

Referenzfilter verbessert den SNR eines 32-Bit-A/D-Wandlers um 6 dB

Design Note 568

Guy Hoover

Einführung

Wenn ein A/D-Wandler (ADC) ein optimales Signal-Rauschverhältnis (SNR) erzielen soll, ist es nicht damit getan, dem Baustein ein möglichst rauscharmes Eingangssignal zuzuführen. Von gleicher Bedeutung ist es, eine rauscharme Referenzspannung zur Verfügung zu stellen. Während das Referenzrauschen bei einem Signal von null keine Auswirkungen hat, kommt es beim Skalenendwert im Ausgangscode sehr wohl zum Tragen. Aus diesem Grund ist der (am Nullpunkt gemessene) Dynamikbereich eines ADC normalerweise um mehrere Dezibel besser als der Signal-Rauschabstand, der stattdessen am Endwert oder in dessen Nähe gemessen wird. Besonders wichtig ist die Bereitstellung einer rauscharmen Referenzspannung in Oversampling-Anwendungen, in denen der SNR des ADC mehr als 140 dB betragen kann. Um einen SNR dieser Größenordnung zu erreichen, benötigen selbst die besten rauscharmen Referenzquellen ein wenig Hilfestellung, um ihr Rauschniveau zu senken. Zum Reduzieren des Referenzrauschens stehen verschiedene Alternativen zur Wahl. Keine gute Möglichkeit ist es, die Größe des Bypass-Kondensators zu erhöhen oder einen einfachen RC-Tiefpass am Referenzanschluss zu verwenden. Ein großer Bypass-Kondensator am Referenzanschluss allein kann nicht für eine genügend niedrige Cutoff-Frequenz sorgen, um wirklich effektiv zu sein. Ein passives RC-Filter ist zwar in der Lage, eine hinreichend geringe Cutoff-Frequenz zu bewirken, produziert aber eine Ausgangsspannung, die mit der Abtastfrequenz und der Temperatur schwankt. Ein effektive Alternative stellt das Parallelschalten mehrerer rauscharmer Referenzen dar. Diese Variante ist aber teuer und geht mit einer hohen Stromaufnahme einher.

Das hier vorgestellte Referenzfilter dagegen erzeugt eine rauscharme Referenzspannung, ohne dass die Genauigkeit oder der Temperaturkoeffizient der Referenz signifikant beeinträchtigt werden. Auch die Stromaufnahme und die Kosten dieser Lösung halten sich im Rahmen.

Schaltungsbeschreibung

Als ADC kommt in diesem Beispiel der [LTC2508-32](#) (U1) zum Einsatz. Dieser rauscharme und stromsparende 32bit-SAR-ADC besitzt ein digitales Tiefpassfilter, an dem durch äußere Beschaltung vier Downsampling-Faktoren (DF) zwischen 256 und 16384 eingestellt werden können. Damit die Leistungsfähigkeit des LTC2508-32A uneingeschränkt ausgeschöpft werden kann, wird eine rauscharme Referenz mit geringer Temperaturdrift benötigt.

Im vorliegenden Fall dient als Referenz der Baustein LTC6655-5 (U2). Seine kennzeichnenden Merkmale sind die hohe Genauigkeit von $\pm 0,025\%$ (max.), das außergewöhnlich geringe Rauschen von 0,67 ppm RMS (typ.) und die geringe Drift von 2 ppm/°C (max.). Trotz seines außerordentlich geringen Rauschens beeinträchtigt der LTC6655-5 jedoch die SNR-Eigenschaften des LTC2508-32.

Bei U3 handelt es sich um einen Zero-Drift-Operationsverstärker des Typs LTC2057 mit unterdrücktem 1/f-Rauschen. Dieser weist einen Eingangs-Bias-Strom (I_b) von weniger als 200 pA auf, sowie eine maximale Offsetspannung von 4 μ V und einen maximalen Offsetspannungs-Temperaturkoeffizienten von 0,015 μ V/°C. Der letztere Wert liegt damit deutlich unter dem

LT, LTC, LTM, Linear Technology and the Linear logo are registered trademarks of Analog Devices, Inc. All other trademarks are the property of their respective owners.

