



November 2017 | jaargang 72

ELECTRON

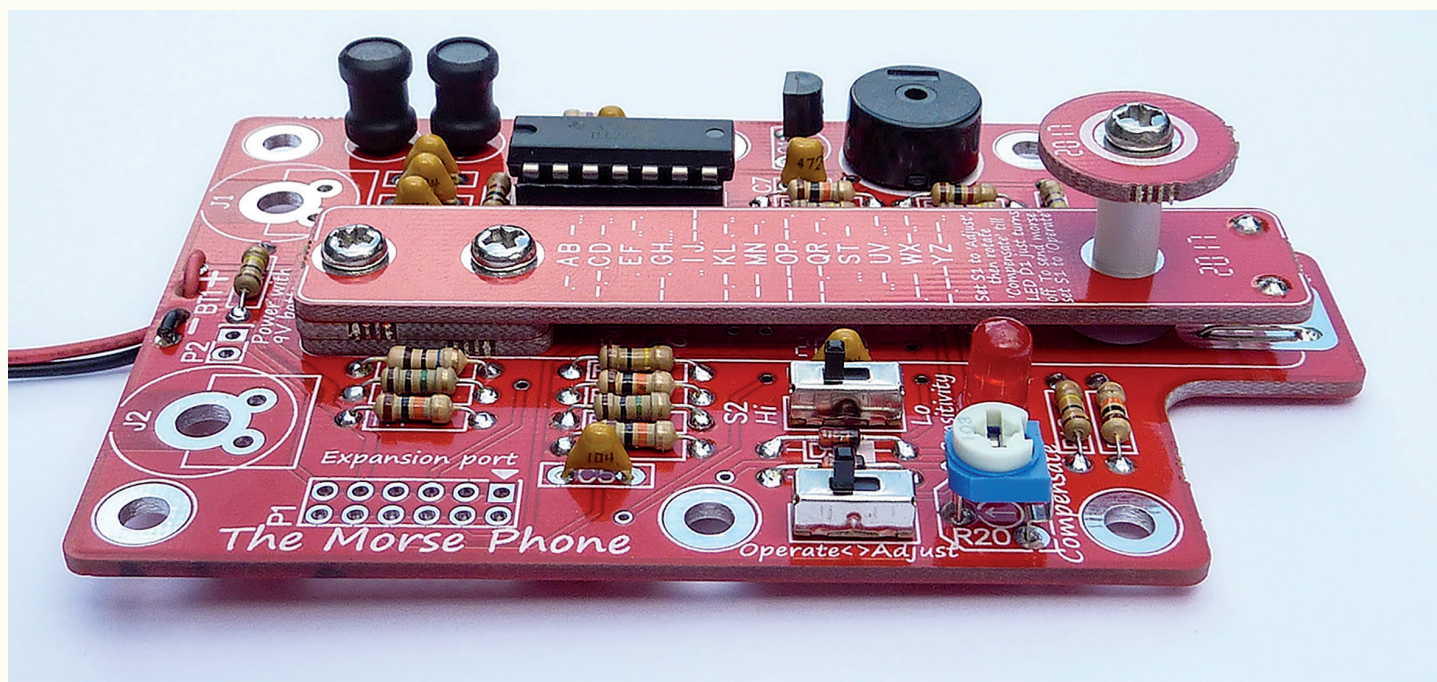
Maandblad voor de Nederlandse Radioamateur | PA7ZEE QRV



- Nauwkeurige frequentie-ijkbron met behulp van gps - deel 2
- Amerikaanse klok op Europese stroom
- De Morse Phone

De Morse Phone

Jeroen Bastemeijer PE1RGE
info@kitbuilding.org



Een op de 'Fullerphone' geïnspireerd bouwproject.

Ieder jaar wordt het wereldwijde evenement JOTA-JOTI georganiseerd. Tijdens de JOTA-JOTI maken scouts wereldwijd met elkaar contact via de ether, de Jamboree On The Air, en via het internet, de Jamboree On The Internet. Dit evenement is bij uitstek geschikt om jongeren te interesseren voor techniek. Tijdens het evenement kan ook ingegaan worden op de werking van en de techniek achter de gebruikte communicatiemiddelen.

Ter ondersteuning van het JOTA-JOTI-evenement ontwikkelt de Servicekring JOTA-JOTI ieder jaar weer een nieuw bouwkitje. Bedoeling hiervan is dat het tijdens de JOTA-JOTI met scouts (van Bever tot leiding) in elkaar gezet kan worden. Maar ook op andere momenten in het jaar worden de kitjes gebruikt om samen met jongeren een leuke soldeeractiviteit op te zetten. De kitjes worden ontworpen met de jeugdige, niet-ervaren zelfbouwer in het achterhoofd. Dit betekent: geen gebruik van SMD of lastige onderdelen, en geen moeilijke apparatuur (afregeling) of bijzonder gereedschap nodig om het kitje te bouwen. Een kniptangetje en soldeerbout zijn voldoende om het projectje te kunnen voltooien.

