

Frekvensuavhengige wattmetre og et SWR-meter

Av P G Martin G3PDM

Oversatt fra «Radio Communication» juni 1989 ved LA7MC Jostein Gjerde.

Problemet med frekvensavhengighet med vanlige refleksjonsmetre forhindrer at de kan brukes til nøyaktige effektmålinger. Dette oppstår fordi en tar ut spenning fra transmisjonslinjen v.h.j.a. en spenningsdeler som består av en fast motstand og koplingskapasiteten for en lengde av transmisjonslinjen, og fordi linjestrømmen blir detektert av en HF-transformator som består av en liten trådsløyfe induktivt koplet til linjen. I det første tilfelle vil den kapasitive reaktansen variere med frekvensen og påvirke spenningsdelerforholdet. I det andre tilfellet vil spenningen som blir induisert i sløyfen være proporsjonal med den hastighet den magnetiske fluxen forandrer seg med, og den induerte spenning vil derfor øke med frekvensen.

Begge disse feilene kan en unngå ved å bruke vanlige faste komponenter istedenfor koplingsparametre for transmisjonslinjen. Først må spenningsdetektoren bestå av to motstander istedenfor en R og en C, og strømdetektoren bør være en toroid strømtransformator (som er en vanlig transformator med lav verdi på belastningsmotstanden over sekundæren). Et grunnleggende krav til SWR-broene eller de direkte wattmetrene er at de må generere to spenninger som er proporsjonale med framover-rettete og reflekterte spenninger eller strømmer på transmisjonslinjen. For å oppnå dette har en enten en strømdetektor eller en spenningsdetektor som gir to signaler i motfase slik at en kan foreta enten addisjon eller substraksjon.

Et frekvensuavhengig direkte wattmeter

M. B. Allenson G3TGD har konstruert et wattmeter etter disse prinsipper, der den lave motstanden i strømtransformatorens sekundær er delt opp i to like deler. Senterforbindelsen blir ført til spennings-sammenligningsnettverket slik at sum- og differanse-spenninger blir tilgjengelige på endene av transformatorens sekundær-vikling. Se fig. 1.

Med to metre kan denne kretsen brukes som et kalibrert direkte wattmeter. Apparatet muliggjør også nøyaktig beregning av SWR-forholdet. Prototypen hadde en nøyaktighet innenfor 10 % fra 100 kHz til over 70 MHz. Med et 50 μ A-meter var følsomheten bedre enn fem milliwatt! Med de seriemotstandene som er spesifisert i fig. 1 vil fullt skalautslag tilsvare 0,5, 5, 50 og 500 watt.

Kalibreringen er ikke lineær fordi meteret måler spenning, og effekten er proporsjonal med spenningen i annen potens. Kalibreringskurver for et 75-ohms system er gitt i fig. 2.

Det logaritmiske wattmeteret

Det opprinnelige instrumentet kan forbedres ved å sette inn et logaritmisk nettverk slik at effektverdien blir overflødig, og en meter-skala kan brukes for effekter fra f.eks. 1 watt til 1000 watt. (En logaritmisk skala vil da ha kalibreringspunktene for 1, 100 og 1000 watt med lik avstand. Se fig. 3). Bortsett fra at

