

Begynderstof:

Hvad er en Wheatstonebro?

Af OZ6YM, Palle A. Andersen

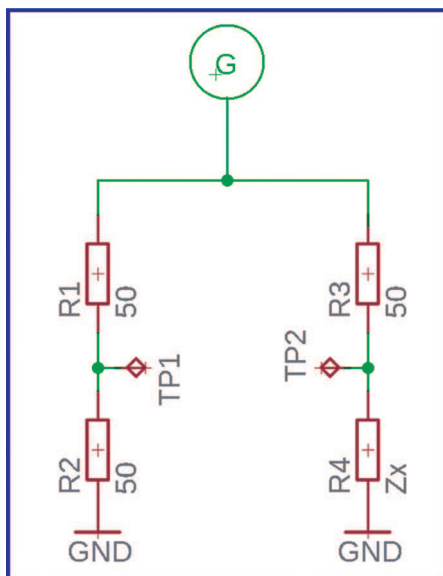
Som begynder ud i radioamatørernes eksperimentalverden, er kendskabet til en Wheatstonebro en rigtig god ting, hvis man vil arbejde med hjemmebyggede antenner. Som forhåndskendskab til denne artikel, bør du som minimum vide, hvad en brøkstreg betyder, og have kendskab til grundlæggende regnemetoder, samt Ohms lov.

Når du har læst denne artikel, vil du have opnået kendskab til måling på antenner, med viden om begreber som VSWR, refleksionskoefficient, forståelse af ubalance i en målebro, og beregning af VSWR, og at impedans = Z_x = vekselstrømsmodstand.

VSWR står for Voltage Standing Wave Ratio, men benævnes ofte bare som SWR.

Wheatstonebroen blev opfundet af Samuel Hunter Christie i 1833 og forbedret og populariseret af Sir Charles Wheatstone i 1843.

"En Wheatstonebro er et elektrisk kredsløb, der bruges til at måle en ukendt elektrisk modstand ved at afbalancere to ben på et brøkkredsløb, hvoraf et ben indeholder den ukendte komponent". I figur 1 ses den grundlæggende opstilling af et sådan elektrisk kredsløb.



Figur 1. G er en tilsluttet generator i form af en oscillator eller en spænding. R1, R2 og R3 er alle 50 Ohm. Z_x er den ukendte antenne, symboliseret ved en modstand
Mellem TP1 og TP2 kan balance/ubalance måles

Ved at betragte målebroen fra et rent DC-mæssigt synspunkt, og ved at erstatte antennen med en ukendt modstand og som generator bruge et 1,5 Volts batteri, kan man finde den ukendte modstand Z_x (R4) ved at gøre R2 variabel, og måle spændingen mellem TP1 og TP2.

Med 0 Volt mellem TP1 og TP2, er broen i balance, og derved kan man aflæse den variable R2 for værdien af Z_x (R4).

Matematikken bag er som følger, se også figur 2. Med Ohms lov, kan vi nu udlede en række oplysninger om strømmene der løber i kredsløbet, når broen er i balance, også kaldet Kirchhoffs første lov, se formel 1.

$$\begin{aligned} I_3 - I_x + I_G &= 0 \\ I_1 - I_2 - I_G &= 0 \end{aligned} \quad \text{Formel 1}$$

Derefter bruges Kirchhoffs anden lov og får formel 2.

$$\begin{aligned} (I_3 \cdot R_3) - (I_G \cdot R_G) - (I_1 \cdot R_1) &: \\ (I_x \cdot R_x) - (I_2 \cdot R_2) + (I_G \cdot R_G) &: \end{aligned} \quad \text{Formel 2}$$

Når broen er i balance er $I_G = 0$, og så kan vi omskrive formel 2 til formel 3,

$$\begin{aligned} I_3 \cdot R_3 &= I_1 \cdot R_1 \\ I_x \cdot R_x &= I_2 \cdot R_2 \end{aligned} \quad \text{Formel 3}$$

og ved at omorganisere lidt mere får vi formel 4, 5 og 6, og det er formel 6 vi skal bruge.

