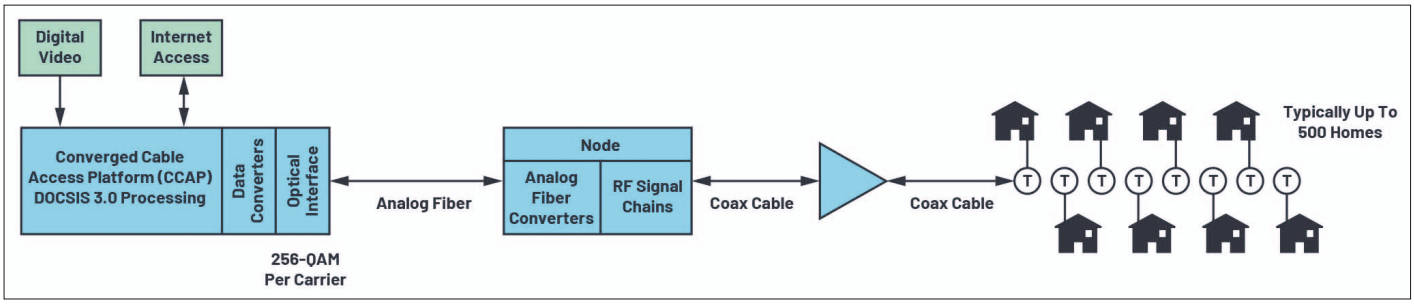
Herausforderungen meistern

Downstream in einer Kabel-TV-Infrastruktur



Kabel-TV-Lösung mit HFC (Hybrid Fiber Copper)

Dieser Artikel beschreibt die Entwicklung hin zum Remote-PHY RPD und wie Analog Devices das Effizienz- und Linearitätsproblem gelöst hat.

Autor:
Simon Whittle
Technischer Programm-Manager
Analog Devices Inc.
www.analog.com/

Wegen der steigenden Nachfrage nach schnellerer Internet-Konnektivität hat die Kabelfernsehindustrie für ihre Abonnenten neue Netzarchitekturen für die Bereitstellung von Multigigabit-Diensten entwickelt. Diese digitale Glasfaserlösung, bei der ein abgesetztes Gerät als physische Schnittstelle (Remote PHY Device, kurz RPD) verwendet wird, bringt die kritische Hardware näher an die Teilnehmer. Das ist vergleichbar mit einer abgesetzten Funkstation von der Basisstation in einem zellularen Netz und der damit verbundenen Einsparung von Platz und Energie, schafft aber neue Herausforderungen beim Design der abgesetzten Geräte.

Hohe Bandbreite und HF-Leistung

Kabelfernsehsignale haben trotz niedriger Übertragungsfrequenz eine viel größere Bandbreite als Funksignale und erstrecken sich über mehrere Oktaven von 108 bis 1218 MHz mit mehreren im Band auftretenden Harmonischen. RPDs sind für Designer die maximale Herausforderung, da die HF und Mixed-Signal-Hardware einen breiteren Frequenzbereich abdecken muss, und das mit höheren HF-Leistungen, niedrigerem Rauschpegel und besserer Linearität, bei gleichzeitig geringerer Leistungsaufnahme. Die Endstufen verbrauchen in der Regel jeweils 18 W und bei einem 4-Port-System sind dies etwa 50 % des Leistungsbudgets von 140 bis 160 W, die typischerweise an ein RPD geliefert werden können.

Die von ADI entwickelte Digitale Kabelvorverzerrungs- und Effizienzsteigerungs-Technologie (Cable Digital Predistortion, DPD), bei der ein DPD-optimierter Leistungsverdoppler (ADCA3992) eingesetzt wird, kombiniert mit Fortschritten in der Hochgeschwindigkeits-Datenwandlertechnologie, macht einen einzigen DAC (wie den AD9162) und einen einzigen ADC (wie den AD9208), ergänzt durch eine hochintegrierte Taktungslösung (HMC7044), zur Fullband-DPD-Realität.

Mehr zum Hintergrund

Seit seiner Einführung als Community Access Television (CATV) vor mehr als 60 Jahren hat sich das Kabelfernsehen von einer einfachen unidirektionalen (nur Downstream) analogen Verbindung zu einem komplexen bidirektionalen Multimode-Mehrkanalsystem (einschließlich Upstream- oder Reverse-Pfad) entwickelt, das analoges Fernsehen, IP-basiertes digitales Fernsehen mit Standardauflösung (SD) und hoher Auflösung (HD) sowie Hochgeschwindigkeitsdaten zum Herunter- und Hochladen aus dem Internet unterstützt. Diese Dienste werden von mehreren Systembetreibern (MSOs) bereitgestellt.

Die Kabeldaten- und Digital-TV-Dienste werden den Verbrauchern über die von der Firma CableLabs und den beteiligten Unternehmen entwickelte Schnittstellenspezifikation für Daten über Kabelsysteme (DOCSIS, data over cable interface specification) bereitgestellt. Bei der Konfiguration der Kopfsta-

