# Integrierte Transceiver vereinfachen die Entwicklung von Basisstationsempfängern

**Empfänger für Mobilfunk-Basisstationen zu entwickeln, kann sich als schwierige Aufgabe erweisen.**

Obwohl die Eigenschaften von typischen Empfängerbestandteilen wie Mischern, rauscharmen Verstärkern (LNAs) und A/D-Wandlern im Laufe der Zeit schrittweise weiter verbessert werden konnten, haben sich die Architekturen nur unwesentlich verändert. Aufgrund der begrenzten Architekturauswahl blieb es Entwicklern von 2- bis 5-G-Basisstationen bisher verwehrt, differenzierte Produkte auf den Markt zu bringen.

Jüngste Produktentwicklungen, speziell aber integrierte Transceiver, haben die bisherigen Einschränkungen selbst der schwierigsten Basisstationsentwicklungen entspannt. Dank der neuen Basisstationsarchitektur dieser Transceiver erhalten Entwickler mehr Auswahl und Möglichkeiten, um Produkte zu differenzieren.

## Unterstützung aller Mobilfunkstandards

Die Mitglieder der im Folgenden erläuterten Familie integrierter Transceiver sind die branchenweit ersten Bauteile, die alle existierenden Mobilfunkstandards, von 2G bis 5G, unterstützen und den gesamten Sub-6-GHz-Abstimmbereich abdecken. Beim Einsatz der Transceiver können Entwickler von Mobilfunk-Basisstationen eine einzige kompakte Funkentwicklung für alle Frequenzband- und Leistungsvarianten nutzen.

Zum besseren Verständnis werden zunächst mehrere Basisstationsklassen betrachtet. Die bekannte Normungsorganisation 3GPP (3rd Generation Partnership Project) kennt mehrere definierte Basisstationsklassen mit verschiedenen Namen. Im weitesten Sinne bieten die größten Basisstationen, auch Wide Area Base Stations (WA-BS) genannt, die größte geografische Abdeckung und unterstützen die meisten Nutzer. Außerdem liefern sie die größte Ausgangsleistung und müssen die höchste Empfängerempfindlichkeit aufweisen. Jede kleinere Basisstation benötigt weniger Ausgangsleistung und stellt geringere Anforderungen an die Empfängerempfindlichkeit.

Darüber hinaus definiert die Normungsorganisation 3GPP auch verschiedene Modulationsverfahren. Vereinfacht gesagt, bietet sich eine sinnvolle Aufteilung von Modulationsverfahren in Nicht-GSM (einschließlich LTE- und CDMA-Modulationsarten) und GSM-Modulation – speziell Multi-Carrier-GSM (MC-GSM) an.

Von den beiden weit verbreiteten Konzepten ist GSM das anspruchsvollste hinsichtlich HF- und Analog-Leistungsdaten. Da sich Funksysteme mit höherem Durchsatz inzwischen weiter verbreitet haben, ist MC-GSM zur Norm gegenüber Single-Carrier-GSM geworden. Im Allgemeinen kann ein Frontend in einer Basisstation, die MC-GSM-Performance unterstütz, auch mit Nicht-GSM-Performance umgehen. Für MC-GSM

| | Nicht-GSM Basisstation | GSM-Basisstation |
|---|---|---|
| Größte geografische Abdeckung, Nutzerzahl und Ausgangsleistung sowie höchste Empfindlichkeit | Macro oder Wide Area | Normal |
| | Medium | Micro |
| Geringere geografische Abdeckung, weniger Nutzer, niedrigere Ausgangsleistung und entspannte Empfindlichkeit | Local Area oder Small Cell | Pico |

