

Tichelkampweg 75 7621 GK BORNE.
Tel: 074-2666676 mail: info@kerkradio.nl
www.kerkradio.nl

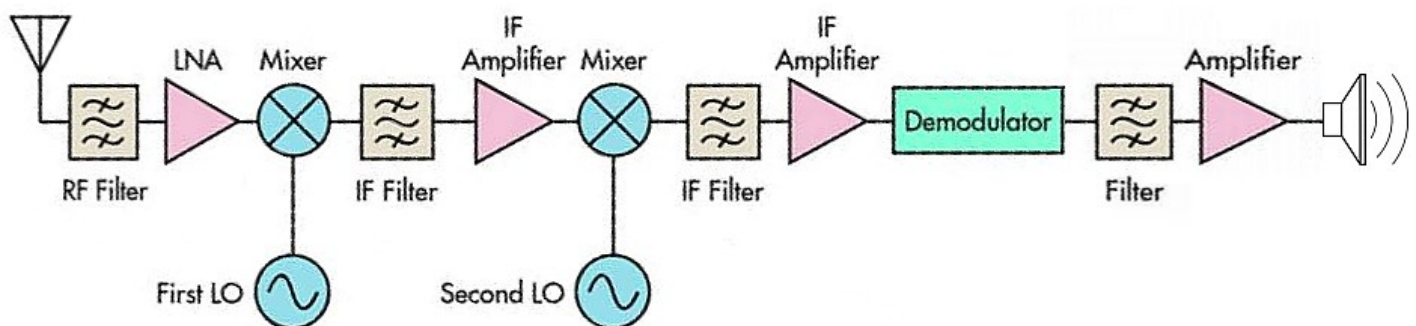
Van: Ivo Maatman, 10 april 2019

Berekening en analyse van de ontvangstgevoeligheid van een Rivendel Kerkradio ontvanger.

Omdat zend en ontvangst technieken toch wel een vak apart zijn, hierbij een (meer technische) uitleg en onderbouwing van de eigenschappen van de gebruikte technieken bij de zender en de Rivendel RVD02 ontvangers.

Een goede analoge ontvanger voor de VHF-Band (Very High Frequency) (en zo ook de RVD02) wordt opgebouwd volgens het dubbel-super heterodyne principe. Dat wil zeggen dat er in de ontvangst-keten versterking en filtering plaatsvindt op diverse (tussen)frequenties waarbij steeds verder de bandbreedte van het ontvangstsignaal beperkt kan worden. Dit heet selectiviteit van een ontvanger, en is nodig, om andere storende signalen tegen te houden en om uiteindelijk alleen het oorspronkelijk uitgezonden signaal uit te filteren en te versterken.

Blok-schematisch ziet er dat als volgt uit; links de antenne ingang, gevolgd door een filter en een versterker met lage ruis (LNA, Low Noise Amplifier). Daarna volgen twee mengtrappen waarmee het signaal naar lagere frequenties wordt gemengd, waarbij op elke tussen frequentie weer gefilterd en versterkt wordt. Er zijn twee trappen nodig i.v.m. het onderdrukken van spiegel-mengfrequenties. Uiteindelijk wordt het signaal gedemoduleerd (AM of FM demodulator), en kan het aan een luidspreker worden aangeboden.



Stel we willen een smalbandig, FM-gemoduleerd VHF signaal ontvangen op 150 MHz. Dat kan met bovenstaand schema. Aan de ingang zit een RF filter, dat alleen een beperkt stuk van de VHF doorlaat. Met de eerste LO (Local Oscillator) van 170 MHz maken we een mengproduct van 20 MHz, wat al gefilterd kan worden door het eerste IF (Intermediate Frequency) filter. Daarna wordt er weer verder versterkt, en volgt een tweede mengtrap met een tweede LO van 20.45 MHz, zodat met een zeer smalbandig IF filter op 450 KHz de bandbreedte beperkt kan worden tot B.V. maar 15 KHz (de bandbreedte van het te ontvangen smalbandig VHF signaal). Omdat het antennesignaal heel erg zwak is moet er in de diverse gefilterde trappen heel erg veel versterkt worden. Met een FM demodulator wordt vervolgens het oorspronkelijk audio signaal gedemoduleerd. Tot slot volgen er dan nog audio filters en een versterker naar een luidspreker (installatie).

