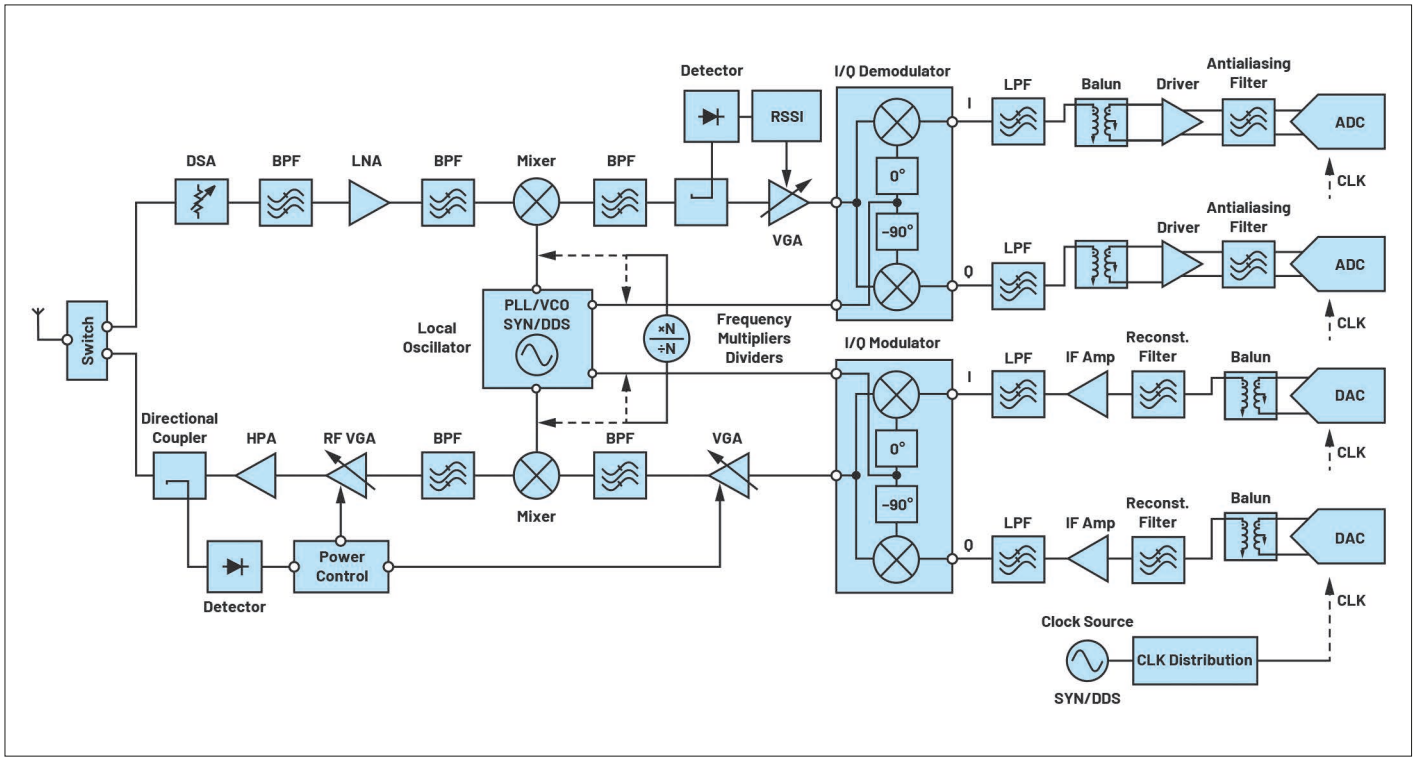
Diskussion zur HF-Signalkette (Teil 2)

Wesentliche Bausteine

Diskrete und integrierte Komponenten stellen funktionale Bausteine dar, die in den HF-Signalpfaden in vielen Applikationen zum Einsatz kommen.



Um die gewünschte Performance zu erzielen, muss ein HF-Systemingenieur ein solides Wissen über eine breite Palette an HF-Komponenten haben, deren Auswahl die Gesamtperformance der kompletten HF-Signalkette in der endgültigen Applikation bestimmt.

Hier nun wird ein kurzer Überblick über die wichtigsten verschiedenen Funktionsgruppen gegeben, die in einem typischen HF-Signalpfad verwendet werden, wie es der Aufmacher allgemein als Blockschaltbild darstellt. Wir beschränken uns auf die gebräuchlichsten ICs und stützen uns dabei auf die Klassifizierungskriterien, die für die Definition des Signalpfads auf Systemebene relevant sind. Diese Klassifizierung umfasst HF-Verstärker, Frequenzgenerations-ICs, Frequenzvervielfacher und -teiler, Mischer, Filter und Schalter sowie Dämpfungs- und Detektorkomponenten.

Autor:
Anton Patyuchenko
Analog Devices Inc.
www.analog.com

HF-Verstärker

Ein optimales Verstärker-Design ist immer ein Kompromiss zwischen Verstärkung, Rauschen, Bandbreite, Effizienz, Linearität und weiteren Parametern. Anhand dieser Hauptklassifizierungskriterien können wir zwischen verschiedenen Verstärkertypen unterscheiden.

Rauscharme Verstärker (Low Noise Amplifiers, LNAs) sind für geringe Signalpegel vorgesehen. Die Rauschzahl (NF) eines guten LNAs kann weniger als 1 dB im Sub-GHz-Bereich und einige dB bei höheren Frequenzen betragen. Da die Gesamtrauschzahl einer Signalkette von ihren ersten Stufen dominiert wird, werden LNAs häufig direkt am Eingang eines Empfängers eingesetzt. Im Gegensatz dazu werden Leistungsverstärker (Power Amplifiers, PAs) normalerweise in den Ausgangsstufen eines Sendesignalpfads eingesetzt. Sie sind für einen hohen Wirkungsgrad und meist hohe Linearität optimiert. Verstärker mit hohem IP3 und geringem NF bieten einen hohen Dynamikbereich. Ein anderer Verstärkertyp ist darauf hin optimiert, Signale mit hohem Verhältnis von Spitzen- zu Durchschnittsleistung zu verarbeiten. In Kommunikationssystemen, die auf vektormodulierten Signalen beruhen, ermöglichen Verstärker mit hoher Linearität beispielsweise die Minimierung von Signalverzerrungen, was für das Erreichen niedriger Bitfehlerraten entscheidend ist.

