

NEP-SSB VOOR QRP

door PAØSU

Samenvatting

SSB maken is voor QRP-toepassing net zo ingewikkeld als voor QRO. Dat is niet leuk.

Via een beetje goniometrie komen we tot een vectormodel in het tijd domein voor AM-modulatie. Er van uitgaande dat dit model ook geldt voor FM, DSB, en SSB, zien we dat er voldoende overeenkomsten zijn tussen SSB en NBFM om te proberen hoe we een FM-zender moeten moduleren zodat het een goed verstaanbaar signaal oplevert op een SSB-ontvanger. Dat blijkt wonderwel te gaan met een microfoonversterker die in het hele spraakgebied oploopt met de frequentie met 12 dB/oct. Een stevige compressor (20 dB) vergroot de verstaanbaarheid en houdt de FM-zwaai binnen de 5 kHz. Dit signaal is bovendien goed te ontvangen op een 0V1, zijnde de ontvanger van een ander QRP-station. Een DC-ontvanger (met mixer, oscillator en laagfrequentversterking) is daarvoor even ongeschikt als voor AM en DSB.

Het zendertje is bovendien eenvoudig te bouwen omdat het niet lineair hoeft te werken: de trappen mogen in klasse-C staan.

Inleiding

Het goed ontvangen en uitzenden van SSB-modulatie is ingewikkeld, althans te ingewikkeld voor een QRP-setje. SSB is echter de standaardmanier van spraakcommunicatie geworden, dus kun je daar niet onderuit.

DSB is goedkoper te genereren. Uitzendingen in dubbelzijbandmodulatie (met onderdrukte draaggolf, anders hebben we 'gewone' AM) wordt niet door iedereen gewaardeerd, doch voor QRP-gebruik moet dat kunnen.

Daar is echter een ander bezwaar aan: twee (QRP) DSB-stations kunnen met elkaar nauwelijks een verbinding maken. Als je met een DSB-ontvanger een DSB-zender wilt ontvangen, moet je tot op de herz nauwkeurig afgestemd staan en afgestemd blijven! Die eis is te zwaar.

Wat wil ik dan?

Een eenvoudig op te wekken modulatietype in de zender dat verstaanbaar is op een SSB- en op een DSB-ontvanger. Zo'n DSB-ontvanger is eenvoudig te maken in de vorm van een 0V1 of 0V2. Ik heb eerder beschreven hoe dat met halfgeleiders kan. Daar kun je in ieder geval zeer goed AM, SSB, NBFM en niet te vergeten CW mee ontvangen.

Amplitude-modulatie

AM is, zeker voor QRP-gebruik, niet aan te raden omdat het grootste gedeelte van het uitgezonden vermogen in de draaggolf gaat zitten. Dat is dus niet de efficiëntste manier om spraak over te brengen. Laten we er toch eens naar kijken om inzicht te krijgen in andere mogelijkheden. AM wordt verkregen door een LF-(laagfrequent)-signaal met een HF-(hoogfrequent)-signaal te mengen. Mengen is wiskundig gezien: *vermenigvuldigen*. De hoogfrequente spanning met amplitude A:

$$U_{HF} = A \cdot \sin(\omega t)$$

wordt vermenigvuldigd met

$$U_{LF} = M \cdot \sin(pt)$$

Hierin is $\omega = 2\pi f_{HF}$ en $p = 2\pi f_{LF}$ als de modulatie uit één toon bestaat.

Uit de gonio weten we misschien nog dat:

$$U_{HF} \times U_{LF} = A \cdot M \cdot \sin(\omega t) \cdot \sin(pt) \\ = \frac{1}{2} A \cdot M \cdot \{\cos(\omega+p)t - \cos(\omega-p)t\}$$