Tussen de zender en de ontvanger zijn er veel transmissie verliezen. Op afstand van een zender wordt er maar een erg klein deel van het uitgezonden signaal ontvangen. In Free-space kan redelijk eenvoudig volgens een bol-formule berekend worden hoeveel signaal een ontvanger van het oorspronkelijke zendsignaal ontvangt: (Free Space Path Loss):

$$FSPL(dB) = 10 \log_{10} \left(\left(\frac{4\pi d f}{c} \right)^2 \right)$$

Waarbij:
d= afstand in meter (zender-ontvanger)
f=frequentie in Hz
c=lichtsnelheid

Deze formule is te herschrijven als:

$$FSPL(dB) = 20 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f) + 32.45$$

d in Km
f in MHz

Voorbeeld: een zender op 150 MHz op 4 km afstand ontvang je met een demping van 88 dB, dat klinkt niet veel, maar dat wil zeggen een verzwakking van het vermogen met een factor 6.6×10^8 keer. Ter vergelijking, zo klein is dat deel, dat als je dat uitknijpt uit de hele omtrek van de aarde (40.000 Km) je maar 6 cm overhoudt. Er ontstaat dus al snel veel verzwakking; door de term voor oppervlakte bol, gaat dit kwadratisch met de afstand. Op een 10x grotere afstand is het ontvangen signaal weer opnieuw een factor 100 verzwakt.

Maar naast de free-space loss geven ook de horizon (kromming van de aarde), de bebouwing, obstakels in de buurt en een slechte plaats van de antenne (binnen?) nog weer vele extra verliezen; zeker op grotere afstand. Door al deze extra dempingen wordt het signaal nog weer vele duizenden malen extra verzwakt.

Al met al is het zaak om de ontvanger zo gevoelig mogelijk te maken. Dus gewoon maar het zwakke signaal erg veel versterken, en dan is het weer OK? Jammer, maar dat kan niet. Alle elektronica in onze wereld genereert ruis. Pas bij de absolute nulpunt temperatuur (0 graden Kelvin) staan de elektronen stil, en wordt er geen additionele ruis gegenereerd. Bij onze aardse temperaturen genereert alles ruis, de antenne, de bekabeling en de versterkers. Dat ruisniveau heet de Thermal noise floor (ruisvermogen).

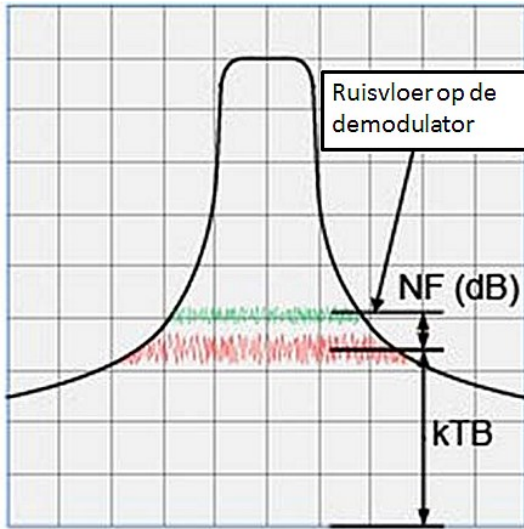
$$\text{Noise floor [dBm]} = 10 \text{ Log}(k_b \cdot T \cdot BW)$$

K_b = Boltzmann factor (1.38E-23 J/K), T is temperatuur in Kelvin en BW is de bandbreedte in Hz.

En inderdaad, bij temperatuur T= 0 graden Kelvin, is er geen ruis. Wat ook opvalt in deze formule is de bandbreedte waarmee je ontvangt erg bepalend is (niet te verwarren met de zend frequentie). In ons geval zenden en ontvangen we met een bandbreedte van 15 of van 25 KHz (3dB bandbreedte bij de grootste zwaai). De zender maakt gebruik van frequentie modulatie (FM), waarbij de bandbreedte bepaald wordt door de hoogste audio frequentie en de frequentie zwaai die bij de zender ingesteld is. Het is ook een onderdeel van de zendvergunning. De bandbreedte mag ook niet te groot zijn, anders kan het storing veroorzaken in een z.g. nabuur kanaal, welke misschien maar 25 KHz verderop, ook in gebruik is.