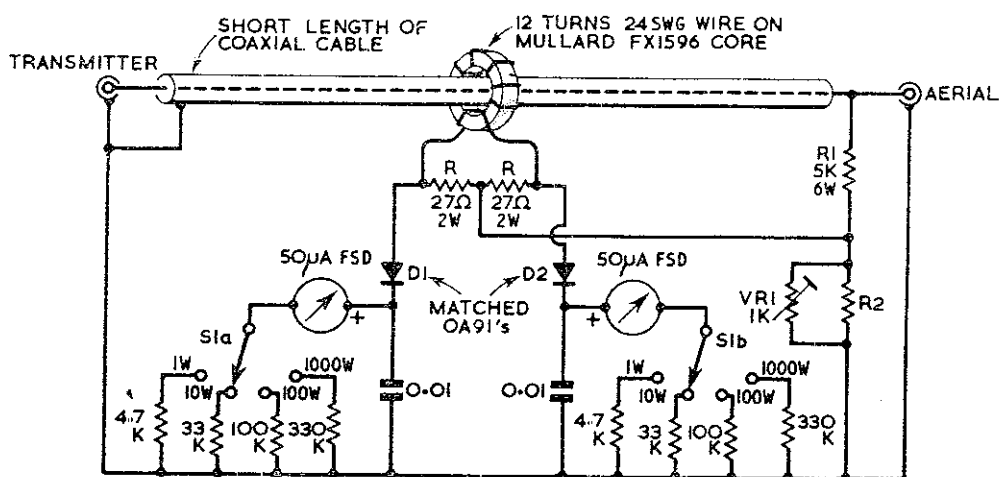


Fig. 1. Koplingskjema for det opprinnelige frekvensuavhengige direkte wattmeteret med fire områder som svarer til fullt skalautslag for 0,5, 5, 50 og 500 W i 50 ohm's transmisjonslinje. Verdien av R_2 (inkludert VR_1) skal være 220 ohm. For 75 ohms karakteristisk

impedans skal R_2 være 150 ohm, og kalibreringen er ulik. Koksialkabelen virker som en elektrostatisk skjerm mellom senterleedren på toroid-transformatoren. Kabel-lengden har ingen betydning.

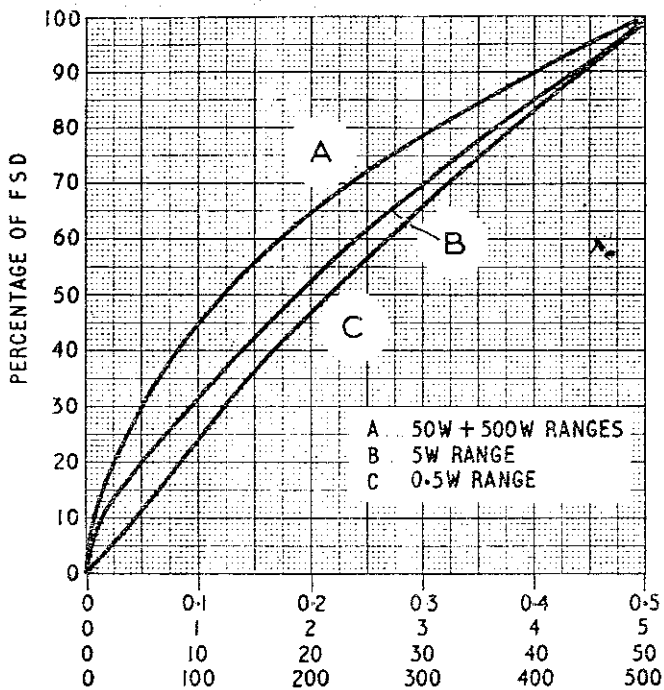


Fig. 2. Kalibreringskurver for det direktive wattmeteret i fig. 1.

det er en lettelse å slippe å skifte område, vil en med et apparat med to meter kunne måle meget lave SWR-forhold med stor nøyaktighet. Det er mulig å måle