Verstärker mit variabler Verstärkung (Variable Gain Amplifiers, VGAs) adressieren Applikationen mit einem breiten Bereich von Signalpegeln. VGAs gleichen Veränderungen des Signalpegels durch flexible Regelung aus, um etwa ein Sendesignal zu steuern oder die empfangene Signalamplitude anzupassen.

Verstärkertyp	Charakteristische Merkmale
rauscharmer Verstärker	geringes (Phasen-)Rauschen, für kleinste Signale
Leistungsverstärker	liefert Ausgangsleistung mit hoher Effizienz
High-IP3-Verstärker	hochlinear, für Signale mit hohem Crest-Faktor
Verstärker mit variabler Verstärkung	einstellbare Verstärkung für breiten Eingangssignalbereich
Breitbandverstärker	arbeitet in einem breiten Frequenzbereich
Treiberverstärker	stellt die Betriebsbedingungen für angeschlossene Komponenten sicher
Pufferverstärker	minimiert Effekte der Lastimpedanz-Variationen auf die Signalquelle
Verstärkerblock	flacher Verlauf von Verstärkung und Returnloss, erfordert minimale externe Komponenten
Begrenzerverstärker	liefert über breite Eingangssignalepegel ein stabiles begrenztes Ausgangssignal

Tabelle 1. Zusammenfassung der wesentlichen Verstärkertypen

Digital gesteuerte VGAs werden gewählt, wenn die Verstärkung über einen Datenbus einstellbar ist und eine schrittweise Verstärkungsanpassung in der Applikation nicht kritisch ist. Ein analog gesteuerter VGA ist die Lösung, wenn keine digitalen Steuerdaten zur Verfügung stehen oder die Applikation keine schrittweise Verstärkungsvariation tolerieren kann. VGAs werden häufig zur automatischen Verstärkungsregelung (AGC) oder zur Kompensation von Verstärkungsdrift aufgrund von Temperaturschwankungen oder Eigenschaftsänderungen anderer Komponenten eingesetzt.

LNAs, PAs, VGAs und andere Arten von HF-Verstärkern können auch als Breitbandverstärker eingestuft werden, wenn sie für den Betrieb über einen breiten Frequenzbereich (bis zu mehreren Oktaven) ausgelegt sind. Solche Verstärker bieten eine Breitbandverstärkung mit mäßiger Verstärkung, die häufig in Eingangsstufen des Hauptsignalwegs in Breitbandanwendungen benötigt wird. Ein großes Verstärkungs-Bandbreiten-Produkt geht in der Regel auf Kosten des Wirkungsgrads und des Rauschens.

Ein Treiber ist ein Stromverstärker oder Impedanzwandler zur Anteuerung von Komponenten mit niedrigem Eingangswiderstand. Ähnlich wie Treiber wirken Pufferverstärker, die verhindern sollen, dass die Signalquelle von der Last beeinflusst wird. Beispielsweise werden Pufferverstärker häufig eingesetzt, um einen lokalen Oszillator von einer Last zu isolieren.

Betrachtet man eine klassische Superheterodyn-Architektur, so trifft man auf den Zwischenfrequenzverstärker, einen Schmalbandverstärker. Ein Verstärkerblock (Gain Block) ist hingegen ein allgemeiner Verstärkertyp, der in HF-, ZF- oder LO-Signalpfaden verwendet werden kann, da er einen flachen Verlauf der Verstärkung und der Rückflussdämpfung bietet. Ergänzt um Filter, wird er zum Schmalbandverstärker. Sein Design umfasst oft interne Anpassungs- und Biasschaltungen, die die Integration in eine Signalkette vereinfachen, da nur eine minimale Anzahl externer Komponenten erforderlich ist. Gain Blocks können sowohl für allgemeine als auch für spezifische Anforderungen eingesetzt werden und decken verschiedene Frequenzen, Bandbreiten, Verstärkungen und Ausgangsleistungen ab.

Begrenzungsverstärker liefern eine stabile, komprimierte Ausgangsleistung über einen weiten Eingangsleistungsbereich, Verstärker mit geringem Phasenrauschen sind für Anwendungen mit hoher Signalintegrität optimiert, und logarithmische Verstärker sind im Grunde genommen HF-Gleichspannungswandler, die die Funktion der HF-Demodulation erfüllen.

Eine Zusammenfassung der wichtigsten Verstärkertypen bringt Tabelle 1. HF-Verstärker können auch nach anderen Kriterien klassifiziert werden, z.B. nach ihren Betriebsarten (Klasse A, AB, B, C, D) oder nach Montage- oder Prozesstechnologie.

Frequenzerzeugungs-ICs

Komponenten zur Frequenzerzeugung können in einer HF-Signalkette eine Vielzahl unterschiedlicher Funktionen erfüllen, darunter Frequenzumwandlung, Wellenformsynthese, Signalmodulation und Taktsignalerzeugung. Je nach Einsatzzweck eines ICs gibt es einige Leistungskriterien, die seine Wahl bestimmen, darunter der Ausgangsfrequenzbereich, die spektrale Reinheit, die Stabilität und die Abstimmgeschwindigkeit. Es gibt eine große Auswahl an Frequenzerzeugungskomponenten, die für verschiedene Anwendungsfälle optimiert sind, darunter spannungsgesteuerte Oszillatoren (VCOs), Phasenregelkreise (PLLs), integrierte Frequenzsynthesizer, Translation Loops und ICs für die direkte digitale Synthese (DDS).

