

DigiFM Optimal

FM-processor, stereocoder met RDS, zender en ontvanger · PE1PzN · SDR7020 met AD9363 · handleiding voor versie 1.0, FPGA 0.29 (20 oktober 2026)

- | | |
|---|-------------------------------------|
| 1. Wat is DigiFM-Optimal | 10. Zo luid mogelijk binnen 200 kHz |
| 2. Wat heb je nodig | 11. Tabblad Stereo coder / RDS |
| 3. Aansluiten (I2S-kaartjes) | 12. Tabblad Modulatiemonitor |
| 4. De eerste keer: kaartje, USB en IP-adres | 13. RDS-analyse en RF-spectrum |
| 5. Verbinden en starten | 14. Tabblad Afregelen |
| 6. Het rack | 15. Tabblad Ontvanger |
| 7. De audioketen in het kort | 16. Presets |
| 8. Tabblad Audio processing: de meterbrug | 17. Problemen oplossen |
| 9. De trappen een voor een | 18. Disclaimer |

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.

1. Wat is DigiFM-Optimal

DigiFM-Optimal maakt van een SDR7020 een complete FM-omroepzender. Alles zit in de FPGA van de 7020:

- een **audioprocessor**, zoals omroepen die gebruiken: AGC, equalizer, multiband compressor, sub-bas, HF-limiter, limiter en clipper;
- een **stereocoder** met pilot, RDS en een composite clipper;
- een **FM-zender** met MPX-clipper en een steil kanaalfilter van 200 kHz;
- een **FM-ontvanger**, die rechtstreeks naar een DAC-kaartje speelt.

Er komt gewoon stereo geluid binnen (links en rechts). Er gaat een FM-stereo-uitzending met RDS uit. Er zit geen pc in de geluidsweg en er is geen vertraging: wat je inspreekt, gaat meteen de lucht in.

Het programma op de pc is de bedieningstafel. Je stelt er alles mee in, je ziet er alle meters op en je meet er je eigen uitzending mee. Sluit je het programma, dan gaat de zender uit.

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

2. Wat heb je nodig

Onderdeel	Uitleg
SDR7020	Zynq 7020-SDR met AD9363 (een Pluto-kloon, 70 MHz tot 6 GHz). Een bord met een AD9361 werkt ook.
Micro-SD-kaartje	Met de bestanden van DigiFM-Optimal (FAT32).
I2S-ADC-kaartje	Voor het geluid naar de 7020. Zonder dit kaartje staat de keten stil.
I2S-DAC-kaartje (PCM5102A)	Niet nodig om te zenden. Wel handig: je hoort wat de processor doet, of de ontvanger.
Windows-pc	Met USB of netwerk naar de 7020.
Verzwakker, eventueel een splitter	Om je eigen zender te meten en af te regelen (hoofdstuk 14).

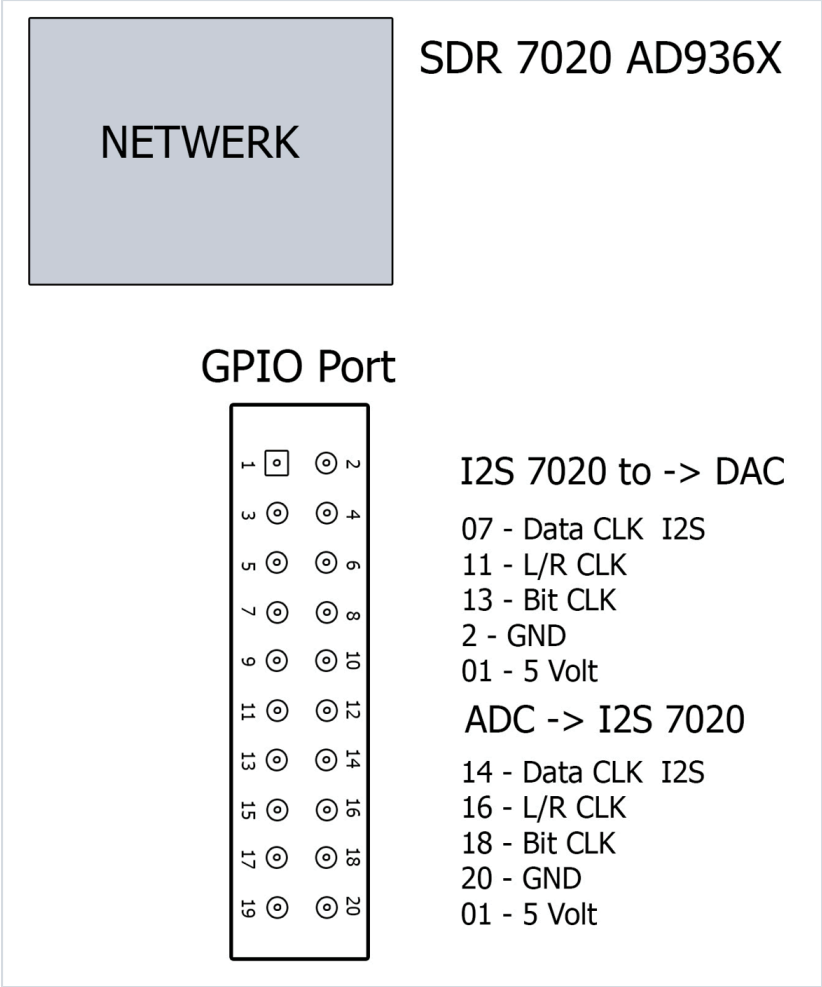
Gebruik TX1 en RX2. De zender komt uit **TX1**. Meten en ontvangen doe je op **RX2**. RX1 ligt op de print vlak naast TX1 en pikt de zender rechtstreeks op. Dan meet je de print en niet het signaal.

3. Aansluiten (I2S-kaartjes)

Het geluid komt **analoog** binnen op een klein I2S-ADC-kaartje vlak bij de 7020. Dat zet het om naar I2S. Analoog tot aan het kaartje, omdat I2S geen lange kabel haalt.

```
geluid L en R --analoog--> I2S-ADC-kaartje --I2S--> JP5 van de 7020 --> FPGA (processor,
stereocoder, zender) --> TX1
RX2 --> FPGA (FM-ontvanger) --> JP5 --I2S--> DAC-kaartje --> luidspreker
```

De header JP5 van de 7020

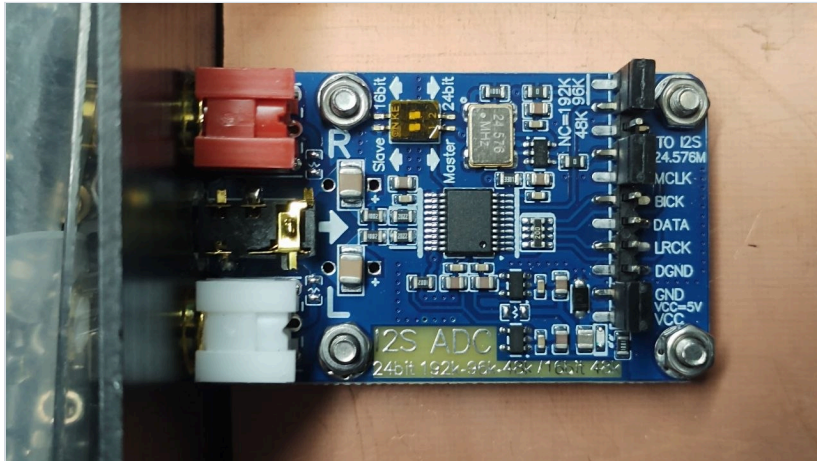


De GPIO-poort JP5: 2 x 10 pinnen. De even pinnen (rechterkolom) zitten op een 1,8 V-bank, de oneven pinnen 7 tot 13 op 3,3 V.

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: het geluid naar de 7020

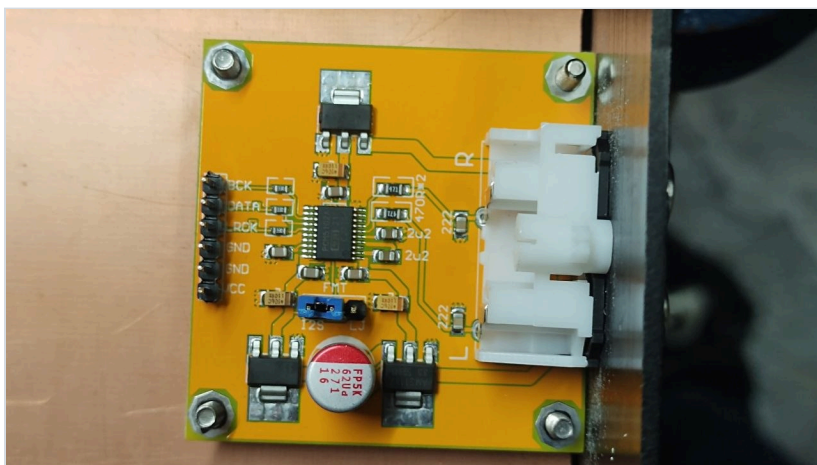


Het ADC-kaartje: schakelaars op Master en 24 bit; samplerate-jumper open (NC) = 192 kHz. Uitgang BICK, DATA, LRCK, DGND; voeding VCC 5 V.

