

Impedansmåling på antenner m.v.

Af OZ7MA, Arne R. Pedersen, Rønne Allé 34, 3450 Allerød

1. Indledning

Hvis man skal eksperimentere seriøst med antenner er det en absolut betingelse, at man er i stand til at måle antennens impedans. Måler man blot standbølgeforholdet, ved man, at antennen arbejder rimeligt godt, hvis VSWR er mindre end f.eks. 1,3, men ligger det på en høj værdi, kan man derudfra intet sig om, hvad der er galt, eller hvordan man skal forbedre forholdene. Måler man derimod impedansen i form af realdel og imaginærdel, også kaldet hhv. modstand og reaktans, så får man en god indikation for, hvad man skal gøre for at optimere standbølgeforholdet.

Det er impedansen ved fødepunktet, der hvor antennekablet er tilsluttet, man er interesseret i. Men det er jo vanskeligt at komme til at måle her, når antennen måske hænger 10-15 meter oppe. Som det fremgår af fig. 1 (fra ARRL Antenna Book) nytter det ikke at hejse antennen ned i f.eks. halvanden meters højde for at kunne komme til at måle impedansen. Impedansen afhænger en hel del af højden, så man ville måle en impedans, der var helt irrelevant. Et andet eksempel, der viser, hvor afgørende det er at måle antenneimpedansen under de faktiske forhold, er følgende: I sommer målte jeg på en 14 MHz diamondformet loop, ophængt i den øverste spids og fødet i den nederste. Ophængt i toppen af en 8 meter høj træmast ved mit sommerhus, hvor der ikke var andre antenner, målte 146 ohm ved resonansfrekvensen (reaktans = 0). I Allerød blev den ophængt i mit aluminiumstårn, i hvis top der sidder en 3 element yagi; der var også andre antenner og barduner, den kunne koble til. Med yagi-antennen drejet sådan, at dens elementer var vinkelrette på loop'ens plan (mindst kobling) målte 99 ohm. Da yagi'en blev drejet, så elementerne var parallelle med loop'en faldt impedansen til 82 ohm. Den førstnævnte høje værdi skyldes dog til dels, at loop'en her var lidt fladere (den vandrette diagonal længere end den lodrette) end i Allerød.

Vi skal derfor se, hvordan man kan måle impedansen i den »anden ende« af antennekablet, altså inde ved senderen, og så omregne den målte impedans til den impedans, man har oppe ved antennen. En sådan omregning kan foretages ved hjælp af et Smith-kort, men det er frygteligt besværligt, hvis man har mange målepunkter. Derfor vil vi bruge en programmerbar lommeregner, hvorved det blot bliver et spørgsmål om at indtaste måleresultatet, hvorefter man mindre end et minut efter har alle de ønskede resultater.

Først beskriver vi princip for og praktisk opbygning af en impedansmåler, der er velegnet til dette formål. Dernæst bringer vi et program for en meget kendt

lommeregner, og til sidst omtaler vi, hvordan man skal foretage impedansmålingerne og omregningen.

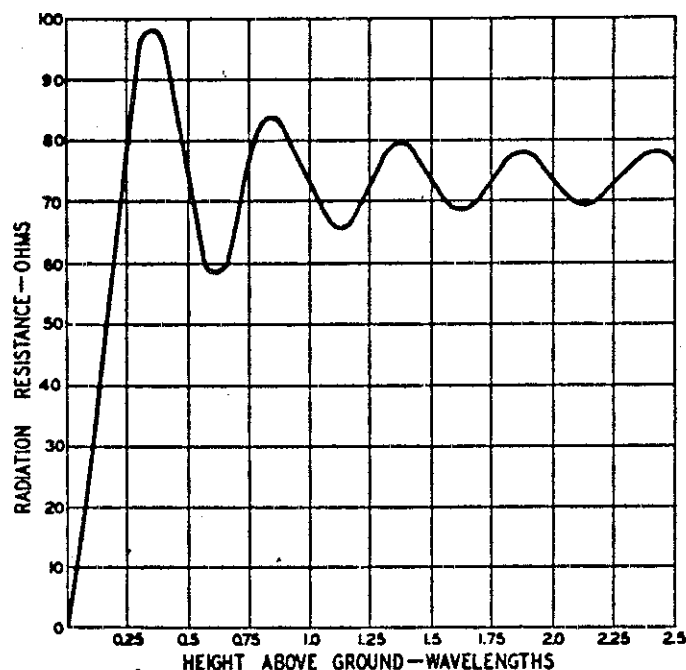


Fig. 1 - Variation in radiation resistance of a horizontal half-wave antenna with height above perfectly conducting ground.

