

## Bessere Mobilfunkabdeckung dank integrierter DAS-Lösungen

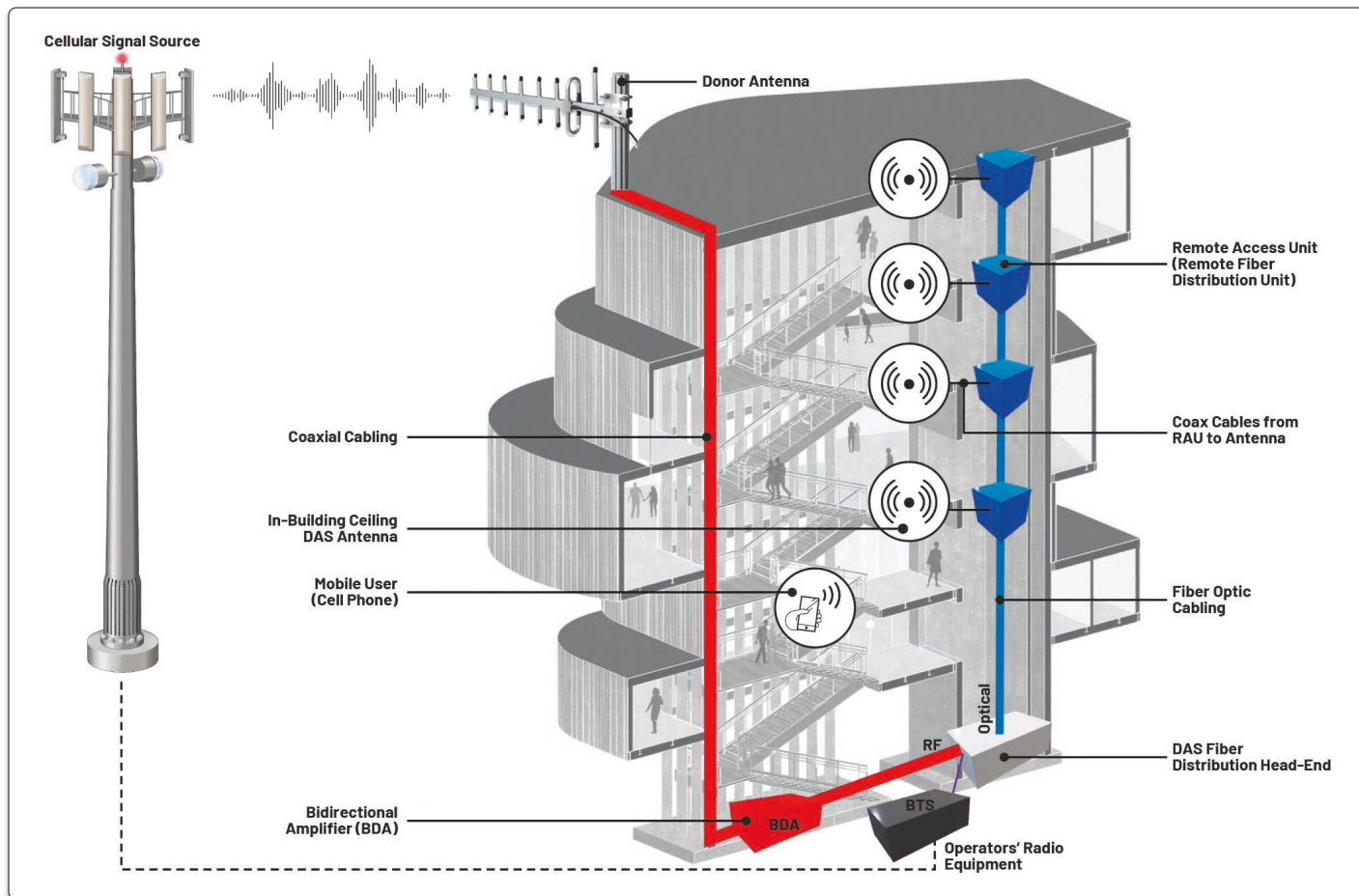


Bild 1: Aufbau einer hybriden DAS-Architektur



Autor:  
Hamed M. Sanogo  
End Market Specialist for  
Communication and Cloud  
Analog Devices  
www.analog.com

Gewerblich genutzte Gebäude und Sportstätten verlangen einerseits nach einer hochwertigen Mobilfunkversorgung, bieten andererseits aber schwierige Voraussetzungen für einen einwandfreien Signalempfang. Der vorliegende Artikel beschreibt eine umfassende Lösung für dezentrale Antennensysteme (Distributed Antenna Systems, DAS), die von essenzieller Bedeutung für die Verbesserung der Mobilfunkabdeckung und -kapazität innerhalb von Gebäudestrukturen sind. In diesem Zusammenhang werden unter anderem die Vorteile hochintegrierter Systemdesigns skizziert, die aus einem HF-Transceiver, kombiniert mit einem bidirektionalen Verstärker (Bidirectional Amplifier, BDA) oder einer

