

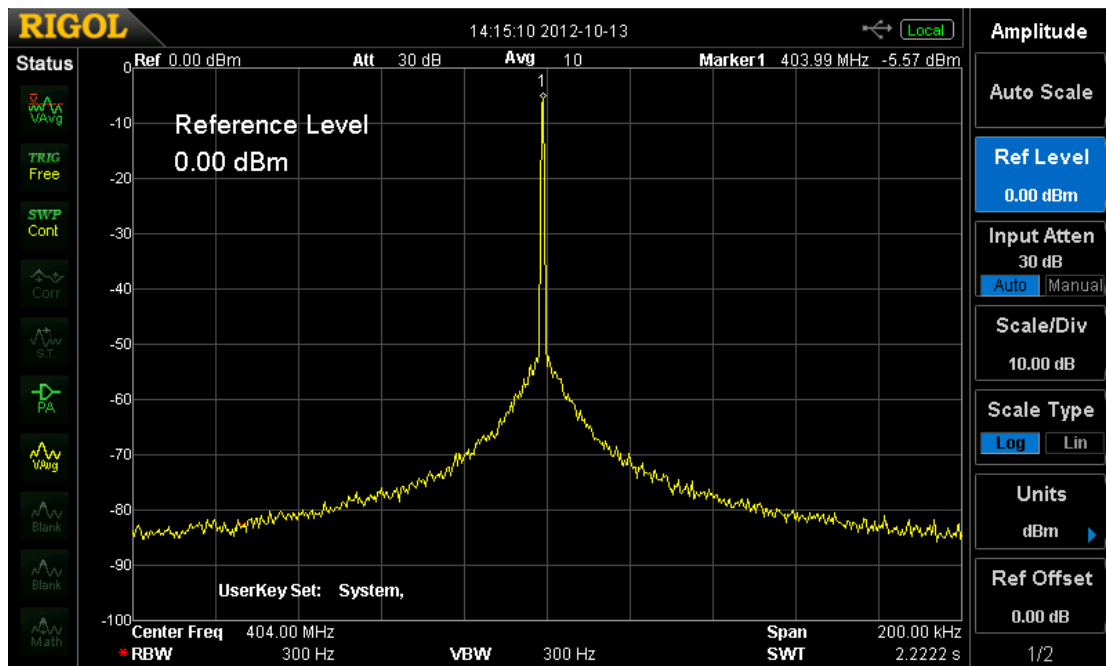
Fase-ruis metingen aan oscillatoren met een low-cost Rigol DSA815TG Spectrum Analyser tot -150 dBc/Hz

Introductie

Onlangs is door Jos Disselhorst PA3ACJ en Antoon Milatz PA3BWE een artikel geschreven in dit blad over de Rigol DSA815-TG spectrum analyzer. In dit algemene artikel hebben Jos en Antoon een introductie gegeven van dit nieuwe instrument en zijn vele mogelijkheden. In dit artikel beschrijf ik een methode om met de DSA815-TG en een aantal eenvoudige hulpmiddelen faseruis metingen aan oscillatoren te verrichten. Normaal gesproken is daar zeer specifieke en kostbare apparatuur voor nodig die zeer diep naast de draaggolf metingen kan verrichten. Met de additionele hulpmiddelen naast de DSA815-TG is het echter mogelijk de fase-ruis nabij de draaggolf tot -150 a -160 dBc/Hz te meten.

Faseruis

De kwaliteit van een oscillator wordt vaak uitgedrukt als het ruisniveau in de zijbanden naast de draaggolf. Deze ruis ontstaat door kleine faseveranderingen in het oscillatorcircuit. Je ziet dan oscillator specificaties als bijvoorbeeld -120 dBc/Hz bij een offset van 25 kHz vanaf de draaggolf. Wat betekent dit nu? Op een 25 kHz afstand van de draaggolf is er een ruisniveau zodanig dat, als je dat zou meten met een instrument met een bandbreedte van 1Hz, deze ruis op een niveau ligt van 120dB onder het niveau van de carrier. De indicatie dBc is een relatieve waarde en betekent dat de waarde ten opzichte van de carrier wordt gespecificeerd. Zie fig. 1



Figuur 1, een 404 MHz oscillator met de faseruis zijbanden

Reciprocal Mixing

Als de faseruis van een oscillator hoog is, kan dat nadelige effecten hebben op het sterk signaal gedrag van een ontvanger. Dat nadelige effect heet **reciprocal mixing**.

