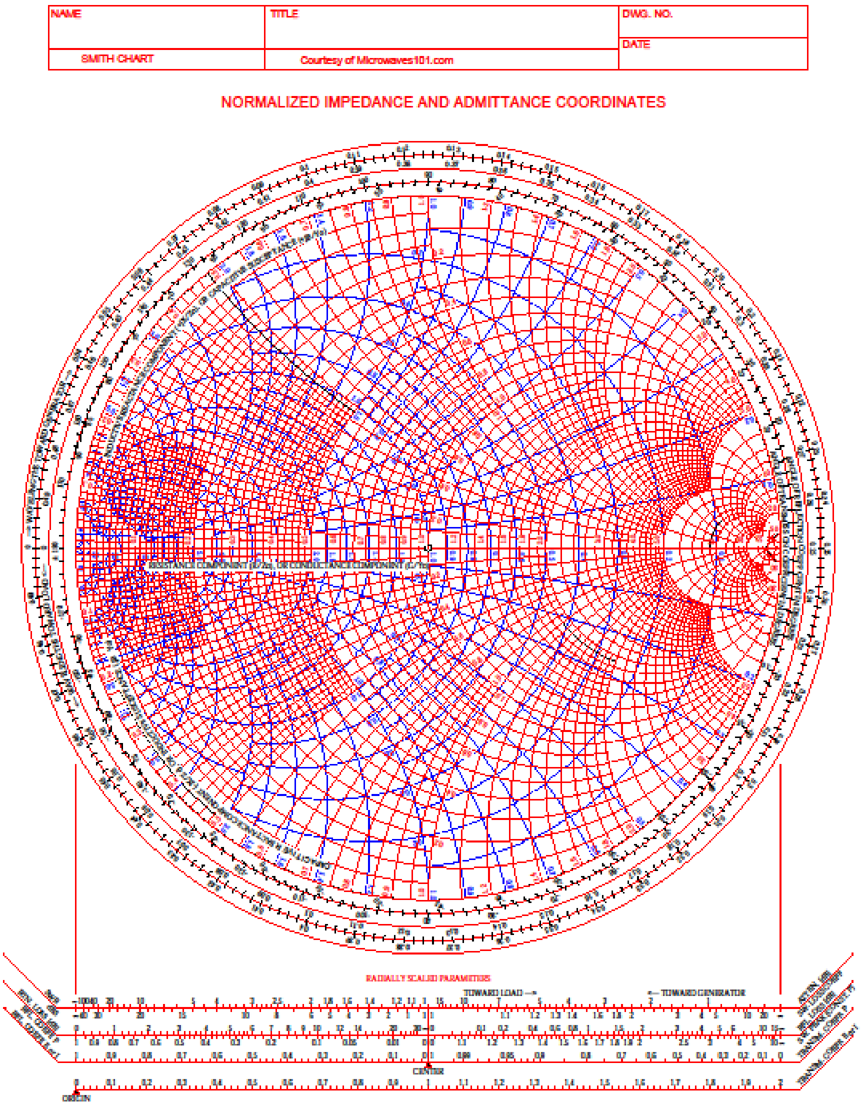
Werken met de Smithkaart: Hoofdstuk 1: complexe impedanties

Voor het ontwerpen van antennes, versterker- en versterkeraanpassingen is de Smithkaart een onmisbare hulp. De Smithkaart dankt zijn naam aan de heer Philip Smith W1ANB, SK 1987 die dit grafisch wondermiddel in de late 1930er jaren voor het eerst gebruikte in het Bell Telephone Research Lab. Voor iedere RF-ontwerper is dit een onmisbaar hulpmiddel. Deze artikelreeks is bedoeld om ook jou als radioamateur inzicht te geven in de werking hiervan.



Figuur 1: de Smithkaart is voor iedere RF-ontwerper een onmisbare hulp.

Figuur 1 toont deze Smithkaart [1]. Schrik niet als je deze kaart ziet! Niets is zo moeilijk als het lijkt! We zullen deze reeks stap voor stap opbouwen.

De eerste stap is de kennis van complexe impedanties . We maken hiervoor gebruik van het UBA-HAREC handboek. Dit boek kan bij de UBA besteld worden [2] onder ordernummer ON020N. Voor TLS-leden is dit boek ook beschikbaar in onze bibliotheek.

Onder impedantie wordt het complexe ([2, paragraaf 1.3]) verband verstaan tussen spanning (U) en stroom (I) in het frequentiedomein. U=Z.I, waar Z een complexe impedantie is. Voor een weerstand is dit verband reëel en is dus Z gelijk aan R.

In [2,paragraaf 2.1.4] van het HAREC-boek vinden we het verband tussen spanning over en stroom door een weerstand:

$$U=R.I \qquad (1)$$

beter bekend als de wet van Georg Ohm (uit Beieren) [3]. De spanning en stroom zijn steeds in fase, wat betekent dat iedere verandering in stroom ook terzelfdertijd een evenredige verandering in spanning teweegbrengt. Dit verband geldt in het tijdsdomein (als we de stroom van de tijd laten afhangen). Tijdssignalen worden bestudeerd met een oscilloscoop: horizontaal vinden we de tijd, en verticaal wordt getoond hoe dit signaal verandert als de tijd verandert. Ook in het frequentiedomein (als we kijken welke frequenties in het signaal zitten en dit signaal analyseren met een spectrumanalysator [4] geldt deze wet. Bij een spectrumanalysator vinden we horizontaal de frequenties en verticaal de amplitude die bij die frequentie hoort.