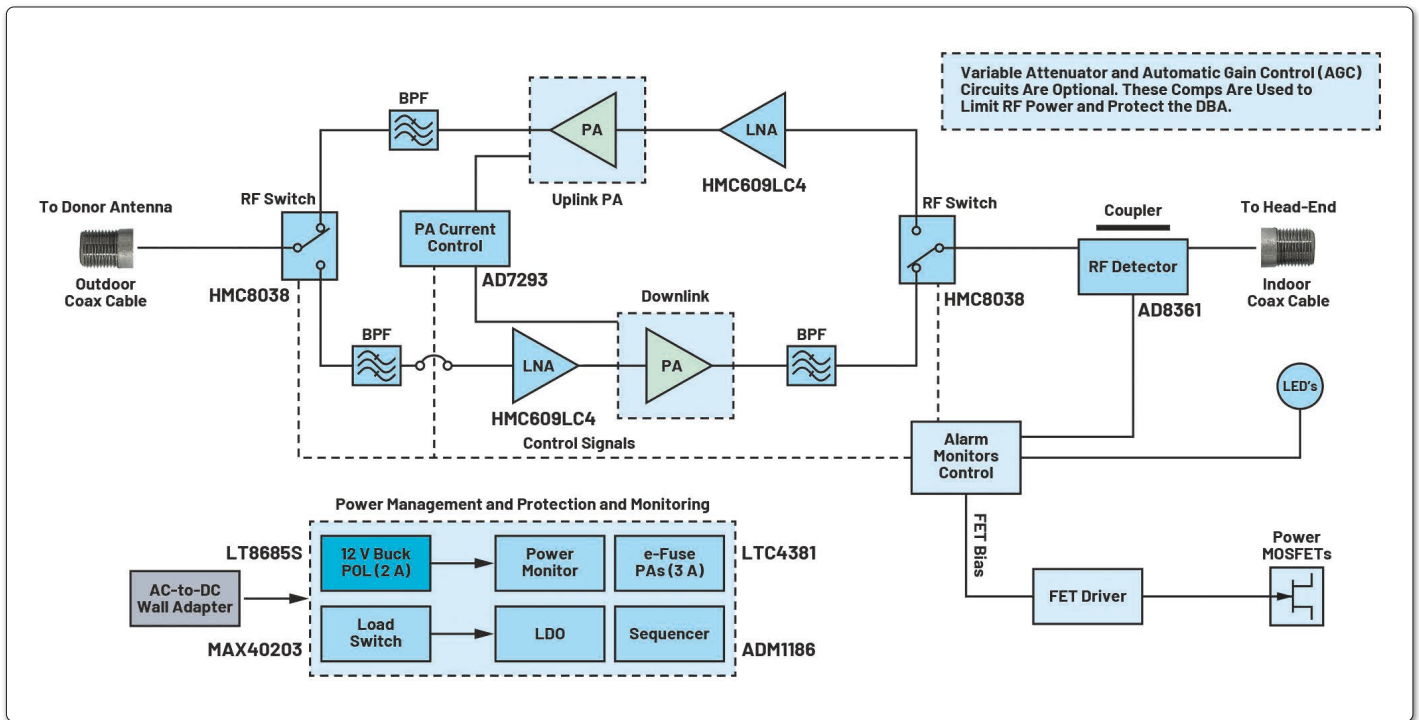
Remote Access Unit (RAU) bestehen. Anhand der Beschreibung dieser Lösung und der entsprechenden Blockschaltbilder lässt sich das Zusammenwirken dieser Elemente einfach verstehen.

### Einführung

Moderne Umgebungen wie zum Beispiel kommerzielle Gebäude und Sportstätten erfordern oftmals eine verbesserte Mobilfunkversorgung, um reibungslose Verbindungen zu ermöglichen. Massive Stahl- und Betonstrukturen, aber auch energieeffiziente Glaswände, wie sie heutzutage in Gewerbegebäuden, Kliniken und Sporteinrichtungen zum Einsatz kommen, stellen jedoch Hindernisse für

den Signalempfang mit Mobiltelefonen dar. Die verstärkte Konstruktion und die stark getönten Scheiben können nämlich neben anderen Baumaterialien dafür sorgen, dass die Gebäude für Hochfrequenzsignale wie eine Abschirmung wirken [1].

