

# I<sup>2</sup>C インタフェース搭載の オクタル電圧、電流、温度モニタ

## 特長

- 電圧、電流、温度を測定
- 4つのリモート・ダイオード温度を測定
- 精度:0.7°C(標準)、分解能:0.06°C
- 精度が1°C(標準)の温度センサを内蔵
- 直列抵抗による誤差を相殺
- 14ビット A/D コンバータで電圧/電流を測定
- 温度に応じた PWM 出力
- 動作電源電圧:3V~5.5V
- 8つの選択可能なアドレス
- 10ppm/°Cの電圧リファレンスを内蔵
- V1~V8 入力の ESD 定格(人体モデル):6kV
- 16ピン MSOP パッケージ

## アプリケーション

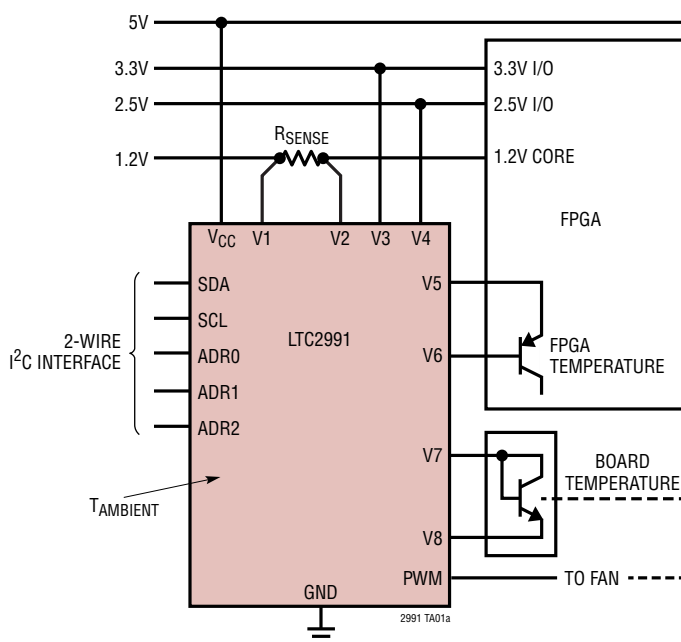
- 温度測定
- 電源電圧モニタ
- 電流測定
- リモート・データ収集
- 環境モニタ

## 概要

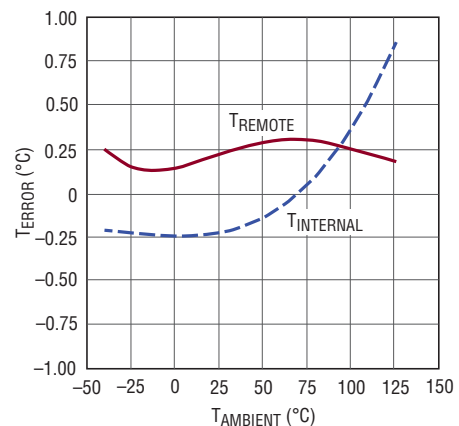
LTC<sup>®</sup>2991 は、システムの温度、電圧、および電流をモニタするために使用されます。I<sup>2</sup>C シリアル・インタフェースを介して、8個のモニタが電源電圧を個別に測定可能です。また、モニタを2個ずつ組にして、電流検出抵抗や温度検出トランジスタを差動で測定することができます。この他に、内部温度と内部 V<sub>CC</sub> も測定できます。10ppmの内部リファレンスにより、必要なサポート部品数と面積が最小限に抑えられます。アドレスを選択可能で、機能を設定できるので、LTC2991 は温度、電圧、または電流のデータを必要とするさまざまなシステムに柔軟に組み込むことができます。LTC2991 は、1mV 未満の電圧分解能、1%の電流測定精度、1°Cの温度精度、またはこれら3つのいずれかの組み合わせを必要とするシステムに最適です。

LT、LT、LTC、LTM、Linear Technology および Linear のロゴはリアテクノロジー社の登録商標です。Easy Drive はリアテクノロジー社の商標です。その他すべての商標の所有権は、それぞれの所有者に帰属します。

## 標準的応用例



温度の全未調整誤差



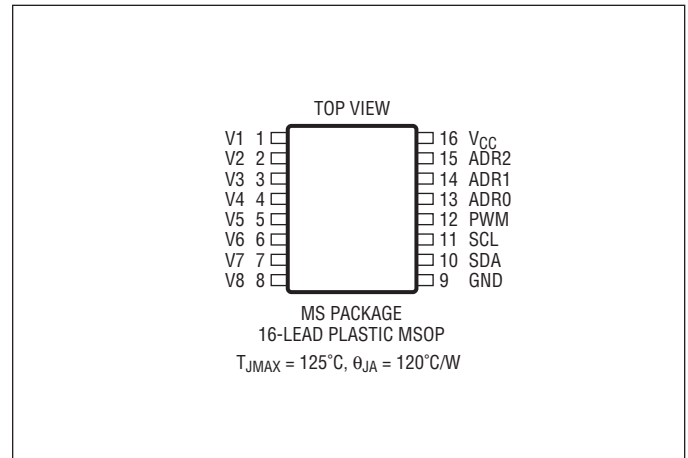
2991 TA01b

# LTC2991

## 絶対最大定格 (Note 1)

電源電圧 (V <sub>CC</sub> )	-0.3V ~ 6.0V
入力電圧 V1、V2、V3、V4、V5、V6、V7、V8、 SCL、ADR0、ADR1、ADR2	-0.3V ~ (V <sub>CC</sub> + 0.3V)
出力電圧 PWM	-0.3V ~ (V <sub>CC</sub> + 0.3V)
出力電圧 SDA	-0.3V ~ 6V
動作温度範囲	
LTC2991C	0°C ~ 70°C
LTC2991I	-40°C ~ 85°C
保存温度範囲	-65°C ~ 150°C
リード温度 (半田付け、10 秒) MS パッケージ	300°C

## ピン配置



## 発注情報

鉛フリー仕様	テープアンドリール	製品マーキング*	パッケージ	温度範囲
LTC2991CMS#PBF	LTC2991CMS#TRPBF	2991	16-Lead Plastic MSOP	0°C to 70°C
LTC2991IMS#PBF	LTC2991IMS#TRPBF	2991	16-Lead Plastic MSOP	-40°C to 85°C

さらに広い動作温度範囲で規定されるデバイスについては、弊社または弊社代理店にお問い合わせください。\* 温度グレードは出荷時のコンテナのラベルで識別されます。非標準の鉛ベース仕様の製品の詳細については、弊社または弊社代理店にお問い合わせください。

鉛フリー仕様の製品マーキングの詳細については、<http://www.linear-tech.co.jp/leadfree/> をご覧ください。  
テープアンドリールの仕様の詳細については、<http://www.linear-tech.co.jp/tapeandree/> をご覧ください。

## 電気的特性 ● は全動作温度範囲での規格値を意味する。それ以外は T<sub>A</sub> = 25°C での値。注記がない限り、V<sub>CC</sub> = 3.3V。

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
<b>共通</b>						
V <sub>CC</sub>	Input Supply Range		● 2.9		5.5	V
I <sub>CC</sub>	Input Supply Current	During Conversion, I <sup>2</sup> C Inactive	●	1.1	1.5	mA
I <sub>SD</sub>	Input Supply Current	Shutdown Mode, I <sup>2</sup> C Inactive	●	1	6	μA
V <sub>CC(UVL)</sub>	Input Supply Undervoltage Lockout		● 1.3	2.0	2.6	V
<b>測定精度</b>						
T <sub>INTERNAL(TUE)</sub>	Internal Temperature Total Unadjusted Error			±1	±3.5	°C
T <sub>RMT(TUE)</sub>	Remote Diode Temperature Total Unadjusted Error	η = 1.004	●	±0.7	±1.5	°C
V <sub>CC(TUE)</sub>	V <sub>CC</sub> Voltage Total Unadjusted Error	2.9V ≤ V <sub>CC</sub> ≤ 5.5V	●	±0.05	±0.25	%
V <sub>N(TUE)</sub>	V1 Through V8 Total Unadjusted Error	0V ≤ V <sub>N</sub> ≤ 4.9V	●	±0.05	±0.25	%
V <sub>DIFF(TUE)</sub>	Differential Voltage Total Unadjusted Error V1 - V2, V3 - V4, V5 - V6, V7 - V8	-300mV ≤ V <sub>D</sub> ≤ 300mV	●	±0.1	±0.75	%
V <sub>DIFF(MAX)</sub>	Full-Scale Differential Voltage		●	-312.5	312.5	mV

2991fd

**電気的特性** ● は全動作温度範囲での規格値を意味する。それ以外は  $T_A = 25^\circ\text{C}$  での値。注記がない限り、 $V_{CC} = 3.3\text{V}$ 。

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNITS
$V_{DIFF(CMR)}$	Differential Voltage Common Mode Range		●	0		$V_{CC}$	V
$V_{LSB(DIFF)}$	Differential Voltage LSB Weight				19.075		$\mu\text{V}$
$V_{LSB(SINGLE\_ENDED)}$	Single-Ended Voltage LSB Weight				305.18		$\mu\text{V}$
$V_{LSB(TEMP)}$	Temperature LSB Weight	Celsius or Kelvin			0.0625		Deg
$V_{LSB(DIODE\_VOLTAGE)}$	Diode Voltage LSB Weight	Includes Series Resistance IR Drop			38.15		$\mu\text{V}$
$T_{NOISE}$	Temperature Noise	Celsius or Kelvin Filter Disengaged			0.2		$^\circ\text{RMS}$
$T_{NOISE}$	Temperature Noise	Celsius or Kelvin Filter Engaged			0.07		$^\circ\text{RMS}$
RES	Resolution (No Missing Codes)	(Note 2)	●	14			Bits
INL	Integral Nonlinearity	$2.9\text{V} \leq V_{CC} \leq 5.5\text{V}$ , $V_{IN(CM)} = 1.5\text{V}$ (Note 2) Single-Ended Differential	●	-2 -2		2 2	LSB
$C_{IN}$	V1 Through V8 Input Sampling Capacitance	(Note 2)			0.35		pF
$I_{IN(AVG)}$	V1 Through V8 Input Average Sampling Current	$(0 \leq V_N \leq 4.9\text{V})$ (Note 2)			0.6		$\mu\text{A}$
$I_{DC\_LEAK(VIN)}$	V1 Through V8 Input Leakage Current	$(0 \leq V_N \leq V_{CC})$	●	-10		10	nA
<b>PWM</b>							
$F_{PWM}$	PWM Period		●	0.9		1.2	ms
$DC_{PWM}$	Duty Cycle Range		●	0		99.8	%
$SCALE_{PWM}$	0% to 100% PWM Temperature Range				32		Deg
<b>測定遅延</b>							
$T_{INTERNAL}$ , $T_{R1}$ , $T_{R2}$ , $T_{R3}$ , $T_{R4}$	Per Configured Temperature Measurement		●	37	46	55	ms
V1, V2, V3, V4, V5, V6, V7, V8	Single-Ended Voltage Measurement		●	0.9	1.5	1.8	ms
V1 – V2, V3 – V4, V5 – V6, V7 – V8	Differential Voltage Measurement		●	0.9	1.5	1.8	ms
$V_{CC}$	$V_{CC}$ Measurement		●	0.9	1.5	1.8	ms
Max Delay	Mode[4:0] = 11101, $T_{INTERNAL}$ , $T_{R1}$ , $T_{R2}$ , $T_{R3}$ , $T_{R4}$ $V_{CC}$		●			277	ms
<b>V1, V3, V5, V7 出力(リモート・ダイオード・モードのみ)</b>							
$I_{OUT}$	Output Current	Remote Diode Mode	●		260	350	$\mu\text{A}$
$V_{OUT}$	Output Voltage		●	0		$V_{CC}$	V
<b>I<sup>2</sup>C インタフェース</b>							
$V_{ADR(L)}$	ADR Input Low Threshold Voltage	Falling	●			$0.3 \cdot V_{CC}$	V
$V_{ADR(H)}$	ADR Input High Threshold Voltage	Rising	●	$0.7 \cdot V_{CC}$			V
$V_{OL1}$	SDA Low Level Maximum Voltage	$I_O = -3\text{mA}$ , $V_{CC} 2.9\text{V to } 5.5\text{V}$	●			0.4	V
$V_{IL}$	Maximum Low Level Input Voltage	SDA and SCL Pins	●			$0.3 \cdot V_{CC}$	V
$V_{IH}$	Minimum High Level Input Voltage	SDA and SCL Pins	●	$0.7 \cdot V_{CC}$			V
$I_{SDA}$ , $I_{SCL}$	SDA, SCL Input Current	$0 < V_{SDA}, SCL < V_{CC}$	●			$\pm 1$	$\mu\text{A}$
$I_{ADR(MAX)}$	Maximum ADR0, ADR1, ADR2 Input Current	ADR0, ADR1 or ADR2 Tied to $V_{CC}$ or GND	●			$\pm 1$	$\mu\text{A}$

# LTC2991

## 電気的特性

● は全動作温度範囲での規格値を意味する。それ以外は  $T_A = 25^\circ\text{C}$  での値。注記がない限り、 $V_{CC} = 3.3\text{V}$ 。

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
<b>I<sup>2</sup>Cのタイミング (Note 2)</b>						
f <sub>SCL(MAX)</sub>	Maximum SCL Clock Frequency		400			kHz
t <sub>LOW</sub>	Minimum SCL Low Period				1.3	μs
t <sub>HIGH</sub>	Minimum SCL High Period				600	ns
t <sub>BUF(MIN)</sub>	Minimum Bus Free Time Between Stop/Start Condition				1.3	μs
t <sub>HD, STA(MIN)</sub>	Minimum Hold Time After (Repeated) Start Condition				600	ns
t <sub>SU, STA(MIN)</sub>	Minimum Repeated Start Condition Set-Up Time				600	ns
t <sub>SU, STO(MIN)</sub>	Minimum Stop Condition Set-Up Time				600	ns
t <sub>HD, DATI(MIN)</sub>	Minimum Data Hold Time Input				0	ns
t <sub>HD, DATO(MIN)</sub>	Minimum Data Hold Time Output		300		900	ns
t <sub>SU, DAT(MIN)</sub>	Minimum Data Set-Up Time Input				100	ns
t <sub>SP(MAX)</sub>	Maximum Suppressed Spike Pulse Width		50		250	ns
C <sub>X</sub>	SCL, SDA Input Capacitance				10	pF

