



Ervaring met de tinyGTC en de tinyPFA voor metingen aan precisieoscillatoren

ERNST SCHRAMA PA1EJO

21-JUN-2026

Waar gaan we het over hebben

Precisieoscillatoren is een leuk scrabble woord zei iemand in de groeps app van de club, op het werk noemen we het USOs.

Wat kunnen we als amateurs over de kwaliteit van USOs zeggen?

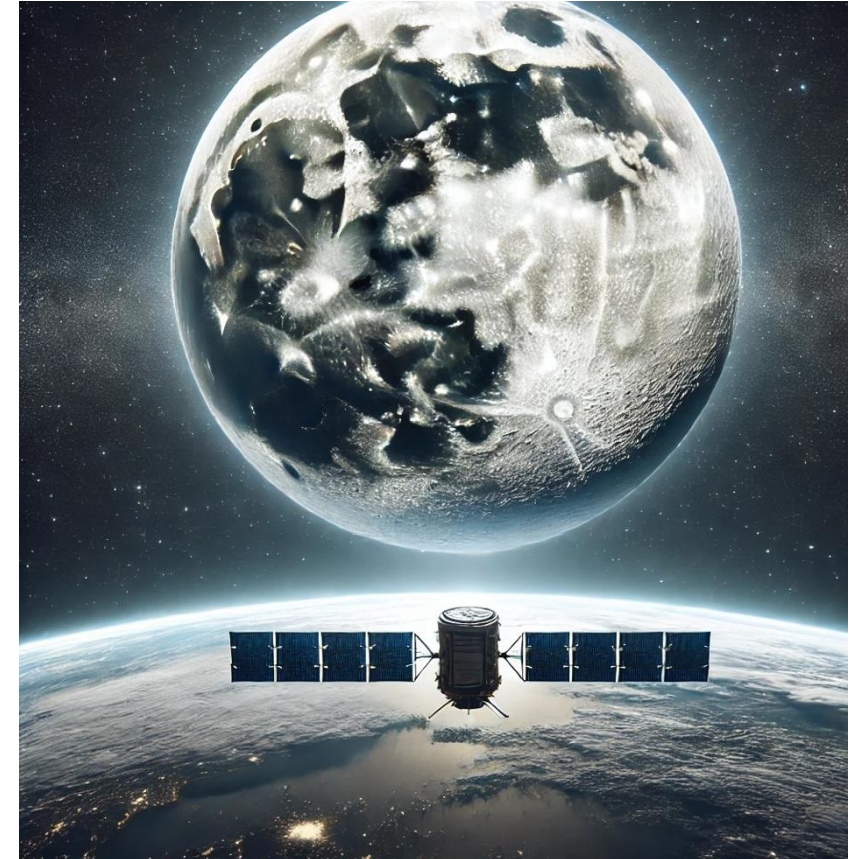
Na afloop van het vorige RF seminar duwde Erik Kaashoek mij een apparaat in ontwikkeling in handen: de tinyGTC

Wat maakt iets een USO?

OXFORD REFERENCE

A device carried on some spacecraft to provide a more stable downlink frequency. In normal conditions, a spacecraft receives a stable uplink frequency and then uses it to generate a stable downlink frequency. The USO is used when an uplink is impossible, as when the spacecraft passes behind the Moon or a planet. Low-mass oscillators are also used for this purpose, but they are affected by temperature changes and are not highly stable. The USO, however, is kept in a temperature-controlled unit.

Geraadpleegd op 28-Feb-2025

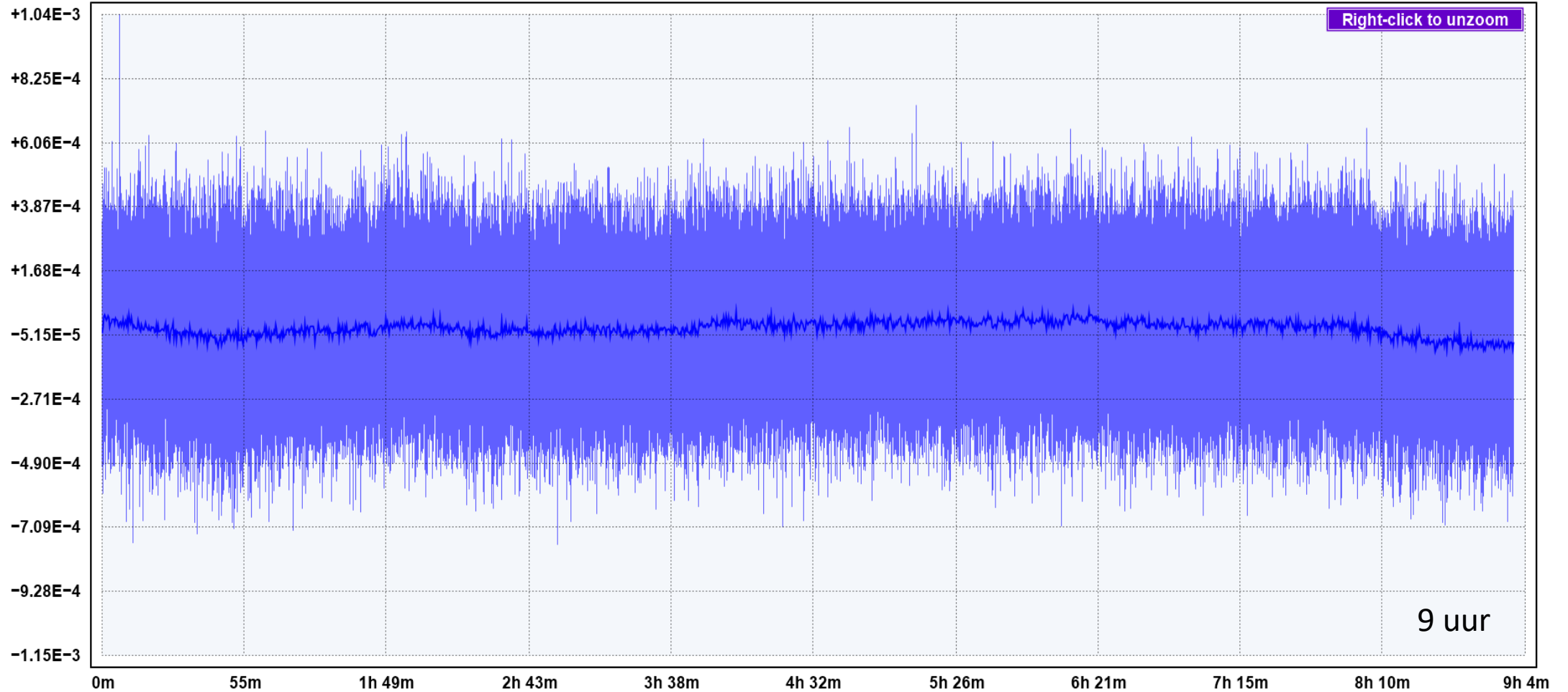


(Indruk van ChatGPT)

Hoe goed is mijn beste 10 MHz oscillator?

+0.001 Hz

Frequency Difference (Linear residual Hz, zero-based)
Averaging window: Per-pixel



-0.001 Hz

Trace	Notes	Input Freq	Sample Interval	Freq at 0m	Duration	Elapsed	Acquired	Trace Window
Oscillograph 10 MHz Rb PFA Phase	PFA analyzer	10 MHz	0.100 s		9h	9h	324000 pts	324000 pts



Oven gecontroleerde kwarts oscillatoren

Om het goed te doen moet de oscillator in een oven (bv 80C)

Zo weinig mogelijk temperatuursinvloeden van buitenaf.

