

Werkstukhulp Radio

De telegraaf

Samuel Morse

Heinrich Herz

Frequentie en golflengten

Guglielmo Marconi

Golfgebieden

Lee DeForest en de rest

Radiocommunicatie en omroep

Radioamateurs en de korte golf

De radiokamer

Extra



een uitgave van de radiokamer op Aviodrome

2016

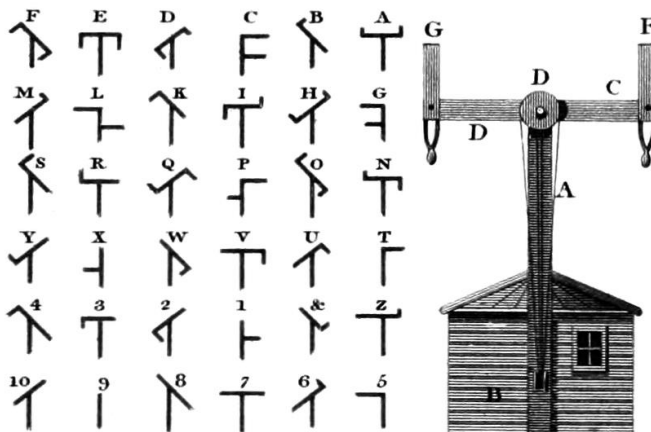
Werkstukhulp Radio

In 490 voor Christus hadden de Grieken het Perzische leger verslagen en dat blijde nieuws moest zo snel mogelijk naar de stad Athene worden gebracht. Een soldaat die hard kon lopen kwam na 42 kilometer zo uitgeput aan dat hij na zijn boodschap te hebben overgebracht, het leven liet. Die afstand wordt nog steeds gelopen en de besten lopen hem tegenwoordig in iets meer dan twee uur.

De Franse regering in Parijs wilde graag een manier hebben om boodschappen snel naar de marinehavens te kunnen sturen. Frankrijk was vaak in oorlog, dus een goed systeem zou wel erg handig zijn. Marathon lopers gaan niet zo snel. Nog geen 20 kilometer per uur. Nee dan het paard! Dat kon met een ruiter op zijn rug wel 40 kilometer per uur lopen en dat ook nog wel een tijdje volhouden. En tegen de tijd dat het paard moe was, gaf de rijder de boodschap over aan een volgende ruiter met "vers" paard. Ja, inderdaad, het lijkt op estafette! Maar even rekenen... De afstand van Parijs naar bijvoorbeeld Marseille, een belangrijke haven aan de Middellandse Zee, is zo'n 800 km. Dan zijn de estafette paarden toch nog 20 uur onderweg.

De telegraaf

"Dat kan beter", dachten Claude Chappe en zijn vier broers in 1792. Zij ontwikkelden een *optische telegraaf*. Telegraaf betekent: verschrijver. En optisch omdat je de tekens kon zien.



Hun systeem bestond uit een groot aantal torens met elk een wonderlijk stelsel van armen bovenop. Daarmee konden combinaties van verschillende standen gemaakt worden en elke combinatie was een letter of een cijfer. De afstand tussen twee van die torens was 12 tot 25 kilometer, dus het spreekt vanzelf dat je bijvoorbeeld tussen Parijs en Marseille heel veel torens nodig had. De afstand was zo groot dat je de volgende toren alleen

met een flinke verrekijker kon zien.

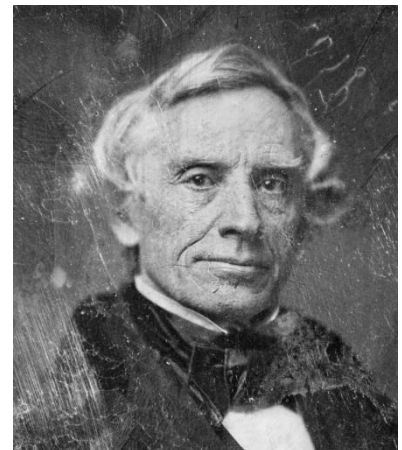
De boodschappen werden letter voor letter doorgegeven. Maar het ging sneller dan een bericht per paard. Er was echter wel een klein probleempje. 's Nachts werkt het niet.

Proeven met lampen aan de armen waren geen succes. Bij slecht weer of mist werkt het ook niet.

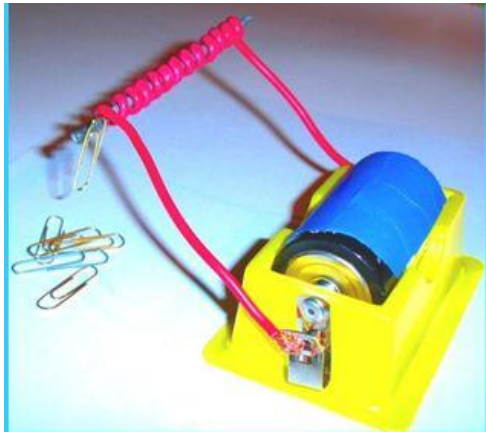
Toch was dit voor die tijd (rond het jaar 1800) een goed systeem en veel uitvinders hebben variaties op het idee van de gebroeders Chappe gebouwd. De Chappe telegraaf werd gebruikt tussen alle belangrijke Franse steden.

Samuel Morse

Samuel Morse was op reis toen zijn vrouw overleed. Zijn vader had hem dat in een brief geschreven en Morse probeerde zo snel mogelijk thuis te komen. Maar helaas was hij te laat en zijn vrouw was al begraven. Dat zette hem aan het denken over een manier om snel berichten over te brengen.



Hij had al het een en ander over elektriciteit gehoord en ook was hij erg geïnteresseerd in elektriciteit en magnetisme. Die twee hebben veel met elkaar te maken.



Als er een elektrische stroom door een draad loopt, ontstaat er een magnetisch veld. Je kunt dat zien aan het rechter plaatje. Alle kompas naalden wijzen in de richting van het magnetische veld, dat rond de draad aanwezig is.



Als je de draad om een stukje ijzer wikkelt (zie de linker foto), bijvoorbeeld een spijker, dan zie je dat de spijker door het magnetisch veld zelf ook magnetisch wordt. Hij trekt de paperclips, die ook van ijzer zijn, aan! Wat we hier hebben gemaakt is een *elektromagnetische spoel*.

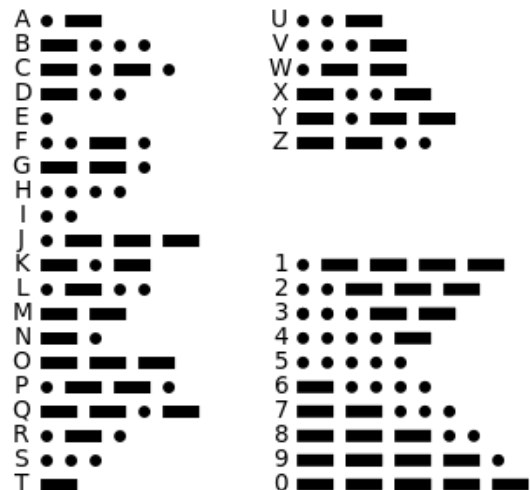
Met dat idee ging Samuel Morse aan het werk.

Als je de stroom naar de spoel steeds aan- en uitschakelt, zal hij ook steeds een stukje metaal wel en niet aantrekken. Zo zou een paperclip tikgeluidjes kunnen maken. Leuk bedacht, maar...

Morse had behoefte aan een soort taal, om letters over te brengen. En hij kwam op een geniaal idee. Hij gebruikte maar twee soorten tekens. Een kort teken, dat werd de *punt*. En een wat langer teken, dat werd het *streepje*. Voor de streep zette hij de stroom drie keer zo lang aan dan voor de punt.

Hij maakte combinaties van punten en strepen en dat deed hij niet zomaar. Letters die vaak voorkwamen kregen een "makkelijk" teken, zoals de letter **E**. Dat is slechts een punt.

De ruimte tussen twee tekens is drie punten lang en de ruimte tussen twee woorden is 7 punten lang.



Maar ja, hoe komen die tekens op een andere plaats?

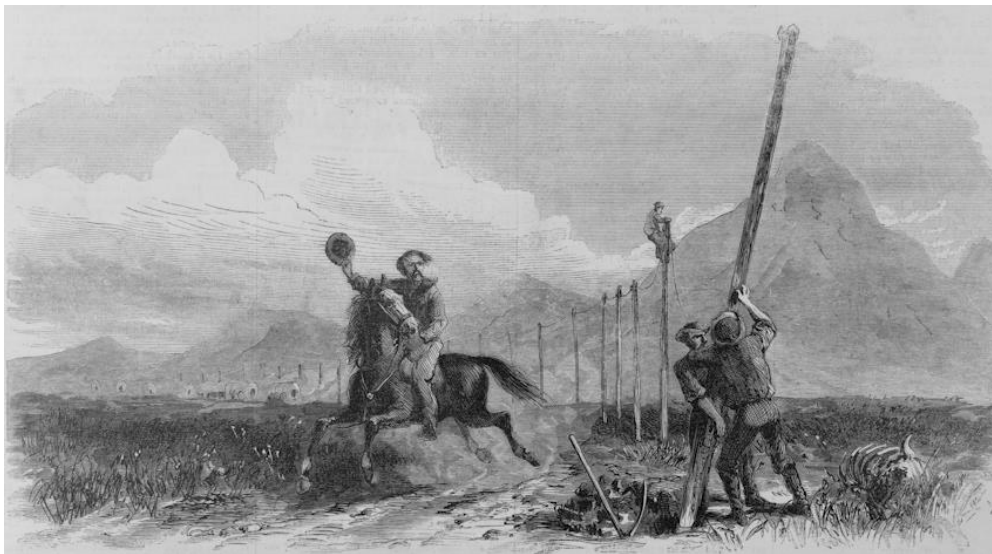
Kijk nog eens naar het plaatje met de paperclips. Als we de rode draden naar de spoel elk een kilometer lang zouden maken en iemand onderbreekt aan één kant van de batterij telkens de stroom, dan kun je op een kilometer afstand een paperclip tegen de spijker laten tikken. En kan het ook langer dan een kilometer? Jazeker, maar er komt een moment dat de *elektrische weerstand* van de telegraafdraden te groot wordt. Wat is weerstand? Elk metaal, of het nu koper, aluminium of ijzer is, houdt elektrische stroom een beetje tegen.

