

Ontwerp van een lokale oscillator voor VHF met zeer lage faseruis en spurious niveaus

Peter, PA3BIY

Presentatie indeling

Onderwerpen:

- Wie is Peter, PA3BIY, en wat drijft hem als radioamateur?
- Wat is faseruis en waarom is dat erg?
- De weg naar de “ideale oscillator” voor VHF.
 - Wat biedt de markt van commerciële apparatuur?
 - Preview van het eindresultaat;
 - Type oscillatoren;
 - De hybride oplossing;
 - Uitwerking
 - Generatie van een schoon referentiesignaal (keuze DDS, Clock oscillator, enz);
 - Invloed van de DC voeding op de faseruis
 - Welk type VCO?
 - Besturing
 - Eindresultaat

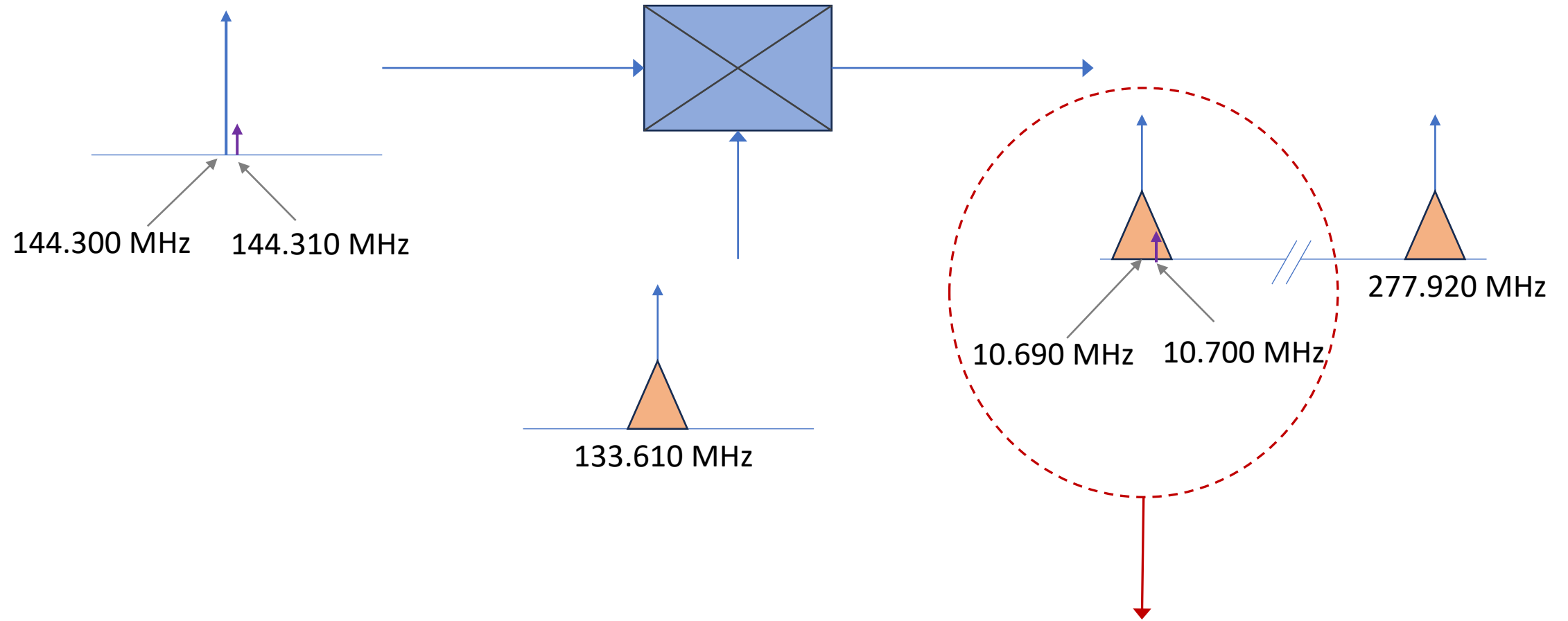
PA3BIY (in een notendop)

- Het virus als 5 jarige opgelopen tijdens het “repareren” van een bedlamp.
- Als 10 jarige eerste ontvangers gebouwd om Radio Noordzee mee te beluisteren.
- De PA0MUS ontvanger (VRZA). Goede leerschool, maar bij mij heeft het nooit goed gewerkt!
- Mengoscillatoren en de “Huff and Puff” stabilisator van PA0KSB.
- Vanaf 1978 de bouw (evolutie!) van een “all mode” 2 m transceiver.
- En dat allemaal t.b.v. het tweede aspect van de hobby: DX'en op 2 meter!

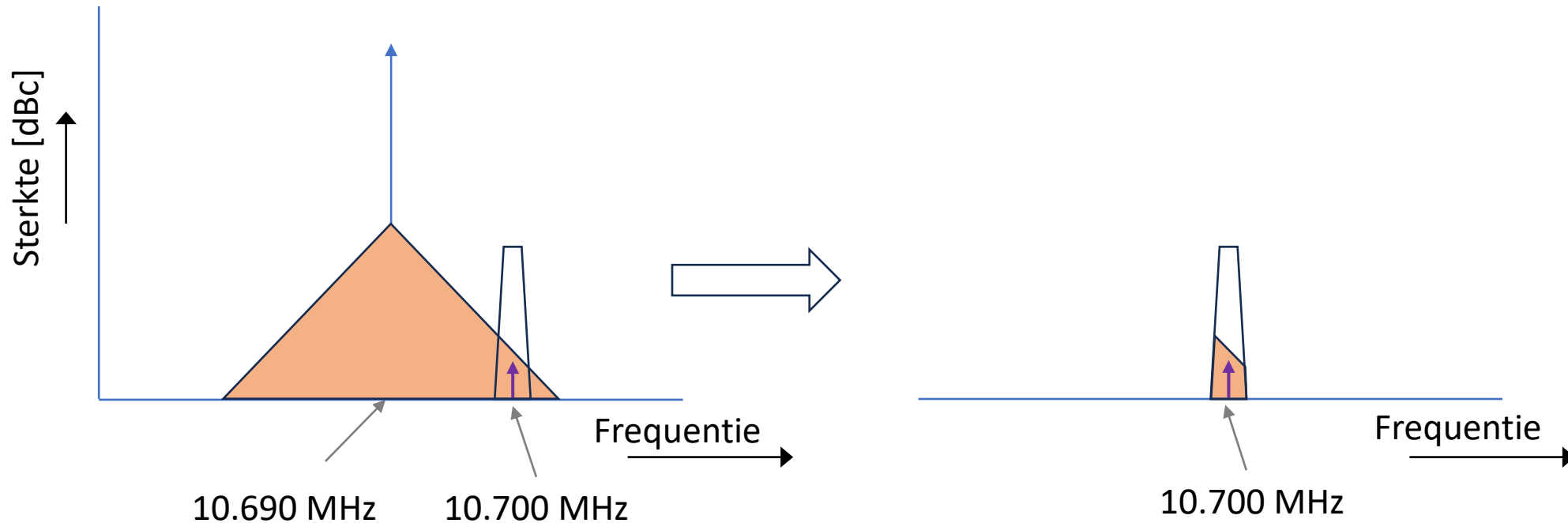
Waarom een lokale oscillator?

- Omdat we vroeger niet direct een signaal vanaf de antenne konden decoderen.
- Dat laatste ook nu nog een grote uitdaging is op VHF en hoger met sampling technieken.
 - En de effecten van faseruis zijn ook van toepassing op sampling oscillatoren!
- We dus omlaag moeten mengen (heterodyne ontvanger) naar een middenfrequentie waarop we het ontvangen signaal kunnen bewerken (lees: demoduleren).
- Om bijvoorbeeld van 144.3 naar 10.7 MHz middenfrequent toe te gaan moeten we dus 133.6 MHz bijmengen: Omlaag mixen.

Mengen van frequenties en de effecten van faseruis



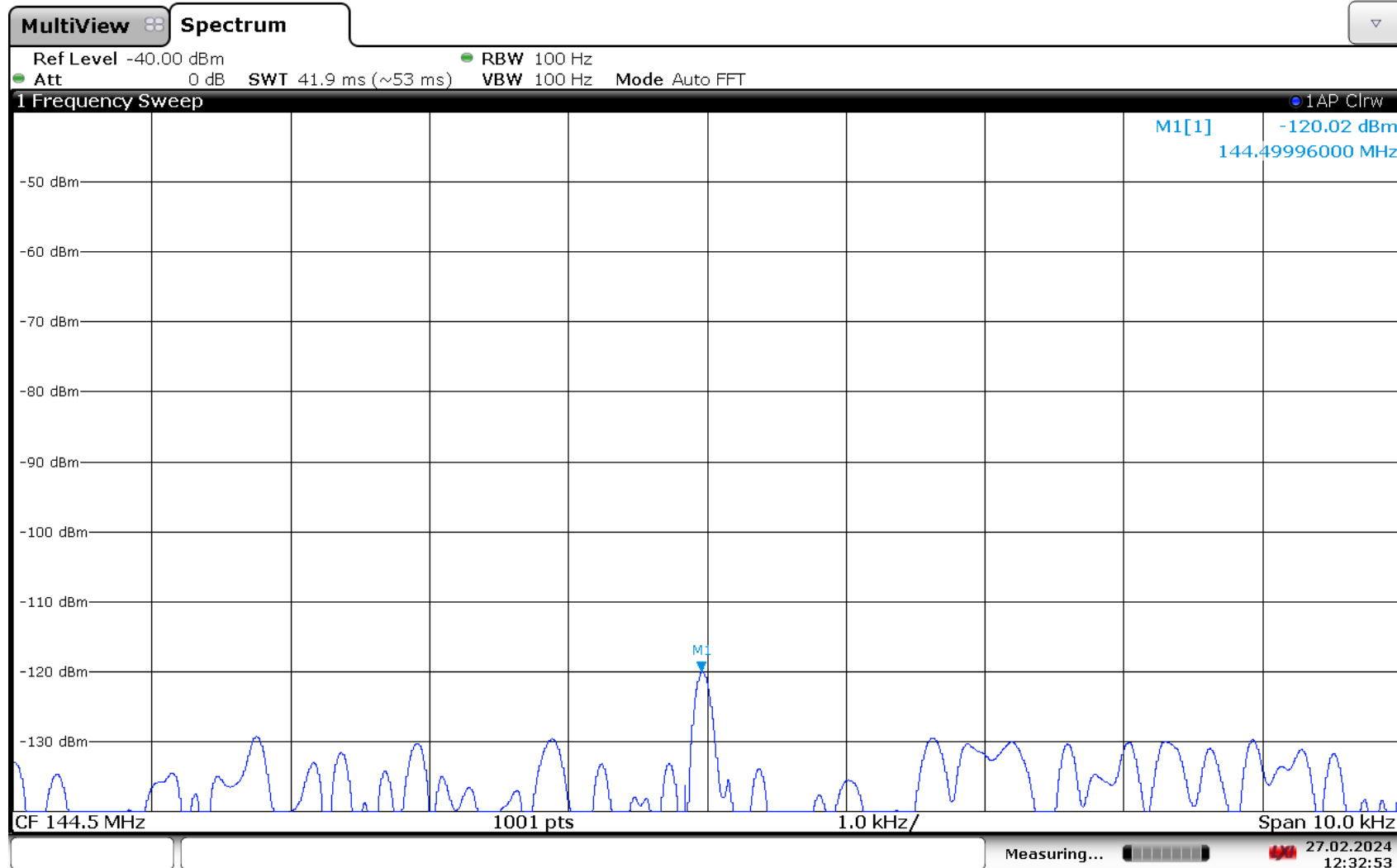
Effecten van faseruis na de mengtrap



Conclusie:

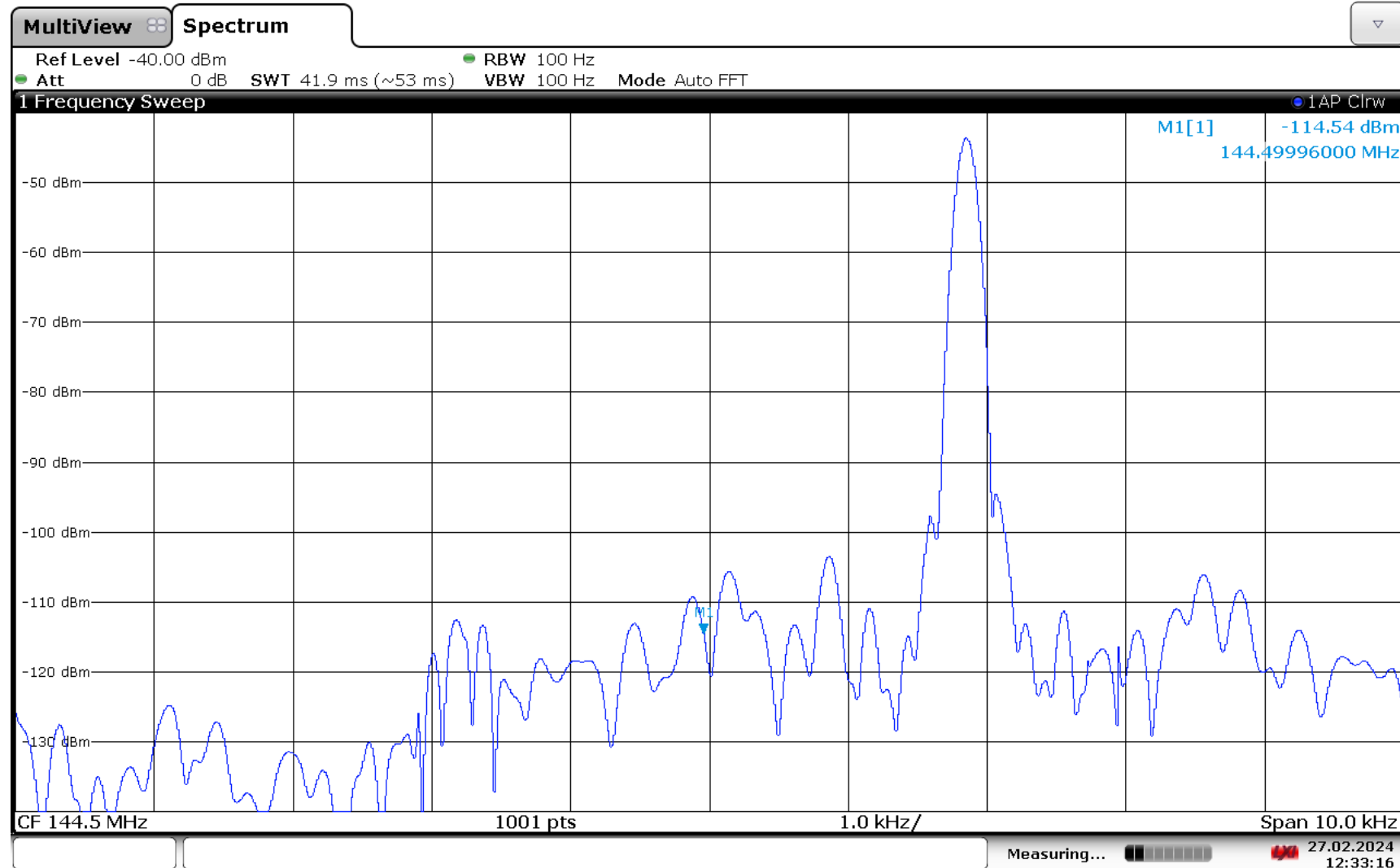
- Faseruis van de eigen lokale (of sampling) oscillator kan een zwak, maar gewenst signaal doen verdrinken in de faseruis als er een sterk en schoon signaal vlak bij staat;
- Indien de nabuurling slechte faseruis waarden heeft, maar de eigen LO is schoon, gebeurt hetzelfde.
- Door het frequentiemixen worden de eigenschappen overgebracht op het mengproduct (in dit geval het middenfrequent signaal)

