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 15-21

© 2021-2025, Vereniging van RadioZendAmateurs VRZA.

15 Meten en meetinstrumenten

15.1 Wat leer je in dit hoofdstuk

Elke meting heeft invloed op hetgeen 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 zijn 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 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.

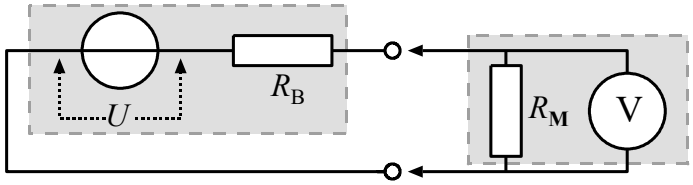
Van de **staandegolfverhouding (SWR)** is eerder aangekondigd dat we de meting ervan in dit hoofdstuk zouden bespreken. **De SWR-meter** is onmisbaar als controle op de aanpassing van zender naar transmissieleiding en antenne.

Bij metingen aan een uitgezonden signaal 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).

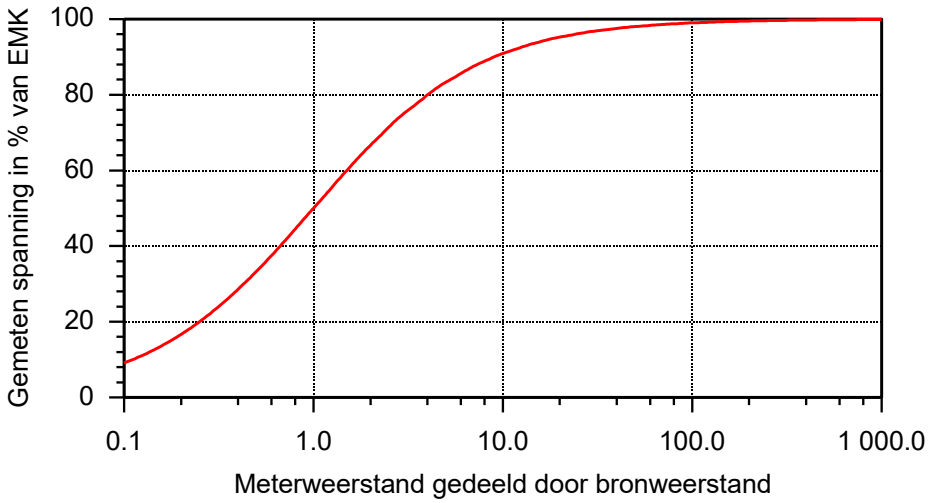


Figuur 15.2-1. Meten van de spanning van een niet-ideale bron met een niet-ideale voltmeter.

© 2021-2025, Vereniging van RadioZendAmateurs VRZA.

De schakeling is een bron met inwendige weerstand R_B. Elke 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 zelfbouwende radioamateurs het meest gebruikte meetinstrument. In zijn oorspronkelijke vorm is het een analoog instrument voor het meten van spanning, stroom en weerstand.

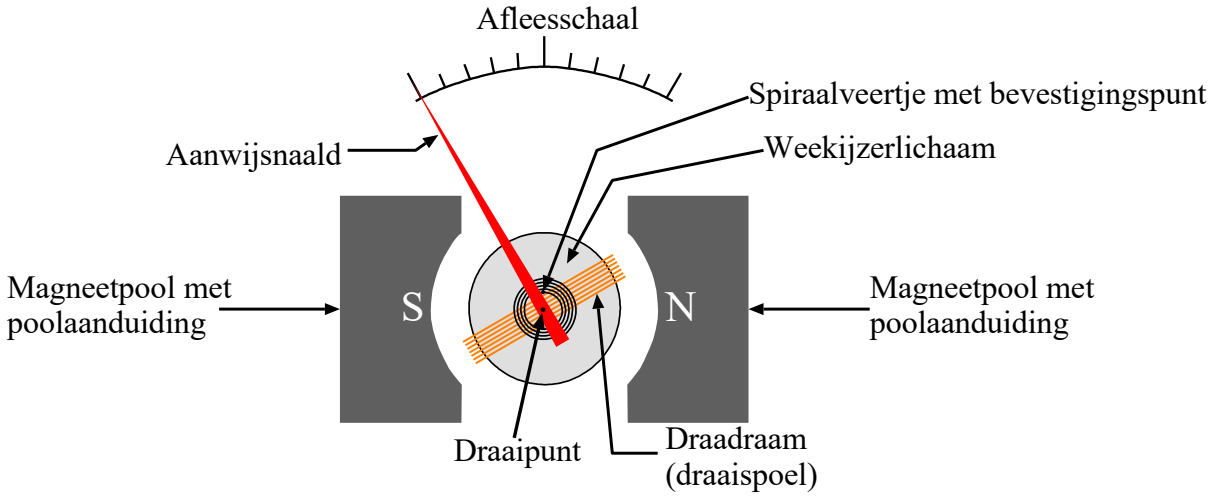
In de laatste decennia zijn digitale meters de analoge in aantal voorbijgestreefd. Digitale meters hebben vaak extra's die analoge meters niet hebben. Maar we beginnen analoog.

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

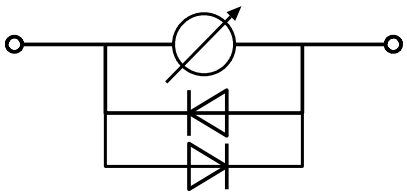
© 2021-2025, Vereniging van RadioZendAmateurs VRZA.

van de stroom die er doorheen loopt. Een aanwijsnaald 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 parallel en 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 aanwijsnaald is er een schaal. Een meter met de naald in de middenstand bij nul stroom meet stroomsterkte in twee richtingen en geeft daarbij 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, allemaal met een aantal meetbereiken.

