

Een eeuw radiopionieren

Dick van den Berg PA2DTA
bergwarf@xs4all.nl

Radio heeft een indrukwekkende ontwikkeling doorlopen. Van vonkzenders, via booglampzenders, lampen en buizenzenders uiteindelijk tot transistorzenders.

Inleiding

Het is dit jaar ongeveer honderd jaar geleden dat Nederland een belangrijke plaats op het radiowereldtoneel veroverde. Met een poldermodel avant la lettre moest het neutrale land vriend, vijand en koloniën dienen. Een solide onafhankelijke verbinding met de gordel van smaragd in en na oorlogstijd kon alleen maar met radio worden bewerkstelligd. Die kunst – de halve wereld met radiogolven omspannen – was men elders nog nauwelijks meester. Maar er was wel een meesterlijk persoon die kans zag die verbinding uiteindelijk tot stand te brengen. De pionier die dit in onze oude kolonie voor elkaar kreeg was dr. ir. C. J. de Groot. Zijn huzarenstukje verrichtte hij tussen 1916 en 1924; het kostte acht jaar. Toen was zijn zender klaar. Drie jaar later, in 1927, overleed hij op weg naar Nederland. Al die tijd deden ook de radioamateurs spannende proeven. In 1923 lukte het de Nederlander H. J. Jesse, een clandestiene radioamateur, om als derde Europese station een verbinding met Amerika te maken. Ruim een decennium na het begin van De Groots queeste was de wereld drastisch veranderd. Radio-omroep en korte golf hadden hun entree gemaakt en de zendamateur stond op het punt legaal te worden. En Nederland had in zijn koloniën de voor die tijd krachtigste zender in bedrijf, en een DX-verbinding die bijna de halve wereld omspande. Nederland telde mee. Nu staan de ouderwetse radio en het amateurisme onder druk. Onterecht, maar wat valt eraan te doen?

Het begin

Honderd jaar geleden had men slechts de beschikking over een paar manieren om hoogfrequente trillingen voor radio op te wekken. De radiolamp, een uitvinding van Fleming (diode, 1904) en De Forest (triode, 1906), stond in die tijd in de kinderschoenen en was nog vrijwel alleen geschikt voor ontvangstdoeleinden. Een zendertje met enig vermogen was er niet mee te maken. Marconi gebruikte vanaf het begin vonkzenders. Hij was van de superioriteit daarvan overtuigd, en eveneens van de gedachte dat altijd betrekkelijk lange golflengtes nodig zouden zijn voor radioverkeer. Een idee dat ook bij anderen had postgevat. Door te experimenteren met verschillende vonkbruggen en vonkontladingen kreeg men

zeer herkenbare signalen, die bestonden uit een aaneenschakeling van onderbroken golf-treintjes. Van een continu signaal was dus geen sprake. Er kon alleen telegrafie mee worden gepleegd. Een aardig artikel waar ook het geluid van een vonkzender kan worden beluisterd staat op <http://www.lessmiths.com/~kjsmith/crystal/spark.shtml>. Het vermogen van dergelijke vonkzenders lag tussen enkele tientallen watts en twintig kilowatt. Met dat laatste vermogen werd tussen 1901 en 1903 het afstandsrecord GB-USA gevestigd; tenminste, zo staat het in de boeken. De gebruikte frequentie is niet met zekerheid te achterhalen (het antennesysteem en de condensatorbanken zijn niet gedocumenteerd), maar zal gelegen hebben tussen 50 en 300 kHz.

De ontvanger kon betrekkelijk simpel zijn. In het begin werd als detector een coherer (zie kadertekst) gebruikt, die na overschrijding van een bepaalde spanning (een paar volt) geleidend werd. Later werd een 'primitieve' elektrische of mechanische detector gebruikt, en nog later soms een detector met een of meer lampen.

Fessenden in Amerika was al eerder tot de conclusie gekomen dat enige vorm van meer continue signalen beter zou zijn. In 1900 gebruikte hij AM voor communicatie en in 1906 stond hij aan de wieg van de eerste tweezijdige trans-Atlantische verbinding. Hij verbeterde het vonkproces zodanig dat de vonk-

herhalingsfrequentie behoorlijk kon worden opgevoerd en er een semi-continue golf ontstond, die gemoduleerd kon worden door een koolmicrofoon in de HF-kring. Je gaat bijna denken dat een amateur deze methode ontdekte door het gewoon te proberen. Hij raakte ervan overtuigd dat een nog betere kans op kwaliteit werd geboden door dynamo's die een behoorlijk hoogfrequente wisselspanning met een stevig vermogen konden opwekken. Tot die tijd was door de prominente rol van Edison vrijwel elke dynamo nog van het gelijkstroomtype. Dankzij het werk van Tesla rond 1890 waren er toch ook wisselstroomgeneratoren; Tesla was immers een groot voorstander van een meerfasenwisselstroomsysteem. Je zou toch ook zeggen: veel eenvoudiger qua constructie, maar hier gold kennelijk de wet van de remmende voorsprong. Tesla zag zelfs iets in energiedistributie door zeer hoogfrequente wisselstroom, waardoor de energie dan draadloos zou kunnen worden getransporteerd. Fessenden kreeg het voor elkaar dat een wisselstroomdynamo werd gemaakt die 50 kHz produceerde, echter met weinig vermogen. Het was Alexanderson die tussen 1906 en ongeveer 1920 HF-machines wist te maken die frequenties tot 100 kHz bij 500 kW maakten. Dat was geen sinecure: veelpolige machines met zeer hoge draaisnelheden. Daarom gebruikte men meestal maar generatoren met frequenties rond 20 kHz en eventueel magnetische vermenigvuldigers om de frequentie te verveelvoudigen (zie de kadertekst). Ook Telefunken in Duitsland produceerde dergelijke machines.