Ein spannungsgesteuerter Oszillator (Voltage Controlled Oscillator, VCO) erzeugt ein Ausgangssignal, dessen Frequenz

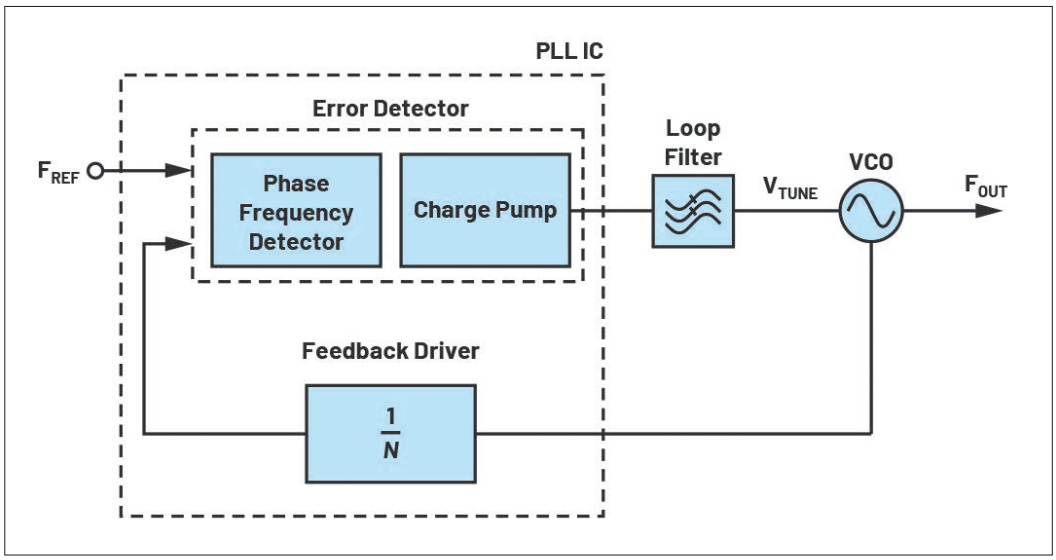


Bild 1: Vereinfachtes Blockschaltbild einer PLL

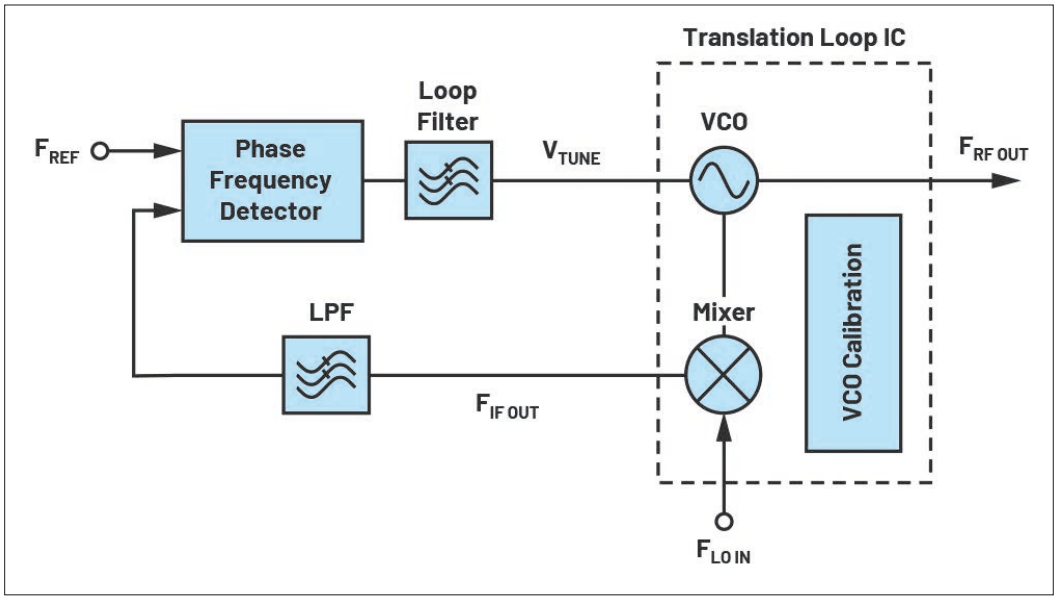


Bild 2: Vereinfachtes Blockschaltbild einer Translation Loop

durch eine externe Eingangsspannung gesteuert wird und kann auf verschiedenen Arten von Resonatoren basieren. Single-Core VCOs, die hochwertige Resonatoren verwenden, bieten ein geringes Phasenrauschen über einen begrenzten Frequenzbereich, während Oszillatoren, die für eine geringere Qualität ausgelegt sind, auf einen Breitbandbetrieb mit mittelmäßigem Rauschverhalten abzielen. Multiband-VCOs, die mehrere geschaltete hochwertige Resonatorschaltungen verwenden, bieten eine alternative Lösung, da sie einen Breitbandbetrieb und ein geringes Phasenrauschen ermöglichen, was jedoch auf Kosten einer langsameren Abstimmgeschwindigkeit geht, die durch die für das Umschalten zwischen verschiedenen Cores erforderliche Zeit begrenzt ist. VCOs werden in der Regel in Verbindung mit Phasenregelkreisen eingesetzt.

