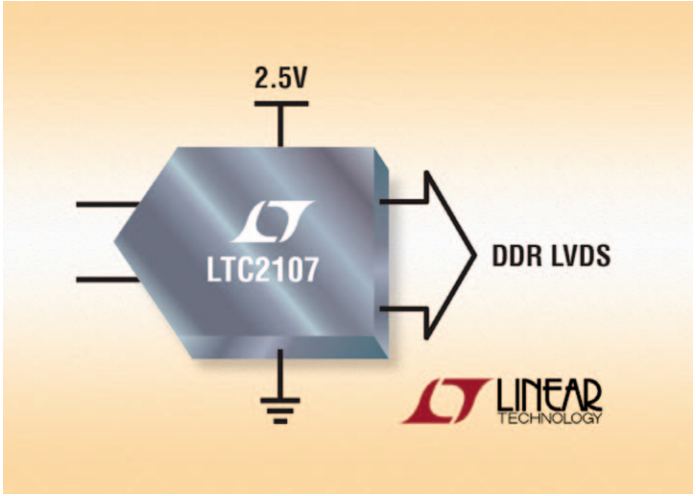
Differentieller Diplexer löst Probleme beim Betrieb direkt abtastender A/D-Wandler

Analog/Digital-Wandler (ADCs) mit einer direkt abtastenden Pipeline produzieren eine Vielzahl unterschiedlicher Mischprodukte, ganz so wie passive Mischer.

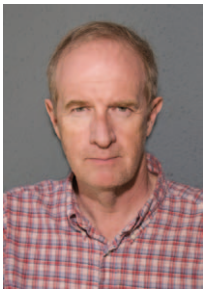


Bei schnellen ADCs sind dies Summen- und Differenzprodukte, die über GHz-Frequenzen hinausgehen, als Ergebnis von Überschwingern und Spannungsspitzen. Sie werden durch die abrupte Verbindung der Abtastkondensatoren erzeugt, sobald der ADC die Abtastung fortsetzt. Zusätzlich dürfen Störungen, die unmittelbar vor dem Abtasten in das Eingangsnetzwerk geleitet werden, beim Abtastvorgang nicht zurückgeführt werden. Je höher die Abtastgeschwindigkeit und je höher das Auflösungsvermögen dieser ADCs, umso deutlicher werden die Auswirkungen einer schlechten Kontrolle dieser Kommutierungsprodukte, nachfolgend als „diese Produkte" bezeichnet.

Einfache Summen- und Differenzprodukte würden auf die Frequenzen, bei denen sie im Basisband auftreten, zurückgefaltet und weitgehend wegfallen, wenn die Verstärkungsfehler gering sind. Es gibt jedoch auch unvermeidbare nicht-lineare Produkte, die diese einfachen Mischprodukte begleiten und die, solange sie nicht gedämpft oder absorbiert werden, zu Störungen führen. Dabei ist auch eine Zeitkomponente involviert, sodass auch die Entfernung und das Einschwingen eine Rolle spielen müssen.

HF-Ingenieure, die mit der Aufgabe konfrontiert sind, ähnliche Produkte im Fall eines passiven Mischers zu kontrollieren, werden die Notwendigkeit für ein Absorbtionsnetzwerk im RF- und IF-Pfad, wenn nicht sogar im LO-Pfad sehen. Sie werden jedoch vielleicht häufig nicht sofort erkennen, dass sie bei einem ADC den gleichen Problemen gegenüberstehen. Haben sie diese Ähnlichkeit aber einmal erkannt, dann ist ein erfahrener HF-Ingenieur besser vorbereitet, mit diesen Problemen umzugehen.

Der LTC2107, ein 16-Bit-ADC mit 210 MS/s Abtastrate und 80 dB Signal-Rauschabstand (SNR), ist ein Paradebeispiel dafür, dass das Stehwellenverhältnis (VSWR) des analogen Eingangspfads sehr gut bis hinauf zu GHz-Frequenzen sein muss – dem Frequenzbereich, in dem diese Mischprodukte eventuell signifikant gedämpft werden. Dieser Punkt wird häufig nicht erkannt, da der Frequenzbereich in modernen, schnellen ADCs oft bis über 5 GHz ausgeweitet ist. Diese Produkte, Abbilder des Eingangssignals gespiegelt an jeder Harmonischen des Takts, werden unter 2 GHz noch gar nicht gedämpft. Das hohe SNR des LTC2107 ist insofern ein zweischneidiges Schwert, da die größeren Abtastkondensatoren die Leistung dieser Misch-



