*digi*WUFFUM

SDR Transmitter · PE1PzN · AD9363 · handleiding versie 3.2 (19 oktober 2026)

1. Wat is digiWUFFUM
2. Aansluiten (I2S-kaartjes)
3. De eerste keer: kaartje, USB en IP-adres
4. Starten
5. Verbinden met de 7020
6. Het rack
7. De monitorbalk
8. Modulatiemonitor
9. RDS
10. RF-spectrum
11. Afregeling
12. Ontvanger
13. Logboek
14. Lampjes en alarmen
15. Bekende beperkingen

1. Wat is digiWUFFUM

digiWUFFUM bedient een FM-omroepzender (WBFM) op een Zynq 7020-SDR met AD9363 (een Pluto-kloon, 70 MHz tot 6 GHz) en meet tegelijk wat er de lucht in gaat. Het geluid komt als I2S binnen op de 7020; de FPGA maakt daar de FM-modulatie van.

Kaartje 3.x. Een schoner signaal: naast het kanaal is het stil, en het kanaalfilter is steil (een kanaal van 200 kHz is ook echt 200 kHz breed). En in de FPGA zit ook een **FM-ontvanger**: met een DAC-kaartje erbij luister je zonder vertraging naar een FM-zender van 70 MHz tot 6 GHz, terwijl je zelf uitzendt.

Nieuw in 3.2.

- Ruisonderdrukking in de ontvanger in de 7020: schuif `Ruis` van 0 tot 10 (zie hoofdstuk 12).
- Geen tikken en knallen meer in het DAC-geluid bij omstemmen, wisselen van tabblad en bij mono of 75 µs.
- Het afregelen per frequentie wordt nu altijd toegepast, ook na een herstart van de 7020.

Nieuw in 3.1.

- Werkt op **elke** 7020: bij sommige borden kwam er met 3.0 geen MPX door of bleef de DAC stil. Dat is opgelost.
- Knop `Zoek` naast het IP-adres: digiWUFFUM vindt de 7020 zelf, via USB of via je netwerk.
- Werkt ook als je thuisnetwerk 192.168.2.x is (bijvoorbeeld bij KPN): het kaartje lost dat zelf op.
- De zender gaat niet meer vanzelf uit als het programma even druk is.

> **Alleen voor zendamateurs en radio-onderzoek, niet voor commercieel gebruik.** Het programma, de bestanden voor het SD-kaartje en deze handleiding worden gratis gegeven zoals ze zijn, zonder enige garantie. Gebruik is op eigen risico: PE1PzN is niet aansprakelijk voor schade aan apparatuur, storing bij anderen of andere gevolgen van het gebruik. Zenden mag alleen binnen de voorwaarden van je eigen machtiging en op frequenties waar jij dat mag; daar ben je zelf verantwoordelijk voor.

Wat het programma doet:

- de zender aan en uit zetten, frequentie en vermogen instellen, voorkeuzes;

- de eigen uitzending meten: zwaai, pilot, RDS, MPX-vermogen, kanaalscheiding, RF-spectrum;
- RDS volledig uitlezen (PS, RadioText, RT+, klok, PTYN, Long PS, AF en meer);
- de MPX-clipper en het kanaalfilter in de FPGA bedienen;
- de zender afregelen: spiegelbeeld en draaggolflek wegregelen, automatisch en per frequentie bewaard;
- een tweede ontvanger met spectrum, waterval en S-meter, om andere zenders te bekijken;
- luisteren via de ontvanger in de 7020 en een DAC-kaartje (kaartje 3.x), of via een tweede SDR (RSPdx).

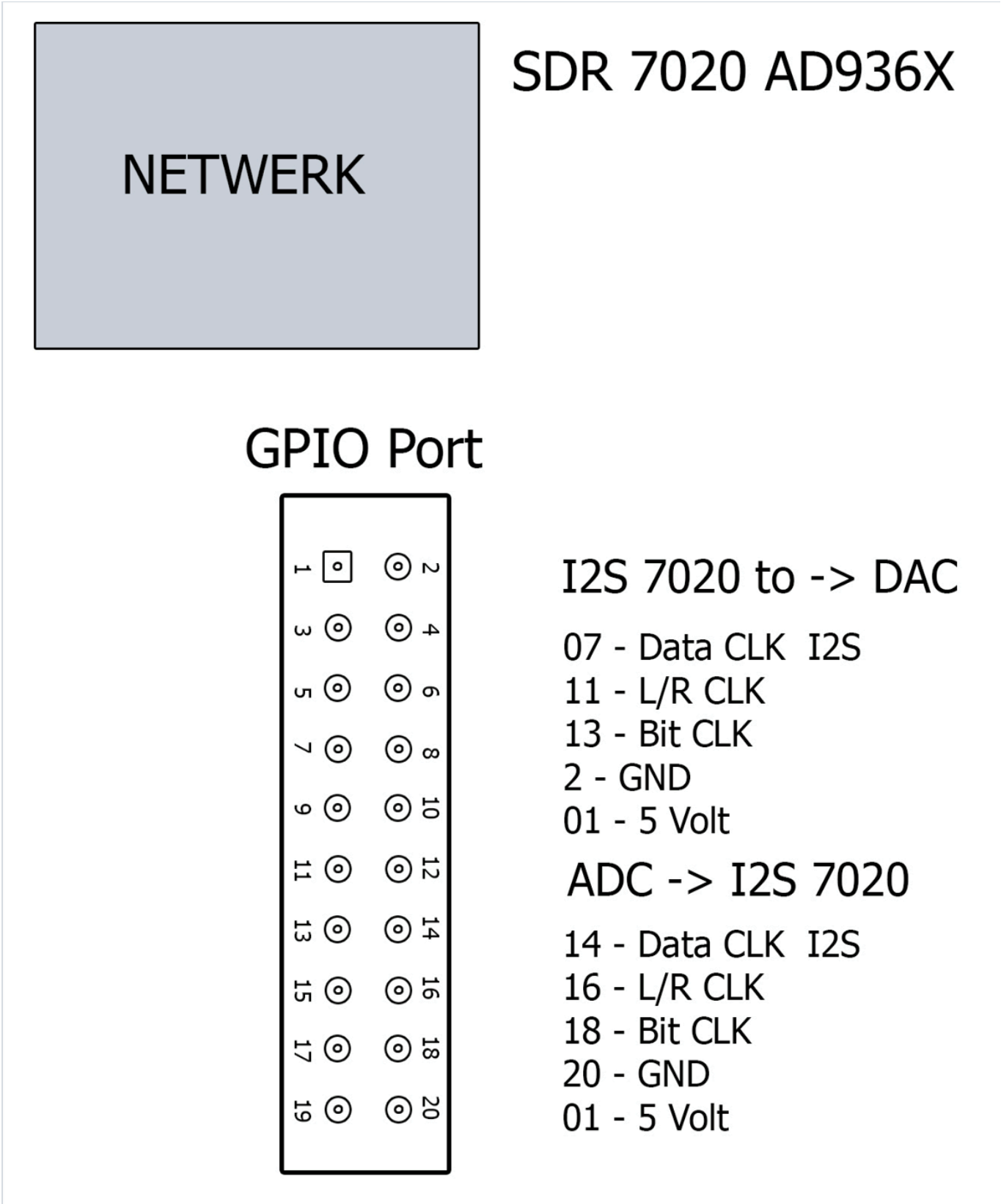
Het FPGA-ontwerp waar digiWUFFUM mee begon, is van Willem, PE1PCF: github.com/Willem65/Vivado-Zynq-7020-Chinese-ADALM-Pluto-kloon.

