

Antennes en isolatie

D.A. VAN DUIJN, VISSER 'T HOOFT LYCEUM LEIDEN, 6VD
NT/NG, NATUURKUNDE
IR. W.J. KOSTER

Inhoud

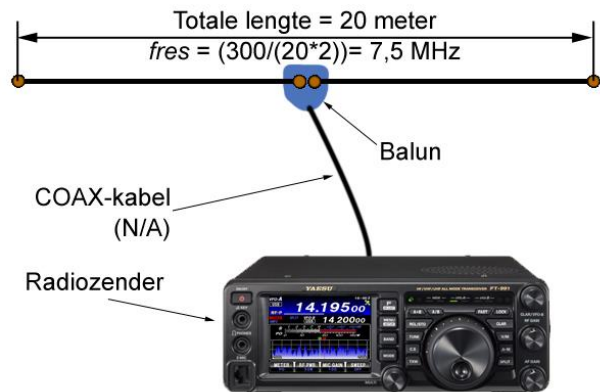
Inleiding	2
Wijze van experimenteren	5
2 meter/VHF in de praktijk	7
70 centimeter/UHF in de praktijk.....	9
70 centimeter/UHF in de praktijk - herziening	11
2 meter/VHF in theorie: computersimulaties.....	12
Conclusie	14
Bronnen	15
Bijlagen	16
Bijlage 1: plan van aanpak.....	16
Tijdpad.....	16
Onderzoeksplan.....	16
Bijlage 2: impedantie en staande golven uitgelegd	18
Bijlage 3: Amphenol ® RF VSWR to Return Loss Conversion Chart	20
Bijlage 4: spectrums	21
Bijlage 5: plots 4NEC2	24
Bijlage 6: logboek.....	26
Bijlage 7: evaluatie.....	27

Inleiding

Ik ben radiozendamateur sinds april 2015 en mij is opgevallen dat de meningen verdeeld zijn over isolatie aanbrengen op zendantennes. De ene zweert erbij dat een isolatie géén invloed heeft, terwijl anderen dat juist wél vinden. Al zoekende naar een antwoord maakte ik er op uit dat er nog niet echt proeven mee zijn gedaan.

¹Een radiozendamateur is iemand die voor de hobby contact legt over de gehele wereld via de ether. Dit mag niet worden verward met een radiopiraat, want een radiozendamateur heeft een staatsexamen succesvol moeten afleggen, om te bewijzen voldoende kennis in huis te hebben om een storing op te kunnen lossen of om te weten hoe een radiozender precies werkt.

In principe kan elk stuk draad worden gebruikt als zendantenne, je knipt bijvoorbeeld een stuk van 20 meter snoer op de helft door en zet er een zogenaamde balun aan. Dit is een kastje dat ervoor zorgt dat de antenne kan worden aangesloten op de kabel naar de zender die we in dit experiment



Figuur 1

gebruiken, zoals ook te zien is in Figuur 1. Deze antenne is een zogenaamde halve golf dipool; hij is precies een halve golflengte lang (20 meter van de $(2*20=)$ 40 meter). Aan de hand van de golflengte kunnen we met de golflengte van de antenne zijn resonantiefrequentie bepalen door de formule $\lambda = \frac{v}{f}$, waarin λ de golflengte is in meters, v de snelheid van het licht (ongeveer $3*10^8\text{m/s}^3$) en f de frequentie in Hertz. Uit deze formule komt dat de antenne resonant is op ongeveer 7,5 MHz. Als de antenne te lang of te kort is, is de impedantie op onze frequentie respectievelijk te hoog of te laag in het voedingspunt (bij de balun), waardoor de reflectie te groot is (dit leg ik later uit aan de hand van illustraties). Als een antenne een verkeerde impedantie heeft in het voedingspunt (de antenne is te kort of te lang), reflecteert deze een deel van het vermogen door de kabel, terug de zender in. De transistoren die vandaag de dag worden gebruikt om het – hoge – zendvermogen te produceren, kunnen daar zeer slecht tegen. Het spreekt dus voor zich dat de antenne zo goed mogelijk moet worden aangepast. Er zijn verschillende benamingen waarin de mate van reflectie kunnen worden uitgedrukt. Een voorbeeld daarvan is de return loss, uitgedrukt in decibel. Dit is ook afgebeeld op de schermafdrucken van de spectrum analyzer. Er moet worden opgemerkt dat op de spectrum analyzer de return loss negatief is uitgedrukt, maar positief moet worden afgelezen, men moet dus het minnetje wegdenken. Hoe hoger de return loss (hoe lager de grafiek), hoe minder vermogen er wordt gereflecteerd, hoe beter de antenne is qua impedantie. Een andere benaming is de staandegolfverhouding,

¹ (Discontinued Amateur Transceivers, n.d.)

² (David C. Cassidy, 2002)

³ (Wavelength, 2016)

ofwel Standing Wave Ratio ((V)SWR). Dit geeft ook de verhouding aan tussen het heengaan en het teruggaan vermogen. De SWR is uitgedrukt als 1:#, met op de plaats van '#' een getal, groter dan 1. Hoe groter het getal, hoe meer energie er wordt gereflecteerd en hoe slechter de antenne is. Voor meer uitleg hierover verwijst ik u door naar bijlage 2.

De SWR-dip is de laagste SWR, deze valt bij antennes bijna altijd op de resonantiefrequentie.

Als bandbreedte van de antenne heb ik het bereik genomen in het spectrum, waar de return loss boven een bepaalde waarde is (dus op de schermafdruk onder een bepaalde, negatieve, waarde). Dit verschilt per antenne, omdat de minima van de SWR-dips varieerde.

De vraag is: Wat is de invloed van isolatie op een zendantenne op het gebied van de resonantiefrequentie, bandbreedte en SWR-dip?

Volgens mij zal de resonantiefrequentie iets naar beneden schuiven bij het aanbrengen van de krimpkous, een isolerende slang die om bijvoorbeeld een soldeerverbinding gaat en krimpt bij de toevoer van warme lucht, aangezien de verkortingsfactor dan een rol gaat spelen. De verkortingsfactor (in het Engels de 'Velocity Factor') is de verhouding van het verschil in snelheid waarmee een elektromagnetisch signaal (bijvoorbeeld een radiosignaal) door een medium gaat (bijvoorbeeld de PVC-krimpkous om de antenne) ten opzichte van haar snelheid door vacuüm. De verkortingsfactor is te berekenen uit de diëlektrische constante met behulp van de formule $VF = \frac{1}{\sqrt{\kappa}}$ ⁴, waarin κ = de diëlektrische constante. De diëlektrische constante van PVC is 3,18⁵. Uit dit gegeven en de formule komt een verkortingsfactor van 0,56. Dit houdt in dat een elektromagnetische golf door PVC 0,56 keer zo snel gaat als door vacuüm, wat neerkomt op een voortplantingssnelheid van ongeveer $((3 \cdot 10^8)^6 \cdot 0,56) = 1,68 \cdot 10^8$ m/s. Als men dit vergelijkt met een snelheid $v = 3 \cdot 10^8$ m/s, komt men met de formule $\lambda = \frac{v}{f}$ ⁷ uit op een golflengte λ van 2 meter voor een f van 150 MHz zonder PVC isolatie, en met PVC isolatie komt men uit op een golflengte van 1,12 meter met diezelfde frequentie. Hieruit kun je redeneren dat bij aanbrengen van de isolatie, de voortplantingssnelheid lager wordt, waardoor, bij een gelijke lambda, de resonantiefrequentie omlaag verschuift.

Naast het verschuiven van de resonantiefrequentie heb ik ook het verschuiven van de bandbreedte gebruikt om de invloed te bepalen, omdat de resonantiefrequentie niet in alle experimenten betrouwbaar was. Ik heb het midden van de bandbreedte genomen (het gemiddelde van de grenzen) en berekend hoeveel deze waarheen is verschoven.

De bandbreedte zal iets kleiner worden, omdat de frequentie naar beneden gaat, maar de hoogte niet zal veranderen; dit speelt vooral een rol bij antennes op de korte golf, waarbij de golflengten soms wel 80 meter zijn. De antenne kan het beste

⁴ (Velocity Factor, 2016)

⁵ (F. W. Sears, 1982)

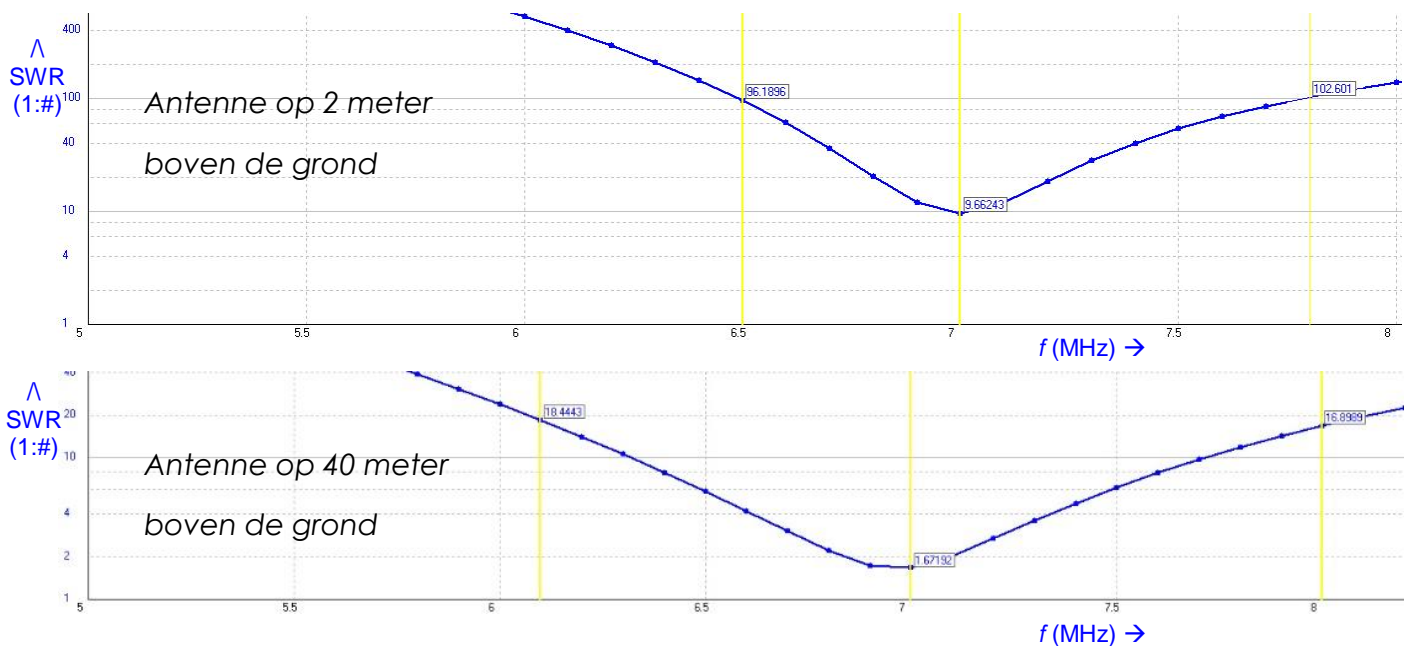
⁶ (Wavelength, 2016)

⁷ (David C. Cassidy, 2002)

meer dan 40 meter boven de grond hangen, maar dit is vaak niet mogelijk, waardoor de bandbreedte extreem klein zal zijn. Hierdoor zal de antenne smalbandiger worden. Ik heb met het programma 4NEC2 simulaties gedaan met een antenne voor 7 MHz op zowel 2 meter boven de grond als 40 meter boven de grond. Het blijkt dat bij de versie die 2 meter boven de grond hing, de minimale SWR 1:9,66 was. Een vermenigvuldiging met factor 10 (rond de 1:96,7) heb ik de bandbreedte bepaald op 1,3 MHz. Ik heb een vermenigvuldiging met factor 10 gebruikt, om zo het relatieve verschil tussen de maximale SWR en de minimale SWR gelijk te laten. De 40-meterversie had een minimale SWR van 1:1,67. Door dit ook te vermenigvuldigen met een factor 10 kwam ik uit op een SWR van ongeveer 1:16,7, waaraan de grenzen van de bandbreedte moesten voldoen. Ik kwam bij de hoge antenne uit op een bandbreedte van 1,9 MHz, waaruit ik kan afleiden dat een antenne smalbandiger wordt als hij lager wordt opgehangen. De plots van beide antennes zijn te zien in de figuren hiernaast. Mij lijkt dit te gebeuren in de orde van enkele kilohertzen. De SWR-dip zal niet meetbaar veranderen, omdat de antenne hoog genoeg hangt om de frequentieverlaging op te vangen.

