

# Het Grijze Gebied en het Mannetje

door Wim Kruyf PAoWV

**Over aanpassing van antennes, SWR en de gevolgen van een SWR die groter is dan 1:1, wordt in amateurkringen veel gesproken.**

**Wim PAoWV legt in dit artikel de consequenties van een SWR > 1 uit aan de hand van het mannetje Miller.**

Het grijze gebied is het gebied, waar de kennis van de schrijvende amateur schromelijk tekort schiet en wereldwijd in artikelen terug te vinden onzin wordt uitgekraamd, die dan weer geciteerd wordt, om de herhaalde onzin fundamentele te geven of weer nieuw leven in te blazen. Zo'n verschijnsel wordt ook wel 'mythe' genoemd.

Ik ben me er dus van bewust, dat dit schrijfsel, dat tegengas biedt aan de mythe, absoluut niks zal uithalen. Zoiets als het te woord staan op zondagochtend van sekteleiden die aanbellen. Volstrekt zinloos.

De volgende week staan ze weer aan de deur vergezeld van zwaarder kromgeschut. Ze wijzen vaag op boeken, die ze zelf niet zullen begrijpen als ze zouden trachten ze te bestuderen of ze komen met een internet animatieprogramma, dat de onderhavige problematiek niet omhelst.

## De Kolderpraat en de Mythe

Aanleiding voor het schrijven van dit artikel is een verhaal over SWR-ratio dat PEO JDS in CQ-PA 2010-8 schreef; hem treft geen blaam, maar dat verhaal vormt wel de bekende druppel, die de emmer hier en nu doet overlopen.

Hij schreef impliciet en bevestigde mij desgevraagd, dat een antenne die 50% vermogen reflecteert in de voedingslijn, en dus een SWR van bijna 6 op de kabel geeft, dat gereflecteerde vermogen nooit uitzendt.

Dat zou verloren zijn, in warmte worden omgezet in de zender of zoiets. ON7CI schrijft iets dergelijks in mei-2009 van de VRA, die dat weer ergens gekopieerd had.

De conclusie voor de amateur is dus: dat is 3 dB minder de ether in en dat betekent dus bij elke ontvanger die op mijn signaal afstemt een half S punt minder signaalsterkte.

Is de SWR nog een stuk hoger, zoals vaak bij met kippenladder gevoede dipolen en andere symmetrische antennes optreedt, dan zou er nog meer verlies van zendvermogen zijn. Bij SWR = 13,9 op een kippenladder bijvoorbeeld 1 S-punt, omdat dan 75% vermogen gereflecteerd wordt bij de antenneaansluiting.

## De Ontzenuwing

Als je een probleem wilt oplossen of de probleemstelling wilt verhelderen, haal er dan zo min mogelijk storende factoren bij die de zaak ingewikkelder maken. Mag best, maar doe het pas later, als je goed begrijpt hoe het vereenvoudigde geval precies werkt.

Dat betekent hier: veronderstel de antennekabel verliesvrij en een antenntuner tussen zender en kabel ook verliesvrij. Stel die antenntuner goed af, dan ziet de zender 50  $\Omega$  en pompt daar, laten we zeggen 100 Watt, in en er komt niks terug van de tuner naar de zender, want de SWR is tussen tuner en zender 1:1. De antenne heeft een misaanpassing op de open voedingslijn, die 75% van het vermogen reflecteert, dus is de voedingslijn SWR = 13,9.

De opstelling is getekend in figuur 1.

De mytheaanhangers beweren, dat bij

Dan komt de prangende vraag: waar blijft die 75 Watt gereflecteerd vermogen dan? Tja, we hebben de Wet van Behoud van Energie. De kabel dissipeert niks, de tuner ook niet en de zender ziet 50  $\Omega$  die daar spinnend van tevredenheid 100 Watt inpompt door op die 50  $\Omega$  ruim 70 volt HF te zetten, en daar komt niks van terug zegt de SWR-meter die braaf 1 aanwijst.

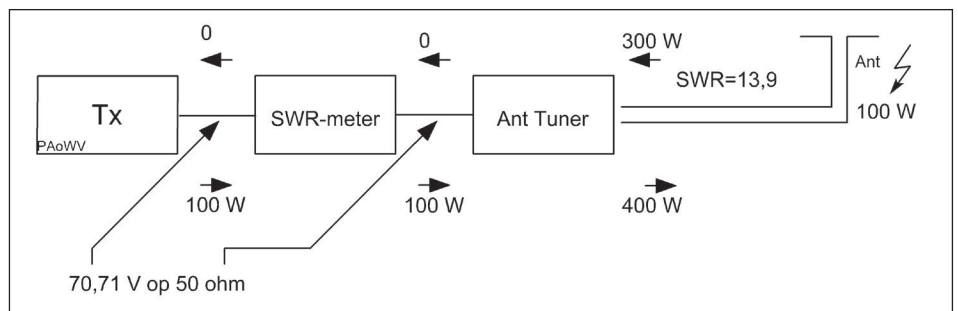
Tja (nogmaals en een krabbeltje op het hoofd) zegt de mythe-aanhanger dan: Dan zal op grond van de 'Wet van Behoud van Energie' dat gereflecteerde vermogen wel bij de tuner weer gereflecteerd worden richting antenne. Anders is er niet te verzinnen, want de tuner dissipeert niks.

Dus de lieden, die dan met deze redenering het vuur na aan de schenen wordt gelegd verzinnen dan de oplossing, dat de antenntuner alles weer reflecteert en de antenne daarvan weer een kwart uitzendt, weer drie kwart van de rest terug naar de tuner etc. tot alle energie al klotsende tussen antenne en tuner op is en dus uitgestraald.

Ha, dus alles wordt **wel** uitgestraald ook al heb je een hoge SWR, want in een verliesvrij systeem kan het niet gedissipeerd worden.

Dat is alvast een belangrijk winstpunt. Die lineair kan dus in de etalage van de jappenbakmiddenstander blijven staan.

Maar ja, nu krijg je problemen met die verklaring. Waarom ketst de tuner het volledig terug? Dat kan alleen maar als het re-



Figuur 1: De opstelling.

75% reflectie die de SWR = 13,9 veroorzaakt, driekwart van het vermogen nooit wordt uitgestraald, dus elke ontvanger met een geijkte S-meter wijst een S-punt minder aan.