Bij reciprocal mixing gebeurt er iets raars in de ingangsmixer van de ontvanger. De taken van LO en RF worden even omgedraaid waarbij een zeer sterk signaal op de RF poort zich als LO gaat gedragen en energie van het LO signaal in de middenfrequent mengt. De LO gedraagt zich dan als het ontvangen RF signaal. Vandaar dat hiervoor de term 'reciprocal' wordt gebruikt.

Waarom is oscillator faseruis in dit geval zo'n belangrijke specificatie? Stel je hebt een 2 meter SSB ontvanger die een DX signaal ontvangt op 144.315 MHz, met een 3 kHz breed middenfrequent van 10.7 MHz. De lokale oscillator in de ontvanger staat dan bijvoorbeeld op 144.315 - 10.7MHz, wat overeenkomt met 133.615 MHz. Het signaal wordt in de mixer naar de middenfrequent van de ontvanger gemengd en wordt verder versterkt en gedetecteerd tot een hoorbaar signaal. Het DX signaal is S2, een niveau van 0.2 uV op de 50 ingang van de ontvanger. In dBm's uitgedrukt is dat -135dBm.

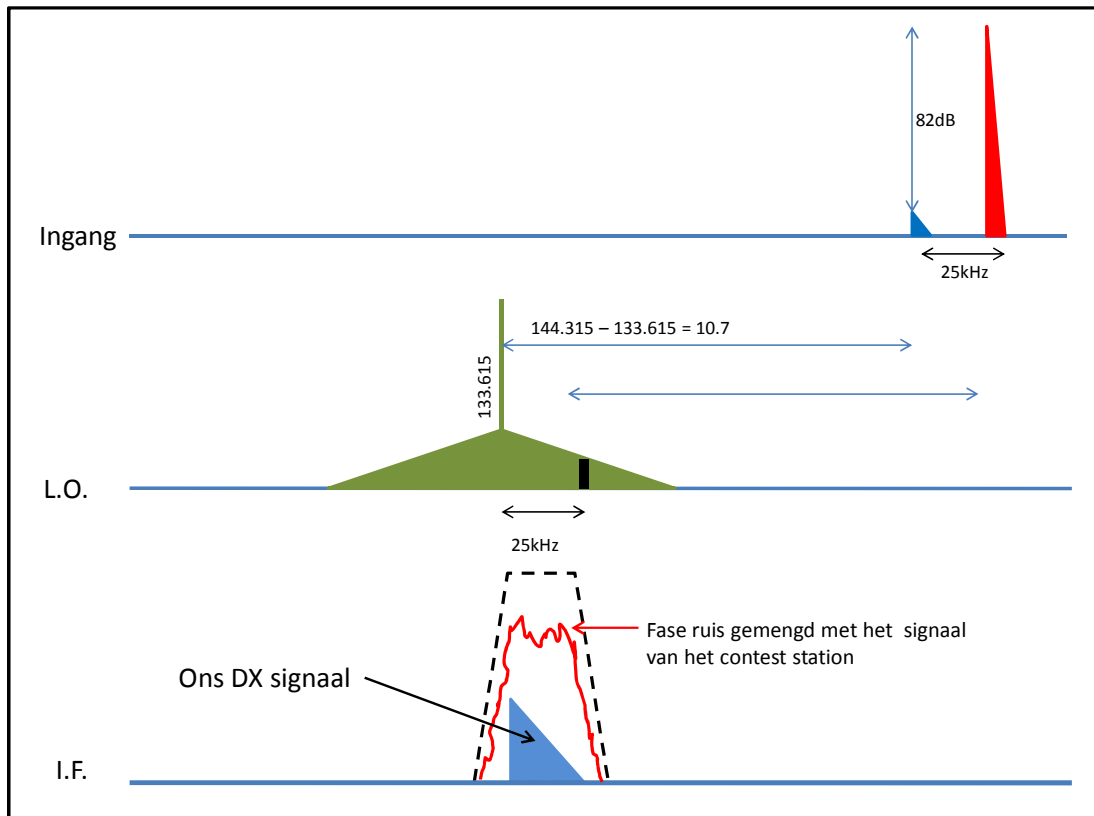
Het DX signaal wordt tijdens een VHF contest ontvangen en 25 kHz hoger is een lokaal club station bezig met CQ te roepen. Hun signaal produceert een stevig signaal op de ingang van de ontvanger van S9+40dB, wat overeenkomt met een niveau van -53dBm, **82dB sterker dan het DX signaal!** Met deze sterkte gaat het signaal van het contest station als LO werken.