De resultaten zullen van belang zijn voor zowel vrijetijdsantennebouwers als professionele antennebouwers, men kan dan rekening houden met eventuele veranderingen in frequentie en bandbreedte als men de antenne heeft afgewerkt met isolatie als krimpkous. Dan komt men niet plotseling voor verrassingen te staan als een middengolfantenne ineens een paar kilohertzen te laag resonant is.

Ik wil iedereen bedanken die mij heeft geholpen bij dit onderzoek, onder wie de heer Disselhorst, voor het verrichten van- en assisteren bij de metingen met zijn spectrum analyzer, de heer Koster, die mij heeft begeleid bij het hele proces en, last but not least, mijn ouders die mij hebben gesponsord, zodat ik de materialen kon aanschaffen die benodigd waren voor dit onderzoek.



Wijze van experimenteren

Er zijn twee experimenten uitgevoerd, namelijk een experiment in de praktijk en een computersimulatie. Het praktijkexperiment was gericht op het bewijzen dat de isolatie invloed heeft op de antenne. De computersimulatie is uitgevoerd om te kijken of de computersimulatie een waarheidsgetrouw beeld zou schetsen.

Voor het praktijkexperiment heb ik van 2,5 mm² gestript installatiedraad voor de antenne voor de 2-meterband twee stukken getwist van zo'n 53 centimeter in lengte. Voor de 70-centimeterband heb ik twee stukken getwist van zo'n 17 centimeter in lengte (zie Figuur 2). Ik heb van hardhout een bevestiging gemaakt en die met een eikenhouten balk van een kleine meter lang gemonteerd op een stalen statief, waarbij de dipool zo'n 2,2 meter boven de grond was. Ik heb als kabel voor het voedingspunt 1,5 meter RG-174 coaxkabel genomen, die meerdere malen door twee ferrietklemmetjes gewikkeld om de mantelstromen te onderdrukken. Het eerste ferrietklemmetje was een Fair-Rite CSRA20/20/39-31-6.6 en het tweede was een Fair-Rite CSRA24/23/39-31-10. Aan de ene kant van de coaxkabel was een SMA man connector en aan de andere kant waren twee vorkkabelschoentjes gekrompen.

Tussen de RG-174 en de spectrum analyzer (de Rigol DSA815 TG van meneer Disselhorst) gebruikte ik 10 meter H-155 coaxkabel met aan weerszijden compressie UHF man connectoren die erop waren gezet door Handelsonderneming Veenstra. Ook gebruikten we de nodige adapters om de kabels en de spectrum analyzer op elkaar aan te sluiten.

Voor de isolatie gebruikten we PVC krimpous van een rol van 5 meter HellermannTyton 344-00480⁸ van RS Components met een wanddikte van zo'n 0,5 millimeter⁹.

Voor de computersimulatie heb ik twee verschillende programma's gebruikt, namelijk 4NEC2 v5.8.16 en EzNEC v6.0 DEMO.



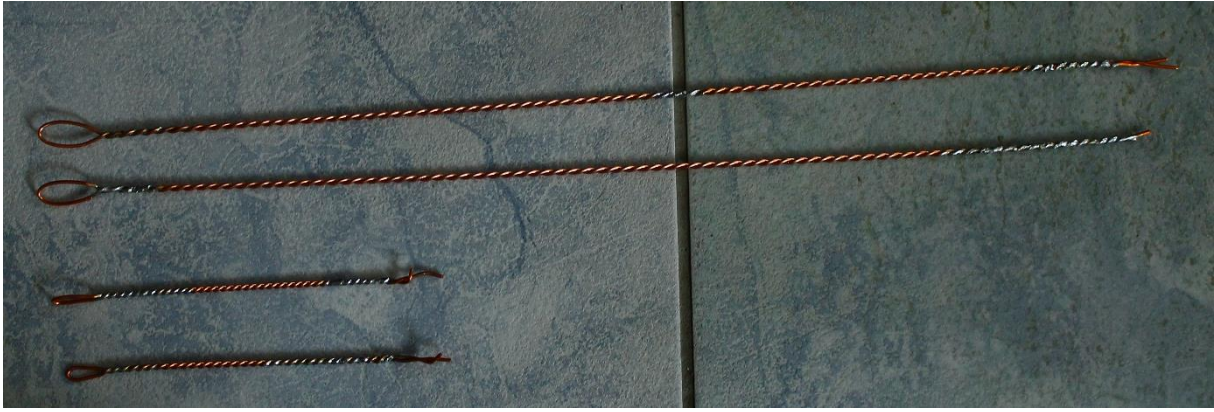
Figuur 2 Statief in ingeschoven toestand



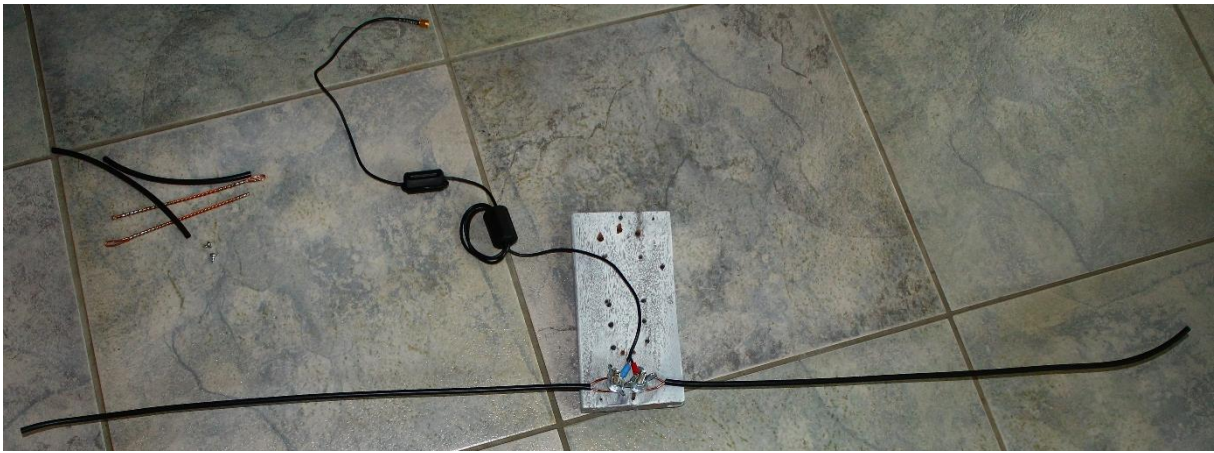
Figuur 3 Eikenhouten balk voor montage

⁸ (RS Components, 2016)

⁹ (HellermannTyton, 2016)



Figuur 7 De vier dipoolbenen



Figuur 6 2m dipool - geïsoleerd



Figuur 5 RG-174 coax met de ferrietklemmetjes en vorkkabelschoentjes

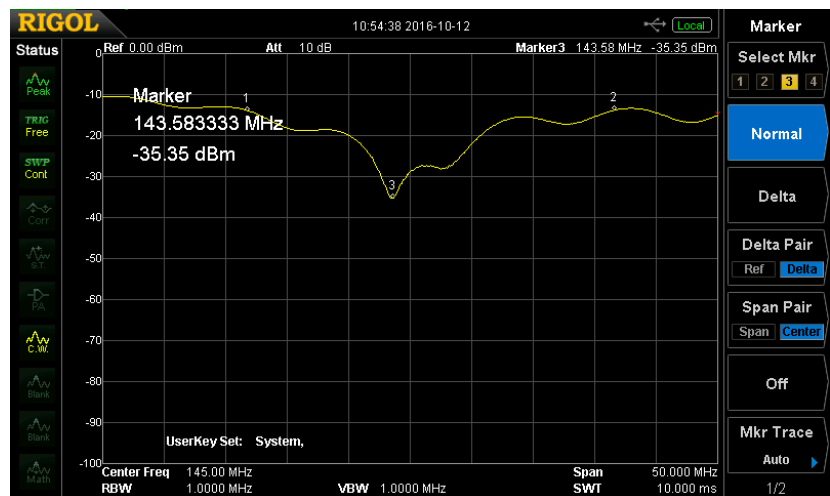


Figuur 4 70cm dipool met krimpkous

2 meter/VHF in de praktijk

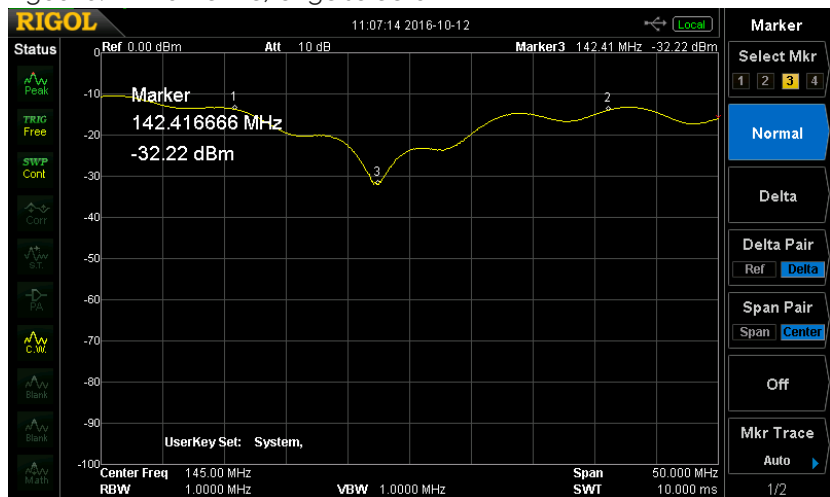
Bij de eerste meting kwam er over het hele spectrum tussen 0 Hertz en 1,5 GHz een soort grasmal. Na een kwartiertje zoeken waar het aan kon liggen, zagen we dat de twee helften van de antenne kortsluiting maakten in het voedingspunt. Snel de vleugelmoertjes losgedraaid en de delen uit elkaar getrokken, waarna de grasmal had plaatsgemaakt voor een keurig spectrum met een dip tussen de 100 en 200 MHz.

We begonnen met twee ongelijke stukken getwist koperdraad, rond de 52~53 centimeter in lengte, horizontaal gemonteerd aan het voedingspunt. Eerst hebben we ze allebei even lang gemaakt door de overtollige lengte af te knippen en daarna hebben we het spectrum bekeken. De antenne had een dip in de SWR rond de 124~125 Megahertz, wat inhield dat hij te lang was ($\lambda = v/f \rightarrow$ hoe lager de frequentie, hoe groter de golflengte λ). Dit was echter volgens plan, je kunt een antenne namelijk wel inkorten door er iets *af* te knippen (de resonantiefrequentie omhoog brengen), maar je kunt er niet iets *bij* knippen, waardoor de resonantiefrequentie omlaag gaat ($\lambda = v/f \rightarrow$ lambda wordt langer en dus de antenne ook).



Figuur 8: VHF-antenne, ongeïsoleerd

Na ongeveer 3 centimeter aan beide kanten te hebben verwijderd, was de antenne resonant op 143.58 MHz (het dal in Figuur 8), waar de return loss 35.35 decibel is. Deze return loss komt volgens bijlage 3 overeen met een SWR van ongeveer 1:1.04. Deze hoge return loss geeft aan dat deze antenne zeer goed is aangepast aan de kabel. De bandbreedte kan men afleiden uit de afstand tussen de markers 1 en 2



Figuur 9: VHF-antenne, geïsoleerd

(Figuur 8). Tussen deze markers wordt het gebied weergegeven waar de return loss 14 decibel of meer is, wat volgens bijlage 3 neerkomt op een SWR van 1:1.5. Deze bandbreedte is bij de ongeïsoleerde antenne ongeveer 29.5 MHz, wat is berekend

met de formule $BW = f_H - f_L$ ¹⁰, waarbij f_H de hoogste frequentie is (marker 2 ~ 161.50 MHz) en f_L de laagste frequentie (marker 1 ~ 132 MHz).

Omdat het gebruik van de resonantiefrequentie af en toe wat onbetrouwbaar is (ik verwijs door naar de uitslag van de 70-centimeterproef), heb ik aan de hand van de bandbreedte ook de 'centerfrequentie' bepaald ($f_{center} = \frac{f_{laagste} + f_{hoogste}}{2}$ ¹¹, waarin $f_{laagste}$ de laagste frequentie is waarop de return loss 14 decibel is en $f_{hoogste}$ de hoogste frequentie is waarop de return loss 14 decibel is). De centerfrequentie van de ongeïsoleerde dipool is ongeveer ($\frac{132+161.5}{2} =$) 147 MHz.

