

- | | |
|---|-------------------------|
| 1. Wat is digiWUFFUM | 9. RDS |
| 2. Aansluiten (I2S-kaartjes) | 10. RF-spectrum |
| 3. De eerste keer: kaartje, USB en IP-adres | 11. Afregeling |
| 4. Starten | 12. Ontvanger |
| 5. Verbinden met de 7020 | 13. Logboek |
| 6. Het rack | 14. Lampjes en alarmen |
| 7. De monitorbalk | 15. Bekende beperkingen |
| 8. Modulatiemonitor | 16. Lijst met plaatjes |

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.

Wie maakte wat. Het FPGA-ontwerp met de FM-modulator is van Willem, PE1PCF. De Windows-software digiWUFFUM, de clipper en het kanaalfilter in de FPGA (kaartje 2.3 en later) en deze handleiding zijn van PE1PzN.

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 weggeregelen, automatisch en per frequentie bewaard;
- een tweede ontvanger met spectrum, waterval en S-meter, om andere zenders te bekijken (beluisteren via een tweede SDR, de RSPdx).

Het FPGA-ontwerp (I2S-ingang, FM-modulator, IQ-correctie) is van Willem, PE1PCF:
github.com/Willem65/Vivado-Zynq-7020-Chinese-ADALM-Pluto-kloon.

2. Aansluiten (I2S-kaartjes)

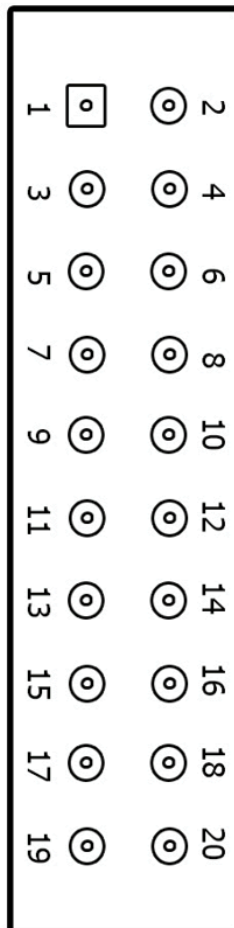
Het MPX-signaal komt **analoog** binnen op een klein I2S-ADC-kaartje vlak bij de 7020; dat zet het om naar I2S en de FPGA maakt er de FM-modulatie van. Analoog tot aan het kaartje, omdat I2S geen lange kabel haalt.

```
MPX-bron (stereo-encoder)  --analoog-->  I2S-ADC-kaartje  --I2S-->  JP5 van de 7020  -->  FPGA
-->  AD9363
```