Wat je dan kunt doen is de spanning verhogen, dus meer batterijen nemen en die *in serie* te schakelen. Dus achter elkaar, zoals in die oude staafzaklantaarns. Of wel: meer volts!

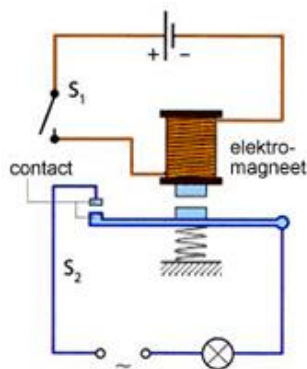
	
seinsleutel	telegraaf ontvanger met papierstrook

Morse deed het ook zo. Alleen was het niet zo handig om de elektrische stroom steeds met een draadje te onderbreken, dus gebruikte hij een aan/uitschakelaar en noemde die *seinsleutel*. En een tikkende paperclip is ook niet zo geweldig, dus hij bedacht een apparaat met een veermotor, een rol papier en een inktpen, zodat de ontvangen Morsetekens op een strook papier kwamen te staan.

Zijn eerste demonstratie hield hij in 1837 voor het Amerikaanse Congres. Daar zag men er eigenlijk niets in. Twee jaar later probeerde hij het opnieuw en nu kreeg hij 30.000 dollar om een telegraaflijn tussen de steden Washington en Baltimore aan te leggen, een afstand van zo'n 400 km. Dat werd een groot succes en daarna overspoelde de telegraaf Amerika, Europa en de rest van de wereld.



De tekening hierboven laat de aanleg van een telegraaflijn zien. De "Pony Express" om berichten door te geven, kon met pensioen.



Nu hebben we nog wel een probleem wat betreft heel grote afstanden. Morse kon wel steeds meer batterijen gebruiken, maar daar komt eens een einde aan. Daarom maakte hij gebruik van een *relais*. Dat is eigenlijk een elektromagneet die een schakelaar kan bedienen (zie links). Dit apparaat was al door een ander uitgevonden.

Op het moment dat de elektrische stroom nog juist groot genoeg is werd er een relais in de lijn geplaatst. De Morsetekens trokken het armpje van de schakelaar afwisselend aan en dat maakte telkens opnieuw contact (in een nieuw telegraaf circuit), zodat het

bericht weer een telegraafstation verder kwam. Dit werken met *relaisstations* was eindeloos te herhalen.

Natuurlijk probeerden anderen ook een elektrisch telegraafstelsel te maken. Men zocht vooral naar manieren om sneller te kunnen seinen en om meer letters tegelijk te kunnen verzenden. Uiteindelijk ontstond hieruit de *teleprinter*, die snel hele teksten op papier kon zetten. Internet heeft deze manier van werken inmiddels overbodig gemaakt. Maar let op, Morse komt dadelijk terug!

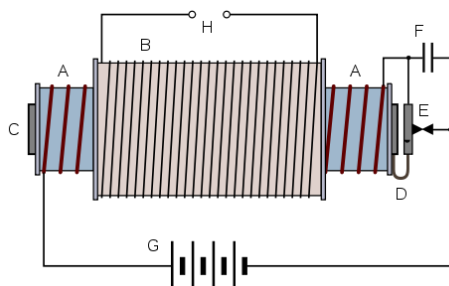
Heinrich Herz

Aan Heinrich Herz danken we eigenlijk de radio. Om hem daarvoor te bedanken gebruiken we zijn naam nog steeds als we over *frequenties* (of het *aantal trillingen per seconde*) spreken. Kilohertz, Megahertz, enz. Verderop lees je daar meer over.

De grote Schotse geleerde James Clerk Maxwell hield zich bezig met elektriciteit en magnetisme. Hij vermoedde dat elektromagnetische golven door de vrije ruimte konden bewegen, net als lichtgolven. Hij had nog niet de materialen om het idee te testen.

Heinrich Herz had dat inmiddels wel. Het belangrijkste onderdeel daarvoor was de *vonkinductor* of *Ruhmkorff spoel*. Daarmee kon je een heel hoge spanning produceren, tot wel 100.000 volt!

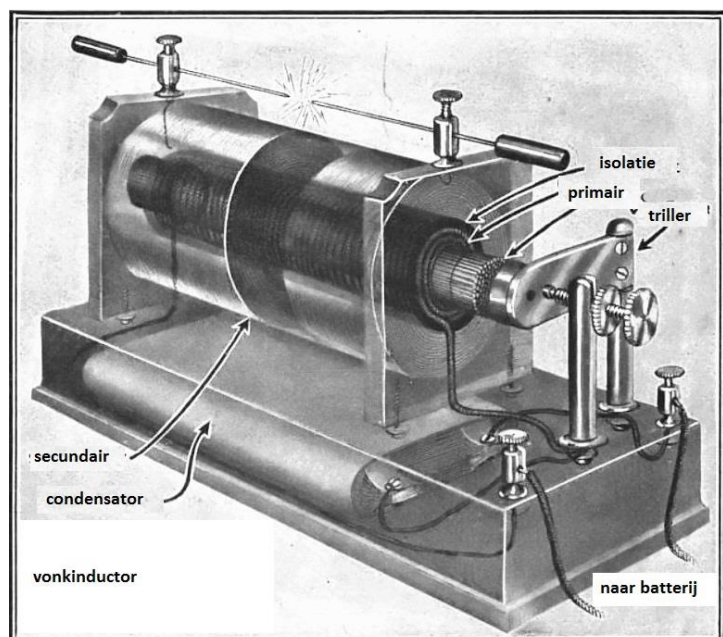
Hieronder staat het apparaat als elektrisch schema en hoe het apparaat is uitgevoerd:



wekt het magnetische veld een hoge spanning in spoel **B** op, omdat die spoel heel veel windingen van dun draad heeft. Het zou zo maar kunnen dat bij deze spoel in elke winding één volt opgewekt wordt. Bij 100.000 windingen is dat dan 100.000 volt. Het effect is, dat de spanning zo hoog wordt, dat hij wil overspringen van het ene uiteinde van de spoel naar de andere. In de tekening is dat punt **H**.

Als je niet één keer, maar voortdurend een hoge spanning wilt krijgen moet je wel heel vaak met de hand de elektrische stroom onderbreken. Dat kan beter. Als je goed kijkt zie je bij **E** een

Laten we eerst eens naar de blauwe spoel **A** kijken. Dat is eigenlijk een spijker met wat draad eromheen, net zoals je bovenaan blz. 3 al zag. Als je de elektrische stroom aan- en uitzet, wordt spoel **A** afwisselend wel en niet magnetisch. Dat wisselende magnetische veld heeft een effect in de roze spoel (**B**) die daar omheen is gewikkeld. Telkens als de elektrische stroom aan- en uitgaat,



plaatje dat wordt aangetrokken als de spoel **A** magnetisch wordt. Meteen wordt de stroom onderbroken. Maar dan valt het plaatje terug en krijg de spoel weer een elektrische stroom en alles begint van voren af aan. Zo kun je automatisch de stroom laten in- en uitschakelen. Misschien wel tot 2000 keer per seconde. Hetzelfde principe vind je in de ouderwetse elektrische bel. Eigenlijk is **E** een automatisch schakelaartje. Je ziet ook nog een apparaatje "**F**". Dat is een *condensator*. Die wordt bij "Extra" besproken. De condensator dient ervoor om te zorgen dat er geen vonken overspringen bij contact **E**. Vonken kunnen het contact inbranden en dat willen we niet. In de rechter tekening vind je alles nog eens terug: de binnenste *primaire* spoel, met de ijzeren kern (hier niet een spijker maar een bundeltje staafjes), de *secundaire* hoogspanningsspoel en de *triller*. Dat is eigenlijk het contact **E** uit het schema.

Om de primaire spoel te magnetiseren heb je een batterij nodig. In het schema is **G** het symbool van de batterij. Zo te zien zijn het dus 4 batterijen in serie. Dan krijg je $4 \times 1,5 = 6$ volt, als het om gewone batterijen gaat.

De vonkinductor werd tijdens experimenten met elektriciteit in 1836 door de Ierse priester Callan toevallig uitgevonden. In die tijd, en ook nog veel later, werden veel belangrijke zaken toevallig uitgevonden.

