

Et Smith-kort program

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

1. Indledning.

Mange radioamatører har hørt om noget, der kaldes et Smith-kort; nogle ved, at det har noget at gøre med transmissionsledninger (f. eks. antennekabler), men de færreste har sat sig så meget ind i det, at de virkelig kan bruge det.

I erkendelse af, at det er lidt besværligt at bruge Smith-kortet, og at man let kommer til at lave fejl, har jeg skrevet et program, der laver de samme beregninger som med Smith-kortet, men hvor man blot skal indtaste de givne talværdier, hvorefter man direkte får det søgte resultat ud.

For at give interesserede lidt forståelse for Smith-kortet - en forståelse, der slet ikke er nødvendig for at bruge programmet - vil vi først med nogle konkrete tilfælde vise, hvorledes Smith-kortet bruges og dernæst vise, hvorledes de samme resultater fås med programmet.

2. Smith-kortet.

En grundig introduktion til Smith-kortet er givet af OZ7TA [1], men vi nøjes med at betragte de anvendelser af Smith-kortet, som er af særlig interesse for radioamatører, nemlig til at finde impedansen i den ene ende af et kabel, når man kender den i den anden; i et kabel, der ikke er meget kort i forhold til bølgelængden, sker der nemlig en transformation af impedansen. Desuden findes standbølgeforholdet på kablet meget let af Smith-kortet.

Fig. 1 viser Smith-kortet. Yderst er der en cirkel, der blot afgrænser kortet, dernæst kommer en cirkel med nogle tal 0.00 til 0.50, der angiver kabellængden i bølgelængder; lad os kalde den for lambda-cirklen. De yderste tal vokser med uret (højre om), de inderste mod uret. Går man hele cirklen rundt, svarer det til at bevæge sig en halv bølgelængde på kablet. De to næste cirkler, den ene med vinkeltal -180 til 180 grader, er uden interesse for os. Derefter kommer vi til en cirkel, som vi herefter vil kalde den yderste cirkel på selve Smith-kortet. Alle tal inden for denne cirkel er normeret til impedansen 1 ohm; det vil sige, at vi altid skal gange tallene på kortet med kablets karakteristiske impedans Z_0 - undtagen når vi aflæser standbølgeforholdet, se senere. I centrum af kortet står der 1.0, det betyder altså 50 ohm hvis vi arbejder med et kabel med karakteristisk impedans $Z_0 = 50$ ohm, eller 300 ohm, hvis vi bruger et 300 ohms twin-lead kabel.

En impedans består af en serieforbindelse af en modstand og en reaktans, begge målt i ohm. Modstanden er altid positiv, medens reaktansen er positiv, hvis den er induktiv (spole) og negativ, hvis den er kapacitiv (kondensator). En rent ohmsk impedans (reaktans = 0) afsættes i Smith-kortet på den vand-

rette akse i det punkt, hvor tallet er lig modstanden divideret med Z_0 .

En ren reaktans (modstand = 0) afsættes på den yderste cirkel af selve Smith-kortet ved det tal, der fås ved at dividere reaktansen med Z_0 . Hvis reaktansen er positiv (altså induktiv), afsættes punktet på den øverste halvcirkel; hvis negativ (kapacitiv) på den nederste.

Eks. 1: En stub kan være et 70 ohms kabel, der er kortslettet i den ene ende. Ved en kortslutning er både modstand og reaktans lig 0. Kortslutningspunktet svarer til punktet yderst til venstre på den vandrette akse. Hvis kablet er 0.05 bølgelængde langt, skal vi på lambda-cirklen gå med uret op til punktet, hvor der står 0.05. Fra dette punkt tegner vi en linie med retning ind mod centrum. Der, hvor den skærer den yderste cirkel af selve Smith-kortet, aflæser vi tallet ca. 0.33. Dette tal multipliceret med $Z_0 = 70$ ohm giver 23.1 ohm, hvilket er reaktansen (positiv) ind i kablets åbne ende; stubben virker altså som en selvinduktion. Hvis kablet i stedet for er 0.31 bølgelængde langt, går vi på lambda-cirklen med uret til tallet 0.31. Vi aflæser så på den yderste cirkel tallet 2.55, som multipliceret med 70 giver 178.5 ohm. Denne reaktans er negativ, fordi vi nu ligger i den nederste halvdel af Smith-kortet. Kablet virker altså nu som en kapacitet. Samme negative reaktans ville vi have fået, hvis kablet havde været åbent i stedet for kortslettet og kun 0.06 bølgelængde langt, idet vi så skulle have startet i yderste højre punkt af den vandrette akse, svarende til 0.25 bølgelængde.

