

WSPR-berichten verzenden bereik heel Europa met het Elektor SDR-shield

Burkhard Kainka (Duitsland)

De WSPR-modulatietechniek is ontwikkeld om met gering vermogen en dito bandbreedte grote afstanden te overbruggen. We laten hier zien hoe u met een Elektor-SDR-shield en gratis software WSPR-berichten kunt verzenden.

De WSPR-modulatietechniek (*Weak Signal Propagation Reporter*, spreek uit als 'whisper') is ontwikkeld om met kleine vermogens en kleine bandbreedtes grote afstanden te overbruggen. Er zijn altijd veel stations actief en die melden hun ontvangresultaten op de WSPR-website [1]. Hierdoor kunt u heel snel een overzicht te krijgen waar een signaal ontvangen kan worden ontvangen. 1000 kilometer met slechts 10 mW is haalbaar. Met 100 mW kan zonder enig probleem heel Europa worden bereikt. Wat we nodig hebben is het programma WSPR 2.0

[2] van Joe Tailor, die WSPR heeft ontwikkeld. Het zendsignaal is in essentie een constante toon van 1,5 kHz, die doorgaans door een SSB-transceiver wordt uitgezonden. Als je heel goed luistert, kun je zeer kleine verschillen in deze toon waarnemen. WSPR maakt gebruik van een 4FSK-sigitaal met vier frequenties op een onderlinge afstand van 1,46 Hz. Elke frequentie blijft ongeveer één seconde stabiel. Daardoor kan de ontvanger-software extreem smalbandig filteren en zodoende een goede stooraafstand bereiken.

De WSPR-ontvangststechniek met het Elektor-SDR-shield is al eerder genoemd in Elektorlabs [3]. Nu laten we ook de zendstechniek zien. Daarvoor hebben we nog Arduino-software nodig, een kleine HF-eindtrap en de antenne-aanpassing. De hier getoonde zendexperimenten kunnen in deze vorm alleen legaal door gecicenseerde zendamateurs worden uitgevoerd. Geïnteresseerden zonder zo'n licentie kunnen wel op beperkte schaal experimenteren zonder aangesloten zendantenne, waarbij het eigen signaal weer ontvangen wordt.

Aansturing van het SDR-shield

Het SDR-shield wordt doorgaans als kortegolfontvanger gebruikt. Maar er nog twee extra uitgangen van de PLL-generator Si5351 beschikbaar, die kunnen worden gebruikt voor meetdoeleinden of voor het aansturen van een zender. Hiermee kan ook een WSPR-sigitaal worden gegenereerd. Deze en andere experimenten worden beschreven in het (Engelstalige) SDR Hands-on Book [4].

Bij het schrijven van dat boek en van de eerste artikelen over het SDR-shield heeft de auteur de oudere Etherkit Si5351-library van Jason Milldrum gebruikt (versie 1.1.2). Later ingestapte gebruikers kwamen eerst de nieuwere versie 2.1.4 tegen. Maar de nieuwere library-versie leidde in combinatie met de oorspronkelijke code tot foutmeldingen, omdat enkele structuren enigszins waren gewijzigd.

De initialisatie vereist nu een extra parameter 0, waarbij de extra 0 aangeeft dat we de kristalfrequentie op deze plek niet (afwijkend van 25 MHz) nauwkeuriger willen opgeven.

```
si5351.init(SI5351_CRYSTAL_LOAD_8PF, 0, 0);
```

De eigenlijke kalibratie moet plaatsvinden na de initialisatie, waarbij ...INPUT_X0 aangeeft, dat deze betrekking heeft op de kristaloscillator;

```
si5351.set_correction(162100, SI5351_PLL_INPUT_X0);
```

De uitvoer van de frequentie werkt nu zonder de eerdere parameter PLL_FIXED, omdat de bibliotheek automatisch de PLL-instellingen vastlegt:

```
si5351.set_freq(freq*100ULL, SI5351_CLK0);
```

Intussen zijn alle voorbeeldprogramma's in het boek herzien, waaronder ook de eerder in de artikelserie over het SDR-shield

Listing 1. De initialisatie in si5351vfo2_1.ino.

