

# Dynamic Range en zo.....

## Inleiding

In de loop der jaren heb ik allerlei artikeltjes verzameld waaruit ik kon leren hoe het een en ander in elkaar stak. Ik ben ook pas in 1979 begonnen met de zogenaamde '50-Ω-techniek' Ik ben opgevoed met buizen, zo oud ben ik al. Al dat halfgeleider-gedoe heb ik mezelf moeten leren. Kreten zoals dynamisch bereik, derde orde intercept punt, ruisgetal, dBm.... wist ik veel.

Omdat ik vermoed dat velen onder ons zendamateurs het ook slechts gedeeltelijk weten en toch zelf goede spullen willen bouwen en meten, zet ik dit allemaal eens op een rij.

## Ruisgetal en dBm

Je kunt het 'overall' vinden (met de nodige fouten), maar ik zet het nog maar eens uiteen.

Als we  $1 \text{ mW} = 0 \text{ dBm}$  (nul dB tov. 1 milliwatt) noemen dan is de ruis alleen nog maar afhankelijk van de bandbreedte B. Uit de natuurkunde blijkt:

$$P = 10 \log(K_B \cdot T \cdot B \cdot 1000) \dots(\text{dBm})$$

waarin:

$K_B$  = de constante van Boltzmann ( $1,38 \cdot 10^{-23}$ )

T = de absolute temperatuur in K (Kelvin)

B = de bandbreedte in Hz

De 1000, omdat we 0 dBm tov. 1 mW definiëren en niet tov. 1 watt.

Na invullen blijkt:

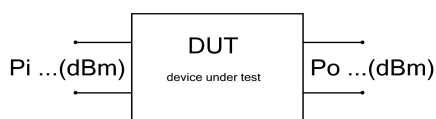
$$P = -174 + 10 \cdot \log B \dots(\text{dBm}).$$

Bij een bandbreedte van 1 Hz ruist 'het spul' dus -174 dBm. Uit  $(10 \cdot \log B)$  blijkt dat bij elke verdubbeling van de bandbreedte daar 3 dB bij komt. Bij  $B = 2500 \text{ Hz}$  komt er 34 dB bij zodat de minimale (natuurlijke) ruis -140 dBm is in onze SSB-ontvanger. Het zogenaamde 'ruisgetal' van die theoretische ontvanger noemen we 0 dB.

Een 'ontvanger' met een ruisgetal van 3 dB ruist dus -137 dBm. Een signaal van die grootte aan de ingang is dan het MDS (Minimal Descernable Signal, het kleinst waarneembare signaal).

## Uitleg bij figuur 2

Aan de hand van een voorbeeld zal ik uitleggen wat ik in de figuur 2 precies doe. Ik heb dat niet uitgevonden natuurlijk, maar ik heb wel twee figuren bij elkaar gezet in de hoop dat dat verhelderend is. Links staat 'het plaatje' dat het verband tussen ingangs- en uitgangssignaal van een DUT (Device Under Test, het te testen apparaat, zie figuur 1) geeft. Rechts in figuur 2 staat de uitgangsspanning als functie van de frequentie. Zo'n plaatje zie je op een spectrum analyser als je IP3-metingen gaat doen. Je hebt niet echt een spectrum analyser nodig (je kunt dit ook met een ontvanger die je verstemt) maar je moet daar een beeld van in je hoofd hebben.



