ノイズ性能

ADR1001 のノイズに支配的なのは埋め込みツェナー・リファレンス自体であるため、VDOUT-BUF_INP 間の接続と REF_GND の間にコンデンサを配置することによって、広帯域ノイズは最低時でバッファ入力換算ノイズ（～15nV/√Hz）まで低減できます。図 1 に示すように、このノイズ・フィルタ・コンデンサはローパス・フィルタを形成し、その−3dB 点は R1 と R2 を並列と見たものとノイズ・フィルタ・コンデンサ自体によって決まります。R1 と R2 を並列とした公称値は 2.3kΩ です。しかし、この値には部品ごとにわずかな変動があります。図 3 に示すように、2.3kΩ と 1µF によるローパス・フィルタの効果は、ADR1001 の 5V 出力のノイズ・スペクトル密度で 70Hz 近辺に生じる−3dB ロール・オフとして見えます。

図 3 と図 4 のノイズ性能計測値を再現しようとするなら、若干の注意が必要です。PCB のハンダ接続で形成される異種金属の接合によって熱電対効果が発生し、空気の温度勾配の外乱を受けると低周波ノイズの増加につながります。

ADR1001 の代表的な DC PSRR は 120dB を上回ります。それでも、高周波ノイズが電源経由で出力に結合するのを避けるために、例えば LTC3045 のような低ノイズで高 AC PSRR のレギュレータで電源をドライブすることを推奨します。

### 電子機械安定性

ADR1001 は機械的安定性について ADR1000 や LTZ1000 と同等の性能を発揮するように設計されており、更に製造が容易な表面実装のセラミック・パッケージを使用しています。ADR1001 は FR4 基板と直接接触するので、ADR1001 評価用ボード（EVAL-ADR1001）のように、AN-82 アプリケーション・ノート Understanding and Applying Voltage References に示す PCB のカットアウトの利用を強く推奨します。図 11 と図 13 には、32 個のユニットの長期ドリフト性能を示しています。全てのユニットは飛び込み台型カットアウト付きの PCB にハンダ付けされ、ドリフトの計測はハンダ処理から 24 時間以内に開始しています。更に、激しい振動や加速度、または機械的な衝撃の可能性があるアプリケーションでの ADR1001 の使用は推奨しません。

## 動作原理

### ハンダ熱抵抗（SHR）シフト

SHR シフトというのは、部品の PCB へのハンダ付けによる機械的ストレスと温度上昇により生じる出力電圧の恒久的な変化のことです。部品にハンダ・リフロー・サイクルを適用し、冷却した後、半導体デバイスを構成する材料が相互に異なる率で収縮するため、機械的ストレスの勾配が変化します。鉛フリーのハンダ処理ではリフロー温度が高くなるため、この影響がより顕著になります。

SHR は、表面実装部品を使用する両面の PCB の実装に必要な 2 回のリフローと、リワークで必要となる 1 サイクルの追加が必要な条件をシミュレーションする、3 回のハンダ・リフロー・サイクル後に計算します。リフロー・サイクルは、JEDEC 規格のリフロー温度プロファイルを用いています。図 43 と図 44 に実験による SHR の結果を示します。これらの結果では、機械的ストレスは含まずリフローの加熱によるシフトのみが示されています。

