Ruis!

RF Seminar

RF Seminar

Het meten van Ruisgetallen.

Een beschouwing door:

Dick PA2DW

Harke PA0HRK

Timo PE1FOD

Waarom zijn wij geïnteresseerd in ruis(getallen)

- Om de ontvangst gevoeligheid zo groot mogelijk te maken, door de onvermijdelijke verslechtering van de signaal- ruisverhouding te verminderen
- Het meten van ruisgetallen vereist deskundigheid en juiste apparatuur
- Het meten van **heel lage** ruisgetallen is nog lastiger! We meten namelijk in de buurt van de ruisvloer.

Onderwerpen

1. Definitie ruisgetal
2. Toepassingen waarbij lage ruisgetallen een rol spelen
3. Meetinstrumenten voor het meten van ruisgetallen
4. Werkwijze ruisgetal meten met de Noise Figure Meter
5. Nauwkeurigheid en het verkleinen van meetfouten bij lage ruisgetallen
6. Het ruismeten op frequenties hoger dan 1600MHz
7. Werkwijze ruisgetal meten met de spectrumanalyzer

1. Definitie ruisgetal

$$Noise\ Factor\ (F) = \frac{\left(\frac{S_{in}}{N_{in}}\right)}{\left(\frac{S_{out}}{N_{out}}\right)}$$

$$Noise\ Figure\ (dB) = 10\ \times \log(Noise\ Factor)$$

Er zijn vele soorten ruis: hier gaat het om thermische ruis.

2. Toepassingen waarbij lage ruisgetallen een rol spelen:

- EME
- DSN (Deep Space Network)
- Radio-astronomie
- Microgolf-DX (met kanttekeningen)
- Meteor-Scatter

Methoden om het ruisgetal te meten

Er zijn vele methoden bekend, we lichten er drie uit:

1. De Y-factor methode
   - Ws meest toegepast, met gecalibreerde ruisbron
2. De 3 dB methode
   - Simpele, wat gedateerde methode, met instelbare ruisbron
3. Met een moderne VNA
   - Geavanceerd, er worden zeer hoge eisen aan de VNA gesteld

De Y-Factor (klein beetje rekenen….)

$$F = \frac{SNR_i}{SNR_0} = \frac{S_i/N_i}{S_o/N_o}$$ (F is ruisfactor > 1, per definitie)

Ingangssignaal: S_i, Uitgangssignaal: S_o

Ruisvermogen ingang: N_i, Ruisbijdrage van DUT: N_a Dus: Ruisvermogen uitgang: $N_o = N_a + G_aN_i$

Versterking van de DUT: G_a (available gain)

$$F = \frac{S_i/N_i}{G_aS_i/(N_a+G_aN_i)} = \frac{N_a+GaN_i}{GaNi}$$

$N_f = 10\log(F)$ (N_f is ruisgetal)

Nog even doorzetten……

Het thermisch ruisvermogen is gedefinieerd als: $P_n(f) = kTB$ (W)

K: constante van Boltzman: ($1.38*10^{-23}$J/K), T = absolute temperatuur (K), B is bandbreedte in Hz. f < enkele terahertz!

Vorige sheet: $F = \frac{N_a + G_a Ni}{G_a Ni}$

Wordt dan: $F = \frac{N_a + kT_0 BG_a}{kT_0 BG_a} = 1 + \frac{N_a}{kT_0 BG_a}$ (IEEE definitie van ruisgetal)

met: T_0 = 290 K, de referentie temperatuur.

Nu gaan we (eindelijk) meten: het ruisvermogen aan de uitgang bij twee verschillende waarden van het aangeboden signal, ook ruis. Vanwege

Eerst even een zijsprong

We zagen: het thermisch ruis*vermogen* is: $P_n(f) = kTB$ (W)

Bij kamertemperatuur in 1 Hz bb: $P_n(f) = -174$ dBm, bij 2 kHz $P_n(f) = -141$ dBm, ongeveer de detectiegrens van een SSB ontvanger.