2. Impedansmåler

2.1 Princip

Fig. 2 viser princip og balancebetingelser for en Schering-bro til måling af kompleks impedans. Drejekondensatoren C_a kalibreres i realdelen af impedansen, altså den rent ohmske komponent R , medens drejekondensatoren C_c kalibreres i imaginærdelen, altså reaktansen. G er en generator, der leverer et signal på den ønskede målefrekvens, og D er en detektor, som giver minimum udslag, når C_a og C_c begge er indstillet rigtigt.

2.2 Praktisk opbygning

Fig. 3 viser diagrammet for en impedansmålebro beregnet for kortbølgeområdet, ca. 1 - 30 MHz. Den ukendte impedans Z tilsluttes enten en UHF koaksialfatning eller to skrueklemmer. Derefter indstilles kondensatorerne C_1 og C_4 , indtil detektoren viser minimum signal. Så aflæses realdelen af impedansen (altså modstanden) på en skala på C_1 og imaginærdelen (reaktansen) på en skala på C_4 . Forinden målingen nulstilles broen ved at kortslutte måleklemmerne (bedst med et kortsluttet UHF koaksialstik),

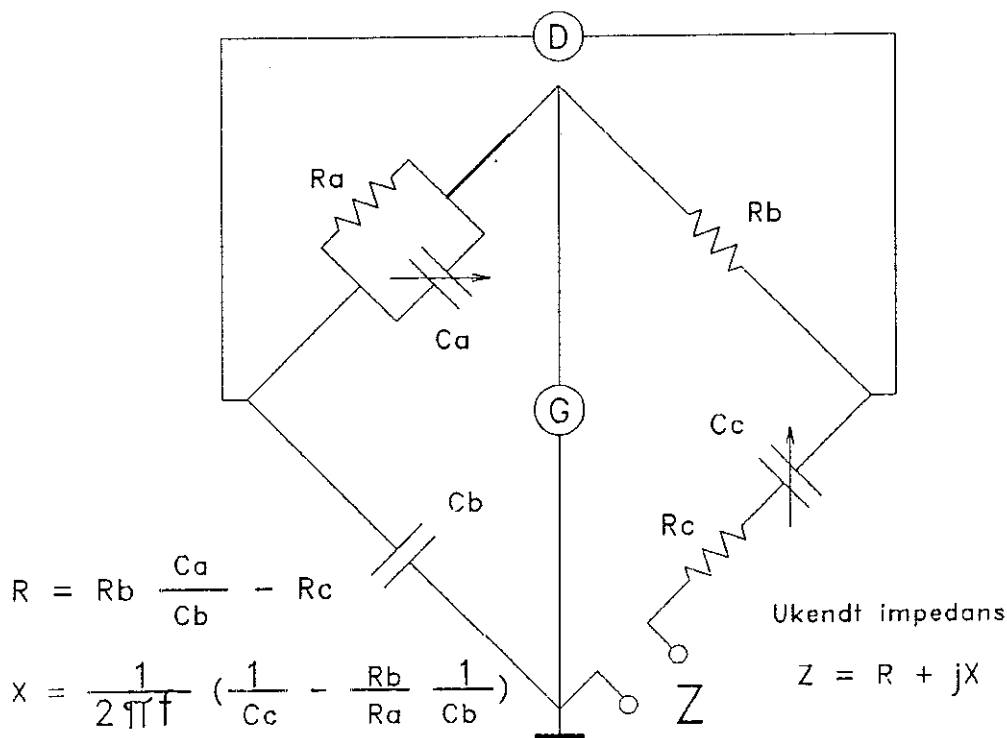


Fig. 2. Principdiagram for Schering impedansbro.

stille C1 og C4 på 0 ohm mærkerne og justere C2 og R2 til minimum på detektoren. Denne nuljustering bør foretages hver gang, man foretager et større frekvensskift, men er ikke nødvendige, så længe man måler inden for et og samme frekvensbånd.

