

## Temperaturerfassungssysteme auf Thermistorbasis

Über Design-Herausforderungen und Schaltungskonfigurationen zur Temperaturmessung berichtet dieser Beitrag.

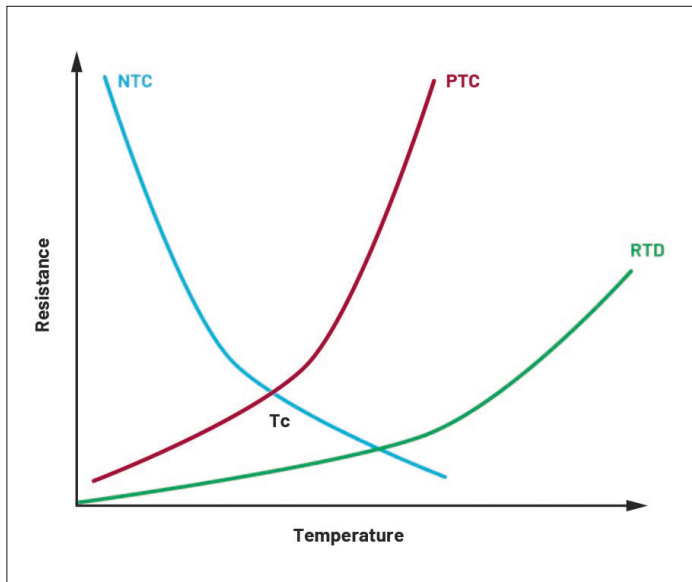


Bild 1: Temperaturverhalten von Thermistoren und RTDs

Ein auf Thermistoren basierendes Temperaturmesssystem wird mit einem auf einem Widerstandstemperaturdetektor (RTD) basierenden Temperaturmesssystem verglichen, weiter werden die Auswahl des Thermistors, die Kompromisse bei der Konfiguration und die Bedeutung von Sigma-Delta-A/D-Wandlern (ADCs) in diesem Anwendungsbereich erläutert. Schließlich wird detailliert beschrieben, wie das endgültige thermistorgestützte Messsystem zu optimieren und zu bewerten ist.

### Thermistoren vs. RTDs

Der Widerstand eines RTD ändert sich wie bei Thermistoren in Abhängigkeit von der Temperatur. Im Gegensatz zu RTDs, die nur einen positiven Temperaturkoeffizienten haben, können Thermistoren entweder positive oder negative TKs haben. Bild 1 zeigt die Charakteristiken typischer NTC- und PTC-Thermistoren und RTDs. Letzter deckt aufgrund der durchgehend nichtlinearen (exponentiellen) Kurve einen viel größeren problemlos nutzbaren Temperaturbereich ab (in der Regel

-200 bis +850 °C) als Thermistoren. RTDs sind in der Regel mit einer bekannten standardisierten Kurve erhältlich, während Thermistorkurven je nach Hersteller variieren.

Thermistoren bestehen aus Verbundwerkstoffen, in der Regel Keramik, Polymeren oder Halbleitern (in der Regel Metalloxiden), die im Vergleich zu Widerstandsthermometern, die aus reinem Metall (Platin, Nickel oder Kupfer) bestehen, kleiner und preiswerter, aber nicht so robust sind. Thermistoren können Temperaturänderungen viel schneller erkennen als RTDs und werden dort eingesetzt, wo niedrige Kosten, geringe Größe, schnellere Reaktionszeit, höhere Empfindlichkeit, aber eingeschränkter Temperaturbereich vorliegen. Beispiele: Überwachung elektronischer Geräte, Haushalts- und Gebäudesteuerungen, wissenschaftliche Labors oder Kaltstellenkompensation von Thermoelementen in kommerziellen oder industriellen Anwendungen.

In den meisten Fällen werden NTCs anstelle von PTCs in Präzisions-Temperaturmessanwendungen eingesetzt. Man findet einige wenige PTCs auch in Überstrom-Eingangsschutzschaltungen oder als rücksetzbare Sicherungen für Sicherheitsanwendungen.

Die Widerstands-Temperaturkurve eines PTCs weist bis zum Erreichen des Schmelzpunkts (Curie-

Punkts) einen sehr kleinen NTC-Bereich auf, oberhalb dessen ein dramatischer Anstieg des Widerstands um mehrere Größenordnungen innerhalb einer Spanne von wenigen K erfolgt. Bei einem Überstrom hat der PTC also ein hohes Maß an Selbsterwärmung über die Schalttemperatur hinaus, und sein Widerstand steigt drastisch an, was dazu führt, dass weniger Strom in das System eingespeist wird und somit Schäden verhindert werden. Der Schmelzpunkt eines PTCs liegt in der Regel zwischen 60 und 120 °C, was für die Überwachung in einem breiten Anwendungsbereich nicht geeignet ist. Der Ausweg sind NTCs, die in der Regel Temperaturen von -80 bis +150 °C überwachen können. Sie sind mit Nennwiderständen bei 25 °C erhältlich, die von einigen Ohm bis zu 10 MOhm reichen. Wie in Bild 1 erkennbar, ist die Widerstandsänderung pro K bei einem Thermistor größer als bei einem RTD. Die hohe Empfindlichkeit und die hohen Widerstandswerte von Thermistoren machen ihre Nutzung im Vergleich zu RTDs viel einfacher, da ein Thermistor keine speziellen Verdrahtungskonfigurationen wie 3- oder 4-Leiter benötigt, um den Leitungswiderstand zu kompensieren.