2. Aansluiten (I2S-kaartjes)

Het MPX-signaal komt **analoog** binnen op een klein I2S-ADC-kaartje vlak bij de 7020; dat zet het om naar I2S en de FPGA maakt er de FM-modulatie van. Analoog tot aan het kaartje, omdat I2S geen lange kabel haalt.

```
MPX-bron (stereo-encoder)  --analoog-->  I2S-ADC-kaartje  --I2S-->  JP5 van de 7020  -->  FPGA
-->  AD9363
AD9363 (RX1/RX2)  -->  FPGA (FM-ontvanger)  -->  JP5  --I2S-->  DAC-kaartje  -->  luidspreker
(kaartje 3.x)
```

De header JP5 van de 7020

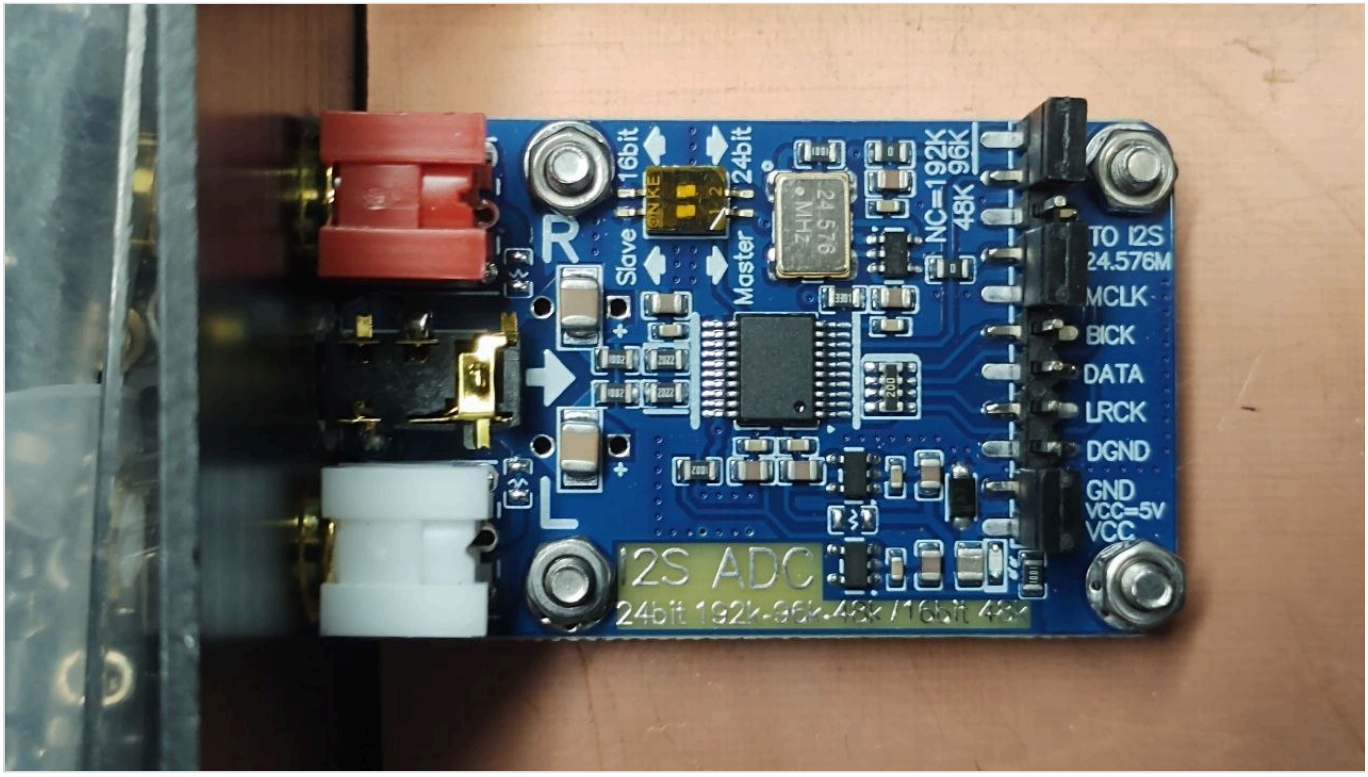


De GPIO-poort JP5: 2 x 10 pinnen. De even pinnen (rechterkolom) zitten op een 1,8 V-bank, de oneven pinnen 7 tot 13 op 3,3 V.

Pin	Wat	Pin	Wat
1	5 V (voeding)	2	GND
3	3,3 V (voeding)	4	vrij (1,8 V)
5	1,8 V (voeding)	6	vrij (1,8 V)
7	DAC: DATA (3,3 V)	8	vrij (1,8 V)
9	DAC: MCLK, niet nodig (3,3 V)	10	vrij (1,8 V)
11	DAC: LRCK (3,3 V)	12	vrij (1,8 V)
13	DAC: BCK (3,3 V)	14	**ADC: DATA** (1,8 V)
15	**niet gebruiken** (VCTCXO)	16	**ADC: LRCK** (1,8 V)
17	**niet gebruiken** (PTT)	18	**ADC: BCK** (1,8 V)
19	**niet gebruiken** (AD9363 SYNC)	20	GND

> Meet de voedingspinnen 1, 3 en 5 eerst na met een multimeter voordat je er iets op aansluit. De indeling komt van Willem (PE1PCF), die hem op het bord heeft nagemeten.

ADC-kaartje: MPX naar de 7020 (digiWUFFUM)



Het ADC-kaartje: schakelaars op Master en 24 bit; samplerate-jumper open (NC) = 192 kHz. Uitgang BICK, DATA, LRCK, DGND; voeding VCC 5 V. MCLK en "TO I2S 24.576M" niet aansluiten.