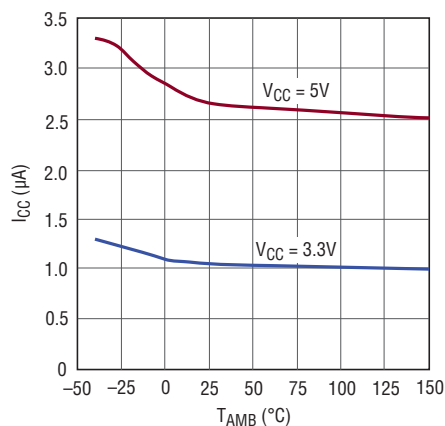
**Note 1:** 絶対最大定格に記載された値を超えるストレスはデバイスに永続的損傷を与える可能性がある。長期にわたって絶対最大定格条件に曝すと、デバイスの信頼性と寿命に悪影響を与える可能性がある。

**Note 2:** 設計によって保証されており、テストされない。

**Note 3:** 積分非直線性は、実際の伝達曲線のエンドポイントを通る直線からのコードの偏差として定義されている。偏差は量子化幅の中心から測定される。

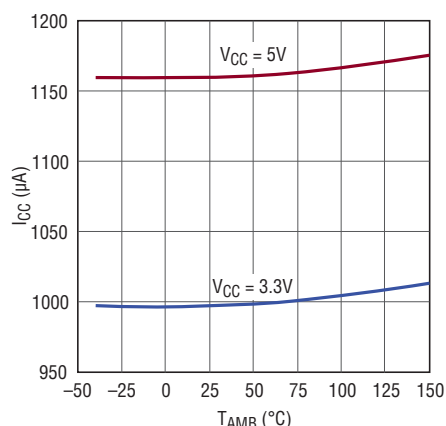
## 標準的性能特性 注記がない限り、 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_{CC} = 3.3\text{V}$ 。

### シャットダウン電流と温度



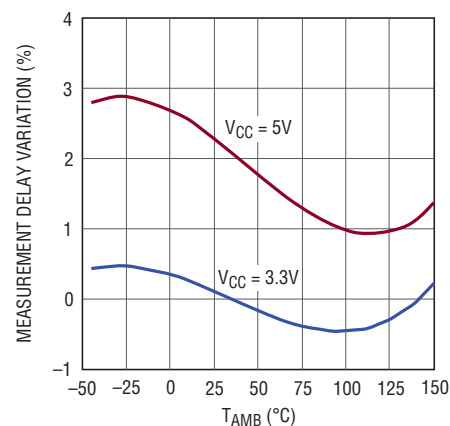
2991 G01

### 電源電流と温度



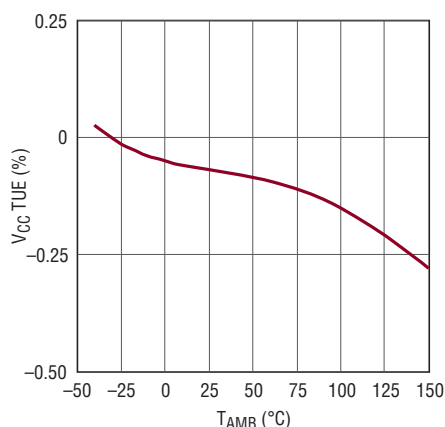
2991 G02

### 測定遅延の変動と温度 (3.3V、25 $^\circ\text{C}$ に正規化)



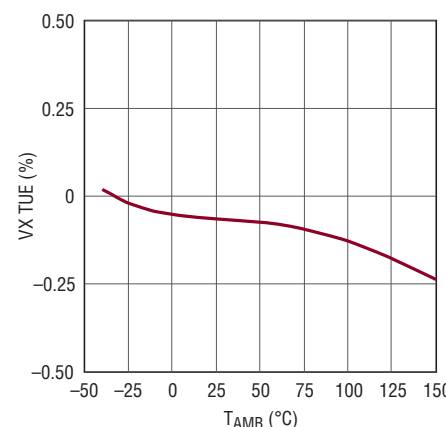
2991 G03

### $V_{CC}$ の TUE



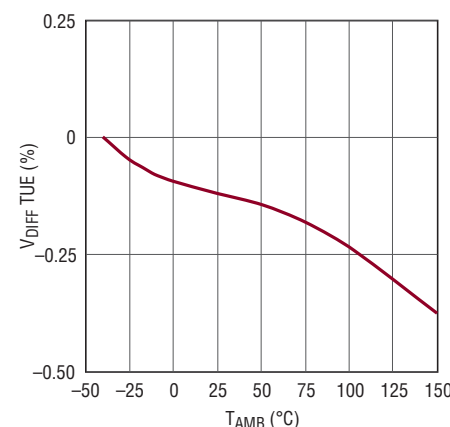
2991 G04

### シングルエンド VX の TUE



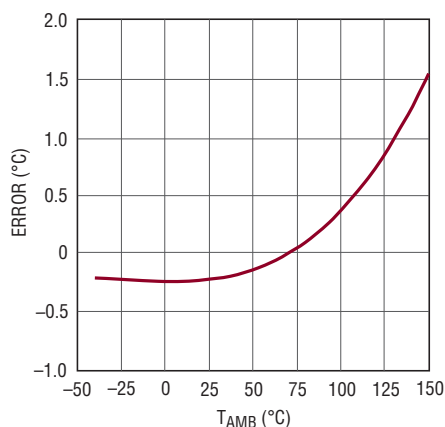
2991 G05

### 差動電圧の TUE



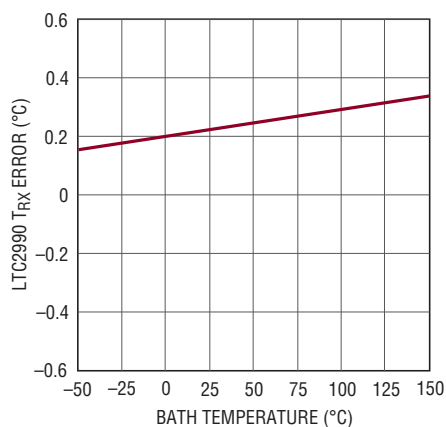
2991 G06

### $T_{INTERNAL}$ の誤差



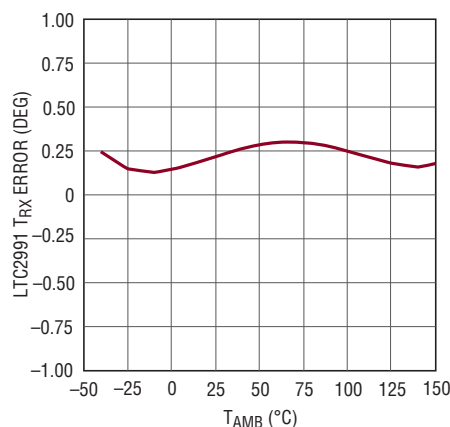
2991 G07

### 25 $^\circ\text{C}$ で LTC2991 を使用したときの リモート・ダイオードの誤差



2991 G08

### ダイオードと同じ温度で LTC2991 を使用したときの リモート・ダイオードの誤差

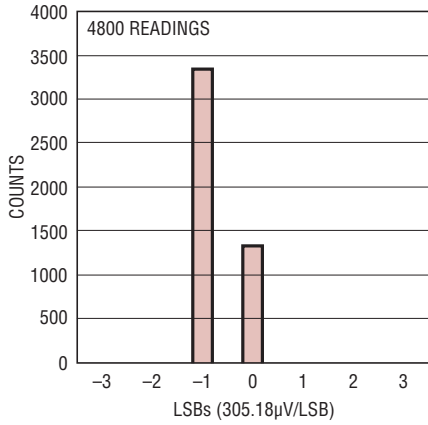


2991 G09

# LTC2991

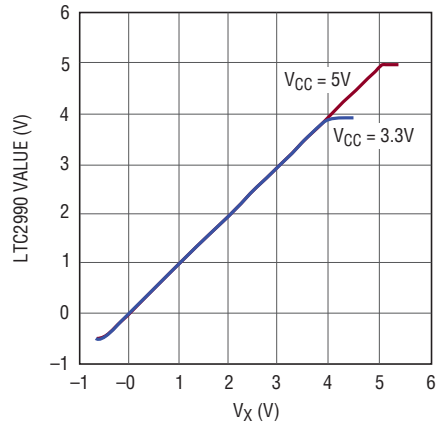
標準的性能特性 注記がない限り、 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_{CC} = 3.3\text{V}$ 。

シングルエンドのノイズ



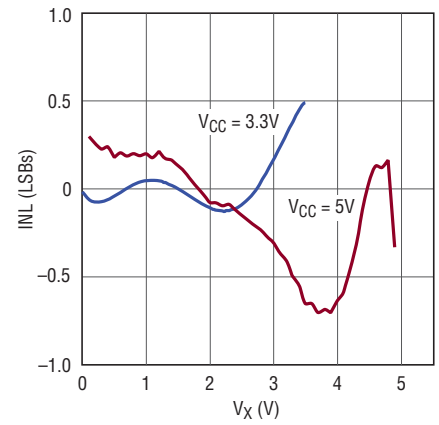
2991 G10

シングルエンドの伝達関数



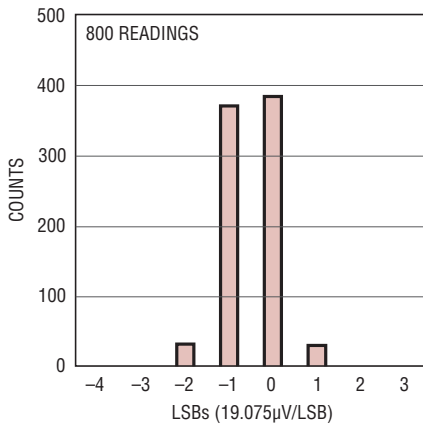
2991 G11

シングルエンドのINL



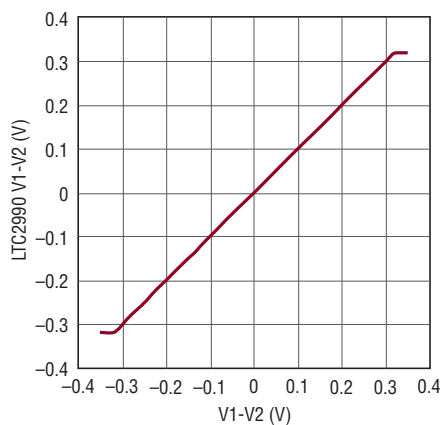
2991 G12

LTC2991の差動ノイズ



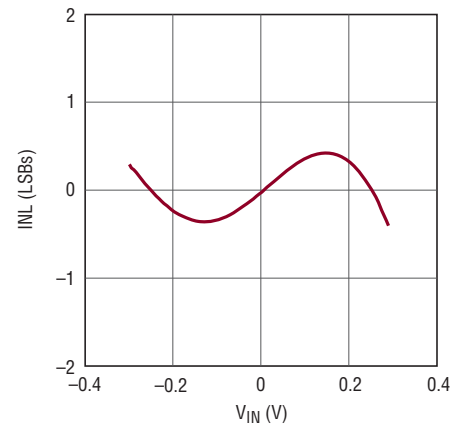
2991 G13

差動の伝達関数



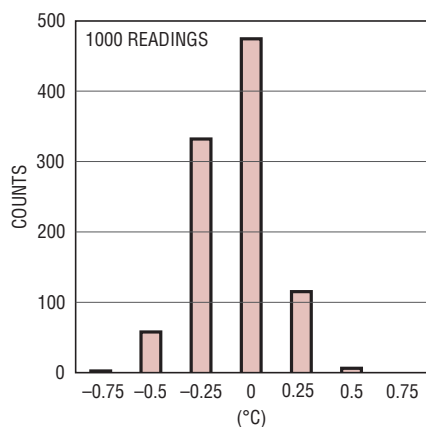
2991 G14

差動のINL



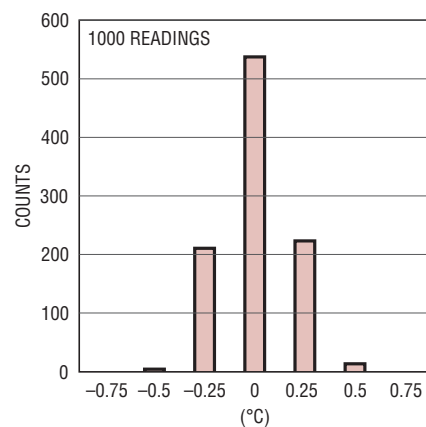
2991 G15

$T_{INTERNAL}$ のノイズ



2991 G16

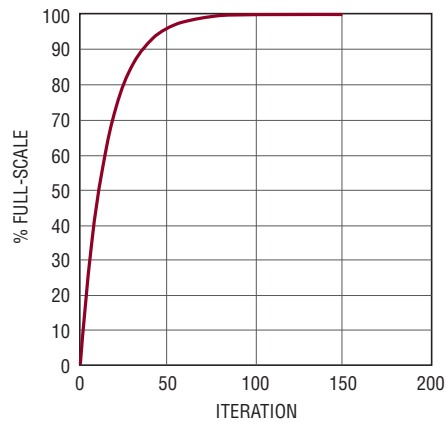
リモート・ダイオードのノイズ



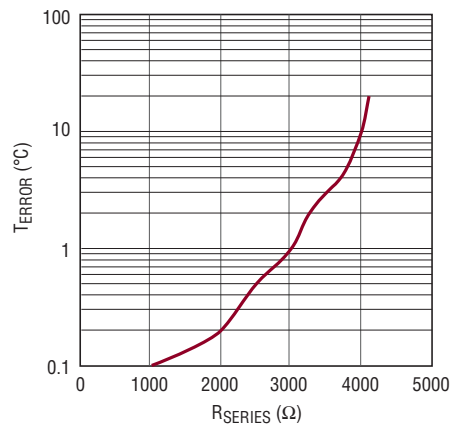
2991 G17

標準的性能特性 注記がない限り、 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_{CC} = 3.3\text{V}$ 。