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 kaartje staat op **Master** en **24 bit**. Het maakt zelf de klok: 192 kHz.
- De samplerate-jumper moet open zijn (NC = 192 kHz). Op 96K of 48K werkt het niet.
- Links gaat op de linker ingang, rechts op de rechter ingang. Beide kanalen worden gebruikt.
- MCLK en "TO I2S 24.576M" niet aansluiten.
- Het niveau stel je in met de bron en met **Ingangsniveau** in de processor. Kijk naar de meter Input: het lampje **ADC over** mag niet aangaan.

DAC-kaartje: luisteren



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

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

Wat de DAC laat horen, kies je bovenaan het tabblad Audio processing bij **DAC** (hoofdstuk 8). De FMT-jumper van het DAC-kaartje staat op I2S. Hoor je alleen gekraak, zet hem om. Delen ADC- en DAC-kaartje pin 1 (5 V), splits die pin dan met een Y-draadje.

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

Je hebt twee downloads nodig: het **SD-kaartje** (voor in de 7020) en het **programma** (voor de pc). Ze horen bij elkaar. 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 de zip van het SD-kaartje uit en zet de losse bestanden **rechtstreeks** op het kaartje, dus niet in een map. Bovenaan staan dan onder meer `BOOT.bin`, `devicetree.dtb`, `uImage` en `uEnv.txt`.
3. Kaartje netjes uitwerpen en in de 7020 steken, met de spanning eraf.

Stap 2. Het programma op de pc

1. Pak de zip van het programma uit naar een eigen map. Python is niet nodig.
2. Start het programma. Geeft Windows een blauwe waarschuwing (SmartScreen), kies dan `Meer informatie` en `Toch uitvoeren`. Dat hoeft maar één keer.

Stap 3. Beginnen via USB

1. Verbind de 7020 met een USB-kabel met de pc en zet de spanning erop. Wacht ruim een halve minuut.
2. Druk op `Zoek` naast het IP-adres. Het programma vindt de 7020 en vult het adres in (via USB meestal 192.168.2.1). Er wordt daarbij nergens ingelogd.
3. Druk op `Verbinden`.

Stap 4. Via de netwerkkabel

1. Netwerkkabel erin en de 7020 (opnieuw) opstarten. Hij krijgt een adres van je router.
2. Druk op `Zoek` en daarna 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, werp het schijfje uit in Windows en start de 7020 opnieuw op.

Is je thuisnetwerk 192.168.2.x (bijvoorbeeld bij KPN)? Dan lost het kaartje dat zelf op.

5. Verbinden en starten

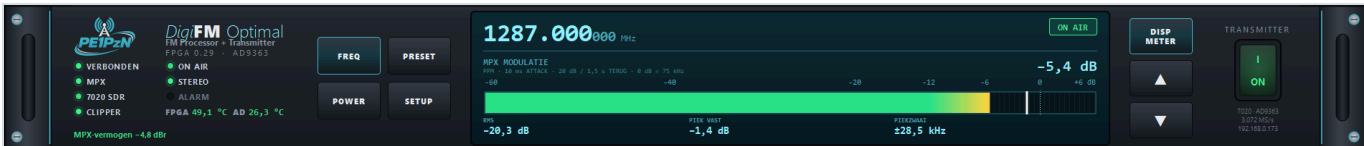
Bovenaan het venster staan de verbindingsgegevens.

Veld	Standaard	Uitleg
IP		Netwerkadres van de 7020.
Zoek		Zoekt de 7020 via USB en in je netwerk en vult het adres in.
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 zet het programma alles op de 7020: de processor, de stereocoder, RDS, de frequentie, de clippers en de afregeling van deze frequentie. De testtoon gaat altijd uit.

- Het programma kan maar één keer tegelijk draaien.
- Het zendvermogen staat bij het opstarten altijd op -10 dB.
- Alle instellingen worden vanzelf bewaard in een bestand in de map van het programma.

6. Het rack

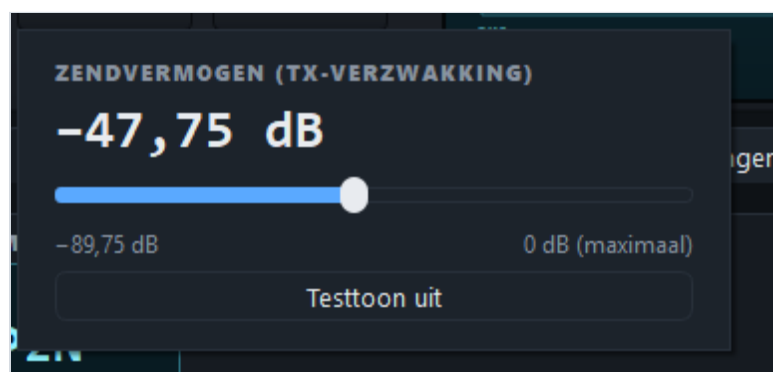


Het rack: lampjes, knoppen, display met de MPX-meter, en de TRANSMITTER-schakelaar.

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

Lampje of regel	Betekenis
VERBONDEN	Verbinding met de 7020.
ON AIR	De zender staat aan.
MPX	Er komt modulatie uit.
STEREO	De pilot (19 kHz) is aanwezig.
7020 SDR	De 7020 geeft antwoord.
CLIP	De MPX-clipper staat aan. Het getal is hoeveel dB hij van de hoogste piek afhaalt.
ALARM	Rood bij een probleem. De reden staat eronder, bijvoorbeeld <i>zwaai 75,5 kHz (boven 75)</i> .
temperaturen	FPGA en AD9363: groen onder 70 °C, geel tot 80 °C, rood daarboven.
MPX-vermogen	Het gemiddelde MPX-vermogen in dBr, altijd in beeld (hoofdstuk 10).

Knop	Wat hij doet
FREQ	Zendfrequentie intypen in MHz (70 tot 6000).
PRESET	Voorkeuzefrequenties.
POWER	Zendvermogen van -89,75 dB tot 0 dB, en de testtoon aan of uit. Gebruik -4 dB als hoogste stand.
SETUP	Gaat naar het tabblad Afregelen.
DISP	Wisselt het display: SPECTRUM, METER of STATUS.
▲ ▼	Frequentie een stap omhoog of omlaag. Rechtermuisknop: de stapgrootte kiezen.
TRANSMITTER	Zender aan (I) of uit (O).



Het venster van POWER: zendvermogen en testtoon.

Afstemmen kan ook met het muiswiel: zet de muis op een cijfer van de frequentie en draai. Alleen dat cijfer verandert.

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 is prima.

7. De audioketen in het kort

Het geluid gaat in deze volgorde door de 7020. Elke stap heeft een eigen taak.

Ingang -> AGC -> Stereo -> EQ -> Multiband compressor -> Sub -> HF-limiter -> Eindlimiter -> Clipper -> 15 kHz -> Uitgang
-> Stereocoder (pre-emphasis, composite clipper, pilot, RDS) -> MPX-clipper -> kanaalfilter 200 kHz -> FM-zender

Stap	Taak in één zin
Ingang	Het niveau goed zetten.
AGC	Zachte en harde nummers langzaam gelijk trekken. Met 3-band ook het laag en het hoog.
Stereo	Het stereobeeld breder maken.
EQ	De klank kleuren, met 7 banden.
Multiband compressor	Het geluid dicht en gelijkmatig maken, per frequentieband.
Sub	Extra diep laag erbij, met een eigen begrenzer.
HF-limiter	De S-klanken en hihats temmen, zodat het niet gaat slissen.
Eindlimiter	De pieken opvangen, zonder vertraging.
Clipper	De laatste toppen afknippen. Hij staat vast op -6 dB: de uitgang kan nooit harder worden.
15 kHz	Alles boven 15 kHz eruit, zodat de pilot schoon blijft.
Uitgang	Het niveau naar de stereocoder.