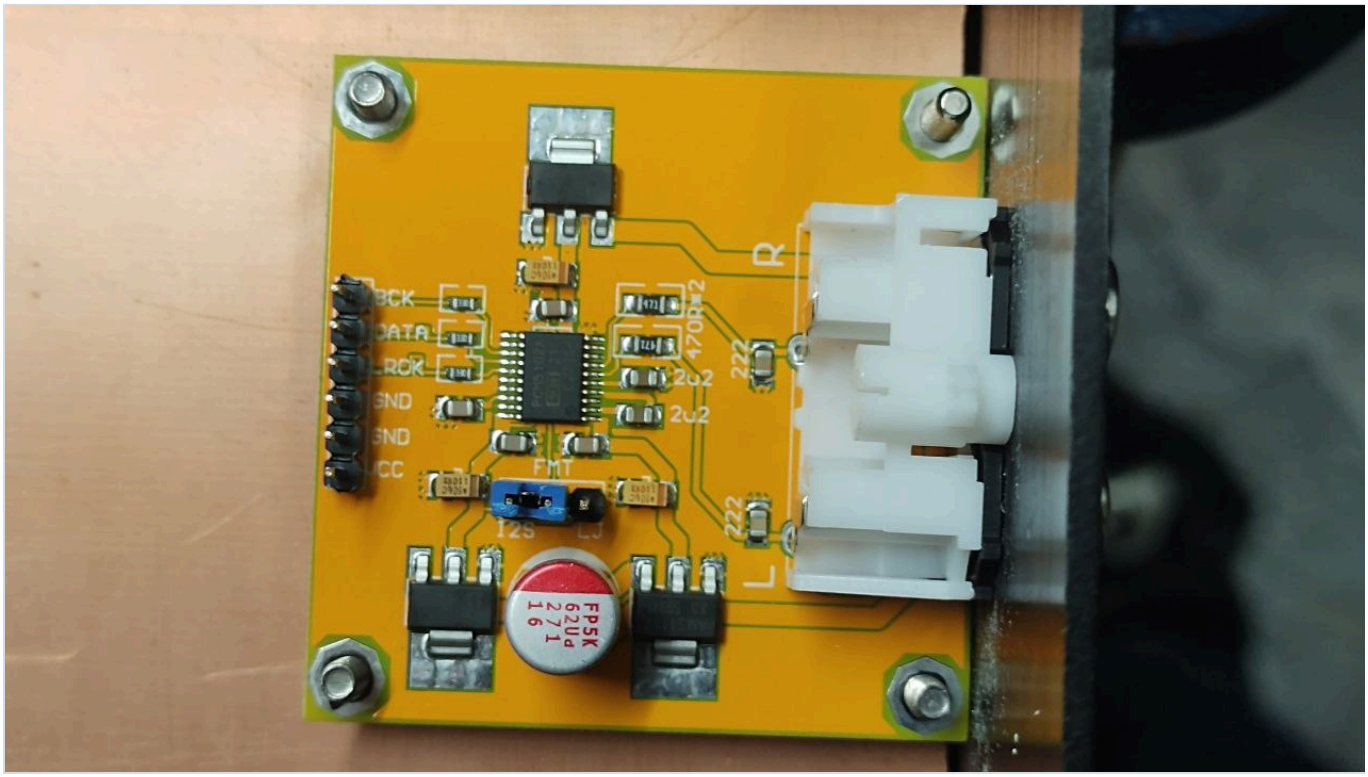
Het kaartje heet **I2S ADC Audio Capture Card Module** (24 bit, 192/96 kHz, Master/Slave), bijvoorbeeld te koop via https://www.amazon.nl/dp/B0CQ5KK9XQ.

ADC-kaartje	JP5	Opmerking
DATA (SDOUT)	14	via een deler: **1 kΩ in serie, 1,2 kΩ naar massa** (3,3 V wordt 1,8 V)
LRCK (WS)	16	
BCK	18	
GND	20 (en 2)	

- Het ADC-kaartje staat op **Master** en **24 bit** (schakelaars): het maakt zelf de klok, 192 kHz (BCK 12,288 MHz). De samplerate-jumper moet **open** zijn (NC = 192 kHz); op 96K of 48K werkt het niet.
- Het MPX gaat op de **linker** ingang; de FPGA gebruikt alleen het linker kanaal.
- De pinnen 14, 16 en 18 zitten op een 1,8 V-bank: zonder deler krijgt de FPGA 3,3 V op die pinnen.
- De zwaai ligt vast in de FPGA. Het MPX-niveau regel je met de potmeter vóór het kaartje: zet die zo dat de piekzwaai (Modulatiemonitor) rond 75 kHz komt. De clipper vangt de laatste toppen op.

> **Zonder ADC-kaartje (geen BCK) staat de hele FPGA-keten stil**, ook de testtoon: er gaat dan alleen een draaggolflekje de lucht in. Sluit het kaartje dus altijd aan, ook om af te regelen.

DAC-kaartje: geluid uit de 7020 (kaartje 3.x)



Het DAC-kaartje met PCM5102A: ingang BCK, DATA, LRCK, GND, VCC 5 V; de FMT-jumper op I2S.

Vanaf kaartje 3.x zit er een FM-ontvanger in de FPGA. Het geluid daarvan gaat naar een DAC-kaartje met een PCM5102A, precies zoals bij digiNICAM. Er zit geen pc tussen, dus ook geen vertraging. Het DAC-kaartje is niet nodig om te zenden; alleen om te luisteren.

DAC-kaartje (PCM5102A)	JP5	Opmerking
DATA (DIN)	7	3,3 V, rechtstreeks (geen deler)
LRCK	11	
BCK	13	
GND	2 (en 20)	
VCC	1 (5 V)	het kaartje heeft eigen 3,3 V-regelaars

- **Geen deler naar de DAC.** Pin 7, 11 en 13 zitten op de 3,3 V-bank: de FPGA stuurt 3,3 V uit, en de PCM5102A werkt zelf ook op 3,3 V (hoog = vanaf ongeveer 2,3 V). Een deler is alleen nodig waar 3,3 V een 1,8 V-ingang in gaat, dus alleen aan de ADC-kant.
- 32 kHz, 24 bit, standaard I2S; de 7020 is master. Geen MCLK nodig: de PCM5102A maakt die zelf.
- De FMT-jumper van het DAC-kaartje op I2S (laag). Hoor je alleen gekraak, zet hem om.
- Delen ADC- en DAC-kaartje pin 1 (5 V), dan die pin splitsen (bijvoorbeeld een Y-draadje).

3. De eerste keer: kaartje, USB en IP-adres

Je hebt twee downloads nodig: **digiWUFFUM SD-kaart 3.2** (voor in de 7020) en **digiWUFFUM 3.2** (voor de pc). Vernieuw ze altijd samen.

Stap 1. Het SD-kaartje maken

1. Neem een leeg micro-SD-kaartje, **FAT32** geformatteerd. Groter dan 32 GB? Maak dan in Windows (Schijfbeheer) een kleine FAT32-partitie aan, bijvoorbeeld 1 GB.
2. Pak `digiWUFFUM-SD-kaart-3.2.zip` uit en zet de **losse bestanden** rechtstreeks op het kaartje, dus niet in een map. Bovenaan het kaartje staan dan onder meer `BOOT.bin`, `devicetree.dtb`, `uImage` en `uEnv.txt`.
3. Kaartje netjes uitwerpen en in de 7020 steken (spanning eraf).

Stap 2. Het programma op de pc

1. Pak `digiWUFFUM-V3-2.zip` uit naar een eigen map, bijvoorbeeld `C:\digiWUFFUM`. Python is niet nodig.
2. Start `digiWUFFUM.exe`. Geeft Windows een blauwe waarschuwing (SmartScreen), kies dan **Meer informatie** en **Toch uitvoeren**. Dat hoeft maar één keer.
3. Eerst rondkijken zonder 7020 kan met `START DEMO.bat`.

Stap 3. Beginnen via USB

De eerste keer is het makkelijkst via USB: dan hoef je nog niets van je netwerk te weten.

1. Verbind de 7020 met een USB-kabel met de pc en zet de spanning erop. Wacht tot hij opgestart is (ruim een halve minuut).
2. Windows ziet de 7020 net als een gewone Pluto als **netwerkkaart** en als **USB-schijfje**.
3. Druk in digiWUFFUM op `Zoek` naast het IP-adres. Het programma vindt de 7020 en vult het adres zelf in (via USB is dat meestal **192.168.2.1**). Druk daarna op `Verbinden`. Werkt het, dan is het kaartje goed.

Stap 4. Via de netwerkkabel

Wil je de 7020 via de netwerkkabel gebruiken (handig als hij verderop staat), dan is dat zo gedaan:

1. Netwerkkabel erin en de 7020 (opnieuw) opstarten. Hij krijgt vanzelf een adres van je router.
2. Druk in digiWUFFUM op `Zoek`. Het gevonden adres wordt bewaard tot je weer op Zoek drukt.
3. Druk op `Verbinden`.

Liever een vast adres? Open op het USB-schijfje van de 7020 het bestand `config.txt` met Kladblok, vul onder `[NETWORK]` bijvoorbeeld `ipaddr_eth = 192.168.0.173` en `netmask_eth = 255.255.255.0` in, sla op en **werp het schijfje uit** in Windows (pas dan neemt de 7020 het over). Daarna de 7020 opnieuw opstarten.

