

# PGA309とXTR115を用いて4-20mA出力ブリッジセンサ回路を実現する方法

Art Kay

High-Performance Linear Products

## 概要

センサ信号処理システムでは、圧力センサの出力を使用可能な電圧レベルに変換する計装アンプの場合のように、4-20mA出力がしばしば要求されます。XTR115とPGA309の組み合わせは、そのようなアプリケーションに最適です。本

レポートは、所要の帯域幅を維持しつつ4-20mA出力を実現する部品選定について述べます。また、グラウンドのとり方についても考察します。

## 1 非線形変化を線形出力電圧へ変換

センサ信号処理システムではしばしば、4-20mA出力が伝送信号として使われます。例えば、計装アンプは圧力センサ出力を使用可能な電圧レベルに変換するためによく使用されます。いったん計装アンプで電圧レベル変換を行ってから4-20mA出力に変換することが一般的です。図1の回路に、PGA309の電圧出力を4-20mA出力に変換できるようにす

る方法を示します。この回路では、PGA309により圧力センサ・ブリッジにおける非線形変化が線形出力電圧(0Vから5V)に変換されます。PGA309の電圧出力は、XTR115電流ループ・トランスミッタの電流入力に変換されます。XTR115は入力電流を増幅し、オフセットを用いて所要の4-20mA出力を提供します。