$$R_x = \frac{R_2 \cdot I_2 \cdot I_3 \cdot R_3}{R_1 \cdot I_1 \cdot I_x} \quad \text{Formel 4}$$

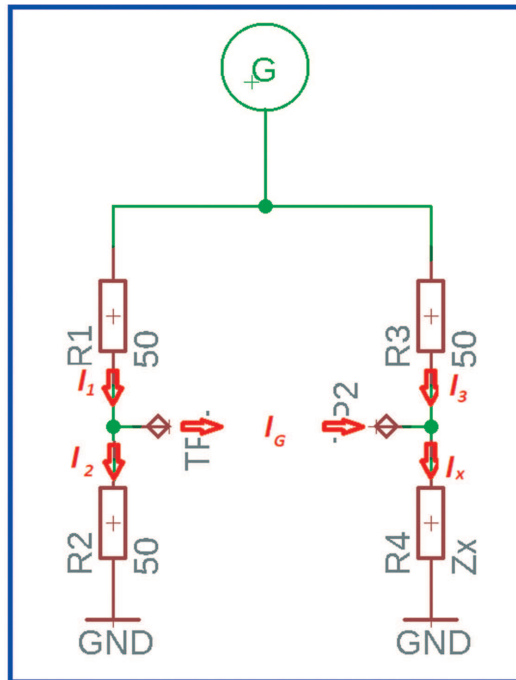


Fig 2

$$I_3 = I_x \text{ og } I_1 = I_2 \quad \text{Formel 5}$$

$$R_x = \frac{R_3 \cdot R_2}{R_1} \quad \text{Formel 6}$$

Når alle 4 modstande er kendte sammen med generatorspændingen V_s , kan vi beregne spændingen mellem TP1 og TP2 ud fra formel 7.

$$V_G = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} - \frac{R_x}{R_x + R_3} \right) V_s \quad \text{Formel 7}$$

Det er ikke sikkert, at du nogensinde vil få brug for at regne på nogle af disse formler, men nu har du dem, og kan bruge dem, hvis behov skulle opstå.

Det var så matematikken, nu til noget mere praktisk.

Hvis vi nu erstatter 1,5 Volts batteriet med en vekselspænding og sammenligningsmodstandene med impedanser, kan broen også måle impedanser, og dette princip skal vi jo bruge, når vi måler på antenner.

Wheatstonebroen som SWR målebro

Hvis vi nu indsætter en måleprobe mellem TP1 og TP2 har vi en modstandskoblet SWR bro, se figur 3.

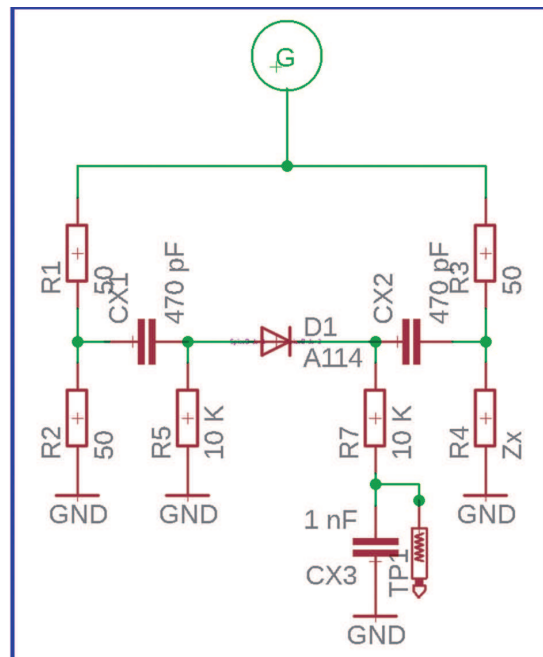


Fig. 3

Vi forudsætter, at der nu er tilsluttet en sender med nogle milliwatts output, og at der er tilsluttet en antenne, som skal testes for resonans, til erstatning for R4.