Om in het tijdsdomein een condensator te bestuderen starten we met de definitie van een Farad: dit is de ladingsverandering die nodig is om de spanning één volt te laten stijgen of

$$C=\Delta Q/\Delta u \qquad (2)$$

(zie [2], paragraaf 2.1.11), waarin C uitgedrukt wordt in Farad en Δ duidt op een verandering. ΔQ is dus de ladingsverandering in Coulomb, en Δu de spanningsverandering in Volt. Omdat 1 Coulomb overeenkomt met de ladingsverplaatsing veroorzaakt door een stroom van één Ampère gedurende één seconde ([2], paragraaf 2.1.6.3), kan bovenvermelde formule omgetoverd worden tot

$$C=i\Delta t/\Delta u \qquad (3)$$

of nog tot

$$i=C\Delta u/\Delta t \qquad (4)$$

Interpretatie van deze vergelijking is eenvoudig: We krijgen stroom door een condensator als we de spanning veranderen. Als we de spanning niet veranderen (DC), krijgen we ook geen stroom door die condensator, want Δu=0. (De condensator is dan “opgeladen”, gooi er niet mee naar anderen 😉 want er zit elektrische energie in). Als we erin willen slagen de spanningsverandering zeer snel (Δt klein) te hebben, hebben we hiervoor een grotere stroom nodig. Voor dezelfde spanningsverandering per tijdseenheid geeft een grotere capaciteit ook een grotere stroom.

Om deze formule naar het frequentiedomein te transformeren, maken we gebruik van een formule in een ander domein: in de mechanica is snelheid=afgelegde weg per tijdsverandering, of

$$s=\Delta a/\Delta t \qquad (5)$$

waarin s de snelheid is, Δa de afgelegde weg en Δt de tijd is waarin we de weg aflegden. Zonder nu snelheid te hebben, kan ik geen bijkomende weg afleggen. Dit betekent dat de snelheid voorijlt op de afstand. Als we de formules van de stroom en spanning (4) en deze van snelheid en afgelegde weg (5) naast elkaar hebben, zien we dat ze dezelfde vorm hebben. Hieruit besluiten we dat de stroom door een condensator voorijlt op zijn spanning (zie [2], paragraaf 2.2.4). Als we in het complexe vlak de spanning horizontaal tekenen, moeten we op de positieve verticale as de stroom afzetten. Hier vinden we het complex getal j. Als de stroom horizontaal getekend wordt, moet de spanning op de negatieve verticale as terechtkomen. Om Δt naar het frequentiedomein om te zetten, gebruiken we het verband tussen frequentie f en periode T ([2], paragraaf 2.2.1.2)

$$f=1/T \quad (6)$$

Dit geeft:

$$I=j2\prod fCU=j\omega CU \qquad (7)$$

waarbij de evenredigheidfactor 2∏ komt omdat we op de cirkel moeten draaien. Anders uitgedrukt:

$$U_c=I_c/j\omega C \qquad (8)$$

De complexe impedantie van een condensator is dus $1/j\omega C$.

Steunend op de inductiewet van Michael Faraday [5] verkrijgen we de spanning over een spoel:

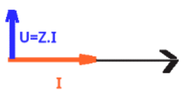
$$U_L=j\omega LI_L \qquad (9)$$

zodat de complexe impedantie van een spoel gelijk wordt aan $j\omega L$.

Eigenlijk bekomen we de vergelijkingen van een spoel door te vertrekken van de vergelijkingen van een condensator. Condensatorspanning overschrijven we met spoelstroom, en condensatorstroom vervangen we door spoelspanning.

We kunnen dus tabel 1 afleiden:

Tabel 1: Overzicht van de belangrijke eigenschappen

	Weerstand	Condensator	Spoel	Mechanica
Vergelijking in tijdsdomein	$u=Ri$	$i_c=C\Delta u/\Delta t$	$u_l=L\Delta i/\Delta t$	$s=\Delta a/\Delta t$
Vergelijking in frequentiedomein	$U=RI$	$I_c=j\omega CU_c$	$U_l=j\omega LI_l$	$S=j\omega A$
Snelheid t.o.v. afgelegde weg	-	-	-	Voorijlend
Spanning t.o.v. stroom	in fase (geen j)	Naijlend	Voorijlend	-
Stroom t.o.v. spanning	in fase (geen j)	Voorijlend	Naijlend	-
Impedantie Z	R	$1/j\omega C$	$j\omega L$	$(j\omega)$
Admittantie (Y=1/Z)	1/R (geleidbaarheid)	$j\omega C$	$1/j\omega L$	-
In het complexe vlak				-

In dit eerste hoofdstuk hebben we getracht beter inzicht te geven in de complexe wereld van tijdsdomein, frequentiedomein, voorijlen, naijlen, complexe impedantie en complexe admittantie.

Ik ben er mij van bewust dat dit geen gemakkelijke materie is. Je kan deze tekst misschien nog eens herlezen? Bovendien zal ik binnenkort in onze club ook voordrachten en demonstraties geven om deze materie nog duidelijker te maken.

In een volgend hoofdstuk zal de hierboven staande tabel 1 efficiënt gebruikt worden bij de studie van de Smitkaart.

73

ON9FV

Referenties:

[1] Microwaves101, Smith Chart, https://www.microwaves101.com/uploads/smith-chart-in-color.PDF [geopend 13 april 2023].

[2] UBA HAREC Handboek (NL) 2de Editie, ordernummer ON020N https://www.uba.be/nl/uba/uba-service-bureau. [geopend 13 april 2023].

[3] Wikipedia. Georg Ohm, https://nl.wikipedia.org/wiki/Georg_Ohm [geopend 13 april 2023].

[4] Wikipedia. Spectrumanalyzer, https://nl.wikipedia.org/wiki/Spectrumanalyzer [geopend 13 april 2023].

[5] Wikipedia. Michael Faraday, https://nl.wikipedia.org/wiki/Michael_Faraday [geopend 13 april 2023].