In onze ontvangers gebruiken we de bandbreedte welke bij de zenders hoort. Bij Rivendel wordt 15 KHz gebruikt, bij Wesotronic 25 KHz. Dat is de gespecificeerde bandbreedte van de (2°) middenfrequentie van de ontvanger op ~ 450 KHz.

De (kTB) noise floor voor deze bandbreedte ligt bij de Rivendel ontvangers op -132.2 dBm, bij het Wesotronic systeem (of ontvangst) op -130.0 dBm; een smallere bandbreedte geeft toch mooi 2,2 dB minder ruis. ($10 \log(15/25)$)



Hiernaast een grafiek met horizontaal de frequentie, met daarop afgebeeld de doorlaatkromme van de middenfrequent filters, en verticaal het amplitude in dB; er is geeningangssignaal. In het blokschema zit aan de antenne ingang direct al een filter (met een beetje verlies om andere sterkere signalen de gevoelige ontvanger niet te laten beïnvloeden), en een voorversterker (LNA) die niet ideaal is. Samen vormt dit circuit ook een beetje ruis, dat uit te drukken is in een ruis-getal, een z.g. noise-figure (NF).

Dit is eigen ruis, die samen met de aardse noise-floor (kTB) een soort van interne ruisvloer binnen de ontvanger bandbreedte maken. Samen vormen deze de ruisvloer van de ontvanger, een zwakker ontvangstsingaal (onder deze ruisvloer) is niet waar te nemen.

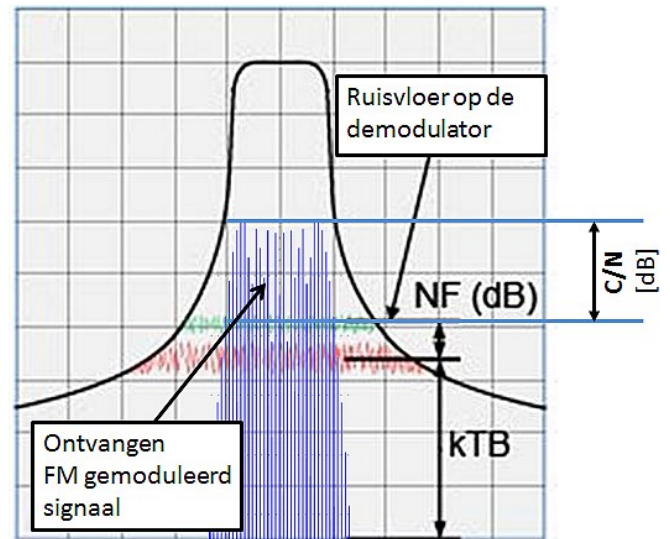
Alleen het deel boven deze ruis kan worden ontvangen.

Stel nu (grafiek hiernaast, in blauw), er wordt binnen de ontvanger bandbreedte een zwak FM-gemoduleerd ingangssingaal ontvangen.

Een gedeelte van dit zwakke ontvangen singaal komt onder de ruisvloer binnen, en een gedeelte is sterk genoeg om boven de interne ruisvloer binnen te komen.

Het niveau van het singaal boven de ruisvloer wordt Carrier to Noise (C/N) genoemd, en alleen dit deel kan de ontvanger ontvangen en hoorbaar proberen te maken.

Hoe sterker het ontvangen singaal, hoe groter deze C/N waarde. Een grotere C/N zal straks op de luidspreker ook een grotere singaal ruisafstand (S/N) betekenen van het ontvangen geluid op de luidspreker (lees: minder of geen ruis).



Met andere woorden, een zwak ontvangen singaal van de zender zal met ruis hoorbaar zijn op de luidspreker, een sterker singaal zal met minder (of nauwelijks hoorbare) ruis kunnen worden weergegeven. Een betere antenne kan een betere S/N geven, maar een ontvanger die gevoeliger is (lagere interne ruisvloer) geeft ook minder ruis.

Deze S/N singaal ruis afstand van het audio singaal wordt in het algemeen gemeten en bepaald met een SINAD meter (Signal to Noise and Distortion). Hierbij wordt het niveau van het gewenste testsingaal vergeleken met alle ongewenste bij-producten (ruis en vervorming). De RF gevoeligheid van een ontvanger wordt gemeten bij 12 dB SINAD .