Derek Redmayne
Staff Scientist
Mixed Signal Products
Linear Technology Corporation
www.linear.com

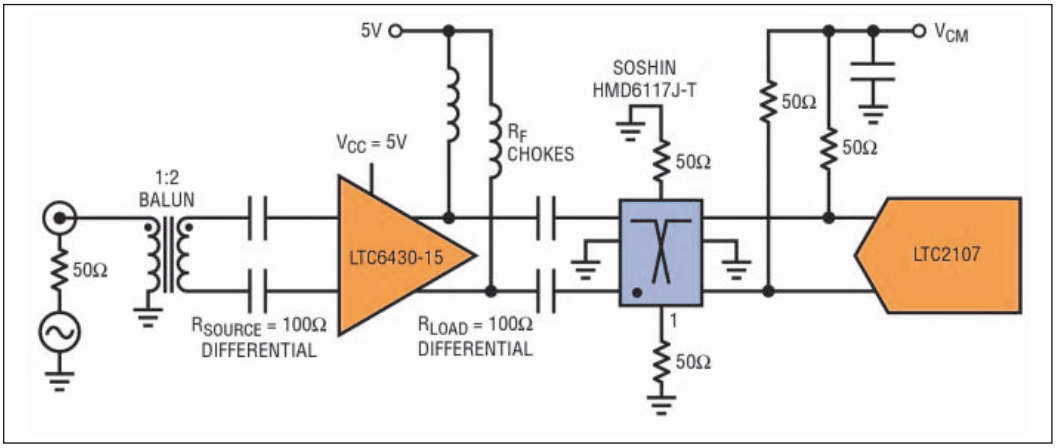


Bild 1: Zweifach abgeschlossener Treiber für Frequenzen von 20 MHz bis 400 MHz

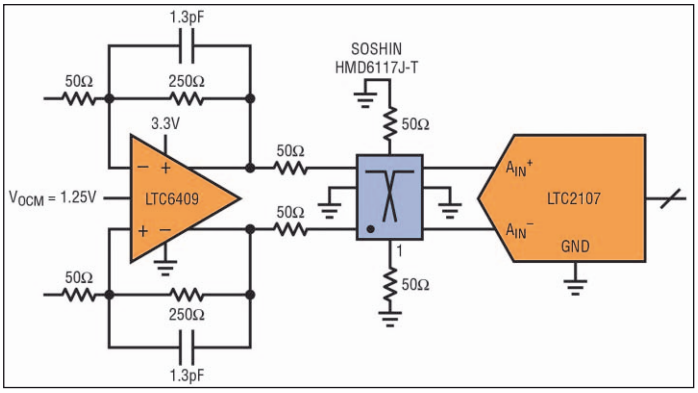


Bild 2: Quell-abgeschlossener DC-gekoppelter Treiber für den Einsatz bis zu 100 MHz

produkte erhöhen und damit die Möglichkeit verbessern, die Auswirkungen von Reflexionen, die von Impedanzunterschieden herrühren, aufzulösen.

Absorptive Filter haben bewiesen, dass sie gute Ergebnisse bei solchen ADCs liefern, sie sind aber sowohl bezüglich der Komplexität des Layouts als auch der Kosten abschreckend. Die Komponentenanzahl eines absorptiven Bandpassfilters beträgt mindestens das zwei- bis dreifache eines reflektiven Bandpasses der gleichen Ordnung.

Für Anwendungen mit geringerer Frequenz kann man einen schnellen Rückkoppelverstärker einsetzen, wie z.B. den differentiellen Verstärker/ADC-Treiber LTC6409 von Linear Technology mit Quellabschluss (source terminated) aber mit einem differenziellen Diplexer aus diskreten Elementen, um die Absorption bei hohen Frequenzen auszuführen. Ein einfacher Reihenabschluss dieser Quelle reicht nicht aus, um eine gute Rückflussdämpfung (S22) über einer bestimmten Frequenz zu erzielen, wenn die Ausgangsimpedanz des Verstärkers ansteigt.

Bei GHz-Frequenzen kann die Rückflussdämpfung eines absorptiven LC-Filters, Bandpasses oder Tiefpassfilters eine Herausforderung für den Designer sein, und zwar wegen der durch die Eigenresonanzfrequenz der Spulen, die Induktivität der Kondensatoren, die Effekte kurzer Übertragungsleitungssegmente zwischen den Bauelementen und die parasitäre Kapazität der Anschlussflächen unter den Elementen hervorgerufenen Einschränkungen.

