

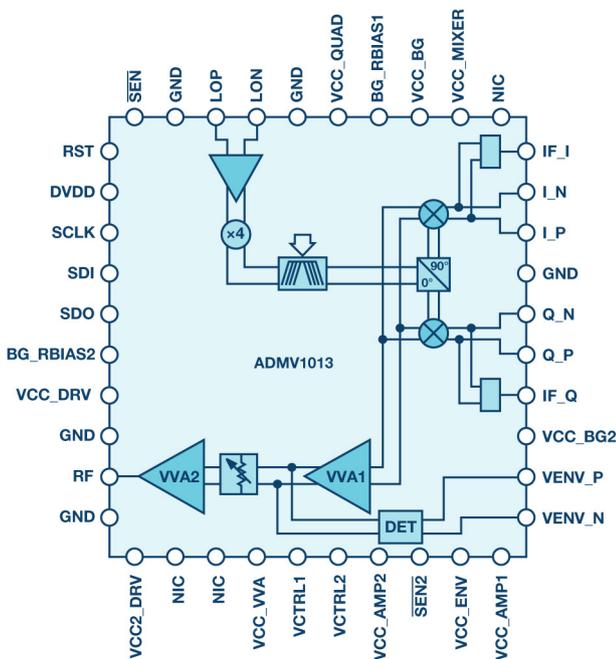
Breitbandige integrierte Auf- und Abwärtsmischer für 22 bis 44 GHz steigern die Mikrowellen-Performance bei gleichzeitiger Reduzierung der Abmessungen

James Wong, Kasey Chatzopoulos und Murtaza Thahirally
Analog Devices, Inc.

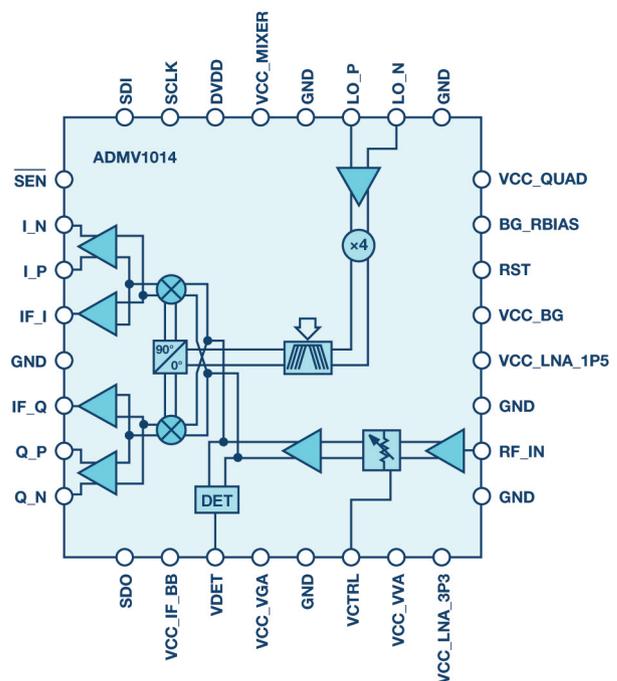
Einführung

Analog Devices hat zwei hochintegrierte Mikrowellen-Auf- bzw. Abwärtsmischer-Chips, nämlich die Bausteine **ADMV1013** und **ADMV1014**, vorgestellt. Die ICs arbeiten über einen sehr weiten Frequenzbereich mit 50-Ω-Anpassung von 24 GHz bis 44 GHz und unterstützen eine Momentanbandbreite von über 1 GHz. Die Performance-Daten des ADMV1013 und des ADMV1014 vereinfachen das Design und die Implementierung kleiner Millimeterwellen-Plattformen für 5G-Anwendungen, die im Backhaul- und Fronthaul-Einsatz die häufig verwendeten 28-GHz- und 39-GHz-Bänder abdecken. Hinzu kommt eine Vielzahl weiterer extrem breitbandiger Sender- und Empfängeranwendungen.