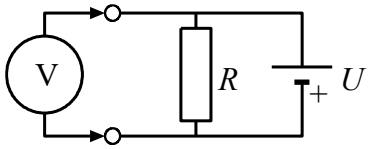
© 2021-2025, Vereniging van RadioZendAmateurs VRZA.



Foto 15.3-1. Een analoge universeelmeter uit 1976. De meter is geschikt voor gelijk- en wisselspanning, gelijkstroom en weerstand.

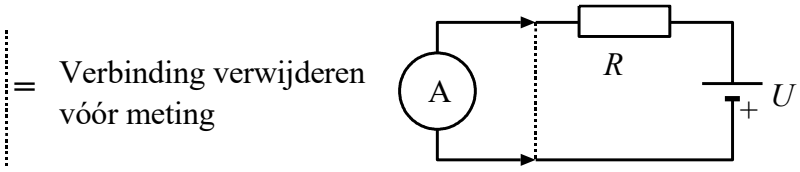
Spanning en stroom meten

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 moet worden gemeten. (Figuur 15.3-4).



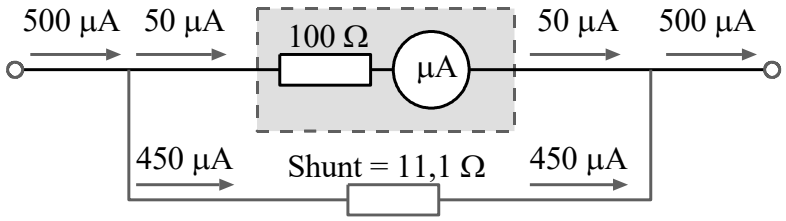
*Figuur 15.3-4. Stroommeting. De stroom **door** weerstand en batterij wordt gemeten.*

© 2021-2025, Vereniging van RadioZendAmateurs VRZA.

Hoe maak je van een draaispoelmeter 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 Ω heeft en bij 50 µA vol uitslaat. Wordt de meter ingezet voor een meetbereik van 500 µA, dan moet van die 500 µA precies 50 µA door de meter lopen en de rest, 500 µA - 50 µA = 450 µA via een omweg (*shunt*). De weerstand daarvan in Figuur 15.3-5 is $^{50}/_{450} * 100\ \Omega = 11{,}1\ \Omega$.

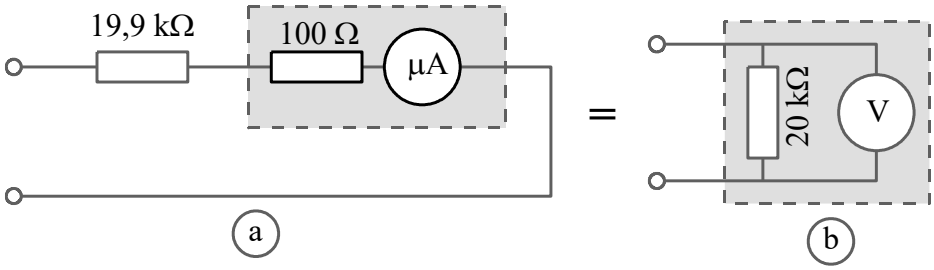


Figuur 15.3-5. Microampèremeter met inwendige weerstand van 100 ohm en een shunt van 11,1 ohm voor een 10x zo grote stroom als het eigenlijke meterbereik. 90% van de stroom wordt omgeleid via de shunt.

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

Spanningsmeting

Een serieweerstand maakt een draaispoelmeter tot een spanningsmeter. De weerstand moet 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 µA. We stellen het meetbereik op 1 V. De benodigde weerstand is $^{1\ V}/_{0{,}05\ mA} = 20\ k\Omega$. Daarvan zit 100 Ω als inwendige weerstand in de meter. Dan is de serieweerstand 19,9 kΩ (Figuur 15.3-6).



Figuur 15.3-6. Van micro-ampèremeter (links) 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 kΩ.

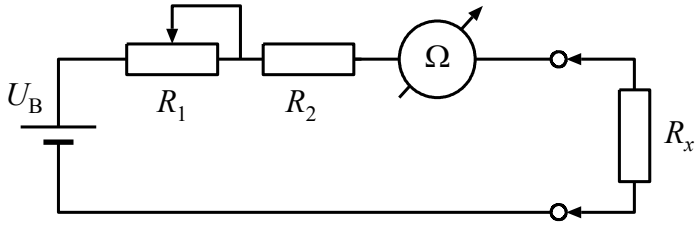
Dit brengt ons bij dé eigenschap van een universeelmeter: de totale weerstand per bereik van de als voltmeter toegepaste draaispoelmeterschakeling. De eenheid is kΩ/V en heet *gevoeligheid*.

De gevoeligheid 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 een 100-voltbereik wordt dat $100 * 20\ k\Omega = 2M\Omega$, enz.

© 2021-2025, Vereniging van RadioZendAmateurs VRZA.

Weerstandsmeting

Voor weerstandmeting 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 spanning over de weerstand en meet de stroom (Figuur 15.3-7).



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

Omdat weerstand omgekeerd evenredig is met stroom, moet een als weerstandsmeter (Ohmmeter) geschakelde universeelmeter daarvoor een aparte schaal hebben. **Bij een ohmmeter is het nulpunt de volle meteruitslag**. De variabele weerstand R_1 regelt de nulpuntsinstelling. R_2 beschermt de meter tegen een te hoge stroom. De aansluitklemmen worden kortgesloten voor het instellen. R_1 wordt zo ingesteld dat de meter 0 Ω aanwijst. Is de meter ingesteld, dan kan de onbekende weerstand R_x tussen de aansluitklemmen worden gezet en de weerstand via de stand van de aanwijsnaald op de schaal worden afgelezen. Foto 15.3-2 laat de afleesschalen van de meter van Foto 15.3-1 vergroot zien.