Wat doet de mixer met deze twee signalen als de lokale oscillator in de ontvanger een SSB fase ruis specificatie heeft van -100dBc/Hz? De middenfrequent bandbreedte van de ontvanger is 3kHz. Als we het niveau van de fase ruis op 25 kHz afstand omrekenen naar 3kHz bandbreedte dan levert dat het volgende getal op

$$FaseRuis(BW@3kHz) = -\frac{100dBc}{Hz} + 10 * \log(3000)$$

Bij een 3kHz bandbreedte komt de fase ruis van de LO nu op een niveau te liggen van -65.3 dBm/3 kHz (-100 + 34.7). Stel de mixer heeft een 6dB conversie verlies. Na mengen is het DX signaal op 10.7 MHz op een niveau van slechts -141 dBm. Het contest station op 25 kHz afstand levert aan de ontvanger ingang een niveau van -53dBm. Als dit signaal zich gaat mengen in de mixer met het SSB fase ruis vermogen in de zijband van de LO, ontstaat er een tweede mengproduct in de middenfrequent keten, dat gezien de sterkte van het signaal boven de -141 dBm komt te liggen, en het DX signaal onhoorbaar maakt.

In figuur 2 wordt e.e.a. inzichtelijk gemaakt.



Figuur 2

Het rode signaal, het contest station, is 82 dB sterker dan de DX op de ontvanger ingang. De fase ruis, op 25 kHz afstand van de LO, mengt met het contest station dat ook op 25kHz afstand van ons DX station staat en er is een tweede zeer verstorend signaal in de middenfrequent bijgekomen.

3^e orde intercept point en reciprocal mixing van een ontvanger

Het grootsignaal gedrag van een ontvanger wordt in het algemeen weergegeven door de 3^e orde IP (Intercept Point) specificatie. Naast een goed grootsignaal gedrag van de ingang om ongewenste intermodulatie producten te voorkomen, is het dus ook van groot belang dat de faseruis van de lokale oscillator in de ontvanger erg laag is. Alle moeite om een perfect ontworpen RF ingangstrap te bouwen met een zeer hoge IP3 specificatie kan alsnog teniet gedaan worden als de LO veel ruis heeft in de zijbanden.

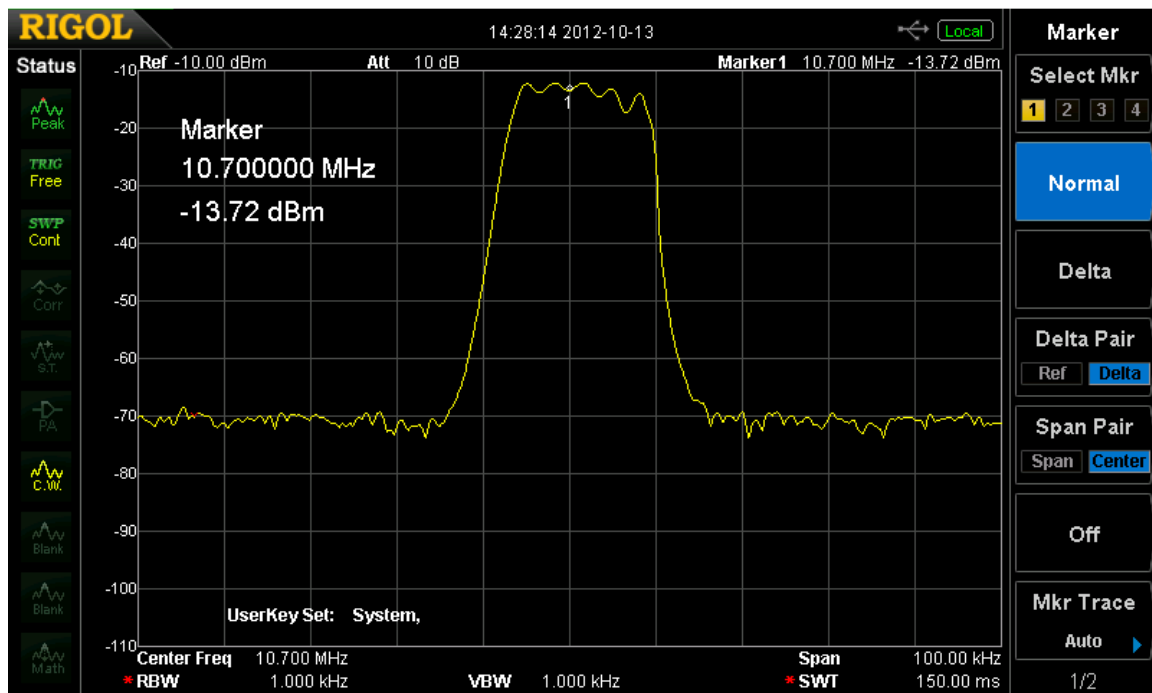
Het meten van de SSB fase ruis.