Die vonkinductor met zijn twee spoelen over elkaar komen we nog steeds elke dag tegen.



Elke benzinemotor moet met een vonk ontstoken worden. In een auto, brommer, grasmaaiër en sportvliegtuigje zitten nog steeds hoogspanningsspoelen. En de *transformator* die van 230 volt 12 volt maakt of de elektriciteitscentrale die de spanning met een grote transformator verhoogt tot 380.000 volt werken ook met een primaire en secundaire spoel.

Goed, Heinrich Herz had zo'n vonkinductor. Die gebruikte hij voor zijn experimenten. Zijn zender had een bijzondere antenne die uit twee staven koper van elk een meter bestond. Elke staaf had aan het eind een holle zinken bol. Je ziet dat in de foto hiernaast. Alle onderdelen staan op een steun en zijn geïsoleerd met glazen staafjes.

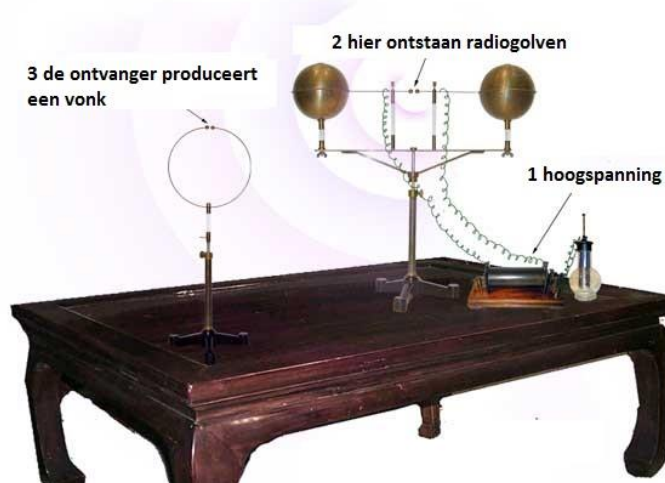
De bollen dienden om extra energie op te sparen.

Eigenlijk werken ze hier als condensatoren. Daarover kun je meer lezen bij "Extra".

Als Herz de vonkinductor aansloot, sprongen er steeds vonken over tussen de twee puntjes midden in de antenne. Hier ontstonden radiogolven. Zijn ontvanger bestond uit een cirkelvormige staaf van een meter met ook weer een opening tussen de uiteinden.

Telkens als er een vonk oversprong tussen de twee puntjes van de zender, sprong er ook een vonk over in zijn ontvanger.

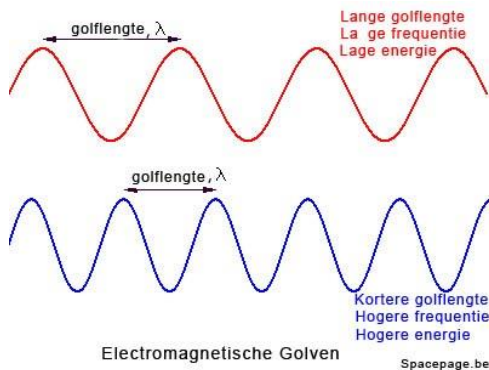
De radio was geboren!



Toen men hem eens vroeg wat het belang van zijn uitvinding was, zei Herz: "Niets, denk ik". "Ik heb alleen bewezen dat de grote Maxwell gelijk had". (En dan bedoelde Herz natuurlijk dat de voorspelling van Maxwell over het bestaan van radiogolven).

Het experiment van Herz produceerde radiogolven die we tegenwoordig UHF, of zeer *hoge frequentie* noemen.

Frequentie en golflengte



Het woord *frequentie* is nu gevallen. Tijd voor een verklaring, want die twee uitdrukkingen zijn heel belangrijk. Ze hebben namelijk direct met elkaar te maken. Radiogolven -en ook het licht- reizen met de *lichtsnelheid*. En dat gaat snel: 300.000 kilometer per seconde. In één seconde reizen radiogolven 7,5 maal om de aarde. En wat verder weg: in anderhalve seconde bereikt een radiosignaal vanaf de Aarde de Maan.

Frequentie betekent het aantal trillingen per seconde. Als een frequentie laag is, krijgt elke seconde dat het signaal onderweg is minder

trillingen te verwerken dan als de frequentie hoog is. Je ziet dat in de tekening hiernaast. De rode golflijn is een radiosignaal op een lage frequentie. Het aantal trillingen een bepaalde tijd is minder dan bij de blauw gekleurde hoge frequentie. Je ziet duidelijk dat er in dezelfde tijd veel meer golfbewegingen zijn. Je kunt ook zeggen dat bij de hoge (blauwe) frequentie de golflengte korter wordt.

Met een rekenmachientje kun je het zelf uitrekenen. We nemen bijvoorbeeld de middengolfzender op 1008 kiloHertz (1008 kHz) die bij Zeewolde staat.

De lichtsnelheid in kilometers per seconde deel je door het aantal kiloHertz en dan krijg je de golflengte in meters. Dus $300.000 : 1008 = 297,6$ meter. Dat is afgerond 298 meter, zoals het ook in de boeken staat.

Wat is het belangrijkste, frequentie of golflengte? Dat hangt er vanaf. Als je een radio of zender wilt bouwen is de frequentie belangrijk. Als je echter een antenne moet maken, is de golflengte belangrijk.

Hieronder zie je een frequentie overzichtje uit een heel oud Philips informatiepakket "Wij en de elektronica". 1000 kHz is hetzelfde is als 1 MHz (MegaHertz). En 1000 MHz is hetzelfde als 1 GHz (GigaHertz). En zo zie je maar weer, de naam van Heinrich Herz valt nog elke dag!

Golflengte	Golfgebied	Gebruikt voor	Frequentie
1000 m	lange golf	omroep	300 kHz
300 m	middengolf		1 MHz
100 m	korte golf	lucht- en scheepvaart	3 MHz
30 m	ultrakorte golf	wereldomroep	10 MHz
3 m	metergolven	televisie	100 MHz
30 cm	decimetergolven	radar	1000 MHz
3 cm	centimetergolven		10 000 MHz

1 MHz = 1000 kHz = 1 000 000 Hz

Guglielmo Marconi

Deze radiopionier werd in 1874 geboren. Zijn ouders waren rijk en zijn moeder kwam uit een Schots-Ierse familie van "Jameson" Whisky stokers. De kleine Guglielmo sprak al snel vloeiend Engels. Zijn moeder nam hem toen hij jong was vaak op leuke reisjes mee, maar van leren kwam daardoor niet veel. Dat kwam mooi uit, want daar had hij toch geen zin in! Op zeker moment kreeg hij een eigen leraar en uiteindelijk kwam hij op een technisch instituut in aanraking met natuurkunde. Dat was wat hij zocht! Enthousiast begon hij te experimenteren. Zijn vader zag er niet veel in.

De jonge Marconi kreeg boeken in handen waarin de experimenten van Herz beschreven waren. Herz zag zelf niets in het nut van zijn experimenten, maar de jonge Marconi dacht meteen aan een middel om communicatie op te zetten. Herz was een wetenschapper Marconi niet. Dat betekende dat Marconi veel moest experimenteren om resultaten te krijgen. En als je een beetje geluk hebt ontdek je ook toevallig allerlei belangrijke zaken. Dat kon vroeger nog. Tegenwoordig heb je echt de wetenschap nodig om iets nieuws te ontdekken.



Marconi herhaalde de proef die Herz ook al had gedaan. Hij kwam tot afstanden van een paar meter. Zijn ontvanger was eigenlijk te zwak. Gelukkig hebben mensen die veel experimenteren ook vaak in de gaten dat uitvindingen van anderen, waar nog geen toepassing voor is, soms heel goed te gebruiken zijn. Zo iets was de *coherer* van de Engelse Oliver Lodge. Dit is een buisje dat gevuld is met heel fijn ijzervijlsel. De elektrische weerstand van dat ijzervijlsel is in normale toestand hoog, maar als er een signaal met hoge frequentie op de uiteinden van het buisje wordt aangesloten, pakken de deeltjes zich samen en wordt de weerstand laag. Op dat moment zou je met behulp van een batterij en een elektrische bel kunnen laten rinkelen. Dat deed Marconi dan ook.

Een nadeel van dit apparaat is, dat je het ijzervijlsel eerst weer "los" moest tikken om dit effect te kunnen herhalen. Dit hoefde je niet met een vinger te doen. Het kon ook met een elektromagneetje en een klein hamertje, zoals in de foto boven.

Marconi experimenteerde ook weer met de vulling van de coherer. Hij ontdekte dat je het best een mengsel van de metalen nikkel en zilver kon gebruiken. Eigenlijk wist niemand nog hoe die coherer precies werkte. We moeten eigenlijk groot respect hebben voor Marconi, die eindeloos bleef experimenteren. Hij gaf nooit op.

Inmiddels moest hij zijn proeven al in de tuin doen. Zo groot was het bereik van zijn ontvanger geworden. De golflengte waarop zijn apparatuur werkte was ongeveer een meter. Hij wilde een grotere golflengte bereiken. Omdat hij een zelfde soort antenne als Herz gebruikte, maakte hij aan het einde van elke staaf een groot stuk staalplaat vast. Daarmee dacht hij de een grotere golflengte te krijgen. Op een dag zette hij de antenne met een plaat op de grond neer. En dat had een bijzonder effect, want het ontvangen signaal was opeens veel sterker, omdat hij een kant van de antenne met de aarde verbonden had.