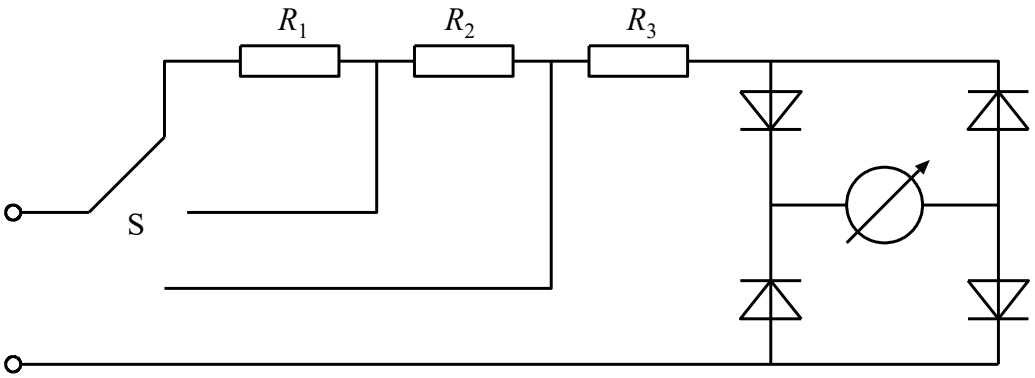
Foto 15.3-2. De afleesschalen van de universeelmeter van Foto 15.3-1 vergroot. De bovenste is de weerstandsschaal.

© 2021-2025, Vereniging van RadioZendAmateurs VRZA.

Wisselspanningsmeting

Voor wisselspanningsmeting moet de wisselspanning worden gelijkgericht. Een eerste probleempje daarbij is de drempelspanning van de gelijkrichtdiode. Wegens hun lage drempelspanning worden meestal germaniumdioden gebruikt. Die laten bovendien onder de 0,2 V nog een klein beetje stroom door. Dat geldt ook voor de meter van Foto 15.3-1. Daardoor kunnen de schalen op 0 beginnen, al zijn ze voor lage spanningen niet lineair. Hogere bereiken verschillen binnen de nauwkeurigheid van de meting nauwelijks van gelijkspanningsbereiken voor dezelfde waarden.

Er zit echter een lelijk addertje onder het gras. Dat addertje is dat een draaispoelmeter voor de gelijkgerichte spanning niet de effectieve waarde van de oorspronkelijke wisselspanning aanwijst, maar de gemiddelde gelijkspanning. We geven een voorbeeld met een wisselspanning van 5 V_{eff}. Dan is de piekspanning $U_{max} = {5V}/{\sqrt{2}}$ =7,07 V. Dat klinkt nog hoopvol. Maar een enkelfasig gelijkgerichte spanning heeft bij een ideale enkelfasige gelijkrichter een gemiddelde waarde van ${1}/{\pi} * U_{max} \approx 2{,}25$ V. Dat is 0,45 maal de effectieve spanning van 5 V. Doen we niets, dan geeft de meter een spanning aan van 0,45 maal de effectieve spanning. Oplossing: vervang de voorschakelweerstand van de meter door één van 0,45 maal die voor gelijkstroom. Dan is de gevoeligheid van de meter ruim gehalveerd. Een wat problematische oplossing is tweefasige gelijkrichting via een brugschakeling. Figuur 15.3-8 geeft een mogelijk schema. Die verdubbelt de factor 0,45 naar 0.90. En 0,9 is niet hetzelfde als 1, dus de voorschakelweerstand aanpassen moet toch. Maar bekijk het schema en je ziet dat de stroom dan altijd twee diodes moet passeren. Dat is slecht voor de lineariteit van de schakeling, zeker bij lage spanningen.



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

Een echt goede oplossing voor het wisselspanningsprobleem is er bij een draaispoelmeter dus niet. Met de meters die hierna aan de orde komen, kan het allemaal wel.

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

© 2021-2025, Vereniging van RadioZendAmateurs VRZA.

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



Foto 15.3-3. Voorbeeld van een digitale multimeter.

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. Daar tegenover 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 van de meter in de figuur 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 overigens resolutie niet met nauwkeurigheid! Een onnauwkeurige meting kan heel goed in hoge resolutie worden weergegeven. Maar meestal gaan resolutie en nauwkeurigheid redelijk samen.

15.4 De oscilloscoop.

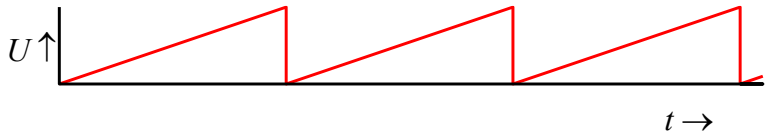
Een oscilloscoop maakt snelle veranderingen in spanningen zichtbaar. In vorige hoofdstukken hebben we oscilloscoopbeelden gezien, ook digitale. We beginnen analoog.

15.4.1 De analoge oscilloscoop

Het centrale deel van een klassieke oscilloscoop (s*coop* 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.

© 2021-2025, Vereniging van RadioZendAmateurs VRZA.

De elektroden bundelen de elektronen uit de kathode zo scherp mogelijk. Zoals een pen het duidelijkst schrijft als het spoor dun is, tekent een elektronenstraal het duidelijkst als hij scherp gebundeld is. Tussen de bundelingselektroden en het scherm zitten twee keer twee platen voor respectievelijk 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 Y-versterker bedient de verticale afbuiging. Die verloopt via zogenoemde afbuigplaten waarvan de werking lijkt op die van een anode in een buis. 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 toont de voorkant van een analoge oscilloscoop.