De ideale antenntuner dissipeert niks, de verliesvrije kabel ook niet, dus er komt 100 Watt bij de antenne aan denkt men. Wat gebeurt daar?

Daar wordt de genoemde 75% gereflecteerd en dat is hier dan 75 Watt en er gaat 25 de ether in, zegt de amateur die denkt logisch te denken. Mooi 1 S-punt kwijt, ben je klaar mee, dat is niet niks, ook al wil men je vaak anders doen geloven, want je hebt een dure lineair nodig om dat te compenseren.

ele deel (weerstanddeel) van de impedantie, die je ziet als je vanaf de antenneszijde je tuner inkijkt, een kortsluiting vormt (0) of een oneindige hoge weerstand is? In alle andere gevallen wordt toch tenminste een deel in de bronweerstand gedissipeerd, dus uiteindelijk in de zender?

Dat op-en-neer klotsverhaal van gereflecteerde energie kan dus zo niet verklaard worden, omdat er bij dat verhaal vanuit gegaan wordt dat bij de tunerzijde van de kabel de hele reflectie voor 100% wordt teruggeketst. Een belasting, hier de tuner, ketst alleen alles terug als de tuner een kortsluiting laat zien of een open circuit, of eventueel zuiver reactief is, maar dat kan alle drie niet, want de tuner laat de

geconjugeerde impedantie zien van de impedantie die de kabel aan de tuner toont, als hij aan de zenderzijde wordt afgesloten met 50 Ω.

Die impedantie bevat altijd een weerstanddeel als er een stralende antenne aanhangt. Bovendien zou een verliesvrije tuner anders geen 50 Ω aan de zender kunnen tonen. Die verklaring houdt dus geen stand.

Daar komt nog bij dat de gesuggereerde conclusie, dat alles dat uit de antenne komt gereflecteerd wordt bij de tuner wel heel erg zuur is als het signalen betreft die je wilt ontvangen. Hi-hi.

Bekend is immers dat je zendantenne met je tuner een uitstekende combinatie is om een rx met 50 Ω antenneingang op aan te sluiten, en als je tuner alles uit de antenne reflecteert komt daar niet veel van terecht.

Wat is dat nu eigenlijk weer 'geconjugeerd' hier? Geconjugeerd wil zeggen dat als de antennekabel een impedantie vertoont van een weerstand in serie met een spoel, dat de tuner dan een impedantie vertoont van dezelfde weerstand echter in serie met een condensator die samen met genoemde spoel op de zendfrequentie in seriëresonantie is, en dus uitgestemd wordt. Een impedantie in serie met zijn geconjugeerde impedantie is dus ohms zonder reactief deel.

Goed, de verklaring dat alles wordt uitgezonden moet dus anders liggen, maar hoe zit het dan wel. Hoe krijg je nou voor elkaar dat, als een antenne 75% reflecteert, toch het volledige door de zender geleverde vermogen van een draaggolf in de antenne belandt, dus volledige reflectie bij de tuner, terwijl de tuner wel ontvangen signalen uit de antenne aanpakt en die niet reflecteert?

Dat komt – je zult je ogen misschien niet geloven – omdat er meer vermogen vanuit de tuner gezien de kabel oploopt richting antenne, dan er terugkomt van antenne richting tuner en dat verschil is precies het door de zender geleverde vermogen.

Stel de zender levert 100 Watt aan de tuner met SWR = 1, dus er komt niks terug van de tuner naar de zender. De antenne ketst 75% terug, dan gaat er vanuit de tuner gezien 400 Watt richting de antenne, daarvan komt 100 in de ether en 300 Watt terug, zodat op het koppelpunt met de tuner 400 Watt heen loopt 300 Watt terugkomt en de tuner dus precies het verschil van 100 Watt bijpast, wat braaf volledig in de ether belandt.

### Nu valt alles op zijn plek

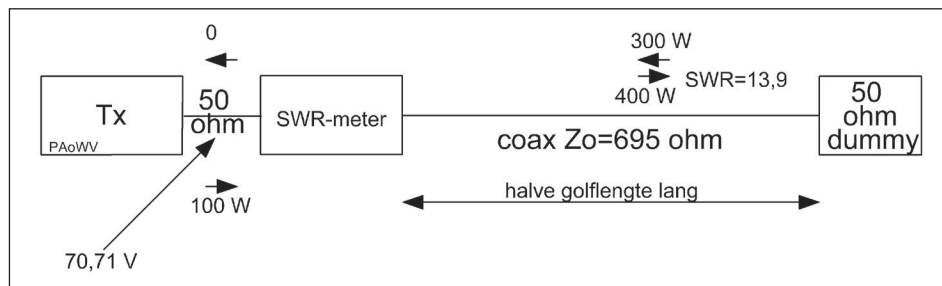
De SWR wordt uitsluitend door de afsluitimpedantie aan antennezijde bepaald, en die heeft niks te maken met opnieuw gereflecteerd vermogen bij de tuner.

Als de tuner al invloed zou hebben met zijn impedantie op de reflecties die uit de antenne komen (wat hij, zoals zal blijken, niet heeft) en die hij weer deels terug zou sturen zou dat geen invloed hebben op de SWR.

De bekende stelling dat je aan de tunerzijde niks aan de SWR op de kabel kunt veranderen klopt dus ook.

Nu kun je natuurlijk opmerken dat dat verhaal sluitend is qua gemeten SWR, en de energiebalans OK is, maar je hikt aan tegen het feit dat de tuner 400 Watt de kabel lijkt op te sturen, terwijl er maar 100 door de zender geleverd wordt.

De amateur, die het niet goed begrijpt, wil zelfs verder vereenvoudigen en van die geheimzinnige tuner af met dat raadselachtige geconjugeerde gedoe en zo. Dan kan hij tenminste beweren dat die energie die terugkomt ergens in de ingewanden van de zender verdwijnt die daar dan stuk van kan gaan. Daar zit allemaal warmte en wie zegt dat een deel daarvan niet het gereflecteerde vermogen is? Nou?



Figuur 2: Het gedachte-experiment.

### Zonder tuner het toverkunstje uithalen

Welnu, ik neem een eenvoudig voorbeeld, zodat zoveel mogelijk lezers het kunnen begrijpen, als je voor het zendexamen bent geslaagd of zult slagen, moet het te volgen zijn.

Het verhaal geldt ook onverkort voor ingewikkelde voorbeelden, maar dat is lastiger te doorzien.