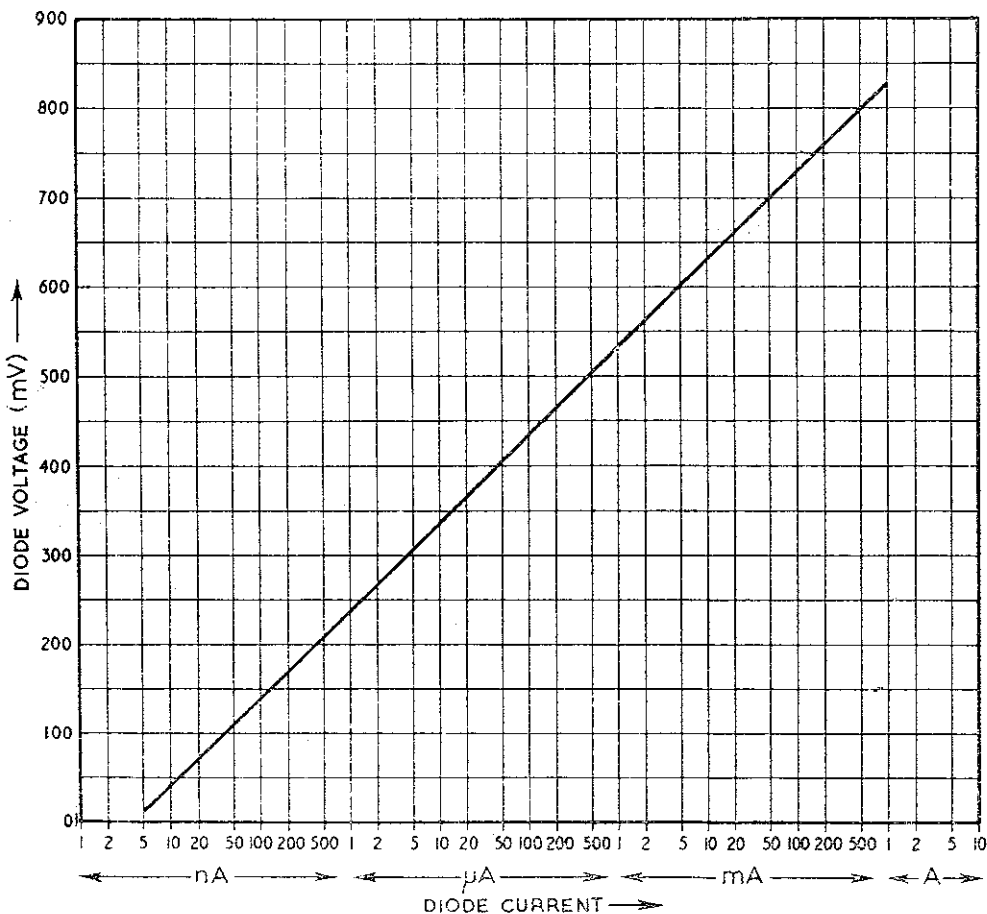


Fig. 4. Kurve som viser spenningsfallet over en silisium PN-overgang (Dioden 1N4006) som funksjon av diodestrømmen. Forholdet V/I er nøyaktig logaritmisk for strømmer mellom 5 nA og 1 A.

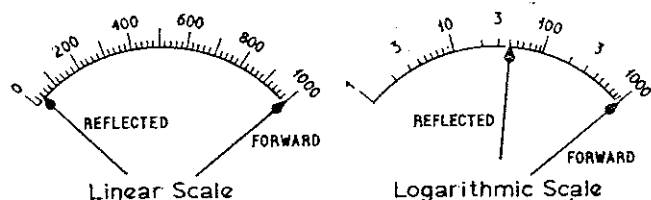


Fig. 3. En lineær (a) og en logaritmisk (b) skal som begge viser det samme forhold når det gjelder stående bølger: En framover-rettet effekt på 1 kW og en reflektert effekt på 40 W. Fordelen med logaritmisk skala er åpenbar.

meget lave reflekterte effekter og svært høye framover-tettede effekter samtidig og med samme prosent nøyaktighet. For å oppnå dette med det første instrumentet måtte en ha hatt adskilte vendere for framover-rettet og reflektert følsomhet.

Det er enkelt å føye et logaritmisk nettverk med rimelig nøyaktighet til effekt-meteret i fig. 1. Grunnlaget for virkemåten er at spenningen over en diode som er forspent i lederetningen er proporsjonal med logaritmen til den strømmen som går igjennom dioden. Se fig. 4. De logaritmiske egenskapene for en silisium-diode gjelder for minst 8 dekadere av strømmen. (Fra 5 nA til 1 A) Dette fører med seg at et enkelt meter kan kalibreres over 16 dekadere i effekt — fra 1 pikowatt til 10 kW! Et område fra 1 W til 1000 W er mer praktisk, men dette fører med seg at det logarit-

miske nettverket må modifiseres. (Se fig. 5). Ved å bruke et meter som er mindre følsomt vil de laveste dekadene bli sammentrykt, men det blir nødvendig å sette en motstand i serie med dioden for å opprettholde den logaritmiske inndelingen av skalaen. Et logaritmisk direktivt wattmeter i eksperimentutførelse er vist i fig. 6. Fig. 7 viser passende kalibreringsskalaer for dette instrumentet. Disse skalaene kan klippes ut av

Bladet og passer for japanske metrie på 1—2 1/32" Kretsen inneholder målenettverket i fig 1 og to logaritmiske nettverk som er vist i fig 5 b.

Et direkte-visende SWR-meter.

Et ytterst brukbart instrument, som vil kreve bare ett metet, vil være et instrument som gav direkte avlesning av SWR-forholdet *uavhengig av effekt-nivået og frekvensen*. SWR-forholdet kan uttrykkes v h j a framover-rettet og reflektert spenning slik:

$$SWR = \frac{E_f + E_r}{E_f - E_r} \quad (1)$$

Vi ønsker å generere denne funksjonen elektronisk slik at utgangen fra de to detektorene kan brukes til å generere en meter-strøm som er proporsjonal med SWR-forholdet Dette ville ha blitt en heller vidløftig sak, selv om det ikke er umulig.