> Zet **automatisch** aan (hoofdstuk 5) als het werkt; dan verbindt digiWUFFUM voortaan vanzelf bij het opstarten. De USB-kabel mag daarna blijven zitten of eraf; voeding kan ook via een losse 5 V-adapter.

4. Starten

Bestand	Wat het doet
`digiWUFFUM.exe`	Het programma, zonder dat Python nodig is.
`START.bat`	Start het programma vanuit de map met eigen Python-omgeving (venv).
`START DEMO.bat`	Start zonder 7020, met een nagemaakt stereo-FM-signaal met RDS. Handig om rond te kijken.

> digiWUFFUM 3.2 hoort bij het kaartje **digiWUFFUM SD-kaart 3.2**. Vernieuw programma en kaartje altijd samen. Na het verbinden staat op het rack welk kaartje erin zit, bijvoorbeeld `FPGA 3.2 · AD9363`.

- Het programma kan maar **één keer tegelijk** draaien. Start je het een tweede keer, dan krijg je een melding. Twee programma's tegelijk zouden elkaar bij de 7020 in de weg zitten.
- Bij het opstarten past het venster zich aan het scherm aan. Het kan daarvoor een keer kort opnieuw opstarten; dat is normaal.
- Het zendvermogen staat bij het opstarten altijd op **−10 dB**, wat er de vorige keer ook was ingesteld.
- Alle instellingen staan in `zender_instellingen.json` in dezelfde map en worden vanzelf bewaard.

5. Verbinden met de 7020

Bovenaan het venster staan de verbindingsgegevens:

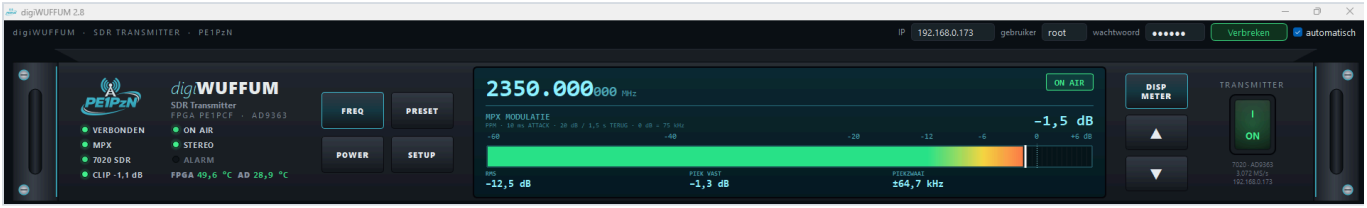
Veld	Standaard	Uitleg
IP	pluto.local	Netwerkadres van de 7020.
`Zoek`		Zoekt de 7020 via USB en in je netwerk en vult het adres in. Er wordt nergens ingelogd.
gebruiker	root	Inlog van de 7020 (zoals bij een gewone Pluto).
wachtwoord	analog	
`Verbinden`		Maakt verbinding. Wordt daarna `Verbreken`; verbreken zet de zender uit.
automatisch	uit	Aangevinkt: bij het opstarten meteen verbinden.

Na het verbinden:

- gaat het lampje **VERBONDEN** aan;
- zet het programma de frequentie, de IQ-correctie en de afregeling van deze frequentie op de 7020;
- zet het de clipper en het kanaalfilter zoals ingesteld in de monitorbalk (de FPGA start met de clipper uit);
- wordt de testtoon altijd uitgezet;
- start de monitor vanzelf, als die nog niet liep;
- gaat het lampje **7020 SDR** aan: de 7020 is verbonden en geeft antwoord.

> Stond de zender al aan toen je verbond (bijvoorbeeld na een herstart van het programma), dan neemt digiWUFFUM het vermogen over dat de 7020 op dat moment gebruikt. Het Logboek meldt dat.

6. Het rack



Bovenaan de verbindingsgegevens, daaronder het rack: merk en lampjes, knoppen, display en de TRANSMITTER-schakelaar.

Lampjes

Overal in het programma geldt dezelfde kleurregel: **groen** = in orde of in de lucht, **geel** = uit de lucht, **rood** = er is iets mis.

Lampje	Betekenis
VERBONDEN	Verbinding met de 7020.
ON AIR / OFF AIR	**ON AIR**: zender aan. **OFF AIR**: verbonden, maar zender uit.
MPX	Er komt modulatie binnen.
STEREO	De pilot (19 kHz) is aanwezig.
7020 SDR	**Groen**: de 7020 is verbonden en geeft antwoord.
CLIPPER	**Groen**: de MPX-clipper in de FPGA staat aan. Grijpt hij in, dan staat er hoeveel dB hij van de hoogste piek afhaalt (bijvoorbeeld `CLIP -1,2 dB`, 1,5 s vastgehouden). `CLIPPER UIT`: uitgezet. Grijs `CLIPPER` zonder verbinding of met een kaartje zonder clipper.
ALARM	**Rood** bij een probleem; de reden staat eronder. Zie hoofdstuk 14.

Naast het lampje CLIPPER staan de temperaturen van de FPGA en de AD9363: **groen** onder 70 °C, **geel** tot 80 °C, **rood** daarboven.

Knoppen

Knop	Wat hij doet
`FREQ`	Zendfrequentie intypen in MHz (70 tot 6000), bijvoorbeeld *1285* of *435,5*.
`PRESET`	Voorkeuzes, zie hieronder.
`POWER`	Zendvermogen (TX-verzwakking) van −89,75 dB tot 0 dB (maximaal), en de testtoon aan of uit. Gebruik **−4 dB** als hoogste stand: op 0 dB vervormt de AD9363 meer en komen er zijbanden bij.
`SETUP`	Gaat naar het tabblad Afregeling.
`DISP`	Wisselt het display: SPECTRUM, METER (PPM) of STATUS.
`▲` `▼`	Frequentie een stap omhoog of omlaag. **Rechtermuisknop** op een pijltje: de stapgrootte kiezen, van 1 kHz tot 1 GHz (standaard 100 kHz). Dat kan ook bij PRESET.
TRANSMITTER	Tuimelschakelaar: zender aan (I) of uit (O). Werkt alleen als er verbinding is.



Rechtermuisknop op ▲ of ▼: de stapgrootte kiezen.

Afstemmen met het muiswiel

Zet de muis op een **cijfer** van de zendfrequentie en draai aan het wiel: alleen dat cijfer verandert. Op het eerste cijfer is dat 1 GHz, achter de punt 100, 10 of 1 kHz, en op de kleine cijfers 100, 10 of 1 Hz. Er staan altijd vier cijfers voor de punt; onder 1 GHz is het eerste een gedimde 0, zodat de muis op hetzelfde cijfer blijft. Naast de cijfers draait het wiel met de stap van de pijltjes.

> Vermijd frequenties die precies een veelvoud van 40 MHz zijn, zoals 1280,000 MHz: daar maakt de PLL van de AD9363 een kleine wiebel. Een paar MHz ernaast, bijvoorbeeld 1283 MHz, is prima.