Voor dit jaar is de 'Morse Phone' ontwikkeld. Zoals de naam al doet vermoeden kun je met dit kitje met morse aan de slag. Behalve

zendamateurs zijn ook veel scouts enthousiast bezig met de morsecode; zo helpen ook zij mee bij het in stand houden van dit immaterieel erfgoed. De Morse Phone is een morsesounder die standalone gebruikt kan worden, maar ook gekoppeld kan worden met andere Morse Phones; communiceren doe je immers samen!

De Morse Phone is geïnspireerd door de Fullerphone. Nu zal dit apparaat niet bij iedereen bekend zijn, dus volgt eerst een stukje geschiedenis.

De Fullerphone – geschiedenis

De Fullerphone is een morse-telegrafieapparaat dat ontwikkeld is tijdens de Eerste Wereldoorlog door Major A.C. Fuller van de Britse Royal Engineers Signal Service. In de jaren daarna is de Fullerphone verder ontwikkeld en in gebruik gebleven tot na de Tweede Wereldoorlog. In 1919 heeft A.C. Fuller zijn Fullerphone gepubliceerd in een publicatie van de IEE (Institution of Electrical Engineers) [1]. Binnen de IEE is destijds een wetenschappelijke discussie gevoerd, waarvan een verslag [2] te vinden is bij de IEE, waarin de voors en tegens van de Fullerphone besproken werden. Uit dit verslag blijkt dat de ideeën van A.C. Fuller niet nieuw waren, anderen waren al tientallen jaren eerder bezig met soortgelijke apparaten, maar Major A.C. Fuller heeft er wel een apparaat van weten te maken dat toegepast kon worden in oorlogssituaties. Een samenvatting van de beschrijving en de discussie is verschenen in *The Electrical Review* [3].



Morse code als communicatiemiddel
staat op de Nationale Inventaris
Immaterieel Cultureel Erfgoed Nederland

Technische achtergrond

De Fullerphone is ontwikkeld in een periode waarin veel langeafstandscommunicatie, zowel civiel als militair, plaatsvond via telegrafieverbindingen. De verbindingen liepen via lange kabels tussen de diverse telegraafposten. Soms werd ook gebruik gemaakt van de combinatie van één draad en een verbinding via aarde door aardpennen. Op het slagveld werd veelvuldig gebruik gemaakt van tijdelijke (nood)draadverbindingen. Dit is later veranderd, toen radioverbindingen meer gemeengoed werden.

De telegrafieverbindingen tijdens de Eerste Wereldoorlog werden onder moeilijke omstandigheden tot stand gebracht. De gebruikte materialen waren niet optimaal, bijvoorbeeld draden met een hoog ijzergehalte en dus een hoge weerstand. De lijnen waren gevoelig voor vocht, kabelbreuk door slijtage, sabotage of oorlogsgeweld.

Naast deze 'ongemakken' bleken de telegrafieverbindingen ook relatief eenvoudig af te luisteren te zijn! Het op deze manier uitlekken van informatie heeft de nodige levens gekost.

Een veel gebruikt systeem om te communiceren via een telegrafiedraad was via een 'interruptor' (mechanische onderbreker), seinsleutel, batterij en een hoofdtelefoon (afb. 1). Door de draad liep een in een hoorbare frequentie variërende stroom die werd

in- en uitgeschakeld door de morsesleutel. Aan de ontvangtzijde werd het signaal beluisterd via een hoofdtelefoon. Het retourpad voor de stroom kon lopen via een draad, of via de aarde door een aardpen bij zowel het ontvangst- als het zendstation. De variërende stroom in de draad of door de aarde was op ruime afstand van de draad nog te detecteren. De vijandelijke loopgraven in de Eerste Wereldoorlog bevonden zich soms op relatief korte afstand; dit maakte dus het af luisteren, zonder contact te maken met de draad, mogelijk. Naast het gevaar van af luisteren, was er het probleem van

koppeling tussen de diverse eigen telegrafielijnen, waarmee de eigen communicatie gestoord werd. Een interessant detail is dat er in die tijd al gebruik gemaakt werd van 'jamming', niet om de vijandelijke communicatie te verstoren, maar om de eigen communicatie te maskeren voor de vijand. Er werden dus willekeurige telegrafiesignalen (op andere lijnen) verstuurd om de werkelijke berichten onleesbaar te maken voor een vijandige af luisterpost.

De oplossing voor deze problemen werd gevonden in het versturen van gelijkstroom-

signalen in plaats van wisselstroomsignalen. Deze gelijkstroomsignalen waren, buiten de in- en uitschakelklikken, een stuk moeilijker te detecteren. Het wisselspanningssignaal werd alleen lokaal opgewekt voor weergave in de hoofdtelefoon. Het prinscipeschema staat in afb. 2 afgebeeld. Met de seinsleutel wordt het DC-signaal op de lijn gezet. Dit signaal gaat door het LC-filter heen, waarbij de scherpe flanken worden afgerond. Vervolgens is er een gefilterde DC-spanning beschikbaar in de kring van de chopper en de hoofdtelefoon. Resultaat: de toon van de chopper is hoorbaar in de hoofdtelefoon. Als de seinsleutel wordt losgelaten, zal het DC-niveau zakken tot 0 V. Er kan dan geen stroom meer door de hoofdtelefoon lopen, waardoor er geen toon meer hoorbaar is. Een eigenschap van dit principe is dat de polariteit van de aangeboden signalen niet van belang is.