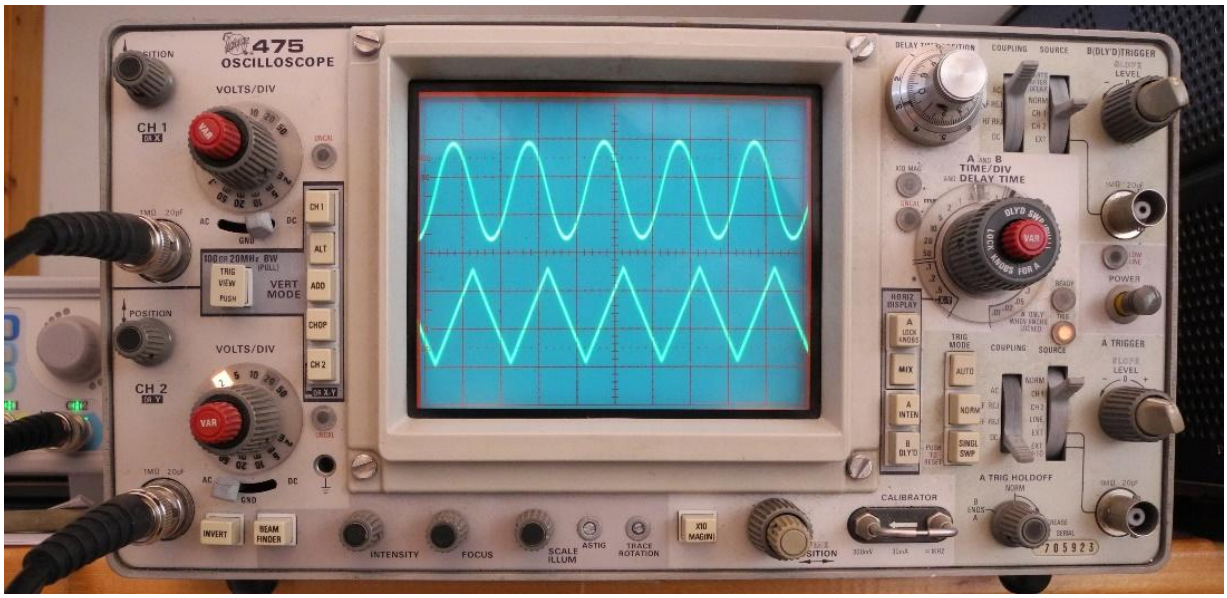


Foto 15.4-1. Voorkant van een oscilloscoop. Dit is een tweekanaalsuitvoering die twee signalen tegelijk kan laten zien (in feite worden ze afwisselend op het scherm gezet, maar dat gaat zo snel dat je het niet ziet).

© 2021-2025, Vereniging van RadioZendAmateurs VRZA.

Dit 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. Links 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 links met schaaltje 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 dan vervangen door een LCD-scherm. Daardoor is een digitale scoop veel platter 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.

© 2021-2025, Vereniging van RadioZendAmateurs VRZA.

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.

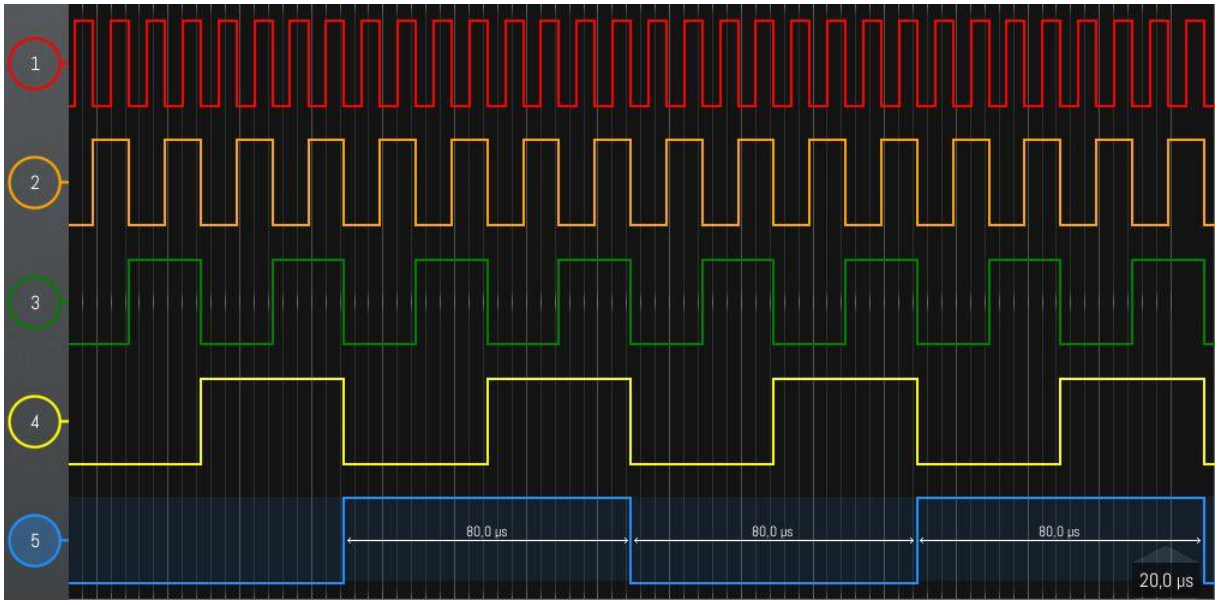


Foto 15.4-3. Nogmaals de output van de 4-bits frequentiedeler uit hoofdstuk 11. (1) de oorspronkelijke frequentie; (2) deling door 2; (3) deling door 4; (4) deling door 8; (5) deling door 16.

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 een 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 wat mogelijkheden betreft niet te vergelijken met een professioneel apparaat.

© 2021-2025, Vereniging van RadioZendAmateurs VRZA.

15.6 De dipper, dipmeter of griddipper

Een dipper meet de resonantiefrequentie van een 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.