Weer een toevallige ontdekking! Nu is dit heel gewoon geworden bij zenders en radio's. Zenders zijn aan een kant met de aarde verbonden (vaak via een netwerk van koperen draden onder de grond) en aan de andere kant met de antenne. En bij de radio ontvanger werkte het net zo. Zie daarvoor ook "Extra".

Nu kwam Marconi al tot een afstand van een kilometer. Hij moest zijn broer vragen om bij de ontvanger te staan en als Alfonso iets hoorde moest hij met zijn zakdoek zwaaien.

Op zekere dag werd de ontvanger achter een heuvel geplaatst. De zender en ontvanger konden elkaar niet meer “zien”. Met het afschieten van een jachtgeweer liet Alfonso weten dat hij ook nu de signalen van Marconi ontvangen had, op ruim twee kilometer afstand.

De familie Marconi vond het nu eens tijd worden dat Guglielmo wat met zijn uitvinding ging doen. De Italiaanse post en telegraaf organisatie had geen interesse. De familie nam helaas geen contact op met de Italiaanse marine. Die had waarschijnlijk wel interesse gehad in de uitvinding. Zijn moeder nam hem toen mee naar Engeland.

Daar werden de proeven voortgezet. Daar was weer van alles te ontdekken. Hoe maak je de zender steeds sterker, wat is de beste vorm van de antenne, enzovoort. De antenne moest ook het liefst hoog zijn. Ballonnen en vliegers werden gebruikt om dit te bereiken



Marconi vlak nadat hij in 1896 in Engeland aankwam.

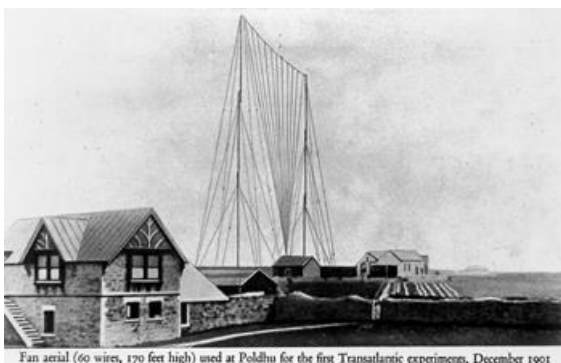
Marconi gaf veel demonstraties, schakelde zijn technische Engelse neef in en trok mensen aan om zijn apparatuur te verkopen.

De eerste zend- en ontvangapparatuur werd voor de scheepvaart gebruikt. Toen er meer zenders in de lucht kwamen bleken die elkaar te storen. Hun signaal was over een groot *frequentiegebied* te horen.

Misschien heb je wel eens meegemaakt dat een voorbij rijdend brommertje of scootertje, of een oude stofzuiger op de radio stoort. En het maakt dan niet uit op welke frequentie je de radio afstemt, het blijft storen. Dat deden die vonkzenders uit de begintijd ook.



Vergelijk het met de A2 snelweg bij Abcoude. Als een chauffeur van de linker naar de rechter rijbaan slingert en dan weer terug, heeft iedereen er last van en kan er ook nog eens weinig verkeer langs die weg. Als iedereen keurig in zijn eigen baanvak blijft rijden, heb je geen last van elkaar en kunnen er veel meer auto's langs die weg rijden.



De oplossing vond Marconi in het *afstemmen* van zender en ontvanger. Als elke zender op

een eigen frequentie zou werken dan konden ze elkaar niet meer storen, ook niet als ze vlak bij elkaar stonden. En uiteraard moest je de ontvangers dan ook afstemmen, zodat ze niet allerlei signalen door elkaar zouden ontvangen. Dit was een goed idee en zo gaat het vandaag de dag nog steeds. Marconi vergrootte de afstand steeds meer. Van Engeland naar de Franse kust en nog grotere afstanden. In 1901 overbrugde hij zelfs de Atlantische oceaan, met de zender in Poldhu (Cornwall, Engeland) en de ontvanger in New Foundland (Canada). Daar gebruikten ze een vlieger om de antenne omhoog te krijgen. De storm had hun vaste antenne vernield. De zender zond de Morse letter **S** uit: ...

Marconi durfde geen morsetekens met de langere streepjes te gebruiken, omdat hij bang was dat de zender hierdoor zou kunnen beschadigen. Het spreekt vanzelf dat de vonkinductor al niet meer werd gebruikt. Die was inmiddels al vervangen door een grote elektrische *hoogfrequent* generator met een vermogen van 25 kW (kiloWatt). De frequentie van die generatoren was veel hoger dan de 50 Hz die bij de elektriciteitscentrale van Nuon wordt opgewekt. Zo rond de 15 kHz, waarschijnlijk.

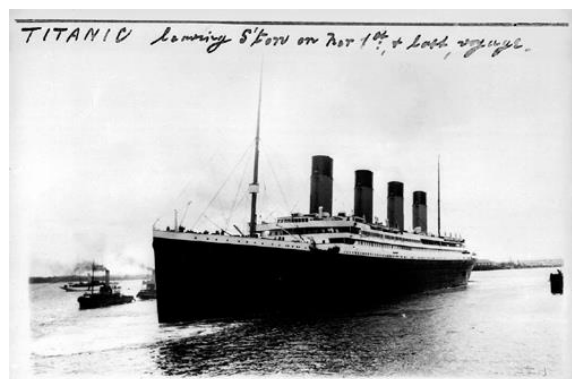
Dit experiment had de hele wereld overtuigd en Marconi had bewezen dat de lange golven die hij gebruikte wel degelijk verder dan de horizon kwamen en zich zelfs rond de aarde kromden. De afstand tussen beide zenders was maar liefst 3200 km.

De Engelse marine kocht de apparatuur en voor de koopvaardij leverde Marconi complete installaties met iemand die de apparatuur kon bedienen: de *marconist*. En die marconist gebruikte net als Marconi tijdens zijn talloze proeven het Morse alfabet. De draadloze telegraaf had een grote toekomst! Inmiddels was die lastige coherer vervangen door een betere detector en de morsesenen werden op een telegraafontvanger met papierstrook vastgelegd.

Draadloos betekende dat je niet meer afhankelijk was van een vaste plek op de aarde. De radiogolven konden in principe overal komen. Jij gebruikt nog steeds “draadloos” als je zit te “whatsappen” bij McDonalds.

Ondanks dat Marconi geen wetenschapper was, kreeg hij in 1909 de Nobelprijs voor natuurkunde, samen met de Duitse natuurkundige Braun, die het bereik van zijn zender had vergroot.

In 1912 kreeg de radio grote belangstelling door de ramp met de Titanic. Het schip had een radio-installatie aan boord en de bemanning zond een SOS uit (... --- ...). Dat werd wel door de “Carpathia” ontvangen, een passagiersschip dat nog uren varen van de Titanic verwijderd was, maar helaas niet door het schip dat redelijk dichtbij voer. De enige marconist aan boord was net gaan slapen... De Carpathia kon zo’n 700 mensen redden, maar voor de overige 2200 was het te laat.

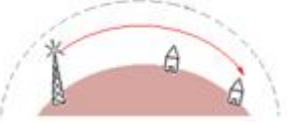
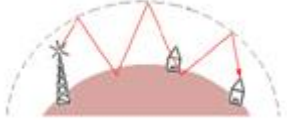
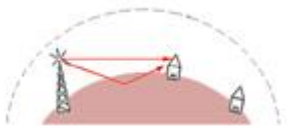


Later kocht Marconi een luxe schip, de “Elettra” waarop hij experimenten kon doen. Hij ontdekte dat je radiobundels met een speciale antenne kon richten en dat de zender in Poldhu op een reis af en toe goed te ontvangen was en dan weer niet. Op 4000 km afstand werd het signaal heel sterk ontvangen. Zelfs toen hij vroeg om het vermogen van de zender te verkleinen tot maar 1 kW (kiloWatt). Al snel bleek dat Poldhu ’s nachts goed te ontvangen was in Noord-Amerika en op bepaalde uren ook in Australië. Dit was een belangrijke ontdekking waarnaar nog heel veel onderzoek zou gaan plaatsvinden.

Toen Guglielmo Marconi in 1937 overleed, zwegen alle radiostations op de wereld twee minuten, om hem te herdenken.