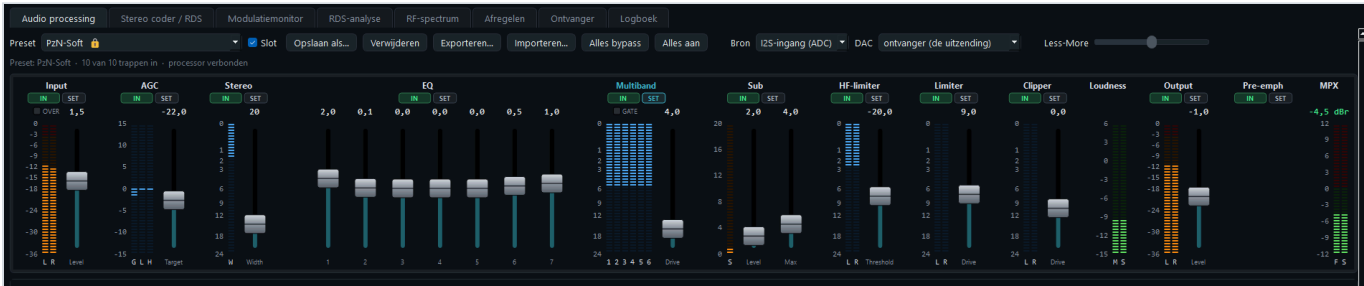
Er zit **geen vertraging** in de processor. Er is geen look-ahead en geen buffer. Je hoort jezelf zonder vertraging terug, ook op een radio in dezelfde kamer.

8. Tabblad Audio processing: de meterbrug

De bovenste regel

Onderdeel	Uitleg
Preset	Kies een preset. Zie hoofdstuk 16.
Slot	Zet de gekozen preset op slot: niet overschrijven en niet verwijderen.
Opslaan als...	De huidige stand bewaren onder een naam.
Verwijderen	De gekozen preset weggooien (kan niet als hij op slot zit).
Exporteren... / Importeren...	Presets naar een bestand schrijven of uit een bestand halen.
Alles bypass	Alle trappen uit: het geluid gaat onbewerkt door.
Alles aan	Alle trappen weer aan.
Bron	I2S-ingang (ADC) of testtoon.
DAC	Wat het DAC-kaartje laat horen: rechtstreeks (bewerkt geluid), testtoon (vast), stil of ontvanger (de uitzending). Met de ontvanger hoor je wat er echt de lucht in gaat.

De meterbrug



De meterbrug: per stap de meters, een knop IN/BYPASS en de belangrijkste schuif.

De meterbrug toont de hele keten van links naar rechts. Per stap zie je:

- de **titel**: klik erop, dan verschijnen eronder alle knoppen van die stap;
- een knop **IN** of **BYPASS**: de stap aan of overslaan;
- de **meters**;
- de belangrijkste **schuif**. Dubbelklik op een schuif: terug naar de standaardwaarde.

Groep	Meters	Schuif	Wat je ziet
Input	L R	Level	Niveau aan de ingang in dBFS. Lampje ADC over : het ADC-kaartje wordt te hard aangestuurd.
AGC	G L H	Target	G = hoeveel de AGC op- of neerregelt. L en H = de correctie van de 3-band AGC op het laag en het hoog.
Stereo	W	Width	De stereoverbreiding.
EQ		1 tot 7	De versterking van de 7 banden.
Multiband	1 tot 6	Drive	Reductie per band in dB. Lampje Comp gate : stilte, de compressor houdt zijn stand vast.
Sub	S	Level, Max	Hoeveel dB diep laag de sub toevoegt (0 tot 20 dB).
HF-limiter	L R	Threshold	Hoeveel dB het hoog omlaag gaat.
Limiter	L R	Drive	Reductie van de eindlimiter.
Clipper	L R	Drive	Hoeveel er geknipt wordt.
Loudness	M S		De luidheid in LUFS: M = kort (momentary), S = over een paar seconden (short-term).
Output	L R	Level	Niveau naar de stereocoder.
MPX	F S		Het MPX-vermogen in dBr: F = over 1 seconde (snel), S = over 60 seconden (langzaam). Het getal staat erboven.

Een blauwe meter is **reductie**: hoe verder hij loopt, hoe harder die stap ingrijpt. Een oranje meter is **niveau**. Een groene meter is **luidheid** of **MPX-vermogen**.

9. De trappen een voor een

Onder de meterbrug staan alle knoppen van de gekozen stap, met bovenaan een korte uitleg. Rechtsboven staan **Standaardwaarden** (alle knoppen van deze stap terug) en **IN / BYPASS**. Grijze knoppen werken nog niet; daar staat "komt later" bij.

Ingang

Knop	Bereik	Standaard	Uitleg
Ingangsniveau	-12 tot +12 dB	0 dB	Het niveau van de bron. Muziek hoort op de Input-meter rond -20 dBFS gemiddeld te staan, met pieken tot een paar dB onder 0.

Advies. Stel eerst je bron goed in, dan pas de rest. Een te zachte ingang laat de AGC en de compressor veel ophalen, en dan komt de ruis mee omhoog.

AGC (langzame niveauregeling)

De AGC brengt zachte en harde nummers langzaam op hetzelfde niveau, voordat de compressor er iets mee doet. Links en rechts regelen samen, zodat het stereobeeld niet verschuift.

Knop	Bereik	Standaard	Uitleg
Doelniveau (gemiddeld)	–30 tot –10 dBFS	–20	Naar dit niveau regelt de AGC.
Omhoog	0,5 tot 10 dB/s	2	Hoe snel hij een zacht nummer ophaalt.
Omlaag	1 tot 30 dB/s	7	Hoe snel hij een hard nummer terugdraait.
Gate-drempel	–60 tot –20 dBFS	–45	Daaronder is het stilte. Dan draait de AGC niet op, zodat de ruis niet omhoog komt.
Sprong	3 tot 20 dB	8,9	Komt het geluid zoveel boven het doel, dan gaat hij snel omlaag.
Max. ophalen	0 tot 25 dB	15	Hoeveel hij hoogstens bijdraait.
Max. terugregelen	0 tot 25 dB	15	Hoeveel hij hoogstens terugdraait.

3-band AGC en de knop Leer

Muziek klinkt van nummer tot nummer anders. Het ene nummer heeft veel laag, het andere is scherp. De 3-band AGC trekt per nummer het **laag** (onder 200 Hz) en het **hoog** (boven 2,5 kHz) langzaam naar een vaste verhouding met het midden. Zo klinkt je zender bij elk nummer hetzelfde.

Knop	Bereik	Standaard	Uitleg
3-band: max. correctie	0 tot 12 dB	0 = uit	Hoeveel hij het laag of hoog hoogstens bijstuurt. 3 tot 6 dB is een goed begin.
3-band: snelheid	0,2 tot 10 dB/s	1	Hoe snel hij bijstuurt. Langzaam is natuurlijker.
3-band: doel laag t.o.v. midden	–20 tot +20 dB	0	De gewenste verhouding laag/midden.
3-band: doel hoog t.o.v. midden	–20 tot +20 dB	0	De gewenste verhouding hoog/midden.

Leer. Speel een nummer dat precies goed klinkt en druk op **Leer**. De processor luistert 30 seconden en zet de twee doelen dan zelf. Daarna trekt hij elk ander nummer die kant op.

Op de meterbrug laten L en H zien hoeveel hij het laag en het hoog op dit moment bijstuurt.

Stereo

Knop	Bereik	Standaard	Uitleg
Verbreiding	0 tot 100 %	0	Maakt het verschil tussen links en rechts groter. 0 % = zoals het binnenkomt, 100 % = twee keer zo breed. Mono blijft mono.

Breder stereo kost zwaai. Het verschilsignaal (L-R) neemt plaats in het MPX. Wil je zo luid mogelijk, houd de verbreiding dan bescheiden (15 tot 30 %).