Bei hochaufragenden Bauten kann es außerdem zu starken Störeinstrahlungen durch in der Nähe befindliche Mobilfunktürme kommen, was die Übertragungsqualität ebenfalls beeinträchtigen kann. Ein weiterer Grund für einen schlechten Mobilfunkempfang können ferner Kapazitätsengpässe sein, zu denen es kommt, wenn sich sehr viele Menschen auf engem Raum befinden. All diese Faktoren tragen zu Qualitätseinbußen beim



**Bild 2: Blockschaltbild eines BDA bzw. HF-Boosters**

Mobilfunk bei. Ein integriertes DAS-System kann hier entscheidend dazu beitragen, die Qualität der Mobilfunkversorgung zu verbessern und den künftigen Ausbau der Mobilfunknetze zu beschleunigen.

### Was versteht man unter einem DAS?

Bei einem Distributed Antenna System handelt es sich um ein gebäudeinternes System zur Verbesserung der Mobilfunkversorgung. Es besteht aus mehreren räumlich getrennten Antennenknoten, die die Reichweite des Mobilfunks erhöhen und die Signalstärke verbessern, um in dichten Bereichen – sowohl in geschlossenen Räumen als auch unter freiem Himmel – für eine einwandfreie Mobilfunkkommunikation zu sorgen. Auch wenn keine DAS-Implementierung exakt der anderen gleicht, gibt es doch eine Reihe von Gemeinsamkeiten. In der Regel besteht ein typischer Aufbau aus direkten Verbindungen zwischen einer Außenrichtantenne (Donor Antenna), einem BDA bzw. Booster für das HF-Signal, einer Basisstation (Base Transceiver Station, BTS) eines

Mobilfunkbetreibers, einem mit Glasfaser angebundenem Endgerät (Fiber Distribution Head-End) und Remote Access Unit (RAUs) sowie zahlreichen, strategisch im Gebäude platzierten Antennen. In bestimmten Fällen können auch mehrere BTS-Einheiten verbaut sein (eine pro Betreiber).

Häufig werden mehrere HF-Quellen kombiniert und an das als Hauptverteiler fungierende Endgerät geführt. Die auf dem Gebäudedach angeordnete Richtantenne sendet und empfängt die Signale des Mobilfunk-Betreibers und leitet das Funksignal über einen optimal platzierten bidirektionalen Verstärker (BDA) in das Gebäude. Das Head-End-Equipment speist anschließend über mehrere Lichtwellenleiter die verschiedenen RAUs, deren Ausgänge über Koaxialkabel mit den Antennensystemen verbunden sind. Eine RAU kann dabei mehrere Deckenantennen speisen. Ganz ähnlich wie ein normaler Funkmast die betreffende Funkzelle versorgt, stellt die gerade beschriebene Anordnung Sprach- und Datendienste für die Mobilgeräte innerhalb des

Gebäudes bereit. Eine typische DAS-Architektur ist in Bild 1 zu sehen.

Die beiden wichtigsten Trends zur Verbesserung der Mobilfunkversorgung innerhalb von Gebäuden bestehen darin, entweder nur einen HF-Booster oder BDA-Produkte zu nutzen, die nichts weiter als einfache Signal-Repeater darstellen (passive DAS-Lösung), oder auf ein vollständig aktives DAS-System zu setzen, wie es in Bild 1 gezeigt ist. Abhängig von der jeweiligen Situation kommen sowohl passive als auch aktive DAS-Signalverteilungssysteme zum Einsatz, um die Mobilfunkabdeckung und -kapazität innerhalb kommerziell genutzter Gebäude zu verbessern. Als „hybrid“ bezeichnet man Verteilersysteme, die sowohl aus aktiven als auch aus passiven Elementen bestehen.

### Der bidirektionale Verstärker

Je länger die Strecke wird, die ein HF-Signal von der Außenantenne zurücklegen muss, umso schwächer wird es infolge der mit zunehmender Distanz größer werdenden Dämpfung des Koaxialkabels. Um diesen Effekt zu

vermeiden oder zumindest einzudämmen, stehen in einem passiven DAS die verschiedensten Multiband-HF-Repeater zur Verfügung, um die Signale zu verstärken. Das Frontend eines BDA besteht aus einem als Filter dienenden rauscharmen Verstärker (Low-Noise Amplifier, LNA), der gegebenenfalls durch eine automatische Verstärkungsregelung (Automatic Gain Control, AGC) ergänzt werden kann. Die AGC-Stufe hat die Aufgabe, den Pegel des HF-Signals zu begrenzen und zu verhindern, dass der BDA beschädigt wird oder Verzerrungen erzeugt. BDAs verstärken HF-Signale in beiden Richtungen gleichzeitig, ohne sie dabei zu modulieren, zu modifizieren oder anderweitig zu verzerren. Ihr Hauptzweck ist es, die Signalstärke im gesamten Gebäude auf einem hohen Niveau zu halten. Die meisten BDA-Module sind so konzipiert, dass sie mehrere Träger gleichzeitig verstärken können, und für ihre Verwendung bedarf es keiner Verträge mit den einzelnen Betreibern. Bild 2 zeigt ein Blockschaltbild mit geeigneten elektronischen Bauelementen eines BDA, die die HF-Signale verstärken und erneut aussenden.