Tabelle 1 nennt die Vor- und Nachteile von RTDs, NTC- und PTC-Thermistoren

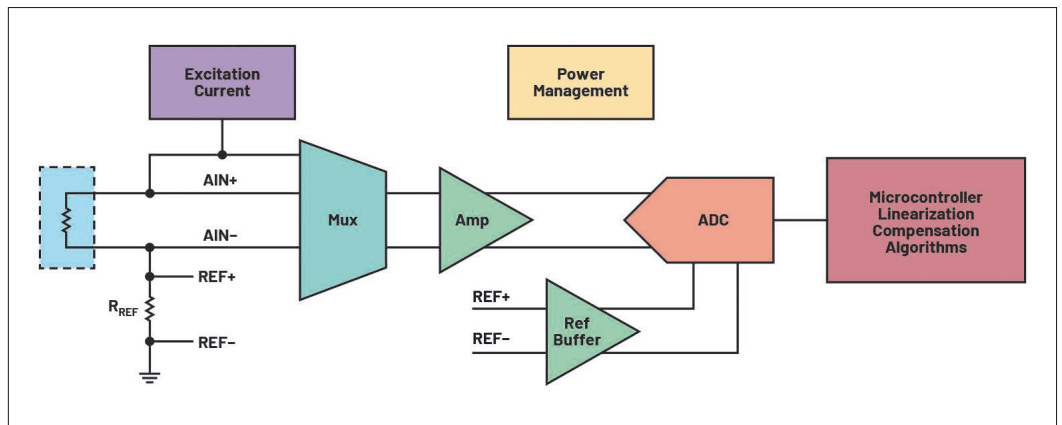


Bild 2: Eine typische NTC-Messsignalkette

Autorinnen:  
Jellenie Rodriguez  
Staff Applications Engineer,  
Mary McCarthy  
Staff Engineer  
Analog Devices  
www.analog.com

Parameters	NTC Thermistors	PTC Thermistors	RTDs
Temperature Range	-80°C to +300°C	60°C to 120°C	-200°C to +850°C
Temperature Coefficient	Negative	Positive	Positive
Linearity	Exponential	Exponential	Near linear
Sensitivity	High	High	Low
Response Time	Fast	Fast	Slow
Excitation	Required	Required	Required
Self-Heating	Yes	Yes	Yes
Wiring Configuration	2-wire	2-wire	2-wire, 3-wire, 4-wire
Cost	Inexpensive to moderate	Inexpensive	Moderate to expensive
Size	Small	Small	Medium

Table 1. Thermistors vs. RTDs

### Thermistorgestützte Temperaturmessung – Herausforderungen

Eine hochpräzise und genaue Temperaturmessung auf Thermistorbasis erfordert eine präzise Signalkonditionierung, Analog/Digital-Wandlung, Linearisierung und Kompensation, wie in Bild 2 dargestellt. Obwohl die Signalkette einfach und geradlinig aussieht, sind mehrere komplexe Faktoren beteiligt, die sich auch auf die Gesamtgröße der Systemplatine, die Kosten und die Leistung auswirken.

Zu den Herausforderungen gehören:

- Auf dem Markt gibt es eine große Auswahl an Thermistoren. Wie wähle ich den richtigen für meine Anwendung aus?
- Wie RTDs sind Thermistoren passive Bauelemente. Um den Widerstand des Sensors zu messen, wird ein Erregerstrom oder eine Erregerspannung verwendet. Doch wie wähle ich den Strom/ die Spannung aus? Wie sollte das Thermistorsignal aufbereitet werden? Wie stelle ich die oben genannten Variablen so ein, dass der Konverter oder andere Bausteine innerhalb ihrer Spezifikation verwendet werden?
- Bei Anschluss von mehreren Thermistoren in einem System: Wie werden die Sensoren angeschlossen? Können einige Bausteine von den verschiedenen Sensoren gemeinsam genutzt werden? Welche Auswirkungen hat das auf die Gesamtleistung des Systems?
- Ein Hauptproblem bei Thermistoren ist ihr nichtlineares Ansprechver-

halten und die Systemgenauigkeit. Wie hoch ist der zu erwartende Fehler für meinen Entwurf? Welche Linearisierungs- und Kompensationstechniken werden eingesetzt, um die angestrebte Leistung zu erreichen?

### Thermistor-Auswahlhilfe

Auf dem Markt ist heute eine große Auswahl an NTC-Thermistoren erhältlich. Beachten Sie, dass Thermistoren nach ihrem Nennwert aufgeführt sind, der bei 25 °C gilt. Es gibt Thermistoren mit Nenn- oder Basiswiderstandswerten von einigen Ohm bis 10 MOhm. Thermistoren mit niedrigem Nennwiderstand (10 kOhm oder weniger) eignen sich für einen niedrigeren Temperaturbereich wie -50 bis +70 °C. Thermistoren mit höherem Nennwiderstand eignen sich für Temperaturen bis zu 300 °C.

Das Thermistorelement wird aus Metalloxiden hergestellt. Thermistoren sind in Perlen-, Radial- und SMD-Form erhältlich. Perlen- und SMD-Thermistoren sind für zusätzlichen Schutz epoxidbeschichtet oder glasgekapselt. Epoxidbeschichtete Perlen- thermistoren, Radial- und SMD-Thermistoren sind für Temperaturen bis zu 150 °C geeignet. Glasummantelte Perlthermistoren sind für Hochtemperaturmessungen geeignet. Die Beschichtung/Verpackung aller Typen schützt auch vor Korrosion. Einige Thermistoren haben auch ein zusätzliches Gehäuse, um sie in rauen Umgebungen noch besser zu schützen. Perlthermistoren haben eine schnellere Ansprechzeit als Radial-/SMD-Thermistoren. Allerdings sind sie nicht so robust. Welcher Thermistortyp zu verwen-

den ist, hängt also von der Endanwendung und der Umgebung ab, in der der Thermistor eingesetzt werden soll. Die Langzeitstabilität eines Thermistors hängt von den Materialien ab, aus denen er hergestellt ist, sowie von seiner Verpackung und Konstruktion. Ein epoxidbeschichteter NTC-Thermistor kann sich beispielsweise um 0,2 K pro Jahr verändern, während ein hermetisch versiegelter Thermistor sich nur um 0,02 K pro Jahr verändert.

Thermistoren haben eine unterschiedliche Genauigkeit. Standardtypen in der Regel 0,5 bis 1,5 K. Hinzu kommt eine Toleranz auf ihren Nennwiderstand und auf ihren Beta-Wert (s. Kasten).

Ob ein Thermistor für die Anwendung geeignet ist, hängt also vom zu messenden Temperaturbereich und der erforderlichen Genauigkeit über den Temperaturbereich ab. Daher muss der zu verwendende Thermistor dem zu messenden Temperaturbereich, der erforderlichen Messgenauigkeit, der Umgebung und der geforderten Langzeitstabilität entsprechen.