Het LC-filter zorgt er ook voor dat de wisselstroom, opgewekt door de chopper, niet de lijn op kan.

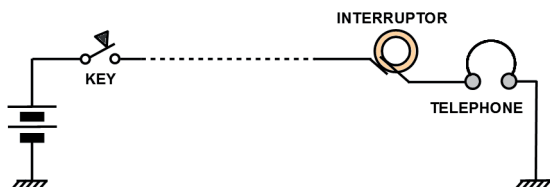
De uiteindelijke uitvoering van de Fullerphone werkt bidirectioneel, waarbij de sleutel achter een LC-filter is geplaatst (gezien vanuit de lijn). De flanken van de verzonden pulsen worden daarmee ook een stuk minder steil en dus moeilijker te onderscheppen.

Doordat de DC-potentiaal op de lijn geleidelijk varieert is het ook mogelijk gelijktijdig audiosignalen over dezelfde lijn te sturen. Dus via dezelfde draad is het mogelijk tegelijkertijd telegrafie-signalen en spraak (veldtelefoon) te versturen zonder dat deze signalen elkaar beïnvloeden.

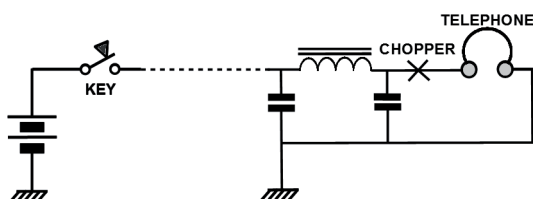
Aardpotentiaal

Voor de Fullerphones werd vaak een enkele draad gebruikt; de retourstroom liep via een pen in de aarde. Een metalen object in de aarde zal in combinatie met in de aarde aanwezige stoffen (ionen, zouten, zuren) een bepaalde potentiaal opwekken. Hiermee lijkt de aardpen op een pool van een batterij. In het geval van een Fullerphone zou de zo ontstane DC-potentiaal zorgen voor een continue toon in de hoofdtelefoon. Om deze reden is er een compensatiecircuit ingebouwd in de Fullerphone, dat de opgebouwde DC-potentiaal kan compenseren. Destijds werd dit compensatiecircuit, dat gebruikmaakte van een potentiometer, aangemerkt als een van de meest gecompliceerde onderdelen van het systeem!

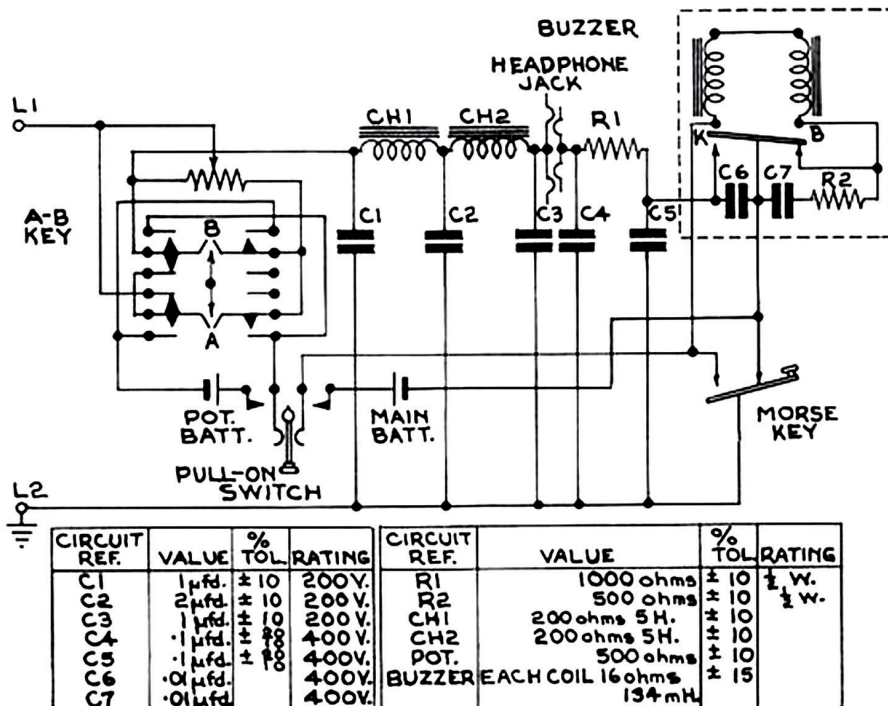
In het schema (afb. 3) van een latere versie van de Fullerphone (Mk IV) kun je zien hoe het een en ander geschakeld is. De 'Main Battery' wordt gebruikt voor voeding van de buzzer (chopper) en voor de stroom door de lijn en de hoofdtelefoon. De buzzer is een elektromechanische instelbare triller; de triller schakelt de stroom door de hoofdtelefoon, waarmee de DC-spanning van de batterij een toon wordt. De 'Potentiometer Battery' wordt gebruikt voor het circuit met de potme-