En liten omteking av ligningen viser at:

$$\log \frac{E_f}{E_r} = \log \frac{SWR + 1}{SWR - 1} \quad (2)$$

Denne brøken er ikke proporsjonal med SWR-forholdet, men er en funksjon av SWR Elektronisk divisjon av E_f på E_r gjør en lettest ved å subtrahere logaritmene. M a o.:

$$\log \frac{E_f}{E_r} = \log E_f - \log E_r$$

I fig 5 er spenningene over de to silisiumdiodene

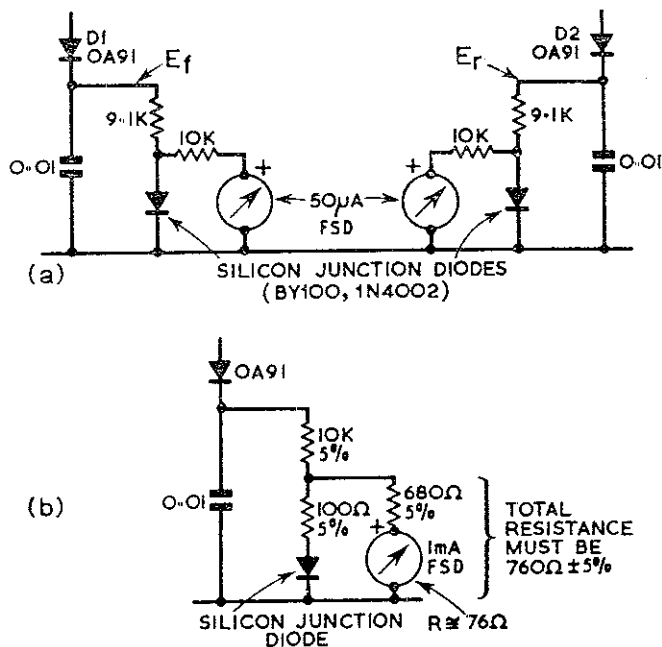


Fig. 5. (a) Den grunnleggende logaritmiske omformeren. 50 μ A-meteret og 10 kOhms seriemotstanden utgjør et voltmeter med høy indre motstand. Med de verdiene som er gitt, vil meterets følsomhet være tilnærmet logaritmisk for effekt-nivå fra 10 mW til 1 kW. (b) Kretsen som blir brukt til å redusere det dynamiske området for det logaritmiske nettverk. En kalibrerings-skala er vist i fig. 7.

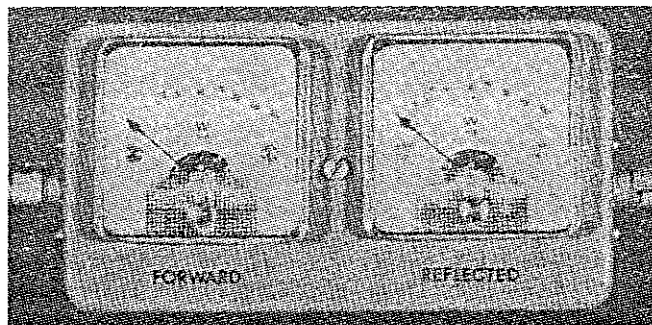


Fig. 6. Et eksperimentelt logaritmisk wattmeter. To japanske 1—2 1/32" meter for 1 mA og de tilhørende komponenter passer akkurat inn i en støpt boks med målene 2—3/8 x 4—3/8 x 1—1/4". Toroid-transformatoren, 27-ohms motstanden og detektordiodene (OA 91) er montert i sentrum på en liten plexiglassbit.

proporsjonale med strømmene gjennom de to diodene. Disse strømmene er igjen proporsjonale med framover-rettet og reflektert spenning De to spenningene kan subtraheres direkte ved å sette et meter mellom dem istedenfor å sette et meter fra hver av dem til sjassis. (Se fig. 8) Husk at meteret ikke kan kalibreres lineært i SWR p g a likning (2). Kretsen greier heller ikke å subtrahere logaritmene og ta ut antilogaritmen.