### Linearisierung: Beta vs. Steinhart-Hart-Gleichung

Der Benutzer verwendet den Beta-Wert, der dem in der Konstruktion verwendeten Temperaturbereich am nächsten kommt. In den meisten Thermistor-Datenblättern ist der Beta-Wert zusammen mit der Toleranz des Widerstands bei 25 °C und der Toleranz des Beta-Werts aufgeführt.

Genauere Thermistoren und genauere Endlösungen verwenden die Steinhart-Hart-Gleichung zur Umrechnung der Temperatur

in den Widerstand. Dabei werden drei Konstanten benötigt, die der Hersteller nennt. Da die Koeffizienten für die Gleichung unter Verwendung von drei Temperaturpunkten generiert werden, minimiert die resultierende Gleichung den Fehler, der durch die Linearisierung entsteht (typischerweise 0,02 K).

### Strom-/Spannungserregung

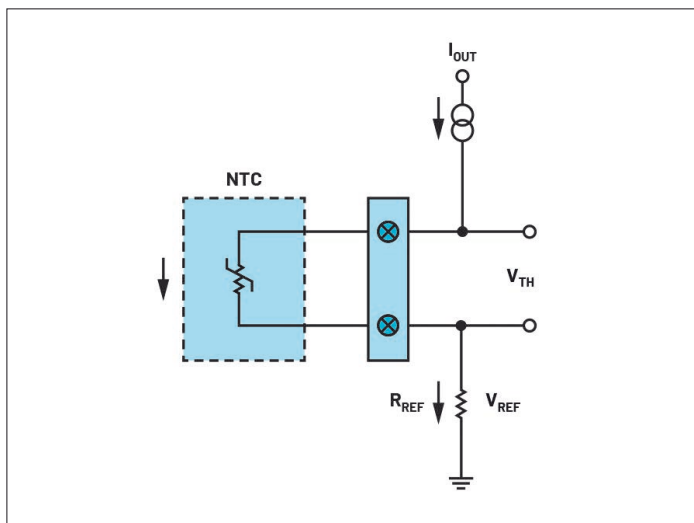
Bild 3 zeigt die Stromanregung des Sensors. Ein Strom aus einer niederohmigen Quelle wird durch den Thermistor und einen Präzisionswiderstand geleitet; dieser dient als Referenz für die Messung und muss größer oder gleich dem höchsten Widerstandswert des Thermistors im Betrieb sein. Bei der Wahl des Stroms muss wiederum dieser maximale Widerstand des Thermistors berücksichtigt werden. Dadurch wird sichergestellt, dass die über dem Sensor und dem Referenzwiderstand erzeugte Spannung stets auf einem für die Elektronik akzeptablen Niveau liegt. Erregerstromquellen benötigen einen gewissen Spielraum bzw. eine gewisse Ausgangsnachgiebigkeit. Wenn der Thermistor bei der zu messenden Mindesttemperatur einen großen Widerstand hat, führt dies zu einem sehr niedrigen Strom, daher ist die Spannung über dem Thermistor gering. Für diese Situation könnte eine programmierbare Verstärkungsstufe

### Der Beta-Wert eines Thermistors

ist ein Hinweis auf die Form der Kurve, die das Verhältnis zwischen Widerstand und Temperatur eines NTC-Thermistors darstellt. Die Berechnung des Beta-Werts ist ein wichtiger Schritt bei der Komponentenauswahl, da er die Kennlinie bei einer bestimmten Temperatur im Vergleich zum Widerstand für eine bestimmte Anwendung angibt:

$$\beta = \frac{\ln\left(\frac{R_{T1}}{R_{T2}}\right)}{\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)}$$

Die beiden Temperaturen sind normalerweise 25 und 50 °C oder 25 und 85 °C.



**Bild 3: Zum Erregerstrom eines Thermistors**

verwendet werden. Die Verstärkung muss jedoch dynamisch programmiert werden, da sich der Signalpegel des Thermistors im Laufe der Temperatur erheblich ändert.

Eine andere Möglichkeit besteht darin, die Verstärkung einzustellen, aber einen dynamischen Erregerstrom zu verwenden. Wenn sich also der Signalpegel des Thermistors ändert, wird der Wert des Erregerstroms geändert, sodass die am Thermistor erzeugte Spannung innerhalb des von der Elektronik vorgegebenen Eingangsbereichs liegt. Der Benutzer muss sicherstellen, dass die über dem Referenzwiderstand erzeugte Spannung ebenfalls auf einem für die Elektronik akzeptablen Niveau liegt.

Beide Optionen erfordern ein hohes Maß an Kontrolle, da die Spannung über dem Thermistor ständig überwacht werden muss, um sicherzustellen, dass das Signal von der Elektronik gemessen werden kann. Gibt es eine einfachere Möglichkeit? Schauen wir uns die Spannungserregung an (Bild 4)!

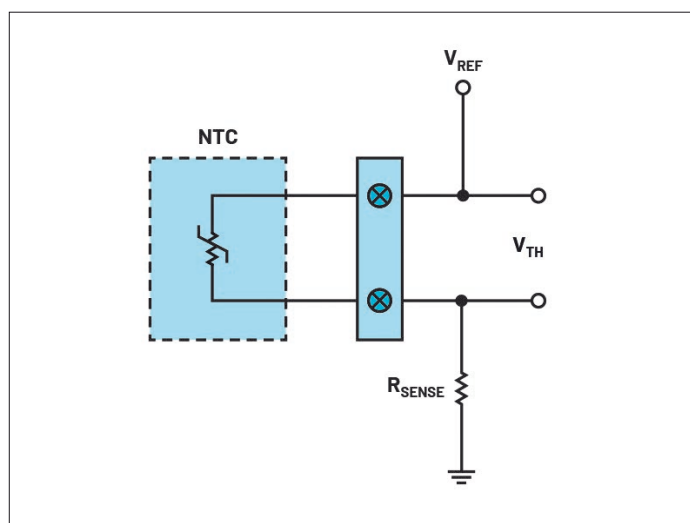
Wenn der Thermistor durch eine konstante Spannung erregt wird, skaliert der Strom durch den Thermistor automatisch, wenn sich der Widerstand des Thermistors ändert. Anstelle eines Referenzwiderstands wird nun ein Präzisionsmesswiderstand verwendet, um den durch den Thermistor fließenden Strom zu berechnen, damit der Thermistorwiderstand berechnet werden kann. Da die Erregerspannung auch als ADC-Referenz verwendet wird, erübrigt sich eine Verstärkungsstufe. Für den Prozessor entfällt die Auf-

gabe, die Spannung am Thermistor zu überwachen, festzustellen, ob der Signalpegel von der Elektronik gemessen werden kann, und zu berechnen, auf welchen Wert der Verstärkungs-/Erregungsstrom eingestellt werden muss. Dies ist also der bessere Ansatz.

