

METINGEN MET DE NANOVNA

Deel 2: Meting van (hoge) impedanties

Door Arie Kleingeld PA3A



Inleiding.

Er worden veel discussies gevoerd over mantelstroom-smoorspoelen (ook wel common mode choke genoemd). Als het goed is zouden ze een hoge impedantie moeten hebben (5 kohm of meer). In dit artikel test ik of je dergelijke hoge impedanties voldoende goed kunt meten met de nanoVNA. Ik kan alvast verklappen dat die zijn mannetje staat. In aflevering 3 gaan we dan verschillende chokes uit de praktijk meten zodat je je eigen chokes met de nanoVNA kunt testen. Maar nu eerst een beschrijving van de meetmethode die kan worden gebruikt en de uitkomsten van de testmetingen.

Korte toelichting op het meten met de nanoVNA

De nanoVNA meet S11 en S21

S11: S11 is een maat voor de reflectie vanuit poort 1 terug naar poort 1. Vandaar de naam S11. Dit wordt ook wel de reflectiecoëfficiënt genoemd. Hiermee berekenen we bijvoorbeeld de ons bekende SWR of de andere (meer sexy) uitdrukking van reflectie, de 'return loss' in dB. Binnen het domein van de S11 kun je ook berekenen welke impedantie aan de meetpoort CH0 van de nanoVNA hangt. Dit wordt uitgedrukt in $R+jX$ dus weerstand plus reactantie. Het programma nanoSAVER heeft dat en zet dat dan in een goed leesbare grafiek.

S21: S21 geeft aan hoeveel signaal er overkomt in poort 2 (CH1) vanuit poort 1 (CH0), vandaar de naam S21. Hiermee kunnen we b.v. de doorlaatkarakteristiek van een filter meten. Niet alleen het wordt van het doorgelaten signaal amplitude gemeten en wordt daarmee de demping in dB bepaald, maar ook de fase zodat capacitief of inductief gedrag zichtbaar wordt.

Metingen exporteren in een file

NanoSAVER kan de meetwaarden van een sweep exporteren in een file zodat je ze kunt bewaren of importeren in een ander programma. Dit zijn de S1P file voor 1 poort (in ons geval waarden van S11) en de S2P file voor 2 poorten (in ons geval voor de waarden van o.a. S21). We gaan de S2P export verderop daadwerkelijk gebruiken en verwerken met Excel.

Het file-format is dat nanoSAVER gebruikt is vastgelegd en bevat een aantal kolommen als volgt:

S1P- file (3 kol): Stim(ulus) Re(S11) Im(S11)

S2P- file (9 kol): Stim(ulus) Re(S11) Im(S11) Re(S21) Im(S21) Re(S12) Im(S12) Re(S22) Im(S22)

Stimulus is de frequentie die wordt gebruikt en verder zien we de verschillende overdrachten. Hierbij is er iedere keer een opsplitsing in 'Re' en 'Im'. Hierbij staat 'Re' weer voor het reële deel en 'Im' voor het imaginaire deel zodat we niet alleen de amplitude van de gemeten signalen weten, maar ook de hoek verdraaiing. De nanoVNA meet niet S12 en S22, omdat daarvoor een signaalbron in poort 2

(CH1) moet zitten en dat is niet het geval. NanoSAVER zal daarom in de S2P-file op die plaatsen een nul exporteren. Geïmporteerd in Excel ziet het er als volgt uit:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	#	Hz	S	RI	R	50			
2	500000	0,317827	-5,33E-05	0,680673	-0,00019	0	0	0	0
3	795000	0,317765	0,000451	0,680574	-0,0002	0	0	0	0
4	1090000	0,317748	0,000244	0,680465	-0,00021	0	0	0	0

Let op: de eerste regel geeft niet de kopnamen van de kolommen maar vertelt iets over de file:

- Hz: frequentie is uitgedrukt in Hz
- S: het gaat hier om S-parameters
- RI: file staat in $\text{Re}(S_{xx})$ $\text{Im}(S_{xx})$ format dus gesplitst in reëel en imaginair deel
- 50: karakteristieke (meet)impedantie is 50 ohm.