Ein Phasenregelkreis (Phase-Locked Loop, PLL) oder PLL-Synthesizer stellt die Stabilität einer VCO-Ausgangsfrequenz sicher. Wie in Bild 1 dargestellt, enthält eine PLL einen Phasendetektor, der eine durch N geteilte VCO-Frequenz mit der Referenzfrequenz vergleicht. Aus der Differenz wird eine Gleichspannung zur Steuerung des VCOs gewonnen. Dies ermöglicht eine sofortige Korrektur jeglicher Frequenzabweichung und sorgt so für einen stabilen Betrieb des Oszillators. Ein typischer PLL-IC enthält einen Fehlerdetektor – einen Phasenfrequenzdetektor (Phase- Frequency Detector, PFD) mit einer Ladungspumpe – und einen Rückkopplungsteiler (gestrichelte Linie) und benötigt noch ein Schleifenfilter, eine Referenzfrequenz und einen VCO, um ein vollständiges Rückkopplungssystem für eine stabile Frequenzerzeugung zu bilden.

Die Realisierung dieses Systems kann durch Synthesizer-ICs mit integriertem VCO erheblich vereinfacht werden [1]. Diese ICs kombinieren eine PLL und einen VCO in einem einzigen Gehäuse und benötigen nur eine externe Referenz und einen Schleifenfilter, um die gewünschte Funktion zu realisieren.

Ein integrierter PLL-Synthesizer ist eine vielseitige Lösung mit einem breiten Spektrum an digitaler Steuerung für eine genaue Frequenzerzeugung. Er kann häufig integrierte Leistungsteiler, Frequenzvervielfacher, Frequenzteiler und Trackingfilter enthalten, um eine Frequenzabdeckung von bis zu mehreren Oktaven über den Grundtonbereich des integrierten VCOs hinaus zu ermöglichen. Die inhärenten Parameter all dieser Komponenten bestimmen den Ausgangsfrequenzbereich, das Phasenrauschen, den Jitter, die Einrastzeit und andere Merkmale.

Eine Translation Loop ist eine andere Art von Synthesizerlösung, die auf dem PLL-Konzept basiert, aber mit einem anderen Ansatz umgesetzt wird. Wie in Bild 2 dargestellt, wird eine integrierte Abwärtsmischstufe anstelle eines N-Teilers in der Rückkopplungsschleife verwendet, um die Schleifenverstärkung auf 1 zu setzen und das In-Band-Phasenrauschen zu minimieren. Translation-Loop-ICs (gestrichelter Bereich) sind für stark jitter-empfindliche Anwendungen konzipiert und ermöglichen in Kombination mit einem externen PFD und einem LO eine vollständige Frequenzsyntheselösung, geeignet für Messinstrumente in einem kompakten Formfaktor.

Ein DDS-IC ist eine Alternative zu integrierten PLL-Synthesizern, s. Bild 3. Es handelt sich um ein digital gesteuertes System mit einer hochgenauen Referenzfrequenz, die ein Taktsignal darstellt, einem numerisch gesteuerten Oszillator (NCO), der eine digitale Version der angezielten Wellenform erzeugt, und einem DAC, der das endgültige Analogsignal liefert. DDS-ICs bieten hohe Sprunggeschwindigkeiten, eine präzise Feinabstimmung von Frequenz und Phase sowie geringe Ausgangsverzerrungen, was sie für Anwendungen prädestiniert, bei denen überragendes Rauschver-

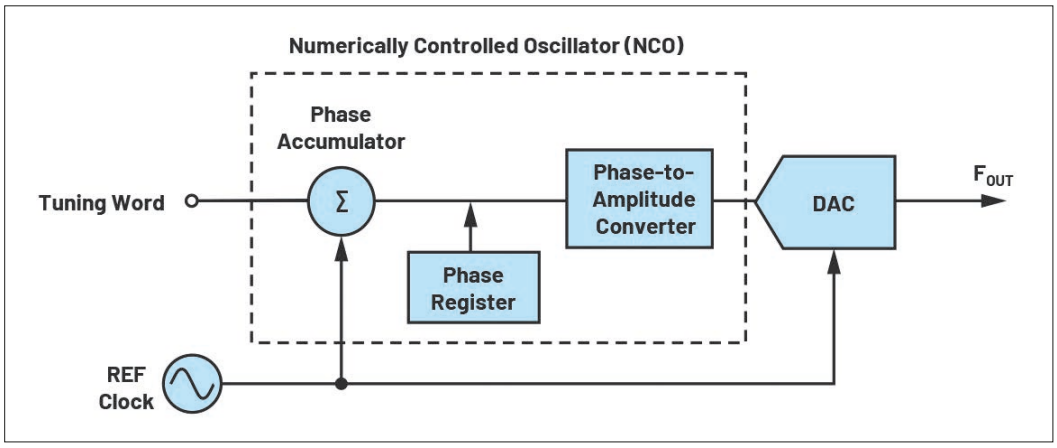


Bild 3: Vereinfachtes Blockschaltbild eines DDS (direkt digitaler Synthesizer)

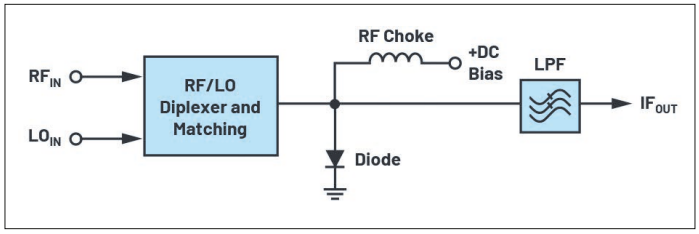


Bild 4: Konzeptionelle Topologie single-ended Mischer

halten und hohe Frequenzflexibilität von größter Bedeutung sind [2].

Komponenten zur Frequenzerzeugung werden in einem breiten Spektrum von Anwendungen eingesetzt, die unterschiedliche Anforderungen an ihre Leistung stellen. So erfordern beispielsweise Kommunikationssysteme ein geringes Inband-Rauschen, um eine niedrige Fehlervektorgröße (EVM) aufrechtzuerhalten, Spektrumanalysatoren sind auf lokale Oszillatoren mit schneller Verriegelungszeit angewiesen, um einen schnellen Frequenz-Sweep zu realisieren, und Hochgeschwindigkeitswandler benötigen einen Takt mit geringem Jitter, um ein hohes SNR zu gewährleisten.