Hvis kapaciteten af kondensatoren C1 vokser, når man drejer til højre (med uret) stiger den aflæste ohm-værdi på skalaen ved drejning til højre, og hvis kondensatorpladerne er halvcirkulære bliver ohm-mærkerne ækvivalente. C4 er en togangskondensator fra en gammel mellem- og langbølgeomtager med to sektioner forbundet sammen. Hvis dens kapacitet aftager ved drejning til højre fås negative reaktans-værdier til venstre og positive til højre; mærkerne blive ikke ækvivalente. Der er benyttet 1% modstande for, at de skal være så stabile som muligt; den helt nøjagtige værdi er uden betydning. De »skæve« værdier skyldes, at modstandene er sammensat af flere parallelforbundne modstande.

Ved konstruktion af en sådan målebros er der tre ting, der er af afgørende betydning: (1) kortest muligt ledninger, helst i form af (forsølvede) kobberbånd, (2) effektiv afskærmning og (3) robust, stiv opbygning. Som antydnet på diagrammet er der benyttet et »kinesisk æske« system. C4 og C5 er afskærmet i den inderste kasse, som er isoleret ophængt (ved hjælp af plexiglas) i det ene rum af den indre kasse. C4's rotor er forbundet til den inderste kasse. I det andet rum af den indre kasse befinder C1, C2, R1, R2 og R3 sig. Rotoren af C1 og af C2 er forbundet til kassen. Den

indre kasse er så ophængt isoleret (plexiglas) og meget stift i den yderste kasse, som ikke er vist på diagrammet undtagen ved stelsymbolet. Konnektorer til den ukendte impedans, generator og detektor er naturligvis fastspændt i den ydre kasse. Drejekondensatorer og trimmepotentiometer R2 er ført frem til forpladen med isolerede aksler for at undgå håndkapacitet. Som det ses af diagrammet indgår kapaciteten mellem den ydre og indre kasse i broen i parallel med trimmekondensatoren C3 som normalt ikke skal røres, men som kan justeres gennem et hul i den ydre kasse. I min konstruktion er denne kapacitet ca. 80 pF. Kapaciteten mellem den indre og den inderste kasse (hos mig ca. 50 pF) ligger parallelt over detektor-transformeren og indgår altså ikke i impedansmålingen, men den begrænser opadtil det frekvensområde transformeren kan klare.

Transformeren er viklet på en lille ringkerne (ydre/indre diameter = 10/6 mm²), 8 vindinger på primær og 4 vdg. på sekundær (til detektor). Den er fastgjort til den ydre kasse med en lille aluminiumsvinkel, der samtidig virker som skærm mellem primær og sekundær.

Som generator kan man bruge en målesender, sin styresender, hvis dens effekt kan køres ned til nogle få milliwatt eller et gitterdykmeter, der dog nok bør anbringes i en skærmdåse og tilkobles via et koaksialkabel og en link. Som detektor er en godt skærmet modtager, helst med S-meter, fortrinlig hvis den ellers dækker frekvensområdet.