De dip in de reflectie bij de geïsoleerde dipool zit duidelijk een stuk lager in de frequentie, nu is de resonantiefrequentie namelijk 142.42 MHz (Figuur 9). Dit komt overeen met de gestelde hypothese. De SWR is wel wat omhoog gegaan, de return loss is nu 32.22 decibel (marker 3, Figuur 9), wat volgens bijlage 3 overeenkomt met een SWR van 1:1.05. De markers 1 en 2 vertegenwoordigen nog steeds de randen van het gebied waarin de return loss groter dan of gelijk is aan 14 decibel. Uit de afstand tussen de markers 1 en 2 blijkt dat de bandbreedte bij de geïsoleerde antenne ongeveer ($f_H - f_L = marker_2 - marker_1 = 161 - 130.8 =$) 30.2 MHz is, waaruit blijkt dat die wat omhoog is gegaan. De centerfrequentie van de geïsoleerde dipool is ($\frac{161+130.8}{2} =$) 146 MHz, waaruit ik kan opmaken dat de middenfrequentie is gedaald met 1 MHz en dat de resonantiefrequentie is gedaald met 1,16 MHz.

¹⁰ (EXPERIMENT 9: Band Pass Filters, n.d.)

¹¹ (Center Frequency Calculator, n.d.)

70 centimeter/UHF in de praktijk

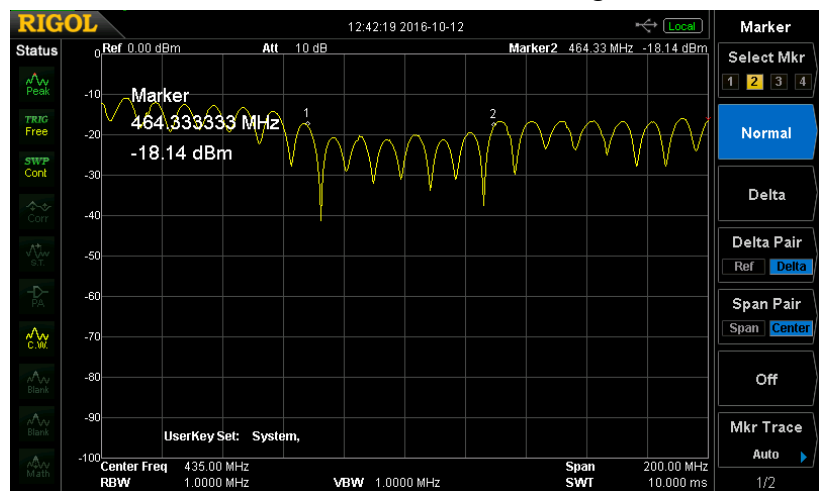
Toen we de twee stukken van ongeveer 17 centimeter hadden gemonteerd, kregen we weer een grasmatt te zien. Na wat gezoomd in het spectrum te hebben, zagen we een vage, brede dip rond de 350 MHz, maar deze bestond ook uit grassprietten, waardoor het lastig was deze dip van de rest van het spectrum te onderscheiden. Na wat geknip, hadden we twee armen van elk 14 centimeter, maar ze waren nog resonant rond de 400 Megahertz, wat veel te laag is voor deze afmetingen, daar ze ($0,14m \cdot 4 = 0,56m$ $300/0,56m = 535,71$ MHz). We vermoedden dat de twee bouten A en B de oorzaak konden zijn, omdat ze behoorlijk lang waren in vergelijking met de golflengte (5 centimeter van de bouten ten opzichte van ongeveer 70 centimeter).

We hebben die moeren vervangen voor twee schroefjes van 6,5 millimeter in de lengte, zoals te zien in Figuur 4, en daarna zag de dip er iets duidelijker uit. We hadden nog wel last van de grasmatt, maar na testen zonder de 10 meter lange H-155 coaxkabel, concludeerden we dat de reflecties kwamen door de coax, aangezien meneer Disselhorst dat al eerder had meegemaakt in zijn ruim 40-jarig zendamateurschap.

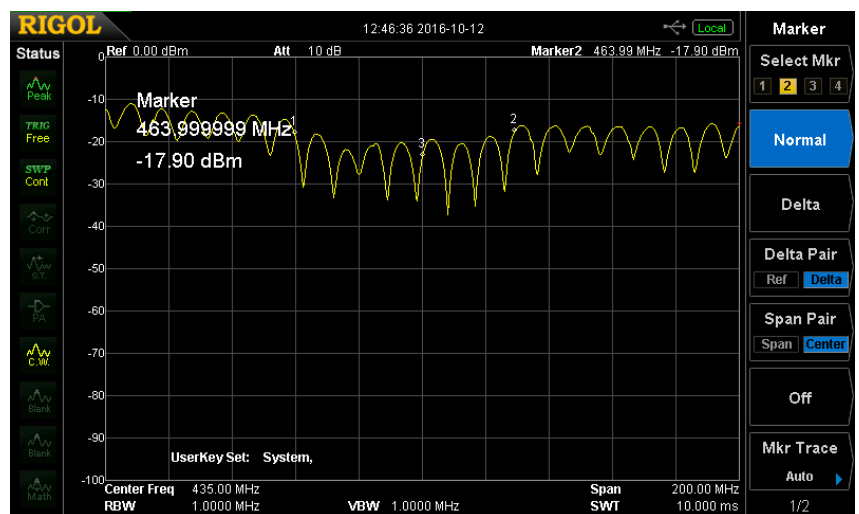
We hebben de antenne afgesteld op ongeveer 435 MHz, het midden van de zogenaamde 70-centimeterband van radiozendamateurs in Nederland (deze band loopt van 430 tot en met 440 Mhz).

Het resultaat hiervan is te zien in Figuur 10.

We hebben geen exacte resonantiefrequentie kunnen vinden, maar ik neem voor het gemak de eerste dip aan na marker 1. Deze is, naar schatting, op ongeveer 406.5 MHz met een return loss van ongeveer 41.5 decibel, wat volgens bijlage 3 neerkomt op een SWR van 1:1.02. Het gebied tussen de markers 1 en 2 vertegenwoordigt het spectrum waarin de return loss groter dan of gelijk aan 18 decibel, wat volgens bijlage 3 neerkomt op een SWR van 1:1.29. De bandbreedte van deze antenne in dit spectrum is ongeveer $f_H - f_L = 464 - 404 = 60$ MHz.



Figuur 10: UHF-antenne, ongeïsoleerd, buiten

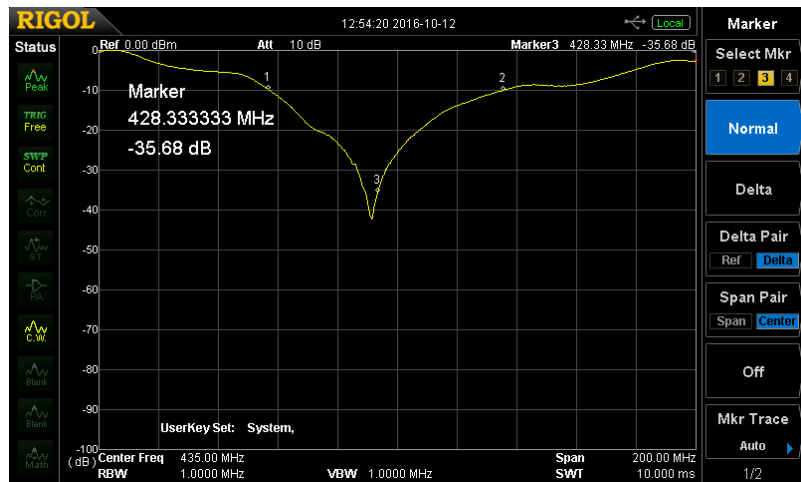


Figuur 11: UHF-antenne, geïsoleerd, buiten

Na het aanbrengen van de krimpkous zagen we geen grote verschillen (Figuur 11): het gebied tussen de markers 1 en 2 is ook onder de -18 dB reflectie. Wèl was, door meetfouten, de resonantiefrequentie ongeveer 6 à 7 MHz omhooggeschoven, naar 443 MHz (Figuur 11, derde dip van rechts, de diepste). Daar was de return loss ongeveer 37 decibel, wat volgens bijlage 3 overeenkomt met een SWR van 1:1,03. De bandbreedte is groter geworden, nu is deze namelijk ongeveer ($f_H - f_L = 464 - 395 =$) 69 MHz. De centerfrequentie was bij de ongeïsoleerde antenne ($\frac{f_H + f_L}{2} = \frac{404 + 464}{2} =$) 434 MHz en bij de geïsoleerde antenne ($\frac{464 + 395}{2} =$) 429.5 MHz, deze is dus door de isolatie met 4.5 MHz omlaag gegaan.

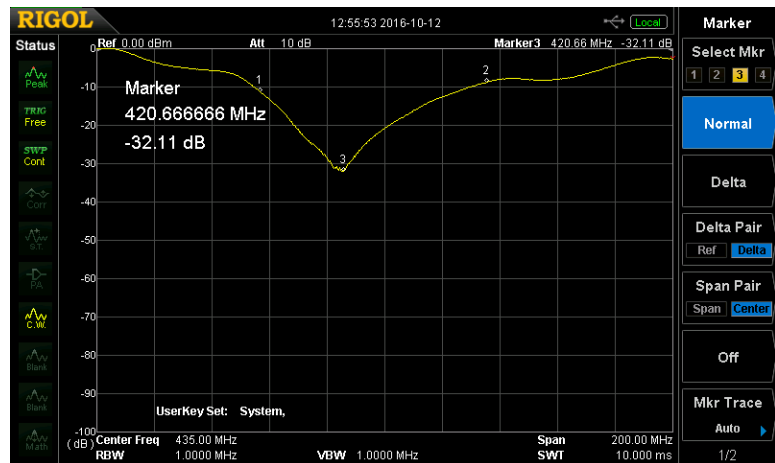
70 centimeter/UHF in de praktijk - herziening

Omdat de 10 meter lange coaxkabel op 70 centimeter zoveel invloed had, hebben we dit gedeelte van het experiment herhaald binnenin de radiokamer. De metingen die we hieraan deden, toonden het effect van de lange coax, nu hadden we namelijk gelijk de RG-174 op de spectrum analyzer aangesloten. Het resultaat daarvan was meteen zichtbaar: de grasmat was als sneeuw voor de zon verdwenen.



Figuur 12: UHF-antenne, ongeïsoleerd, binnen

De resonantiefrequentie was ongeveer 426 MHz met een return loss van ongeveer 42 decibel (Figuur 12). De markers 1 en 2 staan op ongeveer 10 decibel return loss (Figuur 12), wat volgens bijlage 3 ongeveer overeenkomt met een SWR van 1:1.92. De bandbreedte van de antenne is nu ongeveer ($f_H - f_L = 470 - 392 =$) 78 MHz.



Figuur 13: UHF-antenne, geïsoleerd, binnen

Toen de krimpkoos eroverheen werd geschoven, schoof de resonantiefrequentie omlaag naar ongeveer 421 MHz, waarop de return loss 32.11 dB bedroeg (Figuur 13), wat volgens bijlage 3 een SWR bedraagt van 1:1.05. De bandbreedte is echter iets kleiner geworden, namelijk ($f_H - f_L = 471 - 390 =$) 81 MHz.

Bij dit laatste onderdeel (binnen) dient te worden opgemerkt dat dit puur voor demonstratieve redenen was en niet voor echt onderzoek. De omgeving had namelijk te veel invloed op de antenne: als je bewoog, veranderde de reflectie al. Dit was dus alleen om te demonstreren dat de lange kabel niet ideaal was voor deze meting op zo'n hoge frequentie.