Spectrum analyzer opnames gewenst signaal



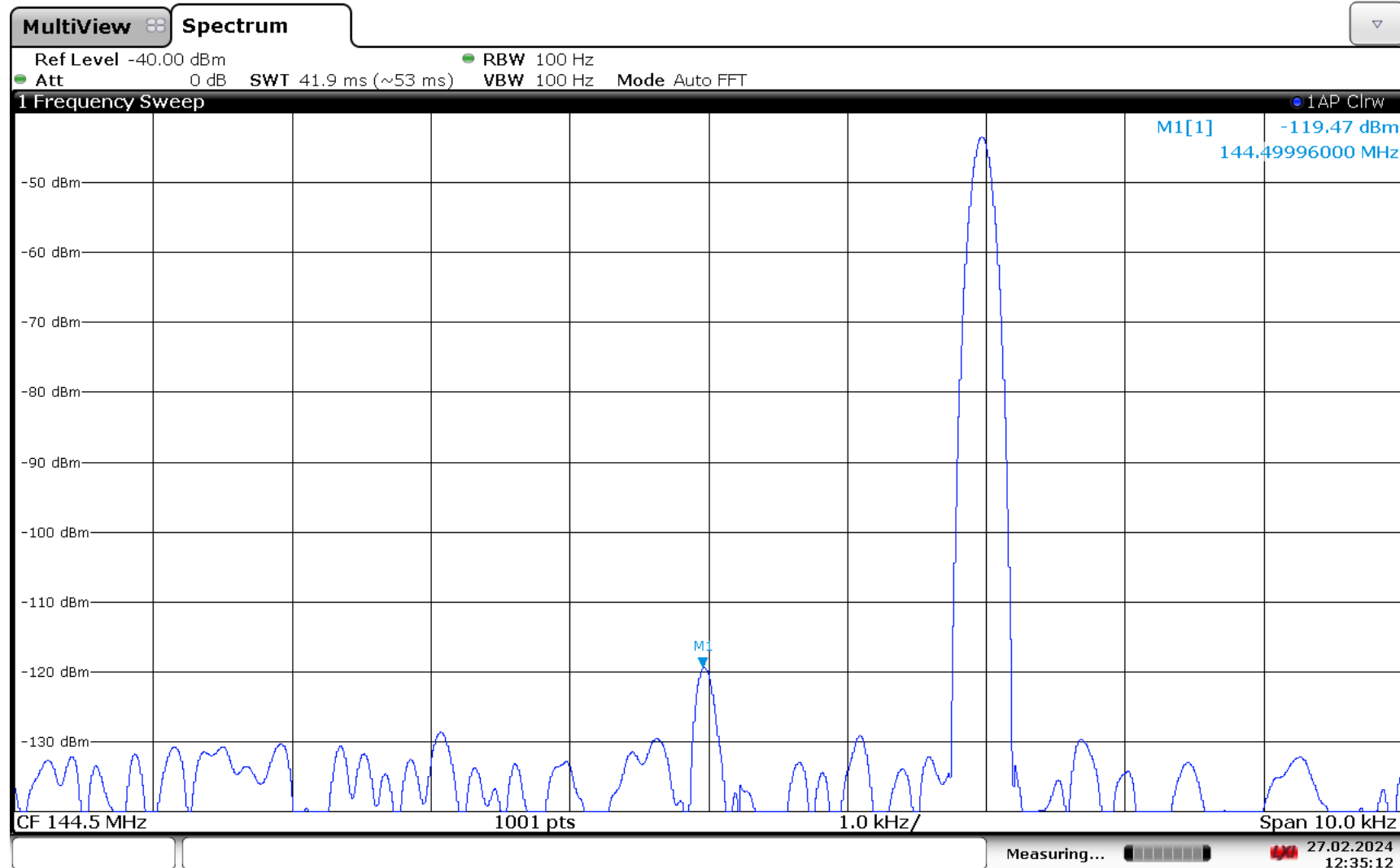
Spectrum analyzer opnames

nabuur signaal met veel faseruis



Spectrum analyzer opnames

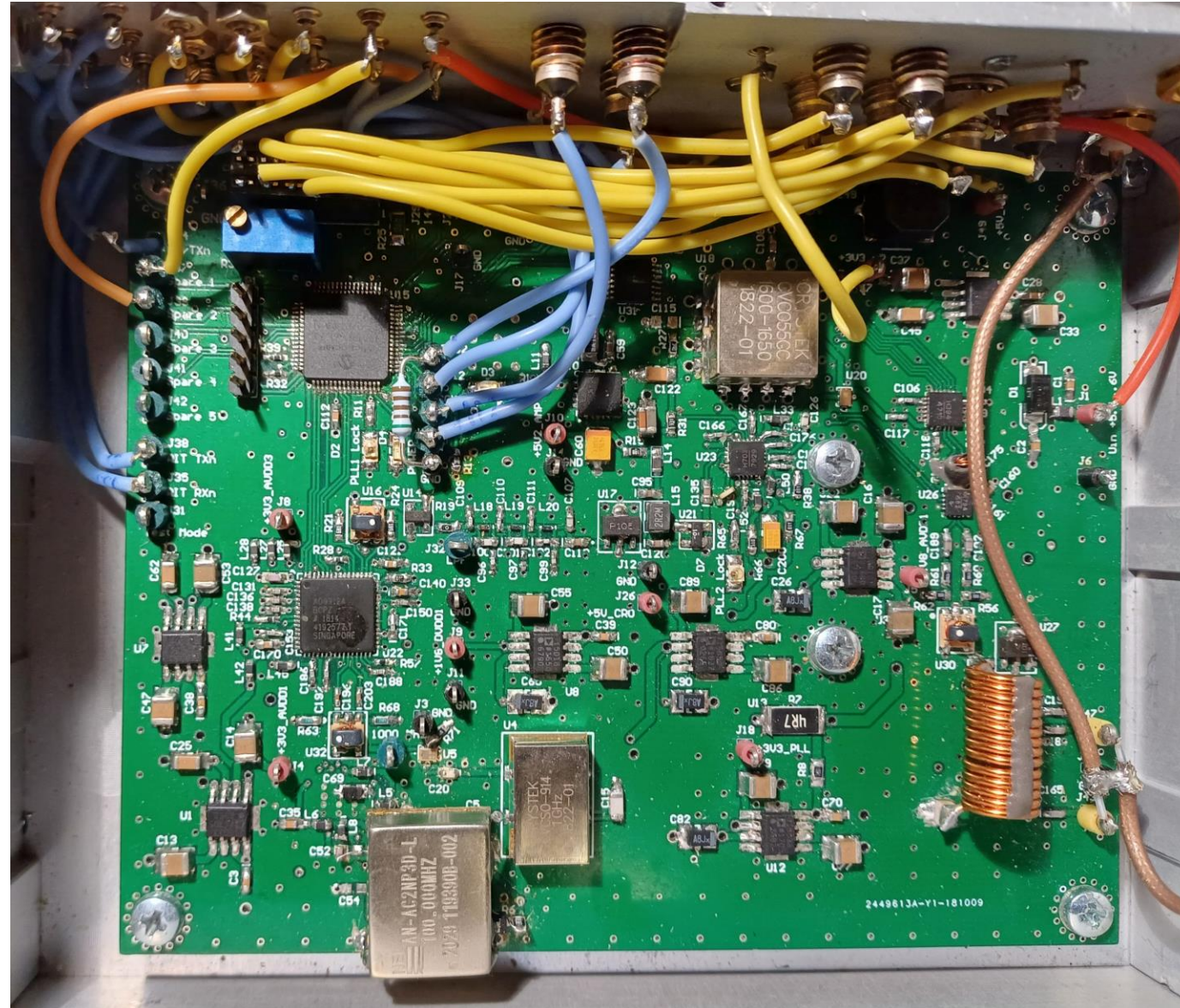
nabuur signaal met weinig faseruis



Uitgangspunten van het synthesizer ontwerp

1. Hoeft niet “low cost” te zijn (en is het ook zeker **niet!**);
2. Ik wil “het onderste uit de kan”
 - De “close-in” faseruis moet zeer laag zijn op 144 MHz:
 - < -110 dBc/Hz op 1 kHz
 - < -130 dBc /Hz op 10 kHz
 - < -140 dBc /Hz op 100 kHz
 - Spurious: < -100 dBc
3. “dBc/Hz” is dus 35 dB hoger in een SSB filter!
4. Multi-band: geschikt voor 50, 70 en 144 MHz

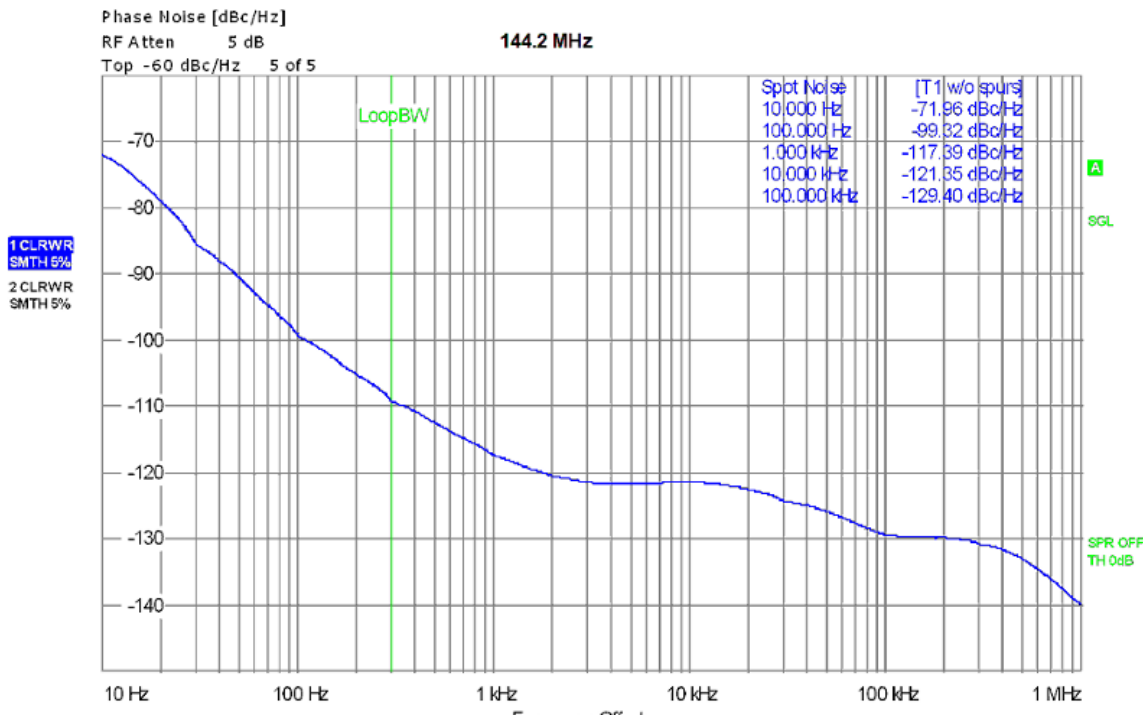
De synthesizer (Lokale oscillator), in al zijn eenvoud ;-)



Wat biedt de commercie (I)?

Icom IC9700 (zie: AB4OJ.COM)

Zender faseruis op 144 MHz



Delta F [kHz]	Faseruis [dBc/Hz]	Faseruis [3 kHz]
0.1	-99	
1	-117	
5	-121.5	-86.5
10	-121	-86
100	-129	-94

Wat biedt de commercie (II)

Icom IC7100 (AB4OJ.COM)

Zender faseruis op 144 MHz (rode lijn):

IC-7100 S/N 02001352, TX composite noise. R: 144.1 MHz, 50W. G: 432.1 MHz, 35W. 13.08.2013.

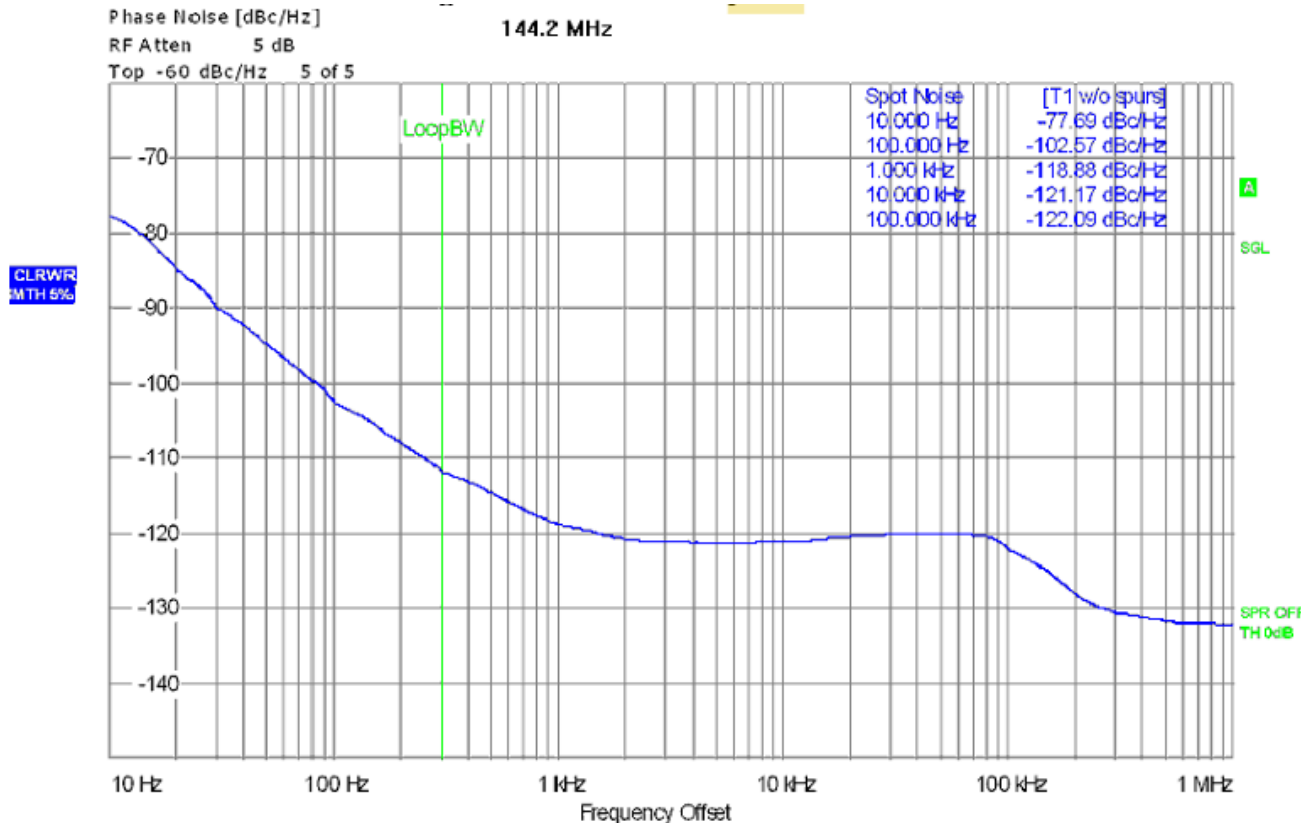


Delta F [kHz]	Faseruis [dBc/Hz]	Faseruis [3 kHz]
0.1	-95	
1	-106	
5	-111	-76
10	-116	-81
100	-119	-84

Wat biedt de commercie (III)?