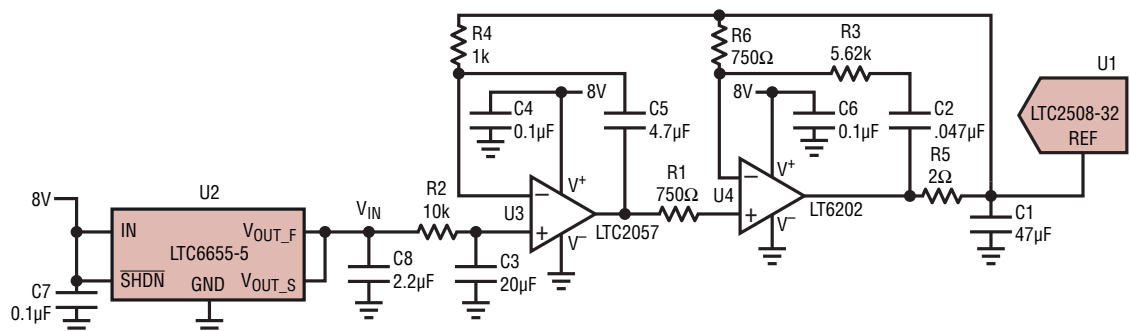


Tabelle 1: SNR-Vergleich des LTC2508-32 bei Ansteuerung des REF-Pins direkt durch den LTC6655-5 bzw. mithilfe der Filterschaltung aus Bild 1

DF	DR (dB) Zero-Scale LTC6655-5	SNR (dB) Full-Scale LTC6655-5	SNR (dB) Full-Scale Filtered LTC6655-5	Delta in SNR (dB) Between LTC6655-5 and Filtered LTC6655-5 at Full-Scale
256	131.4	123.6	129.3	5.7
1024	137.1	129.7	135.8	6.1
4096	142.9	135.2	140.7	5.5
16384	148.0	140.7	145.2	4.5

Temperaturkoeffizienten des LTC6655-5 von $2 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C} = 10 \text{ } \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$.

Der Baustein U4 schließlich ist ein Operationsverstärker des Typs LT6202 mit geringem Rauschen und kurzer Einschwingzeit, der zusätzlich die hohe Kurzschlussstrom-Festigkeit mitbringt, die zum Treiben des am REF-Pin des LTC2508-32 notwendigen Bypass-Kondensators von $47 \text{ } \mu\text{F}$ erforderlich ist.

Die in Bild 1 gezeigte Schaltung filtert den Ausgang der Referenz U2 mithilfe von R2 und C3, die ein $0,8\text{-Hz}$ -Filter bilden. Für C3 sollte ein Folienkondensator gewählt werden, denn Tantal- und Elektrolytkondensatoren weisen hohe Leckströme auf, die zu einem Offset an R2 führen würden. Bei Keramik-Kondensatoren wiederum kann es zu Mikrofoneffekten kommen, als deren Folge bei niedrigen Frequenzen ein erhöhtes Rauschen entstünde. Der gefilterte Ausgang wird durch den hochohmigen Eingang von U3 gepuffert. Wegen des nur maximal 200 pA betragenden IB-Werts von U3 entsteht an R2 ein Spannungsabfall von höchstens $2 \text{ } \mu\text{V}$. Zusammen mit der Offsetspannung des LTC2057 erzeugt dies einen maximalen Fehler von $6 \text{ } \mu\text{V}$, der verglichen mit der maximalen Anfangsgenauigkeit des LTC6655-5 von $0,025 \%$ ($1,25 \text{ mV}$) als relativ unbedeutend einzustufen ist. U3 und U4 ergeben einen Verbundverstärker, der den geringen Offset, den niedrigen Offset-Temperaturkoeffizienten und das unterdrückte $1/f$ -Rauschen des LTC2057 aufweist und gleichzeitig die kurze Einschwingzeit des LT6202 mitbringt. Der REF-Pin von U1 zieht Ladung aus C1, die sich mit der Abtastrate und dem Ausgangscode verändert. U4 muss diese Ladung wieder auffüllen, damit die Spannung am REF-Anschluss gleichbleibt. R5 isoliert U4 von C1, um die Einschwingzeit am REF-Pin zu verkürzen. Mechanisch größere Keramik-Kondensatoren mit höheren Spannungs- und Temperaturwerten besitzen niedrigere Spannungs- und Temperaturkoeffizienten und bieten eine höhere effektive Kapazität. Aus diesem Grund sollte für C1 ein X7R-Kondensator im Format 1210 mit einer Nennspannung von 10 V gewählt werden.