De ruis*spanning* volgt uit: $(v_n)^2 = 4kTBR$, R is de weerstand of impedantie

NB: het betreft witte ruis: het spectrum is recht vanaf dc tot ……

Kun je meten met een ultra gevoelige versterker

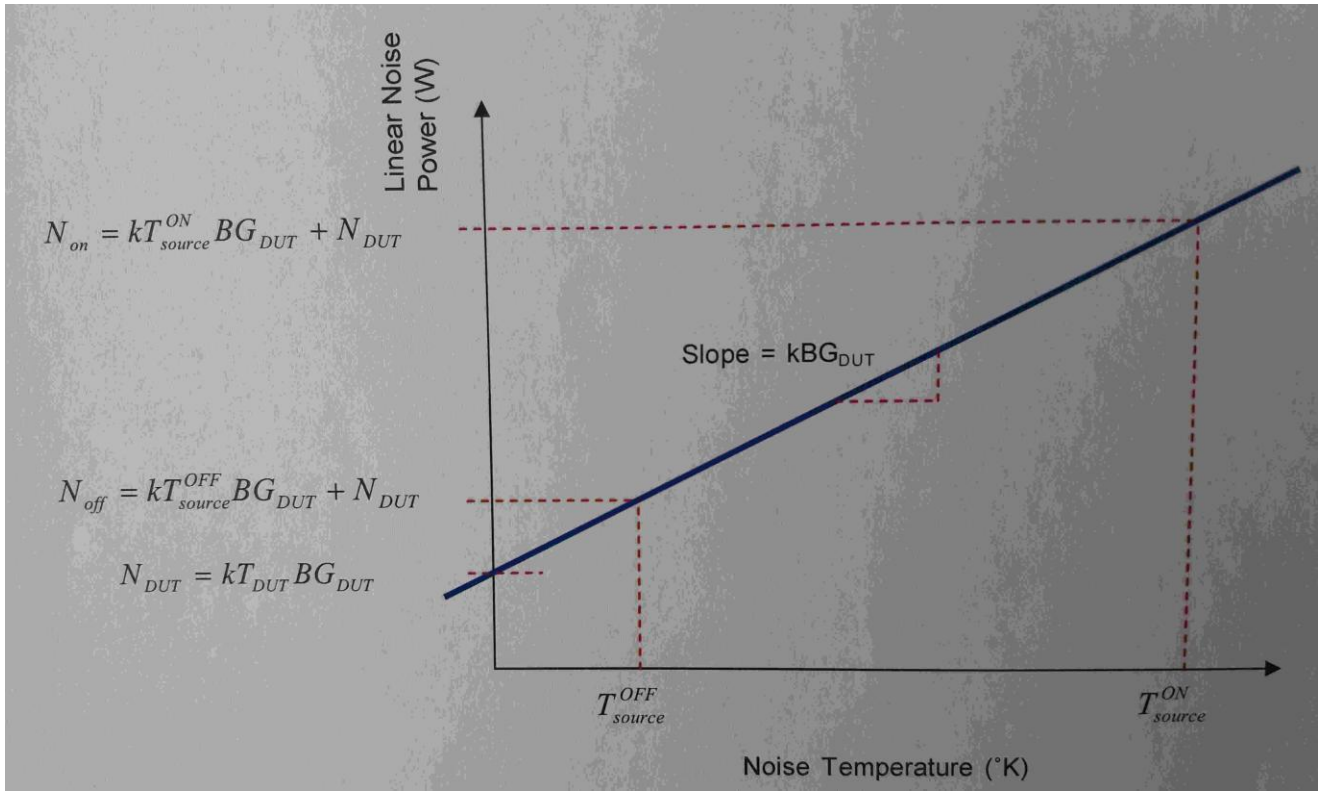
Het meten van het ruisgetal

Voor de meeste methoden heb je een ruisbron nodig, die op de DUT wordt aangesloten. Dit kan bijv. een 50 ohm weerstand zijn op twee uiteenlopende temperaturen: bijv op 273K en op 373K. Veel heter wordt al snel onhandig, kouder ook…. (is wel primaire standaard)

Een ruisdiode is de oplossing: kan een ruistemperatuur van 10.000K produceren, en dat bij kamertemperatuur! Dus: T_c = 293K en T_h = 10.000K. Netjes inbouwen in een 50 ohm systeem. Dan calibreren over het gewenste frequentie bereik (bijv: 10 MHz – 26.5 GHz). Commercieel leverbaar ($$$)

$ENR_{dB} = 10\log(\frac{Ton - Toff}{T0})$ ENR is het ruisvermogen in de “aan” toestand ten opzichte van de “uit” situatie.

Y factor grafisch weergegeven:



$$Y = \frac{N_{on}}{N_{off}}$$

$F_{total,dB} = ENR_{dB} - 10\log(Y-1)$

De meting (1)

- Apparatuur moet opgewarmd zijn, stel juiste ENR tabel in en frequentiebereik voor calibratie (en de temperatuur!)
- Dan meetsysteem calibreren zonder DUT (F_{sys} , N_{sys_on} , N_{sys_off})
- DUT inzetten en meten (F_{tot} , N_{tot_on} , N_{tot_off}).

Kan handmatig, voordeel geautomatiseerd meten:

- optimalisatie mogelijk.
- Compensatie tweede trap: $F_{DUT} = F_{tot} - \frac{F_{sys} - 1}{G_{DUT}}$ **(beroemde formule van Friis)**

De meting (2)

De versterking (gain) wordt berekend uit de vier ruisvermogens:

$$G_{DUT} = \frac{N_{tot_on} - N_{tot_off}}{N_{sys_on} - N_{sys_off}}$$

Hier gaat het om:

$F_{DUT,dB} = 10\log(F_{DUT})$

$G_{DUT,dB} = 10\log(G_{DUT})$

Iets over ruistemperatuur

De ruisfaktor kan ook in temperatuur uitgedrukt worden:

$F = 1 + \frac{T_e}{290}$ met $T_e = \frac{T_h - YT_c}{Y-1}$, of zo je wilt: $T_e = (F - 1)290$

Waarbij: T_e de equivalente ruistemperatuur is (K) van de DUT.

Leuk om te weten: 0.1 dB ruisgetal komt overeen met 7-7.5 K.

Voorbeeld: 0.5 dB komt overeen met 35.4 K.

Ruistemperaturen worden veel in de radio-astronomie toegepast.

