



Inhoudsopgave

15	Meten en meetinstrumenten	15-2
15.1	Wat leer je in dit hoofdstuk	15-2
15.2	Algemene principes van meten	15-2
15.3	De universeelmeter of multimeter	15-3
15.3.1	Inleiding	15-3
15.3.2	De draaispoelmeter	15-3
15.3.3	Opbouw van een analoge universeelmeter	15-4
15.3.4	Buis-, FET- en transistorvoltmeters	15-8
15.3.5	De digitale universeelmeter/multimeter	15-9
15.4	De oscilloscoop	15-9
15.4.1	De analoge oscilloscoop	15-9
15.4.2	De digitale oscilloscoop	15-11
15.5	De spectrumanalyzer	15-12
15.6	De dipper, dipmeter of griddipper	15-13
15.7	Frequentiemeting	15-14
15.8	De signaalgenerator	15-16
15.9	De staandegolfmeter (SWR- of SGV-meter)	15-17
15.10	De kunstantenne of dummyload	15-20

15 Meten en meetinstrumenten

15.1 Wat leer je in dit hoofdstuk

Elke meting heeft invloed op datgene wat gemeten wordt. Je meet dus nooit exact wat je wilt meten. Bij elke meting geldt de vraag, hoe het verschil tussen gemeten en echte waarde zo klein te houden dat de onvermijdelijke meetfout binnen gestelde grenzen blijft.

Spanning, stroom en weerstand drie grootheden die kunnen worden gemeten met het meest algemene meetinstrument onder zendamateurs, de **universeelmeter** of multimeter heet. We bespreken per grootheid de wijze van meten.

De **oscilloscoop** kennen we van afbeeldingen in vorige hoofdstukken.

Een apparaat dat op het eerste gezicht nogal op een oscilloscoop lijkt, maar elektronisch meer op een ontvanger, is de **spectrum analyzer**. We gaan daar niet heel diep op in. Het is vanouds een te duur instrument voor veel amateurs, maar er komen geleidelijk aan betaalbare en daarom voor de amateur interessante digitale varianten beschikbaar.

Meting van de resonantiefrequentie van LC-kringen met de **dipmeter** is in amateurland al heel lang ingeburgerd en ook examenstof.

Frequenties worden tegenwoordig eigenlijk alleen nog maar digitaal gemeten. Daarom behandelen we alleen **frequentietellers**.

Een zelfbouwende amateur kan niet zonder **signaalgenerator**. Een schakeling voorzien van signaal is nu eenmaal de enige manier om de goede werking te controleren.

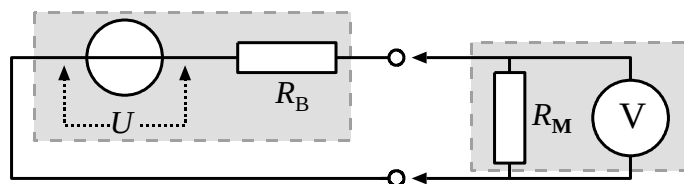
Van de **staandegolfverhouding (SWR)** is eerder aangekondigd dat we de meting ervan in dit hoofdstuk zouden bespreken. De **SWR-meter** is onmisbaar als controle op de aanpassing van zender naar transmissieleiding en antenne.

Bij metingen aan een zendersignaal is de **kunstantenne** of *dummy load* onmisbaar.

15.2 Algemene principes van meten

Een natuurwet zegt dat elke meting invloed heeft op datgene dat wordt gemeten. Dat betekent dat wie meet, moet weten wat hij/zij doet. Goed meten is een vak.

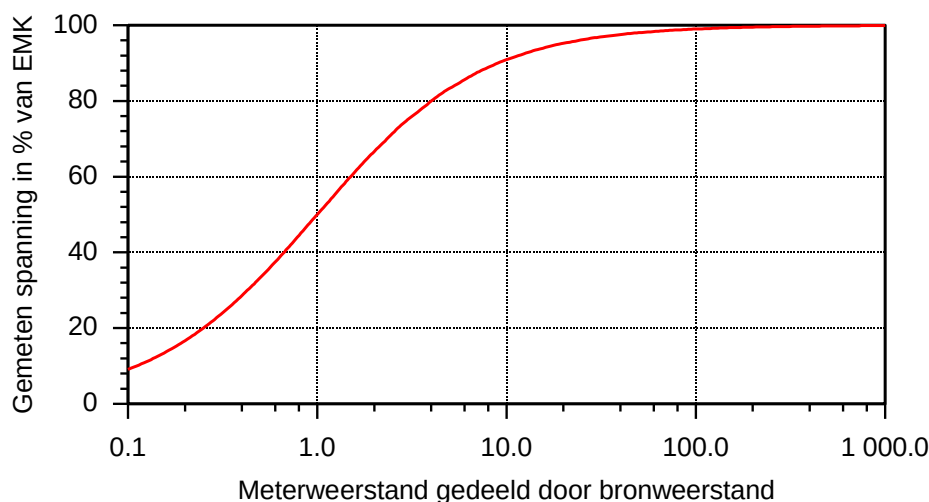
Als voorbeeld nemen we het meten van een spanning in een schakeling (Figuur 15.2-1).



Figuur 15.2-1. Meten van de spanning van een niet-ideale bron met een niet-ideale voltmeter.

De schakeling is een bron met inwendige weerstand R_B . Ook de meter heeft een inwendige weerstand R_M . De twee weerstanden vormen een spanningsdeler. De voltmeter geeft de spanning op hun knooppunt.

R_M belast de bronschakeling tijdens de meting. De aflezing van de meter levert bij een belasting niet de spanning U (de *EMK*), maar de klemspanning. Hoe groter R_M/R_B , des te dichter komt de gemeten spanning bij U . De grafiek van Figuur 15.2-2 laat het zien.



Figuur 15.2-2. Gemeten spanning in het schema van Figuur 15.2-1 in % van U (*EMK*) als functie van de verhouding van meterweerstand en bronweerstand.

Zijn meter- en bronweerstand gelijk, dan geeft de meter 50% van de bronspanning U aan. Dat is bij de waarde 1,0 op de horizontale schaal. Hoe hoog de meterweerstand ook wordt, U komt nooit in zijn geheel over de meter te staan. Bij elke meting is iets vergelijkbaars aan de orde.

15.3 De universeelmeter of multimeter

15.3.1 Inleiding

De universeelmeter of multimeter is onder radioamateurs het meest gebruikte meetinstrument. In zijn oorspronkelijke vorm is het een analoog meetinstrument voor

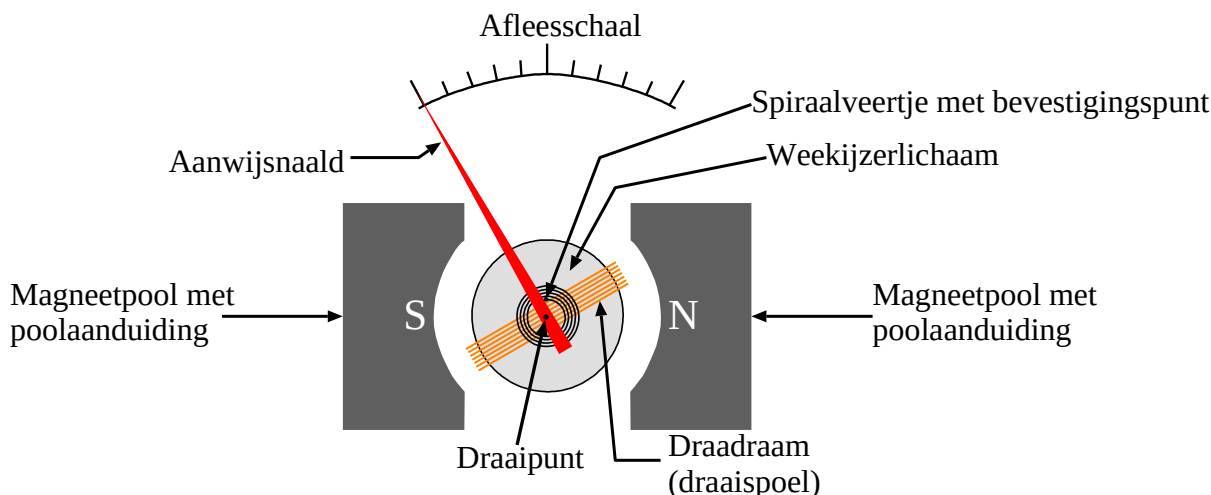
- Spanning
- Stroom
- Weerstand

In de laatste decennia zijn digitale meters de analoge in aantal voorbijgestreefd. Digitale meters hebben vaak extra's die analoge meters niet hebben. We beginnen analoog.