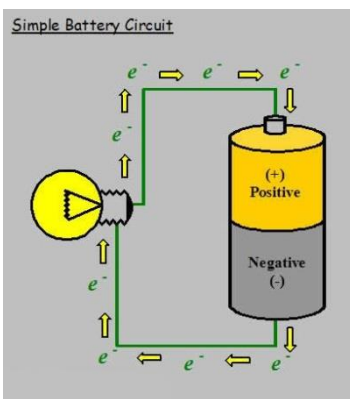
Golfgebieden

Marconi ontdekte tijdens zijn vele proeven een paar belangrijke zaken. Lange golven kwamen heel ver, maar korte golven kwamen in sommige situaties nog veel verder. En dat kon eigenlijk niet. Na onderzoek bleek dat er bovenin de atmosfeer lagen zijn die radiogolven kunnen weerkaatsen. Dat heet de *ionosfeer*. Helaas is dat effect op elk moment van de dag anders, waardoor men voortdurend van frequente moet wisselen, om contact te houden tussen zenders en ontvangers. Hieronder zie je een overzicht van de diverse golfgebieden.

toepassing	eigenschappen	golfgebied
 radio controlled klok		Lange golf (30 – 300 kHz)
 radio	zit tussen lange golf en korte golf in.	Middengolf (300kHz – 3 MHz)
 korte golf radio		Korte golf (3MHz – 30MHz)
 televisie		VHF (30 MHz – 300 MHz) UHF 300 (MHz – 3 GHz)
 radar	als televisiegolven	Radar ($\pm$ 1 GHz – 10 GHz)

Lange golven volgen het oppervlak van de aarde. Men noemt het ook wel *grondgolven*. Korte golven weerkaatsen tegen de ionosfeer en nog kortere golven willen alleen in een rechte lijn vooruit. Dit is het geval bij televisie- en FM radiozenders en bij radar. Die komen nauwelijks voorbij de horizon. Vandaar dat de televisiemast bij IJsselstein zo hoog is. En die televisiesignalen verdwijnen uiteindelijk in de ruimte.

Lee DeForest en de rest

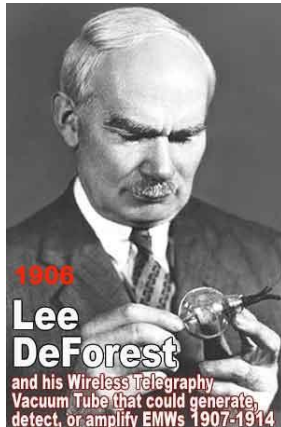


Iedereen weet dat een batterij een plus heeft en een min. Dat stamt nog uit de tijd dat we dachten dat elektrische stroom van plus (veel stroom) naar min (weinig stroom) zou lopen. Net zoals het water in een rivier. En we voelen ons daar nog steeds erg prettig bij, want alle schakelaartjes in een auto schakelen de plus in en uit.

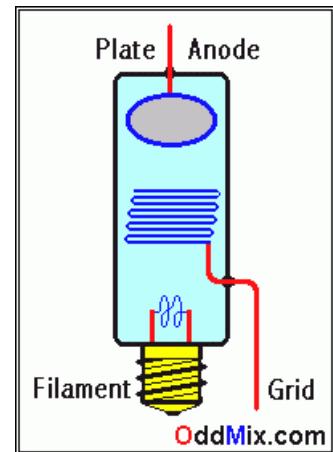
Maar in werkelijkheid bestaat elektrische stroom uit het bewegen van *elektronen*. Dat zijn heel kleine *negatief geladen deeltjes*. Die elektronen gaan precies de andere kant op dan "stroom". Elektronen gaan van de negatieve pool van een batterij naar de

positieve pool. Weinig elektronen betekent een kleine stroom en veel elektronen een grote stroom.

Uitvinder van de gloeilamp Edison ontdekte een wonderlijk effect, dat twintig jaar later door de wetenschapper Fleming werd verklaard. Je kunt elektronen één kant laten opgaan. Dit werd bereikt met de Edison-Fleming *diode*. Wat was het geval? De elektronen stroomden van de gloeidraad naar een kokertje dat om de gloeidraad was geplaatst. Alleen van de gloeidraad naar het kokertje en niet andersom. Dit is een "elektronen eenrichtingsweg". Tja, wat heb je hier aan? Nou, je kunt deze diode gebruiken in plaats van de onhandige coherer met zijn ijzervijzel. Maar je kunt ook wisselstroom gelijkrichten tot gelijkstroom om bijvoorbeeld een accu te laden.

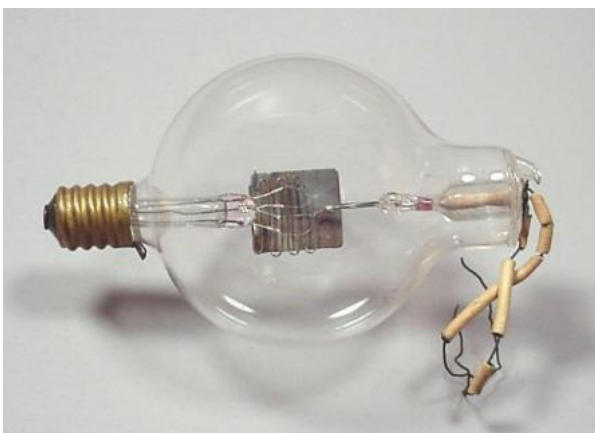


De Amerikaan Lee DeForest deed iets heel belangrijks met deze diode. Hij plaatste tussen de gloeidraad en het kokertje een stukje draad dat hij "rooster" noemde. In de tekening hiernaast zie je boven de gloeidraad, in het midden het rooster ("grid") en het kokertje, dat DeForest vervangen heeft door een metalen plaatje. De naam *anode* wordt hiervoor gebruikt.



Als je nu de gloeidraad verbond met een negatieve pool van een spanning van bijvoorbeeld 80 volt, en de anode met de

positieve pool, dan ging er een elektronenstroom lopen van de gloeidraad naar de anode. Door daar een rooster tussen te plaatsen kon hij die stroom regelen. Als hij het rooster ook verbond met de negatieve pool, dan werd de elektronenstroom al een stuk kleiner. Als hij



met een batterij van 6 volt het rooster zo verbond dat het nog negatiever werd dan de gloeidraad, dan stopte de elektronenstroom helemaal. De gloeidraad die verbonden was met de negatieve pool van de batterij heeft ook nog een wetenschappelijke naam: *kathode*.

Hiernaast is de elektronenbuis van Lee DeForest te zien.

Je kon deze elektronenbuis dus als schakelaar gebruiken. Maar als je een kleine variërende spanning op het rooster zette zorgde dat ervoor dat de elektronenstroom

flink ging variëren. Deze uitvinding was enorm belangrijk. Je kon nu zwakke radiosignalen versterken en je kon zwakke geluiden van een microfoon zo versterken dat ze duidelijk door een luidspreker te horen waren.

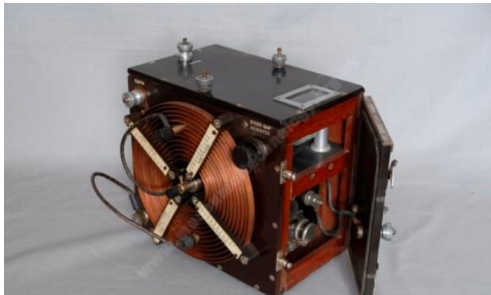
In de juiste elektronische schakeling kun je een elektronenbuis een bepaalde hoge frequentie laten opwekken. Andere elektronenbuizen kunnen deze frequentie weer versterken tot uiteindelijk zeer sterke zenders.

Het is belangrijk te weten dat die elektronen niet hoeven te stromen. Ze kunnen ook stilstaan. Als je in de winter je trui uittrekt, geeft dat soms een schokje. Je trui was dan door bewegingen en droge lucht opgeladen. Dit heet *statische elektriciteit*. Tijdens het uittrekken wordt de spanning zo hoog dat er vonkjes kunnen overspringen. Dit soort ladingen komt terug bij "Extra". Daar gaat het over de *condensator*.

Op <http://www.hansonline.eu/leerlink/radio.htm> kun je diverse condensatoren zien.

Radiocommunicatie en omroep

Je hebt bij het gedeelte over Guglielmo Marconi al gelezen dat schepen radio-installaties kregen en in geval van nood contact konden maken met het vasteland. Maar het werd ook gebruikt om weerberichten te kunnen ontvangen, of zelfs weerkundige metingen naar het vasteland over te seinen. Op passagiersschepen bleven de gasten op de hoogte van het nieuws door de berichten die de marconisten ontvingen. Die werden dan in de scheepskrant geplaatst.

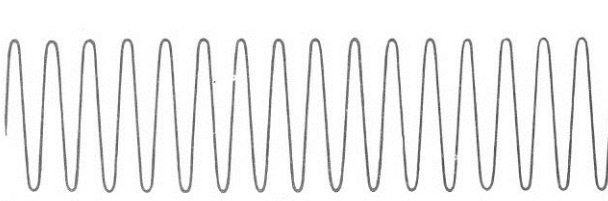


In de Eerste Wereldoorlog hadden verkenningsvliegtuigen al een kleine *vonkzender* aan boord (zie links) waarmee de piloten in morse konden doorgeven waar de granaten uit de kanonnen terecht waren gekomen.

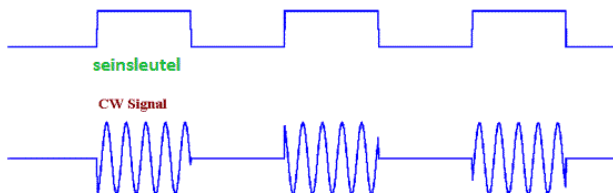
Niet zolang daarna kwamen de modernere zenders met elektronenbuizen. Morse zou nog heel lang gebruikt worden, maar in de jaren '20 van de vorige eeuw kwam de radiotelefonie. Spreken ging nu eenmaal sneller dan het seinen in morse. Radiotelefonie was erg handig in de buurt van vliegvelden. Als de afstand vanaf de luchthaven echter wat groter werd, schakelden de telegrafisten al snel over op morse, omdat deze seinen over een veel grotere afstand goed te "verstaan" zijn. Radiotelefonie was door bijvoorbeeld weersomstandigheden, zoals onweer, niet altijd goed te verstaan. Het signaal werd snel gestoord. In de jaren '30 van de vorige eeuw kwam de VHF apparatuur, die veel minder last had van storen.

