



Bild 1: Das Entwerfen einer gesamten Signalkette hinsichtlich Präzision erfordert einiges an Erfahrung und Wissen

Spannungsreferenzen filtern aber ohne Genauigkeitsverlust

Exakte Digitalisierung

Soll eine Spannungsreferenz auch bei tiefen Frequenzen wenig rauschen, wird oft ein Tiefpass mit sehr tiefer Grenzfrequenz nachgeschaltet. Dabei kann die Genauigkeit der Referenz schnell leiden, denn auch kleine Details erreichen bei präzisen Bauteilen plötzlich ein relevantes Gewicht. Teil 1 der vierteiligen Serie behandelt den Isolationswiderstand eines Kondensators.

» Adrian Ruch, PI Electronics AG, Text und Bilder

Messen heisst vergleichen. Erfreulicherweise sind heute präzise Spannungsreferenzen mit angenehmen Drieteigenschaften erhältlich. Grundsätzlich erlauben diese die Realisierung von genauen Instrumenten, die keinen zusätzlichen Abgleich nach der Produktion oder später durch den Nutzer voraussetzen. Leider werden die hervorragenden Datenblattwerte

von Referenzen in der Praxis oft nicht erreicht, und dies noch ohne Berücksichtigung von elektromagnetischen Störern.

Teil 1 der vierteiligen Artikelserie über die exakte Digitalisierung greift ein Detail auf, welches eigentlich bekannt ist, aber in seiner Auswirkung wenig Beachtung findet: den Isolationswiderstand des Kondensators in

der Anwendung des Tiefpassfilters (rote Box in Bild 2). Häufig interessiert den Entwickler beim Tiefpass seine Wirkung im Stoppband, doch wie sieht es mit «Nebenwirkungen» im Passband aus?

Beispiel eines Messsystems

Für eine Messaufgabe ab DC wird ein System gefordert, welches bei 5V Vollausschlag eine absolute Genauigkeit von ± 300 ppm erreicht und auf kleinem Raum untergebracht werden kann. Um Kosten zu sparen, soll das Gerät nach der Fertigung ohne Abgleich diese Genauigkeit erreichen. Alle Schlüsselkomponenten werden sorgfältig ausgesucht und mit einem guten Layout – d.h. keine EMV-Probleme, Wärmegradienten, mechanische Belastungen usw. – in ein reales Produkt umgesetzt. Die erforderte Präzision wird – wie bei genauen Messgeräten üblich – dadurch erreicht, dass periodisch eine interne Kalibration ausgeführt wird (Umschalter in Bild 2).

Rauscharme Referenz

Die verwendete Referenz ist rauscharm und verlässt das Herstellerwerk mit einer initialen