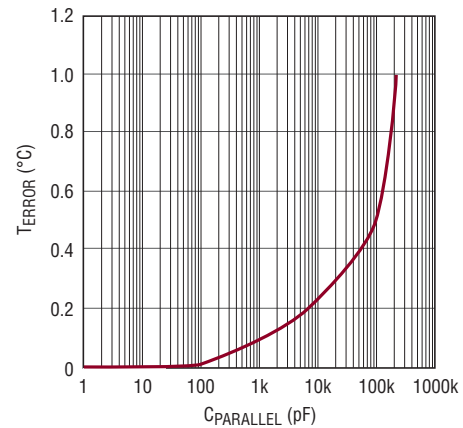
デジタル・フィルタのステップ応答



2991 G18

TERRORとR<sub>SERIES</sub>

2991 G19

TERRORとC<sub>PARALLEL</sub>

2991 G20

## ピン機能

**V1 (ピン1) :** 1つ目のモニタ入力。このピンはシングルエンド入力(0V~4.9V)として設定するか、または(V2との併用で)差動つまりリモート・ダイオード温度の測定用の正入力として設定することができます。同相範囲は0V~V<sub>CC</sub>で、差動電圧は±300mVです。リモート・ダイオード温度の測定用に設定されると、このピンは電流をソースします。

**V2 (ピン2) :** 2つ目のモニタ入力。このピンはシングルエンド入力(0V~4.9V)として設定するか、または(V1との併用で)差動つまりリモート・ダイオード温度の測定用の負入力として設定することができます。同相範囲は0V~V<sub>CC</sub>で、差動電圧は±300mVです。リモート・ダイオード温度の測定用に設定されると、このピンは測定がアクティブのときに内部で終端されます。

**V3 (ピン3) :** 3つ目のモニタ入力。このピンはシングルエンド入力(0V~4.9V)として設定するか、または(V4との併用で)差動つまりリモート・ダイオード温度の測定用の正入力として設定することができます。同相範囲は0V~V<sub>CC</sub>で、差動電圧は±300mVです。リモート・ダイオード温度の測定用に設定されると、このピンは電流をソースします。

**V4 (ピン4) :** 4つ目のモニタ入力。このピンはシングルエンド入力(0V~4.9V)として設定するか、または(V3との併用で)差動つまりリモート・ダイオード温度の測定用の負入力として設定することができます。同相範囲は0V~V<sub>CC</sub>で、差動電圧は±300mVです。リモート・ダイオード温度の測定用に設定されると、このピンは測定がアクティブのときに内部で終端されます。

**V5 (ピン5) :** 5つ目のモニタ入力。このピンはシングルエンド入力(0V~4.9V)として設定するか、または(V6との併用で)差動つまりリモート・ダイオード温度の測定用の正入力として設定することができます。同相範囲は0V~V<sub>CC</sub>で、差動電圧は±300mVです。リモート・ダイオード温度の測定用に設定されると、このピンは電流をソースします。

**V6 (ピン6) :** 6つ目のモニタ入力。このピンはシングルエンド入力(0V~4.9V)として設定するか、または(V5との併用で)差動つまりリモート・ダイオード温度の測定用の負入力として設定することができます。同相範囲は0V~V<sub>CC</sub>で、差動電圧は±300mVです。リモート・ダイオード温度の測定用に設定されると、このピンは測定がアクティブのときに内部で終端されます。

**V7 (ピン7) :** 7つ目のモニタ入力。このピンはシングルエンド入力(0V~4.9V)として設定するか、または(V8との併用で)差動つまりリモート・ダイオード温度の測定用の正入力として設定することができます。同相範囲は0V~V<sub>CC</sub>で、差動電圧は±300mVです。リモート・ダイオード温度の測定用に設定されると、このピンは電流をソースします。

**V8 (ピン8) :** 8つ目のモニタ入力。このピンはシングルエンド入力(0V~4.9V)として設定するか、または(V7との併用で)差動つまりリモート・ダイオード温度の測定用の負入力として設定することができます。同相範囲は0V~V<sub>CC</sub>で、差動電圧は±300mVです。リモート・ダイオード温度の測定用に設定されると、このピンは測定がアクティブのときに内部で終端されます。

**GND (ピン9) :** デバイスのグラウンド。このピンはシステム・グラウンドに低インピーダンスで接続します。

**SDA (ピン10) :** シリアル・バス・データの入力および出力。トランスミッタ・モード(読み出し)では変換結果がSDAピンを介して出力されますが、レシーバ・モード(書き込み)ではデバイス設定ビットがSDAピンを介して入力されます。このピンはデータ入力モードでは高インピーダンスになりますが、データ出力モードではオープンドレインのNチャネル・ドライバになるので、V<sub>CC</sub>への外付けプルアップ抵抗または電流源が必要です。

**SCL (ピン11) :** I<sup>2</sup>Cインタフェースのシリアル・バス・クロック入力。LTC2991はスレーブとしてのみ機能することができ、SCLピンは外部シリアル・クロックのみを受け入れます。LTC2991はクロック・ストレッチを行いません。

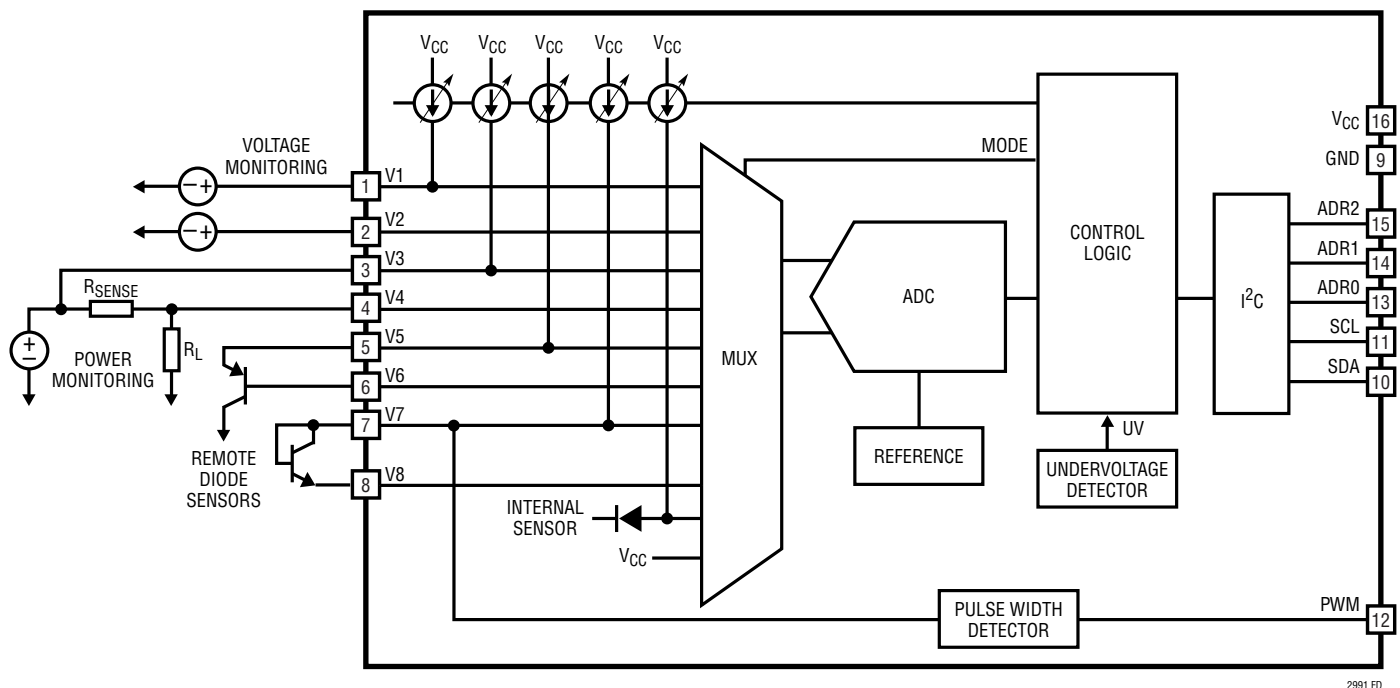
**PWM (ピン12) :** PWM出力。PWMピンは、デューティ・サイクルがピン7とピン8に接続されたセンサのリモート・ダイオード温度に比例したCMOS出力レベルを供給します。

**ADR0, ADR1, ADR2 (ピン13, 14, 15) :** シリアル・バスのアドレス制御入力。ADRピンはデバイスのI<sup>2</sup>Cアドレスのアドレス制御ビットです。表1を参照してください。

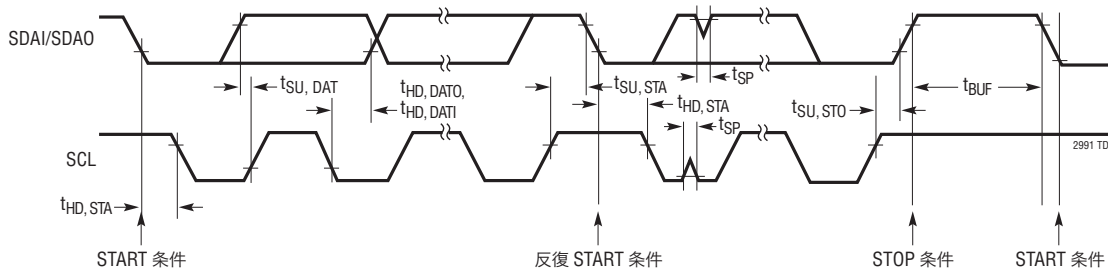
**V<sub>CC</sub> (ピン16) :** デバイスの電源。2.9V~5.5Vの低ノイズ電源に接続します。このピンからGNDに0.1μFのデカップリング・コンデンサを接続する必要があります。



機能ブロック図



タイミング図



## 動作

LTC2991は、電圧、電流、内部温度およびリモート温度をモニタします。このデバイスは、I<sup>2</sup>Cインタフェースを介してこれらのパラメータの多くの組み合わせを測定することができます。単一測定または反復測定に設定可能です。リモート温度測定では温度センサとしてトランジスタを使用するので、リモート・センサをディスクリートのNPN (MMBT3904など) またはマイクロプロセッサやFPGAに組み込まれたPNPデバイスにすることができます。ADCのリファレンスが内蔵されていることにより、必要なサポート部品の数 が最小限に抑えられます。

「機能図」にデバイスの主な機能部品が示されています。入力信号は、制御ロジック・ブロックによって制御される入力マルチプレクサで選択されます。制御ロジック・ブロックは、制御レジスタのモード・ビットを使ってデータ収集のシーケンスとタイプを管理します。この制御ロジック・ブロックは、リモート温度収集の間に電流源の制御も行います。収集は、V1、V2、V3、V4、V5、V6、V7、V8、T<sub>INTERNAL</sub>、次いでV<sub>CC</sub>の順に固定されています。ADCは必要な変換を行い、制御ロジックにデータを供給して適切なデータ・レジスタに送ります。I<sup>2</sup>Cインタフェースで、制御レジスタ、状態レジスタ、およびデータ・レジスタにアクセスします。ADR2ピン、ADR1ピン、およびADR0ピンで8つの可能なI<sup>2</sup>Cアドレスのうちの1つを選択します(表1を参照)。UVLOは規定されたしきい値を下回る電圧でのI<sup>2</sup>C通信を禁止します。低電圧状態の間、デバイスはリセット状態になり、データ・レジスタと制御レジスタは00hのデフォルト状態になります。

リモート・ダイオード測定は、複数回のADC変換とセンサの直列抵抗を補償するソース電流を使って行われます。LTC2991のV2、V4、V6、またはV8端子は、これらのチャンネルが温度測定に設定されている場合、ダイオードで終端されます。これらのピンを接地することができますが、温度測定にノイズが増える可能性があります。LTC2991は、理想係数が1.004のリモート・ダイオードが適正な温度になるように調整されています。製造時の値が1.004でないセンサの理想係数の補償については「アプリケーション情報」のセクションを参照してください。

LTC2991はI<sup>2</sup>Cシリアル・インタフェースを介して情報をやり取りします。シリアル・インタフェースで、制御レジスタ、状態レジスタ、データ・レジスタにアクセスします。I<sup>2</sup>Cでは、複数のスレーブ・デバイスと複数のマスターを1本のバスでサポートする2線オープンドレイン・インタフェースが規定されています。LTC2991は、標準モードで100kビット/sを、高速モードで最大400kビット/sをサポートします。サポートされている8つの物理アドレスを表1に示します。I<sup>2</sup>Cインタフェースを使って単一変換をトリガするか、または専用のトリガ・レジスタに書き込みを行うことによって反復変換を開始します。データ・レジスタには破壊的読み出し状態ビット(データ有効)があり、反復モードにおいてレジスタの内容が読み出されたかどうかを確認するのに使用されます。このビットはレジスタが新しいデータで更新されるとセットされ、読み出されるとクリアされます。

## アプリケーション情報

LTC2991の基本的な応用回路を図1に示します。

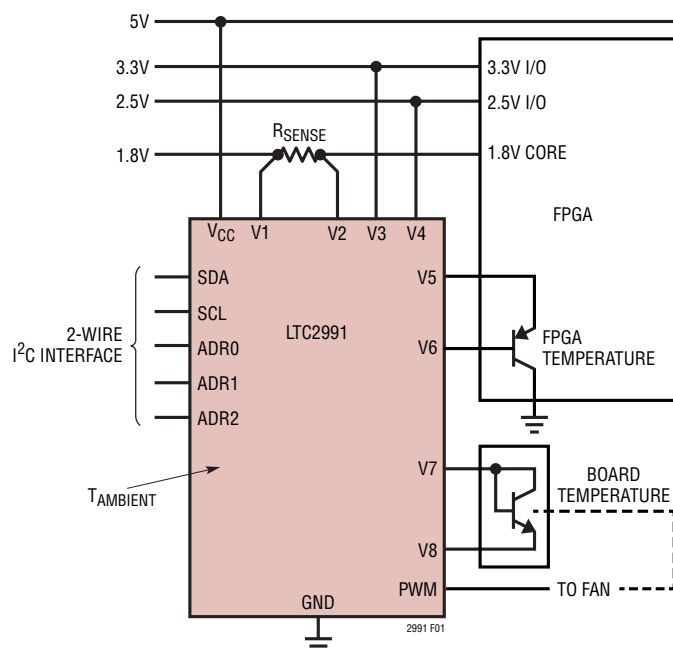


図1.