Dubbelwandig thermostaat etc

SC-cut kristal voor lage fase ruis
(SC-cut = stress compensated cut)

2.10^{-12} Allan deviatie (1sec)

Veroudering : minder dan 2.10^{-10} /dag

Werkbereik : 15-24 Volt DC

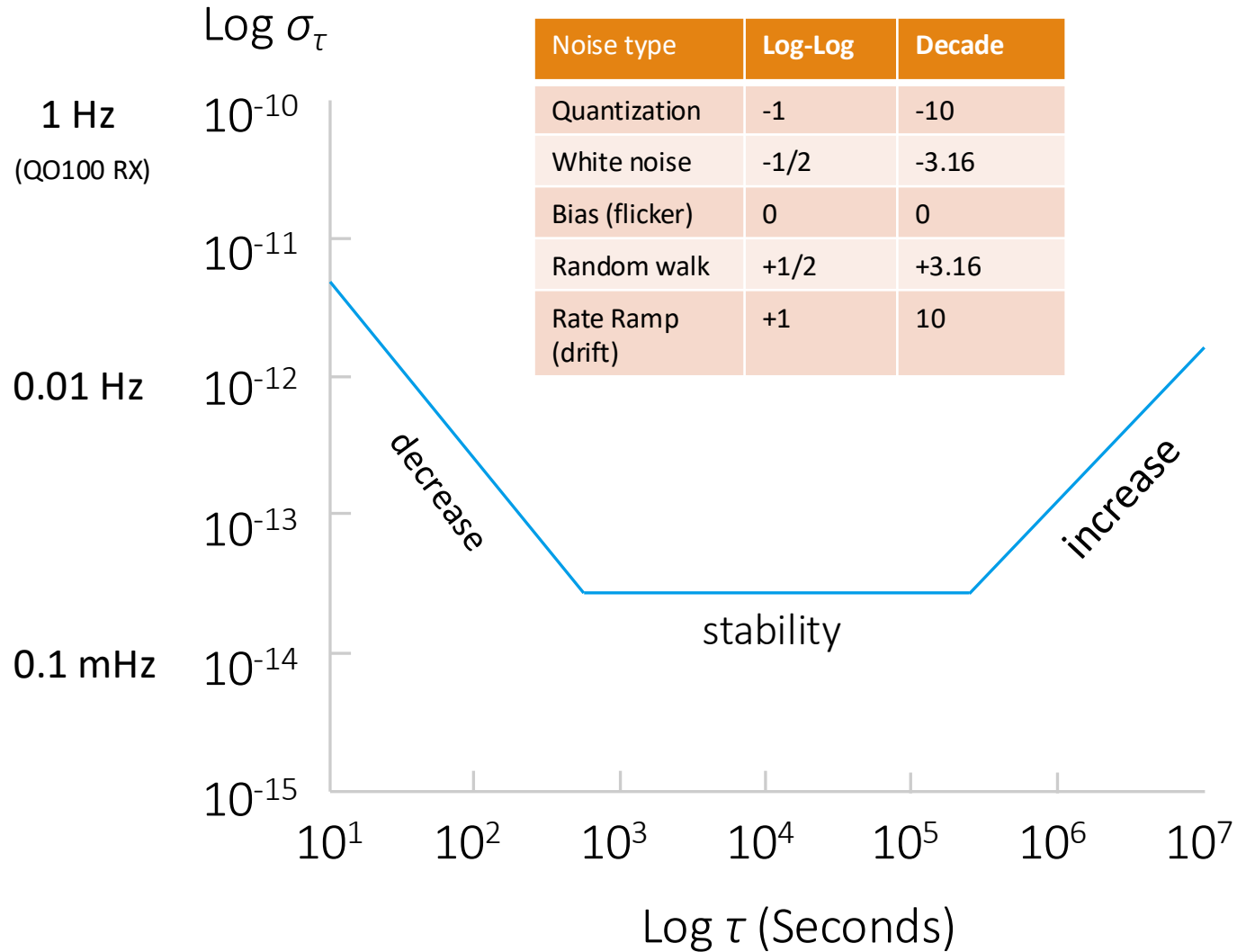
Elektronische frequentie controle



Klok oscillator fouten variantie

- De klok telt (integreert) oscillaties en zo krijg je tijd en de foutmaat (Δt) kunnen we pas na bv een week bepalen, bv 1 seconde verschil ten opzichte van een extern tijdsein.
- De integratie tijd T zit dus in het probleem, de foutmaat is daarom $\Delta t/T = \Delta f/f$ en dit is wat je waarneemt ($1\text{sec/wk} = 1.65 \cdot 10^{-6}$) we halen de 10^{-9} of nog kleiner bij lange na niet.
- Ik heb een externe referentie nodig om dit te kunnen bepalen, vroeger wat het Hilversum 3, tegenwoordig is er veel meer mogelijk
- De onzekerheid van $\Delta f/f$ wordt nu aangegeven met de Allan deviatie σ_τ die afhangt van τ (Griekse letter tau)
- De wiskunde van Allan deviaties vermijd ik, alleen resultaten

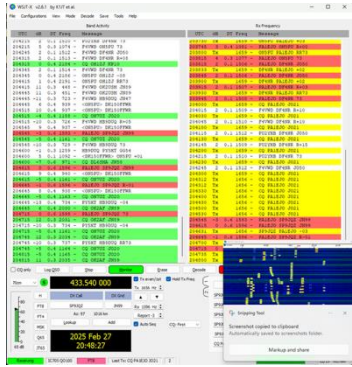
Allan deviations (geen varianties)



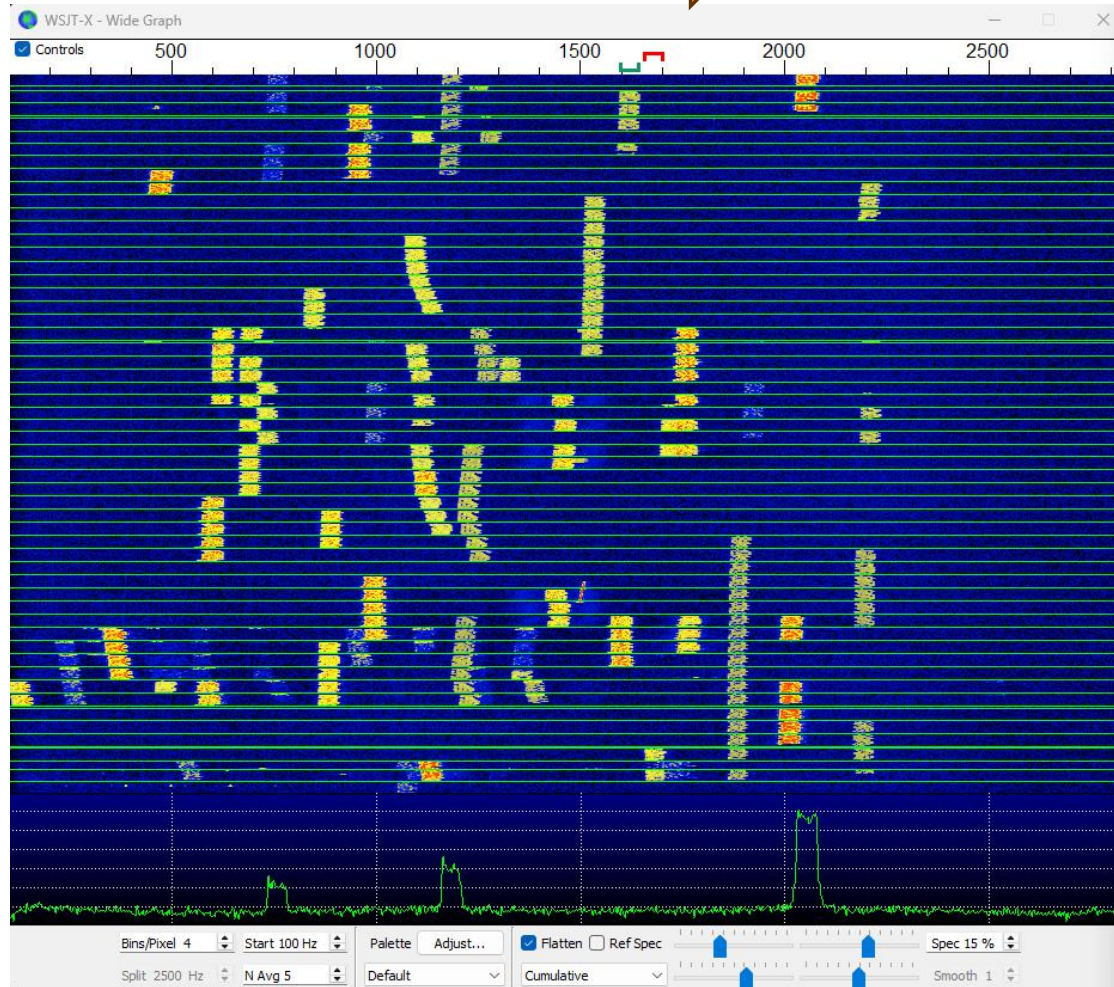
Oscillator	Noise flicker floor
Unconditioned quartz	10^{-7}
Oven special cut quartz	10^{-10}
Rubidium cell	10^{-12}
Cesium reference	10^{-14}
Hydrogen maser	10^{-14}
CS fountain	10^{-15}
Optical lattice	10^{-17}