Vaak zijn de fase ruis getallen laag, in de orde van -100 a -150 dBc/Hz, oftewel 100 tot 150 dB lager dan het vermogen van de LO. Een dergelijke meting kan niet direct met een spectrum analyser worden uitgevoerd omdat het dynamisch bereik daarvoor onvoldoende is. Maar met een eenvoudige truc gaat dat wel.

Wat heb je er bij nodig, naast de spectrum analyser?

- een extra signaalgenerator met een lage faseruis
- een double balanced mixer
- een kristalfilter, het liefst met twee 50 Ohm poorten, of een filter met aanpasnetwerken naar 50 Ohm. Zie figuur 3. (Opmerking: de bandbreedte van het filter is niet zo belangrijk. Hoe groter de demping van het filter en hoe scherper de flank van het filter aan de zijde van de draaggolf, hoe dichterbij je de draaggolf kan meten)
- Een low-noise amplifier met een gain van 20 - 30dB en een ruisgetal van 1dB maximaal
- Een stappenverzwakker in stappen van 10dB tot 120dB

Om nu zeker te zijn dat de extra signaalgenerator een lage faseruis heeft, wordt eerst de generator zelf gemeten en daarna de O.U.T. [Oscillator Under Test]. De generator moet typical een faseruis waarde hebben die zo'n 10dB lager dan het getal wat we willen meten.



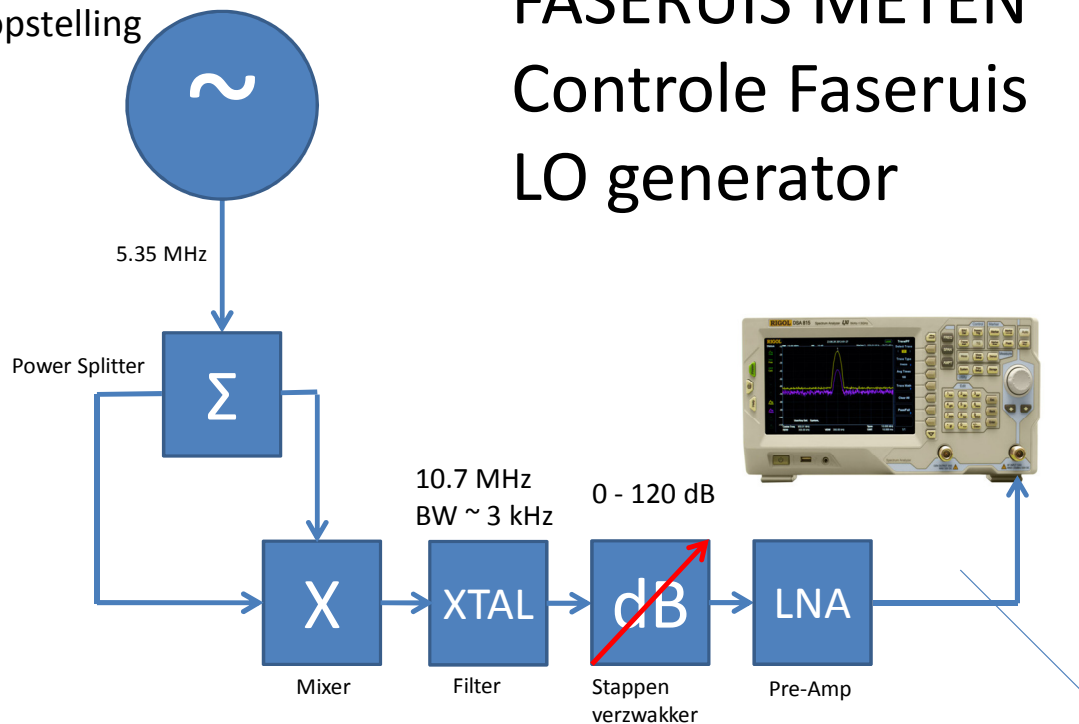
Figuur 3 doorlaatkarakteristiek van het 10.7MHz, 15 kHz kristalfilter

De LO van de
meetopstelling

FASERUIS METEN

Controle Faseruis

LO generator



Figuur 4

Om de eigen faseruis van de LO-generator te meten wordt de opstelling van figuur 3 opgebouwd. Hoe gaat deze meting in zijn werk?