Coherer

De coherer is een min of meer proefondervindelijk ontdekte primitieve detector voor hoogfrequente signalen. De bekendste uitvoering is het exemplaar van Branley uit 1890. Zijn coherer bestaat uit een glazen buisje met ingesmolten elektroden, waartussen zeer fijn metaalvijsel van een bepaalde samenstelling, vaak nikkel of zilver. Wanneer kortstondig een bepaalde spanning over de aansluitingen komt te staan daalt de weerstand van de coherer aanzienlijk en blijvend. Hierdoor kan er bijvoorbeeld een gevoelig relais ingeschakeld worden. Deze eigenschap van de coherer maakt hem juist geschikt voor het ontvangen van de impulsvormige relatief hoge spanningen ontvangen van vonkzenders. Om voor elke nieuwe spanningsimpuls de coherer weer gevoelig te maken was een mechanische tik nodig. Hiervoor werden speciale kloppers gebruikt. Deze uitvoering werd tot omstreeks 1910 gebruikt naast andere exotische detectoren zoals de elektrolytische detector. Al deze detectoren zijn spoedig opgevolgd door de kristaldetector en de radiobuis.

Overigens zijn deze verouderde onderdelen uit oogpunt van instrumentmakerkunst de moeite waard. Bij de elektrolytische detector was bijvoorbeeld een ongekend dun platinadraadje (10 micrometer) nodig. Wollaston vond een methode om zulke draadjes te maken. Ze zijn ook nog interessant omdat van verscheidene ouderwetse detectoren, zoals de coherer, de precieze werking nog steeds niet helemaal begrepen wordt.

Magnetische versterkers en vermenigvuldigers

Een magnetische versterker, ook transducer genoemd, werd gebruikt voor het regelen en schakelen van HF-wisselspanningen en voor het in frequentie verveelvoudigen ervan. Men gebruikte speciale magnetische materialen. In de regel- en vermogenstechniek worden ze nu nog wel gebruikt, maar wel steeds meer door moderne onderdelen en schakelingen vervangen.

De werking berust op de magnetische eigenschappen, met name de vorm van de hysteresislus, van de gebruikte kernmaterialen. Op de kern van figuur 3a zijn twee wikkelingen aanwezig. Door de ene wikkeling (s) willen we een wisselstroom sturen. De stroom ondervindt een reactantie door de zelfinductie van de wikkeling, die weer zeer sterk afhankelijk is van mate van verzadiging van de transformator kern. Deze wordt vooral bepaald door de door de tweede wikkeling (p) gestuurde gelijkstroom. Door een kleine variatie in magnetiseringsstroom door (p) wordt zo de wisselstroomweerstand van (s) tussen praktisch nul en zeer groot geregeld.

Een kleine stroom regelt hier een grote, een soort versterker dus. Op deze manier kon een HF-stroom geschakeld of gemoduleerd worden.

In figuur 3b staat een frequentievermenigvuldiger. De transformator is uit twee delen met twee aparte kernen opgebouwd. De secundaire spoelen, die in serie zijn geschakeld, zijn voor de ingangsfrequentie in tegenfase geschakeld. Door de voormagnetiseringswikkelingen loopt een zodanige gelijkstroom dat de kernen verzadigd zijn, maar hun magnetisatie is precies tegengesteld. Door de in serie

geschakelde primaire wikkelingen loopt de hoogfrequente stroom.

De positieve helft van de HF-spanning versterkt het magnetisch veld H in de ene verzadigde kern; omdat die echter al verzadigd was, neemt de inductie B niet meer toe. In diens secundaire wordt dan dus ook geen spanning opgewekt. De negatieve helft verzwakt het totale veld in diezelfde kern juist, zodat de kern uit verzadiging gaat en B af-

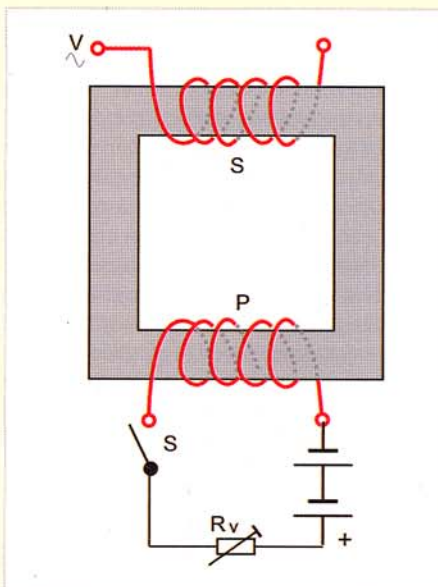


Fig. 3a De opbouw van een transducer. De wisselstroom door de bovenste spoel wordt geregeld door de kern meer en minder te magnetiseren met gelijkstroom door de onderste spoel.