Die Auf- und Abwärtsmischerchips (Bild 1) sind hochintegriert und bestehen aus In-Phase- (I) und Quadratur-Mischern (Q) im Verbund mit einem in den Chip integrierten Quadraturphasenschieber. Letzterer ist für die direkte Umwandlung nach bzw. aus dem Basisband (DC bis 6 GHz) sowie nach bzw. aus einer Zwischenfrequenz (800 MHz bis 6 GHz) konfigurierbar. Der HF-Ausgang des Aufwärtsmischers enthält einen chipintegrierten Sendeverstärker mit einer VVA-Stufe (Voltage Variable Amplifier), während der HF-Eingang des Abwärtsmischers mit einem Low Noise Amplifier (LNA) sowie einer Verstärkerstufe mit VVA bestückt ist. Die LO-Kette (Lokaloszillator) beider Chips besteht aus einem integrierten LO-Puffer, einem Frequenzvervielfacher und einem programmierbaren Bandpassfilter. Der Großteil der Programmierbarkeit und der Kalibrierfunktionen wird über eine SPI-Schnittstelle gesteuert, sodass sich beide Chips in einem bisher nicht gekannten Ausmaß einfach programmieren lassen.



(a) ADMV1013 Upconverter Chip Block Diagram



(b) ADMV1014 Downconverter Chip Block Diagram

Bild 1: (a) Blockschaltbild des Aufwärtsmischer-Chips ADMV1013. (b) Blockschaltbild des Abwärtsmischer-Chips ADMV1014.

Details zum Aufwärtsmischer ADMV1013

Der ADMV1013 bietet die Auswahl unter zwei Frequenzumsetzungs-Betriebsarten. Die eine dient der direkten Aufwärts wandlung der I- und Q-Phase im Basisband auf ein HF-Signal. In diesem I/Q-Modus können die differenziellen I- und Q-Basisbandeingänge Signale von DC bis 6 GHz entgegennehmen, wie sie beispielsweise von zwei schnellen Send-DACs (D/A-Mischern) erzeugt werden können. Diese Eingänge bieten einen konfigurierbaren Gleichtaktbereich von 0 V bis 2,6 V und sind damit auf die Schnittstellen-Anforderungen der meisten DACs abgestimmt. Wird also ein DAC mit einem bestimmten Gleichtaktbereich gewählt, lassen sich die Register des Aufwärtsmischers auf einfache Weise so programmieren, dass der optimale Bias für diese Gleichtaktspannung eingestellt wird. Das Design der Schnittstelle wird hierdurch einfacher. Bei der anderen Betriebsart handelt es sich um die Einseitenband-Aufwärts wandlung auf HF aus komplexen ZF-Eingangssignalen, wie sie beispielsweise von einem digitalen Quadratur-Aufwärtsmischer kommen können. Eine Besonderheit des ADMV1013 liegt darin, dass er im I/Q-Modus eine digitale Korrektur des DC-Offsetfehlers der I- und Q-Mischer ermöglicht, wodurch das LO-Signal weniger an den Ausgang durchsickert. Nach erfolgter Kalibrierung kann das Durchsickern des LO-Signals an den Ausgang auf -45 dBm gedrückt werden (bei maximaler Verstärkung). Ein noch gravierenderes Problem, das sich beim Design von Direct-Conversion-Funklösungen ergibt, sind Ungleichgewichte zwischen der I- und der Q-Phase, die zu einer unzureichenden Seitenband-Unterdrückung führen. Als weitere Herausforderung bei der Direktumwandlung kommt hinzu, dass das Seitenband in der Regel zu nah am Mikrowellen-Träger liegt, sodass sich Filter nicht praktikabel einsetzen lassen. Dieses Problem wird beim ADMV1013 gelöst, indem der Anwender etwaige Ungleichgewichte zwischen I und Q durch entsprechende Registerabstimmung auf digitalem Weg korrigieren kann. Im Normalbetrieb kommt der Aufwärtsmischer auf eine unkalibrierte Seitenband-Unterdrückung von 26 dBc, jedoch lässt sich dieser Wert mithilfe der integrierten Register auf etwa 36 dBc erhöhen. Beide Korrektur-Features sind per SPI und ohne zusätzlichen Schaltungsaufwand zugänglich. Weiter steigern lässt sich die Unterdrückung durch eine weitere Einstellung des Phasenungleichgewichts der I- und Q-DACs im Basisband (im I/Q-Modus). Diese leistungssteigernden Eigenschaften minimieren den externen Filteraufwand und sorgen gleichzeitig für eine Verbesserung der Funk-Performance bei Mikrowellen-Frequenzen.