*Analog Devices*
*www.analog.com*

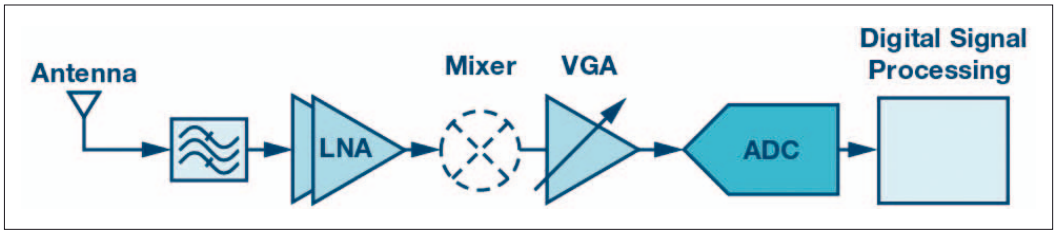



*Bild 1. Typische diskret aufgebaute Empfängersignalkette, vereinfacht*

geeignete Träger haben mehr Flexibilität bei Marktchancen.

## Herausforderungen bei der Entwicklung von Basisstationen

Bisher hat man Basisstationen mit diskreten Bauteilen aufgebaut. Bei Analog Devices ist man überzeugt, dass die heute verfügbaren integrierten Transceiver viele diskrete Bauteile ersetzen können und zugleich Systemvorteile bieten. Zunächst sind jedoch die Herausforderungen bei der Entwicklung von Basisstationen zu betrachten.

Die Wide-Area- oder Macrobase-Station ist seit jeher die anspruchsvollste und teuerste Empfängerentwicklung sowie das Arbeitstier für drahtlose Kommunikationsnetze. Doch was macht sie so anspruchsvoll? Mit einem Wort gesagt: die Empfindlichkeit.

Ein Basisstationsempfänger muss die gewünschte Empfindlichkeit unter bestimmten Bedingungen erreichen. Die Empfindlichkeit drückt aus, wie gut ein Basisstationsempfänger ein gewünschtes schwaches Signal von Mobilgeräten demodulieren kann. Sie ist ausschlaggebend dafür, wie weit eine Basisstation maximal von einem Mobilgerät entfernt sein kann, bis die Verbindung abreißt. Es gibt zwei Kategorien der Empfindlichkeit: Statische Empfindlichkeit ohne externe Interferenzen und Dynamische Empfindlichkeit mit Interferenzen.

Im Folgenden geht es zunächst um die statische Empfindlichkeit. Im Sprachgebrauch der Ingenieure wird die Empfindlichkeit durch die Systemrauschzahl (NF) bestimmt. Eine niedrigere Rauschzahl bedeutet bessere Empfindlichkeit. Die gewünschte Empfindlichkeit lässt sich erreichen, indem man die Verstärkung erhöht, um die angestrebte Systemrauschzahl zu erzielen. Für die Verstärkung ist ein teures Bauteil, der LNA, zuständig. Mit zunehmender Verstärkung steigen die Kosten und die Leistung des LNAs.

Leider erfordert die dynamische Empfindlichkeit einen Kompromiss. Dynamische Empfindlichkeit bedeutet, dass die statische Empfindlichkeit sich bei Interferenzen verschlechtern kann. Interferenzen sind alle unerwünschten Signale am Empfänger. Dazu gehören Signale außerhalb des Systems oder Signale, die der Empfänger unbeabsichtigt erzeugt, zum Beispiel Intermodulationsprodukte. Linearität in diesem Zusammenhang beschreibt, wie gut ein System mit Interferenzen umgehen kann.

Bei Interferenzen verliert ein System genau die Empfindlichkeit, die so schwer zu erzielen war. Dieses Zugeständnis verschlimmert sich mit zunehmender Verstärkung, da diese normalerweise mit einer niedrigeren Linearität einhergeht. Kurz gesagt: Zu viel Verstärkung beeinträchtigt die Linearität, was eine Verschlechterung der Empfindlichkeit bei starken Interferenzen bewirkt.