### パワーアップ

V<sub>CC</sub>ピンは、LTC2991をパワーオン・リセットさせないために、2.5Vの低電圧(UV)しきい値より高くする必要があります。パワーオン・リセットにより、全てのデータ・レジスタと制御レジスタがクリアされます。

### 温度測定

LTC2991は、内部温度と最大4個のダイオードまたはトランジスタの外部センサを測定することができます。温度変換の間、V1ピン、V3ピン、V5ピン、V7ピンのいずれかを介して電流がソースされてリモートセンス・ダイオードを順方向にバイアスします。センサ電圧の温度1度あたりの変化は数百μV/°Cなので、周囲ノイズを最小限に抑える必要があります。推奨するシールドとPCBトレースへの配慮を図2に示します。

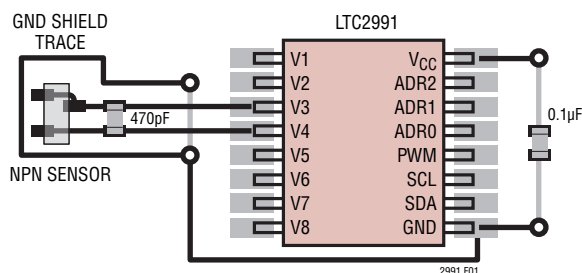


図2.PCBの推奨レイアウト

ダイオードの式は次のようになります。

$$V_{BE} = \eta \cdot \frac{k \cdot T}{q} \cdot \ln \left( \frac{I_C}{I_S} \right) \quad (1)$$

この式はTに対して解くことができます。ここで、Tはケルビン温度、I<sub>S</sub>は1E-13程度のプロセス依存係数、ηはダイオードの理想係数、kはボルツマン定数、qは電子電荷です。

$$T = \frac{V_{BE} \cdot q}{\eta \cdot k \cdot \ln \left( \frac{I_C}{I_S} \right)} \quad (2)$$

LTC2991はダイオード電圧の差動測定を行って温度を計算します。独自の手法により、直列抵抗による誤差をキャンセルすることができます。

### 理想係数のスケーリング

LTC2991は、理想係数が1.004のリモート・ダイオードが適正な温度になるように調整されています。この値はターゲット・センサの一般的な値ですが、わずかな偏差が大きな温度誤差になる可能性があります。ダイオード・センサの理想係数は温度のスケーリング係数とみなすことができます。1%の精度の理想係数の誤差に対する温度誤差はケルビン温度の1%になります。したがって、25°Cつまり298°Kでは、+1%の精度の理想係数の誤差は+2.98度の誤差になります。85°Cつまり358°Kでは、+1%の誤差は3.6度の誤差になります。センサの理想係数が1.004でない場合、LTC2991を使って測定されたケルビン温度やセルシウス温度を適正な値にスケール調整することができます。スケーリングの式(3)および(4)は簡単で、マイクロプロセッサやマイクロコントローラの16ビット固定小数点演算を使って十分な精度で実行することができます。

製造時の理想係数の調整値:

$$\eta_{CAL} = 1.004$$

実際のセンサの理想係数の値:

$$\eta_{ACT}$$

## アプリケーション情報

補償されたケルビン温度:

$$T_{K\_COMP} = \frac{\eta_{CAL}}{\eta_{ACT}} \cdot T_{K\_MEAS} \quad (3)$$

補償されたセルシウス温度:

$$T_{C\_COMP} = \frac{\eta_{CAL}}{\eta_{ACT}} (T_{C\_MEAS} + 273.15) - 273.15 \quad (4)$$

16ビットの符号なし数値は、比 $\eta_{CAL}/\eta_{ACT}$ に $2^{15}$ を掛けることにより、0.00003～1.99997の範囲の比 $\eta_{CAL}/\eta_{ACT}$ を表すことができます。このスケーリングの範囲には考えられるすべてのターゲット・センサの値が含まれます。理想係数のスケーリングの粒度は+125°Cでの0.01°のワーストケース温度誤差を表します。この16ビットの符号なし数値と16ビット数値として表される測定されたケルビン(符号なし)温度を掛けることにより、32ビットの符号なし数値が得られます。この数値を13ビット数値の温度(9ビットが整数部で、4ビットが分数部)にスケール調整直すには、この数値を $2^{15}$ で割ります。同様に、セルシウス温度の値は、式(4)を使用し、16ビット固定小数点演算を使ってスケール調整することができます。どちらの場合も、スケール調整された変換結果は、9ビットの整数部(d[12:4])と4ビットの分数部を示す4LSB(d[3:0])からなります。補正された変換結果をレジスタの内容のような10進数に変換するには、最終結果を $2^4$ つまり16で割ります。ターゲット・アプリケーションで理想係数のスケーリングが行われる場合、ターゲット・プロセッサに必要な演算回数を減らすため、LTC2991をケルビン温度の変換結果が得られるように設定するのが得策です。

$$T_{K\_COMP} = \frac{(\text{UNSIGNED}) \left( \frac{\eta_{CAL}}{\eta_{ACT}} 2^{15} \right) T_{K\_MEAS}}{2^{15}} \quad (5)$$

$$T_{C\_COMP} = \frac{(\text{UNSIGNED}) \left( \frac{\eta_{CAL}}{\eta_{ACT}} 2^{15} \right) (T_{C\_MEAS} + 273.15 \cdot 2^4)}{2^{15}} - 273.15 \cdot 2^4 \quad (6)$$

## サンプリング電流

シングルエンド電圧測定は内部ADCによって直接サンプリングされます。ADCの平均入力電流は次式のように、入力印加電圧と相関関係があります。

$$I_{SAMPLE} = (V_{IN} - 1.49V) \cdot 0.17[\mu A/V]$$

14ビット変換では、ソース抵抗が500Ωより小さい入力に、1/2LSBより小さいソース・インピーダンスによるフルスケール利得誤差が生じます。シングルエンド変換の公称変換時間は1.5msです。

## 電流測定

LTC2991は、電流センス抵抗を追加することにより14ビット電流測定を行うことができます(図3を参照)。

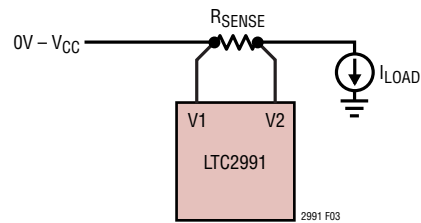


図3. 電流検出の簡略回路図

13ビットの電流検出を実現するためには、いくつかの細部について検討する必要があります。差動電圧または差動電流の測定は内部ADCによって直接サンプリングされます。ADCの変換時の差動入力信号のそれぞれの平均入力電流は次のようになります。

$$I_{SAMPLE} = (V_{IN} - 1.49V) \cdot 0.34[\mu A/V]$$

1/2LSBのフルスケール誤差を伴う14ビットの変換結果を生じる最大ソース・インピーダンスは約50Ωです。

14ビットの精度を達成するためには、センス抵抗の差動電圧を4端子接続(ケルビン接続)によって測定する必要があります。

## アプリケーション情報

電流を測定する場合、外付けセンス抵抗は一般に小さく、LTC2991のフルスケール入力電圧によって決まります。フルスケール差動電圧は0.300Vです。したがって、外付けセンス抵抗は測定可能な最大電流と相関関係があります ( $R_{EXT\_MAX} = 0.300V/I_{MAX}$ )。たとえば、 $\pm 5A$ の電流範囲の測定が必要な場合、外付けシャント抵抗は  $0.300V/5A = 60m\Omega$  になります。

LTC2991を使ってセンス抵抗の精度を向上させる方法があります。LTC2991は、差動電圧とリモート温度の両方を測定します。したがって、センス抵抗の抵抗値の絶対許容誤差とセンス抵抗の温度係数をソフトウェアで補償することができます。この抵抗値は、調整されたテスト電流をディスクリート抵抗に流すことによって測定されます。LTC2991は、この抵抗の両端の差動電圧と抵抗温度の両方を測定します。この測定から、以下の式の  $R_0$  と  $T_0$  が分かります。2つの式を使って、ホストのマイクロプロセッサは絶対許容誤差とTCRの両方を補償します。

$$R_T = R_0 \cdot [1 + \alpha(T - T_0)] \text{ ここで、}$$

$$\text{銅トレースに対して、} \alpha = 3930\text{ppm}/^\circ\text{C}$$

$$\text{ディスクリート抵抗に対して、} \alpha = \pm 2 \sim \text{約 } 200\text{ppm}/^\circ\text{C} \quad (7)$$

$$I = (V1 - V2)/R_T \quad (8)$$

### デバイスの設定

LTC2991は、シリアル・インタフェースを介してチャネル制御レジスタに書き込みを行うことによって設定されます。制御レジスタのビットの定義については表5、表6、および表7を参照してください。このデバイスは、電圧測定、温度測定、電流測定などの多くのアプリケーション設定が可能です。デバイスを単一収集または反復収集に設定することができます。反復収集では、最初のトリガのみが必要で、前のデータの上に新しいデータが書き込まれます。読み出しデータのシリアル転送中は収集が停止され、個々の測定の上位データ・バイトと下位データ・バイトが非同期にならないようにします。デバイス内部では、上位バイトと下位バイトは同時に書き込まれます。シリアル・データ転送のタイムアウト機能が備えられていないので、読み出し動作を終了させないと無期限に待機状態になります。このデバイスは単一測定を行うか、または1つのトリガにより全ての測定を行うように設定することもできます。デバイスが複数の測定をするように設定されていると、測定の順序は固定です。それぞれの新しいデータ結果がレディ状態になると、対応するデータ・レジスタのMSBがセットされ、対応す

る状態レジスタのビットがセットされます。対応するデータ・レジスタが呼び出されると、これらのビットはクリアされます。パワーアップ時の設定レジスタの値は、トリガされたときの内部温度センサとシングルエンドのV1～V8の電圧の測定値を示します。別途設定されて測定がトリガされるまで、V1～V8の8つの入力ピンは高インピーダンス状態になります。

### データ・フォーマット

データ・レジスタは、それぞれ8ビットの上位バイトと下位バイトに分けられます。電圧変換と温度変換は13ビットで行われます。MSBレジスタの上位ビットは変換結果の状態を示します。これらの状態ビットは温度変換と電圧変換で異なります。

### 温度

温度変換の結果は表11と表12に示すセルシウス温度またはケルビン温度で通知され、それぞれLSBが0.0625度に重み付けされています。このフォーマットは制御レジスタによって制御されます。温度測定MSBデータ・レジスタの最上位ビット(ビット7)はDATA\_VALIDビットで、レジスタに結果が書き込まれてからレジスタの現在の内容がアクセスされているかどうかを示します。このビットは、レジスタに新しいデータが書き込まれるとセットされ、アクセスされるとクリアされます。LTC2991の内部バイアス回路は、通常動作状態の間、この電圧をこのレベルより高く保ちます。MSBレジスタのビット4～ビット0は、2の補数のフォーマットの変換結果ビットD[12:8]です。ケルビン温度ではこの結果が常に正になることに注意してください。LSBレジスタには温度変換結果ビットD[7:0]が含まれています。レジスタの内容を温度に変換するには、次式を使用します。  $T = D[12:0]/16$ 。変換値の例については表16を参照してください。リモート・ダイオード電圧は約50 $\mu A$ のバイアス電流でデジタル化されます。これらの変換時のADCのLSB値は標準で38.15 $\mu V$ です。電圧はリモート・ダイオードでだけ得られ、内部センサでは得られません。このコードは約0.3125Vのダイオード電圧で繰り返されます(表13と表14を参照)。ダイオードの絶対温度を使って、ダイオードが0.3125V以下または0.3125V以上のどちらの電圧で動作しているかを検出することができます。このモードは、約-2.1mV/ $^\circ C$ の電圧の温度に対する依存関係を使って、温度の小さな相対変化をテストするのに便利です。LSBの38.15 $\mu V$ の重み付けと-2.1mV/ $^\circ C$ のダイオード温度の依存関係を使用して、これによ

## アプリケーション情報

り、約0.018度の分解能が得られます。ヒーターを備えたセンサ・アプリケーションでは、低ノイズで温度の小さな変化を検出できると大幅な省電力が可能になり、ヒーターの電力を低減することができます。様々なダイオード電圧に対する変換結果の例を表16に示します。

### 電圧/電流

電圧変換の結果は2つの個別のレジスタ、MSBレジスタおよびLSBレジスタで通知されます。電圧測定MSBデータ・レジスタの最上位ビット(ビット7)はDATA\_VALIDビットで、レジスタに結果が書き込まれてからレジスタの現在の内容がアクセスされているかどうかを示します。このビットは、レジスタの内容が更新されるとセットされ、アクセスされるとクリアされます。MSBレジスタのビット6は符合ビット、ビット5～ビット0は2の補数の変換結果のビットD[13:8]を示します。LSBレジスタには変換ビットD[7:0]が含まれています。LSBの値は、シングルエンド電圧測定値V1～V8と差動電圧測定値(電流測定値)V1-V2、V3-V4、V5-V6、およびV7-V8で異なります。シングルエンド電圧は、0V～4.9Vの範囲またはV<sub>CC</sub>+0.2Vのどちらか低い方の正電圧に制限されます。差動電圧は-0.300V～0.300Vの範囲の入力電圧が可能です。