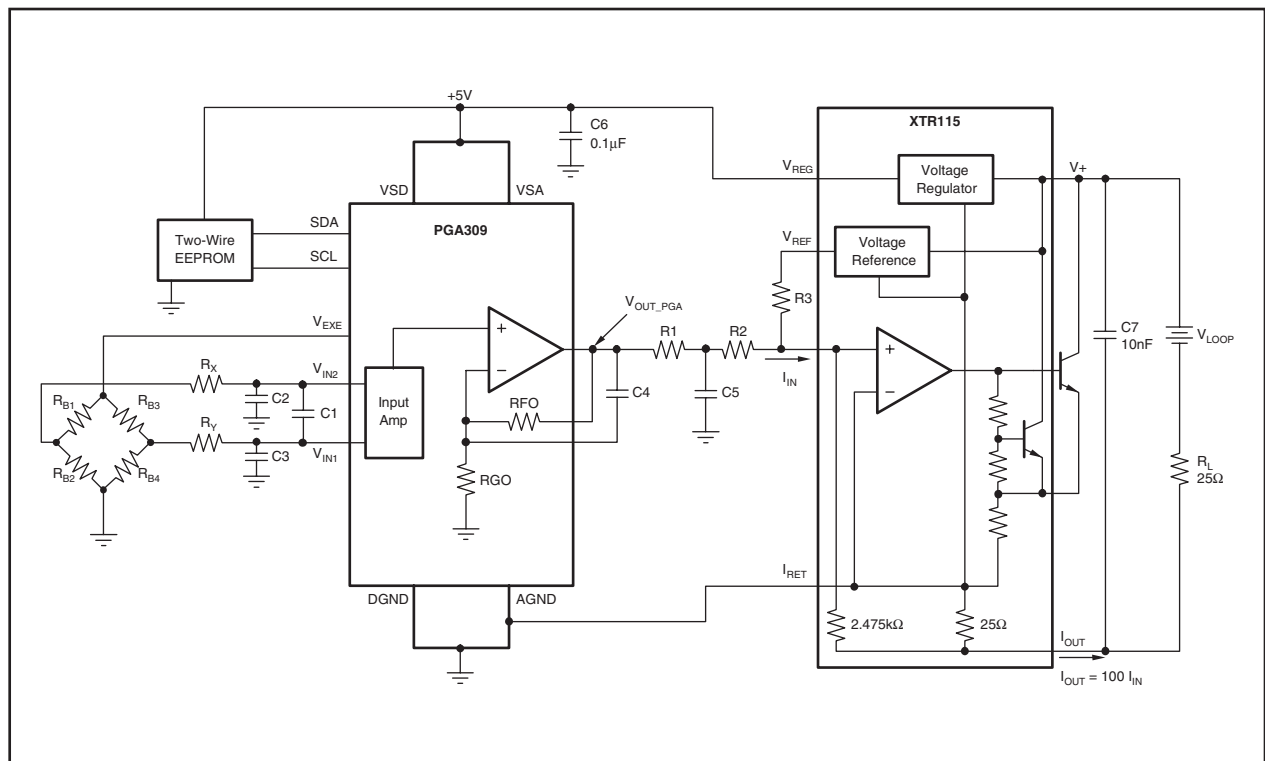


図 1. 4-20mA出力を得るPGA309とXTR115の接続

## 2 4-20mA出力を実現する部品選定

抵抗R1およびR2により、PGA309の出力電圧は電流に変換されます。 $I_{IN} = V_{OUT\_PGA} / (R1 + R2)$ 。DC的観点からすると、抵抗R1およびR2は1個の抵抗で置き換えることができますが、図1に示すトポロジでは1次のフィルタが追加されています。抵抗R3によってXTR115に出力オフセット電流が与えられていますが、PGA309の出力範囲によっては、R3が必要ないこともあります。例1では、PGA309が固定の出力範囲の場合に、その出力スパンを4-20mAに設定する方法を示します。この方法はR3を使用して4mAのオフセットを設定するものです。例2では、PGA309の出力範囲を調整して、R3を使用せずに所要の4-20mAスパンを得る方法を示します。

### 2.1 例1：固定出力範囲のPGA309

R3をオフセットに使用して、4-20mAスパンを実現する部品選定の方法

PGAのフルスケール出力は、

$$V_{OUT\_FS} = 4.5V$$

PGAのゼロ出力は、

$$V_{OUT\_Z} = 0.5V$$

XTR115の電流ゲインは、

$$A_1 = \frac{I_{OUT}}{I_{IN}}$$

16mAのスパンに必要な抵抗は、与えられたPGA309の出力振幅より、

$$\begin{aligned} R_1 + R_2 &= \frac{V_{OUT\_FS} - V_{OUT\_Z}}{\frac{I_{OUT\_FS}}{A_1} - \frac{I_{OUT\_Z}}{A_1}} = \frac{V_{OUT\_FS} - V_{OUT\_Z}}{\frac{20mA}{100} - \frac{4mA}{100}} \\ &= \frac{4.5 - 0.5}{\left(\frac{16mA}{100}\right)} = 25.0k\Omega \end{aligned}$$

PGA309の最小出力電流は、

$$I_{V_{OUT\_Z}} = A_1 \left( \frac{V_{OUT\_Z}}{R_1 + R_2} \right) = 100 \left( \frac{0.5}{25.0k\Omega} \right) = 2mA$$

XTR115の最小電流を4mAに設定するために要するオフセット電流は、

$$I_{OFFSET} = 4mA - I_{V_{OUT\_Z}} = 4mA - 2mA = 2mA$$

XTR115の最小電流の4mA設定に要するオフセット電流を与えるR3は、

$$R_3 = \frac{V_{REF}}{\left(\frac{I_{OFFSET}}{A_1}\right)} = \frac{2.5V}{\left(\frac{2mA}{100}\right)} = 125k\Omega$$

### 2.2 例2：抵抗R3が無いPGA309出力範囲 PGA309出力のスケーリングで4-20mAスパンを実現する部品選定法 (R3は使用しない)

PGAのフルスケール出力は、

$$V_{OUT\_FS} = 4.5V$$

PGAのゼロ出力は、

$$V_{OUT\_Z} = \text{未知}$$

XTR115の電流ゲインは、

$$A_1 = \frac{I_{OUT}}{I_{IN}}$$

XTR115のフルスケール出力を20mAに設定するのに必要な抵抗は、PGA309最大出力の4.5Vより、

$$R_1 + R_2 = \frac{V_{OUT\_FS}}{\left(\frac{20mA}{A_1}\right)} = \frac{4.5}{\left(\frac{20mA}{100}\right)} = 22.5k\Omega$$