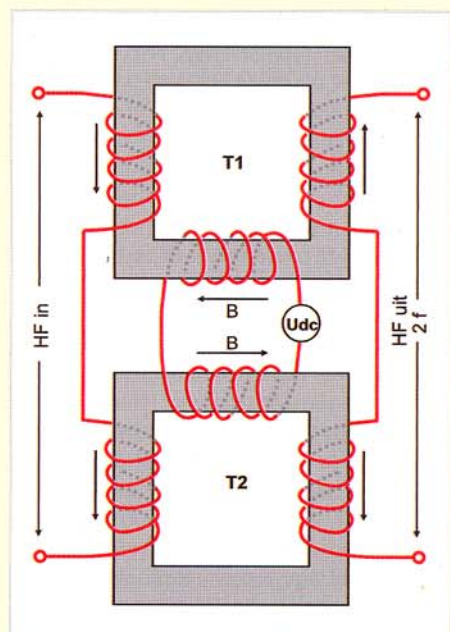


Fig. 3b Een magnetische frequentieverdubbelaar op basis van transducers. De secundaires van T1 en T2 staan voor de grondfrequentie in tegenfase.

neemt. Door het af- en weer toenemen van de inductie wordt in de secundaire dan een hele periode geïnduceerd.

In de andere kern gebeurt precies hetzelfde, echter steeds een halve periode van de ingangsfrequentie later. Door de in serie geschakelde secundaires resulteert een totale uitgangsspanning met de dubbele frequentie van de primaire spanning.

De laatste methode ten slotte voor het opwekken van hoogfrequent vermogen is door Poulsen en Pedersen rond 1902 ontwikkeld op basis van een verbeterde vonkbrug. In de loop van jaren is dat ontwerp proefondervindelijk steeds meer verbeterd. Men was op het idee gekomen door de ouderwetse koolspitslamp. Tussen twee koolspitsen wordt door een gelijkspanning een lichtboog, analoog aan die bij elektrisch lassen, in stand gehouden. Deze lichtboog werkt niet goed op wisselspanning, maar kon er wel mee worden gemoduleerd. Je krijgt dan een 'zingend plasma'. Poulsen ontdekte dat je met een lichtboog – net als bij de vonkzender met een trillingskring verbonden – hoogfrequente trillingen kon opwekken. Poulsen en Pedersen zorgden door gebruik te maken van een koolspits tegen koper, koeling, en een aantal trucs dat de plasmavonk stabiel en sterker werd, zodat het zendvermogen fors kon worden opgevoerd. Men gebruikte in de zogenaamde vlamkamer zelfs kerosine (hoe kom je op het idee?) en een magnetisch veld om het plasma te beheersen. Na een zendsessie moest dan wel alle roet worden weggehaald; een uiterst smerig karwei.

Het zal duidelijk zijn dat de HF-wisselstroommachine en de lichtboogzender beide nogal

grofstoffelijke en tamelijk primitieve ouderwetse 'elektronica' betreffen. De bediening had meer van doen met werktuigbouw en machinisten dan met radio. Het was wel een periode van trial en error, echt experimenterend op zoek naar innovatie die het verschil maakte. In Amerika werden tot 1915 behoorlijk zware lichtboogzenders voor de marine ontwikkeld met een vermogen tot 100 kW 'continuous wave' (CW), daarom werd morsetelegrafie 'interrupted continuous wave' (ICW) genoemd; een echt draaggolf-systeem dus. De zender werd gesleuteld door de belasting iets te variëren waardoor de frequentie wat verschoof (even afzetten was er niet bij). De telegrafietekens hadden dus een sein en contrasein. Figuur 1 toont een voorbeeld. Je treft het nog weleens aan bij bakenzenders, waarop je goed moet afstemmen om het juiste signaal te horen.

De Marconi vonkzenders waren veel kleiner, maar hadden daarbij ook nog maar een vermogen van maximaal een paar honderd watt. De bandbreedte van de uitgezonden signalen was vreselijk groot, en met het toenemende radioverkeer werd dat al snel een probleem. Marconi had de slag honderd jaar geleden eigenlijk al verloren. Toch bleven zijn vonkzenders tot zelfs na de Tweede Wereldoorlog nog als noodzenders voor schepen in gebruik. Met weinig onderdelen waren ze wel betrouwbaar en de signalen waren overal (tegelijk) hoorbaar. Ook de systemen van Poulsen en Alexanderson/Telefunken zouden binnen een tiental jaren de strijd met de radiolampen verliezen. Die werden steeds beter doordat men een beter vacuüm wist te maken. Dat werden steeds krachtiger radiobuizen voor de (langeafstands)communicatie op alle golflengten, die ook nog eens kilowatts konden opwekken

Sleutel neer: $f_n = \text{sein}$
Sleutel op: $f_0 = \text{contrasein}$



Fig. 1 Sein en contrasein. De lichtboogzender kan niet worden uitgeschakeld, daarom wordt de frequentie gesleuteld. Dit geeft dan naast het seinschrift ook een contrasein.

en tevens prima ontvangers mogelijk maakten. Zo goed en relatief goedkoop dat in die tijd ook de radio-omroep van de grond kwam.