以下の式を使ってレジスタ値を変換します(例については表16を参照)。

$$V_{\text{SINGLE\_ENDED}} = D[13:0] \cdot 305.18\mu\text{V}$$

$$\text{符合} = 0 \text{ の場合、} V_{\text{DIFFERENTIAL}} = D[13:0] \cdot 19.075\mu\text{V}$$

$$\text{符合} = 1 \text{ の場合、} V_{\text{DIFFERENTIAL}} = (D[13:0] + 1) \cdot -19.075\mu\text{V}$$

$$\text{符合} = 0 \text{ の場合、電流} = D[13:0] \cdot 19.075\mu\text{V}/R_{\text{SENSE}}$$

$$\text{符合} = 1 \text{ の場合、電流} = (D[13:0] + 1) \cdot -19.075\mu\text{V}/R_{\text{SENSE}}$$

ここで、R<sub>SENSE</sub>は電流センス抵抗であり、標準で1Ω以下です。

### V<sub>CC</sub>

LTC2991はV<sub>CC</sub>を測定します。V<sub>CC</sub>レジスタの内容を電圧に変換するには次式を使用します。

$$V_{\text{CC}} = 2.5 + (D[13:0] \cdot 305.18\mu\text{V})$$

### PWM出力

温度V7に比例する9ビットの1kHz PWM出力は、ファンやヒーターの制御に利用可能です。PWM\_Thresholdは、LSBがケルビン温度1度に重み付けされた9ビットの値です。PWM\_ThresholdはV7から差し引かれ、この差に比例するパルス幅が生成されます。PWMしきい値は、レジスタ09h[7:0]のPWM\_Threshold[8:1]とレジスタ08h[7]のPWM\_Threshold[0]の2つのレジスタに分割されていることに注意してください。関係するレジスタを式9に示します。PWM周波数は約1kHzです。PWM出力はそれぞれ、レジスタ08hのPWM EnableビットとPWM Invertビットによってディスエーブルまたは反転可能です。PWMの伝達関数を図9に示します。デューティ・サイクルの式は以下ようになります。

$$\text{PWM\_DUTY\_CYCLE(\%)} = \frac{100 \cdot (\text{REG7} - \text{PWM} \cdot 16)}{512} \quad (9)$$

ここで、REG7はビット[12:0]、

PWMはPWM Thresholdビット[8:0]

たとえば、PWMしきい値が10h(16°C)に設定され、レジスタ7が200h(32°C)に設定されると、デューティ・サイクルが50%のPWM信号が生じます。チャンネル7がケルビン温度に設定されると、PWMしきい値もケルビン温度でなければなりません。レジスタは2の補数の値です。上記のデューティ・サイクルをセルシウス温度で計算するときは、レジスタ7とPWMしきい値の値に符号を追加する点に注意してください。PWMしきい値より低い温度では、PWM出力ピンがロジックレベル0に固

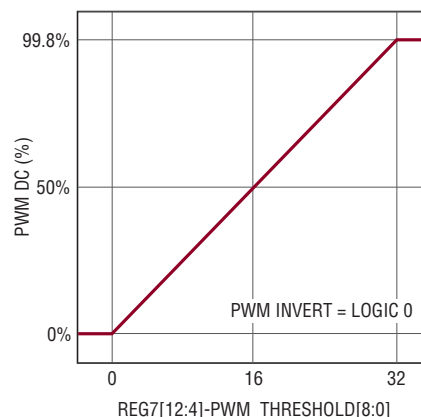


図9.PWMの伝達関数

## アプリケーション情報

定されます。PWMしきい値より32度高い温度では、PWM出力ピンはロジックレベル1に固定されます。この関係はPWM Invertビットがセットされると逆になります。V7/V8ペアに対してフィルタがイネーブルされると、フィルタされた結果がPWMブロックに送られます。そうでない場合には、フィルタされないバージョンを使用します。PWMのCMOS出力ドライブは、外付けの大きな容量(100pF以上)や10k以下の抵抗をドライブするためにバッファされることを前提としています。PWM信号のドライブ能力を上げるための推奨する非反転バッファはNC7SZ125です。

### デジタル・フィルタ

各変換結果は内蔵デジタル・フィルタを使ってフィルタすることができます。フィルタの式は次式のとおりです。

$$\text{OUTPUT}[X] = (15 \cdot (\text{OUTPUT}[X - 1]) + \text{SAMPLE}[X])/16$$

ここで、output[x]はイネーブルされたときのレジスタ値です。フィルタのステップ応答は「標準的性能特性」のセクションに示されています。フィルタは、設定された各測定のためのフィルタされない変換をトリガしてから、引き続きフィルタをイネーブルすることによってシードすることができます。これにより、フィルタはフィルタされない初期サンプル値に瞬時に収束します。フィルタは、各チャネル・ペアと内部温度測定に対してイネーブルまたはディスエーブルすることができます。V<sub>CC</sub>測定をフィルタすることはできません。

### デジタル・インタフェース

LTC2991は、I<sup>2</sup>Cバスおよび低電力デバイス用にI<sup>2</sup>Cを拡張したSMBusと互換性がある2線インタフェースを使ってバス・マスターと情報をやり取りします。

LTC2991は読み出し/書き込みスレーブ・デバイスで、SMBusのバスのバイト・データ読み出しおよびバイト・データ書き込みコマンドとワード・データ読み出しおよびワード・データ書き込みコマンドをサポートします。これらのコマンドのデータ・フォーマットを表3～表15に示します。

接続されたデバイスは、バス・ワイヤを“L”にすることだけが可能で、バスを“H”にドライブすることはできません。バス・ワイヤは、電流源またはプルアップ抵抗を介して正電源電圧に外部で接続します。バスが接続されていないと、どちらのラインも“H”になります。I<sup>2</sup>Cバスのデータは標準モードでは最大100kビット/s、高速モードでは最大400kビット/sのレートで転送することができます。I<sup>2</sup>Cバス上の各デバイスはデバイスに格納されている固有のアドレスで識別され、デバイスの機能に応じて、トランスミッタまたはレシーバのどちらかの動作をするこ

とができます。トランスミッタとレシーバに加えて、デバイスはデータ転送時にマスターまたはスレーブとみなすこともできます。マスターは、バス上でデータ転送を開始し、その転送を可能にするためにクロック信号を生成するデバイスです。同時に転送先のデバイスはすべてスレーブと見なされます。

LTC2991はスレーブとしてのみ呼び出すことができます。呼び出されると、設定ビットを受け取るか、または最後の変換結果を転送することができます。したがって、シリアル・クロック・ラインSCLは入力のみで、データ・ラインSDAは双方向です。このデバイスは、標準モードとデータ転送速度が最大400kビット/sの高速モードをサポートしています。I<sup>2</sup>Cバスの高速モード・デバイスと標準モード・デバイスのタイミングの定義が「タイミング図」に示されています。I<sup>2</sup>Cによる読み出し動作中、内部ステート・マシンは内部データ・レジスタを更新することができません。I<sup>2</sup>Cによる読み出しが完了するまでステート・マシンは停止します。したがって、LTC2991を長い時間この状態にしておかないことが重要です。そうしないと、変換の待ち時間が長くなります。

### START条件とSTOP条件

バスがアイドル状態のときは、SCLとSDAの両方が“H”でなければなりません。バス・マスターは、SCLを“H”に維持したままSDAを“H”から“L”に移行させることによって生成するSTART条件を使って、通信開始をスレーブに知らせます。バス使用時は、STOP条件の代わりに反復START(SR)条件が生成されるとビジー状態が継続します。反復START(SR)条件は機能的にSTART(S)条件と同じです。マスターはスレーブとの通信を終了したら、SCLを“H”に保ったままSDAを“L”から“H”に移行させてSTOP条件を発行します。これで、バスは別の通信を行える状態になります。

### I<sup>2</sup>Cデバイスの呼び出し

ADR0、ADR1、およびADR2ピンを使って、8つの個別のバス・アドレスを設定できます。ADR0、ADR1、およびADR2ピンの状態とアドレスとの対応を表1に示します。また、同じI<sup>2</sup>Cバスに接続された複数のLTC2991を容易に同期させることができるグローバル同期アドレス(E<sub>Eh</sub>)1個を備えています。これにより、バス上のすべてのLTC2991に書き込みのみのアクセスを行うことができるので、同時トリガが可能です。

### アクノリッジ

アクノリッジ信号はトランスミッタとレシーバの間のハンドシェイクに使用され、データの最終バイトが受信されたことを知らせます。トランスミッタは常にアクノリッジ・クロック・パルス

2991fd

## アプリケーション情報

の間SDAラインを解放します。スレーブがレシーバの場合、スレーブはこのパルスの間SDAラインが“L”を保つようにSDAラインをプルダウンして、データ受信のアクノリッジを返す必要があります。スレーブがSDAを“H”のままにしてアクノリッジを返さないと、マスターはSTOP条件を生成して通信を中断することができます。マスターがスレーブから最後のデータ・ビットを受信した後、マスターは次のクロック・パルスの間SDAラインをプルダウンしてデータの受信を知らせる必要があります。最終バイトを受信した後、マスターはSDAラインを“H”のままにして(アクノリッジを返さないで)、STOP条件を発行して通信を終了します。

### 書き込みプロトコル

マスターは、START条件とそれに続く7ビットのスレーブ・アドレスおよび0にセットされたR/Wビットによって通信を開始します。呼び出されたLTC2991がアドレスに対してアクノリッジを返すと、マスターはコマンド・バイトを送り、マスターが書き込みたい内部レジスタを知らせます。LTC2991はコマンド・バイトに対してアクノリッジを返し、次いでコマンド・バイトの下位5ビットを内部レジスタのアドレス・ポイントにラッチします。次いで、マスターはデータ・バイトを送り、LTC2991が再度アクノリッジを返してデータを内部レジスタにラッチします。マスターがSTOP条件を送ると通信は終了します。ワード書き込みコマンドの場合のように、マスターが2つ目のデータ・バイトを続けて送ると、LTC2991は2つ目のデータ・バイトに対するアクノリッジを返し、次に続くレジスタに書き込みアクセス権があるとこのレジスタに書き込みます。

### 読み出しプロトコル

マスターは、START条件とそれに続く7ビットのスレーブ・アドレスおよび0にセットされたR/Wビットによって読み出し動作を開始します。呼び出されたLTC2991がこれに対してアクノリッジを返すと、マスターはコマンド・バイトを送り、マスターが読み出したい内部レジスタを知らせます。LTC2991はこれに対してアクノリッジを返し、次いでコマンド・バイトの下位5ビットを内部レジスタのアドレス・ポイントにラッチします。次いで、マスターは、反復START条件とそれに続き、R/Wビットが

今度は1にセットされた同様の7ビット・アドレスを送ります。LTC2991はアクノリッジを返し、要求されたレジスタの内容を送ります。マスターがSTOP条件を送ると通信は終了します。各バイトが読み出されると、レジスタのポインタが自動的にインクリメントされます。ワード読み出しコマンドの場合のように、マスターが送信されたデータ・バイトに対してアクノリッジを返すと、LTC2991は2つ目のデータ・バイトとして次のレジスタの内容を送ります。レジスタ1Fhに続くバイトはレジスタ0h、つまり状態レジスタです。

### 制御レジスタ

制御レジスタ(表5～表8)によって、デバイスの選択された測定モードが決まります。LTC2991は、電圧、電流、および温度を測定するように設定することができます。これらは単一測定または反復測定が可能です。温度は、セルシウスまたはケルビンの温度スケールで通知するように設定することができます。LTC2991は、個々の測定を行うか、またはチャネル・イネーブル・レジスタ(表4)によって規定される設定に従った可能なすべての測定を行うように設定することができます。制御レジスタのパワーオン・デフォルト設定は00hであり、トリガされたチャネルのシングルエンドの電圧測定値に変換されます。このモードは、パワーアップ時にピンV1、V3、V5、およびV7のリモート・ダイオードにテスト電流が流れないようにし、ピンV2、V4、V6、およびV8のリモート・ダイオードが終端されないようにします。

### 状態レジスタ

状態レジスタ(表3と表4)は個々の変換結果の状態を通知します。個々の変換結果のレジスタに新しいデータが書き込まれると、対応するDATA\_VALIDビットがセットされます。I<sup>2</sup>Cインタフェースを介してレジスタが呼び出されると、その状態ビット(ならびにそれぞれのレジスタ内のDATA\_VALIDビット)がクリアされます。したがって、ホストは、今読み出したレジスタのデータが新しいものか古いものかを確認することができます。ビジー・ビットが“H”のときは、単一変換が行われていることを示します。最初の変換がトリガされた後は、反復モード時にビジー・ビットは常に“H”になります。

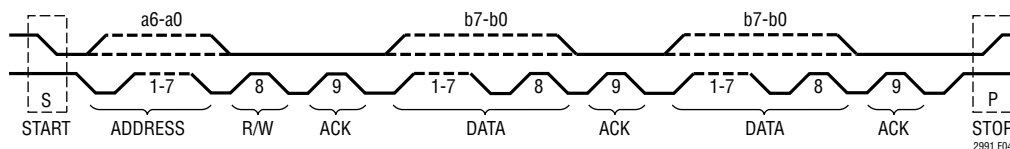


図4. I<sup>2</sup>CまたはSMBusを介したデータ転送



## アプリケーション情報

S	ADDRESS	W#	A	COMMAND	A	DATA	A	P
	1001 a2:a0	0	0	XXXXXb3:b0	0	b7:b0	0	

マスターからスレーブ  
 スレーブからマスター  
 A : アクノリッジ("L")  
 A# : アクノリッジなし("H")