Stap 1 Stel de verzwakker in op 100dB

Stap 2 **REFERENTIEMETING**

Stel de generator in op 5.35 MHz en met een niveau van +10dBm

Het signaal uit de generator wordt in twee takken gesplitst die met elkaar gemengd worden in de mixer. Op de uitgang van de mixer staan dan een DC signaal en $2 * 5.35 \text{ MHz} = 10.7 \text{ MHz}$. Dat is in het midden van de doorlaatband van het filter.

Stel de spectrum analyzer als volgt in:

Frequentie	10.7 MHz
Span	100 kHz
Ingangsverzwakker	0 dB
Pre-amplifier	Aan
Resolutie bandbreedte	100 Hz
Ref niveau	Willekeurig

- Stap 3** Meet de signaalsterkte van het signaal met de marker, en noteer dat. Bij onze meting was dat een niveau van -68 dBm. Dit is de referentiewaarde van de meting, onder de condities : stappenverzwakker = 100 dB en RBW = 100Hz.
- Stap 4** We willen de faseruis op 25 kHz van de carrier meten. De signaalgenerator wordt nu 12.5 kHz verschoven (omhoog of omlaag maakt niet uit). Het signaal verdwijnt nu uit beeld omdat het product van de menging nu $2 * 5.3625 = 10.725$ kHz is. Deze frequentie ligt buiten de doorlaatband van het kristal filter.
- Stap 5** Stel de stappenverzwakker nu in op 0dB. Een plaatje zoals in figuur zz wordt vervolgens zichtbaar.

Wat is er nu gebeurd. De opstelling meet nu een ruisbandje van 3 kHz breed (de bandbreedte van het kristalfilter). Het mengproduct van 10.725 kHz valt nu buiten het filter en de doorlaat van het nu 100dB!! gevoeliger systeem laat nu de zijbandruis van de generator zien op een afstand van 25 kHz van de draaggolf. We meten een niveau in dit ruisbandje van zo'n -95 dBm

Wat is nu de dBc/Hz waarde van deze generator ?

We rekenen dat als volgt uit.

- | | |
|--|---------|
| 1) De ruismeting is 27 dB lager dan de referentie meting van -68 dBm | - 27 dB |
| 2) We hebben 100dB verzwakking weggenomen | -100 dB |

Blijkbaar is de ruis op een afstand van 25 kHz gemeten met een 100Hz bandbreedte -127 dBm. Om nu tot de dBc/Hz waarde te komen wordt dit resultaat gecorrigeerd met een additionele 20dB die volgt uit $10\log(100/1) = 20\text{dB}$, oftewel hoeveel extra ruis zit er nog in een 100Hz bandbreedte ten opzichte van de gewenste 1Hz bandbreedte.

Het resultaat van de meting is dus -147 dBc/Hz. Maar.....de slager heeft zijn eigen vlees gekeurd, oftewel de LO en het RF signaal komen van dezelfde bron af. Het resultaat is daarmee dan ook 3dB slechter dan verwacht waardoor de fase-ruis op 25 kHz afstand van de carrier uitkomt op -150dBc/Hz.

Nu we weten dat de generator deze waarde heeft, kunnen met de opstelling zonder meer fase-ruis niveaus gemeten worden tot -140dBc/Hz zonder dat de fase-ruis van de LO generator de meting beïnvloedt.

Het meten van de zijband faseruis van 404 MHz oscillator met deze opstelling:

De referentiemeting:

De LO van de opstelling wordt afgeregeld op 414.7 MHz en met het juiste aantal dBm's om de mixer goed aan te sturen. De verzwakker wordt op zijn maximale waarde (100dB) ingesteld. Omdat de te meten oscillator een frequentie van 404MHz genereert, zal het mengproduct in het midden van het kristalfilter komen te liggen.

Regel nu de spectrum analyzer zodanig af de frequentie in het midden 10.7 MHz is met een breedte (SPAN) van 50 kHz. Van de meting aan deze oscillator (figuur 1) weten we dat het uitgangsvermogen plm. -5 dBm is. Deze waarde wordt echter als gevolg van verzwakking en versterking van alle elementen in de opstelling niet correct weergegeven.