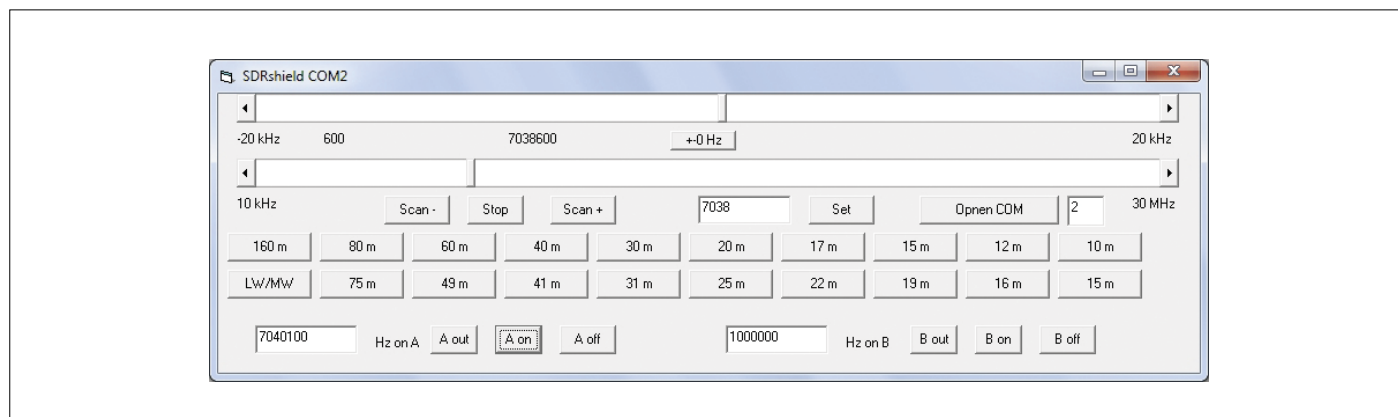
```
{
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("Si5351 Clockgen"); Serial.
  println("");
  si5351.init(SI5351_CRYSTAL_LOAD_8PF, 0, 0);
  si5351.set_correction(162100,
  SI5351_PLL_INPUT_X0);
  Serial.println(10100);
  si5351.set_freq(404000000ULL, SI5351_CLK1);
  si5351.output_enable(SI5351_CLK1, 1);
  freq = 10100;
  lcd.begin(16, 2);
  lcd.print(freq);
}
```

voorgestelde toepassingen. Het bij het boek horende software-archief [4] bevat nu zowel de oorspronkelijke als de geactualiseerde versies.

Om te beginnen hebben we het afstemprogramma *si5351vfo2_1* (listing 1) nodig. Hier wordt de VFO-frequentie van 7038,6 kHz ingesteld (figuur 1), waarmee WSPR-signalen in de 40m-band naar 1,5 kHz omlaag gemengd kunnen worden. Ter controle van een juiste instelling kan uitgang A worden geactiveerd. Een signaal bij 7040,1 kHz straalt dan zwak in op de ingang en kan in WSPR 2.0 precies in het midden van het 200 Hz brede ontvangstbereik worden gezien (figuur 2). De kalibratie van de ontvangerfrequentie is echter meestal niet nauwkeurig genoeg. We zien dat de draaggolf wordt ontvangen, omdat er een zwakke capacitieve koppeling is. Maar de modulatie ontbreekt nog en dus ook de gewenste omschakeling tussen de vier naburige frequenties van het 4FSK-sigitaal.

De JTEncode-library

Ook van Jason Milldrum komt de *JTEncode*-library [5] voor het genereren van WSPR- en andere digitale signalen met de Si5351. Op basis van zijn programmavoorbeeld is een eerste programma voor het SDR-shield ontwikkeld. Daartoe wordt de ontvanger vast afgestemd op de WSPR-frequentie in de 20m-band (VFO = 14095,600 kHz). De zender werkt in dezelfde band (14097,100 kHz) en start zodra pin 12 van de Arduino laag wordt gemaakt. Het eigen signaal is dan bij 1,5 kHz te horen.



Figuur 1. Instelling van de VFO-frequentie.

Listing 2. Zenden van een WSPR-sigitaal (gedeelte van Si5351WSPR1.ino).

```
// Simple JT65/JT9/WSPR/FSQ beacon for Arduino, with the Etherkit
// Si5351A Breakout Board, by Jason Milldrum NT7S.

#include
#include
#include
#include
#include "Wire.h"
#define BUTTON          12
#define LED_PIN        13

...
char message[] = "EL2SDR J031";
char call[] = "EL2SDR"; //das Rufzeichen
char loc[] = "J031"; //der Lacotor wie z.B. J031";
uint8_t dbm = 10; //10 mW, 30 für 1W, 37 für 5 W
uint8_t tx_buffer[255];
...

void encode()
{
    uint8_t i;
    // Clear out the old transmit buffer
    memset(tx_buffer, 0, 255);
    jtencode.wspr_encode(call, loc, dbm, tx_buffer);
    // Reset the tone to the base frequency and turn on the output
    si5351.output_enable(SI5351_CLK0, 1);
    digitalWrite(LED_PIN, HIGH);
    for(i = 0; i < symbol_count; i++)
    {
        si5351.set_freq((freq * 100) + (tx_buffer[i] * tone_spacing), SI5351_CLK0);
        Serial.print (tx_buffer[i]); Serial.print (",");
        proceed = false;
        while(!proceed);
    }
    // Turn off the output
    si5351.output_enable(SI5351_CLK0, 0);
    digitalWrite(LED_PIN, LOW);
}

void loop()
{
    if(digitalRead(BUTTON) == LOW)
    {
        delay(50); // delay to debounce
        if (digitalRead(BUTTON) == LOW)
        {
            encode();
            delay(50); //delay to avoid extra triggers
        }
    }
}
```