15.3.2 De draaispoelmeter

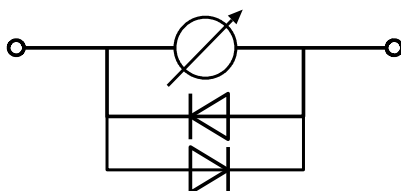
De kern van een analoge universeelmeter is de draaispoelmeter. Dat is een spoeltje dat draaibaar is opgehangen in een magnetisch veld. Als er stroom door het spoeltje loopt,

maakt het spoeltje een eigen veld. Dat verandert de stand van de spoel. Een spiraalveertje levert een tegenkracht. Daardoor is de stand van de spoel een aanwijzing voor de grootte van de stroom die er doorheen loopt. Een aanwijznaald geeft de stand van de spoel en daarmee de meetwaarde aan op een schaal (Figuur 15.3-1).



Figuur 15.3-1. Opbouw van een draaispoelmeter. De wijzer (rood) zit vast aan het oranje spoeltje en wordt op zijn plaats gehouden door de spiraalveer (zwart). De spoel is opgehangen in het veld tussen twee permanente magneetpolen (donkergrijs); noord- en zuidpool aangegeven met N en S.

Een draaispoelmeter is kwetsbaar bij overbelasting. Twee tegen elkaar in geschakelde dioden beschermen het instrument daartegen (Figuur 15.3-2).



Figuur 15.3-2. Draaispoelmeter met diodebescherming.

Wordt de drempelspanning van een diode overschreden, dan loopt de meeste stroom via de diode. Meestal wordt Ge gebruikt (0,2 à 0,3 V).

Een draaispoelmeter reageert op stroom en is daarom een stroommeter. De meter van Figuur 15.3-1 meet stroom in één richting. Alleen rechts van de aanwijznaald is er een schaal. Een meter met de naald in de middenstand bij nul stroom meet stroomsterkte in twee richtingen en geeft ook de stroomrichting aan.

15.3.3 Opbouw van een analoge universeelmeter

Universeelmeters hebben een schakelaar, waarmee de meetbereiken stroom, weerstand en spanning kunnen worden omgeschakeld. Foto 15.3-1 toont een voorbeeld. De meter is

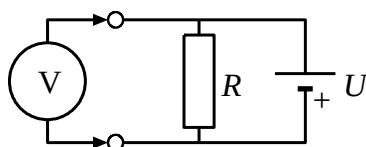
volgens de voorkant geschikt voor meting van: gelijkspanning (DCV), gelijkstroom (IDC), wisselspanning (ACV) en weerstand, met verschillende meetbereiken.



Foto 15.3-1. Voorbeeld van een analoge universeelmeter uit 1976. Het apparaat meet gelijk- en wisselspanning, gelijkstroom en weerstand.

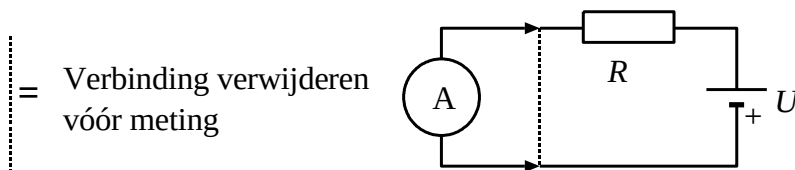
Spanning en stroom meten

Spanning in een schakeling meet je tussen twee punten (Figuur 15.3-3).



Figuur 15.3-3. Spanningsmeting. De spanning **over** weerstand en batterij wordt gemeten.

Stroom meet je **in** de schakeling, omdat stroom **door** de schakeling loopt. Dat betekent dat de meter de leiding vervangt, waarin de stroom wordt gemeten. (Figuur 15.3-4).

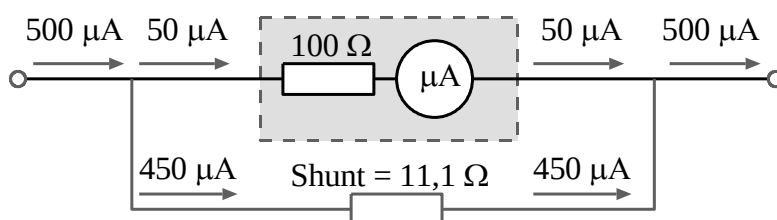


Figuur 15.3-4. Stroommeting. De stroom **door** weerstand en batterij wordt gemeten.

Hoe maak je van een draaispoelmetertje een multimeter-duizendpoot?

Stroommeting

Bij stroommeting moet rekening worden gehouden met de (kleine) weerstand van de draaispoelmeter. Stel dat de meter een weerstand van $100\ \Omega$ heeft en bij $50\ \mu\text{A}$ vol uitslaat. Wordt de meter ingezet voor een meetbereik van $500\ \mu\text{A}$, dan moet van die $500\ \mu\text{A}$ precies $50\ \mu\text{A}$ door de meter lopen en de rest, $500\ \mu\text{A} - 50\ \mu\text{A} = 450\ \mu\text{A}$ via een omweg (*shunt*). De weerstand daarvan in Figuur 15.3-5 is $50/450 * 100\ \Omega = 11,1\ \Omega$.

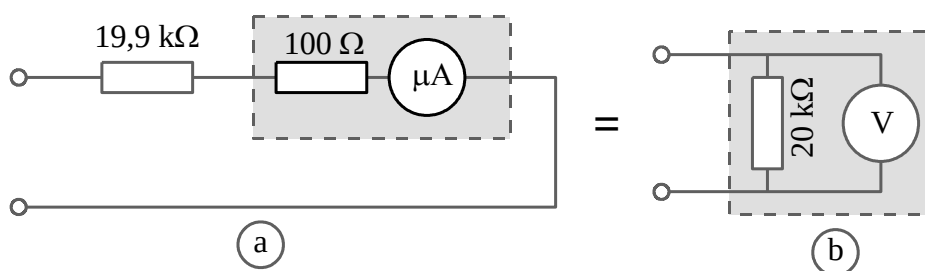


Figuur 15.3-5. Microampèremeter met inwendige weerstand van 100 ohm met shunt van 11,1 ohm voor een 10x zo grote stroom als het eigenlijke meterbereik. 90% van de stroom wordt omgeleid via de shunt.

Zo bereken je voor elk stroombereik bij bekende meterweerstand een shuntweerstand.

Spanningsmeting

Een draaispoelmeter kan met een serieweerstand worden omgezet in een spanningsmeter. De weerstandswaarde zo groot zijn dat bij de hoogste spanning van het meetbereik precies de stroom voor volle meteruitslag door de meter loopt. We gaan weer uit van $50\ \mu\text{A}$. Zo bereken je de serieweerstand. Ga uit van een zeker meetbereik, bijvoorbeeld 1 V. De benodigde weerstand is $1\ \text{V} / 0,05\ \text{mA} = 20\ \text{k}\Omega$. $100\ \Omega$ zit als inwendige weerstand in de meter. $20\ \text{k}\Omega - 100\ \Omega = 20\ \text{k}\Omega - 0,1\ \text{k}\Omega = 19,9\ \text{k}\Omega$. Figuur 15.3-6 brengt het in beeld.



Figuur 15.3-6. Van micro-ampèremeter naar voltmeter met vervangingsschema (rechts).

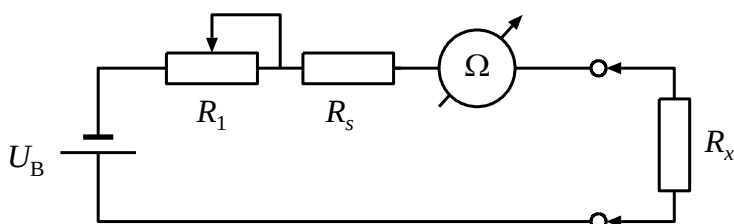
Het linkerplaatje (a) laat de schakeling zien, het rechterplaatje (b) het vervangingsschema met een ideale voltmeter en een inwendige parallelweerstand van $20\ \text{k}\Omega$. In paragraaf 0 hebben we gezien waarom die weerstand parallel aan de meter moet staan.

