

Vergleich des Dynamikbereichs von Spektrumanalysatoren bzw. Funkempfängern – Teil 2

Ob im Bestand oder bei Neubeschaffungen: Der Dynamikbereich ist eines der Hauptkriterien von Spektrumanalysatoren und Funkempfängern. Sowohl für fehlerfreie Messungen, als auch für Kaufentscheidungen spielt er eine signifikante Rolle. Diese Technical Note liefert Erklärungen zur Dynamik auf Einsteiger- und Fortgeschrittenenniveau und erläutert, was es bei Vergleichen zu beachten gilt.

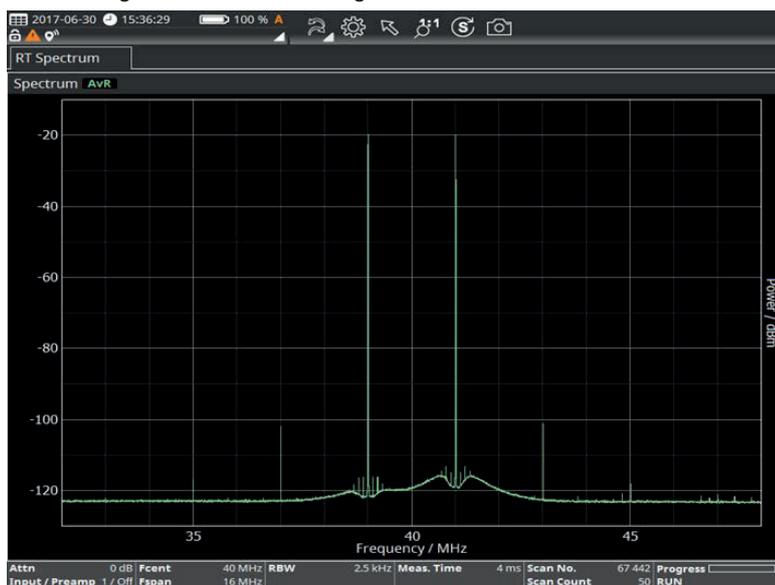


Bild 1: Narda SignalShark

Inhalt

Teil 1: Technical Note 112,

1 Was ist Dynamik?.....	Seite	2
-------------------------	-------	---

Teil 2: Technical Note 113,

2 Vorgehensweise bei Dynamik-Vergleichen	Seite	2
3 Dynamik unter ITU-Gesichtspunkten	Seite	11
4 Der hohe Dynamikbereich (HDR) des Narda SignalShark .	Seite	14
5 Dynamiksteigernde Maßnahmen	Seite	17
6 Schlussfolgerungen	Seite	19
7 Verweise	Seite	21



2 Vorgehensweise bei Dynamikvergleichen

Mit Teil 1 haben wir eine stabile Basis errichtet, um die Dynamik von Messinstrumenten untereinander vergleichen zu können.

Datenblattvergleiche mögen zunächst opportun erscheinen, schließlich sind Datenblätter per Internet schnell abrufbar und bieten die relevantesten Spezifikationen in prägnanter Form. Legt man zwei Spektrumanalysator- oder Empfängerdatenblätter jedoch nebeneinander, ist schnell feststellbar, dass ein vernünftiger Vergleich keineswegs trivial ist. Datenblätter unterscheiden sich nicht nur im Format, Umfang oder Detailgrad, sondern auch in der Art, wie ein und derselbe technische Parameter, zum Beispiel die Dynamik, beschrieben wird. Die folgenden Ratschläge sollen helfen, sich systematisch mit Vergleichen auseinanderzusetzen:

IP2/SOI, IP3/TOI, SHI, THI

Die Angabe von IP2/SOI und IP3/TOI ist in Datenblättern quasi-obligatorisch. Häufig werden diese Parameter auch exklusiv für bestimmte Frequenzbereiche angegeben. Wird statt dem IP2/SOI der SHI angegeben, so ist eine Konvertierung möglich. Wie in Kapitel 1.2 verdeutlicht, liegt der SHI 6 dB über dem IP2/SOI. Ähnlich verhält es sich mit IP3/TOI und THI: Der THI liegt 4,77 dB über dem IP3/TOI. (Eine Konvertierung von IP2/SOI zu IP3/TOI oder von SHI zu THI ist nicht möglich!)

Es ist äußerst wichtig zu beachten, ob den angegebenen Werten eine Eingangsdämpfung zu Grunde gelegt wurde. Normalerweise sollten die Parameter auf „Att = 0 dB“ beruhen. Ist dies nicht der Fall, so müssen IP2/SOI, IP3/TOI, SHI und THI um den angegebenen Dämpfungsbetrag reduziert werden.

Wird statt der Eingangsdämpfung das Reference Level angegeben, so muss zunächst geklärt werden, ob im Messinstrument Eingangsdämpfung und Reference Level fest, also dB für dB, miteinander verknüpft sind. Ist dies der Fall, so kann die Differenz zwischen angegebenem und minimalem Reference Level (meist in Datenblatt genannt) ebenfalls vom IP2/SOI, IP3/TOI, SHI bzw. THI abgezogen werden. Wenn aber keine Information darüber vorliegt, an welche Eingangsdämpfung das Reference Level gekoppelt ist, so erleidet der Parametervergleich einen systematischen Fehler und die Herstellerangaben sind in Frage zu stellen.



Falls alternativ zur Angabe von Eingangsdämpfung oder Reference Level Begriffe wie „Low Distortion Mode“, „Normal Mode“ oder „High Sensitivity Mode“ gewählt wurden, sind üblicherweise die unter „Normal Mode“ angegebenen Parameter heranzuziehen. Die Parameter für „High Sensitivity Mode“ sind nur dann heranzuziehen, wenn sichergestellt wird, dass dabei kein zusätzlicher Vorverstärker beteiligt war. Normalerweise sinken die Pegel der Intercept Points von „Low Distortion“ über „Normal“ zu „High Sensitivity“!