Hvis nu de tre andre modstande er 50 Ohm, vil broen være i balance når og kun når antenneim-

pedansen er 50 Ohm. Hvis nu antennen er designet til at have 50 Ohm impedans ved resonans, kan vi justere på antennen, og følge forløbet af justeringerne ved at betragte spændingen i TP og forsøge at justere den til 0 eller mindst mulig. Med denne opstilling, vil det være praktisk at lade antennelegemerne på f. eks. en dipolantenne, være lidt for lange rent elektrisk, således at man blot skal klippe antennen til for at opnå et passende minimum dyk på den frekvens man ønsker det.

Spændingen i TP1 er et udtryk for reflektionskoefficienten, dvs. forholdet mellem den effekt der sendes ud til antennen og den effekt der kommer tilbage fra antennen. Ud fra det kan vi beregne standbølgeforholdet (VSWR)

Hvordan beregnes VSWR ?

Vi skal lave to målinger, så vi modificerer broen til figur 4. Her måler vi to spændinger på hver sin halvdel af broen. Nu kan man beregne reflektionskoefficienten efter formel 8 og endeligt kan vi finde VSWR efter formel 9.

$$\Gamma = \frac{V_{rev}}{V_{fwd}} \quad \text{Formel 8}$$

$$VSWR = \frac{1 + \Gamma}{1 - \Gamma} \quad \text{Formel 9}$$

Ovenstående eksempler har tydeligvis nogle ulemper, idet detektordioderne jo ikke leder fra 0 V, men skal have en vis spænding, 0,2 til 0,3 V før end den leder.

Det betyder at der skal en vis spænding, skal vi sige, mindst 1 V spidsspænding over dioden før end vi kan få en fornuftig måling. 1 V over dioden svarer til 2 V over hele broen hvilket giver en RMS spænding på 1,4 V eller en effekt på 40 mW.

Spændingerne kan nemt måles f.eks. med en Arduino og den kan så lave alle beregningerne og kompensere for diodernes krumme karakteristisk og udlæse VSWR .

Lidt mere teori

Hvis en antennes impedans ikke matcher til antennekablets impedans, optræder der stående bølger på kablet mellem antenne og sender.

Disse reflekterede spændingsbølger optræder som stående bølger langs med transmissionslinjen eller kablet, og kan forstyrre naboens fjernsyn - disse forstyrrelser kaldes for TVI.

Det betyder også at en del af sendeeffekten returneres til senderen, hvor den bliver til varme og kan skade senderen.

Hvis antennen har et VSWR på 1, er der fuldstændig match til antennekablet, og al effekt fra senderen afleveres til antennen, og der er ingen stående bølger på antennekablet.

I tabel 1 er vist hvor meget af sendeeffekten der reflekteres ved forskellige VSWR.

Det ses af tabellen, at VSWR på 3.0 giver et tab af effekt til antennen på 25 %, hvorimod 75 % stadig leveres til antennen.

De fleste sendere kan tåle en vis mistilpasning, og mange radioer giver en advarsel, hvis VSWR bliver for dårligt.