Voor het programma *SI5351WSPR1.ino* (**listing 2**) hebben we de (niet-bestaande!) roepnaam EL2SDR verzonnen, die natuurlijk alleen voor interne experimenten zonder aangesloten antenne toegestaan is. Daarnaast moeten een QTH-locator (in het geval van de auteur is dat JO31) en het zendvermogen (10 dBm) worden opgegeven. Hieruit vormt de encode-functie een zendbuffer met de WSPR-symbolen 0, 1, 2 en 3, die staan voor vier dicht bij elkaar liggende frequenties op een onderlinge afstand van 1,46 Hz.

```
jtencode.wspr_encode(call, loc, dbm, tx_buffer);
```

Een typische bufferinhoud ziet er dan zo uit:

```
1,3,0,2,2,2,2,2,1,0,2,0,1,3,1,0 ...
```

Hiermee wordt nu tijdens het eigenlijke zenden de frequentie van het FSK-signaal gestuurd (**listing 2**).

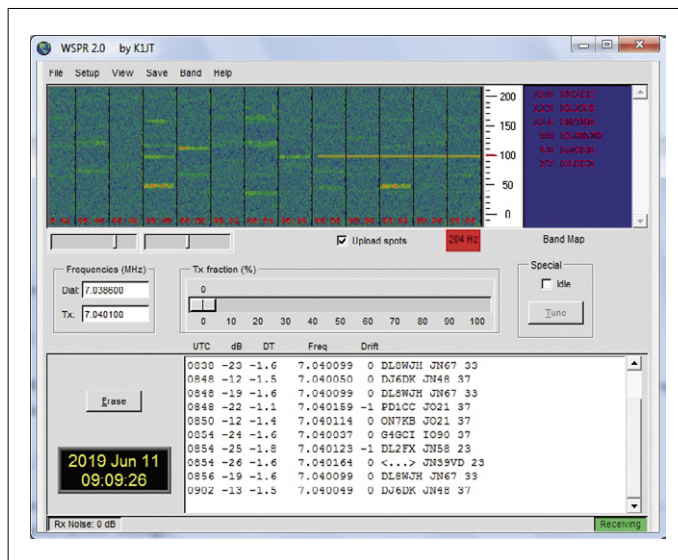
Een uitzending duurt twee minuten en begint op de hele minuut. Voor een goed verloop moet die tijd precies aangehouden worden. Twee seconden na het begin van een hele minuut wordt de eigen zender gestart door een drukknop aan pin 12.

De ontvanger kan met een antenne worden uitgerust om echte WSPR-stations te ontvangen. De zender-uitgang daarentegen blijft vrij en krijgt geen antenne. Het signaal wordt vanuit uitgang A voldoende sterk capacitief gekoppeld met de antenne-ingang en wordt door WSPR 2.0 correct ontvangen.

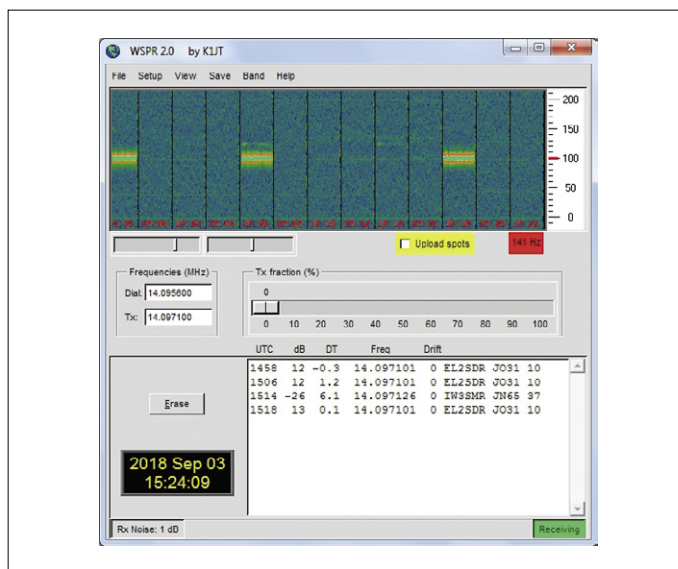
Figuur 3 toont het resultaat van het experiment. Het eigen signaal ligt 12 dB boven de ruis. Daarnaast werd een Italiaans station (dat een zendvermogen van 37 dBm (5 W) had) met -26 dB gedecodeerd.

