

# Analyse van magnetisch gekoppelde antennetuners

door Wim Kruyf PAoWV

**Jammer genoeg is niets ideaal. Bij de combinatie: zender, voedingslijn en antenne zijn bijna nooit de verschillende impedanties ideaal op elkaar afgestemd.**

**Het afstemmen met behulp van een antennetuner is bij de HF banden dan ook een gebruikelijke methode om zoveel mogelijk het ideaal te benaderen.**

**PAoWV beschrijft hoe we bij magnetische gekoppelde antennetuners het rendement kunnen bepalen met behulp van de door hem ontwikkelde computerprogramma's.**

Er bestaan tamelijk veel soorten antennetuners, de bedoeling is dat ze de antenne aan de zender aanpassen, en dat doen met zo weinig mogelijk verlies voor zoveel mogelijk antenneimpedanties.

Een en ander is lastig te meten, omdat er veel instellingen zijn, die elk weer een ander verlies kunnen vertonen. Meten van verlies is bovendien moeilijk, want je moet dan spanningen meten in verschillende impedanties (zender en antenne), de impedanties moeten zelf ook gemeten worden en de fout die je dan maakt is, wanneer je simpele middelen gebruikt, al snel groter dan het verlies, zodat menig amateur die dit probeerde tot de conclusie kwam dat zijn tuner meer afgaf dan erin ging.

Berekenen van de impedanties, die aangepast kunnen worden en het vergezellende verlies is daarom een aantrekkelijk alternatief, dat je ook in de gelegenheid stelt om diverse tuners onderling te vergelijken.

Moeilijkheden ontstaan echter bij het berekenen van tuners met magnetische koppelingen, zoals afgetakte spoelen. Dit artikel laat zien hoe de schrijver een en ander met succes heeft aangepakt met als uitgangspunt de basiskennis die een zendamateur met een A of B licentie in zijn ransel heeft.

Als voorbeeld wordt de FRI match van PAoFRI doorgerekend. Daarbij wordt geen kwaliteitsoordeel gegeven, uitsluitend rekenresultaten worden gepresenteerd.

## Typen tuners

Een simpel L netwerkje kan al een antenne aanpassen, echter bij het schakelen tussen amateurbanden zijn dan rolspoelen nodig of afgetakte spoelen met schakelaars. Dat is onaantrekkelijk en vandaar dat tuners, zoals bijvoorbeeld de Z-match en zijn elektrische broertje de FRI match,

die geen schakelaars en een vaste spoel hebben, furore hebben gemaakt.

## Berekening van aanpasbare antenneimpedanties

Als je wilt berekenen wat een antennetuner allemaal kan aanpassen, ligt het voor de hand van de regelbare condensatoren elke mogelijke stand te nemen, voor 2 stuks 500 pF condensatoren die regelbaar zijn van 20 tot 520 pF kom je dan al uit op 250000 instellingen per amateurband als je alle instellingen in stapjes van 1 pF doorloopt.

Lukt het dan om een antenneimpedantie aan te passen naar  $50 \Omega$  op de ingang, dan is het bingo en kun je dat punt noteren als aanpasbaar, op naar het volgende punt dat je wilt proberen.

Direct is duidelijk dat dit zelfs voor de computer een onbegaanbare te tijdrovende weg is.

Je kunt echter de zaak omkeren. Je sluit de zenderzijde van de tuner af met  $50 \Omega$ , zet de condensatoren in een willekeurige stand, en bepaalt met de computer door serie- en parallelschakeling van de tunertakken, wat de antenne "ziet".

De impedantie die je dan ziet, daar de geconjugeerde van, dat is de aanpasbare antenneimpedantie.

Geconjugeerd wil zeggen met tegengesteld teken van het reactieve deel van de impedantie. Dus bij  $R+jX$  is de geconjugeerde  $R-jX$ .