Es ist üblich, die Intercept Points unter konservativer Betrachtung anzugeben. Sie werden demnach als garantierte Werte („≥“) genannt. Häufig findet man auch die Angabe typischer Werte.

In manchen Datenblättern werden zusammen mit den Intercept Points die eingesetzten Testpegel angegeben und – bei Zwei-Ton-Szenarien – auch der frequenzmäßige Abstand zwischen beiden Signalen. Wie schon erwähnt, handelt es sich bei Intercept Points um theoretische Hochrechnungen. Es ist deshalb sinnvoll zu wissen, wie stark ein System angesteuert wurde, um auf dieser Basis die Intercept Points zu berechnen. Je näher die in zwei Datenblättern angegebenen Testpegel frequenz- und pegelmäßig beieinanderliegen, umso geringer die Unsicherheit des Vergleichs.

Absolute Angabe der Pegel von Harmonischen und Intermodulationen

Gelegentlich geben Hersteller keine Intercept Points an, sondern die Pegel der gemessenen Harmonischen und Intermodulationsprodukte selbst. Der Leser ist dann selbst in der Pflicht, die jeweiligen Intercept Points zu berechnen. (Teil 1, Kapitel 1.2 lieferte hierzu entsprechende Erläuterungen.) Hier ist erneut zu beachten, ob den Messungen eine Eingangsdämpfung zu Grunde gelegt wurde bzw. welches (an die Eingangsdämpfung gekoppelte) Reference Level eingestellt war.

Sind lediglich die Pegel von Harmonischen angegeben, interessiert man sich aber mehr für Intermodulationen, so ist es legitim, das gegebene Ein-Ton-Szenario in ein Zwei-Ton-Szenario umzuwandeln und zur zweiten Harmonischen 6 dB zu addieren bzw. zur dritten Harmonischen 9,54 dB zu addieren.

Werden die Pegel von Harmonischen oder Intermodulationen nicht in dBm, sondern in dB μ V angegeben, so können sie um 107 dB reduziert werden, um zurück auf dBm zu kommen (50 Ω -System vorausgesetzt).

Erneut sei auch auf übereinstimmende Frequenzbereiche hingewiesen: Es ist nicht sinnvoll Intercept Points bei um Dekaden verschiedene Frequenzbereiche zu ermitteln und zu vergleichen.

Empfindlichkeit, DANL, NF

Wie bereits erläutert, bildet die Empfindlichkeit neben den Intercept Points die zweite wichtige Größe zur Bestimmung des intermodulationsfreien Dynamikbereichs. Die Empfindlichkeit von Spektrumanalysatoren bzw. Empfängern wird zumeist unter Angabe des Displayed Average Noise Floor (DANL) spezifiziert. Normalerweise beruht diese Angabe auf einer RBW von 1 Hz und einer Mittelung durch den Average-Detektor, während die Eingangsdämpfung 0 dB beträgt. Falls dennoch eine Eingangsdämpfung vorliegt, muss diese vom DANL abgezogen werden. Insbesondere unter Funkempfängern und Funkgeräten wird die Empfindlichkeit häufig basierend auf bestimmten RBWs bzw. Kanalbandbreiten, die nicht veränderbar sind, berechnet. In solchen Fällen kann der DANL gemäß Teil 1, Formel 3 zwar berechnet werden, allerdings handelt es sich dann um einen theoretischen Wert, der vielmehr dem Zweck des Vergleichs und weniger der Praxis dient.

Wird statt dem DANL das Rauschmaß (Rauschmaß [logarithmisch, dB], Rauschzahl [linear]) (engl. Noise Figure, kurz NF) angegeben, so kann Formel 4 herangezogen werden. Zum NF-Wert wird dann also das thermische Rauschen in Höhe von -174 dBm addiert, um erneut den DANL zu bestimmen.

Ob die im Datenblatt angegebenen DANL-Werte nun auf einer Rauschtemperatur von 26,85 °C (300 K) oder von 22 °C (295,15 K) basieren, hat in der Praxis kaum Tragweite, da sich die Empfindlichkeit dadurch um lediglich etwa 0,1 dB verändert. Viel wichtiger dagegen ist, das DANL oder NF in der gleichen Einstellung ermittelt werden wie IP2 und IP3. Außerdem ist zu beachten, dass ein eventuell zuschaltbarer Vorverstärker nicht aktiviert ist. Durch einen Vorverstärker erzielt man zwar deutlich bessere Rauschwerte, aber auf Kosten einer gleichzeitigen überproportionalen Verschlechterung des IP2 und IP3.

Das in Datenblättern ausgewiesene DANL vieler Handheld Spektrumanalysatoren beinhaltet einen systematischen Fehler von ca. 2,5 dB gegenüber dem RMS Wert, weil dort statt einer Mittelung über die Rauschleistung eine Mittelung über den Rauspegel unterstellt wird. Narda SignalShark und IDA/SRM Produkte geben DANL immer als RMS-Werte an und erlauben so ein direkte Umrechnung auf die NF.

Und es sei erneut daran erinnert: Beim Vergleich der Empfindlichkeit zwischen Datenblättern ist wie bei den Intercepts Points auch auf übereinstimmende Frequenzbereiche zu achten!

IMFDR₂, IMFDR₃

Wurden Intercept Points und DANL beider zu vergleichender Messinstrumente erfasst, so können die aus Teil 1 bekannten Formeln 1



und 2 eingesetzt werden, um den IMFDR zweiter oder dritter Ordnung zu bestimmen. Je nach Interesse kann natürlich auch der „HFDR“ zweiter oder dritter Ordnung bestimmt werden. Der HFDR₂ ist um 3 dB größer als der IMFDR₂ und der HFDR₃ ist um 3,18 dB größer als der IMFDR₃.