NETWERK

SDR 7020 AD936X

GPIO Port



I2S 7020 to -> DAC

07 - Data CLK I2S

11 - L/R CLK

13 - Bit CLK

2 - GND

01 - 5 Volt

ADC -> I2S 7020

14 - Data CLK I2S

16 - L/R CLK

18 - Bit CLK

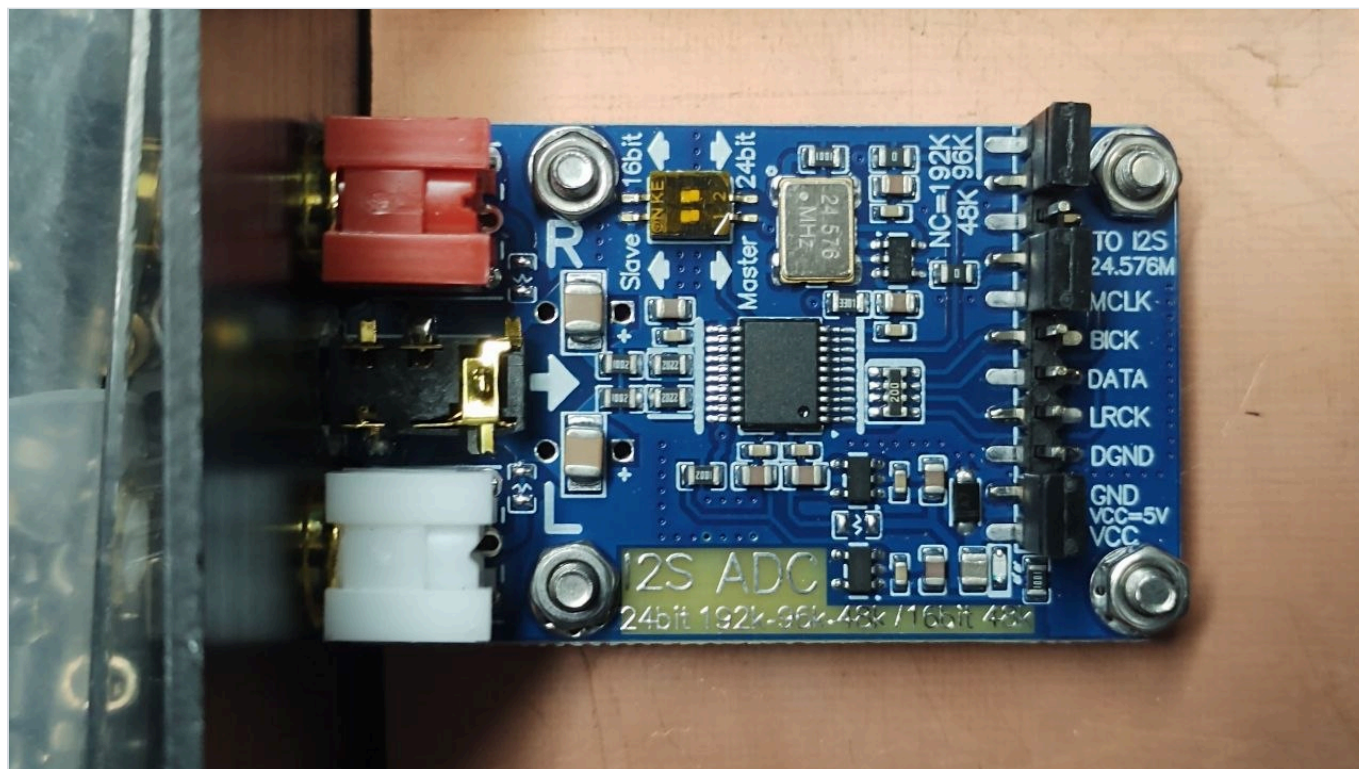
20 - GND

01 - 5 Volt

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.

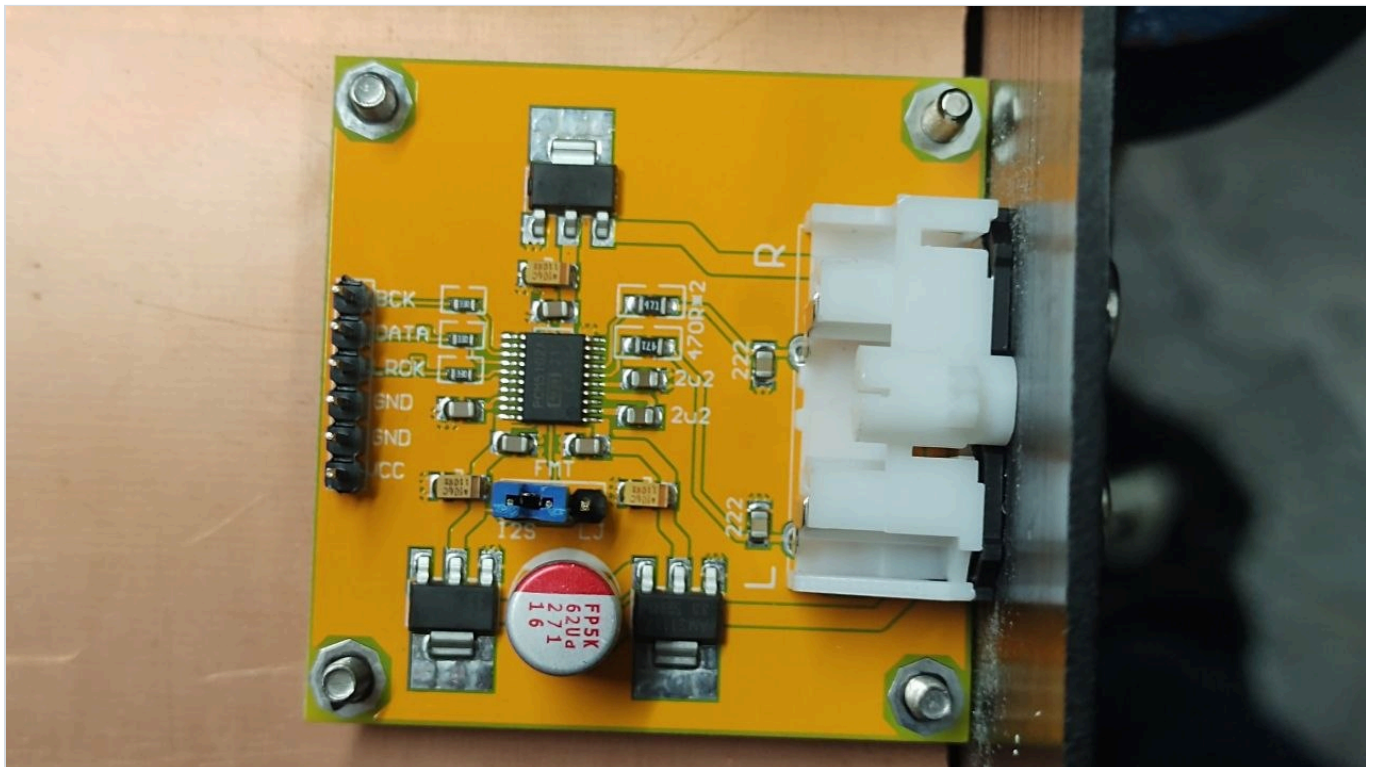
Het kaartje heet **I2S ADC Audio Capture Card Module** (24 bit, 192/96 kHz, Master/Slave), bijvoorbeeld te koop via <https://www.amazon.nl/dp/B0CQ5KK9XQ>.