Voor de getallen eronder is het al eerder genoemde format geldig:

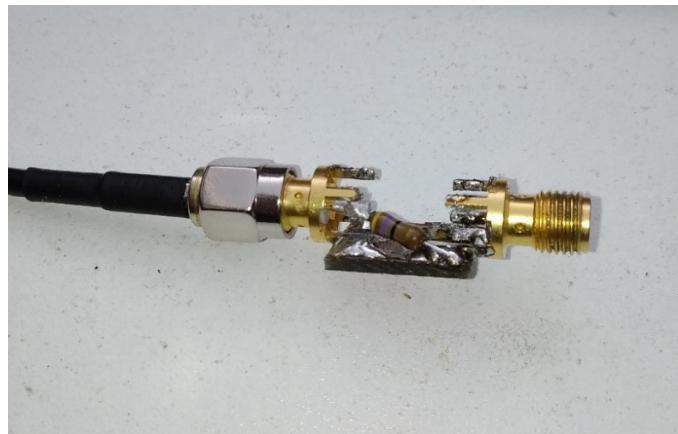
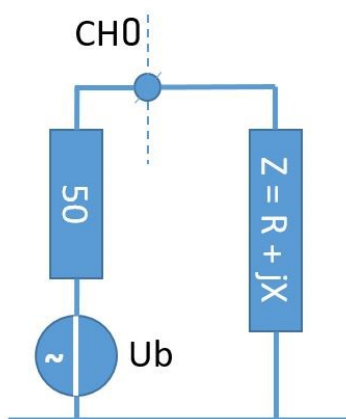
frequentie (Hz), $\text{Re}(S_{11})$, $\text{Im}(S_{11})$, $\text{Re}(S_{21})$, $\text{Im}(S_{21})$ en de al eerder genoemde vier nullen, immers S12 en S22 worden niet gemeten.

Sommige programma's genereren de totale waarde van S_{xx} , uitgedrukt als $|S_{xx}|$, plus de hoekverdraaiing in radialen of graden die daar bij hoort. Dit kan voor verwarring zorgen als je iets met deze file wilt doen. Dus gebruik je een ander programma dan nanoSAVER om de waarden te exporteren, let dan even op wat er in de file staat.

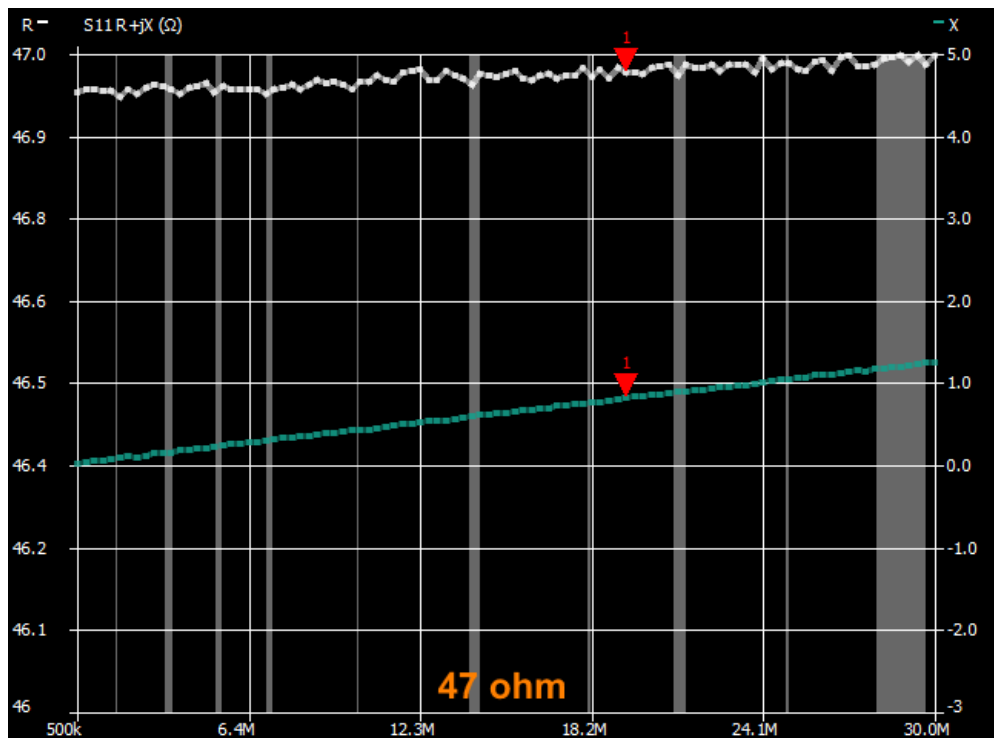
Meet de waarde van een aantal weerstanden m.b.v. S11

Om de performance van de nanoVNA te testen gaan we 4 weerstanden bemeten: 47, 470, 4700 en 10.000 ohm over een range van 500 kHz tot 30 MHz. Als we eenmaal doorhebben hoe de nanoVNA presteert (of faalt), dan kunnen we later de metingen aan een HF mantelstroom-smoorspoel op waarde schatten. Het is de bedoeling om praktisch te meten. Meten is hier dus niet het doel, het is slechts een middel om ergens achter te komen.