Når vi i ovenstående eksempel taler om kablets længde, mener vi dets elektriske længde, som er noget større end den fysiske længde. Den elektriske længde L_e fås ved at dividere den fysiske længde L med forkortningsfaktoren k , altså $L_e = L/k$. For coaxkabler med massiv isolation er k omkring 0.66, for coaxkabler med delvis luftisolation er k omkring 0.8, for 300 ohm twin-lead omkring 0.82 og for en åben feeder ("trappetige") omtrent lig 1, måske 0.98 eller 0.99.

Desuden bør man lige bemærke sig, at både Smith-kortet og programmet forudsætter, at man kan betragte kablet som tabsfrit.

En impedans bestående af en modstand R og en reaktans X afsættes på Smith-kortet på flg. måde: Først normeres ved at dividere med Z_0 . Tallet R/Z_0 søges på den vandrette akse. Tallet X/Z_0 søges ved den yderste cirkel af selve Smith-kortet, på øverste halvcirkel, hvis X er positiv (induktiv), på nederste, hvis den er negativ (kapacitiv). Fra R/Z_0 tallet følges den cirkel (evt. en tænkt, interpoleret cirkel), som fra tallet går lodret op eller ned, indtil denne cirkel

IMPEDANCE OR ADMITTANCE COORDINATES

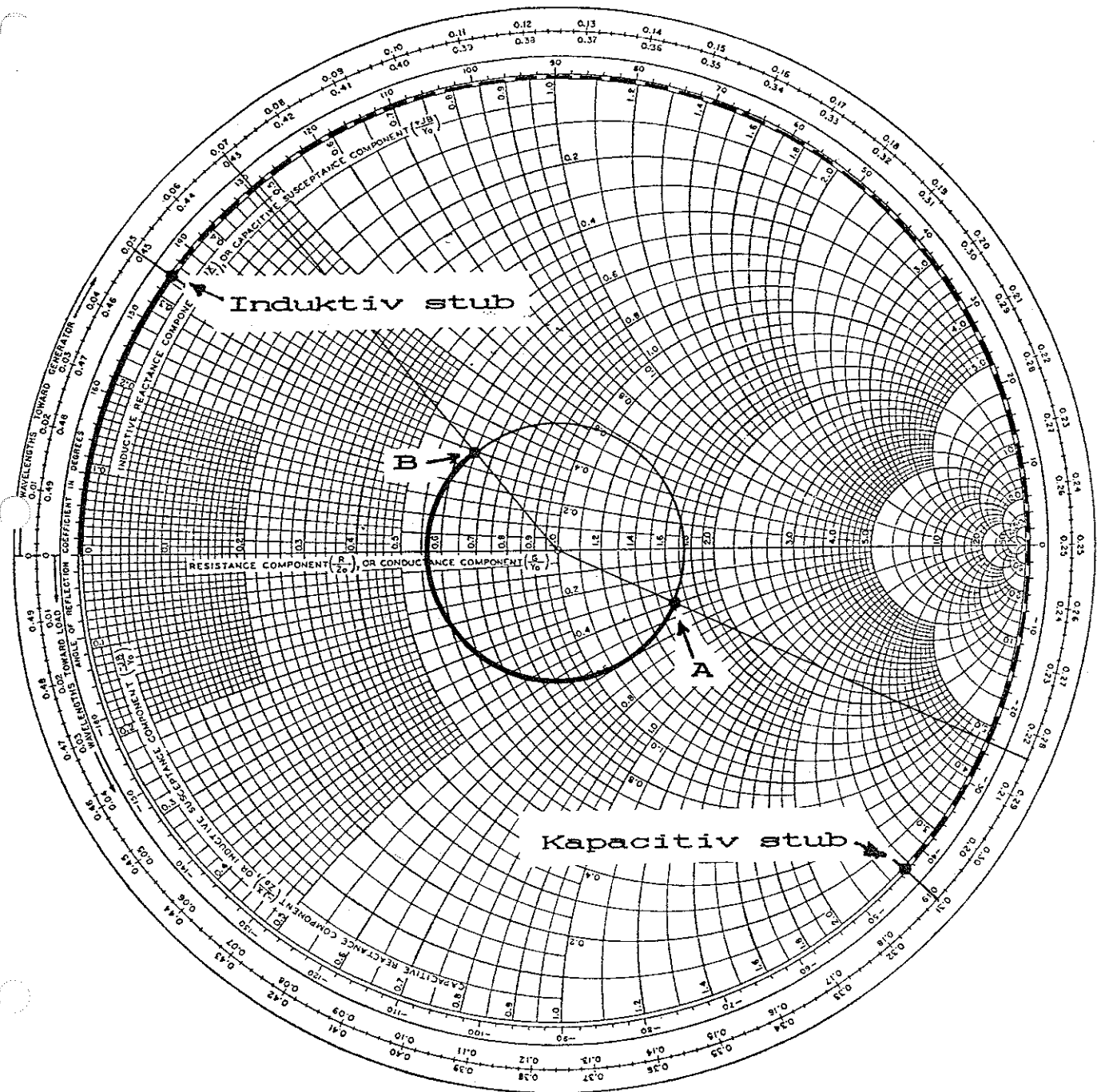


Fig. 1. Smith-kort med indtegnede eksempler.

skærer den cirkelbue, der udgår vinkelret på den yderste cirkel fra X/Z_0 tallet. Skæringspunktet repræsenterer impedansen.