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 (alleen digiNICAM)



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

Voor digiNICAM (NICAM-zender/-ontvanger, kaartje NICAM 0.6 en later) komt er geluid uit de 7020 naar een DAC-kaartje met een PCM5102A. In digiWUFFUM doet dit niets; het staat hier omdat het op dezelfde header zit.

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 2.5** (voor in de 7020) en **digiWUFFUM 2.5** (voor de pc).

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-2.5.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-V2-5.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 **netwerkkkaart** en als **USB-schijfje**.
3. Via USB is de 7020 te bereiken op **192.168.2.1**. Vul dat in bij IP in digiWUFFUM en druk op `Verbinden`. Werkt het, dan is het kaartje goed.

Stap 4. Een vast IP-adres instellen

Wil je de 7020 via de netwerkkabel gebruiken (handig als hij verderop staat), geef hem dan een vast adres in je eigen netwerk.

1. Open op het USB-schijfje van de 7020 het bestand `config.txt` met Kladblok.
2. Vul onder `[NETWORK]` het adres in, bijvoorbeeld:

```
[NETWORK]
ipaddr_eth = 192.168.0.173
netmask_eth = 255.255.255.0
gateway_eth = 192.168.0.1
```

Kies een adres dat in je netwerk vrij is (de eerste drie getallen gelijk aan die van je pc, het laatste getal niet in gebruik). Laat je `ipaddr_eth` leeg, dan krijgt de 7020 een adres van je router (DHCP).

3. Opslaan en daarna het schijfje **uitwerpen** in Windows. **Dit is belangrijk:** pas bij het uitwerpen neemt de 7020 de nieuwe instelling over. Gewoon de kabel eruit trekken werkt niet.
4. Netwerkkabel erin, 7020 opnieuw opstarten, en in digiWUFFUM het nieuwe adres invullen.

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
<code>digiWUFFUM.exe</code>	Het programma, zonder dat Python nodig is.
<code>START.bat</code>	Start het programma vanuit de map met eigen Python-omgeving (venv).
<code>START DEMO.bat</code>	Start zonder 7020, met een nagemaaakt stereo-FM-signaal met RDS. Handig om rond te kijken.

digiWUFFUM 2.5 hoort bij het FM-kaartje **digiWUFFUM SD-kaart 2.5** (map FPGA-bouw). Met een ouder kaartje werkt het ook, maar dan zonder clipper of kanaalfilter.