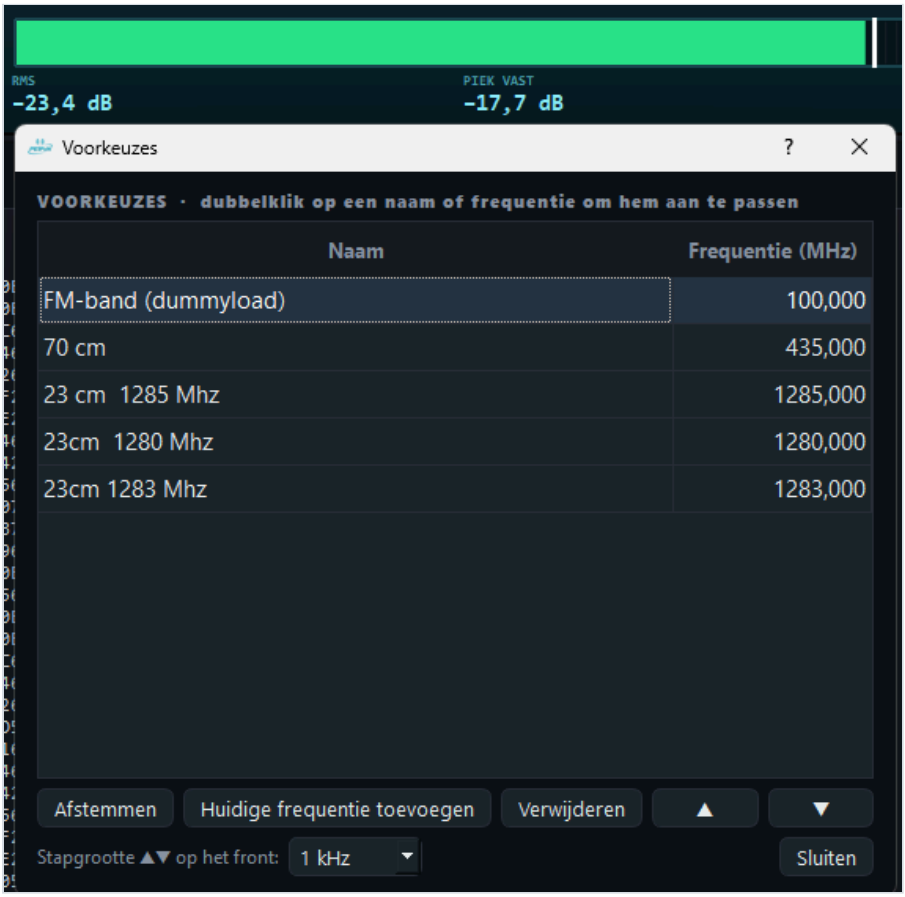
Het display

Het display toont altijd de zendfrequentie en ON AIR of OFF AIR. Met `DISP` kies je wat eronder staat: een klein spectrum, een PPM-meter of de status (verzwakking, piekzwaai, pilot, MPX-vermogen, RDS-naam, welke ontvanger meet, en de temperaturen).



Display in de stand METER: een PPM op het MPX (10 ms attack, 20 dB terug in 1,5 s, 0 dB = 75 kHz zwaai), met daaronder RMS, de vastgehouden piek en de piekzwaai.

Voorkeuzes



Het venster Voorkeuzes (knop PRESET).

Knop	Wat hij doet
dubbelklik	Op een naam of frequentie: aanpassen.
`Afstemmen`	De zender naar de gekozen voorkeuze zetten.
`Huidige frequentie toevoegen`	De frequentie waar de zender nu op staat als nieuwe voorkeuze.
`Verwijderen`	De gekozen voorkeuze weg.
`▲` `▼`	De gekozen voorkeuze hoger of lager in de lijst.
Stapgrootte ▲▼ op het front	Hoe groot de stap van de pijltjes op het rack is.

> Bij een nieuwe frequentie zet digiWUFFUM vanzelf de afregeling van de dichtstbijzijnde bewaarde frequentie op de 7020 (zie Afregeling).

7. De monitorbalk

Onder het rack staat de balk waarmee je de **monitor** bedient: de ontvanger die je eigen zender meet.

Onderdeel	Uitleg
Bron	Waarmee gemeten wordt: de 7020 zelf (Pluto), een RSPdx, of Demo.
Ingang	Bij de 7020: RX1 of RX2. RX2 ligt verder van de zender en vangt minder interne overspraak op. Bij de RSPdx: Ant A, Ant B (SMA) of Ant C (BNC, tot 200 MHz).
LNA	Versterking van de ontvanger.
RDS	Uitvinken met de 7020 als bron: kortere meetstukjes, sneller verversen, maar dan geen RDS.
Meeluisteren	Het gedemoduleerde geluid op de geluidskaart van de pc. Kan via een tweede SDR, de **RSPdx**. Met de 7020 als bron is het vinkje grijs. Luisteren met de 7020 gaat met kaartje 3.x via het DAC-kaartje (zie Ontvanger).
`Start monitor`	Start of stopt het meten.
`Clipper aan` / `uit`	De MPX-clipper in de FPGA (kaartje 2.3 en later). Hij zit na de opbemonstering, vlak voor de FM-modulator: wat er boven de grens uit komt, gaat er niet uit.
grens (kHz)	60 tot 80 kHz, standaard 71. Met het kanaalfilter op 200 kHz komt de piekzwaai ongeveer 4 kHz hoger uit dan de grens: 71 kHz geeft dan ongeveer 75 kHz zwaai.
knie (dB)	0 tot 6 dB, standaard 3. Zoveel dB onder de grens begint de clipper zacht af te ronden; daarboven clipt hij hard. 0 = alleen hard clippen.
clipperlampje	Hoeveel dB de clipper van de hoogste piek afhaalt (kaartje 2.4 en later). `niet in FPGA`: het kaartje heeft geen clipper.
Kanaal	Het kanaalfilter in de FPGA: **breed** = vlak tot 150 kHz, het beste voor stereo en RDS; **200 kHz** = vlak tot 90 kHz, steil omlaag tot 104 kHz (standaard); **190 kHz** = vlak tot 85 kHz, steil omlaag tot 98 kHz. Op kaartje 3.x, stand 200 kHz, ligt alles vanaf 104 kHz naast de draaggolf meer dan 100 dB lager (berekend voor de FPGA; de AD9363 zelf voegt nog wat toe, zie Bekende beperkingen).

> Clipper, grens, knie en kanaal worden bewaard en bij elk verbinden opnieuw op de 7020 gezet.

Clipper en kanaalfilter: waarom en hoe

Waarom een clipper. De zwaai ligt vast in de FPGA: hoe hoger het MPX-signaal, hoe meer zwaai. Muziek heeft korte toppen die ver boven het gemiddelde uitkomen. Zet je het niveau zo dat die toppen nooit boven 75 kHz komen, dan klinkt de zender zacht. Zet je het hoger, dan gaan de toppen over de 75 kHz: het signaal wordt breder en de buren hebben er last van. De clipper lost dat op: hij laat alles door tot de grens en knipt alleen de toppen eraf. Zo kan het niveau omhoog zonder dat de zwaai te ver gaat.

De knie. Hard afknippen geeft scherpe hoeken en dus vervorming. Met een knie van bijvoorbeeld 3 dB begint de clipper 3 dB onder de grens al zacht af te ronden; pas bij de grens is het echt dicht. Meer knie klinkt zachter, maar begint eerder in te grijpen.

Waarom een kanaalfilter. Een FM-signaal heeft zijbanden die verder reiken dan het kanaal, vooral bij stereo en RDS. Het kanaalfilter haalt alles buiten het kanaal weg, zodat er naast je zender niets meer te zien is in het RF-spectrum. Een bijeffect: doordat het filter de buitenste zijbanden weghaalt, komt de gemeten piekzwaai

iets hoger uit dan de grens van de clipper, bij 200 kHz ongeveer 4 kHz. Daarom staat de grens standaard op 71 kHz: dat geeft ongeveer 75 kHz zwaai.