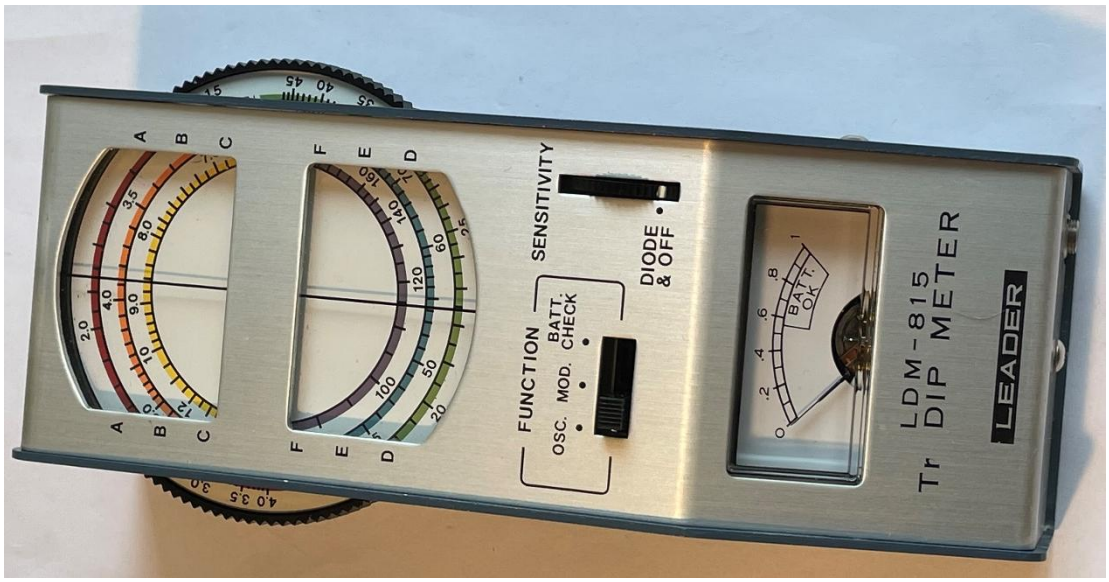


Foto 15.6-1. Dipper. De ronde schijf bovenin regelt de frequentie-instelling. De analoge meter onder laat de dip zien.

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 een gemonteerde spoel zien.

© 2021-2025, Vereniging van RadioZendAmateurs VRZA.

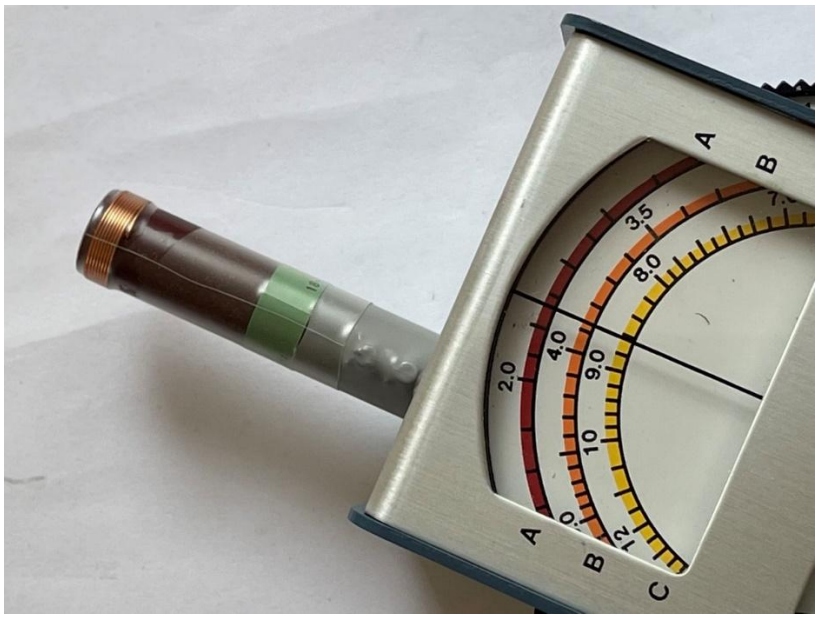


Foto 15.6-2. Detail van de dipper van Foto 15.6-1, nu met gemonteerde spoel.

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

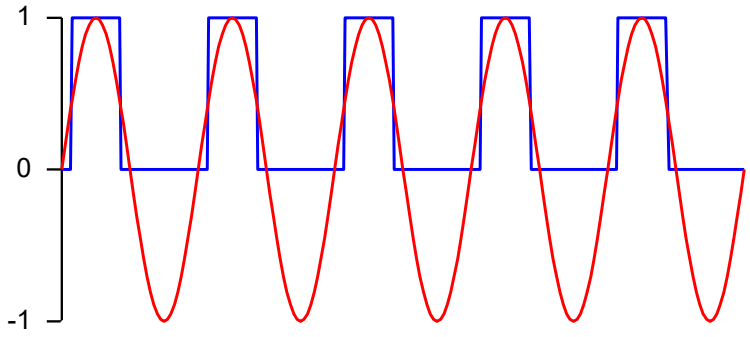
Een zendamateur moet zelf kunnen vaststellen of hij/zij uitzendt op een toegestane frequentie en moet daarom -in theorie- frequenties kunnen meten. Met een kant en klaar gekochte zendontvanger zal dat niet gauw nodig zijn. Bij gebruik van zelfbouwapparatuur of omgebouwde spullen is het kunnen meten van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

Het analoge meetapparaat heet *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.