XTR115の出力電流を4mAに設定するのに要するPGA309の最小出力は、

$$\begin{aligned} V_{OUT\_Z} &= (R_1 + R_2) \left( \frac{4mA}{A_1} \right) \\ &= (22.5k\Omega) \left( \frac{4mA}{100} \right) = 0.9V \end{aligned}$$

### 3 所要の帯域幅を設定する部品選定

図1に示す回路には3つのローパス・フィルタがあります。本節では、各フィルタのローパス・カットオフ周波数を設定するガイドラインを提供します。以下の例における各フィルタについて、そのカットオフ周波数を500Hzに設定します。ノイズを最小にするには、与えられたエンド・アプリケーションで許容できる最小帯域幅を得るローパス・カットオフ周波数を選定します。

最初のフィルタはC1, C2, およびC3で構成されています。C1はPGA309の入力同相ノイズのフィルタリングに使用されます。C2およびC3はPGA309の入力差動ノイズのフィルタリングに使用されます。ブリッジの抵抗とフィルタ用コンデンサにより、1次のローパス・フィルタが形成されます。C2およびC3の不整合誤差による差動信号の発生を防止するため、C1の値はC2より少なくとも10倍である必要があります。

場合によってはブリッジの抵抗が低すぎて、1μFより大きいコンデンサの値を要することがあります。ブリッジ抵抗が小さすぎる場合は、抵抗R<sub>X</sub>およびR<sub>Y</sub>を追加することで適切な値のコンデンサとで要求されるカットオフ周波数を実現できます。例3および例4で、これらの部品値の選定方法について2通り説明します。

#### 3.1 例3：入力フィルタの部品選定 (R<sub>X</sub> = R<sub>Y</sub> = 0Ω)

$$f_{3dB} = 500\text{Hz} \text{ とし、}$$

$$R_{B1} = R_{B2} = R_{B3} = R_{B4} = 2\text{k}\Omega \text{ ならば、}$$

PGA309の各入力から見える抵抗は、これら4抵抗のうちの2個による並列の組み合わせになります。

すなわち、

$$R_{BDG} = R_{B1} \parallel R_{B2} = 2\text{k}\Omega \parallel 2\text{k}\Omega = 1\text{k}\Omega$$

したがって、

$$C_1 = \frac{1}{2\pi R_{BDG} f_{3dB}} = \frac{1}{2\pi (1\text{k}\Omega)(500\text{Hz})} = 0.31\mu\text{F}$$

となり、0.33μFを使用します。

$$C_2 = C_3 = \frac{C_1}{10} = 0.031\mu\text{F}$$

となり、0.033μFを使用します。

#### 3.2 例4：入力フィルタの部品選定 (R<sub>X</sub> = R<sub>Y</sub> ≠ 0)：ブリッジ抵抗が小さすぎる場合

$$f_{3dB} = 500\text{Hz} \text{ とし、}$$

$$R_{B1} = R_{B2} = R_{B3} = R_{B4} = 100\Omega \text{ ならば、}$$

PGA309の各入力から見える抵抗は、ブリッジの4抵抗のうち2個による並列の組み合わせとR<sub>X</sub>(R<sub>Y</sub>)の和になります。

R<sub>X</sub>=R<sub>Y</sub>=1kΩとすると、

$$R_{BDG2} = R_{BDG} + R_X = 50\Omega + 1\text{k}\Omega = 1.05\text{k}\Omega$$

したがって、

$$C_1 = \frac{1}{2\pi R_{BDG2} f_{3dB}} = \frac{1}{2\pi (1.05\text{k}\Omega)(500\text{Hz})} = 0.30\mu\text{F}$$

