

Nachbarkanalmessungen mit dem Spektrumanalysator

Der vorliegende Artikel befasst sich mit der Messung der Nachbarkanalleistung (ACP, Adjacent Channel Power). Die ACP ist ein Maß für die Nichtlinearität eines Geräts und erfasst die Aufspreizung der Bandbreite in die Nachbarkanäle hinein.

Der Leser erfährt, wie die Messung durchgeführt wird und wie Messgeschwindigkeit, Reproduzierbarkeit und Dynamikbereich optimiert werden können. Ein Blick auf neue Messmethoden zeigt, wie man bei dieser Messung die schnellsten und am besten reproduzierbaren Ergebnisse erzielen kann.

Geschichte der ACP-Messung

Die ACP-Messung gibt es seit vielen Jahren. Ursprünglich benutzte man sie für schmalbandige analog modulierte Signale und ermittelte das Verhältnis der Leistung in den höheren und niedrigeren Kanälen zur gesamten Sendeleistung. Die Sendegesamtleistung war definiert als die Trägerleistung plus dem Großteil der in höheren oder niedrigeren Kanälen übermittelten Leistung. Heute wird die Messung definiert als Verhältnis von einem oder mehreren benachbarten Kanälen zur gesamten Trägerleistung über die Bandbreite des Kanals hinweg.

Im Mobilfunk ist man darauf angewiesen, dass nur wenig Leistung in die Nachbarkanäle abgestrahlt wird, so dass sie die Kommunikation in diesen Kanälen nicht stört. Deswegen ist die Messung der Nachbarkanalleistung von zentraler Bedeutung. Mobilfunkstandards wie W-CDMA, cdma2000® und LTE definieren die zugehörigen Messmethoden und Grenzwerte und geben der Messung einen noch aussagekräftigeren Namen. cdma2000 beispielsweise schreibt von ACPR (Adjacent Channel Power Ratio), W-CDMA spricht von ACLR (Adjacent Channel Leakage Ratio). GSM und EDGE haben ähnliche Anforderungen und arbeiten mit einer Messung des Ausgangsspektrums (ORFS, Output RF Spectrum), damit sichergestellt ist, dass die in die Nachbarkanäle eingestreute Leistung ein bestimmtes Maß nicht überschreitet. Die meisten modernen

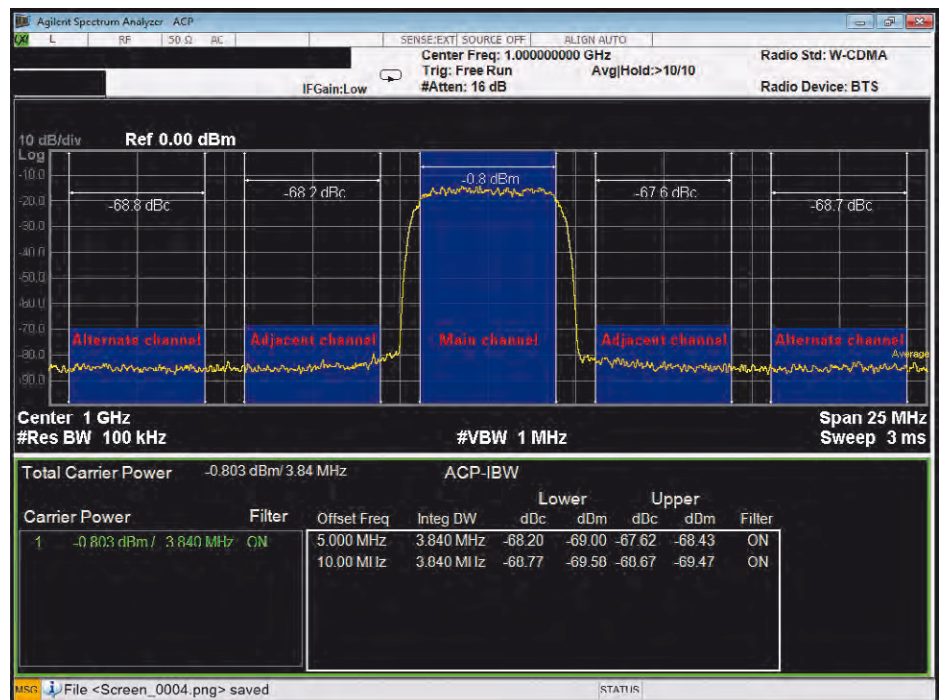


Bild 1: W-CDMA-ACLR-Messung der benachbarten und übernächsten Kanäle.

