

# Filterkurver i EXCEL med SWR- og mikroWatt-meter

Af OZ6YM, Palle A. Andersen

Hvis du har fulgt artiklen i OZ-april 2016, hvori jeg beskrev et instrument til måling af dBm, mW, dBuV og RMS mV i 50 Ohm, ved hjælp af en Arduino UNO R3, samt min beskrivelse af Antenne Returnloss/SWR-måler i OZ-juni 2016, og måske endda har bygget disse, så er du godt på vej til at kunne plotte meget præcise målekurver for lavpas-, højpas- og båndpasfiltre, og til en vis grad også krystalfiltere, med blot et fornuftigt kendskab til regnearket EXCEL, foruden al det andet disse 2 instrumenter kan måle.

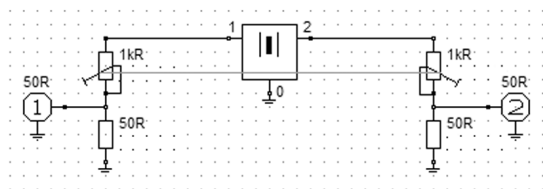
M.h.t. krystalfiltere vil der dog være en begrænsning, bestemt af den maximale signalstyrke fra SWR-måleren, som ligger tæt på 0 dBm, med den anvendte DDS-60, sammen med uWatt-meterets følsomhed begrænset til -70 -74 dBm. Havde SWR-meteret kunne levere 20 - 25 dB mere signal, kunne vi have lavet en fuldstændig kopi af billedet fra DG8SAQ's VNWA... eller så godt som. Alligevel vi du af disse beskrevne eksempler kunne finde fin overensstemmelse mellem sweepet fra en VNWA, og plottet i EXCEL-regnearket af data, læst fra uWatt-meteret, og sendt gennem filteret fra SWR-måleren.

## Begrænsningen først

Et krystalfilter kunne f. eks. være et ITT type 931 AM, som er et AM-filter med 6 kHz båndbredde, og efter sigende bedre end 90 dB dæmpning i stopbåndene, hvoraf vi dog kun kan se ca. 70 dB i vores plottede måling.

## Først skal krystalfilterets impedans findes

Hvis man ikke kender krystalfilterets ind/udgangs impedans, er det ret simpelt at finde disse. Se figur 1.

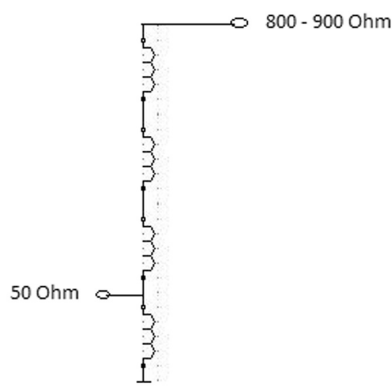


Figur 1. Opstilling til tilpasning af filter

Ved hjælp af et par potentiometre gerne på samme aksel og et par modstande, hvor SWR-meteret tilsluttes port 1, og uWatt-meteret tilsluttes port 2, justeres potentiometrene indtil man opnår mindst muligt indsætningstab på kry-

stalfilterets centerfrekvens. Det kan godt ligge på 20 dB eller mere. Da filterimpedansen kan være ganske høj kan det være at potentiometrene må ændres, f. eks. til 4,7 kOhm. Med et Ohmmeter måles modstanden over det ene sæt modstande efter, at man har fjernet filteret, og resultatet er en ca-impedans. Målingen behøver ikke være meget nøjagtigt. Jeg målte noget der lignede 940 Ohm på ovenstående krystalfilter.

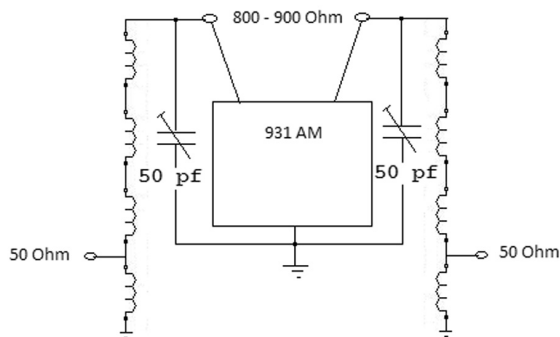
4-filar toroid type: 4C65, 9 turns



Figur 2. Principdiagram af toriod-transformatorerne

Nu kan man lave tilpasning på flere måder, og jeg har valgt at tilpasse ved hjælp af et par små toroid ringkerner af typen 4C65. Omsætningsforholdet 50 til 900 Ohm udregnes med formel 1. Det kan laves med en lommeregner, og et omsætningsforhold på 1:4 er rigeligt nøjagtigt.