Icom IC705 (zie: AB4OJ.COM)

Zender faseruis op 144 MHz :

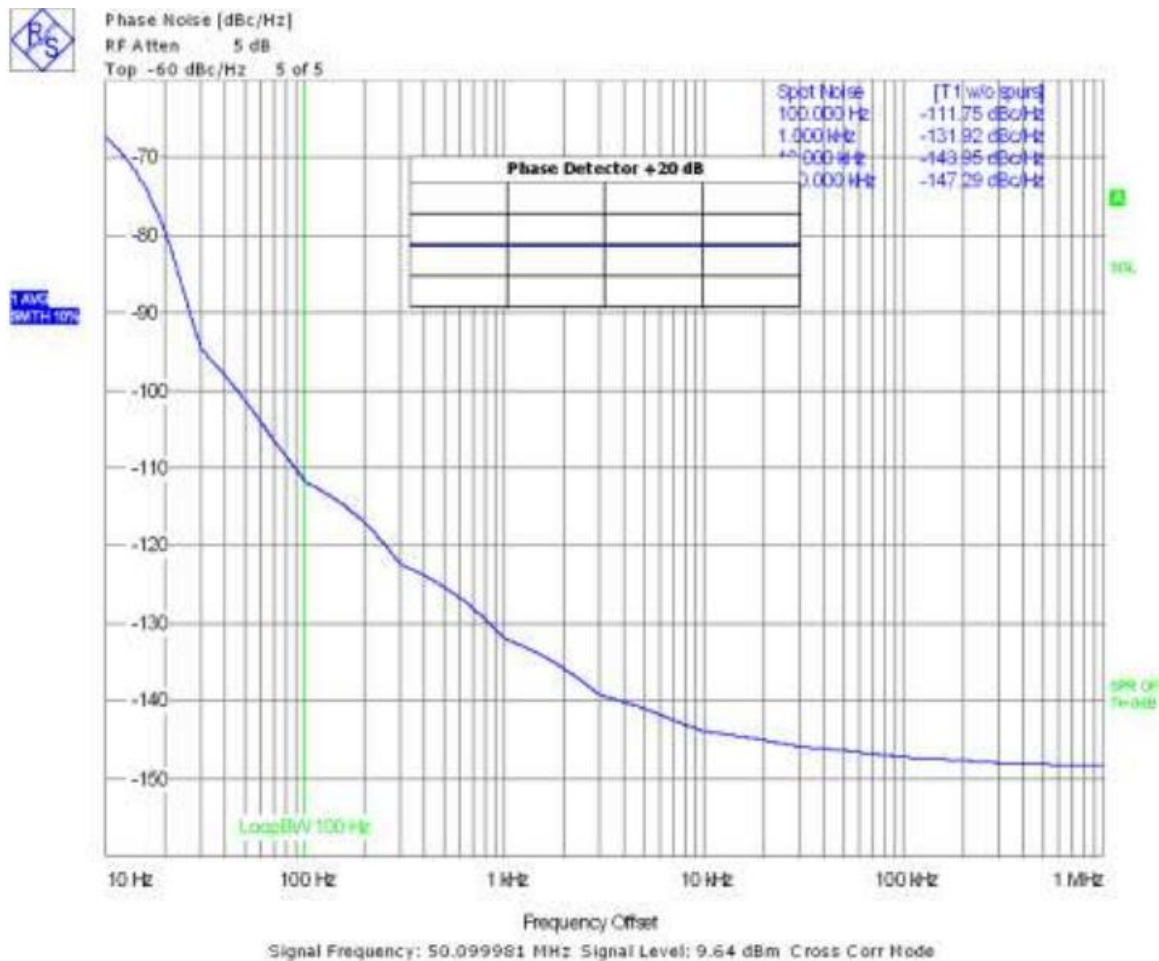


Delta F [kHz]	Faseruis [dBc/Hz]	Faseruis [3 kHz]
0.1	-102.6	
1	-119	
5	-121	-86
10	-121	-86
100	-122	-87

Wat biedt de commercie (IV)?

Yeasu, FT-710 (zie: AB4OJ.COM)

Zender faseruis op 50 MHz:



Delta F
[kHz]

0.1
1
5
10
100

Faseruis
[dBc/Hz]

-111 (-102)
-132 (-123)
-141 (-132)
-143 (-134)
-147 (-138)

Faseruis
[3 kHz]

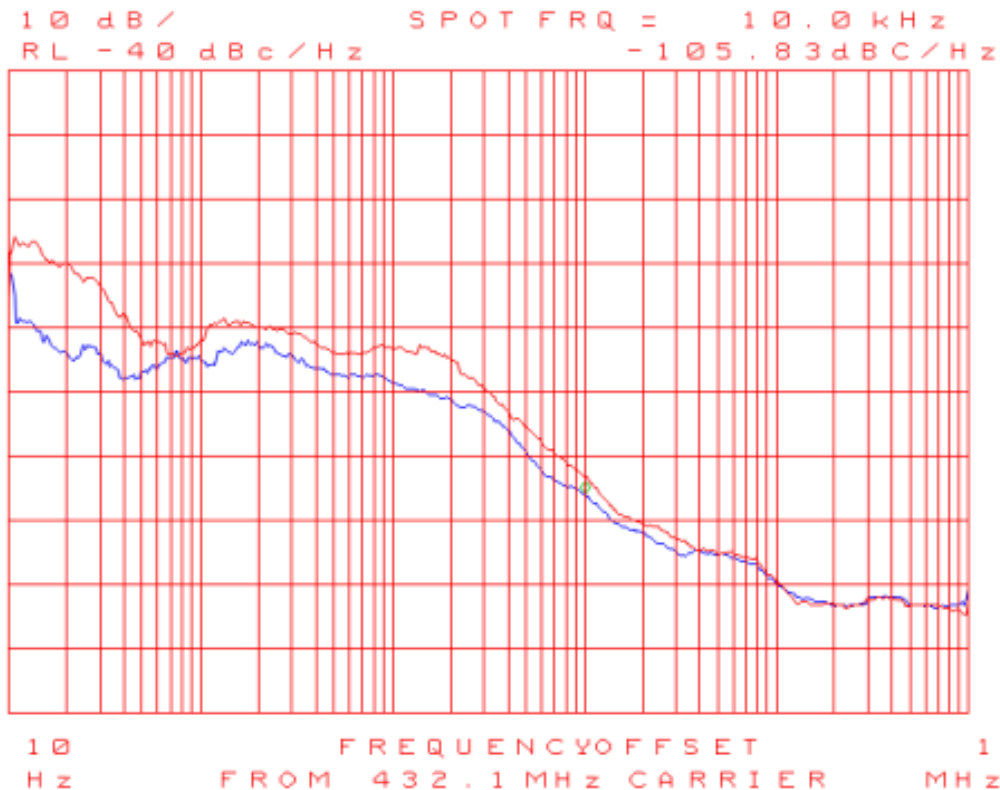
(-97)
(-99)
(-103)

Schaling naar 144 MHz
(geen meetresultaat)

Wat biedt de commercie (V)?

Yeasu FT-991 (zie: AB4OJ.COM)

Zender faseruis (blauw = 144 MHz):

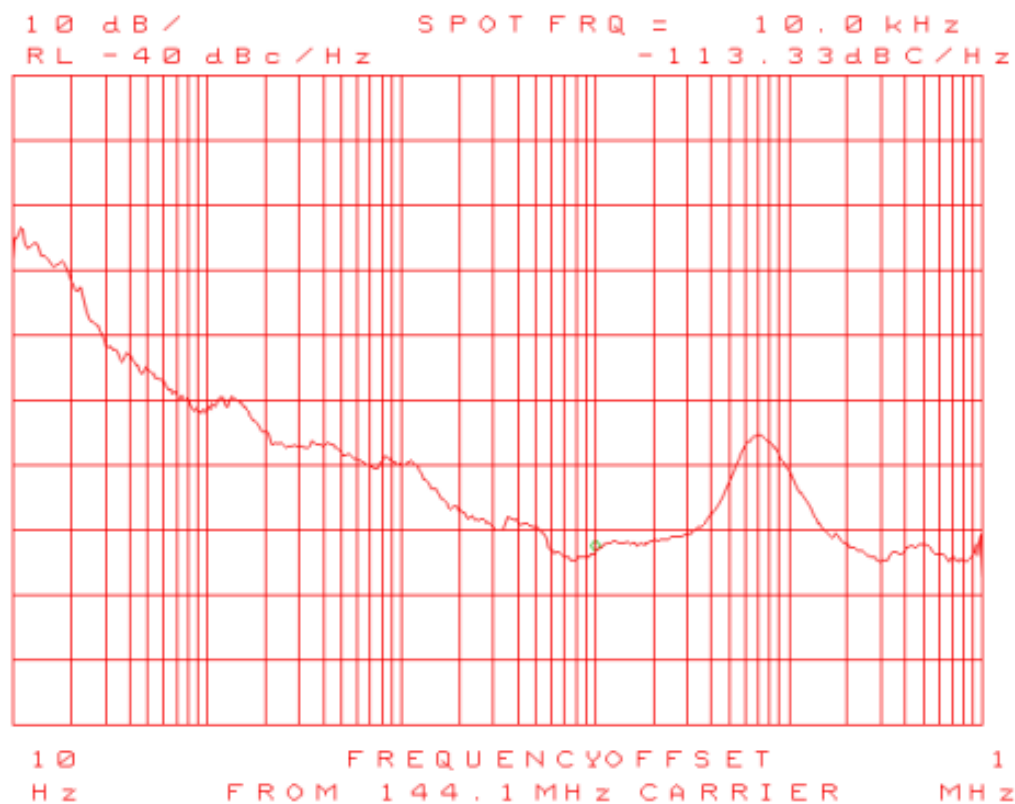


Delta F [kHz]	Faseruis [dBc/Hz]	Faseruis [3 kHz]
0.1	-85	
1	-88	
5	-100	-65
10	-106	-71
100	-120	-85

Wat biedt de commercie (VI)?

SunSDR2 Pro (zie: AB4OJ.COM)

Zender faseruis op 144 MHz :



Delta F [kHz]	Faseruis [dBc/Hz]	Faseruis [3 kHz]
0.1	-90	
1	-100	
5	-110	-75
10	-113	-78
100	-101	-66

Wat biedt de commercie (VII)?

IC202 (1980!)

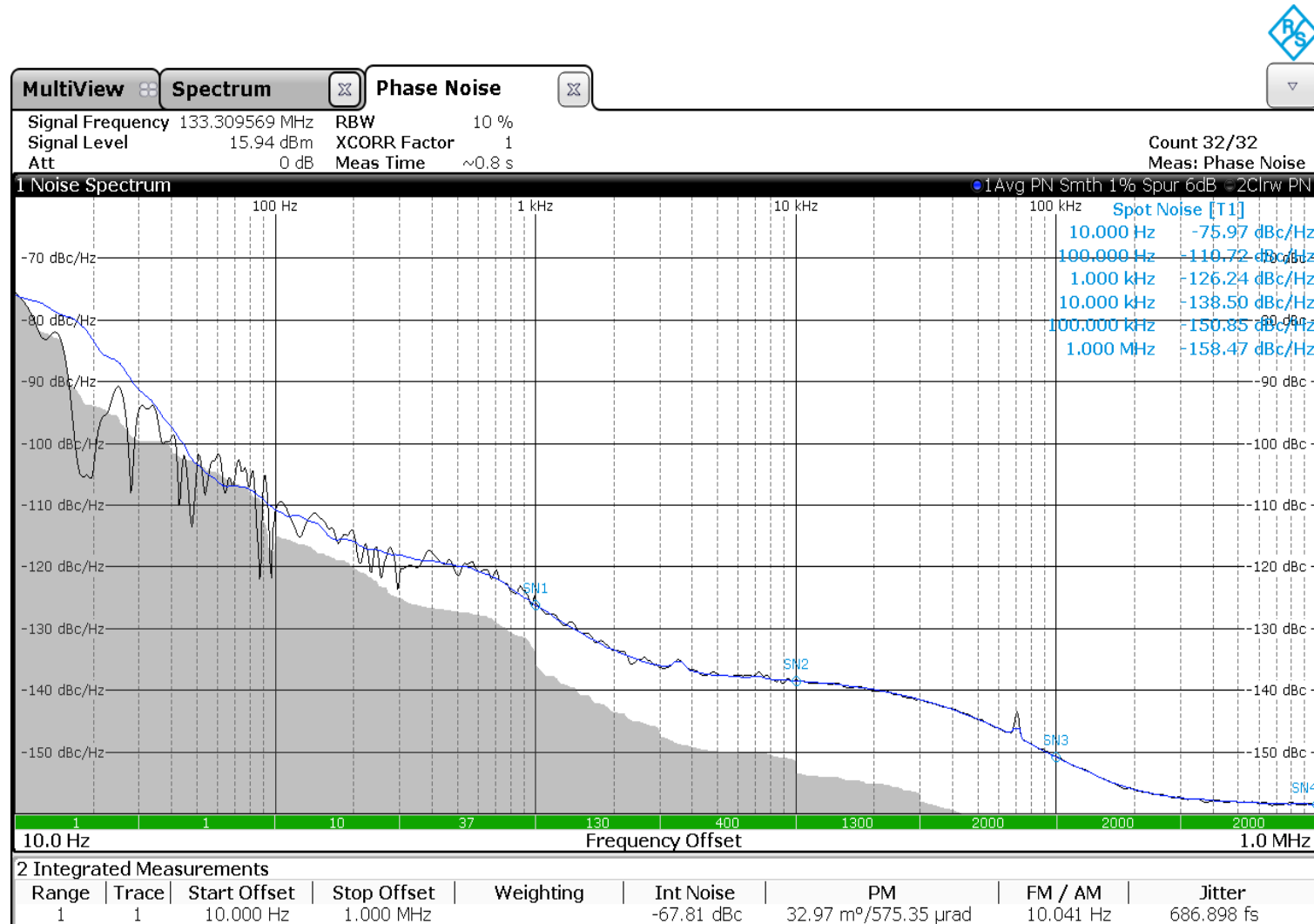
- Meetwaarden van SM5BSZ aan een gemodificeerde (verbeterde) versie:

(<https://www.sm5bsz.com/dynrange/gavelstad/gav.htm>)