Wird der IMFDR zweiter oder dritter Ordnung in einem Datenblatt direkt angegeben, so muss die Frage gestellt werden, wo dieser liegt. Denn ein großer IMFDR heißt nicht zwangsläufig, dass ein System sowohl hohe Empfindlichkeit als auch hohe Aussteuerungsfestigkeit besitzt. Wenn ein Messinstrument mit großem IMFDR eine niedrige Empfindlichkeit (also einen hohen DANL-Wert) hat, so bedeutet dies, dass die Aussteuerungsfestigkeit groß ist. Das ist zwar positiv, muss aber gegen die Empfindlichkeitsanforderungen abgewogen werden.

Somit ist es sinnvoll den IMFDR auf die Intercept Points zurück zu rechnen. Natürlich ist dafür gemäß Formel 1 und 2, die Angabe des DANL erforderlich.

In manchen Datenblättern werden sowohl Intercept Points für weite Frequenzbereiche als auch IMFDR's für bestimmte Frequenzen angegeben. Die Hersteller haben dann die Absicht, für bestimmte Szenarien (Frequenzen, Signalpegel) ganz besonders detailgetreue Angaben zu machen. In einem solchen Fall ist es zu empfehlen, einen internen Datenblattvergleich zu betreiben und sowohl für die weiten, Intercept Point bezogenen Frequenzbereiche, als auch für die bestimmten, IMFDR-bezogenen Frequenzen, alle Dynamikparameter zu ermitteln. Wie weiter oben bereits erläutert, werden die Intercept Points nämlich häufig als garantierte Werte für weite Frequenzbereiche angegeben und können sich bei bestimmten Frequenzen enorm verbessern!

3 Dynamik unter ITU-Gesichtspunkten

Die ITU empfiehlt neben Messverfahren zu IP3, NF usw. auch konkrete Werte. Im ITU-Handbuch für Spectrum Monitoring beziehen sich diese nicht generell auf Spektrumanalysatoren, sondern auf sogenannte Monitoring Receiver bzw. Funkpeilempfänger. Diese Werte sind nachfolgend tabellarisch aufgeführt:

Parameter	ITU-Empfehlung
IP2/SOI im Frequenzbereich $> 3 \text{ MHz} \dots < 30 \text{ MHz}$	60 dBm
IP2/SOI im Frequenzbereich $\geq 30 \text{ MHz} \dots \leq 3 \text{ GHz}$	40 dBm
IP3/TOI im Frequenzbereich $> 3 \text{ MHz} \dots < 30 \text{ MHz}$	20 dBm
IP3/TOI im Frequenzbereich $\geq 30 \text{ MHz} \dots \leq 3 \text{ GHz}$	10 dBm
NF im Frequenzbereich $> 2 \text{ MHz} \dots < 20 \text{ MHz}$	15 dB
NF im Frequenzbereich $\geq 20 \text{ MHz} \dots \leq 3 \text{ GHz}$	12 dB

Tabelle 1: Dynamikparameter gemäß ITU-Empfehlung, tabellarisch & absolut

Das ITU-Handbuch verweist bei der Spezifikation dieser Werte auf die Messverfahren, die insbesondere in den beiden folgenden Recommendations beschrieben werden:

- ITU-R SM.1837-1 Test procedure for measuring the 3rd order intercept point (IP3) level of radio monitoring receivers (vom August 2013)
- ITU-R SM.1838 Test procedure for measuring the noise figure or radio monitoring receivers (vom Dezember 2007)

Neben Vergleichsmöglichkeiten wie sie in numerischer Form durch Tabellen geboten werden, können auch grafische Darstellungsformen von Vorteil sein. So zeigt Bild 5 eine Dreiecksdarstellung, welche als Referenz für weitere Vergleiche dienen soll. In Bild 2 sind DANL, IP2 und IP3 aufgetragen. Die der blauen Kurve zu Grunde gelegten Werte entsprechen den ITU-Spezifikationen im höheren der beiden in Tabelle 3 angegebenen Frequenzbereiche. Dem Dreieck wurden also eine Rauschzahl von 12 dB, ein IP2 von 40 dBm und ein IP3 von 10 dBm zu Grunde gelegt. Diese Werte sind jedoch nicht absolut, sondern relativ hinterlegt; das Dreieck stellt die Differenz zu den ITU-Anforderungen dar. Die Darstellung wurde dabei so definiert, dass sich das Dreieck vergrößert, wenn sich Spezifikationen verbessern. Der DANL wird branchenüblich als garantierter Wert in Datenblättern angegeben, während für IP2 und IP3 zumeist typische Werte kommuniziert werden. Deswegen werden in den folgenden Diagrammen genau diese Werte verwendet.