We kunnen de uitlezing van de analyser aanpassen door middel van de "Reference Offset" en wel zodanig dat wel dit niveau gemeten wordt. U ziet rechts onderin het scherm van de analyzer dat de referentie offset 78dB is. Dit getal compenseert de invloed van de volgende elementen van de opstelling:

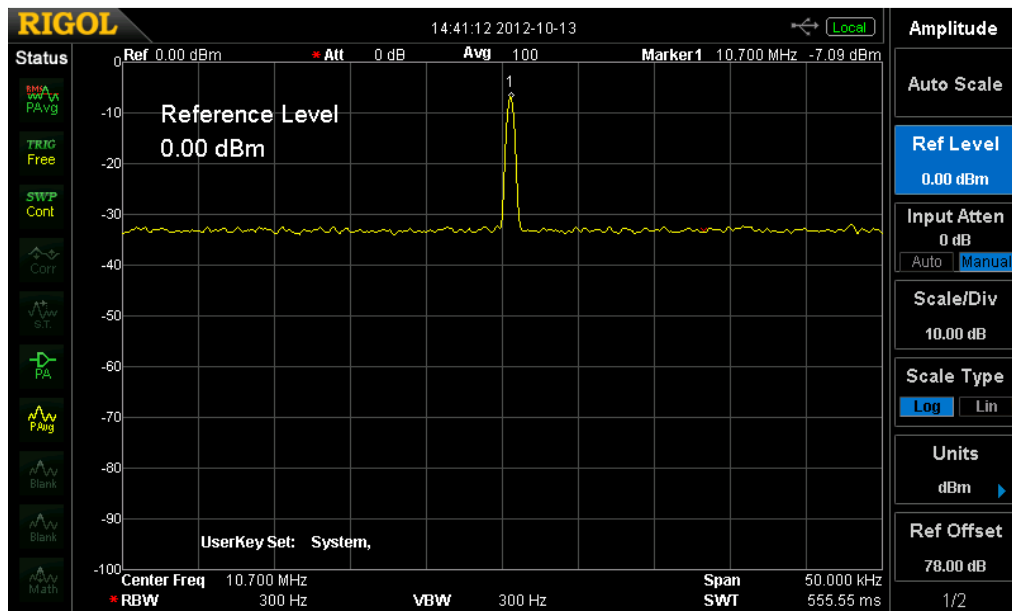
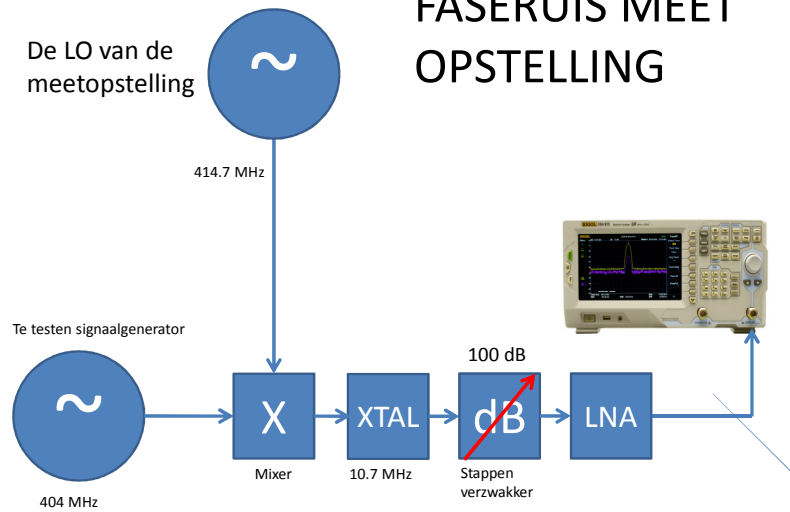
- Het conversieverlies van de mixer - 6dB
- Het doorlaatverlies van het filter - 4dB
- De versterking van de LNA + 32dB
- De verzwakker - 100 dB

Deze keten levert een verlies van 78dB op. Door middel van de referentie offset in te stellen op +78dB worden alle dBm waarden in het scherm opnieuw berekend met deze waarde.

Voor de duidelijkheid, omdat het om een relatieve meting gaat zijn de absolute niveaus niet van belang, echter door deze offset te gebruiken wordt de meting m.i. inzichtelijker.