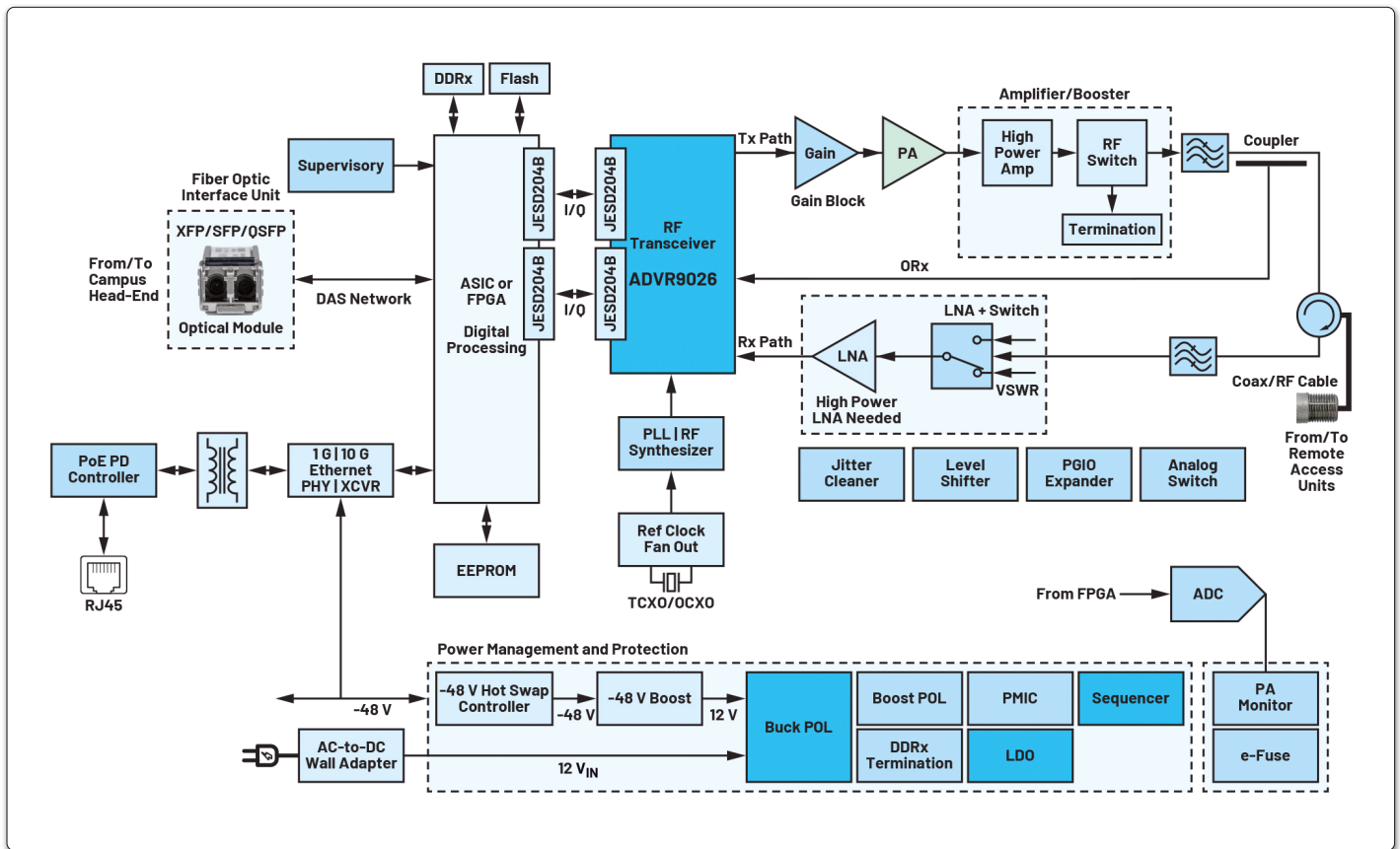


Bild 3: Blockaufbau einer typischen, mit dem HF-Transceiver ADVR9029 bestückten Remote Access Unit (RAU)

## Die Remote Access Unit eines DAS

Das Head-End-Equipment eines DAS übernimmt die Analog/Digital-Wandlung und kann HF-Signale von einem oder mehreren Mobilfunkbetreiber konvertieren. Für die Installation eines aktiven DAS ist deshalb üblicherweise die Betreiber-Freigabe durch jeden Anbieter erforderlich. Indem man das HF-Signal digitalisiert und auf ein breitbandiges LWL-Kabel legt, lässt es sich mit großer Bandbreite und voller Signalstärke über deutlich größere Distanzen an die einzelnen RAUs übertragen, die strategisch auf die verschiedenen Stockwerke eines kommerziell genutzten Gebäudes verteilt sind [1]. Bei dieser Vorgehensweise ist das Risiko von Störbeeinflussungen der Signale deutlich geringer.