Delta F [kHz]	Faseruis [dBc/Hz]	Faseruis [3 kHz]
1	?	
5	-135	-100
10	-139	-104
100	-144	-109

Faseruis van BIY Local Oscillator

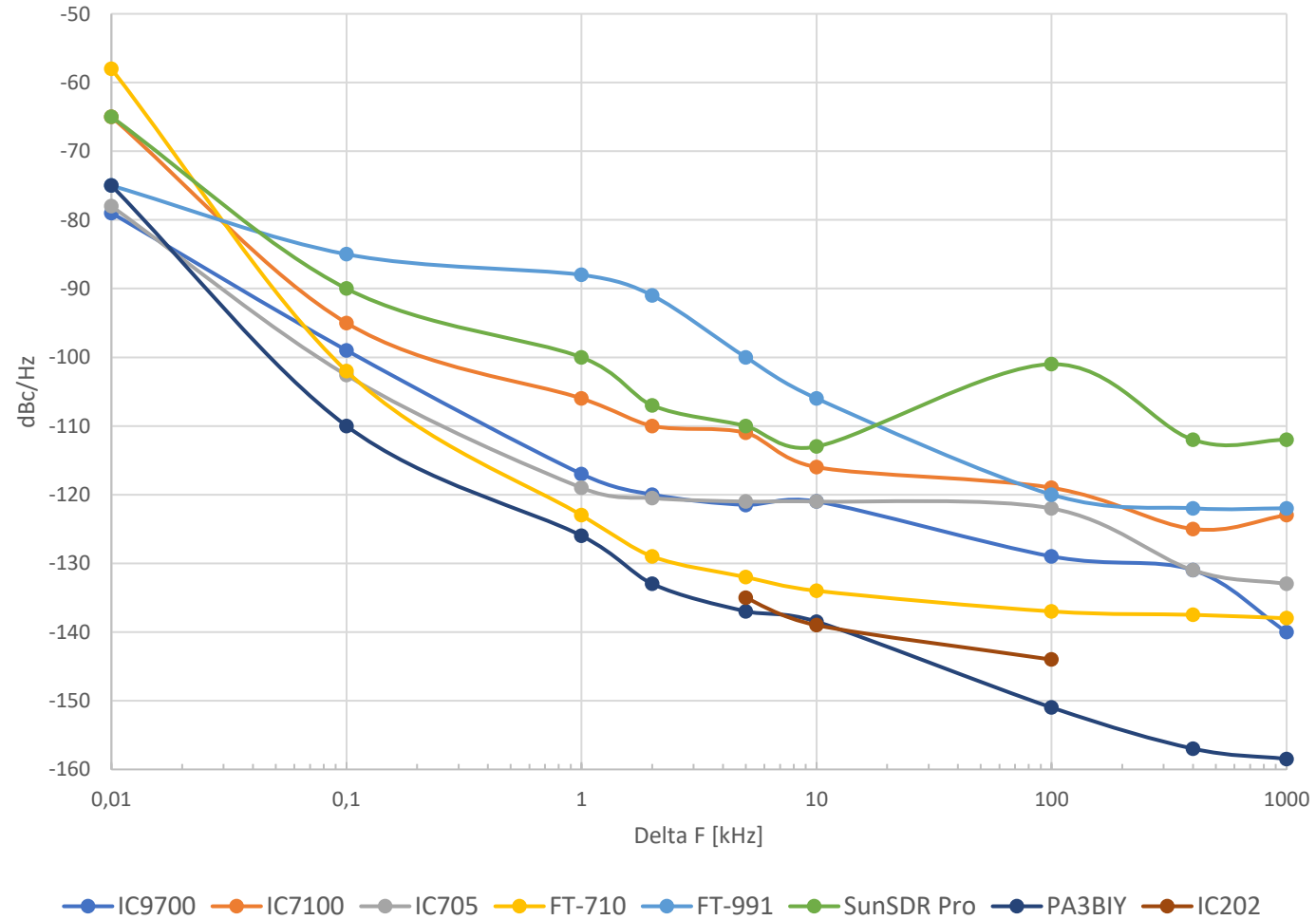
L.O. faseruis op 133 MHz



Delta F [kHz]	Faseruis [dBc/Hz]	Faseruis [3 kHz]
0.1	-110.7	
1	-126.2	
5	-138	-103
10	-138.5	-103.5
100	-150.9	-115.9

Faseruiswaarden commercieel vs. BIY

Vergelijking zender faseruis van commerciële producten versus BIY Synthesizer



Nu het ontwerp! Welke keuzes aan oscillatoren zijn er?

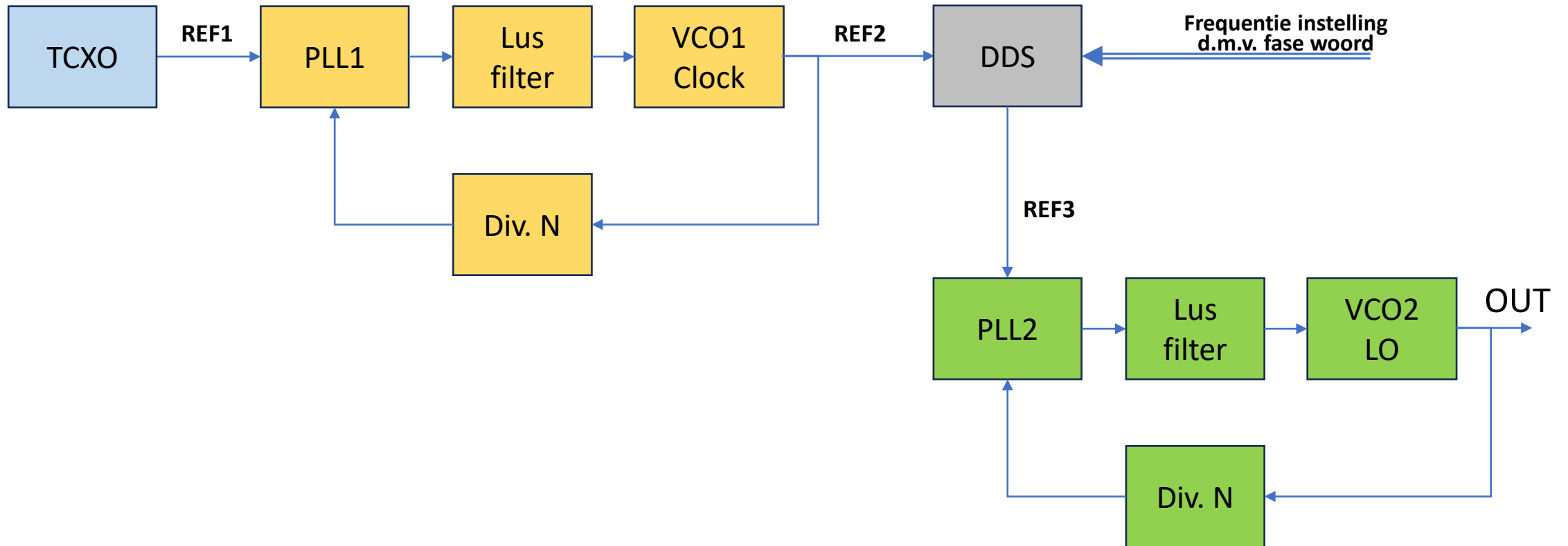
1. De kristaloscillator: Vaste frequentie of een klein afstembereik. Lage “close-in” faseruis en lage spurious waarden.
2. Meng oscillatoren: Lage “close-in” faseruis waarden, maar vaak matige spurious niveaus. VFO gestabiliseerd met “Huff and Puff”!
3. Phase Locked loops: Gebruikt om een referentiefrequentie te vermenigvuldigen of te filteren. De “close-in” faseruis is afhankelijk van zowel de referentiefrequentie als de VCO en lusfilters. Wordt gebruikt als “opschoner” en om een lage referentiefrequentie te vermenigvuldigen naar een hoge eindfrequentie. Het is met name moeilijk om de buiten de lusbandbreedte de faseruis laag te krijgen.
4. Direct Digital Synthesizer: De “close-in” faseruis heeft bijna dezelfde specs als de clock oscillator, en is meestal zeer laag. Spurious producten kunnen problematisch sterk zijn.
5. Hybride oplossingen van DDS en PLL: Zowel “close-in” faseruis als spurious producten zijn laag. Complexe circuits.
6. Of: Direct sampling SDR, waarbij een vaste clock het sampling proces aanstuurt. Dat is doorgaans een vaste clock op enkele tientallen tot honderden Mega Hertzen.

De hybride oplossing (I)

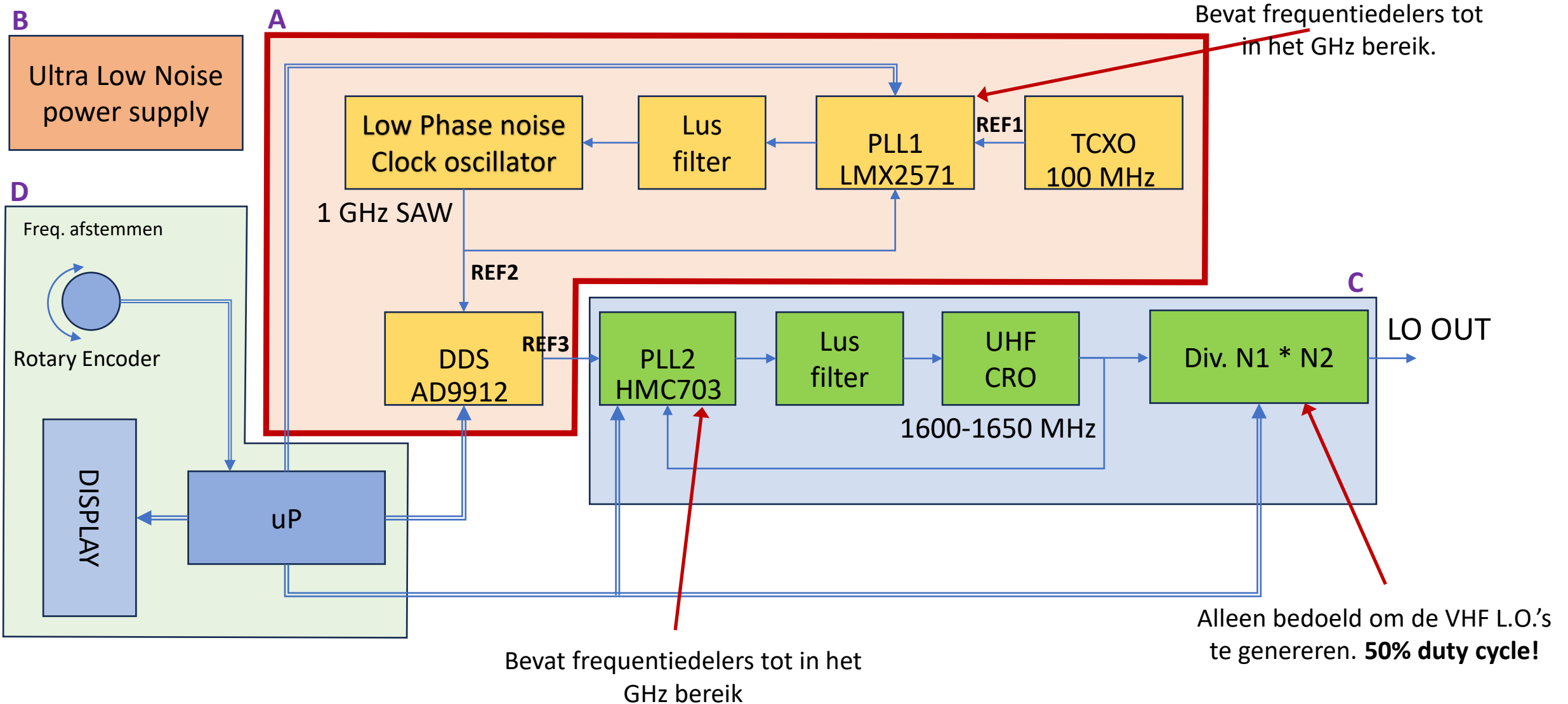
- Gebruik een DDS om een referentiesignaal met zeer lage faseruis te genereren binnen een bandbreedte van ≈ 20 kHz;
- Bijvoorbeeld AD9910, AD9912:
 - Weinig eigen toegevoegde faseruis
 - Laag in spurious, maar niet over het hele spectrum.
 - Let op verhouding F_{clock} en F_{out}
 - Filtering noodzakelijk om veraf spurious producten omlaag te krijgen
- Gebruik een UHF-VCO als bron voor de VHF signalen!

De hybride oplossing (II)

Principe blokschema



De hybride oplossing (III)



A. Generatie referentie signaal (I)

DDS-Clock oscillator

- Gebruik hoge clock frequentie;
 - Met zo laag mogelijke faseruis
 - Zo min mogelijk spurious producten
- Houdt de clock oscillator op frequentie met een stabiele referentie oscillator (TCXO, OCXO, enz).
 - Gebruik een PLL met lage toegevoegde ruis en smalle bandbreedte
 - Zorg ook hier dat deze referentie oscillator zelf een lage faseruis heeft. **Alles werkt namelijk door naar het uitgangssignaal!**