3. Meetinstrumenten voor de Y-Factor methode:

HP 8970A – tot 1500MHz

HP 8970B – tot 1600/1800MHz

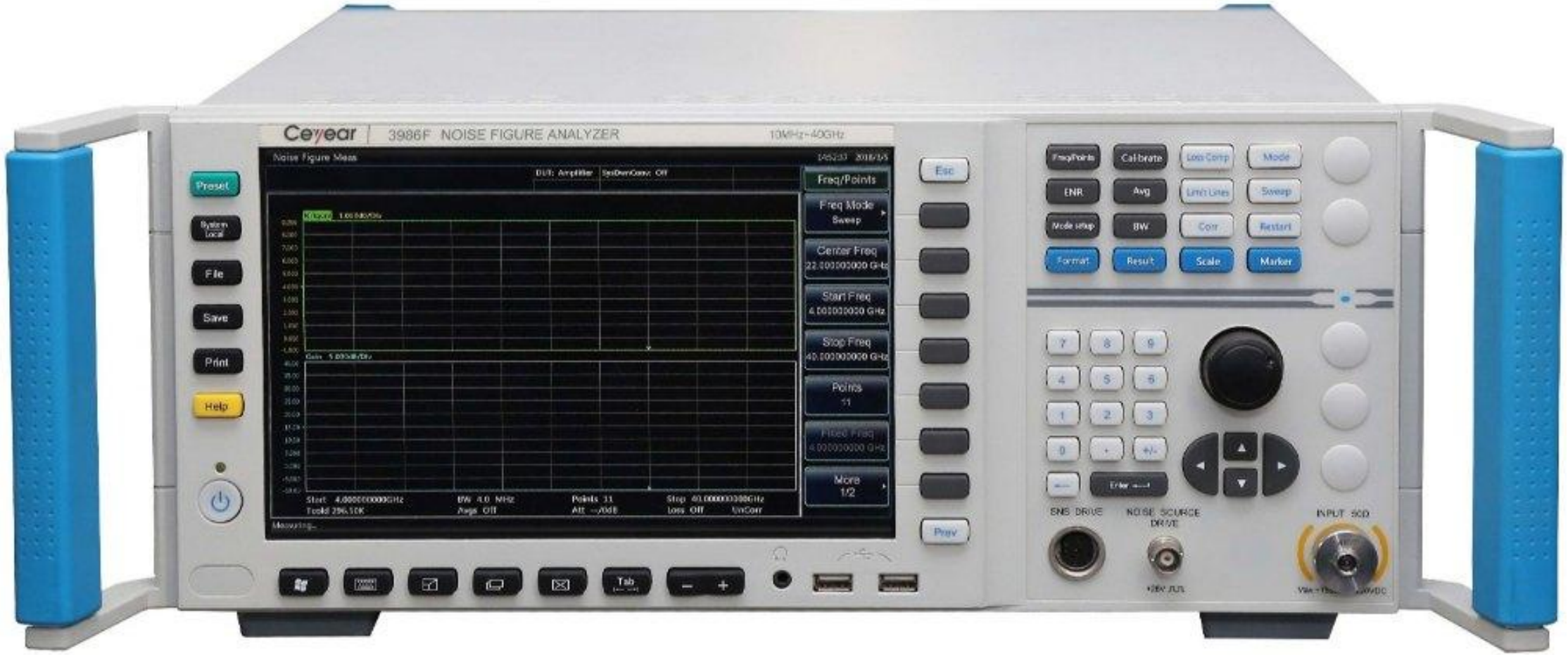
HP 8970B option 020 – tot 2047MHz

EATON 2075 – tot 1800MHz

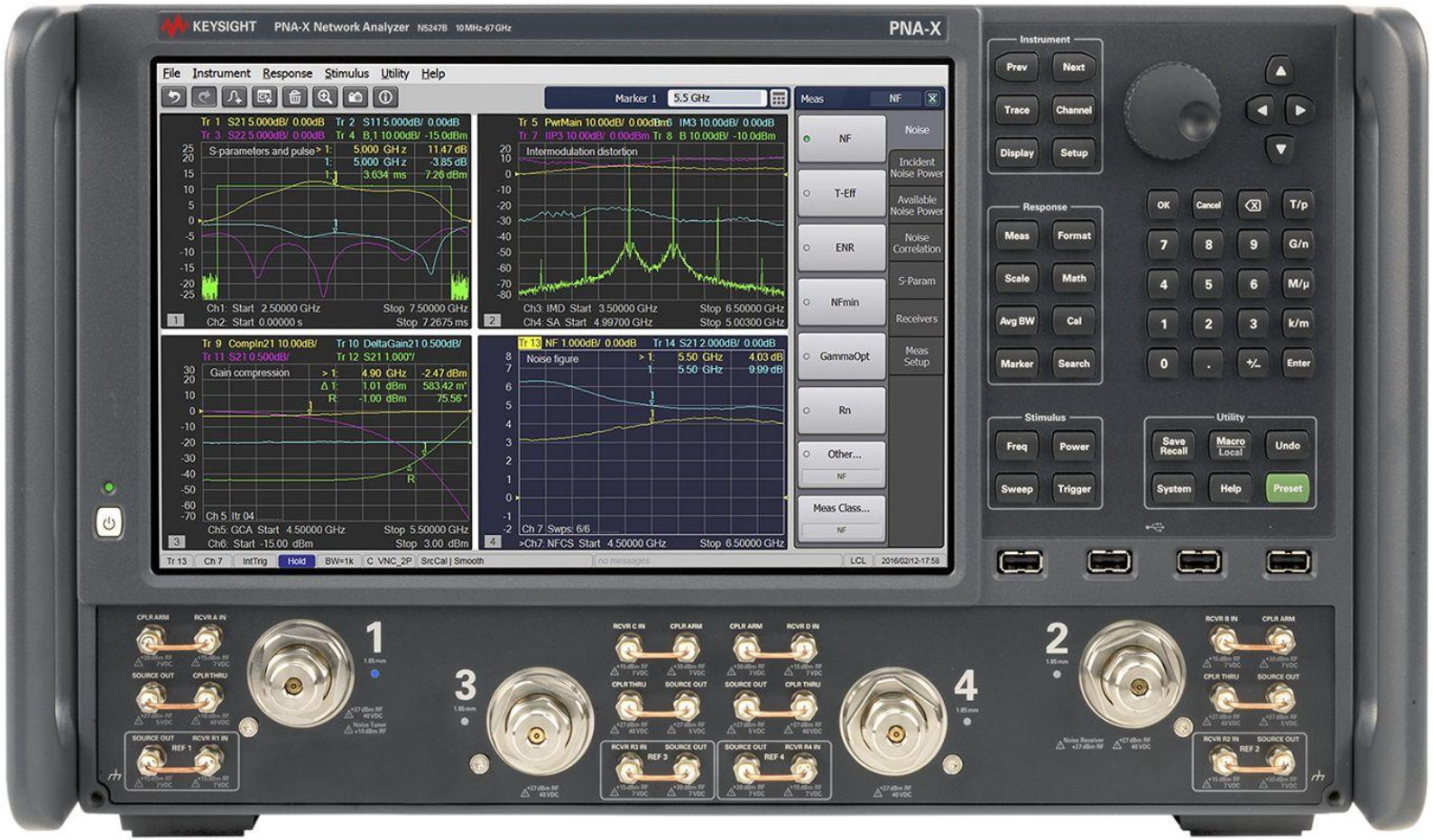