Men resultatet av dette viser seg bare å være til fordel. Meteret får økt følsomhet når SWR-forholdet nærmer seg 1:1 Det er her en ønsker mest følsomhet for å gjøre de siste finjusteringer på antennen eller for å måle SWR-variasjonene over et bånd o s v. Vær oppmerksom på at meter-utslaget øker når SWR-forholdet blir bedre. 0 utslag tilsvare utendelig SWR (eller ingen effekt!) Nøyaktigheten blir dårlig når den reflekterte effekten faller under 1/10 W fordi utgangen fra detektoren for reflektert spenning blir av samme størrelse som spenningsfallet over den logaritmiske dioden. Dioden blir da ikke lenger drevet fra en konstant spenningskilde. Dette kan en unngå ved å ofre noe av frekvens-følsomheten d v s ved å forandre komponentverdiene i spennings- og strøm-uttakene slik at de signalene en tar ut blir større. En differensialforsterker kunne brukes i forbindelse med kretsen i fig. 8. Dette ville gjøre det mulig å bruke et mindre følsomt meter En bør da bruke silisium NPN-transistorer som kan arbeide med lave kollektorstrømmer (f. eks. 2N3707).

En praktisk utførelse av SWR-meteret.

Et direkte-visende SWR-meter ble bygget over kretsen i fig. 8. Kalibreringen som er vist i fig. 10 viser 75 ohm Plasseringen av kretsen for strøm og spennings-uttak er temmelig kritisk (se fig. 9). Inngangs- og utgangs-bøssingene plasseres med noen få tommers avstand og forbindes med en kort koaksialkabel. Skjermen på koaksen må jordes bare på den ene enden

slik at den virker som en elektrostatisk skjerm mellom primær og sekundær på toroid-transformatoren. Primæren dannes på den måten at en treferrittringen inn på koaksen. 12 tørn med 0,6 mm lakkisolert koppertråd jevnt fordelt på ferrittringen danner sekundæren. En passende ferrittring er Mullard type FX 1596, men en kan også bruke andre typer. Hovedkravet er at ferritt-materialet har en høy permeabilitet over det frekvensområde meteret skal brukes på.

De andre komponentene i strøm og spenningsuttaks-kretsene må ha så korte tilledninger som mulig. R_1 og R_2 må være ikke-induktive kullskikt-typer. For høyere effekt-nivå (over 100 W) kan R_1 bestå av to eller tre kullmotstander på 2 W i parallell. VR_1 må være et miniatyropensivometer uten deksel for å holde spredningsreaktansene på et minimum. Men dette potensiometeret kan en unngå å bruke ved å prøve ut med faste motstander inntil meterutslaget er null ved full tilpassing. Detektor-diodene (D_1 og D_2) må være matchede «point-contact»-typer (lav kapasitet og gode HF-egenskaper) med sperrespenning på ca. 50 W. Mullard type OA 79 og OA 91 vil være passende for formålet. Strømtransformator-motstandene bør ha en nøyaktighet på 5 %. De logaritmiske diodene bør være av silisium «junction»-type slik som vanlige likeretter-dioder, men de bør være parret slik at de har like logaritmiske karakteristikk. Til denne paringen kan en bruke kretsen i fig. 11. Sperrespenningen for diodene har ingen betydning.

Hvis en vil konstruere toroid-transformatorer som er forskjellige fra de som er oppgitt, må en vurdere mange faktorer. Hvis sekundær-tørntallet økes, vil koplingskapasiteten øke, og dette fører til at følsomheten faller mot de høyere frekvensene. Feil av denne art fører til at avlesningen av reflektert spenning øker, d.v.s. direktiviteten for instrumentet avtar. Hvis 27-ohms motstanden økes merkbart i verdi, vil dette føre til at meteret blir frekvens-avhengig. Forholdet mellom motstandene i spenningsuttaket (R_1 og R_2) er bestemt av følsomheten i strøm-uttaket, da de to målespenningene må være like i verdi når en har tilpassing. VR_1 tillater finjustering av forholdet. Absolutte verdier av R_1 og R_2 kan en variere innenfor vide grenser når en

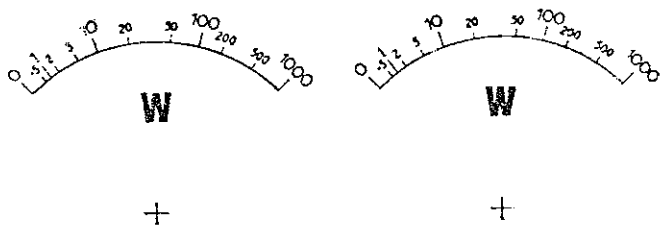


Fig. 7. To skalaer for 50 ohms-system. Disse skalaene kan klippes ut og brukes på enheten som er vist i fig. 6.