2 meter/VHF in theorie: computersimulaties

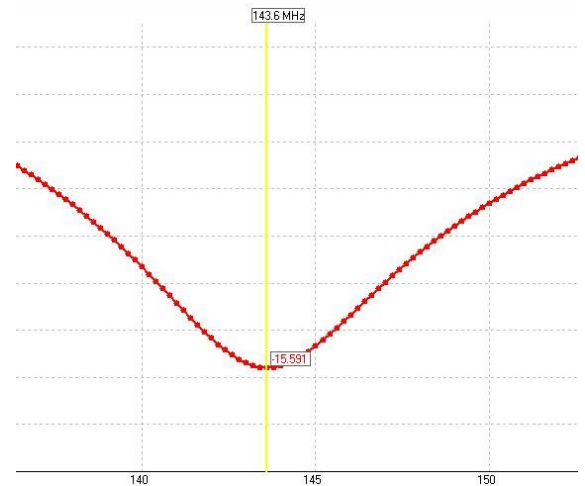
Om te kijken hoe betrouwbaar computersimulaties eigenlijk zijn ten opzichte van de werkelijkheid, heb ik de 2-meterantenne viermaal gesimuleerd: twee keer in het programma 4NEC2 en twee keer in het programma EzNEC.

Figuur 14 en Figuur 15 zijn geplot in het programma 4NEC2 versie 5.8.16 van Arie Voors. De bandbreedten van de antennes zijn niet realistisch geplot, mede omdat het programma geen rekening houdt met factoren als kabellengte en dergelijke. Als je de frequentieverandering in dit programma vergelijkt met de werkelijkheid, scheelt het niet veel (<1 MHz).

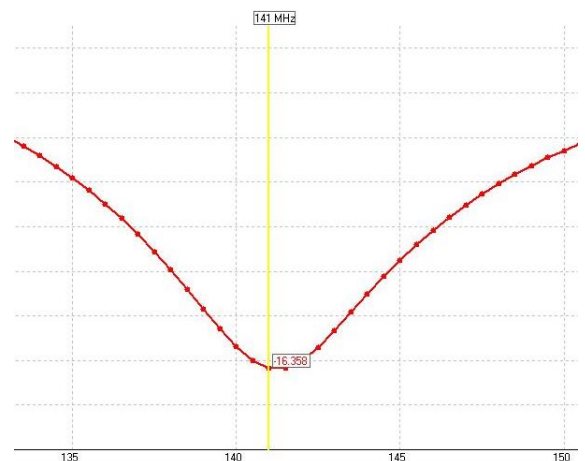
Figuur 17 en Figuur 16 op de volgende pagina zijn geplot in EZNEC Demo v 6.0 . Ook bij dit

programma was het lastig de bandbreedte van de antenne zo realistisch mogelijk te maken. De frequentieverschuiving komt ook redelijk overeen met de werkelijkheid (<1 MHz verschil).

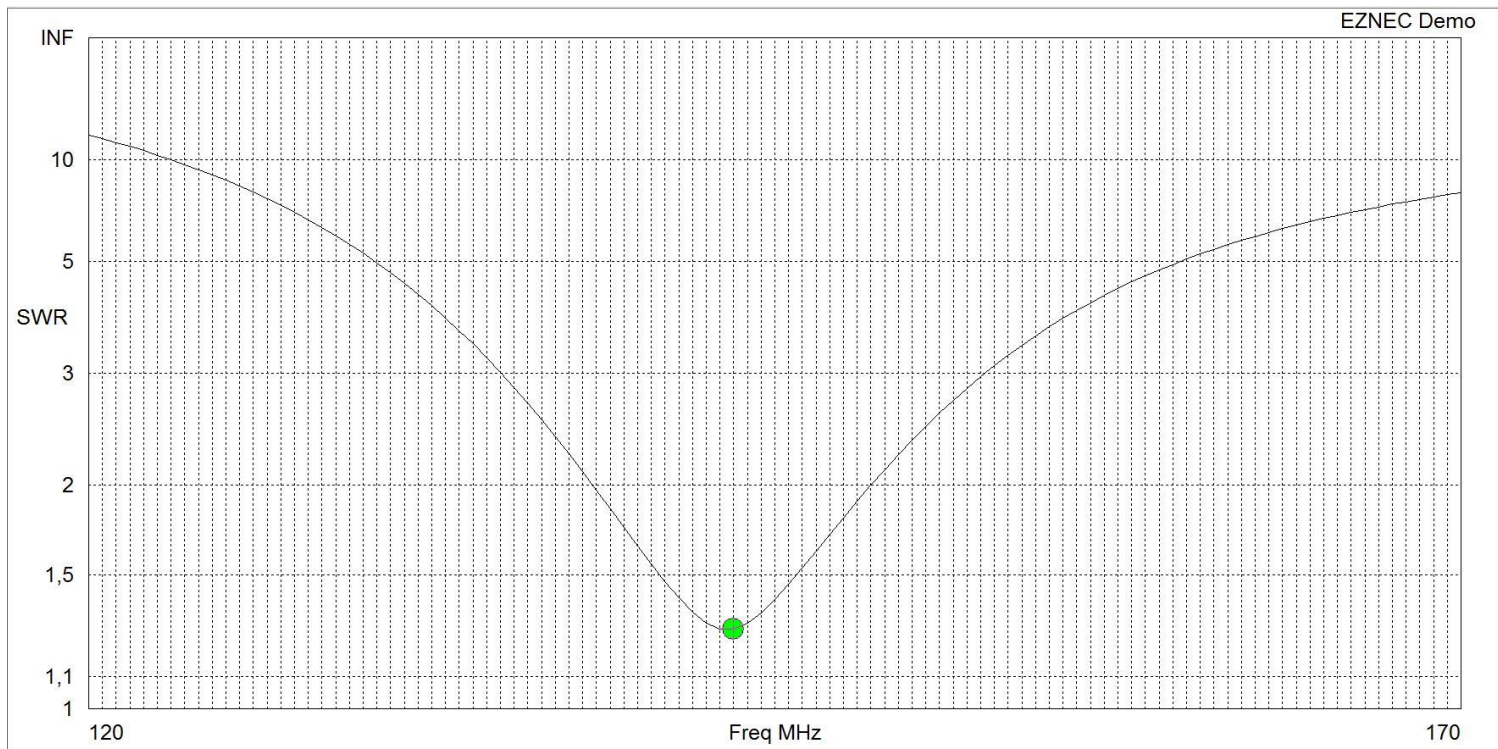
Al met al kan ik dus concluderen dat deze twee programma's redelijk op de hoogte zijn van de verandering van de resonantiefrequentie als gevolg van het aanbrengen van isolatie.



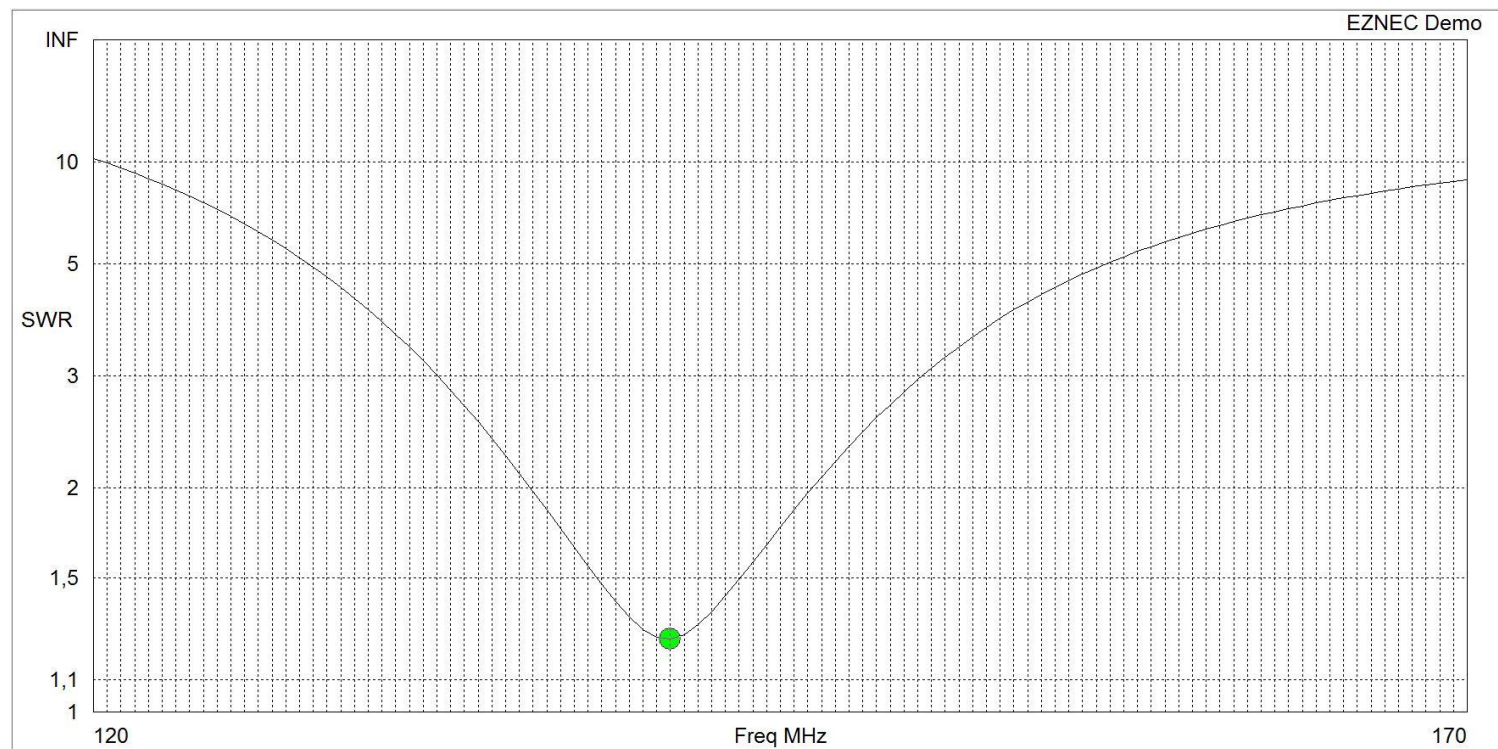
Figuur 14: fragment plot 4NEC2 ongeïsoleerde 2-meterdipool



Figuur 15: fragment plot 4NEC2 geïsoleerde 2-meterdipool



Figuur 17: VHF-antenne, gesimuleerd in EzNEC, ongeïsoleerd. Kenmerkend is de resonantiefrequentie 143,5 MHz met daarop een SWR van 1:1,2.



Figuur 16: VHF-antenne, gesimuleerd in EzNEC, geïsoleerd. Kenmerkend is de resonantiefrequentie 141 MHz met daarop een SWR van 1:1,2.

Conclusie

Al met al kan ik dus concluderen dat er inderdaad een zekere invloed is van isolatie op een antenne. De resonantiefrequentie verschuift omlaag, de bandbreedte vernauwt en de SWR-dip stijgt enigszins.

Ook de computerprogramma's 4NEC2 en EzNEC zaten er niet veel naast qua verschuiving van resonantiefrequentie.

Bronnen

- Blattenberger, K. (n.d.). *VSWR - Return Loss - Γ Conversions*. Von RF Cafe:
<http://www.rfcafe.com/references/electrical/vswr.htm> abgerufen
- Center Frequency Calculator*. (n.d.). Von Learning about Electronics:
<http://www.learningaboutelectronics.com/Articles/Center-frequency-calculator.php> abgerufen
- David C. Cassidy, G. H. (2002). *Understanding Physics*. Springer Science & Business Media.
- Discontinued Amateur Transceivers*. (n.d.). Von Universal Radio Inc.:
<http://www.universal-radio.com/catalog/hamhf/3991.html> abgerufen
- Elektrische weerstand (eigenschap)*. (14. februari 2016). Von Wikipedia:
[https://nl.wikipedia.org/wiki/Elektrische_weerstand_\(eigenschap\)](https://nl.wikipedia.org/wiki/Elektrische_weerstand_(eigenschap)) abgerufen
- EXPERIMENT 9: Band Pass Filters*. (n.d.). Von LAMAR UNIVERSITY CIRCUITS LABORATORY: <ftp://ftp.ni.com/pub/gdc/tut/llabb9.pdf> abgerufen
- F. W. Sears, M. W. (1982). *University Physics, 6th Ed.* Addison-Wesley. Von HyperPhysics. abgerufen
- HellermannTyton. (12. oktober 2016). *Heat Shrinkable Tubing 2:1 - PVC*. Von HellermannTyton: <http://docs-europe.electrocomponents.com/webdocs/1491/0900766b81491182.pdf> abgerufen
- Return Loss*. (22. augustus 2016). Von Wikipedia:
https://en.wikipedia.org/wiki/Return_loss abgerufen
- RS Components. (2012. oktober 2016). *HellermannTyton Black Heat Shrink Tubing sleeve diameter 4.8mm length 5m ratio 2:1*. Von RS Components: <http://nl.rs-online.com/web/p/products/0452476/> abgerufen
- Staande-golfverhouding*. (12. oktober 2016). Von Wikipedia:
<https://nl.wikipedia.org/wiki/Staande-golfverhouding> abgerufen
- Velocity Factor*. (26. oktober 2016). Von Wikipedia:
https://en.wikipedia.org/wiki/Velocity_factor abgerufen
- VSWR CONVERSION CHART*. (n.d.). Von Amphenol RF:
<http://lghttp.44230.nexcesscdn.net/801979A/media/media/pdf/VSWR%20to%20Return%20Loss%20Conversion%20Chart.pdf> abgerufen
- VSWR to return loss conversion*. (12. oktober 2016). Von Telestrian:
<http://cgi.www.telestrian.co.uk/cgi-bin/www.telestrian.co.uk/vswr.pl> abgerufen
- Wavelength*. (10. oktober 2016). Von Wikipedia:
<https://en.wikipedia.org/wiki/Wavelength> abgerufen

Bijlagen

Bijlage 1: plan van aanpak

Tijdpad

Geschatte datum	Activiteit	Geschatte tijdsduur
September-oktober 2016	Begin maken PWS - opbouw	5 uur
September-oktober 2016	Onderdelen antennes maken (koper twisten, voedingspunt ontwerpen) en aanschaffen (PVC krimpkous, installatiedraad, hout)	2 dagen (tot. 24uur)
10-14 oktober 2016	Metingen dipool verrichten (voorlopige datum: 12 okt. 2016)	1 dag (10 uur)
10-14 oktober 2016	Metingen + resultaten verwerken in PWS	6 uur
Oktober-november-december 2016	Werken aan opbouw PWS	6-7 uur per week
Januari-februari 2017	Werken aan presentatie PWS	4 uur per week

Onderzoeksplan

Hoofdvraag:

“Wat is de invloed van isolatie op een antenne(?)”