Alle onderstaande metingen zijn gedaan met nanoVNA type H3.2 gekoppeld aan het programma nanoSAVER. De aangesloten weerstand in onderstaand schema heeft impedantie Z , bestaande uit $R+jX$.

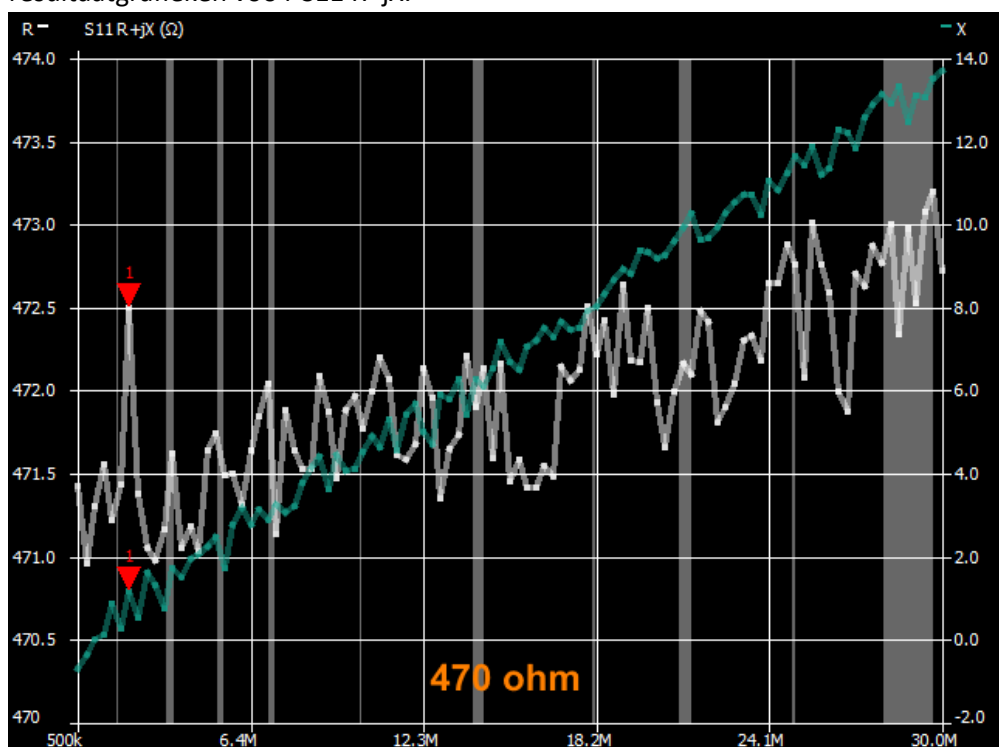


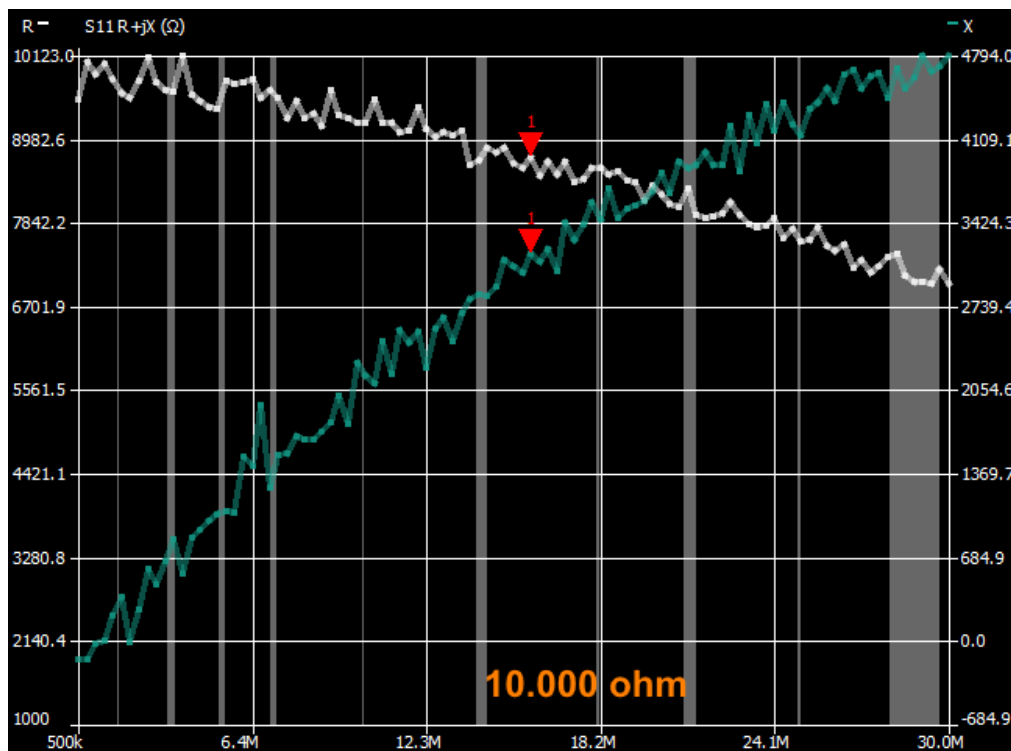
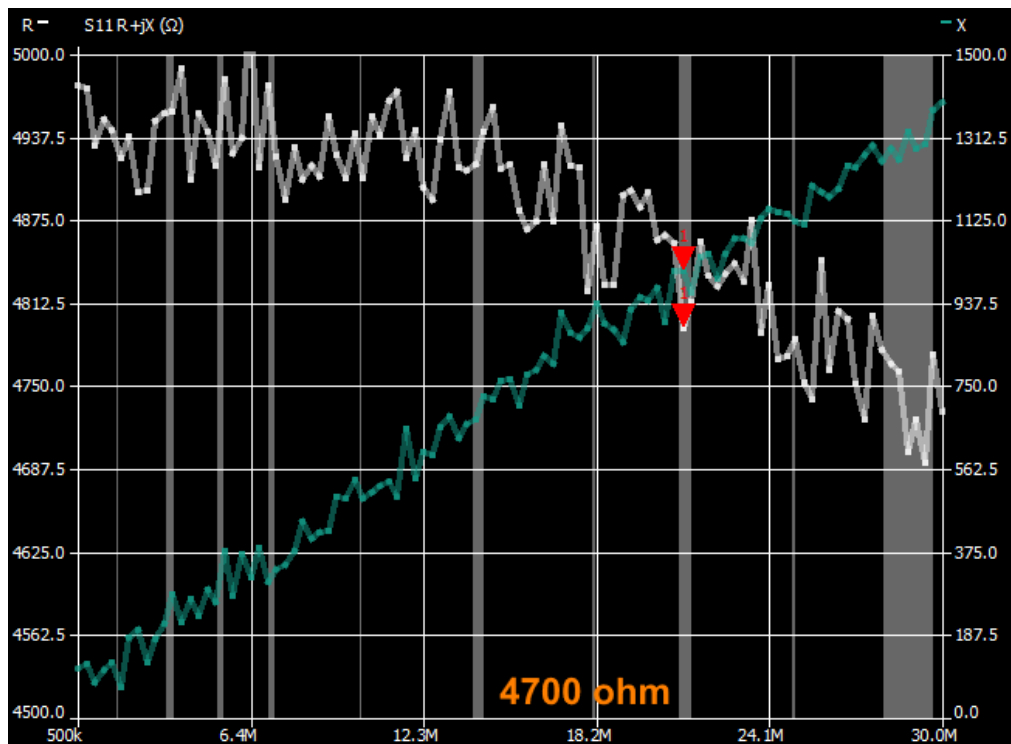
Als eerste wordt een 47 ohm weerstand aangesloten op CHO en wordt de S11 gemeten.



NanoSAVER rapporteert vanuit de nanoVNA o.a. een S11-grafiek voor R+jX. We zien dat de weerstandswaarde bijna 47 ohm is (witte lijn, linker schaal) en ook wat inductieve reactantie heeft (de groene lijn met de rechterschaal). We zien dat de X bijna lineair oploopt tot ongeveer 1 ohm en da's niet veel. Dit komt overeen met een spoelwaarde van ongeveer 5 nH. Dit ligt wel in de lijn der verwachtingen als je ziet hoe het wordt gemeten. Een kleine lusje in de signaalweg zit er wel in (zie foto).

Op deze manier zijn ook de andere weerstanden 470, 4k7 en 10k gemeten met de volgende resultaatgrafieken voor S11 R+jX.





Overzicht meetwaarden m.b.v. S11, afgelezen uit de grafieken.

