



テスト済み回路設計集“Circuits from the Lab™”は共通の設計課題を対象とし、迅速で容易なシステム統合のために製作されました。さらに詳しい情報又は支援は www.analog.com/jp/CN0179 をご覧ください。

使用したリファレンス・デバイス

ADuC7126	32 kB RAM, 126 kB Flash ARM7TDMI Processor with Flexible Peripheral
ADP3629	MOSFET ドライバ、高速、デュアル、2 A
ADCMP670	デュアル、低消費電力 1.5% コンパレータ、400mV 電圧リファレンス内蔵
ADP1613	650 kHz/1.3 MHz ステップアップ PWM DC/DC スイッチング・コンバータ
AD8692	低価格、低ノイズ、レール to レール出力 CMOS オペアンプ
AD8541	汎用 CMOS レール to レール・アンプ
ADP7104	20 V、500 mA、低ノイズ CMOS LDO
ADM3483	RS-485/RS-422 トランシーバ、3.3V、低消費電力（半二重、スルーレート制限）

超音波距離測定回路

評価および設計サポート環境 回路評価ボード

[CN-0343 評価用ボード \(EVAL-CN0343-EB1Z\)](#)

設計と統合ファイル

[回路図](#)、[レイアウト・ファイル](#)、[部品表](#)

回路の機能とその利点

図 1 に示す回路は、超音波トランスミッタと高感度のアナログ・レーザを高精度アナログ・マイクロコントローラと組み合わせて使用し、距離を測定できるようにした完全自立型の距離センサーです。複雑な PLL ベースのレーザと異なり、図 1 に示すセンサーは感度の高いウィンドウ・コンパレータ回路を使用して、基板占有面積とコストを最小限に抑えています。

おおよその測定範囲は 50cm~10m で、分解能は約 2cm です。温度補償は内蔵温度センサーと、マイクロコントローラに組み込まれた ADC によって行われます。

工業用アプリケーションにおいては、液面位置の検出や個体間の距離検出などの距離測定が一般的に多く使われます。廃水の浄化や化学処理などの場合、工業用の液体は腐食性を有していたり、固形物や破片を含んでいたりすることが珍しくありません。このような場合でも、超音波による測定技術は、フロート式センサーのように液体や物体にセンサーが直接接触することがないので有利です。

高濃度の液体や泡を含んだ液体の検出には、容量センサー、リード・センサー、あるいはフロート式センサーより超音波レベル・センサーの方が適しています。また、超音波センサーは非常に埃が多い環境や腐食性環境にも最適です。

アナログ・デバイス社は、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・デバイス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。

Rev.0

©2015 Analog Devices, Inc. All rights reserved.