Zo stel je het in:

1. Kies `Kanaal 200 kHz`, zet de clipper aan, grens 71 kHz, knie 3 dB.
2. Speel muziek die stevig is opgenomen en draai de potmeter vóór het ADC-kaartje open tot het clipperlampje af en toe ingrijpt.
3. Kijk op de Modulatiemonitor bij **Piekzwaai**: de hoogste piek hoort rond 75 kHz te liggen. Komt die erboven, zet de grens een halve kHz lager.
4. Kijk naar het getal bij het clipperlampje. Een paar dB bij de hardste stukken is prima. Grijpt hij voortdurend veel dB in, dan staat het niveau te hoog: het geluid wordt vlak en vervormd. Draai de potmeter dan terug.
5. Controleer daarna het **MPX-vermogen (BS.412)**: met veel clippen gaat dat omhoog. Boven 0 dBr is te veel.

> Zonder clipper regel je alleen met de potmeter: dan zo, dat de hoogste piek niet boven 75 kHz komt.

8. Tabblad Modulatiemonitor



De modulatiemonitor.

Piekzwaai

De grootste zwaai naar boven en naar beneden, in kHz en in procent van 75 kHz, twee seconden vastgehouden. Daaronder de hoogste piek volgens ITU-R SM.1268 (over 5 minuten) en het MPX-vermogen volgens ITU-R BS.412 (over 60 seconden, in dBr).

Meters

Elke meter heeft een **oranje streep: het doel**. Het getal erboven kleurt mee met hoe ver je ervan af zit.

Meter	Doel	Uitleg
Zwaai	max. 100 %	100 % = 75 kHz.
Pilot	9 %	Het niveau van de 19 kHz-pilot (9 % = 6,75 kHz zwaai).
RDS	3,4 kHz	De zwaai door het RDS-signaal.
MPX-vermogen	max. 0 dBr	Gemiddeld vermogen volgens BS.412. Erboven klinkt het voller, maar het mag niet.

MPX-spectrum

Het spectrum van het MPX-signaal tot 60 kHz: de mono som (L+R), de pilot op 19 kHz, de stereo-zijbanden rond 38 kHz en de RDS-bult op 57 kHz. Ook hier staan doelstrepen voor de pilot en de RDS-bult. Met de muis zie je via het vizier de frequentie en het niveau. Boven het spectrum staan de MPX-piek, de pilot, de RDS-injectie en de **38 kHz-rest**: wat er van de onderdrukte 38 kHz-draaggolf nog over is (hoe lager, hoe beter).

Vakken naast de piekzwaai

Vak	Wat het meet
MPX-vermogen (BS.412)	Gemiddeld MPX-vermogen over 60 s, en over de laatste seconde.
Pilot	Pilotzwaai in kHz en procent, en de exacte pilotfrequentie (hoort 19000 Hz te zijn).
38 kHz-fase	De fout van de stereo-hulpdraaggolf ten opzichte van tweemaal de pilot. Doel 0°. Dit bepaalt vooral hoe goed de kanaalscheiding is.
RDS-injectie	De RDS-zwaai in kHz en procent van 75 kHz.
Draaggolf	Hoeveel de draaggolf afwijkt van de ingestelde frequentie, in Hz.
Ontvangst	Hoe sterk het meetsignaal binnenkomt: S-punten, dBµV en dB boven de ruis (zie Ontvanger, S-meter).

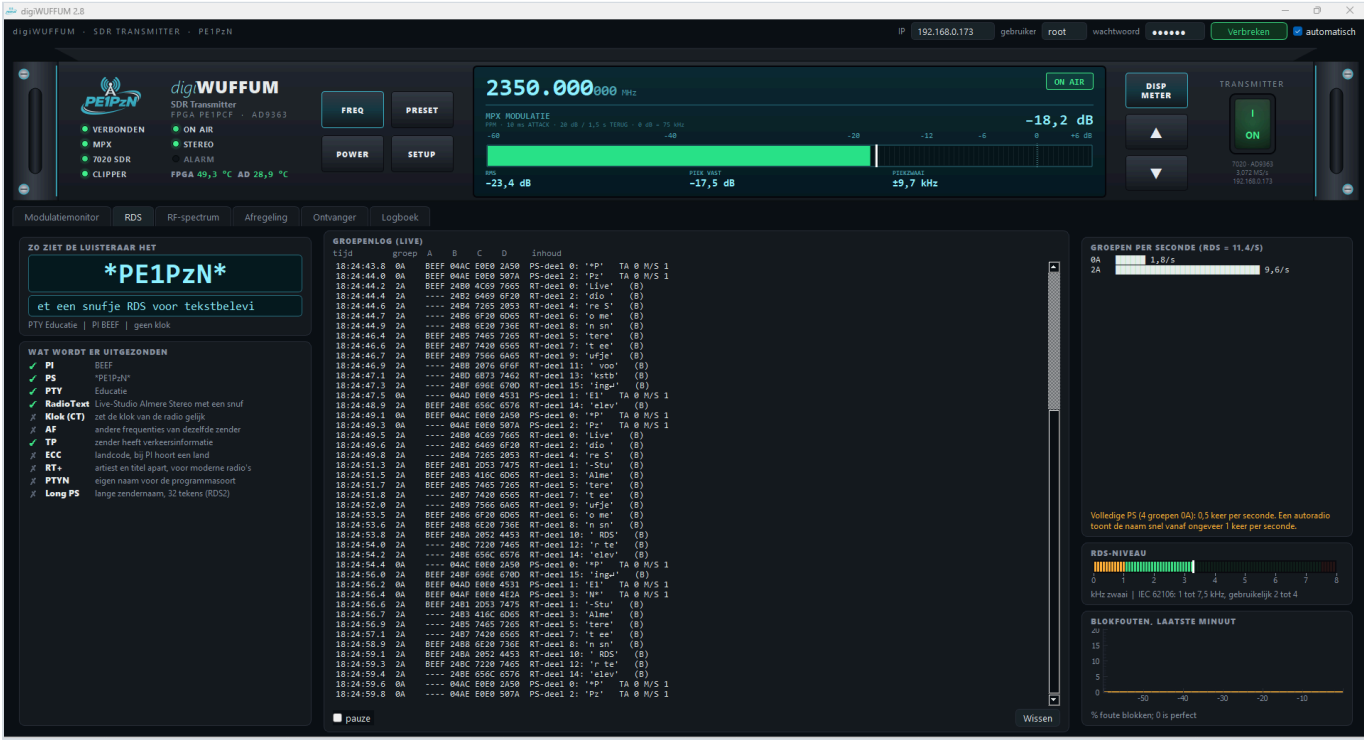
In de monitorbalk staan daarnaast korte statuslabels: *stereo*, *pilot*, *RDS* met de zendernaam, *BS.412 ok* en *overstuurd*. Ze zijn groen als het goed is en grijs als ze niet van toepassing zijn.

Audio en kanaalscheiding

De niveaus van links en rechts na de-emphasis (50 µs). Zet je muziek of een toon op **één kanaal**, dan is het verschil tussen L en R de kanaalscheiding. Doel: **40 dB of meer**. Met `30 dB dieper` kijkt de meter verder naar beneden, tot −60 dB.

> De kanaalscheiding wordt zo goed als bepaald door de fase van de 38 kHz-hulpdraaggolf ten opzichte van de pilot. Een paar graden fout kost al veel scheiding.

9. Tabblad RDS



De RDS-analyser.