Frequenzvervielfacher

Diese Komponenten nutzen die nichtlinearen Eigenschaften ihrer Elemente, um eine Harmonische des Eingangssignals zu erzeugen (Verdoppler, Verdreifacher, Vervierfacher...).

Bei den nichtlinearen Elementen kann man zwischen passiven (Dioden) und aktiven (Transistoren) unterscheiden. Letztere bieten trotz erforderlicher Versorgungsspannung eine Reihe von Vorteilen gegenüber passiven, darunter die Wandlungsverstärkung, niedrigere mögliche Eingangspegel und eine bessere Unterdrückung der Grundfrequenz.

Frequenzvervielfacher-ICs werden häufig in Verbindung mit VCOs, in PLL-Synthesizer-Designs oder als Teil eines lokalen Oszillatorsignalpfads eingesetzt, da sie eine einfache und kostengünstige Lösung zur Erhöhung der Frequenzen bieten.

Alle Arten von Frequenzvervielfachern haben jedoch denselben Nachteil: Sie verschlechtern das Phasenrauschen um mindestens 20 log(N) dB, wobei N der Multiplikationsfaktor ist. Ein Verdoppler beispielsweise erhöht den Phasenrauschpegel um mindestens 6 dB, was bei der Taktung von schnellen Wandlern und anderen Anwendungen, die auf Phasenrauschen und Jitter empfindlich reagieren, kritisch sein kann [3].

Frequenzteiler und Prescaler

Frequenzteiler sind meist digitale Schaltungen (Binärzähler oder Schieberegister). Sie sind in Taktverteilungsschaltungen und PLL-Synthesizer-Designs weit verbreitet und werden in vielen Anwendungen eingesetzt. Frequenzteiler können ein festes Teilungsverhältnis haben (Prescaler) oder ein programmierbares Teilungsverhältnis. Die Frequenzteilung durch N verbessert das Phasenrauschen des Ausgangssignals um 20 log(N) dB. Diese Verbesserung wird jedoch durch die additive Phase eines Frequenzteilers selbst begrenzt, die in seinem aktiven Schaltkreis entsteht und sich zu seinem Ausgangssignal hinzuaddiert. Ein guter Frequenzteiler hat eine niedrige additive Phase, die zusammen mit einem geringen Oberwellengehalt zu seinen wichtigsten Merkmalen gehört.

HF-Mischer

Ein additiver Mischer hat nur einen Eingang, an dem sich zwei Signale überlagern. Ein multiplikativer Mischer hat drei Anschlüsse. Jeweils wird ein nichtlineares oder zeitveränderliches Element verwendet, um ein Ausgangssignal zu erzeugen, das die Summe und die Differenz der Frequenzen zweier Eingangssignale enthält. Passive Mischer verwenden Dioden oder einen FET (ohne Betriebsspannung) als Schalter. Aktive Mischer sind transistorbasiert und verlangen eine Betriebsspannung. Passive Mischer bieten eine große Bandbreite und eine sukzessive mit der Oszillatorleistung mitgehende hohe Linearität, weisen jedoch einen Umwandlungsverlust auf, während aktive Mischer eine Verstärkung bieten und deutlich niedrigere LO-Ansteuerungspegel benötigen. Alternative Designs, die als Abwärts- oder Aufwärtswandler realisiert werden, können einen passiven Mischerkern und eine aktive Schaltung kombinieren, um eine Wandlungsverstärkung zu erzielen, ohne Kompromisse bei NF und Linearität einzugehen [4].

Mischer-ICs gibt es in verschiedensten Ausführungen. Einen diodenbasierten unsymmetrischen Mischer skizziert Bild 4. Single-Ended-Mischer verwenden nur ein nichtlineares Element, was zwar eine einfache Lösung darstellt, aber eine schlechte Isolation zwischen den Ports (LO-RF) und eine hohe Anzahl von Störstellen bedeutet. Symmetrische Mischer haben diese Einschränkungen nicht. Sie lassen sich in einfach, doppelt und dreifach symmetrische Mischer einteilen. Erstere (Bild 5) bestehen aus zwei unsymmetrischen Mischern, die entweder mit einem 90°- oder 180°-Hybrid kombiniert sind. Dieser Mischertyp bietet eine hohe LO-RF-Isolation, gute Unterdrückung von HF- oder LO-Signalen und Unterdrückung selbst von LO-Oberwellen im Ausgang. Eine weitere Performance-Verbesserung kann mit verschiedenen Arten von doppelt symmetrischen Mischern erreicht werden. Ein gängiges Beispiel, das in Bild 6 dargestellt ist, verwendet vier Schottky-Dioden in einer Brückenkonfiguration mit Hybriden an den HF- und LO-Ports. Doppelt symmetrische Mischer bieten eine hohe Gesamt-Performance, was sie zu einem weitverbreiteten Typ von HF-Mischer-IC macht [5]. Eine noch höhere Isolation und Linearität liefern dreifach symmetrische Mischer; hier werden zwei doppelt symmetrische Designs kombiniert.