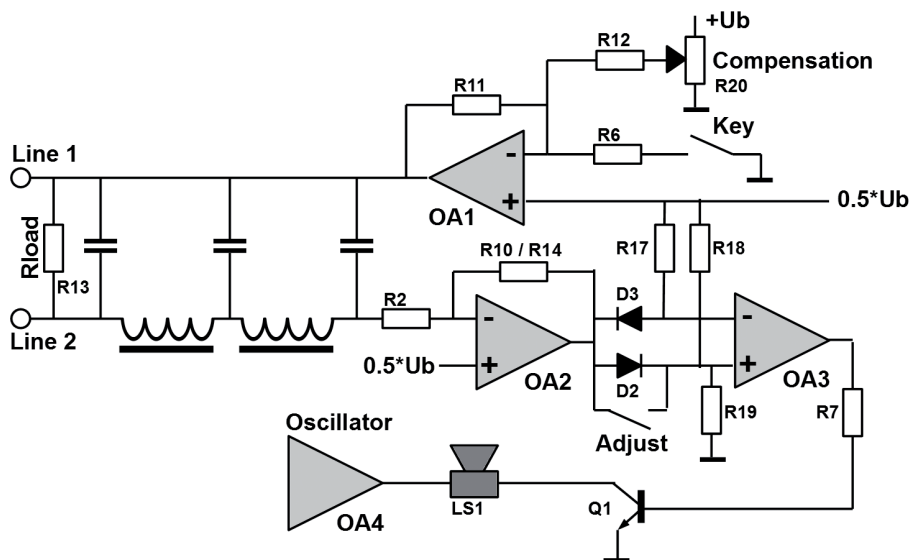
Afb. 1 Principeschema van een telegrafiezend- en ontvangstation



Afb. 2 Principeschema van de Fullerphone



Afb. 3 Schema van de Fullerphone Mk IV (bron: <http://www.wftw.nl>)



Afb. 4 Principeschema van de Morse Phone (onderdeelnummers komen overeen met het detailschema)

ter, bedoeld om de aardcontactpotentiala op te heffen. De 'A-B key' is een wisselschakelaar waarmee de polariteit van de compensatiespanning kan worden omgeschakeld.

De Fullerphone is zeer gevoelig. Een kleine externe stroom, in de orde van een micro-ampère, levert al een detecteerbaar signaal op. Hiermee is de Fullerphone uitermate geschikt om op hoogohmige lijnen gebruikt te worden.

De Morse Phone

De Morse Phone, het bouwkitje, is gebaseerd op de Fullerphone. De volgende eigenschappen zijn het uitgangspunt geweest:

- overdracht van de telegrafiesignalen gebeurt met DC;
- opwekken van de toon gebeurt lokaal;
- een paar μA is al voldoende om een signaal te detecteren;
- ontvanger reageert op signaal ongeacht de polariteit;
- de bouwkit moet samen met andere Morse Phones te gebruiken zijn, maar moet ook standalone gebruikt kunnen worden.

Het blokschema van de Morse Phone staat in afb. 4. Het bouwkitje is opgebouwd rond een quad opamp (vier opamps in één behuizing). De schakeling wordt gevoed uit een 9V-batterij, een enkele voedingsspanning dus. Opamps worden veelal gevoed uit een symmetrische voedingsspanning, dus positief én negatief ten opzichte van het referentieniveau. Bij gebruik van een enkele voedingsspanning wordt vaak gebruik gemaakt van de halve voedingsspanning $0,5 \times U_b$ als referentie, zo ook hier. De halve voedingsspanning wordt gecreëerd met een spanningsdeler met twee gelijke weerstanden.

De vier opamps vervullen verschillende functies:

- OA1: lijnstuurtrap;
- OA2: ontvangstversterker;
- OA3: comparator;
- OA4: toonoscillator.

OA1 is geschakeld als een inverterende optelversterker met als referentie de halve batterijspanning $0,5 \times U_b$. Hier worden het 'key down'-signaal en de compensatiespanning (voor compensatie van eventuele aardpotentialen) bij elkaar opgeteld.

Via de terugkoppelweerstand R11 wordt de potentiaal op de inverterende ingang van OA1 gelijk gehouden aan die op de niet-inverterende ingang. Het resultaat is dat de stromen die door R6 en R12 vloeien in R11 bij elkaar opgeteld worden (de ingangen van een opamp zijn zeer hoogohmig, hier loopt dus geen stroom). Door R6 loopt alleen een stroom als de morsesleutel wordt ingedrukt. Deze stroom loopt naar aarde, maar zorgt door het inverterende karakter van de optelversterker voor een positieve uitgangsspanning bij OA1.

Indien potmeter R20 (Compensation) ingesteld staat op de halve voedingsspanning, is de spanning over R12 gelijk aan nul, dus loopt er geen stroom. Zodra de potmeter uit de middenstand staat, zal er wel een stroom door R12 gaan lopen (positief of negatief) en hiermee zorgen voor een offsetspanning aan de uitgang van OA1. Voor de duidelijkheid: als er geen stroom door R11 loopt, is de potentiaal aan de uitgang van OA1 gelijk aan de halve voedingsspanning.