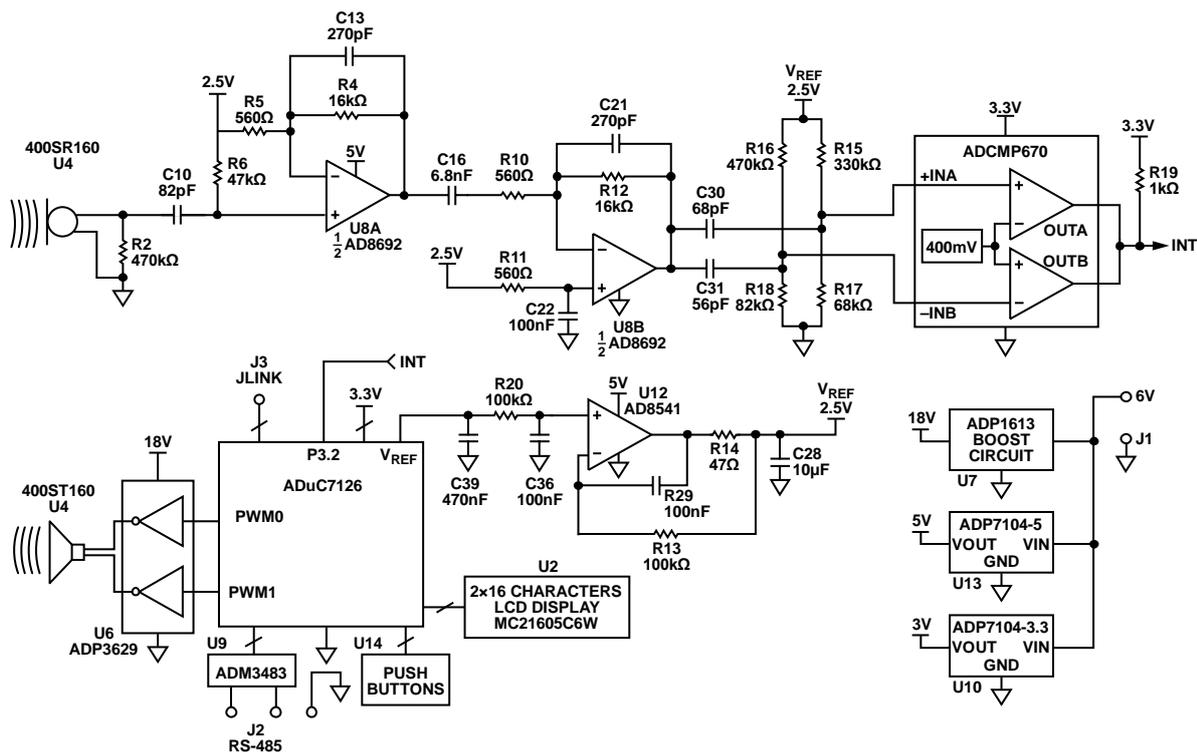


図 1. 超音波距離センサー（簡略回路図：全接続の一部およびデカップリングは省略されています）

回路説明

超音波測定理論

図 2 に標準的な超音波測定システムを示します。音波が送信されてから受信されるまでの時間 t を使用して距離 d を測定します。

$$d = \frac{C_{AIR} \times t}{2}$$

ここで、 C_{AIR} は音速です。

乾燥した空気中での音速 (m/s) は次式で近似されます。

$$C_{AIR} = 20.0457\sqrt{273.15 + T} \text{ m/s}$$

ここで、 T は温度 (°C) です。（絶対温度ではなく摂氏温度であることに注意してください）

25°C では $C_{AIR} = 346.13\text{m/s}$ です。速度変動による距離測定誤差は温度による測定誤差が 1°C あたり距離の約 0.18% になるので、超音波測定で正確な値を得るには温度補償が必要です。

媒体の音響インピーダンス Z は次式で定義されます。

$$Z = \rho \times V$$

ここで、 ρ は媒体の密度、 V は音速です。

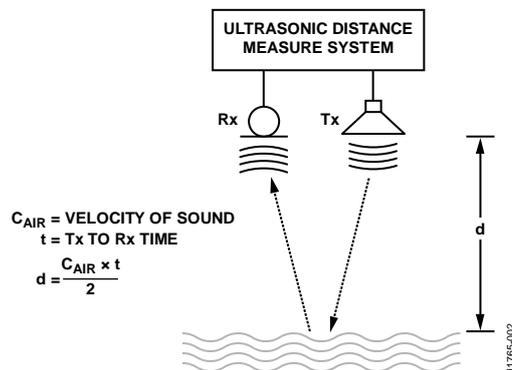


図 2. 標準的な超音波距離測定システム

音波が媒体にぶつかった時に反射される量は、反射率 R によって決まります。

$$R = \frac{Z2 - Z1}{Z2 + Z1}$$

ここで、 $Z1$ は空気の音響インピーダンス、 $Z2$ は媒体の音響インピーダンスです。

液体や固体の音響インピーダンスは空気のそれよりもはるかに大きいので $R \approx 1$ であり、音波の大部分が反射されます。

標準的なシステムでは超音波トランスミッタが最初に駆動され、トランスミッタの共振周波数でパルス状の短い音波を送出します。レシーバはそのエコーを受信します。エコーが検出されると、プロセッサによって時間差が測定され、距離が計算されます。