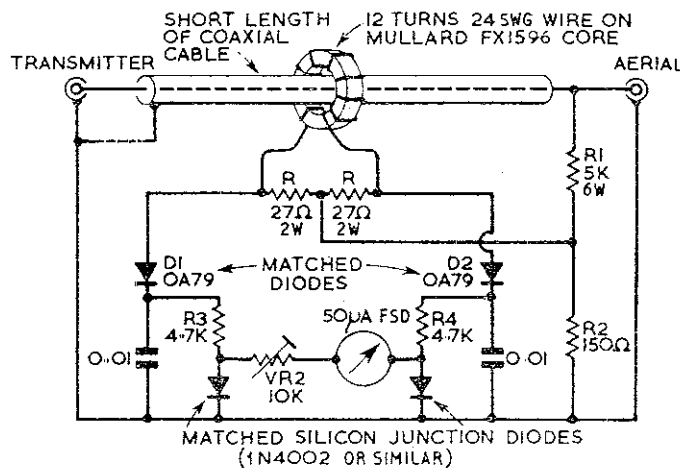


Fig 8. Koplingskjema for direktevisende effekt-uavhengig SWR-meter for 75 ohms impedans. For svært små reflekterte effekter (SWR bedre enn 1,005: 1) vil meterutslaget være litt følsomt for effekt-nivået. Av den grunn er VR_2 justert for fullt skalautslag ved tilpassing og det høyeste effekt-nivå som brukes. Fig. 10 gjengir en skala som er passende for effekter opp til 500 W når metermotstanden og VR_2 til sammen utgjør en motstand på 7,5 kOhm. De logaritmiske diodene (1N4002 eller nesten hvilken som helst annen silisium «junction»-diode kan brukes) må være parret idet en bruker kretsen i fig. 11. VR_1 kan koples over R_2 som i fig 1.

bare husker på at effekt-tapet øker når verdiene på motstandene avtar, og sprednings-kapasiteten øker når motstandsverdien økes.

Beregnings-grunnlag

Hvis transmisjonslinjens strøm er I ampere og linjespenningen V volt samtidig som transmisjonslinjens karakteristiske impedans er Z_0 , blir

$$V = I Z_0.$$

Hvis strømtransformatorens omsetningsforhold er 1 : n og hver av motstandene i sekundæren er r ohm, vil HF-spenningen over hver av dem være:

$$V(r) = \frac{I_r}{n} \quad (3)$$

Spennings-detektorens utgang vil være gitt ved:

$$V(v) = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot I \cdot Z_0.$$

Med god tilnærming kan en sette:

$$V(v) = \frac{R_2}{R_1} \cdot I \cdot Z_0 \quad (4)$$

Den alminnelige konstruksjons-formel for alle instrumentene er derfor:

$$R_2 = \frac{r \cdot R_1}{n \cdot Z_0}$$

det verdien for R_2 også inkluderer virkningen av VR_1 . Effekt-utviklingen i noen av de komponentene som er spesifisert er temmelig høy. For de som har planer om å konstruere kopleingen som avviker fra de kopleingene som er beskrevet, vil de følgende likninger uttrykke effektutviklingen i R_1 og strømtransformatorens motstand r :

$$W_{(R1)} = \frac{Z_0 \cdot W}{R_1} \text{ watt}$$

der Z_0 er den karakteristiske impedans for transmisjonslinjen og W er senderens utgangs-effekt.

$$W_{(r)} = \frac{W \cdot r}{n^2 \cdot Z_0}$$

der n er strøm-transformatorens omsetningsforhold. I de instrumentene som er beskrevet er $W_{(R1)}$ ca. 5 W og $W_{(R2)}$ ca. 2 W for en sendereffekt på 500 W.

Kalibrering

Hvis de lineære eller logaritmiske wattmetre eller det direktvisende SWR-meter som er beskrevet blir bygget nøyaktig slik som beskrevet her og brukt i forbindelse med riktige impedanser, vil kalibreringen som er gitt i figurene 2, 7 og 10 være tilstrekkelig nøyaktig for de fleste formål. For de som vil konstruere sine egne instrumenter, vil følgende prosedyre være å anbefale:

Nøyaktig kalibrering av disse instrumentene fordrer en HF-kilde med høy effekt (en sender) og et HF-voltmeter. Instrumentene kan kalibreres med rimelig nøyaktighet uten HF-voltmeter. Wattmetrene blir kalibrert ved å tilføre effekt gjennom meteret til en kunstig belastning (dummy load) av riktig størrelse (50 eller 75 ohm). VR_1 blir justert for minimum utslag