Dit brengt ons bij dé eigenschap van een universeelmeter: de totale weerstand van de als voltmeter toegepaste draaispoelometerschakeling voor elk meetbereik. De eenheid is $\text{k}\Omega/\text{V}$. Het aantal volts is het meetbereik, niet de werkelijk gemeten spanning!!

Het aantal $k\Omega/V$ van een universeelmeter geeft per bereik de inwendige weerstand aan. In ons voorbeeld is de weerstand bij een meetbereik van 10 V gelijk aan $10 * 20 k\Omega = 200 k\Omega$; voor het 100-voltbereik wordt dat $100 * 20 k\Omega = 2M\Omega$, enz.

Weerstandsmeting

Voor weerstandsmeting is een spanningsbron nodig, zoals een 1,5 V- of 3 V-batterij. Elke analoge universeelmeter heeft daarvoor ergens in zijn behuizing een houder. Het meetprincipe is: zet een spannkijke over de weerstand en meet de stroom (Figuur 15.3-7).



Figuur 15.3-7. Het principe van weerstandsmeting met een universeelmeter.

De variabele weerstand R_1 regelt de nulpuntsinstelling. **Bij een ohmmeter is het nulpunt de volle meteruitslag.** Sluit de aansluitklemmen kort en stel R_1 zo in dat de meter 0Ω aanwijst. Is de meter ingesteld, dan kan R_x in de aansluitklemmen worden gezet en de weerstand via de stand van de aanwijspaal op de schaal worden afgelezen. Foto 15.3-2 laat de afleesschaal van de meter van Foto 15.3-1 vergroot zien.

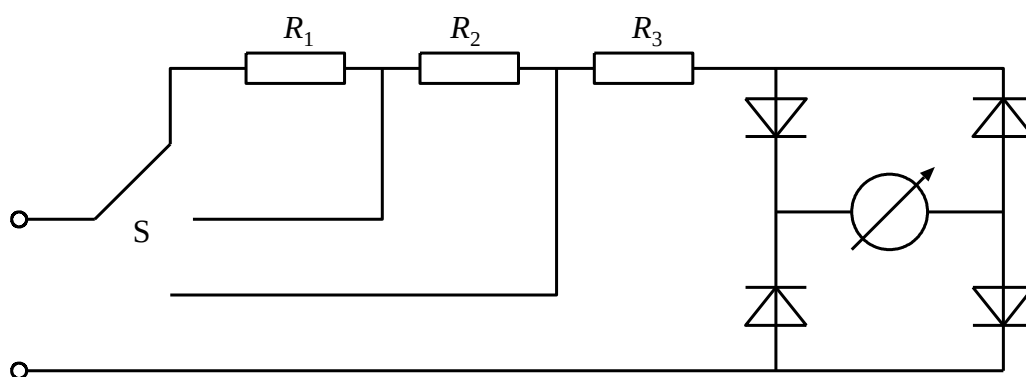


Foto 15.3-2. De afleesschaal van de universeelmeter van Foto 15.3-1 vergroot. De bovenste is de weerstandsschaal.

Een analoge universeelmeter heeft een aparte weerstandsschaal. Weerstand is omgekeerd evenredig met stroom. Daarom is de stroomschaal onbruikbaar voor weerstandsmeting. De weerstandsschaal op Foto 15.3-2 is de bovenste. Daarop lopen de meetwaarden van rechts naar links van nul naar oneindig. De spiegel eronder helpt bij precies aflezen.

Wisselspanningsmeting

Probleem bij wisselspanningsmeting is de drempelspanning van de gelijkrichtdiode. Bij de meting wordt vaak gebruik gemaakt van een bruggelijkrichter. Dat geeft een beetje compensatie. Vanwege hun lage drempelspanning worden meestal germaniumdioden gebruikt. Bovendien laten die onder de 0,2 V nog een (micro)beetje stroom door. Dat geldt ook voor de meter van Foto 15.3-1. Daardoor kunnen de schalen op 0 beginnen, al zijn ze bij lage spanningen niet lineair. Hogere bereiken verschillen binnen de nauwkeurigheid van de meting niet van gelijkspanningsbereiken voor dezelfde waarden. Het schema voor een meterschakeling voor wisselspanning (AC) kan eruitzien als in Figuur 15.3-8.



Figuur 15.3-8. Multimeterschakeling voor wisselspanning. Schakelaar S (links) schakelt de meetbereiken.

Het addertje onder het gras is dat de gelijkgerichte spanning niet gelijk is aan de effectieve spanning. We nemen een voorbeeld met een wisselspanning van 5 V_{eff}. Dan is de piekspanning $U_{max} = 5V / \sqrt{2} = 7,07$ V. De dubbelfasig gelijkgerichte spanning heeft een gemiddelde waarde van $2/\pi * U_{max} \approx 4,5$ V. Doen we niets, dan geeft de meter een te lage spanning aan. Oplossing: verlagen van de voorschakelweerstand van de draaispoelmeter.

Het kan ook met één enkele diode, dus met enkelfasige gelijkrichting. Voordeel: één in plaats van twee kromme karakteristieken in serie. Nadeel: de gemiddelde gelijkgerichte spanning wordt gehalveerd, zodat ook de voorschakelweerstand half zo groot wordt als bij dubbelfasige gelijkrichting.

15.3.4 Buis-, FET- en transistorvoltmeters

De inwendige weerstand van een als voltmeter geschakelde universeelmeter is vooral in de lage bereiken niet hoog. Een gevoeligheid van 20 kΩ/V en een meetbereik van 1 V levert een inwendige weerstand van 20 kΩ. Een bereik van 10 V levert 200 kΩ. Ook dat kan aan de krappe kant zijn. Het probleem is oplosbaar met een versterkend element aan

de ingang. Ooit was dat de buis, later vooral de FET. De bipolaire transistor is minder geschikt omdat het een stroomversterker is. Toch is hij wel toegepast. 2 M Ω als ingangsweerstand is bij FET- en buisvoltmeters niet ongewoon. De opkomst van de digitale universeelmeter heeft het belang van dit soort meters sterk verminderd.

15.3.5 De digitale universeelmeter/multimeter

Een digitale universeelmeter is gebaseerd op een ADC (Analoog naar Digitaal Converter). Hij heeft daarom altijd een batterij nodig, meestal van 9 V. Die is doorgaans sneller op dan de batterijtjes voor weerstandmeting in een analoge multimeter.



Foto 15.3-3. Voorbeeld van een digitale multimeter.

Tegenover dit kleine bezwaar staan een grotere flexibiliteit, een (meestal) betere meetnauwkeurigheid en bij voltmeting een prettig hoge ingangsweerstand.

Foto 15.3-3 hiernaast laat een voorbeeld van een digitale multimeter zien. Behalve de functionaliteiten van de analoge meter die we hiervoor hebben behandeld, heeft deze meter ook:

- Wisselstroommeting
- Meting van de h_{FE} (β) van PNP- en NPN-transistoren
- Capaciteitsmeting
- Een beperkte mogelijkheid om frequenties te meten

Niet elke digitale multimeter heeft al deze toevoegingen. De resolutie is 2000 punten en een + en een -. Dat betekent bijvoorbeeld voor het 2 V-bereik een aanduiding van -1,999 tot +1,999 V. Verwar resolutie niet met nauwkeurigheid! Een onnauwkeurige meting kan heel goed in hoge resolutie worden weergegeven.

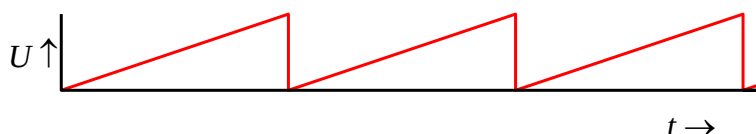
15.4 De oscilloscoop.

Een oscilloscoop maakt snelle veranderingen in spanningen zichtbaar. In vorige hoofdstukken hebben we oscilloscoopbeelden gezien, waaronder ook digitale. We beginnen analoog.