Deelvragen:

- “op het gebied van SWR?”
- “op het gebied van bandbreedte?”
- “op het gebied van resonantiefrequentie?”

Hypothese:

Ik denk dat de krimpkous wel een invloed zal hebben op de antenne wat betreft resonantiefrequentie en wel in de zin dat deze omlaag zal gaan omdat mij lijkt dat de verkortingsfactor een rol zal gaan spelen. Qua SWR lijkt mij alles hetzelfde te blijven, de bandbreedte lijkt mij iets kleiner te worden (in de orde van Kilohertzen of minder), omdat de resonantiefrequentie omlaag schuift en de antenne qua hoogte niet verandert voor de frequentie, lijkt mij dat hij smalbandiger zal worden.

Werkwijze:

Als eerst heb ik vier dipoolbenen gemaakt van getwist koperdraad, twee van zo'n 17 centimeter in lengte en twee van zo'n 52 centimeter in lengte voor respectievelijk UHF (70 cm / 435 MHz) en VHF (2 meter / 145 MHz). Omdat er voor twee meter geen balun bestaat, heb ik ongeveer 1,5 meter RG-174 coaxkabel genomen met aan de ene kant een SMA man connector en aan de andere kant twee vorkkabelschoentjes. Ik heb de kabel meerdere keren gewikkeld door twee ferrietklemmen, respectievelijk de Fair-Rite CSRA20/20/39-31-6.6 en de Fair-Rite CSRA24/23/39-31-10, om de mantelstromen te onderdrukken. Ik heb een stuk hardhout gebruikt als bevestiging van het voedingspunt, dit zit vast met een eikenhouten balk van ongeveer 80 centimeter die evenwijdig loopt aan het statief. Het statief is van staal en bereikt een werkhoogte van zo'n 3 meter in volledig

uitgeschoven toestand, met daarbovenop de balk van 80 centimeter (20~30 centimeter overlapping) resulteert in een horizontale dipool op zo'n 3,5 meter boven de grond. Aan de SMA connector is met adapters een 10 meter lange H-155 coaxkabel gekoppeld, met aan weerszijden PL-259 connectoren, welke met adapters is aangesloten op de spectrum analyzer van Rigol. Eerst is er gemeten met de twee benen voor de VHF band, waarvan beide benen ongeïsoleerd waren. Van dat spectrum zijn screenshots gemaakt (zie bijlagen). Daarna zijn beide benen afgedekt met PVC krimpkous (HellermannTyton 344-00480 krimpkous), waarna weer screenshots zijn gemaakt van het spectrum. Deze methode hebben we herhaald met de benen voor de UHF band en we hebben de resultaten met elkaar vergeleken.

Hulpmiddelen:

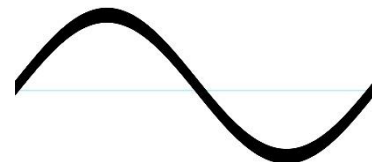
- Rigol DSA815TG Spectrum Analyzer;
- 10 meter H-155 coax met aan weerszijden compressie UHF-man connectoren;
- 1~1,5m RG-174 coax met aan de ene zijde een krimp SMA-man connector en aan de andere zijden krimp vorkkabelschoentjes;
- Innox IVA-01LS lichtstatief.

Bijlage 2: impedantie en staande golven uitgelegd

In dit onderzoek heb ik mij gericht op een halve-golfdipool, omdat deze niet veel materialen vergt en simpel te bouwen is. Zoals de naam al zegt, is een halve-golfdipool een halve golflengte lang. Afbeeldingen van een hele en een halve golf staan hiernaast.



Halve golf

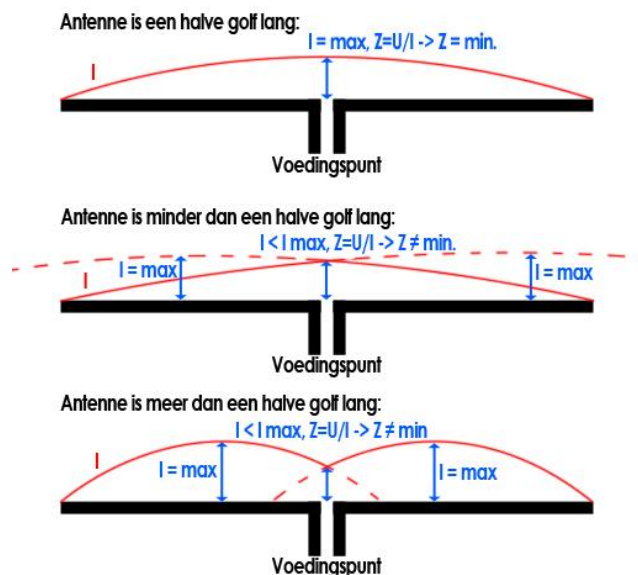


Hele golf

Een halve-golfdipool wordt in het midden gevoed, daar waar de impedantie het laagst is. Met behulp van de formule $R = U/I^{12}$, waarbij R is de weerstand in Ohm, U de spanning in Volt en I de stroom in Ampère, als men weet dat op de plaats waar de antenne wordt gevoed (in het midden), de weerstand/impedantie het laagst is, dan weet men dat op die plek óf de spanning het laagst is, óf de stroom het grootst.

Als een antenne de verkeerde lengte heeft, is deze resonant op een andere frequentie. De frequentie waarop de antenne zou worden gebruikt, ligt óf daarboven (de halve golflengte is korter dan de lengte van de antenne) óf daaronder (de halve golflengte is langer dan de lengte van de antenne).

Aangezien de stroom aan de einden van de antenne altijd 0 Ampère is, kun je met behulp van een zogenaamde current magnitude plot nagaan waar de antenne beter gevoed kan worden dan in het midden en hoe het komt dat de antenne een te hoge impedantie heeft in het midden, bij het voedingspunt (zie de afbeelding hiernaast).



Als een radiosignaal over een coaxkabel wordt getransporteerd en bij de antenne komt, ondervindt deze vaak een impedantieverandering. De gebruikelijke impedantie van coaxkabel bij zendantennes is 50 Ohm. Een antenne heeft in negen van de tien gevallen een andere impedantie dan precies 50 Ohm. Als een radiosignaal een impedantieverandering ondervindt, wordt er een gedeelte gereflecteerd, terug de coaxkabel in. Hoe groter de afwijking, hoe meer er wordt gereflecteerd.

Er zijn verscheidene manieren om de mate van reflectie aan te duiden, waaronder de (V)SWR en de return loss. In de plots van de spectrum analyzer staat op de y-as de return loss afgebeeld. Deze staat negatief weergegeven, maar men moet het positief lezen (het minnetje moet men wegdenken). Hoe hoger de return loss (dus

¹² (Elektrische weerstand (eigenschap), 2016)

hoe lager het punt op de schermafdrruk), hoe minder vermogen er wordt gereflecteerd, dus hoe beter de antenne is aangepast.

De staande-golfverhouding geeft ook aan hoeveel van het heengaande vermogen wordt gereflecteerd. Men kan het de kabel vergelijken met een gespannen touwtje. Als op dat touwtje twee tegengaannde golfbewegingen worden gezet (het heengaande signaal en het teruggaande signaal), krijgt men staande golven, zo ook op de kabel naar de antenne toe. Door deze staande-golfverhouding te meten, krijgt men een indicatie van de verhouding van het heengaande en gereflecteerde vermogen¹³. De SWR wordt aangegeven als een één met een dubbele punt erachter (1:) en daarachter een getal wat groter dan of gelijk is aan 1 (1:#). Hoe hoger dat getal, hoe hoger de SWR, hoe meer vermogen er wordt gereflecteerd en hoe slechter de antenne is voor je radio.

De SWR kun je berekenen aan de hand van de return loss met de formule $VSWR = \frac{10^{\frac{ReturnLoss(dB)}{20}} + 1}{10^{\frac{ReturnLoss(dB)}{20}} - 1}$ $[[: 1]]$ ¹⁴. Ter referentie heb ik ook een zogenaamde *VSWR to Return Loss Conversion Chart* van de firma Amphenol® RF bijgevoegd als bijlage 3

¹³ (Staande-golfverhouding, 2016)

¹⁴ (Blattenberger, n.d.)