となり、0.33μFを使用します。

$$C_2 = C_3 = \frac{C_1}{10} = 0.030\mu\text{F}$$

となり、0.033μFを使用します。

#### 3.3 例5：PGA309のフィルタの部品選定 ゲイン2およびローパス・フィルタのカットオフ周波数500Hz

$$C_4 = \frac{1}{2\pi R_{FO} f_{3dB}} = \frac{1}{2\pi (18\text{k}\Omega)(500\text{Hz})} = 0.018\mu\text{F}$$

PGA309出力は1次のフィルタとして使用できます。このフィルタはC4とRFOで構成されます。このフィルタの部品を選定するために、PGA309の出力アンプで使用されるゲイン設定について知る必要があります。表1の帰還抵抗値がC4を計算する式で使用されます。

GAIN	RFO (TYPICAL)
x2	18kΩ
x2.4	21kΩ
x3	24kΩ
x3.6	26kΩ
x4.5	28kΩ
x6	30kΩ
x9	32kΩ

表 1. PGA309の出力アンプの帰還回路網に使用する抵抗値

### 3.4 例6：XTR115およびPGA309間の フィルタの部品選定

最終の1次フィルタは、C5、R1、およびR2で構成されます。R2はC5をXTR115の入力アンプから分離するために使用されます。したがって、最小値R2=10kΩを使用してXTR115の安定性を確保します。R1の値は、XTR115の電流スケーリング条件によって定まります。この電流スケーリング条件については例1および例2をご覧ください。

例1より、

$$R_1 + R_2 = 25k\Omega$$

$$R_1 = 25k\Omega - R_2 = 25k\Omega - 10k\Omega = 15k\Omega$$

$$C_5 = \frac{1}{2\pi R_1 f_{3dB}} = \frac{1}{2\pi (15k\Omega)(500Hz)} = 0.021\mu F$$

## 4 グランドのとり方の考察

この種の回路において常に留意しておくべき点は、XTR115のループ電源のグランド(あるいは、PGA309とデジタル的な通信を行う装置のグランド)が、グランド競合を起こし得るということです。図2に、PGA309のプログラミングを容易にするPCおよびPCインターフェイスボードを含む標準的システムを示します。図2に示すように、グランドの競合を避けるためにV<sub>LOOP</sub>電源がPGA309の電源から必ず絶縁されることが重要です。また、PGA309、PCインターフェイスボード、およびコンピュータが共通グランドを共有することも重要です。PCインターフェイスボードに接続する電源V<sub>PC</sub>をフローティング電源にして、グランドループ誤差やグランド競合を解消することを推奨します。

ここで言うフローティング電源とは、電源コードを經由して接地グランドに接続されていない構造の電源を指します。したがって、電源は1本の外部配線でPCシリアル・ポート・グランドと接続します。

XTR115についてノード解析を行うと、V<sub>LOOP</sub>をフローティング電源にすべき理由が得られます。V<sub>LOOP</sub>電源の負側(図2のV<sub>B</sub>)は、グランド(XTR115のI<sub>RET</sub>)に対して、

$$V_B = -R_L(I_{OUT}) - (2.475k\Omega)I_{IN}$$

でなければなりません。すると図示した回路では、4-20mA出力信号について、V<sub>B</sub>はグランドに対して-5.5Vと-1.1Vの間を変化します(図2のDVM1を参照)。また、XTR115のI<sub>OUT</sub>端子の電圧(図2のV<sub>A</sub>)が、次式によって変化することに注意すべきです。すなわち、

$$V_A = -(2.475k\Omega)I_{IN}$$

したがって、図示した回路ではV<sub>A</sub>が-0.1Vから-0.5Vの間を変化します(図2のDVM2を参照)。

さらに、R<sub>L</sub>にかかる出力電圧の測定にも注意する必要があります。図2に見られるように、これらの電圧測定に使用するデバイスや装置は、PCシリアル・ポートのグランドを基準として-5.5Vの測定ができる必要があります。特に差動電圧(V<sub>A</sub>、V<sub>B</sub>)は、PCシリアル・ポートのグランドに対して(-1.1、-0.1)から(-5.5、-0.5)まで変化します。したがって、グランド・レベル以下の信号を測定できるフローティングのDVMやアナログ・ツー・デジタル・コンバータが必要になります。