Die RAUs wandeln die über die Lichtwellenleiter ankommenden digitalen Signale wieder in analoge HF-Signale um, die den DAS-Deckenantennen

zugeführt werden. Die RAU ist über Koaxialkabel mit den abgesetzten Deckenantennen verbunden, um die Abdeckung und die Reichweite zu verbessern und allen Nutzern eine einwandfreie Mobilfunk-Konnektivität zu bieten. Die LWL-Verkabelung zwischen dem Head-End und den verschiedenen RAUs geht aus Bild 1 hervor.

Den RAUs kommt innerhalb eines DAS eine Schlüsselrolle zu, denn sie übernehmen die eigentliche Erweiterung der Funkkapazität. Ihre Hauptaufgabe ist die Umsetzung der digitalen Signale in HF-Signale und umgekehrt. Die hochintegrierten, agilen HF-Transceiverlösungen von ADI, darunter die ADVR902x-Familie, stellen die grundlegenden IC-Bauteile dar, die den RAUs die Ausführung komplexer Aufgaben ermöglichen.

Bild 3 zeigt das Blockschaltbild einer typischen DAS-RAU, und Tabelle 1 bietet eine Übersicht über die verschiedenen Funk-

tionen mit den dafür in Frage kommenden Bauteilen. Auch wenn im Blockschaltbild mehrere Typen von Bauelementen für die Plattform aufgeführt sind, befasst sich dieser Beitrag ausschließlich mit dem HF-Transceiver ADVR9029 und einigen zugehörigen Stromversorgungs-komponenten.

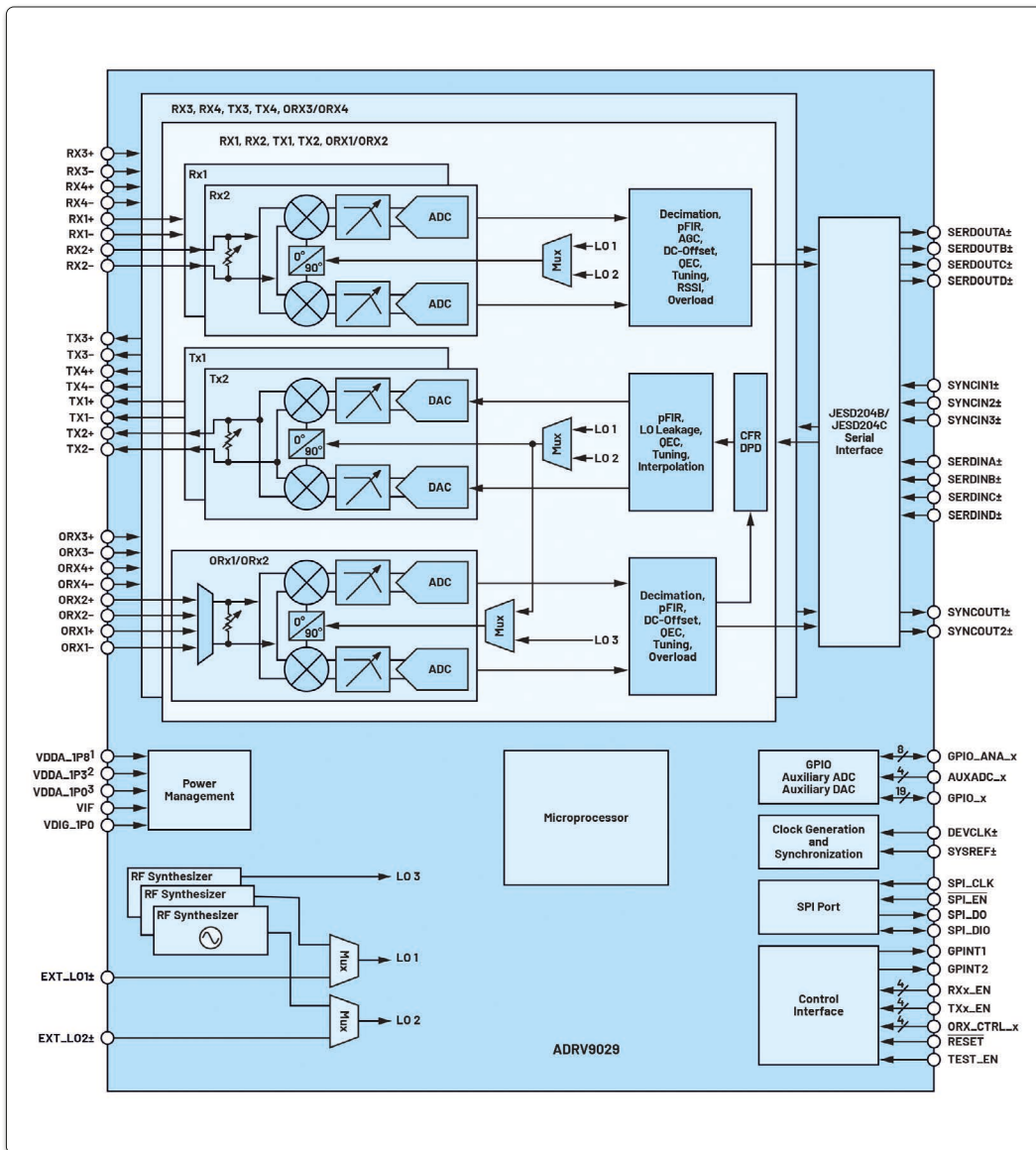
## Der hochintegrierte abtastende Synchro-dyn/Zero-IF-Transceiver ADVR9029