Dat wil zeggen, hoe gevoelig is de antenne ingang van de ontvanger voor een zwak singaal, terwijl er op de luidspreker nog net een audio singaal te horen is met een afstand van 12 dB (maar een factor 4 in amplitude) tot de ruis en vervorming, die optreed bij een dergelijk zwak singaal.

Dit is trouwens geen fijn audio singaal om lang naar te luisteren, maar een spraak singaal is dan nog wel goed verstaanbaar.

In de ontvanger-keten zit achter de versterkers en filters uiteindelijk de FM-demodulator. Dit circuit zet de FM zwaai van hetingangssignaal (meestal met een z.g. discriminator) weer om in het audio signaal van de zender, waarmee de FM modulatie gemaakt is. Frequentie Modulatie wordt bijvoorbeeld ook toegepast op de welbekende FM Stereo radio, die we veelvuldig gebruiken (nog wel: 2019). Bij FM radio wordt een stereo Multiplex signaal (incl. RDS data) met een bandbreedte van ongeveer 55 KHz op een FM draaggolf gemoduleerd met 75 KHz zwaai (de frequentie van de draaggolf wordt verstemd met het te moduleren signaal). De bandbreedte van het uit te zenden FM gemoduleerde signaal kan berekend worden met de formule: $BW_{rf} = 2x (F_{deviation} + F_{audiomax})$, en is in dit geval groot, ($2x (\sim 55 + 75)$) = 260 KHz. Bij de FM modulatie ontstaan er in deze bandbreedte vele signalen, die samen een spectrale afbeelding vormen van het audio signaal. Het mooie van FM modulatie is dat deze ongevoelig is voor amplitude verstoringen van het ontvangen signaal.

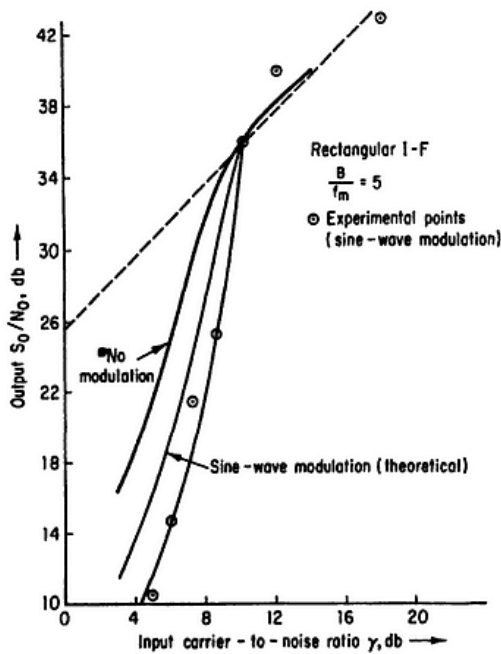
Bij amplitude modulatie (vroeger, op de Middengolf) was luisteren naar de radio onmogelijk bij onweersbuien, bij elke bliksem ontlading ontstonden er een zeer harde kraakgeluiden in de luidspreker. Jaaa.. nostalgie: zelf luisterde ik vroeger (rond 1971) graag naar Radio Veronica op 192 (meter middengolf). In de zomer met onweer in de lucht kon je de radio wel uitzetten, er was niet meer naar te luisteren. FM radio was er wel, maar daar had je alleen de saai Hilversum 1, 2 en 3; de traditionele zenders.

Bij deze uiteenzetting hoort eigenlijk ook uitleg over het verschil tussen AM modulatie (Middengolf, VHF Luchtvaart) en smalbandige FM modulatie (VHF spraak communicatie, portofoons, zendamateurs, kerkradio). Bij AM wordt alleen het amplitude van een VHF draaggolf gemoduleerd met het audio signaal, bij FM alleen de frequentie. Na AM modulatie wordt de bandbreedte van het zendsignaal 2x zo groot, bij (smalbandige) FM modulatie ongeveer 4x zo groot. In de bijbehorende ontvanger moeten de filters voor FM breder zijn dan voor AM, en is er ook aan andere type demodulator nodig. De bandbreedte voor smalbandig FM is 2x die van AM; dubbele bandbreedte geeft +3 dB meer ruis, echter een FM demodulator heeft theoretisch +3 dB meer S/N winst dan een AM demodulator. Voor zwakke signalen en gevoeligheid maakt AM of FM derhalve niet echt veel uit, FM gebruikt wel de dubbele bandbreedte, maar is daarbij niet gevoelig voor AM storingen, en bij betere C/N ingangssignalen geeft FM wel een veel betere S/N dan AM. (veel minder ruis hoorbaar). Voor de volledigheid: er bestaat ook QAM (Kwadratuur amplitudemodulatie) voor digitale signalen, waarbij tegelijkertijd amplitude én frequentie modulatie gebruikt wordt. De frequentie zwaai is daarbij wel zodanig klein, dat alleen verschillende fasestanden worden gebruikt. Een uitbreiding hierop is de huidige digitale TV uitzendingen volgens de DVB-T (ether) standaard. Deze modulatie heet COFDM (Coded Orthogonal Frequency-Division Multiplexing). Hierbij wordt de digitale data van een bouquet van HD kanalen samengevoegd tot wel 6817 kleine QAM draaggolfjes, die niet meer gevoelig zijn voor reflecties en waarbij dezelfde data en dezelfde frequentie op meerdere plaatsen (landsdekkend) tegelijkertijd kan worden uitgezonden (Single Frequency Network).