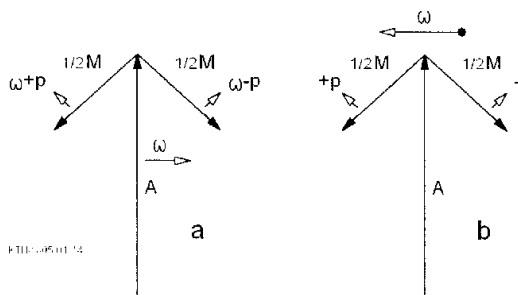


Fig. 1 Amplitudemodulatie

Wees maar niet bang. Ik ga heus niet verder. Ik wil alleen laten zien dat een AM-signaal voorgesteld kan worden door figuur 1a. De grote vector (pijl) stelt het HF-signaal voor en de twee kleine pijltjes het erop gemoduleerde LF-signaal. Dat hele spul draait rond met de hoogfrequente (cirkel)-frequentie. Als je daarvan 'de schaduw' op een stuk snel bewegend papier zou laten vallen, zag je een in amplitude gemoduleerd signaal. Dat deden ze vroeger. Zo'n apparaat heette een oscillograaf. We hebben daar al heel lang een elektronische oplossing voor: de oscilloscoop. Op die apparaten zien we *het resulterende signaal*. Daar zijn op elk moment de vectoren (pijlen) vectorisch bij elkaar opgeteld. In onze figuren laten we die optelling weg. De figuren worden er alleen maar ingewikkelder door zonder enige bijdrage van het begrip.

Terug naar die rondrazende pijltjes. We kunnen natuurlijk ook het vlak waarop dat spul getekend is laten ronddraaien zoals in figuur 1b. Bij de juiste richting en snelheid staat de grote pijl stil. Zo, nu kunnen we ten minste wat zien. Wat zien we dan? Een grote pijl met twee kleinere pijltjes die tegen elkaar in draaien (met de snelheid van de laagfrequente cirkelfrequentie: p). Hoe kom ik daarbij? Wel, in de laatste gonioformule staat: $(\omega+p)$ en $(\omega-p)$. Dat levert figuur 1a op. Die ω hadden we 'nul' gemaakt door het tekenvlak in tegenovergestelde richting met ω te laten ronddraaien (figuur 1b) zodat nu alleen de kleine pijltjes nog draaien. Dat die kleine (LF)-pijltjes tegen elkaar in draaien blijkt uit de '-' voor de ene en de '+' voor de andere p in de gonioformule.

Waarom vertel ik dit nu allemaal? Wel, als je nu aanneemt dat deze voorstelling goed is, dan kunnen we met dit plaatje verder filosoferen. Met dat kleine beetje wiskunde heb ik geprobeerd duidelijk te maken dat dit plaatje goed is. We kunnen vervolgens met dit model (= plaatje) verder denken en blijven begrijpen wat we aan het doen zijn.

Laten we nog eens naar figuur 1b kijken. Als er geen modulatie was, zagen we alleen de HF-pijl die A groot is. We hadden immers de amplitude van het HF-signaal A groot gekozen. De lengte van de kleine pijltjes is $\frac{1}{2}M$ omdat we de

amplitude van het LF-sigitaal M groot gekozen hadden. Blijkbaar gaat de helft van het LF-sigitaal in het ene pijltje, en de andere helft in het andere pijltje zitten. Dat wisten we al: bij een AM-sigitaal gaat minstens de helft (bij 100% modulatie!) in de draaggolf zitten en de rest wordt gelijk verdeeld over de twee zijbanden. Die twee ronddraaiende pijltjes stellen dus de twee zijbanden voor!

Frequentiemodulatie

Naar FM luisteren we dagelijks als we naar omroepzenders luisteren. Kunnen we zo'n sigitaal ook in een plaatje vatten? Figuur 2 geeft daar de voorstelling van. Er is nu één pijltje dat naar links en rechts in grootte varieert met de modulatiefrequentie. Bovendien is dat pijltje nog krom ook!

Immers bij FM is de amplitude constant, dus moet de modulatiepijl wel langs een cirkel bewegen om te zorgen dat de draaggolfpil altijd even lang blijft. Denk erom dat bij een grote *modulatie-index* (dat is: bij een grote frequentiezwaaai), zoals bij onze omroepzenders, dat pijltje wel een paar keer over de kop gaat! Bij NBFM (narrow band FM), met een kleine modulatie-index dus, blijft het pijltje kort. In dat geval zullen we er niet zoveel van merken als het pijltje niet precies cirkelvormig is. Er komt dan een beetje AM op het NBFM-sigitaal te zitten. Voor spraak is zo'n vervorming niet zo erg. We mogen best een beetje smokkelen.

Het opwekken van een FM-sigitaal is zeer eenvoudig: domweg het modulatiesigitaal aan een varicap in de oscillator van de zender toevoegen. That's all.

Het ontvangen van een FM-sigitaal met een grote modulatie-index vereist een brede ontvanger met een speciale *FM-discriminator*. Voor onze (kortegolf-) amateurbanden is dat totaal ongeschikt.