R : 読み出しビット("H")  
 W# : 書き込みビット("L")  
 S : START 条件  
 P : STOP 条件

2991 F05

図5.LTC2991のシリアル・バスのバイト書き込みプロトコル

S	ADDRESS	W#	A	COMMAND	A	DATA	A	DATA	A	P
	1001 a2:a0	0	0	XXXXXb3:b0	0	b7:b0	0	b7:b0	0	

2991 F06

図6.LTC2991のシリアル・バスの反復バイト書き込みプロトコル

S	ADDRESS	W#	A	COMMAND	A	S	ADDRESS	R	A	DATA	A#	P
	1001 a2:a0	0	0	XXXXXb3:b0	0		1001 a2:a0	1	0	b7:b0	1	

2991 F07

図7.LTC2991のシリアル・バスのバイト読み出しプロトコル

S	ADDRESS	W#	A	COMMAND	A	S	ADDRESS	R	A	DATA	A	DATA	A#	P
	1001 a2:a0	0	0	XXXXXb3:b0	0		1001 a2:a0	1	0	b7:b0	0	b7:b0	1	

2991 F08

図8.LTC2991のシリアル・バスの反復バイト読み出しプロトコル

表1.I<sup>2</sup>C ベース・アドレス

I <sup>2</sup> C ベース・アドレス	ADR2	ADR1	ADR0
90h	0	0	0
92h	0	0	1
94h	0	1	0
96h	0	1	1
98h	1	0	0
9Ah	1	0	1
9Ch	1	1	0
9Eh	1	1	1
Eeh	Global Sync Address		

## アプリケーション情報

表 2. LTC2991 のレジスタ・アドレスと内容

レジスタ・アドレス*†	レジスタ名	読み出し/書き込み	注釈
00h	STATUS LOW	R	DATA_VALID ビット (V1 ~ V8)
01h	CH EN, STAT.HI, TRIGGER**	R/W	チャンネル・イネーブル、V <sub>CC</sub> 、T <sub>INTERNAL</sub> 変換状態、トリガ
02h	Reserved	N/A	予備
03h	Reserved	N/A	予備
04h	Reserved	N/A	予備
05h	Reserved	N/A	予備
06h	V1, V2 and V3, V4 CONTROL	R/W	V1、V2、V3、およびV4の制御レジスタ
07h	V5, V6 and V7, V8 CONTROL	R/W	V5、V6、V7、およびV8の制御レジスタ
08h	PWM_Threshold(LSB), V <sub>CC</sub> , T <sub>INTERNAL</sub> CONTROL	R/W	PWM しきい値およびT <sub>INTERNAL</sub> の制御レジスタ
09h	PWM_Threshold(MSB)	R/W	PWM しきい値
0Ah	V1(MSB)	R	V1 または T <sub>R1</sub> 温度の MSB
0Bh	V1(LSB)	R	V1 または T <sub>R1</sub> 温度の LSB
0Ch	V2(MSB)	R	V2、V1 - V2、または T <sub>R1</sub> 電圧の MSB
0Dh	V2(LSB)	R	V2、V1 - V2、または T <sub>R1</sub> 電圧の LSB
0Eh	V3(MSB)	R	V3 または T <sub>R2</sub> 温度の MSB
0Fh	V3(LSB)	R	V3 または T <sub>R2</sub> 温度の LSB
10h	V4(MSB)	R	V4、V3 - V4、または T <sub>R2</sub> 電圧の MSB
11h	V4(LSB)	R	V4、V3 - V4、または T <sub>R2</sub> 電圧の LSB
12h	V5(MSB)	R	V5 または T <sub>R3</sub> 温度の MSB
13h	V5(LSB)	R	V5 または T <sub>R3</sub> 温度の LSB
14h	V6(MSB)	R	V6、V5 - V6、または T <sub>R3</sub> 電圧の MSB
15h	V6(LSB)	R	V6、V5 - V6、または T <sub>R3</sub> 電圧の LSB
16h	V7(MSB)	R	V7、または T <sub>R4</sub> 温度の MSB
17h	V7(LSB)	R	V7、または T <sub>R4</sub> 温度の LSB
18h	V8(MSB)	R	V8、V7 - V8、または T <sub>R4</sub> 電圧の MSB
19h	V8(LSB)	R	V8、V7 - V8、または T <sub>R4</sub> 電圧の LSB
1Ah	T <sub>INTERNAL</sub> (MSB)	R	T <sub>INTERNAL</sub> の MSB
1Bh	T <sub>INTERNAL</sub> (LSB)	R	T <sub>INTERNAL</sub> の LSB
1Ch	V <sub>CC</sub> (MSB)	R	V <sub>CC</sub> の MSB
1Dh	V <sub>CC</sub> (LSB)	R	V <sub>CC</sub> の LSB

\* レジスタ・アドレスの MSB の b7 ~ b5 は無視される。

\*\* 任意の値を書き込むことで変換がトリガされる。

† パワーオン・リセットによって全てのレジスタが 00h にセットされる。

## アプリケーション情報

表3. 状態“L”(00h)レジスタ

ビット	名称	動作
b7	V8, T4, V7 – V8 Ready	1 = V8レジスタのデータが更新されている、0 = V8レジスタのデータが更新されていない
b6	V7, T4, V7 – V8 Ready	1 = V7レジスタのデータが更新されている、0 = V7レジスタのデータが更新されていない
b5	V6, T3, V5 – V6 Ready	1 = V6レジスタのデータが更新されている、0 = V6レジスタのデータが更新されていない
b4	V5, T3, V5 – V6 Ready	1 = V5レジスタのデータが更新されている、0 = V5レジスタのデータが更新されていない
b3	V4, T2, V3 – V4 Ready	1 = V4レジスタのデータが更新されている、0 = V4レジスタのデータが更新されていない
b2	V3, T2, V3 – V4 Ready	1 = V3レジスタのデータが更新されている、0 = V3レジスタのデータが更新されていない
b1	V2, T1, V1 – V2 Ready	1 = V2レジスタのデータが更新されている、0 = V2レジスタのデータが更新されていない
b0	V1, T1, V1 – V2 Ready	1 = V1レジスタのデータが更新されている、0 = V1レジスタのデータが更新されていない

表4. 状態“H”、チャンネル・イネーブル(01h)レジスタ(デフォルト 00h)

ビット	名称	R/W	動作
b7	V7 and V8, V7 – V8, TR4 Enable	R/W	1 = V7 および V8, または V7 – V8, または T4 イネーブル 0 = V7 および V8, または V7 – V8, または T4 ディスエーブル(デフォルト)
b6	V5 and V6, V5 – V6, TR3 Enable	R/W	1 = V5 および V6, または V5 – V6, または T3 イネーブル 0 = V5 および V6, または V5 – V6, または T3 ディスエーブル(デフォルト)
b5	V3 and V4, V3 – V4, TR2 Enable	R/W	1 = V3 および V4, または V3 – V4, または T2 イネーブル 0 = V3 および V4, または V3 – V4, または T2 ディスエーブル(デフォルト)
b4	V1 and V2, V1 – V2, TR1 Enable	R/W	1 = V1 および V2, または V1 – V2, または T1 イネーブル 0 = V1 および V2, または V1 – V2, または T1 ディスエーブル(デフォルト)
b3	T <sub>INTERNAL</sub> V <sub>CC</sub> Enable	R/W	1 = T <sub>INTERNAL</sub> および V <sub>CC</sub> イネーブル 0 = T <sub>INTERNAL</sub> および V <sub>CC</sub> ディスエーブル(デフォルト)
b2	BUSY	R	1 = 変換が進行中 0 = スリープ・モード(デフォルト)
b1	T <sub>INTERNAL</sub>	R	1 = T <sub>INTERNAL</sub> レジスタのデータが更新されている 0 = T <sub>INTERNAL</sub> レジスタのデータが更新されていない(デフォルト)
b0	V <sub>CC</sub>	R	1 = V <sub>CC</sub> レジスタのデータが更新されている 0 = V <sub>CC</sub> レジスタのデータが更新されていない(デフォルト)

表5. V1、V2、およびV3、V4の制御(06h)レジスタ(デフォルト 00h)

ビット	名称	動作
b7	V3, V4 Filt	V3 および V4, V3 – V4, または T2 に対して、1 = フィルタをイネーブル、 0 = フィルタをディスエーブル(デフォルト)
b6	TR2 Kelvin	T2 に対して、1 = ケルビン、0 = セルシウス(デフォルト)
b5	V3, V4 Temperature	1 = 温度、0 = 電圧 (b4 の設定による) (デフォルト)
b4	V3, V4 Differential 1	1 = 差動 (V3 – V4) および V3 シングルエンド 0 = シングルエンド電圧 (V3 および V4) (デフォルト)
b3	V1, V2 Filt	V1 および V2, V1 – V2, または T1 に対して、1 = フィルタをイネーブル、 0 = フィルタをディスエーブル(デフォルト)
b2	TR1 Kelvin	T1 に対して、1 = ケルビン、0 = セルシウス(デフォルト)
b1	V1, V2 Temperature	1 = 温度、0 = 電圧 (b0 の設定による) (デフォルト)
b0	V1, V2 Differential	1 = 差動 (V1 – V2) および V1 シングルエンド 0 = シングルエンド電圧 (V1 および V2) (デフォルト)

## アプリケーション情報

表 6. V5、V6、および V7、V8 の制御 (07h) レジスタ (デフォルト 00h)

ビット	名称	動作
b7	V7, V8 Filt	V7 および V8、V7 - V8、または T4 に対して、1 = フィルタをイネーブル、0 = フィルタをディスエーブル (デフォルト)
b6	T <sub>R4</sub> Kelvin	T4 に対して、1 = ケルビン、0 = セルシウス (デフォルト)
b5	V7, V8 Temperature	1 = 温度、0 = 電圧 (b4 の設定による) (デフォルト)
b4	V7, V8 Differential	1 = 差動 (V7 - V8) および V7 シングルエンド 0 = シングルエンド電圧 (V7 および V8) (デフォルト)
b3	V5, V6 Filt	V5 および V6、V5 - V6、または T3 に対して、1 = フィルタをイネーブル、0 = フィルタをディスエーブル (デフォルト)
b2	T <sub>R3</sub> Kelvin	T3 に対して、1 = ケルビン、0 = セルシウス (デフォルト)
b1	V5, V6 Temperature	1 = 温度、0 = 電圧 (b0 の設定による) (デフォルト)
b0	V5, V6 Differential	1 = 差動 (V5 - V6) および V5 シングルエンド 0 = シングルエンド電圧 (V5 および V6) (デフォルト)

表 7. PWM、V<sub>CC</sub>、および T<sub>INTERNAL</sub> の制御 (08h) レジスタ (デフォルト 00h)

ビット	名称	動作
b7	PWM[0]	PWM しきい値の最下位ビット (デフォルト = 0)
b6	PWM Invert*	1 = PWM が反転、0 = PWM が非反転 (デフォルト)
b5	PWM Enable**	1 = PWM がイネーブル、0 = PWM がディスエーブル (デフォルト)
b4	Repeated Acquisition	1 = 反復収集 0 = 単一収集 (デフォルト)
b3	T <sub>INTERNAL</sub> Filt	1 = T <sub>INTERNAL</sub> に対してフィルタをイネーブル 0 = T <sub>INTERNAL</sub> に対してフィルタをディスエーブル (デフォルト)
b2	T <sub>INTERNAL</sub> Kelvin	T <sub>INTERNAL</sub> に対して、1 = ケルビン、0 = セルシウス (デフォルト)
b1	Reserved	予備
b0	Reserved	予備

\* 非反転では温度が上昇するとデューティ・サイクルが増加する。

\*\* ディスエーブルで非反転の場合、PWM ピンがロジックレベル 0 になる。ディスエーブルで反転の場合、PWM ピンはロジックレベル 1 になる。

表 8. PWM レジスタのフォーマット (デフォルト 00h)

Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1

注記: D0 は、PWM、V<sub>CC</sub>、および T<sub>INTERNAL</sub> の制御 (08h) レジスタの MSB に位置する

表 9. 電圧/電流測定 MSB データ・レジスタのフォーマット

Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
DV*	符号	D13	D12	D11	D10	D9	D8

\* Data Valid は、新しい変換結果がレジスタに書き込まれたときにセットされる。Data Valid は、このレジスタが I<sup>2</sup>C インタフェースを介して呼び出された (読み出された) ときにクリアされる。

表 10. 電圧/電流測定 LSB データ・レジスタのフォーマット

Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0

## アプリケーション情報

表 11. 温度測定 MSB データ・レジスタのフォーマット

Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
DV*	X	X	D12	D11	D10	D9	D8

\*Data Valid は、新しい変換結果がレジスタに書き込まれたときにセットされる。Data Valid は、このレジスタが I<sup>2</sup>C インタフェースを介して呼び出された (読み出された) ときにクリアされる。

X は使用しない

表 12. 温度測定 LSB データ・レジスタのフォーマット

Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0

表 13. ダイオード電圧測定 MSB データ・レジスタのフォーマット

Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
DV*	X	X	D12	D11	D10	D9	D8

\*Data Valid は、新しい変換結果がレジスタに書き込まれたときにセットされる。Data Valid は、このレジスタが I<sup>2</sup>C インタフェースを介して呼び出された (読み出された) ときにクリアされる。

X は使用しない

表 14. ダイオード電圧測定 LSB データ・レジスタのフォーマット

Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0

表 15. PWM しきい値レジスタのフォーマット

Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0

D7:D0 = PWM[8:1]、ビット 0 は、PWM、V<sub>CC</sub>、および T<sub>INT</sub> の制御レジスタ内に配置されている (表 7)