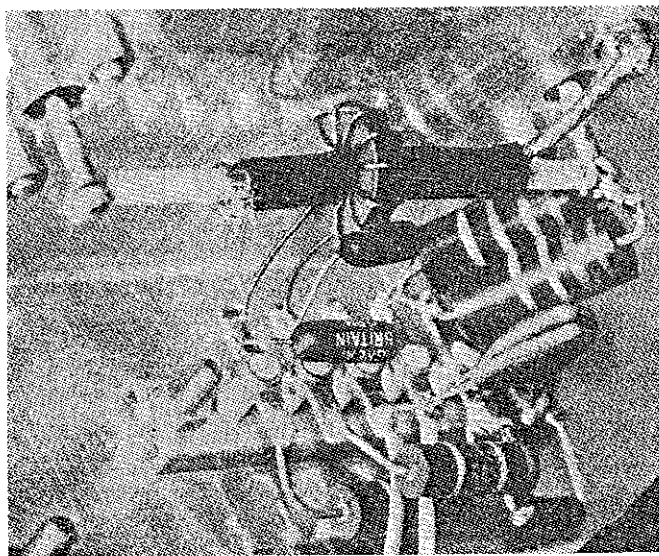


Fig. 9. Detaljer av kretsen som tar ut signalene i skjematet gjengitt i fig. 8.

for reflektert effekt, og effekt-skalaen blir avmerket i henhold til den effekten som opptrer over belastningsmotstanden.

Hvis HF-voltmeter ikke er tilgjengelig, kan en lage seg et toppverdi-lesende meter v.h.j.a. en diode, en kondensator og et DC-voltmeter. Det er også mulig

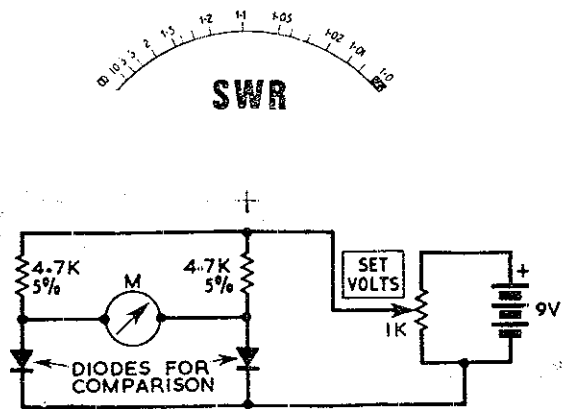


Fig. 10. Skala for kopleingen som er vist i fig. 8 og fig. 9 beregnet for 75 ohms impedans. SWR-skalaen er beregnet for framover-rettete effekter på mellom 50 og 500 W.

Fig. 11. Eksperimentoppstilling for å sammenlikne de logaritmiske egenskapene for silisium «junction»-dioder. Meteret bør være så følsomt som mulig (eks.: Avometer på 50 μ A-området) og bør ikke slå ut noe særlig når spenningen økes fra 0 til + 9 V.

å finne fram til spiss-spenningen på linjen fra DC-utgangen fra spenningsdetektoren for framover-rettet effekt. Denne spenningen kan måles med et DC-voltmeter med høy indre motstand. Da detektorens utgangsspenning er lik spiss-verdien av HF-spenningen, vil likning (4) gi:

$$V_{det} = 2,8 \cdot V \cdot \frac{R_2}{R_1} = 2,8 \sqrt{WR} \cdot \frac{R_2}{R_1}$$

der V og W er spenning og effekt på transmisjonslinjen slik som før, og R er belastningsmotstand.

Det vil være vanskelig for de fleste amatører å skaffe seg kullmotstander med tilstrekkelig høy effekt til å kalibrere SWR-meteret som funksjon av en feiltilpassing en gjør med hensikt. Det foreslås derfor en indirekte metode:

Kople R_3 og R_4 (Fig. 8) fra detektorene og forbind dem i stedet til to variable DC-strømforsyninger. Innstill strømforsyningen som er koblet til kretsen for framover-rettet effekt til + 20 V, og merk av meterutslagene når den andre spenningen blir variert mellom 0 og + 20 Volt. Forholdet mellom disse spenningene tilsvarer nøyaktig SWR-forholdet som kan bestemmes av likning (1). Før en gjør dette, bør VR_2 innstilles for fullt skalautslag på meteret ved tilpassing og ved den høyeste effekt en har tenkt å bruke meteret for.