Bij NBFM is het een ander verhaal. We kennen dat van twee meter. Als we zo'n sigitaal met een OV1 willen ontvangen dan gaat dat best: gewoon op de flank afstemmen. Met de terugkoppeling kunnen we de flanksteilheid regelen, dus... Met deze zgn. flankdetectie maken we van een NBFM-sigitaal in feite een AM-sigitaal voor de diode-detector in de OV1.

Dubbelzijbandmodulatie

Als we van een AM-sigitaal de draaggolf afsloopen, houden we een DSB-sigitaal over (zie figuur 3). Dit zijn de twee kleine pijltjes uit figuur 1b. Denk erom dat dit twee HF-signalen zijn! Het tekenvlak raast nog steeds met ω rond.

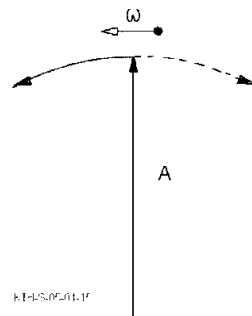


Fig. 2 Frequentiemodulatie

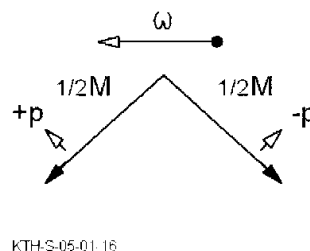


Fig. 3 Dubbelzijbandmodulatie

Voor het opwekken van een DSB-sigitaal hebben we een gebalanceerde mengtrap nodig zodat we de draaggolf kunnen 'uitbalanceren'. Dat is betrekkelijk eenvoudig.

Om zo'n sigitaal goed te ontvangen, is minder eenvoudig. Er zijn twee mogelijkheden: we synchroniseren op de één of andere manier de ontvanger met het inkomende sigitaal, of we hakken één zijband weg. In beide gevallen moeten we de ontbrekende draaggolf toevoegen.

Als de ene zijband weggehaald is, hoeft die draaggolf voor spraak niet zo precies op z'n plaats te staan. Dat doen we in een SSB-ontvanger. We horen de spraak dan een beetje hoger of lager van timbre. Er is in feite voor een SSB-ontvanger geen verschil tussen een SSB- of een DSB-sigitaal. Je gooit alleen de helft van het binnengekomen vermogen weg.

Als beide zijbanden ontvangen worden (zonder er één weg te hakken), wordt het een stuk moeilijker: beide zijbanden worden met de bijgemengde draaggolf gedetecteerd en zijn ongelijk als die draaggolf niet precies op zijn plaats staat. Dat gaat heel snel mis. Ook met een OV1 kunnen we daar niets mee aanvangen.

Enkelzijbandmodulatie

In figuur 4 vinden we de voorstelling in het tijddomein van een SSB-sigitaal. Dat ziet er eenvoudig uit. Eén pijltje dat in het vlak van tekening met de modulatiefrequentie ronddraait. Nogmaals, het vlak van de tekening draait nog steeds met de HF-cirkelfrequentie ω rond, dus het is een HF-sigitaal!

Mengen we daar in de ontvanger een draaggolf bij, dan ziet het er uit als in figuur 5: een MF-sigitaal met nu nog maar één pijltje aan zijn top wat daar ronddraait met de modulatiefrequentie! Dat ene pijltje moduleert de bijgemengde draaggolf niet alleen in amplitude, maar ook in frequentie¹ zij het met een kleine modulatie-index. Dit is precies de reden waarom niet geofende oren moeite hebben met het verstaan van SSB uit een

SSB-ontvanger. Muziek is helemaal niet om te genieten, ook al is de ontvanger op de herz nauwkeurig afgestemd!

Zou het niet mogelijk zijn om een NBFM-sigitaal op te wekken dat op een SSB-ontvanger ook nog te verstaan is? In dat geval zou het sigitaal op een OV1 (van een QRP-collega) te ontvangen zijn en op een SSB-ontvanger van een QRO-station. NBFM is eenvoudig op te wekken. Misschien moeten we wat aan het modulatiesigitaal veranderen om het 'op SSB te laten lijken'. Dat gaan we proberen!