Bij de ether kerkradio systemen wordt volgens de vergunning smalbandige FM modulatie toegepast, waarbij audio frequenties (tot ~4 KHz) gebruikt worden als modulatie signaal. De gewenste bandbreedte van het zendsignaal van 15 KHz wordt al bereikt met een (kleine) RF zwaai instelling van 3,5 KHz. ($15\text{KHz} = 2x(3.5+4)$).

Het oorspronkelijke audio signaal met frequentie bereik van 4 KHz neemt op de VHF (FM-gemoduleerde) carrier nu een bandbreedte in van 15 KHz (@ Rivendel). (Bij Wesotronic systemen 25 KHz).

Hoe is nu dan de relatie tussen het ontvangen C/N (Carrier to Noise van het hoogfrequente signaal) ten opzichte van de S/N (Signaal ruisafstand van het audio signaal) op de luidspreker? Hiervoor moeten we meer weten over de demodulator in de ontvanger keten. In de ontvanger wordt dit terug gemengde FM-gemoduleerde signaal weer tot audio gedemoduleerd met de FM-demodulator. Hierbij wordt de bandbreedte verkleint; in theorie een factor 4 in bandbreedte = 6 dB winst op de S/N. Door de omzetting van RF bandbreedtes wordt er processing winst verkregen in de demodulator.



Output S_0/N_0 for FM discriminator using "clicks" analysis. (From S. O. Rice, "Proceedings Symposium of Time Series Analysis," M. Rosenblatt (ed.), chap. 26, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1963. Experimental points due to Dr. D. Schilling.)

Over deze FM demodulator improvement factor zijn ook publicaties verschenen, zie grafiek hiernaast. Bij een RF C/N ratio van ~5.5 dB (horizontaal) wordt al een audio S/N (verticaal) gehaald worden van 12 dB.

En nu nog het echte voordeel van FM modulatie; bij iets meer ingangssignaal wordt de ruis in het ontvangen audio signaal direct al zeer sterk verminderd. Als we een ontvangst signaal bekijken welke 5 dB sterker is (10 dB C/N), dan wordt de ruis in de luidspreker direct al 24 dB lager (36-12dB) De knik in de grafiek is de FM-Threshold.

Nu al deze getallen bekend zijn is het mogelijk de gevoeligheid van een ontvanger uit te rekenen.

Stel we willen op de luidspreker 12 dB SINAD meten, welk ingangssignaal is daar minimaal voor nodig?

Dat signaal moet 5.5 dB (C/N) boven de interne ruisvloer van de ontvanger liggen.

Dat is 5.5 dB boven de optelling van het ruisgetal en het ruisniveau in de filter bandbreedte.

Bij de berekening zelf moet er trouwens wel gecorrigeerd worden bij de bandbreedte van de middenfrequent filters op 450 KHz. De fabrikant specificeert deze bandbreedte op de -6 dB punten, terwijl voor de berekeningen de -3 dB bandbreedtes nodig zijn. De -3 dB bandbreedte is kleiner dan de gespecificeerde -6 dB; volgens de curve van deze filters is de -3 dB bandbreedte een factor 0.83 kleiner, in de formule corrigeren we dit met -0.78 dB (= 10 log (0.83)).