Kalibratie en start-timing

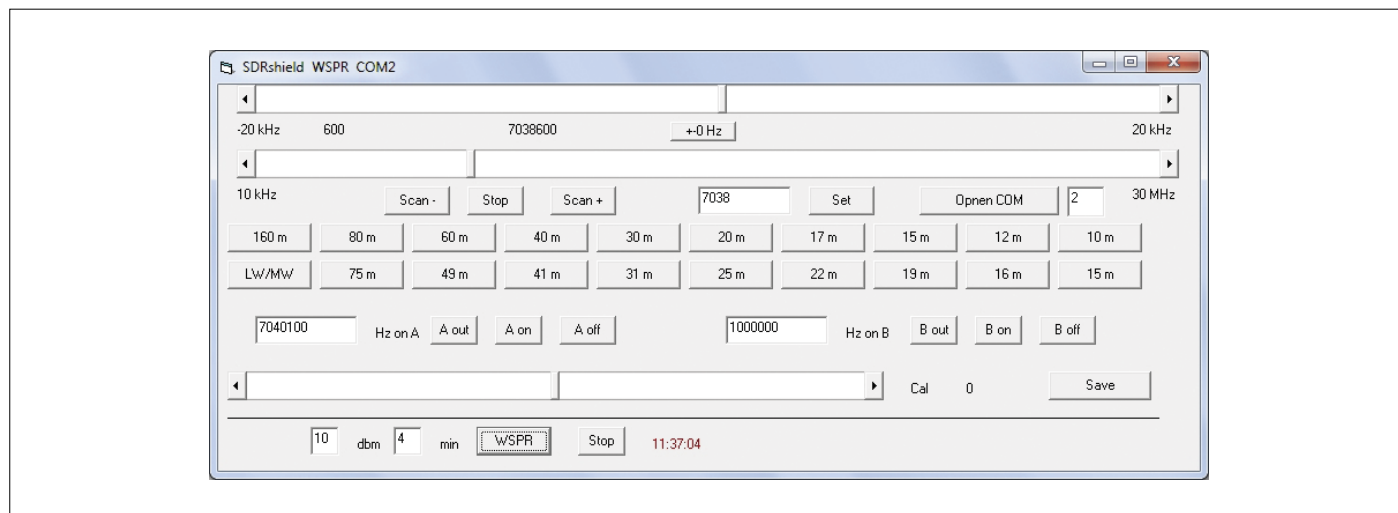
Om op alle banden met WSPR te kunnen werken, is een uitgebreide firmware *si5351vfo2_WSPR.ino* en een geschikt PC-gebruikersprogramma *SDRshield_WSPR* geschreven. Doorslaggevend is de precieze frequentie. De auteur heeft daarom een kalibratiefunctie geïntegreerd. Als frequentie-standaard zoekt u eerst een kortegolf-omroepstation op. Met de schuifregelaar wordt de ontvanger precies op deze frequentie ingesteld. In het spectrum van de software SDR# [6] moet de draaggolf nu precies op het 5 kHz-raster staan. De instelling kan worden



Figuur 2. WSPR-signalen en de hulpdraaggolf A.



Figuur 3. Ontvangst van het eigen signaal.



Figuur 4. WSPR-frequentie 7038,600 kHz in de 40m-band.

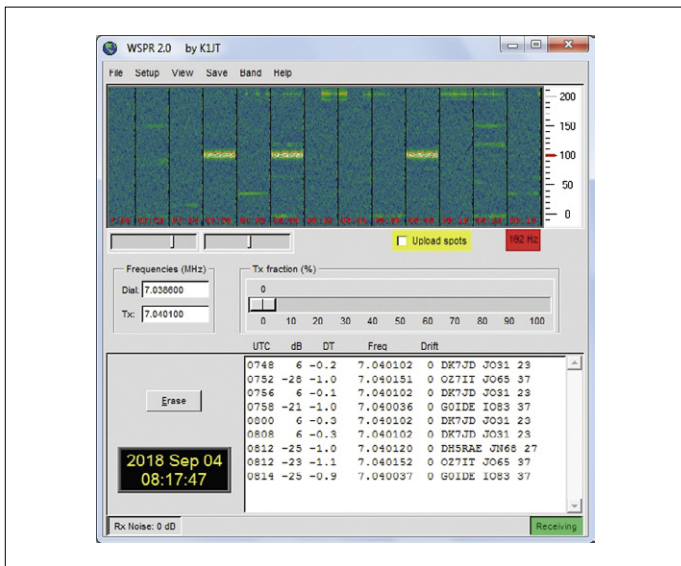
Listing 3. De zenderbesturing.

```

if (ch == 119) {           // w, Start wspr
  dbm = number;
  encode();
}
...
if (ch == 102) {         //f
  si5351.set_freq(freq*400ULL, SI5351_CLK1);
  wsprfreq = freq;
}

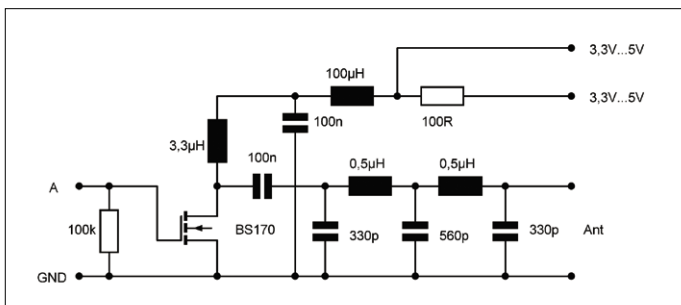
void encode()
{
...
  si5351.set_freq((wsprfreq * 100)+ 150000 + (tx_buffer[i] * tone_spacing),
                  SI5351_CLK0);
...