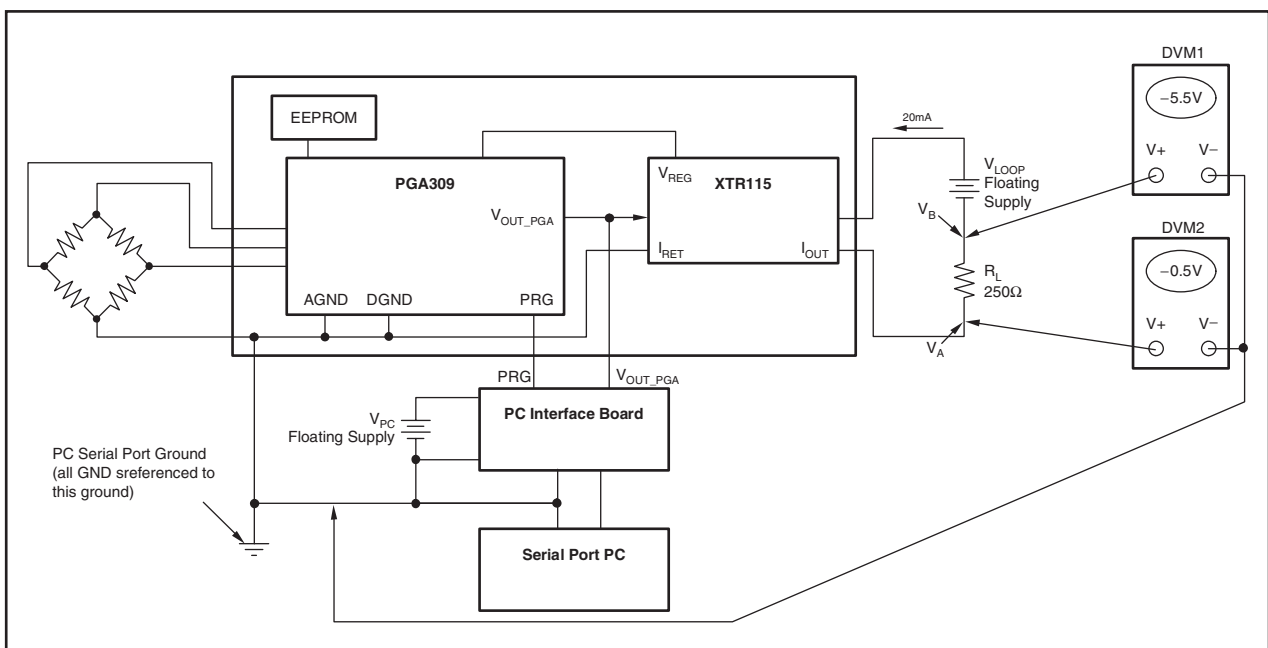


図 2. PGA309とXTR115の電源およびグランド接続

# ご注意

日本テキサス・インスツルメンツ株式会社（以下TIJといひます）及びTexas Instruments Incorporated (TIJの親会社、以下TIJおよびTexas Instruments Incorporatedを総称してTIといひます)は、その製品及びサービスを任意に修正し、改善、改良、その他の変更をし、もしくは製品の製造中止またはサービスの提供を中止する権利を留保します。従ひまして、お客様は、発注される前に、関連する最新の情報を取得して頂き、その情報が現在有効かつ完全なものであるかどうかご確認下さい。全ての製品は、お客様とTIとの間に取引契約が締結されている場合は、当該契約条件に基づき、また当該取引契約が締結されていない場合は、ご注文の受諾の際に提示されるTIの標準契約約款に従って販売されます。