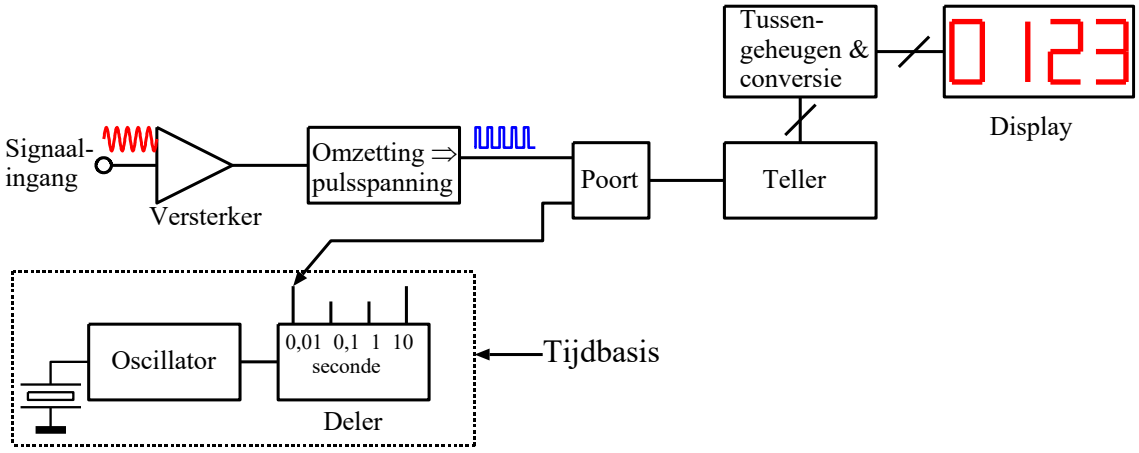
Voor meting met een digitaal systeem moet de meestal sinusvormige input soms worden versterkt en altijd worden omgezet naar een pulsspanning (Figuur 15.7-1).

© 2021-2025, Vereniging van RadioZendAmateurs VRZA.



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. Vervolgens 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 (analoge) oscilloscoop die hem zichtbaar maakt (onder).

© 2021-2025, Vereniging van RadioZendAmateurs VRZA.

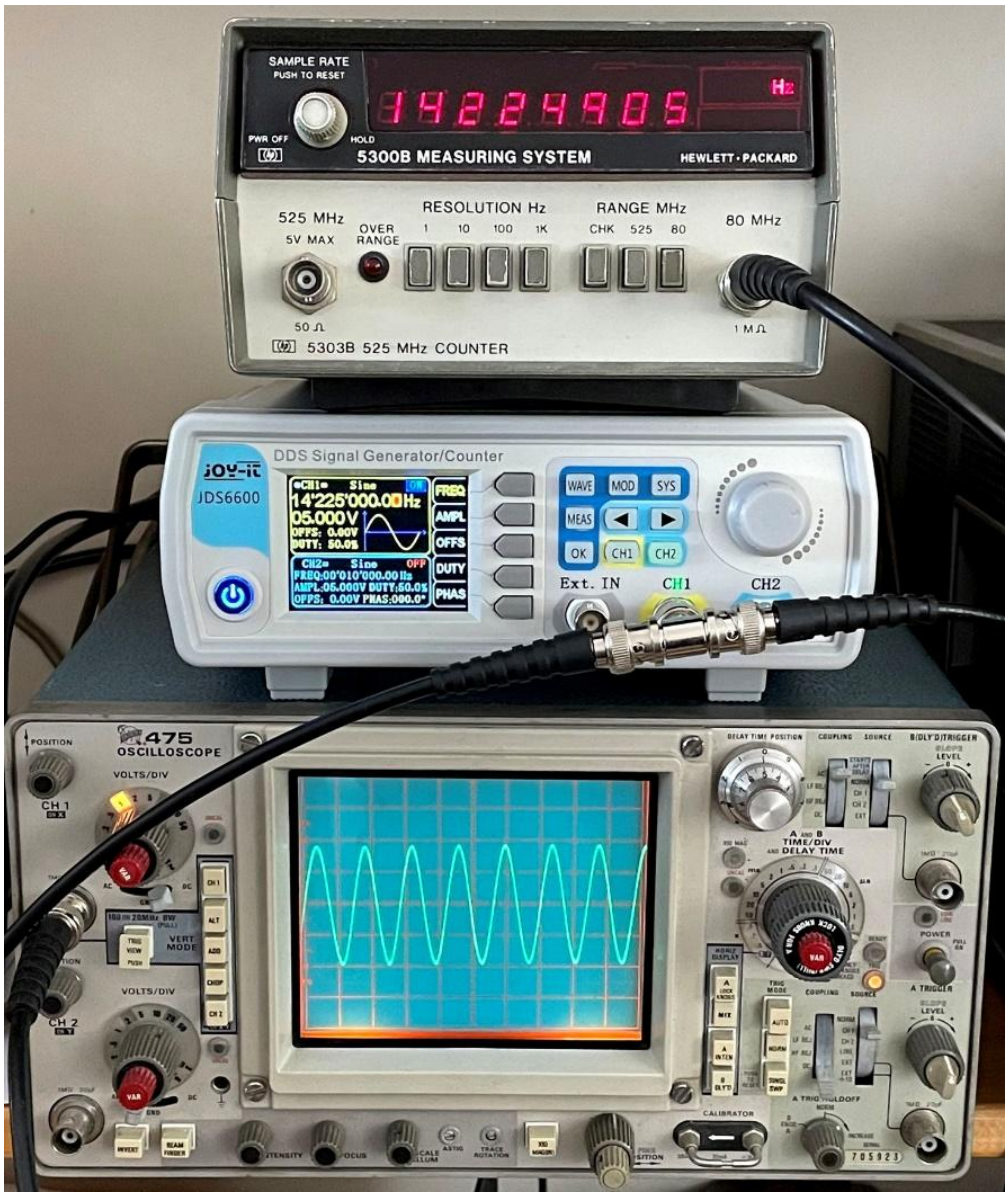


Foto 15.7-1. Meetopstelling met frequentiegenerator (midden), oscilloscoop die het signaal toont en de teller die de frequentie toont.