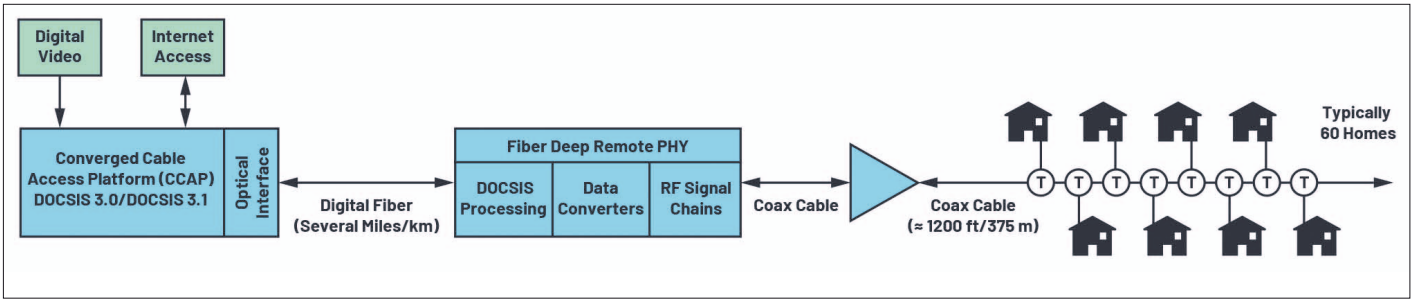


Bild 1: Kabel-TV-Lösung mit abgesetzter PHY

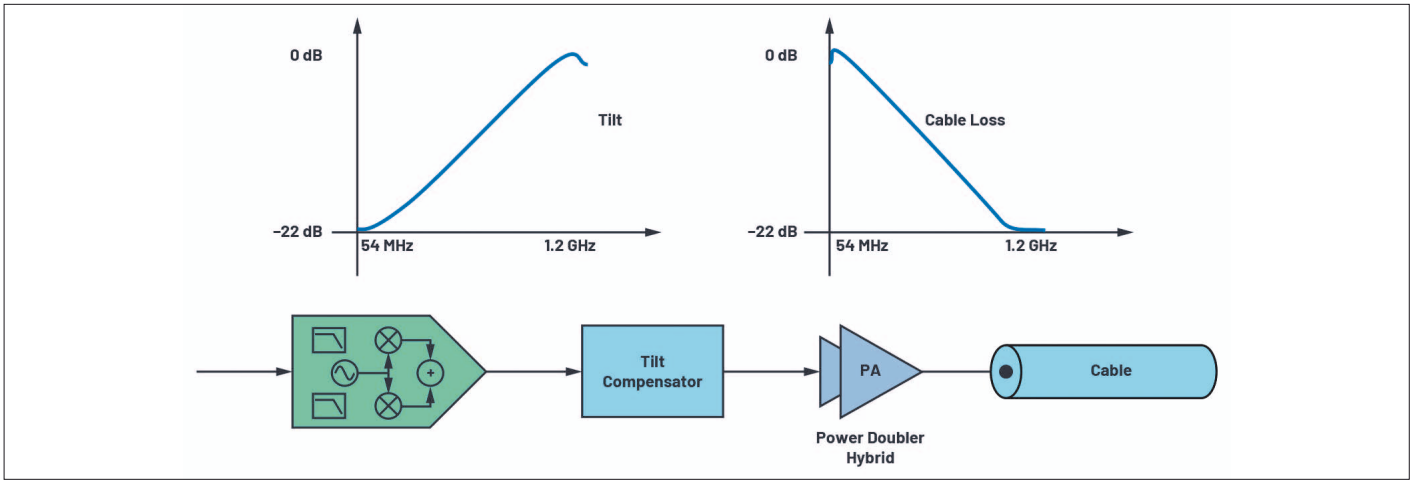


Bild 2: Kompensation des frequenzabhängigen Kabelverlustes

tion (Kabelmodem-Abschlusssystem oder CMTS) hat es mehrere Entwicklungsstufen gegeben, einschließlich der Ergänzung mit EdgeQAM-Modulatoren entweder als separate Einheit oder integriert mit dem CMTS als Teil einer passenden Kabelzugangsplattform (CCAP, converged cable access platform).

Die Nachfrage nach Downstream-Datenkapazität steigt jetzt mit einer durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate von etwa 50 %, was bedeutet, dass sich die Nachfrage etwa alle 21 Monate verdoppelt [1]. Um diese Nachfrage zu befriedigen, sind die Downstream-Datenraten seit der Veröffentlichung von DOCSIS 1.0 im Jahr 1997 von 40 Mbit/s auf 1,2 Gbit/s (mit der weit verbreiteten DOCSIS 3.0-Implementierung) gestiegen.

Diese Geschwindigkeitssteigerungen im Downstream wurden durch die Kombination mehrerer Techniken erreicht, darunter Kanalbündelung, komplexere Modulation (von 64 auf 256 QAM) und höhere Frequenzobergrenze für die Abwärtsstrecke (von 550 auf 750 bis 1002 MHz). In den Vereinigten Staaten wurde alles dies unter Beibehaltung des 6-MHz-Kanalplans des alten analogen TV-Dienstes (in Europa 8 MHz für EuroDOCSIS und C-DOCSIS) umgesetzt, aber Downstream-Raten bis zu 10 Gbps machen grundlegendere Änderungen notwendig, und 2013 wurde der DOCSIS 3.1-Standard veröffentlicht.

DOCSIS 3.1 unterstützt zwar weiterhin die älteren Standards, verwendet jedoch die spektral effizientere OFDM-Technik (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) mit Kanalbandbreiten von bis zu 190 MHz und unterstützt bis zu 4096 QAM. Zusätzlich wurde die obere Frequenzgrenze des Downstream-Frequenzbereichs um mehr als 20 % auf 1218 MHz erhöht, mit einer Option zur Erweiterung auf 1794 MHz.

Was sich im Laufe der Zeit nicht geändert hat, ist die Verwendung eines 75-Ohm-Koaxialkabels für die Verbindung zu den Kabelmodems der Abonnenten. Vor den 90er Jahren wurden zwischen