Maximale energieafgifte vindt plaats als de inwendige weerstand van de bron gelijk is aan de belastingsweerstand. Is de belasting reactief, dan loopt er minder stroom dus minder afgegeven vermogen en daarom moet je het reactieve deel van de belasting uitstemmen.

Dat gebeurt met een geconjugeerde impedantie, omdat dat betekent dat het reactieve deel van teken omkeert en dus als seriekring uitstemt met het reactieve deel van de antenne.

Deze methode om op de antenne in de tuner te kijken wat voor impedantie je daar ziet, levert een aanpasbaar punt per instelling van de regelorganen, en dat gaat dus ruwweg 250000 keer sneller dan de eerst genoemde methode.

Nadeel is echter dat je de verliezen niet meeneemt. Die hebben trouwens ook invloed op de aanpasbare impedantie, want de zender ziet als er verlies is in de tuner geen  $50 \Omega$  meer wanneer de antennezijde wordt afgesloten met de berekende geconjugeerde impedantie als antenne. Dat wil zeggen dat je dus een andere tunerinstelling nodig hebt om wel  $50 \Omega$  aan de zenderzijde te krijgen.

Deze methode is dus geschikt om voor verliesvrij geachte tuners te kunnen bekijken wat je er allemaal mee kunt aanpassen.

Op zichzelf heel leerzaam, je ziet dan wat allerlei tunertypen van L en Pi netwerken kunnen aanpassen. Schrikbarend weinig vaak.

## Tuners met magnetische koppeling

Tuners met magnetische koppelingen zijn niet meer te behandelen door impedanties parallel en in serie te zetten en zo na te gaan wat aanpasbaar is. Je moet dan, als de spoelen of spoeldelen onderling gekoppeld zijn, gaan rekenen met wederzijdse inducties.

## Theorie

We weten dat zelfinductie betekent dat er in een spoel een spanning wordt opgewekt die evenredig is met de snelheid van stroomverandering in de spoel. Is er een andere spoel in de buurt dan ontstaat in die tweede spoel ook een spanning die evenredig is met de stroomverandering in de eerste spoel. De evenredigheidsfactor is de wederzijdse inductie  $M$ .

Zet je twee spoelen  $L_1$  en  $L_2$  in serie en zijn ze niet gekoppeld dan is de totale zelfinductie van de serieschakeling  $L_1+L_2$ . Zijn ze wel gekoppeld dan is de zelfinductie  $L_1+L_2+2M$ . Daarin is  $M = k \cdot \sqrt{L_1 \cdot L_2}$  en  $k$  is de koppelcoëfficiënt.  $k$  is een geometrisch gegeven, welke geldt voor spoelkokers. Populair gezegd geeft  $k$  aan hoe groot deel van de veldlijnen afkomstig van de spoelkoker<sub>1</sub> door spoelkoker<sub>2</sub> heenloopt.  $k$  ligt dus tussen 0 en 1. Het aantal windingen waar je de spoelkokers mee vol wikkelt maakt voor  $k$  niet uit, wel voor  $M$ .

Er zijn al rond 1930 nauwkeurige tabellen gepubliceerd in Terman [1], die aangeven hoe groot een eenlaagsluchtspoel is als je diameter, lengte en aantal windingen opgeeft. Er zijn bij amateurs benaderingsformules in gebruik, die als je de resultaten vergelijkt met de Termantabel fouten ge-

ven die oplopen tot 30% voor lange spoelen. Als je de grootte van een paar spoelen wilt weten, dan zit je overigens wel even te prakken op een zakjapanner voor je de grootte weet, met alle risico's van tik- en rekenfouten als je gaat interpoleren tussen de tabelwaarden.

Daarom heb ik die hele tabel overgetypt in een programma, dat wanneer je de diameter, lengte en aantal windingen opgeeft, de zelfinductie levert. Dat programma draait in een DOS-box op een PC en is te vinden op mijn website: <http://pa0wv.fol.nl/fnnd.exe>.