Wie kritisch 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

© 2021-2025, Vereniging van RadioZendAmateurs VRZA.

frequenties tussen 10 en 485 MHz. Het (loodzware) instrument heeft een uitstekende verzwakker die amplitudes tussen 1 µV en 5 mV over 50 Ω levert. Het apparaat is geschikt voor meting van ingangsgevoeligheid, spiegelonderdrukking en meer bij ontvangers. Je kunt er ook een S-meter mee ijken.



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 µV komt, is de kleinste signaalamplitude van dit digitale apparaat 1 mV. Beide zijn 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 betekenis 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

© 2021-2025, Vereniging van RadioZendAmateurs VRZA.

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

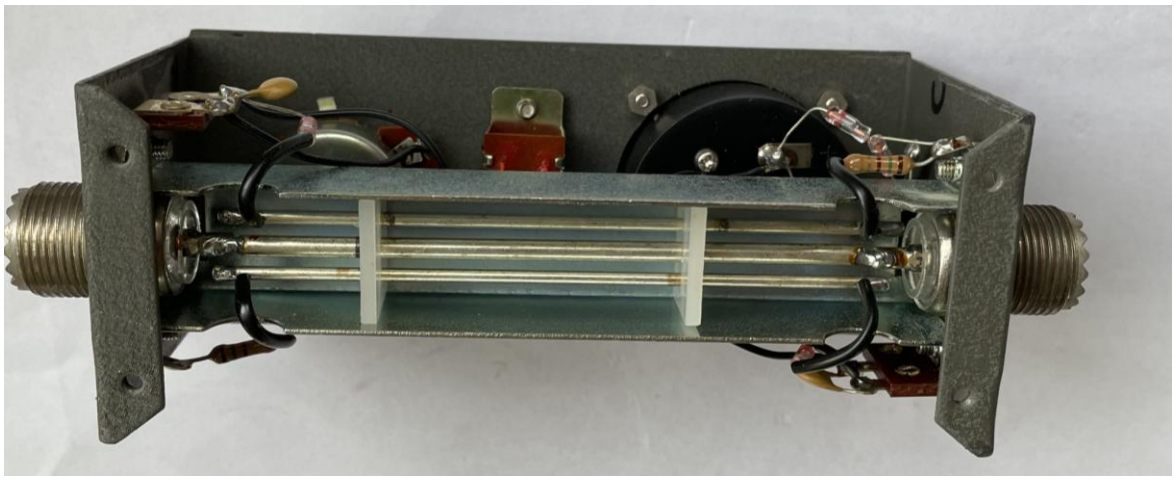
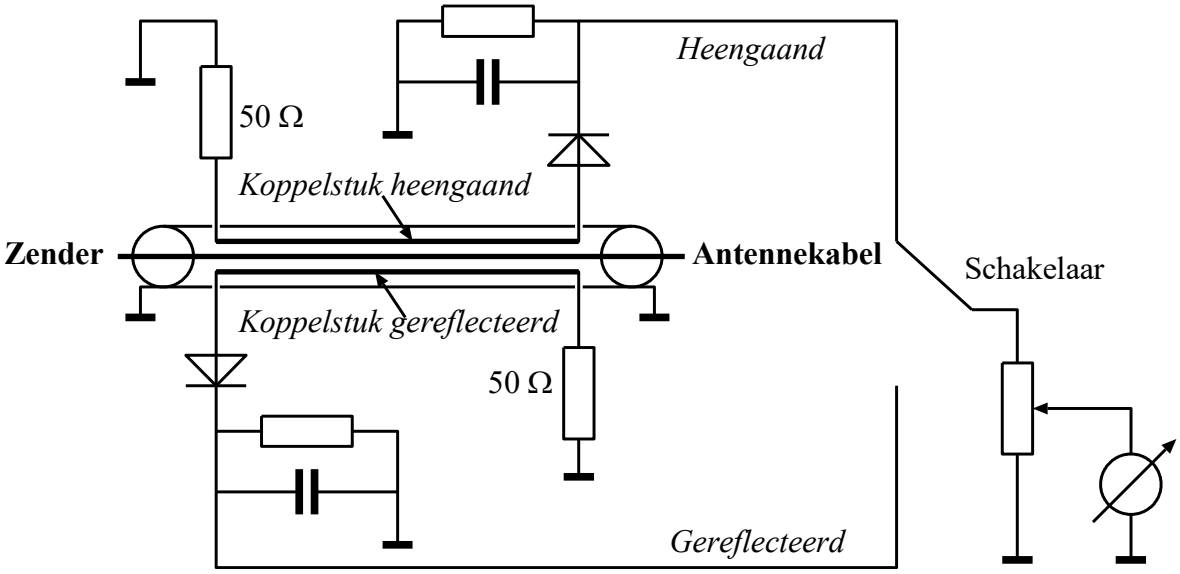


Foto 15.9-1. Binnenader met koppelstukjes in een SWR-meter. Links en rechts de kabelaansluitingen. Het metalen gootje verbindt de mantels; de middelste zilverkleurige leiding tussen de aansluitingen verbindt de binnenaders. Aan weerskanten van het binnenaderstuk de eveneens zilverkleurige koppelstukjes.



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.

© 2021-2025, Vereniging van RadioZendAmateurs VRZA.

Ter verduidelijking laten we de voorkant van een eenvoudige SWR-meter zien op Foto 15.9-2. Het is het apparaatje 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.



Foto 15.9-2. Eenvoudige SWR-meter

Bij het begin van de meting moet ervoor worden gezorgd dat zender en antenne met de daarvoor bestemde aansluitingen verbonden zijn. De schakelaar komt nu in de stand “heengaand” (Forward, FWD). 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-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 (ruim) minder dan 2, kan de meter in de leiding van zender naar antenne blijven zitten. Hij gebruikt nauwelijks vermogen.