Vanaf het begin speelde radio zich dus grotendeels af op het terrein van de lage frequenties en dus lange golven en grote antennes. Natuurlijk waren er ook hobbyisten met radio bezig. Spannend. Natuurlijk kopiëerden ze de sporadisch uitgelekte ontwerpen, maar dan alleen de vonkzenders en niet te ingewikkelde ontvangers. Of ze bedachten en maakten zelf iets. Voordat er enige vorm van omroep kwam moesten de amateurs ook luisteren naar en werken met telegrafie. Om het officiële verkeer niet dwars te zitten was er alle reden dat amateurs (vaak illegaal) maar op de korte(re) golven werkten. Altijd een beetje eigenwijs en er was daar niets te storen behalve een medeamateur. En die was al blij dat hij een ander hoorde.

Net voor de terugreis en de dood van dr. ir. C. J. de Groot, werd door zijn neef A. C. de Groot, een verwoed radioamateur, op Java het experimentele kortegolfsignaal van Philips op 30 meter golflengte ontvangen. Muziek, AM gemoduleerd. Ongelooflijk. Een signaal niet afkomstig van de officiële zender in Kootwijk. Dankzij de ionosfeer. Slechts een paar kilowatt. In 1902 had Heaviside (met Kennelly) al verondersteld dat er een reflecterende laag om de aarde was. Hij dacht dat daarmee de proeven van Marconi konden worden verklaard. Heaviside was ook een amateur, maar dan in de wetenschap. Hij was het die de theorie van Maxwell in een handzamer jasje stak (alhoewel het voor velen nog een onbegrijpelijke zaak bleef). In 1924 had Appleton met behulp van signalen van de BBC het bestaan van de ionosfeer aangetoond. De radiogeschiedenis kende in die tijd en ook later zowel grote wetenschappers als leken (en zakelijke avonturiers).

Het radiostation in Malabar

De Groot was een wetenschapper met amateurtrekjes. In zijn necrologie staat (in wat moderner Nederlands):
"We weten nu dat De Groot, zoals velen, als jongen radioknutselaar was in een andere betekenis dan die welke wij thans aan dit begrip verbinden. Zeker, deze aanleg heeft hem later goede diensten bewezen toen hij op zeer grote schaal moest knutselen om de grootste boogzender ter wereld te bouwen (2,4 MW), slechts met primitieve hulpmiddelen die hem in de van het moederland afgesloten koloniën ter beschikking stonden. De neiging tot knutselen, hoe nuttig ook, zou nooit tot succes hebben geleid wanneer De Groot niet tevens een grondige wetenschappelijke werker ware geweest, een consciëntieus waarnemer en scherp denker, die theoretisch de mogelijkheid der rechtstreekse radioverbinding zag en daardoor gesterkt het aandurfde de poging tot verwezenlijking zijner ideeën te doen."
De Groot had in Delft en Duitsland werktuigbouwkunde en elektrotechniek gestudeerd,

maar knutselde al zeer vroeg met de zeer prille radio. Tijdens zijn reizen en verblijf in Nederlands Oost-Indië had hij ontvangstproeven gedaan en was hij tot de conclusie gekomen dat een verbinding met Nederland mogelijk moest zijn. Hij raakte ervan overtuigd dat lange golven daartoe een geschikt medium vormden. Op zijn voornamelijk empirisch onderzoek promoveerde hij tijdens een verblijf in Nederland in 1916, en direct daarna begon hij terug op Java in 1917 met de opbouw van het beroemde radiostation Malabar. Hij had ontdekt en anderszins verondersteld, dat een groot vermogen en een speciale richtantenne geholpen door 'atmosferische werking' de grondslag voor een gedurige verbinding met Nederland zouden moeten vormen. Een goede antenne was toen ook al altijd het beste. De Groot was kennelijk ook een uitstekend organisator, want het was hem ondanks de oorlog ook gelukt alvast een Duitse machinezender (een HF-dynamo dus) plus ontvanger en onderdelen te regelen. Bovendien begon men op het thuisfront ook met de inrichting van het 'tegenstation'. De amateurwaarheid dat de ontvanger er altijd het eerste moet zijn had men ook in het moederland ter harte genomen. In het lege land bij Sambeek verrees een ontvangststation (het verhuisde later naar Meijndel en daarna naar Nederhorst den Berg). Als antenne gebruikte men hier onder meer een grote draaibare raamantenne. Nu zou men het een magnetic loop noemen.