We nemen een Jappenkoopbak die wil 50 Ω zien, figuur 2 geeft een toelichting, daarachter zetten we voor de zekerheid een SWRmeter voor 50 Ω kabel, zodat we kunnen zien of er vermogen terugkomt richting zender, wat niet de bedoeling is. Maar als die meter op 1 staat hoeft je dus niet aan te komen met de smoes dat het gereflecteerde vermogen in de ingewanden van de zender verdwijnt, want die meter vertelt je dat er geen gereflecteerd vermogen is.

Aan de antennezijde van die SWRmeter zetten we een coaxkabel, en nu niet een van 50 Ω maar een van 695 Ω. Ligt vast en zeker niet in de winkel, maar dat hoeft ook niet, omdat we hier een zogenaamd gedachtenexperiment doen en aan kippen-

ladders weer andere mythes kleven waar we het hier nu niet over zullen hebben.

Einde van die 695 Ω kabel sluiten we af met een 50 Ω dummyload. Die kabel mag elke impedantie hebben die je maar kunt verzinnen als het maar geen 50 Ω is, ik neem 695 Ω omdat de staandegolfverhouding dan weer 13,9 is en er bij de dummyload van 50 Ω dus driekwart van het aankomende vermogen wordt gereflecteerd.

Nu is het zo, dat elke kabel van een halve elektrische golflengte lang en verliesvrij is, op de ingang precies dezelfde impedantie laat zien als hij mee wordt afgesloten. Dat is onafhankelijk van zijn karakteristieke impedantie. Het is de klok rond in de Smith Chart. We maken daarom die 695 Ω kabel precies een halve elektrische golflengte lang. Dus we zien op die kabel op de ingang 50 ohm. Echter de SWR op die kabel is niet 1, want een kabel van 695 Ω afgesloten met 50 Ω op de antennezijde geeft een SWR van 13,9. De SWR is hier namelijk  $Z_o/Z_a$  met  $Z_o$  de karakteristieke impedantie en  $Z_a$  de afsluitweerstand.

Een SWR van 13,9 betekent dat er op die kabel een lopende golf vooruit loopt met spanningsamplitude  $V_f$  en een teruglopende golf richting zender met amplitude  $V_r$ . De VSWR is dan  $(V_f+V_r)/(V_f-V_r)$  namelijk maximum optredende spanningsamplitude gedeeld door minimum optredende amplitude. Dat is in dit geval zoals al bekend SWR = 13,9.

Is de afsluitimpedantie lager dan de karakteristieke impedantie, dan is de gereflecteerde golfspanning bij de afsluiting in tegenfase met de aankomende golf. Logisch, want je houdt een lagere spanning daar als resultante over. Is hij groter, dan in fase. Altijd is ofwel de stroom in tegenfase ofwel de spanning, anders zou de golf niet de andere kant oplopen richting zender. Het gaat dus te ver de blablabla hoek in, om te bluffen dat een reflectie altijd in tegenfase is en dat de fundamentele golftheorie zou zijn.

Dat kun je dan omwerken tot  $V_r/V_f=(SWR-1)/(SWR+1)$ , dus daaruit volgt dat  $V_r=0,866 V_f$ . De bekende formule voor reflectiecoëfficiënt  $\rho = V_r/V_f$ . De grootte van  $\rho$  is dus bijna 0,87.

□ is dus ook  $(Z_o - Z_a)/(Z_o + Z_a)$  met  $Z_o$  kabelimpedantie en  $Z_a$  de afsluiting.

Het vermogen is evenredig met het kwadraat van de spanning, dus gereflecteerd vermogen is  $0.87^2 \cdot 0.87 = 0.75$  van het voorwaartse vermogen.

Verdwijnt de gereflecteerde golf nu via de SWR-meter in de zender, zoals de mythe-aanhanger wil doen geloven?

Nee, want de kabel toont op zijn ingang  $50 \Omega$  en de zender is dus dik tevreden, geeft 100 Watt af en de SWR-meter staat dus op 1. Er is dus geen gereflecteerd vermogen dat de zender inloopt.

Bovendien werkt de opstelling voor elke  $R_i$  van de zender, die overigens geen  $50 \Omega$  is en dat gelukkig ook niet hoeft te zijn. "Je hoeft niet te zijn wat je wilt zien" is het zendereindtrap adagium, de mijne trouwens ook. De door de antenne gereflecteerde energie komt dus niet in de zender terecht, want de SWR-meter wijst 1 aan en de zender ziet  $50 \Omega$  en levert daar 100 Watt in.

Waar blijft die gereflecteerde golf dan? Die wordt kennelijk gebruikt om de 400 Watt heen te compenseren met 300 Watt terug, zodat aan de SWR-meter connector er 100 Watt geleverd overblijft.

De  $R_i$  van de zendbron, die in feite de kabelafsluiting is voor gereflecteerde energie neemt **geen** gereflecteerde energie op. Dus die afsluitweerstand  $R_i$  heeft **geen** invloed op de al of niet grote reflectie van de energie die uit de antenne terugkomt.

Je zit dus met een kabel met  $SWR = 13.9$ , driekwart vermogen dat gereflecteerd wordt en toch laat de kabel op zijn ingang  $50 \Omega$  zien en de SWR meter tussen zender en kabel wijst dus 1 aan. Niks de zender in terug, onafhankelijk van de impedantie die de zender als  $R_i$  heeft.

Hoewel je hier al op kunt houden met lezen als je inmiddels weet dat de staande golfverhouding op de kabel geen verlies van uitgezonden energie betekent ten gevolge van het niet uitzenden van gereflecteerde energie en als je 100 Watt in de kabel stopt er continu aan de antenne 100 Watt wordt geleverd, kun je als je nieuwsgierig bent hoe de vork dan wel in de steel zit en waarom ontvangen energie voor de rx er wel optimaal doorkomt verder lezen.

### Kabel afsluiten met karakteristieke impedantie $Z_o$

Als we op een kabel met karakteristieke impedantie  $Z_o$  een wisselspanningsbron met spanning  $V_f$  aansluiten gaat er een stroom  $I_f$  lopen met  $V_f = I_f \cdot Z_o$  en een lopende golf zich voortplanten op de kabel. De kabel hoeft niet oneindig lang te zijn om geen reflecties te geven, als namelijk er een afsluiting wordt gemaakt op het

punt waar we de oneindig lange kabel afknippen, die bij dezelfde spanning  $V_f$  een stroom  $I_f$  opneemt als de rest van de afgeknipte kabel zou hebben gedaan, dan is er geen reflectie. Moeilijk verhaal, maar voor het vervolg erg belangrijk, om te vertellen dat als je afsluit met  $Z_o$  er geen reflectie is.