```



Figuur 5. Ontvangst van het eigen signaal.

getest met andere omroepzenders, die in de meeste gevallen hun frequentie zeer nauwkeurig aanhouden. Met Save wordt de correctie naar de Arduino overgebracht. Het VB-gebruikersprogramma is zodanig gewijzigd dat de sneltoetsen voor de amateur-radiobanden niet langer het begin



Figuur 6. 200mW-eindtrap met een BS170.

van de band, maar de voor deze band vastgestelde WSPR-frequentie kiezen. De VFO wordt met een klik op de 40m-button op 7038,600 kHz ingesteld.

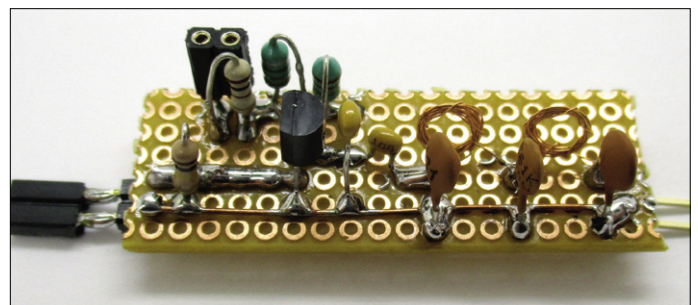
Met een klik op de WSPR-knop wordt de zendfunctie geactiveerd (**figuur 4**). De zender start daarna op de eerstvolgende hele minuut en vervolgens telkens na een vooraf ingestelde interval van 2 (default), 4, 6, 8 of 10 minuten. De tijd wordt tijdens de actieve fasen rood weergegeven.

De momentele ontvangstfrequentie wordt in de Arduino-sketch aan de zendfrequentie toegewezen. Met het w-commando start de uitzending, zodat niet meer op een startpuls op pin 12 hoeft te worden gewacht. De enige verzonden parameter is het momentele zendvermogen in dBm. Tijdens het zenden worden bij de frequentie in `wsprfreq` nog 1500 Hz en de betreffende modulatiefrequentie opgeteld (**listing 3**).

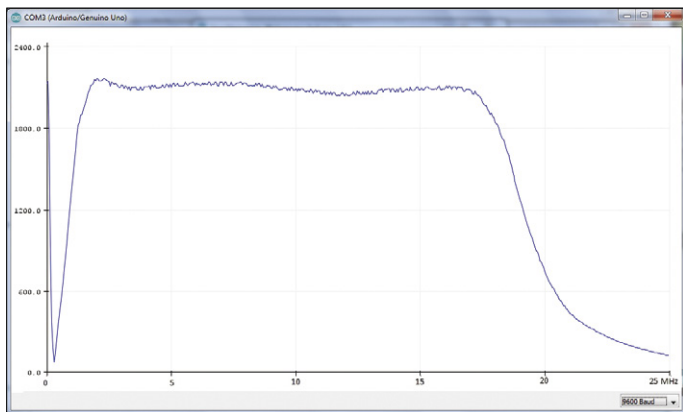
De eerste test in de 40m-band werd weer zonder antenne, met open aansluiting A uitgevoerd. **Figuur 5** toont enkele via de ontvangstantenne gedetecteerde stations, met daartussen het eigen signaal dat met de eigen stationsnaam DK7DJ van de auteur werd gegenereerd. Weliswaar is hier sprake van een draadloze verbinding, maar de reikwijdte is met 2 cm tamelijk bescheiden...

200mW-zendversterker

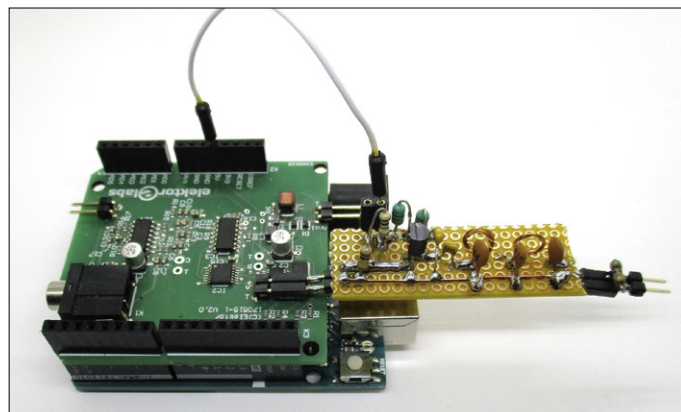
Figuur 6 toont een kleine zend-eindtrap met een MOSFET BS170. Deze levert maximaal 200 mW (23 dBm) bij een voedingsspanning van 5 V. Naar keuze kan ook een spanning van 3,3 V worden gebruikt, waarmee een uitgangsvermogen van



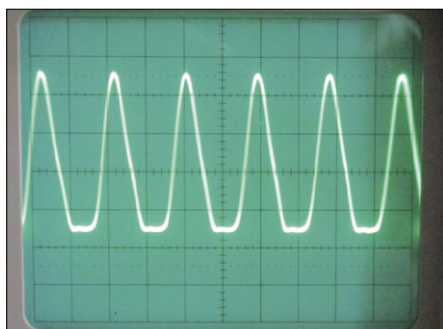
Figuur 7. FET-eindtrap met filter.