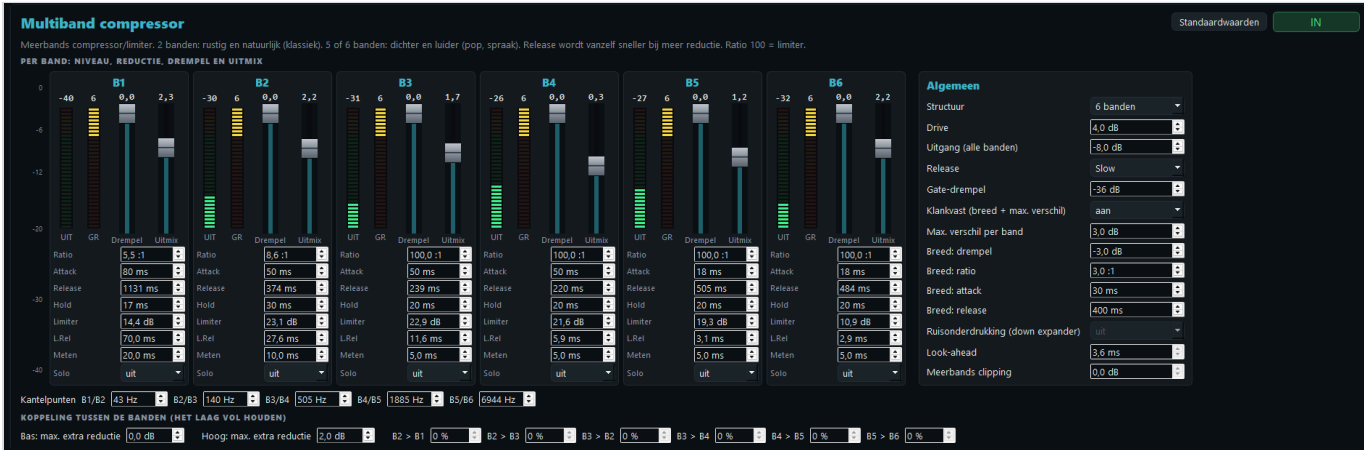
EQ (7 banden)

Een parametrische equalizer met 7 banden. Hij zit voor de compressor: wat je hier toevoegt, wordt daarna netjes in toom gehouden.

Knop (per band)	Bereik	Uitleg
Soort	uit, piek, low shelf, high shelf	Piek = een bult of dal rond de frequentie. Shelf = alles onder (low) of boven (high) de frequentie.
Frequentie	15 tot 15000 Hz	Standaard 60, 150, 500, 1500, 4000, 10000 en 12000 Hz.
Versterking	-12 tot +12 dB	Ook met de schuiven 1 tot 7 op de meterbrug.
Breedte	0,3 tot 4 octaaf	Smal = precies, breed = zacht en muzikaal. Bij een shelf: hoe steil.

Advies. Weinig is veel. 1 tot 3 dB is meestal genoeg. Wil je meer laag, kijk dan eerst naar de Sub. Wil je meer helderheid, een high shelf van 1 tot 2 dB rond 8 tot 10 kHz.

Multiband compressor



De multiband compressor met 6 banden: per band meters, drempel, uitmix en de tijden; rechts de algemene knoppen.

Dit is het hart van de processor. Het geluid wordt in banden gesplitst, van laag naar hoog. Elke band heeft een eigen compressor. Zo kan een harde basdrum het hoog niet omlaag trekken. Het resultaat: dicht, gelijkmatig en luid.

Algemeen

Knop	Bereik	Standaard	Uitleg
Structuur	2, 5 of 6 banden	5	2 banden: rustig en natuurlijk (klassiek, spraak). 5 of 6 banden: dichter en luider (pop).
Drive	0 tot 25 dB	10	Hoe hard het geluid de compressor in gaat. Meer drive = meer reductie = dichter.
Uitgang (alle banden)	–18 tot +6 dB	0	Het niveau na de compressor.
Release	Slow, Slow2, Med, Med2, MFast, MFast2, Fast	Med	Hoe snel alle banden loslaten. Sneller = luider, maar je hoort het eerder "pompen".
Gate-drempel	–44 tot –15 dB	–36	In stiltes houdt de compressor zijn stand vast. Dan komt de ruis niet omhoog.
Kantelpunten	30 tot 12000 Hz	150, 420, 1000, 3700, 6200	Waar de banden elkaar raken.

Klankvast

Een gewone multiband verandert de klank als het harder wordt: de banden drukken elk anders. Klankvast voorkomt dat. Een brede compressor bepaalt de reductie voor alle banden samen. Elke band mag daar maar een beetje van afwijken. Zo blijft de klank hetzelfde, zacht of hard.

Knop	Bereik	Standaard	Uitleg
Klankvast	uit, aan	aan	Aanbevolen: aan.
Breed: drempel	–24 tot +12 dB	–3	Vanaf waar de brede compressor werkt.
Breed: ratio	1 tot 100	4	Hoe sterk hij drukt. 100 = limiter.
Breed: attack	1 tot 500 ms	30	Hoe snel hij ingrijpt.
Breed: release	20 tot 3000 ms	400	Hoe snel hij loslaat.
Max. verschil per band	0 tot 12 dB	3	Hoeveel een band extra mag drukken. Klein = klank vast, groot = elke band meer eigen gang.

Per band (B1 is het laagst, B6 het hoogst)

Knop	Bereik	Standaard	Uitleg
Drempel	–24 tot 0 dB	–6	Vanaf waar de band drukt.
Ratio	1 tot 100	100	Hoe sterk. 100 = limiter. Voor het laag klinkt 5 tot 10 natuurlijker.
Attack	1 tot 1000 ms	15	Hoe snel de band ingrijpt.
Release	20 tot 2000 ms	300	Hoe lang het duurt om 10 dB los te laten.
Hold	0 tot 500 ms	20	Eerst even vasthouden, dan pas loslaten. Tegen "wapperen" in het laag.
Limiter	0 tot 24 dB	12	Een snelle limiter per band, zoveel dB boven de drempel. 24 = uit.
L.Rel	1 tot 200 ms	20	Hoe snel die limiter 10 dB loslaat.
Metten	0 tot 20 ms	per band	Over hoeveel tijd de band het niveau meet. 0 = op de piek. Laag langer, hoog korter.
Uitmix	–6 tot +6 dB	0	Hoe hard de band terug in de mix komt. Dit is je klankregeling na de compressor.
Solo	uit, solo	uit	Alleen deze band horen. Handig bij het instellen.

Laag vol houden

Knop	Bereik	Standaard	Uitleg
Bas: max. extra reductie	0 tot 12 dB	6	Het laag mag hoogstens zoveel meer drukken dan B2. 0 = uit.
Hoog: max. extra reductie	0 tot 12 dB	2	Het hoog mag hoogstens zoveel meer drukken dan B4. Zo wordt het hoog niet dof als het harder wordt.

Advies voor de tijden. Een goed begin is: attack B1 80 ms, B2 50 ms, B3 en B4 50 ms, B5 en B6 15 tot 20 ms. Het hoog moet snel kunnen ingrijpen, anders slipt een scherpe S erdoor. Het laag mag rustig, anders vervormt de bas.

Grijze knoppen in dit paneel (ruisonderdrukking, look-ahead, meerbands clipping en de koppeling tussen de banden) werken nog niet.

Sub

De sub voegt diep laag toe, onder ongeveer 40 Hz. Zo krijgt de zender "body" zonder dat het gewone laag dreunt.

Knop	Bereik	Standaard	Uitleg
Sub (Level)	0 tot 20 dB	0 = uit	Hoeveel dB diep laag erbij komt. De Sub-meter op de meterbrug toont precies dat getal.
Sub max	0 tot 20 dB	20	De bovengrens. Komt de sub erboven, dan regelt hij heel rustig terug. Zo blijft een nummer met al veel laag binnen de perken.
Sub-plek	voor de eindlimiter, voor de clipper	voor de eindlimiter	Waar de sub erbij komt.

Advies. Begin met 3 tot 6 dB en een Sub max van 5 tot 8 dB. Luister op een radio met een goede luidspreker. Te veel sub kost zwaai en dus luidheid.

HF-limiter (tegen slissen)

Na de pre-emphasis wordt het hoog bij FM flink opgehaald. Een harde S of een hihat kan dan de clipper in gaan en gaan slissen. De HF-limiter kijkt naar het hoog zoals het na de pre-emphasis wordt. Gaat dat over de drempel, dan gaat **alleen het hoog** boven het splitspunt omlaag. Hij zit na de multiband en de sub, vlak voor de eindlimiter. Er is geen vertraging.

Knop	Bereik	Standaard	Uitleg
Drempel (na pre-emphasis)	-40 tot +6 dB	-4	Lager = eerder ingrijpen. Rond -30 dB is goed voor moderne, scherpe muziek.
Splitspunt	2000 tot 10000 Hz	8000	Vanaf hier gaat het hoog omlaag. Rond 9500 Hz pak je de S en de hihat zonder dat het dof wordt.
Release	20 tot 1000 dB/s	100	Hoe snel hij loslaat.

Advies. Slist het? Zet het splitspunt op 9500 Hz en verlaag de drempel tot het weg is. Op de meterbrug moet de HF-limiter bij een scherpe S 3 tot 6 dB ingrijpen. Wordt het dof, dan staat de drempel te laag.

Eindlimiter en clipper (stap Clipper)

Deze twee zitten samen in één paneel. Ze vangen de laatste pieken op voordat het geluid naar de stereocoder gaat.