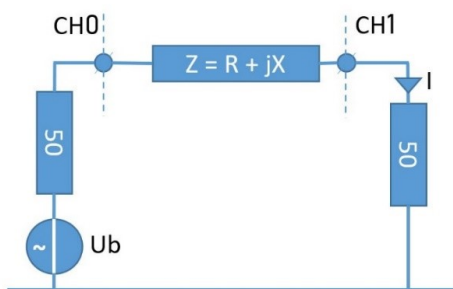
Weerstand	S11 rapport R + jX (zie bovenstaande grafieken)		Serie L-waarde
47 ohm	R: 47	X: 0 – 1	5 nH
470 ohm	R: 470	X: 0 - 14	70 nH
4700 ohm	R: 4k9 – 4k7	X: 0 – 1k4	8 μH
10.000 ohm	R: 10k – 7k	X: 0 – 5k	ca. 30 μH

Constatering: 47 en 470 ohm worden goed gemeten. Voor 4k7 en 10k zien we wat afwijkingen en onverwacht hoge zelfinductie waarden. De meting van hoge weerstandswaarden blijkt ook erg gevoelig. Van invloed zijn o.a. recente kalibratie van de nanoVNA, opwarming van de nanoVNA en wordt een connector goed genoeg aangedraaid of niet. Let op, we zijn in een ham-shack dus we doen 'best-effort' hier.

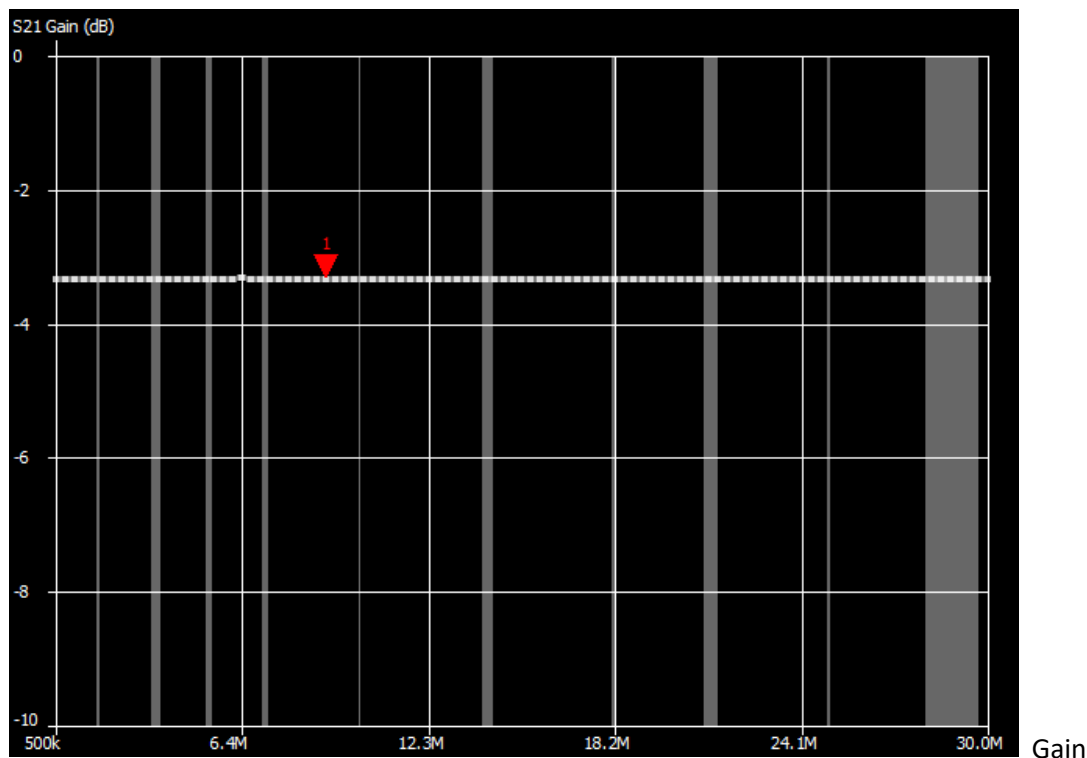
Samengevat: 47 ohm en 470 ohm meten is geen probleem, maar komen we in de kohms terecht, dan geeft de combinatie nano(VNA + SAVER) een minder betrouwbare meting via S11 $R+jX$.

