

リモート・センシング・アプリケーションでの AD590 温度トランスジューサの使用

著者 : Paul Klonowski

はじめに

AD590 は、絶対温度に比例する出力を発生する IC 化された 2 端子温度トランスジューサです。このデバイスは、+4 V~+30 V の電源電圧で、 $1\mu\text{A/K}$ のハイ・インピーダンス定電流として動作します。チップ上の薄膜抵抗に対するレーザー・トリミングを使って、 298.2K (25°C) で $298.2\mu\text{A}$ 出力を得るようにデバイスをキャリブレーションしています。

AD590 の代表的なアプリケーションは、温度/電流変換リモート・トランスジューサです。図 1 に、 $-55^\circ\text{C}\sim+100^\circ\text{C}$ の温度を測定して $100\text{mV}/^\circ\text{C}$ で出力電圧を発生する温度計回路を示します。AD590 は絶対温度を測定するため(公称出力 $1\mu\text{A/K}$)、摂氏で読出すためには出力に $273.2\mu\text{A}$ のオフセットを加える必要があります。AD590 の出力電流は $1\text{k}\Omega$ の抵抗を流れて、 1mV/K の電圧を発生します。AD580 の 2.5V リファレンス電圧出力は抵抗で分圧されて 273.2mV のオフセットを発生します。このオフセットは、AD524 計装アンプにより $1\text{k}\Omega$ 抵抗の両端の電圧から減算されます。アンプのゲインは 100 であるため、 $-55^\circ\text{C}\sim+100^\circ\text{C}$ に対して出力範囲は $-5.5\text{V}\sim+10\text{V}$ ($100\text{mV}/^\circ\text{C}$) になります。計装アンプをオペアンプで置換えることはできますが、オペアンプを使うときは、2 端子の入力のゲインが異なるのでデザインに注意する必要があります。

問題点

リモート温度/電流変換アプリケーションでの AD590 の使い方についてアナログ・デバイセズ・アプリケーション・エンジニアに頻繁によせられる質問は、可能なケーブル長とケーブルで混入するノイズの除去法についてです。この質問に答えるためのガイドラインを提供ため、図 1 の回路で、 1000 インチ長のシールドなし非接地型ツイストペア・ケーブル(Belden 9461, style 2092)を使って実験を行いました。実際の条件を再現するため、実験は工業用環境で行いました。

ノイズのタイプ

データ・アキュジション・システムには、3 種類の基本ノイズ・タイプがあります。1 つ目のタイプは送信ノイズであり、元の信号と一緒に受信されたノイズであり、元の信号から区別できないものです。2 つ目のタイプは固有ノイズであり、回路内で使用されるデバイス(例えば抵抗やオペアンプなど)で発生するノイズです。これにはジョンソン・ノイズ、ショット・ノイズ、ポップコーン・ノイズが含まれます。3 つ目のタイプは誘導ノイズであり、外部から回路へ混入するノイズです。このアプリケーション・ノートでは、誘導ノイズの削減方法について説明します。この誘導ノイズは、配線とシールドから影響を受ける唯一のノイズ形式です。