Een spoel in een tuner waarvan de afmetingen en het aantal windingen gegeven zijn kunnen we dus berekenen. Dat is echter niet genoeg, we moeten ook de wederzijdse inductie  $M$  tussen de spoeldelen onderling weten. Die kunnen we meten en vaak ook berekenen.

### Metten van $M$ of $k$

Het meten gaat uit van de formule die we hiervoor hebben gezien:

$$L = L_1 + L_2 + M$$

Als we de stroom in  $L_2$  in dezelfde richting laten lopen als  $L_1$  is het  $+2M$  en als de stroom in  $L_2$  tegengesteld loopt aan de stroomrichting door  $L_1$  is het  $-2M$ .

Door  $L_2$  "om te polen" wijzigt  $L$  dus  $4M$ . Wijziging van  $L$  is te bepalen door er een kring van te maken en de resonantiefrequentie daarvan te meten.

Nu is het uiteraard zo dat als je een kant en klare tuner hebt met een fikse doorgewikkelde spoel dat je die niet gaat doorzagen om in het tweede spoeldeel de stroom te kunnen ompolen. Daarom kunnen we ook gebruik maken van de eenvoudige af te leiden formule dat als je de gekoppelde spoel  $L_2$  kortsluit de spoel  $L_1$  in waarde daalt met een factor  $(1 - k^2)$ . Ook die vermindering is weer via de frequentieweg te meten. Het verband tussen  $k$  en  $M$  is dat  $M = k \cdot \sqrt{L_1 \cdot L_2}$  en op die manier kom je dus ook door meten achter  $M$ .

### Berekenen van de wederzijdse inductie $M$

Het is lastig meten met kleine  $M$  en  $k$ . We kunnen  $M$  ook berekenen.

De tabel in Terman geeft de gelegenheid om in gedachten een aftakking op een spoel te zetten. Als de hele spoel  $L_{12}$  is, noemen we het deel links van de aftakking  $L_1$  en het overgebleven deel rechts van de aftakking  $L_2$ .

### Innovatief gebruik van de spoelen-tabel

Terman of het programma `fnnd.exe` leveren dan de waarde van de spoelen  $L_{12}$ ,  $L_1$  en  $L_2$ . Inderdaad blijkt  $L_{12}$  groter te zijn dan de som van  $L_1$  en  $L_2$ , en daaruit kunnen we de koppelfactor en de wederzijdse inductie berekenen tussen twee buurspoelen op een gemeenschappelijke hartlijn, omdat we weten dat  $L_{12} = L_1 + L_2 + 2M$ .

Heb je echter een tunerspoel met meerdere aftakkingen of met een koppelwikkeling dan gaat dat niet meer, je wilt dan ook de koppelfactor weten tussen spoelen die niet elkaars burens zijn.

Na nogal wat denkwerk bleek het uiteindelijk toch tamelijk eenvoudig dat ook met de Termantabel te bepalen.

Stel we willen de koppelfactor of wederzijdse inductie weten tussen twee spoelen  $L_1$  en  $L_3$  die met een gemeenschappelijke hartlijn een stuk uit elkaar liggen. We wikkelen dan in gedachten de koker tussen  $L_1$  en  $L_3$  vol met dezelfde spoed, met een spoel  $L_2$ . Met Terman of `fnnd.exe` bepaal je dan  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$ ,  $L_{12}$ ,  $L_{23}$  en  $L_{123}$ . Daarbij is  $L_{123}$  dus de hele spoel.

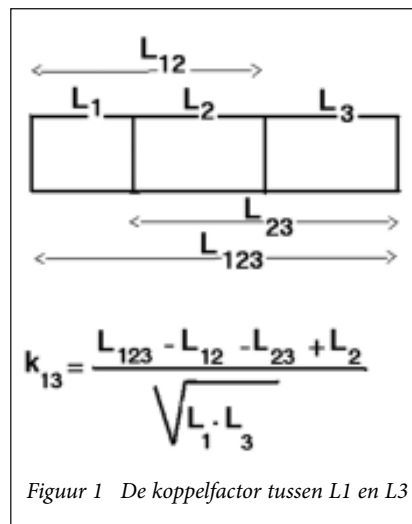
De wederzijdse inductie  $M_{13}$  tussen  $L_1$  en  $L_3$  volgt dan uit de formule die uit het denkwerk en de bijbehorende berekeningen resulteerde, zie ook figuur 1:

$$M_{13} = \frac{L_{123} - L_{12} - L_{23} + L_2}{2}$$

Het bepalen van de koppelfactor tussen twee verder van elkaar verwijderde spoelen gaat dan wel een eis stellen aan de precisie van de tabel waar deze niet meer aan voldoet, blijkens het springerige verloop van  $k$  bij het fors toenemen van de afstand der spoelen. Voor "normale" spoelafmetingen is dit echter nog geen probleem.

Ook dat berekenen van de koppelfactor tussen twee spoelkokers heb ik in de vorm van een dosbox programma beschikbaar gezet op mijn website met URL <http://pa0wv.fol.nl/kf.exe>.

Altijd nuttig, als je de spoelkokers verwikkelt met verschillend aantal windingen per cm blijft de  $k$  gelijk en kun je dus de serieschakeling van twee spoelen met verschillende spoed ook berekenen. Het programma berekent ook de  $k$  als de kokers met gelijke diameter elkaar deels of geheel overlappen. Dat zijn weer andere formules, die ik daarvoor heb afgeleid uit de beschreven basiskennis en in het programma geïmplementeerd.



Figuur 1 De koppelfactor tussen  $L_1$  en  $L_3$

### Introductie van de verliezen

Verlies wordt veroorzaakt door de verliesweerstand in de spoelen. De  $Q$  van een spoel is  $\omega L/R_s$ , dus het reactieve deel gedeeld door de serie-weerstand. Het reële deel van de spoel is dus het reactieve deel gedeeld door  $Q$ .

Werk je echter met spoeldelen en wederzijdse inducties dan is het van belang twee dingen te onderkennen:

1. De  $M$  geeft geen verlies, want die geeft slechts een spanning in een andere spoel.
2. Het is fout om elk spoeldeel een deel van  $R_s$  toe te kennen evenredig met zijn  $L$  (elk spoeldeel eenzelfde  $Q$  geven dus).

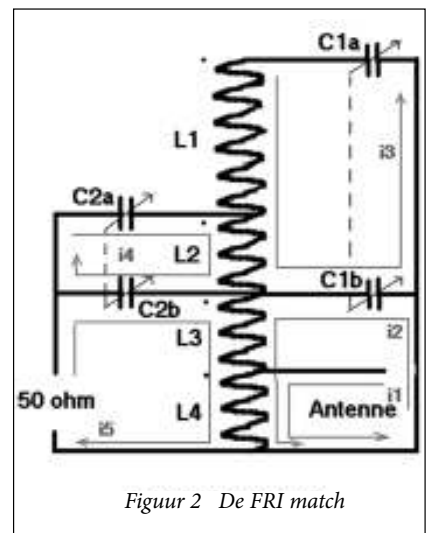
Immers twee spoelen  $L$  geven samen een grotere spoel dan  $2L$ , zodat je dat extra deel verliesvrij erbij krijgt. Je moet dus de  $R_s$  van de spoel per winding bepalen, en elk spoeldeel een verliesweerstand meegeven die evenredig is met het aantal windingen van dat spoeldeel.

### Kirchhoff toepassen

De beginselen van de elektrotechniek, met name de wetten van Kirchhoff kunnen nu nuttig werk voor ons doen. Je tekent stroomlussen in de tuner en voor elke loop geldt dat de som van de spanningsbronnen in de lus gedeeld door de impedanties erin de stroom bepalen in die lus.

Het uitgewerkte voorbeeld de FRI match heeft zo 5 lussen met samen 5 stromen. Zie figuur 2.

Dat geeft dan 5 lineaire vergelijkingen met 5 onbekenden (de 5 stromen) en die zijn dan oplosbaar.