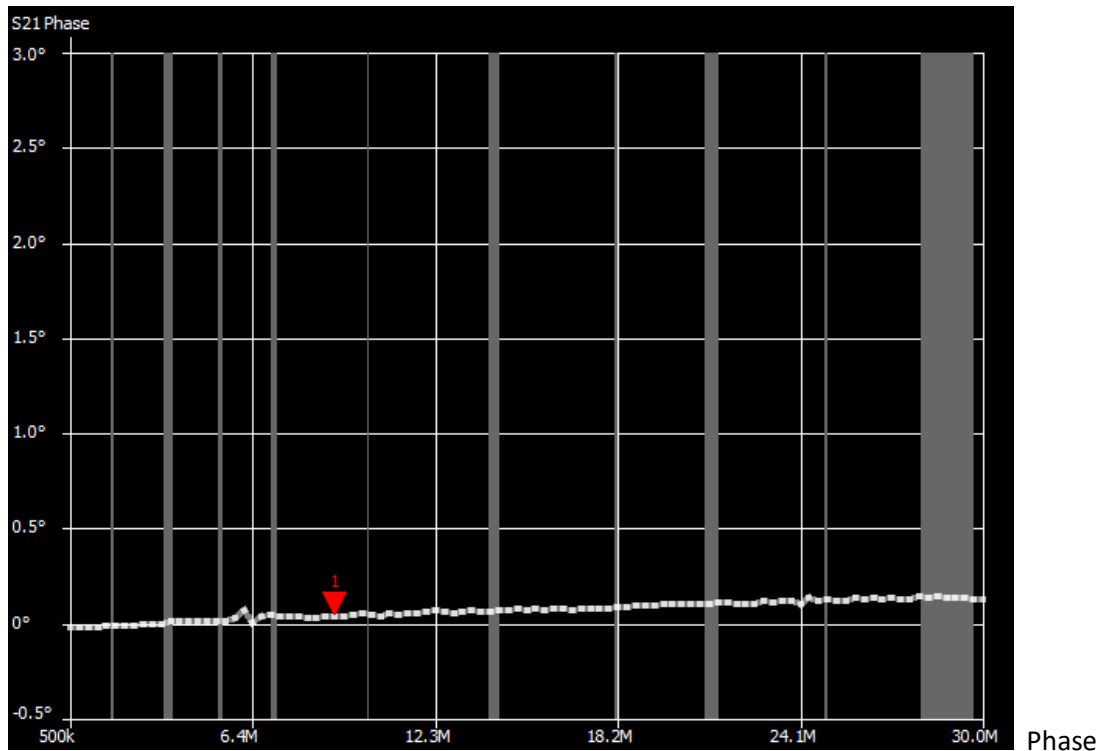
Meet opnieuw deze weerstanden op basis van de S21

We gaan nu kijken hoe goed de meting van de weerstanden verloopt door ze tussen de twee nanoVNA poorten te hangen. Dit is op zich geen onbekende methode. G3TXQ schreef hier al eens over (zie referentie) waarbij hij een aantal chokes met verschillende kernmaterialen test. Hij gebruikt echter een financieel meer kostbare VNA.



We beginnen met 47 ohm en zien in nanoSAVER de volgende grafieken: S21 Gain en S21 Phase.



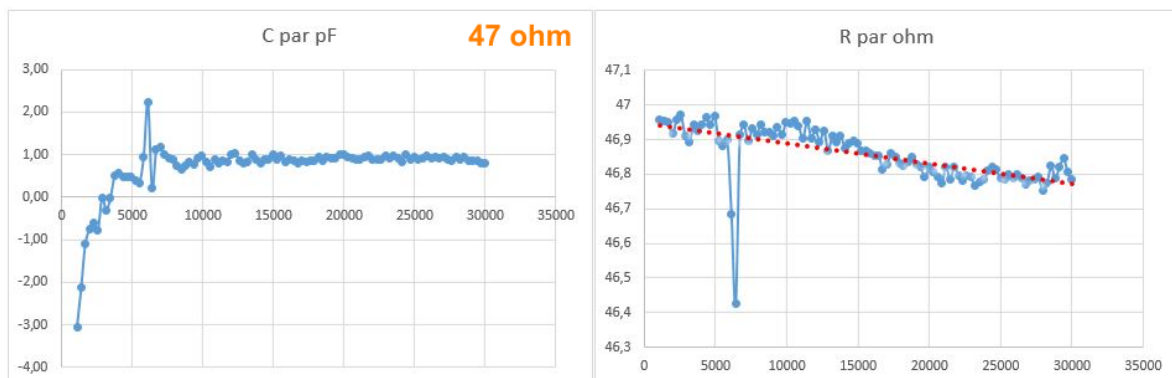


Er blijkt een constante en verwachte demping van 3,3 dB (berekening zie kader 1) en een lichte toenemende hoekverdraaiing positief die duidt op licht capacitief gedrag dat toeneemt met de frequentie. Dit betekent dat er een (parasitaire) condensator parallel aan de weerstand moet staan. We zien dat bij de andere drie weerstanden ook, de te verwachten demping (b.v. 40dB bij de 10k weerstand) met toenemende fasehoek.