Maury microwave MT2075 – tot 1800MHz

Agilent NFA – Noise Figure Analyzer tot 26,5GHz

Ceyear 3966F – tot 50GHz
Noise Figure Analyzer



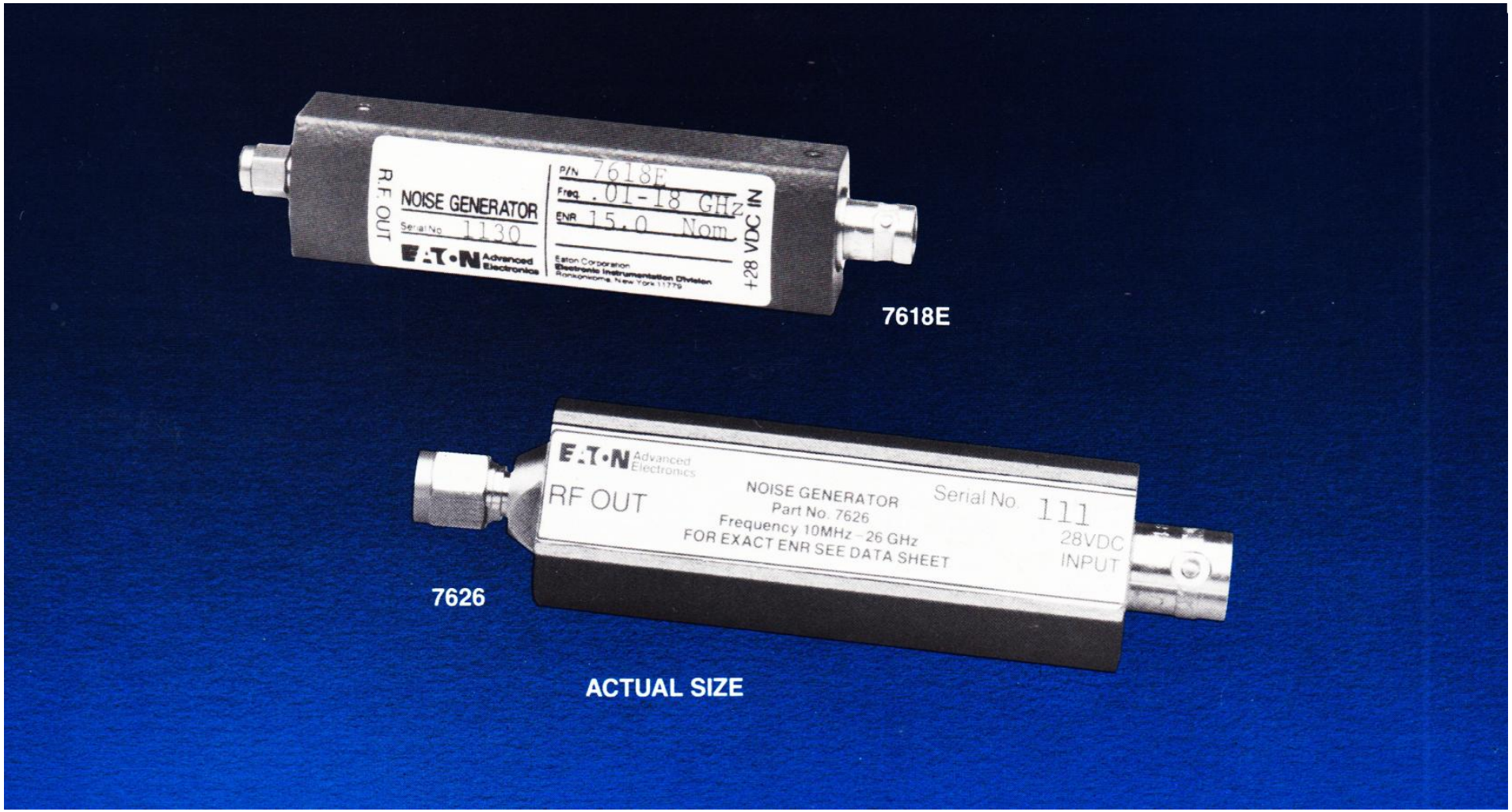
Keysight PNA-X Network Analyzer
Met noise option 029 – tot 67GHz