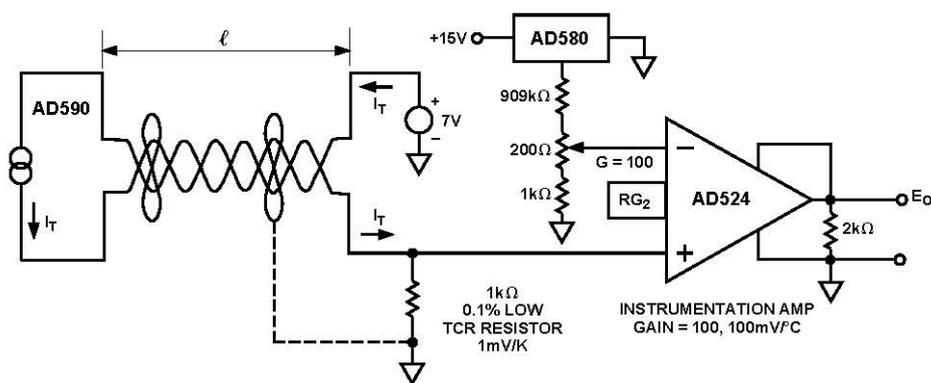


図 1. 温度計回路

ノイズ要因

ノイズ問題には3つの要因が関係しています。1つ目は、ノイズ・ソースです。ノイズ・ソースとしては、AM 無線信号、ロジック信号、磁界、電源ラインの過渡電圧などがあります。2つ目の要因は結合媒体です。すなわち、ノイズ・ソースが回路へどのように結合されるかです。結合媒体としては、コモン回路インピーダンス(図2)、浮遊容量(図3)、相互インダクタンス(図4)などがあります。次に、これらを簡単に説明します。

コモン・インピーダンス・ノイズは、複数の回路に共通なインピーダンスにより発生されます。このノイズは、図2に示すように、パルス出力ソースとオープンアンプのリファレンス端子が共に、“グラウンド”ポイントに接続されていて、かつこのポイントと電源端子までの間にインピーダンスが存在するときに発生します。CIRCUIT 1のノイズの多いリターン電流により、電圧 V_{NOISE} がコモン・インピーダンス Z の両端に発生します。この電圧が CIRCUIT 2 に対してノイズ信号として現れます。

この問題に対するソリューションとしては、正しい電源分配回路の使用、アイソレーション・トランスの使用、光アイソレータの使用などがあります。

容量結合ノイズは浮遊容量により発生します。この浮遊容量は、変化するノイズ電圧源をハイ・インピーダンス回路に変換します(図3参照)。インピーダンス Z の性質により、応答の形状が決定されます。容量結合ノイズの削減方法としては、ノイズ・ソースの削減、シールドの実施、浮遊容量の削減などがあります。

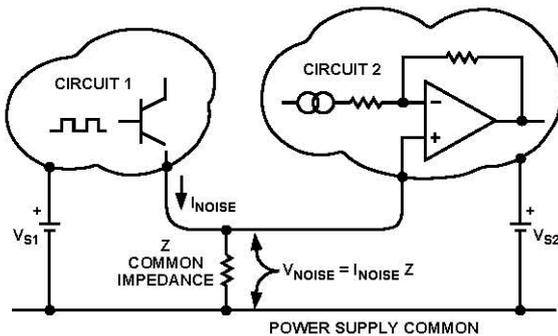


図2.コモン・インピーダンス・ノイズ

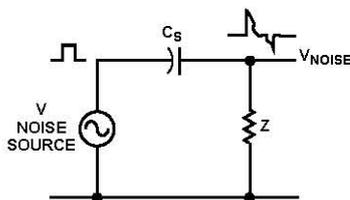


図3.浮遊容量ノイズ

磁気結合ノイズは相互インダクタンスにより発生します。例えば、図7のように正しくシールドされていないケーブルで発生します。図4に、この正しくシールドされていないケーブルのシンプルなモデルを示します。ここで、 L_S はシールドのインダクタンス、 L_C は中心導体の1つのインダクタンス、 L_M は両者間の相互インダクタンスです。ノイズ電流 $I(t)$ は L_S を流れて磁束を発生します。この時間変化する磁束が L_C を取り囲むため電圧 $V_{\text{NOISE}(t)}$ が発生します。この電圧は L_S を流れる電流 $I(t)$ の変化率に比例します。この電圧は次式で表されます。

$$V_{\text{NOISE}(t)} = LM \frac{dI(t)}{dt}$$

ノイズ問題に関係する3つ目の要因は、レシーバすなわちノイズに敏感な回路です。ノイズ問題を解決するためには、3つの要因(ノイズ・ソース、結合媒体、レシーバ)の役割を理解することが重要です*。この実験では、ノイズ・ソースは60 Hz 混入とAM 無線信号であり、結合媒体は浮遊容量であり、レシーバはAD524であったことが分かりました。