### Reflectie soms afwezig als afsluiting niet $Z_o$ is

Als je een heengaande spanninggolf  $V_f$  hebt en er dus  $I_f$  in de kabel gaat lopen met  $Z_o = V_f / I_f$ , en je sluit af met een weerstand  $Z_a$  lager dan  $Z_o$ , dan gaat er een reflecterende lopende golf terug naar de bron omdat er heengaand vermogen over is, en die reflectie heeft daar spanning  $-V_r$  en stroom  $I_r$ . weer geldt dat  $V_r = Z_o \cdot I_r$ .

De grootte van  $V_r$  is  $V_f \cdot (Z_o - Z_a) / (Z_o + Z_a)$ . De stroom in  $Z_a$  is dus  $(V_f - V_r) / Z_a = 2 V_f / (Z_o + Z_a)$ .

Omdat die stroom  $I_r = I_f \cdot (Z_o - Z_a) / (Z_o + Z_a)$  is dus de stroom in  $Z_a = I_r + I_f$ .

In feite dus niks anders alsof er geen kabel zou zijn geweest maar de belasting direct op een bron  $2 \cdot V_f$  staat met inwendige weerstand  $Z_o$ . Onthoud die factor 2 voor begrip verderop.

Nu is het niet altijd zo, dat er bij misaangepassing reflectie optreedt, want we kunnen in serie met de  $Z_a$ , de belasting dus, een wisselspanningsbron opnemen, die geeft dan naar links lopend op de kabel gelijktijdig met de reflectie die ook naar links loopt een golf. Als die gelijke amplitude en frequentie heeft als de reflectie, maar tegengestelde fase, is het resultaat 0, dus geen naar links lopende golf op de kabel en geen reflectie dus.

Om dat voor elkaar te krijgen moeten we in serie met  $Z_a$  een spanningsbron  $V_r \cdot (Z_o + Z_a) / Z_o$  opnemen, die geeft namelijk dan op het kabeleinde  $V_r$ , terwijl de reflectie  $-V_r$  is.

Dit voorbeeld geef ik om de blinde aanhangers van de stelling dat bij misaangepassing **altijd** reflectie optreedt de nuances te tonen.

De grap is dat de spanning en stroom op die afsluiting van  $Z_a$  in serie met een spanningsbron dan weer  $V_f$  en  $I_f$  is, zodat een andere manier is om in te zien dat er dan geen reflectie optreedt. Kabel afknippen met handhaving van  $V_f$  en  $I_f$  op het verse

kabeleinde geeft dus geen reflectie.

### Kabel met reflectie die van de antenne op de ingang aankomt

Je denkt wellicht, dat die reflectie daar weer reflecteert richting antenne, met achterlating van een deel van het vermogen in de inwendige weerstand van de bron (de zender), als de  $R_i$  van die bron geen  $Z_o$  is. Dat is niet waar. Zou dat wel zo zijn, dan zou je inderdaad een S-punt kunnen verliezen als de reflectie driekwart van het vermogen is bij de antenne, want dat komt nooit meer richting antenne als de zender zelf een  $R_i$  gelijk aan  $Z_o$  zou hebben.

### Oneindig lange kabel links afknippen

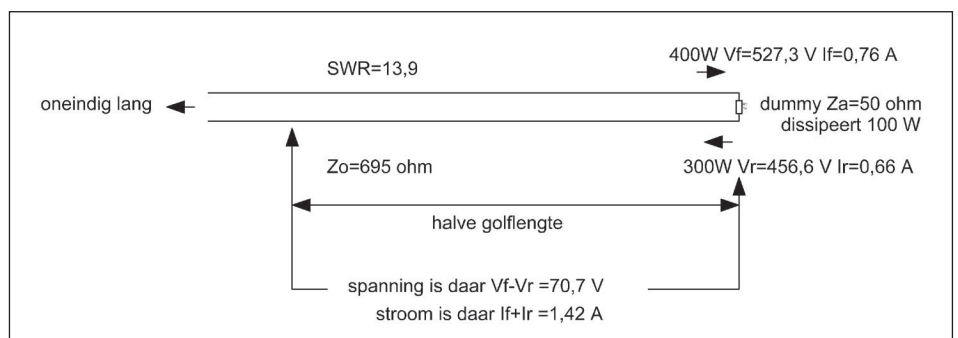
Stel je hebt in figuur 3 een naar links oneindig lange kabel, naar rechts gezien is de kabel afgesloten met een dummy of antenne, die ervoor zorgt dat door misaangepassing  $V_r$  gereflecteerd wordt. In het voorbeeld heb ik weer de waarden aangenomen van 100 Watt  $695 \Omega$  en  $SGV = 13.9$ .

Op de oneindig lange kabel loopt dan een lopende golf  $V_f$  naar rechts met voorwaarts vermogen van 400 W, en een lopende golf  $V_r$  naar links met een vermogen van 300 W. Die twee samen geven op elk punt in de kabel resultante van die twee  $V_t = V_f - V_r$  en  $I_t = I_f + I_r$ . Dat wil zeggen, dat op elk punt in de kabel de impedantie anders is, met een periodiciteit van een halve golflengte. De impedantie kun je vinden met de zogenaamde telegraafvergelijking, of grafisch met de Smith Chart.

### Nu komt het

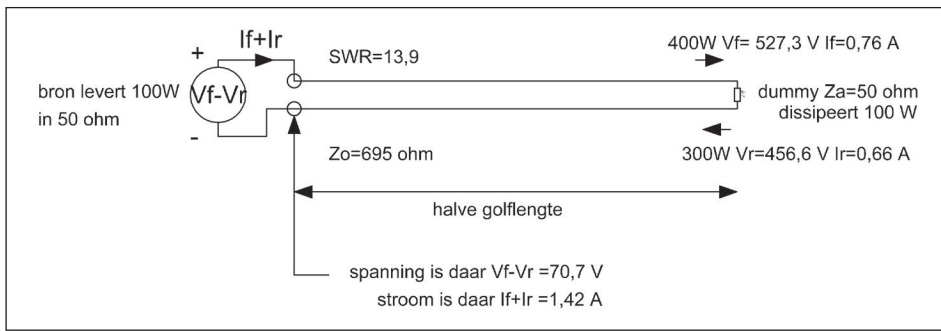
Knip je die lijn door en vervang je op het knippunt de oorspronkelijke  $V_t$  en  $I_t$ , die daar stonden, door een bron die dat aan de kabel toont, een bron met of zonder  $R_i$ , maakt niet uit, als op het afgeknipte kabeleinde maar  $V_t$  en  $I_t$  komt, dan treedt er geen reflectie op want de kabel merkt niet dat er een oneindig stuk is afgeknipt als de stromen en spanningen op het knippunt gelijk worden gehouden. Toelichting in figuur 4.