### Thermistor-Widerstandsbereich/ Erregung

Wenn der Nennwiderstand des Thermistors und der Widerstandsbereich klein sind, kann entweder eine Spannungs- oder eine Stromerregung verwendet werden. Dies ist nützlich, da der Strom, der durch den Sensor und den Referenzwiderstand fließt, gesteuert werden kann, was bei Anwendungen mit geringem Stromverbrauch von Vorteil ist. Außerdem wird die Selbsterhitzung des Thermistors minimiert.

Bei der Spannungserregung für einen Thermistor mit niedrigem Nennwiderstand muss der Benutzer jedoch sicherstellen, dass der Strom durch den Sensor zu keinem Zeitpunkt zu groß für den Sensor selbst oder für die Anwendung ist. Bei Thermistoren mit großem Nennwiderstand und großem Temperaturbereich führt die Spannungserregung zu einer einfacheren Implementierung. Der größere Nennwiderstand sorgt dafür, dass der Nennstrom auf einem angemessenen Niveau liegt. Man muss jedoch sicherstellen, dass der Strom über den gesamten Temperaturbereich, der von der Anwendung unterstützt wird, auf einem akzeptablen Niveau liegt.



**Bild 4: Spannungsanregung eines Thermistors**

### Die Bedeutung von Sigma-Delta-ADCs in solchen Anwendungen

Sigma-Delta-ADCs bieten bei der Entwicklung von Thermistor-Messsystemen mehrere Vorteile. Da sie den analogen Eingang überabtasten, wird die externe Filterung auf ein Minimum reduziert, sodass nur ein einfaches RC-Filter genügt. Sie bieten Flexibilität in Bezug auf die Wahl des Filtertyps und der Ausgangsdatenrate. Eine eingebaute digitale Filterung kann bei netzbetriebenen Designs zur Unterdrückung von Störungen durch das Stromnetz verwendet werden. Ein 24-Bit-Teil hat z.B. eine Spitze-Spitze-Auflösung von maximal 21,7 Bit und bietet somit eine hohe Auflösung. Weitere Vorteile sind:

- großer Gleichtaktbereich für die Analogeingänge
- großer Gleichtaktbereich für die Referenzeingänge
- Fähigkeit zur Unterstützung ratiometrischer Konfigurationen
- Einige Sigma-Delta-ADCs sind hochintegriert und umfassen:
  - PGA
  - interne Referenz
  - Referenz-/Analogeingangspuffer
  - Kalibrierungsfunktionen

Die Verwendung von Sigma-Delta-ADCs vereinfacht das Thermistor-Design erheblich und reduziert die Stückliste, die Systemkosten, den Platz auf der Platine und die Markteinführungszeit.

Die ADCs AD7124-4/AD7124-8 sind rauscharme Präzisions-ADCs

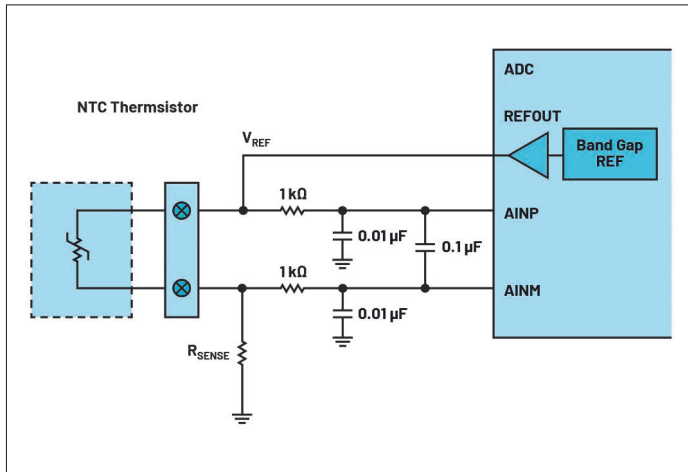
mit geringem Stromverbrauch und integriertem PGA, eingebetteter Referenz, Analogeingang und Referenzpuffern.

### Ratiometrische Konfiguration der Thermistorschaltung

Unabhängig von Erregerstrom oder Erregerspannung wird empfohlen, eine ratiometrische Konfiguration zu verwenden, bei der die Referenz- und die Sensorspannungen von derselben Erregerspannung abgeleitet werden. Dies bedeutet, dass Schwankungen in der Erregungsquelle keinen Einfluss auf die Genauigkeit der Messung haben.

Ein Erregerstrom wird in der Regel der Spannungserregung vorgezogen, da er eine bessere Kontrolle über die Empfindlichkeit und eine bessere Störfestigkeit bietet, wenn sich der Sensor in einem abgelegenen Bereich befindet. Diese Art von Vorspannungstechnik wird üblicherweise für RTDs oder Thermistoren mit niedrigen Widerstandswerten verwendet. Bei Thermistoren mit höheren Widerstandswerten und höherer Empfindlichkeit sind die erzeugten Signalpegel pro Temperaturänderung jedoch größer, sodass eine Spannungserregung verwendet wird. Der Widerstand eines 10- kOhm-NTCs (bei 25°C) beträgt z.B. bei -50 °C 441,1 kOhm. Der kleinste von AD7124-4/AD7124-8 bereitgestellte Erregerstrom von 50 µA erzeugt dann 22 V, was zu hoch ist.