Dank des integrierten LO-Puffer kommt der Baustein mit einem Treibersignal von 0 dBm aus. Er lässt sich deshalb auf unkomplizierte Weise direkt durch einen Synthesizer mit integriertem VCO (Voltage-Controlled Oscillator) wie beispielsweise dem

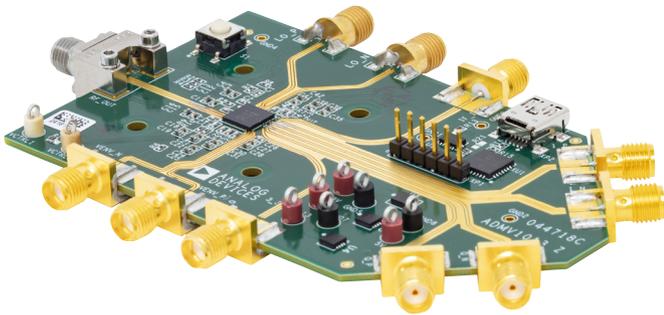


Bild 2: Der ADMV1013 in seinem 6 mm x 6 mm großen oberflächenmontierbaren Gehäuse, hier zu sehen auf dem zugehörigen Evaluation Board.

ADF4372 oder dem ADF5610 ansteuern, sodass sich der externe Schaltungsaufwand weiter verringert. Der in den Chip integrierte Frequenz-Vervielfacher multipliziert die LO-Frequenz auf die gewünschte Trägerfrequenz und wird über einen programmierbaren Bandpassfilter geführt, um die unerwünschten Oberschwingungen des Vervielfachers zu dämpfen, bevor das Signal an die Quadraturphasen-Generatorstufe der Mischer weitergeleitet wird. Durch diese Anordnung verringert sich die Einstreuung von Störsignalen in die Mischer. Außerdem wird die Möglichkeit geschaffen, den Baustein mit einem kostengünstigen, für niedrige Frequenzen ausgelegten externen Synthesizer/VCO zu kombinieren. Das modulierte HF-Ausgangssignal wird anschließend durch zwei Verstärkerstufen mit einem zwischengeschalteten VVA verstärkt. Die Verstärkung kann anwenderseitig in einem Bereich von 35 dB variiert werden, mit einem maximalen kaskadierten Umwandlungsgewinn von 23 dB. Der ADMV1013 besitzt ein LGA-Gehäuse (Land Grid Array) mit 40 Anschlüssen (siehe Bild 2). Gemeinsam sorgen die beschriebenen Features für herausragende Leistungsfähigkeit, maximale Flexibilität und eine einfache Anwendung, während der Aufwand an externen Bauelementen

minimiert wird, sodass die Voraussetzungen für die Realisierung kleiner Mikrowellen-Plattformen (z. B. Kleinzellen-Basisstationen) gegeben sind.

Details zum Abwärtsmischer ADMV1014 (Bild 3)