レシーバは、送信パルスが発生してからそのパルスが減衰するまでの時間、ディスエーブルしておく必要があります。この時間はブランキング時間と呼ばれ、トランスミッタがレシーバに影響を与えるのを防ぎます。そのシステムが測定できる最小距離 d_{MIN} は、このブランキング時間 t_{BLANK} によって決まります。

$$d_{MIN} = \frac{C_{AIR} \times t_{BLANK}}{2}$$

また、測定できる最大距離はレシーバ回路の感度によって決まり、分解能はタイマーの分解能で決まります。

回路動作

超音波セラミック・トランスミッタは、Pro-Wave Electronics Corporation 製の 400 S T 160 です。最大駆動電圧は 20Vrms (57Vp-p) で、共振周波数は 40kHz です。このトランスミッタは、18V を出力する ADP1613 昇圧電源に接続した ADP3629 デュアル MOSFET ドライバによって駆動されます。これにより、36Vp-p の差動駆動信号が生成されます。ADP3629 は、ADuC7126 高精度アナログ・マイクロコントローラの PWM0 および PWM1 出力によって駆動されます。PWM 出力がディスエーブルされると出力がハイになり、これによって ADP3629 の出力がグラウンド電位になります。

セラミック・トランスミッタを 40kHz のパルス列で駆動すると、トランスミッタは 40kHz の自己共振周波数で音波を発生します。40kHz の駆動信号がなくなると、トランスミッタが共振を停止するまでに約 1ms を要します。このことから、レシーバが誤ってトリガされるのを防ぐために最後のパルス送出から約 2ms のブランキング間隔が必要になります。

ADuC7126 高精度アナログ・マイクロコントローラには、126kB のフラッシュと 32kB の SRAM を持つ ARM7TDMI コアが組み込まれています。また、ADuC7126 には、12 ビット ADC、温度センサー、リファレンス、12 ビット DAC を含むアナログ周辺機能も組み込まれています。ADuC7126 はタイミング機能と表示機能を制御し、温度補償を行うようにプログラムされています。信号の送信から受信までの時間は、41MHz クロックで動作する ADuC7126 の内蔵タイマーを使用して判断されます。

レシーバ回路は、Pro-Wave 400SR160 レシーバと、その後段に接続された 2 段アンプとウィンドウ・コンパレータで構成されています。回路全体は 40kHz のバンドパス・フィルタとして動作し、C10/R6、C16/R10、C30/R15||R17、C31/R16||R18 がハイパス・セクション、U8A (C13/R4) と U8B (C21/R12) がローパス・セクションです。各段は、40kHz の -3dB 帯域幅に調整されており、40kHz における各段の計算ゲインは次のとおりです。

- C10/R6、HPF : 0.696
- U8A、LPF : 20.4
- C16/R10、HPF : 0.691
- U8B、LPF : -19.4
- C30/R15||R17 : 0.694、C31/R16||R18 : 0.701

レシーバのトランスデューサからコンパレータ段の入力までの 40kHz における合計ゲインは上の値を乗じることによって得られ、その値は約 132、つまり 42.4dB です。

U8B ゲイン段の出力が、ウィンドウ・コンパレータとして構成された ADCMP670 デュアル・コンパレータを駆動します。ウィンドウ電圧の上限と下限を設定するバイアス電圧は、分圧器 R15/R17 と R16/R18 によって決まります。+INA と -INB における公称ウィンドウ電圧はそれぞれ 427.1mV と 371.4mV で、対応するウィンドウ幅は 55.7mV です。（この理由は後で解説します）ウィンドウの閾値電圧は ADCMP670 の内部リファレンス電圧 (400mV) によって設定されます。コンパレータの入力信号がいずれかの方向でウィンドウ閾値を超えると、出力 INT 信号がローになります。どちらかの方向での変化が 25mV になると INT がトリガされますが、この変化は、ほぼ 25mV/132=186μV の入力変化に相当します