Ein differenzieller LTCC-Diplexer (low temperature co-fired ceramic) von Soshin Electric, in Japan für Linear Technology entwickelt, löst viele der erwähnten Probleme, indem er eine einfache, kompakte Art und Weise bietet, die Kompromisse unterschiedlicher Eingangsnetzwerke zu lösen.

Der differenzielle HF/ZF-Verstärker/ADC-Treiber mit hoher Linearität, LTC6430 von Linear Technology, ist dafür ein Paradebeispiel. Er ist ein differenzieller Breitbandverstärkerblock, abgeglichen auf 50 Ohm (differenziell 100 Ohm). Über 500 MHz ist seine Rückflussdämpfung jedoch nicht mehr gut genug für die Belange des LTC2107. Bei 1 GHz liegt die Rückflussdämpfung bei rund 10 dB, wohingegen der ADC eine Rückflussdämpfung von besser 20 dB benötigt, um einen guten störungsfreien Dynamikbereich (SFDR) zu erzielen. Eine Rückflussdämpfung von 10 dB bei 1 GHz und darüber kann über 20 dB Verlust an SFDR produzieren.

Der HMD6117J-T von Soshin handhabt die Mischprodukte über 400 MHz bis 500 MHz und zeigt für den ADC bis zu 3 GHz und darüber einen absorptiven Charakter. Im Prozess verteilt er die Mischprodukte höherer Frequenzen auf ein Paar von Abschlusswiderständen, die an den Hochpass-Ports platziert

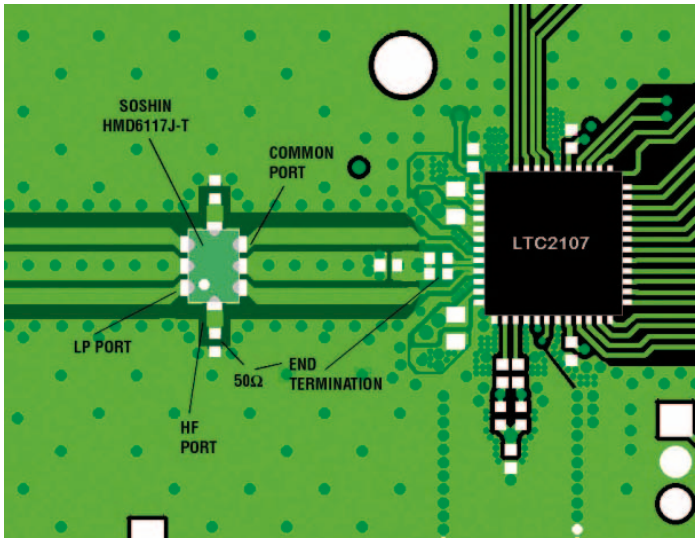


Bild 3: Beispiel-Layout für eine Schaltung mit dem HMD6117J-T und LTC2107, die Darstellung ist nicht maßstäblich

sind. Dabei reduziert er auch die hochfrequenten Störungen, die vom Verstärker erkannt werden.

Zusammen mit dem LTC6430, wie Bild 1 zeigt, ergibt dies eine kompakte und preisgünstige Treiberlösung für Frequenzen von über 200 MHz bis zu 400 MHz. Das Anti-Aliasing-Filtern sollte in Anwendungen in der Frequenzdomäne vor dem Verstärker durchgeführt werden.

In Verbindung mit dem LTC6409, ergibt dies, wie in Bild 2 zu sehen, eine vollständige Lösung für Applikationen von DC bis 100 MHz. Für Anwendungen in der Zeitdomäne, in denen die spektrale Leistungsverteilung besonders flach ist, ohne Risiko von starken Störern knapp über 100 MHz, kann diese Topologie bis zu 200 MHz oder darüber eingesetzt werden, wenn die Leistungsverteilung mit der Frequenz gedämpft wird. Der Diplexer kann auf ähnliche Weise mit dem LTC6417, einem differentiellen Buffer mit Verstärkung 1 und möglicherweise noch mit weiteren rückgekoppelten Verstärkern, verwendet werden.