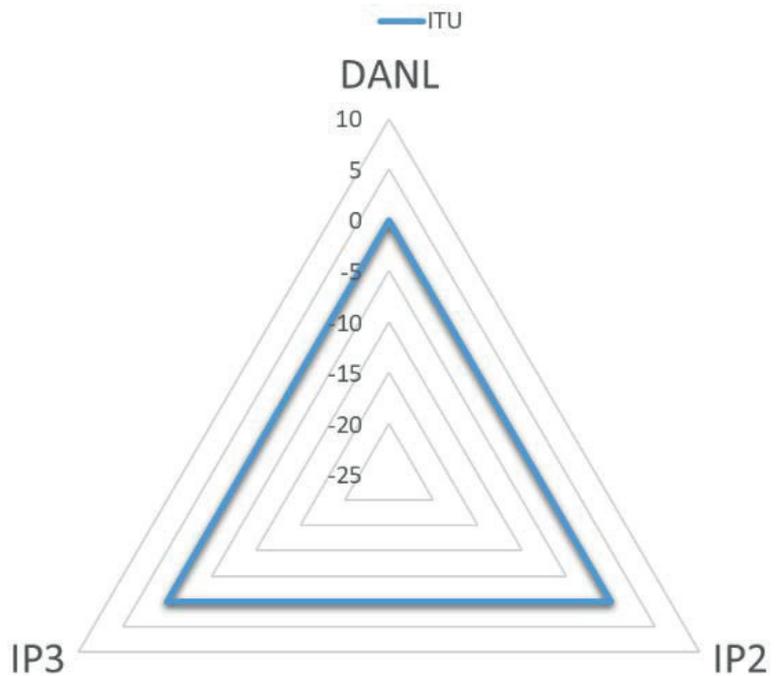


Bild 2: Dynamikparameter gemäß ITU-Empfehlung, grafisch & relativ

Zum Vergleich wurden in Bild 3 auch die Parameter des Narda SignalShark hinterlegt. Dessen NF liegt im entsprechenden Frequenzbereich bei 15 dB. Im Vergleich zur ITU-Empfehlung liegt das Rauschen somit 3 dB höher und erhält grafisch im Dreieck einen kleineren Wert. Der Wert für IP2 ab 630 MHz stimmt exakt mit den ITU Empfehlungen überein und IP3 des SignalShark ist 2 dB besser als ITU empfiehlt. Somit ist das SignalShark-Dreieck ab 630 MHz nahezu deckungsgleich mit dem ITU-Dreieck.

— ITU — SignalShark ≤ 630 MHz — SignalShark > 630 MHz

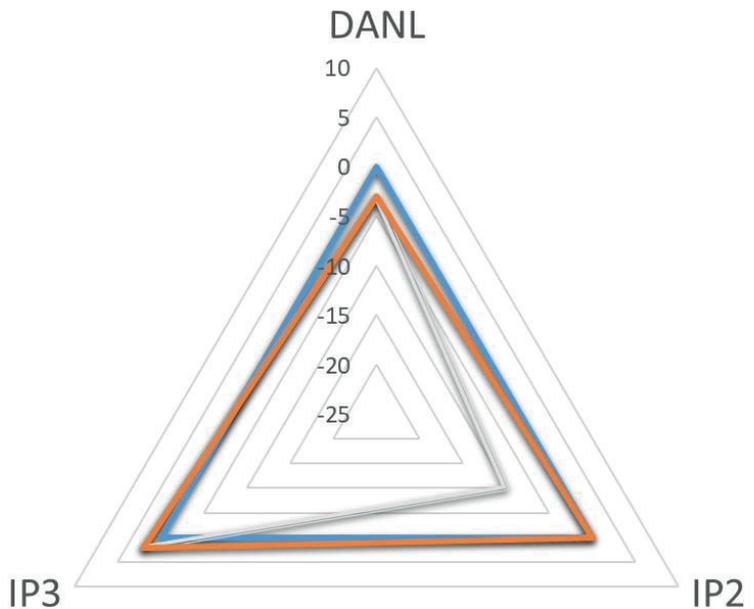


Bild 3: Dynamikparameter SignalShark im Vergleich zu den ITU

Während Bild 3 davon zeugt, dass der Narda SignalShark die ITU-Spezifikationen fast vollständig erfüllt, zeigen sich in Bild 4 andere Verhältnisse. Hier wurden die dynamikrelevanten Werte sehr populärer Spektrumanalysatoren und

Empfänger mit gleichem Formfaktor („Handheld“) wie der SignalShark herangezogen. Die Darstellung verdeutlicht, dass hier ein gänzlich anderes Qualitätsniveau vorliegt. Beispielsweise weist die grüne Kurve auf eine rund 3,5 dB geringere Empfindlichkeit hin, während der IP2 rund 5 dB und der IP3 rund 15 dB niedriger liegen. Während die grüne Kurve in Bild 7 einen Handheld-Empfänger repräsentiert, repräsentieren die orange und violette Kurve Handheld-Spektrumanalysatoren. Hier zeigen sich im Vergleich zur grünen Kurve jeweils bessere IP3-Werte, aber schlechtere IP2- und NF-Werte. Auch wenn die orange Kurve die IP3-Spezifikation der ITU um 10 dB übertrifft, liegt in Bild 7 kein so ausfüllendes Dreieck vor wie es in Bild 3 bei gleichem Formfaktor vom Narda SignalShark geboten wurde.

Während Bild 4 Handheld-Messinstrumente in Betracht zog, wird in Bild 5 ein performantes Monitoring-Empfänger gegen die ITU-Kriterien verglichen. Die Spezifikationen des Systems wurde in zwei Modi aufgetragen, einmal „low distortion“ und einmal „normal“. In beiden Fällen ist schnell zu erkennen, dass hier bereits eine deutlich bessere Ausfüllung des ITU-Dreiecks im Vergleich zu Bild 4 vorliegt. Allerdings erreicht auch hier keine der Kurven die Empfindlichkeitsanforderung der ITU. Die Anforderungen an IP2 und IP3 werden zwar im „low distortion mode“ getroffen bzw. übertroffen, jedoch nur bei einer gleichzeitigen und erheblichen Verschlechterung des DANL. Eine zuschaltbare Eingangsdämpfung von 10 dB hätte genau den gleichen Effekt erzeugt. Dabei ist erneut zu betonen, dass es sich bei dem hier dargestellten System um ein Funkpeilsystem mit deutlich größeren Abmessungen, Gewicht und Preis handelt als ein Handheldgerät.

Abschließend zu Kapitel 3 ist zu betonen, dass die ITU mit dem Spectrum Monitoring Handbook und ihren Empfehlungen zur Charakterisierung eines Messinstruments wichtige Informationen liefert. Darstellungen wie in den Bildern 3 bis 6 eignen sich dabei gut zu schnellen Vergleichszwecken.