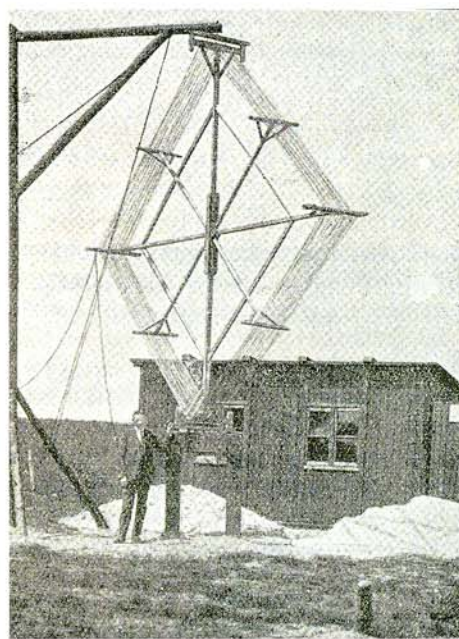


Foto 1 Raamantenne voor ontvangst te Sambeek (Corver: Het draadloos amateurstation)

Het zendstation zou komen in Kootwijk, maar door de oorlog en veel geharrewar kwam dat pas jaren later tot stand. Allerlei details over de totstandkoming zijn elders volop te vinden. In dit artikel beperk ik me voornamelijk tot enkele interessante details en technische eigenaardigheden. Op de koele hoogvlakte in de buurt van Bandoeng werd het radiostation letterlijk vanuit het oerwoud opgebouwd. Belangrijk voor de plaatskeuze was dat er tussen twee

bergtoppen een dal was, de Malabar-kloof, waarin de gigantische antenne werd opgehangen. De vijf steundraden van ongeveer 2 km lang en maximaal 900 m hoog droegen de meerdraadsantenne, die bestond uit non-ferrodraad van ruim 2 cm dik omwikkeld met koperlitzte. De antennelengte zal ook een paar kilometer zijn geweest. De hoogte van de antenedraden boven de grond verliep van 250 naar 750 meter. Later werd nog een tweede antenne opgehangen. De stralingsrichting was richting Nederland. De eigenbouwzender van De Groot werd een lichtboogzender van 2 tot 3 MW. De antenestroom bereikte waarden van meer dan 500 ampère. Het antennerendement werd geschat op meer dan 60%. Men had dus ook een goed aardnet geconstrueerd. Uitgaande van de vermelde cijfers vind je voor de stralingsweerstand van de antenne 4,8 Ω en voor de verliesweerstand 3,2 Ω. Tropisch onweer leidde af en toe tot ernstig malheur. De antenne-isolatoren waren berekend op spanningen van meer dan 150 kV. Toch was er regelmatig overslag ingeleid door bliksemontladingen. Ook de ontvanger op een apart ontvangststation werd steeds heviger gestoord door de veelvuldige tropische onweersbuien. Zeker in het begin gebruikte men voor de detectie van signalen van de vonkzenders nog 'primitieve' en kwetsbare elektromechanische en diodegelijkrichters zoals de ook al eerdergenoemde coherer. De ongedempte telegrafiesignalen van de machine- en lichtboogzenders moesten gedetecteerd worden met een extra (lamp)generator, een zwevingstoestel. Nu zouden we het een BFO noemen. Let wel: rond de eerste proeven waren radiolampen nog allerminst goed bruikbaar. Door verbeterd vacuüm kwamen de betere lampen pas volop beschikbaar ten tijde van de ontwikkeling van de communicatie tussen Nederland en Indië. De Groot heeft ook Telefunken ontvangers verbeterd en zelf ontvangers van voor die tijd uitstekende kwaliteit ontworpen en gemaakt. Hij stuurde zelfs een toestel naar Nederland voor het ontvangststation aldaar, omdat de ontwikkelingen in Nederland hem te langzaam gingen. Hoewel de golflengte van 15 km wel erg lang is, zouden diverse gebruikers van onze huidige langegolfbanden maar wat graag een vergelijkbare antenne-installatie bezitten. Zelfs zonder de megawatts van toen zou het prima werken! Ook had men toen volop de beschikking over het voor dergelijke frequenties betere litzedraad. Wat dacht je van een spoel gewikkeld met 17.000 draadjes van 0,1 mm in zijdeomspinning als spoeldraad? De lichtboogzender van De Groot was een geweldig monster. Het was de grootste in zijn soort. Hoe werkt zo'n machine, want daar lijkt het nog het meest op, nu eigenlijk? Er is immers geen enkel actief element aanwezig. In die tijd wist men het ook nog niet helemaal precies. Toen Poulsen en zijn kompaan Pedersen dit apparaat rond 1902 bedachten en ontwikkelden – De Groot bouwde erop

voort – had men eigenlijk geen volledig idee. Vandaar dat men ook maar proefondervindelijk op het prototype heeft voortgebouwd. Het schema, als je het tenminste zo kunt noemen, bouwtekening kan ook, is erg simpel. Wat je ziet en wat minimaal nodig is, is de eigenlijke boogvormer: twee elektroden waartussen met een regelbare gelijkstroom een vlamboog gemaakt kan worden. Deze elektroden zijn gekoppeld met de trillingskring. De regelbare weerstand en de smoorspoel zorgen ervoor dat de stroom geregeld kan worden en dat de HF-spanning niet in de voeding kan verdwijnen. De magneet en de veldspoelen zijn een verfijning, net zoals het gebruik van alcohol, kerosine of waterstofgas in de ruimte waarin de vlamboog wordt gevormd. Ook wordt een roterende en beweegbare koolelektrode samen met een gekoelde koperelektrode gebruikt. Trouwens de hele machine moest goed gekoeld worden. Als koelwater was er een vijvertje. De magneetspoel alleen al van Malabar woog ruim twintig ton. Kortom, het was nogal machinistenwerk. De werking van de boogzender berust min of meer op hetzelfde principe als dat van de bijzondere diode die door Esaki – geboren in