figuur 1

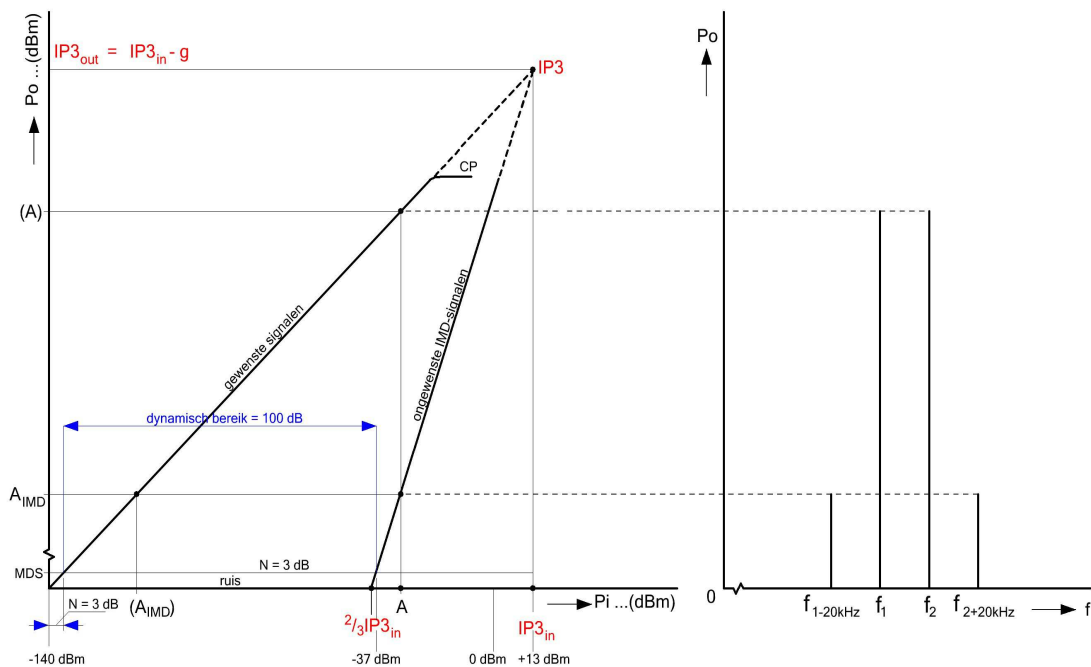
Al deze 'voorstellingen' zijn niet 'de werkelijkheid' maar een mens kan nu eenmaal niet anders dan in *modellen* denken. Ik heb in figuur 2 twee veelgebruikte modellen bij elkaar gezet.

Zo'n DUT kan van alles zijn: een versterker, een mixer, etc. De DUT zal een zekere *versterking* hebben, die we graag in dB uitdrukken omdat getallen dan bij elkaar opgeteld kunnen worden en omdat figuren daarmee veel eenvoudiger zijn.

Langs de verticale as staat het *uitgangsvermogen* van de DUT en langs de horizontale as het *ingangsvermogen*, uitgedrukt in dBm, het aantal dB vergeleken met 1 milliwatt (mW) dus.

Als we de schaal langs de beide assen gelijk kiezen (de afstand tussen elke 10 dB is gelijk) dan kun je een versterker met de versterking 1 (= 0 dB) voorstellen met een rechte lijn onder 45°. In figuur 2 staat daar 'gewenste signalen' bij. De tweede lijn (waar 'ongewenste IMD-signalen' bij staat) laat zien dat onze versterker niet ideaal is. Van alle vervorming die op kan treden is de zg. 'derde orde intermodulatie-vervorming' (3-IMD<sup>1</sup>) in onze radio's het ergste. Daar gaan we dus naar kijken. Die vervorming is zo vervelend omdat die ongewenste signalen geeft die in de buurt van de gewenste (ontvang-) frequentie liggen. Die zijn op geen enkele manier uit te filteren!

<sup>1</sup> IMD = intermodulation distortion



figuur 2

Bij twee signalen die bv. 20 kHz uit elkaar liggen (in een amateurband) ontstaan die IMD-signalen 20kHz onder en boven de gewenste signalen. Dat staat rechts in figuur 2 getekend.

Hoe groot die ongewenste signalen zijn, halen we uit de linker helft van figuur 2. De drie keer zo steile lijn begint in ons voorbeeld in de buurt van -36 dBm ingangsvermogen en neemt dus drie keer zo snel toe in grootte als het gewenste signaal. Die lijnen kruisen elkaar natuurlijk. Dat punt noemen we: "het IP3" (= third order intercept point = 'het derde orde snijpunt'). In onze figuur 2 zou dat punt bereikt worden bij een ingangsvermogen van +13 dBm. In werkelijkheid zal dat niet zo zijn omdat onze versterker dan al lang vastloopt en een blokvormig signaal afgeeft! Het CP (compression point) is dan al zo'n slordige 30 dB overschreden. Je mag blij zijn als de DUT dat overleeft! De lijnen zijn voorbij het CP gestippeld. Daar kan onze versterker 'niet komen'.