Bei dem Baustein des Typs ADVR9029 handelt es sich um einen hochintegrierten, abtastenden Analogtransceiver in Synchro-dyn-Architektur, der sich für die Synthese und Digi-

Funktion	ADI-Typ
Verstärkungsblock	HMC788A
HF-Transceiver	ADVR9029
HF-Switch	ADRF5160
PLL/VCO	ADF4351
Taktjitter-Bereiniger	AD9528
Buck-POLs	LT8625S, LT8627SP
LDOs	LT1761, ADM7172
PMIC	ADP5055
Sequencer	ADM1166
PA-Monitor, e-Fuse	AD7393, LTC4381
PoE-PD-Controller	MAX5969A

Tabelle 1: Geeignete Bauelemente für das RAU-Design





**Bild 4: Blockschaltbild des ADRV9029**

alisierung breitbandiger Signale eignet und für die Verwendung in FDD- und TDD-Anwendungen (Frequency Division Duplex bzw. Time Division Duplex) programmiert werden kann. Der Baustein wartet mit der von DAS-Anwendungen, und hier speziell von RAUs geforderten Leistungsfähigkeit auf. Von entsprechenden Lösungen der Mitbewerber unterscheidet er sich insbesondere durch zwei wichtige Funktionen seines digitalen Frontends, nämlich die DPD-Anpassungseinheit (Digital Predistortion) und die CFR-Einheit (Crest Factor Reduction). Sollten für das DAS besonders strikte Latenzvorgaben gelten, kann die

CFR-Einheit umgangen werden. In Bild 4 ist das Blockschaltbild des ADRV9029 zu sehen.

### Die DPD-Funktion (Digital Predistortion)

Mithilfe einer DPD-Funktion kann ein Funksystem seine Leistungsverstärker (Power Amplifiers, PAs) höher aussteuern, bevor sie in die Sättigung geraten. Unter Beibehaltung der Linearität können die Leistungsverstärker deshalb mit einem höheren Wirkungsgrad betrieben werden. Anders ausgedrückt, versetzt die DPD-Funktion die RAUs in die Lage, die Effizienz ihrer Leistungsverstärker zu steigern, indem der

lineare Betriebsbereich der PAs erweitert wird. Gleichzeitig aber werden die Vorgaben bezüglich des Übersprechens zum Nachbarkanal (Adjacent Channel Leakage Ratio, ACLR) der Sendesignalkette eingehalten. Ein PA in der abgesetzten DAS-Einheit trägt außerdem zur Senkung der Gesamtleistungsaufnahme bei. Die Observation-Receiver-Pfade des ADRV9029 sind mit dem DPD-Aktuator und der Koeffizientenberechnungs-Einheit verbunden, um das System beim hocheffizienten Betrieb der PAs zu unterstützen.