Der ADMV1014 enthält in seinem LO-Pfad eine Reihe ähnlicher Funktionsabschnitte, wie etwa einen LO-Puffer, einen Frequenz-Vervielfacher, einen programmierbaren Bandpassfilter und einen Quadratur-Phasenschieber. Da er jedoch als Abwärtsmischer konzipiert ist (siehe das Blockschaltbild in Bild 1b), verfügt der ADMV1014 in seinem HF-Frontend über einen LNA, gefolgt von einem VVA und einem Verstärker. Ein durchgehender Verstärkungs-Einstellbereich von 19 dB wird durch eine am VCTRL-Pin angelegte Gleichspannung gesteuert. Der Anwender hat die Option zur Nutzung des ADMV1014 in einem I/Q-Modus als Direktumwandlungs-Demodulator von Mikrowelle auf Basisband-DC. In dieser Betriebsart werden die demodulierten I- und Q-Signale verstärkt und an den jeweiligen differenziellen I- und Q-Ausgängen ausgegeben. Die Verstärkung und die DC-Gleichtaktspannung dieser Signale lassen sich mithilfe per SPI programmierbarer Register einstellen, sodass die differenziellen Signale DC-gekoppelt beispielsweise an ein Paar Basisband-ADCs (A/D-Mischer) weitergeleitet werden können. Alternativ lässt sich der ADMV1014 als Image-Reject-Abwärtsmischer an massebezogene I- und Q-ZF-Ports einsetzen. Unabhängig von der gewählten Betriebsart können Phasen- und Amplituden-Unstimmigkeiten zwischen I und Q per SPI korrigiert werden, um die Spiegelfrequenz-Unterdrückung des Abwärtsmischers bei der Demodulation auf Basisband oder ZF zu verbessern. Insgesamt bringt es der Abwärtsmischer auf eine kaskadierte Rauschzahl von 5,5 dB mit einem maximalen Umwandlungsgewinn von 17 dB über einen Frequenzbereich von 24 GHz bis 42 GHz. Auch wenn sich die Betriebsfrequenz dem Rand des Frequenzbandes nähert (bis 44 GHz), beträgt die kaskadierte Rauschzahl immer noch respektable 6 dB.

Performance-Steigerung von 5G-Millimeterwellen-Lösungen

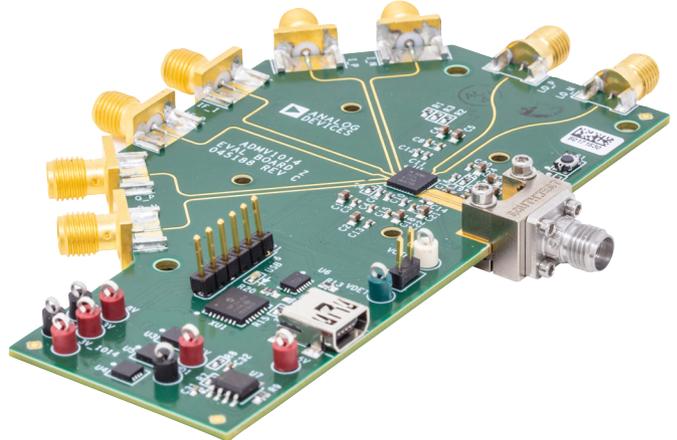


Bild 3: Mit 5 mm x 5 mm geringfügig kleiner ist das Gehäuse des ADMV1014, der hier mit seinem Evaluation Board abgebildet ist.

Bild 4 gibt die gemessene Leistungsfähigkeit des Abwärtsmischers bei 28 GHz wieder, mit einem 5G NR-Signal über vier unabhängige 100-MHz-Kanäle mit 256-QAM (QAM = Quadratur-Amplituden-Modulation, engl. Quadrature amplitude modulation) und bei einer Eingangsleistung von -20 dBm pro Kanal. Der gemessene EVM-Wert beträgt dabei -40 dB (1 % RMS), sodass die Demodulation von Modulationsverfahren höherer Ordnung möglich ist, wie sie von 5G-Millimeterwellen-Anwendungen verlangt wird. Dank der Eignung der Auf- und Abwärtsmischer für eine Bandbreite von mehr als 1 GHz sowie eines OIP3-Werts (Output Intercept Point3-Wert) von 23 dBm für den Aufwärtsmischer und eines IIP3-Werts von 0 dBm für den Abwärtsmischer ist davon auszugehen, dass die beiden Bauelemente für QAM-Modulationen höherer Ordnung und damit für einen hohen Datendurchsatz geeignet sind. Von den Bausteinen profitieren können jedoch auch andere Anwendungen wie etwa satelliten- oder bodengestützte Stationen für Breitband-Kommunikationsverbindungen, abgesicherte Funkverbindungen, HF-Prüfausrüstungen und Radarsysteme. Die Linearitäts- und Spiegelfrequenzunterdrückungs-Eigenschaften der beiden Bausteine sind überzeugend und ermöglichen zusammen mit den kleinen Lösungsabmessungen die Realisierung kompakter, höchst leistungsfähiger Mikrowellen-Funkstrecken und Breitband-Basisstationen.