Bei Anwendungen, die so viel Signal-Rauschabstand (SNR) wie möglich erfordern, kann der HMD6117J-T auch nach einem absorptiven Bandpassfilter eingesetzt werden, um die

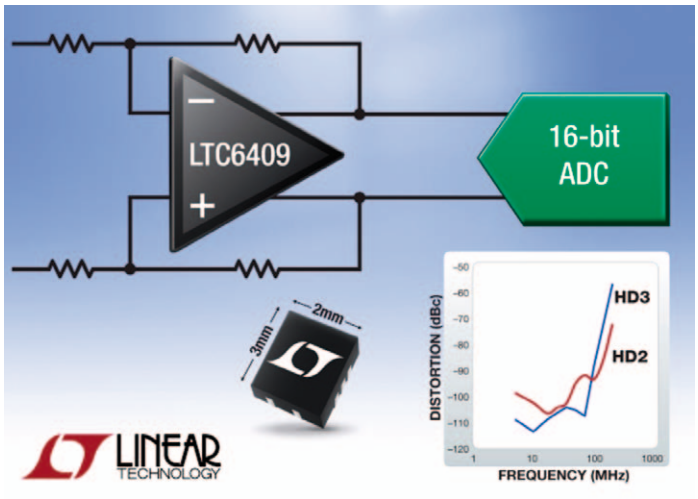


Bild 4: Differentieller Verstärker/ADC-Treiber LTC6409 von Linear Technology

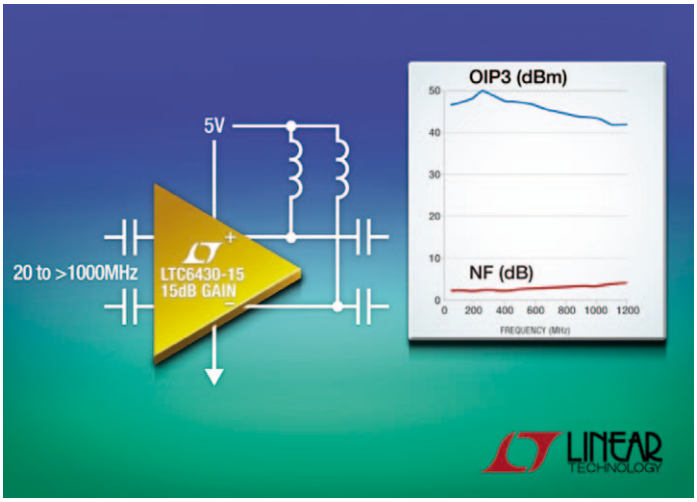


Bild 5: LTC6430: Ein differenzieller Breitbandverstärkerblock hoher Linearität

Rückflussdämpfung bei hohen Frequenzen zu verbessern, was das Filtern vereinfacht und das Layout weniger kritisch macht. Dadurch wird wiederum die Auswahl der Induktivitäten vereinfacht und die Anzahl der benötigten, qualitativ hochwertigen HF-Abschlusswiderstände reduziert.

Der Diplexer kann auch nach einer Symmetrieschaltung in der Übertragungsleitung (transmission line balun) benutzt werden, um das Verhalten des Eingangsnetzwerks bei hohen Frequenzen zu verbessern und auch die Rauschbandbreite eines HF-Verstärkungsblocks zu reduzieren. Der LTC2107 und eine Reihe von weiteren direkt abtastenden ADCs arbeiten nicht sonderlich gut, wenn sie in nächster Nachbarschaft mit einem Leitungsübertrager betrieben werden.

Wenn dieser Transformator mehr als 15 cm (6 Zoll) vom LTC2107 entfernt platziert ist, kann die Leistung akzeptabel sein, aber der dafür benötigte Platzbedarf ist nur äußerst selten zu akzeptieren. Die negativen Auswirkungen von vielen Leitungstrafos sind teilweise zurückzuführen auf die Asymmetrie in der Guanella-Symmetrierschaltung (Guanella balun), unterschiedlichen Leitungslängen, Zeitverzögerungen zwischen den Leitungen des verdrillten Leitungspaares, das durch den binokularen Kern läuft und unerwünschtes Koppeln zwischen aufeinander folgenden Durchgängen durch den Kern, was rücklaufende Reflexionen produziert und auch Asymmetrie in den zurücklaufenden Mischprodukten. Gleichtakt-Spannungsspitzen, die durch asymmetrische Rückläufe hervorgerufen werden, verschlechtern den SFDR. Der Diplexer verdeckt diese Asymmetrie und ermöglicht damit den Einsatz eines unsymmetrischen absorptiven Filters oder eines unsymmetrischen Treiberverstärkers vor einer Symmetrieschaltung (balun) näher am ADC.