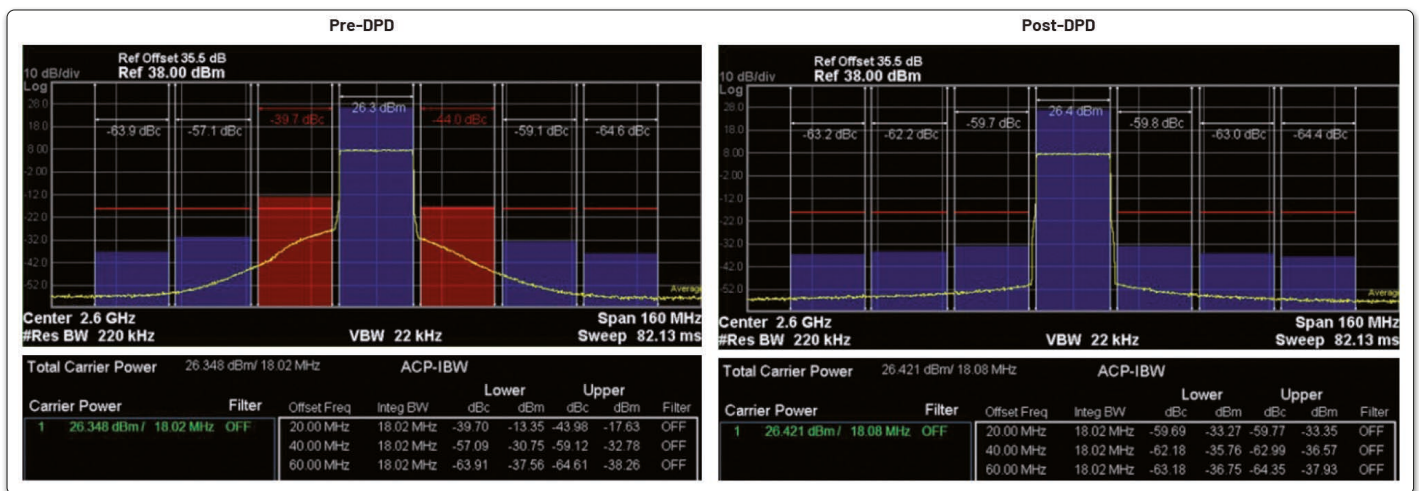
Der DPD-Algorithmus des ADRV9029 unterstützt eine Trägerbandbreite von bis zu

200 MHz. Die Integration der DPD-Funktion in den ADRV9029 resultiert ferner in einer deutlichen Verringerung der Kosten, des Platzbedarfs und des Stromverbrauchs auf Systemebene gegenüber einer diskreten Implementierung aus einem HF-Transceiver und einer FPGA-basierten DPD-Lösung. Die DPD-Einheit des ADRV9029 kann außerdem per GPIO-Steuerung vollständig umgangen werden, wenn dies in einer bestimmten Anwendung erforderlich sein sollte.

Bild 5 illustriert anhand eines 20-MHz-LTE-Signals, wie die DPD-Funktion den ACLR-Wert, der das Verhältnis zwischen der Sendeleistung im gewünschten Kanal und der in den benachbarten Funkkanal gelangenden Leistung angibt, verbessert. Die Darstellung der spektralen Leistungsdichte macht deutlich, wie außerhalb des Sendebands die Nichtlinearitäten, die durch Intermodulationsprodukte des 20-MHz-LTE-Signals erzeugt werden, durch die DPD-Funktion um 15 bis 20 dB reduziert werden.

### Der CFR-Block (Crest Factor Reduction)

Aufgrund der Technologien, die derzeit für Funkssysteme eingesetzt werden, können die Signale speziell bei Multicarrier-Wellenformen wie zum Beispiel OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) ein großes Verhältnis zwischen Spitzen- und Durchschnittsleistung (Peak-to-Average Power Ratio, PAPR) aufweisen, was sich ungünstig auf den Wirkungsgrad der PAs auswirken kann. Dies liegt hauptsächlich daran, dass die Signalspitzen den linearen Betriebsbereich der PAs überschreiten. Durch Reduzierung des Crestfaktors lässt sich gewährleisten, dass der vom Signal benötigte Bereich den linearen Betriebsbereich des Leistungsverstärkers nicht übersteigt, sodass die Auswirkungen des PAPR im System eingedämmt oder ganz eliminiert werden.



**Bild 5:** Die Darstellung der spektralen Leistungsdichte verdeutlicht die Verbesserung des ACLR-Werts durch die DPD-Funktion bei einem 20-MHz-LTE-Signal

Die eingebaute CFR-Einheit des ADRV9029 dient also dazu, den PAPR-Wert zu verringern, damit die PAs mit höherer Ausgangsleistung betrieben werden können, was ihren Wirkungsgrad in der Sendekette verbessert. Insgesamt sind drei CFR-Einheiten in den Baustein integriert. Die exakt kontrollierte monolithische Plattform kann folglich mit einer durch einen CFR-Block unterstützten DPD-Einheit aufwarten. Dank dieser On-Chip-Signalverarbeitung ist der ADRV9029 besser als konkurrierende Lösungen in die Lage, für einen linearen Betrieb der PAs zu sorgen.