Bild 5 zeigt eine Schaltung mit konstanter Erregerspannung über



**Bild 5: Thermistor-Ratiometric-Konfiguration**

NTC und Messwiderstand, was den Strom begrenzt.  $R_{SENSE}$  muss gleich dem Widerstand des Thermistors bei 25 °C sein, damit die Ausgangsspannung auf den mittleren Wert der Referenzspannung eingestellt wird. Die Ausgangsspannung ist proportional zum Widerstand des NTCs.

Wenn die Referenzspannung dieselbe ist wie die ADC-Referenz, dann wird das System für eine ratiometrische Messung konfiguriert, sodass alle mit der Erregerspannung verbundenen Fehler beseitigt werden.

Beachten Sie, dass der Messwiderstand (Spannungsanregung) oder der Referenzwiderstand (Stromanregung) eine geringe Anfangstoleranz und eine geringe Drift aufweisen müssen, da beide Variablen zur Gesamtgenauigkeit des Systems beitragen.

Auch bei mehreren Thermistoren genügt eine einzige Erregerspannung, allerdings muss jeder Thermistor seinen eigenen Messwiderstand haben (Bild 6). Eine weitere Option ist die Verwendung eines externen MUX oder von Schaltern mit niedrigem Einschaltwiderstand. Hier benötigt jeder Thermistor eine gewisse Einschwingzeit.

## Thermistorsystem-Optimierung

Mit einem einfach zu bedienenden Tool wie dem Thermistor Configurator und dem Error Budget Calculator können Kunden den Thermistor in ihrem System einfach konfigurieren, einschließlich des Verdrahtungs- und Anschlussplans. Das Tool entwirft das Thermistorsystem mit einer Erregerspannung in einer ratiometrischen Konfigu-

ration. Es ermöglicht dem Kunden auch, Einstellungen wie den Sensortyp, den zu messenden Temperaturbereich, die Linearisierung und die externen Komponenten anzupassen, wie in Bild 7 dargestellt. Dadurch wird sichergestellt, dass sowohl der ADC als auch der Thermistorsensor innerhalb der Spezifikation verwendet werden. Wählt ein Kunde also eine Option, die nicht unterstützt wird, weist das Tool darauf hin, dass es sich um eine Fehlerbedingung handelt. Wählt ein Kunde zum Beispiel einen maximalen Temperaturwert, der außerhalb des Betriebsbereichs eines bestimmten Thermistormodells liegt, wird ein Fehler angezeigt (Bild 8). Durch die Einhaltung des empfohlenen Bereichswertes wird wiederum sichergestellt, dass die Systemkonfiguration den Betriebsbedingungen des Sensors und der Elektronik entspricht.

Das Tool ermöglicht es dem Benutzer, die verschiedenen Fehlerquellen zu verstehen, und es ermöglicht auch eine Designoptimierung. Beachten Sie, dass das Tool auf den AD7124-4/AD7124-8 ausgelegt ist und daher auch die Anzahl der Sensoren bestimmt, die an einen einzelnen ADC angeschlossen werden können. Um die Bedeutung des Tools zu verstehen, sollten wir die verschiedenen Design-Überlegungen bei Thermistoren durchgehen.

## Systemkonfiguration (Erregung, Verstärkung und externe Komponenten)

Ähnlich wie RTDs sind auch Thermistoren anfällig auf Selbsterhitzung, da Widerstände Leistung abführen,

wenn ein Strom durch sie fließt. Daher muss man den Strom so niedrig wie möglich halten. Konstrukteure neigen dazu, höhere Werte für die Erregerspannung zu wählen, um höhere Ausgangsspannungen zu erzeugen, damit der Eingangsbereich des ADC voll ausgenutzt werden kann. Beim NTC nimmt der Widerstand aber mit steigender Temperatur ab, was steigende Selbsterhitzung zur Folge hat.

Ein Thermistor benötigt keine höheren Erregungswerte, da seine hohe Empfindlichkeit eine Ausgangsspannung von Millivolt bis Volt über den angegebenen Temperaturbereich erzeugen kann. Es genügt, eine Erregerspannung wie den ADC-Referenzspannungswert zu verwenden. Durch die Einstellung der PGA-Verstärkung auf 1 stellt diese Technik außerdem sicher, dass der gesamte Thermistor-Ausgangsspannungsbereich oder die Spannung, die am Analogeingang des ADC zu sehen ist, immer innerhalb des ADC-Betriebseingangsbereichs liegt.

Das Tool verwendet die beim AD7124-4/AD7124-8 verfügbare interne 2,5-V-Referenz. Bei einer Verstärkung von 1 wird auch der PGA abgeschaltet, was den Gesamtstromverbrauch reduziert. Die AD7124-4/AD7124-8 verfügen außerdem über analoge Eingangspuffer, wodurch sie sich ideal für

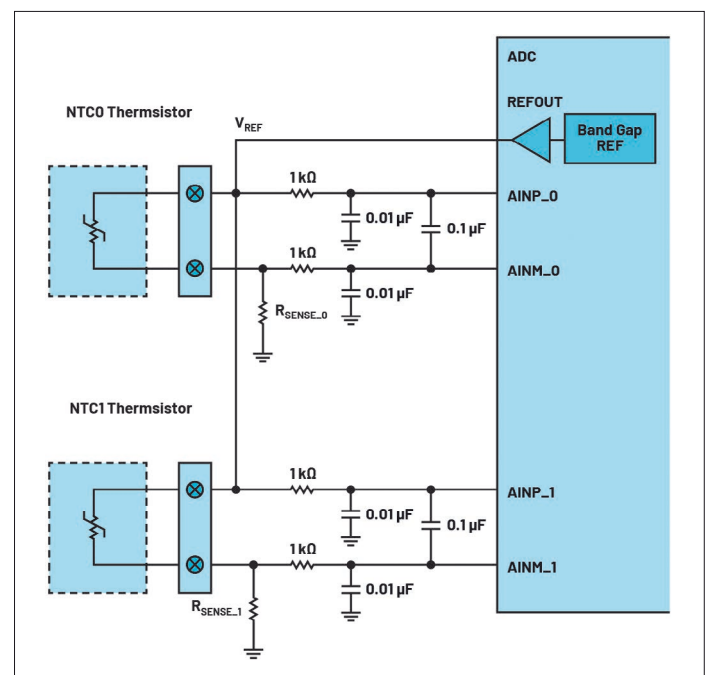
den direkten Anschluss an externe Widerstandssensoren eignen.