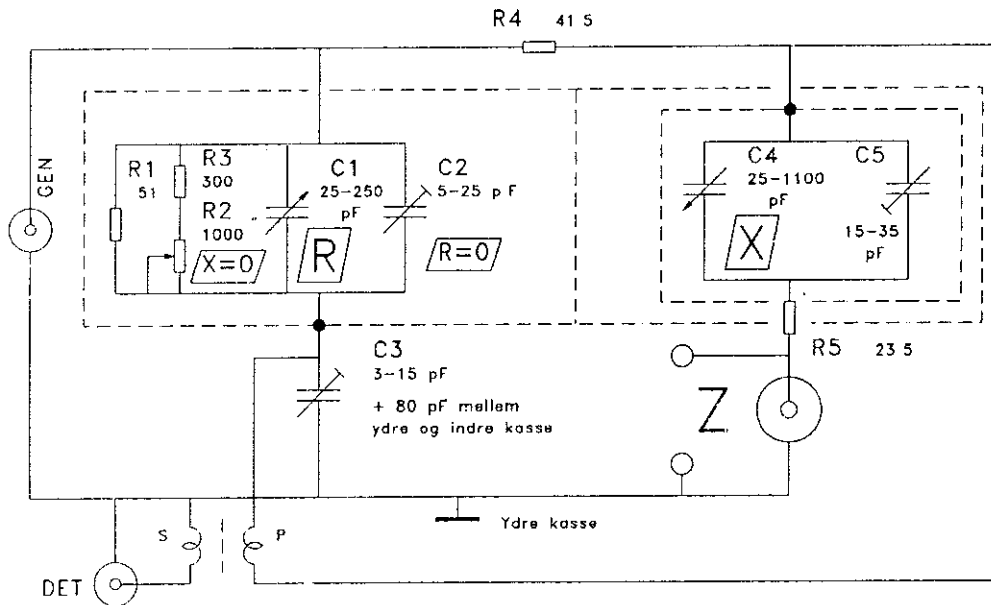


Fig 3 Fuldstændigt diagram for impedansmåler. (Modstande i ohm).

2.3 Kalibrering

Kalibrering kan mest rimeligt foretages omkring midten af impedansmålerens frekvensområde. Jeg har valgt at gøre det på 14,2 MHz. Først kortsluttes måleklemmerne; jeg gør det med et kortsluttet UHF stik. C2 og C3 stilles omkring midten af deres variationsområder og R2 så der er indskudt omkring 300 ohm. C3 skal herefter aldrig røres igen, undtagen hvis man har været nødt til at skille apparatet ad, hvorved kapaciteten mellem den ydre og indre kasse kan have ændret sig, så kalibreringen har forrykket sig lidt. Derefter stilles C1 og C4 til minimum udslag på detektoren. Der, hvor C1 og C4 nu står, sættes 0 ohm mærker på hhv. R og X skalaerne. C1 skulle nu gerne være omtrent helt uddrejet og C4 omkring 1/3 eller 1/4 inddrejet. Skulle der være problemer med at få placeret 0 ohm mærkerne på passende steder på skalaerne, må man eksperimentere lidt med modstandsværdierne R1 til R5. Placeringen af 0 ohm mærket på X skalaen er ikke endelig, så sæt kun et blyantmærke.

Nu fjernes kortslutningen, og der tilkobles med korte tilledninger en række induktionsfrie modstande i området 5 til ca. 100 ohm. Brug enten 1% modstande eller modstande, hvis nøjagtige værdi man har målt. Stil for hver modstand C1 og C4 til minimum på detektoren. Afsæt blyantsmærker for de forskellige modstandsværdier på R skalaen. Derefter kan man på øjemål afsætte mærker for »runde« modstandsværdier, trække dem op med tusch og skrive tal ved dem.

Derefter skal X skalaen kalibreres. Man benytter nu en række kondensatorer, hvis nøjagtige kapacitet man kender, og hvis reaktans ved målefrequensen er udregnet. Start med en kapacitet på omkring 100 pF, der ved 14,2 MHz har en reaktans omkring -110 ohm, og se om C4 kan stilles til minimum på detektoren; C4 vil da være omtrent helt inddrejet, medens C1 vil komme til at stå meget nær på 0 ohm mærket. Hvis C4 ikke kan stilles til minimum, så prøv at tilkoble en lidt større kapacitet end de 100 pF. Lav dernæst en spole, der har en reaktans omkring 100 ohm (1,1 uH ved 14,2 MHz). Hvis man ikke har mulighed for at måle spolen direkte, kan man sætte den i serie med ovennævnte 100 pF kondensator, forbinde spole og kondensator til impedansmåleren og justere spolen, indtil C4 står på det midlertidige 0 ohm mærke for minimum udslag på detektoren, så er spolens reaktans lig med kondensatorens (med modsat fortegn). Tilslut så spolen alene, drej C4 helt ud og justér C5 til minimum på detektoren. Jo mindre C5 er, jo større et positivt X område får man, men skalaen bliver meget sammentrængt, så jeg har foretrukket kun at dække op til ca. +100 ohm ved 14,2 MHz (fremfor op til f.eks. 300 ohm), samtidig med at det negative område går ned til ca. -100 ohm.