TIは、そのハードウェア製品が、TIの標準保証条件に従ひ販売時の仕様に対応した性能を有していること、またはお客様とTIとの間で合意された保証条件に従ひ合意された仕様に対応した性能を有していることを保証します。検査およびその他の品質管理技法は、TIが当該保証を支援するのに必要とみなす範囲で行なわれております。各デバイスの全てのパラメーターに関する固有の検査は、政府がそれ等の実行を義務づけている場合を除き、必ずしも行なわれておりません。

TIは、製品のアプリケーションに関する支援もしくはお客様の製品の設計について責任を負うことはありません。TI製部品を使用しているお客様の製品及びそのアプリケーションについての責任はお客様にあります。TI製部品を使用したお客様の製品及びアプリケーションについて想定される危険を最小のものとするため、適切な設計上および操作上の安全対策は、必ずお客様にてお取り下さい。

TIは、TIの製品もしくはサービスが使用されている組み合わせ、機械装置、もしくは方法に関連しているTIの特許権、著作権、回路配置利用権、その他のTIの知的財産権に基づいて何らかのライセンスを許諾するということは明示的にも黙示的にも保証も表明もしておりません。TIが第三者の製品もしくはサービスについて情報を提供することは、TIが当該製品もしくはサービスを使用することについてライセンスを与えたり、保証もしくは是認するということを意味しません。そのような情報を使用するには第三者の特許その他の知的財産権に基づき当該第三者からライセンスを得なければならない場合もあり、またTIの特許その他の知的財産権に基づきTIからライセンスを得て頂かなければならない場合もあります。

TIのデータ・ブックもしくはデータ・シートの中にある情報を複製することは、その情報に一切の変更を加えること無く、且つその情報と結び付けられた全ての保証、条件、制限及び通知と共に複製がなされる限りにおいて許されるものとします。当該情報に変更を加えて複製することは不正で誤認を生じさせる行為です。TIは、そのような変更された情報や複製については何の義務も責任も負いません。

TIの製品もしくはサービスについてTIにより示された数値、特性、条件その他のパラメーターと異なる、あるいは、それを超過してなされた説明で当該TI製品もしくはサービスを再販売することは、当該TI製品もしくはサービスに対する全ての明示的保証、及び何らかの黙示的保証を無効にし、且つ不正で誤認を生じさせる行為です。TIは、そのような説明については何の義務も責任もありません。

Copyright © 2006, Texas Instruments Incorporated  
日本語版 日本テキサス・インスツルメンツ株式会社

## 弊社半導体製品の取り扱い・保管について

半導体製品は、取り扱い、保管・輸送環境、基板実装条件によっては、お客様での実装前後に破壊/劣化、または故障を起こすことがあります。

弊社半導体製品のお取り扱い、ご使用にあたっては下記の点を遵守して下さい。

### 1. 静電気

- 素手で半導体製品単体を触らないこと。どうしても触る必要がある場合は、リストストラップ等で人体からアースをとり、導電性手袋等をして取り扱うこと。
- 弊社出荷梱包単位(外装から取り出された内装及び個装)又は製品単品で取り扱いを行う場合は、接地された導電性のテーブル上で(導電性マットにアースをとったもの等)、アースをした作業者が行うこと。また、コンテナ等も、導電性のものを使うこと。
- マウンタやはんだ付け設備等、半導体の実装に関わる全ての装置類は、静電気の帯電を防止する措置を施すこと。
- 前記のリストストラップ・導電性手袋・テーブル表面及び実装装置類の接地等の静電気帯電防止措置は、常に管理されその機能が確認されていること。

### 2. 温・湿度環境

- 温度：0～40℃、相対湿度：40～85%で保管・輸送及び取り扱いを行うこと。(但し、結露しないこと。)