- 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:

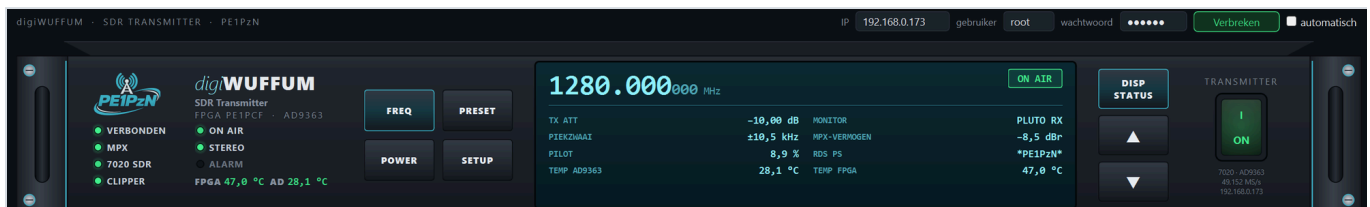
Veld	Standaard	Uitleg
IP	192.168.0.173	Netwerkadres van de 7020.
gebruiker	root	Inlog van de 7020 (zoals bij een gewone Pluto).
wachtwoord	analog	
Verbinden		Maakt verbinding. Wordt daarna Verbreken ; verbreken zet de zender uit.
automatisch	uit	Aangevinkt: bij het opstarten meteen verbinden.

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;
- komt er op de 7020 een **beveiliging** te draaien: valt het programma langer dan 5 seconden weg (vastgelopen, pc uit, kabel eruit), dan zet de 7020 de zender zelf uit. Het lampje **7020 SDR** is groen als die beveiliging draait.

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 : verbonden en de beveiliging draait. Rood : de beveiliging draait niet, de zender gaat dan niet vanzelf uit.
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 <i>1285</i> of <i>435,5</i> .
PRESET	Voorkeuzes, zie hieronder.
POWER	Zendvermogen (TX-verzwakking) van -89,75 dB tot 0 dB (maximaal), en de testtoon aan of uit.
SETUP	Gaat naar het tabblad Afregeling.
DISP	Wisselt het display: SPECTRUM, METER (PPM) of STATUS.
▲ ▼	Frequentie een stap omhoog of omlaag. De stapgrootte stel je in bij PRESET (standaard 100 kHz). Het muiswiel op het display doet hetzelfde.
TRANSMITTER	Tuimelschakelaar: zender aan (I) of uit (O). Werkt alleen als er verbinding is.