In-Phase-Quadratur-Mischer (I/Q-Mischer) stellen eine eigene Kategorie von symmetrischen Designs dar. I/Q-Mischer nutzen die Phasenauslöschung, um unerwünschte Spiegelfrequenzen ohne externe Filterung zu eliminieren. Ein gewöhnlicher I/Q-Mischer kann in der Regel als Spiegelfrequenz-Unterdrückungsmischer (Image Reject Mixer, IRM) bei der Abwärtsmischung (Bild 7) oder als Einseitenbandmischer (Single-Side Band, SSB) bei der Aufwärtsmischung betrieben werden. Die I/Q-Mischer mit integriertem Puffer- und Treiberverstärker sind nur für eine der beiden Betriebsarten ausgelegt, was sie in Abwärts- und Aufwärtswandler einteilt. Diese Mischer sind eng verwandt mit einer anderen Art von Frequenzwandler-ICs, den I/Q-Modulatoren und -Demodulatoren. Beide bieten eine hochohmige differentielle Basisbandschnittstelle für die Verwendung mit Datenkonvertern, wodurch sie sich ideal für Transceiver mit Direktumsetzung eignen [6].

Kurz erwähnen wollen wir noch den subharmonischen Mischer.

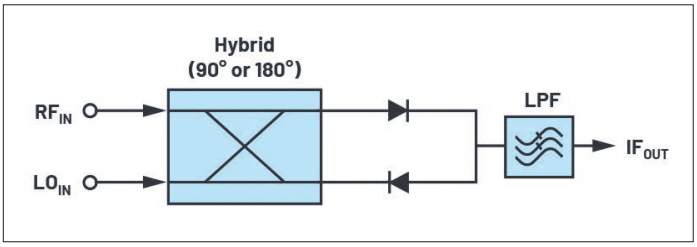


Bild 5: Konzeptionelle Topologie single-balanced Mischer

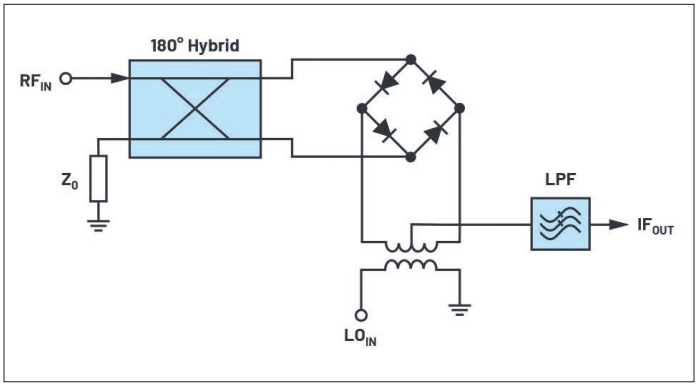


Bild 6: Konzeptionelle Topologie double-balanced Mischer

Er enthält einen subharmonisch betriebenen LO und ist eine einfache Lösung für HF-Designs mit niedrigeren LO-Frequenzen ohne externen Frequenzvervielfacher.

HF/ZF-Filter

Die meisten HF-Anwendungen erfordern eine Filterung über mehrere Frequenzbänder etwa mit geschalteten Filterbänken. Diese Lösung, bei der Schalter und Filter mit fester Bandbreite in einem Modul integriert sind, kann so konzipiert werden, dass sie eine hervorragende Performance in Bezug auf Sperrbandunterdrückung, linearen Dynamikbereich und Schaltgeschwindigkeit bietet. Herkömmliche geschaltete Filterbänke verfügen jedoch nur über begrenzte Bandauswahlmöglichkeiten und sind in der Regel groß und kostspielig. Kompakte abstimmbare Filter-ICs mit kontinuierlicher analoger oder digitaler Abstimmfunktion überwinden diese Einschränkungen, was sie zu einer attraktiven Alternative zu geschalteten festen Filterbänken für den Multibandbetrieb in vielen Anwendungen macht. Abstimmbare analoge Filter sind spannungsgesteuert zur Einstellung der Mitten- und/oder Grenzfrequenzen, während die gewünschte Charakteristik digitaler abstimmbarer Filter über eine digitale Steuerschnittstelle konfiguriert werden kann. Durchstimmbare Filter bieten außergewöhnliche Bandpasseigenschaften, gute Sperrbandunterdrückung, große Abstimmbereiche und schnelle Einschwingzeiten, um die anspruchsvollen Anforderungen eines breiten Spektrums heutiger HF-Anwendungen zu erfüllen.

HF-Schalter

Ein HF-Schalter kann mit verschiedenen Arten von Schaltelementen realisiert werden, z.B. PIN-Dioden, FETs oder mikrosystembearbeitete Cantilever-Schaltwippen. Je nachdem, wie die Schaltelemente angeordnet sind, kann das Design eine unterschiedliche Anzahl von Polen (separate Schaltkreise, die vom Schalter gesteuert werden) und Ausgängen (separate Ausgangswege, die der Schalter für jeden Pol annehmen kann) aufweisen. Einpolige Schalter mit n Ausgängen (SPnT) leiten Signale von einem Eingang zu n Ausgängen. Etwa ein einpoliger Vierwege-Umschalter (SP4T) leitet das Eingangssignal an einen von vier Ausgangspfaden weiter. Haben HF-Schalter mehrere Pole, spricht man von Transferschaltern. Das häufigste Beispiel ist eine zweipolige Umschaltkonfiguration (DPDT) mit zwei separaten Schaltkreisen, die an einen der beiden Ausgangspfade angeschlossen werden können.

HF-Schalter-Designs können komplexere Topologien aufweisen, bei denen mehrere Schalter einer niedrigeren Ordnung kombiniert werden. Diese ICs sind als Schaltmatrix- oder Kreuzpunktschalter bekannt. Sie ermöglichen eine flexible Weiterleitung von HF-Signalen zwischen mehreren Eingängen und mehreren Ausgängen.