回路は以下のように動作します。

1. マイクロプロセッサが割込み入力をイネーブルする。
2. 40kHz の PWM 送信パルス列を生成する。
3. レシーバが送信を検出して INT がローになる。
4. 割込み時間が ADuC7126 の内蔵タイマーに取り込まれる。（測定スタート）
5. 送信パルスが停止する。
6. 2ms のブランキング間隔にわたり割込み入力がディスエーブルされる。
7. 割込み入力がイネーブルされる。
8. エコー信号が検出されると INT がローになる。
9. 割込み時間がタイマーに取り込まれる。（測定ストップ）
10. 割込み時間の差を使って距離を計算する。
11. 内蔵 ADC で内蔵温度センサーの出力をデジタル化することにより温度補償を実行する。
12. LCD ディスプレイに結果を表示する。

ウィンドウ・コンパレータからの割込み信号はマイクロコントローラのソフトによって処理されず、ADuC7126 の内蔵タイマーに直接取り込まれます。これによりソフトウェア遅延が最小限に抑えられ、41.77MHz クロックのタイマーが 23.9ns の分解能を実現します。

ADuC7126 には、温度補償に使用できる校正済みの内蔵温度センサーと 12 ビット ADC が組み込まれています。さらに、ADuC7126 は高精度電圧リファレンスを内蔵しています。このリファレンスは AD8541 によってバッファされ、AD8692 のゲイン段用に高精度のウィンドウ・コンパレータ閾値電圧と同相電圧を生成するために使われます。

ウィンドウ・コンパレータの設計

一部の超音波レシーバは、可変ゲイン・アンプ (VGA) によって駆動される PLL を使用してエコーを検出しますが、図 1 のレシーバは、高ゲインの 2 段アンプとウィンドウ・コンパレータを使用して、40kHz の正弦波送信信号と次いで受信したエコー信号をそれぞれデジタル割込みに変換します。

ADCMP670 は 400mV リファレンスを持つ高精度のデュアル・コンパレータで、反転入力と非反転入力を 1 つずつ備えており、ウィンドウ・コンパレータ回路に適しています。ウィンドウ・コンパレータは、エコー信号の立上がりエッジと立下がりエッジの両方で割込みを発生します。

25°Cの一般大気中における40kHzの超音波の波長は次式で表されます。

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{346.13\text{m/s}}{40\text{kHz}} = 8.65\text{mm}$$

したがって40kHzエコー検出時に1サイクルの誤差が生じると、これに相当する距離誤差はおおむね $8.65\text{mm}/2 = 4.32\text{mm}$ になります。

この回路を正確に動作させるには、閾値電圧を正しく選択することが不可欠です。ウィンドウ電圧の差分が大き過ぎる場合は感度が低下します。これに対し、ウィンドウ電圧が小さ過ぎると、ノイズのために回路が誤って割込みを発生する危険性があります。

ADCMP670デュアル・コンパレータ(3.3V電源、0°C~+70°C)では、+INA閾値が409mVより大きく、-INB閾値が383.5mVより小さくしなければなりません。最悪条件時にこれらの条件が満たされていない場合、ウィンドウ・コンパレータは正しく動作しません。

したがって、+INAおよび-INBバイアス電圧と、それに対応する分圧抵抗R15、R16、R17、R18を選ぶにあたっては、以下の点を考慮する必要があります。

1. ADuC7126の2.5Vリファレンス電圧の初期精度(2.5V±5mV)と温度変化率(15ppm/°C)
2. 温度に対するAD8541の最大オフセット電圧(7mV)
3. バイアス抵抗R15、R16、R17、R18の初期誤差(1%)および温度係数(100ppm/°C)