15.4.1 De analoge oscilloscoop

Het centrale deel van een klassieke oscilloscoop (*scoop* voor veel elektronici) is de *kathodestraalbuis* of *elektronenstraalbuis*. Dit is een luchtledige glazen ballon met een iets bolle tot vrijwel vlakke voorkant die aan de binnenkant is bedekt met een *fosforescerende* stof. Dat laatste wil zeggen dat die stof licht uitstraalt waar hij door elektronen wordt getroffen. Naar achteren heeft de buis een lange ronde hals met een kathode die wordt gevolgd door verschillende elektroden.

De elektroden bundelen de elektronen uit de kathode zo scherp mogelijk. Zoals een pen het duidelijkst schrijft als het spoor dun is, schrijft een elektronenstraal het duidelijkst als hij scherp gebundeld is. Tussen de bundelingelektroden en het scherm zitten twee keer twee platen voor horizontale en verticale afbuiging. Het horizontale systeem is gekoppeld aan de tijdbasis. Die produceert een zaagtandvormige spanning (Figuur 15.4-1).



Figuur 15.4-1. Zaagtandspanning.

Het schuin oplopende deel stuurt de elektronenbundel van links naar rechts over het scherm. Als deze de rechterkant van het scherm bereikt, valt de spanning terug naar de nulstand en begint het proces opnieuw.

De verticale afbuigplaten zijn gekoppeld aan de versterker voor het zichtbaar te maken signaal, de Y-versterker. Zo ontstaat een grafiek van de gemeten spanning tegen de tijd.

Aan het eind van alles volgt de naversnelling onder invloed van een anode met een positieve spanning van een aantal kV. Deze anode ligt pal tegen het scherm aan. Het is geen plaat, maar geleidend materiaal in een cirkelvormige of rechthoekige spiraalvorm, afhankelijk van de vorm van het scherm. De versnelde elektronen schieten erdoorheen en treffen zo de fosforescerende binnenlaag van het scherm. Foto 15.4-1 laat de voorkant van een analoge oscilloscoop zien.

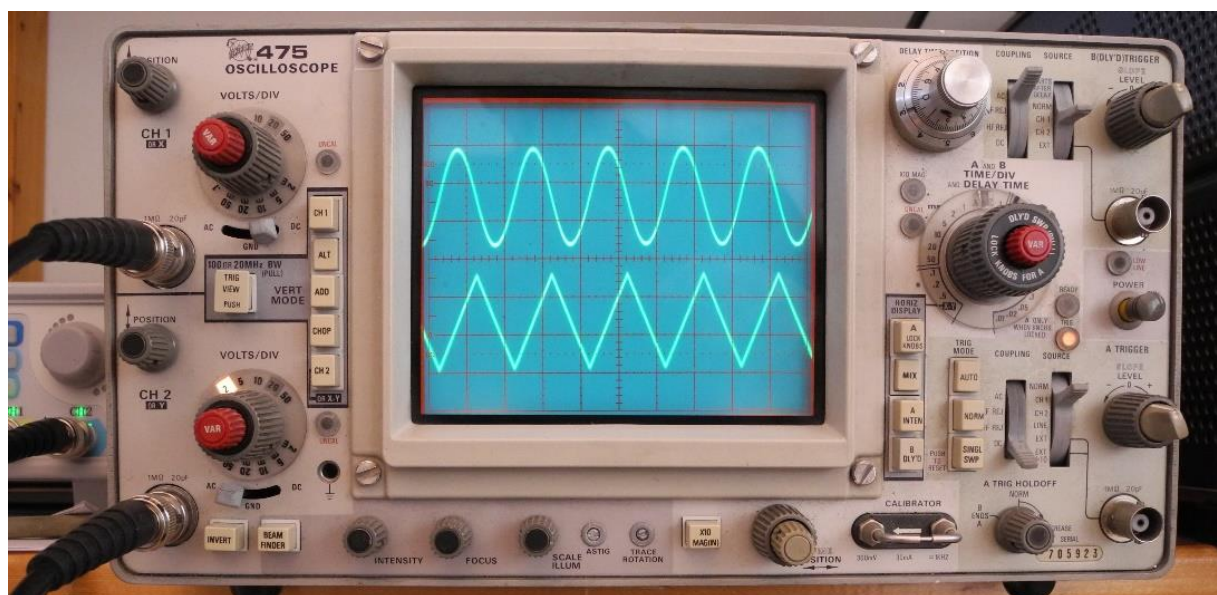


Foto 15.4-1. Voorkant van een oscilloscoop. Dit is een tweekanaalsuitvoering die twee signalen tegelijk kan laten zien (in feite worden ze afwisselend op het scherm gezet, maar dat gaat zo snel dat je het niet ziet).

Het is een tweekanaals type. Dat kan twee signalen “tegelijk” tonen. Ze wisselen elkaar af, maar dat gaat onzichtbaar snel. De foto toont een sinus- en een driehoeksspanning.

Links op de foto zitten de twee Y-versterkers boven elkaar. Onder de kathodestraalbuis zitten regelknoppen voor de lichtintensiteit en scherpstellen en horizontaal verschuiven van het beeld. Rechts zit de bediening van de tijdbasis. De centrale knop (grijs met rood in het midden) regelt de horizontale snelheid.

Met de gevoeligheidsschakelaars op de Y-versterkers (grijze knoppen met schaalte en rode middenknop voor de fijnregeling) wordt het aantal volt per schaaldeel op het scherm ingesteld. Het spanningsverloop is af te lezen via de schaalverdeling op het scherm.

15.4.2 De digitale oscilloscoop

Digitale oscilloscopen kunnen een eigen beeldscherm hebben. De kathodestraalbuis is vervangen door een LCD-scherm. Daardoor is een digitale scoop veel dunner dan een analoge. Er zijn ook voorbeelden die het beeld via een USB-kabeltje en software zichtbaar maken op een computerscherm. Die zien er nog simpeler uit (Foto 15.4-2).



Foto 15.4-2. Digitale oscilloscoopmodule. Boven: twee BNC-signaalingangen; rechtsonder de USB-aansluitingen; linksonder de aansluiting voor een logic analyzer.

De bijbehorende software is van Internet te downloaden. Het apparaatje heeft naast de standaard-oscilloscoopfuncties nog enkele mogelijkheden. Eén daarvan is die van *logic analyzer*. Daarmee kunnen tot acht digitale kanalen zichtbaar worden gemaakt, zoals het plaatje van de 4-bits frequentiedeler in hoofdstuk 11. Foto 15.4-3 laat het nog eens zien.

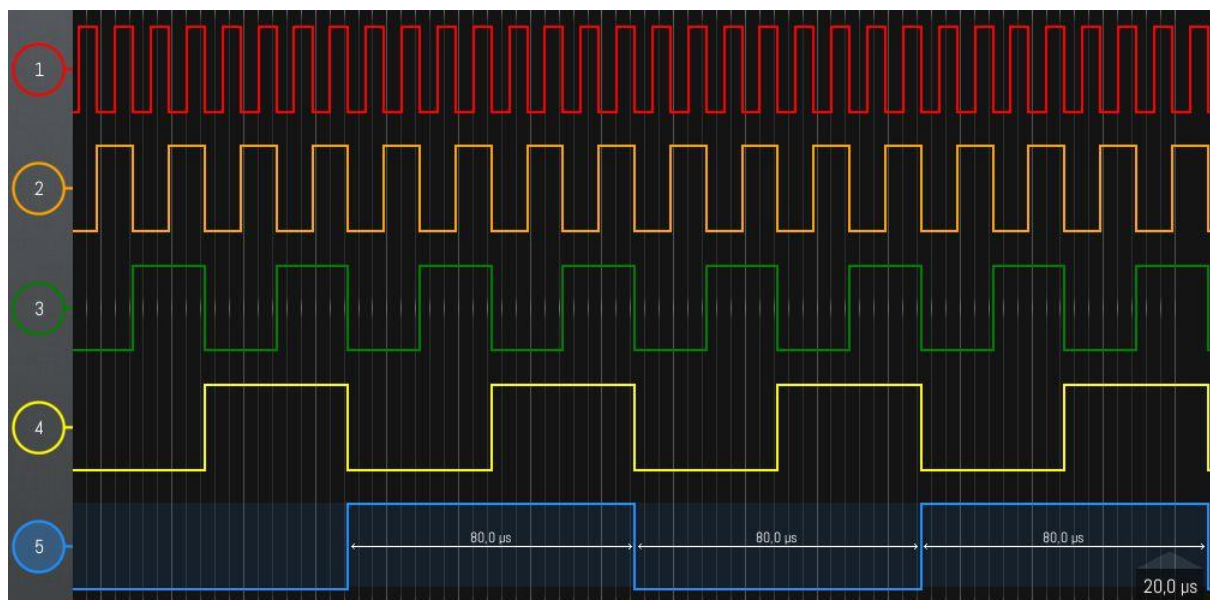


Foto 15.4-3. Nogmaals de output van de 4-bits frequentiedeler uit hoofdstuk 11. (1) de oorspronkelijke frequentie; (2) deling door 2; (3) deling door 4; (4) deling door 8; (5) deling door 16.