Unabhängig von der Schalterkonfiguration lässt sich zwischen reflektierenden Schaltern und absorbierenden (terminierten) Schaltern unterscheiden. Absorbierende Schalter enthalten eine angepasste Last, daher ist keine Reflexion möglich. Schalter-ICs können in verschiedenen Technologien implementiert werden, darunter die siliziumbasierten Halbleitertechnologien CMOS und Silicon On Isolator (SOI), die Verbindungshalbleitertechnologien GaAs und GaN sowie mikroelektromechanische Systeme (MEMS) [7, 8]. Jede Technologie geht verschiedene Kompromisse zwischen wichtigen Parametern wie Frequenzbereich, Leistungsübertragungsfähigkeit, Isolation, Einfügungsdämpfung, Schaltgeschwindigkeit und Einschwingzeit ein. So ist GaAs beispielsweise für Hochtemperaturanwendungen vorzuziehen, GaN wird häufig in Hochleistungsanwendungen eingesetzt, und der siliziumbasierte Prozess hat Vorteile bei Einschwingzeit, Integration, niedrigeren Frequenzen und ESD-Robustheit. Die alternative MEMS-Technologie bietet ein mikromechanisches Relais in einem kleinen Chipgehäuse. Sie ermöglicht eine einzigartige DC-Präzision mit hoher Linearität und Leistung, wobei reduzierte Schaltgeschwindigkeit, endliche Zykluslebensdauer und begrenzte Leistungspegel beim Hot-Switching in Kauf genommen werden müssen.

Bild 8 bringt Beispiele.

HF-Dämpfungsglieder

HF-Dämpfungsglieder werden zur Anpassung der Verstärkung und zum Ausgleich der Impedanz in der Signalkette verwendet wird. Man unterscheidet zwischen Dämpfungsgliedern, die einen festen Dämpfungswert haben, und variablen Dämpfungsgliedern. ICs mit variablen Dämpfungsgliedern, die über eine Reihe diskreter Dämpfungsstufen verfügen, werden als digitale Stufendämpfungsglieder (Digital Step Attenuators, DSAs) bezeichnet und in der Regel für die grobe Signalkalibrierung eingesetzt. Für die Feinsignalsteuerung werden spannungsvariable Dämpfungsglieder (Voltage Variable Attenuators, VVAs) verwendet. Alle Arten von HF-Dämpfungsgliedern sollten einen flachen Dämpfungsverlauf mit einem guten SWR über den gesamten Betriebsfrequenzbereich bieten,

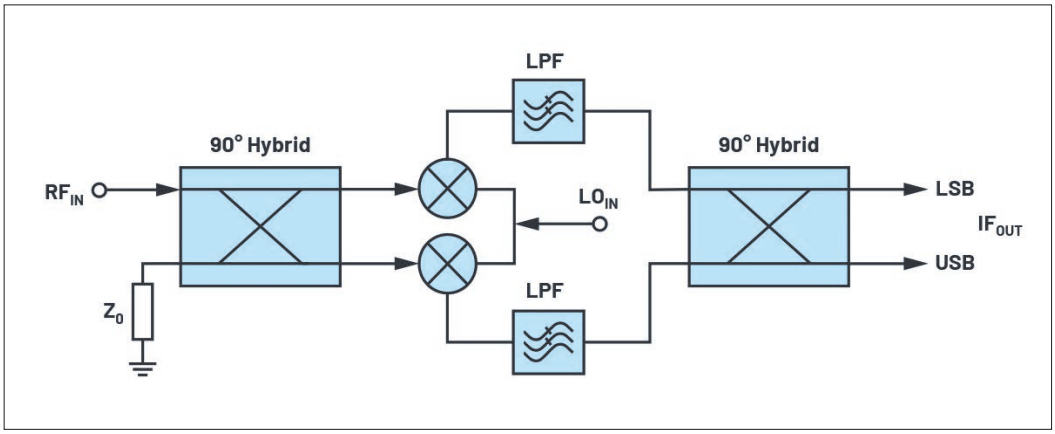
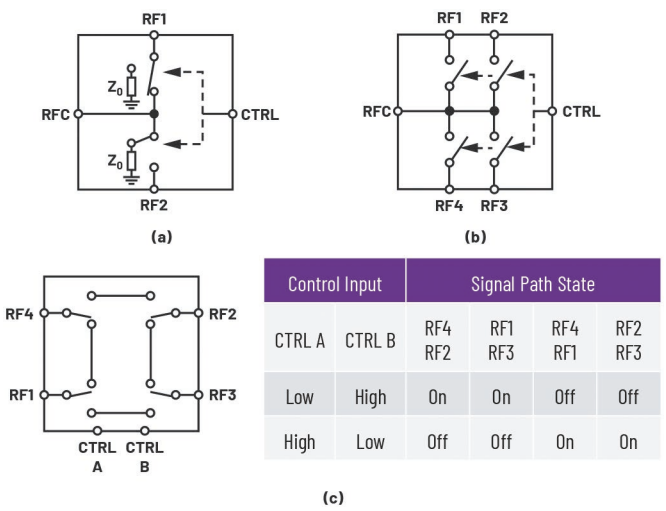


Bild 7: Mischstufe zur Spiegelfrequenzunterdrückung



Control Input		Signal Path State			
CTRL A	CTRL B	RF4 RF2	RF1 RF3	RF4 RF1	RF2 RF3
Low	High	On	On	Off	Off
High	Low	Off	Off	On	On

Bild 8. Beispiele für HF-Schalter: (a) absorptiver SPDT, (b) reflektiver SP4T und (c) Schalter, gesteuerter mit Wahrheitstabelle (Anmerkung: RFn = HF-Pfad, CTRL = Steuerspannungsanschluss)

während die DSAs auch einen störimpulsfreien Betrieb gewährleisten müssen [7].

HF-Dektoren

Im Gegensatz zu diskreten diodenbasierten Detektoren bieten integrierte HF-Detektoren eine Reihe von Vorteilen, darunter eine stabile Ausgangsspannung über einen weiten Temperaturbereich, eine einfachere Kalibrierung und einen gepufferten Ausgang für eine direkte Schnittstelle mit einem ADC [9]. Die meisten gängigen HF-Detektor-ICs sind skalare Detektoren für eine Vielzahl von Anwendungen. Zu den wichtigsten Typen von Skalardetektoren gehören Effektivwertdetektoren, logarithmische Detektoren und Hüllkurvendetektoren.