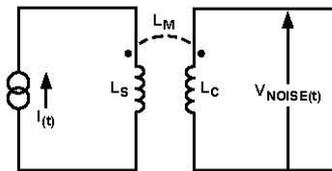


図4.相互インダクタンス・ノイズ

初期ノイズ効果

図5の写真に、図1の回路の出力を示します。この回路では、グラウンド接続なしのシールドで、30°CのリモートにAD590を使用しています。理論的には、出力は3V (100 mV/°C)のDC信号になりますが、電界から発生した60 Hz信号がケーブルの浮遊容量を介して回路に容量結合され、ゲイン=100で増幅されます。ただし、60 Hz信号がDC信号によりオフセットされていることに注意してください。AD524の出力電圧をDC電圧計で測定すると3.0Vになります。これは、電圧計がAD590からのDC信号と60 Hzの正弦波ノイズ信号の平均値を一緒に測定するためです。正弦波の平均値はゼロです。つまり、干渉信号があるにもかかわらず平均値は正しくなります。すべての測定精度は、RTD計測システムを使って確認しました。被テスト用AD590はRTDに物理的に接続しました。

* この問題を扱った優れた資料「Understanding Inter-ference-Type Noise」(著者 Alan Rich)が、アナログ・デバイスのデータブックのセクション20に記載してあります。

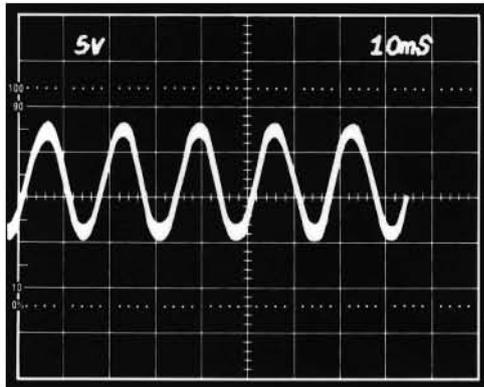


図 5. E₀、グラウンド接続なしのシールド(図 1)

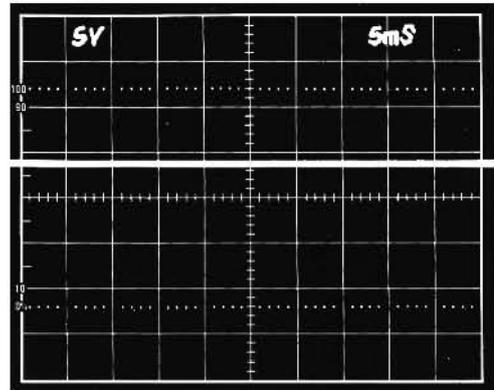


図 8. E₀、シールドをグラウンドへ接続

シールド

静電ノイズを除去する効果的な 1 つの方法は、シールドの使用です。外部電位から発生する電荷は、閉じた導体表面の内部に存在できません。シールドとは、実質的に、ケーブル内にある線のツイストペアを取り囲んでいる閉じた導体表面を意味します。

シールドが効果的であるためには、シールド内に含まれる回路のリファレンス電位にシールドが接続される必要があります。信号がアース・グラウンドに接続される場合、シールドもアース・グラウンドに接続される必要があります(図 6 参照)。リファレンス電位とシールド導体との間に電圧が発生することは許されません。