Bij radiotelefonie zoals je hierboven kunt lezen, breng je via een zender en ontvanger een stem over. Dat werkt heel anders dan het overseinen van morsetekens.

Een zender zoals de radioamateurs voor morsetekens gebruiken zendt een *draaggolf* uit:

		
een draaggolf heeft een <i>sinus</i> vorm		voor het gemak wordt die sinus vaak een beetje in elkaar gedrukt in tekeningen

Wat er gebeurt met het signaal als een radioamateur morsetekens uitzendt is dit:



Hij zet de draaggolf van de zender eigenlijk aan en uit door op de seinsleutel te drukken. Telkens als hij een punt of streep zendt, staat de zender even aan en dan levert hij het volle vermogen. Als hij niets seint, wordt er ook niets uitgezonden. Dit levert een krachtig signaal op, waarmee zelfs een 5 Watt korte golf zender aan de andere kant van de wereld te ontvangen is. Tenminste, als de omstandigheden goed zijn. Deze manier van uitzenden heet

CW (van *Continuous Wave*). Via een voorziening in de ontvanger zijn die momenten dat de zender aanstaat, als morse fluittoontjes te horen.

Radiotelefonie begon al in 1900 en de Amerikaanse uitvinder en ingenieur Reginald Fessenden speelde daarin een belangrijke rol. Hij had al radiotelegrafie stations gebouwd en enkele van zijn marconisten hadden wel eens menselijke stemmen gehoord tussen de morsesenen door. Alweer een toevallige ontdekking! Fessenden zocht het uit en nog in hetzelfde jaar kon hij een paar zinnen door een zender sturen. De kwaliteit was echter nog heel slecht.

Hij bedacht al snel een manier om geluiden met betere kwaliteit uit te zenden. Hoewel hij nog machines gebruikte om de radiogolven op te wekken ontdekte hij wel een manier om dat geluid met het radiosignaal mee te sturen.

Hieronder kun je lezen hoe je een geluid kunt uitzenden.

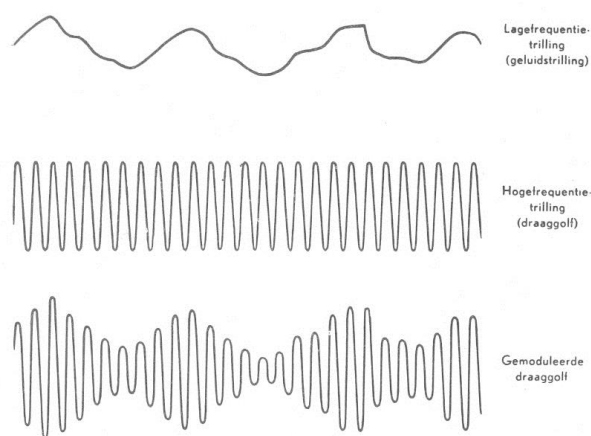


Fig. 9. Het moduleren van de draaggolf.

Een geluid heeft twee belangrijke kenmerken.

- ten eerste de *toonhoogte*
- en ten tweede de *geluidssterkte*.

De tekening hiernaast laat bovenaan zien hoe de sterkte (of *amplitude*) van een geluid kan variëren.

Door dat te mengen met de draaggolf (midden) krijg je een *gemoduleerde draaggolf* (onder).

Dit heet *amplitude modulatie*.

“Ja maar”, vraag je je misschien af, “Hoe komt de frequentie van het geluid dan goed over?” Het antwoord is eenvoudig, dat mengt zich gewoon met de frequentie

van de draaggolf. Als je een hoge toon van 2 kHz (2000 trillingen per seconde) zou fluiten en de draaggolf is 1000 kHz, dan varieert de frequentie van die draaggolf van 998 tot 1002 kHz. Daar heb je dus de frequentie! Een ontvanger haalt dat er weer keurig uit. Middengolf zenders hebben een maximum *audio* bereik van 4,5 kHz. Voor spraak prima, maar voor muziek wat matig. Maar dat interesseerde mij niet toen ik 60 jaar geleden naar Elvis Presley luisterde op Radio Luxemburg!

Wat je ook meteen ziet aan de gemoduleerde draaggolf hierboven, is het zwakke signaal bij zachte geluiden. Zelden haalt de zender haar volle vermogen. Als je naar 's avonds naar een middengolf- of kortegolfzender luistert merk je dat bij zachte geluiden zoals een gesprek storing door andere zenders opvalt. Bij muziek heb je er doorgaans minder last van. Vanwege de gevoeligheid voor storing en het beperkte bereik in toonhoogte werd na de Tweede Wereldoorlog FM radio (van *frequentie modulatie*) ingevoerd. En dat gebruiken we nog steeds, maar het digitale DAB+ zal daar in de toekomst ook wel weer een einde aan maken...

Maar nog even terug naar Reginald Fessenden. Hij heeft naar eigen zeggen op kerstavond 1906 voor het eerst spraak uitgezonden en een grammofoonplaat afgespeeld voor de microfoon. Men kon dit op veel plaatsen horen. Dit was de eerste radio-uitzending en de marconisten vonden het maar een raar idee, iets uitzenden voor een grote groep luisteraars. Ze waren immers gewend dat een radioverbinding altijd tussen twee personen gemaakt werd. Er zijn echter geen getuigen meer die kunnen bevestigen dat Fessenden deze uitzending inderdaad heeft gemaakt.

Even een tip...

Radio-uitzendingen op de midden- en korte golf gaan in snel tempo verdwijnen en FM radio gaat snel vervangen worden door het digitale DAB+. Dus als je "voor later" dat geluid wilt onthouden, luister dan nog eens, voordat het nooit meer kan!

Of je moet natuurlijk radioamateur worden, want die oudere technieken blijven gebruikt worden.



Wie zeker radio-uitzendingen heeft verzorgd was de Nederlander Idzerda. Van 1919 tot 1925 heeft hij op eigen kosten radio-uitzendingen met spraak en muziek verzorgd vanuit zijn fabriekspand in Den Haag. Zijn zender had als "call" PCGG. Die uitzendingen werden tot in Engeland ontvangen. Hij kondigde de programma's altijd in de krant aan. Dat was de voorloper van de radiogids. Idzerda bouwde in zijn fabriek ook "radio ontvang toestellen". Toen hij stopte met zijn uitzendingen kwamen de eerste radioverenigingen zoals VARA,

AVRO, VPRO, NCRV en KRO.

De Nederlandse Seintoestellen Fabriek (NSF) bouwde vanaf 1918 "radio ontvangtoestellen" voor het publiek (en ook zenders en ontvangers voor de marine e.d.).

De Philipsfabrieken zagen eerst niet veel in deze radio-uitzendingen, maar al snel werd het toch heel belangrijk voor de fabriek. Hiernaast zie je een radio uit het modeljaar 1927-1928.

Links op het plaatje zie je de gelijkrichter voor het apparaat, in het midden de eigenlijke radio en rechts de luidspreker die van het mooie bakeliet is gemaakt.

Sommige mensen hebben als hobby het verzamelen van oude radio's.

En geef ze eens ongelijk!



Radioamateurs en de korte golf

De belangrijkste communicatie vond aan het begin van de twintigste eeuw vooral plaats op de lange en zeer lange golven. Kortere golven waren eigenlijk nutteloos. Die mochten de radioamateurs gebruiken. En die ontdekten al snel wat Marconi ook al had ontdekt: je kunt soms heel grote afstanden overbruggen met de korte golf. In december 1921 maakten Europese radioamateurs al contact met Amerikaanse amateurs op de 200 meter golflengte (1500 kHz). Kortere golflengten mochten ze eigenlijk niet gebruiken, maar er werd ook niet streng op gelet. De korte golf werd heel populair en de radioamateurs hebben hierin een heel belangrijke rol gespeeld. Het onderzoek door amateurs werd zo belangrijk gevonden dat ze speciale banden kregen toegewezen op 80 m, 40 m, 20 m en later ook de 15 en 10 meter band. (En deze meters staan natuurlijk voor de golflengte).

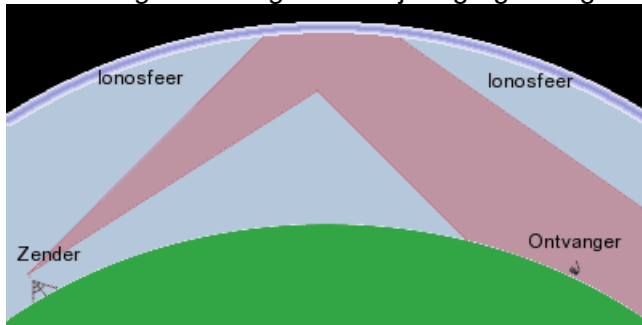
Allerlei overheidsinstellingen, regeringen, omroepstations en andere organisaties gingen over op het gebruik van de korte golf. Het grootste voordeel van de korte golf was het feit dat je niet zulke sterke zenders nodig had.