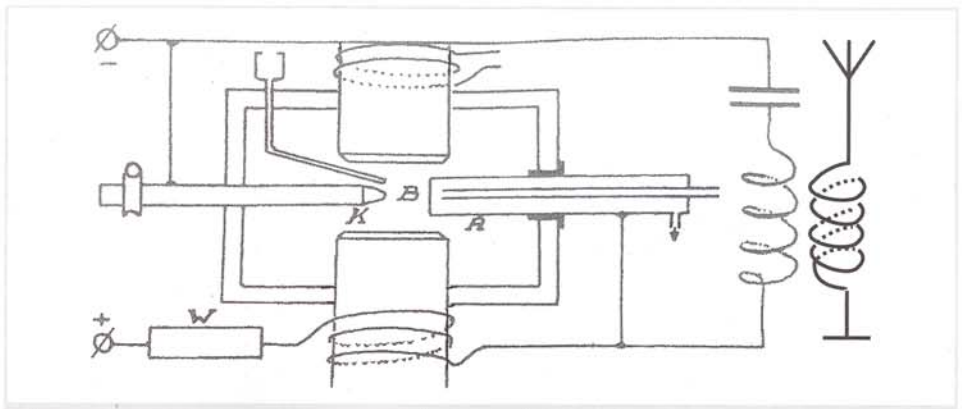


Fig. 2 Het schema van een lichtboogzender. Uit: K. Dijkstra, Radio Malabar [5] (deel 1, afb. 9)

1920, de hoogtijdagen van de machine van Malabar – in 1957 is ontwikkeld: negatieve weerstand. Esaki ontdekte en maakte zijn diode met goedvinden van zijn baas, Sony, die er nog geen toepassing voor zag. De Esaki-diode kennen we ook als tunneldiode (zie kadertekst), een passief halfgeleiderelement dat gebruikt kan worden om een oscillator te maken. De karakteristiek van zo'n diode staat in figuur 3. Ook de Gunn-diode, in 1962 ontdekt door de eigenwijze, tegen zijn bazen

ingående fysicus J. B. Gunn, is zo'n passief onderdeel waarmee behoorlijke vermogens tot 100 GHz kunnen worden gemaakt. Een gasontlading of vlamboog is niet meer dan een geweldige tunnel- of Gunn-diode. De oscillatorkring, behept met verliezen, wordt erdoor ontdempt, en aangestoten door de in het circuit opgewekte ruis. Bij de diode is dat maar betrekkelijk weinig, maar bij de geweldige vlamboog is er ruim vermogen voorhanden.

Tunneldiode

De tunneldiode is een PN-diode waarin zowel het P als het N-materiaal veel zwaarder gedoteerd wordt dan bij normale halfgeleiderdiodes. De verarmingslaag is dan extreem dun. Het gedrag van de diode vertoont daardoor merkwaardige eigenschap-

pen. Met een negatieve spanning vertoont de diode meteen al zenerdiodeachtige eigenschappen. In voorwaartse richting kun je de diodestroom denken als de som van twee bijdragen: een normale diodestroom en een zogenaamde tunnelstroom, die al begint voor de normale kniespanning van

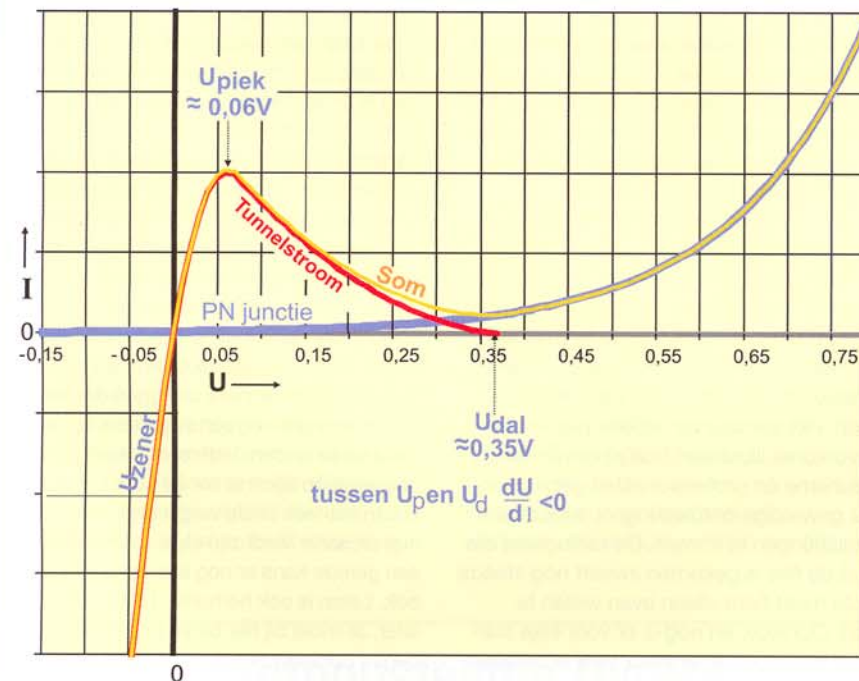


Fig. 4 De stroom door een tunneldiode in voorwaartse richting bestaat uit twee componenten: de tunnelstroom, die een maximum heeft bij ongeveer 0,06 V en daarna weer afneemt, en de stroom die we gewend zijn en gaat lopen vanaf ongeveer 0,6 volt. Er is er een minimum bij ca. 0,35 V. Tussen 0,06 en 0,35 V vertoont de diode hierdoor een negatieve wisselstroomweerstand, oftewel $dU/dI < 0$.