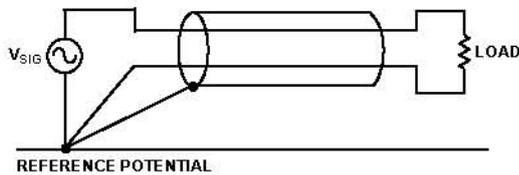


図 6.正しくシールドされたケーブル

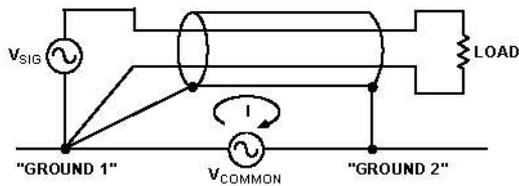


図 7.シールドが正しくないケーブル

シールドの一端だけを“グラウンド”に接続する必要があります。シールドの両端を“グラウンド”へ接続すると、シールド電流が発生します。この電流は、2 つの“グラウンド”間の電位差をシールドの直列抵抗で除算した値に等しくなります(図 7 参照)。前述のように、シールドと導体との間の相互インダクタンスにより、このノイズ電流が直列電圧 V_{NOISE} として導体内に結合されます。

図 8 では、60 Hz の信号ノイズは除去されていますが、電圧スパイクがまだ見えます。図 9 は、スコープを AC 結合して、倍率を大きくした AD524 の出力ですが、ケーブルへ高周波ノイズがまだ混入していることを示しています。図 10 は、信号を AD524 の非反転端子に入力した場合ですが、実際に混入しているノイズは AM 無線信号であることを示しています。

RFノイズ

RF ノイズは、電界と磁界の組み合わせ、すなわち電磁界です。この電磁界は、導体との間に回り込みます。すなわち、電磁界したがって RF エネルギーは、導体により“進路が変えられます”。

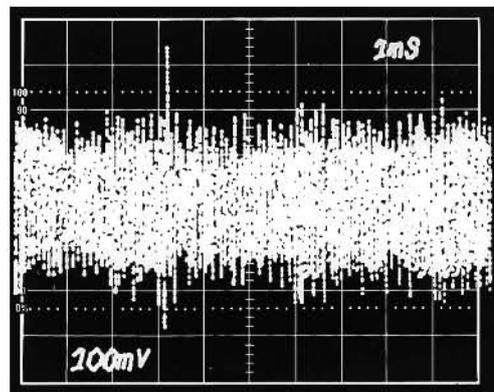


図 9. E₀での RF ノイズ

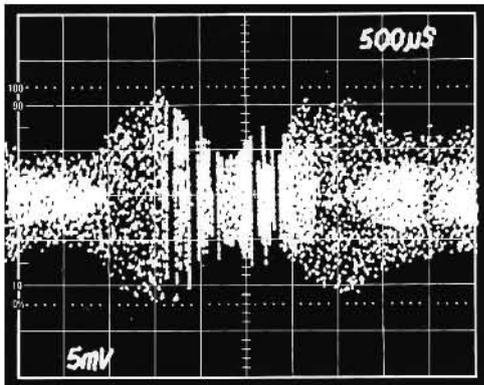


図 10. AD524 の+Input での RF ノイズ

システム内にインピーダンスの不整合または不連続がある場合、RF エネルギーはシステムに侵入し、反射します。これには、信号途上(AD590 端やケーブルの AD524 端)の不連続性が含まれます。これらの不連続性を解消するためには、回路システム全体を(多分、導管やメタル・ボックスを使用して)RF シールドすることが必要になりますが、大部分のケースでは実用的ではありません。

大部分のシステムにとって効果的な方法は、注目するクリティカル・ポイントに受動部品を使用して RF フィルタを構成する方法です。このフィルタは RF エネルギーをなくするのではなく、エネルギーを反射させて、問題を再配分することであることを理解しておくことが重要です。RF ノイズから影響を受ける外部回路をなくす回路方式については、後で説明します。