De potentiaal op Line 1 wordt gedefinieerd door OA1. Line 1 en Line 2 worden gebruikt om de Morse Phone te verbinden met een andere Morse Phone. De andere externe connectie is dus Line 2. Via het LC-filter is

deze verbonden met de ingang van OA2, die wordt gebruikt als versterker. Hier wordt gebruik gemaakt van tegenkoppeling, dus zal de inverterende ingang van de opamp dezelfde potentiaal hebben als de niet-inverterende; dit zal dus de halve voedingsspanning zijn. Line 1 en Line 2 zullen in rust dezelfde potentiaal hebben, en er zal dan dus geen stroom lopen!

Als de seinsleutel wordt ingedrukt zal Line 1 een hogere potentiaal krijgen; hierdoor zal er door de belastingsweerstand R_{load} (R13), het LC-filter en R2 een stroom gaan lopen. De stroom door R2 zal door gaan naar R10/R14. R10 en R14 zijn omschakelbaar om de versterkingsfactor te kunnen variëren. De uitgang van OA2 zal met de beschreven stroomrichting een lagere uitgangsspanning (dus lager dan $0,5 \times U_b$) tot gevolg hebben. Let wel, een belastingsweerstand als R13 maakt geen onderdeel uit van de originele Fullerphone. Hier is R13 aangebracht om de Morse Phone ook standalone te kunnen gebruiken.

De comparator OA3 vergelijkt de uitgangsspanning van OA2 met de halve voedingsspanning. Indien het verschil, positief of negatief, meer is dan een 'diodespanning' (ca. 0,6V), zal de uitgang van de comparator positief worden. Dit zorgt ervoor dat de transistor gaat geleiden; nu kan er een stroom door de piezoluidspreker LS1 gaan lopen en wordt de toon hoorbaar. De toon wordt opgewekt door de oscillator die is gemaakt rond OA4.

De oplettende lezer zal de analogie met de Fullerphone zien: door de lijn loopt alleen een gesleutelde gelijkstroom; de wisselstroom loopt alleen door de luidspreker in de ontvanger.

De zojuist gegeven beschrijving van de werking is geldig wanneer de Morse Phone gebruikt wordt als sounder, dus standalone. De schakeling zal op een soortgelijke manier reageren indien er een externe spanning wordt aangeboden. De polariteit van de aangeboden externe spanning doet niet ter zake. Afhankelijk van de richting van de stroom zal de uitgang van OA2 positief of negatief worden ten opzichte van $0,5 \times U_b$. Immers, als de uitgang van OA2 gelijk is aan de halve voedingsspanning zullen de diodes niet geleiden. De potentiaal op de andere kant van de diodes is namelijk ook gelijk aan de halve voedingsspanning (via R17 en R18). Weerstand R19 zorgt ervoor dat de niet-inverterende ingang iets lager is dan de inverterende ingang; de uitgang van de comparator zal in rust dus negatief (ten opzichte van $0,5 \times U_b$) zijn, dit is praktisch 0 V.

Als de uitgang van OA2 positief wordt zal D2 gaan geleiden en komt de potentiaal van de niet-inverterende ingang boven die van de inverterende ingang, met als resultaat dat de uitgang van OA3 positief wordt. Als de

uitgang van OA2 negatief wordt, zal D3 gaan geleiden, de niet-inverterende ingang wordt dus omlaag getrokken en de potentiaal op de niet-inverterende ingang zal dus het hoogst zijn, resultaat: de uitgang van OA3 wordt positief!

De schakelaar Adjust wordt gebruikt om de potentiometer Compensation in te kunnen stellen. Als de schakelaar gesloten is, zal de comparator direct reageren als de niet-inverterende ingang boven de halve voedingsspanning komt. Hiermee kan dus zeer precies het punt gezocht worden waar met de potentiometer Compensation een eventuele externe spanning precies wordt gecompenseerd.