## Filterung und Leistungsbetrachtung

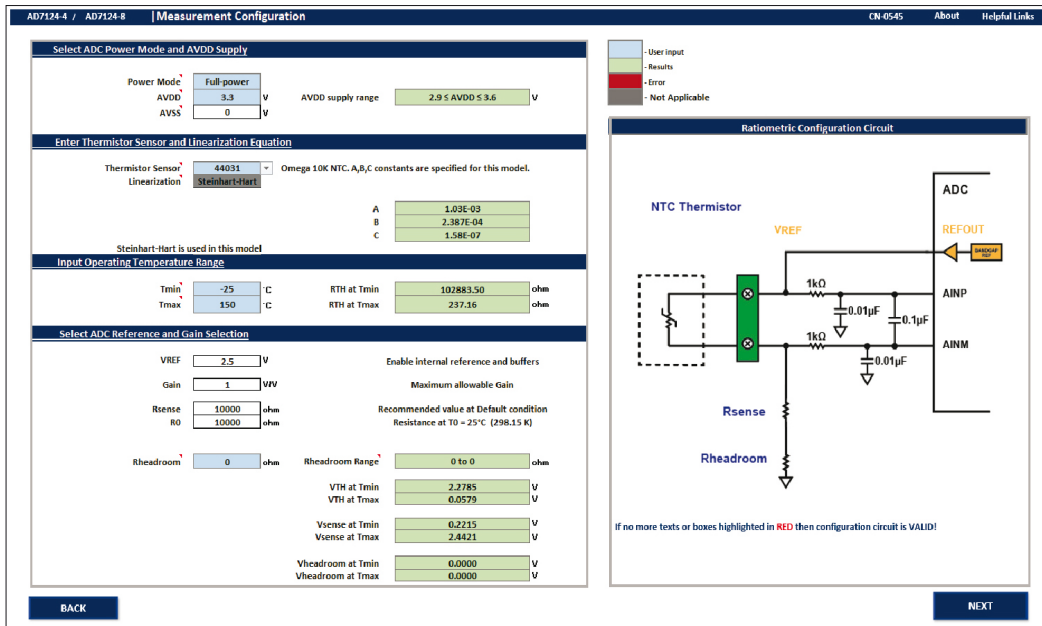
Sigma-Delta-ADCs verwenden einen digitalen Filter, und der Frequenzgang des digitalen Filters bietet eine Dämpfung von 0 dB bei der Abtastfrequenz und Vielfachen der Abtastfrequenz. Dies bedeutet, dass die Filterantwort um die Abtastfrequenzen herum reflektiert wird, sodass ein Antialiasing-Filter im analogen Bereich erforderlich ist. Da Sigma-Delta-ADCs von Natur aus das analoge Eingangssignal überabtasten, genügt ein einfaches RC-Filter.

In den meisten industriellen Anwendungen hat Robustheit oberste Priorität. Daher werden typischerweise große R- und C-Werte am Analogeingang verwendet. Beachten Sie jedoch, dass die Eingänge bei ungepuffertem Betrieb des Wandlers mit einer Verstärkung von 1 direkt auf den Abtastkondensator des Modulators blicken, sodass große RC-Werte zu Verstärkungsfehlern führen können, da der ADC nicht genügend Zeit hat, sich zwischen den Abtastzeitpunkten einzupendeln. Die Pufferung der Analogeingänge verhindert diese Fehler.

Auch Störungen durch das Stromnetz können die Messergebnisse beeinflussen. Daher ist die Unter-



**Bild 6: Mehrfach-Konfiguration am analogen Eingang**



**Bild 7: Ein Thermistor-Konfigurator**

drückung von 50 Hz/60 Hz eine der Systemanforderungen, wenn die Geräte über das Stromnetz versorgt werden.

Ein weiterer Vorteil eines Sigma-Delta-ADCs mit schmaler Bandbreite wie dem AD7124-4/AD7124-8 besteht darin, dass er flexible digitale Filteroptionen bietet, mit denen Kerben bei 50 Hz und/oder 60 Hz gesetzt werden können.

Der gewählte Filtertyp beeinflusst zusammen mit der programmierten Ausgangsdatenrate die Einschwingzeit und das Rauschverhalten. Das Gerät bietet außerdem verschiedene Stromversorgungsmodi, die es dem Benutzer ermöglichen, den ADC auf optimale Leistung, Geschwindigkeit oder Performance abzustimmen. Der Stromverbrauch oder die Zuweisung des Leistungsbudgets des Systems hängt stark von der Endanwendung ab. Wenn das System höhere Ausgangsdatenraten und ein besseres Rauschverhalten erfordert, kann das Gerät im Vollstrommodus konfiguriert werden. Ist ein begrenzter Stromverbrauch bei angemessener Geschwindigkeit und Leistung erforderlich, kann das Gerät im Mid- oder Low-Power-Modus betrieben werden.

Bei den meisten Anwendungen muss eine bestimmte Zeit eingehalten werden, um alle Messungen durchzuführen. Wenn mehrere Kanäle aktiviert sind, muss der Entwickler die Latenzzeit durch das digitale Filter berücksichtigen. Bei gemultiplex-

ten ADCs, wenn mehrere Kanäle aktiviert sind, ist bei jedem Kanalwechsel eine Einschwingzeit erforderlich; die Auswahl eines Filtertyps mit längerer Einschwingzeit verringert daher die Gesamtdurchsatzrate. In diesem Fall ist ein Post-Filter oder ein FIR-Filter sinnvoll, um eine vernünftige gleichzeitige 50-Hz/60-Hz-Unterdrückung bei geringerer Einschwingzeit zu erreichen.

Alle Filteroptionen und eine Teilmenge der ausgewählten Ausgangsdatenrate können mit dem Thermistor-Konfigurator und dem Fehlerbudget-Rechner getestet werden.