バイパス・コンデンサ

バイパス・コンデンサを使うと、高周波ノイズ電流の一部をグラウンドへ流すことができます。図 11 に、バイパス・コンデンサの効果を表すシンプルな回路図を示します。コンデンサのリアクタンスは $X_C = 1/2 \pi fC$ であり、さらに最小無線キャリア周波数 = 550 kHz とし、 $0.33 \mu\text{F}$ のコンデンサを使用した場合、ノイズ電流から見たインピーダンスは、

$$X_C = 1/2 \pi (550 \times 10^3)(0.33 \times 10^{-6}) = 0.88 \Omega.$$

もちろん、AD590 から供給される DC 電流はバイパス・コンデンサの影響を受けないため、 $1 \text{ k}\Omega$ の抵抗を流れます。高周波ノイズ電流だけが影響を受けます。AD524 の非反転端子での信号を示す図 12 では、 $1 \text{ k}\Omega$ の"負荷"抵抗に並列な $0.33 \mu\text{F}$ コンデンサの効果が明らかです(シールドはグラウンドに接続)。図 13 に、 $0.33 \mu\text{F}$ のコンデンサを使用した場合の AD524 の出力信号を示します。図 10 と図 12、図 9 と図 13 を比較してください。バイパス・コンデンサにより、ノイズ振幅が $1/5$ 以下になっています。

この例では、無線キャリア周波数は 550 kHz でした。外部回路の帯域幅が RF ノイズの帯域幅より狭い場合でも、RF ノイズを無視しないことが重要です。RF 成分が大きいと、外部回路の入力が過負荷になって検出されるため、部品の出力信号で明確な DC シフトが発生します。

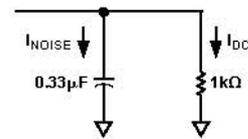


図 11. RF ノイズの影響を小さくするバイパス・コンデンサ

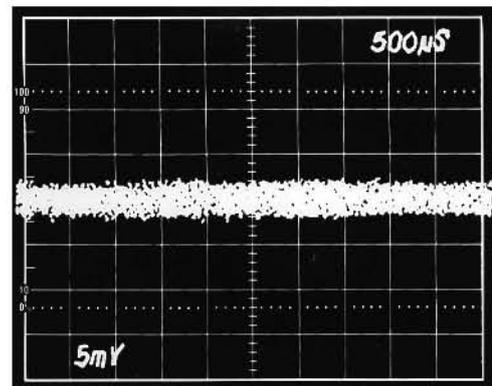
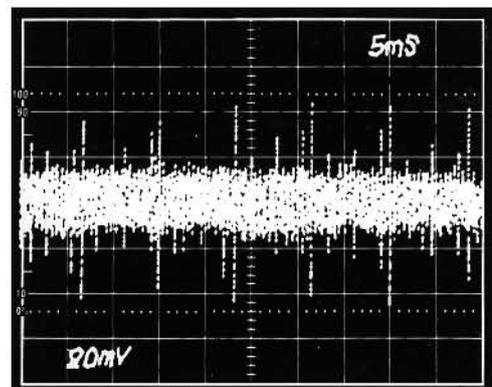


図 12. AD524 の+Input、バイパス・コンデンサ使用

図 13. E_o、バイパス・コンデンサ使用

直列抵抗

図 13 では、改善があるもののノイズはまだ回路に混入しています。オペアンプの非反転端子に現れるノイズ量を削減するもう 1 つの方法は、AD590 に直列に $1\text{ k}\Omega$ の抵抗を接続してケーブルを流れるノイズ電流を制限する方法です。

これにより、負荷インピーダンス($1\text{ k}\Omega$ の抵抗と $0.33\text{ }\mu\text{F}$ のコンデンサ)と直列抵抗との間で実質的にノイズ電圧の分圧器が形成されます。図 14 に、この最終回路構成を使用した AD524 の出力を示します。出力ノイズの 10 mV p-p 振幅は、実際に AD524 の入力で見たノイズ振幅($100\text{ }\mu\text{V p-p}$)の百倍です。図 13 に示した高周波スパイクは図 14 ではなくなっていることにも注意してください。図 15 は最終構成の回路図であり、図 1 に示す回路に対してノイズは $1/2000$ になっています。