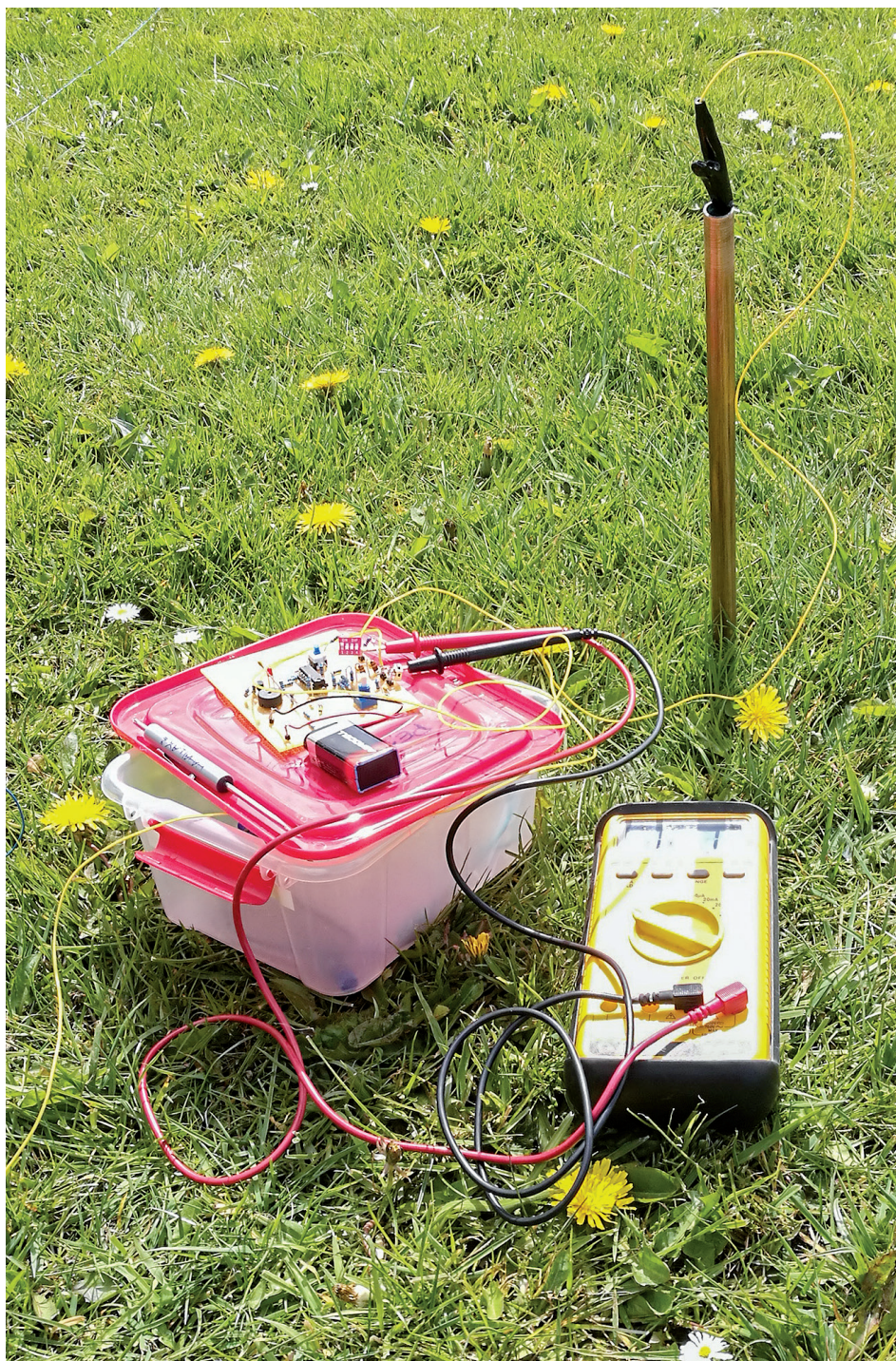
Veldproeven

De Morse Phone is al getest in het veld. De eerste experimenten met twee draden verliepen succesvol. Dit bleek ook de eenvoudigste methode. Eerst wordt in de stand Adjust de potmeter Compensation goed ingesteld. Het potentiaalverschil tussen Line 1 en Line 2 is dan nul. Een tweede Morse Phone kan nu gekoppeld worden. Als nu bij een van de Morse Phones de seinsleutel wordt ingedrukt, loopt er een stroom door de kring en zullen beide Morse Phones een toon geven. Overigens kunnen er meerdere Morse Phones parallel gezet worden!

Door de belastingsweerstand R13 zal er altijd een stroom kunnen lopen. Dit betekent dat als er geen andere belasting (een andere Morse Phone) is aangesloten, de eigen buzzer toch altijd zal klinken als de sleutel wordt ingedrukt. Door de belastingsweerstand te verwijderen zal de eigen buzzer alleen klinken als de stroomkring gesloten is, door bijvoorbeeld een andere Morse Phone. Hiermee is er dus gelijk een controle van het externe elektrische circuit, want bij een onderbreking in het circuit klinkt er ook geen toon bij de eigen Morse Phone. De belastingsweerstand is uit het circuit te verwijderen door een speciaal pad op de onderzijde van de print door te krassen. Zo nodig kan later de verbinding weer hersteld worden met een druppel tin, of door een paar soldeerpennen met jumper te plaatsen.

In het veld zijn ook proeven gedaan met aardpennen (afb. 5), ook met het vervangen van de draad door een stuk hekwerk (paaltjes met daarover een ijzeren draad). Dit alles bleek te werken!