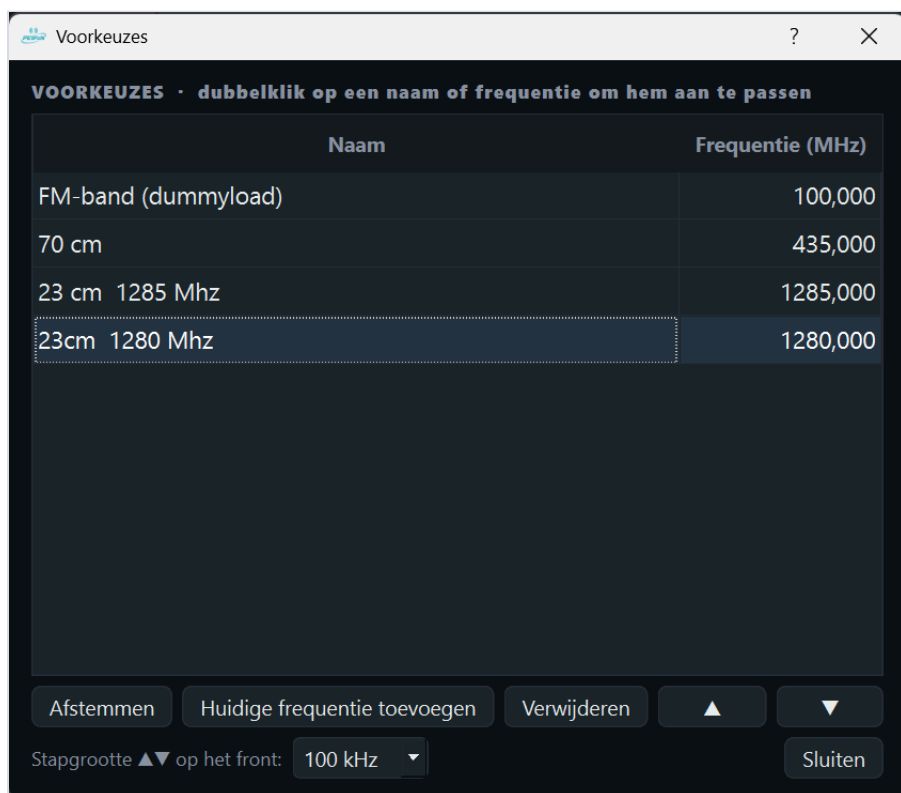
Het display

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. Kan via een tweede SDR, de RSPdx . Met de 7020 als bron is het vinkje grijs: die levert stukjes met gaten ertussen (zie Bekende beperkingen).
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 (kaartje 2.5 en later): breed = vlak tot 150 kHz, het beste voor stereo en RDS; 200 kHz = vlak tot 90 kHz, -69 dB vanaf 104 kHz (standaard); 190 kHz = vlak tot 85 kHz, -68 dB vanaf 98 kHz.

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 burens 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-sigitaal 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 dB is te veel.

Zonder clipper (of met het kaartje van Willem) 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).

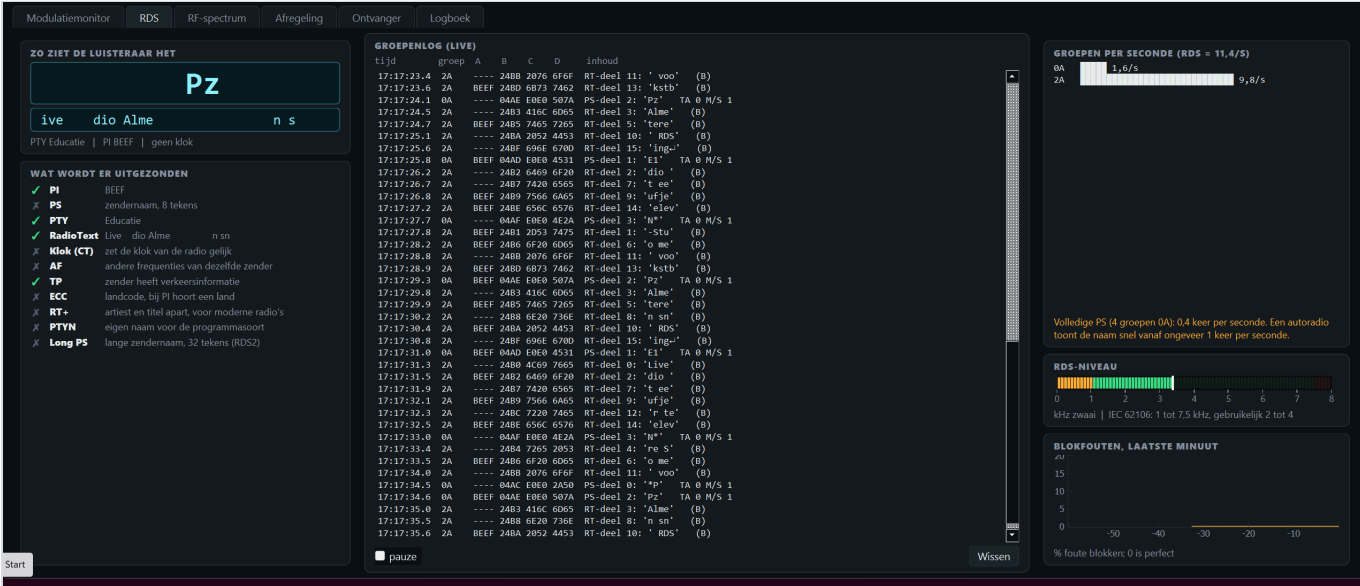
In de monitorbalk staan daarnaast korte statuslabels: *stereo*, *pilot*, *RDS* met de zenderaam, *BS.412 ok* en *overstuurd*. Ze zijn groen als het goed is en grijs als ze niet van toepassing zijn.