WSJT-x demodulatie window op QO100

BW = 2700 Hz



15 min



RX : 10 MHz oscilloquartz

TX : 10 MHz Bodnar

Overduidelijk zichtbaar dat velen met bv een TCXO werken

$$0.1 \text{ Hz} = 10^{-11}$$

$$1 \text{ Hz} = 10^{-10}$$

$$10 \text{ Hz} = 10^{-9}$$

$$100 \text{ Hz} = 10^{-8}$$

Wat we nodig hebben is wat een narrow band FSK demodulator aan kan

Misschien < 1 Hz over 15 minuten?

Stelt dit een adev grens 10 MHz?

Kleine df/f helpt de demodulator

WSJT-X op 10.5 GHz QO-100 Rx

Gebruikseisen aan WSJT-x op QO100



Eigenlijk wil je de frequentie drift zo klein mogelijk hebben, daarvoor moeten de UP en DOWN converter gelockt worden mbv 10 MHz.

Een frequentie fout van 1 Hz op QO100 betekent $(\Delta f/f) = 10^{-10}$ terwijl de sessie duur ca 900s is (we lieten een kwartier zien)

Maak het wat makkelijker voor de decoder, $(\Delta f/f) = 10^{-11}$ by 1000 sec.

De WSJT-x decoder kan omgaan met enige frequentie drift

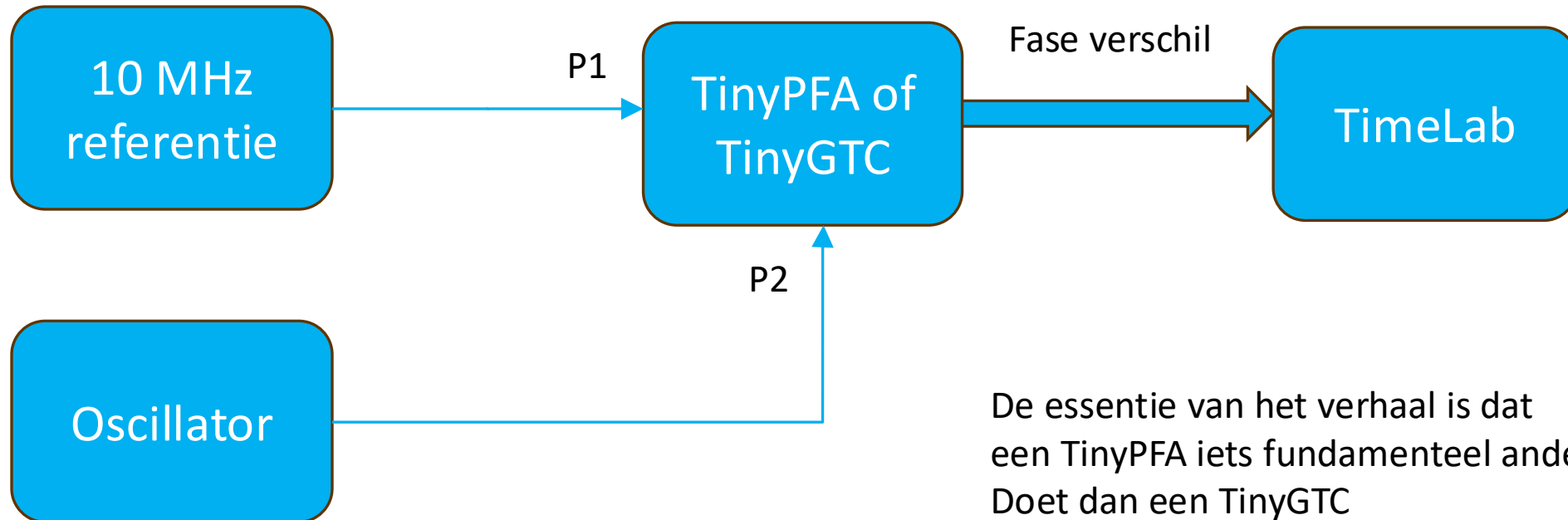
Geen GPS/DO nodig, een OCXO (zelfs een OSC5 van CTI) kan dit

GPS/DOS zijn zelfs ruiziger by $\tau < 100s$

WSJT-x is een extreme situatie, WSPR zou het nog extremer maken

Daarna komen pas CW and SSB modes aan de orde, wat je regelmatig ziet is +/- 100 Hz verstemmen nodig is om een QSO te voeren

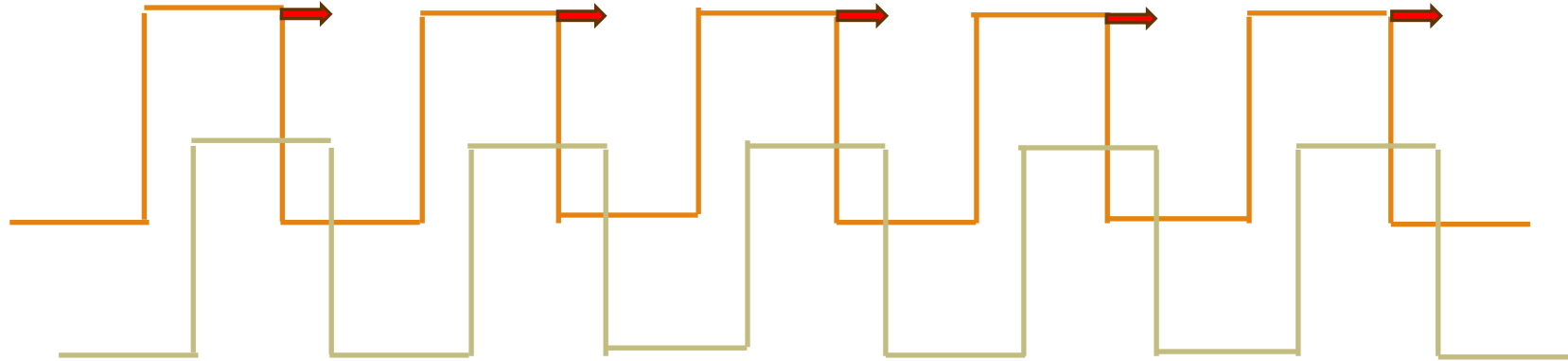
Meten met een tinydevice



De essentie van het verhaal is dat een TinyPFA iets fundamenteel anders doet dan een TinyGTC

Heeft het gevolgen voor de analyse in TimeLab die de Allan deviatie analyse voor ons uitvoert.