Met betrekking tot de aardpennen zijn de volgende ervaringen opgedaan: Het eenvoudigst is het systeem waarbij de aardpennen bij beide stations bestaan uit hetzelfde materiaal, bijvoorbeeld een stuk koperen buis. In dit geval is de potentiaal tussen de elektrode en de aarde aan weerszijden praktisch hetzelfde, en zal grotendeels in de lus gecompenseerd worden. Het is dan dus waarschijnlijk niet eens nodig aan de



Afb. 5 Veldtest met een prototype, nog op gaatjesprint, van de Morse Phone

Compensation-potmeter te draaien. Bij gebruik van twee verschillende metalen zal de totale spanning, opgewekt door de elektrodes, in de lus niet opgeheven worden. Afhankelijk van het metaal wordt een hogere of lagere spanning opgewekt, maar ook de polariteit kan verschillen. Bij één of bij beide stations kan met Compensation de opgewekte spanning gecompenseerd worden. Overigens, een leuk experiment in dit verband is het volgende: steek een koperen en een ijzeren buis in de grond. Sluit een multimeter aan op deze elektrodes en kijk welke spanning wordt opgewekt. Hiermee wordt gelijk het nut van de compensatie duidelijk. In de praktijk blijkt de aardpen een dynamisch gedrag te vertonen. Door de kleine stroom die gaat lopen tijdens het zenden zal de chemie rond de aardpen verande-

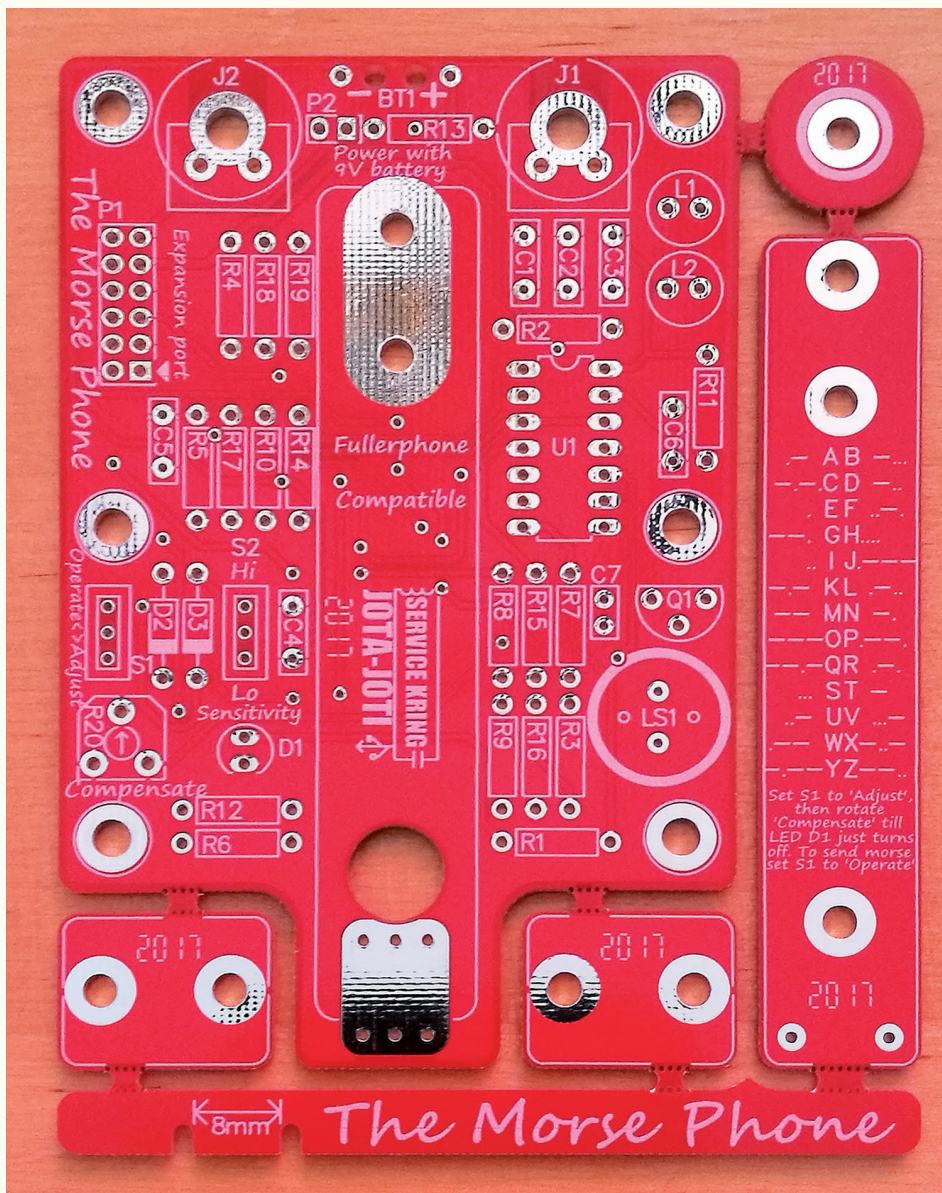
ren en daarmee de aardpotentiala. Tijdens het zenden kan het dus nodig zijn aan de Compensation-potmeter te draaien.