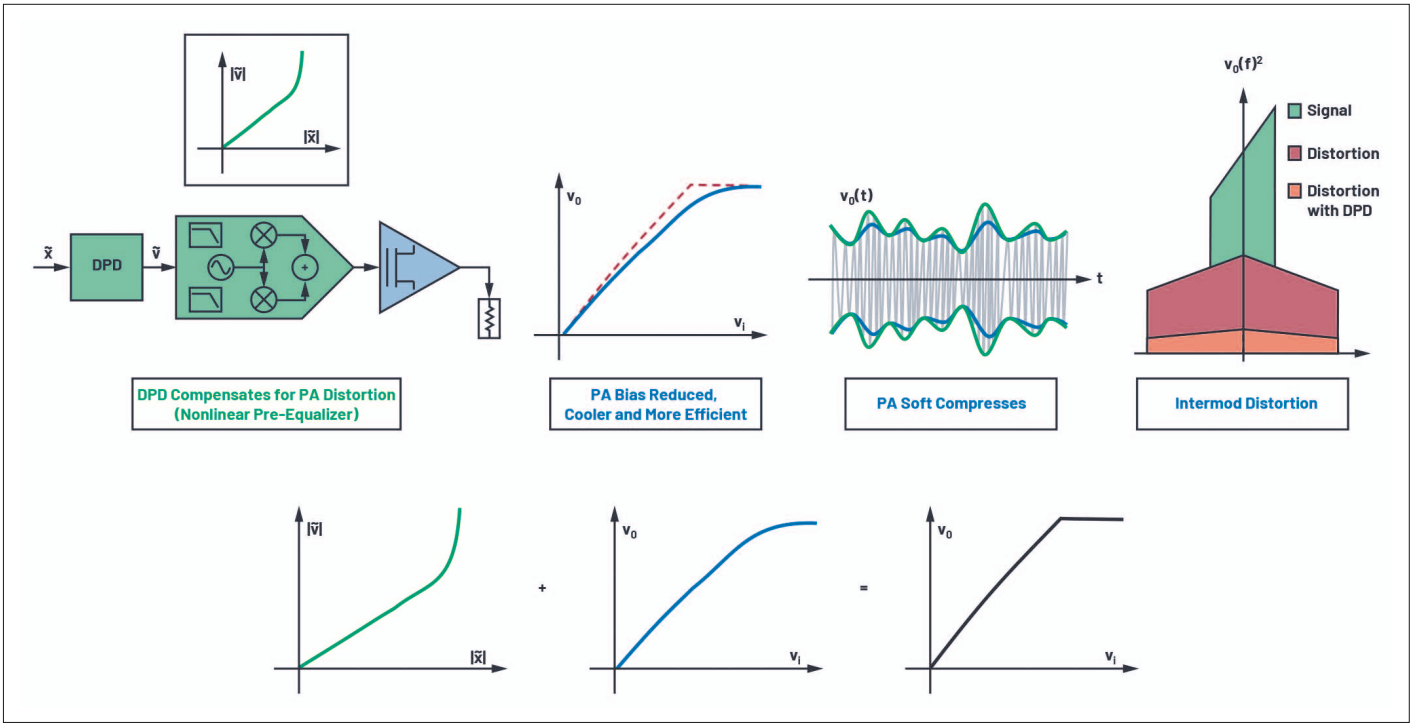


Bild 3: Digitale Vorentzerrung

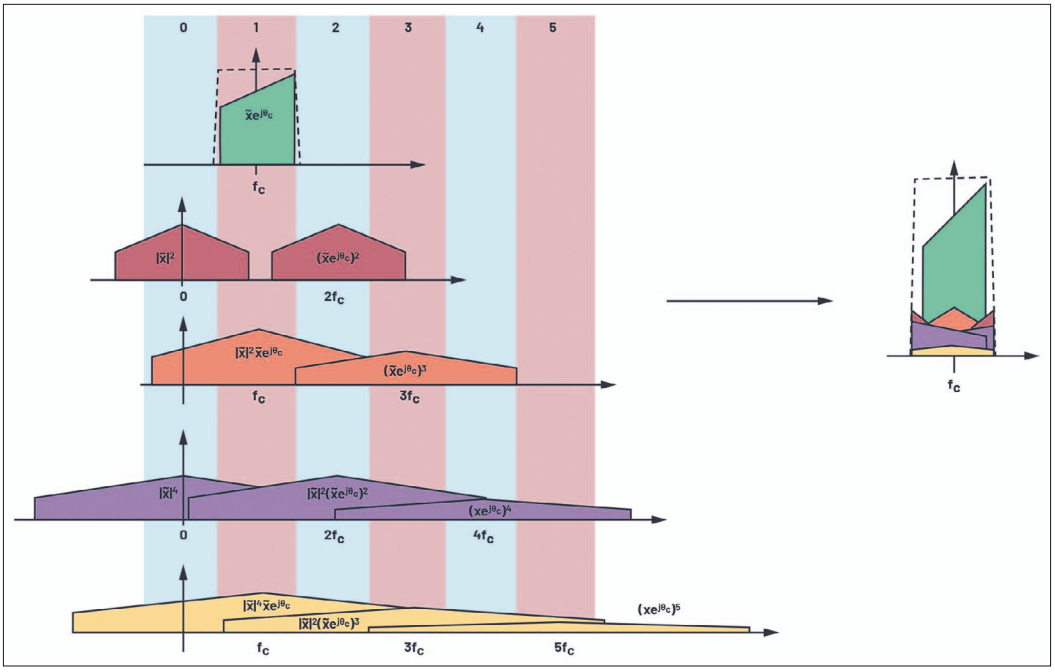


Bild 4: Effekte von harmonischen Breitbandverzerrungen in Breitbandkabel-Applikationen

Kopfstation und Teilnehmer in den Systemen nur Koaxialkabel verwendet, aber die meisten aktuellen Installationen sind Hybridfaserkupfer (HFC). Bei HFC wird ein analoger Elektro-Opto-Wandler an den Koaxialausgang der Kopfstelle angeschlossen; das Signal wird dann über Glasfaser an einen Knoten in der Nähe des Versorgungsgebiets übertragen zu einem Opto-Elektro-Wandler, der die endgültige Verteilung an die Teilnehmer wieder über Koaxialkabel übernimmt. Diese Verbindung auf der letzten Meile zum Teilnehmer über Freileitungs- oder Erdkabel ist zu einem Engpass im System geworden, aber die Aufrüstung auf eine Glasfaserverbindung bis zum Haus (FTTH, fiber to the home) ist sehr teuer und aufwändig, und die Kabel-Systemanbieter sind entschlossen, das Beste aus ihren vorhandenen Koaxialkabelanlagen zu machen.