Er kwam dus heel wat radioverkeer in de lucht. Dat is helemaal geregeld door voor allerlei doeleinden banden toe te wijzen. Zo is o.a. de 80 meter band voor de radioamateurs. Die

loopt van 3,5 tot 3,8 MHz. Maar ook die 80 meter band is weer keurig ingedeeld in stukjes voor telegrafie, telefonie en digitale communicatie. Bij de korte golf omroep is dat al niet anders. Al die banden zijn weer keurig opgedeeld in standaard frequenties. En waag het niet om tussen twee standaard frequenties in te zenden. Het is weer net zo als bij het eerdere voorbeeld van de auto's op de A2: blijf in je vak!

Maar natuurlijk zijn er ook nadelen aan de korte golf. Het zal eens niet zo zijn...

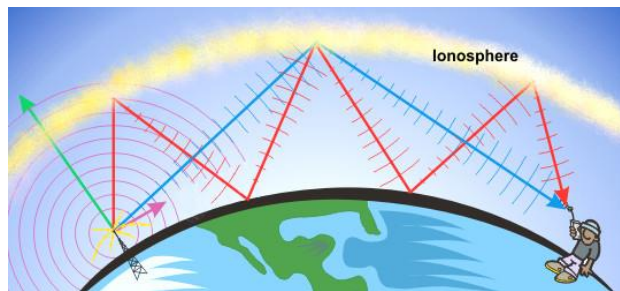
Hier komt de *propagatie* om de hoek kijken. Dit woord betekent: *voortplanting van elektromagnetische golven*. Bij lange golflengten gebruikt men vooral de grondgolven.



Bij korte golf is de *ruimtegolf* belangrijk. En daarvoor is de *ionosfeer* weer belangrijk. Die ionosfeer werkt als een spiegel. In het voorbeeld hiernaast worden de radiogolven maar eenmaal weerkaatst. Als je een ontvanger aan het andere eind van de wereld wilt bereiken, worden de radiosignalen meerdere keren tussen de ionosfeer en de aarde weerkaatst, zoals hieronder te zien is

(rode lijn).

Dat weerkaatsen gaat niet altijd even netjes. Die radiobundels worden nooit heel scherp weerkaatst. Weerkaatsing volgens de blauwe lijn is ook mogelijk (zie rechts). In dit voorbeeld ontvangt de radio van het mannetje de rode golf en de blauwe. Als ze precies samenvallen is het signaal sterker maar als ze tegengesteld zijn, dempt het geluid behoorlijk. Dit heet *fading*. En dan is zijn er nog de eigenschappen van de ionosfeer. Soms kaatst hij de kortere golflengten niet terug, zodat ze regelrecht de ruimte ingaan (zie de groene lijn). Gelukkig zijn al die effecten keurig te voorspellen, net als het weerbericht. Door het richten van antennes en ook door andere frequenties te gebruiken kun je toch heel vaak verbindingen op de korte golf onderhouden. De Wereldomroep kon er in elk geval een vast zendschema voor aanhouden.



Er zijn heel veel radioamateurs op de wereld en ze houden zich met allerlei manieren van communicatie bezig. Ze doen dat van de twee kilometer band (135,7 kHz) tot de 70 cm band (436 MHz). En in keurig ingedeelde stukjes houden ze zich bezig met telegrafie, telefonie, digitale signalen, relaisstations, satellieten en televisie.

De radiokamer op Aviodrome heeft een mooi kaartje met alle amateur frequenties en golflengten voor je. VERON staat voor "*Vereniging voor Experimenteel Radio Onderzoek in Nederland*", dus voor onderzoek. Hoewel dat niet hoeft. Veel radioamateurs kopen hun spullen in de winkel en zitten lekker achter hun apparatuur over hun hobby te praten of te seinen. Er zijn nog zo'n 200.000 amateurs die met morsesenen kunnen communiceren. En zij zijn bijna de enigen nog. Buiten de radioamateurs gebruikt vrijwel niemand meer morse. Dat is vergeleken bij vroeger niet veel meer. Alleen de marine seint nog wel eens van schip tot schip in morse, met de Aldis lampen.

Al van in het begin van de radio gebruikten marconisten en later de amateurs de internationale *Q code*. Dat was een manier om hele zinnen in drie letters samen te vatten.

Een morse bericht moet immers letter voor letter verzonden worden en de Q code spaart heel veel letters uit. Hieronder staan er een paar:

QRA? - Wat is de naam van het station?
QRM? - Heeft u last van storing?
QTH? - Wat is de locatie van het station?

De luchtvaart had weer eigen Q codes:
QFE - De luchtdruk op vliegveldniveau
QBA - De horizontale zichtbaarheid
QNH - De luchtdruk op gemiddeld zeeniveau

Het mooie van deze code is, dat iedereen in zijn eigen taal kan begrijpen wat er wordt bedoeld.

Radioamateurs gebruiken ook nog codes die al in 1859 door het telegraafbedrijf "Western Union" zijn opgesteld:

73 betekent "Best Regards", maar Nederlandse radioamateurs lezen: "Hartelijke Groeten"
17 betekent: "Het onweert hier"
21 betekent: "Ik ga even eten"
88 betekent: "Love and Kisses" of wel in een Nederlands e-mail: "xxx"
En als iemand "99" seint is dat niet zo'n aardige collega...

Morse dreigt uit te sterven. Om deze taal, want dat is het eigenlijk, te behouden staat hij in Nederland en België op de lijst van Immaterieel Cultureel Erfgoed. Dat is erfgoed dat je niet kunt beetpakken. Dus geen auto uit 1906, geen gebouw of het stoomgemaal in Medemblik. Op die lijst staan wel talen, gebruiken en feesten. En nu maakt morse goede kans om in de toekomst op de wereld erfgoed lijst van Unesco te komen. Hiermee krijgt morse weer aandacht en zal het niet verdwijnen.

De radiokamer

De radiokamer op Aviodrome laat zien hoe belangrijk de radio voor de luchtvaart is en was. De oudste apparatuur stamt uit 1935. Je kunt daar nog een zender in bedrijf zien die in de DC-3 door de KLM is gebruikt. Via de radio kunnen piloten naar weerberichten vragen, aankondigen dat ze binnen een bepaalde tijd op een vliegveld willen landen, en andere mededelingen doen. Vroeger werd er op lange golflengten gewerkt. Daarvoor was het nodig om de lange sleepantenne uit te rollen. Die antenne zweefde achter het vliegtuig door de lucht. Als de verbinding weer werd verbroken rolde men de antenne weer in. Radio werd in de jaren '30 van de vorige eeuw ook heel belangrijk om je te laten uitpeilen. In dat geval werd de zender in het vliegtuig aangezet en aan twee grondstations gevraagd in welke positie men het vliegtuig peilde. Daarna kon de navigator die twee lijnen op een kaart tekenen en waar ze elkaar kruisten, daar bevond het vliegtuig zich.

Er waren nog weinig navigatiehulpen. De vliegtuigen vlogen op zicht langs rivieren, kanalen en spoorlijnen. Radio werd steeds belangrijker. Er kwamen bakens die je met een richtantenne kon uitpeilen. Zowel het radiobaken als de richtantenne zijn in de radiokamer te zien. In de begintijd was het gebruik van morse heel belangrijk. De radiokamer heeft een grote verzameling seinsleutels.

Het gebruik van morse verdween in 1965 bij de KLM. Daarna werd er alleen nog maar gebruik gemaakt van radiotelefonie. In dat jaar verdween dus ook de laatste *telegrafist*, zoals ze in de luchtvaart werden genoemd.



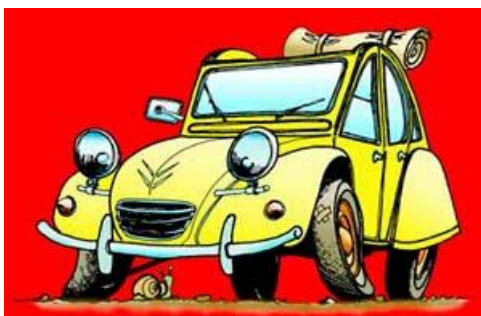
In dit gedeelte leer je hoe een eenvoudige radio ontvanger voor de middengolf werkt. We noemen het een *kristalontvanger*. Hoe je hem moet bouwen kun je op internet vinden en op de website die bij deze werkstukhulp hoort: <http://www.hansonline.eu/leerlink/radio.htm> (daar staat een beschrijving van de beroemde jampot ontvanger van Dr. Blan)

Je ziet dat je nogal eens verschillende manieren van bouwen tegenkomt. De spoel is een belangrijk onderdeel. Die kun je van een closetrol maken, maar je kunt ook een ferrietstaaf gebruiken. In dat geval heb je minder wikkelingen nodig. De jampot ontvanger is veel gebouwd en niemand verbiedt je om hem ergens anders in of op te bouwen.

Eerst iets over een middengolf zender.

De middengolf zender heeft meestal een staande mast als antenne. Die is met een kant van de zender verbonden. De andere kant van de zender is met de aarde verbonden. De elektronen worden als het ware afwisselend in de antenne gejaagd en er weer uit weggetrokken. Door die snelle wisselingen ontstaat er een wisselend <i>hoogfrequent</i> elektromagnetisch veld, dat in alle richtingen wordt uitgestraald	Dat wisselende elektromagnetische veld kun je vergelijken met de golven die deze dame in het vijvertje veroorzaakt.