A. Generatie referentie signaal: DDS (II)

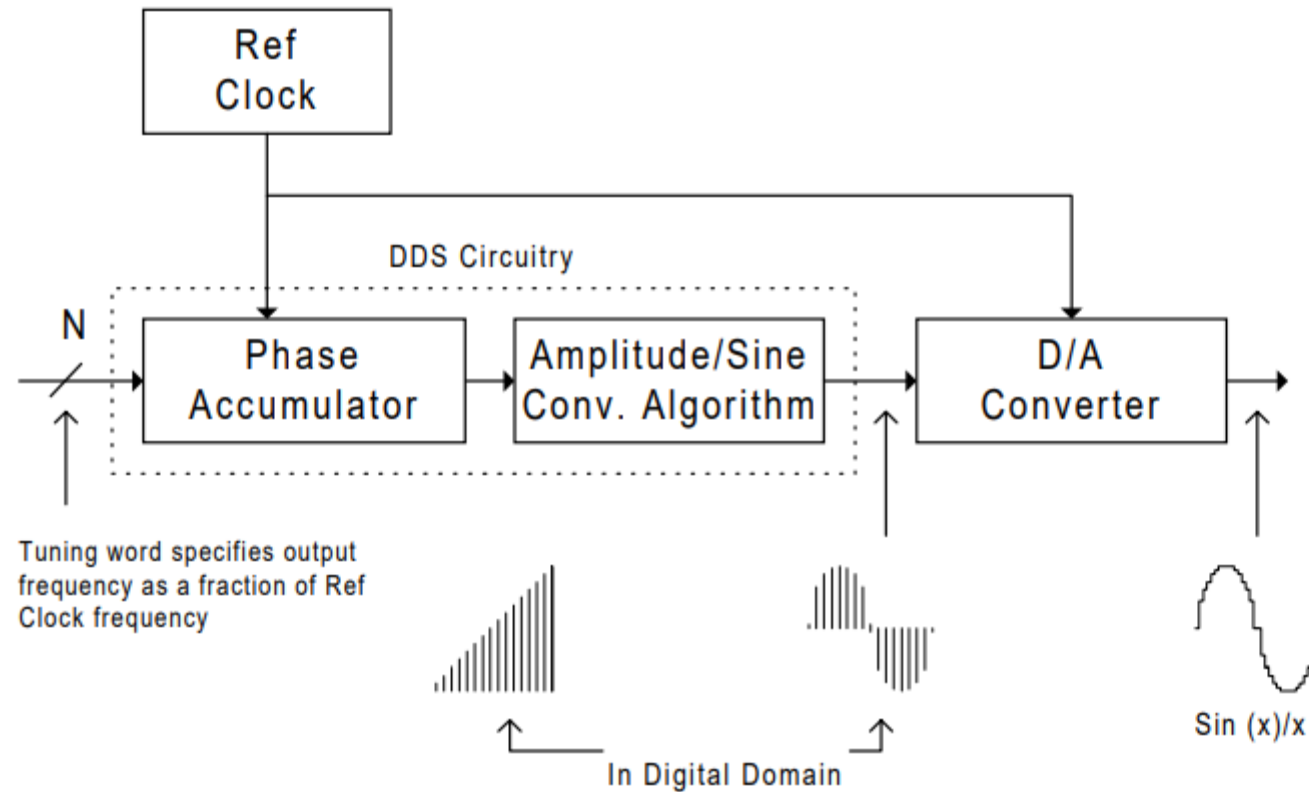


Figure 1-4. Signal flow through the DDS architecture

A. Generatie referentie signaal (III)

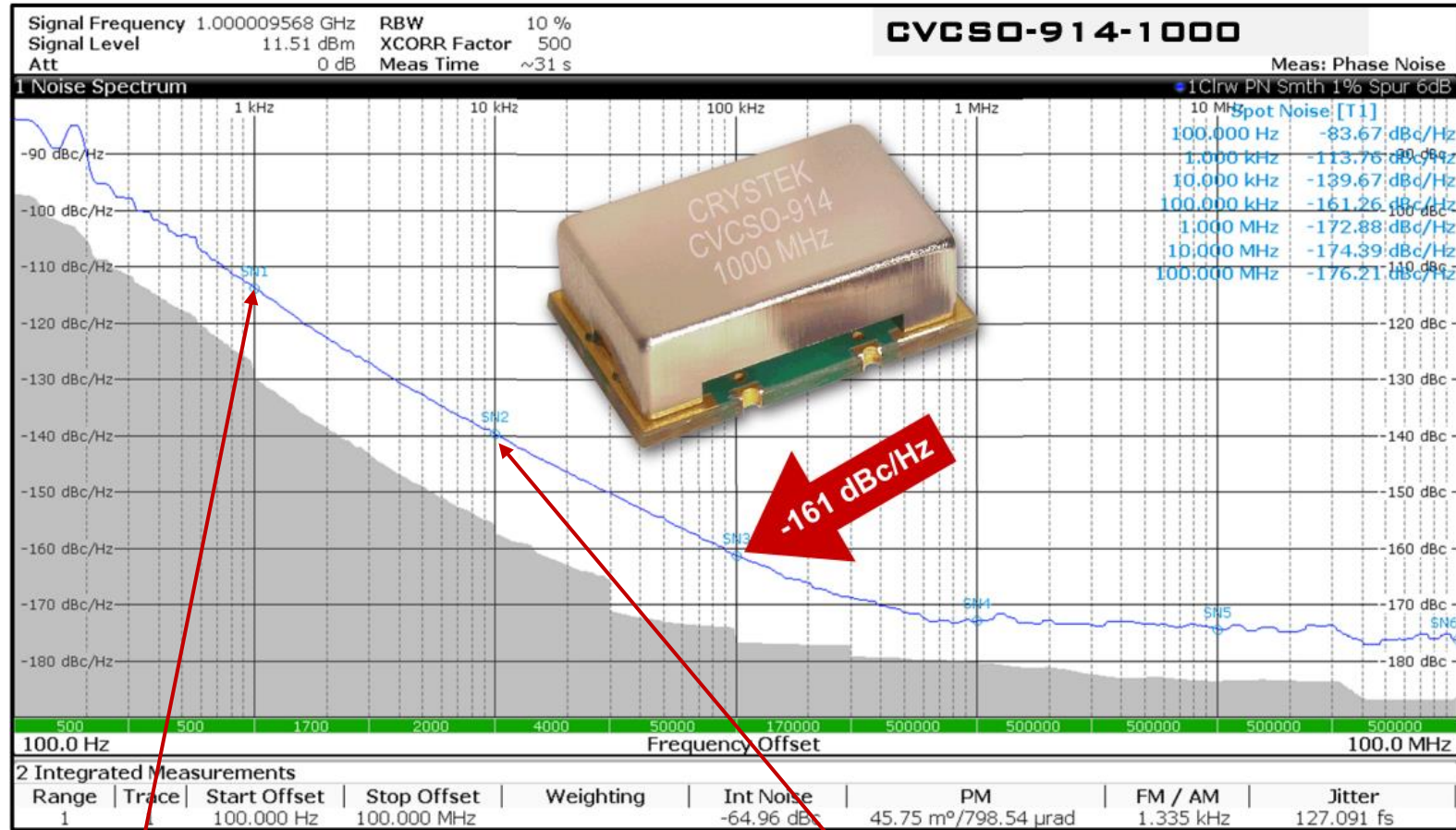
DDS-ref output: 30...40 MHz

- De DDS geeft de eigenschappen van de (1 GHz) SAW clock oscillator bijna onveranderd door aan de interne DAC.
- Ruis van de voeding komt als analoog referentiesignaal bij de DAC.
 - En het analoge referentiesignaal moet zo schoon mogelijk zijn!
- **De faseruis van het REF2 uitgangssignaal van de DDS, is bepalend voor de faseruis binnen de lusbandbreedte van PLL2 (10...20 kHz).**

A. Generatie referentie signaal (IV)

DDS-Clock:1 GHz

Voorbeeld van een SAW oscillator met zeer lage faseruis:



17.5 dB minder op 133 MHz (2 m L.O.), dus in theorie -131 dBc/Hz @ 1 kHz

17.5 dB minder op 133 MHz (2 m L.O.), dus in theorie -157 dBc/Hz @ 10 kHz

A. Generatie referentie signaal: DDS (V)

- Een voorbeeld van een high-end DDS is de AD9912 van analog devices
- PA3AKE heeft uitvoerig gemeten en een ernstig tekort vastgesteld:
 - Het DC referentiesignaal van de DAC wordt niet gefilterd, waardoor voedingsruis deel uitmaakt van het gegenereerde uitgangssignaal! (In principe AM-ruis, maar wordt bij clipping, zoals in een mixer, omgezet in Faseruis (AM to PM)).
 - Oplossing: **zorg voor een zeer schone voeding!!**
 - https://martein.home.xs4all.nl/pa3ake/hmode/dds_ad9910_pmnoise.html
- Pas LDO's toe met zeer lage ruis (ten tijde van artikel van PA3AKE nog niet beschikbaar): ADM7150/7154/7155

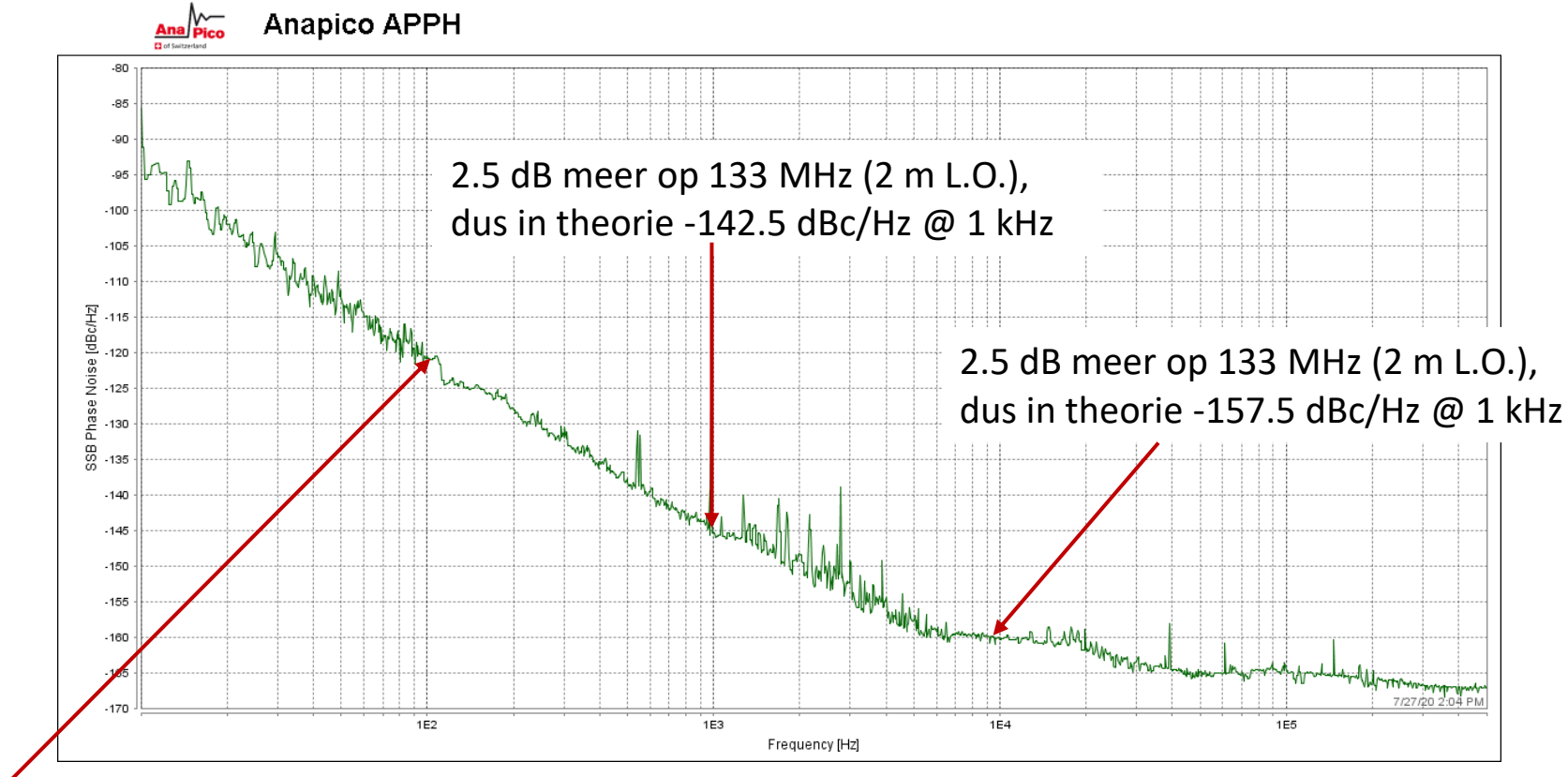
A. Generatie referentie signaal (VI)

DDS-Clock, TCXO 100 MHz referentie

- De SAW oscillator is echter niet heel stabiel: 200 ppm tussen -40 en +85 C. Ongeveer 3.3 ppm/°C in steilste deel van de temperatuurcurve.
 - Dus stabiliseren met een TCXO (of OCXO, GPS?)
- Stabiliseren vereist wederom een PLL met een schone faseruis referentiebron.
 - NEL1406, NEL Company (100 MHz)
 - T602-040.0M, Conner Winfield (40 MHz)

A. Generatie referentie signaal (VII)

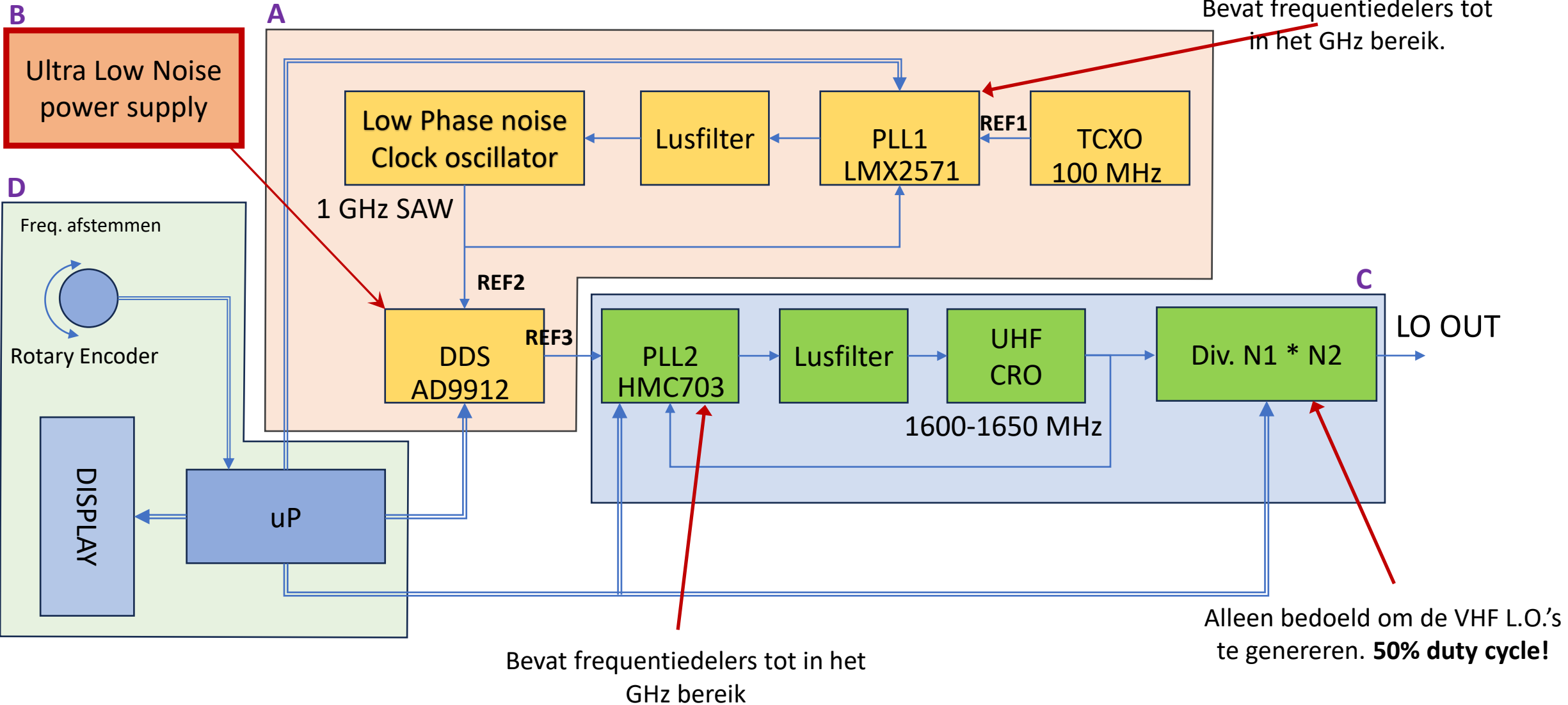
Faseruis van de 100 MHz referentie



2.5 dB meer op 133 MHz (2 m L.O.),
dus in theorie -117.5 dBc/Hz @ 100 Hz

Faseruis van de 100 MHz TCXO (NEL 1406A)
0.28 ppm frequentiestabiliteit

De hybride oplossing



B. Relatie voedingsspanning en fase- en amplituderuis van de AD9912 serie (I)

- PA3AKE heeft uitvoerig gemeten en ernstige problemen met de gevoeligheid van de DDS DAC voor voedingsruis vastgesteld:

➤ https://martein.home.xs4all.nl/pa3ake/hmode/dds_ad9910_pmnoise.html

B. Relatie voedingsspanning en fase- en amplituderuis van de AD9912 serie (II)

Vergelijking tussen ruisspectra van LDO's

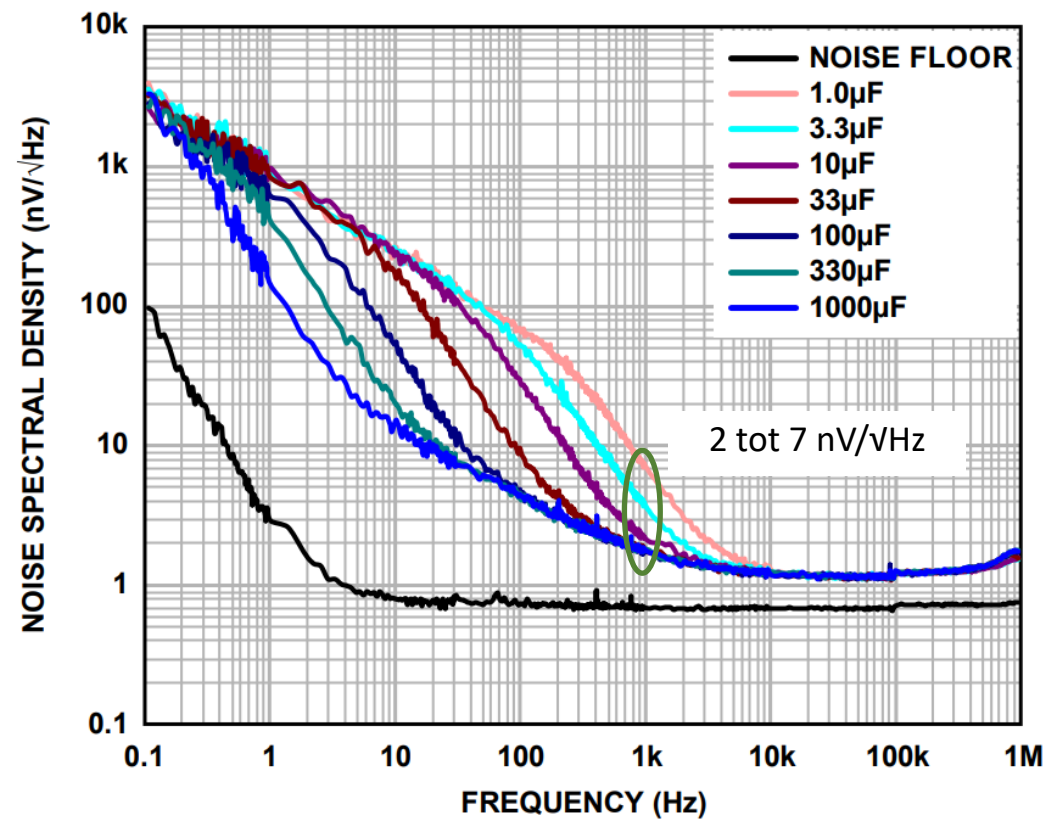
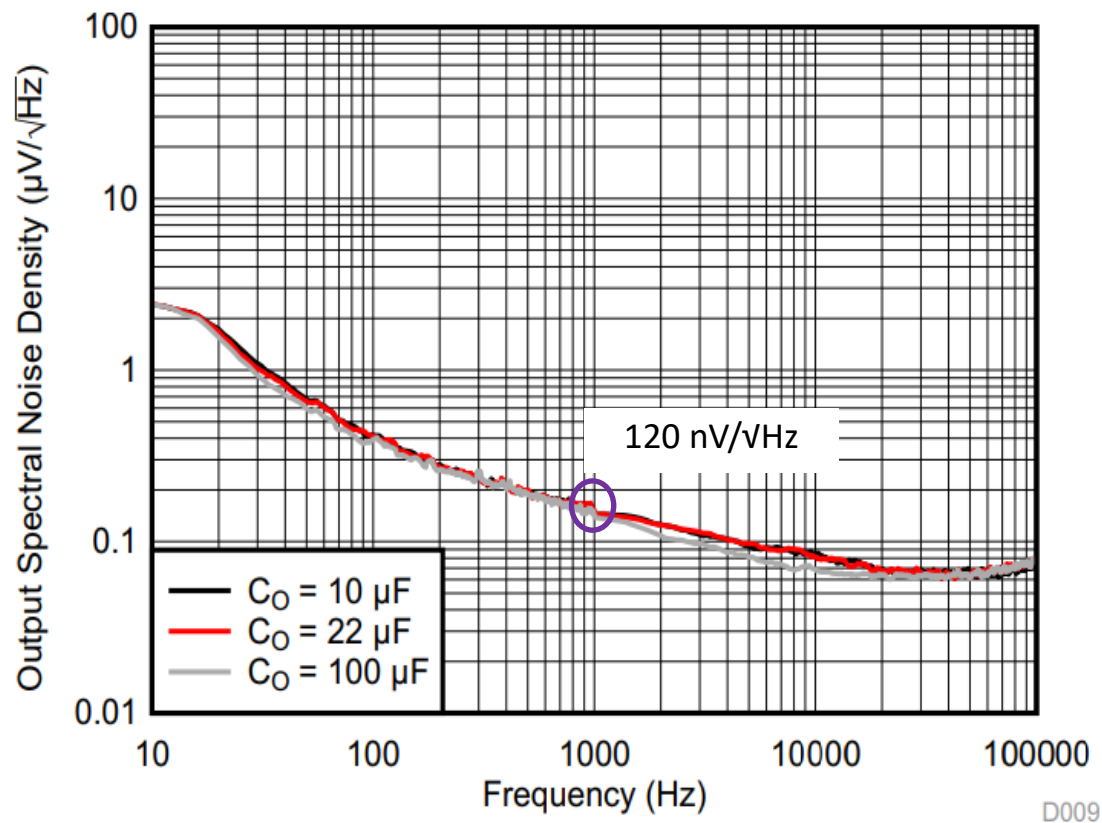


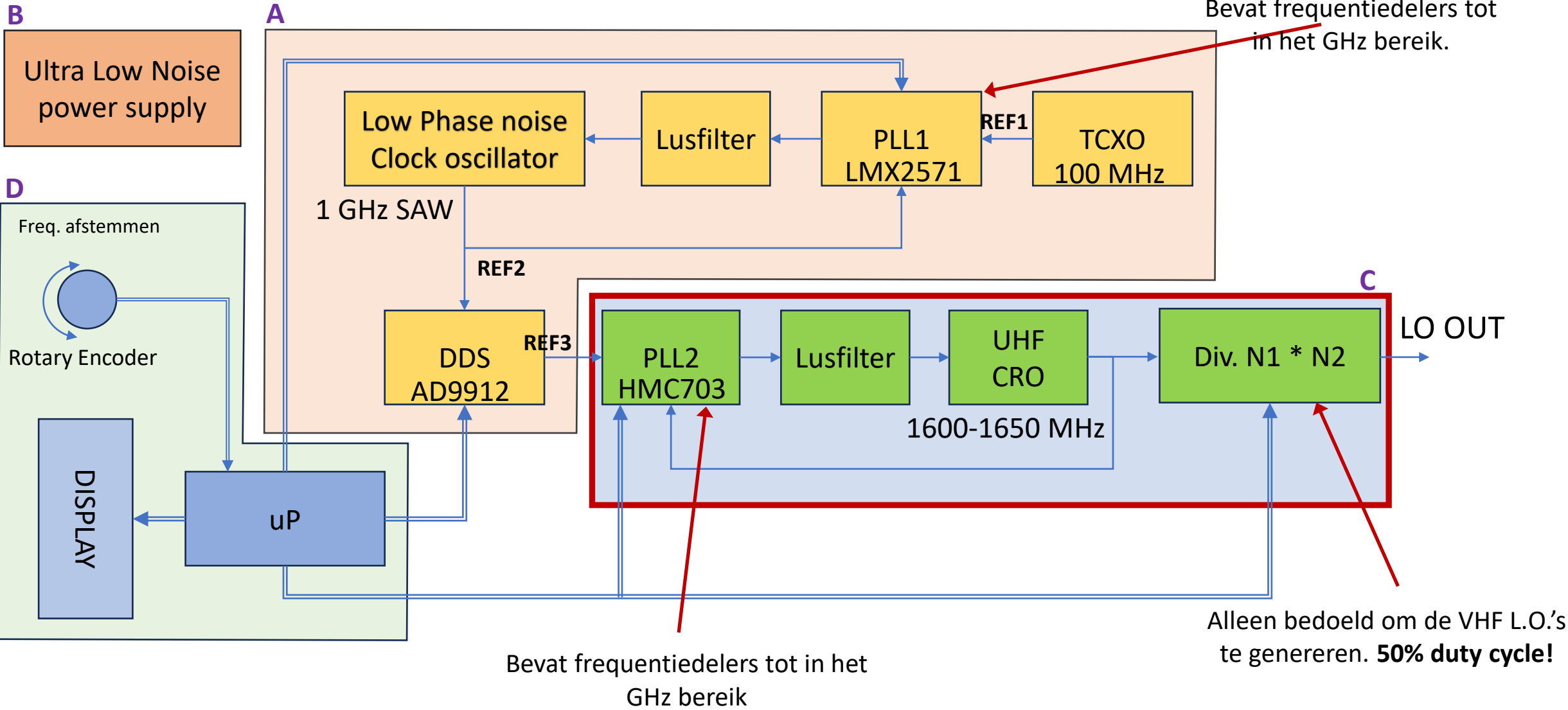
Figure 2. Noise Spectral Density for Different Values of C_{BYP}

TPS7A8101



ADM7154

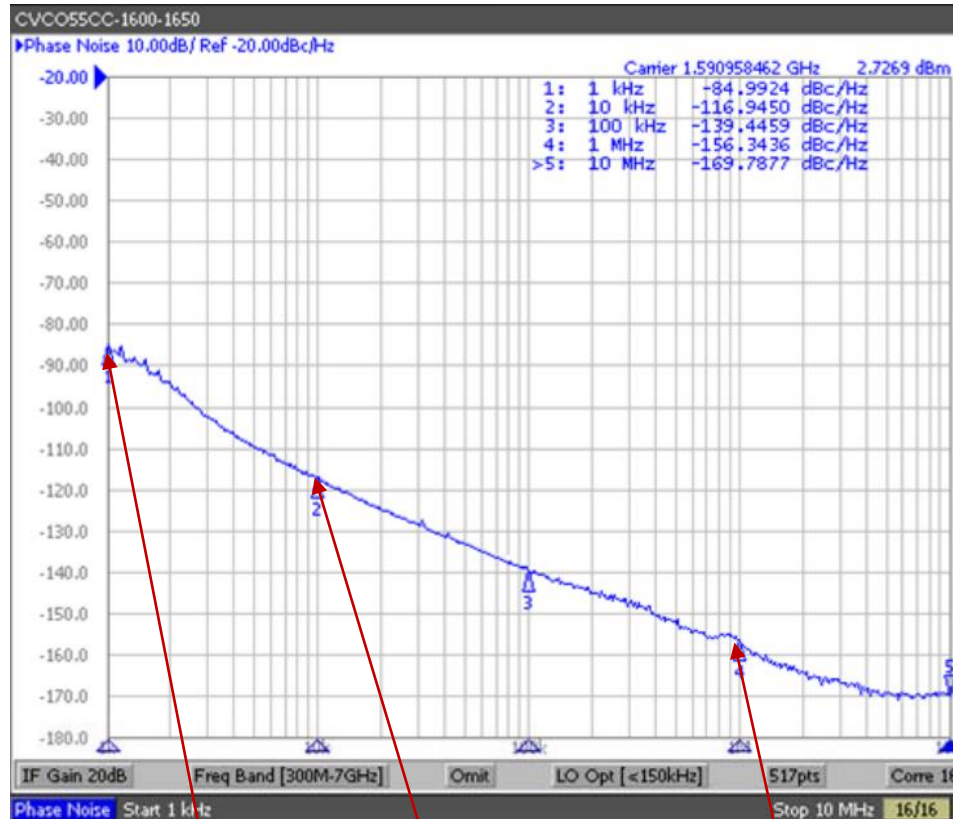
De hybride oplossing



C. PLL2 en VCO/CRO (I)

- Een belangrijke aspect van de synthesizer vormt de *Voltage Controlled Oscillator*, hier uitgevoerd in de vorm van een *Coaxial Resonator Oscillator* (CRO). De VCO (CRO) bepaald de faseruis buiten de lusbandbreedte van PLL2.
- De faseruis van CRO's is zeer laag, en relatief lager bij hoge frequenties.
 - CVCO55CCQ-430-480 (tuning range: 421-500 MHz)
 - CVCO55CCQ-1600-1650 (tuning range: 1575 – 1654 MHz)

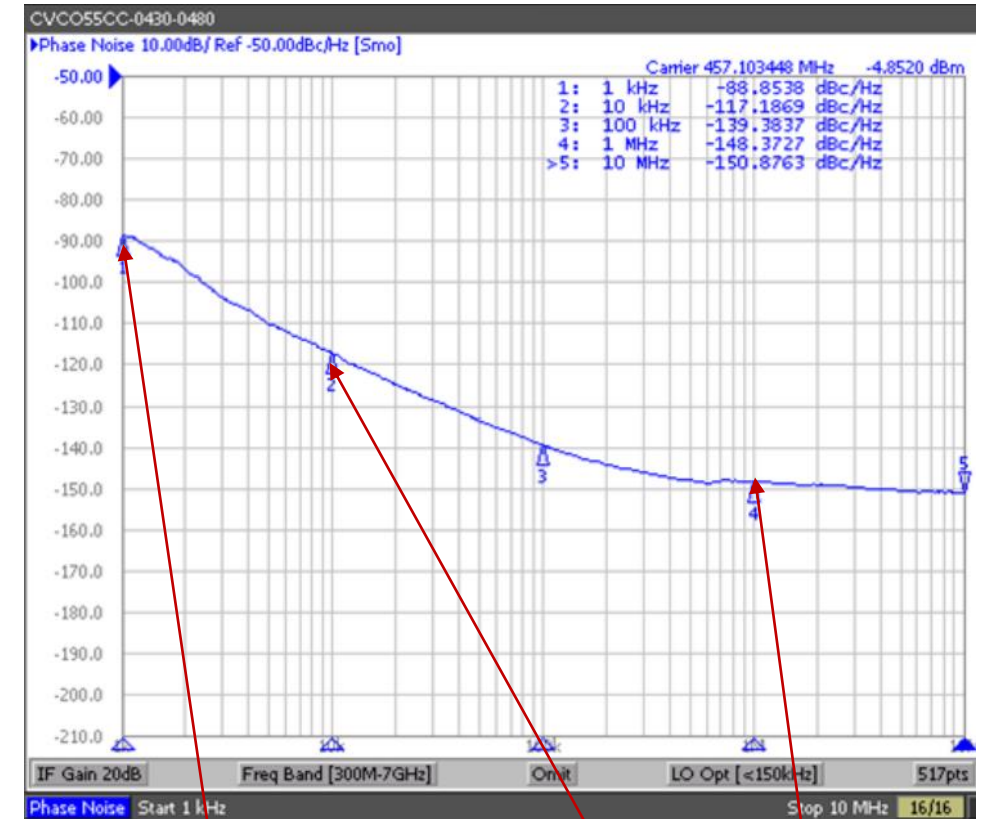
C. Faseruis van 1600-1650 en 430-480 MHz CRO's