Drahtlose Kommunikationsnetze sind so aufgebaut, dass sich die größte Netzwerklast auf der Seite der Basisstation und nicht auf der Mobilgeräteseite befindet. Wide-Area-Basisstationen (WA-BSs) sind für eine Netzabdeckung über große Bereiche ausgelegt und erzielen eine ausgezeichnete Empfindlichkeit. Eine WA-BS muss die beste statische Empfindlichkeit aufweisen, um den Betrieb von Mobilgeräten am Zellenrand zu ermöglichen, wo das Signal der Geräte nur sehr schwach ist. Andererseits muss bei Interferenzen oder Blocking-Situationen die dynamische Empfindlichkeit einer WA-BS immer noch gut sein. Der Empfänger muss bei einem schwachen Mobilgerätesignal noch immer gute Leistungsdaten aufweisen, selbst wenn ein starkes Signal von einem Mobilgerät in der Nähe der Basisstation Interferenzen erzeugt.

Bei der Signalkette in Bild 1 handelt es sich um einen vereinfachten, mit diskreten Bauteilen aufgebauten, Systemempfänger. LNA, Mischer und VGA bilden die HF-Eingangsstufe. Die HF-Eingangsstufe ist für eine Rauschzahl von 1,8 dB ausgelegt, während der A/D-Wandler eine Rauschzahl von 29 dB aufweist. Bei der Analyse des Empfängers gemäß Bild 1 wurde die ermittelte Verstärkung der HF-Eingangsstufe auf der X-Achse des Diagramms in Bild 3 aufgetragen, um die Systemempfindlichkeit zu zeigen.

## Integriert schlägt diskret

Im Folgenden wird die in Bild 2 gezeigte, vereinfachte Transceiver-Empfangssignalkette mit dem Empfänger in Bild 1 verglichen. Man kann aus dem grundsätzlichen Aufbau ersehen, dass die Stückliste (BOM) für die Transceiver-Empfangssignalkette weniger umfangreich als die für die mit diskreten Bauteilen aufgebaute Signalkette gemäß Bild 1. Die Transceiver mit zwei Sendern und zwei Empfängern wurden auf einem Chip realisiert.

Hinter der scheinbar einfachen Integration verbirgt sich die Eleganz der Empfängerentwicklung, mit der typisch eine Rauschzahl von 12 dB erreicht wird. Aus Bild 3 ist die Verstärkung der HF-Eingangsstufe gegenüber der statischen Empfindlichkeit für die in Bild 1 und 2 gezeigten Implementierungen ersichtlich. Eine WA-Base-Station arbeitet in der Region, wo die Empfindlichkeit fast die höchsten Anforderungen erfüllt. Im Gegensatz dazu arbeitet eine Small Cell dort, wo der Anstieg der Empfindlichkeitskurve am steilsten ist, während der Standard mit einer kleinen Spanne erreicht wird. Der Transceiver erreicht die gewünschte Empfindlichkeit mit einer wesentlich geringeren HF-Frontend-Verstärkung für die WA-BS und Small Cell.

Wie steht es mit der dynamischen Empfindlichkeit? In der HF-Frontend-Verstärkungsregion, wo man Wide-Area-Basisstationen mit einem Transceiver