Een bron  $V_f$  geeft de voorwaartse spanning en stroom  $I_f$ , gereflecteerd komt  $V_r$  daar aan, die moet daar een bron  $V_r$  vinden die  $I_r$  **opneemt**. De twee bronnen  $V_f$



Figuur 3: Links oneindig lange kabel, dus geen reflecties richting dummyload.





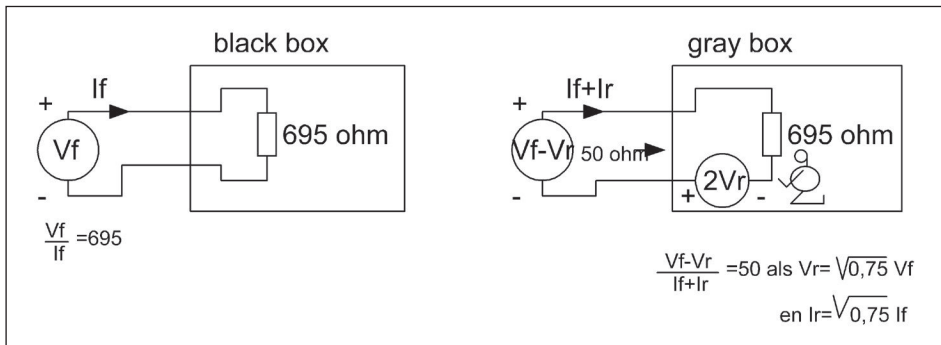
Figuur 4: Links afgekipte kabel, geen reflecties richting dummyload, want de spanning en stroom op knippunt zijn ongewijzigd gehouden.

en  $V_r$  is serie leveren, die tezamen dus een bron  $V_f - V_r$  vormen levert de gevraagde voorziening, waarbij de bron door het negatieve vermogen in  $V_r$  totaal het verschil in vermogens levert tussen  $V_f$  en  $V_r$  golven. Het gereflecteerde vermogen wordt dus niet gedissipeerd in een  $R_i$  van een voedingsbron, maar hergebruikt om tezamen met de energie uit de bron de voorwaartse golf te maken.

De kabel, toont op zijn ingang een vaste impedantie, en niet een impedantie die afhankelijk is van de inwendige weerstand van de voedende bron. Die dissipeert niets van de gereflecteerde energie.

daags een grijs bakje op mijn tafel; grijs, de kleur van de hersenen en het grijze gebied van de kennis van zendamateurs. Weer twee aansluitingen, weer de vraag wat erin zit, en ik, overmoedig geworden door het al geboekte voorspellende succes, weer meten.

Nu blijkt, als ik er 5 volt uit een voeding op zet, 0,1 ampère te lopen, -5 volt -0,1 A en verder bij elke waarde is steeds de verhouding tussen aangesloten spanning en stroom 50. De wet van Ohm zegt dan dat je een weerstand meet van 50  $\Omega$ , dus mijn conclusie lijkt gerechtvaardigd: Er zit een weerstand van 50  $\Omega$  tussen de aansluitklemmen in dat grijze kastje. Zaag erbij, openzagen en wat blijkt?



Figuur 5: Het mannetje Miller.

### Het Mannetje

Stel nu eens dat ik een black box heb (figuur 5), dat is een zwart geverfd metalen doosje met twee aansluitingen en mij wordt gevraagd wat daarin zit. Ik sluit er gelijkspanning op aan en ik meet de stroom. Er blijkt als ik er 69,5 volt op zet 0,1 ampère te lopen en verder is de stroom altijd evenredig met de spanning. Min 69,5 volt? OK, 0,1 ampère de andere kant op. Conclusie: er zit een weerstand in dat doosje van 695  $\Omega$  tussen de aansluitklemmen.

IJzerzaag erbij gehaald, zwarte kassie open gezaagd, en ja hoor 8 weerstanden parallel van elk 5k6, groen blauw rood geringd, zitten erin gesoldeerd. Van de VRZA zendexamencursus herinner ik me vaag dat acht 1% weerstanden van elk 5k6 parallel samen 695  $\Omega$  kan opleveren, gelet op de tolerantie.

Met die ervaring rijker krijg ik 's anderen-

Het is weer een weerstand van 695  $\Omega$ ! Die staat echter nu in serie met een gelijkspanningsbron met een inwendige weerstand 0, waarvan de grootte van de spanning ingesteld wordt door een mannetje, dat de door mij op de aansluitklemmen van het kastje aangesloten spanning  $V$  meet en die  $V \cdot (695 - 50) / 50 = 12,9 \cdot V$  van de door mij aangesloten spanning  $V$  instelt op die gelijkspanningsvoeding.

Zet ik dus 5 volt op de aansluitklemmen dan zet hij snel  $5 \cdot 12,9 = 64,5$  volt op zijn seriegeschakelde voeding, waardoor de totale spanning over de 695  $\Omega$  die erin zit wordt  $5V + 64,5 = 69,5V$ .

Er loopt dus als ik 5 volt aansluit 0,1 A en dus denk ik dat er 50  $\Omega$  inzit, zo gedraagt het kastje zich, ook voor wisselspanning als het mannetje een wisselspanningsvoeding bedient met dezelfde frequentie en fase als ik aansluit op de klemmen.

Na het openzagen kijkt het mannetje mij

met door het felle licht toegeknepen oogjes aan. Hij zit kennelijk al heel lang in het kastje, want hij staat wat stram op vanachter zijn voeding en zegt niet "ff voor stelle" maar "Mag ik mij voorstellen? Miller." en hij wacht tot ik als eerste mijn hand uitsteek, terwijl ik mijn naam noem.

Ik lever aan vermogen aan het grijze kastje 0,1 A aan 50  $\Omega$  dat is 0,5 Watt, het mannetje Miller zijn voeding levert de rest dus 0,1 A maal 64,5 volt = 6,45 Watt.