De **eindlimiter** regelt de pieken weg, zonder vertraging. Wat er dan nog overblijft, knipt de **clipper** af. De clipper werkt op 4 keer de samplefrequentie. Dat geeft minder harde boventonen dan gewoon knippen.

Het plafond van de clipper staat **vast op -6 dB**. Met de drive stuur je er meer in: het wordt voller, niet harder. De uitgang kan nooit harder worden dan het plafond. Hoe hard het de lucht in gaat, stel je daarna in bij de Uitgang.

Knop	Bereik	Standaard	Uitleg
Eindclip drive	–6 tot +12 dB	0	Hoe hard het de clipper in gaat. Meer = voller en dichter, maar ook meer vervorming.
Eindclip soort	zacht, middel, hard	middel	Hoe de clipper de bocht neemt. Zacht klinkt ronder, hard is strakker.
Eindlimiter drive	0 tot 20 dB	13	Hoe hard het de eindlimiter in gaat.
Eindlimiter hold	0 tot 100 ms	20	Eerst vasthouden, dan loslaten.
Eindlimiter release	10 tot 1000 dB/s	30	Hoe snel hij loslaat.
Eindlimiter max. reductie	1 tot 12 dB	5	Hoeveel hij hoogstens wegregelt. De rest doet de clipper.

Advies. Op de meterbrug: Limiter een paar dB, Clipper af en toe 1 tot 3 dB. Knipt de clipper voortdurend veel, dan wordt het geluid hard en vermoeiend. Draai dan de clipper-drive terug.

15 kHz

Bandbegrenzing op 15 kHz. FM-stereo mag niet hoger dan 15 kHz: daarboven zit de pilot op 19 kHz. Laat deze stap **IN** staan.

Uitgang

Knop	Bereik	Standaard	Uitleg
Uitgangsniveau	–20 tot +24 dB	0	Het niveau naar de stereocoder, en dus de zwaai.
Loudness-doel (meter)	–24 tot –5 LUFS	–9	Alleen voor de meter: de streep bij Loudness.

10. Zo luid mogelijk binnen 200 kHz

Iedereen wil een zender die lekker luid en vol klinkt. Maar een FM-zender heeft een kanaal van **200 kHz**. Daar moet alles in passen. Ga je erbuiten, dan heeft je buurman er last van. Dit hoofdstuk legt uit hoe je het maximale uit dat kanaal haalt, zonder vervorming en zonder de burens te storen.

Eerst de begrippen

Begrip	Uitleg
Zwaai	Hoever de frequentie heen en weer gaat. Bij omroep-FM is 75 kHz de grens. Meer zwaai = luider, maar ook breder.
MPX	Het complete signaal dat de zender moduleert: L+R (mono), de pilot, L-R rond 38 kHz en RDS op 57 kHz.
Pilot	Een toon van 19 kHz waaraan een radio ziet dat het stereo is. Meestal 9 % van de zwaai (6,75 kHz).
RDS	De zendernaam en tekst, op 57 kHz. Meestal 2 tot 4 kHz zwaai.
MPX-vermogen (dBr)	Het gemiddelde vermogen van het MPX, over 60 seconden. Dit is wat je hoort als "luidheid". 0 dBr is de officiële grens; veel omroepen zitten daar ruim boven.
Piekszwaai	De hoogste piek. Die mag niet boven 75 kHz komen.

Het geheim: de **pieken** mogen niet hoger, maar het **gemiddelde** mag wel omhoog. Hoe dichter het geluid tegen de 75 kHz aan zit, hoe luider. Dat doen de compressor, de clippers en de composite clipper samen.

Hoe luid is luid?

MPX-vermogen	Hoe het klinkt
0 dBr	Netjes, ruim, veel dynamiek.
+2 dBr	Stevig, nog heel open.
+4,5 dBr	Hier zitten de meeste commerciële omroepen. Luid en vol.
+6 dBr	Het maximum dat met deze zender schoon te halen is. Erboven gaat het vervormen.

Je ziet het MPX-vermogen op drie plaatsen: de regel MPX-vermogen ... dBr op het rack, de meter **MPX** op de meterbrug (F en S), en het vak **MPX-vermogen (BS.412)** op de Modulatiemonitor. Staat er "BS.412 te hoog", dan zit je boven 0 dBr. Dat is geen fout van de zender, maar een waarschuwing.

De drie gereedschappen

Gereedschap	Waar	Wat het doet
Composite clipper	Modulatiemonitor: Comp. clip aan en dB drive (ook op het tabblad Stereo coder)	Knipt de pieken van het audiodeel van het MPX (L+R en L-R), voordat pilot en RDS erbij komen. De knipresten bij de pilot en bij RDS worden weggefilterd. Zo kan het audiodeel harder zonder dat pilot en RDS vies worden. Dit levert de meeste dBr op.
MPX-clipper	Modulatiemonitor: Clipper aan, grens in kHz en knie in dB	De laatste veiligheid: wat er boven de grens uit komt, gaat er niet uit. Hij zit vlak voor de FM-modulator.
Kanaalfilter	Altijd aan, vast op 200 kHz	Haalt alles buiten het kanaal weg. Naast je zender is het dan stil.

Stappenplan

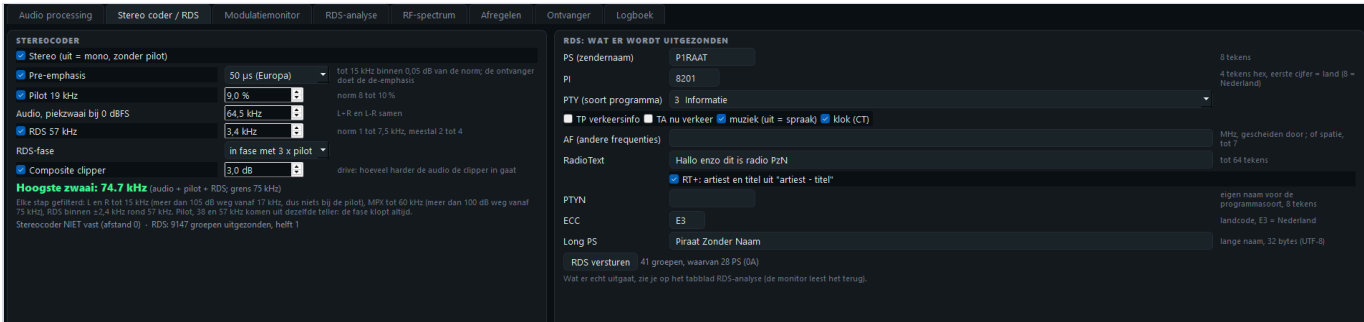
1. **MPX-clipper.** Clipper aan, grens **73 kHz**, knie **1,5 dB**. Het kanaalfilter maakt de pieken ongeveer 2 tot 4 kHz hoger. Met 73 kHz kom je dan net op 75 kHz uit. Een kleine knie is belangrijk: een grote knie rondt het hele MPX af, ook de pilot, en dan vult het gat rond 19 kHz zich met rommel.
2. **Stereocoder.** Pilot 9 %, RDS rond 3 kHz, pre-emphasis 50 μ s (in Europa). Zie hoofdstuk 11.
3. **Kies een preset** als begin, bijvoorbeeld **PzN-Radio** (hoofdstuk 16).
4. **Speel stevige muziek.** Kijk op de Modulatiemonitor naar de piekzwaai. Draai de **Uitgang** in de processor tot de piekzwaai rond 70 tot 75 kHz komt en het lampje CLIP af en toe een paar dB laat zien.
5. **Composite clipper.** Zet **Comp. clip aan**. Begin met 2 dB drive. Draai de drive per halve dB op en kijk naar het MPX-vermogen (S, over 60 seconden). Luister tussendoor. Hoor je vervorming, dan een stap terug.
6. **Slissen?** HF-limiter aan, splitspunt 9500 Hz, drempel rond -30 dB.
7. **Voller maken?** Meer clipper-drive in de stap Clipper, of meer drive in de multiband. Maar elke dB meer is ook meer vervorming. Luister.
8. **Controleer de burens.** Op het tabblad RF-spectrum moet alles binnen de strepen van 200 kHz blijven.
9. Tevreden? Sla het op als eigen preset. De composite clipper en de MPX-clipper worden met de preset mee bewaard.

Let op. Luider is niet altijd beter. Vanaf ongeveer +6 dBr wordt het geluid hard, vermoeiend en vervormd. Luister altijd op een gewone radio, niet alleen naar de meters. En houd je aan de grenzen van je machtiging: op de amateurbanden gelden eigen regels voor bandbreedte.