Im Vergleich zu verdrillten Kabeln sind Koaxialkabel einfach einzusetzen, mit inhärenter Abschirmung gegen Störungen oder Übersprechen und geringen Signalreflexionen. Bei einer typischen Entfernung von bis zu 1.200 Fuß (370 m) vom Knotenpunkt bis zum entferntesten Teilnehmer sind die frequenzabhängigen Dämpfungseigenschaften jedoch signifikant (Zunnahme von fast 17 dB zwischen 108 und 1002 MHz), was eine Vorverzerrung durch Hochpassfilter erfordert.

In einer typischen HFC-Lösung, wie im Aufmacherbild dargestellt, versorgt ein einziges, vom optischen Knotenpunkt aus angeschlossenes Stamm-Koaxialkabel mehrere hundert Teilnehmer, dies mit Mehrweg-HF-Splittern zur Verteilung des Signals an Untergruppen und Abzweigern zum Anschluss von Drop-Kabeln an die einzelnen Teilnehmer. In einem typischen Knoten +n-System gibt es in regelmäßigen Abständen Breitband-Booster-Verstärker im Netzwerk, um den Signalpegel zu erhöhen und einen angemessenen Rauschabstand am Kabelmodem zu gewährleisten.

Versorgung mit erhöhter Datenkapazität

Die verfügbare Bandbreite auf einem DOCSIS-Stammkabel wird von allen angeschlossenen Teilnehmern gemeinsam genutzt. Es gibt zwei Optionen, um allen Teilnehmern mehr Bandbreite zur Verfügung zu stellen:

- Erhöhung der durch das Kabel übertragenen Datenrate
- Verringerung der Anzahl der Teilnehmer

Wie bereits gezeigt, kann die Hauptdatenrate durch Kanalbündelung, Modulationsschemata höherer Ordnung und Erweiterung des Übertragungsspektrums erhöht werden, um so mehr Kanäle verfügbar zu machen.

Die Erhöhung der Downstream-Kapazität ist jedoch nur ein Teil der Lösung, sodass sich auch die Netzarchitekturen weiterentwickelt haben, um die Anzahl der an einen Knoten angeschlossenen Teilnehmer zu verringern, zunächst durch Knotensegmentierung oder Knotensplitting, um die Anzahl der unterstützten Teilnehmer von bis zu 2000 auf weniger als 500 zu reduzieren. Dieser Ansatz ist zwar effektiv, aber teuer.

Eine Alternative zur Aufspaltung oder Segmentierung besteht darin, die Netzwerkarchitektur durch Trennung der physikalischen Schnittstelle (PHY) von der Kabelzugangsplattform (CCAP) zu modifizieren, indem eine Architektur mit verteilter Zugriffsarchitektur (DAA, distributed access architecture) mit einer digitalen Glasfaserverbindung verwendet wird, wie in Bild 1 dargestellt. Die abgesetzte PHY-Hardware enthält die nachfolgenden Modulations- und HF-Stufen sowie die vorgeschalteten HF-Stufen und die Demodulation. Der Wegfall der platzgreifenden und stromhungrigen PHY-Komponenten von der CCAP ermöglicht auch eine virtuelle CCAP mit einem Edge-Router in der Kopfstation.

Eine digitale Glasfaser bietet eine wesentlich höhere Performance als eine analoge Glasfaser, mit größerer Reichweite (bietet mehr Flexibilität bei der Bestimmung von Knotenpunkten) und Unterstützung von etwa fünfmal mehr Wellenlängen auf einer einzigen Glasfaser. Der DAA-Ansatz eliminiert auch die elektrisch-optischen und optisch-elektrischen Umwandlungen des traditionellen HFC-Netzes. Diese Übergänge beschränken den dynamischen Bereich des Signals am Ausgang des optischen Knotens: Sowohl der Rauschpegel als auch die Linearität der Analogwandlungen beeinflussen die Modulationsfehlerrate (MER, modulation error rate), das die Fähigkeit zur Unterstützung der für hohe Datenraten erforderlichen High-Order-Modulationen bestimmt.

Die Herausforderungen

Architekturen unter Verwendung von Glasfasern bieten verbesserte Kapazität auf Basis eines Benutzers durch eine viel kleinere zu bedienende Gruppengröße, mehr Freiheit bei der Spektrumzuweisung und bessere SNR- und MER-Werte am Ende der Leitung (wesentlich für die High-Order-Modulation in DOCSIS 3.1). Mit der digitalen Glasfaser und der neuen Hardware, die sich relativ nahe bei den Teilnehmern befinden, werden auch Möglichkeiten für ergänzende Dienste geschaffen, wie z.B. das Hinzufügen von WiFi-Zugangspunkten an den abgesetzten PHY-Knoten. Bei der nachgeschalteten analogen Downstreamkette ergeben sich jedoch einige neue Design-Herausforderungen.

Der DOCSIS-3.1-Standard erweitert die obere Downstream-Frequenzgrenze von 1002 auf 1218 MHz, was bedeutet, dass das Äquivalent von 35 zusätzlichen 6-MHz-Kanälen übertragen werden muss, und die Signalanhebung wie in Bild 2 dargestellt, von 17 dB auf 21 dB ansteigt.

Da jedes neue System die Kompatibilität mit bestehenden Implementierungen beibehalten muss, und die Leistung im höchsten DOCSIS-3.0-Kanal (Mitte bei 999 MHz) unverändert bleiben muss (typischerweise 57 dBmV), bedeutet dies, dass die erforderliche HF-Leistung im höchsten Kanal (Mittenfrequenz bei 1215 MHz) 61 dBmV beträgt. Mit den zusätzlichen Kanälen, der erhöhten Vorentzerrung und der Notwendigkeit eines hohen SNR am Kabelmodem hat sich der vom ultralinearen Leistungsverstärker der Klasse A (Leistungsverdoppler-Hybrid), der die letzte aktive Komponente vor dem Ausgangsanschluss des Knotens ist, geforderte Ausgangssignalpegel auf einen zusammengesetzten Pegel von 76,8 dBmV mehr als verdoppelt.