15.5 De spectrumanalyzer

Een spectrumanalyzer ontbindt een aangeboden signaal in frequenties en hun amplitudes. Uiterlijk lijkt zo'n apparaat op een oscilloscoop.

Eigenlijk is een analoge spectrumanalyzer een scanner of panorama-ontvanger. Die laatste ontvangt een (heel) breed frequentiegebied tegelijk. De analyzer scant dit gebied razendsnel af door middel van een snel in frequentie variërende oscillator, een mengtrap en een (kristal)filter met versterker erachter. Net een echte ontvanger, maar dan één die niet met de hand, maar elektronisch verstemd wordt. De MF-spanning wordt daarbij voortdurend gelijkgericht en de gelijkgerichte spanning komt op de verticale afbuiging van de kathodestraalbuis terecht. Tegelijkertijd loopt de horizontale afbuiging mee met de frequentie. Output van een spectrumanalyzer hebben we gezien in Hoofdstuk 12, toen het over de spectrale samenstelling van een AM-signaal ging.

Naast analoge spectrumanalyzers zijn er ook digitale. Het kleine apparaatje van Foto 15.4-2 kan ook de spectrale samenstelling van een signaal laten zien, maar is niet te vergelijken met een professioneel apparaat.

15.6 De dipper, dipmeter of griddipper

Een dipper meet de resonantiefrequentie van een parallelle LC-kring. Het apparaat is een LC-oscillator, waarvan de spoel naar buiten is uitgevoerd. Als die vlak bij een andere afgestemde kring wordt gehouden en de dipper oscilleert op de resonantiefrequentie ervan, dan zal die kring energie opnemen uit het magnetisch veld van de dipperspoel. Die opname beïnvloedt de rooster-, gate- of basisspanning van het versterkende element in de dipperoscillator. Dat is op de ingebouwde voltmeter te zien als een dip in de meteraanwijzing. Foto 15.6-1 laat een voorbeeld van een dipper zien.

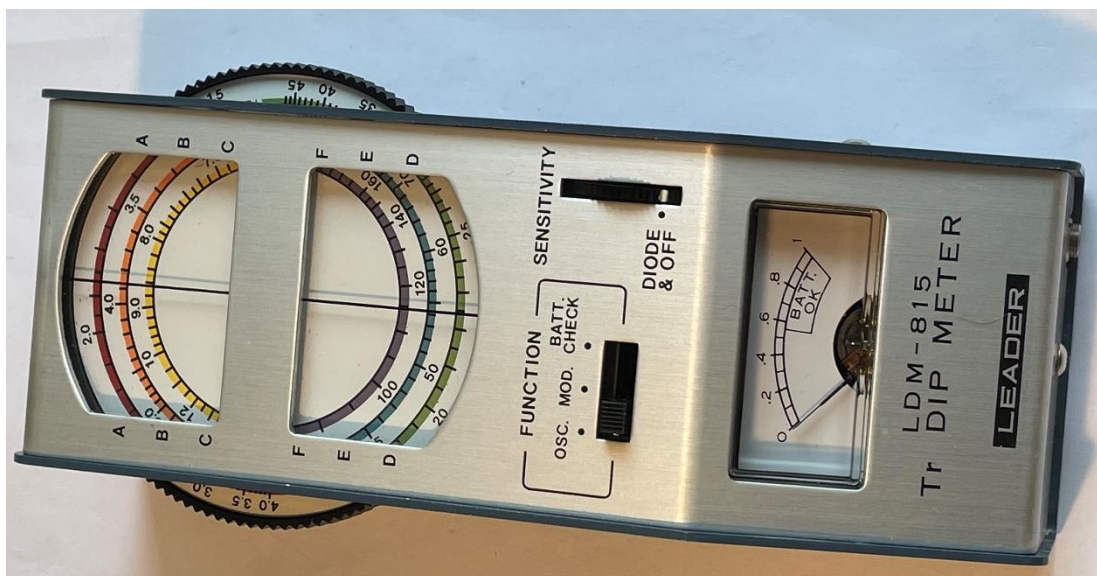


Foto 15.6-1. Dipper. De ronde schijf bovenin regelt de frequentie-instelling. De analoge meter onder laat de dip zien.

De ronde schijf met randvertanding dient voor de frequentie-instelling. De zes verschillend gekleurde banen (A-F) verwijzen naar de zes bijbehorende spoelen. Met verwisselbare spoelen kan een groot frequentiegebied worden bestreken; in dit geval van 1,4 – 250 MHz. De dip wordt zichtbaar gemaakt met de wijzermeter onder. Het apparaatje werkt op een 9 V batterij. De detailfoto (Foto 15.6-2) laat de gemonteerde spoel zien.

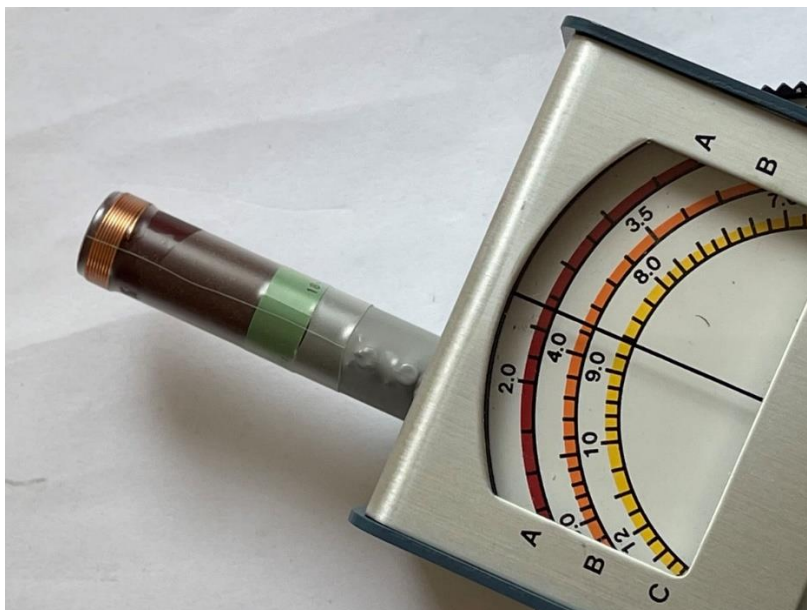


Foto 15.6-2. Detail van de dipper van Foto 15.6-1, nu met gemonteerde spoel.

Omdat de spoel van de oscillator naar buiten is uitgevoerd, beïnvloedt de te meten kring de oscillatiefrequentie van de dipper. **Een dipper is daarom geen precisie-instrument.**

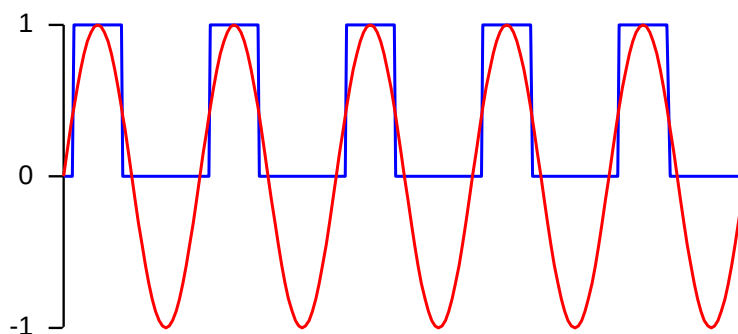
15.7 Frequentiemeting

Een zendamateur moet zelf kunnen vaststellen of hij/zij uitzendt op een toegestane frequentie en moet daarom -in theorie- frequenties kunnen meten. Met een kant en klaar gekochte zendontvanger zal dat niet gauw nodig zijn. Bij gebruik van zelfbouwapparatuur of omgebouwde spullen is frequenties kunnen meten vanzelfsprekend.