Ved denne procedure er 0 ohms mærket på X skalaen forrykket, så vi må afsætte et nyt ved at kortslutte og indstille som før.

Nu er vi klar til den endelige kalibrering af X skalaen. Tilslut de kendte kondensatorer, indstil C1 og C4 til minimum på detektoren og afsæt mærker på X

skalaen. Derved fås en række mærker for negativ reaktans. Mærker for positiv reaktans kan afsættes tilsvarende måde ved hjælp af kendte selvinduktioner, hvis man har mulighed for at lave nogle spoler (eller en enkelt spole med en række udtag) og få deres selvinduktioner målt. Har man ikke det, kan man som omtalt lave spoler, der har samme reaktans som de kendte kondensatorer ved at sætte spoler i serie med kondensatorerne og justere spolerne, så impedansmåleren viser $X = 0$. Spolerne skal laves stabilt, så de ikke ændrer selvinduktion under de efterfølgende manipulationer.

Tegn derefter den endelige X skala med »runde« værdier og træk den op i tusch. Dermed er apparatet færdigt og klar til brug.

Bemærk, at medens R skalaen gælder for alle frekvenser, så gælder X skalaen kun for den frekvens, apparatet er kalibreret ved. Når man måler på andre frekvenser, skal man multiplicere den aflæste X værdi med forholdet mellem kalibreringsfrekvensen og målefrekvensen. Indenfor samme bånd kan man normalt bruge samme multiplikationsfaktor: Hvis man har kalibreret på 14,2 MHz, skal man på 7 MHz båndet gange de aflæste X værdier med 2, på 3,5 MHz med 4, på 21 MHz med 2/3 og på 28 MHz med 1/2. I det efterfølgende program bliver korrektionerne automatisk taget med, så at man blot skal indtaste de direkte aflæste X værdier.

3. Program

Jeg har valgt at lave programmet for lommeregneren hp15C, fordi det bliver særligt simpelt, når man bruger en lommeregner, der kan regne med komplekse tal. Selvfølgelig kan enhver, der kender sin lommeregner eller PC godt, lave et tilsvarende program på grundlag af de efterfølgende formler.

Når man ved frekvensen f (MHz) har målt impedansen Z i den ene ende af et kabel med karakteristisk impedans Z_0 (ohm) og elektrisk længde l_e (meter), så er belastningsimpedansen i den anden ende (antennens impedans) lig med

$$Z_A = Z_0 \frac{Z - j Z_0 \operatorname{tg} b}{Z_0 - j Z \operatorname{tg} b}$$

$$\text{Heri er } b = \frac{\pi f}{150} l_e \text{ (radianer)}$$

hvor f er i MHz og l_e er i meter.

Formlen for standbølgeforholdet bliver

$$\text{VSWR} = \frac{1 + r}{1 - r}$$

$$\text{hvor } r = \left| \frac{Z - Z_0}{Z + Z_0} \right|$$

De lodrette streger betyder absolut (også kaldet numerisk) værdi af den komplekse brøk.

Programmet vises hosstående. Det omregner også den fundne serieimpedans til den tilsvarende parallelimpedans, altså modstand i parallel med reaktans. Denne omregning foretages således:

$$Y_A = 1/Z_A = G + jB$$

$$R_p = 1/G$$

$$X_p = -1/B$$

Vi skal ikke forklare programmet nærmere. Folk, der kender hp15C vil umiddelbart forstå det, for andre er forklaring uden interesse.

De beregninger, programmet foretager, gælder kun eksakt, hvis kablet er tabsfrit. Derfor bør man bruge et kabel med mindst muligt tab og ikke længere end højst nødvendigt. Hvis kablet har store tab, vil man få udregnet en impedans, der svarer til et standbølgeforhold, der er for fint (lille) i forhold til det virkelige.