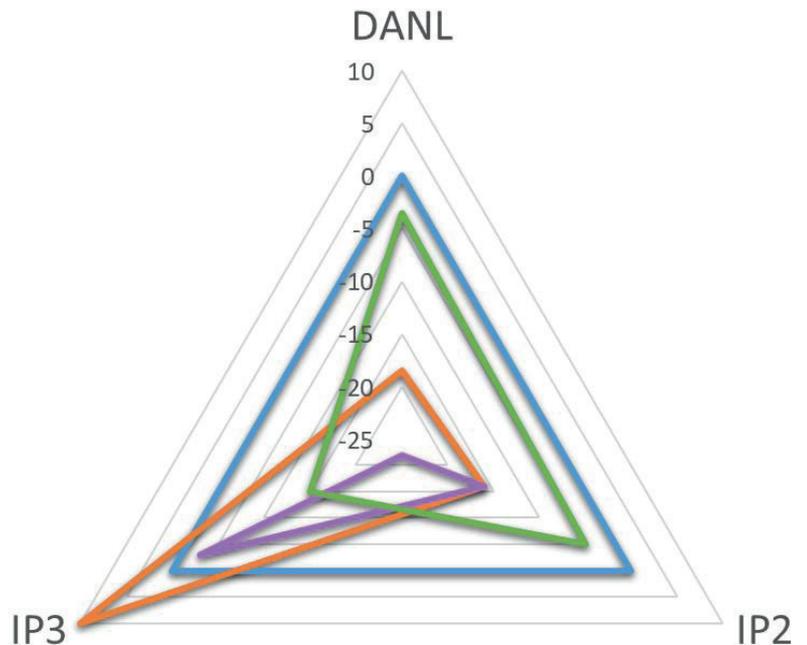


Bild 4: Spezifikationen Anritsu MS2720T (orange), R&S FSH (violett), R&S PR100/DDF007 (grün)

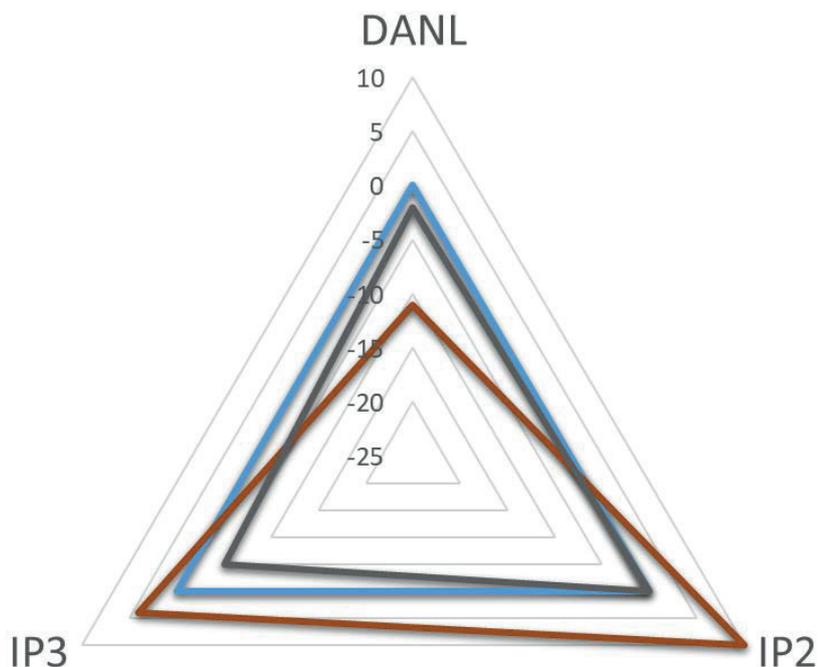


Bild 5: Spezifikationen R&S EB500 low distortion mode (braun), normal mode (grau)

4 Der hohe Dynamikbereich (HDR) des Narda SignalShark

Kapitel 3 verdeutlichte, dass der SignalShark trotz Handheld-Formfaktor beeindruckende Dynamikparameter erreicht. Der Grund dafür liegt nicht nur an einem bestimmten Bauteil in der Signalverarbeitung, sondern an mehr oder weniger allen Bauteilen sowie am Gesamtkonzept der Signalverarbeitung im RF-Frontend bis zum Analog-Digital-Umsetzer. Die aktiven RF-Komponenten im SignalShark sind sowohl rauscharm als auch linear über einen großen Aussteuerungsbereich. Darüber hinaus besitzt der SignalShark eine als Filterbank realisierten Preselector, die sieben Bandpässe für die oberen Frequenzbänder sind dabei als Sub-Oktavfilter ausgelegt. Die Suboktavfilter unterdrücken insbesondere Intermodulationsprodukte zweiter Ordnung bereits sehr früh in der Signalverarbeitungskette und helfen so die IP2- Anforderungen der ITU zu erreichen. Bild 6 zeigt das RF-Blockschaltbild des SignalShark in vereinfachter Form.