Het analoge meetapparaat heette *absorptie-frequentiemeter*. In de volledige cursustekst is het kort beschreven. Tegenwoordig is frequentiemeting een digitale aangelegenheid. Het instrument heet *frequentieteller*, *teller* of op zijn Engels (*frequency*) *counter*.

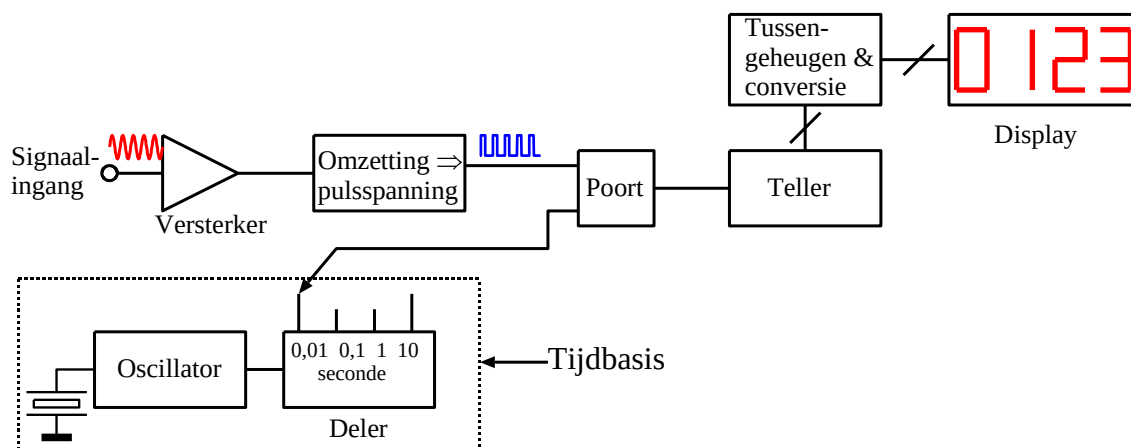
Een teller telt het aantal perioden in een bepaald tijdsbestek, bijvoorbeeld 0,01 s, 0,1 s, 1 s, enz. Om die meettijd nauwkeurig in te stellen, zit er een kristalgestuurde tijdbasis in.

Voor meting met een digitaal systeem moet de meestal sinusvormige input soms worden versterkt en altijd worden omgezet naar een pulsspanning (Figuur 15.7-1).



Figuur 15.7-1. Omzetting van sinus (rood) naar puls (blauw).

Daarna kan het omgezette signaal via een poortschakeling de teller in (Figuur 15.7-2).



Figuur 15.7-2. Blokschema van een frequentieteller.

De poort staat open gedurende de op de kristalgestuurde *tijdbasis* ingestelde tijdsperiode. Daarna wordt de teller uitgelezen. De output van de teller wordt omgezet in code voor het display en er wordt een nieuwe telling uitgevoerd, enz.

Foto 15.7-1 toont een opstelling met een frequentieteller (boven), een digitale functiegenerator die een sinusvormige spanning afgeeft (midden) en een oscilloscoop die hem zichtbaar maakt (onder).

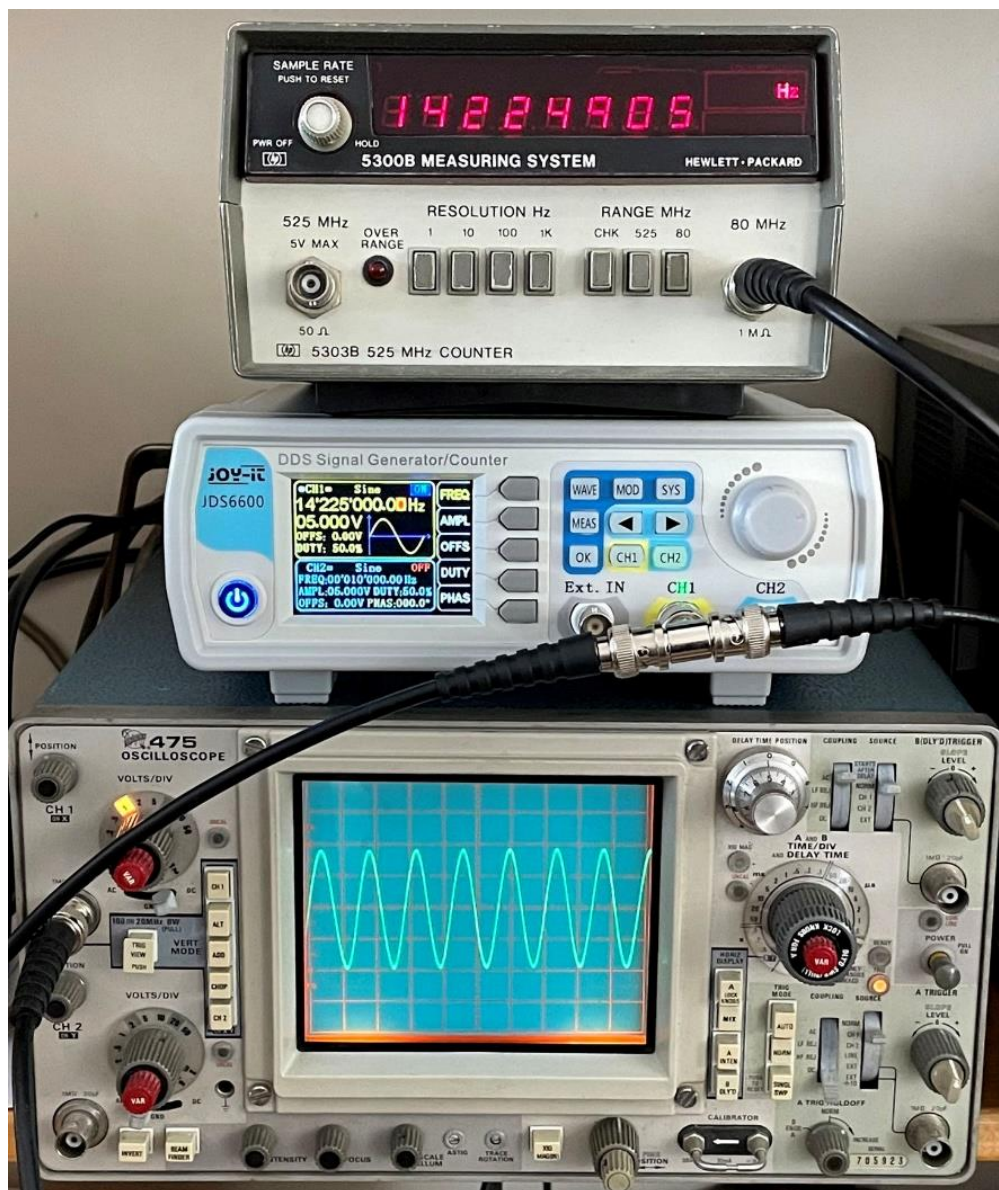


Foto 15.7-1. Meetopstelling met frequentiegenerator (midden), oscilloscoop die het signaal toont en de teller die de frequentie toont.

Wie scherp kijkt, ziet dat de telleraanwijzing 95 Hz (op 14,225 MHz) onder de frequentie-instelling van de functiegenerator ligt. Meestal is de teller nauwkeuriger dan de generator.

15.8 De signaalgenerator

Een signaalgenerator wekt een signaal op met instelbare frequentie en amplitude. Er is altijd een sinusvormig signaal, soms ook andere. Het signaal wordt gebruikt bij het testen van apparatuur. Een generator is te zien op Foto 15.7-1 (het middelste apparaat). Die is digitaal. Er zijn ook analoge instrumenten. Foto 15.8-1 toont er één uit het buizentijdperk. Het apparaat levert een sinusvormig signaal, desgewenst AM-gemoduleerd, voor

frequenties tussen 10 en 485 MHz. Het (loodzware) instrument heeft een uitstekende verzwakker die amplitudes tussen 1 μ V en 5 mV over 50 Ω levert. Het apparaat is geschikt voor meting van ingangsgevoeligheid, spiegellonderdrukking en meer bij ontvangers.