Spektrumanalysatoren verfügen über vordefinierte Einstellungen für verschiedene Standards, dadurch lassen sich diese Geräte schnell für die entsprechenden Messungen einstellen.

Bei schmalbandigen analog modulierten Signalen ist hauptsächlich das Phasenrauschen des Lokaloszillators für die in die Nachbarkanäle eingestreute Leistung verantwortlich. Bei heutigen breitbandigen Signalen stammt die Nachbarkanalleistung von verschiedenen Faktoren. Sie rührt wiederum vom Phasenrauschen her, aber auch von Intermodulationsverzerrungen und dem Grundrauschen des Systems. Diese Faktoren beeinflussen gleichzeitig den ACP-Dynamikbereich, den ein Spektrumanalysator bei diesen Messungen erreichen kann.

Das Ergebnis einer ACP-Messung kann folgendermaßen dargestellt werden:

$$ACP_{dBc} = 10 \log \left(\frac{P_{adj}}{P_{ch}} \right) \quad (1)$$

Hierbei ist P_{adj} die Leistung im Nachbarkanal und die Leistung innerhalb des Nutzkanals.

Bild 1 zeigt die Bildschirmdarstellung eines Signalanalysators Agilent N9020A MXA bei der Durchführung einer ACLR-Messung an einem W-CDMA-Signal. Die ACLR-Messung ist definiert als die relative Leistung in den direkt benachbarten und jeweils über-

nächsten Kanälen im Verhältnis zum Träger, der mit einer Bandbreite von 3,84 MHz gemessen wird. Der Kanalabstand beträgt jeweils 5 MHz (somit 10 MHz zu den übernächsten Kanälen). Die Leistungen in den Kanälen werden als Integral berechnet (siehe Gleichung 2), dabei wird jeder Messwert (dBm) in den Kanälen in mW umgerechnet und mit den passenden Integrationsparametern aufsummiert.

$$P_{mW} = \sum \frac{10^{\frac{dBm}{10}} \cdot SPAN}{NBW(\#Pnts - 1)} \quad (2)$$

Danach wird die Leistung entsprechend dem RRC-Filter (Root Raised Cosine Filter) rechnerisch korrigiert, das bei W-CDMA eingesetzt wird.

Dynamikbereich

Bei breitbandigen Signalen besteht die Bandbreitenaufspreizung in die benachbarten und übernächsten Kanäle überwiegend aus kohärenten und nichtkohärenten Verzerrungen. Die kohärenten Verzerrungen werden normalerweise aus nichtlinearen Verzerrungen der 3. und der 5. Harmonischen zusammengesetzt, die im Testobjekt entstehen. Die nichtkohärenten Verzerrungen sind ihrer Natur nach rauschähnlich, sie sind primär auf das Phasenrauschen des Lokaloszillators und das Grundrauschen des Geräts zurückzuführen. Auch der Spektrumanalysator selbst

Von Bob Nelson & Spiro Moskova,
Agilent Technologies

erzeugt Störungen in den Nachbarbändern. Man kann das Maß der entstehenden Verzerrungen allerdings durch geeignete Einstellung des Geräts gering halten. Die Verzerrungen der 3. und 5. Harmonischen, die im Spektrumanalysator entstehen, hängen vom Mischerpegel ab, der nach Gleichung 3 berechnet werden kann:

$$\text{Mixer Level} = \text{DUT-Level} - \text{external atten} - \text{internal atten} \quad (3)$$

Teilt man (extern oder intern) das Messsignal herunter, verringert man damit den Pegel am Mischer des Spektrumanalysators, wodurch der Pegel der hier entstehenden Verzerrungen sinkt. Somit wäre eine möglichst starke Abschwächung des Eingangssignal wünschenswert. Leider handelt man sich damit aber einen Nachteil ein: Der Abstand des Messsignals zum Grundrauschen des Spektrumanalysators verringert sich. Aus diesem Grund ist die Optimierung des Dynamikbereichs bei ACP-Messungen durch geeignete Einstellung des Eingangsteilers immer wieder eine Herausforderung.