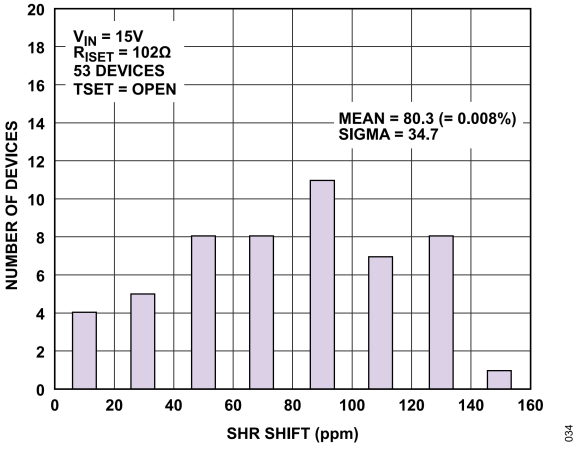


図 43. SHR シフト、5V 出力

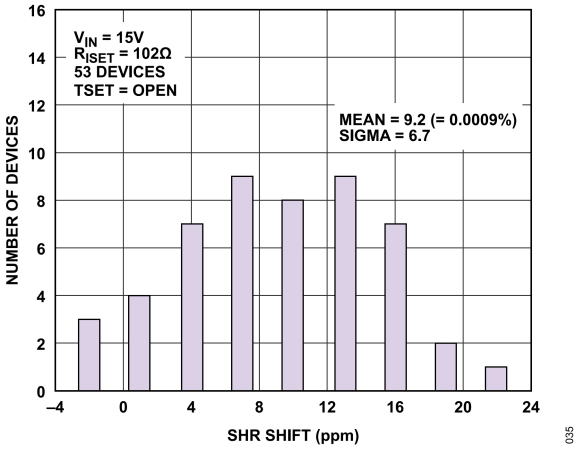


図 44. SHR シフト、6.6V 出力

## アプリケーション情報

### 基本的な接続方法

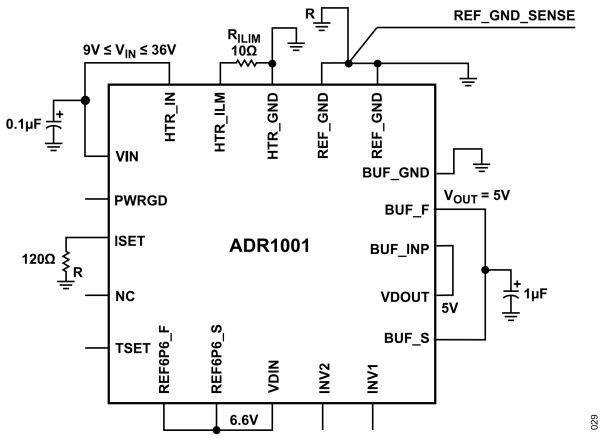


図 45. 5V 出力用の基本的接続

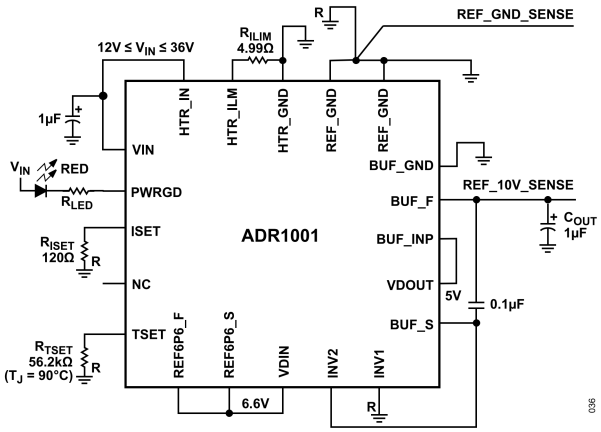


図 46. 内蔵のマッチング済み抵抗を使用した
10V 超安定リファレンス

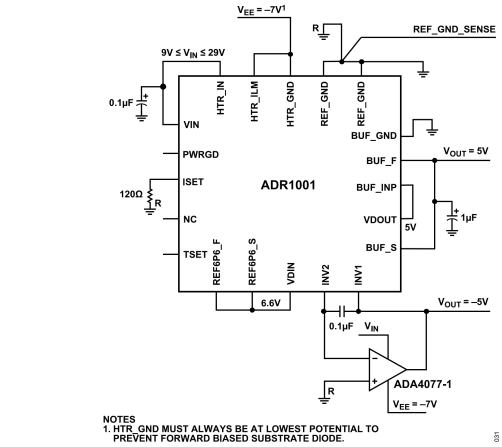


図 47. 内蔵の INV1 抵抗と INV2 抵抗および外付けの
反転オペアンプを 1 つ使用したバイポーラ±5V DAC の駆動

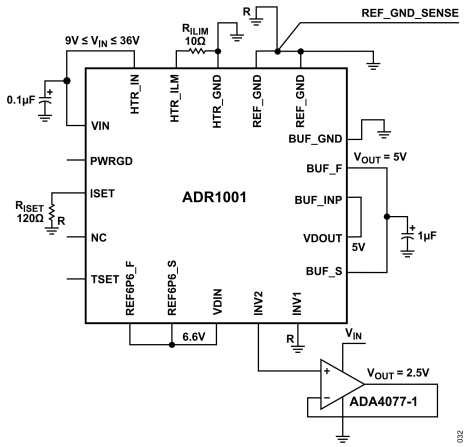


図 48. 内蔵の INV1 と INV2 の抵抗分圧器と
外付けのオペアンプ・バッファを 1 つ使用した、
フル 5V と半分の 2.5V の同時リファレンス出力