Figuur 2 De FRI match

Nu passen we een truc toe om een hoop probeerwerk te vermijden, die truc gaat als volgt:

We weten de stroom uit de zender, die de tuner ingaat. Als we op de tuner 1 volt zet-

ten aan de zenderzijde en de tuner toont ons de gewenste  $50 \Omega$ , dan zal er dus een stroom van  $1/50 \text{ A}$  gaan lopen. Lusstroom  $i_5$  is dus bekend. Die vullen we in, in de vijf vergelijkingen met 5 onbekenden, het worden er dan 5 met 4 onbekenden. Dat is er een teveel om ze op te kunnen lossen, die ene die we voor het oplossen niet nodig hebben is dan afhankelijk of strijdig.

We lossen  $i_1$  t/m  $i_4$  op, uit 4 stuks, met de computer is het programmeren daarvan een overzichtelijk fluitje van een cent, de vijfde nog ongebruikte vergelijking zit de antenneimpedantie in, dat is de stroomlus waar de antennestroom  $i_1$  inzit. Nu berekenen we de antenneimpedantie zo, dat die vijfde vergelijking afhankelijk wordt, dus niet strijdig is. Daarmee hebben we  $Z_{\text{ant}}$  gevonden die hoort bij de  $50 \Omega$  ingangsimpedantie.

Uiteraard herhalen we dat rekenproces 250 duizend keer per amateurband, namelijk voor elke stand van de regelorganen van de tuner in stappen van  $1 \text{ pF}$ .

Controle voor programmeerfouten is van groot belang en daarom wordt de hele hap nog een keer geprogrammeerd, maar nu voor berekening van de ingangsimpedantie aan zenderzijde als de berekende antenneimpedantie op de uitgang wordt gezet. Daar moet dan precies  $50 \Omega$  uitkomen en als we geen fouten hebben gemaakt is dat inderdaad precies het geval.

De verliezen berekenen we dan door te kijken hoeveel vermogen uit de spanningsbron van  $1 \text{ volt}$  aan de zenderzijde wordt geleverd, dat is  $20 \text{ mW}$ , en hoeveel daarvan in de antenne terecht komt. Dat is de uitgangsstroom maal de geconjugeerde van de uitgangsstroom maal de antenneimpedantie en van dat geheel het reële deel.

### Grafieken plotten

Miljoenen getallen geven geen enkel inzicht. We moeten ze plotten in grafiekvorm. Het is prettig als dat volledig automatisch kan gebeuren en bovendien de grafieken publiceerbaar zijn op Internet, dus een bij browsers bekend bestandsformaat hebben.

De bitmapbestanden \*.BMP van Windows Paint leken me daarvoor in aanmerking te komen. Als ze erg groot zouden uitvallen zijn ze met fotoprogramma's altijd wel te converteren naar JPG bestanden.

Je kunt er ook altijd later nog teksten en dergelijke bij-editten met het Windows programma Paint.

Daartoe heb ik de header van zwart-wit files geanalyseerd met de trial and error methode. Eerst een hex dump programma geschreven zodat je de header op je scherm kunt bekijken, en dan kijken wat er in de header gebeurt als je de afmetingen van de plaat wijzigt, of ergens een puntje tekent met programma Paint etc. Dan heb

je al rap door hoe die header in elkaar zit en als je dan een gewenst puntje op je scherm zwart kunt maken kun je alles. Dan maak je een routine die dat doet, en een routine die geplotte punten met rechte lijnen doorverbindt. Verder een routine voor assen, teksten en getallen erbij, en een routine om hulplijnen (kippengaas) in de grafiek te zetten en heel belangrijk: een routine die het beeldoppervlak van de grafiek goed uitvult, door alle te plotten getallen te schalen en de aswaarden te berekenen etc.

Voor het tevens plotten van rendementen in een grafiek is een plot in kleur gewenst, dan kun je rendementengebieden van een kleur voorzien.