## Fehler-Budget-Berechnungen

Der Thermistor-Konfigurator und der Fehlerbudget-Rechner ermöglichen dem Benutzer, die Systemkonfiguration für eine optimale Leistung zu ändern. Der in Bild 9 dargestellte Fehlerbudget-Rechner hilft dem Entwickler, die mit dem ADC verbundenen Fehler und die Fehler der Systemkonfiguration mit und ohne interne oder Systemkalibrierungen zu verstehen. Das Diagramm zeigt an, welcher Teil des Systems am stärksten zum Gesamtfehler des Systems beiträgt. Wie zu sehen

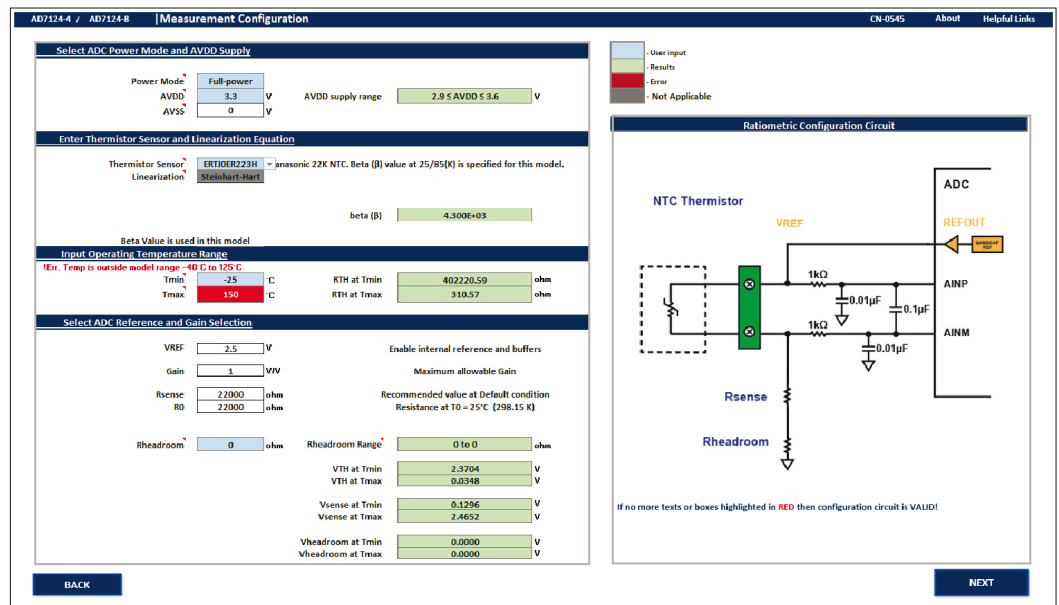
ist, trägt der Fehler des ADCs nicht wesentlich zum Gesamtfehler des Systems bei. Die externen Komponenten mit ihren Temperaturkoeffizienten oder Temperaturdrift-Spezifikationen sind in der Regel die Hauptfehlerverursacher, wenn sie über den gesamten Temperaturbereich arbeiten.

AD7124-4/AD7124-8 bieten verschiedene Kalibrierungsmodi, die zur weiteren Reduzierung von Messfehlern verwendet werden können. Eine interne Kalibrierung wird beim Einschalten oder bei der Software-Initialisierung empfohlen, um die Verstärkungs- und Offset-Fehler des ADCs bei Nenntemperatur zu beseitigen. Bitte beachten Sie, dass das Tool eine Verstärkungseinstellung von 1 verwendet.

Durch Systemkalibrierungen können externe Fehler entfernt werden. Kalibrierungen an verschiedenen Temperaturpunkten können auch die Driftleistung verbessern. Dies ist jedoch mit zusätzlichen Kosten und Aufwand verbunden und eignet sich möglicherweise nicht für alle Anwendungen.

## Fehlersuche

Für alle rauen Umgebungen oder für Anwendungen, bei denen die Sicherheit Priorität hat, werden Diagnosefunktionen immer wichtiger. Die eingebettete Diagnose im AD7124-4/AD7124-8 reduziert hierbei den Bedarf an externen Komponenten. Die Diagnostik umfasst:



**Bild 8: Eine unzulässige Bedingung**

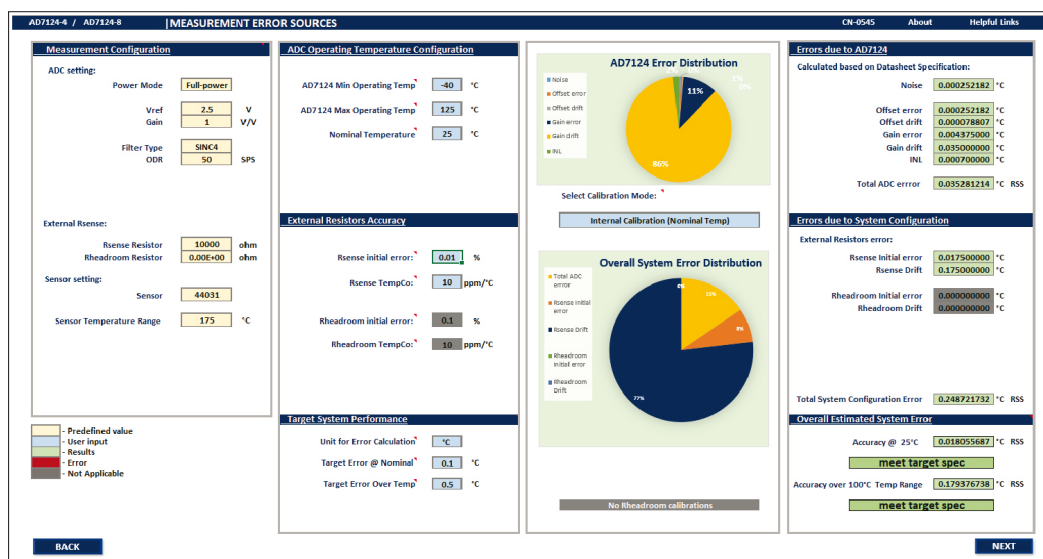


Bild 9: Thermistor-Fehlerbudget-Rechner

- Überprüfung des Spannungspiegels an den analogen Pins, um sicherzustellen, dass er innerhalb des spezifizierten Betriebsbereichs liegt
- Überprüfung der Referenzspannung
- zyklische Redundanzprüfung (CRC) auf dem seriellen peripheren Schnittstellenbus (SPI)
- CRC-Prüfung der Speicherkarte
- Überprüfung der Signalkette