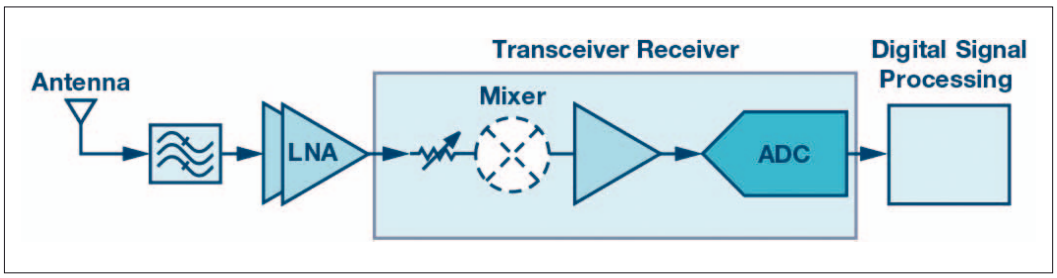



*Bild 2. Typische Transceiver/Empfänger-Signalkette, vereinfacht*

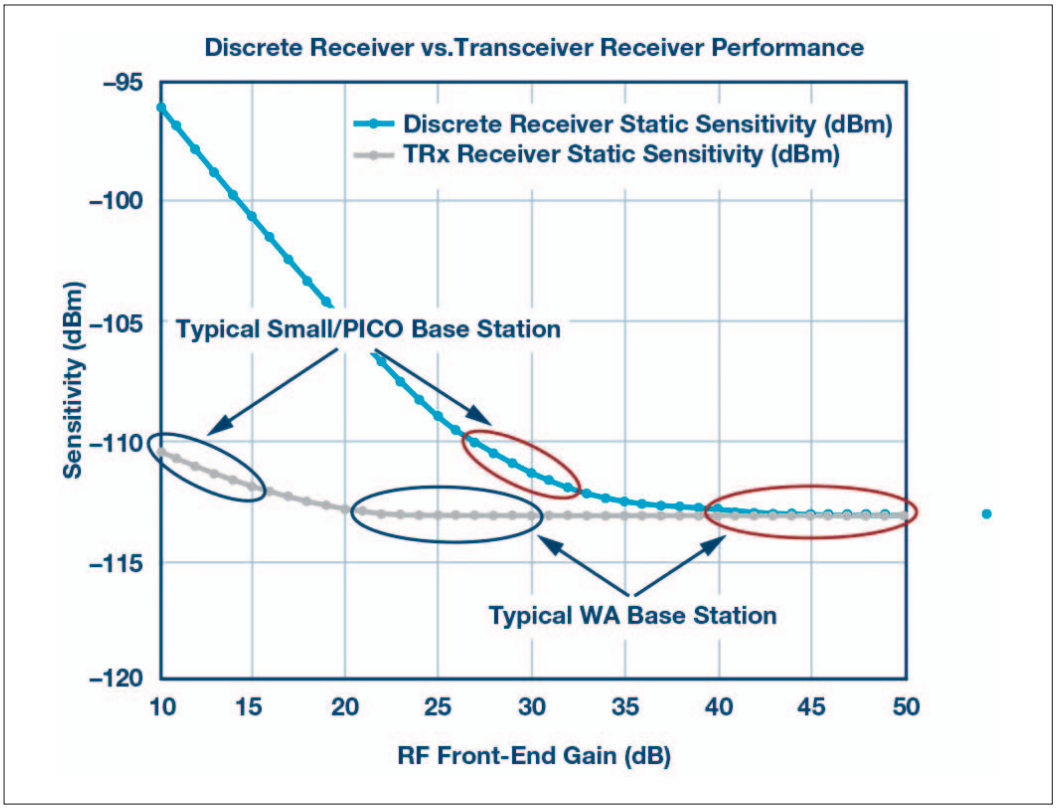



***Bild 3. Empfindlichkeit diskreter Empfänger gegenüber Transceiver/Empfänger-Empfindlichkeit***

entwickeln würde, ist die dynamische Empfindlichkeit ebenfalls wesentlich besser als die Empfindlichkeit einer diskreten Lösung.

Dies lässt sich darauf zurückführen, dass HF-Eingangsstufen mit niedrigerer Verstärkung gewöhnlich eine höhere Linearität bei einer bestimmten Leistungsaufnahme aufweisen. Bei diskreten Lösungen, die normalerweise mit einer hohen Verstärkung arbeiten, wird die Gesamtlinearität meist durch die der HF-Eingangsstufe bestimmt. Bei Transceiver-Entwicklungen wird die Herabsetzung der Empfindlichkeit aufgrund von Interferenzen gegenüber einer diskreten Lösung deutlich reduziert.