Foto 15.8-1. Marconi meetzender. Een met buizen uitgevoerd (loodzwaar) precisie-instrument uit 1966.

Het veel kleinere en lichtere digitale apparaat van Foto 15.7-1 heeft andere mogelijkheden, zoals verschillende golfvormen. In tegenstelling tot het oudje van Foto 15.8-1 dat tot 1 μ V komt, is de kleinste signaalamplitude van dit digitale apparaat 1 mV. Het is toepasbaar bij het bouwen en testen van zowel LF- als HF-apparatuur.

15.9 De staandegolfmeter (SWR- of SGV-meter)

De staandegolfmeter is een onmisbaar instrument voor de zendamateur. Hij geeft de kwaliteit van de aanpassing van de zender aan de antenne aan. In hoofdstuk 14 zijn de staandegolfverhouding (SGV, Engels: SWR) en zijn nut besproken.

De SWR-meter meet de amplitudeverhouding van de voorwaartse en gereflecteerde stroom. Voorwaarts en gereflecteerd signaal worden opgepikt door twee inductief met de transmissieleiding gekoppelde draadstukjes. Die koppelstukjes zijn in spiegelbeeld geschakeld, zodat de één het voorwaartse en de ander het gereflecteerde signaal oppikt. Aan één kant zijn ze via een weerstand, gelijk aan de karakteristieke impedantie van de voedingsleiding, geaard. In coax-kabel zitten ze tussen mantel en binnengeleider. In fabrieksapparatuur is de mantel vervangen door een metalen buis of gootje. In het hart ligt

de vervanger van de binnenader met de koppelstukken aan weerskanten (Foto 15.9-1). Het schema staat in Figuur 15.9-1.

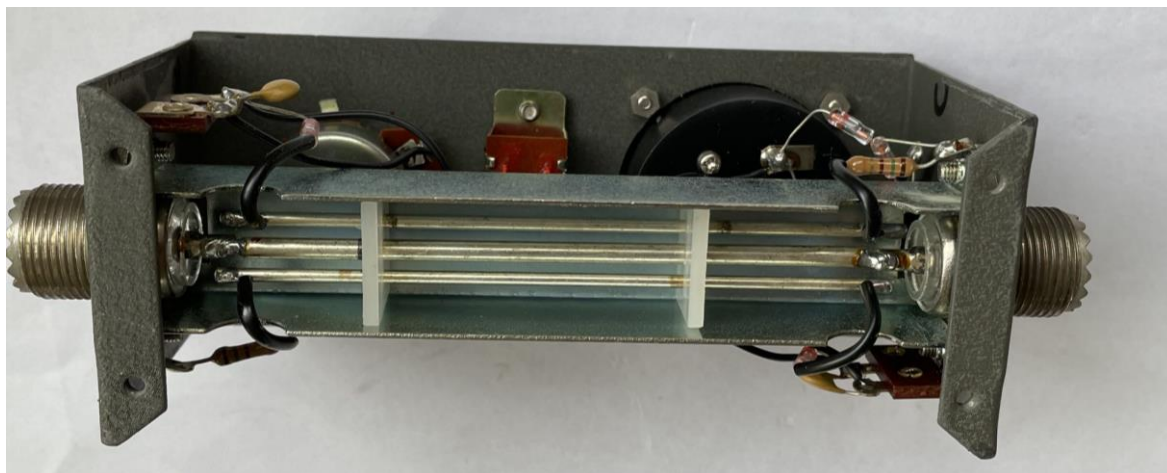
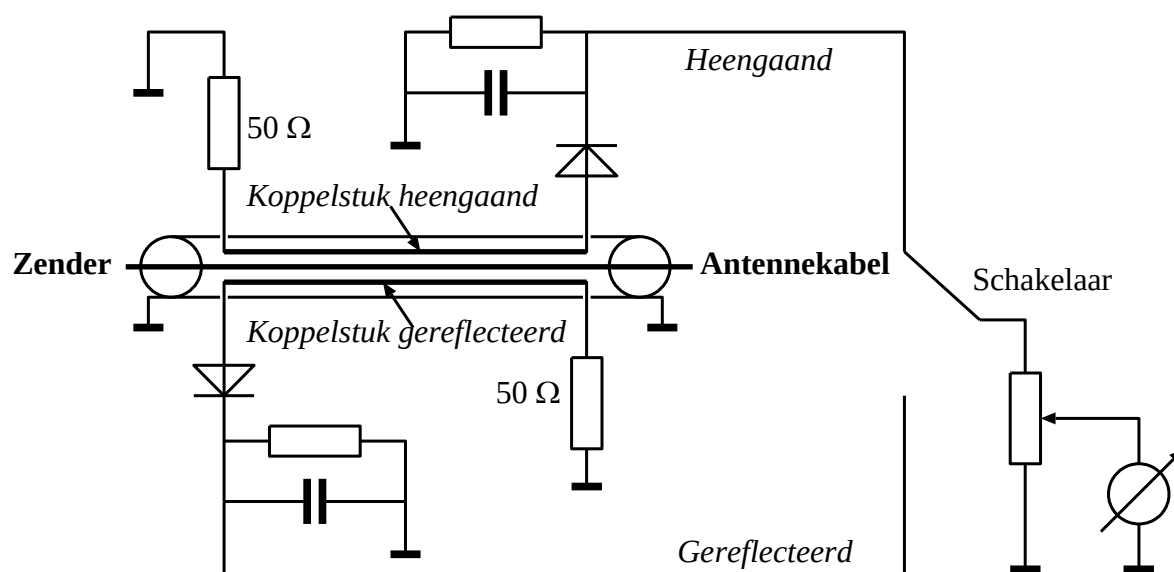


Foto 15.9-1. Binnenader met koppelstukjes in een SWR-meter. Links en rechts de kabelaan sluitingen. Het metalen gootje verbindt de mantels; de middelste zilverkleurige leiding tussen de aansluitingen verbindt de binnenaders. Aan weerskanten van het binnenaderstuk de eveneens zilverkleurige koppelstukjes.



Figuur 15.9-1. Het schema van de staandegolfmeter van Foto 15.9-1. De 50-ohms weerstanden aan de uiteinden van de koppelstukken maken het apparaat geschikt voor gebruik bij 50-ohms aansluitingen. De koppelstukjes liggen tegen elkaar in om heengaand en gereflecteerd signaal te kunnen meten.

Bij het begin van de meting moet ervoor worden gezorgd dat zender en antenne aan de daarvoor bestemde aansluitingen zitten. De schakelaar komt nu in de stand “heengaand” (Forward). Zet de potentiometer in de laagste stand. Laat de zender een draaggolf geven, liefst op laag vermogen, zodat er niets kapot kan gaan. Draai nu de potmeter tot de SWR-



Foto 15.9-2. Eenvoudige SWR-meter

meter volle uitslag geeft. Zet de schakelaar om naar teruggaand (Reflected) en lees op de meter de SWR af.

Als de SWR in orde is, liefst minder dan 2, kan de meter in de leiding van zender naar antenne blijven zitten. Hij gebruikt nauwelijks vermogen. Ter verduidelijking laten we de voorkant van een eenvoudige SWR-meter zien op Foto 15.9-2.

Het is het apparaat dat we met verwijderd achterpaneel hebben gezien op Foto 15.9-1. De meter spreekt voor zichzelf. De schuifschakelaar op Foto 15.9-2 is de schakelaar in Figuur 15.9-1 en de draaiknop op Foto 15.9-2 is die van de potentiometer in Figuur 15.9-1.

De SWR-schaal van de meter op Foto 15.9-2 is bij wijze van waarschuwing rood gekleurd voor $SWR > 3$. Boven staat de SWR-waarde, eronder het bijbehorend percentage gereflecteerd vermogen hoort. De meter is bruikbaar tot minimaal de 2-meterband (144-146 MHz).

Er zijn SWR-meters met meer meetmogelijkheden en/of voor hogere frequentiebereiken. De meter op Foto 15.9-3 heeft twee frequentiebereiken: 1,6-160 MHz en 140 tot ruim 500 MHz.



Foto 15.9-3. SWR-meter met meer mogelijkheden dan het apparaat van Foto 15.9-2.