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



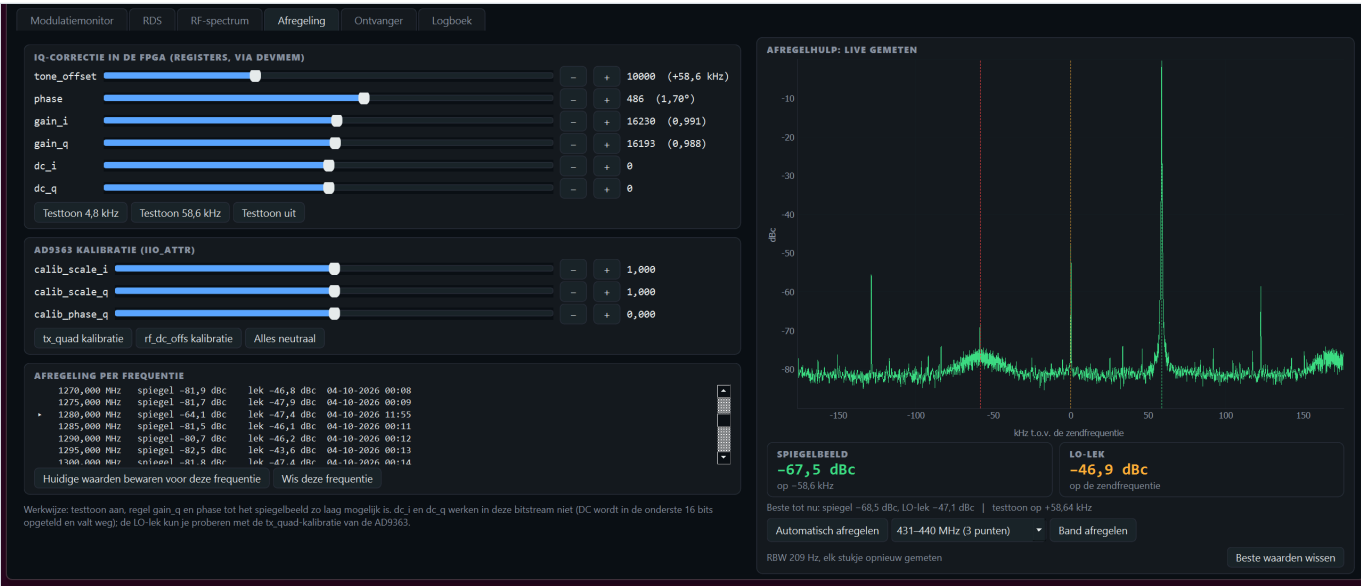
Het RF-spectrum rond de draaggolf.

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

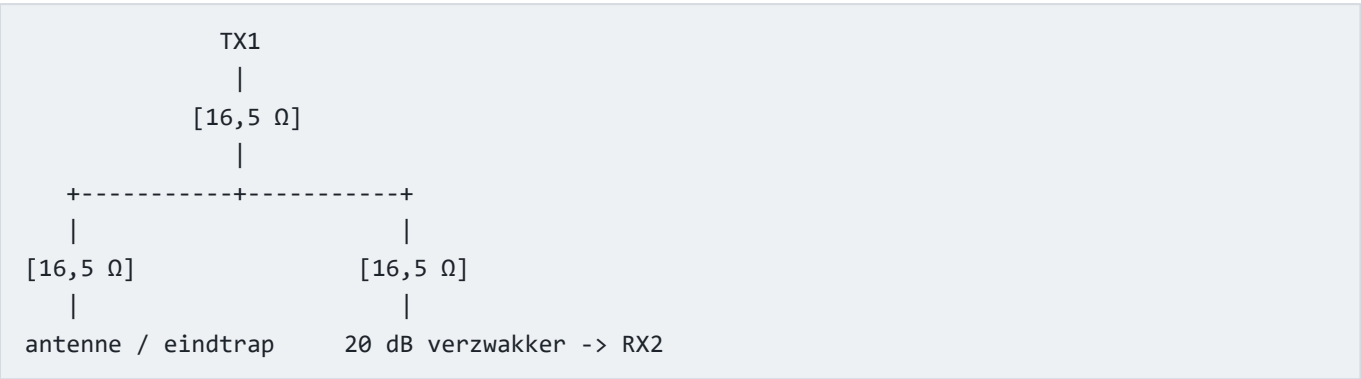
Een IQ-zender maakt altijd een beetje **spiegelbeeld** (het signaal gespiegeld aan de andere kant van de draaggolf) en een beetje **draaggolflek** (LO-lek). Hoe goed dat onderdrukt wordt, verschilt per frequentie. Afregelen houdt in: de schuiven zo zetten dat spiegelbeeld en lek zo laag mogelijk zijn.