► 8

Regnskap for LA5LG's Hjelpfond

1.11.72 — 31.10.73

UTGIFTER:

Innkjøpt materiell	kr. 41 998,71
Reparasjoner og reservedeler	» 6 364,72
Forsikringer (sum: 422.000)	» 2 375,00
Opplæring	» 4 749,98
Spesialutstyr	» 17 511,70
Hjelpfondets lager:	
husleie	kr. 727,00
lys og varme	» 1 060,52
frakt	» 1 390,88
	» 3 178,40
Telefon	» 3 308,79
Porto	» 1 761,30
Tilfeldige utgifter	» 103,65
Kontorrekvisita	» 687,90
Trykningsutgifter	» 260,75
Frikontingenter NRRL	» 695,00

kr. 81 995 90

INNETEKTER:

Innkomet til Hjelpfondet	kr. 24 799,20
Salg av borgerbrev	» 2 500,00
Renter av bankinnskudd	» 414,23
Tilskudd fra Sosialdepartementet	» 20 000,00
Anvendt øremerkede midler godskrevet Hjelpfondet	» 26 357,58
Underskudd	» 7 924,89

kr. 81 995,90

STATUS PR. 1/11 1973

AKTIVA:

Kassebeholdning	kr. 455,98
Postgiro	» 3 424,18
Bank	» 7 648,43
	kr. 11 528,59
Debitorer	» 1 423,60

kr. 12 952,19

PASSIVA:

Ørem. pr. 1.11.72	kr. 18 418,43
Innkomet ørem.	» 15 791 35
	kr. 34 209 78
Hvorav benyttet	» 28 728 78
Øremerket pr. 31.10.73	kr. 5 481,00
Kreditorer	» 100,00
Til disposisjon 1.11.72	kr. 15 296,08
÷ underskudd	» 7 924,89
Til disposisjon 1.11.73	» 7 371,19

kr. 12 952,19

Regnskapet er greit og oversiktlig ført, og gir etter revisorenes mening det riktige bilde av Hjelpfondets økonomiske stilling. Driften i tidsrommet 1.11.72-31.10.73 viser et underskudd på kr. 7 924,89, som dekkes av disponibel kapital ved regnskapsårets begynnelse. Til disposisjon for neste regnskapsår står kr. 7 371,19, som må antas å dekke kun de mest nødvendige faste utgifter. Revisjonen har kontrollert alle bilag, og påsett at alle

utgiftsposteringer av betydning er legitimert ved styrebeslutning, eller har skjedd etter fullmakt. De foretatte utgiftsposteringer er legitimert ved bilag. De oppførte beholdninger er kontrollert og til stede, og alle spørsmål vedrørende regnskapet er tilfredsstillende besvart. Alle innkjøpte stasjoner er fordelt. Revisorene anbefaler ansvarsfrihet for styret.

Oslo, 1.11.73 / 15.11.73

LA60B Per K. Sæbø

LA8XE Kjell M. Martinsen

LA6ZH Ruth Tollefsen

Revisorer

Forretningsfører

5 ◀

Konklusjon

Alle de instrumentene som er beskrevet i denne artikkelen er prøvd under praktiske forhold. Maksimum effektnivå som ble brukt varierte fra 100 W ved 2 MHz til 300 W ved 28 MHz og 1200 W på 3, 5, 7, 14 og 21 MHz. Med de komponentene som er spesifisert vil instrumentet kunne tåle effekter i overkant av 1 kW for perioder opptil 10 sek. Den som har brukt et reflektometer (av hvilken som helst type) vil kunne bekrefte hvor brukbart det er når en skal prøve å oppnå de riktige belastningstilstander. Hvis en vet at effekten går opp gjennom fødeledningen og ikke blir

reflektert fra enden av fødeledningen, vet en at den må stråle ut på en eller annen måte.

Det vil være å håpe at en ved å innføre frekvensuavhengige direkte wattmetre kan bli i stand til å gjøre nyttige sammenlikninger av de absolutte effekt-nivå. De logaritmiske skalaer er en ytterligere forbedring, og det direktevisende SWR-metret fører med seg at en sparer inn et måleinstrument. De små fysiske dimensjoner på det utstyret en bruker til å ta ut HF-spenningen med, gjør at disse apparatene er ideelle til å bygge inn i sendere og transceivere. Alt som kreves er en ekstra stilling på meter-switchen.