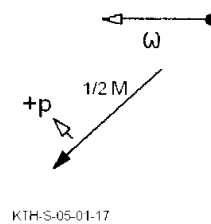


Fig. 4 Enkelzijbandmodulatie

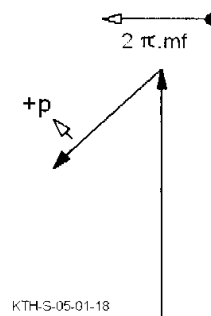


Fig. 5 Enkelzijbandmodulatie met bijgemengde draaggolf

Nep-SSB of is het Nep-DSB?

SSB-ontvangers die wij gebruiken, bevatten bijna altijd een kristalfilter met een bandbreedte van zo'n 2,5 kHz en zeer steile flanken. Van flankdetectie kan geen sprake zijn. Ergo, ons NBFM-signaal mag niet breder zijn dan 5 kHz. Daar kunnen we voor zorgen door een LF-clipper in onze QRP-zender te bouwen. Dat is niet moeilijk. Is dat voldoende? Hoeveel mogen of moeten we clippen? Moeten we de hoge tonen sterk bevoordelen of juist niet? Een snel proefje met Cor PAØCHN op zijn HartKit leerde dat zijn NBFM verstaanbaar is op mijn SSB-ontvanger al klinkt het dof.

We kunnen weer in de wiskunde duiken natuurlijk, maar dat is niet zo leuk als proberen. We hebben gezien dat de theorie ons op ideeën kan brengen. Wetenschappers gaan dan door tot het gaatje, maar weten ook niet wat het menselijk oor nog accepteert als 'verstaanbaar'. Ze hebben in ieder geval geen verstand van 'zendamateuren'. Ik weet ook niet hoe het uit gaat pakken. Formules zeggen mij ook niets over 'verstaanbaarheid'.

We hebben vast nog wel ergens een microfoonversterker zitten die we tijdelijk kunnen mishandelen en een HF-generator met een 'sweep-ingang', anders moeten we een stabiele oscillator maken op één van onze banden die we FM kunnen moduleren. Dat kan een 0V1 zijn waar we tijdelijk een varicap in aanbrengen. Met een Xtal-oscillator moet het ook gaan.

Ik doe het met de onvolprezen PSM-5 (uit de Belgische ontwikkelingsamenwerking, zoals Dick PAØSE dat noemt) en mijn zelfbouw SSB-ontvanger waar een XF9B-filter in zit.

De proeven

Als laagfrequentbron heb ik een portable CD-speler gebruikt. Daar komt een paar volt uit. Ik heb op de computer een CD gemaakt waarop ik verschillende signalen heb geproduceerd met CoolEdit, een softwarepakket waarmee je laagfrequent kunt bewerken. Dat heeft als voordeel dat je elke vorm van clipping kunt toepassen bij elke vorm van de laagfrequentkarakteristiek. Na iedere bewerking kun je het geproduceerde signaal afluisteren op de geluidskaartuitgang. Je weet dan precies wat je aan het doen bent.

De CD heeft 8 tracks met resp.:

- 1) onbewerkte spraak
- 2) track 1 met 20 dB compressie
- 3) band pass filter: onder de 200 Hz met 6 dB/oct. afvallen en boven de 3 kHz scherp afvallen
- 4) track 3 met 20 dB compressie
- 5) high pass filter op 3 kHz met 6 dB/oct. + 20 dB compressie
- 6) high pass filter op 3 kHz met 12 dB/oct.
- 7) track 6 met 20 dB compressie
- 8) track 7 met scherp low pass filter op 3 kHz.

Direct op de geluidskaart luisterend zijn track 6, 7 en 8 niet meer te pruimen. Dat wordt erg scherp.

Om een lang verhaal kort te maken: bij het luisteren op mijn SSB-ontvanger begon het bij track 5 pas ergens op te lijken! Track 1 t/m 4 zijn nauwelijks te verstaan: veel te dof.

Track 6, 7 en 8 zijn zeer goed. Tussen track 7 en 8 hoor ik geen verschil. Er is ook geen verschil tussen LSB en USB. We hebben dus te maken met 'NepDSB'.

Ik heb ook eens naast de frequentie geluisterd. Deze wijze van moduleren is ongeschikt voor QRO. Het splattert nogal. Gek genoeg² is er ook weinig verschil tussen track 7 en 8 wat splatter aangaat. Maak *de zwaai* vooral niet te groot want dat splattert enorm.