RF Seminar

RUISBRONNEN

EATON 7618E & 7626



RF Seminar

346 Series Traditional Noise Sources

346A
346B
346C

Agilent's most popular noise source series

RF Seminar

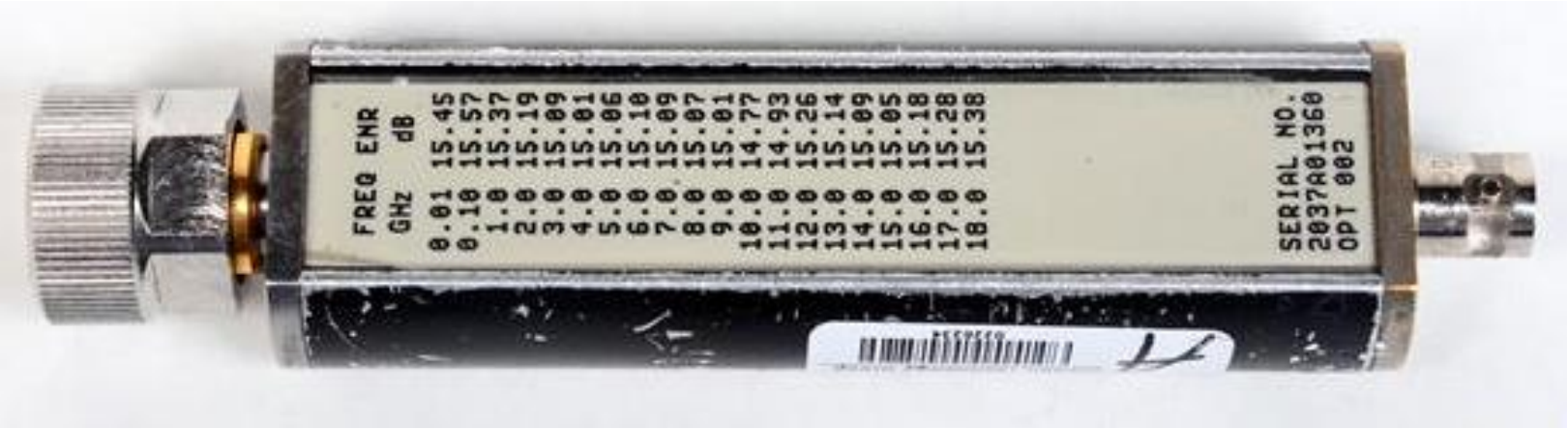
SNS Series Smart Noise Sources

N4000A
N4001A
N4002A

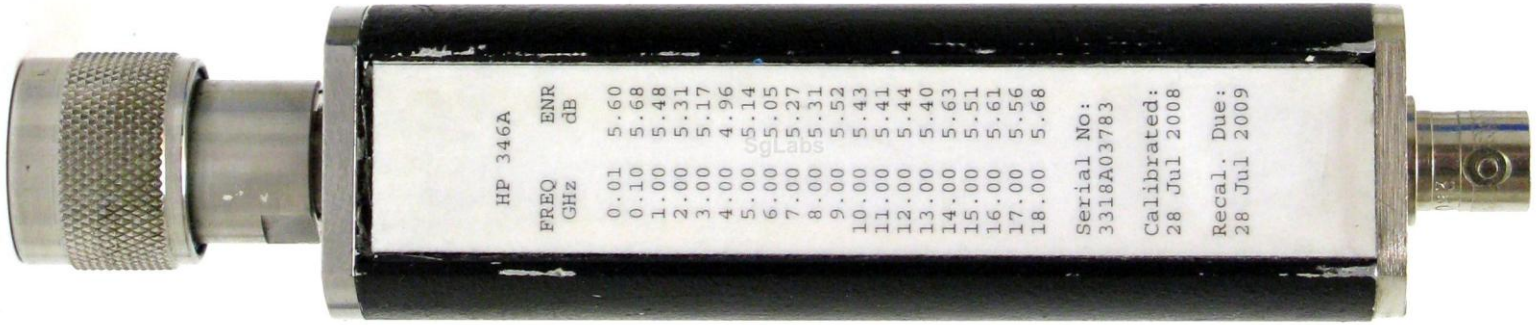
Automatically downloads ENR tables to your instrument

Noise Com NC346A option 1

HP 346B – (ENR 15 dB)



HP 346A – (ENR 5 dB)



Met natuurlijk bron(nen):

- Thot: warme aarde (273 K)
- Tcold: koude hemel (4-10 K)

ENR = EXCESS NOISE RATIO

$$ENR_{dB} = 10 \log\left(\frac{T_h - T_c}{T_o}\right)$$

Elke ruisbron eigen ENR-tabel, maar idealiter ook een tabel met reflectiecoefficienten in aan en uit toestand.

HP 346A

FREQ GHz	ENR dB
0.01	5.60
0.10	5.68
1.00	5.48
2.00	5.31
3.00	5.17
4.00	4.96
5.00	5.14
6.00	5.05
7.00	5.27
8.00	5.31
9.00	5.52
10.00	5.43
11.00	5.41
12.00	5.44
13.00	5.40
14.00	5.63
15.00	5.51
16.00	5.61
17.00	5.56
18.00	5.68

Serial No:
3318A03783

Calibrated:
28 Jul 2008

Recal. Due:
28 Jul 2009

RF Seminar

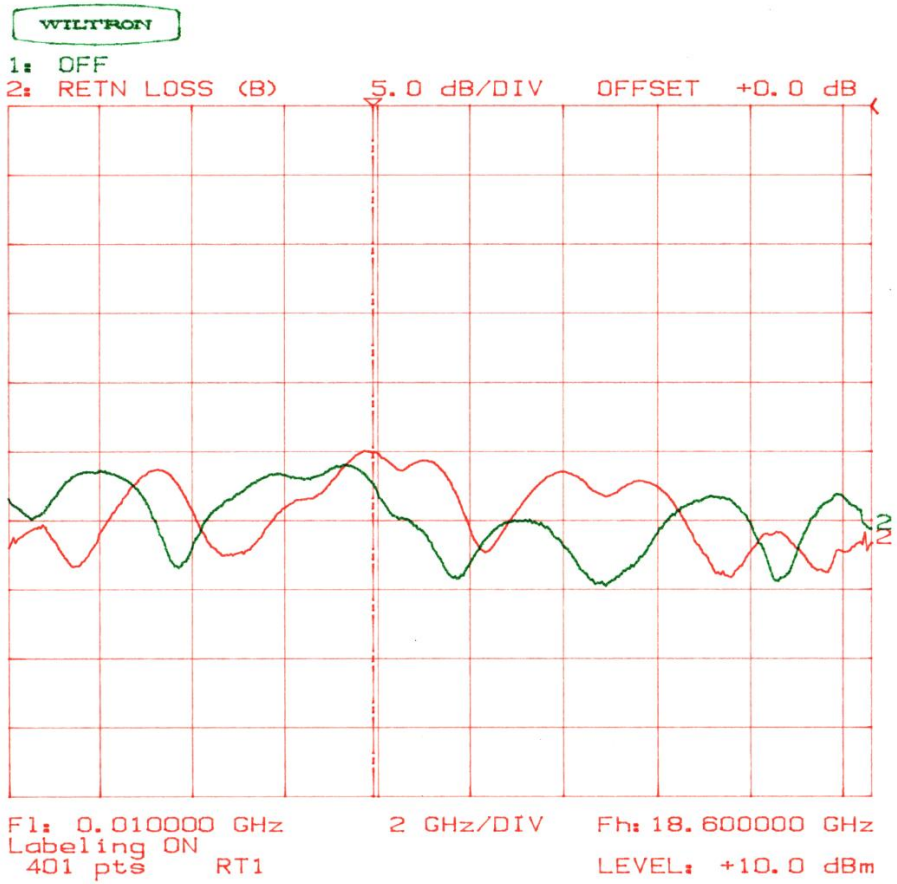
Welke ruisbron?