Bijlage 3: Amphenol® RF VSWR to Return Loss Conversion Chart¹⁵



VSWR to Return Loss Conversion Chart

VSWR	RL (dB)	VSWR	RL (dB)	VSWR	RL (dB)	VSWR	RL (dB)	VSWR	RL (dB)
1.001	66.025	1.060	30.714	1.138	23.803	1.480	14.264	5.400	3.255
1.002	60.009	1.061	30.575	1.140	23.686	1.490	14.120	5.600	3.136
1.003	56.491	1.062	30.438	1.142	23.571	1.500	13.979	5.800	3.025
1.004	53.997	1.063	30.303	1.144	23.457	1.520	13.708	6.000	2.923
1.005	50.484	1.064	30.171	1.146	23.346	1.540	13.449	6.200	2.827
1.006	50.484	1.065	30.040	1.148	23.235	1.560	13.201	6.400	2.737
1.007	49.149	1.066	29.912	1.150	23.127	1.580	12.964	6.600	2.653
1.008	47.993	1.067	29.785	1.152	23.020	1.600	12.736	6.800	2.573
1.009	46.975	1.068	29.661	1.154	22.914	1.620	12.518	7.000	2.499
1.01	46.064	1.069	29.538	1.156	22.810	1.640	12.308	7.200	2.428
1.011	45.24	1.070	29.417	1.158	22.708	1.660	12.107	7.400	2.362
1.012	44.489	1.071	29.298	1.160	22.607	1.680	11.913	7.600	2.299
1.013	43.798	1.072	29.181	1.162	22.507	1.700	11.725	7.800	2.239
1.014	43.159	1.073	29.066	1.164	22.408	1.720	11.545	8.000	2.183
1.015	42.564	1.074	28.952	1.166	22.311	1.740	11.370	8.200	2.129
1.016	42.007	1.075	28.839	1.168	22.215	1.760	11.202	8.400	2.078
1.017	41.485	1.076	28.728	1.170	22.120	1.780	11.039	8.600	2.029
1.018	40.993	1.077	28.619	1.172	22.027	1.800	10.881	8.800	1.983
1.019	40.528	1.078	28.511	1.174	21.934	1.820	10.729	9.000	1.938
1.02	40.086	1.079	28.405	1.176	21.843	1.840	10.581	9.200	1.896
1.021	39.667	1.080	28.299	1.178	21.753	1.860	10.437	9.400	1.855
1.022	39.267	1.081	28.196	1.180	21.664	1.880	10.298	9.600	1.816
1.023	38.885	1.082	28.093	1.182	21.576	1.900	10.163	9.800	1.779
1.024	38.52	1.083	27.992	1.184	21.489	1.920	10.032	10.000	1.743
1.025	38.7	1.084	27.892	1.186	21.403	1.940	9.904	11.000	1.584
1.026	37.833	1.085	27.794	1.188	21.318	1.960	9.780	12.000	1.451
1.027	37.51	1.086	27.696	1.190	21.234	1.980	9.660	13.000	1.339
1.028	37.198	1.087	27.600	1.192	21.151	2.000	9.542	14.000	1.243
1.029	36.895	1.088	27.505	1.194	21.069	2.100	8.999	15.000	1.160
1.03	36.607	1.089	27.411	1.196	20.988	2.200	8.519	16.000	1.087
1.031	36.327	1.090	27.318	1.198	20.907	2.300	8.091	17.000	1.023
1.032	36.055	1.091	27.266	1.200	20.828	2.400	7.707	18.000	0.966
1.033	35.792	1.092	27.135	1.210	20.443	2.500	7.360	19.000	0.915
1.034	35.537	1.093	27.046	1.220	20.079	2.600	7.044	20.000	0.869
1.035	35.29	1.094	26.957	1.230	19.732	2.700	6.755	22.000	0.790
1.036	35.049	1.095	26.869	1.240	19.401	2.800	6.490	24.000	0.724
1.037	34.816	1.096	26.782	1.250	19.085	2.900	6.246	26.000	0.668
1.038	34.588	1.097	26.697	1.260	18.783	3.000	6.021	28.000	0.621
1.039	34.367	1.098	26.612	1.270	18.493	3.100	5.811	30.000	0.579
1.04	34.151	1.099	26.528	1.280	18.216	3.200	5.617	32.000	0.543
1.041	33.941	1.100	26.444	1.290	17.949	3.300	5.435	34.000	0.511
1.042	33.763	1.102	26.281	1.300	17.692	3.400	5.265	36.000	0.483
1.043	33.536	1.104	26.120	1.310	17.445	3.500	5.105	38.000	0.457
1.044	33.341	1.106	25.963	1.320	17.207	3.600	4.956	40.000	0.434
1.045	33.15	1.108	25.809	1.330	16.977	3.700	4.815	42.000	0.414
1.046	32.963	1.110	25.658	1.340	16.755	3.800	4.682	44.000	0.395
1.047	32.78	1.112	25.510	1.350	16.540	3.900	4.556	46.000	0.038
1.048	32.602	1.114	25.364	1.360	16.322	4.000	4.437	48.000	0.362
1.049	32.427	1.116	25.221	1.370	16.131	4.100	4.324	50.000	0.347
1.05	32.256	1.118	25.081	1.380	15.936	4.200	4.217	55.000	0.316
1.051	32.088	1.120	24.943	1.390	15.747	4.300	4.115	60.000	0.290
1.052	31.923	1.122	24.808	1.400	15.563	4.400	4.018	65.000	0.267
1.053	31.762	1.124	24.675	1.410	15.385	4.500	3.926	70.000	0.248
1.054	31.604	1.126	24.544	1.420	15.211	4.600	3.838	75.000	0.232
1.055	31.449	1.128	24.415	1.430	15.043	4.700	3.753	80.000	0.217
1.056	31.297	1.130	24.289	1.440	14.879	4.800	3.673	85.000	0.204
1.057	31.147	1.132	24.164	1.450	14.719	4.900	3.596	90.000	0.193
1.058	31	1.134	24.042	1.460	14.564	5.000	3.522	95.000	0.183
1.059	30.856	1.136	23.921	1.470	14.412	5.200	3.383	100.000	0.174

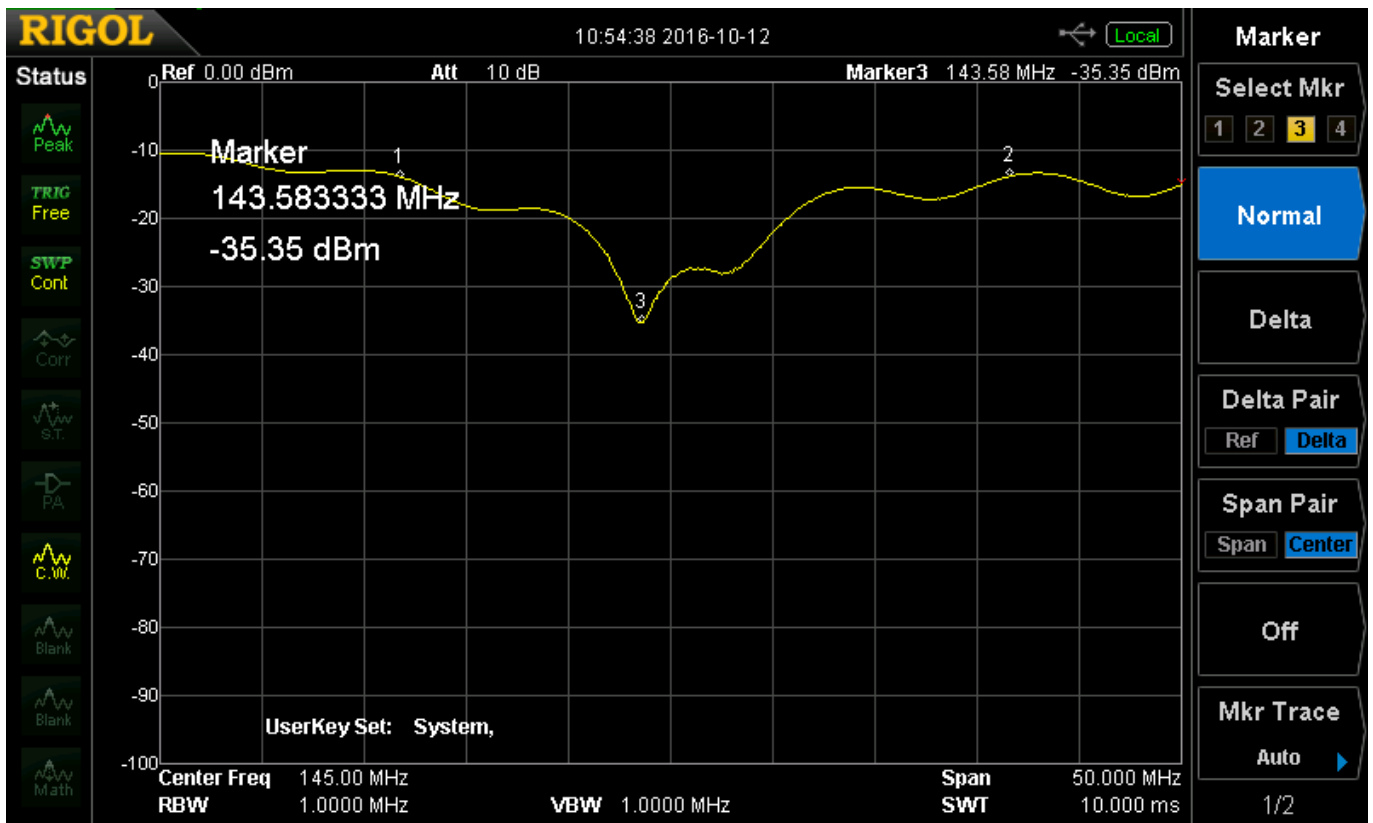
Toll free: +1-800-627-7100

International: +1-203-743-9272

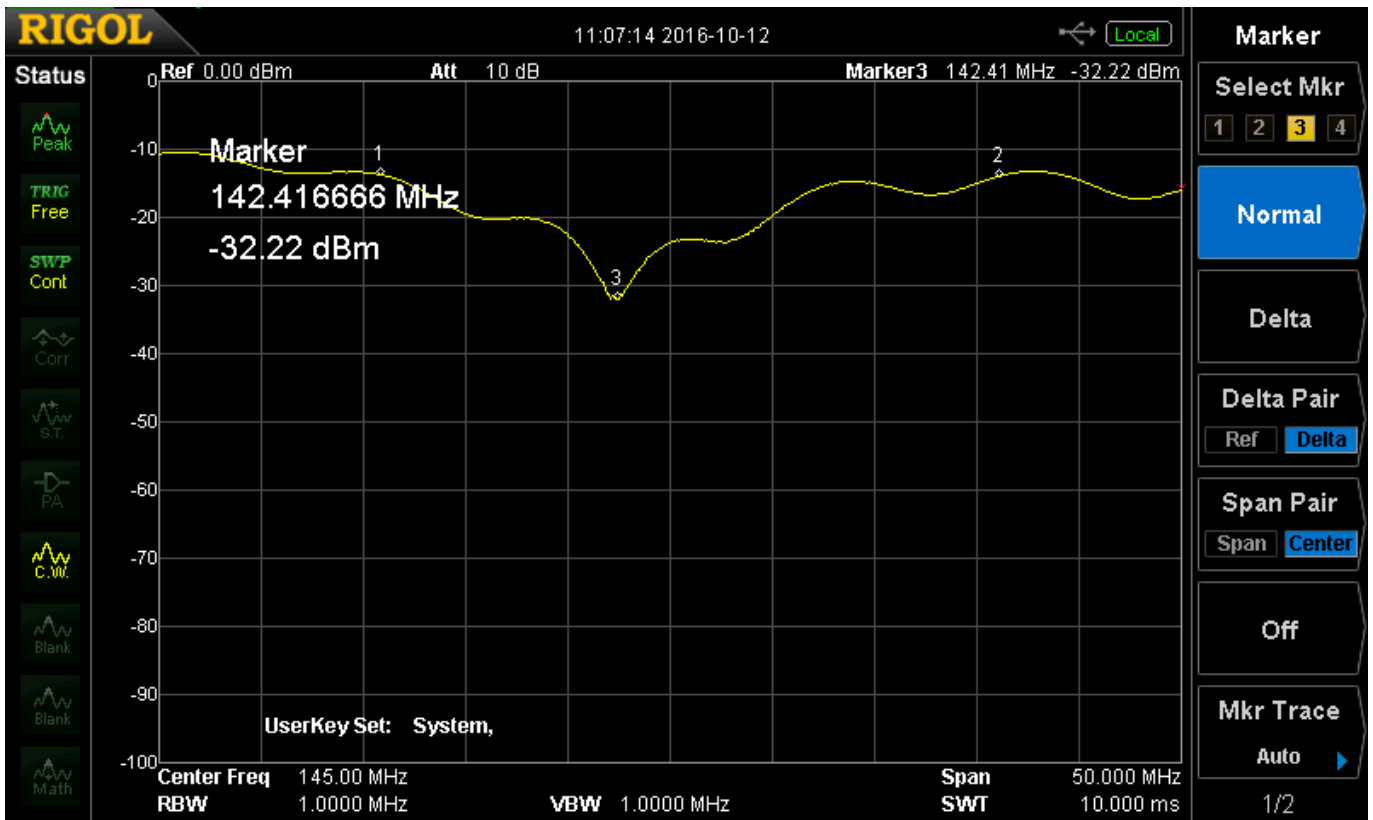
Need assistance? Contact us:

¹⁵ (VSWR CONVERSION CHART, n.d.)