Größerer Freiheitsgrad

Der Diplexer kann einen größeren Freiheitsgrad bieten, flussgekoppelte (flux-coupled) Trafos einzusetzen, die einen schlechten Impedanzabgleich über 400 MHz aufweisen. Trafos mit einem erweiterten Übertragungsbereich bei kleinen Frequenzen haben häufig eine zu große Kapazität zwischen den Windungen, um gut mit schnellen ADCs zu arbeiten. Andere Dünnfilm-Symmetrierschaltungen (balun), die kein gutes Verhalten bei hohen Abtastraten zeigen, können mit dem Diplexer unterstützt werden. Man beachte aber, dass der Diplexer nicht als Balun agiert. Die Treibersignale müssen im Bandpass in der Amplitude und der Phase abgeglichen und auch im Bereich unter 500 MHz zumindest nominal absorptiv sein.

Der Einsatz dieses Diplexers ist empfehlenswert, wenn die Treibersignale für den ADC auf der Unterseite der Leiterplatte entstehen, wo er die Komplexität der Übertragungsstrecke durch die Vias vermeidet. Das Erzeugen einer 50-Ohm-Übertragungsstrecke durch eine Durchkontaktierung erfordert eine große Aussparung (relief) um die Durchkontaktierung und auch eine signifikante Ansammlung von Durchkontaktierungen, die die Fläche zur Leitung des Massestroms bilden. Die internen Lagen benötigen keine Lötaugen an jeder Kupferlage und sollten auf der obersten Lage auch nur einen minimalen Lötring haben. Auf alle Fälle generiert die abrupte Richtungsänderung ein Paar an Impedanzunstetigkeiten, die in einer dicken Leiterplatte nicht nahe genug aneinander liegen, um sich gegenseitig aufzuheben. Alle diese Leiterbahnen zwischen dem Treiber und dem A/D-Wandler sollten eine „kontrollierte Impedanz“ von 50 Ohm haben. Die 50-Ohm-Abschlüsse können in einiger Entfernung von den Leiterbahnen angeordnet sein, wenn dies gut kontrollierte 50-Ohm-Leitungen sind. Eine schlechte Impedanzanpassung erfordert, dass sie nahe am Diplexer sein müssen.

Das an den Hochpass-Eingängen erforderliche 50-Ohm-Widerstandspaar sollte mit auf 1% getrimmten Hochfrequenzwiderständen, oder Abschlüssen aufgebaut sein und nicht mit z.B. auf 0,1% getrimmten Präzisionswiderständen, da diese ungeeignet bei hohen Frequenzen sein können. Der Diplexer misst 3,2 mm x 2,5 mm.

Zusammenfassung

Das Ausschöpfen der vollen Leistung schneller, direkt abtastender A/D-Wandler erfordert Sorgfalt bei der Signalintegrität an allen Ports, die in den Bauteilen involviert sind, und das heißt grundsätzlich alle Pins. Der Analogeingang ist dabei der anspruchsvollste, unmittelbar gefolgt vom Takt. Der von Soshin Electric und Linear Technology gemeinsam entwickelte differentielle LTCC-Diplexer löst die Probleme mit Reflexionen in den analogen Eingangspfaden vollständig, sei es, dass sie von Impedanzunterschieden schlecht abgeglichener Leiterbahnimpedanz, dem Wechseln von Leiterplattenlagen, Steckverbindern, der nicht optimalen Rückflussdämpfung (S22) von Verstärkern und Trafos bei hohen Frequenzen und Spulen mit kleiner SRF stammen.

Der Einsatz dieser Bausteine kann Probleme durch Funkstörungen (radio-frequency interference = RFI) mindern und weitere Vorteile mit sich bringen, die über den Inhalt dieses Artikels hinausgehen. ◄

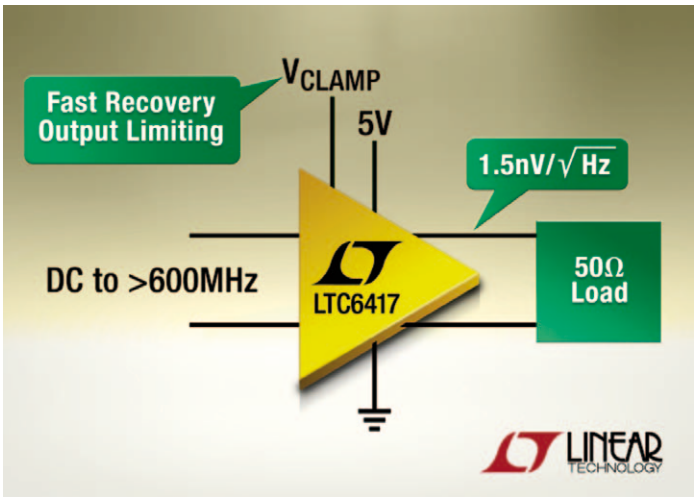


Bild 6: LTC6417: Differentieller Puffer mit Verstärkung