Die Leistungsfähigkeit der Schaltung

Wie aus Tabelle 1 zu entnehmen ist, weist der nahezu das theoretisch zu erwartende Verhalten auf, mit einer Zunahme des Dynamikbereichs um nahezu 6 dB für jede Vervierfachung des Downsampling-Faktors, wenn die ADC-Eingänge verbunden sind und der REF-Anschluss direkt vom LTC6655-5 getrieben wird. Noch etwas geht aus Tabelle 1 hervor: Wenn der ADC fast mit dem Endwert angesteuert wird, ist der SNR um ganze $7,8 \text{ dB}$ geringer ist als der Dynamikbereich, wenn der REF-Pin des

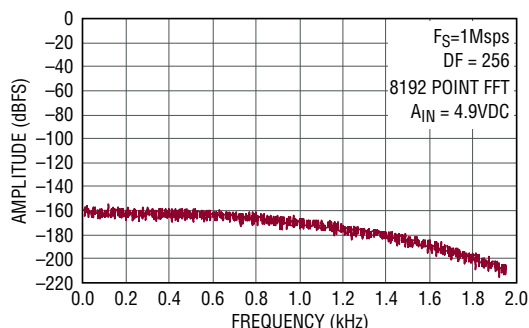


Bild 2: Im Grundrauschen des LTC2508-32 nahe dem Endwert sind keine Störtöne erkennbar, wenn die Schaltung aus Bild 1 zum Ansteuern des REF-Pins benutzt wird.

ADC direkt vom LTC6655-5 angesteuert wird. Dies liegt am Rauschen der Referenz. Wird dagegen die Schaltung aus Bild 1 zum Ansteuern des REF-Pins des LTC2508-32 verwendet, ergibt sich, wie der Tabelle zu entnehmen ist, eine Verbesserung des SNR um bis zu $6,1 \text{ dB}$.

Bei chopperstabilisierten Operationsverstärkern wie dem LTC2057 treten oftmals Töne auf, die bei der Chopperfrequenz und ihren ungeradzahigen Harmonischen liegen. Der LTC2057 enthält spezielle Schaltungen, die diese Artefakte deutlich unter die Offsetspannung drücken. Zusammen mit dem integrierten Filter des ADC bewirken diese Schaltungen, dass sämtliche sichtbaren Töne aus der Chopperfrequenz des Operationsverstärkers beseitigt werden, wie das Diagramm des Grundrauschens in Bild 2 zeigt. Bild 2 gibt den Durchschnitt aus fünf Datenerfassungen wieder, um eine geglättete Darstellung zu erhalten und selbst kleinste Anzeichen etwaiger störender Töne deutlich sichtbar zu machen.

Fazit

Die hier demonstrierte Filterschaltung reduziert das Referenzausgangs-Rauschen, ohne dass Abstriche an der Genauigkeit oder dem Temperaturkoeffizienten gemacht werden müssen, sowie mit einer sehr mäßigen Zunahme der Stromaufnahme und der Kosten. Beim Anschluss des Ausgangs dieser Schaltung an den Referenz-Anschluss des rauscharmen 32-bit -A/D-Wandlers verbesserte sich der SNR gegenüber der direkten Ansteuerung des ADC durch die Referenz um bis zu $6,1 \text{ dB}$, und dies über einen großen Bereich von Downsampling-Faktoren hinweg.

Data Sheet Download

www.linear.com/LTC2508-32

Bei technischen Fragen,
Telefon +49 89 96 24 55 0