温度範囲を25°C±50°Cとすると、リファレンス電圧の最大値および最小値変位幅は次式で得られます。

$$\begin{aligned} V_{\text{REFMAX}} &= 2.5\text{V} + V_{\text{OS(ADuC7126)}} + 2.5\text{V}(\text{TCV}_{\text{OS(ADuC7126)}} \times \Delta T) \\ &= 2.5\text{V} + 5\text{mV} + 7\text{mV} + 2.5\text{V} \times 15\text{ppm}/^\circ\text{C} \times 50^\circ\text{C} \\ &= 2.5138\text{V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{\text{REFMIN}} &= 2.5\text{V} - V_{\text{OS(ADuC7126)}} - 2.5\text{V}(\text{TCV}_{\text{OS(ADuC7126)}} \times \Delta T) \\ &= 2.5\text{V} - 5\text{mV} - 7\text{mV} - 2.5\text{V} \times 15\text{ppm}/^\circ\text{C} \times 50^\circ\text{C} \\ &= 2.4861\text{V} \end{aligned}$$

これよりウィンドウ・コンパレータがスプリアス・ノイズでトリガされないようにするには、ADCMP670の入力バイアス電圧が以下の条件を満たしている必要があります。

$$V_{+\text{INA}} > 409\text{mV} \quad (V_{\text{REF}} = 2.4861\text{V} \text{の時})$$

$$V_{-\text{INB}} < 383.5\text{mV} \quad (V_{\text{REF}} = 2.5138\text{V} \text{の時})$$

システム・コストを低く抑えるため、R15、R16、R17、R18には、E24タイプ、1%、100ppm/°Cの抵抗を使用します。

50°Cを超える温度範囲では、1%抵抗の値はさらに0.5%変化します。したがって比率R15:R17およびR16:R18は、最悪の場合、公称値の上下3%の範囲を超えることがあります。

ADCMP670のV_{+INA}ピンでは以下のように設定します。

$$\frac{R15}{R17} < \frac{2.4861\text{V} - 409\text{mV}}{409\text{mV}} \times 0.97 = 4.926$$

R15 = 330kΩ、R17 = 68kΩを選ぶと次のようになります。

$$\frac{R15}{R17} = 4.853 < 4.926$$

ADCMP670のV_{-INA}ピンでは以下のように設定します。

$$\frac{R16}{R18} > \frac{2.5138\text{V} - 383.5\text{mV}}{383.5\text{mV}} \times 1.03 = 5.722$$

R16 = 470kΩ、R18 = 82kΩを選ぶと次のようになります。

$$\frac{R16}{R18} = 5.732 > 5.722$$

抵抗とリファレンス電圧が公称値で、V_{+INA} = 427.1mV、V_{-INB} = 371.4mVと仮定すると、ウィンドウ電圧は約55.7mVになります。

C30とC31の値は、これらがそれぞれR15||R17およびR16||R18とともに40kHzのハイパス・フィルタを構成するように選択します。

リファレンス・バッファ回路

ADuC7126のリファレンス出力の持つ駆動能力は5μAに過ぎないので、回路で使うにはバッファする必要があります。AD8541を使用するのは、電源電流が小さく(45μA)単電源に対応しているからです。

AD8541は、電荷保存と過渡抑制に必要な10μFという大きいデカップリング・コンデンサを駆動します。したがってオペアンプは、安定性を保つために適切に補償する必要があります。レール to レール出力オペアンプの出力段のインピーダンスは従来のエミッタフォロワ段やソースフォロワ段より高いので、レール to レール出力オペアンプで容量負荷を駆動するには、ほとんどの場合、何らかの補償が必要です。

この回路で使用する補償ネットワークは、R13、R14、およびC29で構成されています。正しい値の選択に関しては、参考文献 *Op Amps Driving Capacitive Loads (Ask the Applications Engineer—25)*, *Analog Dialogue 31-2*, *Analog Devices*、および *Practical Techniques to Avoid Instability Due to Capacitive Loading (Ask the Applications Engineer—32)*, *Analog Dialogue 38-2*, *Analog Devices* に示されています。

電源回路

図1に示す回路の電源は、外付けの+6V単電源またはACアダプタから供給されます。5V電源と3.3V電源は、それぞれADP7104-5 LDOとADP7104-3.3 LDOから生成されます。