Fullerphone-compatible

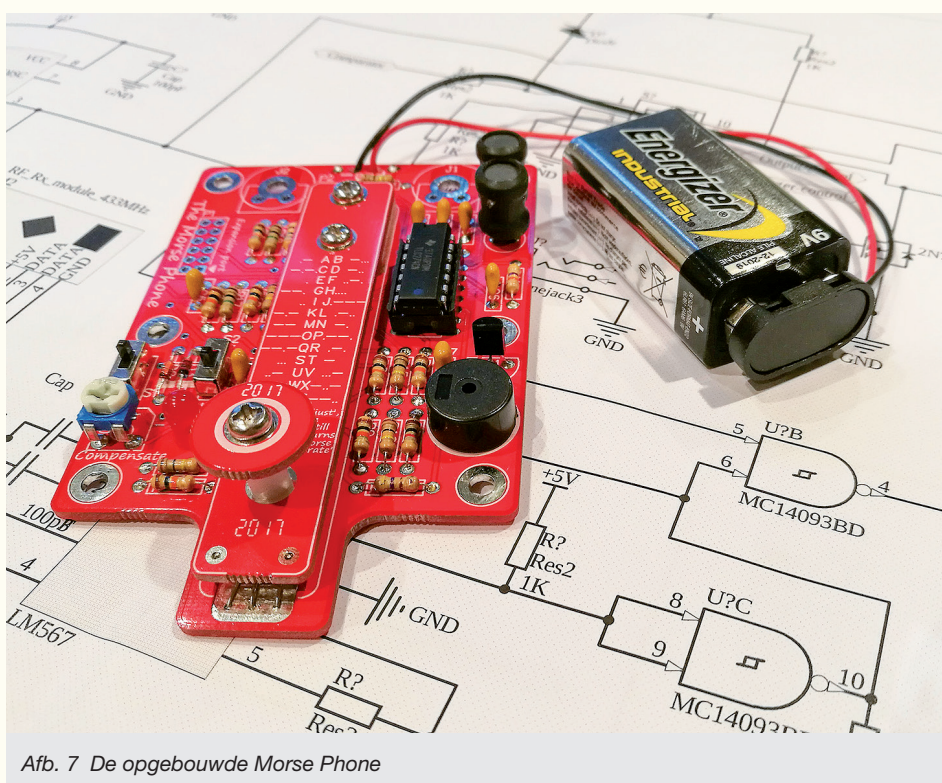
De Morse Phone is Fullerphone-compatible! Mochten mensen in het bezit zijn van een originele Fullerphone, dan kan deze gebruikt worden met de Morse Phone. Dit is getest met een Fullerphone Mk IV. Mochten mensen nog andere types Fullerphones uitproberen in combinatie met de Morse Phone, dan horen we dat graag!

Andere mogelijkheden

Het is ook mogelijk om zelf 'tegenstations' te bouwen. Gebruik een Morse Phone als basis en maak met een paperclip of een wasknijper zelf een seinsleutel. Zo'n een-



Afb. 6 PCB van de Morse Phone



Afb. 7 De opgebouwde Morse Phone

voudige sleutel in serie met een 1,5V-batterij kan gebruikt worden als remote station. Strikt genomen is de externe batterij niet nodig: door de potmeter Compensation een kleine offset te geven (niet zo groot dat de Morse Phone continu staat te piepen) zal de Morse Phone reageren als Line 1 en Line 2 kortgesloten worden. Hiervoor is het niet noodzakelijk R_{load} te verwijderen of te onderbreken. Zet wel de gevoeligheid in de laagste stand.

Bouw van de Morse Phone

Het bouwkitje van de Morse Phone bevat de print en de onderdelen voor het bouwen van de basisversie. De print kan in stukken gebroken worden. De printen zitten aan elkaar met zogenaamde 'mouse bites'. Hierdoor kunnen de printen makkelijk los gebroken worden met redelijk nette randen; met een schuurpapiertje kunnen de laatste rafels verwijderd worden. De print valt uiteen in de basisprint, twee 'spacers', en de arm en een deel van de knop van de morsesleutel (afb. 6).

Bij de opbouw wordt eerst de hoofdprint voorzien van onderdelen. Vervolgens kan de seinsleutel verder geassembleerd worden. De knop kan op de arm geschroefd worden en vervolgens kan de arm met de spacers op de hoofdprint geschroefd worden. Het resultaat, hier van het prototype, is te zien in afb. 7. De Morse Phone kan verder uitgebreid worden. Hiervoor kan een twaalfpolige connector op de print gemonteerd worden. Op deze connector kan een RF-uitbreiding aangesloten worden. Hiermee kunnen de Morse Phones op 433 MHz met elkaar communiceren.

Tot besluit

We hopen dat u na het lezen van dit artikel enthousiast bent geworden over deze bouwkit. Misschien gaat u hem wel bouwen samen met de scouts van een groep tijdens de JOTA-JOTI, of gaat u hem op een ander moment bouwen, samen met anderen of voor uzelf. De kit is nu verkrijgbaar; bestellen kan op de website van de Servicekring JOTA-JOTI: <http://www.kitbuilding.org>. De prijs van de bouwkit zal geen beletsel zijn: € 4,65. Op de website is ook de bouwbeschrijving, die het detailschema bevat, geplaatst.

Verwijzingen

- [1] *Journal of the Institution of Electrical Engineers*, Volume 57, Issue 1, 1919, page 29-36; Institution of Engineering and Technology (IET) <https://archive.org/details/supproceed57inst>
- [2] *ibid.*, page 37-49
- [3] *The Electrical Review*, Vol. LXXXIV, January 3 - June 27, 1919 (samenvatting op blz. 515-518) <https://ia800301.us.archive.org/30/items/electricalreview84lond/electricalreview84lond.pdf>