Een ander soort meterschaal voor SWR kun je ook tegenkomen. Dat zijn meters met twee wijzers en dus ook twee schalen. Heengaand (voorwaarts) en gereflecteerd komen beide in beeld. Op het snijpunt van de wijzers wordt de SWR afgelezen. Foto 15.9-4 laat de schaal van zo'n meter zien.

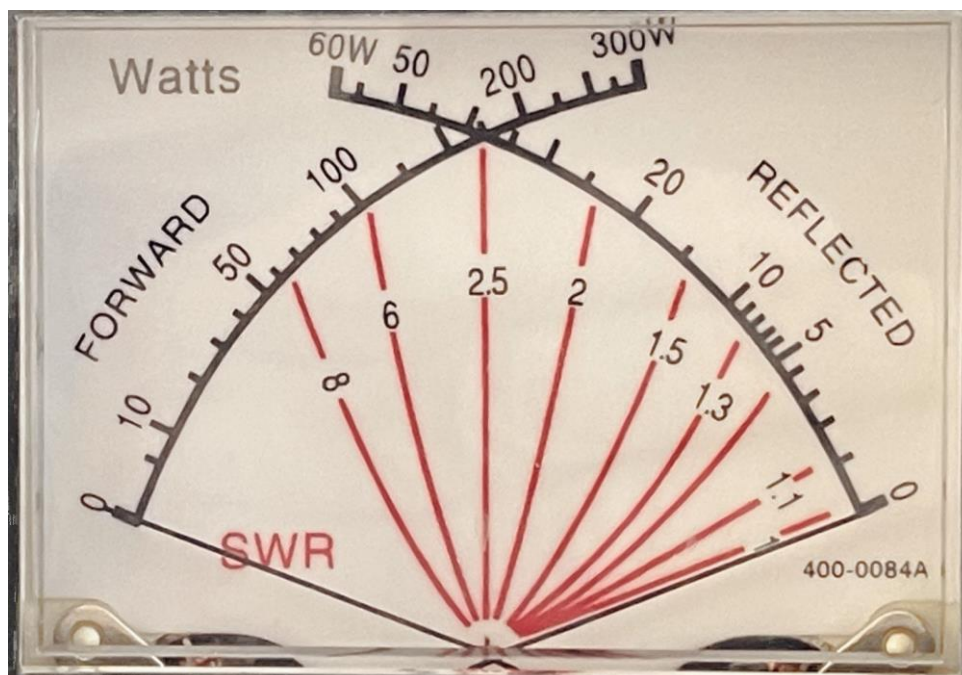


Foto 15.9-4. Aanwijssysteem van een SWR-meter die voorwaarts en gereflecteerd vermogen aanwijst. Op het snijpunt van de wijzers wordt de SWR afgelezen (rode lijnen).

Links de schaal voor voorwaarts vermogen, rechts die voor gereflecteerd. De rode curven in het midden geven de SWR. De SWR-waarde wordt aangegeven met het kruispunt van de twee aanwijssnaalden. Een heel nauwkeurige aflezing van de SWR is zo niet mogelijk, maar ook niet nodig. Of de waarde nu 1,4 of 1,5 is, maakt in de praktijk weinig uit.

15.10 De kunstantenne of dummyload

In de vorige paragraaf bleek dat het uitgangsvermogen van een zender in principe te meten is met een SWR-meter. Verwacht daarvan geen grote nauwkeurigheid.

Nauwkeuriger is meting met een capaciteits- en inductievrije weerstand die de antenne vervangt, de zogenoemde *kunstantenne*. In het Engels heet dat een *dummy load*.

Daarvoor bestaan professionele instrumenten, zoals die van de firma Bird, maar zelfbouw kan ook. Foto 15.10-1 laat een voorbeeld zien. Wie een kunstantenne zelf wil maken, vermijdt draadgewonden weerstanden. Door de windingen zijn het voor HF-toepassingen spoelen met een heel lage Q. Niet doen dus.

Het apparaatje op de foto bestaat uit 20 koolweerstanden van elk 1 k Ω en 0,5 W, samen 50 Ω en 10 W. Als de meting kort (enkele seconden) duurt, kan 20 W ook. De weerstanden

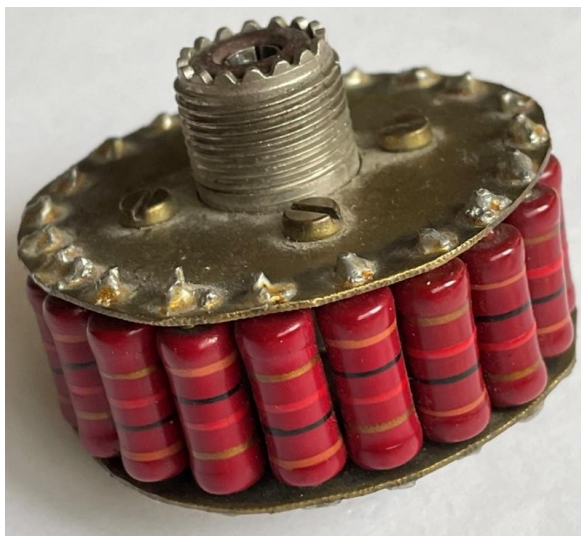
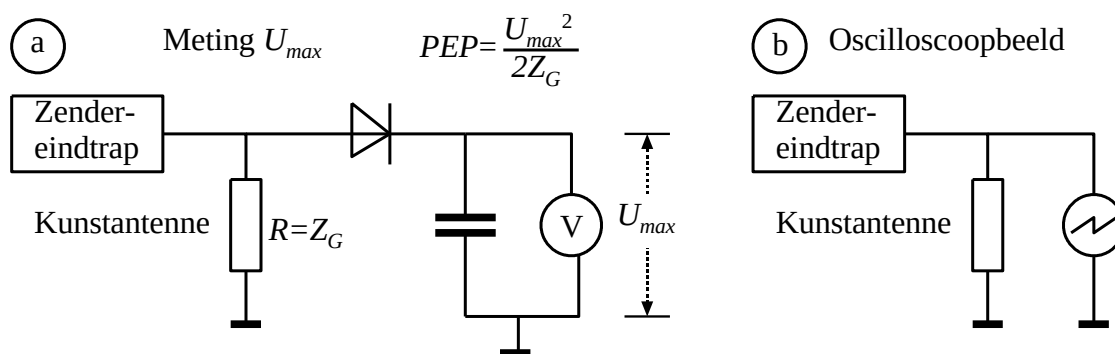


Foto 15.10-1. Zelfbouw-kunstantenne (dummy load)

staan parallel in een cirkel en zijn verbonden via twee messing plaatjes. Bovenop zit de kabelaanluiting. Dit zelfbouwapparaatje geeft een SWR van vrijwel 1 tot meer dan 30 MHz. Een schema voor de meting van de maximale spanning U_{max} staat in afbeelding (a) van Figuur 15.10-1.



Figuur 15.10-1. PEP-bepaling van een zendersignaal (a) en maken oscilloscoopbeeld van een zendersignaal (b).

Voorwaarde is dat de tijdconstante van de capaciteit van de condensator en de weerstand van de niet-ideale voltmeter groot genoeg is, bijvoorbeeld 3 seconden of meer.

Uit U_{max} en de karakteristieke impedantie Z_G valt PEP te berekenen volgens

$$PEP = \frac{U_{max}^2}{2Z_G} \quad (15.10-1)$$

Voor meting van het draaggolfvermogen (FM/PM, CW of ongemoduleerde draaggolf) kan worden uitgegaan van dezelfde vergelijking. Dan is de hoogste spanning voor elke signaalperiode even groot. De hiervoor genoemde tijdconstante mag dan (veel) kleiner zijn. We kunnen dan voor het bepalen van het vermogen P ook uitgaan van de effectieve spanning U_{eff} volgens

$$P = \frac{U_{eff}^2}{Z_G} \quad (15.10-2)$$



Dat komt op hetzelfde neer. Het enige verschil is dat de waarde van U_{max} bij een FM-, CW- of niet-gemoduleerde draaggolf voor elke periode dezelfde is en bij AM en zijn varianten niet. Dan moet de grootste signaalamplitude worden gevonden. Met een oscillogram (Figuur 15.10-1b) kan dat, maar minder nauwkeurig dan met een meter met grote tijdconstante.