Wat willen we meten?



- Frequentieverschil is klein ten opzicht van 10 MHz, we willen naar een $\frac{\Delta f}{f}$ van ca 10^{-13}
- Gewone frequentie teller: $T = 1000s$ bij $\frac{\Delta f}{f} \approx 10^{-10}$ en $f=10$ MHz
- We gaan niet maanden lang meten om de $\frac{\Delta f}{f} = 10^{-13}$ te bepalen, het moet gewoon sneller
- Fase verschillen meten, met de tinyGTC of de tinyPFA kan het (ieder zijn eigen methode)

Oscilloquartz 8663XS 10 MHz,

Dit is een oven kristal

Faseruis:

- -90 dBc bij 1Hz
- -120 dBc bij 10Hz
- -135 dBc bij 100Hz

Deze getallen zijn eigenlijk niet goed te meten
tenzij je professionele apparatuur gebruikt

korte termijn stabiliteit 10^{-11} bij 0.2 tot 10s

Geen specificatie op de datasheet met een ADEV curve

Deze oscillator staat 24h per dag aan, is mijn refentie voor QO100

Kosten : 41 USD

FE5680a Rb frequentie standaard 10 MHz

Standaard rubidium cell

Faseruis

- -100 dBc bij 10 Hz
- -125 dBc bij 100 Hz
- -145 dBc bij 1000 Hz

Korte termijn stabiliteit : $1.4 \cdot 10^{-11} / \sqrt{\tau}$ voor $1 < \tau < 100s$

Geen noodzaak om deze oscillator permanent aan te laten staan

Kosten: 211 USD

Microsemi SA35m

Miniatuur Rb oscillator, een gemoduleerde laser door een Rb cell

Faseruis

- -70 dBc/Hz op 1 Hz
- -87 dBc/Hz op 10 Hz
- -114 dBc/Hz op 100 Hz
- -130 dBc/Hz op 1 kHz

Korte termijn stabiliteit $< 1.6 \cdot 10^{-11}$ bij 10 sec

Geen noodzaak om de oscillator permanent aan te laten staan

Kosten : 200 euro zoals ik hem kreeg via een collega amateur.

Bodnar GPS/DO

Oscillator gedisciplineerd door GNSS, draait op 10 MHz

Faseruis

- -101dBc/Hz bij 10 Hz
- -164 dBc/Hz bij 1 MHz

Stabiliteit : 10^{-12} bij 1000s

Geen noodzaak om permanent aan te laten staan

Kosten: 198 GBP.

De leercurve is redelijk stijl

Ga niet met een gewone counter meten maar met een PFA of het GTC instrument (Er zijn RF seminars van Erik Kaashoek)

Beide instrumenten meet direct de fase verschillen (in seconden) van twee aangeboden 10 MHz signalen

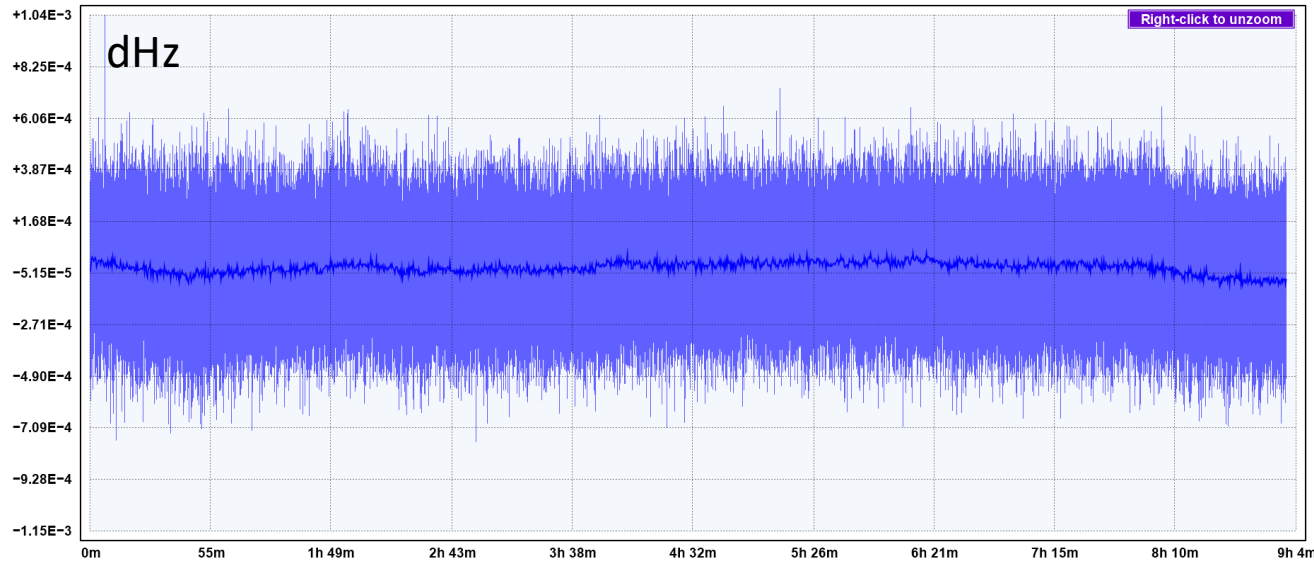
- Eentje komt van de Rubidium standaard
- De ander van de oscillator op de pijnbank
- Met de TinyGTC zijn er wat meer mogelijkheden met de NCO

Laat dit eens een paar uur draaien (acclimatiseren)

Gebruik goede kabels (doormeten met een VNA)

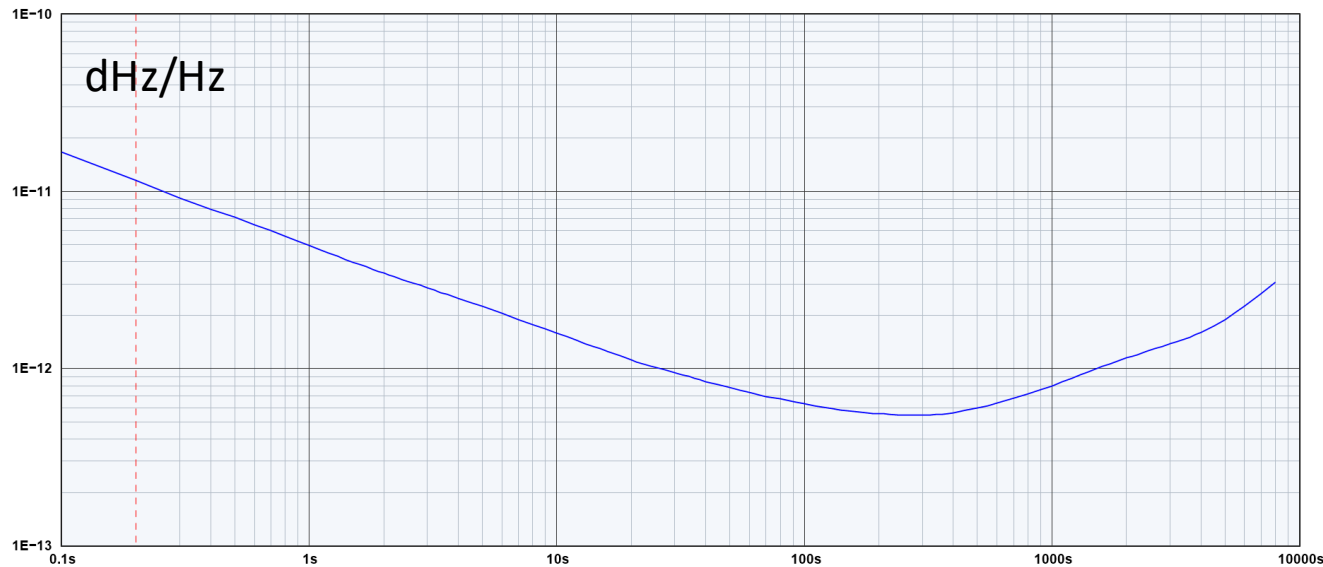
Gebruik ≥ 6 dB verzwakkers voor beide instrumenten