表 16. 変換フォーマット

電圧フォーマット	符号	2進数値 D[13:0]	電圧
シングルエンド LSB = 305.18μV = 2.5/2 <sup>13</sup>	0	11111111111111	>5
	0	10110011001101	3.5000
	0	01111111111111	2.5000
	0	00000000000000	0.0000
	1	11110000101001	-0.3000
差動 LSB = 19.075μV = 2.5/2 <sup>17</sup>	0	11110101101111	0.300
	0	10000100011111	0.159
	0	00000000000000	0.0000
	1	01111101110001	-0.159
	1	00001010010001	-0.300
V <sub>CC</sub> = 結果 + 2.5V LSB = 305.18μV = 2.5/2 <sup>13</sup>	0	10110011001101	V <sub>CC</sub> = 6.0
	0	10000000000000	V <sub>CC</sub> = 5.0
	0	00001010001111	V <sub>CC</sub> = 2.7

## アプリケーション情報

表 16. 変換フォーマット

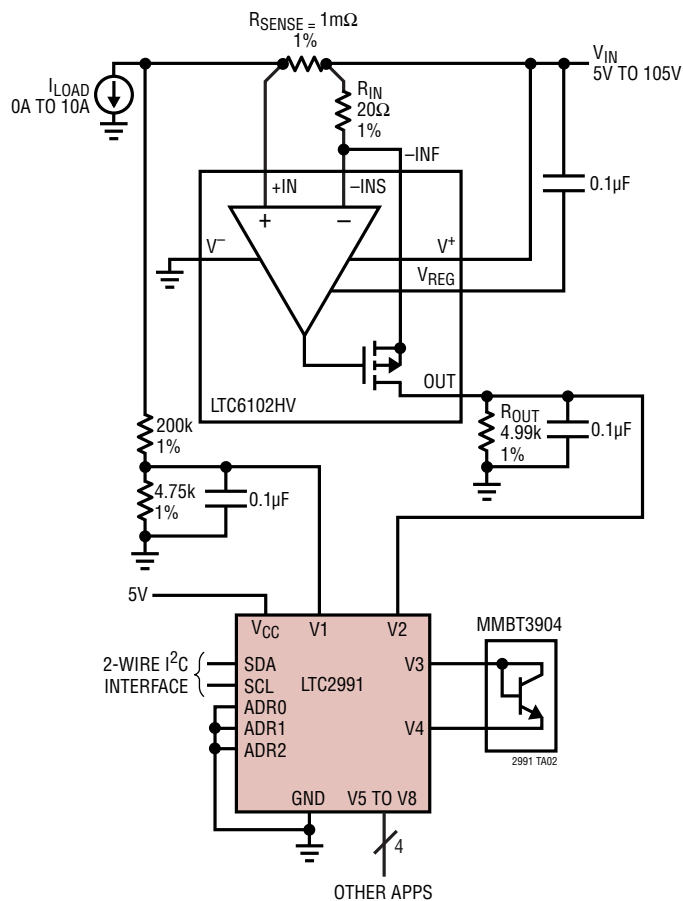
温度フォーマット	フォーマット	2進数値 D[12:0]	温度
内部温度、 $T_{R1} \sim T_{R4}$ LSB = 0.0625 度	セルシウス	0011111010000	125.0000
	セルシウス	0000110010001	25.0625
	セルシウス	0000110010000	25.0000
	セルシウス	1110110000000	-40.0000
	ケルビン	1100011100010	398.1250
	ケルビン	1000100010010	273.1250
	ケルビン	0111010010010	233.1250
	ケルビン	0010011010000	77.0000
ダイオード電圧のフォーマット	符号	2進数値 D[13:0]	電圧
リモート温度 $T_{R1} \sim T_{R4}$ LSB = 38.15 $\mu$ V	0	0000000000000	0.0000
	0	1111111111111	0.31249
	0	0000000000000	0.31252
	0	1111111111111	0.62501
	0	0000000000000	0.62505
	0	10011001100100	0.99999

表 17. 温度センサとして使用するのに推奨するトランジスタ

メーカー	製品番号	パッケージ
Fairchild Semiconductor	MMBT3904	SOT-23
Fairchild Semiconductor	FMMT3904	SOT-23
Fairchild Semiconductor	2N3904	TO-92
Central Semiconductor	CMPT3904	SOT-23
Central Semiconductor	CET3904E	SOT-883L
Diodes, Inc.	MMBT3904	SOT-23
On Semiconductor	MMBT3904LT1	SOT-23
NXP	MMBT3904	SOT-23
Infineon	MMBT3904	SC-70
Rohm	UMT3904	SOT-23

## 標準的応用例

## 高電圧/電流および温度のモニタ

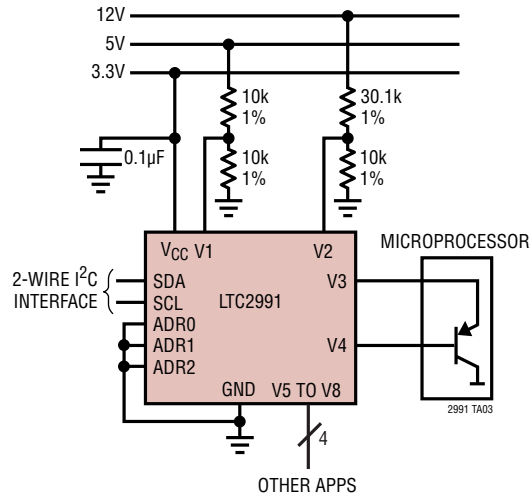
ALL CAPACITORS  $\pm 20\%$ **VOLTAGE, CURRENT AND TEMPERATURE CONFIGURATION:**

CONTROL REGISTER: 0x06 0xA0

$T_{\text{AMBIENT}}$	REG 1A, 1B:	0.0625°C/LSB
$V_{\text{LOAD}}$	REG 0A, 0B:	13.2mV/LSB
$V2(I_{\text{LOAD}})$	REG 0C, 0D:	1.223mA/LSB
$T_{\text{PROCESSOR}}$	REG 0E, 0F:	0.0625°C/LSB
$V_{\text{CC}}$	REG 1C, 1D:	2.5V + 305.18μV/LSB

## 標準的応用例

### コンピュータによる電圧および温度のモニタ

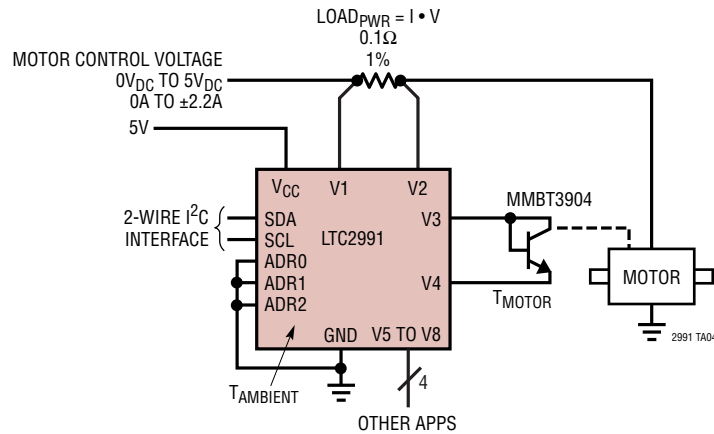


#### VOLTAGE AND TEMPERATURE CONFIGURATION

CONTROL REGISTER: 0x06 0x0A

$T_{\text{AMBIENT}}$	REG 1A, 1B:	0.0625°C/LSB
V1(+5)	REG 0A, 0B:	610µV/LSB
V2(+12)	REG 0C, 0D:	1.22mV/LSB
$T_{\text{PROCESSOR}}$	REG 0E, 0F:	0.0625°C/LSB
$V_{\text{CC}}$	REG 1C, 1D:	2.5V + 305.18µV/LSB

### モーターの保護/安定化



#### VOLTAGE, CURRENT AND TEMPERATURE CONFIGURATION:

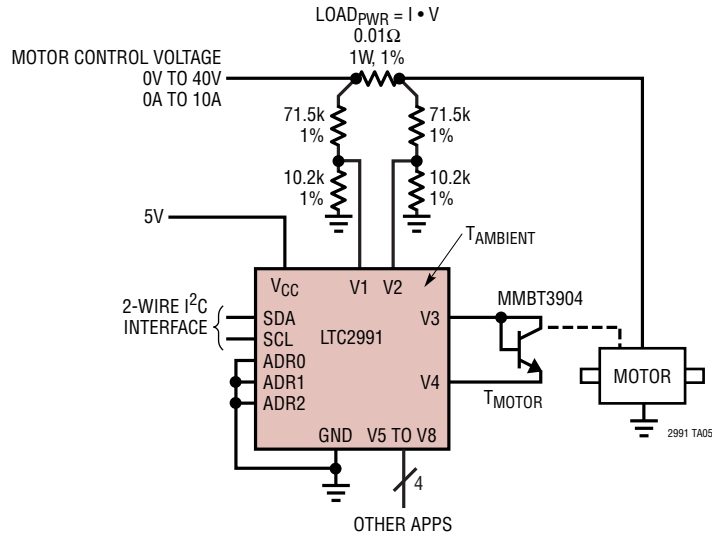
CONTROL REGISTER: 0x06 0xA1

$T_{\text{AMBIENT}}$	REG 1A, 1B:	0.0625°C/LSB
$V_{\text{MOTOR}}$	REG 0A, 0B:	305.18µV/LSB
$I_{\text{MOTOR}}$	REG 0C, 0D:	190.75µA/LSB
$T_{\text{MOTOR}}$	REG 1A, 1B:	0.0625°C/LSB
$V_{\text{CC}}$	REG 1C, 1D:	2.5V + 305.18µV/LSB



標準的応用例

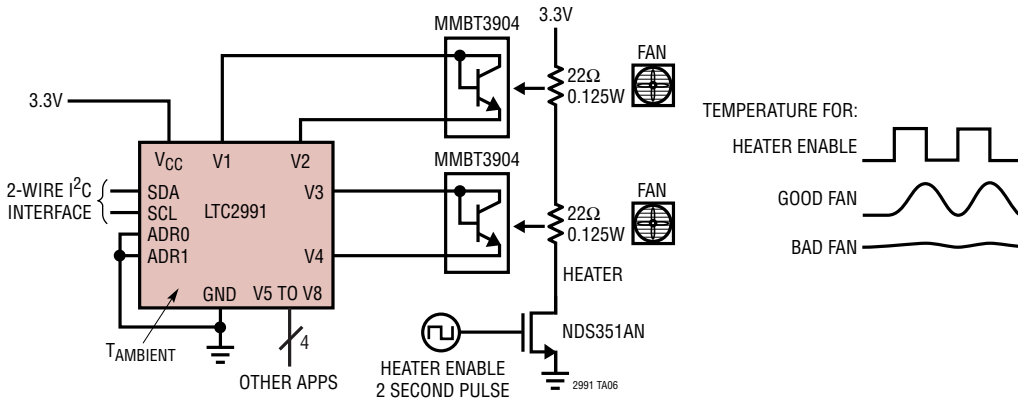
大型モーターの保護/安定化



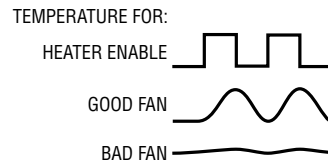
VOLTAGE, CURRENT AND TEMPERATURE CONFIGURATION:

CONTROL REGISTER 06: 0xA1	
T <sub>AMBIENT</sub>	REG 1A, 1B: 0.0625°C/LSB
V <sub>MOTOR</sub>	REG 0A, 0B: 2.44mV/LSB
I <sub>MOTOR</sub>	REG 0C, 0D: 15.54mA/LSB
T <sub>MOTOR</sub>	REG 0E, 0F: 0.0625°C/LSB
V <sub>CC</sub>	REG 1C, 1D: 2.5V + 305.18µV/LSB

ファン/エアフィルタ/温度の警報装置

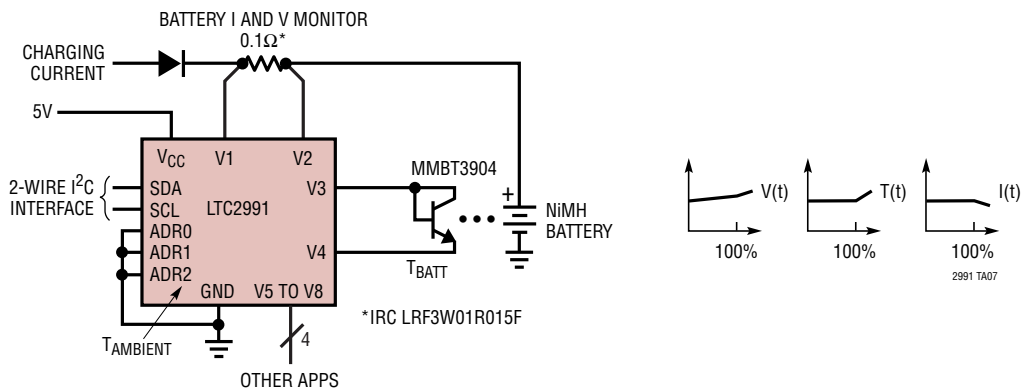


CONTROL REGISTER 0x06 = 0xAA	
T <sub>AMBIENT</sub>	REG 1A, 1B: 0.0625°C/LSB
T <sub>FAN1</sub>	REG 0A, 0B: 0.0625°C/LSB
T <sub>FAN2</sub>	REG 0C, 0D: 0.0625°C/LSB
V <sub>CC</sub>	REG 1C, 1D: 2.5V + 305.18µV/LSB