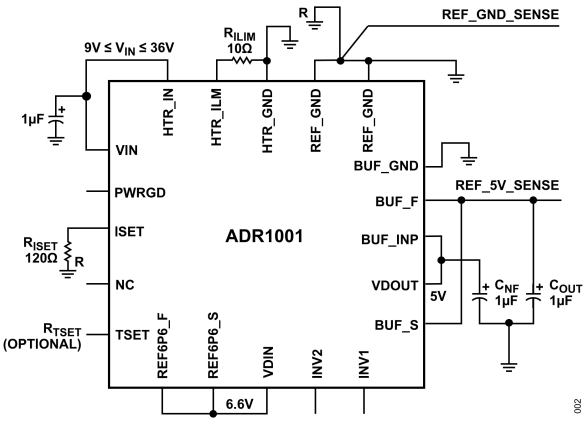


図 49. 60mA の突入電流制限付き超安定 5V ± 0.25%リファレンス

## 外形寸法

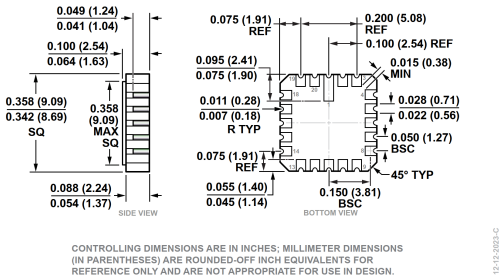


図 50. 20 端子セラミック・リードレス・チップ・キャリア［LCC］
（E-20-1）
単位：インチおよび mm

更新：2023 年 3 月 11 日

## オーダー・ガイド

| Model[1] | Temperature Range | Package Description | Package Option |
|---|---|---|---|
| ADR1001AEZ | -40°C to +125°C | 20-Lead LCC | E-20-1 |

[1] Z = RoHS 準拠製品。

## 評価用ボード

| Model[1] | Description |
|---|---|
| ADR1001E-EBZ | Evaluation Board |

[1] Z = RoHS 準拠製品。

©2024 Analog Devices, Inc. All rights reserved. 商標および登録商標は各社の所有に属します。

本　　社／〒105-7323　東京都港区東新橋 1-9-1　東京汐留ビルディング 23F
大 阪営業所／〒532-0003　大阪府大阪市淀川区宮原 3-5-36　新大阪トラストタワー 10F
名古屋営業所／〒451-6038　愛知県名古屋市西区牛島町 6-1　名古屋ルーセントタワー 38F

# 正誤表

この製品のデータシートに間違いがありましたので、お詫びして訂正いたします。
この正誤表は、2024 年 4 月 23 日現在、アナログ・デバイセズ株式会社で確認した誤りを記したものです。
なお、英語のデータシート改版時に、これらの誤りが訂正される場合があります。

**正誤表作成年月日：** 2024 年 4 月 23 日
**製品名：　ADR1001**
**対象となるデータシートのリビジョン(Rev)：**Rev.0
**訂正箇所：18 頁、左の段、「外付け抵抗の精度への影響」の項、上から 6 行目**

【誤】
10ppm / 267＝0.003ppm

【正】
10ppm / 267＝0.037ppm

アナログ・デバイセズ株式会社

本　　社／〒105-7323　東京都港区東新橋 1-9-1
東京汐留ビルディング 23F
大　阪営業所／〒532-0003　大阪府大阪市淀川区宮原 3-5-36
新大阪トラストタワー 10F
名古屋営業所／〒451-6038　愛知県名古屋市西区牛島 6-1
名古屋ルーセントタワー 40F