Frequency Difference (Linear residual Hz, zero-based)
Averaging window: Per-pixel



Trace	Notes	Input Freq	Sample Interval	Freq at 0m	Duration	Elapsed	Acquired	Trace Window
Oscillograph 10 MHz Rb PFA Phase	PFA analyzer	10 MHz	0.100 s		9h	9h	324000 pts	324000 pts

Allan Deviation $\sigma_y(\tau)$



Tijdserie vd 10 MHz oscilloquartz:

- Hertz op de y-as (uit PFA instr.)
- Tijd in uren op de x-as
- Referentie is de FE5680a

Info: +/- 5 10⁻⁴ Hz of zo 9 uur reeks

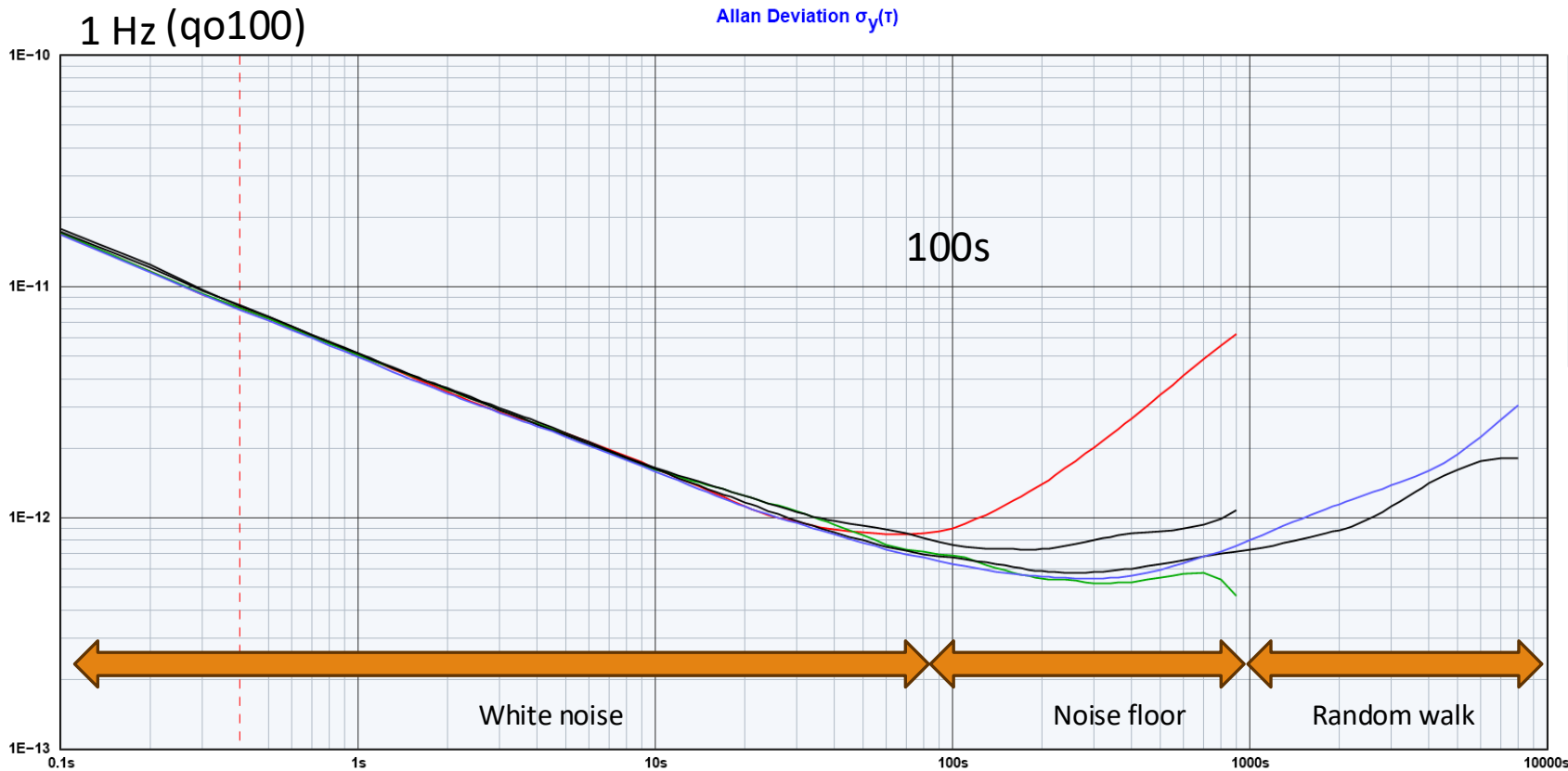
Allan deviatie plot

- Korte termijn meer ruis
- Optimum bij ca 400 seconde
- Vanaf daar neemt de thermostaat in de huiskamer (etc) het over

Kortom, meer info dan de tijdserie

Iedere oscillator → eigen adev

Vijf keer mijn beste oscillator meten met het PFA instrument



0.001 Hz

Trace	Notes	Input Freq	Sample Interval	ADEV at 0.4s	Duration	Elapsed	Acquired	Trace Window
Oscillograph 10 MHz Rb PFA Phase	PFA analyzer	10 MHz	0.100 s	8.08E-12	1h	1h	36000 pts	36000 pts
Oscillograph 10 MHz Rb PFA Phase	PFA analyzer	10 MHz	0.100 s	8.10E-12	1h	1h	36000 pts	36000 pts
Oscillograph 10 MHz Rb PFA Phase	PFA analyzer	10 MHz	0.100 s	8.29E-12	1h	1h	36000 pts	36000 pts
Oscillograph 10 MHz Rb PFA Phase	PFA analyzer	10 MHz	0.100 s	8.30E-12	9h	9h	324000 pts	324000 pts
Oscillograph 10 MHz Rb PFA Phase	PFA analyzer	10 MHz	0.100 s	7.95E-12	9h	9h	324000 pts	324000 pts