een gewone diode. Hierdoor is er in de karakteristiek een 'dip' tussen de zogenaamde piek- en dalspanning. Dat deel van de karakteristiek vertoont daarmee een 'negatieve differentiële weerstand'. Zie figuur 4. De momentele stroom neemt hier dus af als de momentele spanning toeneemt en omgekeerd; met andere woorden: de wisselstroomweerstand is negatief. Die tunnelstroom kan alleen kwantummechanisch worden verklaard. Het verschijnsel is al beschreven door kwantumfysici rond 1930. Alleen kon men toen de vereiste materialen nog helemaal niet maken. Ingesteld in het deel van de karakteristiek tussen de piek- en dalspanning kan de tunneldiode als uiterst snelle schakelaar worden gebruikt. Gecombineerd met een resonantiekring kan de diode ook als oscillator functioneren. De negatieve weerstand van de diode compenseert dan de verliezen die zich als normale (positieve) weerstand manifesteren. Een schema van zo'n oscillator is te zien in figuur 5.

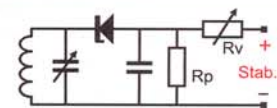


Fig. 5 Een oscillator op basis van een tunneldiode. Voor HF staat de diode parallel aan de afgestemde kring. Hierdoor wordt de verliesweerstand van de kring (meer dan) gecompenseerd. In plaats van een dempende uitslingering ontstaat hierdoor nu een aanzwellende oscillatie. Met R_v wordt de DC-spanning in het midden van de dalende curve gelegd.