Wat bekijk je tijdens het instellen

Meter	Waar	Goed
Piekwaaai	Modulatiemonitor, groot getal	Rond 70 tot 75 kHz, niet erboven. De ITU-piek eronder hoort rond 75 te blijven.
MPX-vermogen	rack, meterbrug (MPX), Modulatiemonitor	Het doel dat je kiest, bijvoorbeeld +4,5 dBr.
CLIP	rack	Af en toe een paar dB. Niet voortdurend veel.
Pilot en RDS	Modulatiemonitor	Pilot 9 %, RDS op je doel. Ze moeten stil blijven staan, ook bij harde muziek.
MPX-spectrum	Modulatiemonitor	Een schoon gat rond 19 kHz (de pilot staat er los in). Boven 60 kHz alleen de RDS-bult en ruis.
RF-spectrum	RF-spectrum	Alles binnen het kanaal van 200 kHz.

11. Tabblad Stereo coder / RDS



De stereocoder (links) en wat er in RDS wordt uitgezonden (rechts).

Stereocoder

Knop	Bereik	Standaard	Uitleg
Stereo	aan, uit	aan	Uit = mono, zonder pilot.
Pre-emphasis	50 µs (Europa), 75 µs (VS)	aan, 50 µs	Het hoog wordt opgehaald; de radio draait het weer terug. Dat geeft minder ruis.
Pilot 19 kHz	6 tot 12 %	9 %	Gebruikelijk is 8 tot 10 %.
Audio, piekwaaai bij 0 dBFS	20 tot 75 kHz	64,5 kHz	Hoeveel zwaai het geluid geeft bij vol niveau (L+R en L–R samen).
RDS 57 kHz	1 tot 7,5 kHz	3,4 kHz	Meestal 2 tot 4 kHz.
RDS-fase	in fase met 3 x pilot, kwadratuur (90°)	in fase	Laat staan, tenzij een radio RDS slecht leest.
Composite clipper	aan, uit; drive 0 tot 6 dB	uit, 2 dB	Zie hoofdstuk 10. Dezelfde knop als <code>Comp. clip</code> op de Modulatiemonitor.

Elke stap wordt gefilterd. L en R tot 15 kHz, zodat er niets bij de pilot komt. Het MPX tot 60 kHz. RDS netjes rond 57 kHz. Pilot, 38 en 57 kHz komen uit dezelfde teller: de fase klopt altijd.

RDS

Veld	Uitleg
PS (zendernaam)	8 tekens, zoals de radio hem toont.
PI	4 tekens hex; het eerste cijfer is het land (8 = Nederland).
PTY	Soort programma.
TP, TA, muziek, klok (CT)	Verkeersinfo, nu verkeer, muziek of spraak, en de klok (eens per minuut).
AF	Andere frequenties in MHz, tot 7.
RadioText	Tot 64 tekens. Met RT+ worden artiest en titel herkend uit "artiest - titel".
PTYN, ECC, Long PS	Eigen programmasoort (8 tekens), landcode (E3 = Nederland), lange naam (32 bytes).

Druk op RDS versturen als je iets hebt veranderd. Wat er echt uitgaat, zie je op het tabblad RDS-analyse.

12. Tabblad Modulatiemonitor

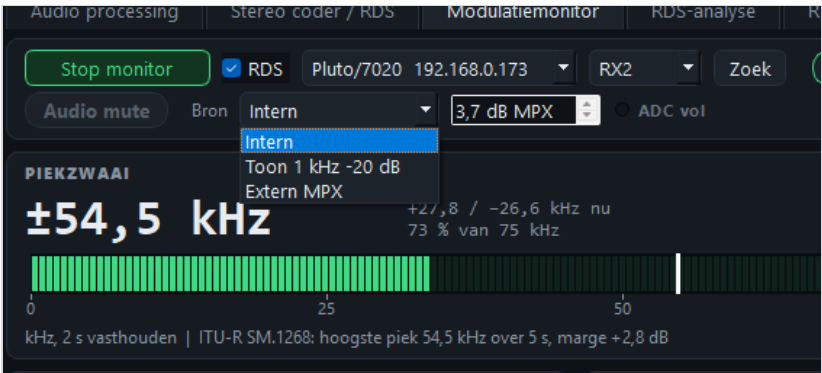


De modulatiemonitor: piekzwaai, MPX-vermogen, pilot, RDS en het MPX-spectrum. Op de tweede regel Audio mute, Bron, dB MPX en ADC vol.

De monitor meet je eigen uitzending, via RX2 van de 7020 (of via een tweede SDR).

De balk bovenaan

Onderdeel	Uitleg
Start monitor / Stop monitor	Begint of stopt het meten.
RDS	Uitvinken: sneller verversen, maar dan geen RDS.
Bron en ingang	Pluto/7020 met RX2 (aanbevolen), een RSPdx of Demo.
Clipper aan	De MPX-clipper. Grens 60 tot 80 kHz, knie 0 tot 6 dB. Aanbevolen: 73 kHz en 1,5 dB. Het lampje erachter toont hoeveel dB hij afhaalt.
Audio mute	Muziek uit, pilot en RDS blijven aan. Rood = mute aan. Na een herstart staat mute uit.
Bron	Intern: de processor. Toon 1 kHz -20 dB: mono 1 kHz op 7,5 kHz zwaai, met pilot en RDS. Extern MPX: de ADC (links) gaat rechtstreeks naar de zender; stel het niveau in met <code>dB MPX</code> (begin op -8 dB). Het lampje <code>ADC vol</code> wordt rood als de ADC vol uitslaat.
Comp. clip	De composite clipper aan of uit (groen = aan), met de drive in dB.
Labels	stereo, pilot, RDS met de zendernaam, BS.412 en overstuurd. Groen is goed.

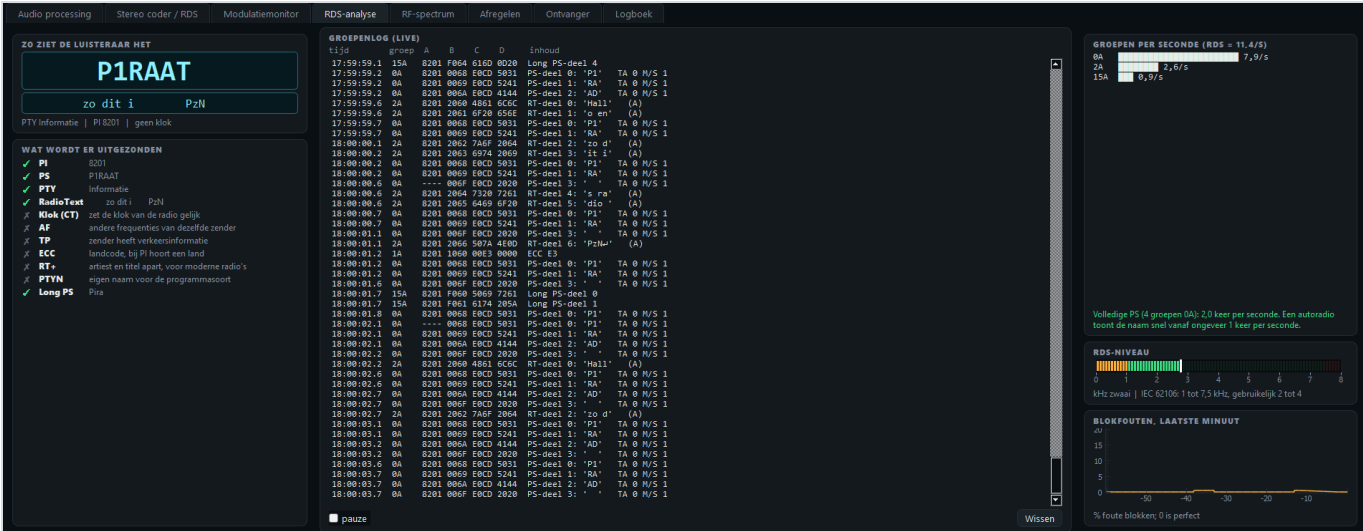


Het lijstje Bron: Intern, Toon 1 kHz -20 dB of Extern MPX.