Um diesen erhöhten HF-Leistungsbedarf zu decken, mussten die Hybrid-Designer die Gleichstromleistung im Arbeitspunkt pro Hybrid von etwa 10 auf 18 W erhöhen und in einigen Fällen die DC-Versorgungsspannung von einem Industriestandardwert von 24 auf 34 V. Da die Knoten typischerweise bis zu vier HF-Ports mit jeweils einem eigenen Hybrid unterstützen und üblicherweise von einer 60-V-Wechselstromversorgung gespeist werden, die über das Koaxialkabel eingespeist wird, hat dies erhebliche Designänderungen erzwungen und neue Probleme beim Wärmemanagement verursacht.

Um die QAM-Profile höherer Ordnung mit DOCSIS 3.1 zu unterstützen, wurde die anspruchsvollste MER-Anforderung am Knotenausgang von 43 auf 48 dB erhöht [2]. Bei solch hohen MER-Anforderungen können das Phasenrauschen und die Störsignale am DAC-Takt beginnen, sich auf die Systemleistung auszuwirken. Die Hauptbeeinträchtigungen im Leistungsverdoppler, die sich direkt sowohl auf die MER als auch auf die Inband- und Out-of-Band-Verzerrung auswirken, sind nichtlineare Verzerrungen, sowohl harmonische als auch intermodulierte.

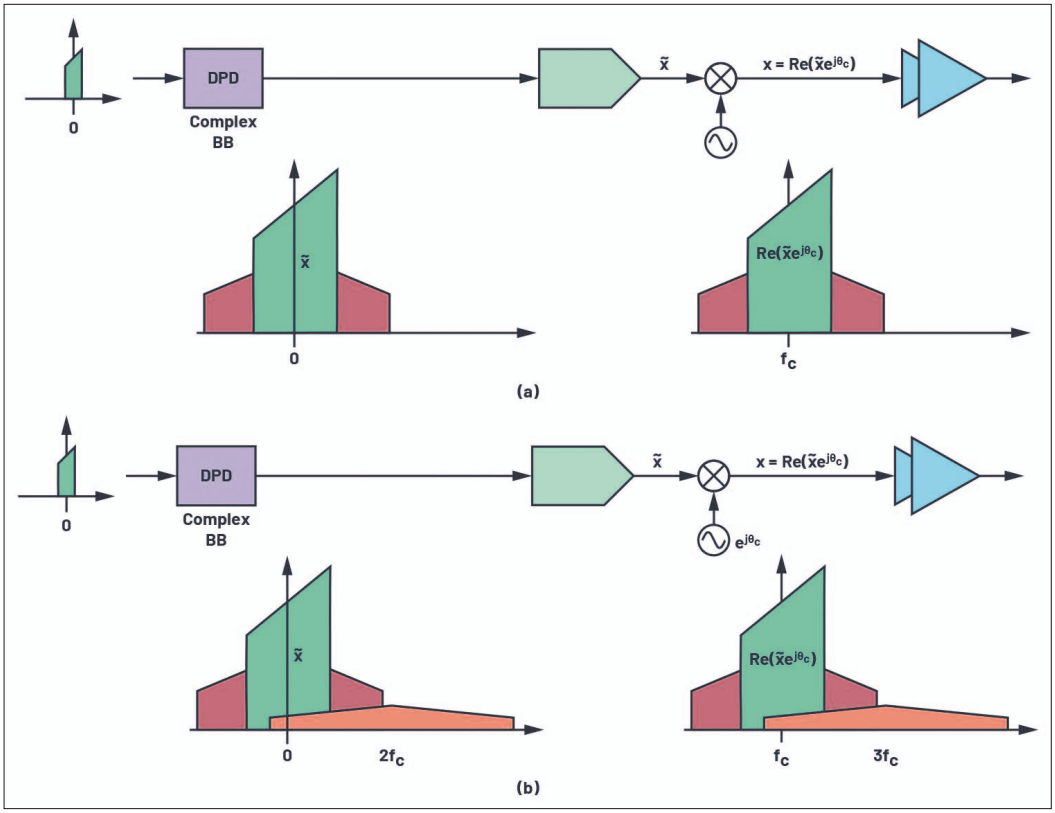


Bild 5: Frequenz-Offset-Anforderungen in der komplexen Basisbandverarbeitung für Breitband-DPD. (a) Herkömmliche Schmalband-DPD-Verarbeitung bei der komplexen Basisbandverarbeitung. (b) Breitband-Kabel-DPD, harmonische Verzerrung außer Bandes muss einen Frequenzversatz aufweisen, um eine HF-Aufwärtswandlung zu ermöglichen

Bei einem Multioktav-Betriebsbereich von 108 bis 1218 MHz gibt es im Band mehrere Harmonische gerader und ungerader Ordnung, und mit 185 D3.0-Trägern (oder gleichwertig) gibt es eine sehr komplexe Reihe von Intermodulations-Produkten. Auch die Vorentzerrung hat einen erheblichen Einfluss, da die Leistung in den oberen Kanälen mehr als 100-mal größer ist als die Leistung in den untersten Kanälen, und hier können Produkte mit signifikanter Differenzfrequenz auftreten. Das Verhältnis von Spitzen- zu Durchschnittsleistung (PAPR, peak to average power ratio) kann 12 dB überschreiten.

All diese Faktoren sind für die Entwickler von Leistungsverdopplern eine große Herausforderung: größere Bandbreite, höhere Durchschnitts- und Spitzenleistung und verbesserte Linearität. Die neuesten Klasse-A-GaAs/GaN-Gegentakt-Hybride wie der ADCA3992 können zwar die Anforderungen an Bandbreite, HF-Leistung und Linearität erfüllen, aber eine weitere Herausforderung für den HF-Systemdesigner besteht zweifellos in der Reduzierung von Stromverbrauch und Verlustleistung: Bei einer Versorgungsleistung von etwa 18 W für eine HF-Ausgangsleistung von 650 mW (entspricht 76,8 dBmV Composite) beträgt der Wirkungsgrad nur 3,6 %.