Selv om man måler med impedansmåleren, uden at have et kabel mellem impedansmåler og måleobjekt, kan man godt bruge programmet til at korrigere den aflæste X værdi i forhold til frekvensforholdet med. Samtidig får man så måleresultatet både i form af en serieforbindelse af modstand og reaktans. Man skal indtaste en vilkårlig værdi for Z_0 , undtagen 0, medens man for den elektriske længde skal indtaste 0. Derefter indtastes frekvens og aflæst R og X værdi på samme måde som beskrevet senere. Se bort fra den udlæste værdi for VSWR.

4. Fremgangsmåde ved antennemålinger

Den fysiske længde (i meter) af antennekablet opmåles omtrentligt. Længden divideres med forkortningsfaktoren k , der for koaksialkabler med massiv isolation mellem inder- og yderleder er lige omkring 0,66 og for kablere med delvis luftisolation omkring 0,70-0,75. Det er ikke nødvendigt at kende det nøjagtige tal. Derved har vi den omtrentlige elektriske længde, vi skal derefter måle os frem til den nøjagtige værdi, som skal bruges i programmet. Vi kortslutter kablet i den fjerne ende, altså ved antennen, og udregner den frekvens (i MHz), hvor kablet er cirka en halv bølgelængde lang ved at dividere 150 med den omtrentlige elektriske længde. Kablet sluttes til impedansmåleren, og man måler så impedansen for forskellige frekvenser omkring den udregnede frekvens, indtil man finder en frekvens, hvor X netop er lig 0. Man noterer frekvensen og den værdi, der aflæses på R skalaen. Af frekvensen beregnes

den nøjagtige elektriske længde ved at dividere frekvensen op i 150. Af den aflæste R værdi kan vi beregne kablets dæmpning ved målefrekvensen ved hjælp af flg. simple formel

$$a = 10 \log \frac{Z_0 + R}{Z_0 - R} \text{ dB}$$

Man kan også foretage ovennævnte måling ved en dobbelt så høj frekvens, så kablet er en hel, elektrisk bølgelængde lang, eller ved den tredobbelte frekvens, så den elektriske længde bliver 3 halve bølgelængder, o.s.v. Så skal man dividere den fundne frekvens op i 300, hhv. 450 o.s.v. for at finde den elektriske længde. Man vil så måle større R værdier svarende til, at dæmpningen stiger med frekvensen. På den måde kan man måle dæmpningen ved 2, 3 eller flere forskellige frekvenser, hvorved man kan interpolere sig frem til kablets dæmpning ved arbejdsfrekvensen. Dette er dæmpningen, når kablet kører med standbølgeforhold 1:1. Når VSWR er større, kommer dertil et tillægstab, som let kan findes af et kurveblad gengivet i OZ December 1988 side 690.

Nu fjernes kortslutningen på kablet; det forbindes til antennen, som hejses op i sin endelige position. Generatoren og detektoren (modtageren) stilles på den frekvens, man vil måle ved, f.eks. i midten af det bånd, antennen skal bruges på. Efter nuljustering af impedansmåleren tilkobles kablet igen, og C1 og C4 stilles til minimum på detektoren. R og X værdien samt frekvensen noteres og indtastes på lommeregneren som forklaret nedenfor. Derefter stilles generator og detektor på en anden frekvens, og man får et nyt sæt R og X værdier, der sammen med den nye frekvens indtastes på lommeregneren.

5. Beregning ved hjælp af programmet. Eksempel

For at gøre det helt klart, hvordan beregningerne foretages vil vi vise et konkret eksempel. Vi tænker os, at vi har en ground plane antenne til 7 MHz, hvis radiator (det lodrette rør) er lidt for kort, så antenneimpedansens realdel bliver noget mindre end den teoretiske værdi på 36 ohm, og desuden får impedansen en stor kapacitiv komponent. Vi ønsker at bestemme denne impedans ved inde på stationen at måle ind i antennekablet, der er et 29,3 meter langt RG8 A/U kabel med $Z_0 = 50$ ohm.