Uiteraard alle andere instellingen als tijdens de metingen van de generator zelf worden nu ook weer gebruikt. Dit levert de referentie meting op, uitkomst -7dBm. (zie figuur 5)

FASERUIS MEET OPSTELLING



Figuur 5. Referentie meting van de draaggolf

Stap 2:

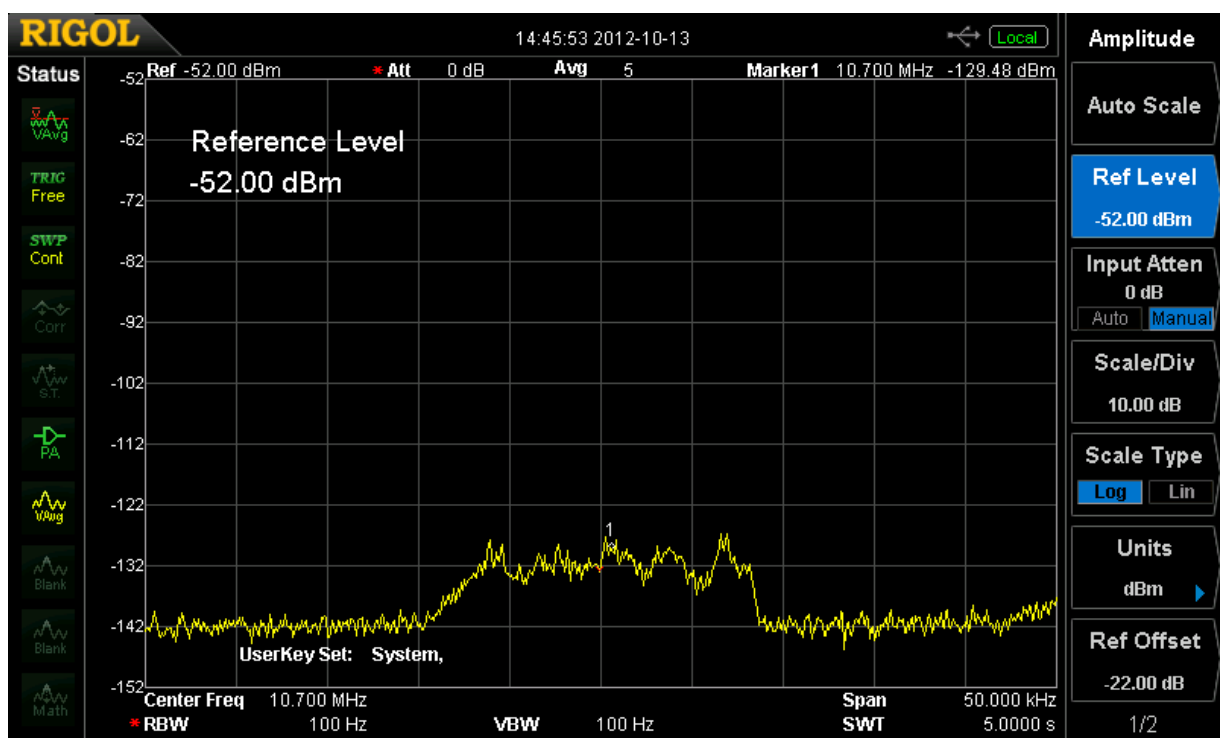
Het meten van de faseruis. Stel we willen op een afstand van 25 kHz van 404 MHz meten wat de faseruis van deze 404 MHz generator is. Daarvoor moet de LO van de opstelling worden veranderd naar 414.725 MHz. Wat er nu gebeurt is dat het stukje spectrum 404.025 MHz \pm 7.5 kHz (**De bandbreedte van het XTAL filter in de meetopstelling is immers 15kHz**) wordt gemiddeld en door het filter doorgelaten. De carrier, die tijdens de referentiemeting in het midden stond is nu verdwenen en valt buiten de doorlaatband van het kristal filter.

Na deze afstemming zie je in eerste instantie niets, dan alleen de ruis van de Spectrum Analyser zelf! Dat komt om dat de zijbandruis (of faseruis) veel lager is dan de carrier, meer dan zo'n 100 dB lager. De verzwakker wordt nu van 100dB op 0dB gezet, **zodat de opstelling weer 100dB gevoeliger wordt!**

Eerde hebben we de uitlezing van de analyzer met +78dB gecompenseerd om het verlies van de keten mixer, filter, verzwakker en LNA teniet te doen. Omdat we zonet de verzwakker van 100dB naar 0dB hebben ingesteld moeten we ook deze offset opnieuw instellen.

De nieuwe waarde van deze offset wordt nu $78 - 100 = -22\text{dB}$. Zie in figuur 6, rechtsonder in het scherm.