21.6 dB minder op 133 MHz (2 m L.O.), dus in theorie -138.6 dBc/Hz @ 10 kHz

21.6 dB minder op 133 MHz (2 m L.O.), dus in theorie -106.6 dBc/Hz @ 1 kHz

21.6 dB minder op 133 MHz (2 m L.O.), dus in theorie -177 dBc/Hz @ 1 MHz



10.8 dB minder op 133 MHz (2 m L.O.), dus in theorie -128.0 dBc/Hz @ 10 kHz

10.8 dB minder op 133 MHz (2 m L.O.), dus in theorie -99.6 dBc/Hz @ 1 kHz

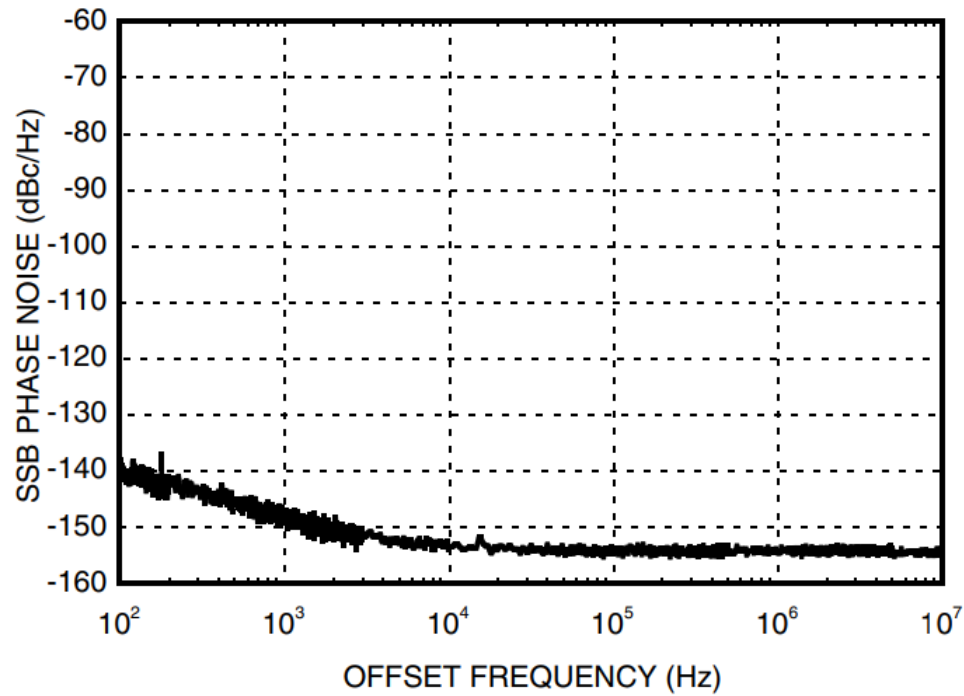
10.8 dB minder op 133 MHz (2 m L.O.), dus in theorie -159 dBc/Hz @ 1 MHz

C. Delen naar gewenste uitgangsfrequentie

- De hoge frequentie van de CRO moet worden gedeeld naar de gewenste LO frequentie op VHF: 40, 80 en 133 MHz (respectievelijk voor de 6, 4 en 2 meter band).
- Ook frequentiedelers voegen faseruis toe, dit is echter zeer weinig bij GaAs technologie.
- Ruisarme programmeerbare delers die gebaseerd zijn op GaAs technologie:
 - HMC394 ($\div 2 - 32$)
 - HMC794 ($\div 1 - 4$)