Wie sieht nun die Systemlösung aus?

Sobald der Hybrid die erforderliche Bandbreite und Leistung bringt, besteht der erste Teil der Lösung darin, sicherzustellen, dass der Leistungsverdoppler-Hybrid, der die letzte aktive Komponente vor dem Ausgangsanschluss ist, mit einem sauberen Signal angesteuert wird. Mit einem leistungsstarken Breitband-16-Bit-HF-DAC wie dem AD9162 und einer JESD204B-kompatiblen Taktquelle mit geringem Phasenrauschen und geringer Störaussendung wie dem HMC7044 ist es möglich, am DAC-Ausgang über den gesamten DOCSIS 3.1-Frequenzbereich etwa 52 dB MER zu erreichen.

Der zweite Teil ist jedoch komplexer. Im Idealfall würde jede Lösung gleichzeitig die Ausgangsleistung des Leistungsverdopplers erhöhen und die MER verbessern und gleichzeitig die Verlustleistung reduzieren, aber diese schließen sich fast gegenseitig aus: Eine Reduzierung der Verlustleistung führt zu einer Verschlechterung der MER bei konstanter Ausgangsleistung oder erfordert eine Rückkopplung der HF-Leistung, damit die

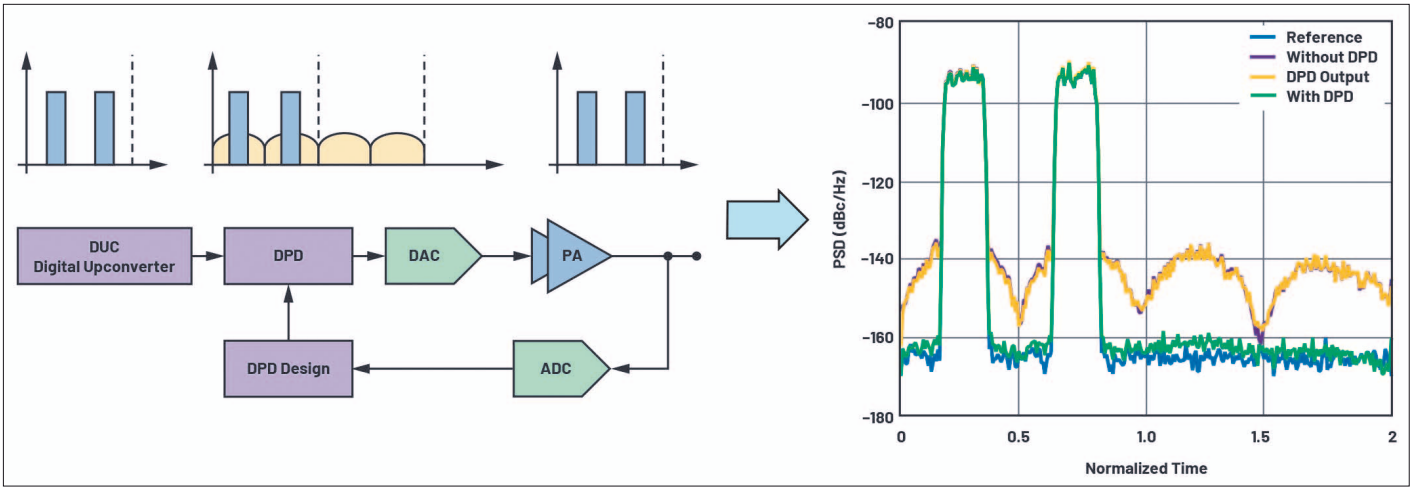


Bild 6: Idealisierte DPD-Implementation ohne Bandbreitenrestriktionen

MER konstant bleibt. Während Techniken wie die Hüllkurvenverfolgung (envelope tracking, ET) zur Verbesserung des Wirkungsgrads eingesetzt werden könnten, wird die Erzeugung des Hüllkurvensignals mit sehr großer Bandbreite und die Linearisierung der erheblichen Verzerrung, die durch den ET-Prozess entsteht, zusätzliche Herausforderungen mit sich bringen.

Für eine Kombination aus Effizienzsteigerung und MER-Verbesserung ist DPD (Digital Pre-distortion) die attraktivste Lösung, die in der gesamten Mobilfunkbranche nahezu universell eingesetzt wird. DPD ermöglicht es, den Leistungsverdoppler-Hybrid in einem effizienteren, aber nichtlineareren Bereich zu betreiben und dann die Verzerrungen in der digitalen Domäne präventiv zu korrigieren, bevor die Daten an den Verstärker gesendet werden. Wie in Bild 3 gezeigt, besteht die Aufgabe der DPD darin, die Daten zu formen, bevor sie zum Verstärker gelangen, um den Verzerrungen entgegenzuwirken, die der Verstärker erzeugen würde, wodurch der lineare Bereich des Leistungsverdopplers erweitert wird.

Mit einem erweiterten linearen Betriebsbereich bietet die DPD einen zusätzlichen Freiheitsgrad, um den Verstärker mit einem reduzierten Bias-Strom oder einer reduzierten Versorgungsspannung laufen zu lassen (Verringerung der Verlustleistung) oder um die MER und die Bitfehlerrate (BER, Bit Error Rate) zu verbessern, wobei sogar eine Kombination aus beidem möglich ist.

Obwohl DPDs in drahtlosen zellularen Infrastrukturen weit verbreitet sind, bedeutet die Implementierung von DPD in einer Kabelumgebung eine einzigartige und anspruchsvolle Anforderung. Dazu gehören die Linearisierung über eine ultraweite Bandbreite, die Minimierung der Verlustleistung bei der digitalen Signalverarbeitung, die für die Implementierung der DPD erforderlich ist, und der Betrieb mit hoher Verstärkungsdifferenz im Spektrum. Alles das muss mit nur geringfügigen Änderungen (und Kostensteigerungen) an der Hardware, dem FPGA und der Software erreicht werden.