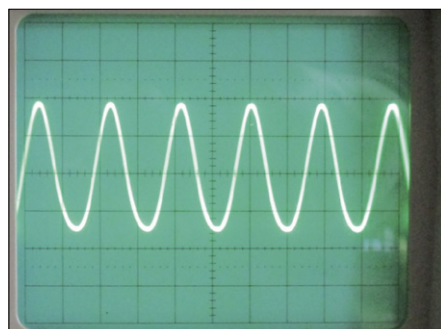
Figuur 8. De frequentiecarakteristiek van de eindtrap.



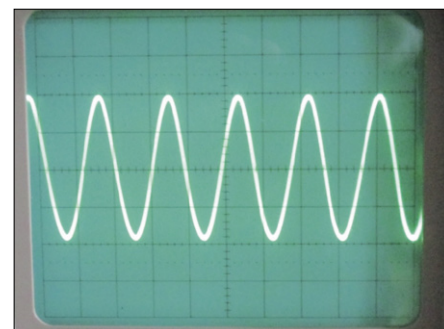
Figuur 9. Met voedingsspanning 5 V en afsluitweerstand.



Figuur 10. Signaal op de drain van de FET.



Figuur 11. In het midden van het filter.



Figuur 12. Aan de afsluitweerstand.

100 mW (20 dBm) kan worden gehaald. Met een serieweerstand van 100Ω wordt het vermogen nogmaals met 10 dB gereduceerd, zodat nu 10 mW (10 dBm) respectievelijk 20 mW (13 dBm) aan de antenne wordt geleverd. Het uitgangsvermogen is op deze manier in een ruim bereik instelbaar:

- 5 V: 200 mW
- 3,3 V: 100 mW
- 5 V via 100Ω : 20 mW
- 3,3 V via 100Ω : 10 mW

Het laagdoorlaatfilter aan de uitgang van de eindtrap is geoptimaliseerd voor de 20m- en 30m-banden. De filterspoelen van $0,5 \mu\text{H}$ worden gewikkeld als luchtspoelen van tien windingen met een diameter van 5 mm. **Figuur 7** toont de compacte opbouw van de eindtrap.

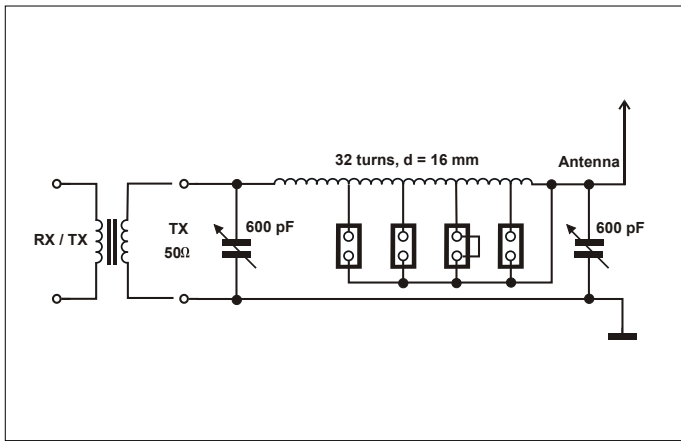
Het laagdoorlaatfilter is gedimensioneerd voor een typische werkfrequentie van 10 MHz. Om dit te testen is het SDR-shield met een vierpool-meetprogramma onderzocht.

De meetresultaten (**figuur 8**) tonen een bovenste grensfrequentie van 18 MHz. Hierdoor is ook de 20m-band rond 14 MHz nog te gebruiken en – binnen zekere grenzen – ook de 17m-band rond 18 MHz. De nog bruikbare ondergrens van de zendeindtrap ligt rond de 2 MHz. Vanaf 10 MHz is voldoende verzwakking van harmonischen te verwachten om een geschikte antenne direct te mogen aansluiten. De onderste grensfrequentie van 2 MHz is het gevolg van de relatief geringe zelfinductie van $3,3 \mu\text{H}$ in de drain-kring van de eindtrap.