Daarom ben ik, toen bovenstaande allemaal naar wens werkte doorgegaan met BMP files die een 16 kleurenpalet hebben. Die hebben 4 bits per pixel nodig, de zwartwit files een bit per pixel. Alle programmatuur blijft gelijk uitgezonderd het aanmaken van de header en de routine die een punt plot. Voorts komt er een routine bij die de vigerende plotkleur kan kiezen.

Dat plotten in kleur gebeurt zo dat zwart nooit overschreven wordt, het raster van de grafiek blijft dan altijd goed zichtbaar. Voorts zijn de kleuren zo aan rendementen toegewezen dat een hoger rendement eerder voor die impedantie gevonden is. Voorts zijn de kleuren zo aan rendementen toegewezen dat een hoger rendement eerder voor die impedantie gevonden instelling met een lager rendement overschrijft, maar een later gevonden lager rendement een hoger rendement niet overschrijft.

Plotten door de punten te verbinden met lijnen kan verwarrend werken, dus heb ik (ook) geplot met punten. Als een punt op een rasterzwart valt zou je het niet zien, daarom heb ik, als ik op die manier plot, de punten iets groter en breder gemaakt.

Zijn de geplotte punten wel verbonden met lijnen dan kun je door de hoekige vormen en wat grotere onderlinge afstand van de lijnen opmerken dat het een gebied is waar de tuning erg gevoelig is, omdat er maar  $1 \text{ pF}$  tussen de punten zit.

Er zijn bij de onderzochte FRI match met een ingevoerde  $Q$  van 200 een groot aantal punten met een negatief rendement. De kring moet dan voor de aanpassing zodanig opslingeren dat de kringstroom meer verlies geeft dan de zender aan energie levert en de antenne dus moet bijspringen. Je vindt dan een negatief reëel deel in de antenneimpedantie. De hierna te bespreken Smith Chart plot dan buiten zijn oevers. De lineaire plots schieten naar links uit. Er zijn dus in het programma maatregelen genomen dat dit niet kan gebeuren, negatieve rendementen worden niet geplot, wel als dummy meegenomen, omdat het plotprogramma per plot 500 runs van 500 records verwacht.

Het rendementsgebied per kleur staat in de grafiek aangegeven (ingeedit met Paint!).

Ik heb een en ander zo gemaakt, dat ik in een bestaande grafiek kan bijplotten, dat is dan de sjabloon-file. Op die manier kun je meerdere grafieken onafhankelijk van elkaar in een grafiek combineren. De sjabloon-file wordt compleet gekopieerd en de nieuwe grafiek erbij geplot.

### Smith Chart en lineaire plot

De amateurs die ik sprak hebben voorkeur voor een lineaire plot, dat wil zeggen dat de aanpasbare impedanties zijn geplot in een rechthoekig coördinatenstelsel met langs de horizontale as  $R$  en langs de verticale as  $X$  van de antenneimpedantie  $R+jX$  die kan worden aangepast.  $X$  kan uiteraard wel negatief zijn. De antenne gedraagt zich dan capacitef.

Nadelen van dergelijke plots zijn legio.

Om er een paar te noemen:

- Als op de ene band minder aanpasbaar is dan op de andere wordt een andere as-eenheid aangehouden om het beschikbare plotoppervlak toch goed te vullen. De banden onderling zijn dan lastig te vergelijken.
- Op een grafiek waarop je  $100 \text{ k}\Omega$  kunt plotten kun je niet verwachten dat je het verschil tussen  $50 \Omega$  en  $40 \Omega$  nog kunt zien.
- De staandegolfverhouding die bij een impedantie hoort, is bij een lineaire grafiek minder makkelijk te zien, die moet apart erin geplot worden.

Neem je een Smith Chart, dan vallen die nadelen weg. Alle impedanties van 0 tot oneindig vinden een plaats in de chart en de kritieke laagohmige impedanties zijn uitvergroot.

De staande golfverhoudingen zijn concentrische cirkels rond het midden.