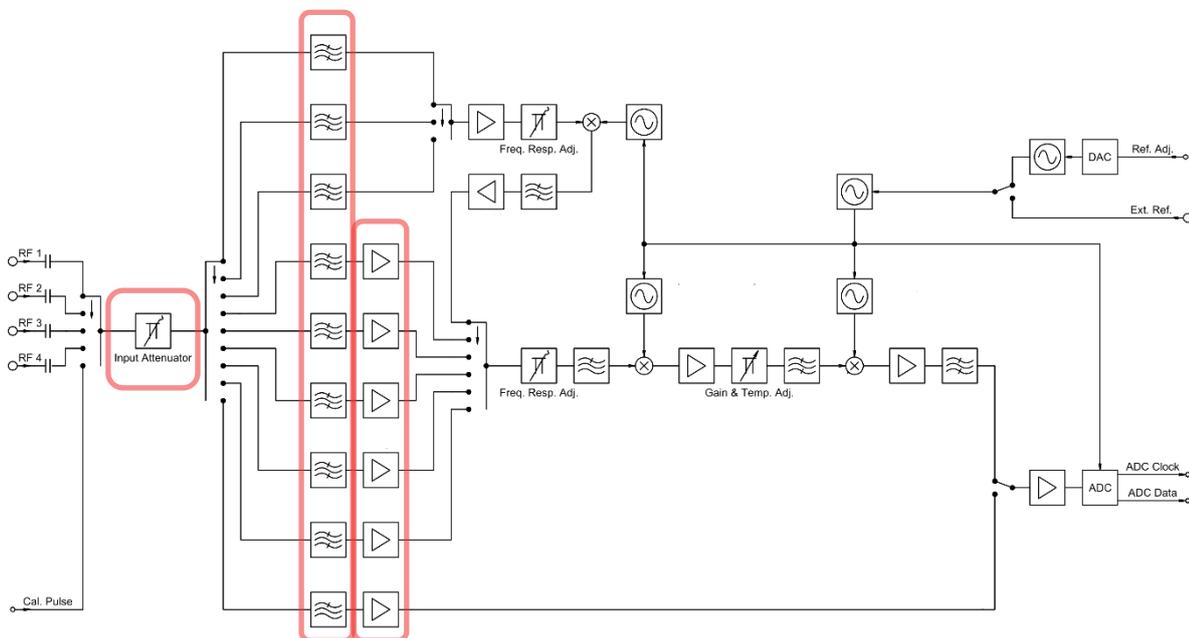


Bild 6: Performantes RF-Frontend des SignalShark – Hohe Dynamik durch Filterbank (Mitte), hochwertige ZF-Verstärker (rechts) und Dämpfungsglieder, die sämtliche Frequenzpfade abdecken.

Zu Beginn der Signalverarbeitung besitzt der SignalShark ein in 0,5 dB-Schritten bis auf 25 dB einstellbares Dämpfungsglied. Dieses betrifft sämtliche Frequenzpfade, also den kompletten Frequenzbereich des SignalShark (8 kHz - 8 GHz).

Der SignalShark erreicht die in nachfolgender Tabelle 2 dargestellten Dynamikparameter, welche schon in Kapitel 3 für den Frequenzbereich 30 MHz bis 3 GHz als Dreieck visualisiert wurden.

Parameter	Narda SignalShark	ITU-Empfehlung
IP2/SOI im Frequenzbereich > 3 MHz ... < 30 MHz	> 56 dBm	60 dBm
IP2/SOI im Frequenzbereich \geq 30 MHz ... \leq 630 GHz	30 dBm	40 dBm
IP2/SOI im Frequenzbereich > 630 MHz ... \leq 3 GHz	40 dBm	40 dBm
IP3/TOI im Frequenzbereich > 3 MHz ... < 30 MHz	> 20 dBm	20 dBm
IP3/TOI im Frequenzbereich \geq 30 MHz ... \leq 3 GHz	12 dBm	10 dBm
NF im Frequenzbereich > 2 MHz ... < 20 MHz	14 dB	15 dB
NF im Frequenzbereich \geq 20 MHz ... \leq 3 GHz	15 dB	12 dB

Tabelle 2: Dynamikparameter Narda SignalShark

Bild 7 zeigt in Anlehnung an eine tatsächliche SignalShark-Dynamikcharakterisierung die dabei entstandenen Harmonischen und Intermodulationen. Die angelegten Nutzsignale liegen hier bei 19 MHz und 20 MHz und haben einen Pegel von -25 dBm. Damit einher gehen Intermodulationen zweiter Ordnung bei -133 dBm und Intermodulationen dritter Ordnung bei -117 dBm. Rechnet man diese Werte hoch auf IP2 und IP3, so erhält man einen IP2 von 83 dBm, während der IP3 bei 21 dBm liegt. Dies ist jeweils besser als das Datenblatt des SignalShark besagt. Der Rauschteppich liegt währenddessen bei -160 dBm, was sich aus der Rauschzahl von 14 dB und einer RBW von 1 Hz erschließt bzw. messen lässt.

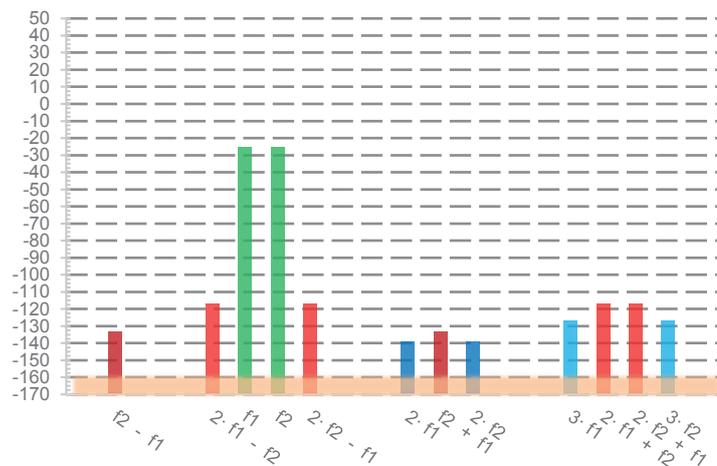


Bild 7: SignalShark Dynamik bei Signalen 19 MHz, 21 MHz, je -18 dBm

In Bild 8 sollen ausschließlich Intermodulationen zweiter Ordnung von Interesse sein. Nun wurden zwei Signale bei 890 MHz und 2150 MHz mit jeweils -20 dBm angelegt. Die dabei gemessenen Intermodulationen zweiter Ordnung liegen bei -114 dBm. Somit ergibt sich nach Hochrechnung für den IP2 ein Wert von 74 dBm. Es mag erstaunen, zwei so weit voneinander liegende Frequenzen für eine IP2-Ermittlung heranzuziehen, allerdings sind diese in der Realität nicht unwahrscheinlich. Schließlich sind z. B. in ITU-Region 1 um 900 MHz herum GSM/2G-Signale aktiv und um 2100 MHz sind es UMTS/3G-Signale. Intermodulieren diese beiden Frequenzbereiche, so entstehen Vielfache bei 3040 MHz und bei 1260 MHz. Gerade im Frequenzbereich 1 GHz bis 2 GHz (L-Band) finden sich auch viele SatCom-Anwendungen (Iridium, Inmarsat, Thuraya, GPS, Galileo, Glonass). Im Fall von Störersuchen in diesem Frequenzbereich ist eine hohe Immunität gegen GSM- und UMTS-Downlinks ganz besonders von Vorteil. So begründet sich die Dynamikcharakterisierung auch bei diesen Frequenzen und zeigt, dass der SignalShark den im Datenblatt angegebenen IP2-Wert (40 dBm) deutlich übertrifft.