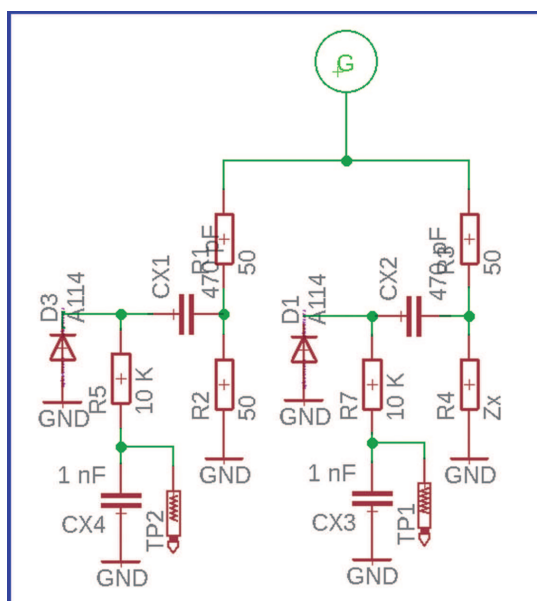


Fig 4

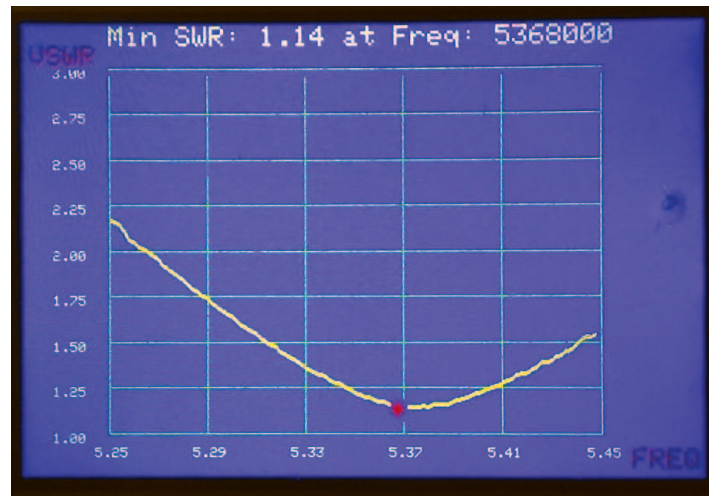


Fig 5

VSWR	Γ	Reflekeret effekt (%)
1	0,00	0,00
1,2	0,09	0,83
1,5	0,20	4,00
1,8	0,29	8,16
2	0,33	11,11
2,2	0,38	14,06
2,5	0,43	18,37
3	0,50	25,00
4	0,60	36,00
5	0,67	44,44
10	0,82	66,94
20	0,90	81,86

Tabel 1

Det er dog ikke altid udtrykt i, hvordan SWR ser ud, men blot indikeret med f. eks. "HIGH SWR" udskrevet på et display eller lignende.

Vær til slut opmærksom på, at bedste VSWR som regel kun er bedst på et lille frekvensområde og ofte stiger stærkt på højere og lavere frekvensen. Der kan derfor hurtigt opstå mistilpasning til senderen, hvis man bevæger sig for langt væk fra den frekvens, som antennen er optimeret til.

Figur 5 viser en antennes VSWR på 60 meter båndet, og vi ser at antennen er optimeret til en frekvens omkring 5368 kHz.

Referencer:

"mikro/milliwattmeter", af OZ6YM, Palle, OZ, Marts 2017

"VSWR Analysator fra 160 til 10 meter", af OZ6YM, Palle, OZ, Marts 2018

OZ

Stof til OZ

Alle indlæg til OZ - undtagen tekniske artikler og indlæg, der skal bringes i de forskellige spalteredaktørers sider - sendes til adressen: oz-redak@edr.dk

Det gælder både ikke tekniske artikler, silent keys, annoncer vedrørende arrangementer, amatørannoncer og alt andet redaktionelt stof.

Stof til spalteredaktørerne sendes som hidtil direkte til den pågældende spalteredaktør. Se adressen i hovedet på den pågældende spalte.

Tekniske artikler sendes til teknisk redaktør (TR) oz7ta@edr.dk

Der er ingen frister for tekniske artikler, der året rundt kan sendes til TR.

Andre bidrag til OZ november skal være fremme senest d. 23. oktober

Højtydende common-mode drosler

Af Steve Hunt, G3TXQ | www.steve@karinya.net

Oversat fra RadCom Plus, maj 2015, af OZ5DW, Peter Raabye med tilladelse fra RSGB

Der er næppe andre komponenter, brugt af radioamatører, der er mere misforståede end common-mode drosler.

Mange amatører har stadig ikke hørt om dem, og selv de der har, kan de ikke enes om navnet: Er det en common-mode drossel, en HF-drossel, en 1:1 strømbalun eller en 1:1 Guanella-balun?