Kablets omtrentlige elektriske længde er $29,3/0,65 = 45,08$ meter, idet vi gætter på en forkortningsfaktor på 0,65. Kablet er altså omtrentligt en halv bølgelængde langt ved $150/45,08 = 3,33$ MHz

Vi vil nu måle den nøjagtige elektriske længde samt kablets omtrentlige tab i dB. Først kortslutter vi impedansmålerens UHF stik og nuljusterer ved en frekvens omkring 3,33 MHz, så skalaerne står på $R = 0$ og $X = 0$ for minimum detektorudslag. Der-

næst fjernes kortslutningen, og den ene ende af kablet tilsluttes, medens den anden ende kortsluttes effektivt. Vi prøver nu at måle impedansen for forskellige frekvenser omkring 3,33 MHz, indtil vi finder den frekvens, hvor $X = 0$. Frekvensen og R skalaen aflæses. Vi finder 3,39 MHz og $R = 1,6$ ohm. Heraf finder vi den nøjagtige elektriske længde til $150/3,39 = 44,25$ meter og kablets tab til $10 \log ((50+1,6)/(50-1,6)) = 0,28$ dB ved 3,4 MHz. Vi vil imidlertid gerne måle tabet ved en frekvens, der er nærmere vor arbejdsfrekvens, så vi nuljusterer impedansmåleren ved den dobbelte frekvens 6,78 MHz, tilslutter kablet og finder en ny værdi på R skalaen, $R = 2,0$ ohm, medens X igen bliver lig 0. Heraf fås kablets tab til 0,35 dB. Vi kunne fortsætte sådan ved den 3-dobbelte, 4-dobbelte frekvens o.s.v., hvis vi var interesseret i at måle kablets tab ved højere frekvenser.

Nu er vi klar til måling på antennen. Vi fjerner kortslutningen i den fjerne ende af kablet, så det nu er tilkoblet antennen. Vi nuljusterer impedansmåleren ved 7,05 MHz og tilkobler antennekablet. Vi stiller R og X knapperne til minimum på detektoren og aflæser $R = 19,5$ ohm og $X = -12,5$ ohm. I virkeligheden er impedansen ind i kablet $19,5-j25$ ohm, idet vi skal gange den aflæste X værdi med 2, fordi vi måler på en halvt så høj frekvens som den frekvens impedansmåleren er kalibreret ved, men det behøver vi slet ikke at tænke på, når vi bruger programmet. Det sørger selv for at lave den omregning, så vi skal blot indtaste de direkte aflæste tal.

I det efterfølgende er talværdier i firkantede parenteser indtastede tal, medens udlæste værdier står i runde parenteser. Man kan så bruge de anførte talværdier til at teste sit program med. Tænd for hp15C, tryk fA. Displayet viser 0. Indtast Z_0 [50] og tryk på R/S, hvorefter displayet viser 1. Indtast elektrisk kabellængde [44.25] og tryk igen R/S, hvorefter displayet viser 2. Indtast frekvensen [7.05] og tryk R/S. Nu viser displayet 3. Indtast den aflæste R værdi [19.5]. Tryk R/S hvorefter displayet viser den netop indtastede R værdi (19.50). Indtast den aflæste X værdi [-12.5] og tryk R/S. Efter nogen tid viser displayet realdelen af antennens impedans (27.02). Tryk R/S hvorefter VSWR vises (3.30). Tryk igen R/S. Nu vises parallel-kombinationen af antennens modstand og reaktans, først modstanden (87.70) og efter nyt tryk på R/S reaktansen (-58.53). Ved endnu et tryk på R/S viser displayet 2 som tegn på, at vi nu kan indtaste en ny frekvens og derefter måleresultaterne for den nye frekvens, uden hver gang at skulle indtaste Z_0 og elektrisk kabellængde.

Nu har vi altså fundet, at antennens impedans er $27,02-j40,49$ ohm. Målenøjagtigheden berettiger ikke til de to decimaler, men de kommer med af hensyn til udlæsning af VSWR. For at ophæve den capacitive reaktans indskyder vi mellem kablets inderleder og

antennen (radiatoren) en spole med reaktans 40,5 ohm, altså 0,91 uH («forlængerspøle»). Hvis den har et Q på 40 bliver dens ohmske modstand $40.5/40 = 1$ ohm. Antennekablet kommer altså til at se ind i en rent ohmsk modstand på $27+1 = 28$ ohm, og man får et standbølgeforhold på $50/28 = 1,8$ mod 3,3 uden spole.