In de 695  $\Omega$  weerstand gaat dus bij 0,1 amp die ik leverde totaal 6,95 Watt zitten, zijnde de door mij geleverde 0,5 Watt en de door Miller geleverde 6,45 Watt. Hoewel ik dus slechts 0,5 Watt lever is het nu verklaard dat die weerstand van 695  $\Omega$  toch dan 6,45 Watt gaat dissiperen.

Nu de ontknoping: Ik zie 50  $\Omega$ , terwijl de kabel in werkelijkheid 695  $\Omega$  is. Ik zie de 50  $\Omega$  omdat het vermogen dat terugkomt gebruikt wordt om de impedantie te verlagen van 695  $\Omega$  kabelimpedantie naar 50  $\Omega$  die mij wordt aangeboden door de kabel. De inwendige weerstand van mijn bron op het kastje doet er niet toe, het gaat om de klemspanning, dat is de spanning die op de aansluitingen van de kabel staat, die spanning lijkt op een weerstand van 50  $\Omega$  te staan.

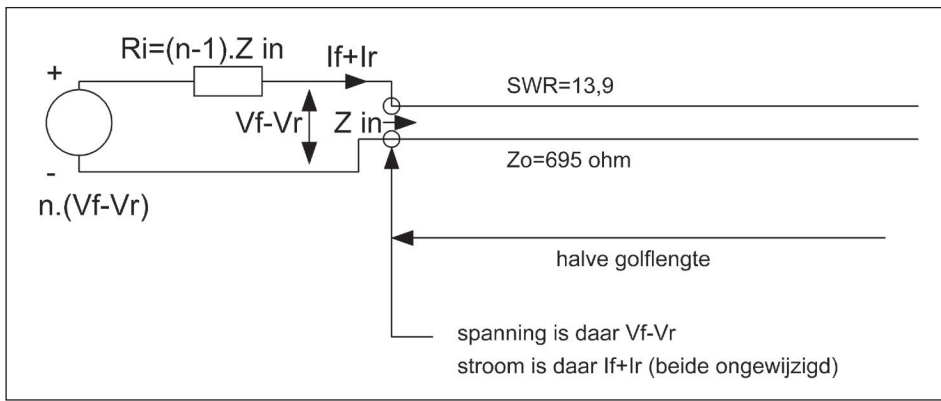
Conclusie: Bij de antenne wordt gereflecteerd, dat bepaalt de SWR, het teruglopende vermogen wordt niet deels of geheel gedissipeerd in de  $R_i$  van de zendbron, omdat daar de afsluitimpedantie al of niet zou kloppen, maar dat wordt volledig gebruikt als vermogen dat nodig is om de kabelimpedantie te brengen op de waarde die hij aan de zender of de tuner laat zien.

Zendvermogen gaat volledig de antenne in, en het heenlopende vermogen in de kabel is  $\{(SWR+1)^2\} / (4 \cdot SWR)$  maal zendvermogen en het gereflecteerde vermogen is  $\{(SWR-1)^2\} / (4 \cdot SWR)$  maal zendvermogen. Netto wordt er dus door de kabel precies het zendvermogen getransporteerd naar de antenne.

Door deze mechaniek dissipeert de  $R_i$  van de bron als die niet 0 is, geen gereflecteerde energie.

### De realiteit

Als je begint met zenden is er nog geen gereflecteerde golf, dan ziet de zender dus 695  $\Omega$  waar maar weinig vermogen ingaat, de antenne pakt daar een deel van, de gereflecteerde golfenergie wordt gebruikt om de impedantie van 695  $\Omega$  te verlagen, die daardoor iets meer opneemt. Dat herhaalt zich. In het beschreven geval duurt het 120 tijdstappen die elk de grootte hebben van de looptijd over de kabel heen en terug, voor de ingangweerstand die de kabel biedt is gedaald van 695  $\Omega$  naar 50  $\Omega$ . Dat blijkt uit een computersimulatie die

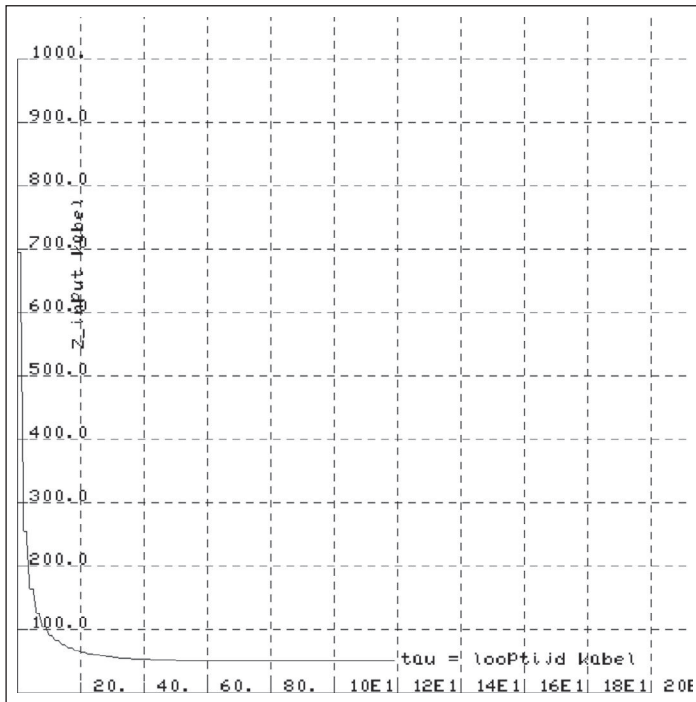


Figuur 6: De klemspanning op de kabel blijft gelijk bij de bron  $R_i$ . Er worden **geen** reflecties gedissipeerd uit de antenne; in de kabel wijzigt er niets.