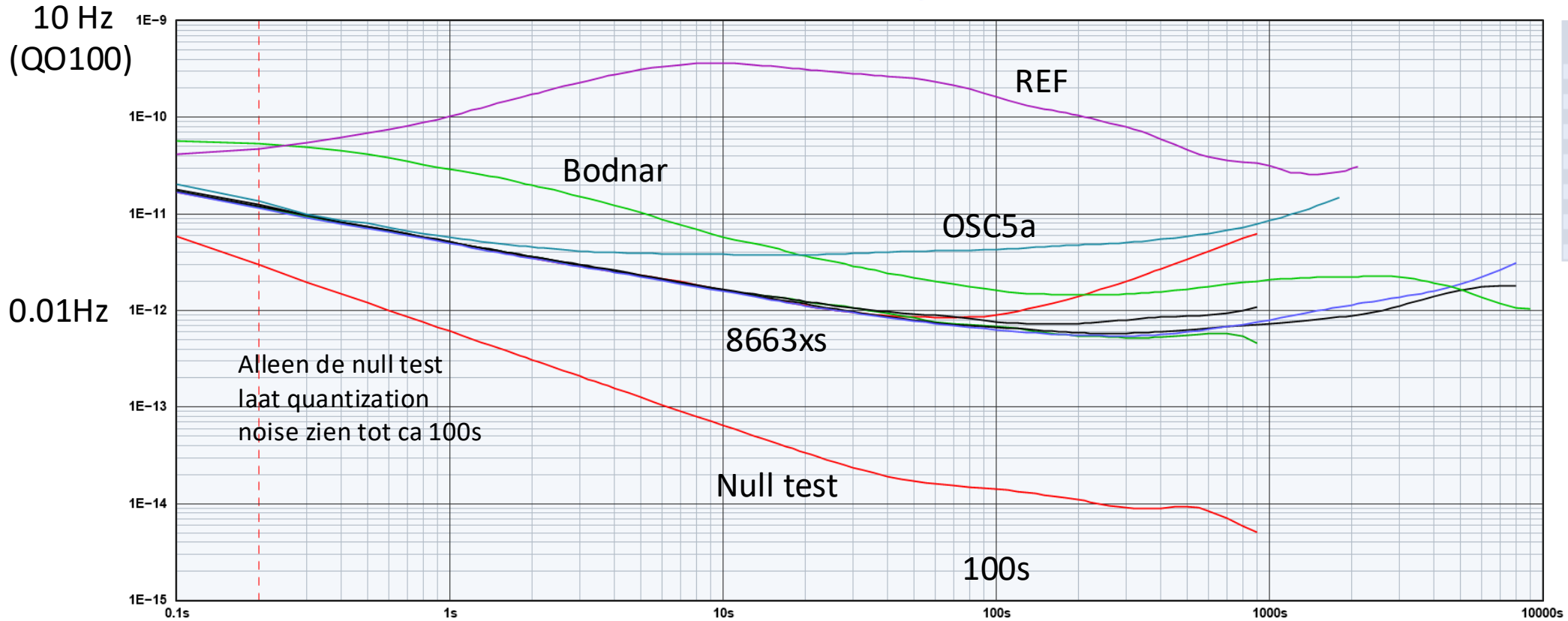
Bevat alle elementen die je in de Allan deviatie plot verwacht

De eerste keer (die rode) ging niet zo goed, duurde een uur om daarachter te komen. Daarna moet je hem een paar keer laten lopen, tenslotte, 2 keer 9 uur

- Sampling
- Floor ($5.6 \cdot 10^{-13}$ @ 400s)
- Random walk

Alle oscillatoren die ik heb op de PFA analyzer

Allan Deviation $\sigma_y(\tau)$



Tau	Sigma(Tau)
1s	5.69E-12
2s	4.54E-12
4s	3.98E-12
8s	3.85E-12
10s	3.81E-12
20s	3.76E-12
40s	4.04E-12
80s	4.21E-12
100s	4.28E-12
200s	4.79E-12
400s	5.46E-12
800s	7.25E-12
1000s	8.51E-12

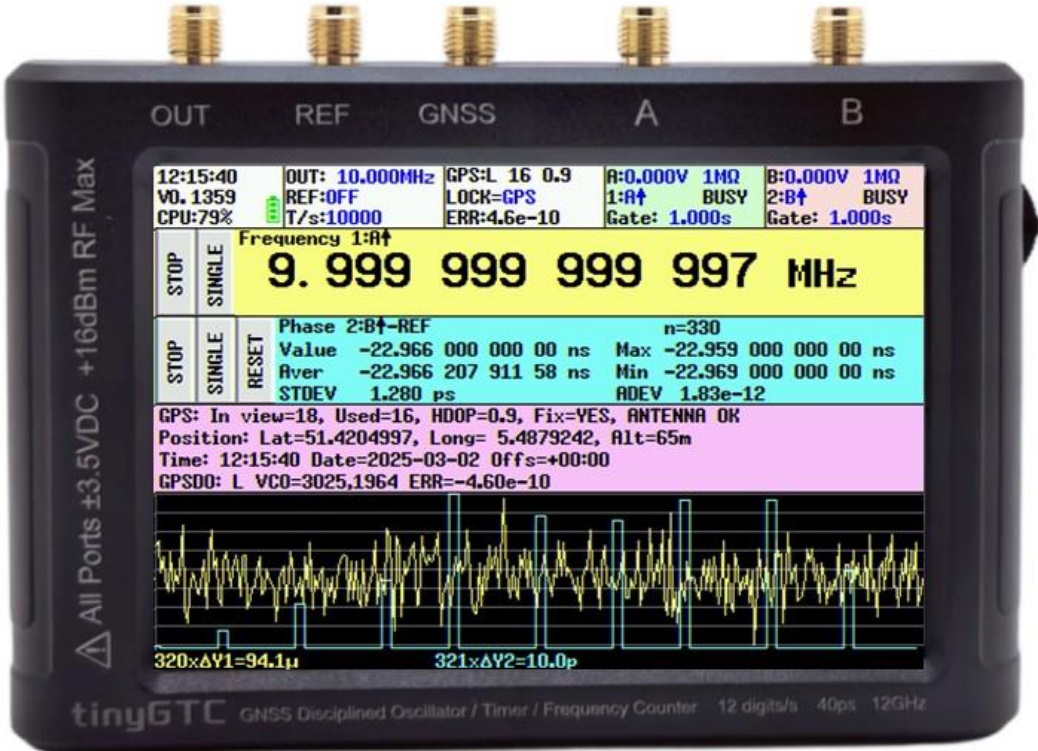
Trace	Notes	Input Freq	Sample Interval	ADEV at 0.2s	Duration	Elapsed	Acquired	Trace Window
Oscillograph 10 MHz Rb PFA Phase	PFA analyzer	10 MHz	0.100 s	1.17E-11	1h	1h	36000 pts	36000 pts
Oscillograph 10 MHz Rb PFA Phase	PFA analyzer	10 MHz	0.100 s	1.17E-11	1h	1h	36000 pts	36000 pts
Oscillograph 10 MHz Rb PFA Phase	PFA analyzer	10 MHz	0.100 s	1.25E-11	1h	1h	36000 pts	36000 pts
Oscillograph 10 MHz Rb PFA Phase	PFA analyzer	10 MHz	0.100 s	1.21E-11	9h	9h	324000 pts	324000 pts
Oscillograph 10 MHz Rb PFA Phase	PFA analyzer	10 MHz	0.100 s	1.16E-11	9h	9h	324000 pts	324000 pts
Null test Rb PFA Freq	PFA analyzer	10 MHz	0.100 s	2.96E-12	1h	1h	36000 pts	36000 pts
Bodnar10 MHz to Rb Op1s PFA 10h	PFA analyzer	10 MHz	0.100 s	5.39E-11	10h	10h	360000 pts	360000 pts
REF 10 MHz to Oscillograph Op1s PFA	PFA analyzer	10 MHz	0.100 s	4.72E-11	2h 24m 27s	2h 24m 27s	86674 pts	86674 pts
OSC5a Isolated 10 MHz to Rb 1s PFA	PFA analyzer	10 MHz	0.100 s	1.35E-11	2h	2h	72000 pts	72000 pts

TinyPFA versus TinyGTC

- TinyPFA : Downconversie naar audio bereik en meten met een A/D converters (gebruikmakend van de NanoVNA 4 hardware)
- TinyGTC : tellen plus een time of flight measurement van het resterende gedeelte
- Er zijn RF seminars geweest van Erik Kaashoek waar beide instrumenten zijn besproken