Som det fremgår af de udlæste talværdier kan antenneimpedansen også opfattes som en ohmsk modstand på 87,7 ohm i parallel med en kapacitiv reaktans på -58,5 ohm. Sidstnævnte kan ophæves ved at sætte en spole med reaktans 58,5 ohm, altså 1,32 uH, i parallel med antennen, altså mellem radiatoren og forbindelsespunktet for radialerne. Hvis denne spole også har et Q på 40 bliver dens paralleltabsmodstand $40 \times 58,5 = 2340$ ohm, som kommer i parallel med antennens ohmske modstand på 87,7 ohm, hvorved den resulterende modstand bliver 84,5 ohm, som antennekablet ser ind i. Bruger vi nu et 75 ohms kabel, f.eks. RG11 A/U, i stedet for 50 ohms kablet fås et meget fint standbølgeforhold på $84.5/75 = 1.12$ mod $84.5/50 = 1.69$ for 50 ohms kablet. Det er således en bedre løsning at bruge et 75 ohms kabel sammen med en parallellforbundet spole. Et resultat man ikke kunne have afsløret ud fra måling af standbølgeforhold for vores første løsning med 50 ohms kablet.

6. Afslutning

Som det fremgår, dækker impedansmåleren impedansområdet fra 0 ohm til ca. 100 ohm, både for ohmsk modstand og for positive og negative reaktanser ved 14,2 MHz. Ved at vælge andre komponentværdier kan man opnå andre måleområder, om ønsket. Men 0 til 100 ohm er meget passende ved måling på antenner, der fødes med koaksialkabel eller på tilpasningsled til transistorsendere. Hvis man (ved store standbølgeforhold) kommer ud for, at impedansen ind i antennekablet viser sig at være højere end impedansmålerens område, skal man blot indskyde et ekstra stykke kabel med samme Z_0 og med en elektrisk længde omkring 1/4 bølgelængde. Så transformeres den høje impedans om til en lav, der kan måles. I programmet skal man naturligvis indtaste den samlede elektriske kabellængde.

Hvis man skal måle på højimpedante antenner eller på afstemningskredse til rørsendere er det bedre at udforme Schering-broen som en admittansmåler. Konstruktion af en sådan, der dækker området fra ca. 10 ohm til 10 kiloohm, er beskrevet i OZ oktober/november 1965, hvor også admittansbegrebet og Smith-kortet er nærmere omtalt, og hvori der gives tips vedrørende konstruktion og anvendelse af impedans- og admittansbroer.

PROGRAM TIL HP15C.

LBL A	X	RCL 5
FIX 0	RCL 1	RCL .5
0	X	FI
R/S ← Z_0	TAN	RCL 0
STO 0	STO 4	+
1	RCL 3	÷
R/S ← L_E	RCL .3	ABS
STO 1	RCL 0	STO .0
LBL .2	RCL 4	1
SF 8	X	+
FIX 0	-	1
2	FI	RCL .0
R/S ← F	RCL 0	-
STO 2	RCL .3	÷
3	RCL 4	R/S → VSWR
R/S ← R	X	1
STO 3	+	RCL 5
FIX 2	RCL 3	RCL .5
R/S ← X	RCL 4	FI
1	X	÷
4	CHS	STO 6
.	FI	RE ⇌ IM
2	÷	STO .6
X	RCL 0	RCL 6
RCL 2	X	1/X
÷	R/S → R_S	R/S → R_P
STO .3	STO 5	RCL .6
π	RE ⇌ IM	1/X
1	R/S → X_S	CHS
5	STO .5	R/S → X_P
0	RE ⇌ IM	GTO .2
÷	RCL 0	
RCL 2	-	



Jeg er blevet (i dag) gjort opmærksom på, at der er endnu en fejl i styklisten til min modtager »OZ« 5/90.

C5 = 120 pF - Der står 120 nF i styklisten.

R11 = 18 KΩ - Mangler i styklisten

OZ1HWO