Bij het luisteren op mijn 80-meter-0V1 blijkt het signaal zich als een echt NBFM-signaal te manifesteren: je moet 'naast de draaggolf afstemmen', ook als de ontvanger al een beetje oscilleert. De oscillerende ontvanger lockt dan op de binnenkomende draaggolf. Ook hier mocht de zwaai niet groter zijn dan zo'n 5 kHz. Dat had ik niet verwacht. Bij een zwaai van 7 kHz wordt het signaal wel harder, maar het wordt er niet mooier op. Track 7 en 8 klinken scherp, maar niet te scherp. Op een 'echte direct conversion ontvanger', zo'n ding met een oscillator, een mixer en een boel laagfrequentversterking, is een NBFM-signaal net zo moeilijk te ontvangen als een AM- of DSB-signaal. Ik heb eens een DC-ontvanger gemaakt op 12,7 MHz om ruis te meten aan oscillatoren. Daar zit een PLL-lock-systeem in. Als ik dat uitzet, is het gewoon uien. Met synchronisatie klinkt het uitstekend. Wat leren we van dit alles? OM Schepp PAØEPS, heeft indertijd PLL-SSB bedacht: hij moduleerde een FM-zender met een SSB-signaal. Dat was om TVI en BCI te voorkomen bij VHF. Dat blijkt dus helemaal niet nodig. Als we een microfoonversterker maken die vanaf 3 kHz naar beneden afvalt **met 12 dB/oct.** en dat signaal vervolgens flink clippen, zijn we er. Dat clippen is echt nodig om de zwaai binnen de 5 kHz te houden.

Een QRP-station moet je dus uitrusten met een NBFM-zendertje en een 0V1! Een DC-ontvanger is veel minder geschikt voor iets anders dan SSB en CW.

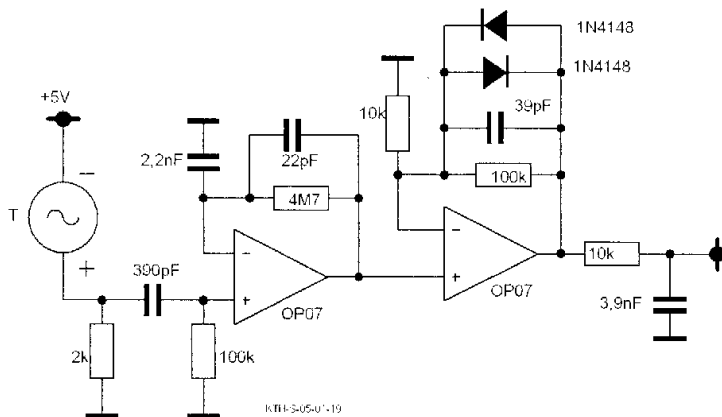
Denkfout

Het is oh-zo verleidelijk om te denken dat een diode in serie met de microfoonversterker en de varicap in de oscillator van de zender een enkelzijband-signaal zou opleveren. Je krijgt dan toch een FM-signaal dat slechts naar één kant zwaait? Dat is zo, maar een enkelzijbandsignaal *zwaait niet één kant op!* Hier schiet ons vector-model te kort! Door de op die manier ontstane vervorming veroorzaakt zoveel zijbanden dat het één en al splatter wordt! Wiskundig blijkt dat ook.

Voor de aardigheid heb ik toch eens geprobeerd hoe dat klinkt. Op een SSB-ontvanger kun je met veel moeite enig verschil horen tussen USB en LSB. Daar is het ook mee gezegd. Erg is, dat er *niets meer van te verstaan is!* Het is één hoop zeer breedbandige splatter. Op de 0V1 is het iets minder erg, maar... Niet doen dus!

Efficiënt?

Is deze manier van moduleren wel efficiënt? Effectief is het zeker. Het klinkt ook goed, vind ik, maar efficiënt? Ik zou niet weten hoe ik dat zou moeten berekenen. In ieder geval is het zendertje heel *eenvoudig* te bouwen. Het hoeft niet lineair te zijn! Bij FM-zenders mogen de versterkertrappen in klasse-C staan. Klasse-C-versterkers zijn op zich efficiënter dan klasse-B of AB. Bipolaire transistoren staan zonder basisvoorspanning afgeknepen. Daar hoeven we niets aan te doen. Bij een rijtje van die dingen achter elkaar (met bandfilters ertussen) hoef je de voedingsspanning niet los te nemen bij ontvangst! Zo'n zendertje zet je in werking door er