Fordi disse navne alle dækker den samme Komponent, er svaret formentlig "alle de nævnte". Navnet skifter blot med anvendelsen.

Forfatteren bruger mest navnet common-mode drossel (CM drossel), og selvom lignende drosler bruges til kontrolkabler, telefonlinier o.s.v., vil denne artikel begrænse sig til brugen i typiske HF-antennesystemer.

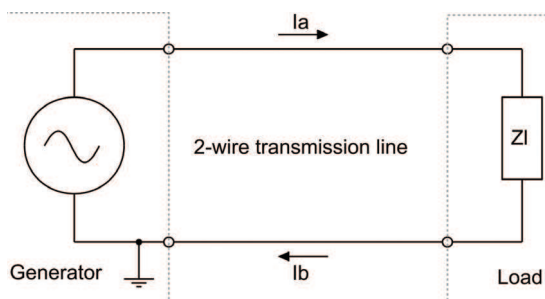
Denne artikel forsøger at kaste lys på denne misforståede komponent, og dækker:

- Hvad gør en CM drossel
- Hvor og hvad vi behøver den til
- Hvilke egenskaber skal den have
- Hvordan man bygger en god CM drossel, og
- Hvordan man måler dens ydeevne.

Men først skal vi forstå, hvad en common-mode strøm er, og hvorfor vi i reglen forsøger at undgå den.

Common-mode strøm

Figur 1 viser en generator forbundet til en belastning, Z_L , via en totråds transmissionslinje. Den ene side af generatoren ligger til stel, men belastningen er helt svævende i forhold til stel.



Figur 1. Balanceret transmissionslinje fra generator til en "flydende" belastning

Grundlæggende for et elektrisk kredsløb er, at den "udgående" strøm, I_a , og "returstrømmen", I_b , er samme strøm, der kører rundt i kredsen.

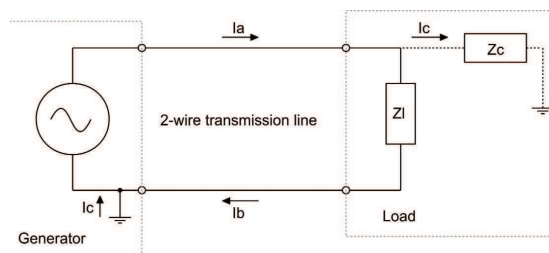
Der er ikke andre veje for strømmen.

Fordi I_a og I_b går i hver sin retning de to tråde i transmissionslinjen, har de en faseforskel på 180° .

Lige store og modsat rettede strømme i transmissionslinjens to ledere kaldes differential-mode strømme. Fordi de to ledere ligger så tæt, vil ydre felter fra de to modsat rettede strømme udbalancere hinanden, og transmissionslinjen stråler derfor ikke.

Dette er grundlæggende egenskaber for differential-mode strømme og balancerede transmissionslinier.

Hvis vi nu ændrer forudsætningerne ved belastningen ved at tilføje en sti til jord, Z_c , fra det øvre ben af transmissionslinjen som vist i figur 2.



Figur 2. Common-modestrøm, I_c , giver en uønsket ekstra returvej

Strømmen kan nu følge to forskellige veje. Der er både den normale langs liniens nedre ben, og en ny, I_c , via Z_c og jord.

Bemærk, at I_c flyder igennem Z_c og videre til jord i belastningsenden; og siden strømmen flyder i lukkede kredsløb, vil den samme strøm altså udgå fra jordterminalen ved generatoren som vist i figur 2.

I_c er det vi betegner som common-mode strøm. Enhver strøm, I_c , der tager denne alternative rute, må resultere i at I_a og I_b er forskellige - med andre ord, at transmissionslinjen ikke længere er balanceret.

Det er altid i et eller andet omfang tilfældet i virkeligheden.

For at skelne klarere mellem differential-mode og common-mode strømme på samme transmissionslinje, er det ofte praktisk at tænke på de to