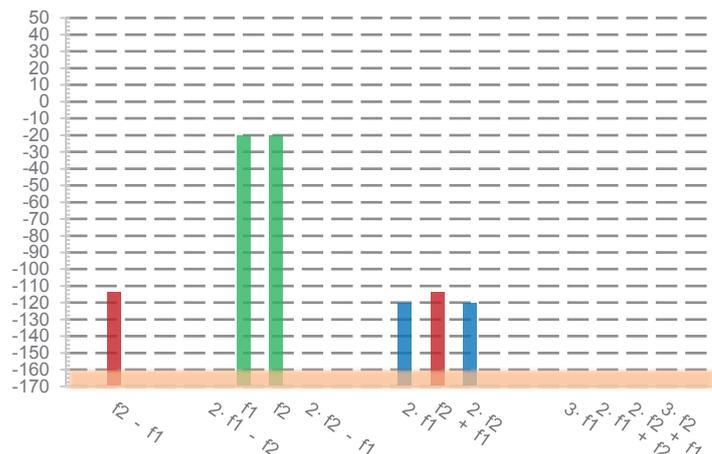


Bild 8: SignalShark Dyn. bei Signalen 890 MHz, 2150 MHz, je -20 dBm

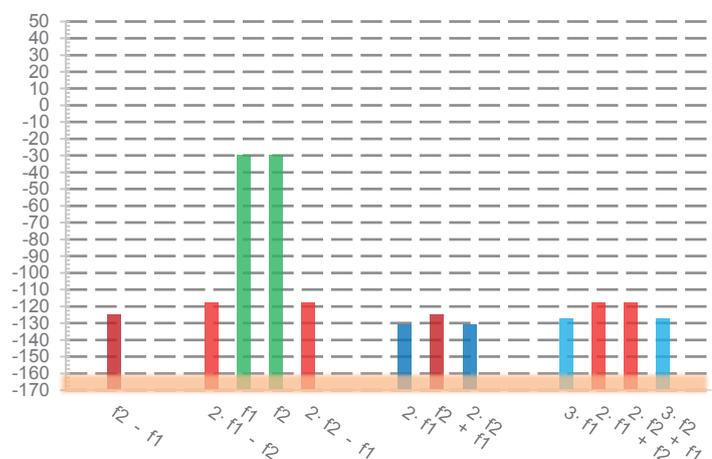


Bild 9: SignalShark Dyn. bei Signalen 928 MHz, 929 MHz, je -30 dBm

Konzentrieren wir uns im letzten Beispiel auf ein Zwei-Ton-Szenario mit je -30 dBm starken Signalen bei 928 MHz und 929 MHz (Bild 9). Die gemessenen Intermodulationen zweiter Ordnung liegen dann bei -118 dBm, während die gemessenen Intermodulationen dritter Ordnung bei -125 dBm liegen. Eine erneute Hochrechnung führt zu einem IP2 von 65 dBm und einem IP3 von 14 dBm.

Somit zeichnet sich die Tendenz ab, dass der IP2-Wert im SignalShark nicht nur einige, sondern Dutzende dB über dem im Datenblatt spezifizierten Wert von 60 dBm bzw. 20 dBm liegen kann. Unterdessen verhält sich der IP3-Wert anders und lag in den Beispielen oben zumeist einige dB über dem spezifizierten Wert von 20 dBm bzw. 10 dBm.

5 Dynamiksteigernde Maßnahmen

Dieses Kapitel hält in prägnanter Form fest, welche Maßnahmen ergriffen werden können, um Dynamik zu vergrößern. Dabei ist unter Dynamik stets der IMFDR gemeint und die Maßnahmen erstrecken sich vom Design eines RF-Frontends bis zur Messapplikation:

RF-Frontend-Design

Wie bereits in Kapitel 4 erwähnt, sind hochwertige, über einen weiten Aussteuerungsbereich hinweg lineare RF-Komponenten (Mischer, ZF-Verstärker) und Vorselektionsfilter eine wichtige Grundlage für einen weiten Dynamikbereich von Spektrumanalysatoren bzw. Empfängern.

Vorverstärker

Vorverstärker sind sehr beliebt, um den Rauschteppich weiter abzusenken. In sehr empfindlichen Messszenarien bieten sie Vorteile, während sie dann von Nachteil sind, wenn auch starke Signale eine hohe Aus- bzw. Übersteuerung des Messinstruments provozieren. Vorverstärker sind somit stets mit Bedacht einzusetzen.

Externe Filter

Prinzipiell verhalten sich externe Filter wie Vorselektionsfilter: Sie lassen einen bestimmten Frequenzbereich passieren (Bandpass) oder dämpfen diesen erheblich (Bandstop). Externe Filter sind demnach für bestimmte Frequenzbereiche dimensioniert. Um typische Dämpfungswerte um 90 dB zu erreichen, können Filter eine signifikante, aber immer noch „tragbare“ Größe erreichen. Bild 10 und Tabelle 3 sind Auszüge aus dem von Narda angebotenen Filterportfolio.



Bild 10: Externe Filter zwischen Antenne und Empfänger

Filterart	Frequenzband	Applikation
Bandpass	108 – 144 MHz	Flugfunk
Bandpass	1710 – 1785 MHz	E-UTRA-Bänder 3, 4, 9, 10, GSM-1800, LTE-1800
Bandpass	1880 – 1900 MHz	DECT ITU-Region 1, Europa, Südafrika, Hong Kong
Bandstop	791 – 821 MHz	E-UTRA-Band 20 (Downlink), LTE-800
Bandstop	1805 – 1880 MHz	E-UTRA-Band 3 (Downlink), GSM-1800, LTE-1800

Tabelle 3: Auszug aus dem Produktdatenblatt Narda STS Externe Filter

Die vorigen Abschnitte bezogen sich stets auf das Optimieren der Dynamik mittels zusätzlicher Hardware. Oft ist dies jedoch nicht möglich oder praktikabel. Dann stellt immer noch das Ändern der Messstrategie eine mögliche Lösung dar. Bild 11 verdeutlicht, dass Infrastruktur nicht nur von Nachteil sein muss, sondern z. B. auf der Suche nach Mobilfunkstörungen auch dienlich sein kann. Eine nahe Basisstation steuert das Messinstrument in Bild 11 stark aus und erschwert die Analyse des gesuchten Signals, welches seine Ursache weiter im Hintergrund hat. Durch eine Änderung des Messortes kann die Dämpfung von Gebäuden ausgenutzt werden, um unerwünschte starke Downlink-Signale zu unterdrücken. Gleichmaßen besteht die Chance, den Signal-zu-Rauschabstand für das gesuchte Signal weiter zu vergrößern.