Jammer genoeg heeft nanoSAVER niet een algoritme dat de S21 waarden ook omzet naar een parallelschakeling van R_p en jX_p , en ook niet naar een serieschakeling van R_s en jX_s .

De oplossing is een handmatige omrekening van de S21 waarden uit de S2P file. De formules van het eerder aangehaalde artikel van G3TXQ werken niet met de nanoSAVER export dus zijn nieuwe formules afgeleid. Zo staat in kader 2 de uitkomst voor omrekening van S21 naar serieschakeling $R_s + jX_s$. In kader 3 vind je de omzetting van serie-waarden R_s en X_s naar parallel-waarden R_p en X_p . De afleiding ervan kun je krijgen als je me mailt, het is echter alleen een handgeschreven A4'tje.

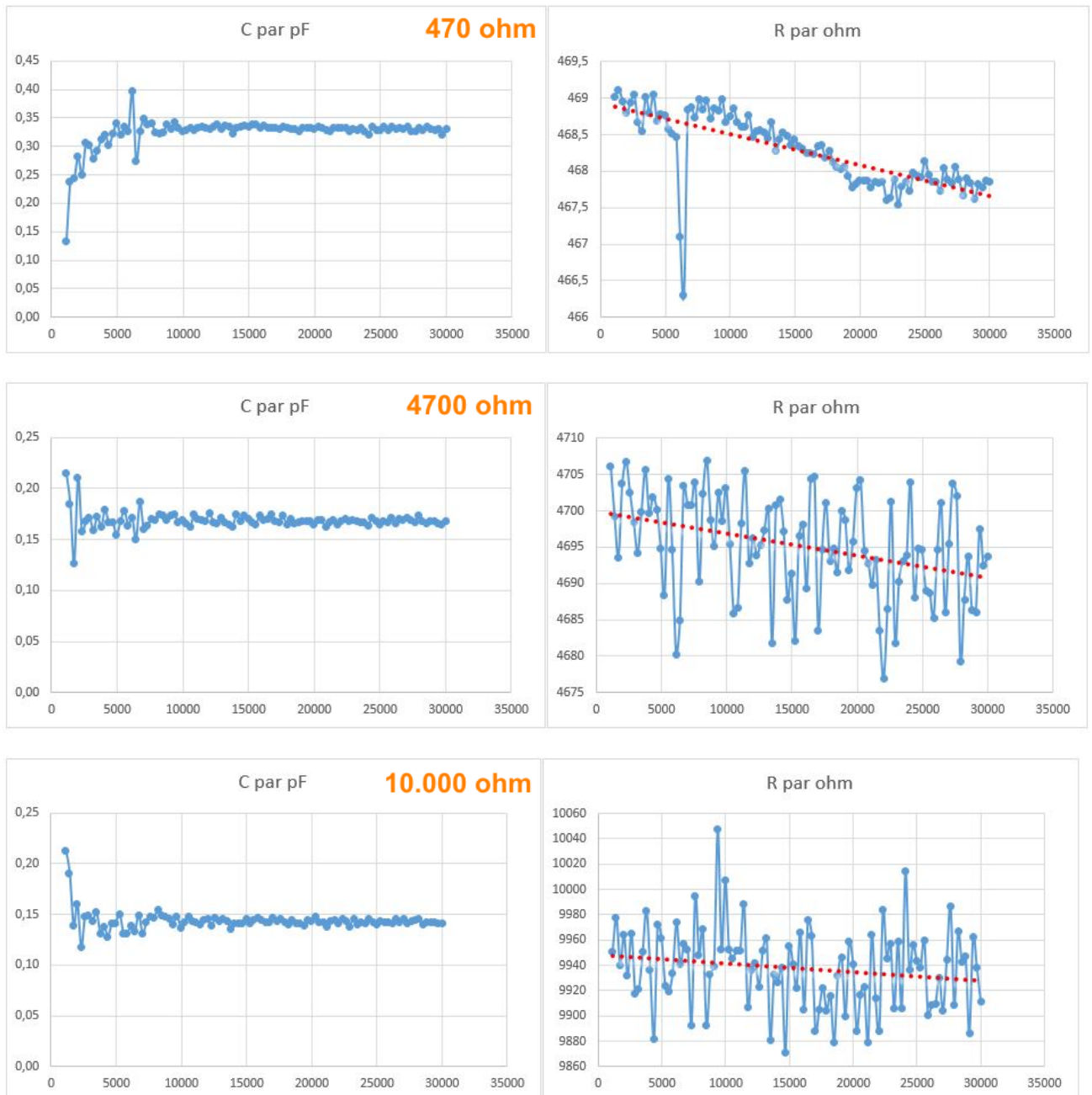
Het omrekenen van de S21 file voor de meting van 47 ohm levert het volgende plaatje (X_p is al omgezet naar capaciteit in pF):