Eks. 2: En dipolantenne fødes på 7.0 MHz med et 8.09 meter langt 50 ohms coaxkabel med massiv isolation. Kablets elektriske længde er da $8.09/0.66 = 12.26$ meter eller 0.286 bølgelængde. Med f. eks. ELNEC eller MININEC beregnes antennens impedans til $80 - j20$ ohm. Dipolen er kapacitiv, altså lidt for kort til at være i resonans. Heraf fås $R/Z_0 = 1.6$ og $X/Z_0 = -0.4$, svarende til punktet A i Smith-kortet. Med centrum i Smith-kortets centrum tegnes nu en

cirkel, der går gennem punktet A. Desuden tegnes en linie (radius), der går gennem punktet A ud til lambda-cirklen, på hvilken vi aflæser 0.284. Nu bevæger vi os *med uret* på cirklen gennem A, indtil vi har flyttet os 0.286 bølgelængde (kablets elektriske længde), det vil sige indtil vi når tallet $0.284 + 0.286 - 0.500 = 0.070$ på lambda-cirklen. Derved kommer vi til punktet B på cirklen gennem A. For punktet B aflæser vi på Smith-kortet koordinaterne 0.65 på den vandrette akse og +0.3 på den øverste halvcirkel. Impedansen ind i kablet nede ved senderen bliver altså $50 (0.65 + j0.3) = 32.5 + j15$ ohm, altså induktiv. Standbølgeforsødet på kablet fås som det

tal, man aflæser på højre del af den vandrette akse i det punkt, hvor cirklen gennem A og B skærer denne akse. Vi finder, at SWR = ca. 1.75. SWR bestemmes alene af antennens impedans og kablets karakteristiske impedans, Z_0 , og er altså uafhængigt af kablets længde, så længe kablet kan regnes at være tabsfrit.

Man kan også gå den omvendte vej, det vil sige, at vi måler impedansen ind i den ene ende af kablet (nede ved senderen) og ønsker så ved hjælp af Smith-kortet at finde ud af, hvilken impedans, der er tilsluttet i den anden ende.

Eks. 3: Nu tænker vi os, at vi har målt impedansen ind i kablet nede ved senderen til $32.5 + j15$ ohm, f. eks. med den i reference [2] beskrevne impedansmåler. Nu kender vi ikke antennens impedans, men ønsker at bestemme den ud fra ovennævnte måling, der svarer til punktet B. Vi tegner så en cirkel gennem B (det er naturligvis den samme som vi tegnede i Eks. 2) og går nu 0.286 bølgelængde mod uret, hvorved vi kommer til punktet A. Her aflæser vi på Smith-kortet koordinaterne 1.6 og -0.4. Vi finder altså antennens impedans til

$50(1.6 - j0.4) = 80 - j20$ ohm og standbølgeforsholdet 1.75.

3. Programmet.

Programmet bygger på flg. formler:

(1) Når et kabel - med karakteristisk impedans Z_0 , fysisk længde L og forkortningsfaktor k - er belastet med impedansen Z_b , så bliver impedansen ind i den anden ende, ved frekvensen f (i MHz):

$$Z = \frac{Z_b + j Z_0 \tan b}{1 + j \frac{Z_b}{Z_0} \tan b}$$

hvor \tan betyder tangens og b er en vinkel i radianer:

$$b = \frac{\pi f L}{150 k}$$

(2) Når man ind i den ene ende af kablet måler impedansen Z_m , så beregnes den impedans, som den anden ende er belastet med, af formlen:

$$Z = \frac{Z_m - j Z_0 \tan b}{1 - j \frac{Z_m}{Z_0} \tan b}$$

b er samme udtryk som ovenfor.

(3) Standbølgeforsholdet på kablet bliver

$$SWR = \frac{1+r}{1-r}$$

hvor

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

De lodrette streger betyder, at r er den numeriske (også kaldet absolutte) værdi af det komplekse udtryk mellem stregerne.