Vak	Wat je ziet
Zo ziet de luisteraar het	De zendernaam (PS) en de RadioText zoals een autoradio ze toont, ook lopende tekst.
Wat wordt er uitgezonden	Alles wat er in de RDS zit: PI, PTY, PTYN, RadioText A/B, RT+ (artiest en titel), Long PS, klok (CT), ECC, AF-lijst en de gebruikte ODA's.
Groepenlog (live)	Elke ontvangen groep. Met `pauze` zet je de lijst stil, `Wissen` maakt hem leeg.
Groepen per seconde	Hoe vaak elke groepssoort langskomt. RDS haalt in totaal 11,4 groepen per seconde.
RDS-niveau	De gemeten RDS-zwaai.
Blokfouten, laatste minuut	Hoeveel RDS-blokken er fout binnenkwamen. Hoort bij een goede ontvangst nul te zijn.

10. Tabblad RF-spectrum



Het RF-spectrum rond de draaggolf.

Het spectrum van de uitzending rond de draaggolf: groen het gemiddelde, blauw de vastgehouden piek. De strepen geven een kanaal van 200 kHz en de Carson-bandbreedte (264 kHz bij 75 kHz zwaai) aan; het groene vlak is de bezette bandbreedte. `Piek vasthouden wissen` begint de piek opnieuw.

Vak	Wat het meet
Bezette bandbreedte 99 %	De breedte waarbinnen 99 % van het vermogen zit, en waar die ligt ten opzichte van de draaggolf.
Bandbreedte −26 dB	De breedte tussen de punten die 26 dB onder de top liggen.
Draaggolf (Bessel-nul)	Hoe sterk de draaggolf is ten opzichte van het totale vermogen.
Spiegelbeeld en LO-lek	Alleen met de testtoon aan; zie Afregeling.

> **Zwaai controleren met de Bessel-nul:** zet een toon van 31,18 kHz op het MPX (zonder pilot en RDS) en draai het niveau op. Bij precies ±75 kHz zwaai verdwijnt de draaggolf (dieper dan −40 dBc). Dat is een meting die niet van rekenwerk afhangt.

11. Tabblad Afregeling



Afregeling met de afregelhulp rechts.

Waarom afregelen

Een IQ-zender maakt altijd een beetje **spiegelbeeld** (het signaal gespiegeld aan de andere kant van de draaggolf) en een beetje **draaggolflek** (LO-lek). Hoe goed dat onderdrukt wordt, verschilt per frequentie. Afregelen houdt in: de schuiven zo zetten dat spiegelbeeld en lek zo laag mogelijk zijn.

Zo sluit je aan om af te regelen

De 7020 meet zijn eigen zender. Verbind **TX1 via een verzwakker van 30 dB met RX2**.

- **Waarom RX2 en niet RX1:** de printbaantjes van RX1 en TX1 lopen vlak naast elkaar. RX1 pikt daardoor rechtstreeks RF van de zender op, buiten de kabel om, en dan meet je de print in plaats van het signaal. RX2 ligt verder weg en heeft daar veel minder last van.
- Kies op de Modulatiemonitor als ingang `RX2`.
- Let op het vak **Ontvangst**: wordt dat rood (te veel signaal), neem dan meer verzwakking of zet het zendvermogen lager.

Tegelijk uitzenden en meten kan met een zelfgemaakte splitter: drie SMA-bussen in een ster, met in elke tak een weerstand van **16,5 Ω** (een derde van 50 Ω, dan is elke poort 50 Ω).

```
              TX1
               |
            [16,5 Ω]
               |
   +-----------+-----------+
   |                       |
[16,5 Ω]                [16,5 Ω]
   |                       |
antenne / eindtrap     20 dB verzwakker -> RX2
```

- Elke tak verliest 6 dB. Naar de antenne gaat dus 6 dB minder, naar RX2 6 + 20 = 26 dB minder.

- Gebruik kleine SMD-weerstanden met korte pootjes, zo dicht mogelijk op de bussen (zie de foto).



Zelfgemaakte splitter: drie SMA-bussen met drie SMD-weerstanden van 16,5 Ω in een ster.

Wat er op het tabblad staat

Vak	Inhoud
IQ-correctie in de FPGA	De registers van het FPGA-ontwerp: *gain_i*, *gain_q*, *phase* (en *dc_i*, *dc_q* voor de draaggolflek, zie onder). Plus de testtoonknoppen: `Testtoon 4,8 kHz`, `Testtoon 58,6 kHz` en `Testtoon uit`.
AD9363 kalibratie	De ingebouwde correcties van de AD9363 (*calib_scale_i/q*, *calib_phase_q*), en de knoppen `tx_quad kalibratie` en `rf_dc_offs kalibratie`. `Alles neutraal` zet alles terug op de beginstand.
Afregeling per frequentie	De lijst met bewaarde frequenties. `Huidige waarden bewaren voor deze frequentie` en `Wis deze frequentie`.
Afregelhulp: live gemeten	Het spectrum rond de testtoon, met spiegelbeeld en LO-lek in dBc, in kleur. Plus `Automatisch afregelen`, `Band afregelen` en `Beste waarden wissen`.

Met de hand afregelen

1. Zender aan, monitor aan (bron 7020 of RSPdx).
2. Zet de testtoon aan: 58,6 kHz is het makkelijkst, omdat spiegelbeeld en toon dan ver uit elkaar liggen. Met de testtoon aan schakelt het programma naar een **snelle afregelstand**: het meet dan alleen RF en ververst vlot.
3. Draai aan *gain_q* en *phase* (met de `-` en `+` erbij) tot het spiegelbeeld zo laag mogelijk is.
4. Voor de draaggolflek: draai aan *dc_i* en *dc_q*. Op oudere kaartjes eerst de `tx_quad kalibratie`.
5. Klik op `Huidige waarden bewaren voor deze frequentie`.
6. Testtoon weer uit.

Automatisch afregelen

Voorwaarden: verbonden, monitor aan (7020 of RSPdx), zender aan. Klik op `Automatisch afregelen`. Het programma:

1. zet de testtoon aan en verlaagt zo nodig het zendvermogen, zodat de ontvanger niet overstuurd raakt (een overstuurde ontvanger maakt zelf spiegelbeeld en geeft dan een verkeerde uitkomst);
2. regelt de draaggolflek met *dc_i* en *dc_q* (kaartje 3.x; op oudere kaartjes eerst een *tx_quad*-kalibratie);
3. zoekt per schuif de beste stand: eerst grof, en daarna fijn met stapjes van 1, net zoals je het met de hand doet;
4. meet elke stap opnieuw, zodat het niet op een oude meting stuurt;
5. bewaart de uitkomst bij de huidige frequentie en zet vermogen en testtoon terug.

Tijdens het afregelen wordt de knop `Stop`. Stoppen laat de laatst gevonden waarden staan.

Band afregelen

`Band afregelen` regelt een hele reeks frequenties achter elkaar af, elke 5 MHz. In de lijst ernaast kies je welke band: 431 tot 440 (431, 435 en 440), 1240 tot 1300 of 2340 tot 2400 MHz. Dat duurt een tijdje; daarna gaat de zender terug naar de oude frequentie. 430 MHz zelf wordt overgeslagen: daar staat een stoorlijn van de 7020 zelf (35 × 12,288 MHz = 430,077 MHz) en geeft de *tx_quad*-kalibratie een slechte uitkomst.

> Kies je later een frequentie die niet bewaard is, dan gebruikt het programma de dichtstbijzijnde bewaarde frequentie. Het Logboek meldt welke.