Vervolgens komt het onderstaande plaatje in beeld, wat een deel van de fase ruis van de generator is op een afstand van 25 kHz van de carrier. U ziet in de ruis de doorlaatkarakteristiek van het filter terug (zie figuur 3)



Figuur 6. Meting van de faseruis

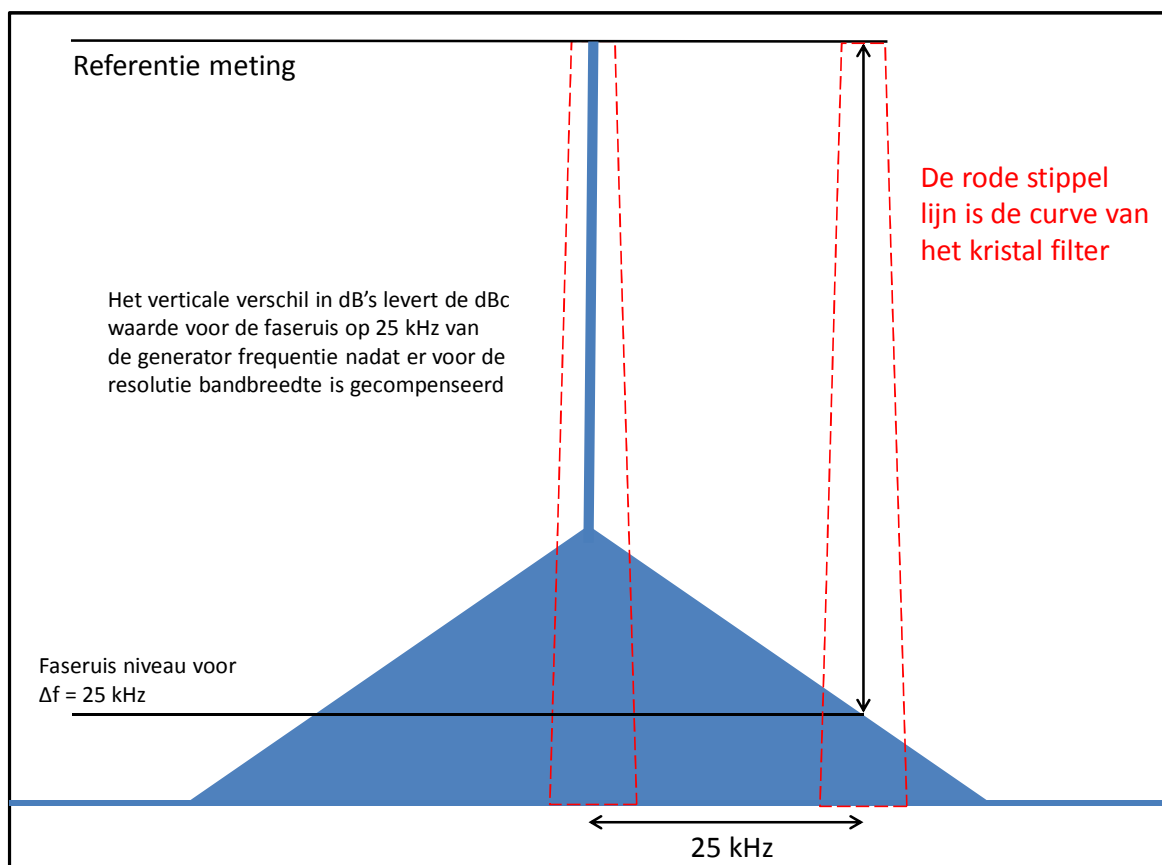
De marker1 in het scherm geeft aan dat hij nu op een niveau staat van -129dBm (de marker waarde staat rechtsboven in het scherm). De meting hebben we verricht met een bandbreedte van 100Hz. Deze instelling wordt linksonder in het scherm aangegeven (RBW 100Hz).

Na compensatie van deze meting met 20dB als gevolg van de bandbreedte om de waarde in 1Hz bandbreedte te krijgen door middel van de formule :

$$RBW \text{ compensatie } (BW@100Hz) = 10 * \text{Log}(100) = 20dB$$

levert dan de uiteindelijke waarde van -149dBc/Hz op voor deze 404MHz oscillator op een afstand van 25kHz vanaf de carrier.

Schematisch ziet de meting er uit als aangegeven in de onderstaande schets.



Conclusie : met een low-cost spectrum analyzer kan met behulp van een aantal eenvoudig te verkrijgen hulpcomponenten een faseruismeetopstelling bouwen. De verticale offset van de schaal met de externe verzwakker levert een dynamisch bereik op om dBc/Hz waarden tot -160dBc/Hz te kunnen meten.