ADP3629超音波トランスミッタ・ドライバに必要な18Vは、図3に示すADP1613昇圧電源回路によって供給されます。これは、インターネットからダウンロードできるADP161x昇圧レギュレータ設計ツールに基づいて設計されています。このツールは、ADIsimPowerで入手できる数多くの便利なパワーマネジメント設計ツールの1つです。

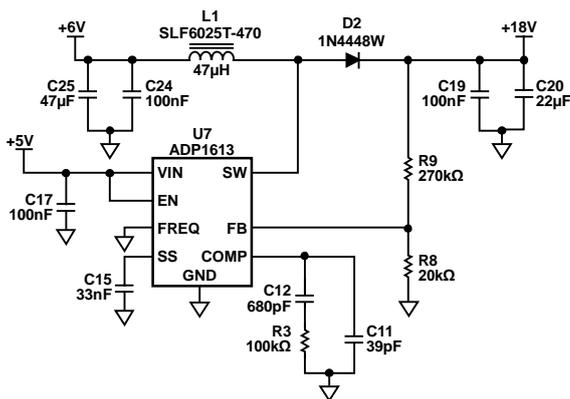


図 3. ADP1613 昇圧レギュレータ回路

PCB レイアウトに関する検討事項

ADuC7126 のクロック速度と高感度のレーザ回路を考慮して、PCB レイアウト、グラウンド配置、およびデカップリングには十分な注意を払う必要があります。接地とデカップリングについては、チュートリアル [MT-031](#) とチュートリアル [MT-101](#) を参照してください。

EVAL-CN0343-EB1Z ボードの詳細な回路図、ガーバー・ファイル、部品表は、[CN0343 デザイン・サポート・パッケージ](#)に含まれています：

<http://www.analog.com/CN0343-DesignSupport>

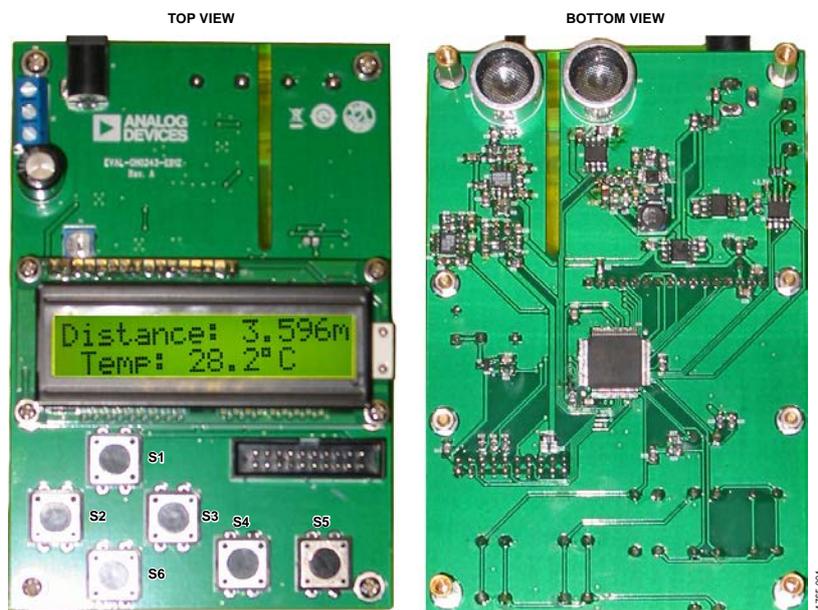


図 4. EVAL-CN0343-EB1Z PCB の上面と底面



図 5. LCD 表示の例

ソフトウェアの動作

EVAL-CN0343-EB1Zには、距離測定を行うために必要なコードが付属しています。このコードは、CN0343 デザイン・サポート・パッケージ (<http://www.analog.com/CN0343-DesignSupport>) の **CN0343-SourceCode.zip** ファイルに含まれています。