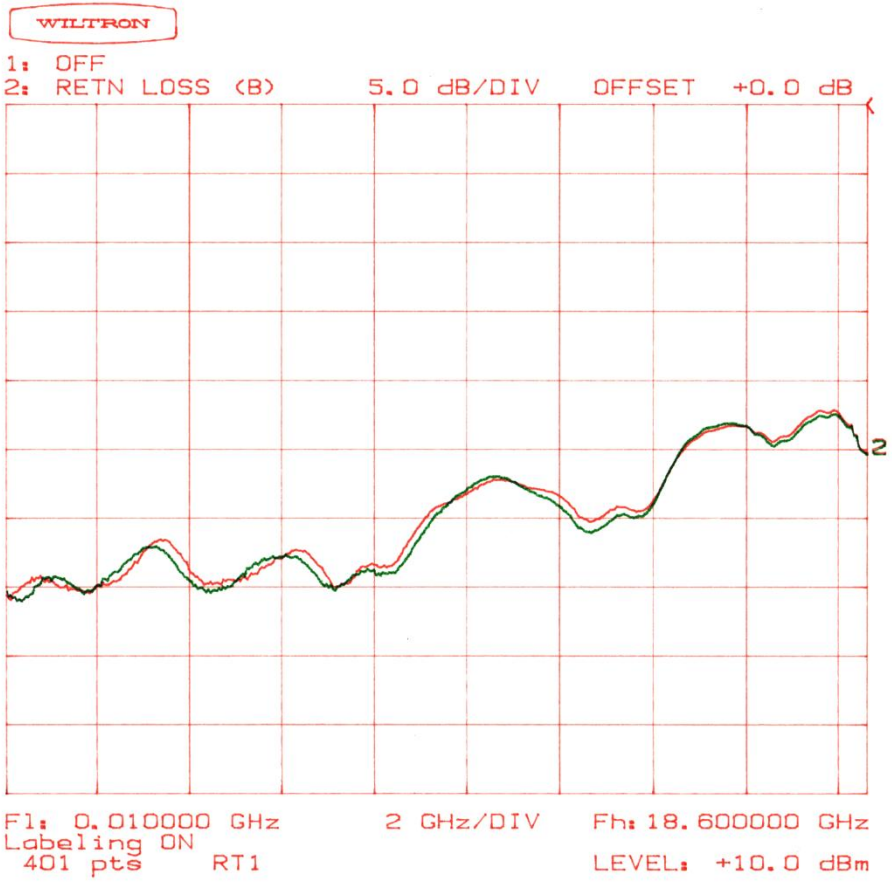
Globaal genomen zijn er twee soorten ruisbronnen.

Met hoge ENR (+/- 15 dB) en met lage ENR (5-6 dB). Het technische verschil: een 10 dB verzwakker.

Probleem: de impedantie (of reflectiecoefficient) van de bron is niet hetzelfde in de “aan” en in de “uit” toestand. Daardoor varieert de *vermogensoverdracht* tussen beide toestanden. Dit impedantie verschil is bij lage ENR veel geringer.

Grafische weergave gamma metingen ruisbron
Links: HP346B, Rechts: HP346A
(Met dank aan Heinz Schmiedel, DJ5FN, zie UKW-Berichte 3/2023)





Even rekenen aan dit impedantie effect.
DJ9BV noemt dit “gain error: DG”, nmm onjuist: het is een impedantie effect.
S21 verandert niet en komt in de berekening niet voor.

We gebruiken voor deze berekeningen de S_{11} van de DUT en de gamma van de ruisbron, bij een gegeven frequentie f. (formule B4, DJ9BV)

$$DG(f) = \frac{1-|\Gamma on|^2}{|1-S_{11}\Gamma on|^2} * \frac{|1-S_{11}\Gamma off|^2}{1-|\Gamma off|^2}$$

S_{11} = ingang reflectiecoefficient (RC) van DUT (dat is lastig te meten!)