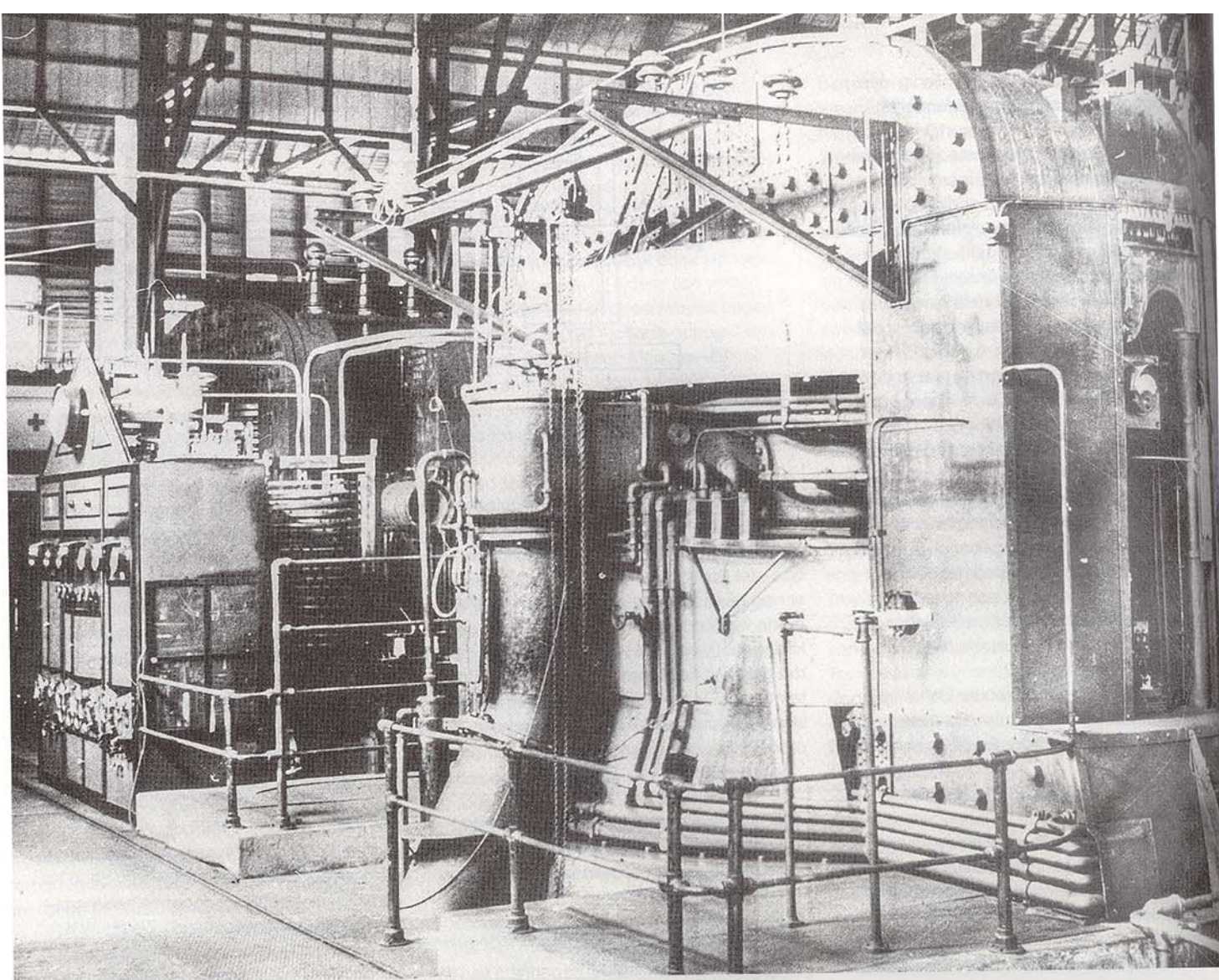


Foto 2 De boogzender bij Malabar. Hier moet je niet bij moeder de vrouw mee aankomen voor in de woonkamer. Uit: K. Dijkstra, Radio Malabar [5] (deel 1, foto 41)

Je zou zelf een eenvoudig proefje kunnen doen door een kleine boogzender te maken met een paar koolementen uit oude batterijen. Op internet vind je iets vergelijkbaars, maar dan met hoge spanning. Nooit doen! Levensgevaarlijk, weet de schrijver uit ervaring. Trouwens ook bij een lage spanning kan de boel gruwelijk heet worden [1]. Een heel veilige proef kun je doen met tl-buis of PL-lamp. Als die brandt is er een plasmaboog veilig opgeborgen in de glasbuis. Als je nog een ouderwetse radio hebt kun je daarop de opgewekte signalen horen als storing of een ruw toontje.

Hetzelfde effect, maar dan van een vonkzender, kun je ervaren door een ouderwetse deurbel met onderbreker te gebruiken. Een niet goed ontstoorde bromfiets of elektromotor geeft ook radiostoring. Nu zijn we vrijwel van dat soort storing waar de omroep vroeger mee behept was af. Plattelandsamateurs kennen de vonkzender als de krachtige stoorpulsen van de weide-afrastering. Overigens, onweer zorgt als grote vonkzender ook voor breedbandige en krachtige storing. Luister maar in de zomer met zijn buitjes en onbruikbare korte golf. In de periode van de radio waar het hier over gaat, werd meestal het meest eenvoudige ontvangertje gebruikt. Ook een afgestemde trillingskring met een gelijkrichtertje. Dat werkt nog steeds. Tegenwoordig hebben we wel een gewone of bijzondere diode bij de hand voor een dergelijk ontvangsttoestel-

letje. Enkele jaren geleden was er zelfs een bijna wereldwijd project om het ouderwetse kristalontvangertje helemaal te optimaliseren [2], en ook in *Electron* heeft een ontwerp gestaan dat zich kon meten met een autoradio [3]. Ook simpele ontwerpen zijn daar te vinden, zie bijv. [4].

Slot

De inleiding sluit met de constatering dat radio en amateurisme onrecht onder druk staan. Het lijkt immers of interesse en elan voor radio en wat erbij hoort wat zijn verdwenen. Het verhaal van enkele pioniers en hun avonturen illustreert hoe zij onvervaard amateurisme én professionaliteit gebruikten om tot geweldige ontdekkingen, successen en mislukkingen te komen. De radiogeest die toen uit de fles is gekomen zweeft nog steeds rond. Je moet hem alleen even weten te vangen. Opnieuw en nog is er voor elke startende of gevorderde amateur veel te beleven. Zonder zendmachtiging zou je zelf kunnen experimenteren met heel kleine zendertjes met een gekochte tunneldiode of mogelijk zelfs met een zelfgemaakt exemplaar. Op internet is het ook gelukt. Zelfs gewone huis-tuin-en-keukendiodes maken, met (via een internetshop) gekochte mineralen, is opnieuw ook heel goed te doen. Je moet een beetje inventief en handig zijn, net als de oude instrumentmakers, en het

is werkelijk een hele kick als het gelukt is met stukjes puur natuur iets te horen wat ergens ver weg is uitgezonden. Je hoeft geen geweldige monsterzenders te bouwen. Met een mini-transistorexemplaar maak je ook geweldige verbindingen. Er valt nog genoeg zelf te doen, opnieuw te ontdekken en te leren door wat te pionieren met ouderwetse radio. Helemaal onrecht dat onze hobby onder druk lijkt te staan. Natuurlijk weten de meeste lezers al wel dat alle radio leuk is. Maar wellicht kunnen ze dan nog eens uitdrukkelijker aan de twijfelers en alle beginners uitleggen dat het geen schande is om nog eens opnieuw te proberen radio uit te vinden. Iedereen beleeft alles dan nog eens op zijn manier. Je kunt het doen als volstrekte leek of als gevorderde. Het maakt niet uit; ieder vindt zijn eigen norm. En je loopt een gerede kans er nog iets van op te steken ook. Leren is ook herhalen. Leren is goed voor later. Je moet bij het begin beginnen. Vanaf nu begint opnieuw honderd jaar radio.

- [1] <http://www.sparkbangbuzz.com/els/arcosc-el.htm>
- [2] <http://www.crystalradio.net/> en ook <http://www.crystal-radio.eu/>
- [3] *Electron* september 2011 blz. 356
- [4] *Electron* februari 2016 blz. 56
- [5] <http://www.vederfonds.veron.nl/radiomalabar.htm>