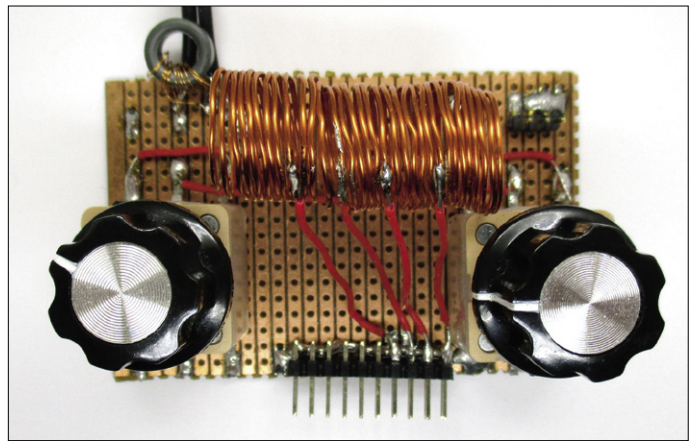
Nader onderzoek met de oscilloscoop toont de werking van het laagdoorlaatfilter en het haalbare uitgangsvermogen. Daartoe

Advertentie

Klokgebouw Strijp-S eindhovenmakerfaire.nl



Figuur 13. Pi-filter met breedband-transformator.



Figuur 14. Opbouw met luchtspoelen en folie-draaicondensatoren.



Figuur 15. WSPR-spots bij 200 mW.

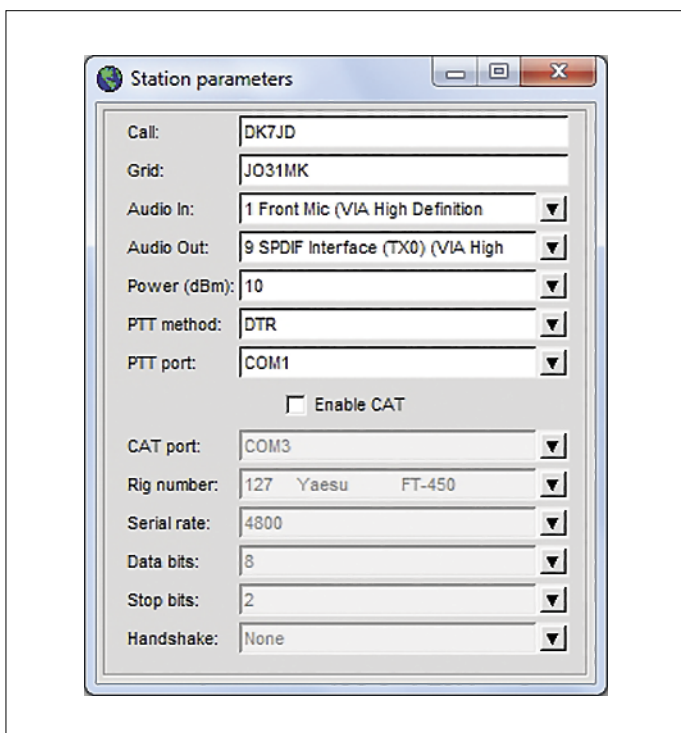
werd de eindtrap met 5 V gevoed en voorzien van een belastingsweerstand van 51Ω (figuur 9). Over de belastingsweerstand staat een spanning van 8 Vpp, een amplitude dus van 4 V. Hieruit is het uitgangsvermogen te berekenen: $P = U^2 / 2 R = (4 \text{ V})^2 / 100 \Omega = 0,16 \text{ W} = 160 \text{ mW}$. Experimenten lieten zien dat met een wat hogere voedingsspanning van 7 V nog iets meer vermogen haalbaar is. De scoopplaatjes in figuur 10...12 tonen de steeds betere filtering tot aan de antenne-uitgang. Al met al zijn alle banden van 160 m tot 20 m met deze eindtrap te gebruiken. Maar dan is wel extra onderdrukking van harmonischen vereist. Dit lukt relatief eenvoudig met een antenne-adapter in de vorm van een pi-filter.

Antenne-aanpassing

Met een antenne-aanpassing kunnen voor het zenden ook antennes gebruikt worden die niet de juiste lengte hebben en dus niet vanzelf resoneren. Alleen een optimale dipoolantenne heeft een reële voetpuntsweerstand. In alle andere gevallen is sprake van een hogere impedantie met een extra capacatieve of inductieve schijnimpedantie.

Met een pi-filter (figuren 13 en 14) kan vrijwel elke antenne worden aangepast. Het filter is opgebouwd uit twee draaicondensatoren en een spoel met aftakkingen, waarmee met een kortsluitjumper de zelfinductie kan worden gevarieerd. Afhankelijk van de instelling kan de spanning aan de uitgang hoger of lager zijn dan aan de ingang, waardoor zowel hoog- als laagohmige antennes aangepast kunnen worden. Het pi-filter transformeert de impedantie van de antenne en compenseert overblijvende blindweerstand.