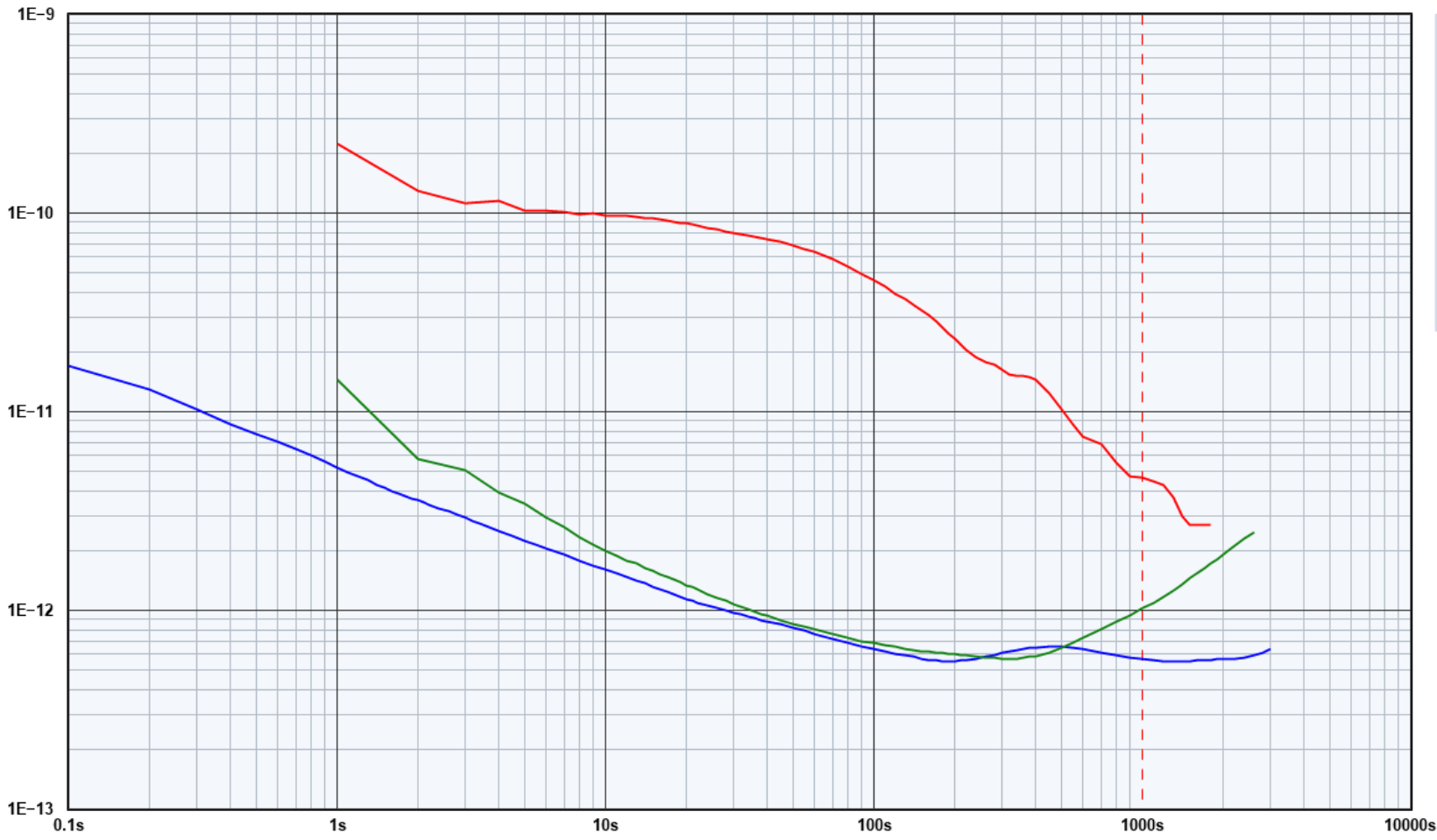
TinyGTC functionaliteit

- A counter tot 7/12 GHz
- B counter tot 350 MHz
- OUT : up to 100 MHz square
- REF out : up to 250 MHz square
- REF in : 10 ± 0.1 MHz
- GNSS antenne
- Batterij en USB-c interface



Oscilloquartz 8663xs vs RB op GTC/PFA

Allan Deviation $\sigma_y(\tau)$



Tau	Sigma(Tau)
1s	5.21E-12
2s	3.58E-12
4s	2.53E-12
8s	1.78E-12
10s	1.61E-12
20s	1.15E-12
40s	8.82E-13
80s	6.85E-13
100s	6.36E-13
200s	5.58E-13
400s	6.53E-13
800s	5.93E-13
1000s	5.67E-13
2000s	5.69E-13

GNSS van TinyGTC

Zelfde meetopzet

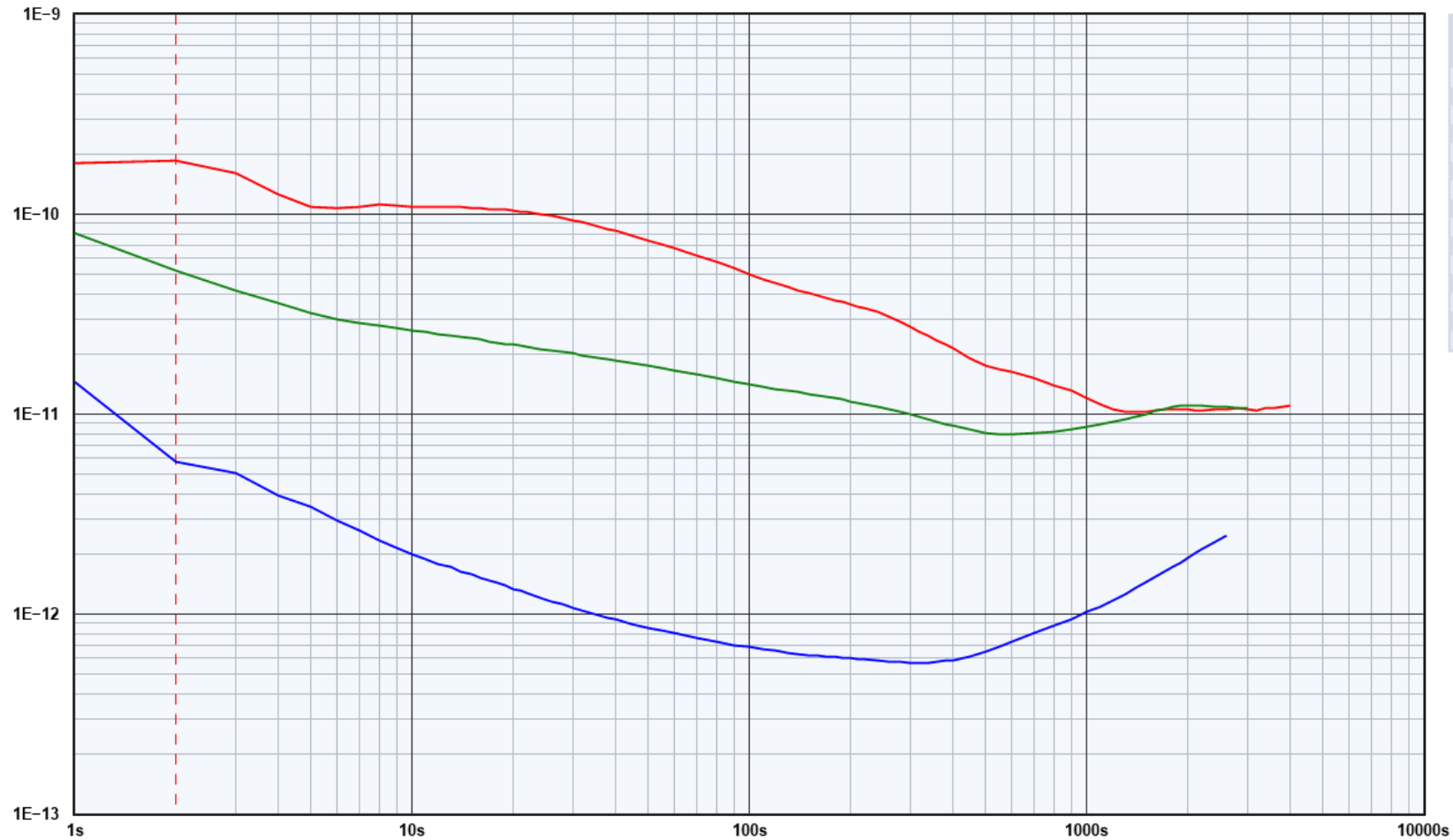
PFA : blauw

GTC : groen

Trace	Notes	Input Freq	Sample Interval	ADEV at 1000s	Duration	Elapsed	Acquired	Trace Window
OCXO vs GNSS	RF seminar voorbereiding	10 MHz	1 s	4.68E-12	2h 0m 10s	2h 0m 10s	7210 pts	7210 pts
OCXO vs Rb TinyPFA	RF seminar voorbereiding	10 MHz	0.100 s	5.67E-13	3h 22m 18s	3h 22m 18s	121378 pts	121378 pts
OCXO vs Rb TinyGTC	RF seminar voorbereiding	10 MHz	1 s	1.02E-12	3h	3h	10800 pts	10800 pts