ユーザー・インターフェースは、図 4 に示すように 6 個のプッシュボタン・キーで構成されています。

ボタンのデフォルト機能は以下の通りです。

S1 : 上

S2 : 左

S3 : 右

S6 : 下

S4 : OK

S5 : キャンセル

電源を入れると、LCD には約 3 秒間ウェルカム・スクリーンが表示されます。

ANALOG DEVICES EVAL-CN0343-EB1Z

ウェルカム・スクリーンが終了すると回路は動作モードに入り、表示がホーム・スクリーンに変わって、ターゲットの距離と温度が表示されます。表示される温度は ADuC7126 によって測定されたものです。距離測定値は、測定温度値に従って補正されます。

Distance: X.XXX m
Temp: YY.Y°C

OK キーを押すと、プロセッサはメニュー・ステータスに入ります。上、下、左、右キーを押して各種メニュー項目 (Calibrate Temperature (温度補償)、RS-485 Interface Baud Rate (RS-485 インターフェース・ボーレート)、RS-485 Interface Address (RS-485 インターフェース・アドレス)) を表示します。

必要なメニュー項目を表示してください (例: Calibrate Temperature) :

**Calibrate
Temperature?**

OK キーを押すと次のように表示されます。

Sensor: XX.X°C
Set to: YY.Y°C

温度設定値 (最大±50°C) は、左および右キーを使って数値の桁を選択し、次に上および下キーを使ってその桁の値を増減させることで設定します。温度の各桁について同じ操作を繰り返します。

この温度設定機能を使用すれば、ADuC7126 内蔵センサーが測定した温度をオフセットさせて、より高い精度の実測気温に合わせることができます。

希望の温度オフセット値を入力したら **OK** キーを押します。

操作中も、**キャンセル**キーを押せばいつでも現在の操作をキャンセルして前のスクリーンに戻ることができます。

RS-485 のボーレート設定範囲は 75Hz~250kHz、アドレス範囲は 1~255 です。

デフォルトのシステム設定は、温度オフセット 0°C(センサーによる温度そのまま)、RS-485 ボーレート 115200、RS-485 アドレス 1 です。

実際の ADuC7176 ソースコードの詳細は、CN0343 デザイン・サポート・パッケージ (<http://www.analog.com/CN0343-DesignSupport>) に含まれています。

バリエーション回路

ADP3629 の最大駆動電圧は 18V ですが、高い駆動電圧と **ADG5436** のような高耐圧のアナログ・スイッチを使用することにより、トランスミッタの音響レベルを上げることが可能です。20V を超える出力電圧については、**ADIsimPower** で入手できる数多くの便利なパワーマネジメント設計ツールのひとつである、**ダウンロード可能な ADP161x 昇圧レギュレータ設計ツール** に示すように、外付け MOSFET スイッチを追加することによって、ADP1613 昇圧回路を変更することができます。

回路の評価とテスト

この回路には EVAL-CN0343-EB1Z 回路ボードを使います。

必要な装置 -ATI

以下の装置類が必要になります。

- EVAL-CN0343-EB1Z 回路ボード
- 6V DC 電源または AC アダプタ (**EVAL-CFTL-6V-PWRZ**)
- CN0343 動作ソースコード :
<http://www.analog.com/CN0343-DesignSupport>

セットアップ

EVAL-CN0343-EB1Z 回路ボードの J1 に 6V 電源 (EVAL-CFTL-6V-PWRZ) を接続します。

EVAL-CFTL-6V-PWRZ を接続することによって電源を入れ、EVAL-CN0343-EB1Z ボードをターゲットの前方 50cm から 10m の距離に置いて、超音波センサー U3 と U4 がターゲットの方向に向くようにします。ターゲットは表面が十分に大きく、スムーズで音波が吸収されないようなものでなければなりません。

センサーを頂点とする約 60° の円錐範囲内に障害物がないことを確認します。ターゲットの表面はセンサーに対して直角になっていなければなりません。

EVAL-CN0343-EB1Z を標準モードで使用する場合に必要なのは、電源を接続することだけです。ボードをネットワーク・モードで使用するには、RS-485 インターフェースを使って PC と J2 を接続します。ピン 1 (J1 の近く) が信号 B、ピン 2 が GND、ピン 3 が信号 A です。