$$\text{Sensitivity (12db SINAD) [dBm]} = (\text{C/N voor 12dB SINAD}) + (\text{Interne ruisvloer in ontvanger bandbreedte})$$

$$\text{Sensitivity (12db SINAD) [dBm]} = (\text{C/N voor 12dB SINAD}) + \text{NF}_{\text{ontv}} + 10\log(kTB)$$

$$\text{Sensitivity (12db SINAD) [dBm]} = 5.5 \text{ dB} + 3.0 \text{ dB} + -132.9 \text{ dBm} = -124.4 \text{ dBm}$$

Hieronder het overzicht van de gedetailleerde optellingen bij de twee verschillende bandbreedtes:

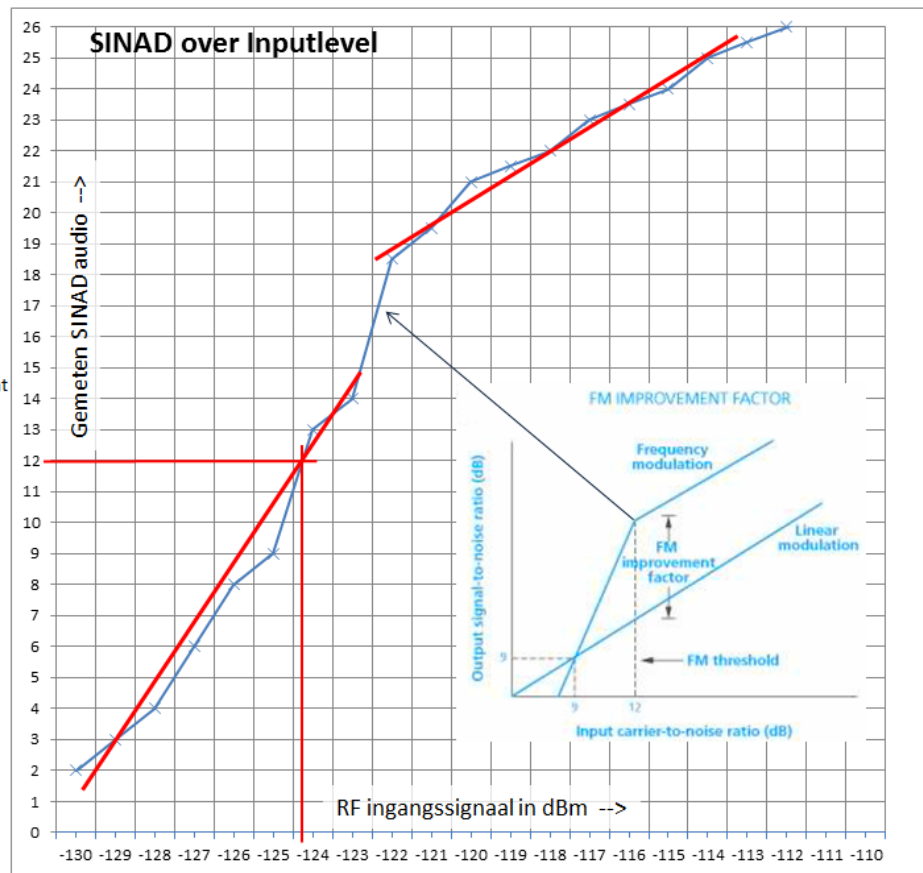
Berekening ontvanger gevoeligheid	15	25
	KHz	KHz
	Small BW	Wide BW
Benodige RF C/N FM 12 dB SINAD	5.5	5.5
Ruisgetal (NF) ontvanger circuit	3.0	3.0
kTB niveau in 1 Hz BW	-173.93	-173.93
10 log IF BW (ontvanger IF bandbreedte)	41.76	43.98
Correctie IF filter -6dB naar -3dB (0.83 x)	-0.78	-0.78
Ontvanger gevoeligheid [dBm]	-124.4	-122.2
Bijingangsspanning op 50 Ohm [uV]	0.134	0.173

Deze theoretische berekening kunnen we ook met een meting aan een RVD02 kerkradio ontvanger verifiëren. Hieronder de meting aan een ontvanger, waarbij we (bij zwakke ingangssignalen) als functie van het RF ingangssignaal de S/N meten in het uitgangssignaal naar de luidspreker.