Wat je ziet

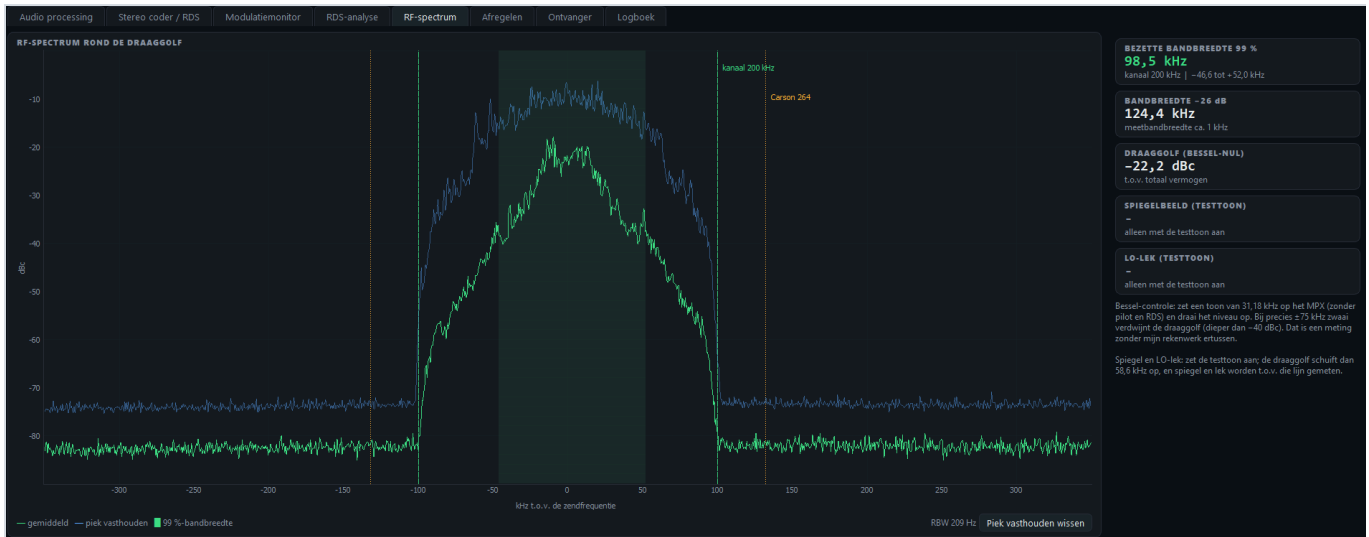
Vak	Uitleg
Piekwaaai	De grootste zwaai, twee seconden vastgehouden. Daaronder de hoogste piek over langere tijd (ITU).
MPX-vermogen (BS.412)	Het gemiddelde over 60 seconden in dBr, en over de laatste seconde.
Pilot	Pilotzwaai in kHz en procent, en de pilotfrequentie.
38 kHz-fase	Moet rond 0° staan. Dit bepaalt de kanaalscheiding.
RDS-injectie	De RDS-zwaai.
Draaggolf	Hoeveel de draaggolf afwijkt van de ingestelde frequentie.
Ontvangst	Hoe sterk het meetsignaal binnenkomt. Rood = te sterk: meer verzwakking.
Meters (oranje streep = doel)	Zwaai, pilot, RDS en MPX-vermogen, elk met een doelstreep. Het getal kleurt mee met hoe ver je ervan af zit.
MPX-spectrum	Het MPX tot 100 kHz: L+R, de pilot, L–R rond 38 kHz, RDS op 57 kHz.
Audio L/R	De niveaus na de-emphasis en de kanaalscheiding. Zet een toon op één kanaal: het verschil is de scheiding.
RDS	Zendernaam, PI, PTY en RadioText zoals ze binnenkomen.

13. RDS-analyse en RF-spectrum



De RDS-analyse.

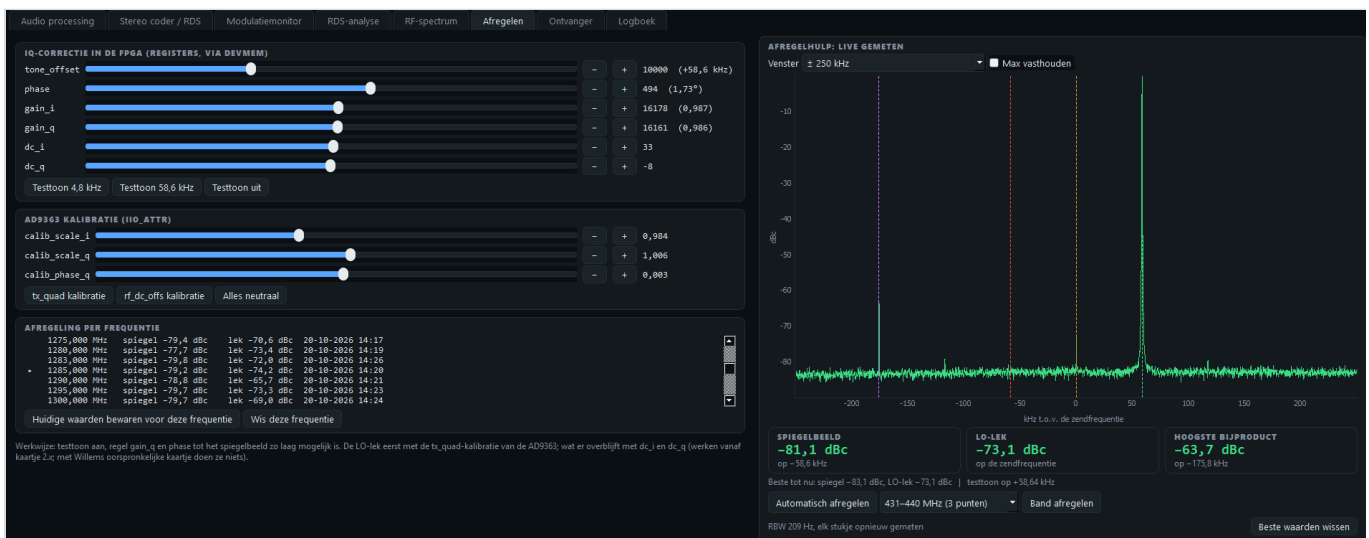
RDS-analyse leest alles terug wat er in de RDS zit: zendernaam, RadioText, RT+, klok, AF-lijst, groepen per seconde en blokfouten. Bij goede ontvangst zijn er geen blokfouten.



Het RF-spectrum rond de draaggolf.

RF-spectrum toont de uitzending rond de draaggolf. Groen is het gemiddelde, blauw de vastgehouden piek. De strepen geven het kanaal van 200 kHz aan. Hier zie je of je binnen je kanaal blijft. Met **Piek vasthouden wissen** begin je opnieuw.

14. Tabblad Afregelen



Afregelen: links de schuiven en de lijst per frequentie, rechts de afregelhulp.

Waarom afregelen

Een zender als deze maakt altijd een beetje **spiegelbeeld** (het signaal gespiegeld aan de andere kant van de draaggolf) en een beetje **draaggolflek**. Hoe goed dat onderdrukt wordt, verschilt per frequentie. Afregelen is: de schuiven zo zetten dat beide zo laag mogelijk zijn.

Zo sluit je aan

De 7020 meet zijn eigen zender. Verbind TX1 via een verzwakker van 30 dB met RX2, en kies op de Modulatiemonitor RX2. Tegelijk uitzenden en meten kan met een zelfgemaakte splitter: drie SMA-bussen in een ster, met in elke tak 16,5 Ω.



Zelfgemaakte splitter: drie SMA-bussen met drie SMD-weerstanden van 16,5 Ω in een ster. Elke tak verliest 6 dB.

Automatisch afregelen

1. Verbonden, monitor aan, zender aan.
2. Klik op **Automatisch afregelen**.
3. Het programma zet de testtoon aan, verlaagt zo nodig het vermogen en zoekt per schuif de beste stand: eerst grof, dan fijn.
4. De uitkomst wordt bewaard bij deze frequentie. Vermogen en testtoon gaan terug.

Met **Band afregelen** regelt hij een hele band af, elke 5 MHz (431 tot 440, 1240 tot 1300 of 2340 tot 2400 MHz). Per punt doet hij drie rondes. Dat duurt even. Elk punt wordt meteen bewaard.

De lijst per frequentie

Elke afgeregelde frequentie komt in de lijst, met de gemeten spiegel en lek en de datum. Kies je een frequentie, dan zet het programma de afregeling van de dichtstbijzijnde frequentie uit de lijst op de 7020.