Betreibt man einen Verstärker in einem nichtlinearen Betriebsbereich, wird die Effizienz verbessert. Die mehrfachen Inband-Verzerrungsprodukte sind aber eine Herausforderung für die DPD. Es ist nicht nur die grosse Signalbandbreite, sondern auch die Lage im Spektrum (DC…108 MHz), die ein Problem für die DPD darstellt.

Die Art des Kabelsignals unterscheidet sich stark von der drahtlosen Technik, bei der die Bandbreite des gewünschten Signals (z.B. 60 MHz) viel geringer ist als die HF-Mittenfrequenz (z.B. 2140 MHz). Bei einer typischen DOCSIS 3.1-Downstream-Zuweisung von 108 bis 1218 MHz beträgt die gewünschte Signalbandbreite 1,11 GHz mit einer Mittenfrequenz von 663 MHz.

Der Schwerpunkt der Verzerrungen von Kabel-DPD liegt bei den bandeigenen harmonischen Produkten. In typischen drahtlosen Systemen sind die Harmonischen dritter und fünfter Ordnung die wichtigsten, da die anderen Produkte aus dem Band fallen und durch konventionelle Filterung entfernt werden können. Bei einer typischen Kabelinstallation finden sich die ersten elf Harmonischen des niedrigsten Trägers dagegen im Band.

Im Gegensatz zu drahtlosen zellularen Anwendungen, bei denen nur die Harmonischen ungerader Ordnung von Bedeutung sind, fallen bei der Kabelanwendung sowohl die geraden als auch die ungeraden Terme in das Band, wodurch mehrere sich überlappende Verzerrungsbereiche entstehen. Dies hat schwerwiegende Auswirkungen auf die Komplexität und Perfektion jeder DPD-Lösung, da der Algorithmus einfache Schmalbandannahmen übergehen muss. Die DPD-Lösung muss Terme für jede Ordnung der harmonischen Verzerrung berücksichtigen. Jede Ordnung k erfordert [k/2] + 1 Terme (zweite Ordnung: k = 2 ---> 2 Terme, dritte Ordnung: k = 3 ---> 2 Terme, vierte Ordnung: k = 4 ---> 3 Terme usw.). In einem Schmalbandsystem können die Terme gerader Ordnung ignoriert werden, und die ungeraden Ordnungen erzeugen jeweils einen Term innerhalb des interessierenden Bandes. Die DPD muss in der Kabelapplikation sowohl harmonischen Verzerrungen ungerader als auch gerader Ordnung beherrschen und berücksichtigen, dass jede Ordnung mehrere sich überlappende Inband-Elemente haben kann.

Positionierung der Verzerrungskorrekturen

Betrachtet man eine herkömmliche schmalbandige DPD-Lösung, bei der die Verarbeitung im komplexen Basisband erfolgt, so geht es in erster Linie um harmonische Verzerrungen, die symmetrisch zum Träger sind. In Breitbandkabelsystemen wird diese Symmetrie zwar für die Terme beibehalten, die sich um die erste Harmonische herum befinden, sie gilt jedoch nicht mehr für die höher harmonischen Produkte (Bild 4).

Wie in Bild 5a dargestellt, wird die konventionelle Schmalband-DPD im komplexen Basisband implementiert. Dabei fallen nur die Produkte der ersten Harmonischen in das Band, so dass ihre Lage im Basisband direkt in HF umgesetzt wird. Betrachtet man die Breitband-Kabel-DPD (Bild 5b), so müssen die höheren harmonischen Verzerrungen frequenzversetzt sein,

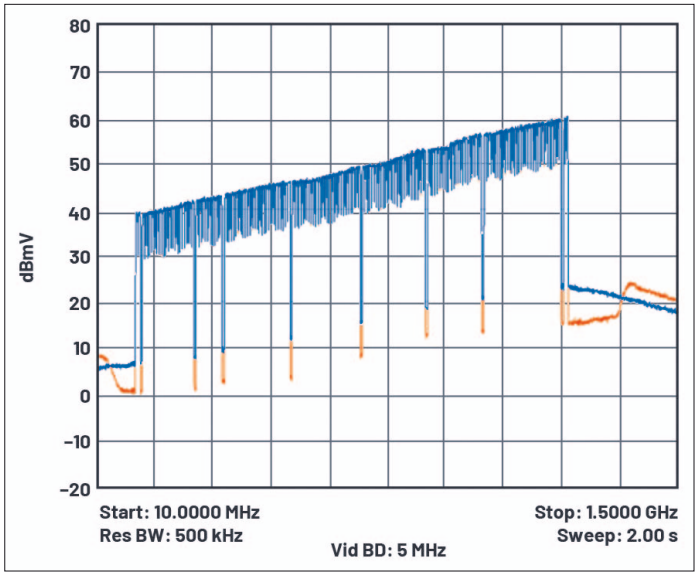


Bild 7: ADCA3992 Performance bei 76,8 dBmV ohne DPD (blau) und mit DPD (orange)

damit die Basisbandlagen nach der Aufwärtswandlung im realen HF-Spektrum richtig positioniert sind.

Bild 6 gibt einen Überblick über eine DPD-Implementierung. Im Idealfall unterlieget der Weg vom digitalen Aufwärtswandler (DUC, Digutal Up Conversion) über die DPD zum DAC und durch den Leistungsverdoppler keiner Bandbreitenbeschränkung. Ebenso wird der ADC auf dem betrachteten Pfad die volle Bandbreite digitalisieren. Beachten Sie, dass zur Veranschaulichung ein Signalpfad mit 2× Bandbreite gezeigt wird; bei einigen drahtlosen zellularen Anwendungen kann sich dieser auf 3× bis 5× erstrecken. Bei der idealen Implementierung erzeugt die DPD sowohl bandeigene als auch bandexterne Terme, die die durch den PA verursachte Verzerrung vollständig auslöschen.