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).



- 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 $16,5\ \Omega$ in een ster.

Wat er op het tabblad staat

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

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: eerst de `tx_quad kalibratie`; wat er overblijft met *dc_i* en *dc_q*.
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. doet eerst een *tx_quad*-kalibratie;
3. zoekt per schuif de beste stand: een paar standen meten en het laagste punt berekenen, en dat een paar keer;
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 ($35 \times 12,288 \text{ MHz} = 430,077 \text{ MHz}$) 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.

dc_i en **dc_q** werken vanaf kaartje 2.x (in Willems oorspronkelijke ontwerp deden ze niets: de waarde viel in de onderste 16 bits weg). Het automatisch afregelen gebruikt ze nog niet: dat regelt *gain_q* en *phase*, en de draaggolflek via de *tx_quad*-kalibratie. Wat er dan nog aan lek over is, kun je met de hand wegdraaien met *dc_i* en *dc_q*.

12. Tabblad Ontvanger



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



De ontvanger volgt de eigen zender op 1280 MHz, beeld 1,4 MHz met geluid en RDS.

Een tweede ontvanger, los van de monitor, om andere zenders te bekijken. Beluisteren kan via een tweede SDR, de RSPdx.

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 (10 kHz tot 1 MHz) stem je af.
Beeld	<i>1,4 MHz</i> : met geluid en RDS. <i>5 of 9 MHz panorama</i> : alleen spectrum en waterval om zenders te zoeken. <i>20 MHz</i> kan alleen met de 7020.
Bandbreedte	<i>breed (meten)</i> : voor een nauwkeurige zwaaimeting. <i>200, 180, 150 of 120 kHz</i> : 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).

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.

Een **rood** lampje **7020 SDR** is een aparte waarschuwing: de beveiliging draait niet, en de zender gaat dan niet vanzelf uit als het programma wegvalt.

15. Bekende beperkingen

- **Meeluisteren kan, maar via een tweede SDR**, de RSPdx van SDRplay. Met de 7020 zelf gaat het niet: de ontvanger van de 7020 loopt op dezelfde klok als de zender, 49,152 MS/s. Doorlopend zou dat bijna 200 MB/s naar de pc zijn; de 7020 krijgt er zo'n 40 MB/s uit (gemeten). Het programma haalt daarom stukjes signaal op, met gaten ertussen. Meten gaat prima, luisteren niet.
- Clipper, clipperlampje en kanaalfilter zijn er alleen met de kaartjes van PE1PzN (2.3, 2.4, 2.5). Met Willems oorspronkelijke kaartje toont de monitorbalk **niet in FPGA**.
- Het automatisch afregelen gebruikt *dc_i* en *dc_q* nog niet (met de hand kan het wel, zie Afregeling).
- RTL-SDR en HackRF worden herkend, maar zijn nog niet als ontvanger te gebruiken.

16. Lijst met plaatjes

De plaatjes staan in de map `digiWUFFUM handleiding\plaatjes`. Vervang je er een door een nieuwe met dezelfde naam, dan staat de nieuwe vanzelf in de handleiding.

Bestandsnaam	Wat erop staat
01_rack.png	Verbindingsregel en rack
02_voorkeuzes.png	Het venster Voorkeuzes
03_modulatiemonitor.png	Tabblad Modulatiemonitor met muziek
04_rds.png	Tabblad RDS
05_rf_spectrum.png	Tabblad RF-spectrum
06_afregeling.png	Tabblad Afregeling met de testtoon aan
07_ontvanger_panorama.png	Ontvanger, panorama op de FM-band
08_ontvanger_eigen_zender.png	Ontvanger op de eigen zender
09_jp5.png	Tekening van de GPIO-poort JP5 met de I2S-aansluitingen
10_adc.png	Het ADC-kaartje (MPX in)
11_dac.png	Het DAC-kaartje (PCM5102A, alleen digiNICAM)
12_display_meter.png	Het display in de stand METER
13_splitter.png	De zelfgemaakte splitter ($3 \times 16,5 \Omega$)