4-filar toroid type: 4C65, 9 turns



Figur 3. Transformatorer og kondensatorer rundt om filtret

Dette opnåede jeg i praksis ved at tage 4 tråde, som blev snoet godt sammen med en boremaskine. Trådene blev viklet på Toroiden med 9 vindinger, hvorefter de blev serieforbundet om vist på figur 2.

Spolerne blev monteret på krystalfilteret som erstatning af modstandene, én på hver side, og der blev tilføjet et par trimmekondensatorer på 50 pF, som vist på figur 3 og foto 1.

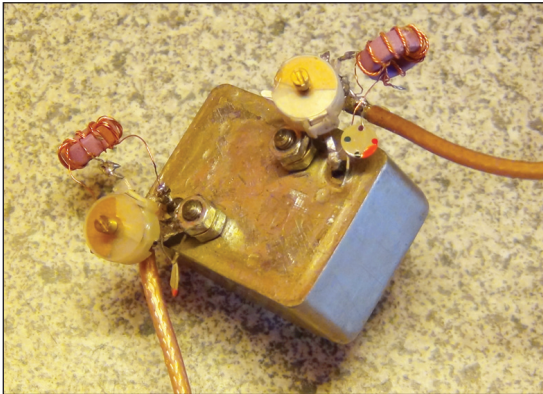


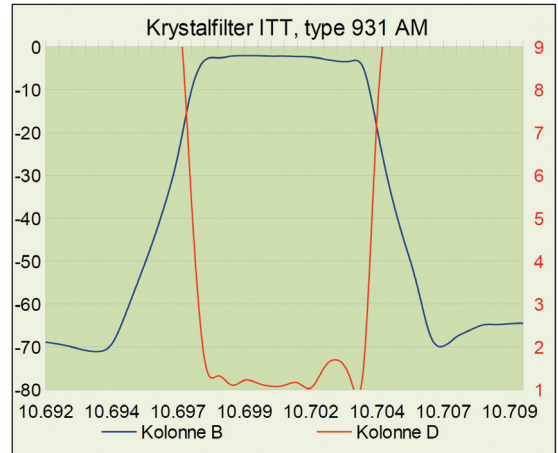
Foto 1. Billede af opstillingen fra figur 1 og 3

Med tilsluttet SWR-måler til den ene 50 Ohm terminal, og uWatt-meteret til den anden, se foto 2, er det nu muligt, ved hjælp af trimmerne, at fjerne de værste buler på toppen af filterkurven, så det svarer meget til det man vil se efter en



Foto 2. Måleopstillingen med krystalfilteret

måling med en rigtig netværksanalytator, f.eks. en VNWA. I den viste opstilling måles data og indskrives i EXCEL, hvor man kan lave en kurve som vist på figur 4. Lodret i venstre side ses indsætningstab og dæmpningen i dB gående oppefra 0 og ned til -80 dB. I højre side ses SWR-skalaen, gående fra 1:1 nederst og til 1:9. Vandret er vist frekvensskalaen med krystalfilterets centerfrekvens i midten.



Figur 4. Krystalfilterets gennemgangskurve og det VSWR.

Billedet viser en lille smule "overhøring", (signal der går tilbage fra output til input), som ses ved en stigende tendens i siderne af de blå flanker, men også ses på SWR-kurven med det større udslag i højre side af kurven. Denne overhøring kan fjernes med en bedre afskærmning mellem ind og udgang, men er i denne demonstration overflødig, da vi alligevel ikke kan se længere ned end -70 dB.

Start med at kalibrere dit måleområde, d.v.s. kend dit udgangspunkt ved, at notere hvor meget signal du har ud af SWR-måleren omkring filterfrekvensen, og ved, at tilkoble SWR-måleret direkte til uWatt-meteret. Effekten bør ikke svinge overhovedet i det smalle område for et krystalfilter, og hos mig viste uWatt-meteret -2,88 dBm på samtlige målte frekvenser fra 10.691 til 10.709 MHz.

Denne afvigelse skal fratrækkes hver enkelt måling for, at dB-skalaen skal passe med filtertabet, så vi ender med at se de godt -2,1 dB indsætningstab, som fremgår af grafikken og data. Dette svarer til den kalibrering man altid skal fortage, hvis man arbejder med en netværksanalytator, og er en enkel øvelse i EXCEL, som jeg vil tro du selv kan finde ud af.

I figur 5 er vist den tabel der ligger til grund for figur 4.