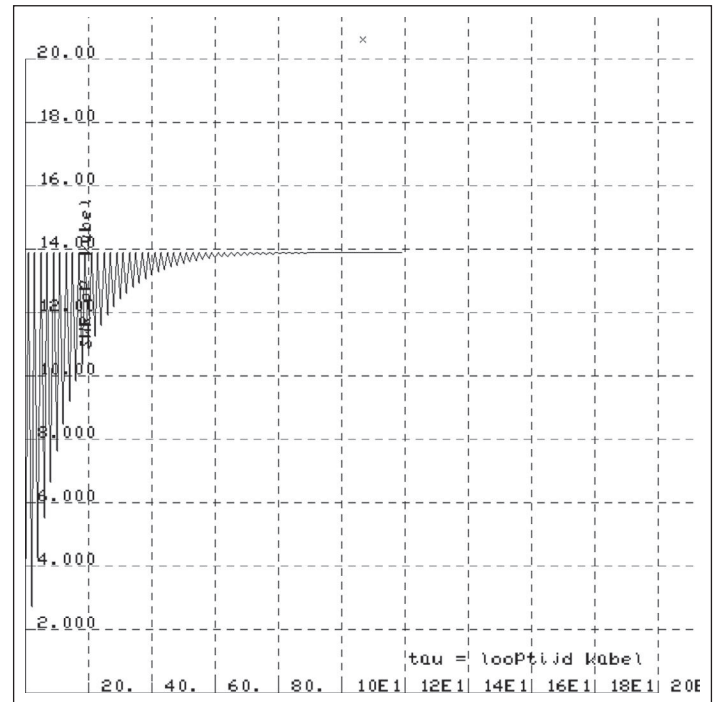
ik hiervoor in elkaar bakte. De drie grafieken geven het resultaat daarvan weer. Te weten: de ingangsimpedantie  $Z_i$ , het uitgestraalde vermogen  $P_{ant}$  en de SWR in grafiekvorm. Dat treedt dus op gedurende ongeveer 100 kabellooptijden dus ongeveer 10 microseconde na het plotseling inschakelen van de bron van 70 V. Kan een zender niet tegen SWR, ook niet heel even, dan is die dus gelijk naar de Filistijnen, hi, want hij begint te leveren in een belasting van 695  $\Omega$  en dus een SWR van 13,9.

### Lineaire vervorming

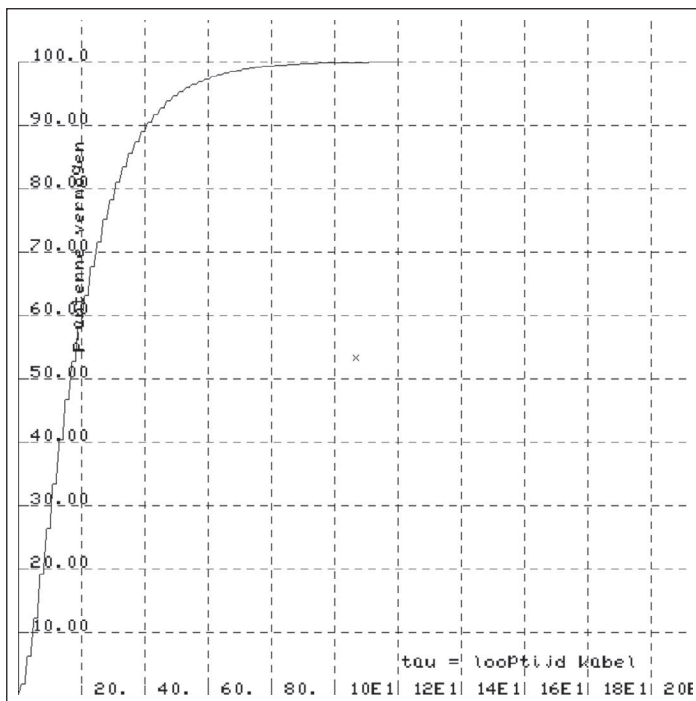
Dat betekent dus, dat als je breedbandige



Verloop van de ingangsimpedantie  $Z_i$ .



Verloop van de SWR.



Verloop van het uitgestraalde vermogen door de antenne.

modulatie toepast, dat de terug geleverde energie door de kabel-lengte, die niet voor alle frequentiecomponenten een halve golf-lengte kan zijn, de verkeerde amplitude en fase heeft om de 50  $\Omega$  te handhaven. Bij amateurzenders die bandbreedtes hebben van 100 Hz tot 3 kHz of wat meer, kan dat geen rol spelen. Voldoe je daar niet aan, dan moet je bij de antennezijde een aanpassing maken, omdat je anders met een frequentieafhankelijke ingangsimpedantie van de lijn zit opgescheept, die zoals bij een filter, bij de spectrumcomponenten verschillende demping veroorzaakt als de  $R_i$  van de bron constant is.

### Niet lineaire vervorming en nevenfrequenties

De grafiek van  $Z_i$  bij inschakelen van een draaggolf geeft trapjes aan, dat is geen benadering, die zijn er werkelijk, omdat de impedantie schoksgewijze wijzigt als een grotere reflectie op de ingang arriveert na de dubbele looptijd over de kabel, die dan plotsklaps een lagere impedantie toont en dus meer vermogen opneemt. Dat betekent tijdens het inschakelen van een draaggolf in principe een niet lineair gedrag van de kabel die nevenfrequenties veroorzaakt zolang (10  $\mu$ s) de stabiele toestand niet bereikt is.

### Verliezen

In werkelijkheid hebben de antennekabels verlies, door diëlectrische en door weerstandsverliezen. Dat wordt door de fabrikant opgegeven op een bepaalde frequentie en per lengte. Het verlies is in dB evenredig met de lengte en in dB ook evenredig met de

wortel uit de frequentie. Viermaal de frequentie verhogen geeft tweemaal zoveel dB verlies.