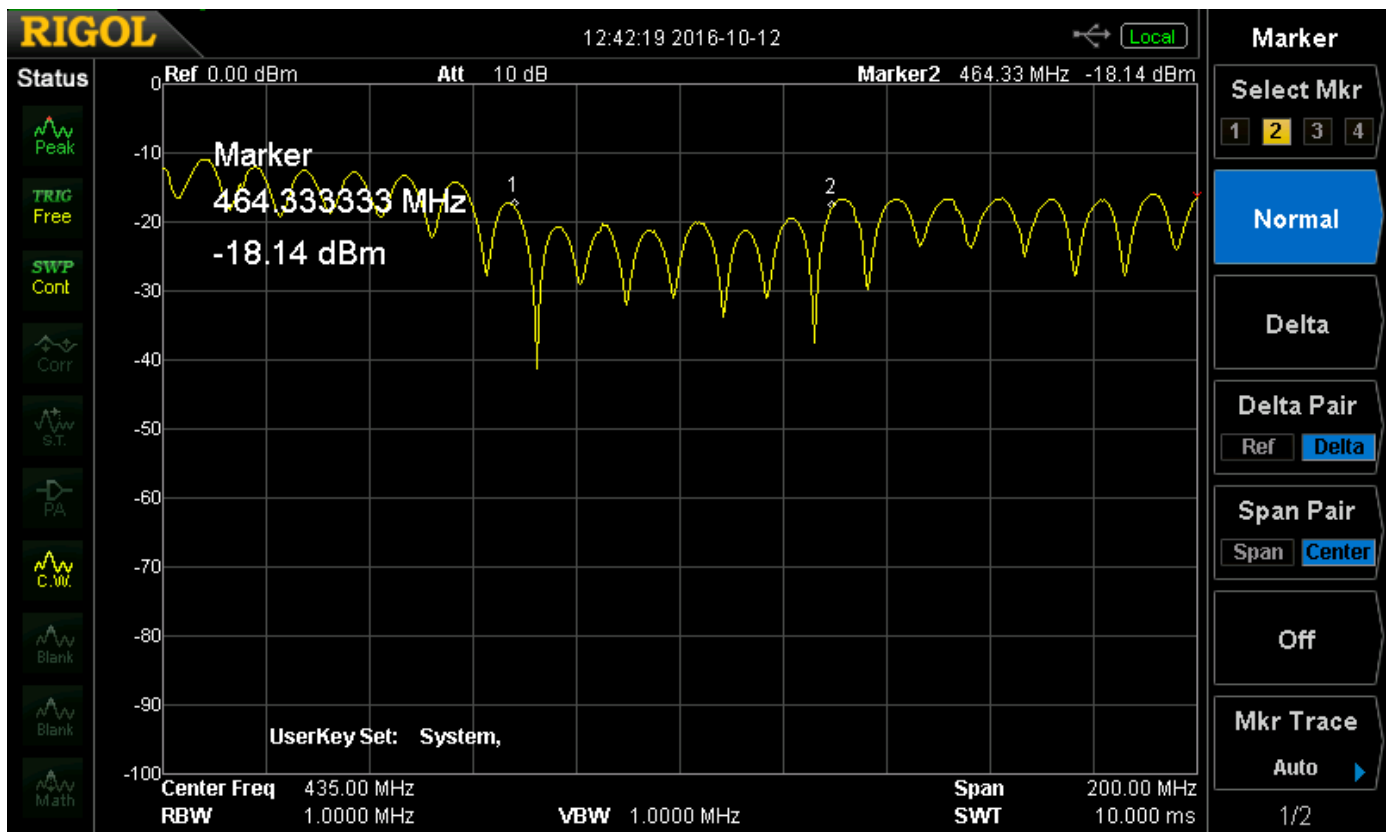
Bijlage 4: spectrums



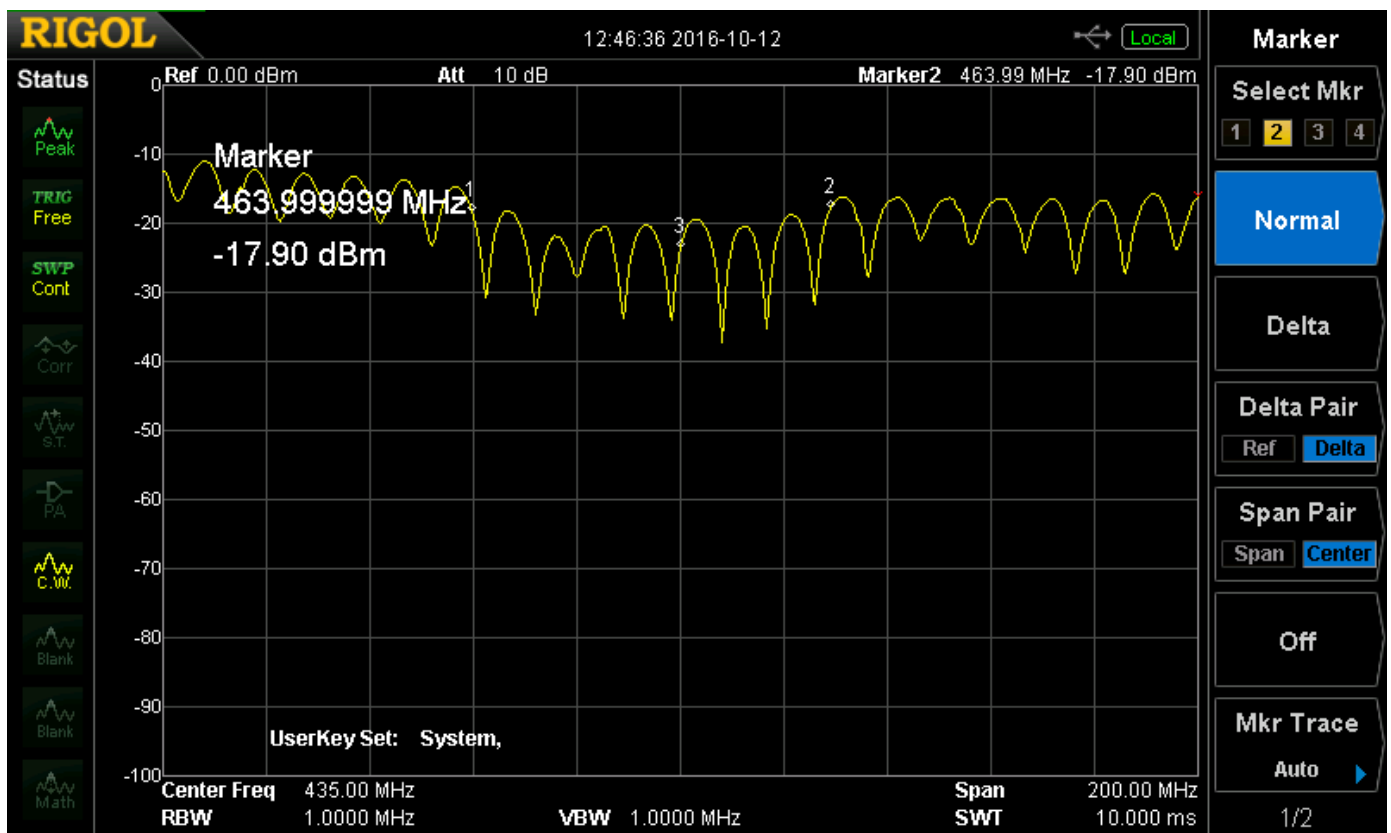
Figuur 8: 2-meterdipool - ongeïsoleerd



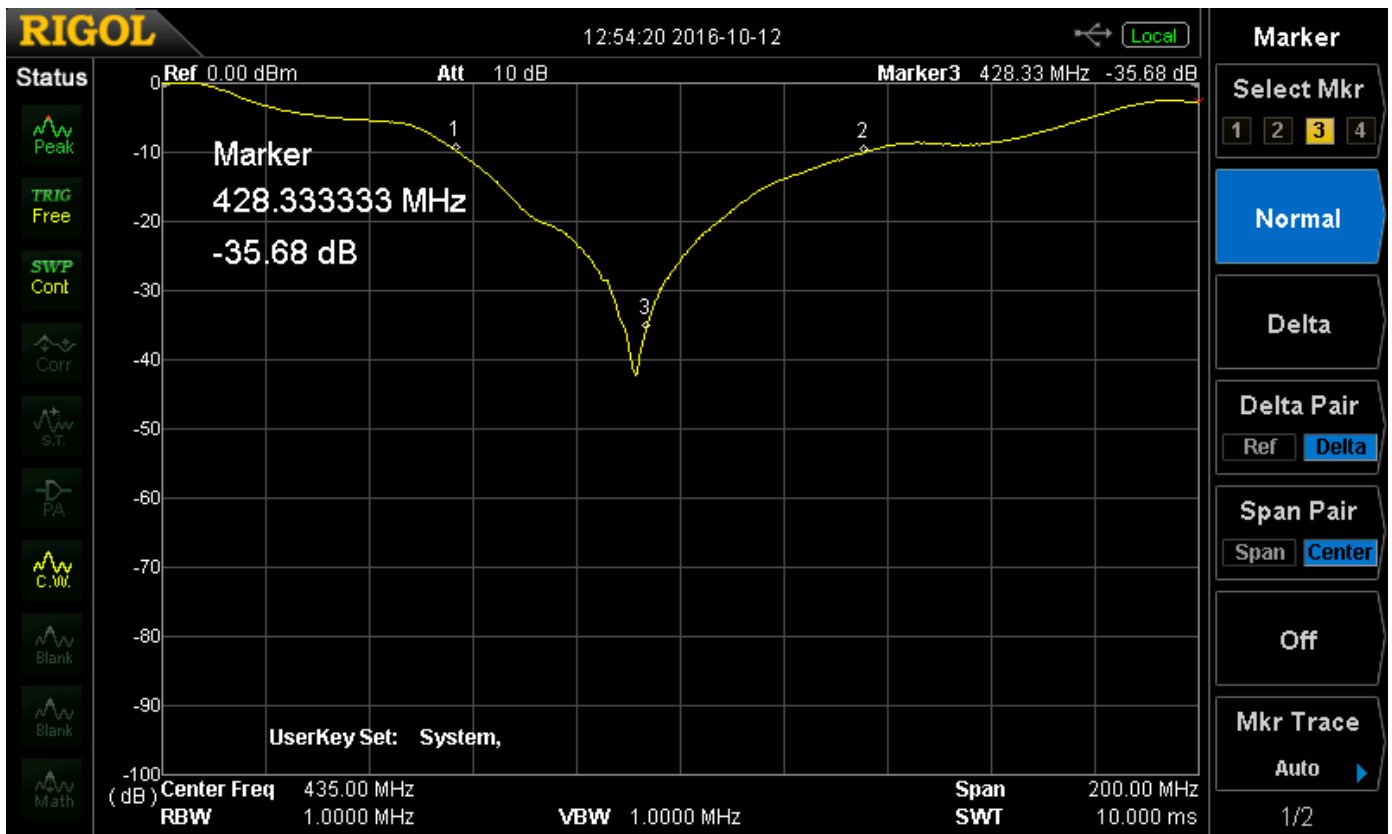
Figuur 9: 2-meterdipool - geïsoleerd



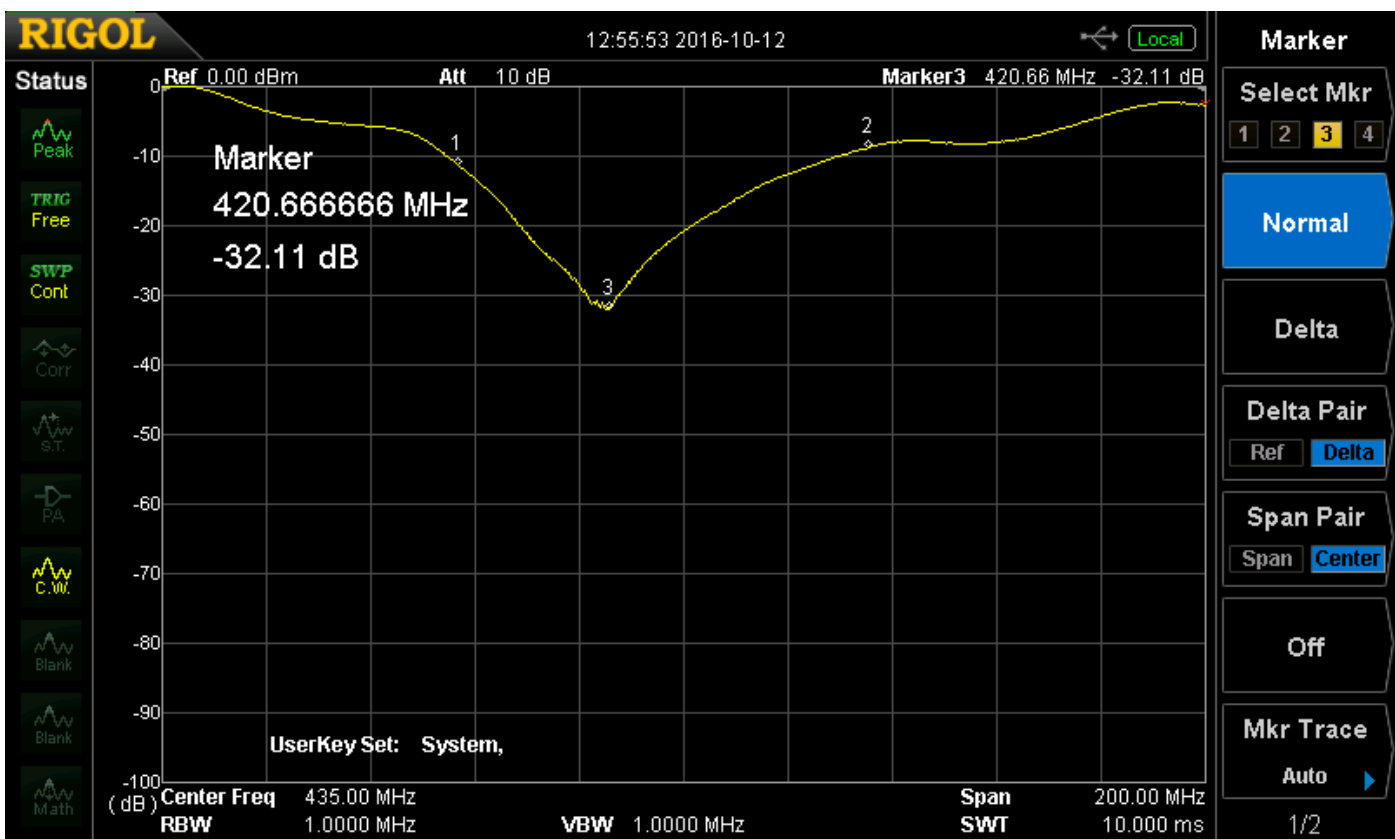
Figuur 10: 70-centimeterdipool - ongeïsoleerd