Je kunt direct aflezen wat verlengen van feeders of kabel voor invloed heeft op de aan de tuner aangeboden antenneimpedantie.

Je kunt direct een indruk krijgen welk deel van alle impedanties niet aangepast kan worden.

Om kunnen gaan met de Smith Chart is van belang als je open en kortgesloten stubs voor antennes makkelijk wilt kunnen bepalen qua plaats en lengte. Tot slot kun je met de Smith Chart ook nog eenvoudig grafische netwerkjes voor impedantiëtransformatie bepalen. Je ziet dan wat je doet en dat geeft inzicht.

De Smith Chart is een plot in een polair coördinatenstelsel van het reflectiecoëfficiënt.

Een polaire plot wil zeggen dat je niet  $x$  en  $y$  horizontaal en vertikaal uitzet maar de afstand van het te plotten punt tot het midden van de Chart, en de hoek met de horizontaal. Grootte en richting dus als



coördinaten in plaats van x en y coördinaat.

De reflectiecoëfficiënt, die vaak met de Griekse letter  $\rho$  (rho) wordt aangeduid, is als de karakteristieke impedantie  $Z_0$  is, gelijk aan  $\frac{Z - Z_0}{Z + Z_0}$

Die reflectiecoëfficiënt krijg je langs de kabel als de kabel met karakteristieke impedantie  $Z_0$  wordt afgesloten met  $Z$ . Het is een complex getal, de grootte daarvan (in coördinatenstelsel de afstand tot de oorsprong) wordt ook wel de modulus genoemd. Langs een verliesvrije kabel wijzigt de modulus van  $\rho$  niet.

De Smith Chart is genormeerd, dat wil zeggen dat we alle impedanties delen door  $Z_0$ . Daardoor wordt  $Z_0$  zelf 1.  $Z$  wordt  $Z/Z_0$  en die noemen we  $z$ .

$\rho$  wordt dan  $\frac{z - 1}{z + 1}$

De staande golfverhouding is

$$\frac{1 + \text{modulus}(\rho)}{1 - \text{modulus}(\rho)}$$

De staandegolfverhouding is dus, in tegenstelling tot  $\rho$ , een reëel getal, dat zoals bekend tussen 1 en oneindig ligt.

De lijnen  $R=\text{constant}$  van impedanties  $R+jX$  zijn cirkels die alle raken aan de rechter verticale raaklijn van de chart, voor  $R=1$  door het middelpunt gaat voor  $R=0$  de omtrek vormt. Vandaar dat negatieve reële delen van berekende antenneimpedanties buiten de chart treden. Het middelpunt van die cirkels ligt op de horizontale middenas van de chart.

Alle impedanties  $R+jX$  met  $R=\text{variabel}$  en  $X=\text{constant}$  zijn ook cirkels die de andere set cirkels overal loodrecht snijdt. Die cirkels hebben hun middelpunt op de verticale raaklijn rechts aan de chart en bevinden zich op een afstand  $1/X$  van de horizontale lijn door het middelpunt van de chart, zowel voor negatieve als positieve  $X$ , twee sets cirkels dus voor  $X=\text{constant}$ . Elke impedantie  $R+jX$  is dus terug te vinden in de chart door het snijpunt te zoeken van de betreffende  $R=\text{constant}$  cirkel met de juiste  $X=\text{constant}$  cirkel.

De plots zijn voor 8 amateurbanden van 80 tot 10 meter voor de FRI match gemaakt. De tuner kan ook omgekeerd gebruikt worden, in dat geval heb je weer een andere set van 8 charts voor de diverse amateurbanden. In bijgaande illustraties zijn die aangegeven. (Redactie: Vanwege de gebruikte kleuren zijn de illustraties op de achterzijde van deze CQ-PA te vinden.)