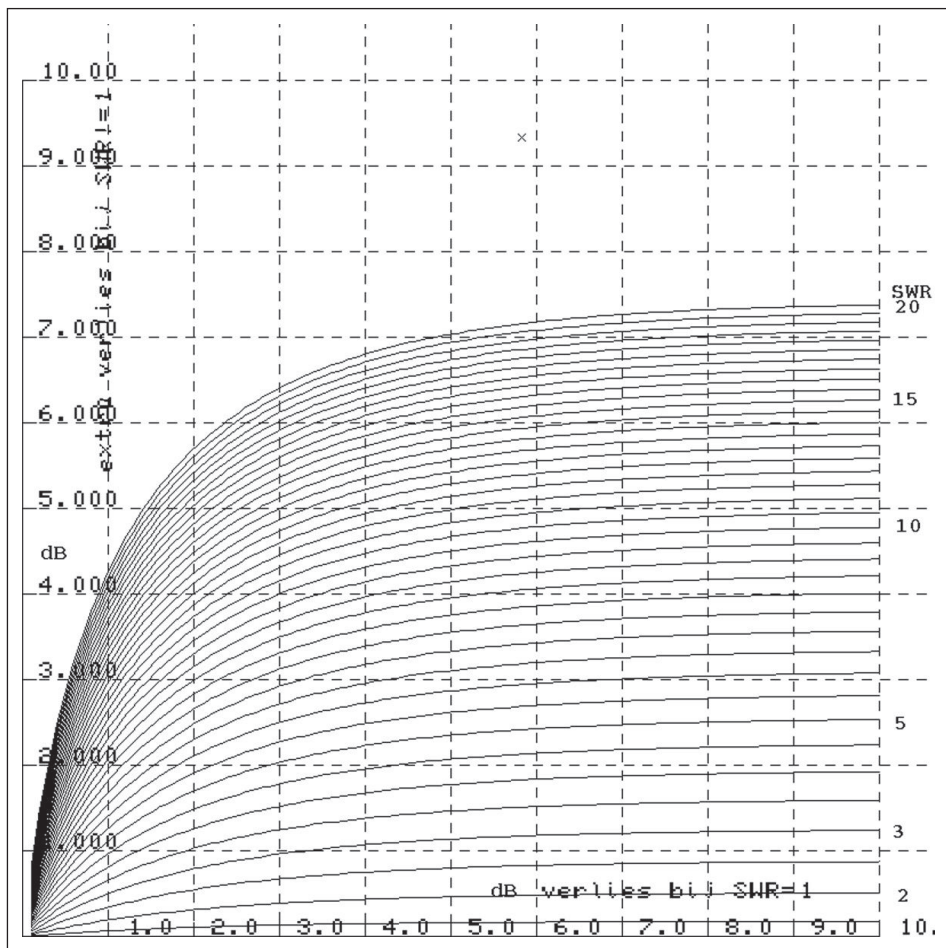
Heb je nu een SWR die groter is dan 1 dan loopt er meer vermogen door de kabel dan je zendt, namelijk het heengaande vermogen is groter dan het zendvermogen en het teruggaande vermogen loopt er ook door. Dat betekent dus dat de verliezen groter zijn dan bij SWR = 1. Dat kan dus soms ook een reden zijn om te trachten de SWR op coax te verlagen door een aanpassing bij de antenne te maken.

De spanningen en stromen in de kabel zijn hoger dan bij SWR = 1, heb je dus een kabel met verlies bij SWR = 1 dan zal het verlies groter worden als de SWR > 1.

Nu krijg je bovendien dat de staande golf voor maxima in amplitude en voor minima zorgt. Het maximum (stroombuik) geeft meer verlies dan het minimum (stroomknoop) minder verlies geeft, omdat de verliezen evenredig zijn met het kwadraat van de stroom.

Ik heb een grafiekje gemaakt, dat aangeeft langs de y-as hoeveel een kabel meer verlies geeft als de SWR > 1 dan bij SWR = 1 als je het verlies bij SWR = 1 weet, dat laatste staat langs de x-as.

Als  $a = P_{in}/P_{uit}$ , een vermogensverhou-



Het verlies in de voedingslijn bij een SWR > 1:1.

# Advertentiemanager gezocht

**Het bestuur is op zoek naar iemand, die de functie van advertentiemanager CQ-PA op zich wil nemen.**

**Het heeft natuurlijk een pre indien u commerciële ervaring heeft, maar ook zonder dat wordt uw aanmelding gewaardeerd!**

**Uw aanmelding voor deze onbetaalde functie wordt vanzelfsprekend vertrouwelijk behandeld. Schroomt u niet, maar meldt u aan, zodat dit belangrijke werk wordt gedaan.**

**Wie durft dit aan? Het is in het belang van uw eigen club!**

**Kandidaten M/V kunnen zich aanmelden via [secr@vrza.nl](mailto:secr@vrza.nl).**

ding dus, het verlies is van een correct afgesloten kabel, en de reflectiecoëfficiënt is  $\rho$  (rho), met  $\rho = (SWR-1)/(SWR+1)$ , dan geldt voor het totale verlies  $b$  in dB (inclusief  $a$  dus) bij goede benadering (dus niet voor open of kortgesloten kabels):

$$b = 10 \log \left( \frac{a^2 - \rho^2}{a^2(1 - \rho^2)} \right) \text{ dB}$$

Omdat van kippenladder de verliezen zeer laag zijn, bijvoorbeeld 0,1 dB voor een stuk op 30 MHz, kun je daar hoge SWR toelaten zonder dat de (extra) verliezen merkbaar worden.

Een kippenladder met SWR 13,9 zou dan 0,65 dB verlies tonen op 30 MHz, dat is andere koek dan 1 S punt verlies in uitgestraald vermogen volgens de mythe.

## Doorslagspanningen

Als je een hoge SWR hebt is het heengaande en teruglopende vermogen een veelvoud van het zendvermogen. Dat betekent dat de piekspanningen  $1,41 \cdot (V_f + V_r)$  ook hoog kunnen oplopen en doorslag kunnen geven. Na wat rekenen volgt dat de piekspanning de wortel uit SWR maal groter is dan bij SWR = 1. Bij SWR = 13,9 zit je dus bijna 4 keer hoger voor hetzelfde vermogen en dat kan bij een antennetuner tot overslag leiden in een varco.

## De Ontvanger

Bij een ontvangstsituatie zit mannetje Miller bij de antenne. De antenne biedt spanning aan, die als hij gereflecteerd wordt bij de tuner niet in de antenne terecht komt en dan opnieuw wordt uitgestraald dank zij Miller met zijn voeding. Het door de ontangstantenne geleverde vermogen verdwijnt even snel in de tuner als het geleverd wordt door de antenne met een SGV op de kabel. De  $R_i$  van de antenne speelt geen rol als de tuner energie reflecteert, die eventueel gereflecteerde energie wordt dus niet opnieuw uitgezonden de ether in.

Omdat de tuner is afgestemd op de geconjugeerde impedantie van het kabeleinde dat de SGV bepaalt, vindt er een optimale energieoverdracht plaats van antenne naar ontvanger die op de  $50 \Omega$  einde van de tuner staat, omdat aan de antennezijde, als je niet aan de tuner hebt gedraaid, aan de antenne de geconjugeerde van de antenneimpedantie wordt getoond.

We hebben berekend, dat er wat meer vermogen verloren gaat bij een hoge SWR in de kabel, bedenk daarbij wel dat je hetzelfde extra verlies hebt voor ontvangen signalen.

73 de PAoWV