Microsemi SA35m vs Rb op GTC analyzer

Allan Deviation $\sigma_y(\tau)$

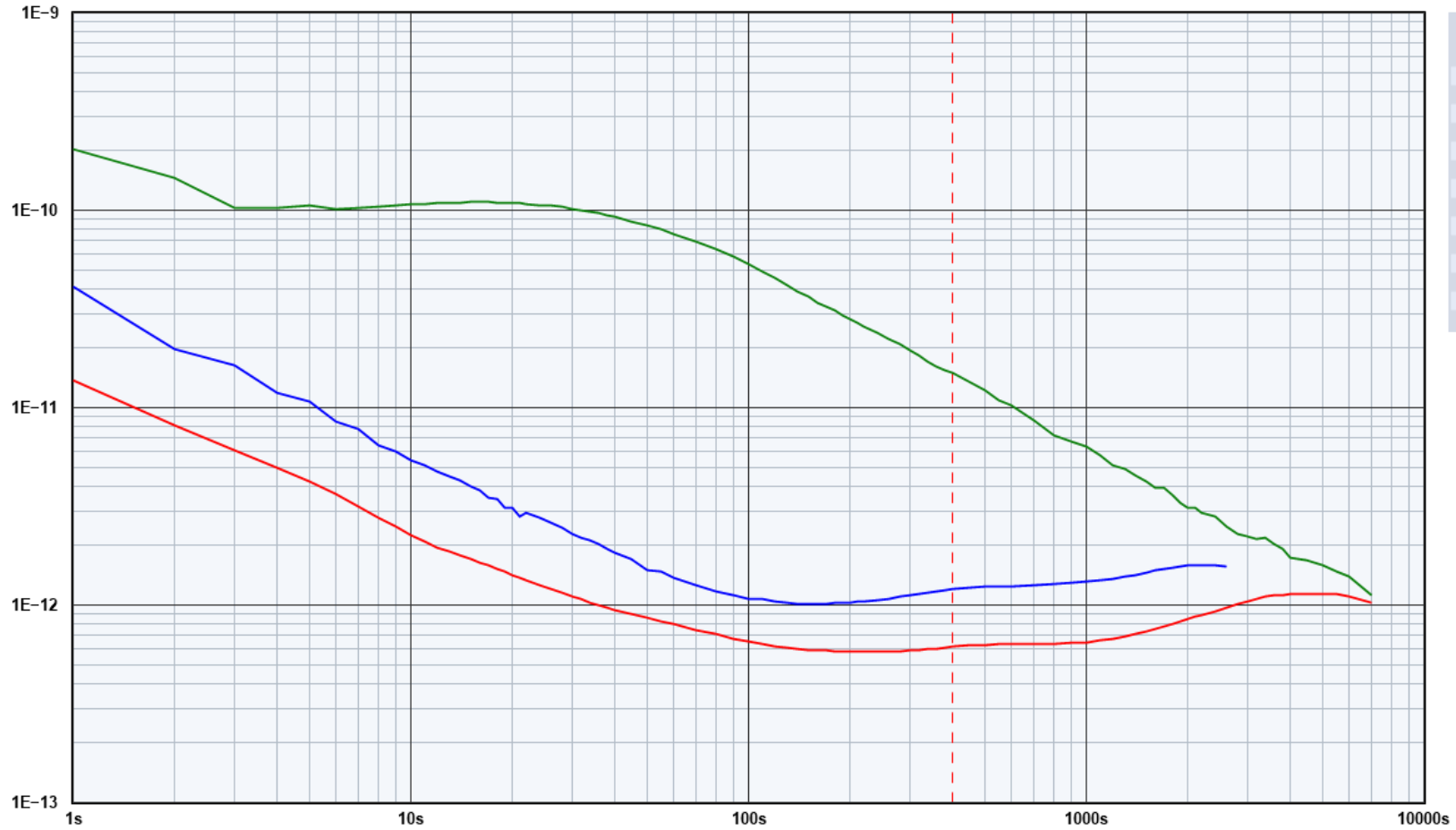


Tau	Sigma(Tau)
1s	1.81E-10
2s	1.85E-10
4s	1.25E-10
8s	1.12E-10
10s	1.09E-10
20s	1.05E-10
40s	8.27E-11
80s	5.76E-11
100s	5.04E-11
200s	3.54E-11
400s	2.15E-11
800s	1.40E-11
1000s	1.20E-11
2000s	1.06E-11
4000s	1.10E-11

Trace	Notes	Input Freq	Sample Interval	ADEV at 2s	Duration	Elapsed	Acquired	Trace Window
MicroSemi vs GNSS (Unsaved)	TinyGTC	10 MHz	1 s	1.85E-10	4h 45m 29s	4h 45m 29s	17129 pts	17129 pts
Rb vs OCXO (Unsaved)	TinyGTC	10 MHz	1 s	5.81E-12	3h	3h	10800 pts	10800 pts
MicroSemi vs OCXO (Unsaved)	TinyGTC	10 MHz	1 s	5.23E-11	3h 32m 56s	3h 32m 56s	12776 pts	12776 pts

Bodnar vs Rb op GTC analyzer

Allan Deviation $\sigma_y(\tau)$



Tau	Sigma(Tau)
1s	4.13E-11
2s	1.99E-11
4s	1.19E-11
8s	6.50E-12
10s	5.38E-12
20s	3.10E-12
40s	1.84E-12
80s	1.18E-12
100s	1.08E-12
200s	1.03E-12
400s	1.20E-12
800s	1.28E-12
1000s	1.32E-12
2000s	1.59E-12

Trace	Notes	Input Freq	Sample Interval	ADEV at 400s	Duration	Elapsed	Acquired	Trace Window
OCXO vs RB (Unsaved)	TinyGTC	10 MHz	1 s	6.14E-13	8h 50m 30s	8h 50m 30s	31830 pts	31830 pts
BODNAR vs RB (Unsaved)	TinyGTC	10 MHz	1 s	1.20E-12	2h 58m 18s	2h 58m 18s	10698 pts	10698 pts
Rb vs GNSS (Unsaved)	TinyGTC	10 MHz	1 s	1.51E-11	8h 50m 31s	8h 50m 31s	31831 pts	31831 pts

Samenvatting

USOs, Allan deviatie analyse, timelab

Microgolf toepassing van USOs bij FT8 op QO100

Een aantal betaalbare oscillatoren voor amateurs

- Niet-geconditioneerde kwarts oscillator (10^{-7})
- Geconditioneerde kwarts oscillator in een oven (10^{-12})
- GPS gedisciplineerde oscillator (leen de GPS klok) (10^{-10})
- Miniatuur Rb en standaard Rb oscillator (10^{-11} tot 10^{-13})

PFA en GTC analyzers meetopstelling

Allan deviaties van verschillende oscillatoren

Verschillende regimes in de deviatie analyse

Verschillen tussen de TinyGTC en de TinyPFA