RMS-Leistungsdetektoren liefern den Effektivwert des Signalpegels. Es gibt Effektivwertdetektoren mit linearer und logarithmischer Funktion (Pegelmesser, „Linear-in-dB"-Funktion), wo sich bei jeder dB-Änderung die Ausgangsspannung um den gleichen Betrag ändert. Beide Arten von Effektivwertdetektoren eignen sich ideal für die wellenformunabhängige Leistungsmessung von komplexen modulierten Signalen mit hohem Crest-Faktor, die sich im Laufe der Zeit ändern, in Anwendungen, die keine schnelle Ansprechzeit erfordern. Sie werden typischerweise für die Überwachung der durchschnittlichen Leistung, für die Anzeige der Sendersignalstärke (TSSI), für die Anzeige der Empfangssignalstärke (RSSI) und die automatische Verstärkungsregelung (AGC) verwendet.

Logarithmische Detektoren (auch bekannt als logarithmische Verstärker) bieten einen sehr hohen Dynamikbereich. Dies wird durch sukzessive Kompression erreicht, basierend auf einer Kaskade von Begrenzungsverstärkern, deren Ausgänge jeweils über Detektoren geführt und am Ausgang der Kaskade aufsummiert werden. Mit zunehmender Eingangsleistung gehen die aufeinanderfolgenden Verstärker einer nach dem anderen in die Sättigung und erzeugen so eine Annäherung an die Logarithmusfunktion. Logarithmusdetektoren eignen sich also sehr gut für Anwendungen mit hohem Dynamikbereich einschließlich RSSI und HF-Eingangsschutz.

Ein logarithmischer Videoverstärker mit sukzessiver Detektion (SDLVA) ist ein spezieller Typ eines logarithmischen Detektors, der einen flachen Frequenzgang und hervorragende Anstiegs-/Abfall- und Verzögerungszeiten bietet. Dies macht ihn zur bevorzugten Lösung für Anwendungen, die eine sehr hohe Geschwindigkeit erfordern, wie z.B. die Messung von Momentanfrequenzen in Peilempfängern und Anwendungen der elektronischen Intelligenz.

Hüllkurvendetektoren (auch bekannt als Spitzendetektoren oder AM-Detektoren) liefern eine Ausgangsspannung, die proportional zur momentanen Amplitude des HF-Eingangssignals ist. Hüllkurvendetektor-ICs werden in der Regel mit schnell schaltenden Schottky-Dioden realisiert, was sie zu einer idealen Lösung für Anwendungen mit geringerem Dynamikbereich macht, die sehr schnelle Reaktionszeiten erfordern. Typische Anwendungen sind die effizienzsteigernde Hüllkurvenverfolgung bei der PA-Bias-Steuerung, die PA-Linearisierung, der schnelle Schutz vor übermäßiger HF-Leistung, die hochauflösende Impulserkennung und die LO-Lecksignalkorrektur von I/Q-Modulatoren.

Neben den skalaren Detektoren gibt es noch eine weitere Kategorie von integrierten Detektoren, die sogenannten Vektor-Leistungsmess-ICs. Sie bieten erweiterte Fähigkeiten, die über die Funktionalität der skalaren Leistungsmessung hinausgehen [10]. Vektorielle Leistungsmessungsdetektoren können mehrere Parameter eines Signals messen einschließlich seiner Größe und Phase. Diese Art von Geräten ist eine ideale Lösung für die Inline-Messung von Streuparametern in zahlreichen Anwendungen, darunter die Antennenabstimmung in Sendern, die integrierte Prüfung in modularen Systemen und die Materialanalyse.

Referenzen

[1] Ian Collins und David Mailloux. "Revolution and Evolution in Frequency Synthesis: How PLL/VCO Technology Has Increased Performance, Decreased Size, and Simplified Design Cycle." Analog Devices, Inc., Januar 2020.

[2] Jim Surber undnd Leo McHugh. "Single-Chip Direct Digital Synthesis vs. the Analog PLL." Analog Dialogue, Vol. 30, No. 3, Juli 1996.

[3] Hittite Microwave Corp. "Active Multipliers and Dividers to Simplify Synthesizers." Microwave Journal, November 2002.

[4] Thomas Schiltz, Bill Beckwith, Dong Wang und Doug Stuetzle. "Passive Mixers Increase Gain and Decrease Noise When Compared to Active Mixers in Downconverter Applications." Analog Devices, Inc., Oktober 2010.

[5] David M. Pozar. Microwave Engineering, 4th edition, Wiley, 2011.

[6] Abhishek Kapoor und Assaf Toledano. "The Changing Landscape of Frequency Mixing Components." Analog Devices, Inc., September 2016.

[7] Bilge Bayrakci. "RF and MW Control Products in Silicon." Analog Devices, Inc., März 2016.

[8] Eric Carty, Padraig Fitzgerald und Padraig McDaid. "The Fundamentals of Analog Devices' Revolutionary MEMS Switch Technology." Analog Devices, Inc., November 2016.

[9] Eamon Nash. "Understanding, Operating, and Interfacing to Integrated Diode-Based RF Detectors." Analog Devices, Inc., November 2015.

[10] Eamon Nash und Eberhard Brunner. "An Integrated Bidirectional Bridge with Dual RMS Detectors for RF Power and Return-Loss Measurement." Analog Dialogue, Vol. 52, No. 2, Mai 2018.

[11] "RF, Microwave, and Millimeter Wave Products Selection Guide 2020." Analog Devices, Inc., August 2020. ◄