Der ADRV9029 implementiert die CFR-Funktion mithilfe einer abgewandelten Pulsauslösch-Technik. Dabei wird ein zuvor errechneter Impuls von den detektierten Spitzen subtrahiert, damit das Signal im linearen Bereich des Leistungsverstärkers bleibt. Für jede Trägerkombination muss daher ein Impuls generiert und geladen werden, was neben anderen Gründen dafür sorgt, dass sich durch den CFR-Block die Latenz erhöht. Da für DAS-Implementierungen in den meisten Fällen jedoch strikte Latenzvorgaben gelten, lässt sich die CFR-Funktion bei Bedarf problemlos umgehen. Mit dem ebenfalls zur Produktfamilie gehörenden ADRV9026 steht zudem eine Version ohne DPD- und CFR-Funktion zur Verfügung.

## Stromversorgung

Nachdem alles dafür getan wurde, die bestmöglichen EVM- und ACLR-Werte zu erreichen, die als statische Kennwerte Auskunft über die Leistungsfähigkeit des Senders geben, darf nicht vergessen werden, auch der Stromversorgung des RAU-Systems die nötige Beachtung zu schenken. Anderenfalls könnte die gesamte Mühe, die in das Design und die Simulation investiert wurde, wertlos werden. Die Stromaufnahme des ADRV9029 kann nämlich während des Betriebs stark variieren – insbesondere im TDD-Modus. Werden die Störaussendungen der Stromversorgung nicht hinreichend kontrolliert, können sich sogar Auswirkungen auf die Leistungsfähigkeit der JESD204B/JESD204C-Verbindung ergeben.

ADI hat innovative getaktete Stromversorgungen und Gehäusetechnologien entwickelt, um seine HF-Transceiver und weitere 5G-SoCs wie den ADRV9029 zu unterstützen. Die ICs der Silent-Switcher-3-Familie zeichnen sich durch ein extrem niederfrequentes Ausgangsrauschen, eine schnelle Sprungantwort, geringe Störaussendungen und einen hohen Wirkungsgrad aus. Wie in Bild 3 gezeigt, werden für die RAU die Bausteine LT8642S, LT8625S und LT8627SP empfohlen. Eine Übersicht über sämtliche Bausteine der Silent Switcher Fami-

lie finden Sie unter [analog.com/silentswitcher](http://analog.com/silentswitcher).

In den meisten Fällen kann bei der dritten Generation der Silent-Switcher-Familie von ADI auf einen LDO verzichtet werden. Dies gilt selbst für Anwendungen wie etwa PLL- und LNA-Designs, die besonders sensibel gegenüber verrauschten Stromversorgungen sind. Sollte es jedoch nicht ohne LDO gehen, sind die Bausteine ADM7172 und LT1761 zu empfehlen. Der ADRV9029 erfordert außerdem eine besondere Power-up-Sequenz, um ungünstige Ströme beim Hochfahren der Versorgungsspannungen zu vermeiden. Hierfür stellt der ADM1166 eine geeignete Lösung dar.

## Zusammenfassung

Ein DAS hilft, für eine effektive Mobilfunkabdeckung und -kapazität zu sorgen und den Anwendern, die heute mehr denn je auf verlässliche Sprach- und Datenverbindungen angewiesen sind, eine lückenlose Konnektivität zu bieten.

Es wurde gezeigt, wie ein auch als passive DAS-Lösung bezeichneter BDA oder eine vollständig aktive DAS-Lösung den Mobilfunkempfang innerhalb von Gebäuden verbessern kann, damit die darin befindlichen Personen unabhängig von ihrem jeweiligen Standort von einer betriebssicheren Funkanbindung profitieren können. Die RAU ist ein integraler Bestand-

teil einer vollständig aktiven DAS-Kommunikationslösung, ebenso wie es der ADRV9029 für einen DAS-Knoten ist. Zur Unterstützung der Design-Arbeit bietet ADI ein Referenz-Design, Anleitungen, Firmware-Bibliotheken und weitere Unterlagen an.

## Literatur

[1] Designing Distributed Antenna Systems (DAS), Advantage Business Media, 2016

## Über den Autor

Hamed M. Sanogo ist als End Market Specialist für den Bereich Cloud und Kommunikation in der Global Applications Group von Analog Devices tätig. Sanogo erwarb sein Master-Diplom in Elektrotechnik an der University of Michigan-Dearborn und erhielt anschließend einen MBA-Abschluss von der University of Dallas. Nach seinem Studium arbeitete er zunächst als Senior Design Engineer bei General Motors sowie als Senior Staff Electrical Engineer und Designer von Node-B und RRH Baseband Cards bei Motorola Solutions, bevor er zu ADI wechselte. Sanogo war 17 Jahre lang in unterschiedlichen Aufgabenbereichen eingesetzt, so zum Beispiel als FAE bzw. FAE Manager, als Product Line Manager sowie aktuell als End Market Specialist für den Bereich Cloud und Kommunikation. ◀