> **Met de hand bewaren.** Regel je met de hand af en klik je daarna op `Huidige waarden bewaren voor deze frequentie`, dan komt de laatste meting (spiegel en lek) mee in de lijst. Op kaartje 3.x maakt de *tx_quad*-kalibratie het meestal slechter; gebruik daar *dc_i* en *dc_q*.

12. Tabblad Ontvanger



De ontvanger met de RSPdx in panorama (5 MHz) op de FM-band.



De ontvanger op de eigen zender (2350 MHz). Links onder het kaartje **Ontvanger in de 7020 (DAC)**: geluid uit de DAC, squelch 9 dB, status met S/R en stereo.

Een tweede ontvanger, los van de monitor, om andere zenders te bekijken. Luisteren kan op twee manieren: met kaartje 3.x via de ontvanger in de 7020 en een DAC-kaartje (zie hieronder), of via een tweede SDR, de RSPdx, op de geluidskaart van de pc.

Onderdeel	Uitleg
Bron en ingang	Welke ontvanger: de 7020 (RX1/RX2), een RSPdx (A/B/C) of Demo. RTL-SDR en HackRF worden wel herkend, maar zijn nog niet te gebruiken.
`Zoek apparaten`	Kijkt opnieuw welke ontvangers aangesloten zijn.
`Start ontvanger`	Start of stopt de ontvanger.
volgt zender / eigen frequentie	Luisteren op de zendfrequentie, of op een eigen frequentie. Met ▲ ▼ en de stapgrootte (1 kHz tot 1 GHz) stem je af. Of zet de muis op een **cijfer** van de frequentie en draai aan het wiel, net als bij de zender.
Beeld	*1,4 MHz*: met geluid en RDS. *5 of 9 MHz panorama*: alleen spectrum en waterval om zenders te zoeken. *20 MHz* kan alleen met de 7020. Met kaartje 3.x maakt de 7020 het brede beeld door in stukken langs de band te scannen; dat kan alleen als het geluid uit de DAC uit staat. Luister je via de DAC, dan blijft het beeld 2 MHz breed.
Bandbreedte	*breed (meten)*: voor een nauwkeurige zwaaimeting. *200, 180, 150 of 120 kHz*: smaller, zoals een radio, tegen buurzenders. Je kunt de bandbreedtestrepen in het spectrum ook met de muis verslepen.
Versterking	Automatisch of met de hand; bij de RSPdx ook de LNA-stand.
Meeluisteren	Met volume en keuze van de geluidskaart. Kan via een tweede SDR, de RSPdx; met de 7020 als bron niet.
Spectrum	In **dBµV**, gemeten vanaf de ruisvloer: de ruisvloer ligt altijd op −14 dBµV. Beweeg de muis over het spectrum: het kruis toont de frequentie, de hoogte in dBµV en hoeveel dB dat boven de ruis is. Zet je het kruis op de draaggolf, dan lees je hetzelfde af als op de S-meter.
S-meter	Hoe ver de draaggolf boven de ruisvloer uitkomt. Ruisvloer = S1 = −14 dBµV, 6 dB per S-punt, dus **S9 = 48 dB boven de ruis = 34 dBµV**. Ijken is niet nodig: het hangt niet af van de versterking.
Programma	De zendernaam, RadioText, piekzwaai en bandbreedte van de ontvangen zender.
Spectrum en waterval	**Klik** om af te stemmen (springt naar 10 kHz). Het **muiswiel** stemt ook af. Groene streep = de ontvanger, rode streep = je eigen zender, oranje lijntjes = de bandbreedte (slepen om in te stellen).

Ontvanger in de 7020 (DAC), kaartje 3.x

In de FPGA van kaartje 3.x zit een complete FM-ontvanger: stereo, de-emphasis en een squelch. Het geluid gaat rechtstreeks naar het DAC-kaartje op de JP5 (zie Aansluiten). Zenden en ontvangen gaan tegelijk.

Onderdeel	Uitleg
Geluid uit de DAC	Zet de ontvanger in de 7020 aan. Hij luistert op de frequentie van dit tabblad en op de ingang die bovenaan gekozen is (RX1 of RX2).
Squelch	Van uit tot 20 dB. De squelch kijkt hoe rustig de draaggolf is: een FM-signaal is even sterk, ruis niet. Onder de drempel gaat het geluid zacht dicht. Een paar dB is meestal genoeg.
Ruis	Ruisonderdrukking, van 0 (uit) tot 10. Van 1 tot 5 gaat stereo geleidelijk naar mono: daar zit de meeste ruis, en het hoog blijft. Van 6 tot 10 gaat daarna ook het hoog stap voor stap omlaag (van 12 kHz tot 5 kHz): minder sis. Kaartje 3.2.
mono	Altijd mono, ook als er een pilot is. Minder ruis bij een zwak signaal.
75 µs (VS)	De-emphasis van 75 µs, zoals in Amerika. In Europa staat dit uit (50 µs).
Status	Frequentie, niveau in dBFS, signaal-ruisverhouding (S/R), stereo met het pilotniveau, en of de squelch open is.

> Luister je naar je eigen zender, gebruik dan **RX2**: RX1 ligt vlak naast TX1 op de print en pikt meer rechtstreeks op.

> Kies je voor de monitor en de ontvanger hetzelfde apparaat, dan delen ze dat. Ze staan dan altijd op dezelfde frequentie en dezelfde instellingen.

13. Tabblad Logboek

Alles wat het programma doet, met de tijd erbij: verbinden, frequentiewissels, zender aan en uit, afregeluitkomsten en foutmeldingen. Kijk hier als iets niet doet wat je verwacht.

14. Lampjes en alarmen

Het lampje **ALARM** gaat aan bij:

Melding	Wat er aan de hand is
zwaai … kHz (boven 75)	De piekzwaai komt boven 75 kHz. Zet de clipper aan, de grens lager, of het MPX-niveau lager (monitorbalk).
MPX-vermogen … dBr (boven 0)	Het gemiddelde MPX-vermogen (BS.412) is te hoog.
temperatuur boven 75 °C	De FPGA of de AD9363 wordt te warm.
ontvanger overstuurd	Het meetsignaal is te sterk: meer verzwakking tussen zender en ontvanger, of LNA lager.
geen nieuwe meetdata	De monitor krijgt geen metingen meer binnen. Kijk naar de verbinding of de ontvanger.

15. Bekende beperkingen

- **Luisteren met de 7020** gaat via de ontvanger in de FPGA en een DAC-kaartje (kaartje 3.x). Op de geluidskaart van de pc luisteren gaat via een tweede SDR, de RSPdx: de 7020 stuurt zijn signaal in stukjes naar de pc, met gaten ertussen. Meten gaat daarmee prima, luisteren niet.
- **Breed panorama** (5, 9 of 20 MHz) met de 7020 kan alleen als het geluid uit de DAC uit staat: de zender, de monitor en de ontvanger in de 7020 delen één afstemming.
- Zet het vermogen niet hoger dan **−4 dB**; op 0 dB vervormt de AD9363 meer.
- Op precies een veelvoud van 40 MHz (bijvoorbeeld 1280,000 MHz) maakt de PLL van de AD9363 een kleine wiebel. Kies een paar MHz ernaast.
- Op ongeveer ±700 kHz naast de draaggolf staan twee kleine lijnen van ongeveer −56 dBc. Dat valt binnen de norm voor zendamateurs (−50 dBc).
- RTL-SDR en HackRF worden herkend, maar zijn nog niet als ontvanger te gebruiken.