Hoe werkt die kristalontvanger?



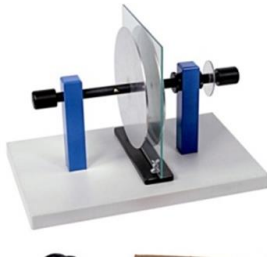
oude auto. Bij 40 km per uur trilt het zijraam, bij 60 km trilt het dashboard-kastje en bij 80 kilometer trilt de

Het is belangrijk om een ontvanger te kunnen afstemmen, anders hoor je alle zenders door elkaar. Je hebt iets nodig dat gaat meetrillen met de frequentie van de zender die je wilt horen. Dat meetrillen kennen we van bijvoorbeeld een

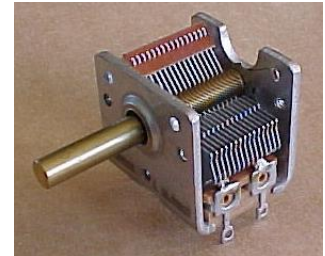


handgreep van de deur. Al die onderdelen trillen bij een verschillende snelheid. Als de auto trillingen veroorzaakt die overeenkomen met bijvoorbeeld de frequentie van het zijraam, dan begint dat mee te trillen. Elk voorwerp heeft zo'n vaste *resonantie* frequentie. Er zijn mensen die met hun stem een glas kunnen laten springen. Als de gezongen toon overeenkomt met de frequentie van het glas, dan kan het zomaar kapot springen.

Bij radio werkt het ook zo. Alleen moeten we nu het glas vervangen door twee onderdelen.



Een *spoel* en een *condensator*. De spoel ken je nog van de proef met de spijker. De condensator bestaat eigenlijk uit twee metalen plaatjes die gescheiden zijn door lucht of een isolerend materiaal zoals bijvoorbeeld glas. Bij radio is deze *variabele* condensator meer gebruikelijk (zie rechts).

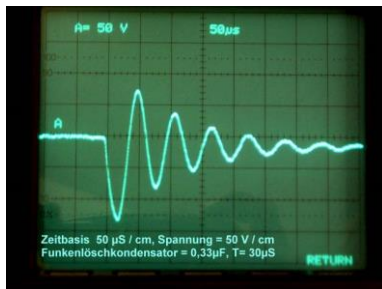


Door te draaien kun je alle plaatjes van de variabele (of draaibare) condensator tegenover elkaar zetten en dan is de *capaciteit* groot. Als je de plaatjes uit elkaar draait staan de plaatjes bijna niet tegenover elkaar en is de capaciteit laag.

Wat kan die condensator? Hij kan spanning vasthouden. Een condensator met veel plaatjes kan veel spanning vasthouden en een met weinig plaatjes minder. Het werkt **niet** als een batterij, want het gaat om *statische elektriciteit*, om *ladingen*. Hieronder zie je hoe je een condensator kunt "opladen". Als de batterij wordt weggehaald, blijft de lading in de condensator zitten en die lading kan hij heel lang bewaren, als het nodig is.

Dan hebben we nog een spoel nodig. Als we die verbinden met de geladen condensator, gebeurt er iets wonderlijks. De elektronen gaan heen en weer stromen.

Het opladen van een condensator; de rechter plaat is nu negatief geladen. De andere plaat wordt automatisch positief. Als je de batterij weghaalt, is de spanning op de condensator ook 1,5 volt. Elektronen vinden een positief geladen plaat heel aantrekkelijk... Het liefst zouden ze naar de andere kant gaan, maar helaas, ze zijn geïsoleerd.	(Deze illustratie komt uit: "Hoe werkt de radio?" van Philips) Als we de condensator "ontladen" via een spoel dan gebeurt er dit: De elektronen stromen van de negatief geladen condensator plaat door de spoel naar de positieve zijde. Was het enkel een draadje, dan hadden de platen nu een gelijke lading gekregen en was het afgelopen. Maar het stopt hier niet. Omdat de elektronen door een spoel lopen, wordt er meteen een elektronenstroom opgewekt in tegengestelde richting zodat die eerste plaat opnieuw negatief geladen wordt. Dit herhaalt zich nog een aantal malen, maar de energie wordt steeds minder. De man met de zweep lijkt de elektronen heen en weer te jagen.



In het beeld op de oscilloscoop zie je wat er gebeurt als je een spoel op een geladen condensator aansluit. De trilling dooft vanzelf uit. Dat heet *dempen*. Dat komt omdat er bij elke heen- en weer beweging van de elektronen wat verlies ontstaat. Wat je hiernaast ziet wordt ook wel *gedempte trilling* genoemd.

De spoel en de condensator vormen samen een *trillingskring*.

Maar goed, op zich heb je hier niet zoveel aan. Het lijkt op de tik tegen de slinger van een klok die niet opgewonden is. Na een tijdje stopt die ook met slingeren. Als die klok wel opgewonden is, krijgt de slinger iedere keer een beetje energie en daardoor blijft de slinger bewegen.

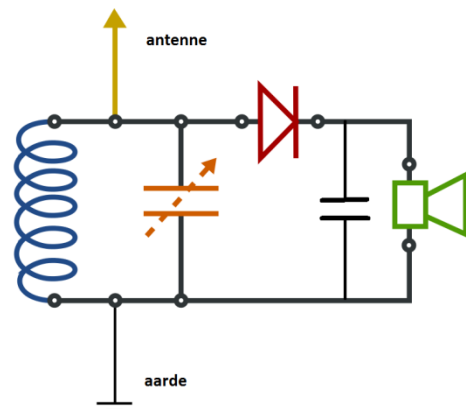
Het blauwe gedeelte in de rechter tekening op de vorige bladzijde laat zien dat de spoel energie krijgt door de zender waarop hij is afgestemd. Dan gaat hij meetrillen op de frequentie van de zender.

Heel dichtbij een zender wordt er zoveel energie in zo'n trillingskring gestopt, dat je de opgewekte elektriciteit kunt gebruiken om het geluid van de radio elektronisch te versterken!



Die trillingskring is het hart van de kristalradio.

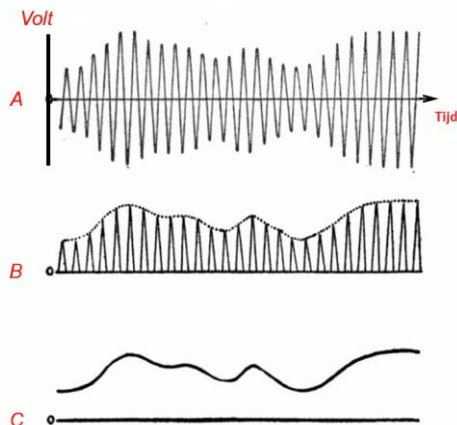
Aan de ene kant moet de trillingskring met de antenne verbonden worden en het andere uiteinde met de aarde, net zoals Marconi dat deed. Een koperen waterleiding of een radiator van de centrale verwarming zijn heel geschikt om als aarde te dienen.



Maar hij is nog niet af. Nu wordt het tijd om eens een echt *schema* te gaan gebruiken. Zie rechts.

De spoel zie je in de tekening hiernaast blauw gekleurd en de (draaibare of *variabele*) condensator oranje. Hoe komen die trillingen nu in het oortelefoontje (groen)?

Daarvoor moet de *wisselstroom* in de trillingskring eerst *gelijkgericht* worden. In de tekening hieronder zie je bij **A** de wisselspanning in de trillingskring. Na het gelijkrichten is de helft van die wisselspanning over, omdat de diode de elektronen maar in één richting doorlaat (**B** in de tekening).



Vroeger werd voor dat gelijkrichten een echt kristal gebruikt. Bijvoorbeeld een loodglans kristal, waarbij men net zo lang met een pen in het kristal moest prikken tot de gevoelige plek was ontdekt. Dan pas ontving je een zender.

Later kwam daar de *germanium diode* voor in de plaats. Germanium is het materiaal waarvan deze diode is gemaakt. En helaas is dit type diode ook al weer uit de handel. Radiozaken hebben er meestal nog wel een.

In het schema is de diode het rode onderdeel. Wat we dan in ons oortelefoontje zouden horen is een

geluid, gemengd met een hoog frequent restje. De kleine zwarte condensator in het schema zorgt ervoor dat er alleen geluid (of het *audio signaal*) overblijft. Dat zie je bij **C** in de tekening. Omdat die kleine condensator als soort voorraadbakje werkt, zijn alle restjes van de hoge frequentie verdwenen.

Als je op internet rond kijkt zie je heel veel schema's van deze eenvoudige ontvanger. Soms wordt er op een andere manier afgestemd, zoals bij de schuifontvanger, maar het komt allemaal neer op het afstemmen van de trillingskring.

Animaties bij deze werkstukhulp vind je op <http://www.hansonline.eu/leerlink/radio.htm>

Voor opmerkingen en aanvullingen zie het e-mailadres op www.hansonline.eu

© Hans Walrecht

(Bij verzoek tot het eventueel gebruiken van delen van de tekst s.v.p. contact opnemen via de link www.hansonline.eu. Daar staat een e-mail adres.)