## 標準的応用例

### バッテリーのモニタ

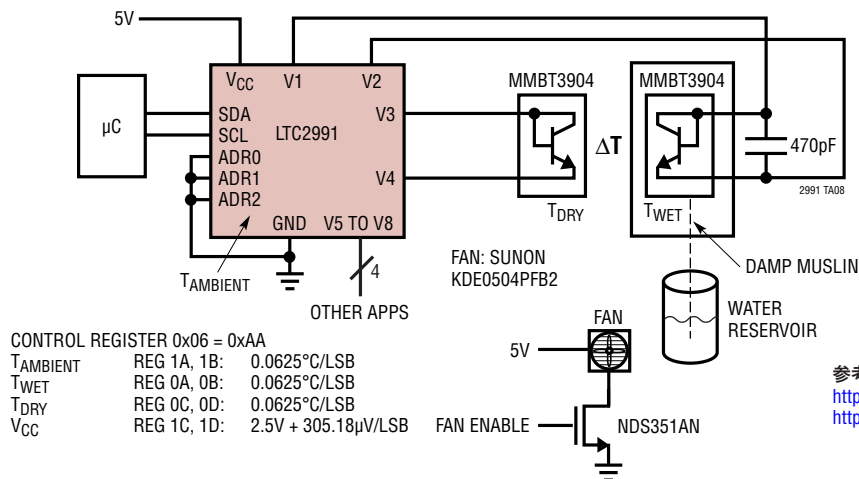


#### VOLTAGE AND TEMPERATURE CONFIGURATION:

CONTROL REGISTER: 0xA1

T <sub>AMBIENT</sub>	REG 1A, 1B:	0.0625°C/LSB
V <sub>BAT</sub>	REG 0A, 0B:	305.18µV/LSB
I <sub>BAT</sub>	REG 0C, 0D:	190.75µA/LSB
T <sub>BAT</sub>	REG 0E, 0F:	0.0625°C/LSB
V <sub>CC</sub>	REG 1C, 1D:	2.5V + 305.18µV/LSB

### ウェットバルブ乾湿計

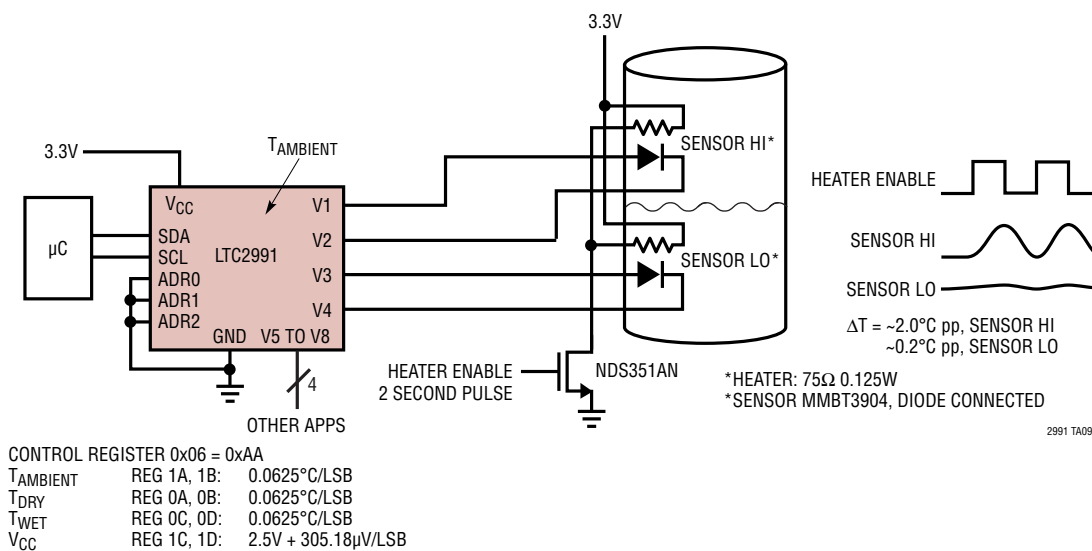


参考ページ

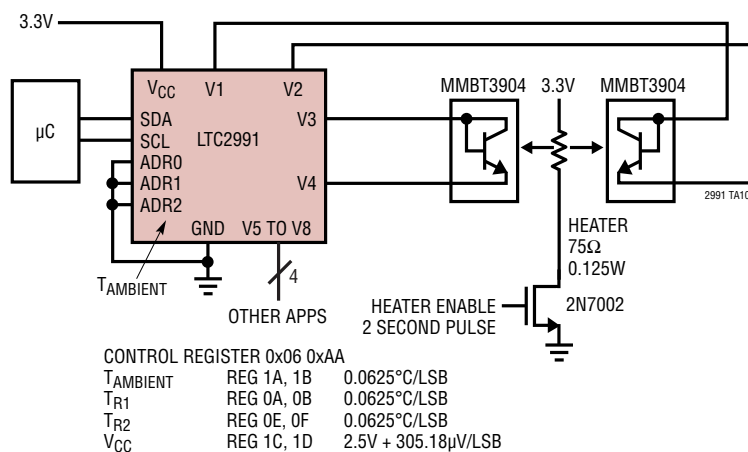
<http://en.wikipedia.org/wiki/Hygrometer>  
<http://en.wikipedia.org/wiki/Psychrometrics>

標準的応用例

リキッドレベル・インジケータ

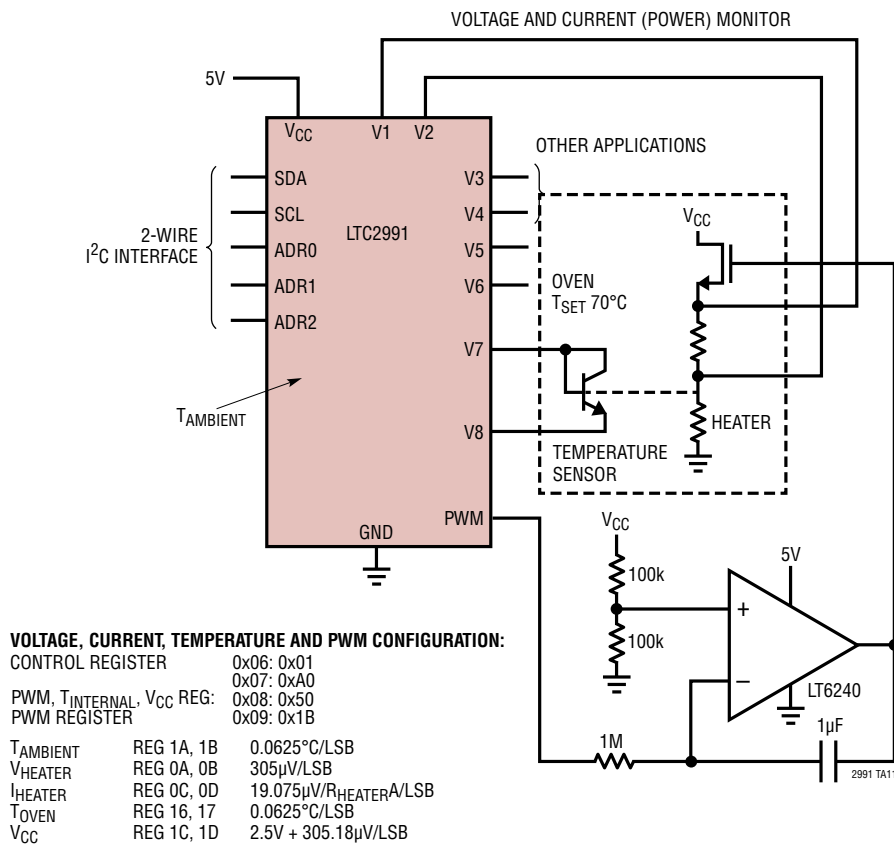


風向/計測

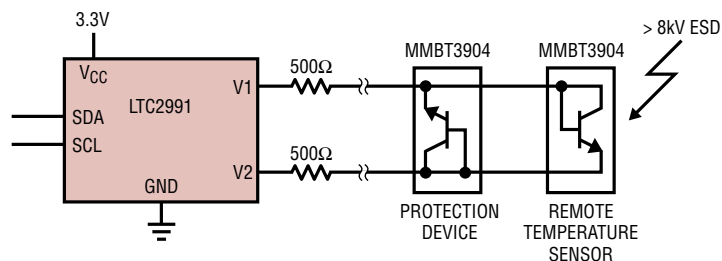


## 標準的応用例

### 電力モニタを使用したオープン制御



### ESD性能を強化したりリモート温度検出

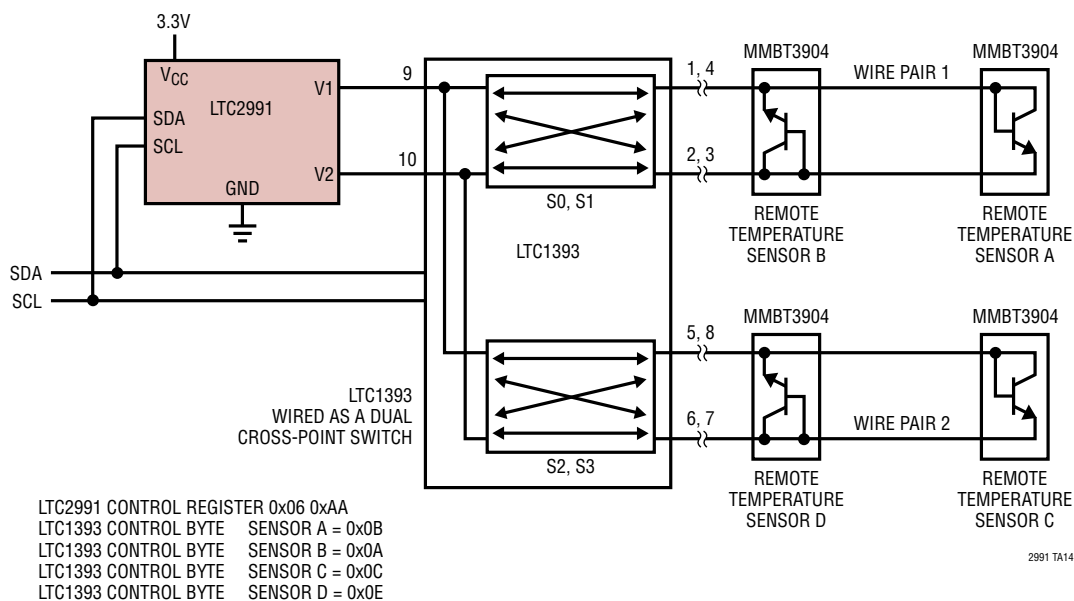


CONTROL REGISTER 0x06 = 0xAA  
 REMOTE TEMPERATURE SENSOR REG 0B, 0B: 0.0625 °C/LSB

2991 TA13

標準的応用例

1つのLTC2991チャンネルを使用した2線ペアによるクワッド・リモート温度検出



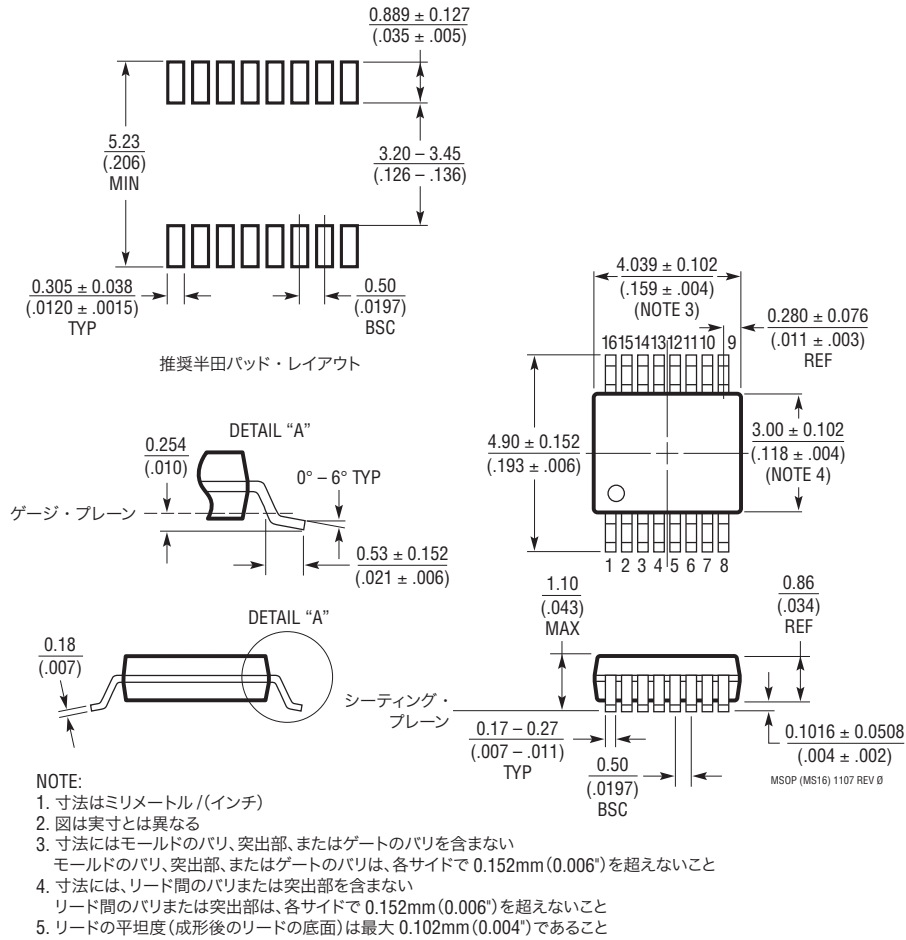
LTC2291 REMOTE TEMPERATURE SENSOR REG 0B, 0B: 0.0625 °C/LSB

2991 TA14

## パッケージ

最新のパッケージの図面については <http://www.linear-tech.co.jp/designtools/packaging/> を参照してください。

### MS Package 16-Lead Plastic MSOP (Reference LTC DWG # 05-08-1669 Rev 0)



## 改訂履歴

REV	日付	概要	ページ番号
A	10/11	図9の軸ラベルを修正	14
		「I <sup>2</sup> C デバイスの呼び出し」のセクションに新しい文章を挿入	15
		表1に新しい横列を挿入	17
		標準的応用例の図TA05の部品の値を改訂	25
B	7/13	ダイオード電圧の値を修正	13
		V <sub>DIFFERENTIAL</sub> と電流の式を修正	14
C	10/13	図5、6、7、8のスレーブ・アドレスの修正	17
D	03/14	LSBのサイズを19.075μV/LSBおよび190.75μA/LSBに修正	6、24、26、 28、32