Optimierung der Einstellung des Spektrumanalysators für einen maximalen Dynamikbereich

Um optimale Einstellung des Spektrumanalysators finden zu können, muss man vorher die Dynamik der verschiedenen Verzerrungen verstanden haben. Die 3. Harmonische taucht primär in den Nachbarkanälen auf, die 5. Harmonische vorwiegend in den übernächsten Kanälen. Wenn der Eingangsteiler herunter geregelt wird, reduziert das den Signalpegel am Mischer. Dadurch sinkt die 5. Harmonische deutlich schneller als die 3. Harmonische (5:1 gegenüber 3:1). Im übernächsten Kanal fallen damit die kohärenten Verzerrungen schnell unter das Grundrauschen, wohingegen die 3. Harmonische im Nachbarkanal noch deutlich über dem Grundrauschen liegt. Teilt man das Eingangssignal noch weiter herunter, bekommt man im übernächsten Kanal eine schlechtere ACP-Genauigkeit, weil sich dadurch das Grundrauschen relativ erhöht.

Den besten Kompromiss zwischen der Absenkung der kohärenten Verzerrungen im Nachbarkanal und der Verringerung des Dynamikbereichs im übernächsten Kanal erzielt man mittels Rauschkorrektur (bei Agilent Signalanalysatoren als „Noise Floor Extension“, NFE, bezeichnet). Zuerst wird der Eingangsteiler zur Verringerung der intern erzeugten Verzerrungen im Nachbarkanal stufenweise herunter geregelt, bis sich die ACP-Ergebnisse im Nachbarkanal nicht weiter verbessern. Damit wird sicher-

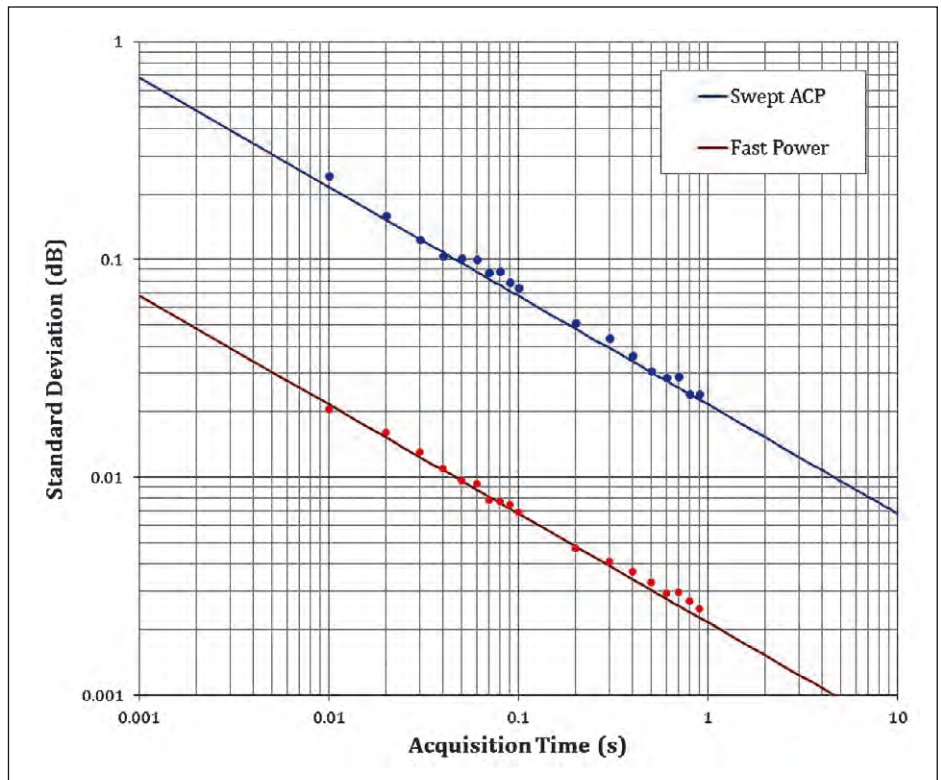


Bild 2: Reproduzierbarkeit für ein übliches Verhältnis Auflösungsbandbreite zu Kanalbreite. Vergleich zwischen Wobbelverfahren und „fast power“

gestellt, dass auch im übernächsten Kanal die ACP-Leistung des Testobjekts gemessen wird. Anschließend wird die Rauschkorrektur dazu geschaltet. Sie reduziert die nichtkohärenten Verzerrungen im übernächsten Kanal, die aus dem Grundrauschen des Spektrumanalysators stammen.