Tegelijkertijd fungeert het pi-filter ook als laagdoorlaatfilter en dempt het de harmonischen van het zendsignaal. Voor een optimale filtering moet worden gestreefd naar een zo hoog mogelijke kwaliteitsfactor. Dat is niet op alle frequenties haalbaar, omdat het filter direct aan de 50-Ω-uitgang van de eindtrap is aangesloten. Daarom is een breedband-transformator met een wikkerverhouding van 1:4 toegevoegd. De uitgangsspanning wordt omhoog getransformeerd en is dan optimaal aangepast aan het pi-filter. Hiermee kan de WSPR-zender ook op 80 m, 60 m en 40 m worden gebruikt. Als afstemhulp is een oscilloscoop gebruikt om het antennesignaal op de hoogste spanning in te stellen. Dat biedt tevens het voordeel dat grote fouten in de filtering direct worden onderkend. In dat geval namelijk is



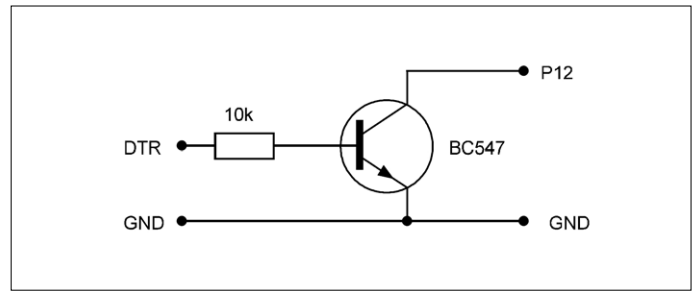
Figuur 16. Software-instellingen.

een duidelijke afwijking van de sinusvorm waarneembaar, die duidt op de aanwezigheid van harmonischen.

Met deze kleine WSPR-zender is bij 200 mW met succes op alle banden gewerkt van 80 t/m 20 meter. De auteur kon hiermee bijna heel Europa bereiken en afstanden overbruggen tot 3000 km (**figuur 15**). Bij andere experimenten werden met net zulke kleine vermogens ook stations in de USA, Canada en Australië bereikt. Daartoe moet de zender lang genoeg op dezelfde frequentie blijven zenden. Bij steeds wijzigende propagatie-condities is er dan altijd wel een kort moment waarin een succesvolle verbinding kan worden gemaakt. Een test met slechts 10 mW op 40 m resulteerde in afstanden van 600 km.

CAT-sturing

Het programma WSPR 2.0 is voorbereid voor de CAT-aanstuuring (Computer Aided Transceiver) van een hele reeks amateur-apparatuur met geschikte interfaces. Daarbij wordt eerst de gewenste frequentie ingesteld waarna de transceiver vervolgens naar zenden wordt omgeschakeld. De software genereert de modulatie in het bereik van 1400...1600 Hz en stuurt daarmee de microfooningang van de SSB-zender aan. In het menu *Setup/Station-Parameters* kunnen alle daarvoor benodigde instellingen en parameters worden ingevoerd (**figuur 16**). De volledig automatische besturing van het SDR-shield is niet zonder verdere uitbreidingen mogelijk, omdat het hier geen SSB-zender betreft. Maar een automatische start kan ook via de PTT-methode worden bereikt. De instelling *DTR* met COM-



Figuur 17. Start-interface.

poort COM1 bewerkstelligt dat tijdens elke zendactie de uitgang DTR op de seriële interface hoog wordt, waarmee een zender kan worden ingeschakeld. Daarvoor is wel een eenvoudige inverter vereist (**figuur 17**) die de start-ingang P12 van de de Arduino aanstuurt.

Met deze verbinding neemt de WSPR-software de besturing van de zendfase over. Het eigen signaal wordt dan niet meer ontvangen. Bovendien zijn de intervallen tussen de zendfasen weliswaar instelbaar, maar tevens willekeurig gespreid. Hiermee wordt voorkomen dat tegenstations gedurende langere tijd steeds gelijktijdig zenden en dus hún tegenstation niet kunnen ontvangen. ◀

180709-04

Weblinks

- [1] Weak Signal Propagation Reporter Network: <http://wspnnet.org/>
- [2] WSPR 2.0-software: <https://physics.princeton.edu/pulsar/K1JT/wspr.html>
- [3] Elektor SDR-Shield 2.0 (2), Elektorlabs september-oktober 2018: www.elektormagazine.nl/180284-03
- [4] SDR Hands-on Book (met software-archief): www.elektor.nl/sdr-hands-on-book
- [5] JTEncode-library: <https://github.com/etherkit/JTEncode>
- [6] Software SDR#: <https://airspy.com>

IM ELEKTOR-STORE

→ Elektor SDR-Shield 2.0
www.elektor.nl/170515-91

→ SDR Hands-on Book
www.elektor.nl/sdr-hands-on-book

— Advertentie



ONLINE ASSEMBLAGE VAN ELEKTRONISCHE PRINTPLATEN

www.emsproto.com



ONLINE
PRIJSOPGAVE
VAN UW
ELEKTRONISCHE
PRINTPLAAT



LEVERTIJD VAN
2 tot 12
DAGEN



HOEEVEELHEID VAN
1 tot 50
PRINTPLATEN