EVAL-CN0343-EB1Z と PC を同じ RS-485 ボーレートに設定してから、PC を使ってクエリ `xxx\r\n` を送信します。ここで、コマンド `xxx` は **CN0343** の 10 進アドレス、`\r\n` はリターン・キャラクタです。CN0343 はこのコマンドに応答してアドレス、温度、距離の情報を返します。

プロトタイプ開発における接続

EVAL-CN0343-EB1Z は、AC アダプタ EVAL-CFTL-6V-PWRZ の 6V 電源を使用するように設計されています。スタンドアロン動作モードで接続しなければならないのは電源だけです。

ネットワーク・モードでは、RS-485 インターフェースを持つあらゆるデバイスで、EVAL-CN0343-EB1Z から結果を読み取ることができます。使用可能な最大アドレス値は 255 です。

RS-485/RS-232 アダプタを介した標準的な PC 接続図を図 6 に示します。

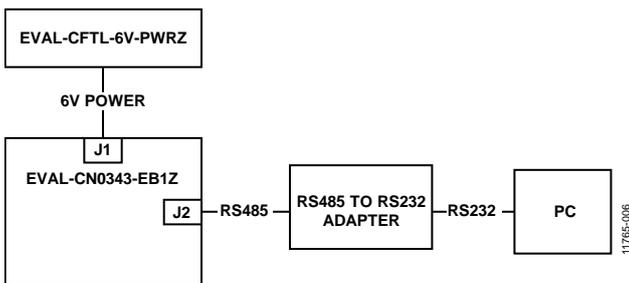


図 6. ネットワーク・モードで EVAL-CN0343-EB1Z を使用する場合の接続図

さらに詳しい資料

CN0343 Design Support Package :

<http://www.analog.com/CN0343-DesignSupport>.

400ST160 Ultrasonic Transmitter and 400SR160 Ultrasonic Receiver, Pro-Wave Electronic Corporation.

Op Amps Driving Capacitive Loads (Ask the Applications Engineer—25), Analog Dialogue 31-2, Analog Devices.

Practical Techniques to Avoid Instability Due to Capacitive Loading (Ask the Applications Engineer—32), Analog Dialogue 38-2, Analog Devices.

Linear Circuit Design Handbook, Analog Devices.

Op Amp Applications Handbook, Analog Devices.

MT-031 Tutorial : Grounding Data Converters and Solving the Mystery of “AGND” and “DGND”, Analog Devices.

MT-101 Tutorial : Decoupling Techniques, Analog Devices.

データシートと評価ボード

ADuC7126 データシート

ADP3629 データシート

ADCMP670 データシート

ADP1613 データシート

AD8692 データシート

AD8541 データシート

ADP7104 データシート

ADM3483 データシート

改訂履歴

4/14—Rev. 0: 初版

「Circuits from the Lab/実用回路集」はアナログ・デバイセズ社製品専用に作られており、アナログ・デバイセズ社またはそのライセンスの供与者の知的所有物です。お客さまは製品設計で「Circuits from the Lab/実用回路集」を使用することはできますが、その回路例を利用もしくは適用したことにより、特許権またはその他の知的所有権のもとでの暗示的許可、またはその他の方法でのライセンスを許諾するものではありません。アナログ・デバイセズ社の提供する情報は正確でかつ信頼できるものであることを期しています。しかし、「Circuits from the Lab/実用回路集」は現状のまま、かつ商品性、非侵害性、特定目的との適合性の暗示的保証を含むがこれに限定されないいかなる種類の明示的、暗示的、法的な保証なしで供給されるものであり、アナログ・デバイセズ社はその利用に関して、あるいは利用によって生じる第三者の特許権もしくはその他の権利の侵害に関して一切の責任を負いません。アナログ・デバイセズ社はいつでも予告なく「Circuits from the Lab/実用回路集」を変更する権利を留保しますが、それを行う義務はありません。商標および登録商標は各社の所有に属します。

©2015 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。