Es ist zu erwähnen, dass Systeme üblicherweise so konzipiert sind, dass sie bei zu starken Interferenzen die Verstärkung so weit herabsetzen, dass die Interferenzen toleriert werden können und andererseits die Verstärkung wieder erhöhen, wenn sich die Interferenzen verringern. Eine geringere Verstärkung reduziert auch die Empfindlichkeit. Falls ein System die Störer tolerieren kann, ist es oft am besten, eine möglichst hohe Verstärkung beizubehalten, um die Empfindlichkeit zu maximieren.

Zwei herausragende Leistungsmerkmale dieser Transceiver-Klasse sind eine ausgezeichnete Rauschzahl sowie eine höhere Immunität gegenüber Interferenzen. Der Einsatz eines Transceivers in einer Signalkette bedeutet, dass sich eine gewünschte statische Empfindlichkeit mit wesentlich geringerer Eingangsstufenverstärkung erreichen lässt. Zusätzlich bedeutet das geringere Maß an Interferenzen, dass Entwickler eine bessere dynamische Empfindlichkeit erreichen können. Falls dennoch ein LNA erforderlich ist, wird dieser weniger kosten und weniger Leistung aufnehmen. Auch lassen sich verschiedene Entwicklungskompromisse an anderen Stellen im System finden, um die Vorteile dieser Leistungsmerkmale vorteilhaft zu nutzen.

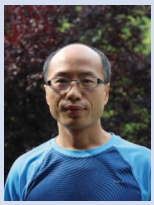
Heute werden konfigurierbare Transceiver angeboten, die Aufgaben sowohl in Wide-Area- als auch in Small-Cell-Basisstationen übernehmen. Analog Devices hält für dieses neue Szenario die Bauteile ADRV9009 und ADRV9008, bereit, die sich bestens für Wide-Area- und Multicarrier-GSM-Basisstationen eignen. Zusätzlich bietet die Familie AD9371 Optionen mit Nicht-GSM (CDMA, LTE) Leistungsdaten und Bandbreite, aber mehr Leistungsoptimierung.

## Schlusswort

Dieser Beitrag ist weit entfernt von einem umfassenden Überblick. Das Thema Empfindlichkeit wird in weiteren Artikeln ausführlicher betrachtet werden. Andere Herausforderungen bei der Entwicklung von Basisstationsempfängern sind AGC-Algorithmen, Kanal-Abschätzung (Channel Estimation) und Equalization-Algorithmen. Die Autoren planen, den obigen Beitrag mit einer Serie von technischen Artikeln fortzusetzen. Dabei möchten sie als Ziel verfolgen, den Entwicklungsprozess zu vereinfachen und Empfängersysteme besser zu verstehen. ◀

## Die Autoren

Jon Lanford (jonathan.lanford@analog.com) arbeitet als System- und Firmware-Verification-Manager in der Transceiver Product Group von Analog Devices in Greensboro. Er ist seit seines Master-Abschlusses in Electrical Engineering an der North Carolina State University im Jahr 2003 beim Unternehmen beschäftigt. Zu seinen bisherigen Engineering-Positionen gehören die Entwicklung von Gigasample-Pipeline-ADCs und Kalibrierungsalgorithmen sowie Testentwicklung für Transceiver.



Kenny Man (kenny.man@analog.com) kann auf Branchenerfahrung zurückblicken, die er in über 25 Jahren gesammelt hat. Angefangen bei der Entwicklung von schnellen Messsystemen und Mobilfunk-Basisstationen bis hin zu Systemapplikationen und Systemarchitekturen für drahtlose Infrastruktur in Unternehmen für Telekommunikationsequipment und Halbleiterherstellern. Aktuell arbeitet er im Product Engineering, wo er Beiträge zu den Funktionsblöcken der Kommunikationsinfrastruktur leisten möchte.