De SWR-schaal van de meter op de foto is bij wijze van waarschuwing rood gekleurd voor SWR>3. Boven staat de SWR-waarde, eronder het bijbehorend percentage gereflecteerd vermogen. 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.

© 2021-2025, Vereniging van RadioZendAmateurs VRZA.



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.

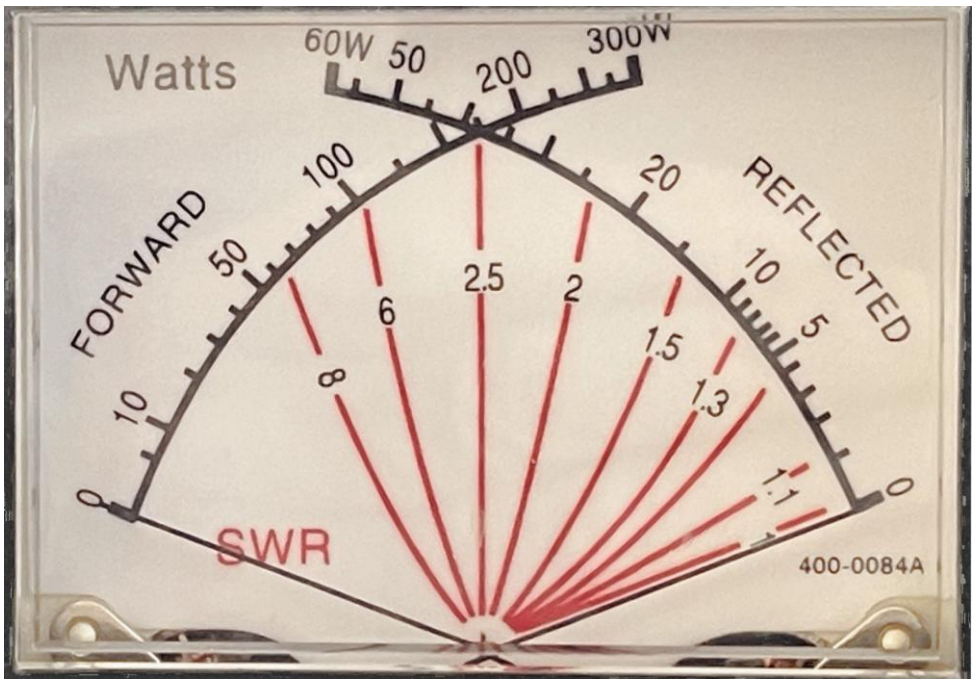


Foto 15.9-4. Aanwijssysteem van een SWR-meter die voorwaarts en gereflecteerd vermogen aanwijst. Op het snijpunt van de wijzers wordt de SWR afgelezen (rode lijnen).

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

© 2021-2025, Vereniging van RadioZendAmateurs VRZA.

de twee aanwijsnaalden. 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.

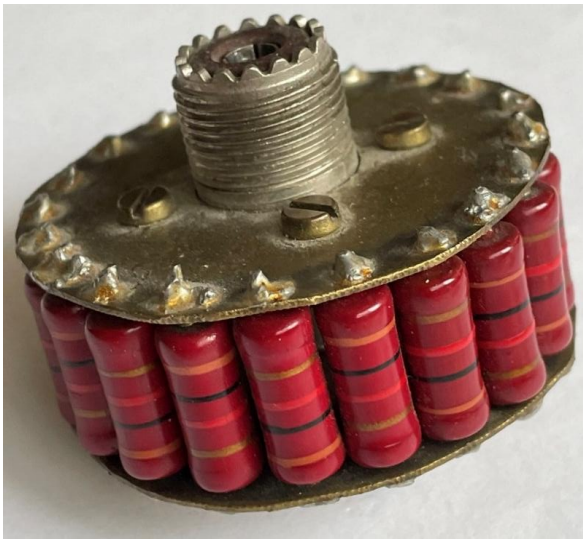
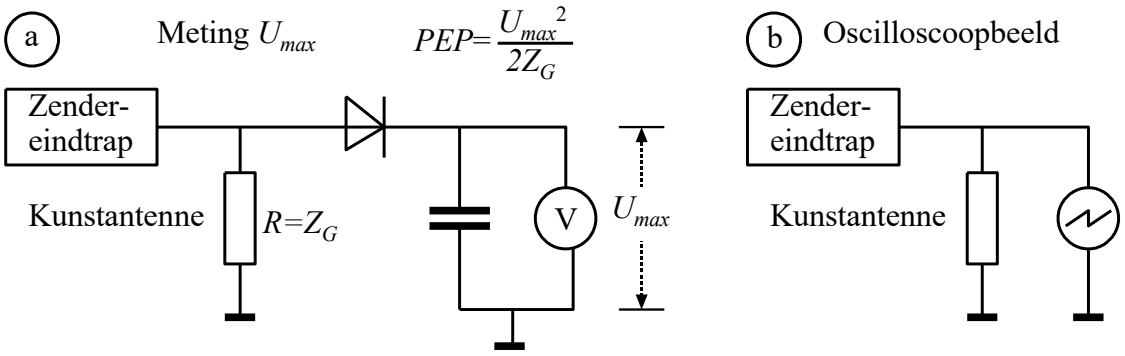


Foto 15.10-1. Zelfbouw-kunstantenne (dummy load)

Het apparaatje op de foto bestaat uit 20 koolweerstanden van elk 1 kΩ en 0,5 W, samen 50 Ω en 10 W. Als de meting kort (enkele seconden) duurt, kan 20 W ook. De weerstanden staan parallel in een cirkel en zijn verbonden via twee messing plaatjes. Bovenop zit de kabelaansluiting. 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).

© 2021-2025, Vereniging van RadioZendAmateurs VRZA.

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

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

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

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

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.

© 2021-2025, Vereniging van RadioZendAmateurs VRZA.