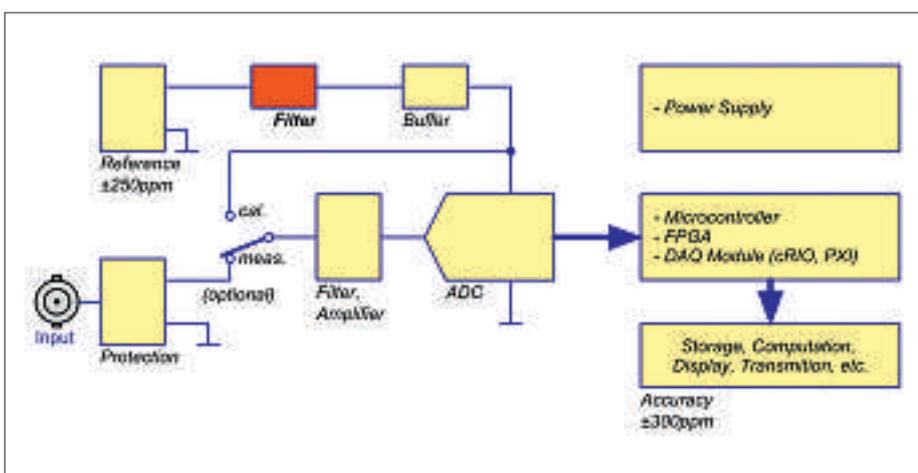


Bild 2: Typisches Messsystem, vom Kleinsensor bis zum komplexen System

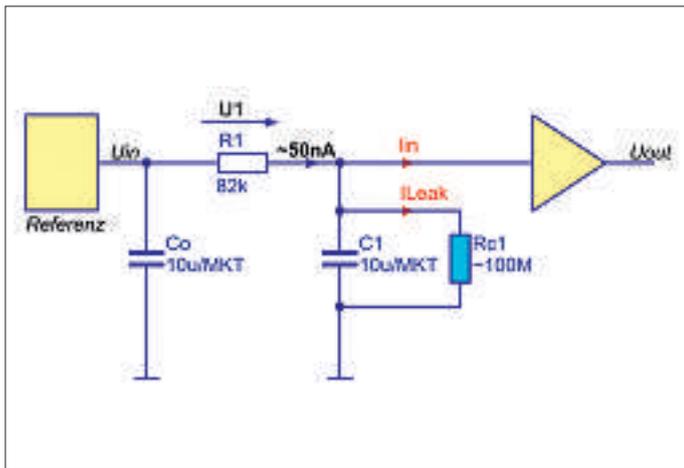


Bild 3: Referenz mit nachfolgendem Tiefpassfilter zur Rauschdämpfung um Faktor 5 bei 1 Hz

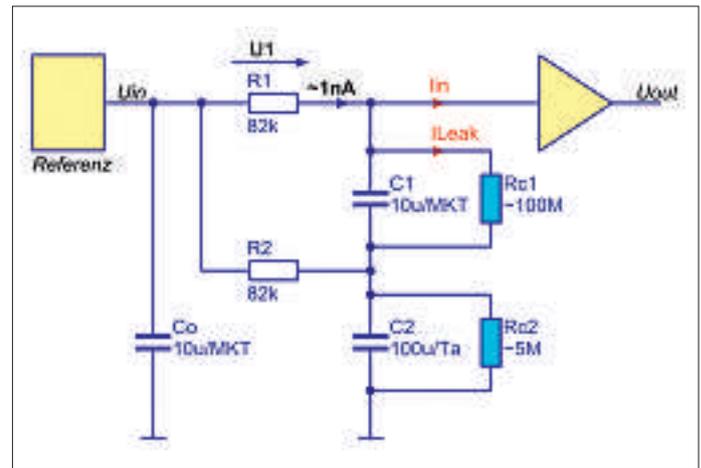


Bild 4: Referenz mit erweitertem Tiefpassfilter

Genauigkeit von ± 250 ppm. Um das 1/f- und thermische Rauschen weiter zu minimieren, folgt ein Tiefpassfilter am Ausgang der Referenz (R_1 , C_1 in Bild 3). Im Beispiel soll das Rauschen bei 1 Hz auf ca. 20 % gegenüber der unfilterten Spannung reduziert werden. Um diese Forderung zu erfüllen, muss die Grenzfrequenz bei 0,2 Hz liegen. Der Tiefpass wird – wie bei Low-Noise-Anwendungen üblich – mit einem Folienkondensator realisiert. Dieser hat den Vorteil, dass gegenüber keramischen Kondensatoren (MLCC) kein «Mikrofoneneffekt» auftritt.

Diese angenehme Eigenschaft von Folienkondensatoren wird leider zu selten in Applikationsschriften erwähnt [1]. Um eine vernünftige Baugrösse zu erreichen, wird $10 \mu\text{F}/50 \text{V}$ mit metallisiertem Polyester als Dielektrikum gewählt. Für die gewählte Grenzfrequenz ergibt sich daraus ein Serienwiderstand von $82 \text{k}\Omega$. Da in dieser Applikation nur ein geringer Strom durch den Widerstand fliesst, reicht ein Standardtyp anstelle eines rauscharmen Widerstands aus.