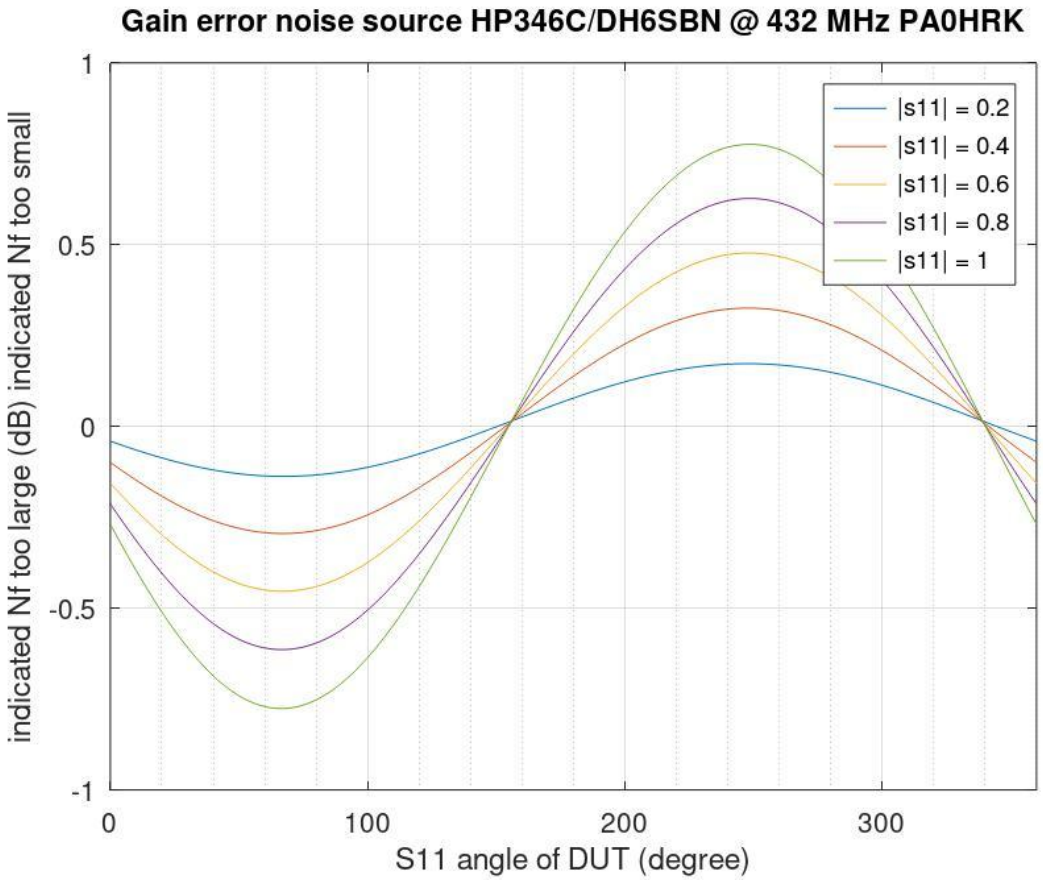
Γ_{on} = RC ruisbron aan

Γ_{off} = RC ruisbron uit

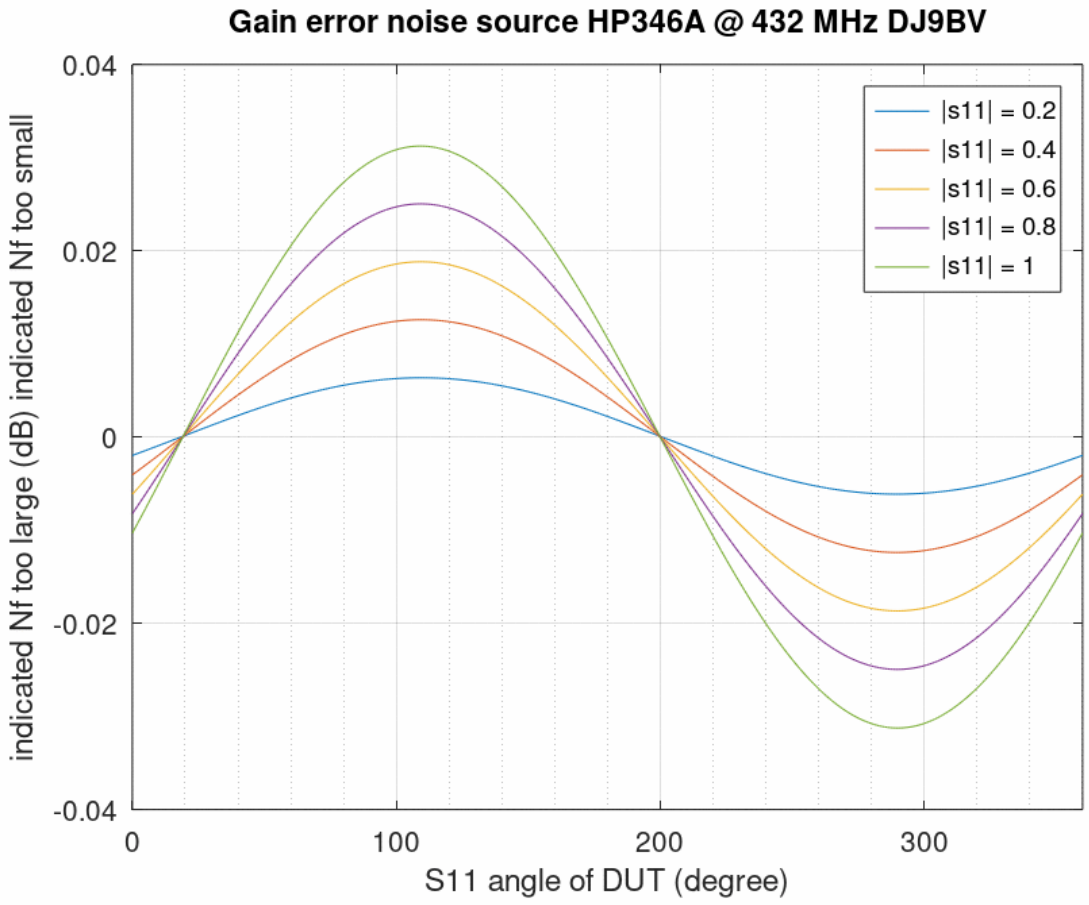
Met: Γ_l = 0, de RC van de load van de DUT

NB: alle grootheden complex dwz: amplitude en fase

Hier zien we het impedantie effect grafisch (High ENR source, 432 MHz)
Met een (geschatte) waarde voor S11 kun je de correctie aflezen.
Grafiek gemaakt met Octave.



Het effect met een lage ENR bron (let op Y-Schaal, ook 432 MHz)



De 3dB methode

SKTU is een instelbare ruisbron tot ongeveer 1.3 GHz op basis van een ruisbuis. Pre 1960. Aansluiten op ontvanger, AGC uit, VM op LF uitgang. Ruis opdraaien tot 3 dB toename op VM. Ruisgetal op SKTU aflezen. Nauwkeurigheid max 0.5 dB. Optimaliseren niet goed mogelijk.

Met een speciale VNA, bijv de PNA-X van Keysight.

PNA-X

Dit is een geavanceerde vector network analyzer die geen aparte ruisbron nodig heeft. De 4 S-parameters van de DUT worden nauwkeurig gemeten. Simpel gezegd: het ruisgetal wordt bepaald door het totale (ruis) uitgangsvermogen te meten en daarvan de ruisbijdrage van de uitgangsimpedantie (50 ohm)van de vna af te trekken. De rest is dan afkomstig van de DUT. Dit vereist een uiterst stabiel en nauwkeurig gecalibreerd meetsysteem. ($$$$)

Nog even een plaatje van een N9020A MXA/HP346A: DUT: QPL9547 lna

Voorbeeld berekening cascade

	NF(dB)	Gain(dB)
Stage 1	0.3	20
Stage 2	8	10

Calculate | Reset

Result

Total NF

0.5

5. Nauwkeurigheid en de oorzaak van meetfouten

- Nauwkeurigheid van de ENR-tabel (+/- 0.1 dB at best)

  Zie UKW-Berichte voor kalibratie van ruisbronnen
- Nauwkeurigheid meetinstrument (idem, PNA-X is beter)
- Externe stoorbronnen (GSM/WiFi)
- Diverse connecties, adapters e.d.
- Tweede trap correctie
- Incorrecte T_{ref} of T_0 , maar ook T_{amb} en opwarmverschijnselen, drift
- Operator fouten……

HP geeft in een publikatie een ondergrens van 0.2 dB aan.