Wenn – wie z. B. bei Messungen nach dem Tetra-Standard – Phasenrauschen der begrenzte Faktor ist, kann man bei modernen Spektrumanalysatoren wahlweise das nahe oder das ferne Phasenrauschen minimieren.

Messunsicherheit

Bei den meisten Messungen von nichtlinearen Verzerrungen wie Harmonischen, TOI (Third Order Intercept) und SHI (SHI, Second Harmonic Intercept) muss man dafür sorgen, dass intern im Messgerät entstandene Intermodulationsverzerrungen die Verzerrungen des Testobjekts nicht auslösen. Das kann vorkommen, wenn intern entstandene Verzerrungen von der Amplitude her etwa gleich groß sind wie Verzerrungen durch das Testobjekt, aber von ihrer Phasenlage her gegenphasig sind. Erzielt man durch geringfügige Änderungen des Eingangsteilers sofort große Verbesserungen der ACP, ist das vermutlich der Fall. Sind die Amplituden von intern erzeugten Verzerrungen und Verzerrungen durch das Testobjekt gleich, beträgt die Unsicherheit

der Messung +6 dB bis „minus unendlich“. Die Unsicherheit der Messergebnisse ist am geringsten, wenn die internen Verzerrungen des Spektrumanalysator einige dB schwächer sind als die Verzerrungen des Testobjekts. Um das zu erreichen und damit diese Unsicherheit auszuschließen, kann es notwendig werden, einen leistungsfähigeren Spektrumanalysator einzusetzen.

Die Signalanalysatoren der Serie X von Agilent verfügen über eine Funktion Adjust for Minimum Clip (Einstellung für minimale Begrenzung), mit der man den Pegel am Mischer automatisch optimal an den Eingangspegel anpassen kann. Der Pegel am Mischer wird hierbei so gewählt, dass er den optimalen Dynamikbereich ohne übermäßig große Messunsicherheit erzielt.

Geschwindigkeit versus Reproduzierbarkeit

Die meisten modernen Spektrumanalysatoren messen Kanalleistungen bei gewobbelten ACP-Messungen mit integrierenden Detektoren oder solchen, die Effektivwerte messen. Die beobachtete Varianz ergibt sich zu:

$$\sigma = \frac{4.22 \text{ dB}}{\sqrt{t_{\text{acquisition}} * \text{NBW}}} \quad (4)$$

Hierbei ist

$$NBW_{\text{sweep}} = \text{ChannelBW} * \frac{RBW}{SPAN} \quad (5)$$

und acquisition die Wobbelzeit des Spektrumanalysators.

In den meisten Fällen gibt der jeweilige Standard die Bandbreite der Kanäle und die Auflösungsbandbreite (RBW, Resolution Bandwidth) vor. Für besser reproduzierbare Ergebnisse muss man die Wobbelzeit verlängern. Dadurch steigt allerdings die Messzeit insgesamt.

Agilent's Fast Power Option

Die Signalanalysatoren der Serie X von Agilent verfügen über eine Option Fast Power, mit der man Leistungsmessungen wie Kanalleistung, Nachbarkanalleistung, Leistungsbandbreite und X-dB-Messungen (Option FP2) sehr schnell durchführen kann. Die Leistungsmessungen werden per Hardware beschleunigt, der FPGA-Code arbeitet echtzeitig überlappende FFT-Berechnungen ab. Aus den Ergebnissen aller FFTs wird der Effektivwert ermittelt, zusammen liefern sie das Echtzeitspektrum, aus dem die Leistungswerte errechnet werden. Diese Funktion ist nur im Fernsteuerungsbetrieb (z. Bsp. SCPI) abrufbar und ermöglicht es Messungen wie etwa die der Nachbarkanalleistung direkt in Hardware durchzuführen.

Man kann beispielsweise mit einem externen Steuerprogramm eine W-CDMA-ACLR-Messung anfordern, während eine EVM-Messung lokal am Messinstrument durchgeführt wird. Bei einer Erfassungszeit von 1 ms kann eine Messzeit von 3 ms erreicht werden.