Es ist wichtig zu beachten, dass für eine genaue Auslöschung Terme weit außerhalb der Bandbreite des interessierenden Signals erzeugt werden. In einer praktischen Implementierung weist der Signalpfad Bandbreitenbeschränkungen und Frequenzgangeingenschaften auf, die die DPD-Leistung vom Ideal abweichen lassen.

Analog Devices hat eine komplette echtzeitfähige, closed-loop, adaptive DPD-Lösung für Kabel entwickelt, die aus einem Aktuator in der FPGA-Fabric und einer softwarebasierten Anpassung im eingebetteten Prozessor besteht. Die Implementierung verwendet ein Intel Arria 10 660 FPGA mit einem eingebetteten Arm-Cortex-Prozessor. Die Leistungsaufnahme des DPD-IP-Kerns und des ARM beträgt 5,3 W, obwohl mit neueren Generationen von FPGAs oder dem Übergang zum ASIC diese Leistung voraussichtlich unter 3 W liegen wird.

Bild 7 zeigt die Ergebnisse eines Tests mit einem ADCA3992, betrieben mit einer 76,8 dBmV Gesamtleistung bei einer Versorgungsspannung von 34 V und einem Biasstrom von 400 mA (13,6 W Gleichstromleistung). Verwendet wird eine Reihe von DOCSIS-3.0-Trägern, zentriert von 111 bis 1215 MHz mit 21 dB Vorentzerrung. Es wurde eine kleine Anzahl von Lücken eingeführt, um die Verzerrung über das gesamte Band betrachten zu können. Es kann beobachtet werden, dass die Verzerrung am unteren Ende des Bandes um etwa 6 dB verbessert wird, mit mehr als 8 dB am oberen Ende des Bandes.

Die DC-Leistungseinsparung im Vergleich zu einem nominalen Nicht-DPD-Leistungsverdopplerstrom von 530 mA beträgt 4,4 W. Bei einem 4-Port-System beträgt die gesamte Leistungseinsparung also 17,6 W abzüglich dem FPGA-Verbrauch von 5,3 W, was zu einer Nettoeinsparung von 12,3 W führt. Dies ist eine erhebliche Reduzierung des Stromverbrauchs (und der Wärmeverluste) für ein 4-Port-System von 72 W auf 59,7 W. Es ist wahrscheinlich, dass der Biasstrom für jeden Verdoppler weiter auf 350 mA (11,9 W) reduziert werden könnte, während immer noch eine Ziel-MER von 41 dB erreicht wird, was zu einer Netto-Systemeinsparung von 19,2 W führt.

Schlussbemerkung

Trotz der zunehmenden Verfügbarkeit mobiler Hochgeschwindigkeitsdaten und von Glasfaser bis in die Haushalte, stellen die massive Ausdehnung der bestehenden Netzwerke der letzten Meile und ihre relativ günstigen elektrischen Eigenschaften sicher, dass sie auf absehbare Zeit ein wichtiges Vehikel für die Bereitstellung von Sprach-, Video- und Datendiensten für die Verbraucher bleiben werden. Mit dem Übergang der Kabelnetzwerke zu DOCSIS 3.1 und deren Weiterentwicklung wird es immer schwieriger, die Anforderungen an die Systemleistung, wie z.B. einen breiteren Frequenzbereich, höherer Leistung, besserer Modulationsgenauigkeit und höherer Energieeffizienz, zu erfüllen. DPD ist ein Mittel, um diesen konträren Anforderungen gerecht zu werden, auch wenn ihre Umsetzung in der Kabelanwendung besondere und schwierige Herausforderungen mit sich bringen. Analog Devices hat eine Gesamtsystemlösung zur Bewältigung dieser Herausforderungen entwickelt, die Mixed-Signal-Silizium (DACs, ADCs und Takt), HF-Leistungsmodule (GaN/GaAs-Hybride) und fortschrittliche Algorithmen umfassen. Die Kombination aller drei Technologien bietet Geräteherstellern eine hochleistungsfähige, anpassungsfähige Lösung mit der Flexibilität, Stromverbrauch und Systemleistung mit minimalen Kompromissen gegeneinander abzuwägen. Die softwaredefinierte Linearisierung unterstützt auch einen unkomplizierten Übergang zur nächsten Generation von Kabeltechnologien, von denen erwartet wird, dass sie Vollduplex (FD), erweiterte Bandbreite (bis 1794 MHz) und Hüllkurvenverfolgung (ET) umfassen.

Der Autor dankt Patrick Pratt für die DPD-Diagramme.

Referenzen

[1] Robert L. Howald: The Fiber Frontier, Spring Technical Forum Proceedings, 2016

[2] Data-Over-Cable Service Interface Specifications, DOCSIS 3.1, Physical Layer Specification: CM-SP-PHYv3.1-I08-151210. CableLabs, May 2017 ◄

Über den Autor

Simon Whittle ist technischer Programm-Manager für die Gruppe Drahtlose Systeme innerhalb der Abteilung für Kommunikation. Er arbeitet im Büro von Analog Devices in Bath (Großbritannien), wo er Projekte zu Systemen für Kabelfernsehen und 5G-Millimeterwellen leitet.

Bevor er im Juli 2012 zu Analog Devices kam, arbeitete Simon Whittle in der Mobilfunk-Infrastrukturbranche und leitete Teams, die Technologien für abgesetzte 3G- und 4G-Funkbasisstationen entwickelten. Davor entwickelte er Empfänger und Hochleistungssender für Zellular-, Mobilfunk- und Rundfunkanwendungen, für die er mehrere Patente hält.

Er schloss 1983 sein Studium an der Universität von Surrey ab und ist Mitglied des IEEE. Er kann unter simon.whittle@analog.com erreicht werden.