RF lvl	SINAD
-130	2
-129	3
-128	4
-127	6
-126	8
-125	9
-124	13
-123	14
-122	18.5
-121	19.5
-120	21
-119	21.5
-118	22
-117	23
-116	23.5
-115	24
-114	25
-113	25.5
-112	26
-111	26.5
-110	27

2 dB SINAD improvement at each 1 dB RF step

~ 1 dB SINAD improvement at each 1 dB RF step



Bij de meting van een gemiddelde ontvanger komen we uit op een gevoeligheid van de RVD02 ontvanger (voor 12 dB SINAD) van ~ -124.3 dBm.

Deze gevoeligheid (12 dB S/N) van 0,13 microVolt en de selectiviteit (geen storing van andere signalen) van onze kerkradio ontvangers zijn eigenlijk erg goed.

Zelfs (semi)professionele ontvangers voor zendamateurs halen dit niveau niet of nauwelijks.

De ontvangst hiermee is ook niet te vergelijken met (oude) "politie scanners"; deze zijn erg simpel opgebouwd zodat de ontvangst hiermee vaak belabberd is.

Daarnaast is de Rivendel RVD02 ontvanger universeel toepasbaar.

Naast de prima ontvangst van de Rivendel Kerkradio zenders, zijn deze ontvanger ook volledig compatibel met het Wesotronic systeem; elk kanaal is volledig instelbaar naar de eigenschappen van de zender (elke fabrikant andere FM zwaai en andere de-emphase).

Tot slot (op de volgende pagina) nog een overzicht van de eigenschappen van onze RVD02 ontvanger.



Kerkradio ontvanger RVD02

Tichelkampweg 75 7621 GK BORNE.
Tel: 074-2666676 mail: info@kerkradio.nl
www.kerkradio.nl

De RVD02 is een professionele kerkradio ontvanger met veel uitgebreide functies waarbij de bediening uiterst simpel is gehouden. Terwijl de voorganger RVD03 kerkradio ontvanger alleen de basis functies bood, is de RVD02 voorzien van allerlei (digitale) extra's welke door een eigen patent worden afgedekt.

- Eenvoudige bediening met grote knoppen; speciaal voor ouderen.
- Goed en sterk geluid door grote luidspreker en kast.
- Sterke verbetering van de geluidskwaliteit door ruisreductie systeem. (bij Rivendel Kerkradio zenders standaard).
- Schakelt vanuit standby vanzelf in als de dienst begint.
- 6 voorkeur (of 12 bij langer drukken) toetsen; directe bediening
- Duidelijk 2 x 14 karakter alfanumeriek display; vrij te programmeren vanaf externe PC via USB.
- Automatische opname; speelt met 1 knop de "laatste" diensten opnieuw af.
- Opnames volgens first-in and last-out; tot 8 diensten worden normaal (automatisch) opgeslagen.
- Simpele zoekfunctie naar oudere opnames.
- Volledig compatibel met Ether kerkradio zenders van Rivendel, Wesotronic en Orbitron. Deze zijn in volledige kwaliteit te ontvangen. (MF bandbreedte/zwaai en de-emphase instelbaar)
- De opnames zijn door USB aansluiting (mounting externe disk) eenvoudig op PC te zetten.
- Diverse (instelbare) slot- functies om zo probleemloos de ontvanger ook te kunnen laten bedienen door ouderen.
- Komt na spanningsuitval altijd met voorkeurkanaal 1 bij.
- Standaard aansluiting voor externe (buiten)antenne.
- Wordt geleverd met meerdere extra antennes waaronder ook een externe magneetvoet antenne met 8 meter (dunne)coax. (buiten/binnen)
- In speciale bedieningsmode zijn alle kanalen direct bereikbaar.
- Afmetingen 18x13x10 cm (lxbxh). Gewicht 570 gram.



De bediening is erg simpel; de 1-toets bediening geeft direct de functie welke men wenst:

- Een druk op voorkeurtoets "1" zal de ontvanger altijd afstemmen op de (geprogrammeerde) voorkeur kerk. Op het scherm verschijnt dan de naam van de kerk en de plaats van uitzending.
- Een druk op een andere voorkeurtoets zal de ontvanger afstemmen op een andere (geprogrammeerde) kerk. Op het scherm verschijnt dan de bijbehorende naam van de kerk en de plaats.
- Met de toetsen + en – kan het volume eenvoudig worden ingesteld.
- Een druk op de "afspelen" toets zal vanzelf de meest recente opname ten gehore brengen.