Programmet hedder SMITH-K.EXE og køres direkte fra DOS. De første "skærmfulde" giver en

Impedanstransformation ved hjælp af transmissionsledning

| | |
|---|------------------------|
| Kablets karakteristiske impedans | $Z_0 = 50,0$ ohm |
| Kablets fysiske længde | $L_f = 8,09$ meter |
| Kablets elektriske længde | $L_e = 12,26$ meter |
| Kablets længde i bølgelængder | $L_l = 0,286$ lambda |
| Frekvens | $f = 7.000$ MHz |
| Indtastet kompleks belastningsimpedans | $Z_b = (80-j20)$ |
| Impedans i modsatte ende af kabel | $Z = (32,53 + j14,96)$ |
| Standbølgeforshold på kablet | $SWR = 1,76$ |
| Ønskes ny belastningsimpedans, samme kabel, samme frekvens? | Skriv 1 |
| Ønskes beregning for ny frekvens, samme kabel? | Skriv 2 |
| Ønskes beregning for det modsatte tilfælde? | Skriv 3 |
| Ønskes beregning for andet kabel? | Skriv 4 |
| Beregninger afsluttet, gå ud af program. | Skriv 5 |
| Skriv 1 2 3 4 eller 5:? | |

Fig. 2. Skærbillede for Eks. 2.

Impedanstransformation ved hjælp af transmissionsledning

| | |
|---|------------------------|
| Kablets karakteristiske impedans | $Z_0 = 50,0$ ohm |
| Kablets fysiske længde | $L_f = 8,09$ meter |
| Kablets elektriske længde | $L_e = 12,26$ meter |
| Kablets længde i bølgelængder | $L_l = 0,286$ lambda |
| Frekvens | $f = 7.000$ MHz |
| Indtastet kompleks belastningsimpedans | $Z_m = (32,5 + j15)$ |
| Impedans i modsatte ende af kabel | $Z = (80,07 + j20,10)$ |
| Standbølgeforhold på kablet | $SWR = 1,76$ |
| Ønskes ny belastningsimpedans, samme kabel, samme frekvens? | Skriv 1 |
| Ønskes beregning for ny frekvens, samme kabel? | Skriv 2 |
| Ønskes beregning for det modsatte tilfælde? | Skriv 3 |
| Ønskes beregning for andet kabel? | Skriv 4 |
| Beregninger afsluttet, gå ud af program. | Skriv 5 |
| Skriv 1 2 3 4 eller 5:? | |

Fig. 3. Skærbillede for Eks. 3.

kort forklaring på dets anvendelse. Derefter spørger programmet om kablets karakteristiske impedans, længde og forkortningsfaktor. Næste spørgsmål er, om man kender belastningsimpedansen og ønsker at finde impedansen ind i den anden ende, eller man har målt impedansen ind i kablet og ønsker at finde belastningsimpedansen. Dernæst indtastes frekvens og den kendte impedans, hvorefter der fremkommer de i fig. 2 og 3 viste skærbilleder for hhv. ovennævnte Eks. 2 og Eks. 3. Programmet giver resultaterne med flere cifre, end det er muligt at aflæse på Smith-kortet, men normalt er Smith-kortets opløsning fuldt tilstrækkelig til praktisk brug.

4. Afslutning.

Med dette program er det meget simpelt at udregne impedanstransformationer med transmissions-

ledninger (kabler), og risikoen for fejltagelser, som let kan opstå ved brug af Smith-kort, er næsten elimineret.

Programmet vil blive overdraget til EDRs programbank.

Litteratur-referencer.

[1] OZ7TA, Jørgen Kragh: En introduktion til Smithkortet. OZ Marts 1995, pp. 109 - 122.

[2] OZ7MA, Arne R. Pedersen: Impedansmåling på antenner m.v. OZ August 1990, pp. 429 - 434. Korrektioner: OZ Oktober 1990, p. 508.

OZ

Test af Ten-Tec Scout 555

Af TR og OZ5RM

De er der, men der er ikke mange tilbage: Amerikanske firmaer, der producerer amatørradioudstyr. Bortset fra de tre toneangivende, markedsdominerende japanske firmaer er der efterhånden kun en lille underskov af andre foretagender, der ikke følger den slagte vej som 'de tre store'. Et af dem er Ten-Tec, og vi haft lejlighed for at se nærmere på deres Scout 555 HF transceiver.

Generelt

Stationen er efter dagens standard meget utraditionelt opbygget: Mellemfrekvensen er ret lav, 6.144 MHz, afstemningen sker med en permabilitetsstyret

VFO, der mixes til den endelige frekvens og som samtidig er forsynet med et noget utraditionelt frekvenslåsesystem - mere herom senere.

Det mest markante er dog måden, der skiftes bånd på: hvert amatørband betjenes af hver sin forforstærker og filtre; men disse skiftes simpelthen ved at udtage hele enheden af radioens frontpanel. Når man skubber 'båndmodulet' på plads, etableres forbindelserne via kantkonnektorer og coaxstik. I prisen er inkluderet et modul til et valgfrit amatørband. Vores anmelderexemplar var udstyret med moduler til 80, 40 og 20 meter.