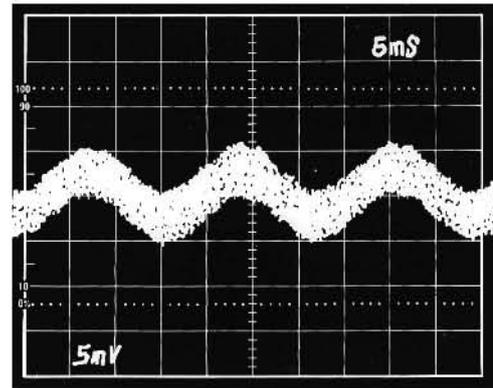


図 14. E_o 、バイパス・コンデンサと直列抵抗を使用

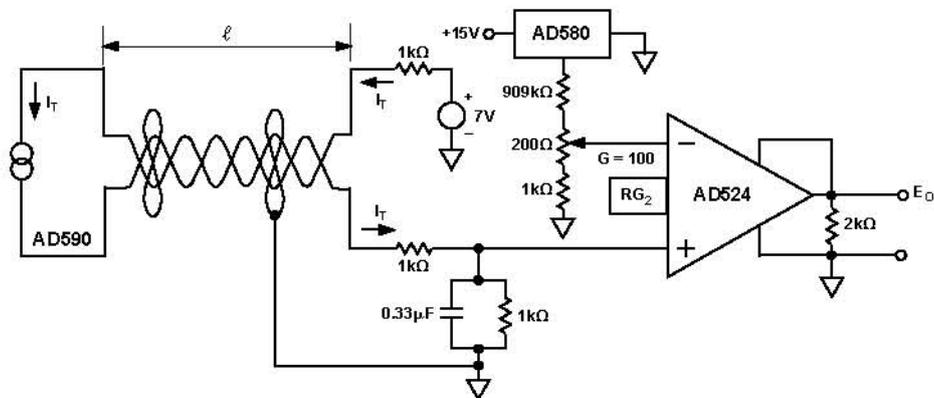


図 15.

結論

RF ノイズの影響をなくするためには、図 16 の回路の使用が推奨されます。

図 16 では、抵抗とコンデンサをケーブルの両端に接続しています。これにより、RF ノイズはケーブル内に留まるため、外部回路に影響を与えません。これらの抵抗は、電流を供給できるほど電位が大きいかぎり、任意に大きくすることができることにも注意してください($V = IR$)。AD590 に並列バイパス・コンデンサと直列抵抗

を使用すると、RF 信号がフィルタされます。理論的には、RF 信号が AD590 で整流されるため、デバイス精度が相殺されます。

上述の技術を使うと、シールドされたツイストペア・ケーブル、抵抗、コンデンサの使用によりノイズと干渉は実質的に解消されます。したがって、精度を損なうことなく 1000 フィートのケーブルを介して AD590 を駆動することができます。

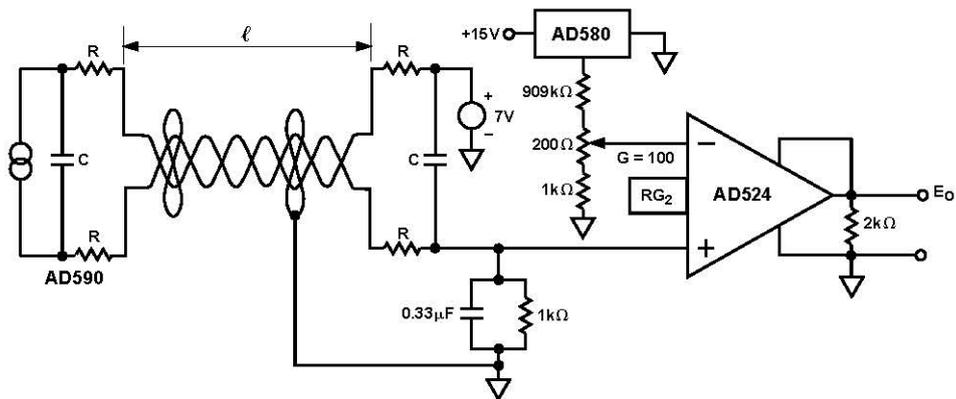


図 16.