Die Methode fast power verbessert die Reproduzierbarkeit, weil mit einer deutlich größeren Bandbreite alle Kanäle gleichzeitig gemessen werden. Als Beispiel berechnen wir die Reproduzierbarkeit der gewobbelten ACLR-Messung aus Bild 1. Die Messung arbeitet mit folgenden Einstellungen: Wobbelzeit 3 ms, Auflösungsbandbreite 100 kHz, Kanalbandbreite 3,84 MHz in einem Bereich von 25 MHz. Die Wobbelmessung dauert insgesamt 13 ms. Mithilfe der Gleichung 4 kann die Reproduzierbarkeit der gewobbelten Messung wie folgt berechnet werden:

$$\sigma_{\text{sweep}} = \frac{4.22 \text{ dB}}{\sqrt{3 \text{ ms} * 3.84 \text{ MHz} * \left(\frac{100 \text{ kHz}}{25 \text{ MHz}}\right)}} = 0.6 \text{ dB} \quad (5)$$

Damit kann nun die Reproduzierbarkeit und die Messzeit der Methode fast power mit 1 ms Erfassungszeit und einer Gesamtmesszeit von 3 ms mit der Wobbelmethode ver-

glichen werden. Für die Methode fast power gilt für NBW folgende Gleichung:

$$NBW_{\text{FFT}} = \text{ChannelBW}$$

Daher ergibt sich für die Reproduzierbarkeit der Methode fast power:

$$\sigma_{\text{FFT}} = \frac{4.22 \text{ dB}}{\sqrt{1 \text{ ms} * 3.84 \text{ MHz}}} = 0.07 \text{ dB} \quad (6)$$

Mit fast power können ACLR-Messungen demzufolge im Vergleich zur gewobbelten Messung viermal so schnell durchgeführt werden und verbessern dabei die Reproduzierbarkeit um den Faktor 9.

Bild 2 zeigt die Reproduzierbarkeit von ACP-Messungen nach dem Wobbelverfahren und mit Fast Power für verschiedene Erfassungszeiten. Die roten und blauen Linien sind die theoretischen Werte, wie sie sich aus Gleichung 4 ergeben.

Gewobbelte Messungen werden immer einen größeren Dynamikbereich aufweisen als Fast Power-Messungen, weil sie mit einem schmalbandigen Zwischenfrequenzfilter arbeiten. Dieses schmalbandige ZF-Filter liefert eine viel geringere Spitzenleistung an den A/D-Wandler als bei Fast Power, wo man das ganze Band gleichzeitig misst. Ist ein großer Dynamikbereich wichtig, sollte man daher mit dem Wobbelverfahren arbeiten. Braucht man aber eine möglichst hohe Messgeschwindigkeit und Reproduzierbarkeit, beispielsweise in einem automatischen Testsystem, wo ein großer Dynamikbereich nicht das vordringliche Kriterium ist, ist die Option Fast Power der Signalanalysatoren der Familie X von Agilent anderen Messmethoden weit überlegen.

Zusammenfassung

Der vorliegende Artikel hat eine Reihe von Fragen zu ACP-Messungen behandelt. Mit dem Aufkommen von neuen Modulationsmethoden braucht man weitere Messungen wie etwa die Spektralemissionsmaske (SEM, Spectral Emission Mask), die dem Anwender mehr Einblick in die Linearität seiner Testobjekte geben. Diese Messungen zusammen mit Messungen der linearen Verzerrung wie etwa Fehlervektor (EVM, Error Vector Magnitude) stellen sicher, dass die Nutzer der Endprodukte sich einer ungestörten Kommunikation erfreuen können und das begrenzte Spektrum „sauber“ genutzt wird.

cdma2000 ist in den USA ein eingetragenes Warenzeichen der Telecommunications Industry Association.

EMV, WÄRME-ABLEITUNG UND ABSORPTION SETZEN SIE AUF QUALITÄT

Maßgeschneiderte Produkte nach individuellen Vorgaben für kundenspezifische Anwendungen, hergestellt mittels modernster Technologie, stehen für uns im Vordergrund. Mehr als 25 Jahre Erfahrung, qualifizierte Beratung und applikative Unterstützung unserer Kunden sowie namhafte Kooperationspartner sind die Bausteine für unseren Erfolg.



Zeichnungsteile mittels Schneidplotter



Stanzteilherstellung mittels Hochleistungsstanzmaschine



Zuschnitt „cut to length“



Herstellung von O-Ringen



Zuschnitt von Rollenware



Stanzteilherstellung mittels Swing-Beam-Presse



Zuschnitt mittels Wasserstrahltechnik

Hohe Straße 3
61231 Bad Nauheim
T +49 (0)6032 9636-0
F +49 (0)6032 9636-49
info@electronic-service.de
www.electronic-service.de



ELECTRONIC SERVICE GmbH