Noise Figure en Gain meting bij een WYDZ en een KUHNE versterker op 1300MHz

HP 8970A / HP 8970B - Eaton 7618E ruisbron - Inmet 18AH-10 dB 18GHz verzwakker						
WYDZ MMIC versterker				KUHNE GaAs FET versterker		
HP 8970**A**	Gain	Noise Figure		HP 8970**A**	Gain	Noise Figure
15 dB ENR	21,48	0,52		15 dB ENR	35,97	**0,22**
5 dB ENR	21,48	0,52		5 dB ENR	36,05	**0,48**
HP 8970**B**	Gain	Noise Figure		HP 8970**B**	Gain	Noise Figure
15 dB ENR	21,49	0,51		15 dB ENR	35,93	**0,23**
5 dB ENR	21,49	0,51		5 dB ENR	36,07	**0,52**

MMIC = Monolithic Microwave Integrated Circuit

GaAs FET = Gallium Arsenide Field-Effect Transistor

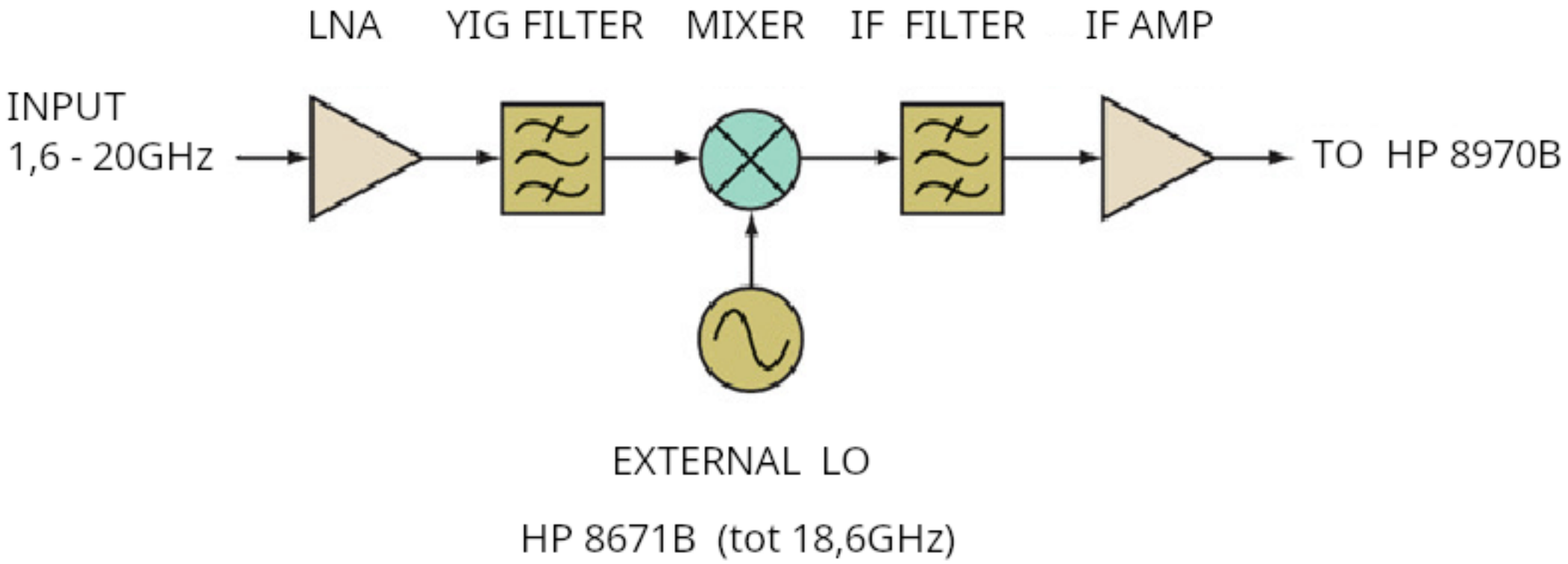
KUHNE GaAs FET versterker	
HP 8970**A**	Noise Figure
15 dB ENR	**0,22**
5 dB ENR	**0,48**
HP 8970**B**	Noise Figure
15 dB ENR	**0,23**
5 dB ENR	**0,52**

6. Het ruismeten op frequenties hoger dan 1600/2047 MHz

- Down-converter nodig
- HP 8971B/C – 18/26.5GHz
- Blokschema bouwplan

HP 8917B Noise Figure Test Set

Blokschema HP8971B/C



Literatuur (bij wijze van inleiding….)

Application Note HP 57-1 en 57-2 (“must read”)

“Agilent Technologies Noise Figure Selection Guide, 1958-2008”, 5989-8056EN

“Noise figure measurement - A reality check” , GM4ZNX and GM3SEK, EME Conference 2012

“How to use a Noise Figure Meter”, Rainer Bertelsmeier, DJ9BV, Dubus 4/1990

”Ansatz zur Reduzierung des Messfehlers von Rauschzahlmessungen“, Jochen Dreier DH6SBN, UKW-Berichte 2/2024 , aanvulling daarop in UKW-Berichte 4/2024 , Harke Smits, PA0HRK

“Kalibrierung von ENR-Rauschquellen“, Heinz Schmiedel. DJ5FN, UKW-Berichte 3/2023 (Teil 1) und 4/2023 (Teil 2)

Dick en Harke verdwijnen nu in de ruis

Timo komt uit de ruis!!!

7. Werkwijze ruisgetal meten met de spectrumanalyzer