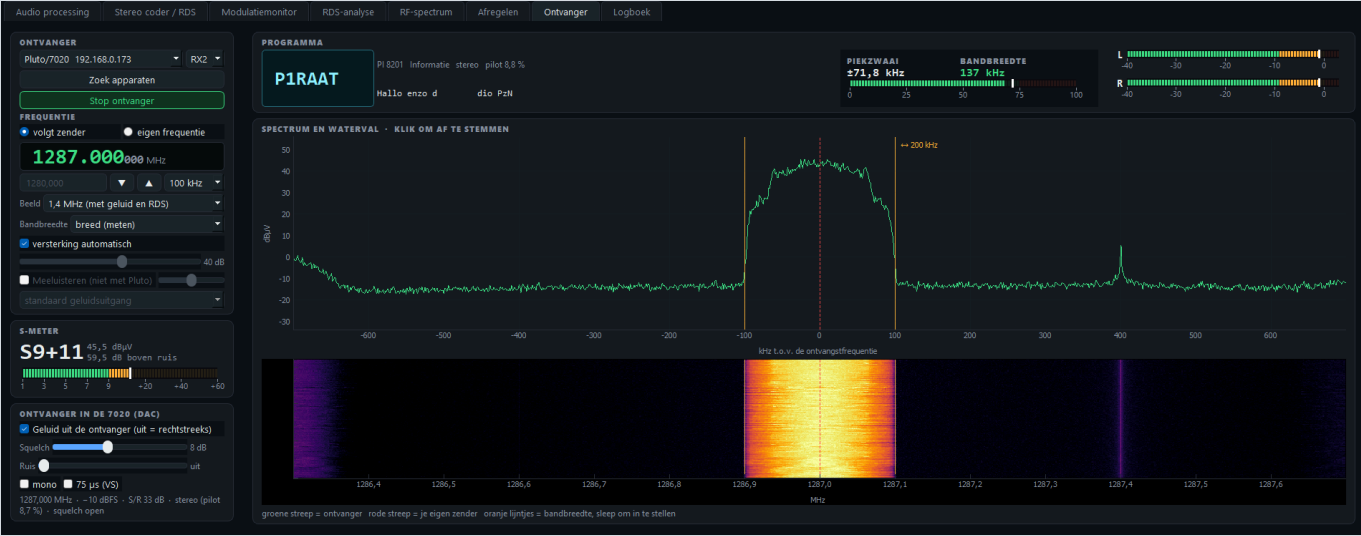
Eén keer afregelen is genoeg. De AD9363 regelt zichzelf ook af, bij elke opstart opnieuw, en elke keer een beetje anders. Daarom zet het programma die eigen afregeling van de chip uit, en bewaart het de stand van de chip mee in de lijst. Na uit en weer aan staat alles precies zoals je het bewaard hebt. Een frequentie die je eerder met een oudere versie hebt afgeregeld, regel je één keer opnieuw af.

Met de hand afregelen

1. Zender aan, monitor aan.
2. Zet **Testtoon 58,6 kHz** aan.
3. Draai aan **gain_q** en **phase** tot het spiegelbeeld zo laag mogelijk is.
4. Draai aan **dc_i** en **dc_q** tot de draaggolflek zo laag mogelijk is.
5. Klik op **Huidige waarden bewaren voor deze frequentie**.
6. Testtoon weer uit.

De knop **tx_quad kalibratie** laat de chip zichzelf afregelen. Op deze zender maakt dat het meestal slechter. Gebruik hem alleen om te proberen, en bewaar daarna niet als het slechter is.

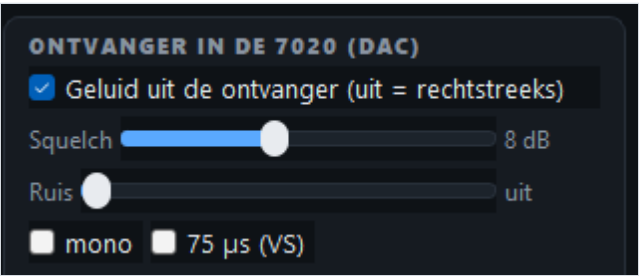
15. Tabblad Ontvanger



De ontvanger: spectrum en waterval (klik om af te stemmen), S-meter, zendernaam en RadioText.

Een tweede ontvanger om andere zenders te bekijken, met spectrum, waterval, S-meter, zendernaam en RadioText. Klik in het spectrum of draai aan het muiswiel om af te stemmen.

Ontvanger in de 7020 (DAC)



Het kaartje Ontvanger in de 7020: geluid uit de ontvanger, squelch, ruis, mono en 75 µs.

In de FPGA zit een complete FM-ontvanger: stereo, de-emphasis en squelch. Het geluid gaat rechtstreeks naar het DAC-kaartje. Zenden en ontvangen gaan tegelijk.

Knop	Bereik	Uitleg
Geluid uit de ontvanger	aan, uit	Aan: de DAC speelt de ontvanger. Uit: de DAC speelt het geluid rechtstreeks uit de processor.
Squelch	uit tot 20 dB	Onder deze signaal-ruisverhouding gaat het geluid zacht dicht. Een paar dB is meestal genoeg.
Ruis	0 tot 10	Ruisonderdrukking. 0 = uit. 1 tot 5: stereo gaat geleidelijk naar mono (minder ruis, het hoog blijft). 6 tot 10: daarbij gaat ook het hoog geleidelijk omlaag. Zet hem zo laag als het kan.
mono	aan, uit	Altijd mono.
75 µs (VS)	aan, uit	De-emphasis voor Amerikaanse zenders.

Luister je naar je eigen zender, dan hoor je precies wat er de lucht in gaat, met alle bewerking erop. Sluit je het programma af, dan wordt de DAC stil.

16. Presets

Een preset is een complete instelling van de processor, met één naam. Bij de eerste start staan er een paar klaar.

Wat zit er in een preset

- alle knoppen van alle trappen, en welke trappen aan of uit staan;
- de composite clipper: aan of uit, en de drive;
- de MPX-clipper: aan of uit, de grens en de knie.

Een preset zonder clipperinstellingen laat de clippers staan zoals ze stonden.

De meegeleverde presets

Preset	Karakter
PzN-Radio	De allround radiozender van PE1PzN. Vol laag, open hoog, met de composite clipper aan.
Doorverbinden (alles bypass)	Alles uit: het geluid gaat onbewerkt door. Kan niet weg.

Elke bron en elke opname is anders. Zie de presets als een begin. Draai daarna op het gehoor bij en sla het op onder een eigen naam.

Het slot

De meegeleverde presets staan **op slot**. Je ziet dan een slotje achter de naam. Een preset op slot kun je niet overschrijven en niet verwijderen. Aan de knoppen draaien mag wel; opslaan doe je dan onder een andere naam.

- **Slot eraf:** kies de preset en haal het vinkje ☐ Slot weg.
- **Weggooien:** slot eraf, dan . Een weggegooide meegeleverde preset komt niet vanzelf terug.
- **Je eigen preset op slot:** kies hem en zet het vinkje ☐ Slot aan.

Opslaan, exporteren en importeren

Knop	Wat hij doet
Opslaan als...	De huidige stand bewaren onder een naam. Een naam die op slot zit, kan niet.
Exporteren...	Je kiest met vinkjes welke presets, en waar het bestand komt. Het wordt een <code>.json</code> -bestand. Handig als reservekopie, of om je instelling aan een ander te geven.
Importeren...	Kies een presetbestand en vink aan welke presets je wilt hebben. Bestaat de naam al, dan vraagt het programma: <code>Ja</code> = overschrijven, <code>Nee</code> = erbij zetten met een nieuwe naam, zoals "PzN-Radio (2)". Een preset op slot wordt nooit overschreven.

17. Problemen oplossen

Probleem	Wat te doen
Zoek vindt niets	Wacht tot de 7020 helemaal opgestart is (ruim een halve minuut). Probeer USB. Kijk of de firewall het programma toelaat.
Geen geluid in de uitzending	Is het ADC-kaartje aangesloten en staat het op Master, 24 bit, 192 kHz? Staat <code>Bron</code> op I2S-ingang? Beweegt de Input-meter?
Lampje ADC over	De bron is te hard. Draai hem terug, niet het Ingangsniveau.
Geen geluid uit de DAC	Kijk wat er bij <code>DAC</code> gekozen is. Controleer de FMT-jumper van het DAC-kaartje.
Het slist	HF-limiter aan, splitspunt 9500 Hz, drempel omlaag tot het weg is. Snellere attack in B5 en B6.
Het vervormt	Minder composite clipper-drive, minder clipper-drive, of een iets lager MPX-vermogen kiezen.
Het pompt	Release van de multiband langzamer (Slow of Med), minder drive.
Rommel rond de pilot in het MPX-spectrum	Knie van de MPX-clipper op 1,5 dB. Stap 15 kHz op IN.
Piekwaaai boven 75 kHz	Grens van de MPX-clipper een halve kHz lager, of de Uitgang wat terug.
Spiegelbeeld of lek slechter na aan en uit	Regel de frequentie één keer opnieuw af en bewaar (hoofdstuk 14).
Wijziging in de FPGA niet actief na herstart	Een herstart van Linux laadt de FPGA niet opnieuw. Haal de spanning er even af.

18. Disclaimer

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.