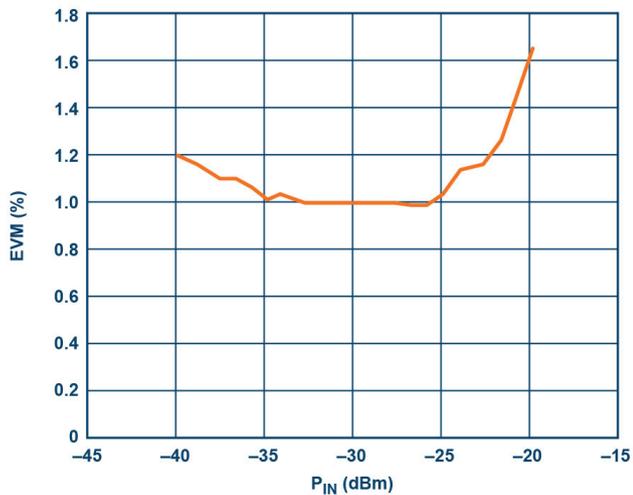
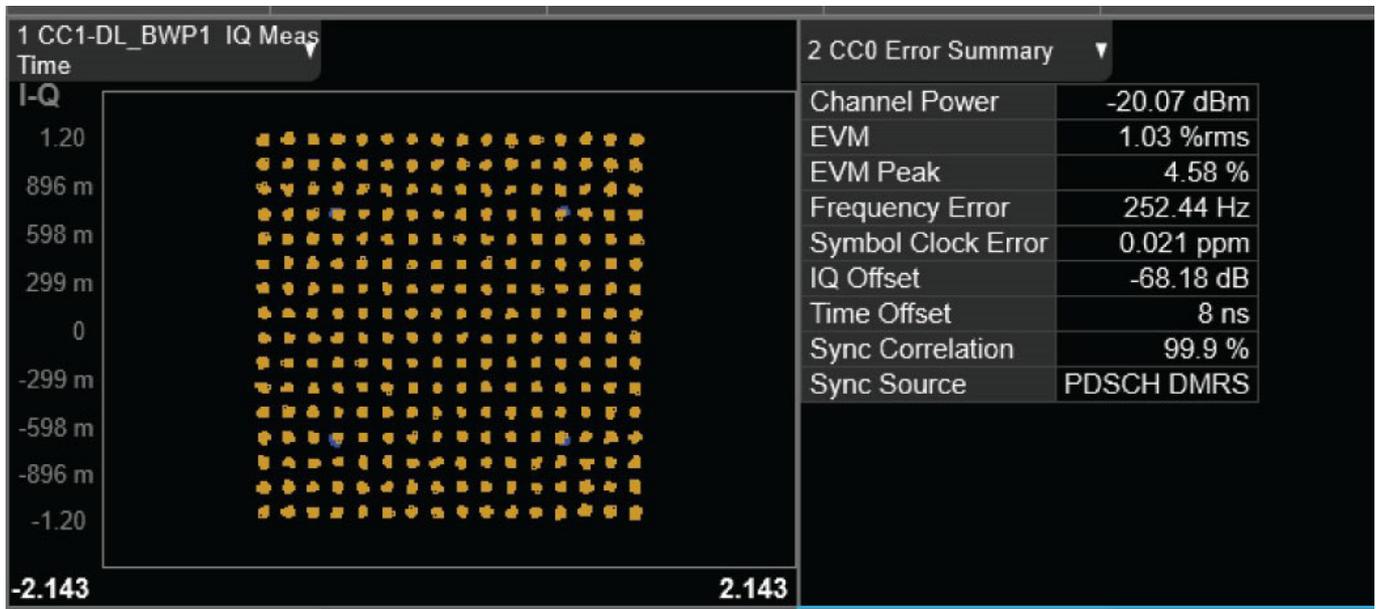


Bild 4: Gemessene EVM-Performance in Prozent RMS als Funktion der Eingangsleistung sowie das zugehörige 256 QAM-Konstellationsdiagramm bei 28 GHz.