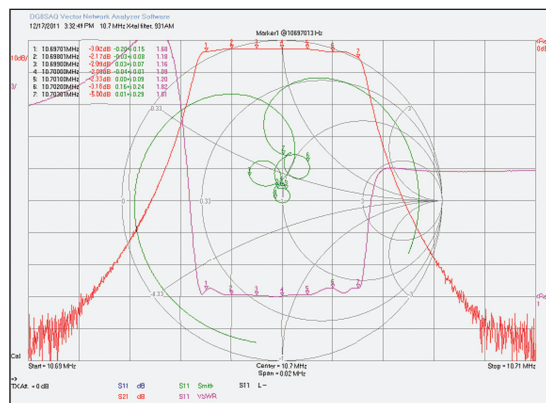
Frekvens	Filter	SWR
10.691,000	-68,91	10
10.691,500	-69,39	10
10.692,000	-70,06	10
10.692,500	-70,82	10
10.693,000	-71,11	10
10.693,500	-69,29	10
10.694,000	-62,58	10
10.694,500	-54,53	10
10.695,000	-46,19	10
10.695,500	-36,71	10
10.696,000	-25,01	10
10.696,500	-10,16	5,4
10.697,000	-3,16	1,68
10.697,500	-2,59	1,32
10.698,000	-2,21	1,11
10.698,500	-2,11	1,22
10.699,000	-2,11	1,15
10.699,500	-2,21	1,08
10.700,000	-2,21	1,1
10.700,500	-2,3	1,16
10.701,000	-2,4	1,04
10.701,500	-2,88	1,51
10.702,000	-3,36	1,69
10.702,500	-3,36	1,24
10.703,000	-5,27	1,61
10.703,500	-19,17	7,4
10.704,000	-33,64	10
10.704,500	-44,95	10
10.705,000	-55,49	10
10.705,500	-67,28	10
10.706,000	-69,86	10
10.706,500	-67,66	10
10.707,000	-66,13	10
10.707,500	-64,88	10
10.708,000	-64,79	10
10.708,500	-64,59	10
10.709,000	-64,5	10

Figur 5. Tabellen der ligger til grund for figur 4

Tabellen er lavet ved at notere startfrekvens, og så tillægge 500 til tallet nedefter i næste række. Filtertabellen er først noteret for alle frekvenserne, hvorefter jeg fratrag 2,88 i en anden kolonne. SWR er taget direkte fra SWR-meteret. Tabellen er simpelt lavet ved at notere startfrekvens, og så tillægge 500 til tallet nedefter i næste række. Først er alle rekvenserne noteret, hvorefter jeg fratrag 2,88 i en anden kolonne.

SWR er taget direkte fra SWR-meteret. Da SWR-måleren kun viser SWR bedre end 1:10, har jeg blot noteret SWR højere end 10, da det er irrelevant.

Jeg valgte at måle for hver 500 Hz, men da SWR-måleren er fuld variabel, kan man selv vælge hvor tæt målingen skal være. Her blev det til 37 målinger, og resultatet viser et billede meget tæt på DG8SAQ's VNWA, med en forskel på mindre end 0,2 dB, der hvor det ellers er svært at måle, nemlig ved indsætningstab - egentlig ret godt gået. Selve grafikken er altså udført i EXCEL, men da denne artikel IKKE er en instruktion i brugen af EXCEL, må du selv i gang med, at øve dig i at omsætte data til et kurveforløb. Det er nu ikke så svært.



Figur 6. Krystalfiltret målt med en DG8SAQ VNWA

Figur 6 viser til sammenligning den samme filterkurve målt med en DG8SAQ VNWA. Der er stor overensstemmelse mellem billederne. VNWA'ens dynamikområde tillader, at vi kan se kurveforløbet helt ned til støjgrænsen, tæt på 100 dB. Se bort fra Smithkort-delen og fokuser kun på den røde filterkurve samt og den pinke SWR-kurve. For at undgå "overhøring", blev en alu-plade håndholdt som afskærmning mellem input og output under målingen, som ikke viser nogen overhøring.

Vi er som nævnt begrænset af uWattmeterets måleområde, som kun går til -70 til -74 dBm, og det har sammen med output fra generatoren betydning for dynamikområdet. Dog vil resultatet alligevel kunne give et fint billede af, hvorledes filtertilpasning og indsætningstab ser ud og kan forbedres med næsten samme resultat, som hvis det var udført med en netværksanalyzer.