## Bewertung des Thermistorsystems

Nach der Konzeption des Systemdesigns und dem Verständnis der erwarteten Systemleistung besteht der nächste Schritt für einen Entwickler darin, einen Prototyp zu erstellen und die Leistung des Designs zu validieren. CN-0545 ist ein Referenz-Design, das die Eva-

luierungsboards EVAL-AD7124-4/ EVAL-AD7124-8 und die zugehörige Evaluierungs-Software nutzt, um Messdaten für einen Thermistor mit einer Genauigkeit von 0,1 K zu liefern. Bild 10 zeigt Messergebnisse des CN-0545. Diese Messdaten wurden mit den Evaluierungsboards AD7124-4/AD7124-8 erfasst, die einen Thermistor-Modus enthalten, der den Thermistorwiderstand misst und das Äquivalent °C unter Verwendung der Steinhart-Hart-Konstanten des Sensors berechnet. Die Grafik zeigt die tatsächlichen Leistungsergebnisse. Wenn Sie sie mit dem Fehlerbudget-Rechner vergleichen, können die tatsächlichen Ergebnisse besser erscheinen als die vom Tool gelieferten Schätzungen. Dieser Unterschied ist darauf zurückzuführen, dass das Tool Maximal-

werte für alle Parameter verwendet und somit eine Worst-Case-Analyse der Schaltung liefert.

Die Bereitstellung solcher flexiblen, validierten Referenzschaltungen ist für Systementwickler wertvoll, da sie den Entwicklungszyklus verkürzt und gute Schaltungstechniken bietet. Zusammen mit der Hardware unterstützt die Software die verschiedenen Systemoptimierungs- und Kalibrierungstechniken für jeden Thermistorsensor, um die Anforderungen des Marktes zu erfüllen, der einfach zu bedienende, hochgenaue, präzise und zuverlässige Signalkettenlösungen benötigt.

## Schluss

Es wurde gezeigt, dass die Entwicklung eines thermistorbasier- ten Temperaturmesssystems ein

anspruchsvoller, mehrstufiger Prozess ist. Um den Systementwicklern den Weg zu erleichtern, können der Thermistor Configurator und der Error Budget Calculator zusammen mit Virtual Eval, der Hardware und Software des Evaluation Boards, der Mbed-Firmware und dem CN-0545 verwendet werden, um die verschiedenen Herausforderungen zu bewältigen und die Benutzer auf die nächste Stufe ihres Designs zu bringen.

Die Verwendung hoch integrierter Sigma-Delta-ADCs mit geringer Bandbreite reduziert den Entwicklungsaufwand weiter, da sie Anregung, Konditionierung und Messung des Sensors unterstützen und Probleme wie die 50-Hz/6-Hz-Unterdrückung beseitigen.

## Wer schreibt:

Jellenie Rodriguez ist Anwendungsingenieurin bei Analog Devices in der Precision Converter Technology Group. Ihr Schwerpunkt liegt auf Präzisions-Sigma-Delta-ADCs für DC-Messungen. Sie kam 2012 zu ADI und schloss 2011 das San Sebastian College-Recoletos de Cavite mit einem Bachelor-Abschluss in Elektroniktechnik ab.

Mary McCarthy ist eine Anwendungsingenieurin bei Analog Devices. Sie kam 1991 zu ADI und arbeitet in der Linear and Precision Technology Applications Group in Cork, Irland, mit Schwerpunkt auf Präzisions-Sigma-Delta-Wandlern. Mary McCarthy erwarb 1991 einen Bachelor-Abschluss in Elektronik und Elektrotechnik am University College Cork. ◀

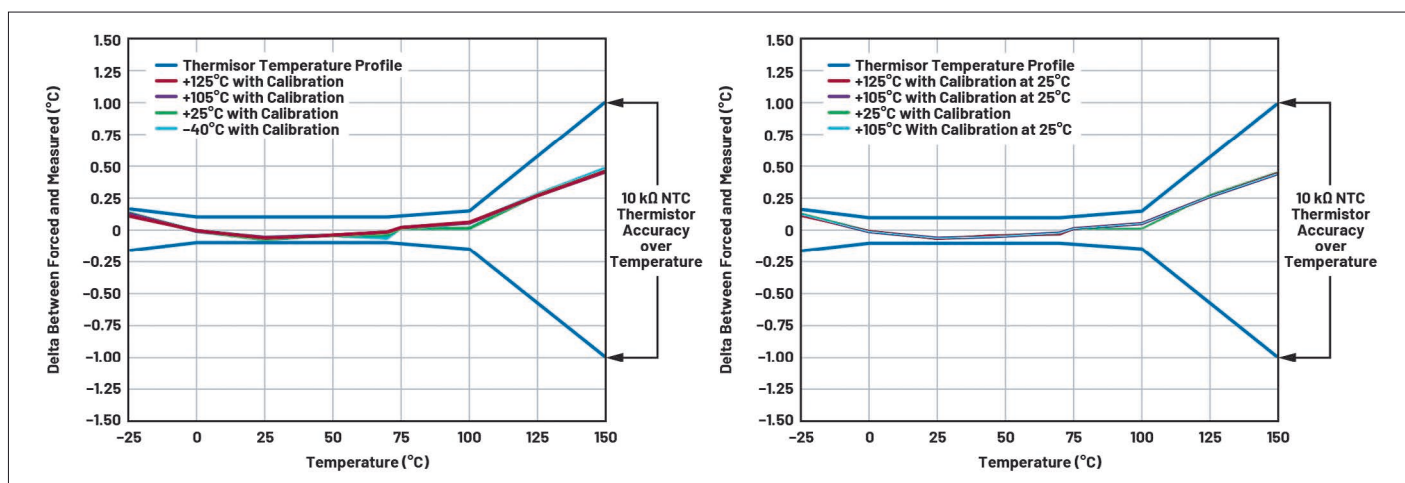


Bild 10: Messung der Temperaturgenauigkeit des Thermistors nach dem Filter, Modus mit geringer Leistung