Figuur 6 Microfoonversterker

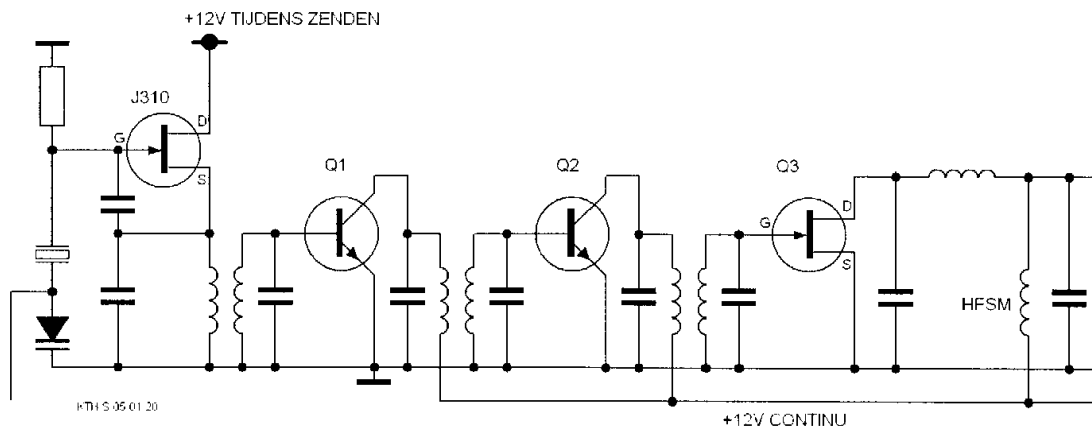
HF-sturing op te zetten! Zo simpel is dat. Het is helemaal geen heksentoer om op die manier een watt-je méér te maken...

Conclusies

Voor QRP-gebruik kun je een NBFM-zendertje maken dat zowel op een SSB-ontvanger als op een 0V1 goed te ontvangen is. De microfoonversterker moet over het hele audiogebied met 12 dB/oct. oplopen met de frequentie en flink ge-comprimeerd worden. In figuur 6 is daar een voorbeeld van gegeven.

Het zendertje wordt zeer eenvoudig omdat het niet lineair hoeft te werken. De eindtrap kan bestaan uit een goedkope power-MOSFET (figuur 7).

73 de PAØSU, Herbert



Figuur 7 Zendervoorstel

¹ Ik maak hier geen onderscheid tussen FM (frequentiemodulatie) en PM (fasemodulatie). Beiden zijn door elkaar te gebruiken bij een kleine modulatie-index, zij het dat de frequentiecarakteristiek van de ontvanger anders moet verlopen: PM klinkt op een FM-ontvanger 'scherp'.

² eigenlijk is het niet zo gek. Bij FM wordt de bandbreedte hoofdzakelijk bepaald door de zwaai en niet door de hoogst uitgezonden frequentie.

NASCHRIFT VAN PA9RZ

Heeft U zich verbaasd over het relaas van Herbert over NBFM? Echt, HET WERKT! In mijn beginjaren had ik alleen een 2m FM transceiver (met losse VFO's voor zender en ontvanger) en een Geloso HF ontvanger, alles in bruikleen van Henk PAØGF. Zelf kocht ik een 2m converter naar 10m. Al gauw werd het ontvangstdeel van de FM set niet meer gebruikt en luisterde ik op de Geloso. Door flankdetectie te gebruiken kon ik NBFM nemen met een filter smaller dan van het FM setje. Als ik een interessant station in SSB hoorde, de FM zender netjes afstemde en het station aanriep had dat station niets door! Zo werkte ik op 2 met SM7DVR

en met diverse Engelsen. Één van die Engelsen vond wél dat ik veel draaggolf had... en was stomverbaasd dat hij naar NBFM luisterde! Na te veel gezeur uit de afdeling te krijgen over FM in de SSB band ging ik later maar een DSB zender maken. Die zelfbouwzender is nog steeds in gebruik... Voor 70cm gebruikte ik lange tijd een tripler. Prima voor CW en FM maar niet voor DSB. Helaas, SP3HFW kon geen morse nemen. Dan maar FM proberen en, tot de stomme verbazing van de Pool kon hij NBFM nemen op een SSB ontvanger! Wel een eind van de microfoon praten om de (verdrievoudigde) zwaai in toom te houden!

Robert PA9RZ