Bild 11: Änderung des Messstandortes zur Vermeidung starker Downlink-Signale

Unter dem Aspekt Mobilfunkstörersuchen gibt es eine Vielzahl an Tipps und Tricks, auf die hier nicht weiter eingegangen werden soll, die aber häufig der Tatsache zu Grunde liegen, dass Messinstrumente mit eingeschränkter Dynamik im Einsatz sind. Zum Ende von Kapitel 5 ist somit die Schlussfolgerung, dass bei der Neubeschaffung von Messinstrumenten sehr genau auf Messapplikationen und die damit einhergehenden An- und Herausforderungen zu achten ist.

6 Schlussfolgerungen

Die wichtigsten, in dieser Technical Note erarbeiteten Verhältnismäßigkeiten, werden in diesem Kapitel abschließend bündig aufgeführt:

IMFDR & ITU

- Unter dem Dynamikbereich eines Spektrumanalysators oder Empfängers ist typischerweise der intermodulationsfreie Dynamikbereich (IMFDR) gemeint, der sich mindestens durch IP2, IP3 und DANL definiert. Dabei ist zu beachten, dass alle drei Parameter in der gleichen Einstellung ermittelt wurden.
- Dynamik ist relativ zu sehen und spezifiziert noch nicht die absolute Empfindlichkeit oder die absoluten Intercept Points eines Messinstrumentes.
- Der IMFDR kann sich vergrößern und verkleinern, abhängig von den Empfindlichkeitseinstellungen und der Eingangsdämpfung.
- Dynamik kann gesteigert werden durch: Vorselektionsfilter, niedrigere RBW, externe Filter, hochwertige RF-Komponenten mit weiter Linearität und im weiteren Sinne durch Ändern der Messstrategie.
- Die ITU empfiehlt Messverfahren für Dynamik-Charakterisierungen und konkrete Werte für IP2, IP3, NF.

Unerwünschte Artefakte, Harmonische, Intermodulationen

- Bei der Art unerwünschter Artefakte ist stets zu unterscheiden zwischen Harmonischen, Intermodulationen und Spurious (Input Related / Residual).
- Harmonische und Intermodulationen zweiter Ordnung steigen um 2 dB, wenn das aussteuernde Nutzsignal um 1 dB erhöht wird.
- Harmonische und Intermodulationen dritter Ordnung steigen um 3 dB, wenn das aussteuernde Nutzsignal um 1 dB erhöht wird.
- In Zwei-Ton-Szenarien liegen Harmonische zweiter Ordnung 6 dB unter Intermodulationen zweiter Ordnung.

- 
- In Zwei-Ton-Szenarien liegen Harmonische dritter Ordnung 9,54 dB unter Intermodulationen dritter Ordnung.

Intercept Points, IP2, IP3

- Der Intercept Point ist jener Leistungswert, bei dem ein unerwünschtes Artefakt genauso stark ist wie das Nutzsignal.
- Intercept Points können bestimmt werden für Harmonische und Intermodulationen, zweiter oder höherer Ordnung.
- IP2/SOI und SHI können ineinander konvertiert werden: Der SHI liegt 6 dB über dem IP2/SOI.
- IP3/TOI und THI können ineinander konvertiert werden: Der THI liegt 4,77 dB über dem IP3/TOI.
- Intercept Points sind abhängig von der Eingangsdämpfung: Wird die Eingangsdämpfung um 5 dB erhöht, erhöhen sich auch sämtliche Intercept Points um 5 dB. Häufig sind Eingangsdämpfung und Reference Level aneinander gekoppelt, sodass bei Vergleichen auf korrekte Umrechnung zu achten ist.

Empfindlichkeit, DANL, NF

- Die Empfindlichkeit wird spezifiziert als Noise Figure (NF) oder Rauschleistung (Displayed Average Noise Floor (DANL)). Sie ist das Gegenstück zu den Intercept Points zur Ermittlung des IMFDR.
- Der DANL ist primär abhängig von der RBW, der NF, der Boltzmann-Konstante und der Temperatur.

7 Verweise

In Anlehnung an diesen Wegweiser sollen Leser auch auf folgende Schriftstücke hingewiesen sein, jeweils zu finden auf unserer Internetseite unter dem Produkt Interference and Direction Analyzer IDA 2, SigantShark und „Produktliteratur“:

- Technical Note 110: „Verwendung externer Filter zur Erhaltung der Messempfindlichkeit in hochdynamischen Messumgebungen“
- Technical Note 104: „Maximale Dynamik durch optimale Einstellung des Eingangsabschwächers“



Deutschland
Telemeter Electronic GmbH
Joseph-Gänsler-Str. 10, 86609 Donauwörth
Tel. +49 906 70693-0, Fax +49 906 70693-50
info@telemeter.de, www.telemeter.info

Schweiz
Telemeter Electronic GmbH
Romanshornestr. 117, 8280 Kreuzlingen
Tel. +41 71 6992020, Fax +41 71 6992024
info@telemeter.ch, www.telemeter.info

Tschechische Republik
Telemeter Electronic s.r.o.
České Vrbné 2364, 37011 České Budějovice
Tel.+420 38 5310637
info@telemeter.cz, www.telemeter.info