Über die Autoren

James Wong arbeitet als RF Product Marketing Manager bei Analog Devices. Seit mehr als 25 Jahren ist er in leitenden Funktionen des Marketing- und Vertriebsbereichs tätig und arbeitete außerdem über 25 Jahre am Design von HF-Lösungen, analogen Schaltungen und Systemen. Erreichbar ist er unter james.wong@analog.com.

Kasey Chatzopoulos ist als Product Applications Manager in der Microwave Communications Group (MCG) von Analog Devices tätig und dort für integrierte Mikrowellen-Frequenzumwandler, abstimmbare HF-Filter und Beamformer zuständig. Er erwarb im Jahr 2012 ein Bachelor-Diplom in Elektrotechnik von der University of Massachusetts in Dartmouth sowie 2017 im selben Fach ein Master-Diplom von der University of Massachusetts in Lowell. Er trat 2012 bei Analog Devices/Hittite Microwave ein und arbeitete zunächst zwei Jahre als Product Engineer, bevor er die Leitung des Produkt- und Applikations-Teams der RF and Microwave Group übernahm. Anschließend wechselte er in die Microwave Communications Group und hatte dort zwei Jahre lang die Position des Design Evaluation Managers inne, um danach weitere zwei Jahre als Product Line Manager zu arbeiten. Anfang 2019 wechselte er in die Funktion eines Product Applications Managers. Er ist unter kasey.chatzopoulos@analog.com zu erreichen.

Murtaza Thahirally ist in der Microwave Communications Group (MCG) von Analog Devices als Applications Engineer tätig und dort für die integrierten Mikrowellen-Frequenzumwandler-Produkte verantwortlich. Sein Bachelor-Diplom im Fach Elektrotechnik/Informatik und Volkswirtschaftslehre erwarb er 2012 am Worcester Polytechnic Institute in 2012, gefolgt von einem Master-Diplom in Elektrotechnik/Informatik von der Purdue University im Jahr 2016. Nach seinem Eintritt bei Analog Devices im Jahr 2012 arbeitete er zunächst drei Jahre als Product Engineer in der RF and Microwave Group, um anschließend zur Microwave Communications Group zu wechseln, wo er seit vier Jahren als Applications Engineer tätig ist. Erreichbar ist er unter murtaza.thahirally@analog.com.

Online Support Community



Nehmen Sie Kontakt auf mit den Technologieexperten von Analog Devices in unserer Online Support Community. Stellen Sie Ihre schwierigen Designfragen, durchsuchen Sie die FAQs oder nehmen an einer Unterhaltung teil.

Besuchen Sie ez.analog.com

Analog Devices, Inc. Worldwide Headquarters

Analog Devices, Inc.
One Technology Way
P.O. Box 9106
Norwood, MA 02062-9106
U.S.A.
Tel: 781.329.4700
(800.262.5643, U.S.A. only)
Fax: 781.461.3113

Analog Devices, Inc. Europe Headquarters

Analog Devices GmbH
Ott-Aicher-Str. 60-64
80807 München
Germany
Tel: 49.89.76903.0
Fax: 49.89.76903.157

Analog Devices, Inc. Japan Headquarters

Analog Devices, KK
New Pier Takeshiba
South Tower Building
1-16-1 Kaigan, Minato-ku,
Tokyo, 105-6891
Japan
Tel: 813.5402.8200
Fax: 813.5402.1064

Analog Devices, Inc. Asia Pacific Headquarters

Analog Devices
5F, Sandhill Plaza
2290 Zuchongzhi Road
Zhangjiang Hi-Tech Park
Pudong New District
Shanghai, China 201203
Tel: 86.21.2320.8000
Fax: 86.21.2320.8222

©2019 Analog Devices, Inc. All rights reserved. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners. Ahead of What's Possible is a trademark of Analog Devices.
DN21223-6/19

analog.com



AHEAD OF WHAT'S POSSIBLE™