Rauschabstand gewonnen, Präzision verloren

Das Rauschen der gefilterten Referenz liegt nun wie erwünscht unterhalb einigen LSBs (Least Significant Bits) vom Messsystem. Soweit so gut. Jedoch führt der Spannungsabfall über dem Serienwiderstand des Tiefpassfilters zu einem Verlust der Referenzgenauigkeit. Denn das Filter «sieht» zwei Lastströme: den Eingangsstrom I_{in} des folgenden Buffers, und den Leckstrom I_{Leak} des Filterkondensators (Bild 3). Ersterer reduziert die Präzision nicht, wenn man einen Buffer mit kleinem Eingangsstrom (z. B. $I_{\text{in}} = 100 \text{pA}$) einsetzt. Die Referenzspannung würde um $8,2 \mu\text{V}$ ($-1,6 \text{ppm}$) reduziert, was weit unterhalb der initialen

Genauigkeit der Referenz liegt. Als Offsetspannung des Buffers nimmt man $\pm 75 \mu\text{V}$ an, was mit $\pm 15 \text{ppm}$ Abweichung noch akzeptabel ist.

Anders stellt sich die Situation beim Filterkondensator dar: Gemäss Herstellerdatenblatt liegt der Isolationswiderstand R_{Ci} (Bild 3) für den gewählten Kondensator C_1 bei $100 \text{M}\Omega$ – oft spezifiziert bei 20 oder 25 °C nach der Behandlung mit dem «damp heat, steady-state»-Test [2]. Der Spannungsabfall U_1 über dem Serienwiderstand R_1 – hervorgerufen durch I_{Leak} – beträgt nun $4,1 \text{mV}$ oder -820ppm , was die Genauigkeit der Referenz unnötig verringert. Ausserdem ist der Isolationswiderstand in hohem Masse von Temperatur, Feuchte und Druck abhängig.

Alles auf einen Schlag

Ein möglicher Ausweg bildet die Suche nach einem Kondensator mit tieferem Leckstrom. Setzt man auf ein Dielektrikum wie Polypropylen, kann sich der Leckstrom um bis zu Faktor 30 senken. Jedoch wird der Kondensator viel grösser ausfallen. In vielen Anwendungen ist aber die grössere Bauform aus Platzmangel nicht einsetzbar.

Die Lösung liegt darin, die Gleichspannung über dem Filterkondensator C_1 tief zu halten [3]. Dadurch fliesst weniger Strom (I_{Leak}) durch seinen Isolationswiderstand R_{Ci} . Um dies zu erreichen sind lediglich je ein Widerstand R_2

und ein Kondensator C_2 notwendig (Bild 4). Der Leckstrom von C_2 spielt dabei keine wesentliche Rolle, jedoch muss die Grenzfrequenz von R_2 , C_2 deutlich tiefer liegen als die von R_1 , C_1 . Für C_2 wird daher ein Tantalkondensator mit hoher Kapazität bei gleichzeitig kleiner Bauform eingesetzt.

Folgende Betrachtung des erweiterten Tiefpassfilters zeigt, dass die Präzision erhalten bleibt: Man wählt für R_2 ebenfalls $82 \text{k}\Omega$ und für C_2 $100 \mu\text{F}$ ($R_{\text{iso}} > 5 \text{M}\Omega$). Daraus ergibt sich eine Spannung über R_{Ci} von 81mV (anstelle von 5V), d. h. der Leckstrom durch R_{Ci} beträgt insgesamt noch 806pA und der Spannungsabfall U_1 reduziert sich auf $66 \mu\text{V}$ (-13ppm). Die initiale Genauigkeit von $\pm 250 \text{ppm}$ leidet nur unwesentlich. Diese Überlegungen gelten sofern der Ausgangswiderstand der Referenz viel kleiner ist als R_1 oder R_2 .

Hohe Präzision beginnt im Detail

Das Entwerfen einer gesamten Signalkette hinsichtlich Präzision erfordert einiges an Erfahrung und Wissen. Die hier vorgestellte Methode beschreibt ein Detail der Signalkette, mit dem Ziel, die Datenblattwerte zu erreichen. In Teil 2 der Serie werden weitere Massnahmen vorgestellt, die notwendig sind, um Präzision zu erreichen. <<

Quellen

[1] TDK; Singing Capacitors (Piezoelectric Effect); December, 2006

[2] TDK; Film Capacitors: General technical information; May, 2009

[3] intersil; Application Note 177; June, 2003

Infoservice

PI Electronics AG
Segelhof 1, 5405 Baden-Dättwil
Tel. 056 486 70 11
info@pie.ch, www.pie.ch