### Måling på et lavpasfilter

I lokalafdelingens rodekasse fandt jeg æske, se foto hvor der var påskrevet: 20 meter lavpasfil-

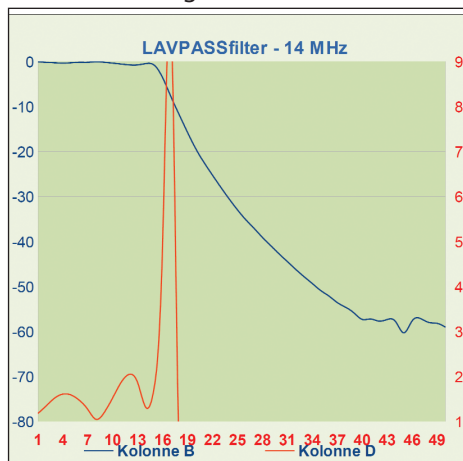
ter, 1 dB Chebychev, att. 50 dB ved 40 MHz. Det lyder jo forvidabelt og må kontrolleres. Det er nok et filter af ældre dato, da etiketten kun kunne tydes med besvær, men hvem der har lavet det og hvornår, er bekendt.



Foto 3. Det ukendte lavpasfilter

Jeg gik ud fra, at med et BNC-stik i hver ende af kassen, var filterimpedansen sikkert 50 Ohm i begge ender, og det holdt da også stik.

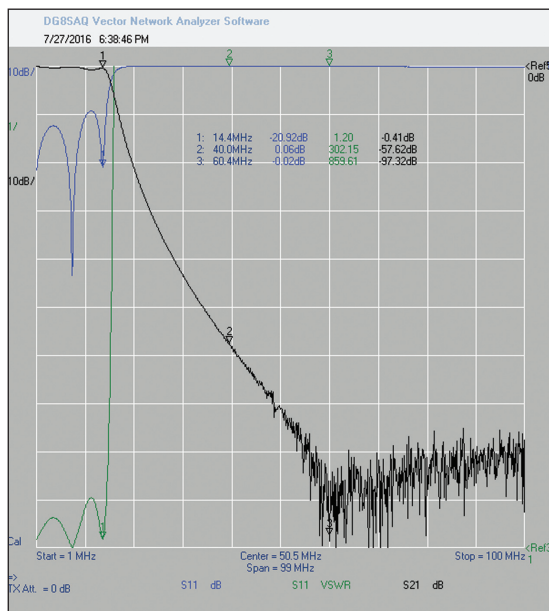
Filteret blev monteret mellem SWR-måleren og uWatt-meteret, og data blev noteret, med 1 MHz spring mellem målingerne. Jeg fandt det ikke nødvendigt at gå længere end til 50 MHz. Lav igen en tabel som figur og plot den i Excel. Så får du den fine figur 7.



Figur 7. Lavpasfilteret målt med uWattmeteret og plottet i Excel. Den røde kurve er Return Loss og den grønne er gennemgabet

Når du måler over så stort et område, er det nødvendigt også at notere output fra SWR-meteret i en tabel.

Det kan variere noget over 50 MHz, og skal, som tidligere nævnt fratrækkes målingen gennem filteret.



Figur 8. Samme filter målt med en DG8SAAQ VNWA. Den blå kurve er Return Loss og den sorte er gennemgabet

Figur 8 viser til sammenligning den samme måling med en DG8SAAQ VNWA. Begge målinger, VNWA'en og vores EXCEL-måling, viser endda, at filteret er bedre end -50 dB ved 40 MHz. Ja, faktisk kan vi her se, at det er -57,62 dB på VNWA'en, og uWatt-meteret viser -57,31 dB, en forskel på kun 0,3 dB.

Filteret holder absolut hvad det lover, og det meget lave indsætningstab, under 1 dB indtil 14,4 MHz fortæller også om, at ind- og udgangsimpedans er tæt på 50 Ohm.

### Hvad kan man så lære af al dette ?

Med hjemmebygget måleudstyr kan man ramme særdeles nøjagtige og brugbare resultater, selv om målingen tager lidt længere tid, og man lærer en masse. Desuden kan man komme ret langt for få penge i disse moderne tider. Jeg ville ønske, at det også havde været muligt da jeg startede min interesse for 50 år siden. Skulle du få lyst til at lege med DATA og filterkurver i EXCEL, kan eksempel-filen downloades med de viste data og 2 billeder, på adressen i referencelisten.

### Referencer:

OZ-april 2016. Arduino UNO R3 måler dBm, mW, dBuV og RMS mV i 50 ohm, af Palle A. Andersen, OZ6YM

OZ-juni 2016. Antenne Returnloss / SWR Måler, af Palle A. Andersen, OZ6YM

Eksempelfil kan findes her: <http://www.plan-ker.dk/OZ-artikler/oz.htm>