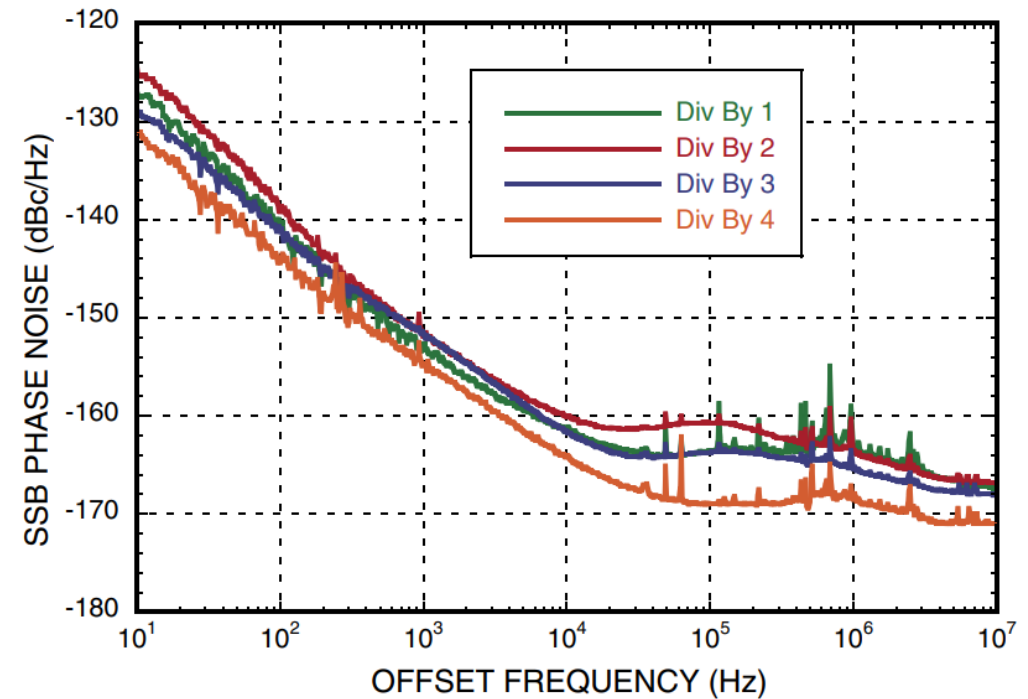
C. Faseruis van de UHF frequentiedelers

**SSB Phase Noise Performance,
 $F_{in} = 1 \text{ GHz}$, $N = 4$, $T = 25 \text{ }^\circ\text{C}$**



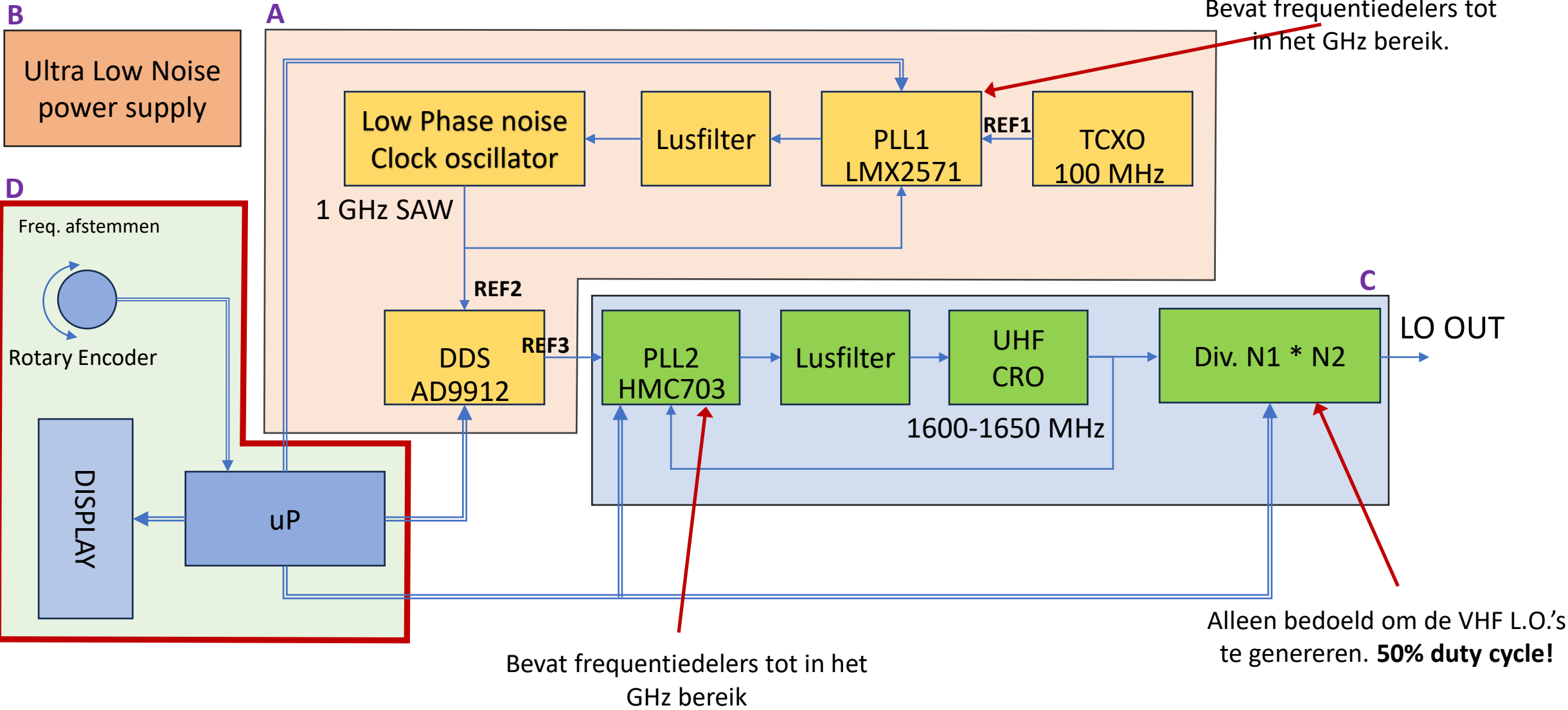
HMC394

**Residual Phase Noise
Divide by 1, 2, 3 & 4, (Differential) [3]**



HMC794

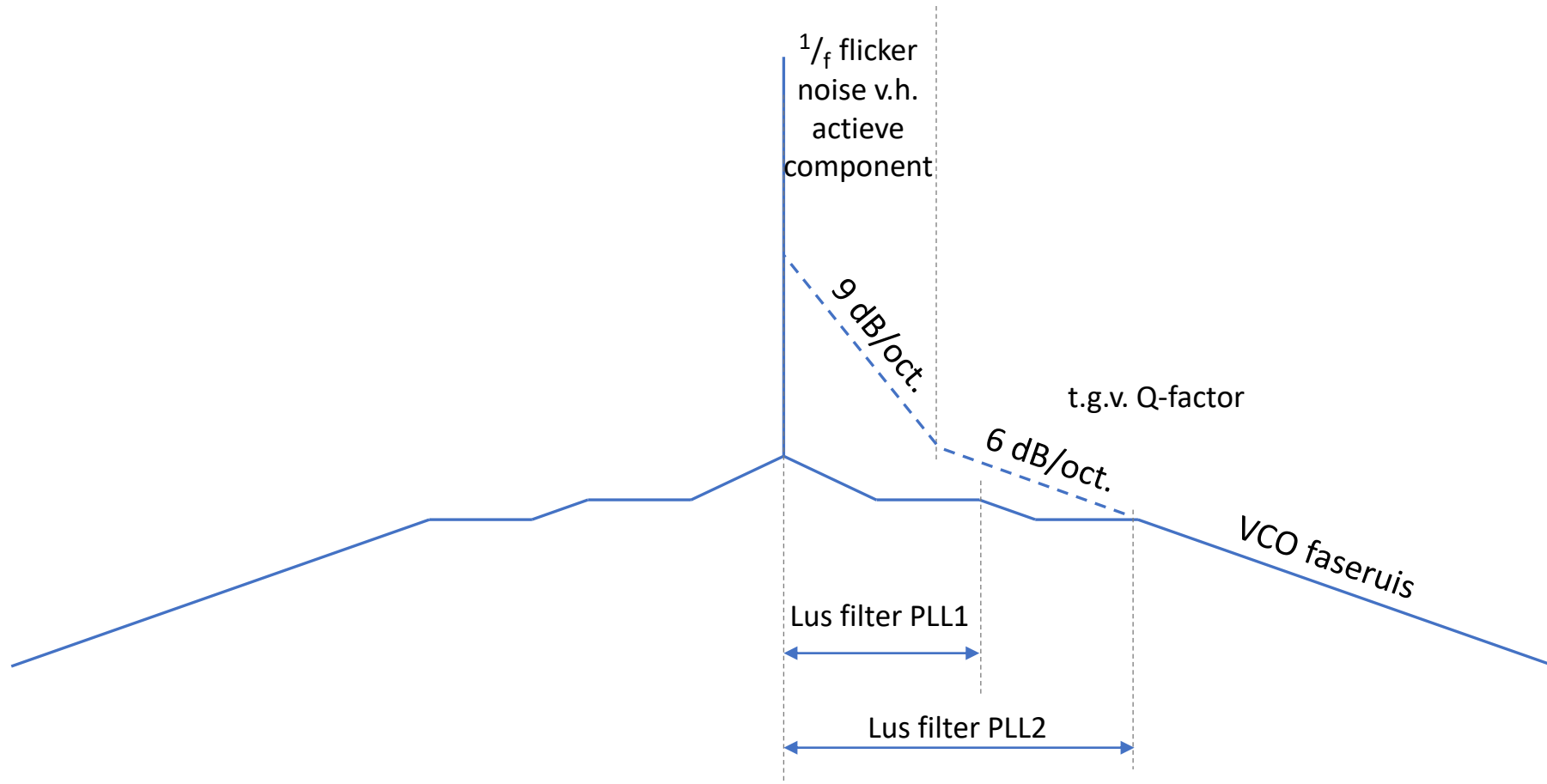
De hybride oplossing



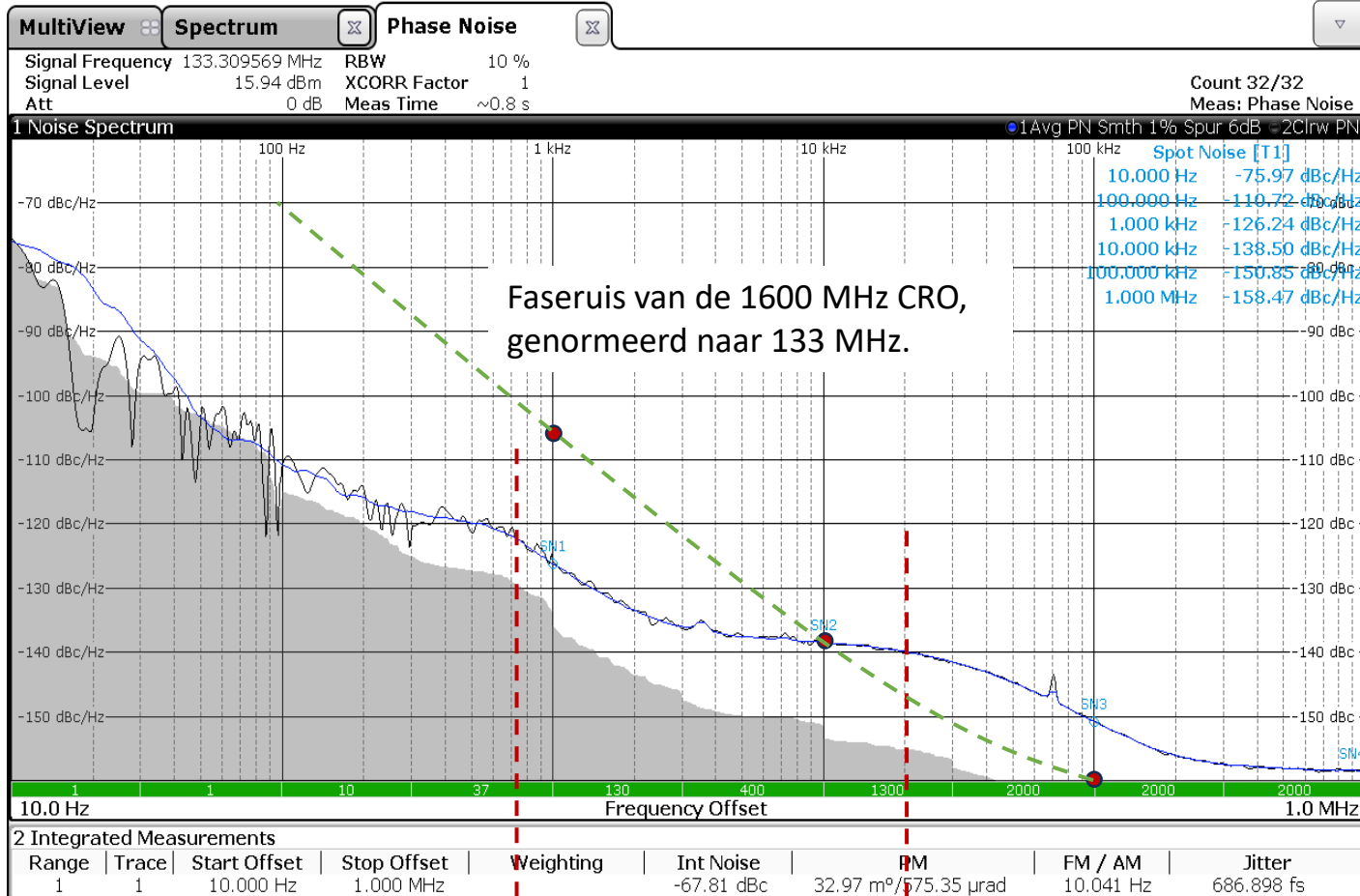
Analyse

- Effecten van de 2 PLL's (lus bandbreedtes)
- Faseruis voor 6, 4 en 2 meter (60, 80 en 133 MHz local oscillators)
- Hoe staat het met de spurious producten?

Analyse faseruis(bronnen) van de synthesizer



Faseruis van BIY Local Oscillator (133 MHz)



**Delta F
[kHz]**

**Faseruis
[dBc/Hz]**

0.1

-110

1

-126

10

-138.5

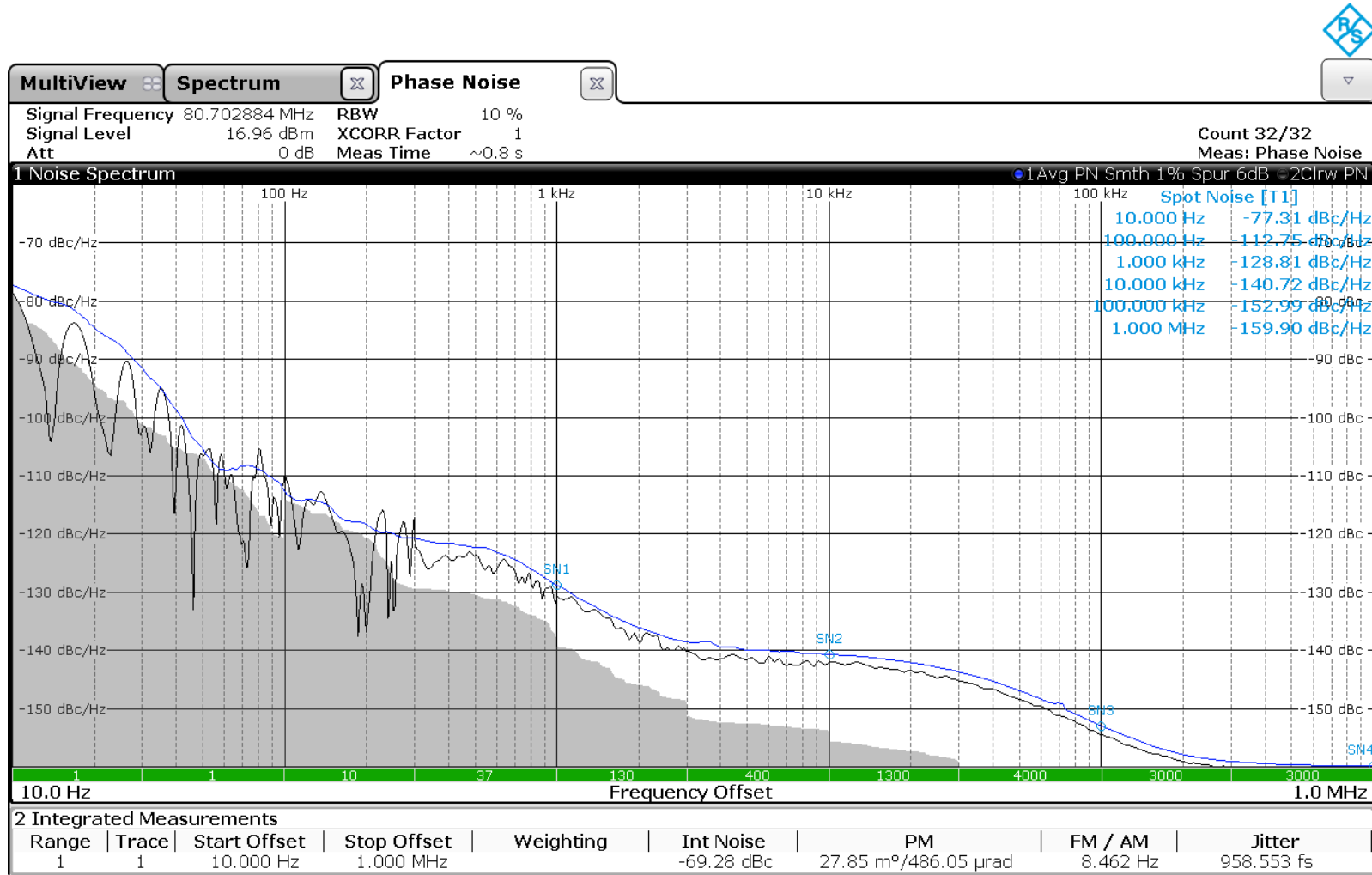
100

-151

Lusfilter PLL1

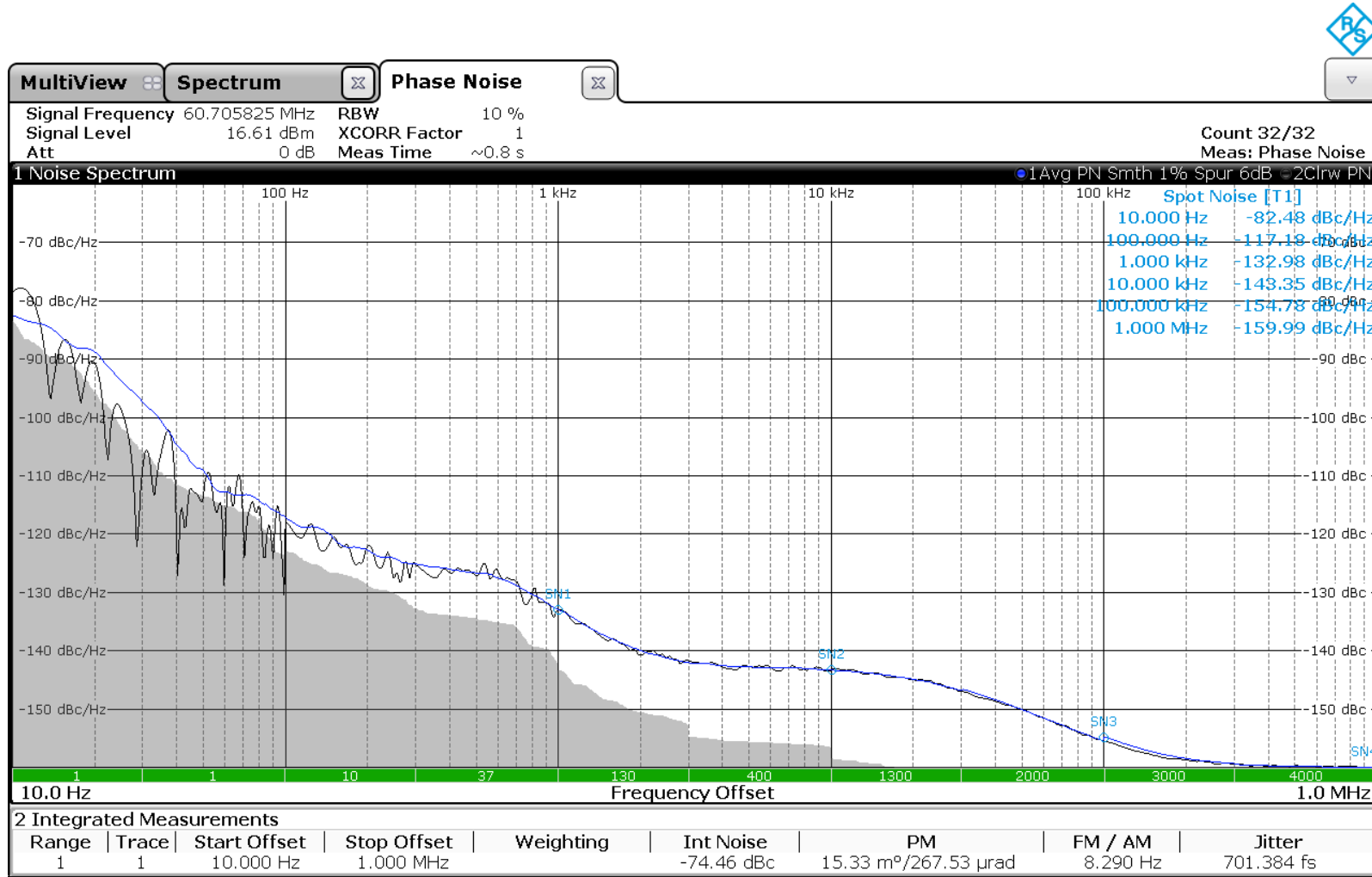
Lusfilter PLL2

Faseruis spectrum op 80 MHz (4 meter)

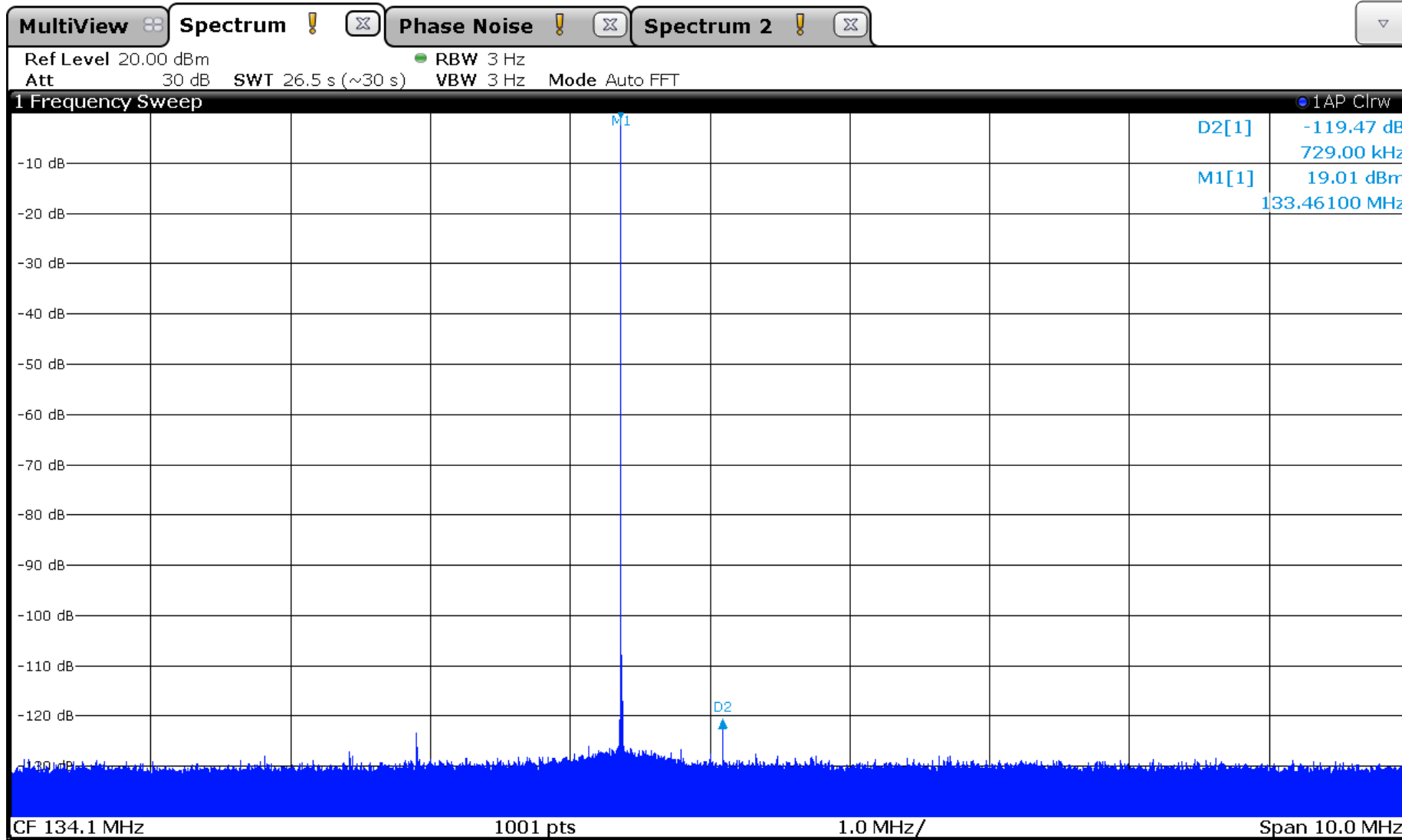


Delta F [kHz]	Faseruis [dBc/Hz]
0.1	-112.8
1	-128.8
10	-140.7
100	-153.0

Faseruis spectrum op 60 MHz



Spurious niveaus van de 2 m L.O.



Bedankt voor jullie aandacht!

Vragen?