Opvallend zijn een paar punten:

Rond 6 MHz zitten een paar afwijkende waarden. Dit is een kleine glitch in de nanoVNA. Bij een lage frequentie is de capaciteit negatief. Dit duidt erop dat er nog wat inductiviteit wordt gezien voordat de parallel C de overhand krijgt in de stroom. Voor het grote plaatje maakt het niet zo uit. Eigenlijk kun je die 47 ohm sneller met de S11 R+jX meten.

Voor het setje weerstanden van 470, 4k7 en 10k zetten we de demping meteen om naar R_p en jX_p met de omrekening van jX_p naar een capaciteitswaarde. Al met al krijgen we een heel ander beeld met de S21 meting, vergeleken met de eerdere S11 meting.



Overzicht meetwaarden m.b.v. S21, afgelezen uit de bovenstaande grafieken.

Weerstand	S21 rapport $\rightarrow R_p + jX_p$	Uit X_p : C-waarde
47 ohm	$R_p: 46,9 \pm 0,1$	1 pF
470 ohm	$R_p: 468 \pm 1$	0,33 pF
4700 ohm	$R_p: 4,69 \text{ k} \pm 0,01 \text{ k}$	0,17 pF
10.000 ohm	$R_p: 9,94 \text{ k} \pm 0,05 \text{ k}$	0,14 pF

Dit zijn eigenlijk ongelooflijk goede en stabiele uitkomsten. Als je in ogenschouw neemt dat de nanoVNA 3.2 niet precies een 50 ohm ingangsweerstand heeft op CH1. Blijkbaar doet de kalibratie het goed en PA3A heeft misschien ook wel geluk met zijn metingen

Conclusie: Met behulp van de nanoVNA en wat rekenwerk kun je weerstanden met vrij hoge waarden goed meten via de S21 methode. Een eenduidige kalibratie is wel een vereiste.

In deel 3 van deze reeks gaan we Common Mode Chokes (mantelstroom smoorspoelen) meten uit de praktijk. De verwachting is dat met de S21 dempingsmeting, gebruik makend van omzetting naar $R_s + jX_s$, betrouwbare resultaten kunnen worden bereikt. We gaan het zien in een volgend DARU magazine.

Kader 1.

De 3,3 dB hadden we kunnen voorspellen. Bij een kortsluiting tussen de poorten is de stroom (zie schema):

$$I_0 = \frac{U_b}{100}$$

Met de weerstand van 47 ohm erbij is:

$$I_{47} = \frac{U_b}{147}$$

De verhouding van de stromen is dan

$$\frac{I_{47}}{I_0} = \frac{100}{147}$$

Daarmee is de gain:

$$Gain = 20 * \log\left(\frac{100}{147}\right) = -3,3 \text{ dB}$$

73,

Arie Kleingeld PA3A

Kader 2

Omrekenen S21 (damping D) naar $R_s + jX_s$

$$Re(S21) = D_r \text{ en } Im(S21) = D_i$$

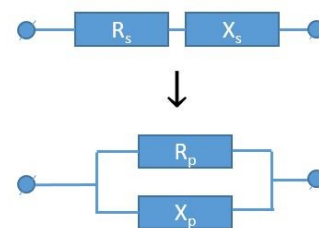
$$R_s = \frac{100 (D_r - (D_i^2 + D_r^2))}{D_i^2 + D_r^2}$$

$$X_s = \frac{-100 D_i}{D_r^2 + D_i^2}$$

In Excel zijn deze formules prima te gebruiken.

Kader 3

Omrekenen van serieschakeling van R_s en X_s naar een parallelschakeling bestaande uit R_p en X_p .



$$R_p = \frac{X_s^2}{R_s} + R_s$$

$$X_p = \frac{R_s^2}{X_s} + X_s$$

Referentie: Amateur Radio (G3TXQ) - Common-mode chokes:

<http://www.karinya.net/g3txq/chokes/#measurement>