### Vergelijkingsmateriaal

Het is prettig de verkregen resultaten te kunnen vergelijken met klassieke tuners. De T match staat bekend als hebbende een lager rendement dan een L netwerkje, omdat vaak eerst omhoog en vervolgens weer omlaag getransformeerd wordt. Harry Grimbergen PAoLQ meldde mij als resultaat van zijn berekeningen dat een T netwerk van twee condensatoren 20-400

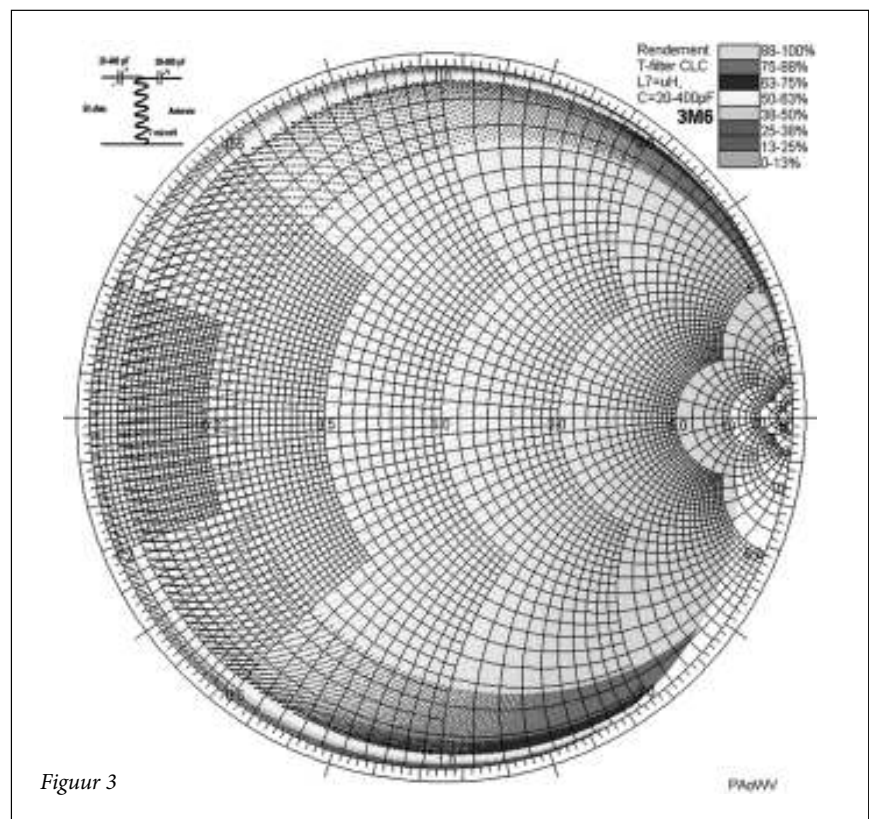
pF in de langstakken en de spoel in de dwarstak van  $8 \mu\text{H}$  op 3,5 MHz een goede dekking geeft in de Smith Chart.

Voor een iets gewijzigd geval namelijk  $7 \mu\text{H}$  en twee maal 20-400 pF op 3,6 MHz heb ik een Smith Chart berekend met het rendement voor dezelfde Q van de spoel, dus  $Q=200$ . De resultaten zijn te zien in figuur 3.

Referenties:

[1] Radio Engineers Handbook 1st edition McGraw Hill 1943 p. 54.

De bij dit artikel behorende tekeningen zijn te vinden op <http://home.hetnet.nl/~noodvoorziening/tuner/1.htm> en verder in dezelfde directory staan de\*.bmp files die getoond worden met bestandsnamen 3M6.bmp etc.



**porstraat 47 3231 BE Brielle Tel: 0181-410523\*\*Winkel open 09/18uur  
 jk op onze website : [www.gbanttow.nl](http://www.gbanttow.nl) ,ook voor speciale aanbiedingen in  
 antennes: HF yagi-HF quad 's-VHF-UHF yagi/quad 's-Draadantennes-Rotoren  
 masten:Driekant-Vierkant-Slankmasten-Rondmasten-Fibermasten-Kits masten**