- 直射日光があたる状態で保管・輸送しないこと。
3. 防湿梱包
    - 防湿梱包品は、開封後は個別推奨保管環境及び期間に従ひ基板実装すること。
  4. 機械的衝撃
    - 梱包品(外装、内装、個装)及び製品単品を落下させたり、衝撃を与えないこと。
  5. 熱衝撃
    - はんだ付け時は、最低限260℃以上の高温状態に、10秒以上さらさないこと。(個別推奨条件がある時はそれに従うこと。)
  6. 汚染
    - はんだ付け性を損なう、又はアルミ配線腐食の原因となるような汚染物質(硫黄、塩素等ハロゲン)のある環境で保管・輸送しないこと。
    - はんだ付け後は十分にフラックスの洗浄を行うこと。(不純物含有率が一定以下に保証された無洗浄タイプのフラックスは除く。)

以上

## IMPORTANT NOTICE

Texas Instruments Incorporated and its subsidiaries (TI) reserve the right to make corrections, modifications, enhancements, improvements, and other changes to its products and services at any time and to discontinue any product or service without notice. Customers should obtain the latest relevant information before placing orders and should verify that such information is current and complete. All products are sold subject to TI's terms and conditions of sale supplied at the time of order acknowledgment.

TI warrants performance of its hardware products to the specifications applicable at the time of sale in accordance with TI's standard warranty. Testing and other quality control techniques are used to the extent TI deems necessary to support this warranty. Except where mandated by government requirements, testing of all parameters of each product is not necessarily performed.

TI assumes no liability for applications assistance or customer product design. Customers are responsible for their products and applications using TI components. To minimize the risks associated with customer products and applications, customers should provide adequate design and operating safeguards.

TI does not warrant or represent that any license, either express or implied, is granted under any TI patent right, copyright, mask work right, or other TI intellectual property right relating to any combination, machine, or process in which TI products or services are used. Information published by TI regarding third-party products or services does not constitute a license from TI to use such products or services or a warranty or endorsement thereof. Use of such information may require a license from a third party under the patents or other intellectual property of the third party, or a license from TI under the patents or other intellectual property of TI.

Reproduction of information in TI data books or data sheets is permissible only if reproduction is without alteration and is accompanied by all associated warranties, conditions, limitations, and notices. Reproduction of this information with alteration is an unfair and deceptive business practice. TI is not responsible or liable for such altered documentation.

Resale of TI products or services with statements different from or beyond the parameters stated by TI for that product or service voids all express and any implied warranties for the associated TI product or service and is an unfair and deceptive business practice. TI is not responsible or liable for any such statements.

Following are URLs where you can obtain information on other Texas Instruments products and application solutions:

### Products

Amplifiers	<a href="http://amplifier.ti.com">amplifier.ti.com</a>
Data Converters	<a href="http://dataconverter.ti.com">dataconverter.ti.com</a>
DSP	<a href="http://dsp.ti.com">dsp.ti.com</a>
Interface	<a href="http://interface.ti.com">interface.ti.com</a>
Logic	<a href="http://logic.ti.com">logic.ti.com</a>
Power Mgmt	<a href="http://power.ti.com">power.ti.com</a>
Microcontrollers	<a href="http://microcontroller.ti.com">microcontroller.ti.com</a>
Low Power Wireless	<a href="http://www.ti.com/lpw">www.ti.com/lpw</a>

### Applications

Audio	<a href="http://www.ti.com/audio">www.ti.com/audio</a>
Automotive	<a href="http://www.ti.com/automotive">www.ti.com/automotive</a>
Broadband	<a href="http://www.ti.com/broadband">www.ti.com/broadband</a>
Digital Control	<a href="http://www.ti.com/digitalcontrol">www.ti.com/digitalcontrol</a>
Military	<a href="http://www.ti.com/military">www.ti.com/military</a>
Optical Networking	<a href="http://www.ti.com/opticalnetwork">www.ti.com/opticalnetwork</a>
Security	<a href="http://www.ti.com/security">www.ti.com/security</a>
Telephony	<a href="http://www.ti.com/telephony">www.ti.com/telephony</a>
Video & Imaging	<a href="http://www.ti.com/video">www.ti.com/video</a>
Wireless	<a href="http://www.ti.com/wireless">www.ti.com/wireless</a>

Mailing Address: Texas Instruments  
Post Office Box 655303 Dallas, Texas 75265