We gaan nog wat meer begrippen in figuur 2 zetten:

Wat moet er bij 'de oorsprong' van het assenkruis staan? Wel, bij een SSB-ontvanger met een bandbreedte van zo'n 2,5 kHz zagen we dat theoretisch -140 dBm ontvangen zou kunnen worden als die ontvanger een ruisgetal van 0 dB zou hebben. Die zetten we dan maar bij de oorsprong. Een ontvanger met een ruisgetal van 3 dB kan dus nog signalen van -137 dBm 'horen'. Dat niveau wordt het MDS (minimal discernable signal) genoemd. Dat wordt dus een horizontale lijn die 3 dB boven de horizontale as loopt.

We kunnen nu ook zien hoe groot 'het vervormingsvrije dynamisch bereik' van onze versterker is. Per definitie is dat het verschil (in dB's dus) tussen de snijpunten van het-gewenste-sig-naal-en-het-MDS en die van het-ongewenste-IMD-sig-naal-en-het-MDS. Dat heb ik in het blauw getekend. Onze voorbeeld-versterker heeft een dynamisch bereik (dynamic range: Dr) van 100 dB.

Om het nog lastiger te maken: Als onze versterker een versterking van  $g$  dB zou hebben, gaat het plaatje nog steeds op! Het enige wat je hoeft te doen is de schaal langs de verticale as net zo veel te verschuiven als de versterking. Denk er om dat versterkingen  $< 1$  in dB's uitgedrukt, negatief worden. Dat weten we wel van diode-mixers. Die hebben een 'doorlaat-demping' van bv. 6 dB. Dat ding versterkt dus -6 dB!

Onze versterker die 0 dB versterkt is helemaal zo gek nog niet. Een goede buffer doet dat! de voorwaartse versterking is 0 dB en de 'van achter naar voren versterking' bv. -60 dB. Dat kan van belang zijn als een mixer te veel oscillator signaal naar voren spuit. Om te vermijden dat dat in de antenne komt, kun je er een buffer voor zetten.....

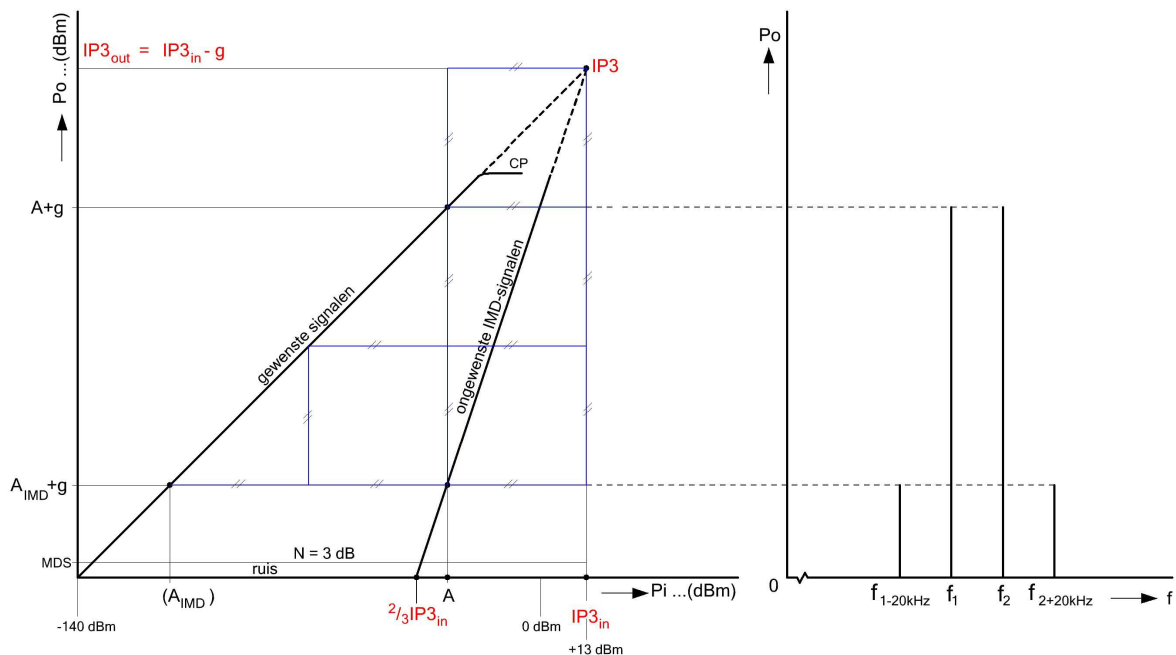
De kwaliteit van de DUT wordt afgemeten naar **het dynamisch bereik**: het verschil tussen het grootste signaal dat verwerkt kan worden en het kleinste signaal dat nog verwerkt kan worden. Vaak wordt door de fabrikant het  $IP3_{in}$  of het  $IP3_{out}$  en het ruisgetal gegeven. Hier valt het dynamisch bereik uit te distilleren. Als er alleen maar  $IP3$  staat, neemt de fabrikant het gunstigste getal! Bij versterkers ( $g > 0$  dB) zal dat dus het  $IP3_{out}$  zijn en bij bv. DBM's (met  $g = -6$  dB) het  $IP3_{in}$ . Let daar op. De relatie is trouwens heel eenvoudig:

$$IP3_{in} = IP3_{out} + g \dots(\text{dBm})$$

Even goed nadenken!

## Hoe meet je dat?

Tot nog toe hadden we het over hele kleine en hele grote signalen die niet of nauwelijks te meten zijn. Kunnen we niet ergens daar tussen gaan zitten? Voor het meten van de ruisvloer, het MDS of het ruisgetal, is maar één betrouwbare methode: met een ruisgenerator. Je zou met een meetzender kunnen proberen om een signaal te maken dat net zo groot is als de ruisvloer maar ik geef je weinig kans.



figuur 3

Met ruisgetallen beter dan 10 dB moet het signaal zo klein zijn dat het gewoon buiten de aansluitkabel om waait! Je krijgt de 'isolatie' niet goed genoeg met eenvoudige middelen als B&C-pluggen....

Goed, het IP3 dan? Ook dat is niet eenvoudig. Hiervoor hebben we een zg. dubbel-toon-generator nodig, die op bv. 20 kHz van elkaar twee signalen  $f_1$  en  $f_2$  kan opwekken die even groot zijn met een vermogen van zo'n -30 of -20 dBm. In onze figuur 3 is A ongeveer -30 dBm gekozen. De signalen moeten in ieder geval zo groot zijn dat de DUT duidelijk last gaat krijgen van IMD, zodat er onder en boven  $f_1$  en  $f_2$  signalen ontstaan die duidelijk boven de ruis uit komen.

Als we in figuur 3 kijken naar een DUT met versterking  $g$  dB, en we voeren uit de dubbeltoon-generator twee even grote signalen toe van A dBm, dan komt er uit de DUT: twee signalen van  $A+g$  dBm (de gewenste) en twee signalen van  $A_{IMD}+g$  dBm (de ongewenste).

Hoe nu verder? In figuur 3 zijn blauwe vierkanten getekend. Het is aan te tonen dat bij elke waarde van A en  $A_{IMD}$  er zulke vierkanten zullen zijn. Nu is eenvoudig in te zien dat de zijden van die vierkanten  $(A - A_{IMD})/2$  groot zijn, zodat:

$$IP3_{out} = (A+g) + \{(A+g) - (A_{IMD}+g)\}/2, \text{ en dus ook:}$$

$$IP3_{in} = A + (A - A_{IMD})/2$$

Voor bijvoorbeeld:  $A = -30 \text{ dBm}$  en  $A_{IMD} = -116 \text{ dBm}$

$$IP3_{in} = -30 + (-30 - \{-116\})/2 = -30 + (-30 + 116)/2 = +13 \text{ dBm.}$$

Voorwaarde is dat de dubbeltoon-generator beter is dan de te meten DUT. Mijn eerste exemplaar gaf zulke slechte getallen dat het niet anders kon dan dat de generator 'te slecht' was. De twee oscillatoren 'mogen elkaar niet zien', dwz. de ene oscillator mag geen IMD veroorzaken in de andere. Als bij even grote ingangssignalen de IMD-producten niet gelijk zijn, mag je gerust argwaan hebben. Er zijn echter DUTs die dat onbegrijpelijke kunstje ook flikken, maar....

Kortom, het kip en het ei probleem.

Hoe je zo'n dubbeltoon-generator zelf kunt bouwen, is een volgend verhaal.

Succes met de hobby,  
73 de PAoSU,  
Herbert.