Figuur 11: 70-centimeterdipool - geïsoleerd

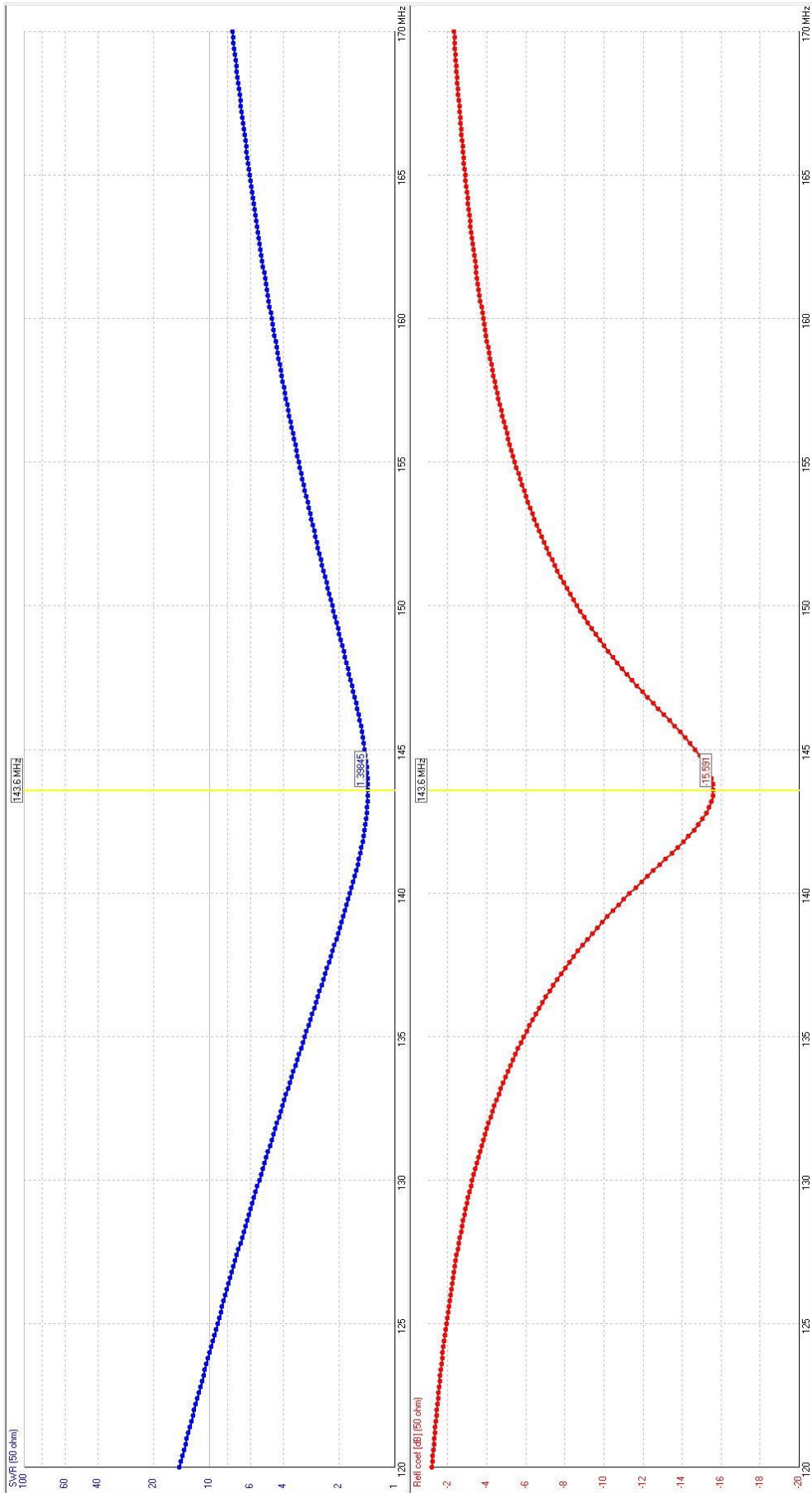


Figuur 12: 70-centimeterdipool binnen - ongeïsoleerd



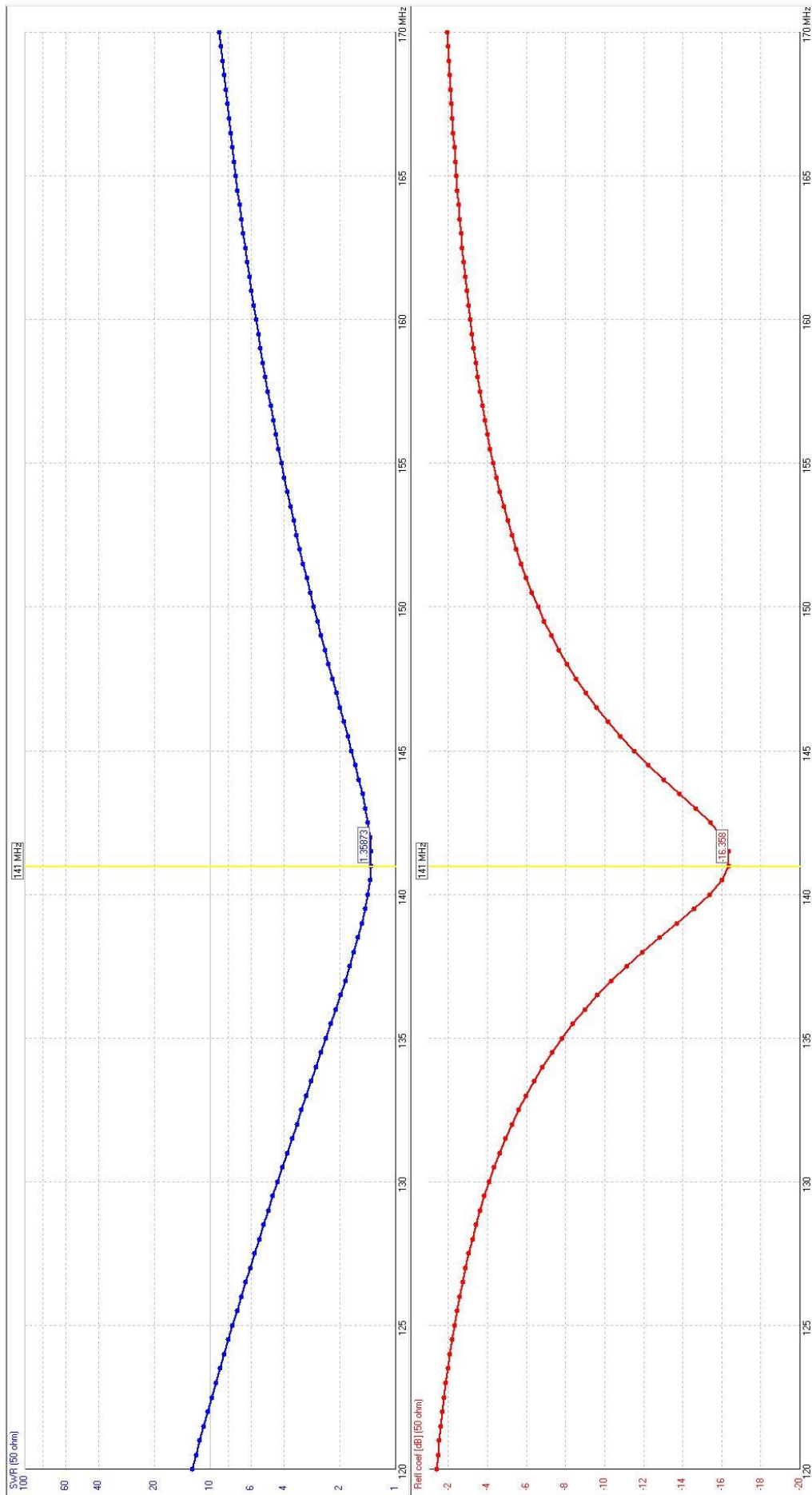
Figuur 13: 70-centimeterdipool binnen - geïsoleerd

Bijlage 5: plots 4NEC2



|___ 143.6 MHz, 1:1.40, 143.6 MHz, -15.59 dB (N/A)

Figuur 14: plot 4NEC2 ongeïsoleerde 2-meterdipool



Figuur 15: plot 4NEC2 geïsoleerde 2-meterdipool | — 141 MHz, 1:1.36, 141 MHz, -16.36 dB (N/A)

Bijlage 6: logboek

Begin	Eind	Activiteit
5-10-16 14:30	5-10-16 15:07	Werken aan opbouw PWS
5-10-16 18:00	5-10-16 19:00	Werken aan opbouw PWS + logboek
6-10-16 17:30	5-10-16 18:02	Werken aan materialen antenne
7-10-16 18:20	7-10-16 18:40	Werken aan materialen antenne
8-10-16 15:12	8-10-16 15:26	Werken aan materialen antenne
10-10-16 17:32	10-10-16 18:09	Werken aan opbouw PWS
11-10-16 9:31	11-10-16 10:23	Werken aan opbouw PWS
12-10-16 9:00	12-10-16 12:30	Experiment + klaarzetten onderdelen
12-10-16 13:40	12-10-16 15:30	Werken aan opbouw PWS
12-10-16 16:58	12-10-16 18:30	Werken aan opbouw PWS
12-10-16 18:37	12-10-16 19:44	Werken aan opbouw PWS
21-10-16 16:48	21-10-16 18:14	Werken aan opbouw PWS + simulaties
8-11-16 11:38	8-11-16 12:02	Werken aan opbouw PWS
9-12-16 13:13	9-12-16 15:41	Werken aan opbouw PWS + overleg met PA3ACJ
11-12-16 12:23	11-12-16 16:00	Werken aan opbouw PWS
12-12-16 13:35	12-12-16 13:55	Gesprek met meneer Koster
12-12-16 18:01	12-12-16 19:58	Werken aan opbouw PWS
13-12-16 12:22	13-12-16 12:31	Werken aan opbouw PWS
15-12-16 11:12	15-12-16 14:30	Werken aan opbouw PWS
15-12-16 17:37	15-12-16 18:02	Werken aan opbouw PWS
15-12-16 18:23	15-12-16 18:50	Werken aan opbouw PWS
19-12-16 17:26	19-12-16 18:10	Werken aan opbouw PWS
28-12-16 11:47	28-12-16 11:57	Werken aan opbouw PWS

Er moet worden vermeld dat niet ieder overleg met meneer Disselhorst (PA3ACJ) is gelogd, aangezien er niet altijd een logboek voorhanden was.

Bijlage 7: evaluatie

Eerlijkheid gebiedt mij te zeggen dat ik achteraf toch een goede keuze heb gemaakt door dit onderwerp te kiezen. Ik heb veel hierover opgestoken, waaronder het feit dat de resonantiefrequentie tóch verschuift, de bandbreedte kleiner wordt en de dip in de SWR omhoog gaat. Ik hoop dat deze proef voor wat meer duidelijkheid zorgt wat betreft antennebouw.

Bijlage 8: foutendiscussie

Niet alle experimenten zijn succesvol gelukt, hierbij verwijs ik door naar de 70 centimeter proef (70 centimeter/UHF in de praktijk). Naar alle waarschijnlijkheid omdat de coaxkabel die is gebruikt bij deze proef te lang was en aan weerszijden een spiegel vormde voor de reflecties, waardoor deze zich opbouwden in de kabel, tussen de einden.